



ENVIZEO

Využitie ekocementov CEM V/ (A, B)
druhu podľa EN 197-1 **v konštrukčnom betóne**

*Nutzung der Ökozementsorten CEM V (A, B)
gemäß EN 197-1 **in Konstruktionsbeton***

ISBN 978 - 80 - 971296-9 - 9



EUROPEAN UNION
European Regional
Development Fund



creating the future

Programm zur grenzüberschreitenden Zusammenarbeit SLOWAKEI - ÖSTERREICH 2007-2013
Program cezhraničnej spolupráce SLOVENSKÁ REPUBLIKA - RAKÚSKO 2007-2013

AUTOR

Ing. Ivan Janotka, CSc., TSÚS, Bratislava

SPOLUPRACUJÚCI AUTORSKÝ KOLEKTÍV
DAS MITARBEITENDE AUTORENKOLLEKTIV

Prof. Dr. - Ing. Konrad Bergmeister, PhD, BOKU-IKI, Viedeň/Wien

RNDr. Ľubomír Bágeľ, ÚSTARCH SAV, Bratislava

Ing. Igor Halaša, BETÓNRAČIO, s. r. o., Trnava

Mgr. Tobias Jentsch, SCHRETTNER & Cie GmbH & Co KG, Vils

Ing. Marta Kuliffayová, ÚSTARCH SAV, Bratislava

Ing. Zuzana Letovancová, TSÚS, Bratislava

Ing. Július Marko, PhD., TSÚS, Bratislava

Ing. Iveta Najdená, TSÚS, Bratislava

Ing. Katarína Prokešová, TSÚS, Bratislava

Ing. Patrik Ševčík, TSÚS, Bratislava

Ing. Eva Smrčková, CSc., FCHPT STU, Bratislava

Ing. Antonín Špaček, CSc., Bratislava

Mgr. Klaus Voit, BOKU-IKI, Viedeň/Wien

Dr. Herbert Zeller, SCHRETTNER & Cie GmbH & Co KG, Vils

1. Úvod	9
1. Einleitung	9
2. Partneri projektu	11
2. Partner des Projekts	11
3. Zmesové cementy CEM V/ (A, B) druhu a ich použiteľnosť v betóne podľa kritérií EN 206-1 (technická štúdia)	16
3. Kompositzemente CEM V / (A, B) und deren Nutzbarkeit in Beton nach den Kriterien der Norm EN 206-1 (technische Studie)	16
3. 1 Vymedzenie predmetu a rozsahu štúdie	16
3. 1 Eingrenzung des Gegenstands und des Umfangs der Studie	16
3. 2 Činitele agresivity	16
3. 2 Aggressivitätsfaktoren	16
3. 2. 1 Činitele agresivity prostredia	16
3. 2. 1 Faktoren der Aggressivität der Umgebung	16
3. 2. 1. 1 Druhy agresívneho pôsobenia	16
3. 2. 1. 1 Arten aggressiver Einwirkungen	16
3. 2. 1. 2 Teplota agresívneho média	17
3. 2. 1. 2 Temperatur eines aggressiven Mediums	17
3. 2. 1. 3 Relatívna vlhkosť vzduchu	18
3. 2. 1. 3 Relative Luftfeuchte	18
3. 2. 1. 4 Rýchlosť výmeny agresívneho média	18
3. 2. 1. 4 Geschwindigkeit des Austauschs eines aggressiven Mediums	18
3. 2. 1. 5 Súčasné pôsobenie dvoch alebo viacerých agresívnych prostredí	18
3. 2. 1. 5 Gleichzeitige Einwirkung von zwei oder mehr aggressiven Umgebungen	18
3. 2. 2 Činitele odolnosti betónu	19
3. 2. 2 Faktoren der Betonbeständigkeit	19
3. 2. 2. 1 Cement	19
3. 2. 2. 1 Zement	19
3. 2. 2. 1. 1 Rozdelenie cementov podľa normy	19
3. 2. 2. 1. 1 Unterteilung der Zemente nach Normen	19
3. 2. 2. 1. 2 Všeobecné literárne poznatky o odolnosti zmesových cementov	20
3. 2. 2. 1. 2 Allgemeine Erkenntnisse über die Beständigkeit von Zementmischungen aus der Literatur	20
3. 2. 2. 1. 2. 1 Vplyv zmesových cementov na odolnosť cementového kameňa	20
3. 2. 2. 1. 2. 1 Einfluss der Kompositzemente auf die Beständigkeit des Zementsteins	20
3. 2. 2. 1. 2. 2 Vplyv zmesových cementov na odolnosť ocelevej výstuže	21
3. 2. 2. 1. 2. 2 Einfluss der Kompositzemente auf die Beständigkeit der Stahlbewehrung	21
3. 2. 2. 1. 3 Obsah cementu	22
3. 2. 2. 1. 3 Zementgehalt	22
3. 2. 2. 1. 4 Prípustnosť cementov pre jednotlivé druhy korozívneho pôsobenia	23
3. 2. 2. 1. 4 Zulässigkeit der Zemente für einzelne Arten von Korrosionseinwirkung	23
3. 2. 2. 2 Kamenivo	27
3. 2. 2. 2 Gesteinskörnung	27
3. 2. 2. 3 Zámesová voda	28
3. 2. 2. 3 Zugabewasser	28
3. 2. 2. 4 Prísady	28
3. 2. 2. 4 Zusatzmittel	28
3. 2. 2. 5 Prímеси	29
3. 2. 2. 5 Zusatzstoffe	29
3. 2. 2. 6 Vodný súčiniteľ	33
3. 2. 2. 6 Wasserzementwert	33
3. 2. 2. 7 Pevnosť betónu	34
3. 2. 2. 7 Festigkeit des Betons	34
3. 2. 2. 8 Vodotesnosť betónu	34
3. 2. 2. 8 Wasserundurchlässigkeit des Betons	34
3. 2. 2. 9 Nasiakavosť betónu	35
3. 2. 2. 9 Wassersaugfähigkeit des Betons	35
3. 2. 3 Činitele betónovej konštrukcie	35
3. 2. 3 Faktoren der Betonkonstruktion	35
3. 3 Stupne vplyvu prostredia	36
3. 3 Expositionsclassen	36
3. 3. 1 Prostredie bez nebezpečenstva korózie alebo narušenia	37
3. 3. 1 Umgebung ohne Risiko von Korrosion oder Angriff	37
3. 3. 2 Prostredie s účinkom karbonatácie	37
3. 3. 2 Umgebung mit Einwirkung von Karbonatisierung	37
3. 3. 2. 1 Literárne poznatky o vplyve druhu cementu na karbonatáciu betónu	37
3. 3. 2. 1 Erkenntnisse aus der Literatur über den Einfluss der Zementsorte auf die Karbonatisierung von Beton	37

3. 3. 2 Literárne poznatky o vplyve druhu cementu na koróziu výstuže karbonatáciou	39
3. 3. 2 Erkenntnisse aus der Literatur über den Einfluss der Zementsorte auf die Korrosion der Bewehrung durch Karbonatisierung.....	39
3. 3. 2. 3 Informatívne príklady výskytu stupňov vplyvu karbonatácie	39
3. 3. 2. 3 Informative Beispiele des Auftretens der Klassen des Einflusses der Karbonatisierung	39
3. 3. 3 Prostredie s účinkom chloridov iných ako z morskej vody	40
3. 3. 3 Umgebung mit Einwirkung von Chloriden, die nicht aus Meerwasser stammen.....	40
3. 3. 3. 1 Literárne poznatky o vplyve druhu cementu na koróziu betónu chloridmi.....	40
3. 3. 3. 1 Erkenntnisse aus der Literatur über den Einfluss der Zementsorte auf die Korrosion des Betons durch Chloride.....	40
3. 3. 3. 2 Literárne poznatky o vplyve druhu cementu na koróziu výstuže chloridmi	40
3. 3. 3. 2 Erkenntnisse aus der Literatur über den Einfluss der Zementsorte auf die Korrosion der Bewehrung durch Chloride	40
3. 3. 3. 3 Informatívne príklady výskytu stupňov vplyvu chloridov.....	41
3. 3. 3. 3 Informative Beispiele des Auftretens der Klassen von Chlorideinwirkung	41
3. 3. 4 Prostredie s pôsobením mrazu a rozmrazovania	42
3. 3. 4 Umgebung mit Einwirkung von Frost und Auftauen	42
3. 3. 4. 1 Literárne poznatky o vplyve druhu cementu na odolnosť betónu proti mrazu	42
3. 3. 4. 1 Erkenntnisse aus der Literatur über den Einfluss der Zementsorte auf die Beständigkeit des Betons gegen Frost.....	42
3. 3. 4. 2 Informatívne príklady výskytu stupňov mrazu a rozmrazovania.....	43
3. 3. 4. 2 Informative Beispiele des Auftretens der Klassen von Frost und Auftauen.....	43
3. 3. 5 Prostredie s chemickým pôsobením	43
3. 3. 5 Umgebung mit chemischer Einwirkung.....	43
3. 3. 5. 1 Všeobecné poznatky o vplyve druhu cementu na chemickú odolnosť betónu	43
3. 3. 5. 1 Allgemeine Erkenntnisse über den Einfluss der Zementsorte auf die chemische Beständigkeit von Beton	43
3. 3. 5. 2 Literárne poznatky o vplyve druhu cementu na síranovú koróziu betónu.....	43
3. 3. 5. 2 Erkenntnisse aus der Literatur über den Einfluss der Zementsorte auf Sulfatkorrosion des Betons	43
3. 3. 5. 3 Literárne poznatky o vplyve druhu cementu na horečnatú koróziu betónu	44
3. 3. 5. 3 Erkenntnisse aus der Literatur über den Einfluss der Zementsorte auf Magnesiumkorrosion des Betons.....	44
3. 3. 5. 4 Literárne poznatky o vplyve druhu cementu a na koróziu betónu kyselinami	44
3. 3. 5. 4 Erkenntnisse aus der Literatur über den Einfluss der Zementsorte auf Betonkorrosion durch Säuren.....	44
3. 3. 5. 5 Literárne poznatky o vplyve druhu cementu na uhličitú koróziu betónu.....	45
3. 3. 5. 5 Erkenntnisse aus der Literatur über den Einfluss der Zementsorte auf Kohlensäurekorrosion des Betons.....	45
3. 3. 5. 6 Literárne poznatky o vplyve druhu cementu na amónnu koróziu betónu.....	46
3. 3. 5. 6 Erkenntnisse aus der Literatur über den Einfluss der Zementsorte auf Ammoniumkorrosion des Betons	46
3. 3. 5. 7 Klasifikácia agresivity vôd a zemín.....	47
3. 3. 5. 7 Klassifizierung der Aggressivität von Wasser und Böden.....	47
3. 3. 5. 8 Prostredie pri účinku obrusovania	50
3. 3. 5. 8 Umgebung mit der Einwirkung von Abrieb.....	50
3. 4 Použiteľnosť CEM V/ (A, B) na prípravu betónu podľa slovenskej, českej a rakúskej EN 206-1	50
3. 4 Nutzbarkeit von CEM V/ (A, B) für die Herstellung von Beton nach slowakischer, tschechischer und österreichischer EN 206-1.....	50
3. 4. 1 Použiteľnosť CEM V/ (A, B) pre betón vystavený účinku karbonatácie.....	51
3. 4. 1 Nutzbarkeit von CEM V/ (A, B) für Beton, der der Einwirkung von Karbonatisierung ausgesetzt ist.....	51
3. 4. 2 Použiteľnosť CEM V/ (A, B) pre betón vystavený účinku chloridov.....	51
3. 4. 2 Nutzbarkeit von CEM V/ (A, B) für Beton, der Chlorideinwirkung ausgesetzt ist	51
3. 4. 3 Použiteľnosť CEM V/ (A, B) pre betón vystavený účinku mrazu a rozmrazovania	51
3. 4. 3 Nutzbarkeit von CEM V/ (A, B) für Beton, der Frost und Auftauen ausgesetzt ist.....	51
3. 4. 4 Použiteľnosť CEM V/ (A, B) pre betón vystavený účinku chemického pôsobenia	51
3. 4. 4 Nutzbarkeit von CEM V (A, B) für Beton, der chemischer Einwirkung ausgesetzt ist	51
3. 4. 5 Použiteľnosť CEM V/ (A, B) pre betón vystavený účinku obrusovania.....	52
3. 4. 5 Nutzbarkeit von CEM V/ (A, B) für Beton, der der Einwirkung von Abrieb ausgesetzt ist	52
3. 5 Celkové zhodnotenie prípustnosti CEM V/ (A, B) na prípravu betónu v styku s agresívnym prostredím	52
3. 5 Gesamtbewertung der Zulässigkeit von CEM V/ (A, B) für die Vorbereitung von Beton, der mit einer aggressiven Umgebung in Kontakt kommt	52
3. 6 Záver	53
3. 6 Zusammenfassung.....	53
4. Zníženie produkcie CO ₂ pri výrobe cementu použitím.....	54
4. Zmesových cementov (ekonomicko - ekologická štúdia)	54
4. Verringerung des CO ₂ -Ausstoßes bei der Zementherstellung durch Einsatz von Mischzementen (ökonomische- ökologische Studie)	54
4. 1 Všeobecne.....	54
4. 1 Allgemeines.....	54
4. 2 Globálna výroba cementu.....	55
4. 2 Globale Zementproduktion.....	55
4. 3 Emisie CO ₂ a spotreba energie pri procese výroby.....	56
4. 3 CO ₂ Emission und Energieverbrauch beim Herstellungsprozess	56
4. 3. 1 Všeobecne	56
4. 3. 1 Allgemeines.....	56
4. 3. 2 Procesy, ktoré sú energeticky náročné a ktoré vytvárajú enormné množstvo CO ₂	57
4. 3. 2 Energie- und CO ₂ -intensive Prozesse Anteilsmäßig fällt.....	57
4. 3. 3 Technologický vývoj	59
4. 3. 3 Prozesstechnische Entwicklung.....	59
4. 4 Stratégie pre zníženie produkcie CO ₂ pri výrobe cementu.....	60
4. 4 Strategien für eine CO ₂ -Verringerung.....	60

4. 4. 1 Zmesové cementy	60
4. 4. 1 Mischzemente	60
4. 4. 1. 1 Všeobecne.....	60
4. 4. 1. 1 Allgemeines	60
4. 4. 1. 2 Potenciál úspory CO₂.....	63
4. 4. 1. 2 CO ₂ -Einsparungspotential	63
4. 4. 1. 3 CEM V (zmesový cement)	64
4. 4. 1. 3 CEM V (Kompositzement)	64
4. 4. 2 Sulfoaluminátové cementy (CSA)	65
4. 4. 2 Calciumsulfoaluminat Zemente (CSA)	65
4. 4. 3 Alkalicky aktivované cementy.....	65
4. 4. 3 Alkali-aktivierte Zemente	65
4. 4. 4 Odlučovanie a akumulácia CO₂.....	65
4. 4. 4 CO ₂ -Abscheidung und Speicherung	65
4. 4. 5 Použitie alternatívnych palív	66
4. 4. 5 Einsatz alternativer Brennstoffe	66
4. 4. 6 Ďalšie možnosti úspory energie	66
4. 4. 6 Weitere Energieeinsparungsmöglichkeiten	66
4. 5 Zhrnutie.....	67
4. 5. Zusammenfassung.....	67
5. Vlastnosti cementov a betónov - experimentálne výsledky	68
5. Zement und Betoneigenschaften - experimentale Ergebnisse	68
5. 1 Stanovenie fyzikálno-mechanických a chemických vlastností dvoch druhov cementu z Rakúska a zo Slovenska (CEM V/A a CEM V/B) špecifikovaných podľa EN 197-1	68
5. 1 Festlegung der physikalisch-mechanischen und chemischen Eigenschaften der beiden Zementsorten (CEM V/A und CEM V/B) aus Österreich und aus der Slowakei, spezifiziert gemäß EN 197-1	68
5. 1. 1 Úvod	68
5. 1. 1 Einleitung	68
5. 1. 2 Faktory určujúce vlastnosti betónu.....	68
5. 1. 2 Faktoren, die die Betoneigenschaften beeinflussen	68
5. 1. 2. 1 Cement.....	68
5. 1. 2. 1 Zement	68
5. 1. 2. 2 Činitele odolnosti betónu	69
5. 1. 2. 2 Kennziffern der Betonbeständigkeit	69
5. 1. 2. 3 Činitele agresivity prostredia	69
5. 1. 2. 3 Kennziffern der Aggressivität der Umgebung	69
5. 1. 2. 4 Činitele odolnosti samotného betónu	69
5. 1. 2. 4 Kennziffern der Beständigkeit des Betons selbst	69
5. 1. 2. 5 Činitele betónovej konštrukcie	70
5. 1. 2. 5 Kennziffern der Betonkonstruktion	70
5. 1. 3 Uvažované využitie cementu CEM V/ (A, B) druhu	70
5. 1. 3 In Betracht gezogene Verwendung der Zementsorte CEM V/ (A, B)	70
5. 1. 4 Experimentálne metódy a postupy skúšania	71
5. 1. 4 Experimentelle Methoden und Testverfahren	71
5. 1. 4. 1 Materiály.....	71
5. 1. 4. 1 Materialien	71
5. 1. 4. 2 Použité metódy.....	71
5. 1. 4. 2 Verwendete Methoden	71
5. 1. 4. 3 Výsledky a diskusia.....	72
5. 1. 4. 3 Ergebnisse und Diskussionen	72
5. 1. 5 Záver.....	77
5. 1. 5 Zusammenfassung.....	77
5. 2 Porovnanie puzolánovej aktivity popolčeka, vysokopecnej trosky a prírodného zeolitu použitých ako prímеси do cementov.....	79
5. 2 Vergleich der Puzzolanaktivität von Flugasche, Hüttensand und natürlichem Zeolith, die als Zusatzstoffe für Zemente verwendet werden	79
5. 2. 1 Úvod	79
5. 2. 1 Einleitung	79
5. 2. 2 Experimentálne metódy a postupy skúšania	79
5. 2. 2 Experimentelle Methoden und Prüfverfahren	79
5. 2. 2. 1 Materiály.....	79
5. 2. 2. 1 Materialien	79
5. 2. 2. 2 Použité metódy.....	79
5. 2. 2. 2 Angewendete Methoden	79
5. 2. 2. 3 Výsledky a diskusia.....	80
5. 2. 2. 3 Ergebnisse und Diskussionen	80
5. 2. 3 Záver.....	81
5. 2. 3 Zusammenfassung.....	81
5. 3 Návrh optimálneho zloženia čerstvého betónu a stanovenie reologických vlastností čerstvých betónov.....	82
5. 3 Vorschlag zur optimalen Zusammensetzung von Frischbeton und Festlegung der rheologischen Eigenschaften von Frischbeton	82
5. 3. 1 Úvod	82
5. 3. 1 Einleitung	82

5. 3. 2 Experimentálne metódy a postupy skúšania	82
5. 3. 2 Experimentelle Methoden und Prüfverfahren	82
5. 3. 2. 1 Materiály	82
5. 3. 2. 1 Materialien	82
5. 3. 2. 2 Použité metódy	83
5. 3. 2. 2 Verwendete Methoden	83
5. 3. 2. 3 Výsledky a diskusia	83
5. 3. 2. 3 Ergebnisse und Diskussionen	83
5. 4 Stanovenie dôležitých technicky významných vlastností betónov	85
5. 4 Festlegung wichtiger technischer Eigenschaften des Betons	85
5. 4. 1 Úvod	85
5. 4. 1 Einleitung	85
5. 4. 2 Experimentálne metódy a postupy skúšania	85
5. 4. 2 Experimentelle Methoden und Prüfverfahren	85
5. 4. 2. 1 Materiály	85
5. 4. 2. 1 Materialien	85
5. 4. 2. 2 Použité metódy	86
5. 4. 2. 2 Verwendete Methoden	86
5. 4. 2. 3 Výsledky a diskusia - technicky významné vlastnosti betónu	87
5. 4. 2. 3 Ergebnisse und Diskussionen - technisch bedeutende Eigenschaften des Betons	87
5. 4. 2. 4 Výsledky a diskusia - vznik a tvorba trhlín (ESPI metóda)	92
5. 4. 2. 4 Ergebnisse und Diskussionen - Entstehung und Bildung von Rissen (ESPI-Methode)	92
5. 4. 2. 4. 1 Realizácia pokusu	92
5. 4. 2. 4. 1 Versuchsdurchführung	92
5. 4. 2. 4. 2 Skúšky v pevnosti v tlaku	93
5. 4. 2. 4. 2 Druckversuche	93
5. 4. 2. 4. 3 Zistenia pri použití celých kociek	93
5. 4. 2. 4. 3 Versuche an ganzen Würfeln	93
5. 4. 2. 4. 4 Zistenia na rezoch pri použití kociek polovičnej veľkosti	96
5. 4. 2. 4. 4 Versuche an halbierten Würfeln	96
5. 4. 2. 4. 5 Zhodnotenie súdržnosti na rozhraní cementovej matrice a zrn kameniva	96
5. 4. 2. 4. 5 Einzelkornbetrachtung	96
5. 4. 2. 4. 6 Verifikácia meraní ESPI metódy tenzometrom	97
5. 4. 2. 4. 6 Verifikation der ESPI-Messungen mittels Dehnungsmessstreifen	97
5. 4. 2. 4. 7 Skúšky v pevnosti v ťahu pri ohybe	98
5. 4. 2. 4. 7 Biegezugversuche	98
5. 4. 2. 4. 8 Dynamické skúšky	100
5. 4. 2. 4. 8 Dynamische Versuche	100
5. 4. 2. 4. 9 Výsledky a zhrnutie	103
5. 4. 2. 4. 9 Ergebnisse und Zusammenfassung	103
5. 4. 2. 5 Mikroštruktúra betónov	104
5. 4. 2. 5 Mikrostruktur des Betons	104
5. 4. 3 Záver	107
5. 4. 3 Zusammenfassung	107
5. 5 Štúdium mikroštruktúry vzniknutých hydratovaných fáz a pórovej štruktúry, vrátane permeability, na cementových kašiach rovnakého zloženia ako v betóne	108
5. 5 Studium der Mikrostruktur der entstandenen Hydratationsphasen und der Porenstruktur, einschließlich der Permeabilität, bei den Zementleimen der gleichen Zusammensetzung wie im Beton	108
5. 5. 1 Úvod	108
5. 5. 1 Einleitung	108
5. 5. 2 Použité metódy	109
5. 5. 2 Angewendete Methoden	109
5. 5. 2. 1 Plynová pyknometria	109
5. 5. 2. 1 Gaspyknometrie	109
5. 5. 2. 2 Charakterizácia povrchu práškových materiálov	112
5. 5. 2. 2 Charakterisierung der Oberfläche von Pulvermaterialien	112
5. 5. 2. 3 Röntgenová difrakčná fázová analýza	114
5. 5. 2. 3 Röntgen-Diffraktions-Phasenanalyse	114
5. 5. 2. 4. Termická analýza	118
5. 5. 2. 4. Thermische Analyse	118
5. 5. 2. 5 Ortuťová tlaková porozimetria	122
5. 5. 2. 5 Quecksilber-Druckporosimeter	122
5. 5. 2. 6 Analýza pást metódou DSC	127
5. 5. 2. 6 Analyse der Leime mit der Methode DSC	127
5. 5. 3 Záver	130
5. 5. 3 Zusammenfassung	130
5. 6 Návrh receptúry pre transportbetón za použitia cementov druhu CEM V/A a CEM V/B	133
5. 6 Vorschlag der Rezeptur für Transportbeton unter Verwendung der Zementsorten CEM V/A und CEM V/B	133
5. 6. 1 Úvod	133
5. 6. 1 Einleitung	133
5. 6. 2 Experimentálne metódy a postupy skúšania	133
5. 6. 2 Experimentelle Methoden und Prüfverfahren	133

5.6.2.1 Materiály	133
5.6.2.1 Materialien.....	133
5.6.2.2 Použité metódy	133
5.6.2.2 Angewendete Methoden.....	133
5.6.2.3 Výsledky a diskusia	134
5.6.2.3 Ergebnisse und Diskussionen.....	134
5.6.3 Záver	136
5.6.3 Zusammenfassung.....	136
5.7 Stanovenie technicky významných vlastností transportbetónov dôležitých pre prax	137
5.7 Festlegung der technisch bedeutenden Eigenschaften von Transportbeton, die wichtig für die Praxis sind.....	137
5.7.1 Úvod	137
5.7.1 Einleitung.....	137
5.7.2 Experimentálne metódy a postupy skúšania	138
5.7.2 Experimentelle Methoden und Prüfverfahren.....	138
5.7.2.1 Materiály	138
5.7.2.1 Materialien.....	138
5.7.2.2 Použité metódy	138
5.7.2.2 Angewendete Methoden.....	138
5.7.2.3 Výsledky a diskusia	138
5.7.2.3 Ergebnisse und Diskussionen.....	138
5.7.3 Záver	140
5.7.3 Zusammenfassung.....	140
5.8 Praktická demonštrácia aplikácie betónu so zmesovým cementom druhu CEM V	141
5.8 Praktische Anwendung von Beton mit der Kompositzementsorte CEM V.....	141
5.8.1 Úvod	141
5.8.1 Einleitung.....	141
5.8.2 Experimentálne metódy a postupy skúšania	141
5.8.2 Experimentelle Methoden und Prüfverfahren.....	141
5.8.2.1 Materiály	141
5.8.2.1 Materialien.....	141
5.8.2.2 Použité metódy	141
5.8.2.2 Angewendete Methoden.....	141
5.8.2.3 Výsledky a diskusia	142
5.8.2.3 Ergebnisse und Diskussion.....	142
5.8.3 Záver	144
5.8.3 Zusammenfassung.....	146
6. Záver	146
6. Zusammenfassung.....	146
7. Prehľad citovaných noriem a literatúra	149
7. Durchblick der zitierten Normen und Literatur.....	149
Podakovanie	153
Danksagung.....	153

Projekt ENVIZEO „Využitie ekocementov CEM V (A, B) druhu podľa EN 197-1 v konštrukčnom betóne“ vznikol za podpory programu „cezhraničnej spolupráce Slovenská republika - Rakúsko 2007 - 2013“, ktorého strategické ciele sú postavené na budovaní aktívneho cezhraničného regiónu, založeného na znalostnej ekonomike. Cezhraničný región, ktorý charakterizuje 60 km blízkosť dvoch hlavných miest preukazuje potenciál, ktorý disponuje možnosťou jedného z najrýchlejšie ekonomicky sa rozvíjajúcich regiónov v Európskej únii. Viedensko - bratislavský región má najvyššiu koncentráciu univerzít a výskumných centier v oboch krajinách a z toho vyplývajúce možnosti na vybudovanie ekonomicky silnej základne v rámci strednej Európy. Cezhraničný program 2007 - 2013 prispieva k vybudovaniu spoločného znalostného centra na osi Viedeň - Bratislava. Projekt ENVIZEO podporuje využitie pokročilých technológií zameraných na energetickú efektivitu v oblasti technológie betónu s netradičným cementovým spojivom CEM V/A a CEM V/B podľa EN 197-1. Projekt bol súčasťou operačného programu cezhraničnej spolupráce Slovensko - Rakúsko 2007 - 2013 v období 1. 9. 2010 až 31. 8. 2012. Partneri projektu: Technický a skúšobný ústav stavebný, n. o., Bratislava ako vedúci partner, Univerzita für Bodenkultur, Institut für konstruktiven Ingenieurbau, Wien, Ústav stavebníctva a architektúry SAV, Bratislava a cementáreň Schretter & Cie GmbH. & Co. KG, Vils. Cieľom projektu ENVIZEO je zavedenie zmesových cementov druhu CEM V/A a CEM V/B do bežnej výrobnéj a betonárskej praxe prostredníctvom normotvorných odporúčaní orientovaných

Das Projekt ENVIZEO „Nutzung der Ökozementsorten CEM V (A, B) gemäß EN 197-1 in Konstruktionsbeton“ entstand mit der Unterstützung des „Programms der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit Slowakische Republik - Österreich 2007-2013“ dessen strategische Ziele auf die Errichtung einer aktiven Grenzregion ausgerichtet sind, beruhend auf der Kenntnisökonomie einer Region, die für soziale und umweltfreundliche Aktivitäten attraktiv ist, und die eine wichtige Rolle unter den europäischen Metropolregionen spielt.

Die grenzüberschreitende Region, die in der Nähe von 60 km bei zwei Hauptstädten liegt, hat das Potenzial, eine der sich am schnellsten ökonomisch entwickelnden Regionen in der Europäischen Union zu werden. Die Region Wien-Bratislava hat die höchste Konzentration an Universitäten und Forschungszentren in beiden Ländern und daraus ergeben sich Möglichkeiten zur Errichtung einer ökonomisch starken Basis in Mitteleuropa. Das grenzübergreifende Programm 2007-2013 trägt zur Errichtung der Kenntnisregion auf der Achse Wien-Bratislava bei.

Das Projekt ENVIZEO unterstützt die Nutzung fortschrittlicher Technologien, die auf energetischer Effektivität im Bereich der Technologie Beton aus der unkonventionellen Zementverbindung CEM V/A und CEM V/B gemäß EN 197-1 beruht.

Das Projekt läuft im Operationsprogramm der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit Slowakei - Österreich 2007 - 2013 vom 1. 9. 2010 bis zum 31. 8. 2012.

Partner des Projekts: Technický a skúšobný ústav stavebný, n. o.



na aplikáciu cementu CEM V/A a CEM V/B v stavebníctve s orientáciou na európske normy. Vedeckým prínosom projektu je skutočnosť, že rakúski a slovenskí výskumní a priemerní partneri v oblasti stavebníctva budú spoločne využívať výsledky riešenia projektu. Celospoločenským prínosom projektu bude vzájomný technologický transfer medzi vedeckými komunitami vo Viedni a v Bratislave, ktorý sa neskôr predisponuje do podnikateľskej sféry v rámci regiónov.

Konkretizované ciele projektu sú nasledovné:

1. Stanovenie fyzikálno-mechanických a chemických vlastností dvoch druhov rakúskych a slovenských cementov CEM V/A a CEM V/B špecifikovaných podľa EN 197-1 [6].
2. Porovnanie puzolánovej aktivity vysokopečnej trosky, prírodného zeolitu a popolčeka použitých ako hlavné zložky do cementov.
3. Návrh optimálneho zloženia a stanovenie základných reologických vlastností čerstvých betónov.
4. Stanovenie technicky významných vlastností navrhnutých betónov.
5. Štúdium mikroštruktúry vzniknutých hydratovaných fáz a pórovej štruktúry vrátane permeability cementových kaší rovnakého zloženia ako v betóne.
6. Návrh receptúry pre transportbetón za použitia cementu CEM V/A a CEM V/B druhu.
7. Stanovenie technicky významných vlastností transportbetónov dôležitých pre prax.
8. Praktická demonstrácia aplikácie betónu za použitia cementu CEM V druhu.

Cementy použité na výskum: CEM I 32,5 R ako referenčný cement, zmesové cementy CEM V/A (S - V) 32,5 R rakúskeho a slovenského pôvodu, zmesový cement CEM V/B (S - V) 32,5 N a CEM V/B (S - P) 32,5 N rakúskej (Schretter) a slovenskej (Východoslovenské stavebné hmoty, a. s. Turňa nad Bodvou) výroby. Na projektové skúšky sa zabezpečilo takmer 6 ton cementov. Zmesové cementy CEM V/ (A, B) druhu s obsahom portlandského slinku 40 - 64 % (A), alebo 20 - 38 % (B) patria do kategórie „zelených“ ekocementov šetriacich životné prostredie. Technicky a celospoločensky významným zámerom projektu je orientácia na využitie energeticky nízko náročných cementov aplikovaných v konštrukčnom betóne tak, že úžitkové vlastnosti z nich zhotoveného betónu sú rovnaké alebo podobné parametrom betónu vyrobeného z vysoko energetického portlandského cementu. Výroba zmesových cementov v porovnaní s portlandským cementom preukazuje zníženie ekonomických nákladov a úsporu na emisiách CO₂ uvoľnených do ovzdušia.

(Technisches und Prüfinstitut für Bauwesen), Bratislava als leitender Partner.

Mitarbeitende Organisationen: Universität für Bodenkultur, Institut für konstruktiven Ingenieurbau, Wien, Ústav stavebníctva a architektúry SAV, Bratislava und Zementwerk Schretter & Cie GmbH. & Co. KG, Vils.

Ziel des Projekts ENVIZEO ist die Einführung der Kompositzementsorten CEM V/A und CEM V/B in der üblichen Produktions- und Betonarbeitspraxis mittels normbildender Empfehlungen, die auf die Verwendung der Zemente CEM V/A und CEM V/B im Bauwesen ausgerichtet ist, mit Orientierung auf die europäische Norm – EN. Wissenschaftlicher Beitrag des Projekts ist die Tatsache, dass österreichische und slowakische Forschungs- und Industriepartner im Bereich Bauwesen von den Ergebnissen des Projekts profitieren werden. Gesamtgesellschaftlicher Beitrag dieses Projekts wird der gegenseitige technologische Transfer zwischen den wissenschaftlichen Gemeinden in Wien und in Bratislava, der später ins unternehmerische Umfeld der Region übertragen wird.

Die konkretisierten Ziele des Projekts lauten wie folgt:

1. Festlegung der physikalisch mechanischen und chemischen Eigenschaften der beiden Zementsorten CEM V/ (A und B) gemäß EN 197-1 [6] aus Österreich und aus der Slowakei.
2. Vergleich der Puzzolanaktivität der Hüttensand, des natürlichen Zeoliths und der Flugasche als Zementzusatzstoffe im Zement.
3. Vorschlag der optimalen Zusammensetzung der Zementmischung und Festlegung der grundlegenden rheologischen Eigenschaften von Frischbeton.
4. Festlegung wichtiger technisch bedeutsamer Eigenschaften der vorgeschlagenen Betonsorten.
5. Studium der Mikrostrukturen der entstandenen Hydratationsphasen und Porenstrukturen, einschließlich der Permeabilität der Zementbreie gleicher Zusammensetzung wie im Beton.
6. Vorschlag von Rezepturen für Transportbeton unter Verwendung der Zementsorten CEM V/A und CEM V/B.
7. Festlegung der technisch bedeutenden Eigenschaften von Transportbeton, die wichtig für die Praxis sind.
8. Praktische Demonstration der Verwendung von Beton aus Kompositzement der Sorte CEM V.

Für die Forschung verwendete Zemente: CEM I 32,5 R als Referenzzement, Kompositzemente CEM V/A (S - V) 32,5 R österreichischer und slowakischer Herkunft, Kompositzement CEM V/B (S - V) 32,5 N und CEM V/B (S - P) 32,5 N aus Österreich (Schretter) und aus der Slowakei (Východoslovenské stavebné hmoty, a. s. Turňa nad Bodvou). Für die Projekttests wurde bis zu 6 Tonne der Zemente hergestellt. Kompositzemente CEM V/ (A, B) mit Gehalt an Portlandklinker 40 - 64 % (A) oder 20 - 38 % (B) gehören zur Kategorie „grüner“ Ökozemente, die umweltschonend sind. Das technisch und gesamtgesellschaftlich bedeutende Ziel des Projekts ist die Orientierung auf die Nutzung energetisch wenig anspruchsvoller Zemente in Konstruktionsbeton so, dass die Nutzeigenschaften des daraus gefertigten Betons gleiche oder ähnliche Parameter wie Beton aus hochenergetischem Portlandzement hat. Die Herstellung von Kompositzementen beweist die Senkung der ökonomischen Kosten und Einsparungen bei CO₂-Emissionen, die in die Luft abgegeben werden, im Vergleich zu Portlandzement.

2. Partneri projektu

Technický a skúšobný ústav stavebný, n. o., Bratislava

Technický a skúšobný ústav stavebný, n. o. už takmer 60 rokov skúša a posudzuje vhodnosť a kvalitu stavebných výrobkov a konštrukcií a poskytuje ďalšie odborné služby slovenskému stavebníctvu. V súčasnosti pracuje 145 zamestnancov na riaditeľstve a v 8 pobočkách ústavu, ktoré sa nachádzajú v Bratislave, Novom Meste nad Váhom, Nitre, Zvolene, Žiline, Košiciach, Prešove a v Tatranskej Štrbe.

Zakladateľmi ústavu ako neziskovej organizácie sú Ministerstvo výstavby a regionálneho rozvoja SR (v súčasnosti Ministerstvo dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja) a zamestnanci ústavu.

Štatút neziskovej organizácie zaručuje ústavu nestrannosť a nezávislosť, ktorá je ďalej dokumentovaná Deklaráciou nezávislosti ústavu.

Hlavné činnosti ústav vykonáva v nasledovných oblastiach:

V oblasti „Stavebné výrobky“:

- Technické osvedčovanie stavebných výrobkov a vydávanie európskych a národných technických osvedčení podľa zákona č. 90/1998 Z. z. ako Osvedčovací miesto OM04 podľa rozsahu oprávnenia udelenom MVRR SR, resp. MDVRR SR,
- Preukazovanie zhody stavebných výrobkov podľa zákona č. 90/1998 Z. z. ako Notifikovaná osoba č. 1301 a Autorizovaná osoba SK04 v rozsahu autorizácie udelenej MVRR SR, resp. MDVRR SR,
- Skúšanie stavebných materiálov akreditovaným skúšobným laboratóriom.

V oblasti „Stavebné konštrukcie“:

- Vykonávanie statických a dynamických zaťažovacích skúšok mostov a iných stavebných konštrukcií,
- Statické a dynamické výpočty stavebných i strojných konštrukcií.

V oblasti „Stavebné práce“:

Posudzovanie spôsobilosti stavebných firiem vykonávať špeciálne stavebné práce:

- vydávanie licencií na dodatočné zatepľovanie budov,
- vydávanie licencií na realizáciu tepelnoizolačných a hydroizolačných systémov plochých striech.

2. Partner des Projekts

Technisches Prüfinstitut für Bauwesen, Bratislava

Technický a skúšobný ústav stavebný, n. o. prüft und beurteilt seit fast 60 Jahren die Eignung und Qualität von Bauerzeugnissen und Baukonstruktionen und bietet weitere Fachdienstleistungen für das slowakische Bauwesen.

Gegenwärtig arbeiten 145 Beschäftigte in der Direktion und in 8 Zweigstellen des Instituts in Bratislava, Nové Mesto nad Váhom, Nitra, Zvolen, Žilina, Košice, Prešov und in Tatranská Štrba.

Gründer der gemeinnützigen Organisation sind das Ministerium für Bau und regionale Entwicklung der SR (gegenwärtig das Ministerium für Transport, Bau und regionale Entwicklung) und eine Gruppe von Mitarbeitern des Instituts. Die Satzung der gemeinnützigen Organisation garantiert Unparteilichkeit und Unabhängigkeit, die auch in der Deklaration der Unabhängigkeit des Instituts betont wird.

Die Haupttätigkeiten des Instituts liegen in folgenden Bereichen:

Im Bereich „Bauerzeugnisse“:

- Technische Bescheinigung für Bauerzeugnisse und Ausstellung europäischer und nationaler Bescheinigungen gemäß Gesetz Nr. 90/1998 Slg. als Bescheinigungsort OM04 laut Umfang der Berechtigung des MVRR SR, bzw. MDVRR SR,
- Nachweis der Eignung von Bauerzeugnissen gemäß Gesetz Nr. 90/1998 Slg. als notifizierende Person / Institution Nr. 1301 und autorisierte Person SK04 im Umfang der Autorisierung durch das MVRR SR, bzw. MDVRR SR,
- Prüfung von Baumaterialien durch ein akkreditiertes Prüflaboratorium.

Im Bereich „Baukonstruktionen“:

- Durchführung statischer und dynamischer Belastungsprüfungen von Brücken und anderen Baukonstruktionen,
- statische und dynamische Berechnung von Bau- und Maschinenkonstruktionen.

Im Bereich „Bauarbeiten“:

Beurteilung der Befähigung von Baufirmen für die Ausführung spezieller Bauarbeiten:

- Ausstellung von Lizenzen für die nachträgliche Wärmeisolierung von Gebäuden,



V oblasti „Poruchy stavieb“:

- Ústav ako znalecká organizácia sa profesijne špecializuje predovšetkým na diagnostiku stavieb a znalecké posudky v odvetviach: poruchy stavieb, stavebné materiály, pozemné stavby, stavebné konštrukcie, stavebná fyzika a statika stavieb.
- Tepelnotechnické prieskumy budov termografiou a bezkontaktné termografické diagnostiky porúch teplovodov, vymuroviek pecí, elektrických rozvodov a pod.
- Poradenstvo pre sanáciu porúch.

V oblasti „Stavebné stroje“:

- Posudzovanie zhody stavebných strojov a zariadení podľa zákona č. 264/1999 Z. z. a nariadenia vlády č. 310/2004 Z. z.

V oblasti „Hluk a vibrácie“:

- Meranie a posudzovanie hluku vo vnútornom i vonkajšom prostredí.
- Meranie vibrácií a posudzovanie ich vplyvu na pracovné prostredie a stavebné i strojné konštrukcie.

V oblasti „Tenzometria“:

- Meranie napätí (pomerných deformácií) na stavebných i strojných konštrukciách, ako aj celkových deformácií (priehybov) a teplôt.
- Vývoj a výroba monitorovacích, skúšobných a meracích zariadení.

V oblasti „Kalibrácia meradiel“:

- Overovanie a kalibrácia meradiel Metrologickým laboratóriom ako autorizovanej osoby na výkon overovania určených meradiel a akreditovaným kalibračným laboratóriom č. K 018.

V oblasti „Systémy kvality“:

- Certifikácia a dohľad systémov manažérstva kvality, systémov environmentálneho manažérstva a systémov manažérstva bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci.

V oblasti „Projekty stavieb“:

- Vypracovávanie dokumentácie a projektov stavieb, drobných stavieb a zmien týchto stavieb.

V oblasti „Energetická certifikácia“:

- Vykonávanie energetickej certifikácie budov podľa zákona č. 555/2005 Z. z.

V oblasti „Výskum a vývoj“:

- Riešenie výskumných a vývojových úloh z oblasti stavebných materiálov, konštrukcií budov a inžinierskych stavieb, diagnostických a skúšobných metód.

**IKI - Inštitút pre konštrukčné inžinierske staviteľstvo
Odbor Stavebná technika & prírodné riziká, Viedeň**

Univerzita pre pôdoznalectvo vo Viedni už od roku 1883 spracováva stavebno technické aspekty „rekultivácie krajiny“ (cultura). Ak by sme sa už v minulosti viac snažili porozumieť potrebám prírody, tak dnes sme mohli byť ďalej vo svojej snahe o dosiahnutie bezpečnej a udržateľnej budúcnosti. Preto sú tieto snahy neustále podporované nielen vo výučbe, ale i vo výskume.

- Ausstellung von Lizenzen für die Realisierung von Wärme- und Hydroisolierungssystemen auf Flachdächern.

Im Bereich „Baustörungen“:

- das Institut spezialisiert sich als Gutachterorganisation vor allem auf die Diagnostik von Bauten und Gutachten in den Bereichen Baustörungen, Baumaterialien, Tiefbauten, Baukonstruktionen, Bauphysik und Baustatik,
- wärmetechnische Erforschung von Gebäuden durch Thermografie und kontaktfreie thermografische Diagnostik von Mängeln Schaden bei Wärmeleitungen, Ofenmauern, elektrischen Leitungen u. Ä.,
- Beratung bei der Sanierung von Mängeln.

Im Bereich „Baumaschinen“:

- Beurteilung der Eignung von Baumaschinen und Anlagen gemäß Gesetz Nr. 264/1999 Slg. und Regierungsverordnung Nr. 310/2004 Slg.

Im Bereich „Lärm und Vibration“:

- Messung und Beurteilung von Lärm im inneren und äußeren Umfeld,
- Messung von Vibrationen und Beurteilung ihres Einflusses auf das Arbeitsumfeld und auf Bau- und Maschinenkonstruktionen.

Im Bereich „Tensiometrie“:

- Messung der Spannung (verhältnismäßiger Deformation) bei Bau- und Maschinenkonstruktionen, wie auch der Gesamtdeformation (Verzug) und Temperaturen,
- Entwicklung und Herstellung von Monitoring-, Prüf- und Messanlagen.

Im Bereich „Kalibrierung von Messgeräten“:

- Überprüfung und Kalibrierung von Messgeräten durch das Metrologische Laboratorium als autorisierte Person zur Durchführung von Überprüfungen bestimmter Messgeräte durch das akkreditierte Kalibrierungslaboratorium Nr. K 018.

Im Bereich „Qualitätssystem“:

- Zertifizierung und Aufsicht über Systeme des Qualitätsmanagements, Systeme des Umweltmanagements und Systeme des Sicherheits- und Arbeitsschutzmanagements.

Im Bereich „Bauprojekte“:

- Ausarbeitung von Dokumentationen und Bauprojekten, Kleinbauten und Änderungen dieser Bauten.

Im Bereich „Energetische Zertifizierung“:

- Ausführung der energetischen Zertifizierung von Gebäuden gemäß Gesetz Nr. 555/2005 Slg. über energetische Wirtschaftlichkeit von Gebäuden im Wortlaut der letzten Novellen.

Im Bereich „Forschung und Entwicklung“:

- Lösung von Forschungs- und Entwicklungsaufgaben aus den Bereichen Baumaterialien, Konstruktion von Gebäuden und Ingenieurbauten, Diagnostik- und Prüfmethode.

**IKI - Institut für Konstruktiven Ingenieurbau
Department für Bautechnik und Naturgefahren,
Wien**

Bereits im Jahre 1883 wurden die bautechnischen Aspekte im Zuge der „Nutzbarmachung des Landes“ (cultura) an der Universität für Bodenkultur Wien behandelt. Hat man früher versucht sich in der Natur zurecht zu finden, so beginnen wir heute die Natur zu verstehen und wollen mit ihr für eine sichere und nachhaltige Zukunft sorgen. In Lehre und Forschung findet diese Streben immer wieder Ausdruck.

Kvalifikované a odborné vzdelanie zamestnancov v odborných technických a prírodovedeckých disciplínach je základom štyroch hlavných oblastí práci IKI, ktorými sú: **1. výučba, 2. základný výskum, 3. aplikovaný výskum, 4. posudky.**

Výučba

V inštitúte pre konštrukčné inžinierske staviteľstvo sú študenti oboznámení so základnou problematikou a sú im poskytnuté potrebné odborné vedomosti, ktoré im pomôžu zabezpečiť efektívne riešenie problémov vyplývajúcich zo štandardného života inžinierov. Toto sa uskutočňuje cieľovo orientovanými učebnými podujatiami a v mnohých prípadoch individuálnym prístupom.

V základných odvetviach ako sú mechanika, statika a náuka o pevnosti a konštrukciách sú študentom sprostredkované vedomosti a spôsobilosti potrebné pre riešenie stavebno-technických úloh. Na prednáškach ako sú inžinierske nosné sústavy, výstavba mostov, FEM, prehradenie horských potokov, bezpečnosť a riziká technických systémov a mnohé iné sú podporované individuálne záujmy.

Obsah výučby

- mechanika, stavebná statika, konštrukcia
- pozemné staviteľstvo, výstavba orientovaná na prírodné zdroje
- stavebné hospodárstvo a manažment projektov
- realizácia stavieb a plánovanie procesov
- údržba stavieb
- materiálové inžinierstvo
- technika spevňovania a spájania
- protipožiarna ochrana
- bezpečnosť a spoľahlivosť
- výpočtová statika, FEM

Základný výskum

V oblasti základného výskumu ide o tematické zamerania na bezpečnosť a špeciálne odborné oblasti „Probabilistické a stochastické modelovanie“, „teplota, výskum požiarov: pozemné staviteľstvo a výstavba tunelov“, „modelovanie konštrukčných a deformačných vlastností“, ako i „analýzy životného cyklu“ a „monitorovanie“.

Aplikovaný výskum

V spolupráci s významnými firmami z hospodárskej oblasti, ale aj formou dodávateľov verejných služieb sa realizuje výskum v oblastiach upevňovacej techniky, technológie betónu – vysokopevnostné betóny, sklenené konštrukcie (structural glazing) a upevňovacie technológie, spájanie dreva, hodnotenie škôd inžinierskych konštrukcií, kontrola stavebných diel, stavby orientované na prírodné zdroje, analýzy štruktúr, pravdepodobnostné výpočty existujúcich inžinierskych stavieb a ochranné konštrukcie proti prírodným nebezpečenstvám.

Ťažiská výskumu sú:

- Plánovanie životnosti inžinierskych štruktúr – výskum bezpečnosti

Oblasť zodpovednosti inštitútu sa nachádza v rozsahu údržby stavieb a hodnotenia životnosti. V rámci tejto oblasti výskumu sem patria hodnotenia inžinierskych stavieb a infraštruktúr ohľadom nosnosti, použiteľnosti a životnosti v prípade prirodzených a umelo vytvorených vplyvov životného prostredia, identifikácia škôd a optimalizácia plánovania údržby a životnosti. Veľké množstvo projektov v spolupráci s priemyselnými partnermi dokumentuje angažovanosť a zodpovednosť tejto výskumného oddelenia.

Eine fundierte und solide Ausbildung in den technischen und naturwissenschaftlichen Fachdisziplinen der Mitarbeiter gilt als Fundament für das von 4 Säulen getragene IKI. Diese 4 Säulen lauten: **1. Lehre, 2. Grundlagenforschung, 3. Angewandte Forschung, 4. Gutachten.**

Lehre

Am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau werden den Studenten die wesentlichen Grundlagen und das notwendige Fachwissen vermittelt, die schließlich eine effiziente Lösung von Problemen aus dem Alltag eines Ingenieurs sicherstellen sollen. Dies geschieht durch zielorientierte Lehrveranstaltungen und in vielen Fällen individuelle Betreuung.

In den Grundlagefächern Mechanik, Baustatik und Festigkeitslehre und Konstruktion wird den StudentInnen das Rüstzeug zur Lösung bautechnischer Aufgaben vermittelt. In weiterführenden Vorlesungen wie Ingenieurtragwerke, Brückenbau, FEM, Wildbachsperrern, Sicherheit und Risiken technischer Systeme und vielen anderen, werden individuelle Interessen gefördert.

Lehrinhalte

- Mechanik, Baustatik, Konstruktion
- Hochbau, Ressourcenorientiertes Bauen
- Bauwirtschaft und Projektmanagement
- Bauabwicklung und Prozessplanung
- Bauerhaltung
- Werkstoffkunde
- Befestigungs- und Verbindungstechnik
- Brandschutz
- Sicherheit und Zuverlässigkeit
- Computerstatik, FEM

Grundlagenforschung

Im Bereich der Grundlagenforschung werden die Themenreihen der Sicherheit behandelt. Hier werden speziell die Fachgebiete „Probabilistische und stochastische Modellierungen“, „Temperatur, Brand- Untersuchungen: Hoch- und Tunnelbau“, „Modellierung des Trag- und Verformungsverhaltens“ sowie „Life-Cycle Analysis“ und „Monitoring“ behandelt.

Angewandte Forschung

In Kooperation mit bedeutenden Firmen aus der Wirtschaft aber auch als Auftragnehmer von öffentlichen Dienststellen wird in den Bereichen Befestigungstechnik, Betontechnologie – Hochleistungsbetone, Glaskonstruktionen (structural glazing) und Befestigungstechnologie, Holzverbindungen, Schadensbewertung von Ingenieurkonstruktionen, Bauwerksüberwachung, Ressourcenoptimiertes Bauen, Strukturanalysen, Probabilistische Berechnung existierender Ingenieurtragwerke und Schutzkonstruktionen gegen

Naturgefahren geforscht. Forschungsschwerpunkte sind:

- Lebenszeitplanung von Ingenieurstrukturen - Sicherheitsforschung

Ein Kompetenzfeld des Institutes liegt im Bereich der Bauwerkserhaltung und Lebenszeitbewertung. Innerhalb dieses Forschungsbereiches fallen die Bewertung von Ingenieurstrukturen und Infrastruktur hinsichtlich Tragfähigkeit, Benutzbarkeit und Dauerhaftigkeit unter natürlichen und künstlichen Umwelteinflüssen, die Identifikation von Schäden und die Optimierung

- **Ochranné stavby**
Ochranné stavby sú inžinierske stavebné diela, ktorých úlohou je eliminovať vplyvy prírodných nebezpečenstiev, ktoré ohrozujú oblasti osídlené ľuďmi, v akceptovateľných hraniciach. Tieto technické stavebné zabezpečenia sa realizujú v súčinnosti s lesohospodárskymi opatreniami a opatreniami územného plánovania. Ochranné stavby podliehajú podľa druhu zaťaženia extrémnemu opotrebovaniu a procesom starnutia. Inštitút sa dlhodobo zaoberá meraním a konštrukčným prepracovaním ochranných stavebných diel. Okrem toho sa už dlhší čas vyvíjajú štandardy a metódy pre posudzovanie stavu, kontrolu, inšpekciu a údržbu ochranných stavebných diel.
- **Technika upevňovania**
Pracovný tím „Upevňovacia technika“ vykonáva výskum základných bodov a zaoberá sa hlavne rôznymi upevňovacími prvkami (rozpierača hmoždina, plastové a spájacie upevňovacie prvky a zamurované výstužné tyče) v betóne pri statickom a dynamickom zaťažení. Za týmto účelom sa používajú experimentálne a numerické metódy, aby bolo možné pozorovať a skúmať nosnosť a mechanizmy zlyhania upevňovacích prvkov v betóne.
- **Stavby orientované na využívanie prírodných zdrojov**
Pracovný tím „Stavby orientované na prírodné zdroje“ sa zaoberá plánovaním a hodnotením stavebných diel pre optimálne využívanie prírodných zdrojov a s tým spojených vplyvov dôležitých pre trvalo udržateľný rozvoj. Skúmajú sa etapy výroby stavebných materiálov, okolnosti zriaďovania stavieb, prevádzky, údržby a servisu, ako aj opätovné využitie už raz použitých prírodných zdrojov. Pozornosť sa venuje aj vývoju ekologických pasívnych budov.

Posudky

Z komerčného hľadiska je pre BOKU - IKI nevyhnutná činnosť znalcov. K najdôležitejším oblastiam tejto činnosti patria:

- Povolenie stavebných výrobkov a stavebných systémov: betón, drevo, oceľ, sklo, tvrdené plasty, murované diela a experimentálny výskum
- Upevňovacia technika
- Monitorovanie stavebných diel
- Experimentálny výskum stavebných materiálov a systémov do 2000 kN
- Numerické statické výpočty existujúcich stavebných konštrukcií
- Pravdepodobnostné výpočty a hodnotenie bezpečnosti

Vybavenie

Okrem vlastného inštitútu disponuje IKI aj skúšobnou halou a technickým vybavením v objekte Schwachhöferhaus. Ako akreditovaná skúšobna používa podľa ETAG 001, ACI 355. 2, ICCES AC308 a EN 12390-3 aj príslušenstvo pre skúšky potrebné pre technické povolenia ako aj pre výskumné úlohy. Pre realizáciu množstva pokusov sú k dispozícii rôznorodé elektro – mechanické skúšobné stroje pre zaťaženie do 50 kN, trojosové servohydraulické skúšobné zariadenie do 2000 kN, prístroj pre určovanie predpínacej sily skrutičiek, klimatická komora s teplotou od – 40 °C do + 180 °C a skúšobný lis pre stanovenie pevnosti v tlaku betónu.

der Erhaltungs- und Lebenszeitplanung. Zahlreiche Projekte gemeinsam mit industriellen Partnern zeigen das Engagement und die Kompetenz dieser Forschungsgruppe.

- **Schutzbauwerke**
Schutzbauwerke sind Ingenieurbauwerke, deren Aufgabe es ist die Auswirkungen von Naturgefahren auf den menschlichen Siedlungsraum in akzeptablen Grenzen zu halten. Diese technischen Verbauungsmaßnahmen werden ergänzend zu forstwirtschaftlichen und raumplanerischen Maßnahmen errichtet und unterliegen aufgrund der Art der Belastung extremen Verschleiß- und Alterungsprozessen. Das Institut beschäftigt sich seit Jahren mit der Bemessung und konstruktiven Durchbildung von Schutzbauwerken. Weiters werden seit einiger Zeit Standards und Methoden zur Zustandsbeurteilung, Überwachung, Inspektion und Instandsetzung von Schutzbauwerken entwickelt.
- **Befestigungstechnik**
Die Arbeitsgruppe „Befestigungstechnik“ betreibt Grundlagenforschung und beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit den verschiedenen Befestigungselementen (Spreiz-, Hinterschnitt-, Kunststoff-, Verbunddübel und eingemörtelte Bewehrungsstäbe) im ungerissenen und gerissenen Beton unter statischer und dynamischer Belastung. Dazu werden experimentelle und numerische Methoden eingesetzt, um Tragverhalten und Versagensmechanismen von Befestigungen in Beton zu untersuchen.
- **Ressourcenorientiertes nachhaltiges Bauen**
Die Arbeitsgruppe „Ressourcenorientiertes Bauen“ beschäftigt sich mit der Planung und Evaluierung von Bauwerken hinsichtlich optimiertem Ressourceneinsatz und damit verbundener Auswirkungen, gemäß dem Leitgedanken einer Nachhaltigen Entwicklung. Untersucht werden die Lebensphasen Baustoffproduktion, Bauwerkerrichtung, Betrieb, Instandhaltung und Instandsetzung sowie Rückbau, Verwertung und Entsorgung. Das Konzept von ökologischen Passivhäusern wird unterstützt und weiterentwickelt.

Gutachten

Die Tätigkeit als Gutachter ist für das IKI als kommerzielle Einrichtung unverzichtbar. Zu den wichtigsten Tätigkeitsfeldern zählen:

- Zulassung von Bauprodukten und Bausysteme: Beton, Holz, Stahl, Glas, Verstärkte Kunststoffe, Mauerwerk und Experimentelle Untersuchungen
- Befestigungstechnik
- Monitoring von Bauwerken
- Experimentelle Untersuchungen von Baustoffen und Systemen bis 2000 kN
- Numerische baustatische Untersuchungen von bestehenden Baustrukturen
- Probabilistische Berechnungen und Sicherheitsbewertungen

Ausstattung

Neben dem eigentlichen Institut verfügt das IKI über eine Prüfhalle und ein Technikum im Keller des Schwachhöferhauses. Als akkreditierte Prüfanstalt entsprechend ETAG 001, ACI 355. 2, ICC ES AC308 und EN 12390-3 wird das Equipment v. a. für Zulassungsversuche aber auch für Forschungsaufgaben eingesetzt. Für die Durchführung der unterschiedlichen Versuche stehen eine elektro-mechanische Prüfmaschine für Lasten bis 50 kN, eine dreiaxiale servohydraulische Prüfmaschine bis 2000 kN, ein Gerät zur Bestimmung von Vorspannkraften von Schrauben, eine Klimakammer mit einem Bereich von - 40 °C bis + 180 °C und eine Betondruckprüfmaschine zur Verfügung.

Schretter & Cie GmbH & Co KG, Vils

Schretter & Cie je stredoeurópska spoločnosť zameraná na priemyselnú oblasť minerálnych látok. Od založenia firmy v roku 1899 je Schretter & Cie súkromnou a nezávislou spoločnosťou. Angažovanosť a šikovnosť pracovníkov, ako aj vynikajúca surovínová základňa umožňujú výrobu základných stavebných materiálov ako sú cement, vápno a sadra, ako aj celý rad špeciálnych spojív a špeciálnych stavebných materiálov s najvyššou triedou kvality.

Schretter & Cie vyrába široký sortiment normovaných a špeciálnych cementov atď.

Východiskové materiály pre výrobu sú prírodné suroviny vápenc a slieň, ktoré sa získavajú priamo v lokalite Vils.

Šírka výrobného sortimentu sa odzrkadľuje v možnostiach ich použitia ako sú: normálny cement, špeciálne cementy pre betónové stropy, elektrárne, komunikácie, výstavba ochranných diel proti lavínam, tunely alebo budovanie štôlní a mnohé ďalšie. Hlavné vlastnosti sú prezentované v norme o cemente. Interné výrobné predpisy sú ešte prísnejšie ako norma a zákazníkovi garantujú rovnako vysokú kvalitu. Všetky cementy sa dodávajú bez šesťmocného chrómu.

Slovenská akadémia vied, Bratislava

Slovenská akadémia vied je samosprávna vedecká inštitúcia zameraná na rozvoj vedy, vzdelanosti, kultúry a ekonomiky. Hlavným poslaním SAV a jej organizácií je realizovať základný a aplikovaný výskum v širokom spektre technických, prírodných, humanitných a spoločenských vied. Výskumnou činnosťou sa SAV usiluje rozvíjať poznanie na medzinárodnej úrovni, pričom rešpektuje aktuálne potreby slovenskej spoločnosti a domácej kultúry. Organizácie akadémie sa v spolupráci s vysokými školami podieľajú na vzdelávaní, najmä výchovou mladých vedcov, ale i pedagogickou aktivitou na vysokých školách. Prostredníctvom bilaterálnych a multilaterálnych vedeckých medzinárodných a domácich projektov, osobitne zo zdrojov štrukturálnych fondov EÚ, a členstva v medzinárodných asociáciách a inštitúciách rozvíja SAV rozsiahlu medzinárodnú spoluprácu, čím začleňuje slovenskú vedu do nadnárodného kontextu.

Schretter & Cie GmbH & Co KG, Vils

Schretter & Cie ist ein mittelständisches Unternehmen der Mineralstoffindustrie. Seit der Firmengründung 1899 behauptet sich Schretter & Cie als privates und unabhängiges Unternehmen. Engagement und Können der Mitarbeiter sowie eine hervorragende Rohstoffbasis ermöglichen die Herstellung der mineralischen Grundbaustoffe Zement, Kalk und Gips sowie einer Reihe von Spezialbindemitteln und Spezialbaustoffen auf höchstem Qualitätsniveau.

Schretter & Cie erzeugt eine breite Palette an Norm- und Spezialzementen u. a.

Ausgangsmaterialien für die Produktion sind die natürlichen Rohstoffe Kalkstein und Mergel, die in Vils vor Ort gewonnen werden.

Die Sortenvielfalt spiegelt zugleich die Vielfalt der Einsatzmöglichkeiten wieder: Normaler Bauzement, Spezialzemente für Betondecken, Kraftwerke, Straßen, Lawinenschutz-, Tunnel- oder Stollenbau und viele mehr. Hauptmerkmale werden von der Zementnorm vorgegeben.

Die internen Produktionsvorgaben sind weit enger gefasst und garantieren dem Kunden eine gleichmäßig hohe Qualität. Sämtliche Zemente werden chromatarm ausgeliefert.

Slowakische Wissenschaftsakademie, Bratislava

Slowakische Akademie der Wissenschaften (AdW) ist eine, eigenständige wissenschaftliche Institution die an Wissenschaft-, Kultur-, und Ökonomieentwicklung gerichtet ist. Die hauptsächliche Mission der Slowakischen AdW und ihrer Organisationen ist eine elementare und ungewandte Forschung in breitem Spektrum der Technischen-, Natur-, Geistes- und Gesellschaftswissenschaften auszuführen.

Mit Forschungstätigkeit triebt sich auf die Slowakische AdW der Erkenntnis an das internationale Niveau einzuwickeln, bei Berücksichtigung der aktuellen Bedarfe der slowakischen Gesellschaft und einheimischen Kultur.

Die Akademieorganisationen in Zusammenarbeit mit Hochschulen haben an der Ausbildung Anteil, besonders mit der Erziehung der jungen Gelehrte aber auch mit der pädagogischen Aktivität in Hochschulen.

Durch der bilateralen und multilateralen wissenschaftlichen internationalen und heimatlichen Projekte, extra aus Strukturfonde der Europäische Gemeinschaft (EG), und wie ein Mitglied in internationalen Assoziationen und Institutionen, entwickelt Slowakische AdW eine ausdehnte internationale Zusammenarbeit, wodurch die slowakische Wissenschaft in multinationalen Kontext einreihet.

3. Zmesové cementy CEM V / (A, B) druhu a ich použiteľnosť v betóne podľa kritérií EN 206-1 (technická štúdia)

3.1 Vymedzenie predmetu a rozsahu štúdie

Táto štúdia obsahuje základné údaje o druhoch agresívnych prostredí pôsobiacich na betónové konštrukcie, o činiteľoch agresivity prostredia a odolnosti betónu a o hlavných zásadách normovania agresivity prostredia, pôsobiaceho na betónové konštrukcie, podľa špecifikácií uvedených v slovenskej [1] a rakúskej verzii [2] normy EN 206-1.

3.2 Činitele agresivity

3.2.1 Činitele agresivity prostredia

Z činiteľov agresivity prostredia najdôležitejšie faktory agresívneho pôsobenia na betón predstavujú druhy a stupne agresívneho prostredia, teplota pri kvapalnom a plynnom prostredí, tlak a rýchlosť výmeny agresívneho média, prípadne súčasné pôsobenie dvoch alebo viacerých druhov agresivity.

3.2.1.1 Druhy agresívneho pôsobenia

Prehľad druhov a stupňov agresívneho pôsobenia na betón podľa tabuľky 1 STN EN 206-1/NA: 2009 [3] stanovuje nasledujúca tabuľka 3. 1. Ako vyplýva z tejto tabuľky, korozívne pôsobenie karbonatáciou a účinkom chloridov sa týka hlavne korózie ocelevej výstuže, resp. iných

3. Kompositzemente CEM V / (A, B) und deren Nutzbarkeit in Beton nach den Kriterien der Norm EN 206-1 (technische Studie)

3.1 Eingrenzung des Gegenstands und des Umfangs der Studie

Diese Studie enthält Basisangaben über die Arten aggressiver Umgebungen, die auf Betonkonstruktionen einwirken, über Faktoren der Aggressivität von Umgebungen und die Beständigkeit von Beton, sowie über die Hauptgrundsätze der Normierung der Aggressivität der Umgebung, die auf Betonkonstruktionen einwirkt, und zwar nach Spezifikation in der slowakischen [1] und österreichischen [2] Norm EN 206-1.

3.2 Aggressivitätsfaktoren

3.2.1 Faktoren der Aggressivität der Umgebung

Von den Faktoren der Aggressivität der Umgebung sind die wichtigsten Faktoren der aggressiven Einwirkungen auf Beton die Arten und Klassen der aggressiven Umgebung, die Temperatur, bei Flüssigkeits- und Gasumgebung der Druck und die Geschwindigkeit des Austauschs aggressiver Medien, bzw. die gleichzeitige Einwirkung von zwei oder mehr Arten von Aggressivität.

3.2.1.1 Arten aggressiver Einwirkungen

Eine Übersicht über die Arten und Klassen aggressiver Einwirkungen auf Beton laut Tabelle 1 STN EN 206-1/NA: 2009 [3] gibt die folgende Tabelle 1. Wie sich aus Tabelle 3. 1 ergibt, betrifft die Korrosionswirkung der Karbonatisierung und die Wirkung von Chloriden hauptsächlich die Korrosion



Tabuľka 3. 1 Druhy a stupne agresívneho pôsobenia podľa STN EN 206-1/NA: 2009

Tabelle 3. 1 Arten und Klassen aggressiver Einwirkung laut STN EN 206-1/NA: 2009

	Popis prostredia / Beschreibung der Umgebung	Označenie stupňa / Expositions-klasse
1	Betón bez výstuže alebo zabudovaných kovových vložiek, betón s výstužou alebo zabudovanými kovovými vložkami bez nebezpečenstva korózie alebo narušenia / Beton ohne Bewehrung oder eingebettetes Metall, Beton mit Bewehrung oder eingebettetem Metall ohne Korrosions- oder Angriffsrisiko	X0
2	Korózia betónu obsahujúceho výstuž alebo iné kovové vložky vplyvom karbonatácie / Korrosion von Beton mit Bewehrung oder eingebettetem Metall durch den Einfluss von Karbonatisierung	XC1, XC2, XC3, XC4
3	Korózia betónu s výstužou alebo inými kovovými vložkami vplyvom chloridov, nie však z morskej vody / Korrosion von Beton mit Bewehrung oder eingebettetem Metall durch den Einfluss von Chloriden, die nicht aus Meerwasser stammen	XD1, XD2, XD3
4	Korózia betónu s výstužou alebo inými kovovými vložkami vplyvom chloridov z morskej vody / Korrosion von Beton mit Bewehrung oder eingebettetem Metall durch den Einfluss von Chloriden aus Meerwasser	XS1, XS2, XS3
5	Korózia betónu striedavým pôsobením mrazu a rozmrazovania s rozmrazovacími prostriedkami alebo bez nich / Korrosion von Beton durch wechselseitigen Einfluss von Frost und Auftauen mit oder ohne Taumittel	XF1, XF2, XF3, XF4
6	Korózia betónu vplyvom chemického pôsobenia / Korrosion von Beton durch chemischen Einfluss	XA1, XA2, XA3

kovových prvkov (vložiek), zatiaľ čo predmetom korózie striedavým pôsobením mrazu a rozmrazovania a chemickým pôsobením je predovšetkým betón.

Druhy a stupne agresívneho pôsobenia na betón sú vymedzené v tabuľke 3. 1 už v pôvodných normách, a to v slovenskej STN EN 206-1: 2002 [1] a českej ČSN 206-1: 2000 [4]. V Rakúsku sa používa nemecká verzia normy EN 206-1 z decembra 2000 so Zmenou 1 z júla 2004 a Zmenou 2 z júna 2005 [2]. V národných prílohách, v slovenskej STN EN 206-1: 2009 [3] a českej ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008 [5] sa tabuľka 1 len upresňovala a doplňovala. Česká norma EN 206-1 sa dokumentuje pre účel porovnania s rakúskou a slovenskou verzou.

Vymedzenie stupňov korózie je v norme STN EN 206-1 dané prevažne len popisom prostredia a informatívnymi príkladmi výskytu. Len v prípade korózie vplyvom chemického pôsobenia a korózie výstuže z vnútra betónu účinkom chloridov norma obsahuje aj medzné hodnoty pre stupne chemického pôsobenia zeminy, podzemnej vody a chloridov.

3. 2. 1. 2 Teplota agresívneho média

Klasifikácia chemického prostredia podľa STN EN 206-1: 2002 [1] platí pri teplote zeminy a vody v rozmedzí +5 °C až +25 °C. Zvýšenie alebo zníženie stupňa agresivity prostredia pri chemickom pôsobení upravujú Poznámky b) a c) k tabuľke F. 2 STN EN 206-1/NA [3].

Poznámka b)

Stupeň vplyvu sa zvýši o 1 stupeň, ak:

- teplota zeminy alebo vody je vyššia ako +25 °C, avšak nižšia ako +50 °C;

der Stahlbewehrung, bzw. anderer Metallelemente (Einbettungen), wohingegen die Korrosion durch wechselseitigen Einfluss von Frost und Auftauen und chemische Einwirkungen vor allem den Beton betreffen.

Arten und Klassen der aggressiven Einwirkungen auf Beton aus Tabelle 3. 1 sind bereits in den ursprünglichen Normen eingegrenzt, und zwar in der slowakischen Norm STN EN 206-1: 2002 [1] und in der tschechischen Norm ČSN 206-1: 2000 [4]. In Österreich wird die deutsche Version der Norm EN 206-1 vom Dezember 2000 mit der Änderung 1 vom Juli 2004 und der Änderung 2 vom Juni 2005 [2] angewendet. Bei den nationalen Anlagen handelt es sich um die slowakische STN EN 206-1: 2009 [3] und die tschechische ČSN EN 206-1. Durch die ÄNDERUNG 3: 2008 [5] wird die Tabelle 1 nur konkretisiert und ergänzt. Die tschechische Norm EN 206-1 wird zum Zweck des Vergleichs mit der österreichischen und der slowakischen Version dokumentiert.

Die Eingrenzung der Korrosionsklassen ist in der Norm STN EN 206-1 meist nur durch die Beschreibung der Umgebung und informative Beispiele des Auftretens gegeben. Nur im Fall der Korrosion durch chemische Einwirkung und Korrosion der Bewehrung im Inneren des Betons durch Chlorideinwirkung enthält die Norm auch Grenzwerte für die Klassen der chemischen Einwirkung von Böden, Grundwasser und Chloriden.

3. 2. 1. 2 Temperatur eines aggressiven Mediums

Die Klassifizierung einer chemischen Umgebung nach STN EN 206-1: 2002 [1] gilt bei einer Boden- und Wassertemperatur von +5 °C bis +25 °C. Die Erhöhung oder Senkung der Klasse der Aggressivität der Umgebung regeln die Anmerkungen b) und c) unter der Tabelle F. 2 STN EN 206-1/NA [3].

Anmerkung b)

Die Klasse des Umgebungseinflusses erhöht sich um 1 Grad, wenn:

- die Temperatur von Boden oder Wasser höher als +25 °C, aber niedriger als +50 °C ist;

- je predpokladaná prevádzková životnosť konštrukcie vyššia ako 100 rokov;
- rýchlosť prúdenia vody je vyššia ako $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- na konštrukciu pôsobí súčasne zemina a/alebo voda s dvoma alebo viacerými chemickými charakteristikami;
- ak zemina a/alebo voda pôsobí na predpätú betónovú konštrukciu.

Poznámka c)

Stupeň vplyvu prostredia (zeminy a/alebo vody) sa znižuje o 1 stupeň, ak je konštrukcia osadená v ílovitých zeminách s priepustnosťou menšou ako $10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Podobné ustanovenia o zvýšení stupňa vplyvu prostredia, vrátane vplyvu teploty, obsahuje Poznámka b) k tabuľke L. 5 o odporúčaných opatreniach na primárnu ochranu betónu proti korózii vplyvom chemicky agresívneho prostredia podľa českej normy ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008 [5].

Rakúska norma ÖNORM EN 206-1: 2000 [2] v poznámkach k hraničným hodnotám pre stupne chemického pôsobenia prírodných vôd a zemín v tabuľke 2 rovnako špecifikuje, že hraničné hodnoty platia pre teplotu zeminy/vody medzi $+5 \text{ °C}$ až $+25 \text{ °C}$.

3. 2. 1. 3 Relatívna vlhkosť vzduchu

STN EN 206-1/NA: 2009 [3] v Poznámke 1 k tabuľke 1 špecifikuje nasledujúce informatívne delenie prostredia podľa priemernej dlhodobej relatívnej vlhkosti vzduchu:

veľmi nízka $\leq 30 \%$
 nízka $30 - 60 \%$
 stredná $60 - 85 \%$
 vysoká $\geq 85 \%$.

Rovnaké informatívne delenie prostredia podľa priemernej dlhodobej relatívnej vlhkosti vzduchu sa prezentuje v tabuľke 1 ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008 [5] v časti 6 pri chemickom pôsobení.

Rakúska ÖNORM EN 206-1: 2000 [2] delenie prostredia podľa priemernej relatívnej vlhkosti vzduchu neobsahuje.

3. 2. 1. 4 Rýchlosť výmeny agresívneho média

Klasifikácia agresivity podzemných vôd podľa tabuľky 2 STN EN 206-1: 2002 [1] platí pre miernu rýchlosť vody, ktorá sa blíži k nehybnému stavu. Podľa STN EN 206-1: 2002 [1] sa zeminy s priepustnosťou menšou ako $10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ zaraďujú do nižšieho stupňa vplyvu prostredia (Poznámka a) v tabuľke 2 tejto normy). Ustanovenia o vplyve rýchlosti výmeny agresívneho média obsahuje aj tabuľka 2 ČSN EN 206-1: 2000 [4] ako aj rakúska ÖNORM EN 206-1: 2000 [2].

3. 2. 1. 5 Súčasné pôsobenie dvoch alebo viacerých agresívnych prostredí

Podľa tabuľky 2 STN EN 206-1: 2002 [1], ČSN EN 206-1: 2000 [4] a ÖNORM EN 206-1: 2005 [2] je pre odstupňovanie chemického pôsobenia rozhodujúca najvyššia hodnota jednotlivých chemických charakteristík. Tabuľka 2 STN EN 206-1: 2002 [1], ČSN EN 206-1: 2000 [4] a ÖNORM EN 206-1:

- die voraussichtliche Betriebsdauer der Konstruktion höher als 100 Jahre ist;
- die Geschwindigkeit des Wasserflusses höher als $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ist;
- auf die Konstruktion gleichzeitig Böden und/oder Wasser mit zwei oder mehreren chemischen Charakteristiken einwirken;
- wenn Böden und/oder Wasser auf eine Spannbetonkonstruktion einwirken.

Anmerkung c)

Der Grad des Einflusses der Umgebung/Expositionsklasse (Böden und/oder Wasser) sinkt um 1 Grad, wenn die Konstruktion in Tonböden mit einer geringeren Durchlässigkeit als $10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ eingesetzt ist.

Ähnliche Bestimmungen über die Erhöhung der Expositionsklasse, einschließlich des Einflusses der Temperatur, enthält Anmerkung b) unter der Tabelle L. 5 über empfohlene Maßnahmen zum primären Schutz des Betons vor Korrosion durch den Einfluss einer chemisch aggressiven Umgebung laut tschechischer Norm ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008 [5].

Die österreichische Norm ÖNORM EN 206-1: 2000 [2] spezifiziert in den Anmerkungen zu den Grenzwerten für die Klassen der chemischen Einwirkung von natürlichem Wasser und Böden in Tabelle 2 ebenfalls, dass die Grenzwerte für eine Boden-/Wassertemperatur zwischen $+5 \text{ °C}$ bis $+25 \text{ °C}$ gelten.

3. 2. 1. 3 Relative Luftfeuchte

Die nationale Anlage STN EN 206-1/NA: 2009 [3] spezifiziert in Anmerkung 1 unter der Tabelle 1 folgende informative Unterteilung der Umgebung nach durchschnittlicher langfristiger relativer Luftfeuchte:

sehr gering $\leq 30 \%$
 gering $30 - 60 \%$
 mittel $60 - 85 \%$
 hoch $\geq 85 \%$.

Die gleiche informative Unterteilung der Umgebung nach durchschnittlicher langfristiger relativer Luftfeuchte ist in Tabelle 1 ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008 [5] im Teil 6 bei chemischer Einwirkung angegeben.

Die österreichische ÖNORM EN 206-1: 2000 [2] enthält keine Unterteilung der Umgebung nach durchschnittlicher langfristiger relativer Luftfeuchte.

3. 2. 1. 4 Geschwindigkeit des Austauschs eines aggressiven Mediums

Die Klassifikation der Aggressivität von Grundwasser laut Tabelle 2 STN EN 206-1: 2002 [1] gilt für eine mäßige Fließgeschwindigkeit des Wassers, die einem hydrostatischen Zustand nahe kommt. Nach STN EN 206-1: 2002 [1] gehören Böden mit einer geringeren Durchlässigkeit als $10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ zu einer niedrigeren Expositionsklasse (Anmerkung a) in Tabelle 2 dieser Norm). Die Bestimmungen über den Einfluss der Geschwindigkeit des Austauschs eines aggressiven Mediums enthält auch Tabelle 2 der ČSN EN 206-1: 2000 [4], sowie die österreichische ÖNORM EN 206-1: 2000 [2].

3. 2. 1. 5 Gleichzeitige Einwirkung von zwei oder mehr aggressiven Umgebungen

Laut Tabelle 2 der STN EN 206-1: 2002 [1], ČSN EN 206-1: 2000 [4] und ÖNORM EN 206-1: 2000 [2] ist für die Festlegung der Klasse der chemischen Einwirkung der höchste Wert der einzelnen chemischen Charakteristiken entscheidend.

2000 [2] pri pôsobení zeminy a podzemnej vody ustanovuje, že pokiaľ pôsobia dve alebo viacero chemických charakteristík rovnakého stupňa, je nutné použiť najbližší vyšší stupeň, pokiaľ zvláštna štúdia pre tento špecifický prípad nepreukáže, že to nie je nutné. V Poznámke 2 k tabuľke 1 STN EN 206-1/NA: 2009 [3] sa vysvetľuje, že pri stupňoch vplyvu prostredia XC... (karbonatácia), XD... (chloridy iné ako z morskej vody), XS... (chloridy z morskej vody), je možné nahradiť každý nižší stupeň vplyvu vyšším stupňom vplyvu prostredia. Pri stupni vplyvu prostredia XA... (chemické pôsobenie) je toto možné len v tom prípade, ak ide o tú istú chemickú charakteristiku podľa tabuľky 2 STN EN 206-1: 2002 [1]. Pri stupni vplyvu prostredia XF... (pôsobenie zmrazovania a rozmrazovania) je možné nahradiť každý nižší stupeň prostredia vyšším stupňom, okrem nahradenia stupňa XF2 stupňom XF3 prostredia. Norma ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008 [5] ani ÖNORM EN 206-1: 2000 [2] takéto ani podobné ustanovenia neobsahujú. V Poznámke k tabuľke 1 STN EN 206-1/NA: 2009 [3] sa vysvetľuje, že tá istá stavebná konštrukcia môže byť vystavená pôsobeniu viacerých druhov prostredí. V tom prípade musí betón spĺňať požiadavky na všetky stupne vplyvu prostredia a bude ich obsahovať aj označenie betónu. ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008 [5] ani ÖNORM EN 206-1: 2000 [2] takéto ustanovenie nešpecifikujú.

3. 2. 2 Činitele odolnosti betónu

3. 2. 2. 1 Cement

Pri korozívnom pôsobení agresívneho prostredia na betón najzávažnejšie faktory predstavujú druh použitého cementu a jeho obsah v betóne.

3. 2. 2. 1. 1 Rozdelenie cementov podľa normy

Norma STN EN 197-1: 2002/A1: 2004/A3: 2007 [6] rozoznáva 5 hlavných druhov cementov, a to:

CEM I Portlandský cement
CEM II Portlandský zmesový cement
CEM III Vysokopecný cement
CEM IV Puzolánový cement
CEM V Zmesový cement.

Zmesové cementy CEM V sa rozdeľujú podľa obsahu slinku a hlavných zložiek na druh A a druh B podľa tabuľky 3. 2 nasledovne.

Tabelle 2 der STN EN 206-1: 2002 [1], ČSN EN 206-1: 2000 [4] und ÖNORM EN 206-1: 2000 [2] legen bei der Einwirkung von Böden und Grundwasser fest, dass wenn zwei oder mehrere chemische Charakteristiken die gleiche Klasse haben, die nächst höhere Klasse angewendet werden muss, sofern eine gesonderte Studie für diesen spezifischen Fall nicht nachweist, dass dies nicht nötig ist. In Anmerkung 2 unter der Tabelle 1 STN EN 206-1/NA: 2009 [3] wird erklärt, dass bei den Expositionsclassen XC... (Karbonatisierung), XD... (Chloride nicht aus Meerwasser), XS... (Chloride aus Meerwasser), jede niedrigere Expositionsklasse durch eine höhere ersetzt werden kann. Bei Expositionsklasse XA... (chemische Einwirkung) ist dies nur in dem Fall möglich, wenn es sich um die gleiche chemische Charakteristik laut Tabelle 2 STN EN 206-1: 2002 [1] handelt. Bei Expositionsklasse XF... (Einwirkung von Frost und Auftauen) kann jede niedrigere Expositionsklasse durch eine höhere ersetzt werden, außer dem Ersatz der Klasse XF2 durch die Klasse XF3 des Umgebungseinflusses. Weder die Norm ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008 [5] noch die ÖNORM EN 206-1: 2000 [2] enthalten eine ähnliche Bestimmung. In Anmerkung 3 unter der Tabelle 1 STN EN 206-1/NA: 2009 [3] wird erklärt, dass die gleiche Baukonstruktion der Einwirkung mehrerer Arten von Umgebungen ausgesetzt sein kann. In diesem Fall muss der Beton die Anforderungen aller Klassen des Einflusses der Umgebung erfüllen und diese werden auch in der Kennzeichnung des Betons enthalten sein. Weder ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008 [5] noch ÖNORM EN 206-1: 2000 [2] spezifizieren solche Bestimmungen.

3. 2. 2 Faktoren der Betonbeständigkeit

3. 2. 2. 1 Zement

Bei Korrosionseinwirkung einer aggressiven Umgebung auf Beton sind die Sorte des verwendeten Zements und dessen Gehalt im Beton die wichtigsten Faktoren.

3. 2. 2. 1. 1 Unterteilung der Zemente nach Normen

Die Norm STN EN 197-1: 2002/A1: 2004/A3: 2007 [6] unterscheidet 5 Hauptsorten von Zement, und zwar:

CEM I Portlandzement
CEM II Portlandkompositzement
CEM III Hochofenzement
CEM IV Puzzolanzement
CEM V Kompositzement.

Kompositzement CEM V wird laut Tabelle 3. 2 nach dem Gehalt an Klinker und Zusatzstoffen in Sorte A und Sorte B wie folgt unterschieden.

Tabuľka 3. 2 Zloženie zmesových cementov CEM V/ (A, B) druhu podľa STN EN 197-1: 2002/A1: 2004/A3: 2007

Tabelle 3. 2 Zusammensetzung von Kompositzementen CEM V/ (A, B) Sorte nach STN EN 197-1: 2002/A1: 2004/A3: 2007

Druh cementu / Zementsorte	Zložky cementu v % hmotnostných / Zementbestandteile in % des Gewichts			
	slinok / Klinker	vysokopecná troska / Hüttensand	súčet obsahu prírodného a priemyselného puzolánu s kremičitým popolčekom / Summe des Gehalts an natürlichem und industriellem Puzzolan mit Silikat-Flugasche	doplňujúce zložky / Zusatzstoffe
V/A	40-64	18-30	18-30	0-5
V/B	20-38	31-49	31-49	0-5

3. 2. 2. 1. 2 Všeobecné literárne poznatky o odolnosti zmesových cementov

3. 2. 2. 1. 2. 1 Vplyv zmesových cementov na odolnosť cementového kameňa

Autori V. Moskvín, F. Ivanov, S. Alekseyev a E. Guzeyev vo svojej monografii o korózii betónu a ocelevej výstuže [7, s. 45] poznamenávajú, že portlandské puzolánové cementy s aktívnymi hydraulickými prísadami boli v bývalom ZSSR študované v r. 1920 - 1930 s cieľom vyvinúť spojivo pre vodostavebné betóny vyššej odolnosti proti prírodným agresívnym vodám a za účelom redukovať vplyv hydratačného tepla na tuhnutie. Zistilo sa, že portlandské puzolánové cementy vykazujú zvýšenú odolnosť proti mäkkým a síranovým vodám. Pomalšie tuhnutie a nízka odolnosť týchto cementov proti pôsobeniu mrazu obmedzili oblasť ich aplikácie výlučne na betóny podzemných konštrukcií.

V práci autorov I. Janotku, P. Ševčíka a K. Prokešovej [8] sa porovnávajú základné vlastnosti dvoch zmesových cementov, produkovaných na Slovensku. Prvým študovaným zmesovým cementom bol cement CEM V/A (S-V) 32,5 R obsahujúci vysokopecnú trosku a kremičitý popolček. Ako druhý prešetrovaný zmesový cement sa použil cement CEM V/B (S-P) 32,5 N, obsahujúci vysokopecnú trosku a prírodný puzolán, ktorý predstavoval mletý zeolit. Vlastnosti týchto zmesových cementov sa porovnávali s referenčným portlandským cementom CEM I 32,5 R. Na modifikáciu spracovateľnosti čerstvých mált sa použili vývojové druhy plastifikátorov na polykarboxylátovej báze. Alkalita cementov sa stanovila ako pH hodnota vo vodných výluchoch podľa STN EN 13454-2 + A1: 2007 [9]. Oba zmesové cementy - pri porovnaní s referenčným portlandským cementom - preukázali pre dosiahnutie normalizovanej hustoty (konzistencie) zvýšenú spotrebu zámesovej vody. Začiatok a čas tuhnutia sa pri použití zmesových cementov predlžili. Rovnaký trend zvyšovania spotreby zámesovej vody sa potvrdil aj pri čerstvých maltách. Pevnosti mált, pripravených zo zmesových cementov, preukázali nižší počiatkový nárast do 7 dní uloženia vo vode. Po 28, 56 a 90 dňoch uloženia malta pripravená z cementu CEM V/A preukázala približne rovnaké a mierne zvýšené pevnosti ako malta pripravená z referenčného portlandského cementu. Zníženie pevnosti mált po 28, 56 a 90 dňoch tuhnutia a tvrdenia sa preukázalo len pri použití cementu CEM V/B; zistené pevnosti poklesli asi o jednu tretinu. Použitím superplastifikátora sa - okrem zlepšenia spracovateľnosti - dosiahlo aj intenzívnejšieho nárastu pevnosti. Zistené hodnoty pH výluhu z cementov na úrovni $\text{pH} > 12$ indikovali priaznivé podmienky pre pasiváciu ocelevej výstuže. Podľa názorov autorov cementy CEM V/ (A, B) je možné použiť pri budovaní pozemných a podzemných konštrukcií, napríklad v podpovrchových líniových konštrukciách ako sú tunely, kolektory, ďalej pri striekanom i liatom betóne a prefabrikovaných betónových prvkoch.

Podľa L. Ježa [10, s. 73] vysokopecná granulovaná troska sa javí ako najideálnejšia druhá zložka - hneď po kremičitom úlete - do každého cementu za účelom znižovania obsahu slinku, naviac v spojení s vápencom a popolčekom. Na základe výsledkov jeho práce extrémne zníženie obsahu slinku vemente CEM V/B na úroveň 20 % dovolilo vyvinúť tento druh cementu s pevnosťou v tlaku po 28 dňoch 41,7 MPa a po pridaní 5 % kremičitého úletu až 50 MPa. Nutnou podmienkou takýchto cementov s nízkym obsahom slinku je zvýšená jemnosť mletia na úroveň, na akú sa melú cementy CEM I 52,5 R, to je minimálne na cca 450 m^2/kg .

3. 2. 2. 1. 2 Allgemeine Erkenntnisse über die Beständigkeit von Zementmischungen aus der Literatur

3. 2. 2. 1. 2. 1 Einfluss der Kompositzemente auf die Beständigkeit des Zementsteins

Die Autoren V. Moskvín, F. Ivanov, S. Alekseyev und E. Guzeyev merken in ihrer Monografie über die Korrosion von Beton und Stahlbewehrung [7, S. 45] an, dass Portland-Puzzolan-Zemente mit aktiven hydraulischen Zusatzstoffen in der ehemaligen UdSSR in den Jahren 1920 - 1930 mit dem Ziel untersucht wurden, ein Bindemittel für Wasserbaubeton mit einer höheren Beständigkeit gegen natürliches aggressives Wasser zu entwickeln, und um den Einfluss der Hydratationswärme bei der Erhärtung zu reduzieren. Man stellte fest, dass Portland-Puzzolan-Zement eine höhere Beständigkeit gegen weiches und Sulfatwasser hat. Eine langsamere Erhärtung und eine geringe Beständigkeit dieser Zemente gegen die Einwirkung von Frost beschränkten deren Anwendungsbereich ausschließlich auf Beton für unterirdische Konstruktionen.

In der Arbeit der Autoren I. Janotka, P. Ševčík und K. Prokešová [8] werden die Grundeigenschaften von zwei Kompositzementen verglichen, die in der Slowakei produziert werden. Der erste untersuchte Kompositzement war der Zement CEMV/A (S-V) 32,5 R mit einem Gehalt an Hüttenessand und Silikaflugasche. Als zweiter Kompositzement wurde der Zement CEM V/B (S-P) 32,5 N untersucht, der Hüttenessand und natürliches Puzzolan, wie gemahlene Zeolith, enthält. Die Eigenschaften dieser Kompositzemente wurden mit dem Referenz-Portlandzement CEM I 32,5 R verglichen. Zur Modifizierung der Verarbeitbarkeit von frischem Mörtel wurden Entwicklungsorten von Plastifikatoren auf Polycarboxylatbasis verwendet. Die Alkalität der Zemente wurde als pH-Wert in einem Wasserextrakt nach STN EN 13454-2 + A1: 2007 [9] festgelegt. Beide Kompositzemente zeigten - beim Vergleich mit dem Referenz-Portlandzement - zum Erreichen der Normierten Dichte (Konsistenz) einen erhöhten Bedarf an Zugabewasser. Beginn und Zeit der Erhärtung verlängerten sich bei der Verwendung der Kompositzemente. Der gleiche Trend des erhöhten Bedarfs an Zugabewasser bestätigte sich auch bei frischem Mörtel. Die Festigkeit der Mörtel, die aus den Kompositzementen hergestelt wurden, zeigte einen geringeren Anfangsanstieg bei 7 Tagen Einlage im Wasser. Nach 28, 56 und 90 Tagen Einlage des Mörtels aus dem Zement CEMV/A wies dieser eine ungefähr gleiche und leicht erhöhte Festigkeit gegenüber dem Mörtel aus dem Referenz-Portlandzement auf. Die Senkung der Festigkeit des Mörtels nach 28, 56 und 90 Tagen Erstarren und Erhärtung wurde nur bei der Verwendung des Zements CEM V/B festgestellt; die festgestellte Festigkeit sank etwa um ein Drittel. Durch die Verwendung eines Superplastifikators wurde - außer einer Verbesserung der Verarbeitbarkeit - auch ein intensiverer Anstieg der Festigkeit erreicht. Die festgestellten pH-Werte des Zementextrakts auf dem Niveau $\text{pH} > 12$ indizierten günstige Bedingungen für die Passivierung der Stahlbewehrung. Die Zemente CEM V/ (A, B) können - nach Meinung der Autoren - bei der Errichtung von Hoch- und Tiefkonstruktionen verwendet werden, zum Beispiel bei unterirdischen Linienkonstruktionen wie Tunneln und Kollektoren, außerdem bei Spritz- und Gussbeton und vofabrierten Betonelementen.

Auf Grundlage der Dissertationsarbeit von L. Ježo [10, S. 73] zeigt sich Hochofen-Granulatschlacke als idealste Zusatzstoffart - sofort nach Silikastaub - für jeden Zement, um den Gehalt an Klinker zu senken, vor allem in Verbindung mit Kalkstein und Flugasche. Auf Grundlage der Ergebnisse einer Arbeit erlaubte die extreme Senkung des Klinkergehalts

3. 2. 2. 1. 2. 2 Vplyv zmesových cementov na odolnosť ocelevej výstuže

Autor monografie o korózii a ochrane ocelevej výstuže Z. Ściślewski [11, s. 44] dokumentuje tú skutočnosť, že na pasiváciu povrchu ocelevej výstuže betónu má vplyv obsah trosky v portlandskom cemente; so stúpajúcim obsahom trosky v portlandskom cemente klesá potenciál ocele. V monografii sú špecifikované nasledujúce potenciály ocelí v betóne po 100 dňoch expozície vo vlhkom prostredí voči elektróde Cu/CuSO₄:

portlandský cement čistý - 0,228 V, portlandský cement + 15% trosky - 0,225 V, portlandský cement + 30 % trosky - 0,243 V, portlandský cement + 70 % trosky - 0,400 V, vysokopecný cement - 0,520 V.

V monografii Z. Ściślewski, G. Wiczorek a I. Woyzbun [12, s. 53] zdôrazňujú, že vplyv popolčeka na koróziu ocelevej výstuže sa zvyšuje s jeho obsahom v betóne. Pri obsahu cca 30-40 % z hmotnosti cementu je nevýznamný a neovplyvňuje trvanlivosť prvku konštrukcie. Pri vyššom obsahu však v prvom štádiu nastáva pasivácia ocele, potom však s postupujúcim časom exploatácie konštrukcie krycia vrstva betónu stráca svoje ochranné vlastnosti a výstuž začína korodovať.

Pre výber druhu cementu autori R. Soboličová, A. Špaček a J. Polák [13, s. 51] v článkoch č. 36 a č. 37 odporúčajú v technologickom predpise „Ochrana ocelevej výstuže betónu proti korózii v agresívnom prostredí a proti účinkom bludných prúdov“:

36. Z hľadiska možnej korózie výstuže je treba uprednostňovať použité portlandských cementov pred cementmi zmesovými.
37. Prednostne sa odporúča používať cementy, pri ktorých sa preukáže, že obsah chloridov neprestúpil koncentráciu 0,02 % hmotnosti cementu a sírnikov a siričitanov rovnako 0,02 % hmotnosti cementu. Neodporúča sa používať cement, do ktorého sa zámerne pridali chloridy.

V súčasnosti nie sú k dispozícii podrobnejšie informácie o vplyve slovenských a rakúskych zmesových cementov CEM V/ (A, B) na pasivačné schopnosti cementového kameňa pomocou stanovenia stationárneho potenciálu, hustoty prúdu pasivácie a potenciálu porušenia podľa STN 73 1341: 1987 [14].

Hodnotenie účinku chloridov na betón je treba posudzovať nielen z hľadiska pôsobenia na cementový kameň, ale aj v zmysle STN EN 206-1, hlavne z hľadiska možnej korózie ocelevej výstuže. Všeobecne platí, že so zvyšujúcim obsahom vysokopecnej trosky a puzolánových prímiesí klesá hodnota pH betónu a tým aj jeho schopnosť pasivovať ocelovú výstuž. Výsledky doterajších experimentálnych prác však naznačujú, že tento pokles u zmesových cementov - pri porovnaní s portlandským cementom - nie je až tak závažný. Hodnoty pH výluhu z cementov CEM V/A (S-V) 32,5 R rakúskej a slovenskej výroby, rakúskej verzie CEM V/B (S-V) 32,5 N a slovenského cementu CEM V/B (S-P) 32,5 N druhu na úrovni pH > 12 indikujú skôr priaznivé podmienky pre pasiváciu ocelevej výstuže v betóne. Skúšky sa zrealizovali v TSÚS, Bratislava v rámci projektu ENVIZEO. Výsledky samotných dlhodobých skúšok, preukazujúce pasiváciu ocelevej výstuže zabudovanej do mált a betónov, sú veľmi žiadané. **Tabuľka 3. 3** dokumentuje hodnoty pH výluhu prešetrovaných cementov.

im Zement CEM V/B auf ein Niveau von 20 %, diesen Zement mit einer Druckfestigkeit nach 28 Tagen von 41,7 MPa zu entwickeln, und nach Zugabe von 5 % Silikastaub bis zu 50 MPa. Eine notwendige Bedingung für solche Zemente mit niedrigem Klinkergehalt ist ein feineres Mahlen auf dem Niveau, auf dem Zement CEM I 52,5 R gemahlen wird, und zwar mindestens auf ca. 450 m²/kg.

3. 2. 2. 1. 2. 2 Einfluss der Kompositzemente auf die Beständigkeit der Stahlbewehrung

Der Autor der Monografie über Korrosion und Schutz der Stahlbewehrung Z. Ściślewski [11, S. 44] dokumentiert die Tatsache, dass auf die Passivierung der Oberfläche der Stahlbewehrung des Betons auch der Gehalt an Schlacke im Portlandzement Einfluss hat; mit steigendem Schlackengehalt im Portlandzement sinkt das Potenzial des Stahls. In der Monografie werden folgende Stahlpotenziale im Beton nach 100 Tagen in feuchter Umgebung gegenüber einer Elektrode Cu/CuSO₄ spezifiziert:

Portlandzement rein - 0,228 V, Portlandzement + 15 % Schlacke - 0,225 V, Portlandzement + 30 % Schlacke - 0,243 V, Portlandzement + 70 % Schlacke - 0,400 V, Hochofenzement - 0,520 V.

In der Monografie von Z. Ściślewski, G. Wiczorek und I. Woyzbun [12, S. 53] wird betont, dass der Einfluss von Flugasche auf die Korrosion der Stahlbewehrung sich mit seinem Gehalt im Beton erhöht. Bei einem Gehalt von ca. 30-40 % des Gewichts des Zements ist er unbedeutend und beeinflusst die Lebensdauer des Konstruktionselements nicht. Bei einem höheren Gehalt allerdings tritt im ersten Stadium die Passivierung des Stahls ein, dann allerdings kommt es mit zunehmender Zeit der Exploation der Konstruktion, die Betondeckschicht verliert ihre Schutzeigenschaften und die Bewehrung beginnt zu korrodieren.

In der technologischen Vorschrift „Schutz der Stahlbewehrung des Betons vor Korrosion in aggressiver Umgebung und vor Einwirkung von Kriechströmen“ empfehlen die Autoren R. Soboličová, A. Špaček und J. Polák [13, S. 51], sofern es die Wahl der Zementsorte betrifft, im Artikel Nr. 36 und Nr. 37:

36. Aus Sicht einer möglichen Korrosion der Bewehrung muss Portlandzement einem Kompositzement vorgezogen werden.

37. Vorrangig wird empfohlen, Zemente zu verwenden, bei denen nachgewiesen wird, dass der Chloridgehalt eine Konzentration von 0,02 % des Gewichts des Zements nicht überschreitet, und der an Schwefelverbindungen ebenfalls 0,02 % des Gewichts des Zements nicht überschreitet. Es wird nicht empfohlen, Zement zu verwenden, dem absichtlich Chloride zugesetzt wurden.

Gegenwärtig stehen keine detaillierteren Informationen über den Einfluss slowakischer und österreichischer Kompositzemente CEM V/ (A, B) auf die Passivierungsfähigkeiten des Zementsteins mithilfe der Festlegung des stationären Potentials, der Passivierungsstromdichte und des Störungspotentials nach STN 73 1341: 1987 [14] zur Verfügung.

Die Bewertung der Wirkung von Chloriden auf Beton darf nicht nur aus Sicht der Wirkung auf den Zementstein beurteilt werden, sondern im Sinne der STN EN 206-1 hauptsächlich aus Sicht der möglichen Korrosion der Stahlbewehrung. Allgemein gilt, dass mit erhöhtem Gehalt an Hüttensand und Puzzolanzusatz der pH-Wert des Betons sinkt und dadurch seine Fähigkeit zur Passivierung der Stahlbewehrung. Die Ergebnisse der bisherigen experimentellen Arbeiten deuten allerdings an, dass dieses Sinken bei Kompositzementen - bei Vergleich mit Portlandzement - aber nicht so schwerwiegend ist. Die pH-Werte der Wasserextrakte der Zemente CEM



V/A (S-V) 32,5 R aus österreichischer und slowakischer Produktion, der österreichischen Version CEM V/B (S-V) 32,5 N und des slowakischen Zements CEM V/B (S-P) 32,5 N auf dem Niveau $\text{pH} > 12$ indizieren eher günstige Bedingungen für die Passivierung der Stahlbewehrung im Beton. Die Tests erfolgten im TSÚS, Bratislava im Rahmen des Projekts ENVIZEO. Die Ergebnisse der langfristigen Tests selbst, die die Passivierung der Stahlbewehrung in Mörtel und Beton nachweist, sind sehr erwünscht. Tabelle 3. 3 dokumentiert die pH-Werte der Extrakte der untersuchten Zemente.

3. 2. 2. 1. 3 Obsah cementu

V pôvodných normách, STN EN 206-1: 2002, ČSN EN 206-1: 2000 a ÖNORM EN 206-1: 2000, odporúčaný minimálny obsah cementu pri navrhovaní betónu medznými hodnotami pre vlastnosti betónu, požadovaný pri jednotlivých druhoch

Tabuľka 3. 3 Hodnoty pH vo vodnom výluhu z cementov
Tabelle 3. 3 pH-Werte im Wasserextrakt der Zemente

Druh cementu / Zementsorte	pH
CEM I 32,5 R ako referenčný (SK) / CEM I 32,5 R als Referenz (SK)	12,43
CEM V/A (S-V) 32,5 R - SK	12,47
CEM V/A (S-V) 32,5 R - AT	12,55
CEM V/B (S-P) 32,5 N - SK	12,41
CEM V/B (S-V) 32,5 N - AT	12,50

a stupňoch vplyvu prostredia, je špecifikovaný v tabuľke F. 1 týchto noriem (označenie tabuľky je vo všetkých troch menovaných normách rovnaké). Podľa tejto tabuľky pre betón v styku s prostredím bez nebezpečenstva korózie alebo narušenia sa minimálny obsah cementu nepredpisuje, pri korózii spôsobenej karbonatáciou sa pre jednotlivé stupne obsah cementu pohybuje v rozpätí od 260 do 300 kg/m³ h. b. (na 1 m³ hotového betónu), pri pôsobení chloridov iných ako z morskej vody od 300 do 320 kg/m³ h. b., pri pôsobení zmrazovania a rozmrazovania od 300 do 340 kg/m³ h. b. a pre betón v styku s chemicky agresívnym

3. 2. 2. 1. 3 Zementgehalt

In den ursprünglichen Normen STN EN 206-1: 2002, ČSN EN 206-1: 2000 und ÖNORM EN 206-1: 2000 ist der empfohlene Mindestgehalt an Zement beim vorgeschlagenen Beton bezüglich der Grenzwerte für die Eigenschaften des Betons, die für einzelne Arten und Klassen der

Umgebungseinflüsse gefordert werden, in Tabelle F. 1 dieser Normen spezifiziert (die Kennzeichnung der Tabelle ist in allen drei genannten Normen gleich). Nach dieser Tabelle wird der Zementmindestgehalt für Beton mit Kontakt zu einer Umgebung ohne Risiko von Korrosion oder Angriff nicht vorgeschrieben, bei Korrosion durch Karbonatisierung bewegt sich der Zementgehalt für einzelne Klassen zwischen 260 bis 300 kg/m³ des Fertigbetons (je 1 m³ Fertigbeton), bei Einwirkung von Chloriden, die nicht aus Meerwasser stammen, zwischen 300 bis 320 kg/m³ des Fertigbetons, bei Einwirkung von Frost und Auftauen zwischen 300 bis

prostredím od 300 do 360 kg/m³ h. b. Tieto záväzné medzné obsahy cementu sa podľa tabuľky F. 1 STN EN 206-1/NA: 2009 nezmenili. Rovnako nezmenené ostali minimálne záväzné obsahy cementu podľa tabuľky NA. F. 1 ČSN EN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008. V tabuľke F. 1 sa len zdôrazňuje, že hodnoty minimálneho obsahu cementu platia vždy a nemôžu sa doplnkovo špecifikovať.

Betóny vyrobené zo všetkých piatich druhov cementov v rámci projektu ENVIZEO zhodne obsahujú 370 kg cementu na 1 m³ hotového betónu. To znamená, že podľa STN EN 206-1/NA: 2009 ako aj podľa ÖNORM EN 206-1: 2000 na základe kritéria požadovaného minimálneho obsahu cementu sú použiteľné pre všetky štyri druhy vplyvov prostredia (karbonatáciu, chloridy iné ako z morskej vody, zmrazovanie a rozmrazovanie a chemické agresívne pôsobenie).

3. 2. 2. 1. 4 Prípustnosť cementov pre jednotlivé druhy korozívneho pôsobenia

Národná príloha STN EN 206-1/NA: 2009 - pri porovnaní s pôvodnou normou - obsahuje novú tabuľku F. 3 o použiteľnosti cementov pre jednotlivé druhy a stupne vplyvu prostredia, ktorú pôvodná verzia normy STN EN 206-1: 2002 ešte neobsahovala. Všetkých 23 druhov cementov, špecifikovaných v tabuľke F. 3, je povolené používať jedine pri vplyve prostredia bez nebezpečenstva korózie alebo narušenia. U ostatných druhov korozívneho pôsobenia sa použitie jednotlivých druhov cementov viac alebo menej obmedzuje. Pri všetkých 4 druhoch korozívneho pôsobenia (karbonatácii, vplyve chloridov iných ako z morskej vody, zmrazovaní a rozmrazovaní, chemickom pôsobení) národná príloha nepovoľuje použitie puzolánových a zmesových cementov takmer pri všetkých stupňoch vplyvu prostredia. Pokiaľ je ich použitie dovolené, tak len pri nižších stupňoch vplyvu prostredia. Tabuľka 3. 4 reprodukuje použiteľnosť zmesových cementov CEM V/ (A, B) pre prvé 3 druhy korózneho pôsobenia (bez nebezpečenstva korózie alebo narušenia, karbonatáciou, chloridmi inými ako z morskej vody) a tabuľka 3. 5 pre 2 zostávajúce druhy (pôsobenie zmrazovania a rozmrazovania, chemické pôsobenie) a ich zlučiteľnosť s prepínacou výstužou podľa tabuľky F. 3 STN EN 206-1/NA.

Použiteľnosť zmesových cementov pre jednotlivé stupne prostredia bez nebezpečenstva korózie alebo narušenia, karbonatáciou a chloridmi inými ako z morskej vody podľa tabuľky F. 4 ČSN EN 206-1: ZMĚNA 3: 2008 sa predstavuje v tabuľke 3. 6.

340 kg/m³ des Fertigbetons und für Beton in Kontakt mit einer chemisch aggressiven Umgebung zwischen 300 bis 360 kg/m³ des Fertigbetons. Diese empfohlenen Grenzgehalte an Zement änderten sich laut Tabelle F. 1 STN EN 206-1/NA: 2009 nicht. Ebenfalls unverändert blieben die empfohlenen Mindestgehalte an Zement laut Tabelle NA. F. 1 ČSN EN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008. In Tabelle F. 1 wird nur betont, dass die Werte des Mindestgehalts an Zement immer gelten und nicht ergänzend spezifiziert werden können. Beton, der im Rahmen des Projekts ENVIZEO aus allen fünf Zementsorten hergestellt wurde, enthält übereinstimmend 370 kg Zement je 1 m³ Fertigbeton. Das bedeutet, dass nach STN EN 206-1/NA: 2009, wie auch nach ÖNORM EN 206-1: 2000 auf Grundlage der Kriterien der empfohlene Mindestgehalt an Zement für alle vier Arten des Umgebungseinflusses anwendbar ist (Karbonatisierung, Chloride, die nicht aus Meerwasser stammen, Frost und Auftauen und chemisch aggressive Einwirkung).

3. 2. 2. 1. 4 Zulässigkeit der Zemente für einzelne Arten von Korrosionseinwirkung

Die nationale Anlage der STN EN 206-1/NA: 2009 - im Vergleich zur ursprünglichen Norm - enthält die neue Tabelle F. 3 über die Verwendbarkeit der Zemente für einzelne Arten und Klassen des Umgebungseinflusses, die die ursprüngliche Version der Norm STN EN 206-1: 2002 noch nicht enthielt. Alle 23 Zementsorten, die in Tabelle F. 3 spezifiziert werden, sind nur für die Verwendung in einer Umgebung ohne Risiko von Korrosion und Angriff erlaubt. Bei den sonstigen Arten von Korrosionseinwirkung wird die Verwendung der einzelnen Zementsorten mehr oder weniger auf irgendeine Weise eingeschränkt. Bei allen 4 Arten von Korrosionswirkung (Karbonatisierung, Einfluss von Chloriden, die nicht aus Meerwasser stammen, Frost und Auftauen und chemische Einwirkung) gestattet die nationale Anlage bei allen Expositionsklassen die Verwendung von Puzzolan- und Kompositzement nicht. Sofern die Verwendung gestattet wird, dann nur bei niedrigeren Expositionsklassen. Tabelle 3. 4 reproduziert die Nutzbarkeit der Kompositzemente CEM V/ (A, B) für die ersten 3 Arten von Korrosionseinwirkung (ohne Korrosions- und Angriffsrisiko, Karbonatisierung, Chloride, die nicht aus Meerwasser stammen) und Tabelle 3. 5 für die 2 verbleibenden Arten (Einwirkung von Frost und Auftauen, chemische Einwirkung) und deren Vereinbarkeit mit einer Vorspannbewehrung laut Tabelle F. 3 STN EN 206-1/NA.

Die Nutzbarkeit der Kompositzemente für einzelne Klassen des Umgebungseinflusses ohne Korrosions- und Angriffsrisiko, bei Karbonatisierung und Chloriden nicht aus Meerwasser laut Tabelle F. 4 ČSN EN 206-1: ÄNDERUNG 3: 2008

Tabuľka 3. 4 Použiteľnosť cementov CEM V/ (A, B) pre prostredie bez nebezpečenstva korózie, karbonatáciou a chloridmi podľa tabuľky F. 3 STN EN 206-1/NA: 2009

Tabelle 3. 4 Nutzbarkeit der Zemente CEM V/ (A, B) für eine Umgebung ohne Korrosions- und Angriffsrisiko, Karbonatisierung und Chloride laut Tabelle F. 3 STN EN 206-1/NA: 2009

Cementy podľa STN EN 197-1 / Zemente nach STN EN 197-1	Druh a stupeň vplyvu prostredia / Arten und Klassen des Einflusses der Umgebung							
	Bez nebezpečenstva korózie alebo narušenia / Ohne Korrosions- und Angriffsrisiko	Korózia spôsobená karbonatáciou / Korrosion durch Karbonatisierung				Iné chloridy než z morskej vody / Andere Chloride als aus Meerwasser		
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2
CEM V/A	X	X	X	0	0	0	0	0
CEM V/B	X	X	X	0	0	0	0	0

Poznámka:

X = použiteľný pre daný stupeň vplyvu prostredia, 0 = použitie pre daný stupeň vplyvu prostredia je vylúčené

Die Bemerkung:

X = verwendbar für die betreffende Expositionsklasse, 0 = die Verwendung für die betreffende Expositionsklasse ist ausgeschlossen

Tabuľka 3. 5 Použitelnosť cementov CEM V/ (A, B) pre prostredie s pôsobením zmrazovania a rozmrazovania, chemické prostredie a zlučiteľnosť s predpínacou výstužou podľa tabuľky F. 3 STN EN 206-1/NA: 2009

Tabelle 3. 5 Nutzbarkeit der Zemente CEM V/ (A, B) für eine Umgebung mit Einwirkung von Frost und Auftauen, einer chemischen Umgebung und Vereinbarkeit mit einer Vorspannbewehrung laut Tabelle F. 3 STN EN 206-1/NA: 2009

Cementy podľa STN EN 197-1 / Zemente nach STN EN 197-1	Druh a stupeň vplyvu prostredia / Arten und Klassen des Einflusses der Umgebung							
	Pôsobenie zmrazovania a rozmrazovania / Einwirkung von Frost und Auftauen				Agresívne chemické prostredie / Aggressive chemische Umgebung			Zlučiteľnosť s predpínacou výstužou/ Vereinbarkeit mit der Vorspannbewehrung
	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2 ^{a) b)}	XA3 ^{a) b)}	
CEM V/A	X ^{c)}	X ^{c)}	0	0	0	0	0	0
CEM V/B	X ^{c)}	X ^{c)}	0	0	0	0	0	0

Poznámka:

X = použiteľný pre daný stupeň vplyvu prostredia, 0 = použitie pre daný stupeň vplyvu prostredia je vylúčené, a) Pri chemickom pôsobení síranov musí byť pri stupni XA2 a XA3 použitý síranovzdorný, cement podľa poznámky g) a h) v tabuľke F. 2, b) Ak je stupeň XA2 a XA3 vyvolaný agresívnym CO₂, použije sa zmesový cement, ktorý, neobsahuje vo funkcii hlavnej zložky vápenec, c) Odolnosť proti vplyvu prostredia musí byť overená PST (počiatočnými skúškami typu)

Die Bemerkung:

X = verwendbar für die betreffende Expositionsklasse, 0 = die Verwendung für die betreffende Expositionsklasse ist ausgeschlossen, a) bei chemischer Einwirkung von Sulfaten muss beim Grad XA2 und XA3, sulfatbeständiger Zement nach Anmerkungen g) und h) in Tabelle F. 2 verwendet werden, b) Wenn der Grad XA2 und XA3 durch aggressives CO₂ verursacht wird, wird Kompositzement verwendet, der in der Funktion des Hauptausgangsstoffs keinen Kalkstein enthält, c) die Beständigkeit gegen Umgebungseinflüsse muss durch eine Erstprüfung geprüft werden

Použitelnosť zmesových cementov pre jednotlivé stupne prostredia korózie pôsobením zmrazovania a rozmrazovania, chemickým pôsobením a obrusovaním podľa tabuľky F. 4 ČSN EN 206-1: ZMĚNA 3: 2008 sa dokumentuje údajmi v tabuľke 3. 7. Z porovnania údajov v tabuľke F. 3 STN EN 206-1/NA: 2009 (tabuľka 3. 5) s tabuľkou F. 4 ČSN EN 206-1: ZMĚNA 3: 2008 (tabuľka 3. 7 štúdie) vyplýva, že v tabuľke F. 3 STN EN 206-1/NA: 2009 sa ako posledný druh prostredia špecifikuje zlučiteľnosť s predpínacou výstužou. V tabuľke F. 4 ČSN EN 206-1: ZMĚNA 3: 2008 sa zlučiteľnosť s predpínacou výstužou nešpecifikuje, namiesto toho sa prezentuje prípustnosť jednotlivých druhov cementov pri korózii obrusovaním.

Z porovnania tabuľky F. 3 o prípustnosti cementov CEM V/ (A, B) podľa slovenskej STN EN 206-1/NA: 2009 (tabuľka 3. 5) a tabuľky F. 4 českej ČSN EN 206-1: ZMĚNA 3: 2008 (tabuľka 3. 7) vyplýva, že tieto normy vykazujú podstatné rozdiely v prípustnosti zmesových cementov v betóne pri styku s agresívnym prostredím. Podľa slovenskej normy je možné zmesové cementy použiť jedine v prostredí bez nebezpečenstva korózie alebo narušenia a pri najnižších

stelti Tabuľka 3. 6 dar. Die Nutzbarkeit der Kompositzemente für einzelne Klassen des Umgebungseinflusses bei Korrosion durch Frost und Auftauen, chemische Einwirkung und Abrieb laut Tabelle F. 4 ČSN EN 206-1: ÄNDERUNG 3: 2008 wird in Tabelle 3. 7 dokumentiert. Aus dem Vergleich der Angaben in Tabelle F. 3 STN EN 206-1/NA: 2009 (Tabelle 3. 5) mit Tabelle F. 4 ČSN EN 206-1: ÄNDERUNG 3: 2008 (Tabelle 3. 7 der Studie) ergibt sich, dass in Tabelle F. 3 STN EN 206-1/NA: 2009 als letzte Umgebungsart Vereinbarkeit mit der Vorspannbewehrung spezifiziert wird. In Tabelle F. 4 ČSN EN 206-1: ÄNDERUNG 3: 2008 wird die Vereinbarkeit mit der Vorspannbewehrung nicht spezifiziert, stattdessen wird die Zulässigkeit einzelner Zementsorten bei Korrosion durch Abrieb dargestellt.

Aus dem Vergleich der Tabelle F. 3 über die Zulässigkeit der Zemente CEM V/ (A, B) nach slowakischer STN EN 206-1/NA: 2009 (Tabelle 5) und der Tabelle F. 4 der tschechischen ČSN EN 206-1: ÄNDERUNG 3: 2008 (Tabelle 7) ergibt sich, dass diese Normen einen wesentlichen Unterschied in der Zulässigkeit der Kompositzemente im Beton bei Kontakt

Tabuľka 3. 6 Použitelnosť cementov CEM V/ (A, B) pre prostredie bez nebezpečenstva korózie, karbonatácii a chloridy podľa Tabuľky F. 4 ČSN EN 206-1: ZMĚNA 3: 2008

Tabelle 3. 6 Die Nutzbarkeit der Zemente CEM V/ (A, B) für eine Umgebung ohne Risiko von Korrosion, bei Karbonatisierung und Chloriden laut Tabelle F. 4 ČSN EN 206-1: ÄNDERUNG 3: 2008

Cementy podľa ČSN EN 197-1 / Zemente nach ČSN EN 197-1	Druh a stupeň vplyvu prostredia / Arten und Klassen des Einflusses der Umgebung								
	Bez nebezpečenstva korózie alebo narušenia / Ohne Korrosions- und Angriffsrisiko			Korózia spôsobená karbonatáciou / Korrosion durch Karbonatisierung				Iné chloridy než z morskej vody / Andere Chloride als aus Meerwasser	
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	
CEM V/A, B	X	X	X	X ^{c)}	X ^{c)}	X ^{c)}	X ^{c)}	0	

Poznámka:

X = Použiteľný pre daný stupeň vplyvu prostredia

0 = Použitie pre daný stupeň vplyvu prostredia je vylúčené

c) Odolnosť proti vplyvu prostredia musí byť overená preukaznou skúškou

Die Bemerkung:

X = verwendbar für den betreffenden Grad des Umgebungseinflusses

0 = die Verwendung für den betreffenden Grad des Umgebungseinflusses ist ausgeschlossen

c) die Beständigkeit gegen Umgebungseinflüsse muss durch eine Prüfung überprüft werden

Tabuľka 3. 7 Použitelnost' cementov CEM V/ (A, B) pri striedavom pôsobení zmrazovania a rozmrazovania v chemicky agresívnom prostredí a pri obrusovaní podľa tabuľky F. 4 ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008

X = Použitelný pre daný stupeň vplyvu prostredia.

0 = Použitie pre daný stupeň vplyvu prostredia je vylúčené.

c) Odolnosť proti vplyvu prostredia musí byť overená preukaznou skúškou

Tabelle 3. 7 Nutzbarkeit der Zemente CEM V/ (A, B) bei wechselseitiger Einwirkung von Frost und Auftauen, chemisch aggressiver Umgebung und Abrieb laut Tabelle F. 4 ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008

X = verwendbar für den betreffenden Grad des Umgebungseinflusses

0 = die Verwendung für den betreffenden Grad des Umgebungseinflusses ist ausgeschlossen

c) die Beständigkeit gegen Umgebungseinflüsse muss durch eine Prüfung überprüft werden

Cementy podľa ČSN EN 197-1 / Zemente nach ČSN EN 197-1	Druh a stupeň vplyvu prostredia / Arten und Klassen des Einflusses der Umgebung									
	Pôsobenie zmrazovania a rozmrazovania / Einwirkung von Frost und Auftauen				Chemicky agresívne prostredie / Chemisch aggressive Umgebung			Obrus / Abrieb		
	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2	XM3
CEM V/A, B	X ^{c)}	X ^{c)}	0	0	0	0	0	0	0	0

dvoch stupňoch korózie karbonatáciou. Česká norma nepripúšťa tieto cementy použiť pri najvyššom stupni korózie chloridmi inými ako z morskej vody, pri najvyšších dvoch stupňoch korózie striedavým pôsobením zmrazovania a rozmrazovania, pri chemickom pôsobení a pôsobení obrusovania.

Podľa tabuľky F. 3 STN EN 206-1/NA je prípustné pri styku s predpínacou výstužou použiť okrem portlandského cementu (CEM I) jedine portlandský cement zmesový (CEM II/A-S), a to len za predpokladu, že je zabezpečená dostatočná alkalita betónu podľa článku 5. 1. 2 Národnej prílohy. Článok 5. 1. 2 v pôvodnej STN EN 206-1: 2002 bol výstižne formulovaný jedinou vetou tohto znenia: „Vhodnosť cementu je všeobecne preukázaná pokiaľ vyhovie požiadavkám EN 197-1“. Národná príloha STN EN 206-1/NA obsahuje presnejšie ustanovenia o voľbe druhu cementu v prípade styku betónu s predpínacou výstužou, a to:

Článok 5. 1. 2 normy Cement sa dopĺňa takto:

Pri konštrukciách z predpätého betónu s predpínacou výstužou chránenou proti korózii inak ako betónom, vyhovujú všetky cementy podľa STN EN 197-1, ktoré spĺňajú všetky požiadavky na vystužený betón podľa STN EN 206-1 a STN 73 2401 [71].

Pri konštrukciách z predpätého betónu s predpínacou výstužou chránenou proti korózii iba betónom, vyhovujú nasledujúce cementy podľa STN EN 197-1: CEM I, CEM II/A-S.

Toto platí za predpokladu, že v prípade spoločného použitia popolčeka a kremičitého úletu ako prímеси do betónu, musí byť zabezpečená dostatočná alkalita v štruktúre betónu. Najvyššia povolená dávka popolčeka je v tom prípade daná vzťahom s použitím:

$CEM I \text{ p/c} \leq 3x (0,22 - s/c)$

$CEM II/A-S \text{ p/c} \leq 3x (0,15 - s/c)$

(p: popolček, c: cement, s: kremičitý úlet)

Rakúska norma ÖNORM EN 206-1: 2000 tabuľku o prípustnosti jednotlivých druhov cementov vzhľadom na druhy a stupne agresívneho prostredia neuvádza.

Doterajšie výsledky skúšok pevnosti v tlaku betónov po 28 dňoch ošetrovania pri (20 ± 1) °C vo vode a vo vzduchu s relatívnou vlhkosťou vzduchu podľa tabuľky 3. 8 indikujú triedu C 30/37 pre betón zhotovený z CEM V/A 32,5 R a triedu C 20/25 pre betón z CEM V/B 32,5 N rakúskej a slovenskej výroby.

Ambíciou projektu ENVIZEO je rozšíriť aplikačný potenciál zmesových cementov CEM V/ (A, B) druhu v betóne

mit einer aggressiven Umgebung aufweisen. Nach der slowakischen Norm ist es möglich Kompositzemente nur in einer Umgebung ohne Korrosions- und Angriffsrisiko und bei den niedrigsten zwei Klassen von Korrosion durch Karbonatisierung zu verwenden. Die tschechische Norm lässt es nicht zu, diese Zemente beim höchsten Grad von Korrosion durch Chloride, die nicht aus Meerwasser stammen, bei den höchsten Klassen von Korrosion durch wechselseitigen Einfluss von Frost und Auftauen, bei chemischer Einwirkung und bei der Einwirkung von Abrieb zu verwenden.

Laut Tabelle F. 3 STN EN 206-1/NA ist beim Kontakt mit einer Vorspannbewehrung außer Portlandzement (CEM I) nur Portlandkompositzement (CEM II/A-S) zulässig, und dies mit der Anmerkung, dass dies nur unter der Voraussetzung gilt, dass eine ausreichende Alkalität des Betons nach Artikel 5. 1. 2 der Nationalen Anlage sichergestellt ist. Artikel 5. 1. 2 in der ursprünglichen STN EN 206-1: 2002 war deutlich durch einen einzigen Satz mit folgendem Wortlaut formuliert: „Die Eignung des Zements ist allgemein nachgewiesen, wenn er den Anforderungen der EN 197-1 entspricht“. Die nationale Anlage STN EN 206-1/NA enthält genauere Bestimmungen über die Wahl der Zementsorte bei Kontakt des Betons mit Vorspannbewehrung, und zwar:

Artikel 5. 1. 2 der Norme Zement wird wie folgt ergänzt:

Bei Konstruktionen aus Spannbeton mit Vorspannbewehrung, die anders als der Beton gegen Korrosion geschützt ist, sind alle Zemente nach STN EN 197-1 geeignet, die alle Anforderungen an bewehrten Beton nach STN EN 206-1 a STN 73 2401 erfüllen.

Bei Konstruktionen aus Spannbeton mit Vorspannbewehrung, die nur durch Beton gegen Korrosion geschützt sind, sind folgende Zemente nach STN EN 197-1 geeignet: CEM I, CEM II/A-S.

Dies gilt unter der Voraussetzung, dass im Fall einer gleichzeitigen Verwendung von Flugasche und Silikastaub als Zusatzstoffe des Betons, in der Struktur des Betons eine ausreichende Alkalität sichergestellt wird. Die höchste erlaubte Zugabe an Flugasche beträgt in diesem Fall in Beziehung

zur Verwendung von CEM I $\text{p/c} \leq 3x (0,22 - s/c)$

zur Verwendung von CEM II/A-S $\text{p/c} \leq 3x (0,15 - s/c)$.

(p: Flugasche, c: Zement, s: Silikastaub)

Die österreichische Norm ÖNORM EN 206-1: 2000 führt die Tabelle über die Zulässigkeit einzelner Zementsorten bezüglich der Arten und Klassen einer aggressiven

Tabuľka 3. 8 Kocková pevnosť betónu v tlaku po 28 dňoch uloženia vo vode a na vzduchu

Tabelle 3. 8 Druckfestigkeit eines würfelförmigen Probekörpers nach 28 Tagen Einlage in Wasser und an der Luft

Druh cementu / Zementsorte	Uloženie pri (20 ±1) °C / Einlage bei (20 ±1) °C	Pevnosť v tlaku, MPa / Druckfestigkeit, MPa
CEM I 32,5 R	Voda / Wasser	44,8
	Vzduch 60 % rel. vlhkosť / 60 % rel. Luftfeuchte	43,3
CEM V/A (S-V) 32,5 R – SK + Berament 05 -10*	Voda / Wasser	46,6
	Vzduch 60 % rel. vlhkosť / 60 % rel. Luftfeuchte	45,8
CEM V/A (S-V) 32,5 R - AT	Voda / Wasser	45,7
	Vzduch 60 % rel. vlhkosť / 60 % rel. Luftfeuchte	38,9
CEM V/B (S-P) 32,5 N – SK + Berament 05-10	Voda / Wasser	36,6
	Vzduch 60 % rel. vlhkosť / 60 % rel. Luftfeuchte	35,5
CEM V/B (S-V) 32,5 N – AT	Voda / Wasser	31,2
	Vzduch 60 % rel. vlhkosť / 60 % rel. Luftfeuchte	24,8

Poznámka:

* použitie superplastifikačnej prísady Berament 05-10 je nevyhnutné pre dosiahnutie rovnakej spracovateľnosti čerstvého betónu

Die Bemerkung:

* die Verwendung des Superplastifikatorzusatzmittel Berament 05-10 ist für das Erreichen einer gleichen Verarbeitbarkeit des Frischbetons erforderlich



minimálne na rozsah použitia avizovaný v českej norme ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008, prípadne aj nad rámec tejto normy, najmä pre použitie v chemicky agresívnom prostredí. Vzhľadom na relatívne nízke obsahy cementového slinku v CEM V/ (A, B) sa však nepovažujú tieto cementy za vhodné pre predpäté betónové konštrukcie.

3. 2. 2. 2 Kamenivo

V pôvodnej slovenskej a českej EN 206-1 (STN EN 206-1: 2002 a ČSN EN 206-1: 2000) boli požiadavky na výber kameniva v čl. 5. 2. 3 vymedzené len veľmi všeobecne. Článok 5. 2. 3. 1 určoval, že pri výbere druhu kameniva, jeho zrnitosti, tvaru, odolnosti proti striedavému pôsobeniu zmrazovania a rozmrazovania, odolnosti proti obrusovaniu, je treba brať do úvahy vykonávanie prác, konečné použitie betónu a podmienky okolitého prostredia. Znovu použité (recyklované) neroztriedené kamenivo bolo možné použiť maximálne do obsahu 5 % hmotnosti z celkového množstva. Pokiaľ sa už raz použité kamenivo dávkovalo v množstve väčšom ako 5 % hmot. z celkového množstva, muselo byť roztriedené na hrubú a drobnú frakciu. Obdobné všeobecné ustanovenia o použití kameniva obsahuje ten istý článok (5. 2. 3) rakúskej ÖNORM EN 206-1: 2000.

Národná príloha STN EN 206-1/NA: 2009 je doplnená o článok 5. 1. 3, podľa ktorého do betónu odolného abrazívnym účinkom sa nedovoľuje používať kamenivo z uhličitanových hornín (dolomit, vápenc). U kameniva, určeného pre výrobu betónu odolného abrazívnym účinkom, je potrebné stanoviť odolnosť hrubého kameniva proti rozdrobovaniu a obrusovaniu podľa STN EN 1097-2 [119]. Podľa nového článku 5. 2. 3. 5 recyklované kamenivo je prípustné použiť do maximálnej pevnostnej triedy betónu C16/20. Obdobné ustanovenia o neprípustnosti uhličitanového kameniva pre výrobu betónu, vystaveného účinku obrusovania a rozdrobovania, obsahujú poznámky c) a d) k tabuľke F. 3 ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008. Použitie recyklovaného kameniva je predmetom čl. NA. 8 ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008, podľa ktorého recyklované kamenivo nie je možné použiť pre výrobu betónu, odolného proti účinku chloridov prostredia XF2 a XF4 (chloridy z morskej vody), XD1 až XD3 (chloridy iné ako z morskej vody), pre predpäté betónové konštrukcie, pre konštrukcie s vysokými požiadavkami na vodotesnosť betónu a pre pohľadový betón. Rakúska ÖNORM EN 206-1: 2000 obsahuje - pokiaľ sa týka kameniva - len veľmi všeobecné ustanovenia na úrovni českej a slovenskej základnej normy.

Tabuľka F. 1 Národnej prílohy STN EN 206-1/NA: 2009 obsahuje - pri porovnaní s tabuľkou F. 1 pôvodnej normy STN EN 206-1: 2002 - pri odporúčaných medzných hodnotách pre zloženie a vlastnosti betónu vystaveného pôsobeniu zmrazovania a rozmrazovania doplnujúce ustanovenie, podľa ktorého sa pre jednotlivé stupne vplyvu prostredia limituje mrazuvzdornosť kameniva a mrazuvzdornosť betónu. Obdobné ustanovenie je špecifikované v tabuľke NA. F. 1 ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008 ako aj tabuľke F. 1 rakúskej ÖNORM EN 206-1: 2000.

Umgebung nicht an.

Die bisherigen Testergebnisse über die Druckfestigkeit von Beton nach 28 Tagen Behandlung bei $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ im Wasser und in der Luft mit einer relativen Luftfeuchte laut Tabelle 3.8 indizieren die Klasse C 30/37 für Beton, der aus CEM V/A 32,5 R hergestellt wird, und die Klasse C 20/25 für Beton, der aus CEM V/B 32,5 N aus österreichischer und slowakischer Produktion stammt.

Ambition des Projekts ENVIZEO ist die Erweiterung des Anwendungspotenzials der Kompositzemente CEM V/ (A, B) in Beton mindestens in dem Umfang, der in der tschechischen Norm ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008 angegeben ist, bzw. auch über den Rahmen dieser Norm hinaus, besonders für die Verwendung in chemisch aggressiver Umgebung. Hinsichtlich des relativ geringen Klinkergehalts im Zement CEM V/ (A, B) gelten diese Zemente allerdings nicht als geeignet für Beton in Kontakt mit einer Vorspannbewehrung.

3. 2. 2. 2 Gesteinskörnung

In der ursprünglichen slowakischen und tschechischen EN 206-1 (STN EN 206-1: 2002 und ČSN EN 206-1: 2000) waren die Anforderungen an die Auswahl der Gesteinskörnung in Art. 5. 2. 3 nur sehr allgemein eingegrenzt. Artikel 5. 2. 3. 1 bestimmte, dass bei der Auswahl der Art der Gesteinskörnung, der Körnung, der Form, der Beständigkeit gegen wechselseitigen Einfluss von Frost und Auftauen und der Beständigkeit gegen Abrieb auch die Ausführung der Arbeiten, die endgültige Nutzung des Betons und die Bedingungen der Umgebung berücksichtigt werden müssen. Die Wiederverwendung (rezyklierter) nicht sortierter Gesteinskörnungen wurde auf max. 5 % des Gewichts der Gesamtmenge beschränkt. Wenn bereits rezyklierte Gesteinskörnung mit einer größeren Menge als 5 % des Gewichts der Gesamtmenge verwendet wird, müsste diese in eine grobe und eine feine Fraktion sortiert werden. Ähnliche allgemeine Bestimmungen über die Verwendung von Gesteinskörnungen enthält der gleiche Artikel (5. 2. 3) der österreichischen ÖNORM EN206-1: 2000.

Die nationale Anlage der STN EN 206-1/NA: 2009 wird um den Artikel 5. 1. 3 ergänzt, nach dem in Beton, der beständig gegen abrasive Einwirkung ist, die Verwendung von Gesteinskörnung aus Karbonatgesteinen (Dolomit, Kalkstein) nicht erlaubt ist. Bei Gesteinskörnungen, die für Beton mit Beständigkeit gegen abrasive Einwirkung bestimmt ist, muss die Beständigkeit der groben Gesteinskörnung gegen Zerkleinerung und Abrieb nach STN EN 1097-2 [119] festgelegt werden. Rezyklierte Gesteinskörnung kann nach dem neuen Artikel 5. 2. 3. 5 bis zur maximalen Festigkeitsklasse des Betons C16/20 verwendet werden. Ähnliche Bestimmungen über die Unzulässigkeit von Karbonatgesteinen für die Herstellung von Beton, der Abrieb und Abschlagen ausgesetzt ist, enthalten die Anmerkungen c) und d) unter der Tabelle F. 3 ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008. Die Verwendung von rezyklierter Gesteinskörnung ist Gegenstand des Art. NA. 8 ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008, nach dem rezyklierte Gesteinskörnung nicht für die Herstellung von Beton verwendet werden kann, der beständig gegen Chlorid-Umgebung XF2 und XF4 (Chloride aus Meerwasser), XD1 bis XD3 (Chloride nicht aus Meerwasser) sein soll, für Spannbetonkonstruktionen, für Konstruktionen mit hohen Anforderungen an die Wasserdichte des Betons und für Sichtbeton. Die österreichische ÖNORM EN 206-1: 2000 enthält - sofern es die Gesteinskörnung betrifft - nur sehr allgemeine Bestimmungen auf dem Niveau der tschechischen und slowakischen Basisnorm.

Tabelle F. 1 der Nationalen Anlage der STN EN 206-1/NA: 2009 enthält - im Vergleich zu Tabelle F. 1 der ursprünglichen Norm STN EN 206-1: 2002 - bei den empfohlenen Grenzwerten für die Zusammensetzung und die Eigenschaften des Betons, der der Einwirkung von Frost und Auftauen ausgesetzt ist, ergänzende

3. 2. 2. 3 Zámesová voda

Podľa pôvodných noriem (STN EN 206-1: 2002, ČSN EN 206-1: 2000 a ÖNORM EN 206-1: 2005, čl. 5. 1. 4) sa vhodnosť zámesovej vody ako aj vody získanej pri recyklácii v betonárii preukázala tým, že vyhovovala STN EN 1008: 2003 [15].

Na základe článku 5. 2. 4 Národnej prílohy STN EN 206-1/NA: 2009 sa recyklovaná voda nesmie použiť pri výrobe betónu triedy C 30/37 a vyššej, pri výrobe prevzdušneného betónu a pri výrobe betónu, ktorý bude vystavený striedavému pôsobeniu zmrazovania a rozmrazovania stupňa XF4 (betón značne nasýtený vodou s rozmrazovacími prostriedkami). Obdobné ustanovenie obsahuje čl. NA. 13 ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008.

Projekt ENVIZEO disponuje ambíciou preukázať opodstatnenosť použitia rakúskeho a slovenského cementu CEM V/A 32,5 R na prípravu betónu triedy C 30/37. Podľa doterajších výsledkov cement CEM V/B 32,5 N rakúskej a slovenskej výroby postačuje pre zhotovenie betónu triedy C 20/25. Použitie recyklovanej vody bude v tomto svetle obmedzené, pretože oba druhy CEM V/ (A, B) nedosiahnu odolnosť XF4 stupňa pri skúške zmrazovaním a rozmrazovaním. K aplikácii prevzdušneného betónu sa nateraz nie je možné zodpovedne vyjadriť, hoci je možné ju pokladať za možnú.

3. 2. 2. 4 Prísady

Národná príloha STN EN 206-1/NA: 2009 upravuje a upresňuje používanie prísad, a to hlavne pri pôsobení zmrazovania a rozmrazovania a pri chemickom pôsobení. Pri použití prevzdušňovacích prísad ako opatrenia na zvýšenie odolnosti betónu proti účinkom zmrazovania a rozmrazovania podľa článku 5. 4. 3 STN EN 206-1/NA sa požaduje, aby najmenší obsah vzduchu v čerstvom betóne, v dobe ukladania betónu do konštrukcie alebo u transportbetónu v dobe jeho dodania na stavenisko, odpovedal určitým, tabelárne vymedzeným hodnotám. Najmenší a najväčší prípustný obsah vzduchu podľa tabuľky Z. 7 Národnej prílohy prezentuje tabuľka 3. 9. Pri veľkosti najväčšieho zrna kameniva do 8 mm najmenší prípustný obsah vzduchu predstavuje podľa tabuľky Z. 7 Národnej prílohy 5,5 % obj. a najvyšší 9,5 % obj. Pri najväčšom zrne kameniva 90 mm najmenší obsah vzduchu sa limituje hodnotou najmenej 3,5 % obj. a najviac na 7 % obj.

Bestimmungen, nach denen für einzelne Expositionsklassen die Frostbeständigkeit der Gesteinskörnung und des Betons limitiert sind. Ähnliche Bestimmungen sind in Tabelle NA. F. 1 ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008 wie auch in Tabelle F. 1 der österreichischen ÖNORM EN 206-1: 2000 spezifiziert.

3. 2. 2. 3 Zugabewasser

Nach den ursprünglichen Normen (STN EN 206-1: 2002, ČSN EN 206-1: 2000 und ÖNORM EN 206-1: 2000, Art. 5. 1. 4) wird die Eignung des Zugabewassers, wie auch des bei Rezyklieren gewonnenen Wassers im Betonwerk, dadurch nachgewiesen, dass es STN EN 1008: 2003 [15] entspricht. Auf Grundlage des Artikels 5. 2. 4 der nationalen Anlage der STN EN 206-1/NA: 2009 darf rezykliertes Wasser nicht bei der Herstellung von Beton der Klasse C 30/37 und höher, bei der Herstellung von Luftporenbeton und bei der Herstellung von Beton, der wechselseitigem Einfluss von Frost und Auftauen der Expositionsklasse XF4 ausgesetzt ist (Beton, der beträchtlich mit Taumitteln gesättigt ist), verwendet werden. Ähnliche Bestimmungen enthält Art. NA. 13 ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008.

Das Projekt ENVIZEO hat die Ambition, die begründete Verwendung des österreichischen und slowakischen Zements CEM V/A 32,5 R für die Herstellung von Beton der Klasse C 30/37 nachzuweisen. Nach den bisherigen Ergebnissen genügt Zement CEM V/B 32,5 N der österreichischen und slowakischen Produktion für die Herstellung von Beton der Klasse C 20/25. Die Verwendung von rezykliertem Wasser wird in diesem Licht allerdings eingeschränkt, weil beide Sorten CEM V/ (A, B) offensichtlich nicht die Beständigkeit der Expositionsklasse XF4 bei den Prüfungen Frost und Auftauen erreichen. Zur Anwendung bei Luftporenbeton ist es bisher nicht möglich konkret Stellung zu nehmen, obwohl diese als möglich angesehen wird.

3. 2. 2. 4 Zusatzmittel

Die nationale Anlage STN EN 206-1/NA: 2009 regelt und konkretisiert die Nutzung von Zusatzmitteln, und zwar vor allem bei der Einwirkung von Frost und Auftauen und bei chemischer Einwirkung. Bei der Verwendung von luftporenbildenden Zusatzmitteln als Maßnahme zur Erhöhung der Beständigkeit gegen Frost und Auftauen nach Artikel 5. 4. 3 STN EN 206-1/NA wird gefordert, dass der geringste Luftgehalt im Frischbeton zur Zeit der Aufbringung auf die Konstruktion oder beim Transportbeton zur Zeit seiner Lieferung an die Baustelle einem bestimmten, tabellarisch eingegrenzten Wert entspricht. Den kleinsten und größten zulässigen Luftgehalt laut Tabelle Z. 7 der nationalen Anlage präsentiert Tabelle 3. 9. Bei Korngrößen bis 8 mm beträgt der kleinste zulässige Luftgehalt laut Tabelle Z. 7 der nationalen Anlage 5,5 % des Volumens und der größte 9,5 % des Volumens. Bei Korngrößen bis 90 mm beträgt der kleinste zulässige Luftgehalt min. 3,5 % des Volumens und der größte 7 % des Volumens.

Tabuľka 3. 9 Obsah vzduchu v prevzdušnenom betóne v % objemu čerstvého betónu podľa STN EN 206-1/NA: 2009

Tabelle 3. 9 Luftgehalt in Luftporenbeton in % des Volumens des Frischbetons nach STN EN 206-1/NA: 2009

Veľkosť najväčšieho zrna kameniva [mm] / Größe des größten Korns der Gesteinskörnung [mm]		8	16	22	32	63	90
Najmenší obsah vzduchu [%] / Kleinsten Luftgehalt [%]	Výsledky skúšok podľa STN EN 12350-7 / Prüfergebnis nach STN EN 12350-7 [16]	5,5	4,5	4,0	4,0	3,5	3,5
Najväčší obsah vzduchu [%] / Größter Luftgehalt [%]	Výsledky skúšok podľa STN EN 12350-7 / Prüfergebnis nach STN EN 12350-7	9,5	8,5	8,0	8,0	7,0	7,0

Použitie prevzdušňovacích prísad sa špecifikuje ako opatrenie na zvýšenie odolnosti betónu proti účinkom síranovej agresivity. Pri najvyššom stupni síranovej agresivity (XA3) sa podľa tabuľky F. 2 STN EN 206-1/NA/2009 prevzdušňovacia prísada odporúča v kombinácii kremičitého úletu alebo mletého zeolitu ako primárne opatrenie na zaistenie síranovzdornosti betónu. Na zvýšenie odolnosti betónu proti korózii vplyvom chemického pôsobenia sa v jednom prípade podľa Národnej prílohy navrhuje dávkovanie plastifikačnej prísady. V tabuľke F. 2 Národnej prílohy STN EN 206-1/NA: 2009 sa ako primárne opatrenie na zvýšenie odolnosti betónu proti amónnej agresivite najvyššieho stupňa (XA3) odporúča dávkovanie kremičitého úletu v kombinácii s plastifikačnou prísadou. Podľa tabuľky L. 5 ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008 sa plastifikačné prísady odporúčajú najmä pri použití kremičitého úletu a iných prímiesí, vyžadujúcich zvýšený obsah zámesovej vody.

V projekte ENVIZEO sa realizovalo dodatočné overenie možnosti aplikácie cementov CEM V/ (A, B) druhu, najmä CEM V/A pri použití ako transportbetón v prostrediach, v ktorých sa počíta s nevyhnutnosťou odolnosti betónu proti striedavému zmrazovaniu a rozmrazovaniu. Prevzdušňujúce prísady sa bežne pre tento účel používajú, ale nie vždy je potrebné ich aplikovať.

3. 2. 2. 5 Prímiesi

Použitie prímiesí je podrobne rozpracované najmä v tabuľke F. 2 STN EN 206-1/NA: 2009 vo forme primárnych opatrení na zvýšenie odolnosti betónu proti všetkým 5 druhom chemického pôsobenia.

Článok 5. 2. 5 STN EN 206-1/NA: 2009 špecifikuje, ku ktorým druhom cementov je možné prímiesi pridávať a ako sa postupuje pri výpočte vodného súčiniteľa. Prímiesi je možné pridávať k cementu CEM I (portlandskému cementu), cementom CEM II/A,B-S (portlandským troskovým cementom), cementom CEM II/A-D (portlandskému

Die Verwendung luftporenbildender Zusatzmittel wird auch als Maßnahme zur Erhöhung der Beständigkeit des Betons gegen Sulfataggressivität spezifiziert. Bei der höchsten Klasse von Sulfataggressivität (XA3) wird laut Tabelle F. 2 der nationalen Anlage der Luftporenbilder in Kombination mit Silikastaub oder gemahlenem Zeolith als primäre Maßnahme zur Sicherstellung der Sulfatbeständigkeit des Betons empfohlen. Zur Erhöhung der Beständigkeit des Betons gegen Korrosion durch den Einfluss chemischer Einwirkung wird in einem Fall laut der nationalen Anlage die Dosierung von Plastifikatoren vorgeschlagen. In Tabelle F. 2 der nationalen Anlage der STN EN 206-1/NA: 2009 wird als primäre Maßnahme zur Erhöhung der Beständigkeit des Betons gegen Ammoniumaggressivität der höchsten Klasse (XA3) die Dosierung von Silikastaub in Kombination mit Plastifikatorzusatzmitteln vorgeschlagen. Laut Tabelle L. 5 ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008 werden Wasser reduzierende Zusatzmittel besonders bei der Verwendung von Silikastaub und anderen Zusatzmitteln empfohlen, die einen erhöhten Gehalt an Zugabewasser erfordern.

Im Projekt ENVIZEO ist die Realisierung der zusätzlichen Überprüfung einer möglichen Verwendung der Zementsorten CEM V/ (A, B) geplant, besonders von CEM V/A bei Nutzung als Transportbeton in Umgebungen, in denen mit der notwendigen Beständigkeit des Betons gegen wechselseitigen Frost und Auftauen gerechnet wird. Porenbildende Zusatzmittel werden üblicherweise für diesen Zweck benutzt, aber sie müssen nicht immer verwendet werden.

3. 2. 2. 5 Zusatzstoffe

Die Verwendung von Zusatzstoffen ist detailliert vor allem in Tabelle F. 2 STN EN 206-1/NA: 2009 ausgearbeitet, und zwar in Form primärer Maßnahmen zur Erhöhung der Beständigkeit des Betons gegen alle 5 Arten chemischer Einwirkung. Artikel 5. 2. 5 STN EN 206-1/NA: 2009 spezifiziert, in welchen Zementsorten Zusatzstoffe zugesetzt werden können, und wie bei der Berechnung der Mitwirkung des Wasserzementwertes vorzugehen ist. Zusatzstoffe können dem Zement CEM I (Portlandzement), dem Zement CEM II/A, B-S (Portland-Schlacke-Zement), dem Zement CEM II/A-D (Portlandzement mit Silikastaub), dem Zement CEM II/A,



Tabuľka 3. 10 *Odporúčané opatrenia na primárnu ochranu betónu pred síranovou a horečnatou agresivitou podľa Tabuľky F. 2 STN EN 206-1/NA: 2009*
 Tabelle 3. 10 *Empfohlene Maßnahmen zum primären Schutz des Betons vor Sulfat- und Magnesiumaggressivität laut Tabelle F. 2 STN EN 206-1/NA: 2009)*

		Druh chemickej agresivity zeminy a/alebo vody / Arten chemischer Aggressivität von Böden und/oder Wasser					
		Síranová agresivita / Sulfataggressivität			Horečnatá agresivita / Magnesium-aggressivität		
Stupeň vplyvu prostredia ^{a) b) c)} / Expositionsklasse ^{a) b) c)}		XA1	XA2	XA3	XA1	XA2	XA3
1	Podmienky pôsobenia vody a/alebo zeminy/ Bedingungen der Einwirkung von Wasser und/oder Böden	Platí pre agresívnu zeminu a vodu s teplotou od +5 °C do +25 °C, pôsobiacu na konštrukciu viac ako 50 rokov a menej ako 100 rokov. Pri pôsobení vody platí pre miernu rýchlosť vody, ktorá sa blíži nehybnému stavu. / Gilt für aggressiven Boden und Wasser mit einer Temperatur von +5 °C bis +25 °C, die mehr als 50 Jahre und weniger als 100 Jahre auf die Konstruktion einwirken. Bei der Einwirkung von Wasser gilt dies bei mäßiger Fließgeschwindigkeit, die sich dem hydrostatischen Zustand nähert.					
2	Minimálna hrúbka konštrukcie / Minimale Stärke der Konstruktion	Pre prostý betón 300 mm / Normalbeton 300 mm					
3	Použitý druh cementu / Benutzte Zementsorte	Cement s miernou síranovzdornosťou / Zement mit mäßiger Sulfat-beständigkeit	Cement so strednou síranovzdornosťou / Zement mit mittlerer Sulfat-beständigkeit	Cement s vysokou síranovzdornosťou / Zement mit hoher Sulfat-beständigkeit	-	-	-
4	Použitá prísada alebo prímies ^{d) e)} / Benutztes Zusatzmittel oder Zusatzstoffe ^{d) e)}	Popolček alebo jemno mletá vysokopecná troska ^{f)} / Flugasche oder fein gemahlene Hüttensand ^{f)}	Kremičitý úlet alebo mletý zeolit ^{g)} / Silikastaub oder gemahlener Zeolith ^{g)}	Kremičitý úlet alebo mletý zeolit, prevzdušňujúca prísada podľa článku 5. 4. 3 ^{h)} / Silikastaub oder gemahlener Zeolith, porenbildendes Zusatzmittel nach Artikel 5. 4. 3 ^{h)}			Kremičitý úlet / Silika-staub

Poznámka:

Vysvetlivky a), b), c) detailne dokumentuje tabuľka F. 2 STN EN 206-1/NA: 2009.

d) Prísady a prímiesi musia spĺňať požiadavky čl. 5 tejto normy.

e) Pri dodržaní riadkov 1,2,3 uvedených v tabuľke F. 1 ako medzných hodnôt a druhu cementu podľa riadku 3 tabuľky F. 2 a súčasnom splnení kritérií riadku 4 tabuľky F. 1 nie je potrebné použitie prísad a prímiesí. Neplatí to pri poznámke g), kde je treba použiť prísady do betónu.

f) Za cement s miernou síranovzdornosťou sa považuje cement s obsahom C₃A v cimente menším ako 8 % hmotnostných.

g) Za cement so strednou síranovzdornosťou sa považuje CEM I SV, CEM III/B SV a CEM III/SV vyhovujúci STN 72 2103 [120].

Pri obsahu SO₄²⁻ do 1500 mg/l je možné použiť cementy CEM III/B a CEM III/C a tiež nasledujúce cementy v kombinácii s prímiesami do betónu (podľa článku 5. 2. 5) - CEM I s obsahom C₃A v slinku do 8 %, CEM II/A a CEM II/B s dostatočnou dávkou puzolánovej prímiesi (napr. aspoň 20 % popolčeka)

h) Za cement s vysokou síranovzdornosťou sa považuje cement CEM I SV, CEM III/B a CEM III/C SV, vyhovujúci STN 72 2103.

Die Bemerkung:

Die Anmerkungen a), b), c) sind in der Tabelle F. 2 STN EN 206-1/NA: 2009 beschrieben.

d) Zusatzmittel und Zusatzstoffe müssen die Anforderungen von Art. 5 dieser Norm erfüllen.

e) Bei Einhaltung der Zeilen 1,2,3 in Tabelle F. 1 als Grenzwerte und Zementsorte nach Zeile 3 der Tabelle F. 2 und bei gleichzeitiger Erfüllung der Kriterien der Zeile 4 von Tabelle F. 1 ist die Verwendung von Zusatzmitteln und Zusatzstoffen nicht nötig. Dies gilt nicht bei Anmerkung g), wo ein Zusatzmittel für den Beton nötig ist.

f) Als Zement mit mäßiger Sulfatbeständigkeit gilt Zement mit einem C₃A-Gehalt, der niedriger als 8 % des Gewichts ist.

g) Als Zement mit mittlerer Sulfatbeständigkeit gilt Zement CEM I SV, CEM III/B SV und CEM III/SV, der STN 72 2103 [120] entspricht. Bei einem SO₄²⁻-Gehalt bis 1500 mg/l können die Zemente CEM III/B und CEM III/C und ebenfalls folgende Zemente in Kombination mit Zusatzstoffen für den Beton (nach Artikel 5. 2. 5) - CEM I mit C₃A-Gehalt im Klinker bis 8 %, CEM II/A und CEM II/B mit ausreichender Zugabe von Puzzolan-Zusatzstoffen (z. B. min. 20 % Flugasche)

h) Als Zement mit hoher Sulfatbeständigkeit gilt Zement CEM I SV, CEM III/B und CEM III/C SV, der STN 72 2103 entspricht.

Tabuľka 3. 11 Odporúčané opatrenia na primárnu ochranu betónu proti kyslej, uhličitej a amónnej agresivite podľa tabuľky F. 2 STN EN 206-1/NA

Tabelle 3. 11 Empfohlene Maßnahmen zum primären Schutz des Betons vor Säure-, Kohlensäure- und Ammoniumaggressivität laut Tabelle F. 2 STN EN 206-1/NA

		Druh chemickej agresivity zeminy a/alebo vody / Arten chemischer Aggressivität von Böden und/oder Wasser								
		Kyslá agresivita / Säureaggressivität			Uhličitá agresivita / Kohlensäureaggressivität			Amónna agresivita / Ammoniumaggressivität		
Stupeň vplyvu prostredia ^{a) b) c)} / Expositionsklasse ^{a) b) c)}		XA1	XA2	XA3	XA1	XA2	XA3	XA1	XA2	XA3
1	Podmienky pôsobenia vody a/alebo zeminy / Bedingungen der Einwirkung von Wasser und/oder Böden	Platí pre agresívnu zeminu a vodu s teplotou od +5 °C do +25 °C, pôsobiacu na konštrukciu viac ako 50 rokov a menej ako 100 rokov. Pri pôsobení vody platí pre miernu rýchlosť vody, ktorá sa blíži nehybnému stavu. / Gilt für aggressiven Boden und Wasser mit einer Temperatur von +5 °C bis +25 °C, die mehr als 50 Jahre und weniger als 100 Jahre auf die Konstruktion einwirken. Bei der Einwirkung von Wasser gilt dies bei mäßiger Fließgeschwindigkeit, die sich dem hydrostatischen Zustand nähert.								
2	Minimálna hrúbka konštrukcie / Minimale Stärke der Konstruktion	Pre prostý betón 300 mm / Normalbeton 300 mm								
3	Použitý druh cementu / Benutzte Zementsorte	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Použitá prísada alebo prímies ^{d) e)} / Benutztes Zusatzmittel oder Zusatzstoffe ^{d) e)}	-	-	Železná prímies alebo mletý zeolit, príp. kombinácia zeolit s kremičitým úletom / Eisen-zusatzstoff oder gemahlener Zeolith, bzw. Kombination Zeolith mit Silikastaub	-	-	Železná prímies alebo mletý zeolit, príp. kombinácia zeolit s kremičitým úletom / Eisenzusatzstoff oder gemahlener Zeolith, bzw. Kombination Zeolith mit Silikastaub	-	-	Kremičitý úlet a plastifikačná prísada / Silikastaub und Plastifikatorzusatz

Poznámka:

Vysvetlivky a), b), c), f) detailne dokumentuje tabuľka F. 2 STN EN 206-1/NA: 2009.

d) Prísady a prímies musia spĺňať požiadavky čl. 5 tejto normy.

e) Pri dodržaní riadkov 1,2,3 uvedených v tabuľke F. 1 ako medzných hodnôt a druhu cementu podľa riadku 3 tabuľky F. 2 a súčasnom splnení kritérií riadku 4 tabuľky F. 1 nie je potrebné použitie prísad a prímies. Neplatí to pri poznámke g), kde je treba použiť prísady do betónu.

f) Za cement s miernou síranovzdornosťou sa považuje cement s obsahom C_3A v cemente menším ako 8 % hmotnostných.

Die Bemerkung:

Die Anmerkungen a), b), c), f) sind in der Tabelle F. 2 STN EN 206-1/NA: 2009 beschrieben.

d) Zusatzmittel und Zusatzstoffe müssen die Anforderungen von Art. 5 dieser Norm erfüllen.

e) Bei Einhaltung der Zeilen 1,2,3 in Tabelle F. 1 als Grenzwerte und Zementsorte nach Zeile 3 der Tabelle F. 2 und bei gleichzeitiger Erfüllung der Kriterien der Zeile 4 von Tabelle F. 1 ist die Verwendung von Zusatzmitteln und Zusatzstoffen nicht nötig. Dies gilt nicht bei Anmerkung g), wo ein Zusatzmittel für den Beton nötig ist.

f) Als Zement mit mäßiger Sulfatbeständigkeit gilt Zement mit einem C_3A -Gehalt, der niedriger als 8 % des Gewichts ist.

cementu s kremičitým úletom), cementom CEM II/A,B,P,Q (portlandským puzolánovým cementom s obsahom prírodného alebo priemyslového puzolánu), cementom CEM II/A, B-V (portlandským popolčekom cementom), cementom CEM II/A, B-T (portlandským cementom s kalcinovanou bridlicou), cementu CEM II/A-L (portlandskému cementu s vápencom), cementu CEM II/A-LL (portlandskému cementu s vápencom) a cementu CEM III/A (vysokopecnému cementu). K ostatným druhom cementov používanie prímiesí nie je dovolené. Dovolené je len v prípade, že ide o prímiesi používané na zvýšenie odolnosti betónu proti síranovej agresivite. Podľa normy STN EN 206-1/NA: 2009 pri betónoch obsahujúcich cement s kremičitým úletom sa nesmie ako prímiesi použiť kremičitý úlet.

Na základe STN EN 206-1/NA: 2009 v prostredí XF2, XF3 a XF4 (striedavé pôsobenie zmrazovania a rozmrazovania) sa kremičitý úlet môže použiť len ak má betón aj po zarataní k-hodnoty vodný súčiniteľ $\leq 0,37$. Podľa tabuľky F. 1, poznámky b) k tabuľke, sa pri navrhovaní betónu medznými hodnotami pre zloženie a vlastnosti betónu pri pôsobení zmrazovania a rozmrazovania stupňa XF2 (betón mierne nasýtený vodou s rozmrazovacími prostriedkami) a stupňa XF4 (betón značne nasýtený vodou s rozmrazovacími prostriedkami) prímiesi II. druhu (puzolány alebo latentno hydraulické prímiesi) sa môžu použiť, nesmú sa však započítať do obsahu cementu a pri výpočte vodného súčiniteľa.

Spoločné použitie kremičitého úletu a popolčeka je podľa STN EN 206-1/NA: 2009 prípustné pre CEM I a CEM II/A-S pri dodržaní článku 5. 1. 2. Pri ostatných druhoch cementu nie je dovolené spoločné použitie kremičitého úletu a popolčeka ako prímiesí.

Vzhľadom na mimoriadnu dôležitosť obsahu prímiesí a prísad pre zloženie zmesových cementov CEM V/ (A, B), nasledujúce tabuľky 3.9 a 3.10 reprodukovujú odporúčané opatrenia podľa tabuľky F. 2 STN EN 206-1/NA: 2009, potrebné pre ochranu betónu proti chemickému pôsobeniu [Odporúčané opatrenia na primárnu ochranu betónu pred koróziou betónu vplyvom chemicky agresívneho prostredia (XA. . .)]. Tabuľka 3. 10 špecifikuje opatrenia pre síranovú a horečnatú agresivitu a tabuľka 3. 11 vymedzuje opatrenia pre agresivitu kyselinovú, uhličítu a amónnu.

Pokiaľ sa týka použitia jednotlivých druhov cementov, národná príloha STN EN 206-1/NA: 2009 obsahuje aj niektoré nelogické obmedzenia, ktoré sa stali už predmetom kritiky [17]. Niektoré prímiesi, ktoré sa podľa tabuľky F. 2 na jednej strane odporúčajú na zvýšenie odolnosti proti korózii betónu vplyvom chemicky agresívneho prostredia, sa na druhej strane nepripúšťajú ako prímiesi portlandských zmesových cementov. Cement CEM II/B-M nie je možné podľa tabuľky F. 3 použiť pri styku s chemicky agresívnym prostredím. To však odporuje praktickým skúsenostiam o odolnosti tohto druhu cementu proti chemickému agresívnemu prostrediu ako aj samotnej Národnej prílohe. Portlandský zmesový cement CEM II/B-M, obsahujúci 21-35 % prímiesí, je zvlášť vhodný pre styk betónu s chemicky agresívnym prostredím. To napokon dokazuje aj odporúčanie podľa tabuľky F. 2 STN EN 206-1/NA: 2009, podľa ktorej popolček, jemne mletý vysokopecná troska, kremičitý úlet a mletý zeolit sa odporúčajú na zvýšenie odolnosti betónu, obzvlášť proti síranovej agresivite, ale rovnako aj proti ďalším druhom chemicky agresívneho pôsobenia. Podobné odporúčané opatrenia na primárnu ochranu betónu proti jeho korózii vplyvom chemicky agresívneho prostredia sú špecifikované v tabuľke L. 5 českej ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008. Rakúska ÖNORM EN 206-1: 2000 opatrenia na ochranu betónu proti korózii vplyvom chemicky agresívnemu prostrediu, ktoré sú špecifikované v slovenskej STN EN 206-1/NA: 2009 a českej ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008, neobsahuje.

B-P, Q (Portland-Puzzolanzement mit Gehalt an natürlichem oder industriellen Puzzolan), dem Zemente CEM II/A, B-V (Portland-Flugasche-Zement), dem Zement CEM II/A, B-T (Portlandzement mit kalziniertem Schiefer), dem Zement CEM II/A-L (Portlandzement mit Kalkstein), dem Zement CEM II/A-LL (Portlandzement mit Kalkstein) und dem Zement CEM III/A (Hochofenzement) zugesetzt werden. Für die anderen Zementsorten ist die Verwendung von Zusatzstoffen nicht gestattet, nur dann, wenn es sich um einen Zusatzstoff handelt, der zur Erhöhung der Beständigkeit des Betons gegen Sulfataggressivität zugesetzt wird.

Nach STN EN 206-1/NA: 2009 darf bei Beton, der Zement mit Silikastaub enthält, als Zusatzstoff kein Silikastaub verwendet werden. Auf Grundlage der STN EN 206-1/NA: 2009 kann für die Expositionsclassen XF2, XF3 und XF4 (wechselseitige Einwirkung von Frost und Auftauen) Silikastaub nur dann verwendet werden, wenn beim Beton auch nach Anrechnung der k-Wert der Mitwirkung $\leq 0,37$ beträgt. Laut Tabelle F. 1, Anmerkung b) unter der Tabelle können bei der Zusammensetzung des Betons mit Grenzwerten für die Zusammensetzung und Eigenschaften des Betons bei Einwirkung von Frost und Auftauen der Expositionsclassen XF2 (Beton, mäßig gesättigt mit Wasser und Taumitteln) und der Expositionsclassen XF4 (Beton, beträchtlich gesättigt mit Wasser und Taumitteln) Zusatzstoffe der Art II. (Puzzolan- oder latent-hydraulische Zusatzstoffe) verwendet werden, sie dürfen allerdings nicht beim Zementgehalt und bei der Berechnung der Mitwirkung angerechnet werden.

Die gemeinsame Verwendung von Silikastaub und Flugasche ist nach STN EN 206-1/NA: 2009 für CEM I und CEM II/A-S bei Einhaltung des Artikels 5. 1. 2 zulässig. Bei den anderen Zementsorten ist die gemeinsame Verwendung von Silikastaub und Flugasche als Zusatzstoff nicht gestattet. Hinsichtlich der außerordentlichen Wichtigkeit des Gehalts an Zusatzstoffen und Zusatzmitteln für die Zusammensetzung der Kompositzemente CEM V/ (A, B) reproduzieren die folgenden Tabellen 3.9 und 3.10 die empfohlenen Maßnahmen laut Tabelle F. 2 STN EN 206-1/NA: 2009, die für den Schutz des Betons gegen chemische Einwirkung erforderlich ist [Empfohlene Maßnahmen zum primären Schutz des Betons vor Korrosion des Betons durch den Einfluss einer chemisch aggressiven Umgebung (XA. . .)]. Tabelle 3. 10 spezifiziert die Maßnahmen für Sulfat- und Magnesiumaggressivität und Tabelle 3. 11 grenzt die Maßnahmen für Aggressivität von Säure, Kohlensäure und Ammonium ein.

Was die Verwendung einzelner Zementsorten betrifft, enthält die nationale Anlage STN EN 206-1/NA: 2009 auch einige unlogische Beschränkungen, die bereits Gegenstand der Kritik waren [17]. Einige Zusatzstoffe, die laut Tabelle F. 2 einerseits zur Erhöhung der Beständigkeit gegen Korrosion des Betons durch den Einfluss einer chemisch aggressiven Umgebung empfohlen wurden, wurden andererseits als Zusatzstoffe für Portland-Kompositzemente nicht zugelassen. Der Zement CEM II/B-M kann laut Tabelle F. 3 nicht bei Kontakt mit einer chemisch aggressiven Umgebung benutzt werden. Das widerspricht allerdings den praktischen Erfahrungen über die Beständigkeit dieser Zementsorte gegen eine chemisch aggressive Umgebung, wie auch der nationalen Anlage selbst. Portland-Kompositzement CEM II/B-M, der 21-35 % Zusatzstoffe enthält, ist besonders für Beton in Kontakt mit einer chemisch aggressiven Umgebung geeignet. Dies beweist letztendlich auch die Empfehlung laut Tabelle F. 2 STN EN 206-1/NA: 2009, nach der Flugasche, fein gemahlene Hütten sand, Silikastaub und gemahlener Zeolith zur Erhöhung der Beständigkeit des Betons empfohlen werden, insbesondere gegen Sulfataggressivität, aber ebenfalls auch gegen weitere Arten chemischer aggressiver Einwirkung. Ähnliche empfohlene Maßnahmen zum primären Schutz des Betons gegen dessen Korrosion durch



den Einfluss einer chemisch aggressiven Umgebung werden in Tabelle L. 5 der tschechischen ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008 empfohlen. Die österreichische ÖNORM EN 206-1: 2000 enthält keine Maßnahmen zum Schutz des Betons gegen Korrosion durch den Einfluss einer chemisch aggressiven Umgebung, die in der slowakischen STN EN 206-1/NA: 2009 und in der tschechischen ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008 spezifiziert sind.

3. 2. 2. 6 Vodný súčiniteľ

Maximálny prípustný vodný súčiniteľ pre jednotlivé druhy korózneho pôsobenia na betón predpisuje tabuľka F. 1 STN EN 206-1/NA. Všeobecne pri všetkých 4 druhoch korózneho pôsobenia (karbonatácii, účinku chloridov iných ako z morskej vody, pôsobení zmrazovania a rozmrazovania, chemickom pôsobení) platí, že pri zvyšovaní stupňa korózie hodnoty maximálneho prípustného vodného súčiniteľa klesajú a pohybujú sa v rozmedzí od 0,45 pri najvyššom stupni korózie do 0,65 pri najnižších stupňoch korózie. Pre betón bez nebezpečenstva korózie alebo narušenia vodný súčiniteľ nie je limitovaný vôbec.

Pokiaľ sa týka maximálneho prípustného vodného súčiniteľa, z porovnania tabuľky F. 1 STN EN 206-1/NA: 2009 s tabuľkou F. 1 pôvodnej normy STN EN 206-1: 2002 vyplýva, že došlo len k nepatrnej zmene. Pri navrhovaní betónu medznými hodnotami pre zloženie a vlastnosti betónu sa maximálny prípustný vodný súčiniteľ pri pôsobení zmrazovania a rozmrazovania pri stupni XF1 zvýšil z pôvodnej hodnoty 0,55 na hodnotu 0,60. Hodnoty pre maximálny vodný súčiniteľ podľa Národnej prílohy STN EN 206-1/NA: 2009 platia vždy a nemôžu sa doplnkovo špecifikovať.

V českej ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008 hodnota vodného súčiniteľa sa špecifikuje v tabuľke NA. F. 1. Pri navrhovaní betónu medznými hodnotami pre zloženie a vlastnosti betónu v Českej republike sa konštrukcie z hľadiska životnosti rozdeľujú na konštrukcie so životnosťou 50 rokov

3. 2. 2. 6 Wasserzementwert

Der maximal zulässige Wassergehalt für einzelne Arten von Korrosionseinwirkung auf Beton schreibt Tabelle F. 1 STN EN 206-1/NA vor. Allgemein gilt bei allen 4 Arten von Korrosionseinwirkung (Karbonatisierung, Chloride nicht aus Meerwasser, Einwirkung von Frost und Auftauen, chemische Einwirkung), dass bei erhöhter Expositionsklasse der maximal zulässige W/Z-Wert sinkt und sich zwischen 0,45 bei der höchsten Expositionsklasse und 0,65 bei der niedrigsten Expositionsklasse bewegt. Für Beton ohne Korrosions- und Angriffsrisiko ist der W/Z-Wert nicht limitiert.

Was den maximal zulässigen W/Z-Wert betrifft, ergibt sich aus dem Vergleich von Tabelle F. 1 der nationalen Anlage der STN EN 206-1/NA: 2009 mit Tabelle F. 1 der ursprünglichen Norm STN EN 206-1: 2002, dass es nur zu einer unwesentlichen Änderung kam. Bei Beton mit Grenzwerten für die Zusammensetzung und Eigenschaften des Betons erhöhte sich der maximal zulässige W/Z-Wert bei der Einwirkung von Frost und Auftauen bei der Expositionsklasse XF1 vom ursprünglichen Wert 0,55 auf den Wert 0,60. Die Werte der maximalen W/Z-Werte laut nationaler Anlage der STN EN 206-1/NA: 2009 gelten immer und können nicht ergänzend spezifiziert werden.

In der tschechischen ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008 wird der W/Z-Wert in Tabelle NA. F. 1 spezifiziert. Bei Beton mit Grenzwerten für die Zusammensetzung und Eigenschaften des Betons werden in der Tschechischen Republik Konstruktionen aus Sicht der Lebensdauer in Konstruktionen mit einer Lebensdauer von 50 Jahren und

a konštrukcie so životnosťou 100 rokov. Maximálny prípustný vodný súčiniteľ sa však v prípade oboch predpokladaných životností neodlišuje a pohybuje sa v rozmedzí od 0,45 pri najvyššom stupni korózie do 0,65 pri najnižšom stupni korózie. Aj v rakúskej ÖNORM EN 206-1: 2000, tabuľke F. 1, sa limituje maximálna hodnota vodného súčiniteľa v rozmedzí od 0,45 pri najvyššom stupni korózie do 0,65 pri najnižšom stupni korózie.

3. 2. 2. 7 Pevnosť betónu

Tabuľka F. 1 STN EN 206-1/NA: 2009 stanovuje požiadavky na minimálnu pevnostnú triedu betónu. Požiadavky na minimálnu pevnostnú triedu sú rozdelené do dvoch kategórií. Pre koróziu spôsobenú karbonatáciou a koróziu účinkom chloridov iných ako z morskej vody vymedzená pevnostná trieda betónu platí vždy. Pre ostatné dva druhy korózie, to je koróziu pôsobením zmrazovania a rozmrazovania a chemicky agresívne prostredie sa môže limitovaná minimálna pevnostná trieda betónu doplnkovo špecifikovať. Zásadne pre nižší stupeň korózie sa vyžaduje nižšia pevnostná trieda betónu a pre vyšší stupeň korózie vyššia pevnostná trieda. Zavedením STN EN 206-1/NA: 2009 došlo k zníženiu nárokov na minimálnu pevnostnú triedu betónu, a to hlavne pri nižších stupňoch korózneho pôsobenia. Pre styk betónu s prostredím bez nebezpečenstva korózie alebo narušenia sa minimálna pevnostná trieda znížila z triedy C12/15, požadovanej podľa normy STN EN 206-1: 2002, na triedu C8/10 podľa STN EN 206-1/NA: 2009. Ďalším príkladom môže byť zníženie minimálnej pevnostnej triedy betónu pri chemickom pôsobení stupňa XA1 z triedy C30/37 na triedu C25/30, pričom táto hodnota je odporúčaná a môže byť znížená až na triedu C16/20.

Podľa ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008 požadovaná minimálna trieda betónu závisí od ďalších okolností, a to predpokladanej životnosti konštrukcie a ďalej od toho, aký druh pevnosti sa vyžaduje. Norma rozoznáva minimálnu pevnostnú triedu, ktorá platí pre obyčajný betón a betóny ťažké a ďalej indikatívnu minimálnu pevnostnú triedu podľa ČSN EN 1992 (Eurokód 2). Navyše podľa tabuľky F. 2 tejto normy sa predpisuje doplnujúca špecifikácia minimálnej pevnostnej triedy betónu bez rozlíšenia životnosti konštrukcie, ktorá je určená zvláštnym predpisom.

Rakúska ÖNORM EN 206-1: 2000 tabuľkou F. 1 limituje minimálnu pevnostnú triedu betónu. Požadovaná minimálna pevnostná trieda betónu podľa ÖNORM EN 206-1: 2000 sa celkom zhoduje s triedou betónu, požadovanou podľa slovenskej a českej základnej normy, to je slovenskou STN EN 206-1: 2002 a českou ČSN EN 206-1: 2000.

3. 2. 2. 8 Vodotesnosť betónu

V pôvodných normách, STN EN 206-1: 2002, ČSN EN 206-1: 2000 a ÖNORM EN 206-1: 2000, nebola zakotvená požiadavka na vodotesnosť betónu. V tabuľke 1 STN EN 206-1/NA: 2009 pri pôsobení zmrazovania a rozmrazovania stupňa vyššieho ako XF1 a pri všetkých troch stupňoch chemického pôsobenia sa maximálny priesak vody, stanovený podľa STN EN 12390-8 [115], limituje na max. 50 mm.

Česká norma ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008 podľa tabuľky NA. F. 1 a F. 2 - pri porovnaní s tabuľkou F. 1 STN EN 206-1/NA: 2009 - obsahuje podrobnejšie údaje o prípustnom

von 100 Jahren unterschieden. Der maximal zulässige W/Z-Wert unterscheidet sich allerdings in beiden Fällen der voraussichtlichen Lebensdauer nicht und bewegt sich zwischen 0,45 bei der höchsten Expositionsklasse und 0,65 bei der niedrigsten Expositionsklasse. Auch in der österreichischen ÖNORM EN 206-1: 2000, Tabelle F. 1, wird der maximale W/Z-Wert zwischen 0,45 bei der höchsten Expositionsklasse und 0,65 bei der niedrigsten Expositionsklasse limitiert.

3. 2. 2. 7 Festigkeit des Betons

Tabelle F. 1 der nationalen Anlage der STN EN 206-1/NA: 2009 legt die Anforderungen an die Mindestdruckfestigkeitsklasse des Betons fest. Die Anforderungen an die Mindestdruckfestigkeitsklasse werden in zwei Kategorien geteilt. Für Korrosion durch Karbonatisierung und Korrosion durch Chloride nicht aus Meerwasser gilt die Druckfestigkeitsklasse des Betons immer. Für die anderen zwei Korrosionsarten, und zwar Korrosion durch Frost und Auftauen und chemisch aggressive Umgebung, kann die Mindestdruckfestigkeitsklasse des Betons ergänzend spezifiziert werden. Grundsätzlich ist für eine niedrigere Expositionsklasse eine niedrigere Druckfestigkeitsklasse des Betons und für eine höhere Expositionsklasse eine höhere Druckfestigkeitsklasse erforderlich. Durch die Einführung der nationalen Anlage der STN EN 206-1/NA: 2009 kam es zur Senkung der Ansprüche an die Mindestdruckfestigkeitsklasse des Betons, und zwar vor allem bei den niedrigeren Expositionsclassen. Für Kontakt des Betons ohne Korrosions- und Angriffsrisiko wurde die Mindestdruckfestigkeitsklasse von Klasse C12/15, die nach Norm STN EN 206-1: 2002 gefordert wird, in Klasse C8/10 nach der nationalen Anlage der STN EN 206-1/NA: 2009 gesenkt. Ein weiteres Beispiel kann die Senkung der Mindestdruckfestigkeitsklasse des Betons bei chemischer Einwirkung der Expositionsklasse XA1 von Klasse C30/37 auf Klasse C25/30 sein, wobei dieser Wert empfohlen wird, und bis auf Klasse C16/20 gesenkt werden kann.

Nach ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008 hängt die geforderte Mindestdruckfestigkeitsklasse des Betons von weiteren Umständen ab, und zwar von der voraussichtlichen Lebensdauer der Konstruktion und davon, welche Art der Festigkeit gefordert wird. Die Norm unterscheidet Mindestdruckfestigkeitsklassen, die für Normalbeton und Schwerbeton gelten, sowie eine indikative Mindestdruckfestigkeitsklasse nach ČSN EN 1992 (Eurocode 2). Darüber hinaus schreibt diese Norm laut Tabelle F. 2 dieser Norm die ergänzende Spezifikation der Mindestdruckfestigkeitsklasse des Betons ohne Unterscheidung nach Lebensdauer der Konstruktion vor, die durch eine Sondervorschrift bestimmt wird. Die österreichische ÖNORM EN 206-1: 2000 limitiert durch Tabelle F. 1 die Mindestdruckfestigkeitsklassen des Betons. Die geforderte Mindestdruckfestigkeitsklasse des Betons nach ÖNORM EN 206-1: 2000 stimmt insgesamt mit der Klasse des Betons überein, die laut slowakischer und tschechischer Basisnorm gefordert wird, und zwar der slowakischen STN EN 206-1: 2002 und der tschechischen ČSN EN 206-1: 2000.

3. 2. 2. 8 Wasserundurchlässigkeit des Betons

In den ursprünglichen Normen, und zwar STN EN 206-1: 2002, ČSN EN 206-1: 2000 und ÖNORM EN 206-1: 2000, war keine Anforderung an die Wasserundurchlässigkeit des Betons verankert. In Tabelle 1 der nationalen Anlage der STN EN 206-1/NA: 2009 wird bei Frost und Auftauen einer höheren Expositionsklasse als XF1 und bei allen drei Expositionsclassen chemischer Einwirkung die maximale Eindringung von Wasser, festgelegt nach STN EN 12390-8 [115], auf max. 50 mm limitiert.

Die tschechische Norm ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008 enthält laut Tabelle NA. F. 1 und F. 2 - im Vergleich

maximálnom priesaku pri skúške vodotesnosti. Maximálny prípustný priesak vody je limitovaný pri všetkých druhoch korozívneho pôsobenia (okrem prostredia bez nebezpečenstva korózie alebo narušenia). Pri konštrukciách s predpokladanou životnosťou 100 rokov v porovnaní s konštrukciami s predpokladanou životnosťou 50 rokov - sa vo všeobecnosti pripúšťa nižší priesak pri skúške podľa ČSN EN 12390-8.

V rakúskej norme ÖNORM EN 206-1: 2000 nie je zakotvená požiadavka na vodotesnosť betónu, pretože - ako sa už v prvom odstavci tejto kapitoly konštatuje - v pôvodných normách nebola zakotvená požiadavka na vodotesnosť betónu.

3. 2. 2. 9 Nasiakavosť betónu

Pre betón v styku s chemicky agresívnym prostredím sa podľa tabuľky F. 1 STN EN 206-1/NA: 2009 obmedzuje nasiakavosť betónu, stanovená podľa STN 73 1316 [114], na maximálne 6 % hmotnostných, pričom táto hodnota platí vždy. Česká norma ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008 ani rakúska ÖNORM EN 206-1: 2000 neurčujú limit pre nasiakavosť betónu.

3. 2. 3 Činitele betónovej konštrukcie

Slovenská Národná príloha upravuje použitie betónu aj z hľadiska činiteľov betónovej konštrukcie, a to plánovanej životnosti, minimálnej hrúbky a sekundárnej ochrany.

Plánovaná životnosť konštrukcie sa berie do úvahy pri zohľadňovaní činiteľov agresivity prostredia. Vyššie v odseku 2. 1. 2 sa konštatuje, že podľa tabuľky F. 2 Národnej prílohy STN EN 206-1/NA: 2009 stupeň vplyvu prostredia sa zvyšuje o 1 stupeň v prípade, že plánovaná životnosť konštrukcie je vyššia ako 100 rokov.

zu Tabelle F. 1 STN EN 206-1/NA: 2009 - detailliertere Angaben über die zulässige maximale Eindringung bei der Wasserdichteprüfung. Die maximale zulässige Wassereindringung ist bei allen beiden Arten von Korrosionseinwirkung (außer bei einer Umgebung ohne Korrosions- und Angriffsrisiko) limitiert. Bei Konstruktionen mit einer voraussichtlichen Lebensdauer von 100 Jahren - im Vergleich zu Konstruktionen mit einer voraussichtlichen Lebensdauer von 50 Jahren - wird allgemein ein geringeres Eindringen bei der Prüfung nach ČSN EN 12390-8 zugelassen. In der österreichischen Norm ÖNORM EN 206-1: 2000 ist keine Anforderung an die Wasserundurchlässigkeit des Betons verankert, weil - wie bereits im ersten Absatz dieses Teils festgestellt wird - in den ursprünglichen Normen keine Anforderung an die Wasserundurchlässigkeit des Betons verankert war.

3. 2. 2. 9 Wasseraugfähigkeit des Betons

Für Beton in Kontakt mit einer chemisch aggressiven Umgebung wird laut Tabelle F. 1 der nationalen Anlage der STN EN 206-1/NA: 2009 die Wassereindringung beim Beton limitiert, so festgelegt in STN 73 1316 [114], auf maximal 6 % des Gewichts, wobei dieser Wert immer gilt. Die tschechische Norm ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008 und auch die österreichische ÖNORM EN 206-1: 2000 legen kein Limit für die Wassereindringung beim Beton fest.

3. 2. 3 Faktoren der Betonkonstruktion

Die slowakische nationale Anlage regelt die Verwendung von Beton auch aus Sicht der Faktoren der Betonkonstruktion, und zwar der geplanten Lebensdauer, der Mindeststärke und des sekundären Schutzes.

Die geplante Lebensdauer der Konstruktion wird bei Berücksichtigung der Faktoren der Umgebungsaggressivität herangezogen. Oben in Absatz 2. 1. 2 wird festgestellt, dass sich laut Tabelle F. 2 der nationalen Anlage der STN EN 206-



Česká ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008 na základe tabuľky NA. F. 1 a tabuľky F. 2 - pri porovnaní so slovenskou STN EN 206-1/NA: 2009 - podrobnejšie špecifikuje požiadavky na medzné hodnoty pre zloženie a vlastnosti betónu tým, že tieto požiadavky sú rozdelené z hľadiska predpokladanej životnosti 50 rokov a 100 rokov.

Minimálna hrúbka konštrukcie je v Národnej prílohe STN EN 206-1/NA: 2009 zmienená len nepriamo, a to v tabuľke F. 2 v súvislosti s odporúčanými primárnymi opatreniami na zvýšenie odolnosti betónu vystaveného chemickému pôsobeniu. V tabuľke F. 2 sa špecifikuje, že zmienené primárne opatrenia platia pri minimálnej hrúbke konštrukcie z prostého betónu 300 mm. Norma však neurčuje, ako postupovať v prípade konštrukcií z prostého betónu s hrúbkou menšou ako 300 mm ani v prípade vystužených konštrukcií.

Druh ochrany betónovej konštrukcie (primárna, sekundárna) sa navrhuje podľa tabuľky F. 1 STN EN 206-1/NA: 2009, ktorá definuje primárnu a sekundárnu ochranu betónovej konštrukcie. Podľa tabuľky F. 1 primárna ochrana betónu spočíva vo zvýšení odolnosti betónu úpravou zloženia alebo štruktúry betónu pred vyhotovením konštrukcie alebo v priebehu jej vyhotovenia. Sekundárna ochrana betónu predstavuje obmedzenie alebo vylúčenie pôsobenia zeminy a/vody na betónovú konštrukciu po jej vyhotovení. Použitie sekundárnej ochrany izolačnou vrstvou podľa čl. 5. 3. 4 STN EN 206-1/NA sa napríklad predpisuje pri stupni chemického pôsobenia XA3 odpadových vôd vyššej rýchlosti prúdenia (viac ako $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). Primárna ochrana podľa tabuľky F. 1 sa navrhuje pri najnižších dvoch stupňoch (XA1 a XA2) chemického pôsobenia. Pri najvyššom treťom stupni (XA3) sa podľa Národnej prílohy má používať kombinácia primárnej a sekundárnej ochrany.

Česká ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008 si všíma činitele betónovej konštrukcie najmä v tabuľke F. 2 pri rozčlenení konštrukcií s predpokladanou životnosťou 50 rokov a konštrukcií s životnosťou 100 rokov. Tabuľka špecifikuje požiadavky na odolnosť betónu proti zmrazovaniu a rozmrazovaniu, požiadavky na drobné kamenivo a zmes kameniva ako aj hrubé kamenivo.

Rakúska ÖNORM EN 206-1: 2000 sa problematikou uplatňovania činiteľov betónovej konštrukcie nezaobera, pretože ide o základnú normu.

3. 3 Stupne vplyvu prostredia

Táto časť obsahuje podstatné literárne poznatky o jednotlivých druhoch a stupňoch korózneho pôsobenia na betón. Sú v nej ďalej reprodukované druhy, stupne a príklady výskytu vplyvu prostredia podľa normy EN 206-1. Obsahuje príklady výskytu konštrukcií bez nebezpečenstva korózie alebo porušenia, príklady výskytu konštrukcií namáhaných karbonatáciou, konštrukcií vystavených účinku chloridov iných ako z morskej vody, striedavému účinku zmrazovania a rozmrazovania, chemickému pôsobeniu a obrusu.

1/NA: 2009 die Expositionsklasse um 1 Grad erhöht, wenn die geplante Lebensdauer der Konstruktion mehr als 100 Jahre beträgt.

Die tschechische ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008 spezifiziert auf Grundlage der Tabelle NA. F. 1 und Tabelle F. 2 - im Vergleich zur slowakischen STN EN 206-1/NA: 2009 - detaillierter die Anforderungen an die Grenzwerte für die Zusammensetzung und Eigenschaften des Betons dadurch, dass diese Anforderungen aus Sicht der voraussichtlichen Lebensdauer von 50 und 100 Jahren unterschieden werden. Die Mindeststärke der Konstruktion wird in der nationalen Anlage der STN EN 206-1/NA: 2009 nur indirekt erwähnt, und zwar in Tabelle F. 2 im Zusammenhang mit den empfohlenen Primärmaßnahmen zur Erhöhung der Beständigkeit des Betons gegen chemische Einwirkung. In Tabelle F. 2 wird spezifiziert, dass die erwähnten Primärmaßnahmen bei einer Mindeststärke der Konstruktion aus dem unbewährten Beton von 300 mm gelten. Die Norm bestimmt allerdings nicht, wie bei einer Konstruktion mit dem unbewährten Beton verfahren werden soll, die eine geringere Stärke als 300 mm hat, auch nicht im Fall einer bewehrten Konstruktion.

Die Art des Schutzes der Betonkonstruktion (primär, sekundär) wird laut Tabelle F. 1 der nationalen Anlage der STN EN 206-1/NA: 2009 bestimmt, in der definiert ist, was unter primärem und sekundärem Schutz der Betonkonstruktion verstanden wird. Laut Tabelle F. 1 beruht primärer Schutz des Betons auf der Erhöhung der Beständigkeit des Betons durch Modifizierung der Zusammensetzung oder der Struktur des Betons vor Fertigung der Konstruktion oder im Verlauf der Fertigung. Sekundärer Schutz des Betons ist die Beschränkung oder das Ausschließen der Einwirkung von Böden und/oder Wasser auf die Betonkonstruktion nach ihrer Fertigung. Die Verwendung einer sekundären Schutzisolationsschicht nach Art. 5. 3. 4 STN EN 206-1/NA wird z. B. bei der Expositionsklasse der chemischen Einwirkung XA3 Abwasser mit höherer Fließgeschwindigkeit (mehr als $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) vorgeschrieben. Primärschutz wird laut Tabelle F. 1 bei den niedrigeren Expositionsklassen (XA1 und XA2) chemischer Einwirkung bestimmt. Bei der höchsten dritten Klasse (XA3) soll laut nationaler Anlage eine Kombination aus Primär- und Sekundärschutz verwendet werden.

Die tschechische ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008 beachtet die Faktoren der Betonkonstruktion vor allem in Tabelle F. 2 bei der Einteilung in Konstruktionen mit voraussichtlicher Lebensdauer von 50 und von 100 Jahren. Die Tabelle spezifiziert die Anforderungen an die Beständigkeit des Betons gegen Frost und Auftauen, Anforderungen an die feine Gesteinskörnung und an Mischungen von Gesteinskörnungen und grobe Gesteinskörnungen.

Die österreichische ÖNORM EN 206-1: 2000 befasst sich mit der Problematik der Anwendung der Faktoren der Betonkonstruktion nicht, da es sich um eine Basisnorm handelt.

3. 3 Expositionsclassen

Dieses Teil enthält wesentliche Erkenntnisse aus der Literatur über einzelne Arten und Klassen von Korrosionseinwirkung auf Beton. Es werden außerdem Arten, Klassen und Beispiele des Auftretens von Umgebungseinflüssen nach der Norm EN 206-1 reproduziert. Es enthält Beispiele des Vorkommens von Konstruktionen ohne Korrosions- und Angriffsrisiko, Beispiele des Vorkommens von Konstruktionen, die durch Karbonatisierung beansprucht werden, von Konstruktionen, die der Einwirkung von Chloriden nicht aus Meerwasser, der wechselseitigen Wirkung von Frost und Auftauen, chemischer Einwirkung und Abrieb ausgesetzt sind.

Rozdelenie betónových konštrukcií do stupňov vplyvu prostredia a príklady výskytu konštrukcií s daným stupňom vplyvu prostredia bolo obsiahnuté väčšinou už v pôvodných normách, to je v ČSN EN 206-1: 2000 a STN EN 206-1: 2002. Vypracovaním Národných príloh ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008 a STN EN 206-1/NA: 2009 sa údaje v pôvodných normách len doplňovali a upravovali. Najviac sa doplnili informatívne príklady výskytu vplyvu prostredia na konštrukcie v styku s odpadovými vodami.

Informatívne príklady výskytu stupňa vplyvu prostredia pôsobením obrusu sa špecifikujú len v ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008; STN EN 206-1/NA: 2009 ani ÖNORM 206-1: 2000 tieto príklady neobsahujú. Norma ÖNORM 206-1: 2000 prezentuje informatívne príklady výskytu stupňa vplyvu prostredia približne na úrovni českej pôvodnej normy z roku 2000 a slovenskej z roku 2002.

3. 3. 1 Prostredie bez nebezpečenstva korózie alebo narušenia

Tabuľka 3. 12 reprodukuje informatívne príklady výskytu betónových nevystužených a vystužených konštrukcií bez nebezpečenstva korózie alebo narušenia podľa tabuľky 1 STN EN 206-1/NA: 2009. Pre betónové konštrukcie bez nebezpečenstva korózie alebo narušenia sa zaviedol jediný stupeň vplyvu prostredia - X0.

Stupeň X0 nie je možné aplikovať pri betónových konštrukciách bez výstuže pri striedavom pôsobení zmrazovania a rozmrazovania a pri chemickom pôsobení. Stupňom X0 je možné charakterizovať len vystužené betónové konštrukcie v styku so suchým prostredím s relatívnou vlhkosťou rovnou alebo menšou ako 30 %.

Tabuľka 3. 12 Informatívne príklady výskytu betónových konštrukcií bez nebezpečenstva korózie alebo narušenia podľa STN EN 206-1/NA: 2009

Tabelle 3. 12 Informative Beispiele des Auftretens von Betonkonstruktionen ohne Korrosions- und Angriffsrisiko nach STN EN 206-1/NA: 2009

Označenie stupňa / Expositions-klasse	Popis prostredia / Beschreibung der Umgebung	Informatívne príklady výskytu stupňa vplyvu prostredia / Informative Beispiele des Auftretens der Expositions-klasse
X0	pre betón bez výstuže alebo zabudovaných kovových prvkov:- všetky vplyvy s výnimkou striedavého pôsobenia mrazu a rozmrazovania alebo chemicky agresívneho prostredia pre betón s výstužou alebo so zabudovanými kovovými vložkami vo veľmi suchom prostredí / für Beton ohne Bewehrung oder eingebettetes Metall;- alle Expositions-klassen, ausgenommen Frostangriff mit und ohne Taumittel, Abrieb oder chemischer Angriff für Beton mit Bewehrung oder eingebettetem Metall: sehr trocken Umgebung	betón vnútri budov s veľmi nízkou vlhkosťou vzduchu; betón základov bez výstuže v prostredí bez vplyvu mrazu / Beton im Inneren von Gebäuden mit sehr niedriger Luftfeuchte; unbewehrte Fundamente ohne Frost

3. 3. 2 Prostredie s účinkom karbonatácie

3. 3. 2. 1 Literárne poznatky o vplyve druhu cementu na karbonatáciu betónu

Vplyv druhu cementu na rýchlosť karbonatácie evidoval už M. Matoušek [18]. Na základe dlhodobého sledovania vplyvu karbonatácie na starých betónových konštrukciách zistil významný vplyv druhu použitého cementu, pretože hydroxid vápenatý, vznikajúci popri hydratácii cementu v kapilárnych póroch betónu, prechádza

Die Unterteilung der Betonkonstruktionen in Expositions-klassen und die Beispiele des Auftretens von Konstruktionen mit den betreffenden Expositions-klassen waren meist bereits in den ursprünglichen Normen enthalten, und zwar in ČSN EN 206-1: 2000 und STN EN 206-1: 2002. Durch die Ausarbeitung der nationalen Anlagen zu ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008 und STN EN 206-1/NA: 2009 werden die Angaben in den ursprünglichen Normen nur ergänzt und modifiziert. Am häufigsten wurden die informativen Beispiele des Auftretens der Umgebungseinflüsse auf eine Konstruktion in Kontakt mit Abwasser ergänzt. Informative Beispiele des Auftretens der Expositions-klasse Einwirkung von Abrieb wird nur in ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008 spezifiziert; weder STN EN 206-1/NA: 2009 noch ÖNORM 206-1: 2000 enthalten diese Beispiele. Die Norm ÖNORM 206-1: 2000 präsentiert informative Beispiele des Auftretens von Expositions-klassen auf dem Niveau der tschechischen Basisnorm aus dem Jahr 2000 und der slowakischen aus dem Jahr 2002.

3. 3. 1 Umgebung ohne Risiko von Korrosion oder Angriff

Die Tabelle 3. 12 reproduziert informative Beispiele des Auftretens von bewehrten und unbewehrten Betonkonstruktionen ohne Korrosions- und Angriffsrisiko laut Tabelle 1 STN EN 206-1/NA: 2009. Für Betonkonstruktion ohne Korrosions- und Angriffsrisiko wurde die Expositions-klasse - X0 eingeführt.

Die Klasse X0 kann nicht bei Betonkonstruktionen ohne Bewehrung bei wechselseitiger Einwirkung von Frost und Auftauen und bei chemischer Einwirkung angewendet werden. Mit der Klasse X0 können nur bewehrte Betonkonstruktion in Kontakt mit einer trockenen Umgebung charakterisiert werden, und zwar mit einer relativen Luftfeuchte von 30 % oder weniger.

3. 3. 2 Umgebung mit Einwirkung von Karbonatisierung

3. 3. 2. 1 Erkenntnisse aus der Literatur über den Einfluss der Zement-sorten auf die Karbonatisierung von Beton

Der Einfluss der Zement-sorten auf die Geschwindigkeit der Karbonatisierung evidierte bereits M. Matoušek [18]. Auf Grundlage der langfristigen Beobachtung des Einflusses der Karbonatisierung auf alte Betonkonstruktionen stellte er

pozvoľná v dôsledku koncentračného spádu k povrchu karbonatovaného betónu. Tu sa viaže s prenikajúcim oxidom uhličitým na uhličitán vápenatý a vytvára predovšetkým kalcitové kryštáliky. Kryštalové novotvary znižujú priemer kapilár, čím dochádza k spomaľovaniu, prípadne až zastaveniu škodlivého pôsobenia CO_2 na betón. Cementy, ktoré buď svojím zložením alebo pre prítomnosť prímiesi sa nevyznačujú vysokým zastúpením hydroxidu vápenatého sa budú preukazovať nižšou odolnosťou proti karbonatácii.

V druhom príspevku M. Matoušek [19] informuje o štyroch etapách karbonatácie betónu a o protikorózných zásahoch, ktorými je možné koróziu železobetónových konštrukcií škodlivými plynmi z atmosféry zmierniť.

V prvej etape karbonatácie sa premieňa hydroxid vápenatý $\text{Ca}(\text{OH})_2$ na uhličitán vápenatý CaCO_3 , ktorý pritom čiastočne zaplňuje póry. Hlavné vlastnosti betónu sa v tomto štádiu stávajú výhodnejšími. Vznikajúcimi karbonátmi sa zahusťuje pórová štruktúra, čím pevnosť betónu vzrastá.

V druhej etape prebiehajú premeny ostatných gélových hydratačných produktov cementu (kalciumsilikáthydrátov a kalciumalumináthydrátov), pričom vznikajú modifikácie CaCO_3 s amorfným gélom kyseliny kremičitej. Hrbozorné kryštalické novotvary CaCO_3 sa vyskytujú len ojedinele. Vlastnosti betónu v druhej etape karbonatácie sa príliš nemenia a nebola evidovaná mechanická ani štruktúrálna degradácia betónu.

Tretia etapa karbonatácie sa vyznačuje prekryštalizovaním prvotne vzniknutých novotvarov CaCO_3 . Objavujú sa veľmi početné a relatívne rozmerné kryštály kalcitu a aragonitu. Mechanické vlastnosti betónu sa behom tretej etapy zhoršujú a alkalita betónu klesá pod hodnotu pH 9,5.

Štvrtú etapu charakterizuje stav, pri ktorom hrubé kryštály kalcitu a aragonitu prestupujú celú štruktúru cementového tmelu, čo je v krajnom prípade spojené so stratou súdržnosti a pevnosti betónu. Hodnota pH klesá až k 8.

Karbonatáciu betónu je podľa M. Matouška [19] možné zmierniť predovšetkým dokonalým zhutnením betónu, dostatočným dávkovaním cementov s vysokým obsahom CaO a používaním zhutňujúcich plastifikačných prísad.

Pri rozoberaní vplyvu druhu cementu autori I. Janotka, L. Krajčí a A. Špaček [20] citujú prácu M. Matouška z 1975 [21], podľa ktorej betóny pripravené z portlandských cementov, s relatívne vyšším obsahom cementu, vytvárajú väčší odpor pre karbonatáciu, zatiaľ čo betóny s nižším obsahom cementu a betóny pripravené z cementov obsahujúcich väčšie množstvo trosky, popolčeka alebo iných puzolánov, podliehajú karbonatácii ľahšie. Tieto rozdiely sa výraznejšie uplatňujú pri použití relatívne vyšších vodných súčiniteľov.

Na základe zhodnotených literárnych údajov pri použití zmesových cementov CEM V/ (A, B) je možné v dôsledku menšieho obsahu CaO v týchto cementoch očakávať - pri porovnaní s portlandským cementom - zvýšenú rýchlosť karbonatácie. Väčšej rýchlosti karbonatácie pri použití zmesových cementov je možné čeliť použitím plastifikačných a prevzdušňovacích prísad.

einen wesentlichen Einfluss der benutzten Zementsorte fest, da Calciumhydroxid, das bei der Hydratation des Zements in den Kapillarporen des Betons entsteht, willkürlich in Folge des Konzentrationsgefälles an die Oberfläche des karbonatisierten Betons gelangt. Hier bindet er sich mit eindringendem Kohlendioxid und bildet vor allem Kalzitkristalle. Die kristallinen Neubildungen verringern den Kapillardurchmesser, wodurch es zur Verlangsamung bzw. zum Stillstand der schädlichen Einwirkung von CO_2 auf den Beton kommt. Zemente, die durch ihre Zusammensetzung oder wegen der Anwesenheit von Zusatzstoffen kein hohes Vorkommen an Calciumhydroxid haben, werden eine geringere Beständigkeit gegen Karbonatisierung aufweisen.

Im zweiten Beitrag informiert M. Matoušek [19] über vier Etappen der Karbonatisierung des Betons und über Antikorrosionseingriffe, durch die eine mögliche Korrosion von Eisenbetonkonstruktionen durch schädliche Einflüsse aus der Atmosphäre gemindert werden kann.

In der ersten Etappe der Karbonatisierung wandelt sich Calciumhydroxid $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in Calciumcarbonat CaCO_3 , das dabei teilweise die Poren ausfüllt. Die Haupteigenschaften des Betons werden in diesem Stadium günstiger. Durch die Carbonate verdichtet sich die Porenstruktur, wodurch die Festigkeit des Betons zunimmt.

In der zweiten Etappe verläuft die Umwandlung der anderen Gel-Hydratations-Produkte des Zements (Calciumsilikathydrate und Calciumaluminiumhydrate), wobei Modifikationen von CaCO_3 mit amorphem Gel der Kieselsäure entstehen. Die grobkörnigen kristallinen Neubildungen von CaCO_3 treten nur vereinzelt auf. Die Eigenschaften des Betons ändern sich während der zweiten Etappe nicht sehr und es wurde keine mechanische oder strukturelle Degradierung des Betons verzeichnet.

Die dritte Etappe der Karbonatisierung zeichnet sich durch die Kristallwandlung der zuerst entstandenen Neubildungen von CaCO_3 aus. Es treten sehr zahlreiche und relativ große Kristalle von Kalzit und Aragonit auf. Die mechanischen Eigenschaften des Betons verschlechtern sich während der dritten Etappe und die Alkalität des Betons sinkt unter den pH-Wert 9,5.

Die vierte Etappe charakterisiert den Zustand, bei dem die groben Kristalle von Kalzit und Aragonit die gesamte Struktur des Zementkits durchziehen, was in Grenzfällen mit dem Verlust des Zusammenhalts und der Festigkeit des Betons verbunden ist. Der pH-Wert sinkt bis um den Wert 8. Die Karbonatisierung des Betons kann nach M. Matoušek [19] vor allem durch perfekte Verfestigung des Betons, ausreichende Zugabe an Zemente mit hohem CaO-Gehalt und durch die Verwendung von verfestigenden Plastifikatorzusatzmitteln verringert werden.

Beim der Erörterung des Einflusses der Zementsorte zitieren die Autoren I. Janotka, L. Krajčí und A. Špaček [20] die Arbeit von M. Matoušek aus dem Jahr 1975 [21], nach der Beton, der aus Portlandzementen gefertigt wird, und einen relativ hohen Zementgehalt hat, einen größeren Karbonatisierungswiderstand hat, wohingegen Beton mit einem niedrigeren Zementgehalt und Beton aus Zementen mit mehr Schlacke, Flugasche oder anderen Puzzolanen, leichter der Karbonatisierung unterliegt. Diese Unterschiede werden wesentlich bei der Anwendung relativ höherer W/Z-Werte geltend gemacht.

Auf Grundlage der in diesem Abschnitt ausgewerteten Literaturangaben kann bei Verwendung der Kompositzemente CEM V/ (A, B) erwartet werden, dass es in Folge des geringeren CaO-Gehalts in diesen Zementen - im Vergleich mit Portlandzementen, zur schnelleren Karbonatisierung kommt. Der höheren Geschwindigkeit der

3.3.2.2 Literárne poznatky o vplyve druhu cementu na koróziu výstuže karbonatáciou

Dôsledkami nedostatočného krytia ocelevej výstuže betónom a vznikom poškodenia karbonatáciou sa zapodieval G. Ruffert [22]. Rýchlosť karbonatácie betónu je podľa tohto autora v prvom rade určená hrúbkou krycej vrstvy výstuže betónom a hutnosťou betónu. Zdôrazňuje, že proces karbonatácie je predovšetkým závislý od času, po ktorý je betón vystavený účinku atmosféry. Prímes vysokopecej trosky, popolčeka a zeolitu znižuje obsah alkálií a alkalitu betónu.

Na základe vyššie uvedených a všeobecných poznatkov o vplyve druhu cementu na rýchlosť karbonatácie betónu možno uzavrieť, že zvýšenej rýchlosti korózie ocelevej výstuže karbonatáciou pri použití zmesových cementov CEM V/ (A, B) je možné čeliť najmä zvýšeným krytím výstuže betónom a použitím inhibítorov korózie ocelevej výstuže.

3.3.2.3 Informatívne príklady výskytu stupňov vplyvu karbonatácie

Ak betón obsahujúci výstuž alebo iné zabudované kovové prvky je vystavený ovzdušiu a vlhkosti, potom sa stupeň vplyvu prostredia určuje podľa tabuľky 1 STN EN 206-1/NA: 2009. V poznámke pred vlastnou tabuľkou 1 STN EN 206-1/NA: 2009 sa upresňuje, že vlhkosť podmienky sa vzťahujú na situáciu vo vnútri krycej vrstvy výstuže alebo iných zabudovaných kovových prvkov, ale v mnohých prípadoch

Karbonatisierung bei Verwendung von Kompositzementen kann durch Zusatz von Fließmittel und Luftporenbildner begegnet werden.

3.3.2.2 Erkenntnisse aus der Literatur über den Einfluss der Zementart auf die Korrosion der Bewehrung durch Karbonatisierung

G. Ruffert [22] befasst sich mit der Folge einer unzureichenden Abdeckung der Stahlbewehrung durch Beton und mit der Entstehung einer Beschädigung durch Karbonatisierung. Die Karbonatisierung des Betons wird nach diesem Autor in erster Linie von der Stärke der Deckschicht der Bewehrung durch Beton und von der Dichte des Betons bestimmt. Er betont, dass der Prozess der Karbonatisierung vor allem von der Zeit abhängt, für die der Beton den Einwirkungen der Atmosphäre ausgesetzt ist. Die Zusatzstoffe Hüttensand, Flugasche und Zeolith senken den Alkaligehalt und die Alkalität des Betons.

Auf Grundlage des oben Angeführten und der allgemeinen Erkenntnisse über den Einfluss der Zementart auf die Geschwindigkeit der Karbonatisierung des Betons kann geschlossen werden, dass eine erhöhte Geschwindigkeit der Korrosion der Stahlbewehrung durch Karbonatisierung bei Verwendung von Kompositzementen CEM V/ (A, B) insbesondere mit einer stärkeren Abdeckung der Bewehrung durch Beton und durch Verwendung von Inhibitoren der Korrosion der Stahlbewehrung begegnet werden kann.

3.3.2.3 Informative Beispiele des Auftretens der Klassen des Einflusses der Karbonatisierung

Wenn Beton mit Bewehrung oder anders eingelegten Metallelementen Luft und Feuchtigkeit ausgesetzt ist, wird die Expositionsklasse laut Tabelle 1 STN EN 206-1/NA: 2009 bestimmt. In der Anmerkung vor der Tabelle 1 STN EN 206-1/NA: 2009 wird konkretisiert, dass sich die Feuchtebedingungen auf eine Situation im Inneren der Deckschicht der Bewehrung oder anders eingelegten Metallelementen bezieht, aber in vielen Fällen können die

Tabuľka 3.13 Informatívne príklady výskytu betónových konštrukcií vystavených účinku karbonatácie podľa STN EN 206-1/NA: 2009, Tabuľky 1

Tabelle 3.13 Informative Beispiele des Auftretens von Betonkonstruktionen, die der Wirkung von Karbonatisierung ausgesetzt sind, nach STN EN 206-1/NA: 2009, Tabelle 1

Označenie stupňa / Expositions-klasse	Popis prostredia / Beschreibung der Umgebung	Informatívne príklady výskytu stupňa vplyvu prostredia / Informative Beispiele des Auftretens der Expositions-klasse
XC1	suché alebo stále mokré / trocken oder ständig nass	betón vnútri budov s nízkou vlhkosťou vzduchu; betón trvale ponorený vo vode; časti stavieb vnútri budov so strednou vlhkosťou vzduchu (vrátane kuchýň, kúpeľní a menších práčovní v obytných budovách) / Beton im Inneren von Gebäuden mit niedriger Luftfeuchte; Beton, der ständig in Wasser getaucht ist; Teile von Bauten im Inneren von Gebäuden mit mittlerer Luftfeuchte (einschließlich Küchen, Bäder und kleinere Waschräume in Wohngebäuden)
XC2	mokré, občas suché / nass, manchmal trocken	povrch betónu vystavený dlhodobému pôsobeniu vody alebo vysokej vlhkosti vzduchu; časti vodných nádrží; väčšina základových prvkov budov / die Oberfläche des Betons ist langfristiger Einwirkung von Wasser oder hoher Luftfeuchte ausgesetzt; Teile von Wassertanks Größere Fundamentelemente von Gebäuden
XC3	stredne mokré, vlhké / mäßig nass, feucht	betón vnútri budov so strednou vlhkosťou vzduchu; vonkajší betón chránený proti dažďu; časti stavieb, ku ktorým má často alebo stále prístup vonkajší vzduch (napríklad otvorené stravovanie, kúpeľne, kúpele, veľké práčovne, priestory krytých bazénov a maštali) / Beton im Gebäudeinneren mit der Mittelluftfeuchtigkeit; Außenbeton regengeschützt; Anteile der Bauobjekten mit häufiger oder ständiger Außenluftzugang (z. B. offene Halle); Innenräume mit der Hochluftfeuchtigkeit (z. B. Massennahrungsküchen, Wäschereien, Hallenbassinräume, Ställe)
XC4	striedavo mokré a suché / wechselnd nass und trocken	povrchy betónov v styku s vodou, ktoré nie sú zahrnuté v stupni vplyvu prostredia XC2 a XC3; vonkajšie časti stavieb priamo vystavené zrážkam / Oberflächen von Beton in Kontakt mit Wasser, die in der Expositions-klasse XC2 und XC3 nicht enthalten sind; Außenteile von Bauten, die Niederschlägen direkt ausgesetzt sind

sa môžu podmienky v krycej vrstve považovať za rovnaké ako v okolitom prostredí. Stupne vplyvu prostredia v dôsledku účinku karbonatácie determinujú tabuľka 3. 13.

Pri špecifikovaní činiteľov agresivity prostredia sa poznamenáva, že veľmi nízkou vlhkosťou vzduchu sa označuje prostredie s priemernou dlhodobou relatívnou vlhkosťou $\leq 30\%$, nízkou 30-50 %, strednou 50-85 % a vysokou $\geq 85\%$.

3. 3. 3 Prostredie s účinkom chloridov iných ako z morskej vody

3. 3. 3. 1 Literárne poznatky o vplyve druhu cementu na koróziu betónu chloridmi

Vplyv jednotlivých druhov cementov na odolnosť prostého betónu proti účinku chloridov vyhodnotil V. Živica [23] nasledovne: relatívne najmenšiu odolnosť proti roztokom chloridu vápenatého preukázali zatvrdnuté kaše z portlandských cementov. Prísada puzolánov a trosky ich odolnosť zvyšuje. Relatívne najvyššiu odolnosť preukázali zatvrdnuté kaše z tufového cementu s 30 %-nou dávkou zeolitu a vysokopecného cementu so 70 %-nou dávkou vysokopecnej granulovanej trosky.

Dôkazy o približne troj- až päťnásobnom zvýšení odolnosti betónu proti účinku chloridov prímiesou popolčeka publikujú autori M. N. Haque, O. A. Kayyali a M. K. Gopalan [24].

Na základe citovaných prác a všeobecných poznatkov možno reálne predpokladať, že zmesové cementy CEM V/ (A, B) - pri ich porovnaní s portlandským cementom - budú odolnejšie proti pôsobeniu chloridov iných ako z morskej vody.

3. 3. 3. 2 Literárne poznatky o vplyve druhu cementu na koróziu výstuže chloridmi

Na základe práce autorov A. Špačka a L. Krajčího [25] negatívneho účinku chloridov na pasivačné schopnosti ocelevej výstuže je možné účinne čeliť prídavkom inhibítorov korózie ocelevej výstuže. Prešetrovaním vplyvu komerčného inhibítora na podklade anorganických a organických zlúčenín dusíka v zmesi aminoalkoholov sa zistilo, že tento inhibítor je schopný spoľahlivo chrániť oceľ do obsahu chloridov 1 % z hmotnosti cementu. Pri koncentrácii 2 % chloridov jeho účinok už bol len čiastkový.

Podľa dostupných literárnych poznatkov je možné predpokladať, že pri použití zmesových cementov CEM V/ (A, B) na prípravu betónu vystaveného účinku chloridov iných ako z morskej vody - pri porovnaní s portlandským cementom - nemusí nutne dochádzať k zhoršeniu pasivačných schopností vzhľadom k ocelevej výstuži. Podmienkou však je, aby tieto cementy boli pripravované zo slinky s relatívne vysokým obsahom C_3A a aby zmesový cement obsahoval aj zložky s relatívne vyšším obsahom CaO, napr. popolček. Náporu chloridov sa dá účinne čeliť prídavkom inhibítorov korózie ocelevej výstuže.

Bedingungen in der Deckschicht als denen der Umgebung gleichgesetzt werden. Die Expositionsklasse in Folge der Wirkung von Karbonatisierung legt Tabelle 3. 13 fest.

Bei der Spezifikation der Faktoren der Aggressivität der Umgebung angemerkt wird, dass eine sehr geringe Luftfeuchte einer Umgebung als durchschnittliche langfristige relative Luftfeuchte von $\leq 30\%$ angeführt ist, eine niedrige mit 30-50 %, eine mittlere mit 50-85 % und eine hohe mit $\geq 85\%$.

3. 3. 3 Umgebung mit Einwirkung von Chloriden, die nicht aus Meerwasser stammen

3. 3. 3. 1 Erkenntnisse aus der Literatur über den Einfluss der Zementsorte auf die Korrosion des Betons durch Chloride

Den Einfluss einzelner Zementsorten auf die Beständigkeit vom unbewährten Beton gegen die Wirkung von Chloriden bewertete V. Živica [23] wie folgt: die relativ geringste Beständigkeit gegen eine Calciumchlorid-Lösung wiesen erhärtete Breie aus Portlandzementen auf. Die Zusatzmittel Puzzolan und Schlacke erhöht deren Beständigkeit. Die relativ höchste Beständigkeit wiesen erhärtete Breie aus Tuffzement mit einer 30 %-igen Zugabe von Zeolith und Hochofenzement mit einer 70 %-igen Zugabe von granulierter Hüttensand auf.

Beweise über eine etwa drei- bis fünffach erhöhte Beständigkeit des Betons gegen die Wirkung von Chloriden durch den Zusatzstoff Flugasche publizieren die Autoren M. N. Haque, O. A. Kayyali und M. K. Gopalan [24].

Auf Grundlage der zitierten Arbeiten und allgemeinen Erkenntnisse kann realistisch vorausgesetzt werden, dass die Kompositzemente CEM V/ (A, B) - im Vergleich mit Portlandzement - beständiger gegen Chlorideinwirkung nicht aus Meerwasser sein werden.

3. 3. 3. 2 Erkenntnisse aus der Literatur über den Einfluss der Zementsorte auf die Korrosion der Bewehrung durch Chloride

Auf Grundlage der Arbeit der Autoren A. Špaček und L. Krajčí [25] kann der negativen Wirkung von Chloriden auf die Passivierungsfähigkeiten der Stahlbewehrung mit Zugabe von Inhibitoren der Korrosion der Stahlbewehrung begegnet werden. Bei der Untersuchung des Einflusses eines kommerziellen Inhibitors auf Basis anorganischer und organischer Stickstoffverbindungen in einer Mischung von Aminoalkoholen wurde festgestellt, dass dieser Inhibitor in der Lage ist, den Stahl zuverlässig bis zu einem Chloridgehalt von 1 % des Zementgewichts zu schützen. Bei einer Konzentration von 2 % Chloriden ist dessen Wirkung nur noch teilweise vorhanden.

Nach den zugänglichen literarischen Erkenntnissen kann vorausgesetzt werden, dass es bei Verwendung von Kompositzementen CEM V/ (A, B) zur Herstellung von Beton, der Chloriden anders als aus Meerwasser ausgesetzt ist - im Vergleich mit Portlandzement - nicht unbedingt zur Verschlechterung der Passivierungseigenschaften bezüglich der Stahlbewehrung kommen muss. Bedingung ist allerdings, dass diese Zemente aus Klinker mit einem relativ hohen C_3A -Gehalt hergestellt werden, und dass Kompositzement auch Inhaltsstoffe mit einem relativ hohen CaO-Gehalt enthält, z. B. Flugasche. Dem Angriff von Chloriden kann wirksam durch Inhibitoren der Korrosion der Stahlbewehrung begegnet werden.

3. 3. 3 Informatívne príklady výskytu stupňov vplyvu chloridov

Ak betón s výstužou alebo inými zabudovanými prvkami prichádza do styku s vodou obsahujúcou chloridy, vrátane rozmrazovacích látok, s výnimkou morskej vody, potom sa vplyv prostredia odstupňuje podľa tabuľky 1 STN EN 206-1/NA: 2009. Stupne vplyvu prostredia v dôsledku účinku chloridov iných ako z morskej vody obsahuje **tabuľka 3. 14**. Norma EN 206-1 špecifikuje však aj ďalší druh korózie pôsobením chloridov na oceľovú výstuž. Jedná sa o chloridy pôsobiace z vnútra betónu. Tieto chloridy sa môžu dostať do betónu so zložkami betónu napr. s cementom, prísadami, prímiesami, zámesovou vodou, prípadne aj s kamenivom. **Tabuľka 3. 15** reprodukuje prípustný obsah chloridov v betóne podľa tabuľky 10 STN EN 206-1/NA: 2009.

3. 3. 3 Informative Beispiele des Auftretens der Klassen von Chlorideinwirkung

Wenn Beton mit Bewehrung oder anders eingelegten Metallelementen in Kontakt mit Wasser kommt, das Chloride enthält, einschließlich Taumittel, mit Ausnahme von Meerwasser, dann wird der Umgebungseinfluss laut Tabelle 1 STN EN 206-1/NA: 2009 klassifiziert. Die Expositionsklassen in Folge der Wirkung von Chloriden, die nicht aus Meerwasser stammen, enthält **Tabelle 3. 14**.

Die Norm EN 206-1 spezifiziert allerdings auch weitere Arten von Korrosion, die durch Chlorideinwirkung auf die Stahlbewehrung verursacht werden. Es handelt sich um Chloride, die im Inneren des Betons wirken. Diese Chloride können durch Betonausgangsstoffe in den Beton gelangen, z. B. mit Zement, Zusatzmitteln, Zusatzstoffen, Zugabewasser, bzw. Gesteinskörnung. **Tabelle 3. 15** reproduziert den zulässigen Chloridgehalt im Beton laut Tabelle 10 STN EN 206-1/NA: 2009.

Tabuľka 3. 14 Informatívne príklady výskytu betónových konštrukcií vystavených účinku chloridov, nie však z morskej vody, podľa STN EN 206-1/NA

Tabelle 3. 14 Informative Beispiele des Auftretens von Betonkonstruktionen, die der Wirkung von Chloriden, nicht aus Meerwasser, ausgesetzt sind, nach STN EN 206-1/NA

Označenie stupňa / Expositions-klasse	Popis prostredia / Beschreibung der Umgebung	Informatívne príklady výskytu stupňa vplyvu prostredia / Informative Beispiele des Auftretens der Expositions-klasse
XD1	stredne mokré, vlhké / mäßig nass, feucht	povrchy betónov vystavené chloridom rozptýleným vo vzduchu; samostatné garáže / Betonoberflächen, die chloridhaltigem Sprühnebel ausgesetzt sind; Selbständige Garagen
XD2	mokré, občas suché / nass, selten trocken	plavecké bazény;betón vystavený pôsobeniu priemyselných vôd, ktoré obsahujú chloridy / Schwimmbäder; Beton, der chloridhaltigen Industriebwässern ausgesetzt ist
XD3	striedavo mokré a suché / wechselnd nass und trocken	vystužené časti stavieb vystavené postrekom obsahujúcim chloridy (napr. mosty) / Bewehrte Bauteile, die chloridhaltigem Spritzwasser ausgesetzt sind (z. B. Brücken)

Tabuľka 3. 15 Maximálny prípustný obsah chloridov v betóne podľa STN EN 206-1/NA

Tabelle 3. 15 Maximal zulässiger Chloridgehalt im Beton nach STN EN 206-1/NA

Použitie betónu / Betonverwendung	Katégorie obsahu chloridov / Klasse des Chloridgehalts	Maximálny obsah chloridov k hmotnosti cementu ^{a)} / Höchstzulässiger Chloridgehalt, bezogen auf den Zement im Massenanteil ^{a)}
Bez oceľovej výstuže alebo iných kovových prvkov, s výnimkou závesných hákov, odolných proti korózii / ohne Betonstahlbewehrung oder anderes eingebettetes Metall (mit Ausnahme von korrosionsbeständigen Anschlagvorrichtungen)	CI 1,0	1,0 %
S oceľovou výstužou alebo inými kovovými prvkami / mit Betonstahlbewehrung oder anderem eingebetteten Metallen	CI 0,4	0,4 %
S dodatočne predpätou oceľovou výstužou / mit zusätzlicher Spannstahlbewehrung	CI 0,2	0,2 %
S vopred predpätou oceľovou výstužou / mit Spannstahlbewehrung	CI 0,1	0,1 %

^{a)} Ak sa používajú prímiesi druhu II, ktoré sa berú do úvahy pre obsah cementu, potom sa obsah chloridov vyjadruje ako percentuálny podiel chloridových iónov k hmotnosti cementu a celkovej hmotnosti prímiesí, ktoré sa berú do úvahy. /

^{a)} Werden Zusatzstoffe des Typs II verwendet und für den Zementgehalt berücksichtigt, wird der Chloridgehalt als der Chloridionen-Gehalt, bezogen auf den Zement im Massenanteil und der Gesamtmasse der zu berücksichtigenden Zusatzstoffe ausgedrückt.

3.3.4 Prostredie s pôsobením mrazu a rozmrazovania

3.3.4.1 Literárne poznatky o vplyve druhu cementu na odolnosť betónu proti mrazu

Najstaršie, ale veľmi cenné poznatky o mrazuvzdornosti betónu, pripraveného zo zmesových cementov, obsahuje príspevok S. A. Mironova [26]. Sú v ňom uvedené výsledky zisťovania mrazuvzdornosti jednotlivých druhov cementov nielen na základe laboratórnych skúšok, ale aj výsledky z dlhodobých pozorovaní na vodných priehradách, postavených až pred 27 rokmi. Podľa S. A. Mironova sa najvyššou mrazuvzdornosťou vyznačuje betón pripravený z portlandských a hlinitanových cementov. Zníženú mrazuvzdornosť preukázali cementy obsahujúce puzzolán. Pokiaľ sa týka druhu použitého kameniva, najmenšia mrazuvzdornosť za zistila u betónov pripravených za použitia pórovitého vápenca, najväčšia u betónov vyrobených s žulovým kamenivom.

Je možné očakávať, že betón pripravený zo zmesových cementov CEM V/ (A, B) sa bude vyznačovať - pri porovnaní s betónom vyrobeným z portlandského cementu - zníženou mrazuvzdornosťou. Mrazuvzdornosť betónu pripraveného z cementov CEM V/ (A, B) sa bude môcť zlepšiť použitím prevzdušňovacích prísad.

3.3.4 Umgebung mit Einwirkung von Frost und Auftauen

3.3.4.1 Erkenntnisse aus der Literatur über den Einfluss der Zementart auf die Beständigkeit des Betons gegen Frost

Die ältesten, aber sehr wertvollen Erkenntnisse über die Frostbeständigkeit von Beton, der aus Kompositzementen hergestellt wird, enthält der Beitrag von S. A. Mironov [26]. Darin sind Ergebnisse über die Feststellung der Frostbeständigkeit einzelner Zementarten enthalten, nicht nur auf Grundlage von Labortests, sondern auch Ergebnisse langfristiger Beobachtungen an Talsperren, die vor 27 Jahren errichtet wurden. Nach S. A. Mironov hat Beton aus Portland- und Aluminiumoxidzement die höchste Frostbeständigkeit. Eine gesenkte Frostbeständigkeit wiesen Zemente mit Puzzolan auf. Was die verwendeten Gesteinskörnungen betrifft, wurde die geringste Frostbeständigkeit bei Beton aus porösem Kalkstein, und die größte bei Beton aus Granitgesteinskörnung festgestellt. Es kann erwartet werden, dass Beton aus Kompositzementen CEM V/ (A, B) - im Vergleich mit Beton aus Portlandzement - eine geringere Frostbeständigkeit haben wird. Die Frostbeständigkeit von Beton aus den Zementen CEM V/ (A, B) kann durch luftporenbildende Zusatzmittel verbessert werden.

Tabuľka 3. 16 Informatívne príklady výskytu betónových konštrukcií vystavených striedavému pôsobeniu mrazu a rozmrazovania podľa STN EN 206-1/NA

Tabelle 3. 16 Informative Beispiele des Auftretens von Betonkonstruktionen, die wechselseitiger Einwirkung von Frost und Auftauen nach STN EN 206-1/NA ausgesetzt sind

Označenie stupňa / Expositions-klasse	Popis prostredia / Beschreibung der Umgebung	Informatívne príklady výskytu stupňa vplyvu prostredia / Informative Beispiele des Auftretens der Expositions-klasse
XF1	mierne nasýtený vodou bez rozmrazovacích prostriedkov / mäßige Wassersättigung, ohne Taumittel	vonkajšie zvislé časti stavieb vystavené dažďu a mrazu (priechelia budov, stĺpy), nie príliš zmáčané časti stavieb / Äußere vertikale Teile von Bauten, die Regen und Frost ausgesetzt sind, die nicht oft mit Wasser durchnässt sind
XF2	mierne nasýtený vodou s rozmrazovacími prostriedkami / mäßige Wassersättigung, mit Taumittel	vonkajšie časti stavieb vystavené dažďu a mrazu a rozmrazovacím prostriedkom rozptýleným vo vzduchu, ktoré nie sú priamo v styku s postrekom rozmrazovacími prostriedkami (napr. časti protihlukových stien, oporných múrov) a ktoré nie sú zahrnuté v XF4 / Äußere Teile von Bauten, die Regen, Frost und Sprühtaumittel ausgesetzt sind, die nicht im direkten Kontakt mit Sprühtaumitteln sind (z. B. Teile von Lärmschutzwänden, Stützmauern) und die nicht in XF4 enthalten sind
XF3	značne nasýtený vodou bez rozmrazovacích prostriedkov / hohe Wassersättigung, ohne Taumittel	vonkajšie časti stavieb vystavené dažďu a mrazu; vonkajšie časti stavieb často zmáčané vodou a vystavené mrazu; otvorené nádrže na vodu; časti stavieb s kolísaním vodnej hladiny sladkej vody; prelivové časti vodných stavieb; / Äußere Teile von Bauten, die Regen und Frost ausgesetzt sind; Äußere Teile von Bauten, die oft mit Wasser durchnässt und Frost ausgesetzt sind; Offene Wasserzisternen; Bauteile mit schwankendem Wasserspiegel - Süßwasser; Überlauf-Teile von Wasserbauten;
XF4	značne nasýtený vodou s rozmrazovacími prostriedkami / hohe Wassersättigung, mit Taumittel	časti stavieb priamo vystavené rozmrazovacím prostriedkom a mrazu; stavebné konštrukcie v blízkosti komunikácií vystavené priamemu postreku rozmrazovacími látkami (napr. obrubníky, odvodňovacie žľaby, mostné rímsy) ; nádrže v blízkosti komunikácií, betónové zvodidlá/ Bauteile, die direkt Taumitteln und Frost ausgesetzt sind; Baukonstruktionen in der Nähe von Straßen, die direkter Spritzen von Taumitteln ausgesetzt sind (z. B. Einfassungen, Entwässerungsrinnen, Brückensimse) ; Zisternen in der Nähe von Straßen, Betonleitplanken

3.3.4.2 Informatívne príklady výskytu stupňov mrazu a rozmrazovania

Ak je mokrý betón vystavený pôsobeniu mrazu a rozmrazovaniu (mrazovým cyklom), vplyv prostredia sa musí na základe STN EN 206-1/NA odstupňovať podľa tabuľky 3.16.

3.3.5 Prostredie s chemickým pôsobením

3.3.5.1 Všeobecné poznatky o vplyve druhu cementu na chemickú odolnosť betónu

Autor I. Biczók [27, s. 42] rozoberá vplyv chemického zloženia trosky na jednotlivé druhy chemickej odolnosti rôznych druhov cementu a konštatuje pozitívny vplyv zvyšujúceho podielu trosky na odolnosť proti účinku síranov, morskej vody a amónnej agresivity. Odolnosť betónu, pripraveného z cementov obsahujúcich trosku proti horečnatej agresivite závisí od ďalších faktorov, ako sú vlastnosti samotnej trosky, jej obsahu v cemente, koncentrácie a druhu horečnatej soli ako aj ďalších činiteľov. Trasové cementy (dacitový tuf - zeolit) preukazujú vysokú odolnosť proti síranovým roztokom značnej koncentrácie (až 28 000 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$). Cementy s obsahom popolčeka sa vyznačujú podobnou odolnosťou ako zmesové cementy s vysokopecnou troskou. Odolnosť betónu pripraveného z popolčekových cementov závisí hlavne od druhu, jemnosti a kvality popolčeka a v ňom obsiahnutých nečistôt.

Podľa F. Taflana a D. Teodoreska [28] cementy s nižším obsahom C_3A a s prímiesou vysokopecnej trosky sa vyznačujú vyššou chemickou odolnosťou ako portlandské cementy. Menovaní autori tento fakt demonštrujú na základe sledovaní vzoriek, exponovaných v umelo pripravenej morskej vode, a ďalej v roztokoch solí MgSO_4 a CaSO_4 s úhrnnou koncentráciou 2600 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$, ktorá je úmerná koncentrácii uvedených solí v morskej vode, ako aj v roztoku Na_2SO_4 s koncentráciou 7300 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$.

3.3.5.2 Literárne poznatky o vplyve druhu cementu na síranovú koróziu betónu

Výsledky skúšok odolnosti sadrotroskového cementu a cementov obsahujúcich mletú bázickú granulovanú trosku, tras, popolček a diatomit (kremelinu) proti roztoku 5 % síranu sodného publikoval J. Jambor už v 1955 [29]. Na základe porovnávania výsledkov pevnosti v tlaku a v ťahu pri ohybe pri dĺžke sledovania 6 mesiacov prišiel k záveru, že zmesový cement s obsahom 70 % trosky - pri porovnaní s portlandským cementom - môže vykazovať až o 200 % vyššiu síranovú odolnosť. Puzzolánové cementy, obsahujúce 10 % kremeliny alebo 20-30 % popolčeka, preukázali až o 100 % vyššiu odolnosť. Zvýšenie síranovej odolnosti [30] je celkovo úmerné aktivite a obsahu použitej puzzolánovej prímеси, pričom relatívne najväčšie zvýšenie odolnosti sa dosahuje pri obsahu puzzolánovej prímеси 20-40 % z celkovej hmotnosti spojiva. Obsah nad 40 % sa na zvýšení síranovzdornosti prejavuje už nevýrazne. Ak sa zvýši obsah mletej vysokopecnej trosky alebo puzzolánu v cemente na 70 % hmot., stupeň síranovej korózie poklesne približne na jednu tretinu [31].

Autor A. Špaček [32] zistil, že odolnosť proti účinku 5 % roztoku síranu sodného pri použití portlandského cementu (13,8 % C_3A) a portlandského troskového cementu (12,0 % C_3A) - v porovnaní so síranovzdorným portlandským cementom (2,9 % C_3A) - je nižšia. Po 3 rokoch pôsobenia

3.3.4.2 Informative Beispiele des Auftretens der Klassen von Frost und Auftauen

Bei nassem Beton, der Frost und Auftauen ausgesetzt ist (Frostzyklen), muss der Umgebungseinfluss auf Grundlage der STN EN 206-1/NA laut Tabelle 3.16 klassifiziert werden.

3.3.5 Umgebung mit chemischer Einwirkung

3.3.5.1 Allgemeine Erkenntnisse über den Einfluss der Zementsorte auf die chemische Beständigkeit von Beton

Der Autor I. Biczók [27, S. 42] erörtert den Einfluss der chemischen Zusammensetzung der Schlacke auf einzelne Arten chemischer Beständigkeit verschiedener Zementsorten und er stellt den positiven Einfluss eines erhöhten Schlackeanteils auf die Beständigkeit gegen Sulfate, Meerwasser und Ammoniumaggressivität fest. Die Beständigkeit von Beton aus Zement, der Schlacke enthält, gegen Magnesiumaggressivität hängt von weiteren Faktoren ab, wie von den Eigenschaften der Schlacke selbst, deren Gehalt im Zement, von Konzentration und Art der Magnesiumsalze und von weiteren Faktoren. Trasszemente (Dazittuff - Zeolith) weisen eine hohe Beständigkeit gegen Sulfatlösungen beträchtlicher Konzentration auf (bis zu 28 000 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$). Zemente mit Flugaschegehalt weisen eine ähnliche Beständigkeit wie Kompositzemente mit Hüttensand auf. Die Beständigkeit von Beton aus Flugasche-Zementen hängt vor allem von der Sorte, der Feinheit und der Qualität der Flugasche und den darin enthaltenen Verunreinigungen ab.

Nach F. Taflan und D. Teodorescu [28] weisen Zemente mit einem niedrigen C_3A -Gehalt mit dem Zusatzstoff Hüttensand eine höhere chemische Beständigkeit als Portlandzemente auf. Die genannten Autoren demonstrieren diesen Fakt auf Grundlage der Beobachtung von Proben, die künstlich zubereitetem Meerwasser ausgesetzt wurden, sowie Lösungen der Salze MgSO_4 und CaSO_4 mit einer Konzentration von 2600 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$, die der Konzentration der angeführten Salze im Meerwasser entspricht, und einer Na_2SO_4 -Lösung mit einer Konzentration von 7300 mg $\text{SO}_4^{2-}/\text{l}$.

3.3.5.2 Erkenntnisse aus der Literatur über den Einfluss der Zementsorte auf Sulfatkorrosion des Betons

Die Ergebnisse der Tests der Beständigkeit von Gips-Schlacke-Zement und von Zementen, die gemahlene basische Granulatschlacke, Trass, Flugasche und Diatomit (Kieselgur) enthalten, gegen eine 5 %-ige Sulfatlösung publizierte J. Jambor bereits im Jahr 1955 [29]. Auf Grundlage des Vergleichs der Ergebnisse der Druckfestigkeit und der Biegezugfestigkeit über einen Beobachtungszeitraum von 6 Monaten kam er zu dem Schluss, dass Kompositzement mit einem Schlackegehalt von 70 % - im Vergleich mit Portlandzement - eine bis zu 200 % höhere Sulfatbeständigkeit aufweisen kann. Puzzolanzemente, die 10 % Kieselgur oder 20-30 % Flugasche enthalten, weisen eine bis zu 100 % höhere Beständigkeit auf. Die Erhöhung der Sulfatbeständigkeit [30] steht insgesamt im Verhältnis zur Aktivität und dem Gehalt an Puzzolanzusatzstoffen, wobei die relativ größte Erhöhung der Beständigkeit bei einem Puzzolanzusatzstoff-Gehalt von 20-40 % des Gesamtgewichts der Bindemittel erreicht wird. Ein Gehalt über 40 % macht sich bei der Erhöhung der Sulfatbeständigkeit nicht mehr wesentlich bemerkbar. Wenn der Gehalt an gemahlener Hüttensand oder Puzzolan im Zement auf 70 % des Gewichts erhöht wird, sinkt die Stufe der Sulfatkorrosion auf etwa ein Drittel [31].

roztoku na maltové trámce, zhotovené z portlandského a portlandského troskového cementu, došlo k ich úplnej deštrukcii, zatiaľ čo maltové trámce, pripravené zo síranovzdorného portlandského cementu ostali aj po 10 rokoch pôsobenia agresívneho roztoku neporušené.

Na základe vyššie zhodnotených literárnych prameňov a všeobecných poznatkov je možné s veľkou pravdepodobnosťou predpokladať, že betón pripravený zo zmesových cementov CEM V/ (A, B) bude relatívne veľmi odolný proti účinku síranov. Tieto cementy by sa však mali pripravovať zo slinkov s relatívne nízkym obsahom C_3A .

3. 3. 5. 3 Literárne poznatky o vplyve druhu cementu na horečnatú koróziu betónu

Podľa J. Jambora a V. Živicu [33] odolnosť cementového kameňa, pripraveného zo zmesových cementov, je v prípade náporu chloridu horečnatého - pri porovnaní s portlandským cementom - vyššia. Pretože však chloridy pôsobia korozívne nielen na cementový kameň, ale aj na zabudovanú oceľovú výstuž, je nutné zvýšiť hrúbku krytia výstuže betónom a dávať prednosť použitiu hotových dielcov.

Autori J. Jambor a V. Živica [34] popisujú výsledky skúšok horečnatej odolnosti maltových vzoriek pri použití štyroch druhov cementov. Pre porovnávaciu sériu bol použitý portlandský cement s obsahom C_3A 11,0 %, ďalej z tohto portlandského cementu pripravený portlandský troskový cement s obsahom 30 % vysokopecnej trosky a dva druhy puzolánových cementov. Prvý puzolánový cement obsahoval 30 % zeolitu a druhý 30 % kremičitého popolčeka. Malty sa exponovali 450 dní v roztoku chloridu horečnatého s koncentráciou 2000, 5000 a 50 000 mg/l. Najvyššiu odolnosť preukázali obidva druhy puzolánových cementov, v poklese odolnosti nasledoval portlandský troskový cement a najmenšia odolnosť sa zistila pri použití portlandského cementu.

Na základe zhodnotenia vyššie citovaných literárnych prameňov je možné zhrnúť, že rýchlosť horečnatej korózie betónu závisí od druhu aniónu, na ktorý je horečnatý kation viazaný. Pri nápore síranu horečnatého sú odolnejšie zmesové cementy CEM V/ (A, B), ktoré sa pripravili z cementu s relatívne nižším obsahom C_3A v slinku, to znamená z portlandského cementu síranovzdorného alebo z portlandského cementu cestného. Pri nápore chloridu horečnatého postačí, aby zmesové cementy CEM V/ (A, B) sa zhotovili zo slinku, používaného na výrobu bežného portlandského alebo portlandského troskového cementu s relatívne vyšším obsahom C_3A . Táto skutočnosť vyplýva aj z technologických predpisov Výskumného ústavu inžinierskych stavieb, vypracovaných pre účely primárnej protikoróznej ochrany betónu [13].

3. 3. 5. 4 Literárne poznatky o vplyve druhu cementu a na koróziu betónu kyselinami

Podľa V. M. Moskvina a spoluautorov [7] pri vyššej koncentrácii kyseliny chlorovodíkovej (pH=1) portlandské puzolánové cementy sa vyznačujú - pri porovnaní s portlandskými cementmi - rovnakou alebo menšou

Der Autor A. Špaček [32] stellte fest, dass die Beständigkeit gegen die Wirkung einer 5 %-igen Natriumsulfat-Lösung bei Verwendung von Portlandzement (13,8 % C_3A) und Portland-Schlacke-Zement (12,0 % C_3A) - im Vergleich mit sulfatbeständigem Portlandzement (2,9 % C_3A) - niedriger ist. Nach 3 Jahren Einwirkung der Lösung auf Mörtelprismen, die aus Portland- und Portland-Schlacke-Zement hergestellt wurden, kam es zu deren völliger Destruktion, Mörtelprismen aus sulfatbeständigem Portlandzement dagegen blieben auch nach 10 Jahren Einwirkung der aggressiven Lösung ungestört.

Auf Grundlage der oben ausgewerteten Literaturquellen und der allgemeinen Erkenntnisse kann mit großer Wahrscheinlichkeit vorausgesetzt werden, dass Beton aus Kompositzementen CEM V/ (A, B) relativ sehr beständig gegen die Einwirkung von Sulfat sein wird. Diese Zemente sollten allerdings aus Klinker mit einem relativ geringen C_3A -Gehalt hergestellt werden.

3. 3. 5. 3 Erkenntnisse aus der Literatur über den Einfluss der Zementsorte auf Magnesiumkorrosion des Betons

Nach J. Jambor und V. Živica [33] ist die Beständigkeit des Zementsteins aus Kompositzement im Fall eines Magnesiumchlorid-Angriffs - im Vergleich mit Portlandzement - höher. Weil allerdings die Chloride nicht nur korrosiv auf den Zementstein wirken, sondern auch auf die eingebettete Stahlbewehrung, muss die Stärke der Bedeckung der Bewehrung mit Beton erhöht werden, und der Verwendung von Fertigteilen sollte Vorrang gewährt werden.

Die Autoren J. Jambor und V. Živica [34] beschreiben die Ergebnisse der Prüfungen der Magnesiumbeständigkeit von Mörtelproben bei der Verwendung von vier Zementsorten. Für die Vergleichsserie wurde Portlandzement mit einem C_3A -Gehalt von 11,0 % verwendet, weiter wurde aus diesem Portlandzement ein Portland-Schlacke-Zement mit einem 30 %-igen Gehalt an Hüttensand und zwei Sorten Puzzolanement hergestellt. Der erste Puzzolanement enthielt 30 % Zeolith und der zweite 30 % Silikat-Flugasche. Die Mörtel wurden 450 Tage einer Magnesiumchlorid-Lösung mit einer Konzentration von 2000, 5000 und 50 000 mg/l ausgesetzt. Die höchste Beständigkeit wiesen die beiden Puzzolanemente auf, danach folgte der Portland-Schlacke-Zement und die geringste Beständigkeit wurde bei der Verwendung von Portland-Zement festgestellt.

Auf Grundlage der Auswertung der oben zitierten Literaturquellen kann zusammengefasst werden, dass die Geschwindigkeit der Magnesiumkorrosion des Betons von der Art der Anionen abhängt, an die das Magnesium-Kation gebunden ist. Bei einem Angriff von Magnesiumsulfat werden die Kompositzemente CEM V/ (A, B) beständiger sein, die aus Zement mit einem relativ geringen C_3A -Gehalt im Klinker hergestellt wurden, wie etwa aus sulfatbeständigem Portland-Zement oder Straßen-Portland-Zement. Bei einem Magnesiumchlorid-Angriff genügt es, dass die Kompositzemente CEM V/ (A, B) aus Klinker hergestellt werden, der für die Produktion von üblichem Portland- oder Portland-Schlacke-Zement mit relativ hohem C_3A -Gehalt hergestellt wurde. Diese Tatsache ergibt sich auch aus den technologischen Vorschriften des Forschungsinstituts für Ingenieurbauten, die für die Zwecke des primären Antikorrosionsschutzes von Beton ausgearbeitet wurden [13].

3. 3. 5. 4 Erkenntnisse aus der Literatur über den Einfluss der Zementsorte auf Betonkorrosion durch Säuren

Nach V. M. Moskvina und den Mitautoren [7] zeichnet sich bei höherer Konzentration an Salzsäure (pH=1) bei Portland-Puzzolanementen - im Vergleich mit Portlandzementen



odolnosťou. V roztokoch kyselín nižšej koncentrácie ($\text{pH}=4$) je odolnosť proti účinku kyseliny chlorovodíkovej obidvoch porovnávaných cementov rovnaká, v prípade účinku kyseliny sírovej je však odolnosť cementového kameňa, pripraveného z portlandského puzolánového cementu, vyššia. Vysvetľuje sa to tým, že hydraulická prímies, ktorá sa nachádza v mieste reakcie, spomaľuje výmenu kyseliny pri povrchu, čím sa rýchlosť korózie do určitej miery spomaľuje.

Positívny vplyv mletého zeolitu na zvýšenie odolnosti cementových mált proti účinku 0,5, 1,0 a 1,5 % kyseliny chlorovodíkovej preukázali S. C. Mojumdar a I. Janotka [35]. Ochranné pôsobenie sa zvýšilo, keď sa kremičitý piesok v malte zmenil na zeolitový. Zeolitový piesok neutralizoval roztok kyseliny chlorovodíkovej, čím dochádzalo k ďalšiemu oslabeniu kyselinovej agresivity. Podľa STN EN 206-1/NA na zvýšenie odolnosti betónu proti najvyššiemu stupňu kyslej agresivity (XA3) sa odporúčajú aplikovať rovnaké protikorózne opatrenia, ktoré sa špecifikujú pri uhličitej agresivite, to je železná prímies alebo mletý zeolit, prípadne použitie kombináciu mletého zeolitu s kremičitým úletom.

Zo zhodnotenia vyššie citovaných prác a všeobecných poznatkov vyplýva, že betón pripravený zo zmesových cementov CEM V/ (A, B) sa vyznačuje - v porovnaní s betónom pripravovaným z portlandského cementu - rovnakou, prípadne aj vyššou odolnosťou proti účinku kyselín.

3. 3. 5. 5 Literárne poznatky o vplyve druhu cementu na uhličitú koróziu betónu

Ochrana betónových konštrukcií proti účinkom uhličitej vody je veľmi aktuálna, pretože uhličité vody sa v prírode vyskytujú najčastejšie. Autor J. Kos [36] štatisticky spracoval výskyt jednotlivých druhov agresivity prírodných vôd, pochádzajúcich 1 258 vrtoch v Českej republike, na základe

- eine gleiche oder geringere Beständigkeit ab. In Säurelösungen mit niedriger Konzentration ($\text{pH}=4$) ist die Beständigkeit gegen die Einwirkung von Salzsäure bei beiden verglichenen Zementen gleich, bei Schwefelsäure ist allerdings die Beständigkeit des Zementsteins aus Portland-Puzzolan-Zement höher. Dies wird damit erklärt, dass der hydraulische Zusatzstoff, der sich am Reaktionsort befindet, die Umwandlung der Säure an der Oberfläche verlangsamt, wodurch die Geschwindigkeit der Korrosion in einem gewissen Maß verlangsamt wird.

Der positive Einfluss von gemahlenem Zeolith auf die Erhöhung der Beständigkeit der Zementmörtel gegen die Einwirkung von 0,5-iger, 1,0-iger und 1,5 %-iger Salzsäure wiesen S. C. Mojumdar und I. Janotka [35] nach. Die Schutzwirkung erhöhte sich, wenn Siliziumsand im Mörtel gegen Zeolithsand ausgetauscht wurde. Zeolithsand neutralisierte die Salzsäure-Lösung, wodurch es zur weiteren Abschwächung der Säureaggressivität kam. Nach STN EN 206-1/NA wird zur Erhöhung der Beständigkeit des Betons gegen die höchste Klasse der Säureaggressivität (XA3) die Anwendung der gleichen Antikorrosionsmaßnahmen empfohlen, wie bei Kohlensäureaggressivität, und zwar Eisenzusatzstoff oder gemahlener Zeolith, bzw. eine Kombination aus gemahlenem Zeolith mit Silikastaub.

Aus der Auswertung der oben zitierten Arbeiten und den allgemeinen Erkenntnissen ergibt sich, dass Beton aus den Kompositzementen CEM V/ (A, B) eine - im Vergleich mit Beton aus Portland-Zement - gleiche, bzw. höhere Beständigkeit gegen Säureeinwirkung aufweisen wird.

3. 3. 5. 5 Erkenntnisse aus der Literatur über den Einfluss der Zementsorte auf Kohlensäurekorrosion des Betons

Der Schutz von Betonkonstruktionen gegen die Einwirkung von Kohlensäurewasser ist sehr aktuell, weil Kohlensäurewasser in der Natur am häufigsten auftritt. Der Autor J. Kos [36] verarbeitete statistisch das Auftreten einzelner Arten von Aggressivität von natürlichem Wasser, das aus 1 258 Quellen in

vtedy platnej ČSN 73 1001: 1966 [37]. Jednotlivé druhy vôd z hľadiska početnosti sa vyskytovali v tomto poradí:

46,0 % vôd so zvýšeným obsahom agresívneho oxidu uhličitého (uhličité vody);
40,5 % vôd s nízkou hodnotou pH (kyslé vody);
23,9 % vôd so zvýšeným obsahom síranov (síranové vody);
13,3 % vôd s nízkou tvrdosťou (vylúhujúce vody);
0,0 % vôd s obsahom horečnatých iónov (horečnaté vody).

Podobný percentuálny podiel výskytu jednotlivých druhov agresívnych vôd sa môže predpokladať aj na Slovensku.

Autor A. Špaček [38] vplyv druhu cementu na uhličitú odolnosť vyhodnotil v závere práce takto: sledovanie zmien hmotnosti a dynamického modulu pružnosti mált pripravených zo síranovzdorného portlandského cementu, portlandského cementu a dvoch druhov portlandských troskových cementov preukázalo skutočnosť, že druh cementu výraznejšie neovplyvňuje na odolnosť cementového kameňa proti uhličitému agresívnemu roztoku. V neskoršej práci A. Špaček [39] predstavuje 11 ročné výsledky sledovania uhličitej odolnosti betónových skúšobných telies. Ako bude uvedené v nasledujúcej bilancii jednotlivých zložiek cementu, na prípravu betónovej zmesi sa použilo relatívne vysoké množstvo popolčeka, a to 250 kg na 1 m³ betónu. Tým, že na prípravu betónovej zmesi sa použilo na 1 m³ betónu 300 kg portlandského troskového cementu podľa ČSN 72 2122: 1972 [40] s obsahom vysokopecnej trosky do 40 % hmotnostných, použitý cement s obsahom popolčeka je možné označiť podľa v súčasnosti platnej STN EN 197-1 [6] približne ako cement CEM V/B. Tento fakt vyplýva z materiálovej bilancie zložiek cementu v betóne, ktorá je vyčíslená za predpokladu obsahu 300 kg cementu na 1 m³ betónu, pri obsahu trosky v cemente 40 % a obsahu popolčeka 300 kg, bez zohľadnenia obsahu sadrovca v cemente.

Slinok	180 kg/m ³ h. b. (hotového betónu).....	32,7 % hmot.
Troska	120 kg/m ³ h. b.....	21,8 % hmot.
Popolček ..	250 kg/m ³ h. b.....	45,5 % hmot.

Prímes trosky v cemente v kombinácii s pridávaným popolčekom nepreukázala ani pozitívny ani negatívny vplyv na odolnosť betónu proti uhličitému roztoku.

Možno reálne predpokladať, že betón pripravený zo zmesových cementov CEM V/ (A, B) sa - pri porovnaní s betónom pripraveným z portlandského cementu - nebude vyznačovať zhoršenou odolnosťou proti pôsobeniu uhličitých agresívnych vôd.

3. 3. 5. 6 Literárne poznatky o vplyve druhu cementu na amónnu koróziu betónu

Pri nápoře amónnych vôd I. Biczók [27, s. 177] odporúča použitie cementov so zníženým obsahom vápna a ďalej cementy, obsahujúce mleté aktívne prímesi ako je zeolít a vysokopecná troska. Podľa P. Schimmelwita a J. Maultzscha [41] vysokopecný cement a síranovzdorný portlandský cement preukázali - v porovnaní s portlandským cementom - zlepšenú odolnosť proti účinku chloridu amónneho.

Zvýšenú odolnosť zatvrdnutých cementových suspenzií s prímiesou zeolitu proti roztoku 1 % síranu amónneho dokázali práce I. Janotku, A. Špačka a M. Jeřábka [42] a I. Janotku a L. Krajčího [43]. U porovnávacej bentonitovej suspenzie došlo už po 30 dňoch expozície v uvedenom roztoku k rozpadu, zatiaľ čo suspenzie s prímiesou zeolitu preukázali ešte aj po 1 roku expozície kompaktnú štruktúru a pevnosť v tlaku približne 1 MPa.

der Tschechischen Republik stammt, und zwar auf Grundlage der damals geltenden ČSN 73 1001: 1966 [37]. Die einzelnen Wassersorten traten aus Sicht der Häufigkeit ihres Auftretens in dieser Reihenfolge auf:

46,0 % Wasser mit erhöhtem Gehalt an aggressivem Kohlenstoffdioxid (Kohlenstoffwasser);
40,5 % Wasser mit niedrigem pH-Wert (saure Wasser);
23,9 % Wasser mit erhöhtem Sulfatgehalt (Sulfatwasser);
13,3 % Wasser mit niedriger Härte (ausgelaugte Wasser);
0,0 % Wasser mit Magnesium-Ionen Gehalt (Magnesiumwasser).

Ein ähnlicher prozentualer Anteil des Auftretens einzelner Sorten aggressiver Wasser kann auch für die Slowakei angenommen werden.

Der Autor A. Špaček [38] bewertete den Einfluss der Zementsorte auf die Kohlensäurebeständigkeit am Schluss seiner Arbeit so: die Beobachtung der Änderungen von Gewicht und dynamischem Modul der Elastizität von Mörtel aus sulfatbeständigem Portland-Zement, Portland-Zement und zwei Sorten Portland-Schlacke-Zement bewies die Tatsache, dass die Zementsorte die Beständigkeit des Zementsteins gegen Kohlensäureaggressivität nicht wesentlich beeinflusst. In einer späteren Arbeit stellt A. Špaček [39] 11 Jahresergebnisse der Beobachtung der Kohlensäurebeständigkeit von Beton-Testkörpern vor. Wie in den folgenden Bilanzen der einzelnen Zementausgangsstoffe angeführt wird, wurde zur Herstellung der Betonmischung eine relativ hohe Menge an Flugasche verwendet, und zwar 250 kg je 1 m³ Beton. Dadurch, dass für die Herstellung der Betonmischung je 1 m³ Beton 300 kg Portland-Schlacke-Zement nach ČSN 72 2122: 1972 [40] mit einem Gehalt an Hüttensand bis 40 % des Gewichts verwendet wurde, kann der verwendete Zement mit Flugaschegehalt nach gegenwärtig geltender Norm STN EN 197-1 [6] in etwa als Zement CEM V/B gekennzeichnet werden. Dieser Fakt ergibt sich aus der Materialbilanz der Zementausgangsstoffe im Beton, die unter der Voraussetzung von 300 kg Zementgehalt je 1 m³ Beton beziffert wurde, bei einem Schlackengehalt im Zement von 40 % und einem Flugaschegehalt bei 300 kg, ohne Berücksichtigung des Gipssteingehalts im Zement.

Klinker	180 kg/m ³ (Fertigbeton)	32,7 Gew. %
Schlacke	120 kg/m ³	21,8 Gew. %
Flugasche	250 kg/m ³	45,5 Gew. %

Der Zusatzstoff Schlacke im Zement zeigte in Kombination mit zugesetzter Flugasche weder einen positiven noch einen negativen Einfluss auf die Beständigkeit des Betons gegen Kohlensäurelösung.

Es kann realistischer Weise vorausgesetzt werden, dass Beton aus den Kompositzementen CEM V/ (A, B) - im Vergleich mit Beton aus Portland-Zement - keine schlechtere Beständigkeit gegen die Einwirkung von Kohlensäureaggressivität aufweisen wird.

3. 3. 5. 6 Erkenntnisse aus der Literatur über den Einfluss der Zementsorte auf Ammoniumkorrosion des Betons

Bei einem Angriff von Ammoniumwasser empfiehlt I. Biczók [27, S. 177] die Verwendung von Zementen mit einem gesenkten Kalkgehalt und Zementen, die gemahlene aktive Zusatzstoffe wie Zeolith und Hüttensand enthalten. Nach P. Schimmelwitz und J. Maultzsch [41] zeigten Hochofenzement und sulfatbeständiger Portlandzement - im Vergleich mit Portlandzement - eine verbesserte Beständigkeit gegen die Einwirkung von Ammoniumchlorid.

Die erhöhte Beständigkeit erhärteter Zementsuspensionen mit dem Zusatzstoff Zeolith gegen eine 1 %-ige Sulfat-Ammonium-Lösung Ammoniumsulfat bewies die Arbeit von I. Janotka, A. Špaček und M. Jeřábek [42] und I. Janotka und L. Krajčí [43]. Bei

Podľa vyššie uvedených zistení o vplyve druhu cementu na chemickú odolnosť betónu sa dá predpokladať, že betón pripravený zo zmesových cementov CEM V/ (A, B) bude mať - v porovnaní s betónmi vyrobenými s použitím portlandských cementov - vyššiu odolnosť proti síranovým, kyslým, uhličítym, horečnatým a amónnym vodám.

den verglichenen Bentonitsuspension kam es nach 30 Tagen in der angeführten Lösung zum Zerfall, aber die Suspension mit dem Zusatzstoff Zeolith wies auch nach 1 Jahr eine kompakte Struktur und eine Druckfestigkeit von etwa 1 MPa auf.

Nach den oben angeführten Feststellungen über den Einfluss der Zementsorte auf die chemische Beständigkeit des Betons kann vorausgesetzt werden, dass Beton aus den Kompositementen CEM V/ (A, B) - im Vergleich mit Beton unter Verwendung von Portlandzementen - eine höhere Beständigkeit gegen Sulfat-, Säure-, Kohlensäure-, Magnesium- und Ammoniumwasser haben wird.

Tabuľka 3. 17 Medzné hodnoty pre stupne chemického pôsobenia podzemnej vody podľa STN EN 206-1: 2002

Tabelle 3. 17 Grenzwerte für die Klassen der chemischen Einwirkung von Grundwasser nach STN EN 206-1: 2002

Chemická charakteristika / Chemisches Merkmal	Referenčná skúšobná metóda / Referenzprüfverfahren	XA1	XA2	XA3
SO ₄ ²⁻ mg/l	EN 196-2	≥ 200 a ≤ 600 / ≥ 200 und ≤ 600	> 600 a ≤ 3 000 / > 600 und ≤ 3 000	> 3 000 a ≤ 6 000 / > 3 000 und ≤ 6 000
pH	ISO 4316	≤ 6,5 a ≥ 5,5 / ≤ 6,5 und ≥ 5,5	< 5,5 a ≥ 4,5 / < 5,5 und ≥ 4,5	< 4,5 a ≥ 4,0 / < 4,5 und ≥ 4,0
CO ₂ mg/l agresívny / CO ₂ mg/Liter aggressiv	EN 13577	≥ 15 a ≤ 40 / ≥ 15 und ≤ 40	> 40 a ≤ 100 / > 40 und ≤ 100	> 100 až do nasýtenia / > 100 bis zur Sättigung
NH ₄ ⁺ mg/liter / NH ₄ ⁺ mg/Liter	ISO 7150-1 alebo ISO 7150-2 / ISO 7150-1 oder ISO 7150-2	≥ 15 a ≤ 30 / ≥ 15 und ≤ 30	> 30 a ≤ 60 / > 30 und ≤ 60	> 60 a ≤ 100 / > 60 und ≤ 100
Mg ²⁺ mg/l	ISO 7980	≥ 300 a ≤ 1 000 / ≥ 300 und ≤ 1 000	> 1 000 a ≤ 3 000 / > 1 000 und ≤ 3 000	> 3 000 až do nasýtenia / > 3 000 bis zur Sättigung

3. 3. 5. 7 Klasifikácia agresivity vôd a zemín

V tabuľke 3. 17 sa reprodujú medzné hodnoty pre stupne chemického pôsobenia podzemných vôd a v tabuľke 3. 18 medzné hodnoty pre stupne chemického pôsobenia zemín podľa tabuľky 2 STN EN 206-1: 2002. Tabuľka 2 ČSN EN 206-1: 2000 a STN EN 206-1: 2002 je kvôli prehľadnosti rozdelená do dvoch tabuliek, osobitne pre podzemné vody a zvlášť pre zeminy. Tieto medzné hodnoty sú pre zeminy aj vody špecifikované v tabuľke 2 len v základných normách, to je v STN EN 206-1: 2002 a ČSN EN 206-1: 2000 a do Národných príloh, t. j. do STN EN 206-1/NA: 2009 a ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008, neboli zapracované, pretože ostali nezmenené. V tabuľke 2 rakúskej ÖNORM EN 206-1: 2000 sú špecifikované tie isté medzné hodnoty pre stupne chemického pôsobenia zeminy a vody ako v slovenskej STN EN 206-1: 2002 a českej ČSN EN 206-1: 2000. Tabuľka 2 týchto noriem je uvedená nasledujúcimi tromi nečíslovanými poznámkami:

Poznámka 1

Klasifikácia chemického prostredia platí pre zeminu a podzemnú vodu pri teplote vody/zeminy v rozmedzí +5 °C až +25 °C a pre veľmi miernu rýchlosť vody, ktorá sa blíži k nehybnému stavu.

Poznámka 2

Pri odstupňovaní je určujúca najvyššia hodnota jednotlivých chemických charakteristík.

Poznámka 3

Pokiaľ dve alebo viacero chemických charakteristík sú rovnakého stupňa, potom je treba použiť najbližší vyšší stupeň, pokiaľ zvláštna štúdia pre tento špecifický prípad nepreukáže, že to nie je nutné.

Ako je zrejmé z nasledujúcej tabuľky 3. 19, tabuľka 1 pôvodnej STN EN 206-1: 2002 v časti 6 „Chemické pôsobenie“ bola

3. 3. 5. 7 Klassifizierung der Aggressivität von Wasser und Böden

In Tabelle 3. 17 werden die Grenzwerte für die Klassen der chemischen Einwirkung von Grundwasser reproduziert und in Tabelle 3. 18 die Grenzwerte für die Klassen der chemischen Einwirkung von Böden laut Tabelle 2 STN EN 206-1: 2002. Tabelle 2 ČSN EN 206-1: 2000 und STN EN 206-1: 2002 sind für eine bessere Übersichtlichkeit in zwei Tabellen geteilt, gesondert für Grundwasser und Böden. Diese Grenzwerte sind für Böden und für Wasser in Tabelle 2 nur in den Basisnormen spezifiziert, und zwar in STN EN 206-1: 2002 und ČSN EN 206-1: 2000; in den nationalen Anlagen, d. h. von STN EN 206-1/NA: 2009 und ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008, waren sie nicht eingearbeitet, da sie unverändert blieben. In Tabelle 2 der österreichischen ÖNORM EN 206-1: 2000 sind die gleichen Grenzwerte für die Klassen der chemischen Einwirkung von Böden und Wasser spezifiziert wie in der slowakischen STN EN 206-1: 2002 und der tschechischen ČSN EN 206-1: 2000. Tabelle 2 dieser Normen ist in den folgenden drei Anmerkungen angeführt:

Anmerkung 1

Die folgende Klasseneinteilung chemisch angreifender Umgebungen gilt für natürliche Böden und Grundwasser mit einer Wasser- bzw. Bodentemperatur zwischen 5 °C und 25 °C und einer Fließgeschwindigkeit des Wassers, die gering genug ist, um näherungsweise hydrostatische Bedingungen anzunehmen.

Anmerkung 2

Der schärfste Wert für jedes einzelne chemische Merkmal bestimmt die Klasse.

Anmerkung 3

Wenn zwei oder mehrere angreifende Merkmale zu derselben Klasse führen, muss die Umgebung der nächst höheren Klasse

veľmi jednoduchá a neobsahovala ani informatívne príklady výskytu stupňov vplyvu prostredia.

Pokiaľ sa týka druhov chemického pôsobenia, tabuľka 1 STN EN 206: 2002 sa rozšírila o vody odpadové. Tabuľka 3. 20 špecifikuje klasifikáciu odpadových vôd podľa tabuľky 1 STN EN 206-1/NA s informatívnymi príkladmi výskytu. Klasifikácia korózie betónu vplyvom chemického pôsobenia je v STN EN 206-1/NA doplnená nasledujúcimi 3 poznámkami.

zugeordnet werden, sofern nicht in einer speziellen Studie für diesen Fall nachgewiesen wird, dass dies nicht erforderlich ist. Wie aus der folgenden Tabelle 3. 19 ersichtlich ist, war die Tabelle 1 der ursprünglichen STN EN 206-1: 2002 im Teil 6 „Chemische Einwirkung“ sehr einfach definiert und enthielt keine informativen Beispiele des Auftretens der Klassen des Umgebungseinflusses.

Was die Arten chemischer Einwirkung betrifft, wurde Tabelle 1 STN EN 206: 2002 um Abwasser erweitert. Tabelle 3. 20 spezifiziert die Klassifizierung von Abwasser laut Tabelle 1

Tabuľka 3. 18 Medzné hodnoty pre stupne chemického pôsobenia zemín podľa EN 206-1

Tabelle 3. 18 Grenzwerte für die Klassen der chemischen Einwirkung von Böden nach EN 206-1

Chemická charakteristika / Chemisches Merkmal	Referenčná skúšobná metóda / Referenzprüfverfahren	XA1	XA2	XA3
SO_4^{2-} mg/kg ^{a)} celkom / SO_4^{2-} mg/kg ^{a)} gesamt	EN 196-2 ^{b)}	$\geq 2\,000$ a $\leq 3\,000$ c) / $\geq 2\,000$ und $\leq 3\,000$ c)	$> 3\,000$ ^{c)} a $\leq 12\,000$ / $> 3\,000$ ^{c)} und $\leq 12\,000$	$> 12\,000$ a $\leq 24\,000$ / $> 12\,000$ und $\leq 24\,000$
Kyslosť ml/kg / Säuregrad ml/kg	DIN 4030-2	> 200 Baumann-Gully / > 200 Baumann-Gully	v praxi sa nepoužíva / Wird in der Praxis nicht angewendet	

Poznámka:

a) Ílovité zeminy s priepustnosťou menšou ako 10^{-5} m/s sa priradujú do nižšieho stupňa.

b) Skúšobná metóda predpisuje vylúhovanie SO_4^{2-} kyselinou chlorovodíkovou. Ak sú k dispozícii skúsenosti v mieste použitia betónu, je možné alternatívne použiť aj vylúhovanie vodou.

c) Medzná hodnota $3\,000$ mg/kg sa musí zmenšiť na $2\,000$ mg/kg v prípade nebezpečenstva hromadenia síranových iónov v betóne pri striedavom vysušovaní a zvlhčovaní alebo v dôsledku kapilárneho nasávania.

Die Bemerkung:

a) Tonböden mit einer Durchlässigkeit von weniger als 10^{-5} m/s dürfen in eine niedrigere Klasse eingestuft werden.

b) Das Prüfverfahren beschreibt die Auslaugung von SO_4^{2-} durch Salzsäure; Wasserauslaugung darf stattdessen angewandt werden, wenn am Ort der Verwendung des Betons Erfahrung hierfür vorhanden ist.

c) Falls die Gefahr der Anhäufung von Sulfationen im Beton – zurückzuführen auf wechselndes Trocknen und Durchfeuchten oder kapillares Saugen – besteht, ist der Grenzwert von $3\,000$ mg/kg auf $2\,000$ mg/kg zu vermindern.

Tabuľka 3. 19 Stupne vplyvu prostredia pri chemickom pôsobení podľa STN EN 206-1: 2002

Tabelle 3. 19 Expositionsklassen für chemische Einwirkung nach STN EN 206-1: 2002

Označenie stupňa / Expositions-klasse	Popis prostredia / Beschreibung der Umgebung	Informatívne príklady výskytu stupňa vplyvu prostredia / Informative Beispiele des Auftretens der Expositions-klasse
<p>Pokiaľ je betón vystavený chemickému pôsobeniu zeminy a podzemnej vody podľa tabuľky 2, musí byť vplyv prostredia odstupňovaný tak, ako je uvedené ďalej. Klasifikácia morskej vody závisí na geografickej polohe a predpisoch platných v mieste použitia betónu. POZNÁMKA Na stanovenie príslušných stupňov vplyvu môže byť potrebná zvláštna štúdia, pokiaľ: sú hodnoty mimo medzných hodnôt uvedených v tabuľke 2; sú prítomné iné chemikálie; zemina alebo voda je chemicky znečistená; je vysoká rýchlosť vody v kombinácii s chemikáliami podľa tabuľky 2. / Wenn Beton chemischem Angriff durch natürliche Böden und Grundwasser nach Tabelle 2 ausgesetzt ist, muss die Expositionsklasse wie folgt zugeordnet werden. ANMERKUNG Unter gewissen Umgebungsbedingungen kann ein besonderes Gutachten notwendig sein, um die Anforderungen an den Beton festzulegen: – außerhalb der Grenzen von Tabelle 2, – Anwesenheit anderer angreifender Chemikalien, – chemisch verunreinigtem Boden oder Wasser, – hohe Fließgeschwindigkeit von Wasser in Kombination mit der Einwirkung von Chemikalien nach Tabelle 2</p>		
XA1	slabo agresívne prostredie podľa tabuľky 2 / chemisch schwach angreifende Umgebung laut Tabelle 2	
XA2	stredne agresívne prostredie podľa tabuľky 2 / chemisch mäßig angreifende Umgebung laut Tabelle 2	
XA3	vysoko agresívne prostredie podľa tabuľky 2 / chemisch stark angreifende Umgebung laut Tabelle 2	

Tabuľka 3. 20 Klasifikácia odpadových vôd podľa STN EN 206-1/NA

Tabelle 3. 20 Klassifizierung von Abwasser nach STN EN 206-1/NA

Označenie stupňa / Expositions-klasse	Popis prostredia / Beschreibung der Umgebung	Informatívne príklady výskytu stupňa vplyvu prostredia / Informative Beispiele des Auftretens der Expositions-klasse
XA1	slabo agresívne chemické prostredie podľa tabuľky 2 / Schwach aggressive chemische Umgebung laut Tabelle 2	nádrže čistiarní odpadových vôd, žumpy, septiky, základy stavieb vystavených chemickému pôsobeniu zeminy a/alebo podzemnej vody / Zisternen von Abwasserkläranlagen, Senkgrube, Faulgrube, Fundamente von Bauten, die der chemischen Einwirkung von Böden und/oder Grundwasser ausgesetzt sind
XA2	stredne agresívne chemické prostredie podľa tabuľky 2 / Mäßig aggressive chemische Umgebung laut Tabelle 2	časti stavieb v pôdach agresívnych voči betónu, základy stavieb vystavených chemickému pôsobeniu zeminy a / alebo vody / Teile von Bauten in Böden, die aggressive gegen Beton sind, Fundamente von Bauten, die der chemischen Einwirkung von Böden und/oder Grundwasser ausgesetzt sind
XA3	silno agresívne chemické prostredie podľa tabuľky 2 / stark aggressive chemische Umgebung laut Tabelle 2	priemyslové čistiarne odpadových vôd s chemicky agresívnymi vodami, silážne jamy a krmné žľaby v poľnohospodárstve, chladiace veže s odvodom dymových spalin / Industrie-Abwassereinigungsanlagen mit chemisch aggressivem Wasser, Silagegruben und Futterrinnen in der Landwirtschaft, Kühltürme mit Abgasableitung

POZNÁMKA 1 - Na stanovenie príslušných vplyvov môže byť potrebná zvláštna štúdia, ak:

- hodnoty prekračujú medzné hodnoty uvedené v tabuľke 2 STN EN 206-1; sú prítomné iné chemikálie; - zemina alebo voda je chemicky znečistená;
- je vysoká rýchlosť prúdenia vody v kombinácii s chemikáliami podľa tabuľky 2 STN EN 206-1.

POZNÁMKA 2 - Pri stupni vplyvu prostredia XA3, alebo ak hodnoty prekračujú medzné hodnoty uvedené v tabuľke 2 STN EN 206-1, za prítomnosti iných agresívnych chemikálií, pri chemicky znečistených podlahách alebo vodách, pri vyššej rýchlosti tečúcej vody s obsahom chemikálií podľa tabuľky 2 STN EN 206-1 sú požiadavky na betón alebo ochranné opatrenia stanovené v článku 5. 3. 4.

Článok 5. 3. 4 je v STN EN 206-1/NA formulovaný takto:

5. 3. 4 Ochranné opatrenia pri korózii vplyvom chemického pôsobenia

V súvislosti s Poznámkou 2, bodu 6, tabuľky 1 a tiež pri chemickom pôsobení stupňa vplyvu prostredia XA3 (podľa tabuľky F. 1), ako aj pri vyššej rýchlosti (viac ako 2 m/s) tečúcej vody s obsahom chemikálií podľa tabuľky 2 STN EN 206-1, je potrebná sekundárna ochrana betónu podľa tabuľky F. 1 - ako napr. izolačná vrstva - v osobitných prípadoch ak existuje odborné posúdenie a preukáže sa, že použitie sekundárnej ochrany nie je nevyhnutné, môže sa od nej upustiť alebo použiť iné riešenie.

Pri vplyve iných agresívnych chemických látok ako v STN EN 206-1, tabuľka 2, alebo pri vysokom stupni agresivity mimo hodnôt v tabuľke 2 STN EN 206-1 sa stanovujú ochranné opatrenia podľa osobitného projektu na základe osobitného posúdenia.

POZNÁMKA 3 - Ak hodnoty chemického pôsobenia zeminy a/ alebo podzemnej vody sú nižšie ako udáva tabuľka 2 STN EN 206-1, nie je potrebné uvádzať stupeň XA.

Pri primárnej ochrane betónu proti jednotlivým druhom a stupňom chemického pôsobenia sa používajú prísady a prímеси do betónu tak, ako je to špecifikované v predchádzajúcich odsekoch.

STN EN 206-1/NA mit informativen Beispielen des Auftretens. Die Klassifizierung der Korrosion des Betons durch den Einfluss chemischer Einwirkung wurde in STN EN 206-1/NA um folgende 3 nummerierte Anmerkungen ergänzt.

ANMERKUNG 1 - Unter gewissen Umgebungsbedingungen kann ein besonderes Gutachten notwendig sein, um die Anforderungen an den Beton festzulegen, wenn:

- außerhalb der Grenzen von Tabelle 2 STN EN 206-1, Anwesenheit anderer angreifender Chemikalien, chemisch verunreinigtem Boden oder Wasser,
- hohe Fließgeschwindigkeit von Wasser in Kombination mit der Einwirkung von Chemikalien nach Tabelle 2 STN EN 206-1.

ANMERKUNG 2 - Bei der Expositions-klasse XA3, oder wenn die Werte die Grenzwerte von Tabelle 2 STN EN 206-1 überschreiten, bei Anwesenheit anderer aggressiver Chemikalien, bei chemisch verunreinigten Böden oder Wasser, bei höherer Fließgeschwindigkeit mit Chemikaliengehalt laut Tabelle 2 STN EN 206-1 werden die Anforderungen an den Beton oder die Schutzmaßnahmen in Artikel 5. 3. 4 festgelegt.

Artikel 5. 3. 4 wird in STN EN 206-1/NA wie folgt formuliert:

5. 3. 4 Schutzmaßnahmen bei Korrosion durch den Einfluss chemischer Einwirkung

Im Zusammenhang mit der Anmerkung 2, Punkt 6, Tabelle 1 und ebenfalls bei chemischer Einwirkung der Expositions-klasse XA3 (laut Tabelle F. 1), wie auch bei höherer Fließgeschwindigkeit (mehr als 2 m/s) des Wasser mit Chemikaliengehalt laut Tabelle 2 STN EN 206-1, muss ein sekundärer Schutz des Betons laut Tabelle F. 1 erfolgen - wie z. B. durch eine Isolierungsschicht - in besonderen Fällen, wenn eine fachliche Beurteilung existiert, die nachweist, dass die Verwendung eines sekundären Schutzes nicht erforderlich ist, kann darauf verzichtet oder eine andere Lösung angewendet werden.

Beim Einfluss anderer aggressiver chemischer Stoffe als in STN EN 206-1, Tabelle 2 angegeben, oder bei einem hohen Grad an Aggressivität außerhalb der Werte in Tabelle 2 STN EN 206-1 werden Schutzmaßnahmen je nach Projekt auf Grundlage einer gesonderten Beurteilung bestimmt.

3.3.5.8 Prostredie pri účinku obrusovania

Príklady priradenia betónových konštrukcií, korodovaných vplyvom mechanického namáhania, do jednotlivých stupňov vplyvu prostredia nie sú špecifikované v STN EN 206-1/NA ani v ÖNORM EN 206-1: 2000, iba v ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008. Tabuľka 3. 21 predstavuje informatívne príklady výskytu konštrukcií namáhaných koróziou vplyvom mechanického namáhania (obrusovaním) podľa tabuľky NA. 1 ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008.

3.4 Použitelnosť CEM V/ (A, B) na prípravu betónu podľa slovenskej, českej a rakúskej EN 206-1

Údaje o prípustnosti jednotlivých druhov cementov v styku s agresívnym pôsobením, to značí aj cementu CEM V/A a cementu CEM V/B, obsahuje len slovenská STN EN 206-1/NA: 2009 v tabuľke F. 3 a česká ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008 v tabuľke F. 4. Rakúska norma ÖNORM EN 206-1: 2000 tabuľku o prípustnosti jednotlivých druhov cementov vzhľadom na druhy a stupne agresívneho prostredia neobsahuje.

ANMERKUNG 3 - Wenn die Werte der chemischen Einwirkung von Böden und/oder Grundwasser niedriger als in Tabelle 2 STN EN 206-1 sind, muss die Klasse XA nicht angegeben werden.

Beim primären Schutz des Betons gegen einzelne Arten und Klassen chemischer Einwirkung werden Zusatzmittel und Zusatzstoffe zum Beton so verwendet, wie es in den vorgehenden Abschnitten spezifiziert ist.

3.3.5.8 Umgebung mit der Einwirkung von Abrieb

Beispiele der Zuordnung von Betonkonstruktionen, die durch den Einfluss mechanischer Beanspruchung korrodieren, zu einzelnen Expositionsklassen sind weder in STN EN 206-1/NA noch in der ÖNORM EN 206-1: 2000 spezifiziert, sondern nur in ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008. Tabelle 3. 21 stellt informative Beispiele des Auftretens beanspruchter Konstruktionen durch den Einfluss mechanischer Beanspruchung (Abrieb) laut Tabelle NA. 1 ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008 vor.

3.4 Nutzbarkeit von CEM V/ (A, B) für die Herstellung von Beton nach slowakischer, tschechischer und österreichischer EN 206-1

Die Angaben über die Zulässigkeit einzelner Zementsorten in Kontakt mit aggressiver Einwirkung, dies betrifft auch den Zement CEM V/A und den Zement CEM V/B, enthalten nur die slowakische STN EN 206-1/NA: 2009 in Tabelle F. 3 und die tschechische ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008 in Tabelle F. 4. Die österreichische Norm ÖNORM EN 206-1: 2000 enthält die Tabelle über die Zulässigkeit einzelner Zementsorten bezüglich der Arten und Klassen einer aggressiven Umgebung nicht.

Tabuľka 3. 21 Informatívne príklady výskytu stupňov vplyvu prostredia betónových konštrukcií namáhaných obrusovaním podľa ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008, Tabuľka NA. 1

Tabelle 3. 21 Informative Beispiele des Auftretens von Expositionsklassen von Betonkonstruktionen, die durch Abrieb beansprucht werden nach ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008, Tabelle NA. 1

Označenie stupňa / Expositions-klasse	Popis prostredia / Beschreibung der Umgebung	Informatívne príklady výskytu stupňa vplyvu prostredia / Informative Beispiele des Auftretens der Expositionsklasse
XM1	mierne namáhanie obrusovaním: minimálne požiadavky, vrátane jazdy vozidlami opatrenými pneumatikami / Mäßige Beanspruchung durch Abrieb: minimale Anforderungen, einschl. Befahrung mit Fahrzeugen mit Reifen	nosné vystužené alebo nevystužené priemyslové podlahy s prevádzkou vozidiel s pneumatikami / Tragende bewehrte oder unbewehrte Industriefußböden mit Betrieb von Fahrzeugen mit Reifen
XM2	silné namáhanie obrusovaním: prevádzka vysokozdvížných vozíkov, obrus unášanými splaveninami vody pri malej rýchlosti vody / starke Beanspruchung durch Abrieb: Betrieb von Hubstaplern, Abrieb durch Schwemmstoffe im Wasser bei geringer Fließgeschwindigkeit	nosné vystužené alebo nevystužené priemyslové podlahy s prevádzkou vozidiel s pneumatikami alebo celistvými gumovými kolesami vysokozdvížných vozíkov / Tragende bewehrte oder unbewehrte Industriefußböden mit Betrieb von Fahrzeugen mit Reifen oder gummibereiften Hubstaplern
XM3	veľmi silné namáhanie obrusovaním: časté jazdenie pásovými vozidlami, otlk unášanými splaveninami vody pri vysokej rýchlosti vody / Sehr starke Beanspruchung durch Abrieb: Häufiges Befahren mit Bandfahrzeugen, Abschlag durch Schwemmstoffe im Wasser bei großer Fließgeschwindigkeit	nosné vystužené alebo nevystužené priemyslové podlahy jazdené vozidlami s oceľovými kolesami alebo kolesami vysokozdvížných vozíkov z umelých hmôt plochy jazdené pásovými vozidlami vodné stavby vystavené intenzívnemu prúdeniu vody, napr. vývariská / Tragende bewehrte oder unbewehrte Industriefußböden mit Betrieb von Fahrzeugen mit Stahlrädern oder Räder von Hubstaplern aus Kunststoffflächen, die mit Bandfahrzeugen befahren werden Wasserbauten, die intensivem Wasserdurchfluss ausgesetzt sind, z. B. Sturzbecken

3. 4. 1 Použitelnost' CEM V/ (A, B) pre betón vystavený účinku karbonatácie

Podľa slovenskej normy STN EN 206-1/NA: 2009 cement CEM V/A a cement CEM V/B sa môže použiť len pri najnižších dvoch stupňoch karbonatácie, to je stupni XC1 (prostredie suché alebo stále mokré) a prostredí XC2 (prostredie mokré, občas suché). Pri prostredí XC3 (stredne mokré, vlhké) a prostredí XC4 (striedavo mokré a suché) sa tieto cementy použiť nesmú.

Česká norma ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008 pripúšťa použitie obidvoch druhov zmesových cementov pre všetky štyri stupne agresivity účinkom karbonatácie, to značí pri stupni XC1, XC2, XC3 a XC4. Pri stupni XC3 a XC4 sa však vyžaduje, aby odolnosť proti vplyvu prostredia bola overená preukaznou skúškou.

3. 4. 2 Použitelnost' CEM V/ (A, B) pre betón vystavený účinku chloridov

Podľa STN EN 206-1/NA: 2009 sa zmesové cementy CEM V/A a CEM V/B nemôžu použiť na prípravu betónu, ktorý je vystavený účinkom chloridov iných ako z morskej vody.

Česká norma ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008 pripúšťa použitie obidvoch druhov zmesových cementov pre najnižšie dva stupne agresivity prostredia, to je pri stupni XC1 (prostredie stredne mokré, vlhké) a stupni XC2 (prostredie mokré, občas suché), pričom vyžaduje, aby odolnosť proti vplyvu prostredia bola overená preukaznou skúškou. Použitie cementov CEM V/A a CEM V/B pre najvyšší stupeň agresivity prostredia XC3 (prostredie striedavo mokré a suché) nepovoľuje.

3. 4. 3 Použitelnost' CEM V/ (A, B) pre betón vystavený účinku mrazu a rozmrazovania

K použitiu zmesových cementov CEM V/A a CEM V/B na prípravu betónu vystaveného účinku striedavého zmrazovania a rozmrazovania obidve porovnávané normy, t. j. STN EN 206-1/NA: 2009 a ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008, zaujímajú rovnaké stanovisko. Použitie týchto cementov sa pripúšťa len na prípravu betónu, ktorý bude vystavený účinku striedavého zmrazovania a rozmrazovania najnižších dvoch stupňov korózneho namáhania, to je stupni XF1 (betón mierne nasýtený vodou bez rozmrazovacích prostriedkov) a stupni XF2 (betón mierne nasýtený vodou s rozmrazovacími prostriedkami). Pre vyššie dva stupne, to je stupeň XF3 (betón značne nasýtený vodou bez rozmrazovacích prostriedkov) a stupeň XF4 (betón značne nasýtený vodou s rozmrazovacími prostriedkami) použitie zmesových cementov nie je dovolené.

3. 4. 4 Použitelnost' CEM V/ (A, B) pre betón vystavený účinku chemického pôsobenia

Obidve porovnávané normy, STN EN 206-1/NA: 2009 a ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008 nepripúšťajú použitie zmesových cementov CEM V/ (A, B) na prípravu betónu vystaveného chemickému agresívnemu prostrediu.

3. 4. 1 Nutzbarkeit von CEM V/ (A, B) für Beton, der der Einwirkung von Karbonatisierung ausgesetzt ist

Nach slowakischer Norm STN EN 206-1/NA: 2009 können der Zement CEM V/A und der Zement CEM V/B nur bei den niedrigsten beiden Klassen der Karbonatisierung eingesetzt werden, das sind die Klassen XC1 (trockene oder ständig nasse Umgebung) und Klasse XC2 (nasse, selten trockene Umgebung). Bei der Umgebung XC3 (mäßig nass, feucht) und der Umgebung XC4 (abwechselnd nass und trocken) dürfen diese Zemente nicht verwendet werden.

Die tschechische Norm ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008 lässt die Verwendung von beiden Kompositzementsorten für alle vier Expositionsklasse der Einwirkung von Karbonatisierung zu, und zwar bei den Klassen XC1, XC2, XC3 und XC4. Bei den Klassen XC3 und XC4 wird allerdings gefordert, dass die Beständigkeit gegen den Umgebungseinfluss durch ein Prüfverfahren überprüft wird.

3. 4. 2 Nutzbarkeit von CEM V/ (A, B) für Beton, der Chlorideinwirkung ausgesetzt ist

Nach slowakischer Norm STN EN 206-1/NA: 2009 können die Kompositzemente CEM V/A und CEM V/B nicht für die Herstellung von Beton genutzt werden, der Chlorid ausgesetzt ist, das nicht aus Meerwasser stammt.

Die tschechische Norm ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008 lässt die Verwendung von beiden Kompositzementsorten für die beiden niedrigsten Expositionsklassen zu, und zwar für die Klassen XC1 (mäßig nasse, feuchte Umgebung) und die Klasse XC2 (nasse, selten trockene Umgebung), wobei gefordert wird, dass die Beständigkeit gegen den Umgebungseinfluss durch ein Prüfverfahren überprüft wird. Die Verwendung der Zemente CEM V/A und CEM V/B für die höchste Expositionsklassen XC3 (abwechselnd nass und trocken) ist nicht erlaubt.

3. 4. 3 Nutzbarkeit von CEM V/ (A, B) für Beton, der Frost und Auftauen ausgesetzt ist

Zur Verwendung der Kompositzemente CEM V/A und CEM V/B zur Herstellung von Beton, der wechselseitigem Frost und Auftauen ausgesetzt ist, nehmen beide verglichene Normen, d. h. STN EN 206-1/NA: 2009 und ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008, die gleiche Haltung ein. Die Verwendung dieser Zemente ist nur für die Herstellung von Beton zulässig, der wechselseitigem Frost und Auftauen in den beiden niedrigsten Klassen der Korrosionsbeanspruchung ausgesetzt sind, dies sind die Klassen XF1 (Beton mäßig mit Wasser gesättigt, ohne Taumittel) und Klasse XF2 (Beton mäßig mit Wasser gesättigt, mit Taumittel). Für die höchsten beiden Klassen, den Klassen XF3 (Beton wesentlich mit Wasser gesättigt, ohne Taumittel) und Klasse XF4 (Beton wesentlich mit Wasser gesättigt, mit Taumittel) ist die Verwendung der Kompositzemente nicht erlaubt.

3. 4. 4 Nutzbarkeit von CEM V (A, B) für Beton, der chemischer Einwirkung ausgesetzt ist

Beide verglichene Normen, STN EN 206-1/NA: 2009 und ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008, lassen die Verwendung der Kompositzemente CEM V/ (A, B) zur Herstellung von Beton, der einer chemisch aggressiven Umgebung ausgesetzt ist, nicht zu.



3. 4. 5 Použitelnost' CEM V/ (A, B) pre betón vystavený účinku obrusovania

Prípustnosť použitia zmesových cementov CEM V/ (A, B) na prípravu betónu namáhaného obrusovaním z hľadiska druhu cementu je zavedená len v českej norme ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008. V slovenskej STN EN 206-1/NA : 2009 ani v rakúskej ÖNORM EN 206-1: 2000 nie je použiteľnosť zmesových cementov na prípravu betónu namáhaného obrusovaním zavedená. Slovenská norma obsahuje čl. 5. 5. 5, ktorý nedokumentuje žiadne konkrétne hodnoty. Podľa ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008 sa zmesové cementy nesmú použiť na prípravu betónov namáhaných obrusovaním.

3. 5 Celkové zhodnotenie prípustnosti CEM V/ (A, B) na prípravu betónu v styku s agresívnym prostredím

Podľa v súčasnosti platnej STN EN 206-1/NA : 2009 zmesové cementy CEM V/ (A, B) sa môžu použiť len na prípravu betónu bez nebezpečenstva korózie alebo narušenia, ďalej pre najnižšie dva stupne (XC1 a XC2) korózie spôsobenej karbonatáciou a dva najnižšie stupne (XF1 a XF2) korózie pôsobením zmrazovania a rozmrazovania.

Je žiaduce, aby sa prípustnosť používania zmesových cementov v Slovenskej republike a Rakúskej republike rozšírila minimálne na úroveň zakotvenú v českej norme ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008. Uvedená česká norma pripúšťa použitie zmesových cementov pre všetky štyri stupne (XC1, XC2, XC3 a XC4) korózie karbonatáciou, dva najnižšie stupne (XD1 a XD2) korózie spôsobenej chloridmi inými ako z morskej vody a dva najnižšie stupne (XF1 a XF2) korózie striedavým pôsobením zmrazovania a rozmrazovania.

Perspektívne sa najviac reálne javí možné rozšírenie prípustnosti použitia zmesových cementov pre výrobu betónu v styku s chemicky agresívnym prostredím. Za týmto účelom bude pravdepodobne potrebné do normových ustanovení predpísať overenie odolnosti týchto cementov požiadavkou na vykonanie počiatočných skúšok typu a realizáciou určitých opatrení na zvýšenie chemickej

3. 4. 5 Nutzbarkeit von CEM V/ (A, B) für Beton, der der Einwirkung von Abrieb ausgesetzt ist

Die Zulässigkeit der Verwendung der Kompositzemente CEM V/ (A, B) zur Herstellung von Beton, der durch Abrieb beansprucht wird, ist aus Sicht der Zementsorte nur in der tschechischen Norm ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008 berücksichtigt. In der slowakischen STN EN 206-1/NA : 2009 und in der österreichischen ÖNORM EN 206-1: 2000 wird die Nutzbarkeit der Kompositzemente zur Herstellung von Beton, der Abrieb unterliegt, nicht berücksichtigt. Die slowakische Norm enthält Art. 5. 5. 5, der jedoch keine konkreten Werte dokumentiert. Nach ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008 dürfen Kompositzemente nicht zur Herstellung von Beton verwendet werden, der Abrieb ausgesetzt ist.

3. 5 Gesamtbewertung der Zulässigkeit von CEM V/ (A, B) für die Vorbereitung von Beton, der mit einer aggressiven Umgebung in Kontakt kommt

Nach gegenwärtig gelten der STN EN 206-1/NA : 2009 können die Kompositzemente CEM V/ (A, B) nur zur Herstellung von Beton verwendet werden, der keinem Korrosions- und Angriffsrisiko ausgesetzt ist, außerdem für die beiden niedrigsten Klassen (XC1 und XC2) der Korrosion durch Karbonatisierung und die beiden niedrigsten Klassen (XF1 und XF2) der Korrosion durch Frost und Auftauen.

Es ist wünschenswert, dass die Zulässigkeit der Verwendung von Kompositzementen in der Slowakischen Republik und der Österreichischen Republik mindestens auf dem in der tschechischen Norm ČSN EN 206-1. ÄNDERUNG 3: 2008 verankerten Niveau erweitert wird. Die angeführte tschechische Norm lässt die Verwendung der Kompositzemente für alle vier Klassen (XC1, XC2, XC3 a XC4) der Korrosion durch Karbonatisierung, die beiden niedrigsten Klassen (XD1 und XD2) der Korrosion durch Chloride, die nicht aus Meerwasser stammen, und beiden niedrigsten Klassen (XF1 und XF2) der Korrosion durch wechselseitigen Frost und Auftauen zu.

Als Perspektive scheint am realsten die mögliche Erweiterung der Zulässigkeit der Verwendung von Kompositzementen für die Herstellung von Beton im Kontakt mit einer chemisch

odolnosti betónu, ako je použitie prísad a predpisom opatrení na zvýšenie pasívujúcich schopností betónu vzhľadom k ocelevej výstuži (napr. zvýšenie krytia ocelevej výstuže, použitie inhibítorov korózie ocelevej výstuže).

Pre prípustnosť použitia zmesových cementov CEM V/A a CEM V/B pre výrobu betónu namáhaného obrusovaním bude potrebné predpísať vykonanie preukazných skúšok. Zvýšenie odolnosti betónu proti obrusovaniu je možné vo všeobecnosti dosiahnuť použitím kameniva zvýšenej odolnosti proti obrusovaniu, prídavkom liatinových drvín a voľne rozptýlenej ocelevej výstuže.

3. 6 Záver

Na základe vypracovanej technickej časti štúdie možno považovať stupeň využívania zmesových cementov CEM V/ (A, B) na výrobu betónu, vystaveného pôsobeniu agresívneho prostredia, podľa v súčasnosti platnej slovenskej normy STN EN 206-1/NA: 2009 a rakúskej ÖNORM EN 206-1: 2000 za neuspokojivý.

Ako najbližší krok sa navrhuje rozšírenie prípustnosti ich použitia v slovenskej STN EN 206-1/NA a v rakúskej ÖNORM EN 206-1: 2000 na úroveň českej ČSN EN 206-1: 2008. Následne v ďalšom stupni sa považuje za účelné do slovenskej a rakúskej normy navrhnúť používanie zmesových cementov pre výrobu betónu vystaveného účinku chemického pôsobenia - v prvom kroku pre nižšie kategorizované stupne.

V rámci dlhšieho časového horizontu sa odporúča zaviesť aj prípustnosť použitia zmesových cementov CEM V/A a CEM V/B na výrobu betónu vystaveného účinku obrusovania. To však vyžaduje do normy predpísať vykonanie opatrení na zvýšenie odolnosti betónu proti obrusovaniu, ako je použitie odolného kameniva, liatinových drvín a vo všeobecnosti kameniva odolného proti obrusovaniu, prípadne voľne rozptýlenej ocelevej výstuže.

agresívnej Umgebung. Zu diesem Zweck wird es wahrscheinlich erforderlich sein, in den Normbestimmungen eine Prüfung der Beständigkeit dieser Zemente durch eine Erstprüfung und die Realisierung bestimmter Maßnahmen zur Erhöhung der chemischen Beständigkeit des Betons einzuarbeiten, wie die Verwendung von Zusatzmitteln und Zusatzstoffen zur Erhöhung der Passivierungsfähigkeit des Betons bezüglich der Stahlbewehrung (z. B. Erhöhung der Abdeckung der Stahlbewehrung, die Verwendung von Inhibitoren der Korrosion der Stahlbewehrung).

Für die Zulässigkeit der Verwendung der Kompositzemente CEM V/A und CEM V/B zur Herstellung von Beton, der Abrieb ausgesetzt ist, wird die Vorschreibung von Prüfverfahren erforderlich sein. Die Erhöhung der Beständigkeit des Betons gegen Abrieb kann allgemein durch die Verwendung von Gesteinskörnung mit erhöhter Abriebbeständigkeit erreicht werden, oder durch die Zugabe von Hartgussgranulat und frei verteilter Stahlbewehrung.

3. 6 Zusammenfassung

Auf Grundlage des ausgearbeiteten technischen Teils der Studie kann die Klasse der Verwendung der Kompositzemente CEM V/ (A, B) zur Herstellung von Beton, der einer aggressiven Umgebung ausgesetzt ist, nach der gegenwärtig geltenden slowakischen Norm STN EN 206-1/NA: 2009 und der österreichischen ÖNORM EN 206-1: 2000 als unbefriedigend gelten.

Als nächster Schritt wird die Erweiterung der Zulässigkeit ihrer Verwendung in der slowakischen STN EN 206-1/NA und in der österreichischen ÖNORM EN 206-1: 2000 auf dem Niveau der tschechischen ČSN EN 206-1: 2008 vorgeschlagen. Im nächsten Schritt wäre es zweckmäßig, für die slowakische und die österreichische Norm die Verwendung der Kompositzemente zur Herstellung von Beton, der einer Umgebung mit chemischer Einwirkung ausgesetzt ist, vorzuschlagen - im ersten Schritt für die niedrigen kategorisierten Klassen.

Im Rahmen eines längeren Zeithorizonts wird empfohlen, auch die Zulässigkeit der Verwendung der Kompositzemente CEM V/A und CEM V/B zur Herstellung von Beton, der Abrieb ausgesetzt ist, einzuführen. Dies erfordert allerdings, in den Normen die Durchführung von Maßnahmen zur Erhöhung der Beständigkeit des Betons gegen Abrieb vorzuschreiben, wie die Verwendung von beständiger Gesteinskörnung, Hartgussgranulat und allgemein gegen Abrieb beständige Gesteinskörnung, bzw. frei verteilte Stahlbewehrung.



4. Zníženie produkcie CO₂ pri výrobe cementu použitím zmesových cementov (ekonomicko - ekologická štúdia)

4.1 Všeobecne

Cementársky priemysel patrí okrem chemického, oceliarskeho, papierenského a sklárskeho priemyslu k energeticky najintenzívnejším priemyselným odvetviam. S podielom 12 až 15 % patrí cementársky priemysel k najväčším spotrebiteľom v energetickom sektore. Z dôvodu enormnej spotreby energie pri výrobe cementu a tiež rozkladom suroviny – vápenca predstavuje podiel cementárskeho priemyslu na celosvetovej produkcii CO₂ približne 5 %. Toto zodpovedá uvoľneniu približne 1,8 miliárd ton CO₂ do atmosféry za jeden rok [44].

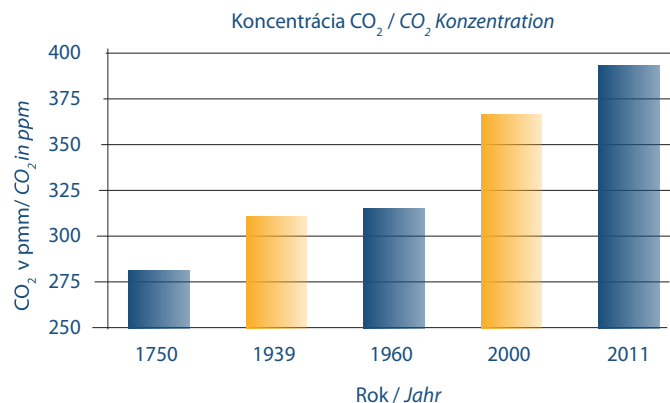
V nasledujúcich rokoch a desaťročiach môžeme očakávať, že produkcia CO₂ sa bude naďalej zvyšovať, pretože práve vo vývojových a expandujúcich krajinách vzniká značný potenciál vzostupu spotreby cementu. Podľa Müllera a Harnischa [45] a Cement Sustainability Initiative – Reports [46] je potrebné počítať s rozvojom cementárskeho priemyslu v období medzi rokmi 2005 a 2050 až o 2,5 násobok. To má za následok, že celosvetová produkcia CO₂, podmienená výrobou cementu, môže v nasledujúcich rokoch na základe uvedených predpokladov stúpnuť až na 3,5 miliardy ton CO₂ za jeden rok. Následný účinok na klímu a životné prostredie by mohol byť veľmi vážny. Už len samotný nárast uvoľneného množstva CO₂ zodpovedá približne terajšej ročnej celkovej produkcii CO₂ v Európe, ktorá v roku 2008 dosiahla hodnotu približne 157,8 miliónov ton [47].

4. Verringerung des CO₂-Ausstoßes bei der Zementherstellung durch Einsatz von Mischzementen (ökonomische- ökologische Studie)

4.1 Allgemeines

Die Zementindustrie zählt neben der Chemie-, Stahl- sowie Papier- und Glasindustrie zu den energieintensivsten Industriezweigen. Mit einem Anteil von ca. 12 bis 15 % zählt die Zementindustrie zu den größten Verbrauchern am Energiesektor. Durch den enormen Bedarf an Energie im Zuge der Zementherstellung sowie bedingt durch den Ausgangsrohstoff selbst trägt die Zementindustrie einen Anteil von etwa 5 % am weltweiten CO₂-Ausstoß bei. Dies entspricht einem Ausstoß von etwa 1,8 Mrd. t CO₂ pro Jahr [44].

In den kommenden Jahren und Jahrzehnten ist zu erwarten, dass sich der CO₂-Ausstoß weiter erhöhen wird, da gerade in Schwellen- und Entwicklungsländern ein gewaltiges Aufholpotential hinsichtlich des Zementbedarfs besteht. Laut Müller und Harnisch [45] und des Cement Sustainability Initiative - Reports [46] ist mit einem Wachstum der Zementindustrie im Zeitraum zwischen 2005 und 2050 um das 2,5fache zu rechnen. Dies hat zur Folge, dass der weltweite CO₂-Ausstoß bedingt durch die Herstellung von Zement in den kommenden Jahren Berechnungen zufolge auf bis zu 3,5 Mrd. t CO₂ pro Jahr ansteigen könnte. Die Auswirkungen für Klima und Umwelt wären enorm. Alleine die durch den Anstieg zusätzlich emittierte CO₂-Menge entspricht in etwa dem gegenwärtigen jährlichen Gesamt-CO₂-Ausstoß Europas, der im Jahr 2008 einen Wert von ca. 157,8 Mio. t CO₂ erreichte [47].



Obrázok 4.1 Koncentrácia CO₂ v atmosfére [48, 49]
Abbildung 4.1 CO₂-Konzentration in der Atmosphäre [48,49]

Shi et al. a NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration (Úrad pre počasie a oceánografiu v USA) [48, 49] ozrejmuju razantný časový nárast obsahu CO₂ v atmosfére s možným dôsledkom pre zmenu celkovej klímy na Zemi.

V polovici 18. storočia, na začiatku priemyselnej revolúcie, bola koncentrácia CO₂ vo vzduchu približne 280 ppm. V roku 1939, približne o 200 rokov neskôr (počiatok II. svetovej vojny) stúpila koncentrácia CO₂ na 310 ppm. Zvýšenie koncentrácie o 30 ppm približne o 200 rokov neskôr

Shi et al. und die NOAA, die National Oceanic and Atmospheric Administration (Wetter- und Ozeanografiebehörde der Vereinigten Staaten) [48, 49], verdeutlichen den rasanten Anstieg des klimarelevanten Gases in der Erdatmosphäre:

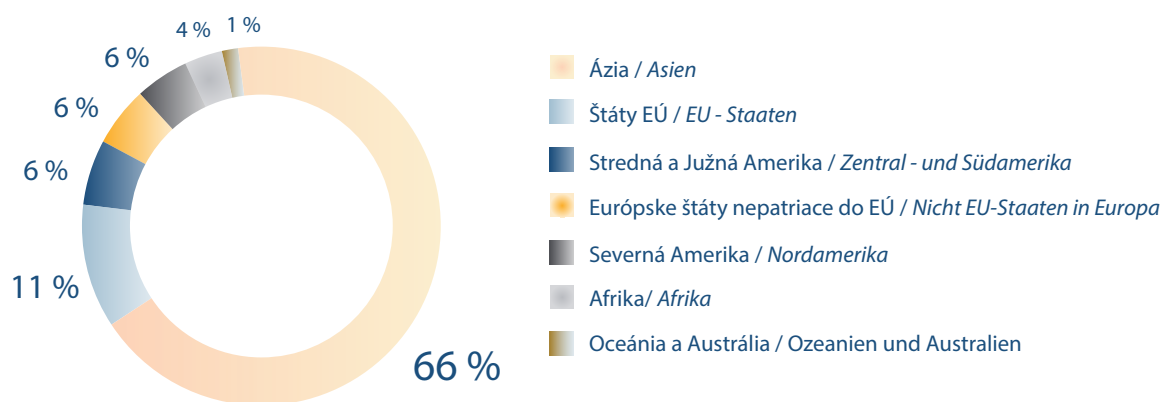
Mitte des 18. Jhdt. zum Beginn der industriellen Revolution, betrug die CO₂-Konzentration in der Luft ca. 280 ppm. Im Jahre 1939, knapp 200 Jahre später zu Beginn des II. Weltkrieges, stieg die CO₂-Konzentration auf 310 ppm. Die Erhöhung der Konzentration um 30 ppm in ca. 200 Jahren entspricht einer Steigerungsrate von umgerechnet 0,15 ppm

zodpovedá v prepočte miere nárastu 0,15 ppm za jeden rok. V nasledujúcich dvoch desaťročiach ostala koncentrácia CO₂ konštantná, čo bolo predzvesťou ďalšieho prudkého nárastu. V roku 1960 činila koncentrácia CO₂ vo vzduchu 315 ppm, v roku 2000 až 365 ppm. Miera nárastu koncentrácie CO₂ za obdobie 40 rokov bola 1,25 ppm za rok [48]. V roku 2011 sa zistila koncentrácia CO₂ vo vzduchu až 391 ppm. Nárast zistený v rozsahu 11 rokov determinuje ročný 2,26 ppm CO₂ koncentračný prírastok v zemskej atmosfére [49].

Za týchto štatistických údajov je evidentná rýchlosť zvyšovania koncentrácie CO₂ v atmosfére v čase. Najväčšie koncentračné prírastky sa zaznamenávajú práve v posledných desaťročiach.

4.2 Globálna výroba cementu

Celosvetová ročná produkcia cementu činí približne 2,28 miliárd ton [50]. Najväčšia spotreba cementu sa v súčasnosti vykazuje v ázijských regiónoch s podielom na celosvetovom trhu približne 66 %. Potom nasledujú krajiny EÚ s podielom



Obrázok 4.2 Podiely na celosvetovej výrobe cementu [52]
Abbildung 4.2 Anteile an der weltweiten Zementherstellung [52]

Tabuľka 4.1 Celosvetová výroba cementu jednotlivých krajín za rok 2006
Tabelle 4.1 Weltweite Zementproduktion einzelner Länder für 2006

Pozícia / Pos.	Krajina / Land	Milióny ton cementu / rok / Mio. t Zement/Jahr	Celkový podiel v % / %- Gesamtanteil
1	Čínska ľudová republika / Volksrepublik China	1064	46,6
2	India / Indien	130	5,7
3	USA	99	4,3
4	Japonsko / Japan	66	2,9
5	Kórea / Korea	50	2,2
6	Španielsko / Spanien	48	2,1
7	Rusko / Russland	45	2,0
8	Thajsko / Thailand	40	1,8
9	Brazília / Brasilien	39	1,7
10	Taliansko / Italien	38	1,7
:	:	:	:
14	Nemecko / Deutschland	32	1,4
	Iní / Andere	392	17,2
	Celosvetovo (celkovo) / Weltweit (gesamt)	2.284	100

Tabuľka 4.2 Globálne CO₂ emisie pri výrobe cementu [55]
 Tabelle 4.2: Globale CO₂ – Emission bei der Zementherstellung [55]

Krajina / Land	Výroba cementu (Tg) / Zementproduktion (Tg)	Pomer slinok/cement (%) / Klinker-Zement-Verhältnis (%)	Primárna intenzita (MJ/kg) / Primärintensität (MJ/kg)	Primárna energia (PJ) / Primär-energie (PJ)	Proces CO ₂ (Tg) / Prozess-CO ₂ (Tg)	CO ₂ produkcia (Tg) / CO ₂ -Ausstoß (Tg)	CO ₂ Celkovo (Tg) / Gesamt CO ₂ (Tg)
Čína / China	423	83	5	2117	175	197	372
Európa / Europa	182		4,1	749	73	56	129
OECD pacifik / OECD Pazifik	151		3,5	533	65	41	105
Zvyšná Ázia / Übriges Asien	124		4,9	613	56	179	105
Stredný východ / Mittlerer Osten	111		5,1	563	51	44	95
Severná Amerika / Nordamerika	88		5,4	480	39	40	78
EE/FSU / EE/FSU	101		5,5	558	42	38	80
Latinská Amerika / Lateinamerika	97		4,7	462	42	30	71
India / Indien	62	89	5	309	28	30	60
Afrika / Afrika	41		4,9	201	18	15	33
Celkovo / Gesamt	1380		4,8	6585	589	670	1128

približne 11 %, respektíve 255 miliónov ton za rok [51], ďalej Stredná a Južná Amerika, štáty mimo EÚ a Severná Amerika s približne 6 % podielom na trhu.

Berúc do úvahy aj tabuľku 4. 1 (údaje sú z roku 2006 [79]) je zrejmé, že Čínska ľudová republika s produkciou cementu 1. 388 miliónov ton za rok (2008) vyrába takmer polovicu celosvetovej produkcie cementu [53]. Na druhom mieste sa nachádza India s podielom na celosvetovom trhu približne 6 %, čo znamená ročnú produkciu cementu 135 miliónov ton a Spojené štáty americké dokumentujú ročnú produkciu cementu 99 miliónov ton [54].

Tabuľka 4. 1 prezentuje poradie štátov podľa vyprodukovaného množstva cementu.

Priemerné emisie CO₂ vzťahnuté na kilogram vyrobeného cementu sú 0,81 kg CO₂, Čína ako najväčší výrobca cementu produkuje približne 0,88 kg CO₂/kg vyrobeného cementu, India až 0,93 kg CO₂/kg cementu a Severná Amerika 0,89 kg CO₂/kg cementu [55] (tabuľka 4.2).

Hore uvedené hodnoty predstavujú reálne odhady, ktoré sa môžu v závislosti od rôznych autorov a ročných správ od seba navzájom odlišovať.

4.3 Emisie CO₂ a spotreba energie pri procese výroby

4.3.1 Všeobecne

Na základe dostupných štatistík možno konštatovať, že každou vyprodukovanou tonou cementového slínku sa zataží atmosféra 0,9 až 1,0 tonou CO₂, v závislosti od typu použitého paliva [56, 57]. Hoenig et al. [52] odhaduje vznikajúce množstvo CO₂ o niečo nižšie - iba 0,65 až 0,92 kg CO₂/kg cementu. Produkcia CO₂, ktorá je spôsobená spaľovaním fosilných palív, bola v Nemecku v roku 2006 na úrovni 0,123 ton CO₂ na tonu cementu. Emisie CO₂, podmienené spotrebou elektrického prúdu, boli 0,067 ton CO₂ na tonu cementu [58].

Celkové množstvo energie potrebné pre výrobu jednej tony Portlandského slínku sa podľa rôznych autorov pohybuje medzi 3,0 až 5,5 GJ na jednu tonu cementu [59, 60, 61, 62, 63 a 64]. Pridávaním ďalších zložiek ako náhrady za vyrobený slínok sa toto množstvo znižuje.

bzw. ca. 255 Mio. t pro Jahr [51], gefolgt von Zentral- und Südamerika, den nicht EU – Staaten und Nordamerika mit jeweils ca. 6 % Marktanteil.

Bei der Betrachtung der einzelnen Länder (siehe Tabelle 4. 1) wird ersichtlich, dass in der Volksrepublik China mit 1. 388 Mio. t pro Jahr (2008) beinahe die Hälfte der weltweiten Gesamtproduktion an Zement erzeugt wird [53]. An zweiter Stelle folgt Indien mit einem Weltmarktanteil von ca. 6 % bzw. ca. 135 Mio. t pro Jahr, die Vereinigten Staaten von Amerika mit ca. 99 Mio. t pro Jahr [54].

Table 4. 1 zeigt eine Reihung der Staaten nach produzierter Zementmenge.

Hendriks [55] gibt eine genauere Aufschlüsselung der Daten hinsichtlich der weltweiten Zementproduktion:

Die durchschnittliche CO₂-Emission je kg Zement liegt bei 0,81 kg CO₂. Während China als größter Zementproduzent ca. 0,88 kg CO₂ pro kg Zement emittiert, sind es für Indien 0,93 kg, für Nordamerika 0,89 kg CO₂ pro kg Zement [55] (Tabelle 4. 2).

Bei den oben angeführten Werten handelt es sich jeweils um Schätzungen, die sich je nach Autor und Berichtsjahr voneinander unterscheiden können.

4.3 CO₂ Emission und Energieverbrauch beim Herstellungsprozess

4.3.1 Allgemeines

Schätzungen zu Folge werden je produzierter Tonne Klinker ca. 0,9 – 1,0 t CO₂ emittiert, in Abhängigkeit von der Art des eingesetzten Brennstoffes [56, 57]. Hoenig et al. [52] schätzt die entstehende CO₂-Menge etwas niedriger auf 0,65 – 0,92 kg CO₂ pro kg Zement. Der durch das Verbrennen fossiler Brennstoffe hervorgerufene CO₂-Ausstoß betrug in Deutschland für das Jahr 2006 0,123 Tonnen CO₂ pro Tonne Zement. Die durch Stromverbrauch bedingten CO₂-Emissionen beliefen sich auf 0,067 t CO₂ pro Tonne Zement [58].

Der gesamte Energieeinsatz zur Herstellung einer Tonne Portlandzementklinker bewegt sich laut Darstellung verschiedener Autoren zwischen 3 und 5,5 GJ pro Tonne Zement [59, 60, 61, 62, 63, 64]. Durch Zumahlung weiterer Bestandteile deutlich gesenkt werden.

Spotreba energie pri výrobe cementového slinku závisí od rôznych chemických a technologických parametrov [65]:

- získavanie a príprava surovín
- odparenie vody, ktorú suroviny obsahujú (v závislosti od procesu až 3 GJ/t slinku)
- proces horenia za účelom tvorby slinku zo surového materiálu (spekanie)
- entalpia spalín z pece a procesu chladenia
- entalpia pri výrobe slinku – pri vyberaní z chladiaceho zariadenia
- strata energie zo zariadení pre predohrev, z peci a chladiacich agregátov
- spotreba elektrickej energie mlecích a technických zariadení
- potrebné transporty pre spracovanie výrobku.

Najnáročnejšie energetické procesy presnejšie vysvetľuje nasledujúci text.

4. 3. 2 Procesy, ktoré sú energeticky náročné a ktoré vytvárajú enormné množstvo CO₂

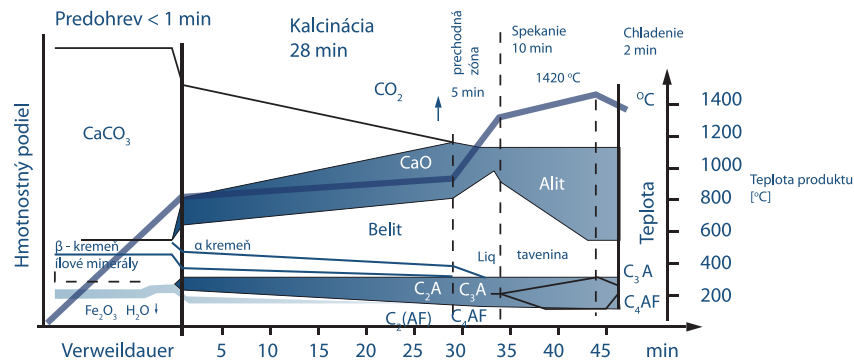
Približne polovica CO₂ pri výrobe cementu vzniká spaľovaním palív, ako aj nepriamo používaním elektrickej energie, ktorá slúži pre prevádzkovanie zariadenia. Posledný uvedený technologický krok tvorí približne 10 % celkovej spotreby

Der Energiebedarf zur Herstellung von Zementklinker setzt sich aus verschiedenen chemischen und verfahrenstechnischen Komponenten zusammen [65]:

- Rohstoffgewinnung und die Rohmaterialaufbereitung
 - Verdampfung des im Rohstoff enthaltenen Wassers (je nach Prozess bis zu 3 GJ/t Klinker)
 - Brennprozess zur Bildung des Klinkers aus dem Rohmaterial (Sinterprozess)
 - Enthalpie der Ofen- und Kühlerabgase
 - Enthalpie des Klinkers beim Verlassen des Kühlers
 - Energieverlust von Vorheiz-, Ofen- und Kühleranlagen
 - Elektrischer Energiebedarf der Mühle und der technischen Anlagen
 - Notwendige Transporte zur Verarbeitung des Produkts.
- Im Folgenden sollten die energieintensivsten Prozesse genauer erläutert werden.

4. 3. 2 Energie- und CO₂-intensive Prozesse Anteilsmäßig fällt

in etwa die Hälfte des bei der Zementproduktion anfallenden CO₂ auf die Verbrennung von Brennstoffen sowie indirekt auf den Einsatz von elektrischer Energie, die



Obrázok 4. 3 Reakcie vstupných surovín v rotačnej peci (Verweildauer = doba výpalu), (Temperatur des Produkts = teplota produktu)

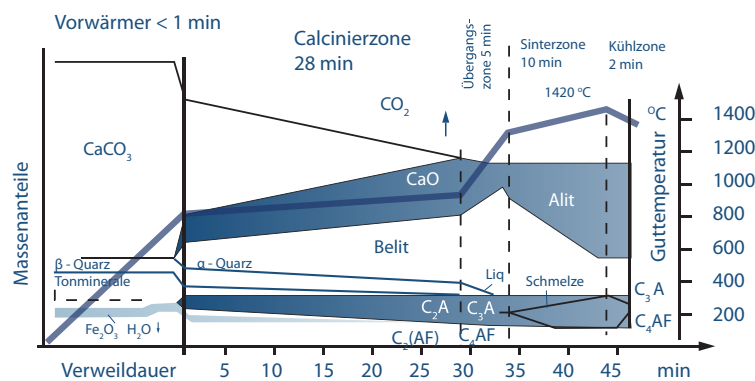
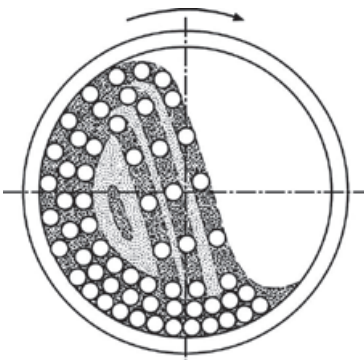


Abbildung 4. 3: Brenngutreaktionen in einer Drehofenanlage [58]



Obrázok 4. 4 Funkčný princíp guľového mlynu [58]
Abbildung 4. 4 Funktionsweise einer Kugelmühle [58]

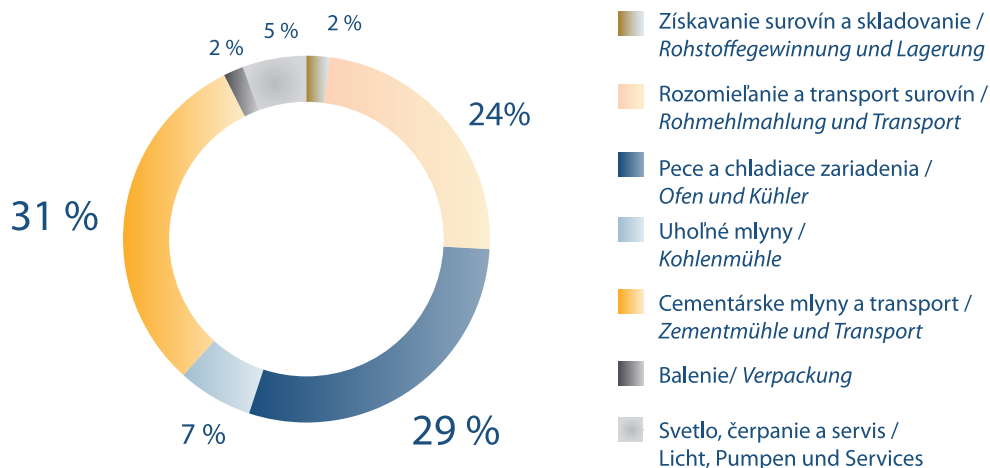
energie cementárni. Veľmi energeticky náročný je vlastný ohrev suroviny v rotačnej peci: tu sa spaľujú zložky pre výrobu cementového slinku pri teplote 1400 až 1450 °C (Obrázok 4. 4).

Energeticky náročný proces predstavuje aj rozomieľanie a sušenie surovínovej múčky, ktoré sa dnes z energetických dôvodov vykonáva vo valcových mlecích zariadeniach (pri tomto procese sa rozomieľané surovínové zložky, ktoré sa nachádzajú na rotačnom tanieri, melú vo valcových mlynoch). Hodinová kapacita veľkých mlecích zariadení činí až 500 ton surovínovej múčky pri spotrebe energie približne 10 až 16 kWh/t surovínovej múčky [58].

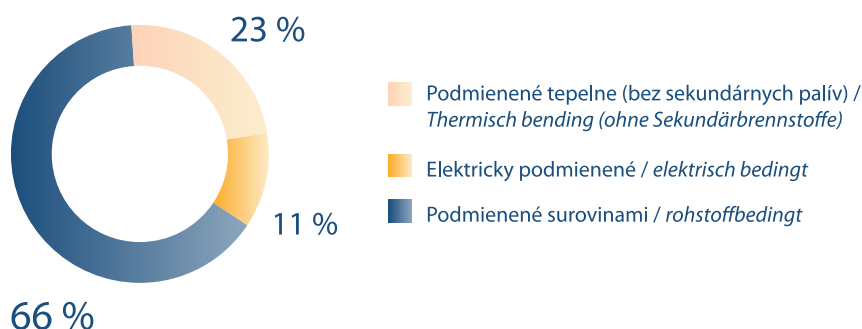
Mletie cementového slinku spotrebuje taktiež veľa energie. Pre mletie slinku slúžia výlučne guľové mlyny. Produkt sa v nich melie v rotujúcom bubne s použitím oceľových guľ.

Dnes sa preto oveľa viac používajú valcové mlyny Gutbett a vertikálne valcové mlyny, ktoré vykazujú značne lepšie využívanie energie. Tým je možné znížiť náklady za energiu pri procese mletia. Guľové mlyny sa preukazujú spotrebou energie približne 33 – 45 kWh/t cementu, pričom vertikálne valcové mlyny približne 23 – 28 kWh/t cementu [61].

Detailné rozdelenie spotrebovanej energie v rôznych čiastkových procesoch pri výrobe cementu znázorňuje Obrázok 4. 5 (Energy efficiency Asia, 2010).



Obrázok 4. 5 Podiely spotreby energie pri jednotlivých technologických operáciách výroby cementu (Energy efficiency Asia, 2010)
Abbildung 4. 5 Anteile des Energieverbrauches der einzelnen Zementproduktionsschritte (Energy efficiency Asia, 2010)



Obrázok 4. 6 Podiely technologických operácií na tvorbe emisií CO₂ [58]
Abbildung 4. 6 Anteile der Verfahrensschritte an der CO₂-Emission [58]

zum Betreiben der Anlage dienen. Letztere macht etwa 10 % des gesamten Energieverbrauchs der Zementwerke aus. Sehr energieintensiv ist die eigentliche Befeuerung des Drehrohrofens: hier werden die Bestandteile des Zements bei einer Temperatur von ca. 1400°C gebrannt (vgl. Abbildung 4. 4).

Aber auch bereits das Zerkleinern und Trocknen des Rohmaterials, welches heute aus energetischen Überlegungen v. a. in sogenannten Wälzmühlen geschieht (dabei wird das sich auf einem drehenden Teller befindliche zu mahlende Gut von feststehenden Walzen überrollt). Große Wälzmöhlanlagen mahlen heute stündlich bis zu 500 t Rohmehl bei einem Energiebedarf von etwa 10 bis 16 kWh/t Rohmehl [58].

Das an den Brennofen anschließende Vermahlen des Zementklinkers verbraucht ebenfalls ein hohes Maß an Energie. Für das Zermahlen des Klinkers dienen hauptsächlich Kugelmöhlen. Hier wird das Mahlgut in einer rotierenden Trommel unter Einsatz von Stahlkugeln vermahlen.

Im Vergleich mit anderen Möhlentypen haben Kugelmöhlen jedoch den geringsten mahltechnischen Wirkungsgrad bzw. die niedrigste Energieausnutzung und deshalb den größten spezifischen Energieverbrauch [58].

Druhá polovica CO_2 vznikajúceho pri výrobe cementu vzniká výpalom – teplotným rozkladom suroviny. Pri tomto procese sa uvoľňuje CO_2 , viazaný vo vápenci (CaCO_3) a to v priebehu procesu výpalu v zóne kalcinácie, ako aj v prechodovej zóne (Obrázok 4. 3). Chemickú reakciu teplotného rozkladu vápence [57, 55, 66] znázorňuje rovnica (1):

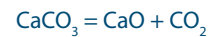


Táto a ďalšie reakcie počas procesu výpalu sú znázornené na obrázku 4. 3 (Alit = 3 CaO. SiO₂, Belit = 2 CaO. SiO₂). Obrázok 4. 6 ilustruje podiel jednotlivých technologických operácií na emisiách CO_2 nemeckého cementárskeho priemyslu medzi rokmi 2004 až 2006.

Deshalb werden heute vermehrt Gutbett-Walzenmühlen und Vertikal-Wälzmühlen eingesetzt, welche eine deutlich bessere Energieausnutzung besitzen. Dadurch kann der Energieaufwand zur Zerkleinerung wesentlich verringert werden. Kugelmühlen haben einen Energiebedarf von etwa 33-45 kWh/t Zement, während Vertikalwalzmühlen etwa 23-28 kWh/t Zement benötigen [61].

Eine detaillierte Aufteilung der eingesetzten Energie in den verschiedenen Teilprozesse der Zementherstellung ist in *Abbildung 4. 5* zu sehen (Energy efficiency Asia, 2010).

Die zweite Hälfte des bei der Zementproduktion anfallenden CO_2 entsteht durch den Entsäuerungsprozess der Rohstoffe selbst. Bei diesem Prozess entweicht das in den Karbonaten (v. a. Kalk, CaCO_3) chemisch gebundene CO_2 im Zuge des Brennvorganges in der Calcinerzone sowie der Übergangszone (vgl. *Abbildung 4. 3*). Die grundlegende chemische Reaktion sieht wie folgt aus [57, 55, 66]:



Diese und weitere Reaktionen während des Brennprozesses sind auch in *Abbildung 4. 3* verdeutlicht (Alit = 3 CaO. SiO₂, Belit = 2 CaO. SiO₂).

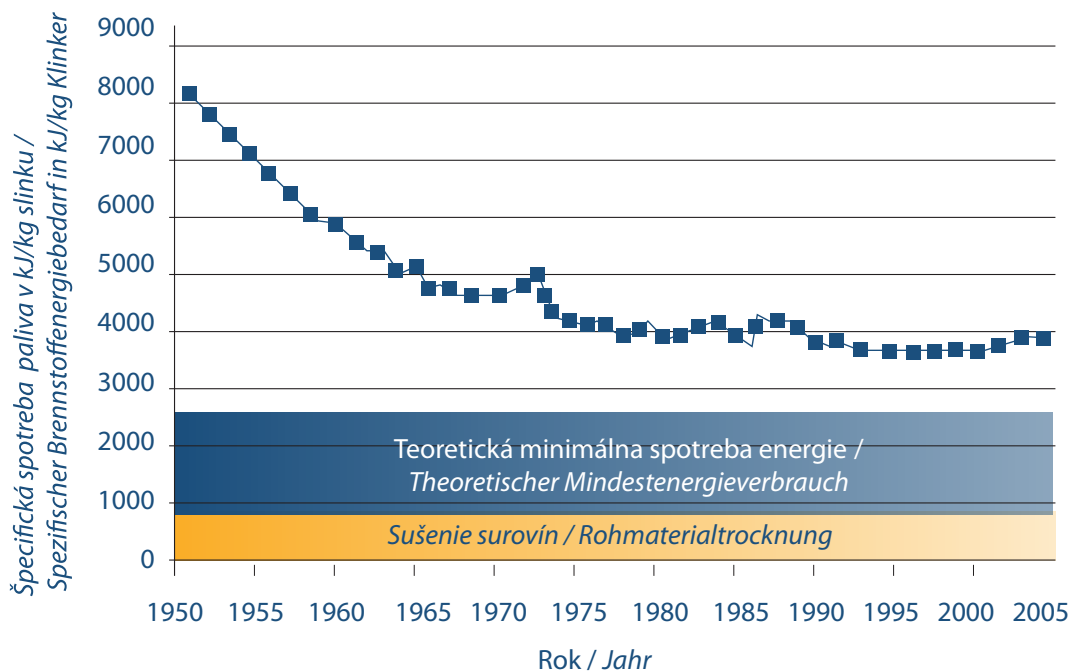
Der Anteil der Verfahrensschritte an der CO_2 -Emission der deutschen Zementindustrie im Mittel von 2004 bis 2007 ist in *Abbildung 4. 6* dargestellt.

4. 3. 3 Technologický vývoj

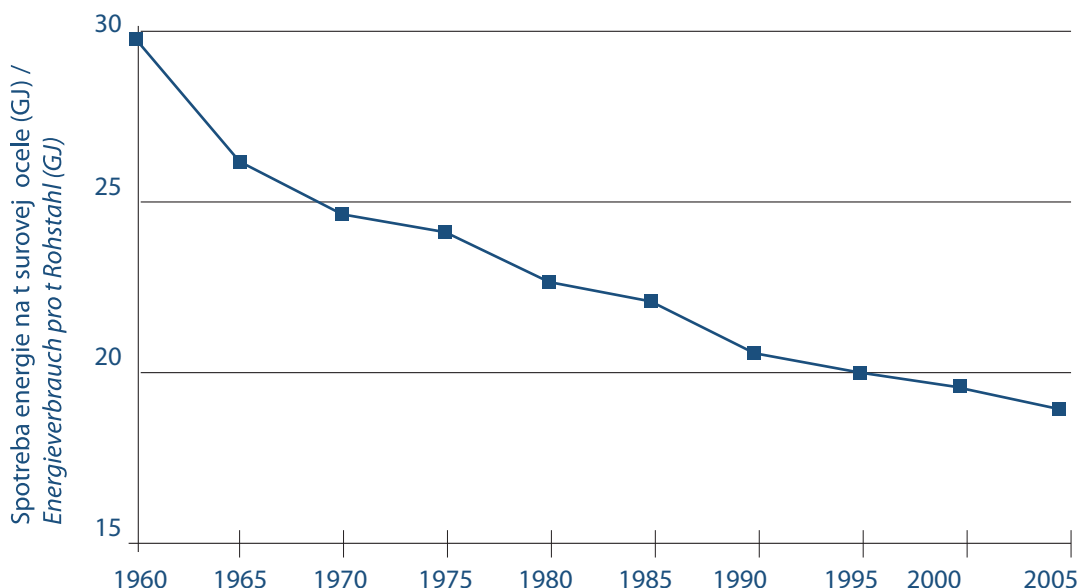
Na základe vysokého podielu nákladov vynaložených na energiu z celkových nákladov potrebných na výrobu cementu, cementársky priemysel dokumentuje záujem o zníženie energetickej spotreby v priebehu výrobného procesu. Redukovanie spotreby palív a elektrickej energie sa úspešne technologicky realizovali asi do roku 1980. Energia

4. 3. 3 Prozesstechnische Entwicklung

Aufgrund des hohen Anteils der Energiekosten an den Gesamtkosten ist die Zementindustrie seit jeher daran interessiert den Energieeinsatz im Zuge des Herstellungsprozesses zu minimieren. Das Bemühen, den Bedarf an Brennstoffen und elektrischer Energie



Obrázok 4. 7 Tepelná energia potrebná na výrobu kg slinku na príklade Nemecka [58]
Abbildung 4. 7 Thermischer Energieeinsatz je kg Klinker am Bsp. Deutschland [58]



Obrázok 4. 8 Tepelná energia potrebná na výrobu 1 tony surovej ocele [67]
Abbildung 4. 8 Thermischer Energieeinsatz je Tonne Rohstahl [67]

potrebná na výrobu jednej tony slinku sa zredukovala približne na 3,5 GJ (obrázok 4. 7).

Podľa nemeckej štúdie VDZ [58] reprezentuje dnes teoreticky dosiahnuteľné zníženie spotreby energie moderných zariadení pomocou technologickej optimalizácie približne 9 %, vzťahujúc sa na požadované celkové zníženie energetických nákladov. Z uvedeného možno konštatovať, že technologický potenciál pre zníženie spotreby energie je momentálne úplne vyčerpaný.

Z toho dôvodu sa úsilie o zníženie spotreby energie (obrázok 4. 8) koncentruje na substitúciu fosílnych palív, ako aj na výrobu cementov s viacerými hlavnými zložkami (zmesových cementov). Podiel slinku sa nahrádza latentnými hydraulickými mletými látkami ako sú granulovaná vysokopečná troska, popolček prírodné puzolány, atď. Podobne ako cementársky, aj železiarsky a oceliarsky priemysel vykazuje vysoký podiel energetických nákladov na celkových nákladoch výroby ocele (približne tretina). V porovnaní s výrobou cementu pri výrobe ocele možno ešte stále počítať s technologickým potenciálom úspory energie.

4. 4 Stratégie pre zníženie produkcie CO₂ pri výrobe cementu

Existujú rôzne možnosti redukovania produkcie CO₂ pri výrobe cementu. Sem patria optimalizované priebehy procesov, spätné získavanie tepla a energie, používanie mletých prímiesí, redukcia podielu Portlandského slinku v zmesových cementoch, efektívne používanie cementu alebo aj optimalizovaná tepelná izolácia výrobných zariadení.

Ďalší text objasňuje najdôležitejšie možnosti, respektíve postupy, ktoré môžu efektívne prispieť k zníženiu produkcie CO₂.

4. 4. 1 Zmesové cementy

4. 4. 1. 1 Všeobecné

Existuje päť hlavných druhov cementu od CEM I až po CEM V. CEM I pozostáva minimálne z 95 % portlandského

zu reduzieren, war bis etwa 1980 sehr erfolgreich. Der Energiebedarf, der zur Herstellung einer Tonne Klinker nötig ist, konnte mittlerweile auf 3,5 GJ reduziert werden: (vgl. Abbildung 4. 7).

Laut einer Studie des VDZ [58] beträgt heute jedoch die theoretisch zu erreichende Minderung des Energieeinsatzes moderner Anlagen durch verfahrenstechnische Optimierung nur noch etwa 9 %, bezogen auf die angestrebte Gesamtminierung. Daraus lässt sich erkennen, dass das verfahrenstechnische Potential zur Energieverbrauchsminierung zum jetzigen Zeitpunkt praktisch vollständig erschöpft ist.

Deshalb konzentriert sich die Anstrengung zur Minderung des Energieverbrauchs (vgl. Abbildung 4. 8) auf die Substitution fossiler Brennstoffe sowie der Herstellung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen. Bei letzteren wird der Klinkeranteil durch latent hydraulische Zusatzstoffe, wie Hüttensand, Flugasche, natürliche Puzzolane, etc., ersetzt. Auch in der Eisen- und Stahlindustrie ist der Anteil der Energiekosten an den Gesamtkosten (etwa ein Drittel) sehr hoch. Im Vergleich zur Zementherstellung zeigt sich jedoch bei der Stahlherstellung aus verfahrenstechnischer Sicht noch Einsparungspotential hinsichtlich des Energieverbrauchs:

4. 4 Strategien für eine CO₂-Verringerung

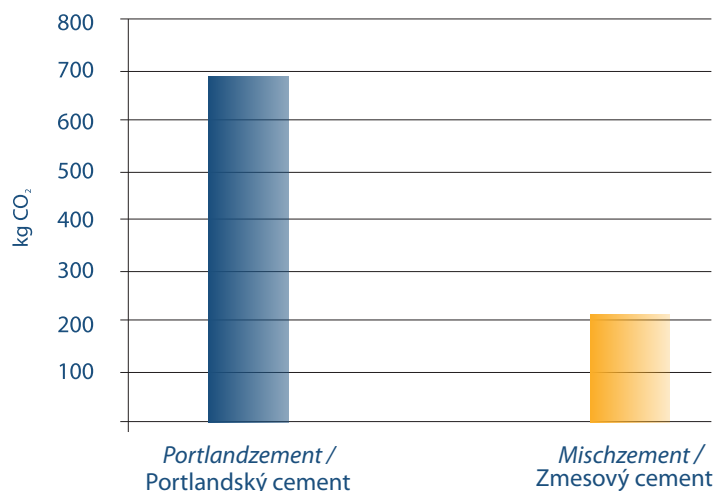
Es gibt verschiedene Ansätze den CO₂-Ausstoß bei der Zementherstellung zu reduzieren. Dazu zählen verbesserte Prozessabläufe, Energie- und Wärmerückgewinnung, Einsatz von Zusatzstoffen, Reduktion des Portlandzementanteiles in den Mischzementen, effizienterer Zementeinsatz oder auch verbesserte Dämmungen an den Produktionsanlagen.

Im Folgenden sollen nun die wichtigsten Möglichkeiten bzw. Verfahren, die zu einer Verringerung des CO₂-Ausstoßes beitragen können, erläutert werden.

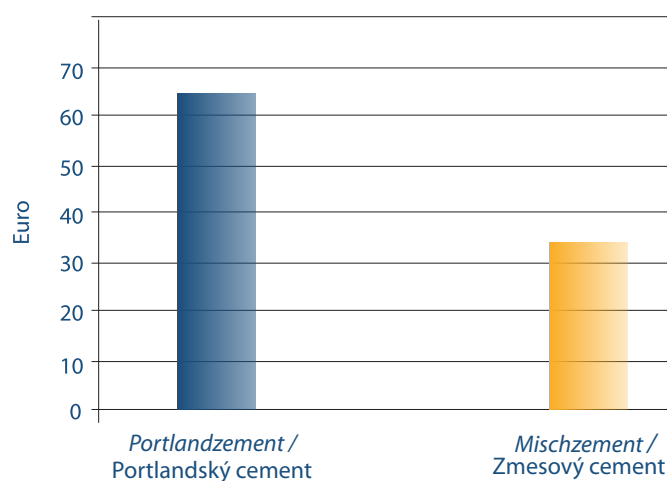
4. 4. 1 Mischzemente

4. 4. 1. 1 Allgemeines

Es gibt fünf verschieden Hauptzementarten von CEM I bis CEM V. CEM I besteht zu mindestens 95 % aus Portlandzement und weist somit den höchsten Anteil an Portlandzement



Obrázok 4. 9 Možná úspora CO₂ na tonu cementu
Abbildung 4. 9 Mögliche CO₂-Einsparung pro Tonne Zement



Obrázok 4. 10 Náklady na výrobu 1 tony cementu
Abbildung 4. 10 Kosten für die Herstellung von 1 Tonne Zement

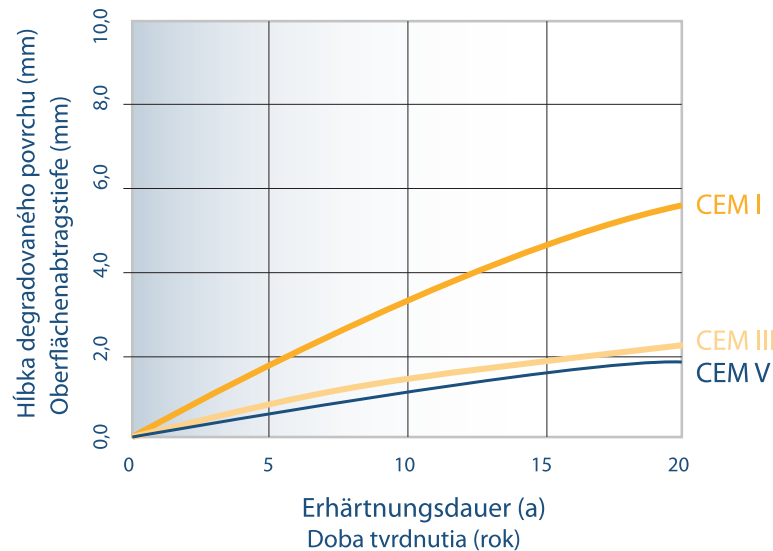
slinku, a tým teda vykazuje najvyšší podiel portlandského slinku zo všetkých piatich hlavných druhov. Surovina pre výrobu portlandského cementu pozostáva z vápenca, ako aj ílu, respektíve zo slieňového vápenca, čo je zmes vápenca a slieňu, s hlavnými zložkami ako vápenec, kremeň, ílovitá zemina a oxid železnatý.

Účinnou a jednoduchou možnosťou zníženia produkcie CO₂ je výroba zmesových cementov. Pridávanie mletých prímiesí do portlandského slinku vedie k značnej redukcii emisií CO₂. Okrem znižujúceho sa zataženia životného prostredia, ktoré sa dosiahne použitím zmesových cementov, prichádza aj k zníženiu výrobných nákladov (obrázok 4. 9, 4. 10). Tento aspekt je pre výrobcov cementu zaujímavý z ekonomického hľadiska; zvýši sa podiel výroby zmesových cementov. Mleté prímiesi predstavujú najmä latentne hydraulické, puzolánové látky. Tieto samotné netvrdnú, ale reagujú až po určitej dobe s hydroxidom vápenatým Ca(OH)₂, ktorý vzniká pri hydratácii cementu. Puzolánové prímiesi predstavujú prírodné puzolány ako napríklad trass, ako aj umelé (priemyselné) puzolány ako sú vysokopečná troska, popolček alebo kremičitý úlet [68, 69, 70], ktoré obsahujú ako hlavné oxidy: oxid kremičitý (SiO₂), oxid vápenatý (CaO) a oxid hlinitý (Al₂O₃). S výnimkou prírodných puzolánov, ostatné mleté prímiesi predstavujú odpadové produkty pri rôznych priemyselných procesoch.

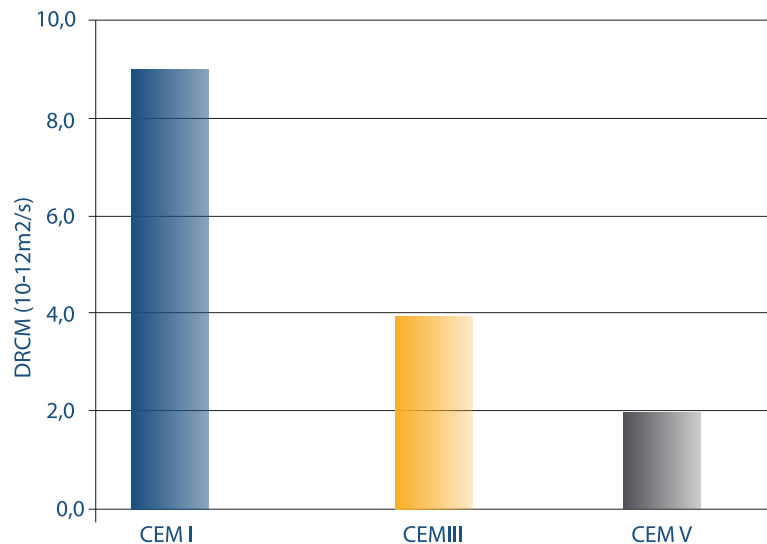
aller 5 Hauptzementarten auf. Portlandzementklinker wiederum besteht hauptsächlich aus Kalkstein sowie Ton bzw. aus Kalkmergel, einer Mischung zwischen Kalk und Ton, mit den Hauptkomponenten Kalk, Kieselsäure, Tonerde und Eisenoxid.

Eine wirksame und einfache Möglichkeit der CO₂-Reduktion ist die Herstellung von Mischzementen. Das Zumahlen von sogenannten Zumahlstoffen zum eigentlichen Portlandzementklinker führt zu einer deutlichen Reduktion an CO₂-Emissionen.

Neben sinkender Umweltbelastung durch die Anwendung der Mischzemente kommt es ebenfalls zu einer Reduktion der Produktionskosten (vgl. Abbildung 4. 9, 4. 10). Dieser Aspekt macht es auch für die Zementhersteller aus wirtschaftlicher Sicht interessant den Anteil an Mischzementen zu erhöhen. Bei diesen sogenannten Zumahlstoffen handelt es sich zumeist um latent hydraulische bzw. puzolane Stoffe. Diese erhärten nicht selbstständig, sondern reagieren erst mit der Zeit mit dem bei der Hydratation des Zementsteins entstehenden Calciumhydroxids Ca(OH)₂. Puzolane Zusatzstoffe umfassen natürliche Puzolane, wie z. B. Trass sowie künstliche Puzolane, wie Flugasche oder Silikastaub [68, 69, 70]. Chemisch handelt es sich hierbei vorwiegend um Siliciumdioxid (SiO₂), Calciumoxid (CaO)

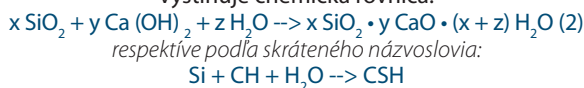


Obrázok 4.11 Vplyv druhu cementu na degradáciu povrchu betónu vodou s obsahom agresívneho CO_2 [72]
Abbildung 4.11 Einfluss der Zementarten auf den Oberflächenabtrag durch kalklösende Kohlensäure [72]



Obrázok 4.12 Vplyv druhu cementu na zníženie migrácie chloridov v betóne [72]
Abbildung 4.12 Einfluss der Zementarten auf den Chloridmigrationskoeffizienten [72]

Puzolánovú reakciu najlepšie
vystihuje chemická rovnica:



Vznikajúce produkty prezentujú väzné kalciumsilikát hydráty, skrátene CSH-fázy (kalciumhydrosilikátové fázy), ktoré predstavujú nerozpustné, stabilné spojivá zabezpečujúce pevnosti cementových kompozitov a betónu. Pórová štruktúra sa dodatočne vyplňa CSH-fázami, ktoré vznikajú puzolánovou reakciou, pričom sa zjemňuje. Betón sa takto stane hutnejší, pretože sa zníži jeho priepustnosť. Betón s nižšou priepustnosťou a vyšším podielom gélových hydratačných produktov sa vyznačuje vyššou odolnosťou proti vplyvom agresívneho prostredia (pevnostné triedy podľa normy ÖNORM EN 206-1). Z toho vyplýva znížená hĺbka degradácie povrchu betónu atakovaného vodou s obsahom agresívneho CO_2 (obrázok 4.11) ako aj znížený koeficient migrácie chloridov za použitia zmesových cementov (obrázok 4.12).

sowie Aluminiumoxid (Al_2O_3). Mit Ausnahme der natürlichen Puzzolane fallen Zuschlagstoffe als Abfallprodukte bei diversen industriellen Verfahren an.

Die allgemeine Reaktionsgleichung für die puzzolanische Reaktion lautet wie folgt:
 $x \text{SiO}_2 + y \text{Ca}(\text{OH})_2 + z \text{H}_2\text{O} \rightarrow x \text{SiO}_2 \cdot y \text{CaO} \cdot (x+z) \text{H}_2\text{O}$
bzw. nach verkürzter Nomenklatur für Zementreaktionen:
 $\text{Si} + \text{CH} \rightarrow \text{CSH}$

Die Reaktion läuft in wässriger Umgebung ab und bindet im Unterschied zur hydraulischen Reaktion des Zements kein Wasser ab.

Die entstehenden Produkte sind Calciumsilikathydrate, kurz CSH-Phasen. Dabei handelt es sich um unlösliche stabile Hydratverbindungen, die in ähnlicher Form auch bei der hydraulischen Reaktion von Zement entstehen und für die Festigkeitsentwicklung von Zement bzw. Beton sorgen. Das Porengefüge wird nachträglich durch die aus der puzzolanischen Reaktion entstehenden CSH-Phasen verfüllt, das Porengefüge wird feiner. Der Beton wird dadurch dichter, die Permeabilität verringert und der Beton insgesamt

Pri puzolánovej reakcii SiO_2 a Al_2O_3 s $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ktorý vzniká pri procese tvrdnutia portlandského cementu, sa uvoľňuje tepelná energia (hydratačné teplo). Pri zmesových cementoch sa významne eliminuje tepelne podmienená tvorba trhlín najmä v prípade mohutných betónových konštrukcií. Znížené hydratačné teplo umožňuje minimalizovať vnútorné tepelné pnutie v betóne, čím sa zabraňuje vzniku trhlín. Z tohto dôvodu sa pri výrobe betónu často nahrádza portlandský cement alternatívnymi zmesovými druhmi.

4. 4. 1. 2 Potenciál úspory CO_2

V prípade zmesových cementov sa vytvára aj ďalší potenciál úspory tým, že puzolánové prímеси sa nemusia spaľovať, čo vylučuje energeticky náročný proces výpalu potrebný pre získanie cementového slinku. Prímеси vyžadujú len neteplotnú technologickú úpravu (sušenie, mletie); pri ich aplikácii do cementu nedochádza k žiadnemu uvoľňovaniu CO_2 do atmosféry.

Celosvetový potenciál zníženia emisií pomocou zmesových cementov sa odhaduje na minimálne 5 % celkových emisií CO_2 , pričom optimistické odhady pripúšťajú redukcii až 20 % [73, 74]. Technológia výroby zmesových cementov je účinným nástrojom pre ekologickejšiu výrobu cementu.

Obrázok 4. 13 znázorňuje ekologický potenciál úspory

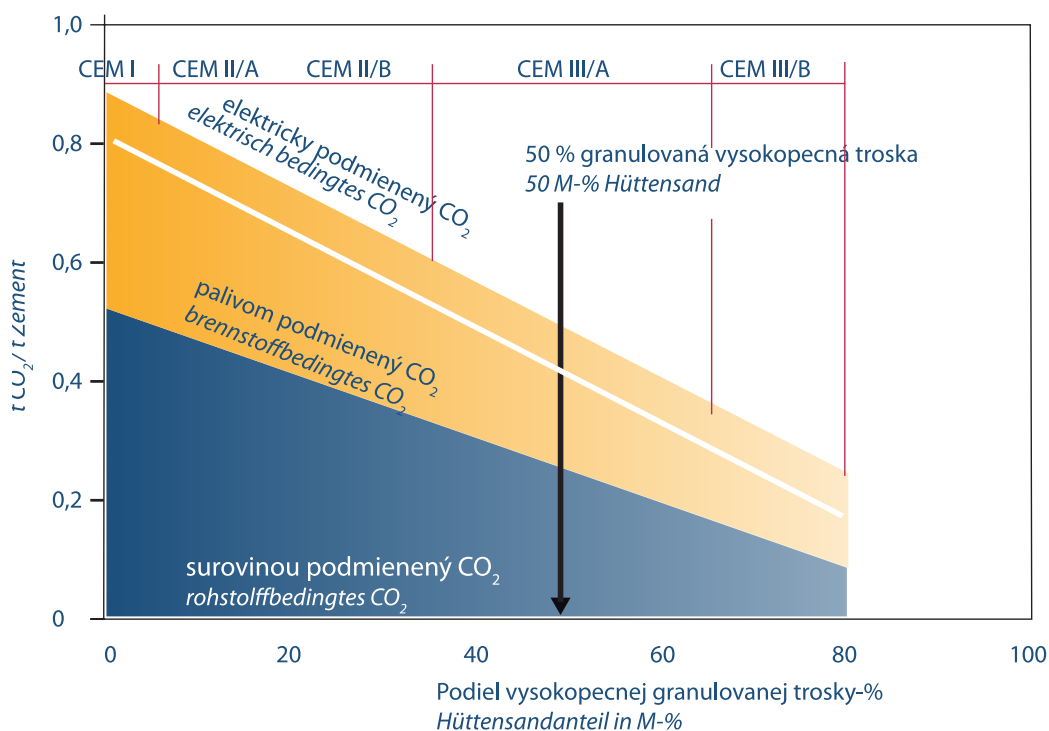
beständiger gegen Umweltangriffe (Expositionsklassen nach ÖNORM EN 206-1). Daraus ergibt sich eine geringere Oberflächenabtragstiefe bei Belastungen durch kalklösende Kohlensäure (vgl. *Abbildung 4. 11*) sowie ein geringerer Chloridimigrationskoeffizient (vgl. *Abbildung 4. 12*).

Durch die verspätend einsetzende puzzolische Reaktion von SiO_2 und Al_2O_3 mit dem sich erst beim Abbindeprozess von Portlandzement entstehende $\text{Ca}(\text{OH})_2$ wird die bei dieser Reaktion freiwerdende thermische Energie zeitverzögert abgegeben. Folglich lässt sich die Hydratationswärmeentwicklung wesentlich reduziert. Dies bringt v. a. bei massigen Betonteilen große Vorteile hinsichtlich der thermisch bedingten Rissentstehung: erwärmt sich der Beton beim Abbinden nur geringfügig, so lassen sich auch die thermischen Spannungen minimieren, die Ausbildung von Rissen wird gehemmt. Aus diesem Grund wird bei der Herstellung von Massebeton der Zement selbst durch Zusatzstoffe, wie z. B. Flugasche, ersetzt.

4. 4. 1. 2 CO_2 Einsparungspotential

Das Einsparungspotential bei Mischzementen liegt in der Tatsache, dass die Zuschlagstoffe zum einen nicht gebrannt werden müssen und somit der energieintensive Brennvorgang wegfällt. Zum anderen kommt es somit auch zu keiner Entsäuerung und zu keiner direkten Freisetzung von CO_2 aus dem Rohmaterial selbst.

Das weltweite Verringerungspotential der Emissionen durch solche Mischzemente wird auf mindestens 5 % der gesamten CO_2 Emissionen geschätzt. Optimistische Berichte halten sogar eine Reduktion von bis zu 20 % für möglich [73, 74]. Daraus lässt sich erkennen, dass mit der Technologie der Mischzement ein wirksames Werkzeug vorhanden ist um die Zementherstellung umweltfreundlicher zu gestalten.



Obrázok 4. 13 CO_2 emisie v prípade cementu s vysokopecnou troskou [58]

Abbildung 4. 13 CO_2 -Emissionen bei Zementen mit Hüttensand [58]

v uvoľňovanom CO₂ na príklade CEM II a CEM III, v ktorých sa časť portlandského slinku nahradzuje granulovanou vysokopečnou troskou.

Možnosť, respektíve atraktivnosť pridávania iných zložiek (puzolánov) k čistému portlandskému cementu závisí najmä od šiestich faktorov [75, 76]:

- dispozičnosť
- vlastnosti
- cena
- použitie cementu
- národné normy
- akceptovanie na trhu.

4. 4. 1. 3 CEM V (zmesový cement)

V prípade CEM V (ÖNORMEN 197-1) [77] je možné zredukovať podiel slinku na 40 – 64 % pre CEM V/A a až na 20 – 38 % pre CEM V/B, a to pomocou mletých prímiesí ako je popolček, vysokopečná troska alebo prírodné puzolány. Treba mať pri tom na zreteli skutočnosť, že rôzne druhy zmesových cementov sa preukazujú rôznymi technicky významnými vlastnosťami, ktoré treba pre každú kombináciu použitých prímiesí v CEM V cementoch presne zdefinovať.

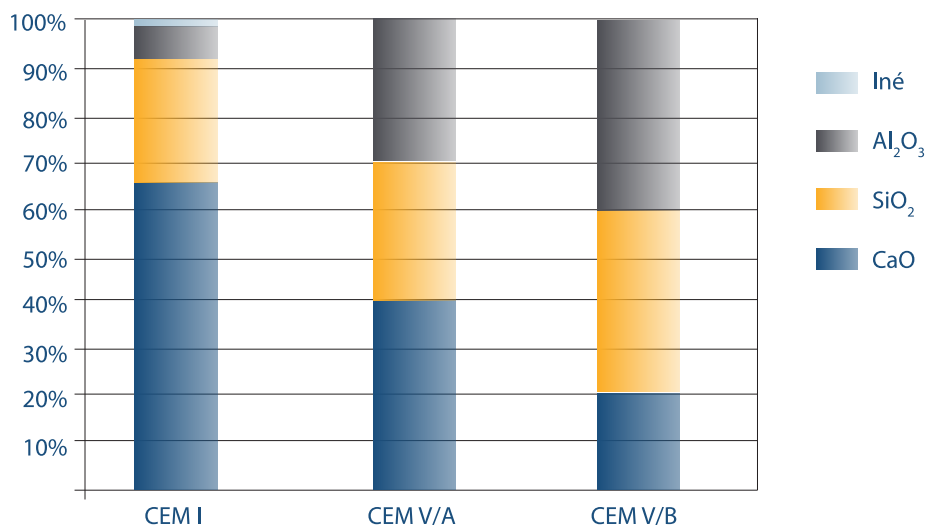
Abbildung 4. 13 verdeutlicht das Einsparungspotential am Beispiel von CEM II und CEM III, bei denen ein Teil des Portlandzementklinkers durch Hüttensand ersetzt wird.

Die Möglichkeit bzw. Attraktivität andere Bestandteile dem reinen Portlandzement hinzuzufügen, ist im wesentlichen von sechs Faktoren abhängig [75, 76]:

- Verfügbarkeit
- Eigenschaften
- Preise
- Einsatz des Zements
- Nationale Normen
- Marktakzeptanz.

4. 4. 1. 3 CEM V (Kompositzement)

Im Fall von CEM V (ÖNORM EN 197-1) [77] kann der Klinkeranteil auf 40-64 % für CEM V/A und 20-38 % für CEM V/B durch Zumahlstoffe wie Flugasche, Hüttensand oder natürliche Puzzolane reduziert werden. Dabei ist zu beachten, dass unterschiedliche Zemente unterschiedliche Eigenschaften und Leistungsfähigkeiten aufweisen.



Obrázok 4. 14 Zloženie cementov
Abbildung 4. 14. Zusammensetzung den Zementen

Obrázok 4. 14 znázorňuje oxidové zloženie druhov cementu CEM V/A a CEM V/B.

Zmesové cementy CEM V obsahujú významne znížený podiel portlandského slinku, náročného na spotrebu energie. Tieto cementy možno preto označiť ako ekologické, respektíve ako zelené cementy so zníženou spotrebou energie pri výrobe a zníženým uvoľňovaním CO₂ do ovzdušia. Zmesové cementy vykazujú nielen hore spomenuté ekonomické

Die Zusammensetzung der Zementsorten CEM V/A und CEM V/B ist in folgender *Abbildung 4. 14* veranschaulicht:

CEM V Mischzemente beinhalten somit deutlich weniger von hoch-energetischem Portlandzementklinker. Deshalb können jene als umweltfreundliche bzw. als grüne Zemente mit niedrigem Verbrauch an Herstellungsenergie und niedrigerem CO₂ Ausstoß betrachtet werden. Zusätzlich weisen sie die bereits angeführten Vorteile,

a ekologické výhody, ale aj technické prednosti, ktoré vo všeobecnosti platia pre všetky zmesové cementy: vyššia chemická odolnosť proti vplyvom agresívneho prostredia a nižšia výrobná cena.

4. 4. 2 Sulfoaluminátové cementy (CSA)

Výhodu CSA slinkov dokumentuje nižšia teplota výpalu. Maximálna teplota, ktorá sa aplikuje pri procese výpalu CSA slinku je o približne 200 °C nižšia v porovnaní s portlandským slinkom, teda 1200 až 1300 °C. Surovina pre CSA slinkov pozostáva z bauxitu, kalciumsulfátu a vápenca, pričom potrebné množstvo vápenca je významne nižšie ako množstvo pre výpal štandardného slinku portlandského cementu [59]. Vzniknutý CSA slinkov je viac pórovitý, čo uľahčuje - pri porovnaní s portlandským slinkom - jeho následné mletie. Ľahšie mletie dokáže ušetriť veľa energie. Použitím CSA slinku je možné zredukovať uvoľňovanie CO₂ až o 50 %, ale naopak, niekoľkonásobne sa zvýši produkcia oxidu siričitého (SO₂) [78].

4. 4. 3 Alkalicky aktivované cementy

Alkalicky aktivované cementy predstavujú svojim spôsobom zmesové cementy. Do značnej miery sa eliminuje aplikácia portlandského slinku používaním rôznych mletých zložiek. V prípade alkalicky aktivovaných cementov sa odporúča použitie mletých zložiek s vysokým podielom aluminosilikátov [48].

Alkalicky aktivované cementy sa v podstate skladajú z cementových zložiek a alkalického aktivátora. Ako alkalické aktivátory sa používajú prevažne žieravé lúhy a alkalické soli. V prípade cementárskych zložiek sa aplikuje veľký počet východiskových materiálov, ako granulovaná vysokopecná troska, popolček, zeolit, silikátové materiály, vulkanické sklo, atď. [79, 80].

V závislosti od zloženia sa rozlišuje päť kategórií alkalicky aktivovaných cementov:

- alkalicky aktivované cementy s obsahom vysokopecnej trosky
- alkalicky aktivované puzolánové cementy
- alkalicky aktivované puzolánové cementy s obsahom vápenca / vysokopecnej trosky
- alkalicky aktivované zmesové cementy s obsahom kalciumaluminátu
- alkalicky aktivované portlandské zmesové cementy.

4. 4. 4 Odlučovanie a akumulácia CO₂

Pri postupe odlučovania a akumulovania CO₂ nie je prioritná redukcia CO₂ vznikajúceho pri procese výroby. Cieľom tohto technologického postupu je dodatočné zachytávanie tohto plynu, čím sa zabraňuje jeho uvoľňovaniu do atmosféry. Aby sa zabránilo uvoľneniu CO₂ do atmosféry, tento plyn môže byť oddelený z odpadového vzduchu pomocou aminového prania a následne ako koncentrovaný CO₂ sa ukladá do vhodných skladovacích úložísk. Tento druh redukcie CO₂ nie je momentálne veľmi rozšírený lebo sa nachádza vo fáze vývoja a výskumu. Akumulácia odlúčeného CO₂ v koncentrovanej forme vo vhodných zásobníkoch predstavuje účinný variant zníženia produkcie CO₂ [76, 81].

Ďalšiu možnosť zachytenia a uskladnenia CO₂ v koncentrovanej forme predstavuje postup Oxyfuel. Pri tomto postupe sa proces výpalu realizuje v uzatvorenej atmosfére s čistým kyslíkom a CO₂, pričom koncentrácia oxidu uhličitého môže dosiahnuť viac ako 80 %. Vysoký tlak, ktorý vzniká pri procese výpalu, má negatívny vplyv

die für Mischzemente im Allgemeinen gelten (höhere chemische Resistenz gegen Umwelteinflüsse, niedrigere Produktionskosten), auf.

4. 4. 2 Calciumsulfoaluminat Zemente (CSA)

Der Vorteil von CSA – Klinkern ist, dass diese bei niedrigeren Temperaturen gebrannt werden können. Die im Brennprozess zu erreichende Temperatur liegt ca. 200 °C niedriger, bei etwa 1200 – 1300 °C. Calciumsulfoaluminat bestehen aus Bauxit, Calciumsulfat und Kalkstein, wobei der Bedarf an Kalkstein geringer ist als bei herkömmlichen Portlandzementklinkern [59]. Des Weiteren ist der entstehende Klinker sehr porös, was wiederum das anschließende Mahlen des Klinkers zum eigentlichen Zement erleichtert und wodurch wiederum Energie eingespart werden kann. Durch den Einsatz von Calciumsulfoaluminaten kann der CO₂-Ausstoß auf bis zu 50 % reduziert werden, jedoch erhöht sich der Ausstoß von Schwefeldioxid (SO₂) um ein Vielfaches [78].

4. 4. 3 Alkali-aktivierte Zemente

Alkali-aktivierte Zemente entsprechen im Wesentlichen dem Ansatz der Mischzemente. Auch hier kann der Portlandzementanteil durch Zugabe von Zuschlagstoffen verringert werden. Allerdings müssen bei alkali-aktivierten Zementen Zuschlagkomponenten mit einem hohen Anteil an Aluminosilikaten verwendet werden [48].

Alkali-aktivierte Zemente setzen sich im Wesentlichen aus einer zementartigen Komponente und einem alkalischen Aktivator zusammen. Als alkalische Aktivator kommen vorwiegend Ätzalkalien und alkalische Salze zur Anwendung. Bei der zementartigen Komponente kommen eine Vielzahl von Ausgangsprodukten in Frage, wie Hüttensand, Hüttensand, Flugasche, Zeolith, Silikatstaub, vulkanisches Glas, etc. [79, 80].

Je nach Zusammensetzung werden fünf Kategorien dieser Zemente unterschieden:

- Alkali-aktivierte Schlackenzemente
- Alkali-aktivierte Puzzolanzemente
- Alkali-aktivierte Kalk-Puzzolan / Schlacke Zemente
- Alkali-aktivierte Calciumaluminat – Mischzemente
- Alkali-aktivierte Portland – Mischzemente.

4. 4. 4 CO₂-Abscheidung und Speicherung

Bei Verfahren der CO₂-Abscheidung und –Speicherung steht nicht die Minimierung des beim Herstellungsprozess anfallenden CO₂ im Vordergrund. Ziel hierbei ist eine nachträgliche Fassung dieses klimarelevanten Gases, womit verhindert wird, dass es in die Atmosphäre gelangt.

Um das Entweichen des bei der Herstellung entstandenen CO₂ zu verhindern, kann das CO₂ von der Abluft durch eine Aminwäsche abgetrennt und das konzentrierte CO₂ in geeigneten Lagerstätten gespeichert werden. Diese Art der CO₂-Reduktion ist jedoch derzeit noch nicht in großen Maßstäben möglich, es befindet sich noch in der Forschungs- und Entwicklungsphase. Dieses Verfahren stellt aber prinzipiell eine einfache und verhältnismäßig günstige Variante zur Verringerung des CO₂-Ausstoßes dar [76, 81].

Eine weitere Möglichkeit CO₂ in konzentrierter Form zu erhalten und zu lagern stellt das Oxyfuel-Verfahren dar. Bei diesem Verfahren findet der Brennvorgang in einer abgeschlossenen Atmosphäre aus reinem Sauerstoff und CO₂ statt, wobei die Konzentration des Kohlendioxids mehr

na vlastnosti slinku. Ďalším negatívnym dôsledkom tohto postupu sú enormne vysoké investičné náklady, ktoré vznikajú pri optimalizácii existujúcich zariadení [82, 83].

4. 4. 5 Použitie alternatívnych palív

Pri používaní alternatívnych palív je možné priamo alebo nepriamo redukovať produkciu CO₂. Možnosťou priamej redukcie je použitie biomasy. Biomasa sa posudzuje ako uhlíkovo neutrálna [51]. V protiklade k biomase, palivá z odpadového hospodárstva sú posudzované ako nepriama forma redukcie. Pri tejto redukcii sa úplne vylučuje uvoľňovanie CO₂ [84].

als 80 % erreichen kann. Allerdings kann der hohe Druck, der während des Brennvorganges entsteht, sich nachteilig auf die Eigenschaften des Klinkers auswirken. Ein ebenfalls negativer Aspekt dieses Verfahrens sind die enorm hohen Investitionskosten, die bei einer Adaptierung bestehender Anlagen zu tragen sind [82, 83].

4. 4. 5 Einsatz alternativer Brennstoffe

Bei der Verwendung von alternativen Brennstoffen lässt sich der CO₂-Ausstoß in direkter und indirekter Form reduzieren. Eine Möglichkeit der direkten Reduktion ist der Einsatz von Biomasse, da diese als kohlenstoffneutral angesehen werden kann [51]. Im Gegensatz dazu sind Brennstoffe aus der Abfallwirtschaft als eine indirekte Reduktionsform anzusehen, sie reduziert das CO₂ insgesamt [84].

Tabuľka 4. 3 Podiely použitých palív a ich produkcia CO₂ na vyrábanú tepelnú energiu v gigajouloch v roku 2006 [86, 87]

Tabelle 4. 3 Anteile der eingesetzten Brennstoffe und deren CO₂-Ausstoß je erzeugter Wärmeenergie in Gigajoule im Jahre 2006 [86, 87]

Palivo / Brennstoff	%	kt CO ₂ /GJ / kt CO ₂ /GJ
Petrolejový koks / Petrolkoks	38,6	97,5
Uhlie / Kohle	39,4	94,6
Vykurovací olej / Heizöl	3,2	77,4
Zemný plyn / Erdgas	1,0	56,1
Alternatívne palivá / Alternative Brennstoffe	17,9	100

Miery prírastku v tomto sektore sú pozoruhodné, v roku 1990 bol podiel v cementárskom priemysle len 3 %, v roku 2006 už 17,9 % [85]. Do roku 2050 sa očakáva ďalší nárast až do 50 % [75, 76]. Tabuľka 4. 3 znázorňuje podiely použitých palív pre rok 2006 a z toho zistené brutto produkované kilotony CO₂ na GJ energie pre každé palivo [86, 87].

4. 4. 6 Ďalšie možnosti úspory energie

Veľká časť energie spotrebovanej na výrobu cementu pripadá na rotačné pece. Aby sa zabránilo strate energie na počiatku procesu výpalu a usporila sa aj v ďalšom priebehu výroby cementu, používané suroviny sa často sušia a melú odpadovým vzduchom a energiou z rotačných pecí [88]. Veľký potenciál úspory sa skrýva aj v chladiacom mechanizme veľkého počtu zariadení. Odpadový vzduch obsahuje enormný potenciál energetickej straty, ako sa zistilo pri meraniach v indickéj cementárni – až 35 % používanej energie ostáva nevyužitej [89].

Štúdie rotačnej pece s kapacitou 600 ton vyrobeného slinku za deň poukazujú až na 40 %-né energetickej straty. Tieto straty sa členia nasledovne:

- 19,15 % horúce dymové plyny
- 5,61 % chladiace zariadenie
- 15,11 % plášť pece (vyžarovanie alebo konvekcia).

Podstatnú časť privádzanej energie je možné opätovne získať za pomoci vhodných opatrení [90].

Die Zuwachsraten in diesem Sektor sind beachtlich, im Jahre 1990 betrug der Anteil in der Zementindustrie nur 3 %, 2006 waren es bereits 17,9 % [85]. Bis zum Jahre 2050 ist ein weiterer Anstieg auf bis zu 50 % zu erwarten [75, 76]. Tabelle 4. 3 zeigt die Anteile an den eingesetzten Brennstoffen für das Jahr 2006 und die daraus emittierten Brutto-Kilotonnen CO₂ pro GJ Energie für jeden Brennstoff [86, 87].

4. 4. 6 Weitere Energieeinsparungsmöglichkeiten

Ein Großteil der Herstellungsenergie fällt auf den Drehrohrofen. Um einen Energieverlust in den Anfangsstufen des Brennprozesses zu verhindern und auch im weiteren Ablauf der Zementherstellung Energie einzusparen, werden die Rohstoffe zum Trocknen und Mahlen häufig mit der Abluft und Energie aus den Drehrohrofen betrieben [88].

Aber auch im Kühlmechanismus vieler Anlagen steckt noch ein großes Maß an Einsparungspotential. Die Abluft beinhaltet ebenfalls ein enormes Energieverlustpotential, so wurden bei Messungen an einem indischen Zementwerk festgestellt, dass bis zu 35 % der eingesetzten Energie ungenutzt wieder abgegeben wird [89].

Studien an einem Drehrohrofen mit einer Kapazität von 600 t Klinker pro Tag ergaben einen Energieverlust von 40 %. Diese Verluste gliederten sich wie folgt:

- 19,15 % heiße Rauchgase
- 5,61 % Kühler
- 15,11 % Ofenmantel (Strahlung oder Konvektion).

Durch geeignete Maßnahme ist es durchaus möglich einen großen Teil der zugeführten Energie wieder zurückzugewinnen [90].

4. 5 Zhrnutie

Cementársky priemysel patrí k priemyselným odvetviam s najvyššou spotrebou energie. Vysoká spotreba energie, ktorú prevažne pokrývajú palivá, vytvára z cementárskeho priemyslu, z globálneho hľadiska, jedného z hlavných producentov CO₂. Oxid uhličitý je plyn, ktorý sa uvoľňuje do atmosféry a prispieva ku globálnemu otepľovaniu skleníkovým efektom. V budúcnosti bude potrebné koncentrovať sa v priebehu výrobného procesu cementu na objemovú minimalizáciu CO₂ uvoľňovaného do atmosféry. Technologicky je potenciál úspory pri moderných zariadeniach už takmer vyčerpaný. Treba sa orientovať na iné možnosti zníženia uvoľňovaného CO₂ v priebehu výroby cementu. Momentálne existujú viaceré realizovateľné možnosti úspory, ktoré umožnia značné zníženie produkcie CO₂ pri výrobe cementu.

Z materiálového hľadiska je jednoduchým a efektívnym spôsobom použitie mletých puzolánových prímiesí a aplikácie zmesových cementov, kam patria aj zmesové cementy druhu CEM V. Používaním cementov tohto druhu sa optimálne znižuje produkcia CO₂ v priebehu výrobného procesu cementu až do 20 %.

Z politického hľadiska cieľom spoločnosti musí byť:

1. podporovanie vývoja nových inovatívnych výrobkov a technológií, ktoré umožnia efektívnu ekologicko-ekonomickú výrobu cementu;
2. vytvorenie na budúcnosť orientovaných rámcových podmienok ekologicky a ekonomicky výhodnej produkcie cementu a podnecovanie hospodárskeho trhu orientovať sa na tieto cementy, ako aj
3. sústavné podporovanie výskumu v tejto oblasti [91].

4. 5. Zusammenfassung

Die Zementindustrie zählt zu den Industriezweigen mit dem höchsten Energiebedarf. Dieser hohe Energiebedarf, der vorwiegend durch Brennstoffe gedeckt wird, macht die Zementindustrie global gesehen zu einem Hauptproduzenten von CO₂. Da es sich bei CO₂ um ein klimarelevantes Gas handelt, das, wird es in die Atmosphäre freigesetzt, zur Klimaerwärmung beiträgt, ist besonderes auf die Minimierung dieses Gases im Zuge des Herstellungsprozesses zu achten.

Prozesstechnisch ist das Einsparungspotential bei modernen Anlagen mittlerweile fast völlig ausgeschöpft, man muss auf andere Möglichkeiten zurückgreifen will man den Energieeinsatz bzw. Ausstoß von CO₂ im Zuge der Herstellung weiter senken.

Zum jetzigen Zeitpunkt gibt es bereits eine Reihe von umsetzbaren Einsparungsmöglichkeiten, die eine deutliche Verringerung des CO₂-Ausstoßes bei der Herstellung von Zement ermöglichen.

Eine einfache und effektive Möglichkeit ist der Einsatz von Zuschlagstoffen bzw. sogenannter Mischzemente, zu denen auch die CEM V-Zemente zählen. Durch Einsatz dieser Ökozemente ist es möglich den CO₂-Ausstoß im Zuge der Zementherstellung um bis zu 20% zu verringern.

Ziel muss es sein, gerade auch auf politischer Ebene:

1. Die Entwicklung von neuen innovativen Produkten, die eine effizientere Herstellung von Zement erlauben, voranzutreiben.
2. Ziel muss es sein, zukunftsorientierte Rahmenbedingungen und marktwirtschaftliche Anreize zu schaffen sowie die Forschung auf diesem Gebiet zu fördern.
3. Letztere sollte auch eine koordinierende Komponente im System übernehmen [91].

5. Vlastnosti cementov a betónov - experimentálne výsledky

5. 1 Stanovenie fyzikálno-mechanických a chemických vlastností dvoch druhov cementu z Rakúska a zo Slovenska (CEM V/A a CEM V/B) špecifikovaných podľa EN 197-1

Časť 5. 1 popisuje základné úžitkové vlastnosti cementov CEM V/A 32,5 R a CEM V/B 32,5 N druhu, ktoré sa doteraz v širšom rozsahu v praxi buď neuplatňovali alebo sa používali iba výnimočne. Prezentuje hodnoty konzistencie, začiatku a doby tuhnutia, objemovej stálosti cementov; ďalej spracovateľnosti, objemovej hmotnosti, obsahu vzduchu v čerstvej malte normovaného zloženia a nárast pevností v čase. Výsledky poukazujú na to, že tieto cementy bez a s použitím superplastifikátorov na polykarboxylátovej báze môžu rozšíriť sortiment pre prax zaujímavých cementov špecifikovaných v EN 197-1 [6].

5. 1. 1 Úvod

Pozornosť sa venuje cementom CEM V/ (A, B) druhu s tromi puzolánovými prísadami (popolček, vysokopečná troska a zeolit) a nevyhnutne použitého superplastifikátora. Očakáva sa, že tieto prísady a prísada spolu s použitými cementmi môžu zlepšiť odolnosť betónu proti najčastejšie pôsobiacim environmentálnym záťažiam, ktoré sú bližšie špecifikované v STN EN 206-1 [1] a STN EN 206-1/NA [3].

5. 1. 2 Faktory určujúce vlastnosti betónu

5. 1. 2. 1 Cement

Cementy patria medzi silikátové materiály. Popri kremeni obsahujú ďalšie dôležité prvky, ktorých oxidy buď vytvárajú úžitkovo dôležité minerály alebo podružné neželateľné aditíva. Európska norma STN EN 197-1 [6] definuje 27 druhov rozličných cementov. Každý druh cementu má svoje aplikačné opodstatnenie. Najznámejší je portlandský cement. Popri ňom sa používajú aj zmesové

Tabuľka 5. 1. 1 Použité cementy podľa STN EN 197-1
Tabelle 5. 1. 1 Verwendete Zemente gemäß STN EN 197-1

Druh cementu / Zementsorte	Názov cementu / Bezeichnung des Zements	Označenie cementu / Kennzeichnung des Zements	Obsah slinku v % / Klinkergehalt in %
CEM I	Portlandský cement / Portlandzement	I	95-100
CEM V	Zmesový cement / Kompositzement	V/A	40-64
		V/B	20-38

cementy s rôznym stupňom náhrady portlandského slinku puzolánovými prísadami (napr. popolček, troska, kremičitý úlet, zeolit) a/alebo vápencom. Zmesové cementy obyčajne nedosahujú tak vysoké pevnosti pri porovnaní s cementmi portlandskými. Ich použitie je ekonomicky výhodnejšie,

5. Zement und Betoneigenschaften - experimentale Ergebnisse

5. 1 Festlegung der physikalisch-mechanischen und chemischen Eigenschaften der beiden Zementsorten (CEM V/A und CEM V/B) aus Österreich und aus der Slowakei, spezifiziert gemäß EN 197-1

Der Teil 5.1 beschreibt die grundlegenden Nutzeigenschaften der Zementsorten CEM V/A 32,5 R und CEM V/B 32,5 N, die bisher im breiteren Umfang in der Praxis entweder nicht oder nur ausnahmsweise genutzt wurden. Es präsentiert die Werte der Konsistenz, des Beginns und der Dauer der Erstarrung und der Volumenbeständigkeit der Zemente; außerdem die Verarbeitbarkeit, Volumengewichte, den Luftgehalt im Frischmörtel normierter Zusammensetzung und den zeitlichen Anstieg der Festigkeit. Die Ergebnisse verweisen darauf, dass diese Materialien ohne und mit Verwendung von Superplastifikatoren auf Polycarboxylat-Basis das Sortiment für die Praxis um interessante Zemente, spezifiziert in EN 197-1 [6], erweitern können.

5. 1. 1 Einleitung

Aufmerksamkeit wird den Zementsorten CEM V/ (A, B) mit drei Puzzolanzusatzstoffen (Flugasche, Hüttensand und Zeolith) und dem unbedingt erforderlichen Superplastifikator gewidmet. Es wird erwartet, dass diese Zusatzstoffe und Zusatzmittel zusammen mit dem verwendeten Zement die Beständigkeit des Betons gegen die häufigsten Umweltbelastungen erhöhen können, die näher in STN EN 206-1 [1] und STN EN 206-1/NA [3] spezifiziert sind.

5. 1. 2 Faktoren, die die Betoneigenschaften beeinflussen

5. 1. 2. 1 Zement

Zemente gehören zu den Silikatmaterialien. Neben Silikaten enthalten sie weitere wichtige Elemente, deren Oxide entweder nutzbringende wichtige Mineralien oder verbundene unerwünschte Additiva bilden. Die europäische Norm STN EN 197-1 [6] definiert 27 verschiedene Zementsorten. Jede Zementsorte hat

ihren Anwendungsbereich. Am bedeutendsten ist Portlandzement. Daneben werden auch Kompositzemente mit verschiedenen Stufen des Ersatzes von Portlandklinker durch Puzzolanzusätze (z. B. Flugasche, Schlacke, Silikastaub,

najmä v konštrukciách s nižšími nárokmi na konečné pevnosti betónu v tlaku. Aplikujú sa všade tam, kde je možné výhodne využiť ich špecifické technické prednosti, napr. ich zvýšenú odolnosť proti tuhým, kvapalným a plynným agresívnym médiám. V našej práci sa verifikovali cementy dokumentované v tabuľke 5. 1. 1.

5. 1. 2. 2 Činitele odolnosti betónu

Činitele odolnosti betónu predstavujú a vymedzujú: agresivitu expozičného prostredia, odolnosť samotného betónu a odolnosť betónovej konštrukcie.

5. 1. 2. 3 Činitele agresivity prostredia

Najdôležitejšie faktory reprezentujú druhy a stupne agresívneho prostredia, teplota a jej kolísanie, pri kvapalnom a plynnom prostredí tlak a rýchlosť výmeny agresívneho média, prípadne súčasné pôsobenie dvoch alebo viacerých druhov agresivity.

5. 1. 2. 4 Činitele odolnosti samotného betónu

Odolnosť betónu najviac ovplyvňujú technologické faktory ako sú druh a obsah cementu, druh prísad a prímiesí a vodný súčiniteľ. Potom nasledujú faktory súvisiace so štrukturálnymi vlastnosťami betónu, najmä vodotesnosť, pevnosť, pórovitosť a nasiakavosť betónu. Po styku s vodou cement hydratuje za vzniku rôzneho a rôznorodého množstva hydratačných produktov podľa podmienok, ktorým je betónový prvok vystavený. Nárast pevností a všetkých technicky významných vlastností betónu ovplyvňujú podmienky uloženia čerstvo vyrobeného betónu, ktoré determinujú počiatočný stav hydratácie cementu a neskôr vytvorenú kvalitu jeho mikroštruktúry. V tesnej nadväznosti na tvorbe hydratačných produktov vzniká pórová štruktúra (množstvo, veľkosť a tvar pórov), od ktorej spolu s vytvorenou

Zeolith) und/oder Kalkstein verwendet. Kompositzemente erreichen für gewöhnlich nicht eine so hohe Festigkeit im Vergleich mit Portlandzementen. Ihre Verwendung ist ökonomisch günstiger, insbesondere in Konstruktionen mit geringen Ansprüchen an die endgültige Druckfestigkeit des Betons. Sie werden über alle dort verwendet, wo ihre spezifischen technischen Vorteile genutzt werden können, z. B. ihre erhöhte Beständigkeit gegen feste, flüssige und gasförmige aggressive Medien. In unserer Arbeit wurden die Zemente verifiziert, die in der Tabelle 5. 1. 1 dokumentiert sind.

5. 1. 2. 2 Kennziffern der Betonbeständigkeit

Die Kennziffern der Betonbeständigkeit stellen dar und grenzen ein: Aggressivität der Umgebung, Beständigkeit des Betons selbst und Beständigkeit der Betonkonstruktion.

5. 1. 2. 3 Kennziffern der Aggressivität der Umgebung

Die wichtigsten Faktoren repräsentieren die Arten und Grade der aggressiven Umgebung, die Temperatur und ihre Schwankungen, bei flüssigem und gasförmigem Umfeld Druck und Geschwindigkeit des Austauschs des aggressiven Mediums, bzw. die gleichzeitige Einwirkung von zwei oder mehr Arten von Aggressivität.

5. 1. 2. 4 Kennziffern der Beständigkeit des Betons selbst

Die Beständigkeit des Betons wird am meisten von technologischen Faktoren wie Zementart und Zementgehalt, Art der Zusätze und Zusatzmittel und des wirksamen Wassergehalts beeinflusst. Dann folgen Faktoren im Zusammenhang mit strukturellen Eigenschaften des Betons, insbesondere Wasserundurchlässigkeit, Festigkeit, Porenstruktur und Wassereindringung in den Beton. Nach Kontakt mit Wasser hydratiert der Zement unter Entstehung verschiedener Mengen von Hydratationsprodukten gemäß den Bedingungen, denen das Betonelement ausgesetzt ist. Der Anstieg der Festigkeit und alle technisch



hydratačnou fázou závisia mechanické vlastnosti betónu, jeho trvanlivosť a tým životnosť celej konštrukcie. Prísady a prísady sa taktiež podieľajú na zlepšení technicky významných vlastností betónu (pevnosti, moduly pružnosti, zmršťovanie), chemickej odolnosti proti agresívnym vplyvom chemickej a fyzikálnej povahy (odolnosť proti zmrazovaniu a rozmrazovaniu, dynamicky sa opakujúca záťaž, obrusovzdornosť a pod). Zanedbanie alebo nevládnutie ktorejkoľvek z nevyhnutných podmienok pre zhotovenie kvalitného betónu sa prejaví zníženou životnosťou betónovej konštrukcie. Plastifikačné prísady predstavujú po chemickej stránke povrchovoaktívne látky. Použitie plastifikačnej prísady sa odporúča najmä v kombinácii s puzolánovými prísadami s cieľom znížiť spotrebu zámesovej vody [92-94].

5. 1. 2. 5 Činitele betónovej konštrukcie

Z týchto činiteľov je dôležitá predovšetkým plánovaná životnosť konštrukcie, minimálna hrúbka a prípadná sekundárna ochrana.

Problematika faktorov určujúcich vlastnosti betónu sa detailne rozoberá, najmä vo vzťahu k portlandskému zmesovému cementu CEM II/A-M a CEM II/B-M druhu. Zdokumentoval sa vývoj normových predpisov o použiteľnosti týchto cementov na prípravu betónu, ktorý je vystavený štyrom druhom agresívneho pôsobenia: karbonatácii, chloridom iným ako z morskej vody, striedavému zmrazovaniu a rozmrazovaniu a chemickému pôsobeniu [95].

5. 1. 3 Uvažované využitie cementu CEM V/ (A, B) druhu

Cement CEM V/ (A, B) druhu spolu s plastifikačnými a inými druhmi prísad môže predstavovať efektívny spôsob zhotovenia konštrukčných materiálov, najmä betónov, použiteľných pre budovanie podzemných a pozemných konštrukcií najmä so zvýšenou odolnosťou proti účinkom agresívnych vôd a zemín. Popri voľbe tohto druhu cementu

bedeutenden Eigenschaften des Betons werden von den Verlegungsbedingungen des frisch hergestellten Betons beeinflusst, die den Anfangsstand der Hydratation des Zements und später die Qualität seiner Mikrostruktur determinieren. In dichter Anlehnung an die Bildung der Hydratationsprodukte entsteht die Porenstruktur (Menge, Größe und Form der Poren), von der zusammen mit der gebildeten Hydratationsphase die mechanischen Eigenschaften des Betons, seine Beständigkeit und damit die Lebensdauer der gesamten Konstruktion abhängen. Zusatzstoffe und Zusatzmittel sind ebenfalls an der Verbesserung technisch bedeutender Eigenschaften des Betons (Festigkeit, Elastizitätsmodule, Schrumpfen), an der chemischen Beständigkeit gegen aggressiven Einfluss chemischen und physikalischen Charakters (Beständigkeit gegen Frieren und Auftauen, dynamische sich wiederholende Belastung, Abriebbeständigkeit u. Ä.) beteiligt. Die Vernachlässigung oder die Nichtbeherrschung irgendeiner der erforderlichen Bedingungen für die Herstellung von Qualitätsbeton zeigt sich in einer geringeren Lebensdauer der Betonkonstruktion. Plastifikatorzusatzmittel stellen chemisch betrachtet oberflächenaktive Stoffe dar. Die Verwendung von Plastifikatorzusatzmitteln wird insbesondere in Kombination mit Puzzolanzusatzstoffen empfohlen, mit dem Ziel, den Bedarf an Zugabewasser zu senken [92-94].

5. 1. 2. 5 Kennziffern der Betonkonstruktion

Von diesen Kennziffern sind vor allem die geplante Lebensdauer der Konstruktion, die Mindeststärke und der sekundäre Schutz wichtig.

Die Problematik der Faktoren, die die Betoneigenschaften bestimmen, werden detailliert betrachtet, insbesondere in Beziehung zu den Portland-Kompositzementen CEM II/A-M und CEM II/B-M. Es wurde die Entwicklung der Normvorschriften über die Verwendung dieser Zemente bei der Herstellung von Beton dokumentiert, der vier Arten aggressiver Einwirkung ausgesetzt ist: Karbonatisierung, Chloride und andere Salze, nicht aus Meerwasser, abwechselnde Einwirkung von Frieren und Auftauen und chemische Einwirkung [95].

5. 1. 3 In Betracht gezogene Verwendung der Zementsorte CEM V/ (A, B)

Die Zementsorte CEM V/ (A, B) kann zusammen mit Plastifikatoren und anderen Zusatzmitteln eine effektive Art der Herstellung vom Konstruktionsmaterialien darstellen, insbesondere von Beton, der für die Errichtung von Tief- und Hochbaukonstruktionen verwendet werden kann, insbesondere mit erhöhter Beständigkeit gegen die Einwirkung vom aggressiven Wasser und Boden. Neben der Wahl dieser

Tabuľka 5. 1. 2 Prehľad použitých cementov pri riešení projektu

Tabelle 5. 1. 2 Übersicht der verwendeten Zemente bei der Lösung des Projekts

Portlandský cement EN 197-1 – CEM I 32,5 R – ako referenčný cement, 95 % slinku, výrobca, Slovensko (SK) / Portlandzement EN 197-1 – CEM I 32,5 R – als Referenzzement, 95 % Klinker, Hersteller, Slowakei (SK)
Zmesový cement EN 197-1 – CEM V/A (S-V) 32,5 R - S: vysokopecná troska, V: kremičitý popolček, výrobca, Rakúsko (AT), 45,1 % slinku / Kompositzement EN 197-1 – CEM V/A (S-V) 32,5 R - S: Hüttensand, V: Silikat-Flugasche, Hersteller, Österreich (AT), 45,1 % Klinker
Zmesový cement EN 197-1 – CEM V/B (S-V) 32,5 N - S: vysokopecná troska, V: kremičitý popolček, výrobca, Rakúsko (AT), 26,9 % slinku / Kompositzement EN 197-1 – CEM V/B (S-V) 32,5 N - S: Hüttensand, V: Silikat-Flugasche, Hersteller, Österreich (AT), 26,9 % Klinker
Zmesový cement EN 197-1 – CEM V/A (S-V) 32,5 R - S: vysokopecná troska, V: kremičitý popolček (SK), 52,9 % slinku / Kompositzement EN 197-1 – CEM V/A (S-V) 32,5 R - S: Hüttensand, V: Silikat-Flugasche (SK), 52,9 % Klinker
Zmesový cement EN 197-1 - CEM V/B (S-P) 32,5 N - S: vysokopecná troska, P: prírodný puzolán – zeolit (SK), 30,9 % slinku Kompositzement EN 197-1 - CEM V/B (S-P) 32,5 N - S: Hüttensand, P: Naturpuzzolan – Zeolith (SK), 30,9 % Klinker

a použitej plastifikačnej prísady (superplastifikátora) a optimálneho zloženia čerstvého betónu dosiahnutie požadovanej kvality betónu vyžaduje zohľadniť aj druh použitého kameniva, spôsob výroby a počiatočného ošetrovania čerstvého betónu.

Za nevyhnutné podmienky aplikácie cementu CEM V/ (A, B) druhu v betónovej konštrukcii sa považujú znalosti o samotnej agresivite podzemných vôd a zemín, ktorým bude betón počas svojej životnosti vystavený a o normovaní agresívneho prostredia na takto zhotovený betón. Hore uvedené znalosti znamenajú nevyhnutnú informáciu pre projektanta, investora a zhotoviteľa stavby z pohľadu správneho a bezpečného navrhovania betónových konštrukcií.

5. 1. 4 Experimentálne metódy a postupy skúšania

5. 1. 4. 1 Materiály

Slovenské druhy cementov [CEM V/A (S-V) 32,5 R a CEM V/B (S-P) 32,5 N] sa vyrobili vo VSH, a. s. v Turni nad Bodvou, Holcim, a.s., Slovensko v množstve 1 500 kg/1 druh cementu (spolu s referenčným CEM I 32,5 R). Rakúske druhy cementov [CEM V/A (S-V) 32,5 R a CEM V/B (S-V) 32,5 N] sa vyrobili v cementárni Schretter & Cie GmbH & Co KG, Vils, (Tirolsko) v množstve 800 kg/1 druh cementu. Prehľad použitých cementov pri riešení projektu sumarizuje [tabuľka 5. 1. 2](#).

5. 1. 4. 2 Použité metódy

Začiatok, doba tuhnutia a objemová stálosť cementu sa stanovili podľa STN EN 196-3 [96]. Základné vlastnosti cementových mált sa určili podľa STN EN 196 - 1 [97]. Pre tento účel sa zhotovili normové malty s hmotnostným pomerom cementu k piesku 1 : 3 a vodným súčiniteľom $v/c = 0,5$. Formy pre trávce 40 x 40 x 160 mm sa po naplnení maltou uložili prvých 24 hodín v klimatizovanom priestore s teplotou $20,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a s relatívnou vlhkosťou vzduchu min. 90 % a následne, po odformovaní, sa uložili až na 89 dní do vody s teplotou $20,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na výrobu mált sa spolu s cementom použil normalizovaný piesok CEN. Na modifikáciu spracovateľnosti čerstvých mált sa cementom CEM V (A, B) druhu sa využil superplastifikátor na polykarboxylátovej báze od spoločnosti BetónRacio s. r. o., Trnava. Alkalita cementov sa stanovila ako pH hodnota vo vodných výluhoch podľa STN EN 13454 - 2 + A1 [9].

Tabuľka 5. 1. 3 Základné vlastnosti použitých cementov
Tabelle 5. 1. 3 Grundeigenschaften der verwendeten Zemente

Druh cementu / Zementsorte	Konzistencia (%) / Konsistenz (%)	Čas tuhnutia (min) / Erstarrungszeit (min)		Objemová stálosť (rozpínanie) (mm) / Volumenbeständigkeit (Dehnung) (mm)
		začiatok / Anfang	koniec / Ende	
CEM I 32,5 R	27,0	210	265	0,5
CEM V/A (S-V) 32,5 R-AT	31,5	265	320	0,5
CEM V/B (S-V) 32,5 N-AT	33,0	350	420	1,0
CEM V/A (S-V) 32,5 R-SK	32,0	270	340	0,5
CEM V/B (S-P) 32,5 N-SK	38,4	230	330	1,0

Zementsorte und des verwendeten Plastifikator-Zusatzmittels (Superplastifikator) und der optimalen Zusammensetzung der Betonmischung muss für das Erreichen der geforderten der Betonqualität auch die Art der verwendeten Gesteinskörnung, die Art der Herstellung und die Anfangsbehandlung des Frischbetons beachtet werden.

Als unbedingt erforderliche Bedingung der Verwendung der Zementsorte CEM V/ (A, B) in Betonkonstruktionen gelten die Kenntnisse der Aggressivität von Grundwasser und Boden, denen der Beton während seiner Lebensdauer ausgesetzt wird, sowie der Normierung des aggressiven Umfelds auf einen so hergestellten Beton. Die oben angeführten Kenntnisse sind unvermeidliche Informationen für den Projektanten, den Investor und Auftragnehmer des Baus aus Sicht der richtigen und sicheren Ausführung der Betonkonstruktion.

5. 1. 4 Experimentelle Methoden und Testverfahren

5. 1. 4. 1 Materialien

Die slowakischen Zementsorten [CEM V/A (S-V) 32,5 R und CEM V/B (S-P) 32,5 N] wurden in der VSH, a. s. in Turna nad Bodvou, Holcim a.s., Slowakei hergestellt, und in der Menge 1 500 kg/1 Zementsorte (zusammen mit dem Referenzzement CEM I 32,5 R). Die österreichischen Zementsorten [CEM V/A (S-V) 32,5 R und CEM V/B (S-V) 32,5 N] wurden im Zementwerk Schretter & Cie GmbH & Co KG, Vils, (Tirol) hergestellt, in der Menge 800 kg/1 Zementsorte. Die Übersicht der verwendeten Zemente bei der Lösung des Projekts fasst die [Tabelle 5. 1. 2](#) zusammen.

5. 1. 4. 2 Verwendete Methoden

Anfang, Dauer der Erstarrung und Volumenbeständigkeit des Zements wurden gemäß STN EN 196-3 [96] festgelegt. Die grundlegenden Eigenschaften der Zementmörtel wurden gemäß STN EN 196 - 1 [97] festgelegt. Zu diesem Zweck wurden Normmörtel mit einem Gewichtsverhältnis Zement zu Kies von 1 : 3 und wirksamem Wassergehalt von $v/c = 0,5$ hergestellt. Die Prüfkörper der Größe 40 x 40 x 160 mm wurden nach dem Befüllen mit dem Mörtel für die ersten 24 Stunden in einem klimatisierten Raum mit einer Temperatur von $20,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ und einer Luftfeuchte von min. 90 % relativer Luftfeuchte aufbewahrt und anschließend für 89 Tage in Wasser mit einer Temperatur von $20,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Für die Herstellung des Mörtels wurde zusammen mit dem Zement normierter Kies CEN verwendet. Zur Modifizierung der Verarbeitbarkeit des Frischmörtels mit der Zementsorte CEM V (A, B) wurde ein Superplastifikator auf Polycarboxylat-Basis von der Firma BetónRacio s. r. o., Trnava verwendet. Die Alkalität der Zemente wurde als pH-Wert in Wasserextrakten gemäß STN EN 13454 - 2 + A1 [9] festgelegt.

Tabuľka 5. 1. 4 Merná hmotnosť a merný povrch cementov

Tabelle 5. 1. 4 Spezifisches Gewicht und spezifische Oberfläche der einzelnen Zemente

Druh cementu / Zementsorte	Merná hmotnosť (kg/m ³) / spezifisches Gewicht (kg/m ³)	Merný povrch (m ² /kg) / Spezifische Oberfläche (m ² /kg)
CEM I 32,5 R	3087,7	291,0
CEM V/A (S-V) 32,5 R-SK	2876,2	534,3
CEM V/A (S-V) 32,5 R-AT	2857,1	439,2
CEM V/B (S-V) 32,5 N-AT	2740,7	448,4
CEM V/B (S-P) 32,5 N-SK	2790,0	477,0

Tabuľka 5. 1. 5 Vlastnosti čerstvých mált

Tabelle 5. 1. 5 Eigenschaften der Frischmörtel

Druh cementu / Zementsorte	Spracovateľnosť (mm) / Verarbeitbarkeit (mm)	Objemová hmotnosť (kg/m ³) / Volumengewicht (kg/m ³)	Obsah vzduchu (%obj.) / Luftgehalt (% Vol.)
CEM I 32,5 R	155	2230	4,5
CEM V/A (S-V) 32,5 R-AT	175	2220	4,1
CEM V/B (S-V) 32,5 N-AT	166	2220	3,7
CEM V/A (S-V) 32,5 R-SK	135	2150	4,4
CEM V/B (S-P) 32,5 N-SK	106	2060	5,3

5. 1. 4. 3 Výsledky a diskusia

Základné vlastnosti cementov a z nich vyrobených normových mált prezentujú tabuľky 5. 1. 3, 5. 1. 4 a 5. 1. 5.

Oba cementy CEM V/A a CEM V/B druhu preukazujú zvýšenú spotrebu zámesovej vody na dosiahnutie normalizovanej hustoty v porovnaní s referenčným cementom CEM I 32,5 R, čo spôsobuje ich vyšší merný povrch. Cement CEM V/B s nižším podielom portlandského slinku a vyšším zastúpením puzolánových prímiesí a to nezávisle od ich druhu, charakterizuje vyššia spotreba zámesovej vody ako sa zistila pri CEM V/A. Začiatok a doba tuhnutia sa u oboch druhov cementov vo vzťahu k CEM I 32,5 mierne zvyšuje; všetky cementy sú objemovo stále. Rovnaký trend zvýšenej spotreby zámesovej vody za použitia cementu CEM V/A-SK a CEM V/B-SK signalizujú hodnoty spracovateľnosti čerstvých mált.

So stúpajúcim zastúpením puzolánových prímiesí sa znižuje objemová hmotnosť čerstvých mált, čo je dôsledok nižšej mernej hmotnosti vysokopecnej trosky, popolčeka a zeolitu v porovnaní s cementom. Pri CEM V/B-SK cemente sa prejavuje mierna tendencia k zvýšenému obsahu vzduchu čerstvej malty. Možným vysvetlením tohto javu je jemná pórová štruktúra prímiesí zeolitu. Doterajšie výsledky naznačujú nevyhnutnú potrebu aplikácie superplastifikátora spolu s cementom CEM V/ (A, B) -SK druhu s cieľom eliminovania zvýšenej spotreby zámesovej vody a zlepšenia spracovateľnosti čerstvej malty v porovnaní s referenčným cementom CEM I 32,5 R druhu. Tabuľka 5. 1. 6 dokumentuje pevnosti cementov uložených vo vode 20,0 °C ± 1,0 °C. Pevnosti mált vyrobených z CEM V/A a CEM V/B preukazujú nižší počiatkový nárast do 2 dní vodného uloženia v porovnaní s cementom CEM I 32,5 R druhu. Po 7, 28, 56 a 90 dňovom uložení malta s CEM V/A cementom dokumentuje porovnateľné pevnosti s referenčným cementom, zatiaľ čo malta zhotovená s CEM V/B cementom potvrdzuje trvale znížené hodnoty pevnosti aj po dlhšej dobe uloženia. Pokles pevností nie je extrémne znížený. Oba slovenské druhy CEM

5. 1. 4. 3 Ergebnisse und Diskussionen

Die Grundeigenschaften der Zemente und der aus ihnen hergestellten Normmörtel präsentieren die Tabellen 5. 1. 3, 5. 1. 4 und 5. 1. 5.

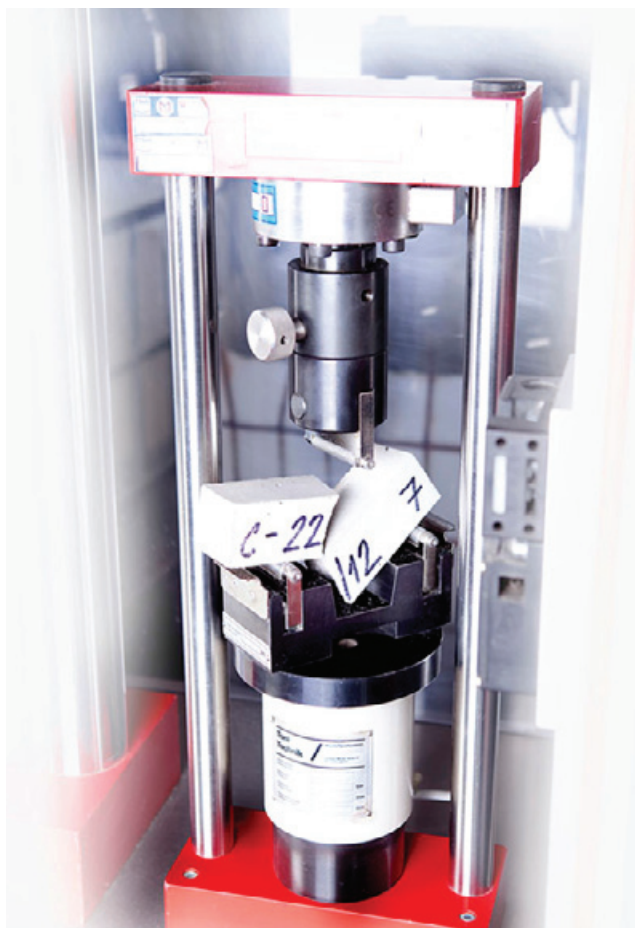
Beide Zementsorten CEM V/A und CEM V/B weisen einen erhöhten Bedarf an Zuschlagwasser zum Erreichen der normalisierten Dichte im Vergleich mit dem Referenzzement CEM I 32,5 R auf, was auch ihre spezifische Oberfläche erhöht. Der Zement CEM V/B mit einem geringeren Anteil an Portlandklinker und höherem Gehalt an Puzzolanzusatzstoffen, wird unabhängig von der Sorte durch einen erhöhten Bedarf an Zuschlagwasser charakterisiert, als bei CEM V/A festgestellt wurde. Anfang und Dauer der Erstarrung erhöhen sich bei beiden Zementsorten in Beziehung zu k CEM I 32,5 mäßig; alle Zemente sind volumenbeständig. Den gleichen Trend des erhöhten Bedarfs an Zuschlagwasser bei Verwendung der Zemente CEM V/A-SK und CEM V/B-SK signalisieren die Werte der Verarbeitbarkeit der Frischmörtel.

Mit steigendem Anteil der Puzzolanzusatzstoffe sinkt das Volumengewicht der Frischmörtel, was die Folge des niedrigen Maßgewichts von Hüttensand, Flugasche und Zeolith im Vergleich mit dem Zement ist. Beim Zement CEM V/B-SK zeigt sich eine mäßige Tendenz zu erhöhten Luftgehalt im Frischmörtel. Eine mögliche Erklärung dieser Erscheinung ist die feine Porenstruktur des Zusatzes Zeolith. Die bisherigen Ergebnisse deuten die erforderliche Zugabe eines Superplastifikators zusammen mit der Zementsorte CEM V/ (A, B) -SK zur Eliminierung des erhöhten Bedarfs an Zuschlagwasser und zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit der Frischmörtel im Vergleich mit der Referenzzementsorte CEM I 32,5 R an. Tabelle 5. 1. 6 dokumentiert die Festigkeit der Zemente in Wasser bei 20,0 °C ± 1,0 °C.

Die Festigkeit der Mörtel aus CEM V/A und CEM V/B zeigt einen geringeren Anfangsanstieg bis zu 2 Tagen im Wasser im Vergleich mit der Zementsorte CEM I 32,5 R. Nach 7, 28, 56 und 90 Tagen im Wasser zeigt Mörtel mit CEM V/A-Zement eine vergleichbare Festigkeit mit dem Referenzzement, und

Tabuľka 5. 1. 6 Pevnosti mált v čase
Tabelle 5. 1. 6 Festigkeit der Mörtel in der Zeit

Druh cementu / Zementsorte	Uloženie (dni) / Lagerung (Tage)	Pevnosť (MPa) / Festigkeit (MPa)	
		Ťah pri ohybe / Biegezug	Tlak / Druck
CEM I 32,5 R	2	3,5	18,8
	7	6,2	35,6
	28	8,1	49,6
	56	9,2	59,0
	90	9,3	59,0
CEM V/A (S-V) 32,5 R-AT	2	3,0	13,1
	7	6,2	35,6
	28	8,1	49,8
	56	9,2	59,0
	90	9,3	59,0
CEM V/B (S-V) 32,5 N-AT	2	1,3	5,2
	7	5,1	19,3
	28	7,8	36,3
	56	9,8	45,5
	90	10,5	51,4
CEM V/A (S-V) 32,5 R-SK	2	3,0	13,1
	7	5,6	25,3
	28	8,2	47,6
	56	8,5	58,0
	90	8,8	60,6
CEM V/B (S-P) 32,5 N-SK	2	1,3	5,2
	7	5,1	19,3
	28	7,8	36,3
	56	8,4	40,1
	90	8,7	44,0



Tabuľka 5. 1. 7 Nastavenie konštantnej spracovateľnosti čerstvých mált s CEM V-SK

Tabelle 5. 1. 7 Einstellung der konstanten Verarbeitbarkeit der Frischmörtel mit CEM V-SK

Druh cementu a dávka superplastifikátora na obsah cementu v malte / Zementsorte und Zugabe des Superplastifikators bezüglich des Zementgehalts im Mörtel	Spracovateľnosť (mm) / Verarbeitbarkeit (mm)	Objemová hmotnosť (kg/m ³) / Volumen-gewicht (kg/m ³)	Obsah vzduchu (% obj.) / Luftgehalt (% Vol.)
CEM V/A (S-V) 32,5 R-SK			
0,50 % Berament 05-10	166	2165,5	5,2
0,50 % Berament 05-10	166	2165,5	5,9
CEM V/B (S-P) 32,5 N-SK			
0,80 % Berament 05-10	163	2168,7	5,6
0,80 % Berament 05-10	167	2173,3	5,8

Tabuľka 5. 1. 8 Základné vlastnosti cementu CEM V/A-SK a CEM V/B-SK pri modifikácii so superplastifikátorom Berament 05-10: prešetrenie jeho účinku na zmenu základných vlastností cementu bez superplastifikátora (viď tabuľka 5. 1. 3)

Tabelle 5. 1. 8 Grundeigenschaften der Zementsorten CEM V/A-SK a CEM V/B-SK bei der Modifikation mit dem Superplastifikator Berament 05-10: Untersuchung der Wirkung auf die Veränderung der Grundeigenschaften der Zementsorten ohne Superplastifikator (siehe Tabelle 5. 1. 3)

Cement CEM V/ (A, B) / Zement CEM V/ (A, B)	Konzistencia (%) / Konsistenz (%)	Čas tuhnutia (min) / Erstarrungszeit (min)		Objemová stálosť (rozpínanie) (mm) / Volumenbeständigkeit (Dehnung) (mm)
		Počiatok / Anfang	Koniec / Ende	
CEM V/A, 0,5 % SP	30,5	305	400	0,5
CEM V/B, 0,8 % SP	34,5	280	365	0,0

V/ (A, B) cementu charakterizuje zvýšená spotreba zámesovej vody. Tabuľka 5. 1. 7 dokumentuje zlepšenie spracovateľnosti čerstvých mált zhotovených so superplastifikátorom (SP).

Tabuľka 5. 1. 8 prezentuje základné vlastnosti cementu CEM V/A-SK a CEM V/B-SK druhu pri modifikácii superplastifikátorom Berament 05-10. Z prešetrenia účinku použitých plastifikačných prísad (porovnanie s tabuľkou 5. 1. 3) vyplýva, že spotreba zámesovej vody na dosiahnutie normálnej hustoty sa znížila v CEM V/A druhu o približne 1,5 % a v CEM V/B o približne 4 %. Začiatok a doba tuhnutia sa zhodne predĺžili. Aplikácia superplastifikátora mierne zvyšuje obsah vzduchu, pričom tento efekt sa viac prejavuje pri cemente CEM V/A-SK, kde sa obsah vzduchu zvyšuje až o približne 1,0 - 1,5 % obj.

Evidentné zlepšenie spracovateľnosti čerstvých mált s použitím superplastifikátora potvrdzujú výsledky v tabuľke 5. 1. 9.

Aplikácia superplastifikátora zlepšila spracovateľnosť čerstvej malty s cementom CEM V/A-SK druhu o približne 30 mm a s CEM V/B-SK až o skoro 60 mm. Čerstvé malty indikujú

Mörtel aus CEM V/B-Zement bestätigt dauerhaft gesenkte Festlichkeitswerte auch nach längerer Zeit im Wasser. Das Sinken der Festigkeit ist nicht extrem. Beide slowakischen Zementsorten CEM V/ (A, B) charakterisiert der erhöhte Bedarf an Zuschlagwasser. Tabelle 5. 1. 7 dokumentiert die Verbesserung der Verarbeitbarkeit der Frischmörtel, die mit einem Superplastifikator (SP) hergestellt werden.

Tabelle 5. 1. 8 präsentiert die Grundeigenschaften der Zementsorten CEM V/A-SK und CEM V/B-SK bei der Modifikation mit dem Superplastifikator Berament 05-10. Aus der Untersuchung der Wirkung der verwendeten Plastifikatorzusatzmittel (Vergleich mit Tabelle 5. 1. 3) ergibt sich, dass der Bedarf an Zuschlagwasser zum Erreichen einer normalen Dichte bei der Zementsorte CEM V/A um etwa 1,5 % sinkt und bei CEM V/B um etwa 4 %. Anfang und Dauer der Erstarrung verlängerten sich übereinstimmend. Die Verwendung des Superplastifikators erhöht leicht den Luftgehalt, wobei sich dieser Effekt beim Zement CEM V/A-SK mehr zeigt, wo der Luftgehalt um etwa 1,0 - 1,5 % Vol. Höher ist.

Tabuľka 5. 1. 9 Základné vlastnosti mált bez a s použitím superplastifikátora Berament 05-10

Tabelle 5. 1. 9 Grundeigenschaften der Mörtel ohne und mit Verwendung des Superplastifikators Berament 05-10

Druh cementu / Zementsorte	Spracovateľnosť (mm) / Verarbeitbarkeit (mm)	Objemová hmotnosť (kg/m ³) / Volumen-gewicht (kg/m ³)	Obsah vzduchu (% obj.) / Luftgehalt (% Vol.)
CEM I 32,5 R	155	2230	4,5
CEM V/A (S-V) 32,5 R	135	2150	4,4
CEM V/A + 0,5 % Berament 05-10	166	2165	5,5
CEM V/B (S-P) 32,5 N	106	2060	5,3
CEM V/B + 0,8 % Berament 05-10	165	2170	5,7

Tabuľka 5. 1. 10 Porovnanie normových pevností mált bez a s použitím superplastifikátora
 Tabelle 5. 1. 10 Vergleich der Normfestigkeit der Mörtel ohne und mit Verwendung des Superplastifikators

Druh cementu / Zementsorte	Superplastifikátor / Superplastifikator	Uloženie (dni) / Verlegung (Tage)	Pevnosť (MPa) / Festigkeit (MPa)	
			Ťah pri ohybe / Biegezug	Tlak / Druck
CEM I 32,5 R	bez použitia / ohne Verwendung	2	3,5	18,8
		7	6,2	35,6
		28	8,1	49,6
CEM V/A (S-V) 32,5 R	bez použitia / ohne Verwendung	2	3,0	13,1
		7	6,2	35,6
		28	8,2	47,6
CEM V/A (S-V) 32,5 R	+ 0,5 % Berament 05-10 / + 0,5 % Berament 05-10	2	3,3	13,1
		7	6,3	29,8
		28	9,9	52,1
CEM V/B (S-P) 32,5 N	bez použitia / ohne Verwendung	2	1,3	5,2
		7	5,1	19,3
		28	7,8	36,3
CEM V/B (S-P) 32,5 N	+ 0,5 % Berament 05-10 / + 0,5 % Berament 05-10	2	1,8	6,6
		7	5,7	21,8
		28	9,2	40,3

Tabuľka 5. 1. 11 Hodnoty pH vo vodnom výluhu cementov
 Tabelle 5. 1. 11 pH-Werte im Wasserextrakt der Zemente

Druh cementu / Zementsorte	pH*
CEM I 32,5 R	12,43
CEM V/A (S-V) 32,5 R-AT	12,55
CEM V/B (S-V) 32,5 N-AT	12,50
CEM V/A (S-V) 32,5 R-SK	12,47
CEM V/B (S-P) 32,5 N-SK	12,41

Poznámka:

* hodnota pH výluhu zmesového cementu nenahradzuje samotné korózne skúšky preukazujúce pasívny stav ocele (tieto skúšky sa v tejto práci nerealizovali).

Die Bemerkung:

*der pH-Wert des Extrakts des Kompositzements ersetzt nicht den Korrosionstest selbst weist den passiven Zustand des Stahls nach (diese Tests wurden bei dieser Arbeit nicht realisiert).



mierny prevzdušňujúci účinok prísady Berament 05-10.

Tabuľka 5. 1. 10 znázorňuje účinok superplastifikátora na nárast pevností mált uložených vo vode. Jeho prídavok spôsobuje mierne zvýšenie už 2-dňovej pevnosti v ťahu pri ohybe a v tlaku mált vo vodnom uložení. Berament 05-10 sa prejavuje dvomi rozhodujúco pozitívnymi účinkami: 1.) znížením spotreby zámesovej vody a 2.) zvýšením počiatkových pevností v ťahu pri ohybe a v tlaku mált. Žiadny negatívny účinok sa nespozoroval. Treba zobrať do úvahy, že superplastifikátor spôsobuje 3.) mierne až zanedbateľné spomalenie počiatku a doby tuhnutia a 4.) jemné až zanedbateľné prevzdušnenie pod 1,5 % až 0,5 % v porovnaní s maltami zhotovenými z toho istého cementu – CEM V/A-SK alebo CEM V/B-SK, avšak bez superplastifikátora. Malty s rakúskymi cementmi druhu CEM V/A a CEM V/B nepotrebujú superplastifikátor pre zlepšenie ich spracovateľnosti, ktorá je na úrovni porovnateľnej s referenčným CEM 32,5 R.

Ďalší dôležitý technologický parameter – alkalita samotných CEM V/A a CEM V/B cementov je podľa tabuľky 5. 1. 11 porovnateľná so zásaditosťou vodného výluhu referenčného cementu CEM I 32,5 R. Zásaditosť cementového kompozitu rozhodujúcim spôsobom determinuje ich využiteľnosť v železobetónových konštrukciách [98-100]. Stanovenie pH hodnôt vo vodnom výluhu zmesových cementov nenahradzuje cieľené korózne skúšky. Preukazuje, že alkalita vodných výluhov zmesových cementov je zrovnateľná s alkalitou referenčného CEM I cementu a indikuje možnú pasiváciu zabudovanej oceľovej výstuže. Relevantné korózne skúšky sa odporúčajú dodatočne vykonať na špecializovanom pracovisku.

Obsah vápna CaO podľa STN EN 196-2 [101] znázorňuje obrázok 5. 1. 1. Cementy druhu CEM V/ (A, B) sa vyznačujú 35,1 % až 43,3 % obsahom CaO. Nižší obsah CaO v zmesových cementoch indikuje ich zvýšenú odolnosť proti pôsobeniu prírodného agresívneho prostredia. Tento predpoklad treba preveriť skúškami chemickej odolnosti proti normovanému agresívnemu prostrediu.

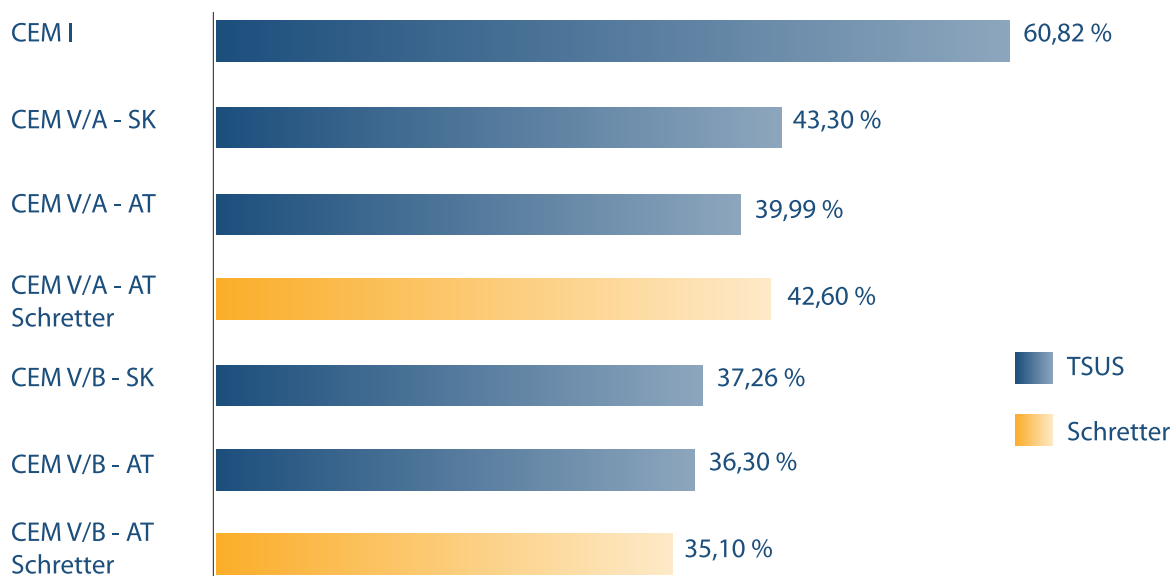
Die deutliche Verbesserung der Verarbeitbarkeit der Frischmörtel bei Verwendung von Superplastifikatoren bestätigen die Ergebnisse in der Tabelle 5. 1. 9.

Die Verwendung eines Superplastifikators verbesserte die Verarbeitbarkeit der Frischmörtel mit der Zementsorte CEM V/A-SK um etwa 30 mm und mit CEM V/B-SK um bis zu 60 mm. Die Frischmörtel indizieren eine leichte durchlüftende Wirkung des Zusatzmittels Berament 05-10.

Table 5. 1. 10 stellt die Wirkung des Superplastifikators auf den Anstieg der Festigkeit der Mörtel in Wasser dar. Seine Zugabe verursacht eine mäßige Erhöhung der 2-tägigen Biegezugfestigkeit und unter Druck. Berament 05-10 zeigt zwei entscheidende positive Wirkungen: 1.) Senkung des Bedarfs an Zuschlagwasser und 2.) Erhöhung der Anfangs-Biegezugfestigkeit und unter Druck. Es wurde keine negative Wirkung beobachtet. Es muss bedacht werden, dass der Superplastifikator 3.) eine mäßige bis zu vernachlässigende Verlangsamung des Anfangs und der Dauer der Erstarrung zeigt und 4.) eine leichte bis zu vernachlässigende Durchlüftung unter 1,5 % bis 0,5 % im Vergleich zu Mörtel aus dem gleichen Zement – CEM V/A-SK oder CEM V/B-SK, allerdings ohne Superplastifikator.

Mörtel mit den österreichischen Zementsorten CEM V/A und CEM V/B brauchen keinen Superplastifikator für die Verbesserung ihrer Verarbeitbarkeit, die mit dem Niveau des Referenzzements CEM 32,5 R vergleichbar ist.

Weitere wichtige technologische Parameter – die Alkalität der Zemente CEM V/A und CEM V/B selbst ist gemäß Tabelle 5. 1. 11 vergleichbar mit der des Wasserextrakts des Referenzzements CEM I 32,5 R. Die Basizität des Zementkomposits determinieren entscheidend ihre Nutzbarkeit in Eisenbetonkonstruktionen [98-100]. Die Festlegung der pH-Werte im Wasserextrakt der Kompositzemente ersetzt nicht gezielte Korrosionstests. Sie weist nach, dass die Alkalität der Wasserextrakte der Kompositzemente vergleichbar ist mit der Alkalität des Referenzzements CEM I und indiziert die mögliche Passivierung der eingebauten Stahlbewehrung. Es wird empfohlen, relevante Korrosionstests an einem speziellen Arbeitsplatz durchzuführen.



Obrázok 5. 1. 1 Porovnanie obsahu CaO v jednotlivých druhoch cementu (pre rakúske cementy aj konfrontácia výsledkov v laboratóriách TSÚS a SCHRETTTER)

Abbildung 5. 1. 1 Vergleich des Gehalts an CaO in einzelnen Zementsorten (für österreichische Zemente auch Konfrontation der Ergebnisse in den Laboratorien TSÚS und SCHRETTTER)

5. 1. 5 Záver

Z doterajšieho výskumu vyplývajú nasledovné parciálne závery:

1. Cementy CEM V/A (S-V) 32,5 R-SK a CEM V/B (S-P) 32,5 N-SK sa vyznačujú zvýšenou spotrebou zámesovej vody oproti referenčnému cementu CEM I 32,5 R. Tento nedostatok sa odstráni použitím superplastifikátora na polykarboxylátovej báze. Spracovateľnosť čerstvej malty so superplastifikátorom Berament 05-10 je lepšia ako spracovateľnosť malty bez ich použitia.
2. Rakúske cementy CEM V/A a CEM V/B nepotrebujú aplikáciu superplastifikátora. Spracovateľnosť čerstvej malty je s nimi rovnaká ako u malty zhotovenej z referenčného cementu CEM I 32,5 R.
3. Nárast pevností mált zhotovených z cementu CEM V/A 32,5 R a CEM V/B 32,5 N je pomalší do 2. dňa uloženia vo vode v porovnaní s CEM I 32,5 R. Už po 7 dňoch vodného ošetrovania je pevnosť v tlaku malty s cementom CEM V/A 32,5 R porovnateľná ako malty s CEM I 32,5 R, v neskoršom veku malty aj vyššia. Pri rovnakej dobe a spôsobe uloženia a ošetrovania (28-90 dní) sa malty s cementom CEM V/B vyznačujú trvale

Gehalt an CaO gemäß STN EN 196-2 [101] ist in **Abbildung 5. 1. 1** dargestellt. Die Zementsorte CEM V/ (A, B) ist durch einen Gehalt von 35,1 % bis 43,3 % an CaO gekennzeichnet. Der geringere Gehalt an CaO in den Kompositzementen indiziert ihre erhöhte Beständigkeit gegen die Einwirkung eines aggressiven Umfelds. Diese Voraussetzung muss durch Prüfungen der chemischen Beständigkeit gegen ein normiertes aggressives Umfeld überprüft werden.

5. 1. 5 Zusammenfassung

Aus der bisherigen Forschung ergeben sich folgende partielle Schlüsse:

1. Die Zemente CEM V/A (S-V) 32,5 R-SK und CEM V/B (S-P) 32,5 N-SK sind durch den erhöhten Bedarf an Zuschlagwasser gegenüber dem Referenzzement CEM I 32,5 R gekennzeichnet. Dieser Mangel wird durch die Zugabe eines Superplastifikators auf Polycarboxylatbasis beseitigt. Die Verarbeitbarkeit der Frischmörtel mit dem Superplastifikator Berament 05-10 ist besser als die Verarbeitbarkeit der Mörtel ohne dessen Verwendung.
2. Die österreichischen Zemente CEM V/A und CEM V/B erfordern keine Verwendung eines Superplastifikators. Die Verarbeitbarkeit der Frischmörtel aus ihnen entspricht dem Mörtel aus dem Referenzzement CEM I 32,5 R.
3. Der Anstieg der Festigkeit der Mörtel aus dem Zement CEM V/A 32,5 R und CEM V/B 32,5 N ist bis zum 2 Tag in Wasser langsamer als bei CEM I 32,5 R. Bereits nach 7 Tagen der Wasserbehandlung ist die Druckfestigkeit der Mörtel mit dem Zement CEM V/A 32,5 R vergleichbar mit dem Mörtel aus CEM I 32,5 R, bei höherem Alter des Mörtels auch größer. Bei gleicher Dauer und Art der Behandlung



zniženou pevnosťou v tlaku, ktorá je však postačujúca pre konštrukčný betón.

4. Aplikácia efektívneho superplastifikátora v cementovej malte vyvoláva popri zlepšenej spracovateľnosti čerstvej malty s cementom CEM V/A (S-V) 32,5 R-SK a CEM V/B (S-P) 32,5 N-SK druhu aj intenzívnejší nárast ich pevností. Tento pozitívny účinok sa prejavuje najmä pri 2 a tiež 7 dňových pevnostiach. Po 28 dňoch ošetrovania vo vode sa pevnosti v tlaku malty s cementom CEM V/A a CEM V/B druhu za použitia superplastifikátora zvyšujú až o 4,5 MPa pre CEM V/A (S-V) 32,5 R-SK a o 4,0 MPa pre CEM V/B (S-P) 32,N v porovnaní s pevnosťami rovnakých mált, ale zhotovených bez prísady Berament 05-10.
5. Hodnoty pH vodného výluhu všetkých zmesových cementov na úrovni $\text{pH} > 12$ indikujú priaznivé podmienky pre pasiváciu ocelevej výstuže v betóne. Nenahradzujú samotné korózne skúšky, ktoré sa musia dodatočne vykonať.
6. Nižší obsah CaO v zmesových cementoch oproti referenčnému indikuje ich zlepšenú odolnosť proti chemickému pôsobeniu prírodného agresívneho prostredia.

(28-90 Tage) des Mörtels mit dem Zement CEM V/B zeigt sich eine dauerhaft gesenkte Druckfestigkeit, die allerdings für Konstruktionsbeton ausreichend ist.

4. Die Anwendung eines effektiven Superplastifikators im Zementmörtel ruft neben der Verbesserung der Verarbeitbarkeit der Frischmörtel mit den Zementsorten CEM V/A (S-V) 32,5 R-SK und CEM V/B (S-P) 32,5 N-SK auch einen intensiveren Anstieg ihrer Festigkeit hervor. Diese positive Wirkung zeigt sich insbesondere bei der 2- und auch bei der 7-tägigen Festigkeit. Nach 28 Tagen Behandlung im Wasser erhöht sich die Druckfestigkeit der Mörtel mit der Zementsorte CEM V/A und CEM V/B bei Verwendung eines Superplastifikators um bis zu 4,5 MPa für CEM V/A (S-V) 32,5 R-SK und um 4,0 MPa für CEM V/B (S-P) 32,N im Vergleich mit der Festigkeit gleicher Mörtel, denen aber kein Berament 05-10 zugesetzt wurde.
5. Die pH-Werte der Extrakte aller Kompositzemente auf dem Niveau $\text{pH} > 12$ indiziert günstige Bedingungen für die Passivierung der Stahlbewehrung im Beton. Sie ersetzt die Korrosionstests selbst nicht, die zusätzlich durchgeführt werden müssen.
6. Der geringe CaO-Gehalt in den Kompositzementen gegenüber dem Referenzzement indiziert deren bessere Beständigkeit gegen chemische Einwirkungen eines natürlichen aggressiver Umgebung.

5.2 Porovnanie puzolánovej aktivity popolčeka, vysokopecnej trosky a prírodného zeolitu použitých ako prímеси do cementov

Časť 5. 2 popisuje chemické zloženie prímеси použitých v slovenských druhoch cementu CEM V/A a CEM V/B a určuje ich puzolánovú aktivitu Frattiniho skúškou. Puzolánová aktivita sa definuje schopnosťou prímеси väzať na seba vápno CaO. Táto vlastnosť je dôležitá pri hydratačnom procese pretože puzolánové prímеси v súčinnosti s hydratujúcim cementom zlepšujú kvalitatívne vlastnosti hydratovanej fázy v betóne, prispievajú k zjemňovaniu vytvorenej pórovej štruktúry a následne k znižovaniu priepustnosti betónu.

5.2.1 Úvod

Puzolánová aktivita prímеси má podstatný význam pre ich aplikáciu v betóne. To sa týka najmä cementov druhu CEM V/A a CEM V/B s vysokým zastúpením puzolánov v zložení zmesového cementu.

5.2.2 Experimentálne metódy a postupy skúšania

5.2.2.1 Materiály

Na preukázanie puzolánovej aktivity slúžili prímеси použité pri výrobe zmesových druhov cementu CEM V/A (S-V) 32,5 R a CEM V/B (S-P) 32,5 N slovenského pôvodu. Chemické zloženie prešetrovaných prímеси aplikovaných v slovenských druhoch cementu CEM V/A a CEM V/B sa prezentuje v tabuľke 5.2.1. Rakúske prímеси neboli pre tieto skúšky dodané.

5.2.2.2 Použité metódy

Chemický rozbor prímеси sa vykonal podľa normy STN EN 196-2 [101]. Puzolánová aktivita sa určila Frattiniho skúškou, ktorej podstatou je stanovenie obsahu vápna CaO

Tabuľka 5.2.1 Chemické zloženie slovenských puzolánových prímеси

Tabelle 5.2.1 Chemische Zusammensetzung der slowakischen Puzzolanzusätze

Zložka (%) / Inhaltsstoff (%)	Použitá prímесь / Verwendeter Zusatzstoff		
	Zeolit / Zeolith	Popolček / Flugasche	vysokopecná troska / Hüttensand
SiO ₂	61,40	57,84	41,20
Al ₂ O ₃	11,50	17,91	6,22
Fe ₂ O ₃	1,41	7,43	0,48
CaO	3,47	4,15	37,19
MgO	4,25	6,30	10,06
SO ₃	3,26	2,56	2,83
Na ₂ O	1,31	1,44	1,42
K ₂ O	1,57	1,27	0,43
Strata žíhaním / Abbrandschwund	12,17	1,07	0,04

5.2 Vergleich der Puzzolanaktivität von Flugasche, Hüttensand und natürlichem Zeolith, die als Zusatzstoffe für Zemente verwendet werden

Der Teil 5.2 beschreibt die chemische Zusammensetzung der Zusätze in den slowakischen Zementarten CEM V/A und CEM V/B und bestimmt deren Puzzolanaktivität durch den Frattini-Test. Die Puzzolanaktivität wird durch die Fähigkeit der Zusätze, Kalk CaO an sich zu binden, definiert. Diese Eigenschaft ist wichtig beim Hydrationsprozess, weil die Puzzolanzusätze unter Mitwirkung des hydratierenden Zements die qualitativen Eigenschaften der Hydrationsphasen im Beton verbessern, zur Verfeinerung der gebildeten Porenstruktur beitragen und anschließend zum Sinken der Durchlässigkeit des Betons.

5.2.1 Einleitung

Die Puzzolanaktivität der Zusätze hat eine wesentliche Bedeutung für ihre Verwendung im Beton. Dies betrifft insbesondere die Zementarten CEM V/A und CEM V/B mit hoher Vertretung von Puzzolanen in der Zusammensetzung des Kompositzements.

5.2.2 Experimentelle Methoden und Prüfverfahren

5.2.2.1 Materialien

Zum Nachweis der Puzzolanaktivität dienten die Zusätze, die bei der Herstellung der Kompositzementart CEM V/A (S-V) 32,5 R und CEM V/B (S-P) 32,5 N slowakischer Herkunft verwendet wurden. Die chemische Zusammensetzung der untersuchten Zusätze, die in den slowakischen Zementarten CEM V/A und CEM V/B verwendet wurden, werden in der Tabelle 5.2.1 präsentiert. Österreichische Zusätze wurden für diese Tests nicht geliefert.

5.2.2.2 Angewendete Methoden

Die chemische Analyse der Zusätze erfolgte gemäß der Norm STN EN 196-2 [101]. Die Puzzolanaktivität wurde mit

z presýteného roztoku hydroxidu vápenatého Ca(OH)_2 pri teplote 40°C v čase trvania skúšky 1, 7 a 28 dní. Puzolánová aktivita sa určuje obsahom CaO v milimóloch na jeden liter presýteného roztoku (mM/l), ktorý sa viaže na jednotkové množstvo puzolánu. Roztok sa počas skúšky udržiava pri 40°C v tesne uzatvorených plastových nádobách. Pre zjednodušenie sa puzolánová aktivita uvádza aj v percentách viazaného CaO . Prímesi sa pre skúšky chemickej analýzy a stanovenia puzolánovej aktivity pripravujú ako suché prášky s jemnosťou $< 63 \mu\text{m}$.

5. 2. 2. 3 Výsledky a diskusia

Puzolánovú aktivitu slovenských prímiesí v zmesových cementoch druhu CEM V/A a CEM V/B znázorňuje obrázok 5. 2. 1 a tabuľka 5. 2. 2.

Porovnanie troch prímiesí dokumentuje najväčší podiel viazaného CaO v každom čase pri použití zeolitu, ktorý potvrdzuje až 97% účinnosť viazania CaO po 28 dňoch Frattiniho

dem Frattini-Testu, ktorým sa určuje obsah CaO v milimóloch na jeden liter presýteného roztoku (mM/l), ktorý sa viaže na jednotkové množstvo puzolánu. Roztok sa počas skúšky udržiava pri 40°C v tesne uzatvorených plastových nádobách. Pre zjednodušenie sa puzolánová aktivita uvádza aj v percentách viazaného CaO . Prímesi sa pre skúšky chemickej analýzy a stanovenia puzolánovej aktivity pripravujú ako suché prášky s jemnosťou $< 63 \mu\text{m}$.

5. 2. 2. 3 Ergebnisse und Diskussionen

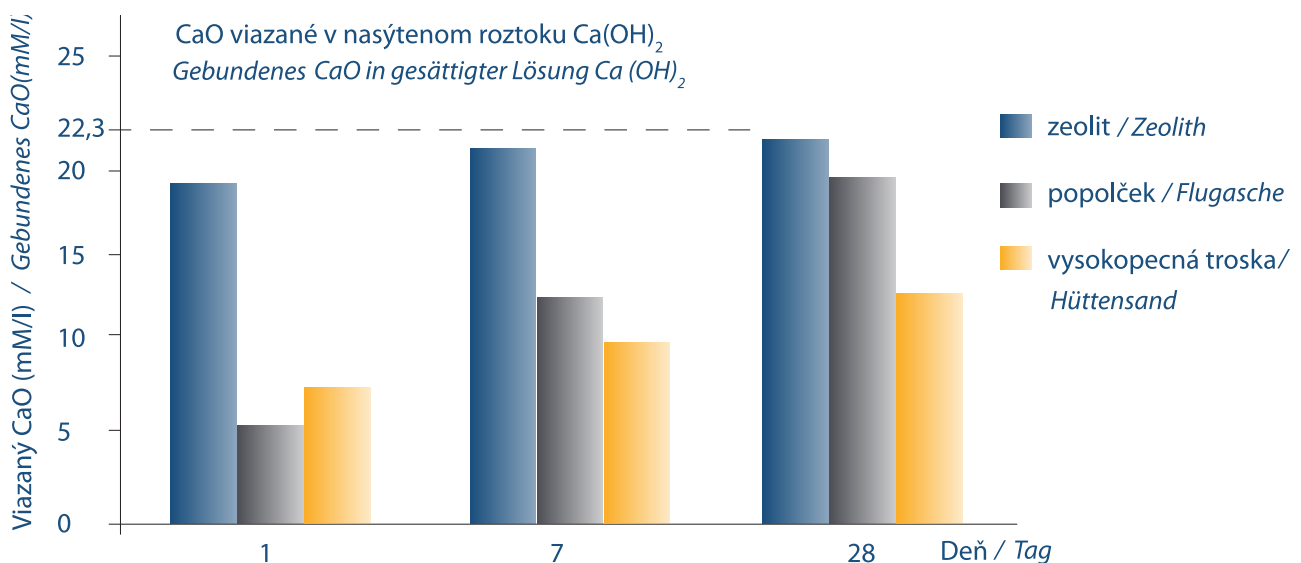
Die Puzolanaktivität der slowakischen Zusätze in den Kompositzementsorten CEM V/A und CEM V/B stellen Abbildung 5. 2. 1 und Tabelle 5. 2. 2 dar.

Der Vergleich der drei Zusätze dokumentiert den größten Anteil an gebundenem CaO zu jeder Zeit unter Verwendung von Zeolith, der die bis zu 97 % Wirksamkeit der Bindung von

Tabuľka 5. 2. 2 Puzolánová aktivita prímiesí v slovenských cementoch druhu CEM V/A a CEM V/B vyjadrená v mM/liter ako aj v % (údaje v zátvorkách)

Tabelle 5. 2. 2 Puzolanaktivität der Zusatzstoffe im slowakischen Zement CEM V/A und CEM V/B, ausgedrückt in mM/Liter sowie in % (Angaben in Klammern)

Puzolán aplikovaný v slovenskom cemente druhu CEM V/ (A, B) / Verwendete Zusatzstoffe für die CEM V (A, B) - Zemente	CaO viazaný puzolánom v mM/liter a v (%) v nasýtenom roztoku Ca(OH)_2 / Durch puzolanische Zusatzstoffe gebundenes CaO in mM/Liter und (%) in gesättigter Ca(OH)_2 - Lösung		
	1 deň / 1 Tag	7 dní / 7 Tage	28 dní / 28 Tage
zeolit / Zeolith	19,24 (86)	21,23 (95)	21,66 (97)
popolček / Flugasche	5,63 (25)	12,70 (57)	19,47 (87)
vysokopecná troska / Hüttensand	7,54 (34)	10,42 (47)	12,80 (57)



Obrázok 5. 2. 1 Puzolánová aktivita slovenských prímiesí použitých v cementoch druhu CEM V/A a CEM V/B
Abbildung 5. 2. 1 Puzolanaktivität der slowakischen Zusatzstoffe in den slowakischen Zementsorten CEM V/A und CEM V/B

skúšky. Najnižšiu puzolánovú aktivitu ukazuje vysokopecná troska s najnižším zastúpením SiO_2 a Al_2O_3 .

5. 2. 3 Záver

Z vykonaného výskumu možno odvodiť tieto parciálne závery:

1. Všetky tri prímеси sa vyznačujú puzolánovou aktivitou využiteľnou pri styku s cementom počas jeho hydratácie.
2. Obsah oxidu kremičitého a hlinitého po chemickej stránke rozhodujúcim spôsobom determinujú puzolánovú aktivitu prímеси.

CaO nach 28 Tagen laut Frattini-Test bestätigt. Die niedrigste Puzzolanaktivität zeigt Hüttensand mit der geringsten Vertretung von SiO_2 und Al_2O_3 .

5. 2. 3 Zusammenfassung

Aus der durchgeführten Forschung können diese partiellen Schlüsse gezogen werden:

1. Alle drei Zusätze weisen eine Puzzolanaktivität auf, die für den Kontakt mit dem Zement während seiner Hydratation nutzbar ist.
2. Der Gehalt an Siliciumdioxid und Aluminiumdioxid determiniert auf chemischer Seite entscheidend die Puzzolanaktivität des Zusatzes.

5.3 Návrh optimálneho zloženia čerstvého betónu a stanovenie reologických vlastností čerstvých betónov

Časť 5.3 venuje pozornosť návrhu optimálneho zloženia betónových receptúr za použitia cementu druhu CEM V/A a CEM V/B. Tento cieľ sa dosiahol cieleným laboratórnym nastavovaním jednotlivých zložiek v receptúre betónov. Takto sa pripravilo 30 receptúr, z ktorých sa pre ďalšie skúšky použilo 5 vybraných už konečných receptúr.

5.3.1 Úvod

Kvalitu betónu špecifikuje jeho receptúra, ďalej determinuje spôsob jeho výroby, ukladania, počiatočného ošetrovania a technologická disciplína počas výroby, transportu, dodržiavanie správnych podmienok či opatrení pri a po jeho uložení v konštrukcii [102,103,104]. Berúc do úvahy tieto faktory a získané teoretické znalosti z problematiky zmesových cementov [105] sa receptúry betónov špecifikovali tak, aby boli navzájom porovnateľné podľa ich zloženia a reologických vlastností v čerstvom stave (spracovateľnosť čerstvého betónu, objemová hmotnosť a obsah vzduchu).

5.3.2 Experimentálne metódy a postupy skúšania

5.3.2.1 Materiály

Cementy použité pre zhotovenie betónových vzoriek popisuje článok 5.1.4.1 Materiály. Aplikovaný superplastifikátor na polykarboxylátovej báze sa predstavuje v **časti 5.1**.

Na výrobu betónov bolo ako plnivo použité prírodné kamenivo – frakcia: 0/4 mm, 4/8 mm a 8/16 mm z lokality Vysoká pri Morave. Kamenivo sa získava v procese triedenia a premývania (bez zaradenia drviaceho zariadenia) suroviny – štrkopiesok (naplaveniny rieky Morava, geologické obdobie štvrtohory). Pre dané ložisko je charakteristická prevládajúca zložka medzi úlomkami hornín a minerálov kremeň a výraznejšie zastúpenie má aj kremenec. Surovina má charakter kremenného štrku.

Na základe vykonaných a predložených počiatočných skúšok typu a výsledkov plánovaných skúšok kamenivo spĺňa požiadavky STN EN 12620 + A1 [121].

Pre účely výroby čerstvého betónu sa zohľadnili požiadavky STN EN 206-1: 2002/NA: 2009 – t. j. výsledné zloženie zmesi kameniva (čiara zrnitosti - optimalizácia) sa navrhlo podľa požiadaviek prílohy L citovanej normy pre max. zrno kameniva $D_{max} = 16$ mm.

5.3 Vorschlag zur optimalen Zusammensetzung von Frischbeton und Festlegung der rheologischen Eigenschaften von Frischbeton

Der Teil 5.3 ist dem Vorschlag zur optimalen Zusammensetzung von Betonrezepturen unter Verwendung der Zementsorte CEM V/A und CEM V/B gewidmet. Dieses Ziel wurde durch die gezielte Laboratoriumseinstellung der einzelnen Inhaltsstoffe der Betonrezeptur erreicht. So wurden 30 Rezepturen vorbereitet, von denen 5 für weitere Tests als Endrezepturen ausgewählt wurden.

5.3.1 Einleitung

Die Betonqualität wird durch die Rezeptur spezifiziert, determiniert von der Art seiner Herstellung, Verarbeitung, der Anfangsbehandlung und der technologischen Disziplin während der Herstellung und des Transports, sowie von der Einhaltung der richtigen Bedingungen oder Maßnahmen bei und nach seiner Verarbeitung in der Konstruktion [102,103,104]. Diese Faktoren und erlangte theoretische Kenntnisse aus der Problematik der Kompositzemente [105] bedenkend, wurden die Betonrezepturen so spezifiziert, dass sie vergleichbar sind bezüglich ihrer Zusammensetzung und rheologischen Eigenschaften im frischen Zustand: Verarbeitbarkeit der frischen Betonmischung, Volumengewicht und Luftgehalt.

5.3.2 Experimentelle Methoden und Prüfverfahren

5.3.2.1 Materialien

Die verwendeten Zemente für die Herstellung der Betonprüfkörper beschreibt der Artikel 5.1.4.1 Materialien. Den verwendeten Superplastifikator auf Polycarboxylatbasis stellt **Teil 5.1** dar.

Für die Herstellung von Beton wurde als Füllstoff eine natürliche Gesteinskörnung verwendet – Fraktionen: 0/4 mm, 4/8 mm und 8/16 mm vom Standort Vysoká pri Morave. Die Gesteinskörnung wird im Prozess der Sortierung und Auswaschung (ohne Zerkleinerungsanlage) des Rohstoffs – Kiessand (Anschwemmungen des Flusses March, geologischer Zeitraum Anthropozoikum) gewonnen. Für die betreffende Lagerstätte ist der überwiegende Inhaltsstoff zwischen den Bruchstücken der Gesteine und Mineralien charakteristisch und eine deutlichere Vertretung hat auch Quarzstein. Der Rohstoff hat den Charakter von Quarzkies.

Auf der Grundlage der ausgeführten und vorgelegten Anfangsprüfungen und Ergebnisse der geplanten Prüfungen dieses Produkte und der Ergebnisse der geplanten Prüfungen der Gesteinskörnung werden die Anforderungen der STN EN 12620 + A1 [121]- Gesteinskörnungen für Beton - und die aktuelle nationale Vorschrift bezüglich der Anwesenheit gefährlicher Stoffe (Verordnung des Gesundheitsministeriums der SR Nr. 528/2007 Slg., durch die Details der Anforderungen an die Begrenzung von Strahlung durch natürliche Strahlung festgelegt werden) erfüllt.

Für die Zwecke der Herstellung von Frischbeton wurden die Anforderungen der STN EN 206-1: 2002/NA: 2009 – beachtet, d. h., die endgültige Zusammensetzung der Gesteinskörnung (Körnigkeit - Optimierung) erfolgte nach den Anforderungen der Anlage L der zitierten Norm für max. Korn der Gesteinskörnung von $D_{max} = 16$ mm.

5. 3. 2 Použité metódy

Konzistencia čerstvého betónu sadnutím kužeľa sa stanovila podľa STN EN 12350-2 [106], jeho objemová hmotnosť podľa STN EN 12350-6 [107] a obsah vzduchu v čerstvej zmesi podľa STN EN 12350-7 [108].

5. 3. 2. 3 Výsledky a diskusia

Tabuľka 5. 3. 1 prezentuje konečné receptúry betónu s cementmi druhu CEM I 32,5 R, CEM V/A (S-V) 32,5 R – AT a CEM V/B (S-V) 32,5 N – AT. Zloženie betónu s cementom CEM V/A (S-V) 32,5 R-SK a CEM V/B (S-P) 32,5 N-SK dokumentujú tabuľky 5. 3. 2 a 5. 3. 3.

Pre vzájomnú porovnateľnosť výsledkov sa pri výrobe betónov rešpektovali tieto pravidlá:

- 1.) rovnaký obsah cementu – 370 kg/m³;
- 2.) rovnaké percentuálne zastúpenie frakcií kameniva toho istého pôvodu (riečne naplaveniny) - 0/4 mm: 710 kg/m³, 4/8 mm: 420 kg/m³ a 8/16 mm: 695 kg/m³;
- 3.) vodný súčiniteľ 0,475 (CEM I, CEM V/A - AT a CEM V/B - AT), 0,476 (CEM V/A -SK), 0,464 (CEM V/B -SK) za použitia superplastifikátora Berament 05-10 (založený na polykarboxylátová báze, 27 % sušiny, hustota 1018 kg/m³). Použitie superplastifikátora je nevyhnutné na zlepšenie spracovateľnosti čerstvého betónu so slovenskými cementmi druhu CEM V/ (A, B) na úroveň rakúskych a referenčného CEM

5. 3. 2. 2 Verwendete Methoden

Die Konsistenz des frischen Betonkegels wurde nach STN EN 12350-2 [106] festgelegt, sein Volumengewicht nach STN EN 12350-6 [107] und der Luftgehalt in der Frischmischung nach STN EN 12350-7 [108].

5. 3. 2. 3 Ergebnisse und Diskussionen

Tabelle 5. 3. 1 präsentiert die Endrezeptur für Beton mit den Zementarten CEM I 32,5 R, CEM V/A (S-V) 32,5 R – AT und CEM V/B (S-V) 32,5 N – AT. Die Zusammensetzung des Betons mit dem Zement CEM V/A (S-V) 32,5 R-SK und CEM V/B (S-P) 32,5 N-SK dokumentieren die Tabellen 5. 3. 2 und 5. 3. 3.

Für die gegenseitige Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurden bei der Herstellung diese Regeln respektiert:

- 1.) gleicher Zementgehalt – 370 kg/m³;
- 2.) gleiche prozentuale Vertretung der Fraktionen der Gesteinskörnung des gleichen Ursprungs (Flussanschwemmungen) - 0/4 mm: 710 kg/m³, 4/8 mm: 420 kg/m³ a 8/16 mm: 695 kg/m³;
- 3.) Wasserzementwert 0,475 (CEM I, CEM V/A - AT und CEM V/B - AT), 0,476 (CEM V/A -SK), 0,464 (CEM V/B -SK) unter Verwendung des Superplastifikators Berament 05-10 (auf Polycarboxylatbasis, 27 % Trockenmasse, Dichte 1018 kg/m³). Die Verwendung des Superplastifikators ist für die Verbesserung der Verarbeitbarkeit des Frischbetons mit der slowakischen Zementart CEM V/ (A, B) auf dem

Tabuľka 5. 3. 1 Zloženie betónu s cementmi CEM I 32,5 R, CEM V/A (S-V) 32,5 R – AT a CEM V/B (S-V) 32,5 N – AT

Tabelle . 5. 3. 1 Zusammensetzung des Betons mit den Zementen CEM I 32,5 R, CEM V/A (S-V) 32,5 R – AT und CEM V/B (S-V) 32,5 N – AT

Zložka / Inhaltsstoff	Vypočítané na 1 m ³ / Berechnet für 1 m ³
Cement / Zement	370 kg
Voda / Wasser	176 l
Vodný súčiniteľ / Wasserzementwert	0,475
Kamenivo 0/4 mm / Gesteinskörnung 0/4 mm	710 kg
Kamenivo 4/8 mm / Gesteinskörnung 4/8 mm	420 kg
Kamenivo 8/16 mm / Gesteinskörnung 8/16 mm	695 kg

Tabuľka 5. 3. 2 Zloženie betónu s cementom CEM V/A (S-V) 32,5 R – SK

Tabelle 5. 3. 2 Zusammensetzung des Betons mit dem Zement CEM V/A (S-V) 32,5 R – SK

Zložka / Inhaltsstoff	Vypočítané na 1 m ³ / Berechnet für 1 m ³
Cement / Zement	370 kg
Voda / Wasser	176 l
Berament 05 - 10	737,5 ml (537,5 ml H ₂ O)
Vodný súčiniteľ / Wasserzementwert	0,477
Kamenivo 0/4 mm / Gesteinskörnung 0/4 mm	710 kg
Kamenivo 4/8 mm / Gesteinskörnung 4/8 mm	420 kg
Kamenivo 8/16 mm / Gesteinskörnung 8/16 mm	695 kg

Tabuľka 5. 3. 3 Zloženie betónu s cementom CEM V/B (S-P) 32,5 N – SK

Tabelle 5. 3. 3 Zusammensetzung des Betons mit dem Zement CEM V/B (S-P) 32,5 N – SK

Zložka / Inhaltsstoff	Vypočítané na 1 m ³ / Berechnet für 1 m ³
Cement / Zement	370 kg
Voda / Wasser	176 l
Berament 05 - 10	2400 ml (1752 ml H ₂ O)
Vodný súčiniteľ / Wasserzementwert	0,464
Kamenivo 0/4 mm / Gesteinskörnung 0/4 mm	710 kg
Kamenivo 4/8 mm / Gesteinskörnung 4/8 mm	420 kg
Kamenivo 8/16 mm / Gesteinskörnung 8/16 mm	695 kg

I 32,5 R. Tabuľka 5. 3. 4 znázorňuje základné vlastnosti čerstvých betónov prichystaných na následnú verifikáciu ich technicky významných vlastností.

5. 3. 3 Záver

Konzistencia čerstvého betónu sadnutím kužela bola 40-50 mm pri rovnakom obsahu každého cementu, rovnakom zastúpení kameniva a vodnom súčnitieli 0,464 až 0,475. Rozdiely v obsahu zámesovej vody možno považovať za zanedbateľné. Takto reologicky nastavené betóny s rôznymi druhmi cementu sa považujú za plne porovnateľné a vhodné pre stanovenie technicky významných vlastností zatvrdnutých betónov.

Niveau des österreichischen und des Referenzzements CEM I 32,5 R erforderlich. Tabelle 5.3.4 stellt die Grundeigenschaften des Frischbetons laut anschließender Verifikation ihrer technisch bedeutenden Eigenschaften dar.

5. 3. 3 Zusammenfassung

Die Betone zeichnen sich durch eine Konsistenz der frischen Mischung von 40-50 mm des Kegels bei gleichem Gehalt jedes Zements, gleicher Vertretung von Gesteinskörnung und wirksamem Wassergehalt von 0,464 bis 0,475 aus. Die Unterschiede beim Gehalt an Zuschlagwasser können vernachlässigt werden. Die so rheologisch eingestellten Betone mit verschiedenen Zementsorten gelten als vollständig vergleichbar und geeignet für die Festlegung technisch bedeutender Eigenschaften erhärteter Betone.

Tabuľka 5. 3. 4 Vlastnosti čerstvých betónov podľa jednotlivých cementov
Tabelle 5. 3. 4 Eigenschaften des Frischbetons nach einzelnen Zementen

Druh betónu / Betonart	Berament 05 – 10 (% hmot. /cement) / Berament 05 – 10 (% Gew. /Zement)	Konzistencia (Abrams) (mm) / Konsistenz (Abrams) (mm)	Objemová hmotnosť (kg/m ³) / Volumen- gewicht (kg/m ³)	Obsah vzduchu (% obj.) / Luftgehalt (% Vol.)
CEM I 32,5 R	0,00	50	2283	3,6
CEM V/A (S-V) 32,5 R - SK	0,20	40	2303	2,6
CEM V/A (S-V) 32,5 R - AT	0,00	40	2322	2,0
CEM V/B (S-P) 32,5 N - SK	0,65	50	2190	4,8
CEM V/B (S-V) 32,5 N - AT	0,00	45	2306	2,3



5.4 Stanovenie dôležitých technicky významných vlastností betónov

Časť 5.4 špecifikuje úžitkové vlastnosti betónov ošetrovaných 2 až 365 dní vo dvoch limitných uloženiach – vo vode a vzduchu s 60 % relatívnou vlhkosťou pri teplote (20 ± 1) °C. Overili sa pevnostné, pružné a deformačné charakteristiky betónov, stanovili sa hodnoty nasiakavosti a nepriepustnosti proti tlakovej vode v čase a verifikovala sa ich odolnosť proti striedavému zmrazovaniu a rozmrazovaniu. **Časť 5.4** je rozdelená na dve samostatné časti. Prvá časť je zameraná na ročné skúšky betónov realizovaných v TSÚS, n. o., Bratislava podľa normovaných postupov. V druhej časti zastrešenej BOKU-IKI dominuje problematika vzniku a ďalšieho šírenia trhlin betónov pod zatažením. Všetky vykonané skúšky na dvoch úzko spolupracujúcich pracoviskách (TSUS a BOKU-IKI) predstavujú dôležité poznatky pre charakterizáciu technicky významných vlastností betónov zhotovených z cementu druhu CEM V/A a CEM V/B.

5.4.1 Úvod

Kvalita betónu závisí - okrem iných materiálových a technologických faktorov - rozhodujúcim spôsobom od druhu a množstva použitého cementu. Po styku s vodou cement hydratuje za vzniku rôzneho a rôznorodého množstva hydratačných produktov podľa podmienok, ktorým je betónový prvok vystavený. Rozhodujúcu úlohu predstavuje počiatočný stav hydratácie cementu a úložné podmienky čerstvo vyrobeného betónu. V tesnej nadväznosti na tvorbe hydratačných produktov vzniká pórová štruktúra (množstvo, veľkosť a tvar pórov), od ktorej spolu s vytvorenou hydratačnou fázou závisia mechanické vlastnosti betónu, jeho trvanlivosť a tým životnosť celej konštrukcie. Samotnú hydratáciu cementu a tvorbu pórovej štruktúry ovplyvňujú aj prímеси a prísady. Prímеси a prísady, pridané k cementu, zlepšujú jednak technicky významné vlastnosti betónu (pevnosti, moduly pružnosti, zmrašťovanie), jednak chemickú odolnosť proti agresívnym vplyvom chemickej a fyzikálnej povahy (odolnosť proti zmrazovaniu a rozmrazovaniu, dynamicky sa opakujúca záťaž, obrusovzdornosť a pod).

Technicky významné vlastnosti betónu, ktoré sú dôležité pre jeho zabudovanie do konštrukcie teda odrážajú kvantitu a kvalitu v ňom vytvorenej hydratovanej fázy. Z toho dôvodu dôkladné prešetrenie fyzikálno-mechanických parametrov betónu normovanými postupmi znamená nevyhnutnú podmienku pre následné rozhodnutie o jeho aplikačných možnostiach v stavebnej praxi.

5.4.2 Experimentálne metódy a postupy skúšania

5.4.2.1 Materiály

Skúšky sa vykonali s materiálmi špecifikovanými v 5.1.2.1 a 5.3.2.1.

5.4 Festlegung wichtiger technischer Eigenschaften des Betons

Der Teil 5.4 spezifiziert die Nutzeigenschaften des Betons, der 2 bis 365 Tage in zwei limitierten Medien eingelegt wurde – in Wasser und Luft mit 60 % relativer Feuchte bei einer Temperatur von (20 ± 1) °C. Es wurde die Charakteristik von Festigkeit, die Elastizität und Deformierung des Betons überprüft, es wurden die Werte des Eindringens und der Durchlässigkeit gegen Druckwasser in der Zeit festgestellt und ihre Beständigkeit gegen wechselnde Einwirkung von Frieren und Auftauen verifiziert. **Teil 5.4** ist in zwei selbstständige Teile unterteilt. Der erste Teil ist auf die jährliche Prüfung des Weltraums im TSÚS, n. o., Bratislava nach normierten Verfahren ausgerichtet. Im zweiten Teil BOKU-IKI dominiert die Problematik der Entstehung und weiteren Ausbreitung von Rissen im Beton unter Belastung. Alle durchgeführten Tests an beiden eng zusammenarbeitenden Arbeitsplätzen (TSUS und BOKU-IKI) stellen wichtige Erkenntnisse für die Charakterisierung der technisch bedeutenden Eigenschaften des Betons aus der Zementsorte CEM V/A und CEM V/B dar.

5.4.1 Einleitung

Die Qualität des Betons hängt - außer von anderen Material- und technologischen Faktoren - entscheidend von der Art und Menge des verwendeten Zements ab. Nach dem Kontakt mit Wasser hydriert der Zement unter Entstehung verschiedener und unterschiedlicher Mengen von Hydratationsprodukten je nach den Bedingungen, denen das Betonelement ausgesetzt ist. Eine entscheidende Aufgabe ist der Anfangszustand der Hydratation des Zements und die Verlegungsbedingungen des frisch hergestellten Betons. In enger Anlehnung an die Bildung von Hydratationsprodukten entsteht die Porenstruktur (Menge, Größe und Form der Poren), von der zusammen mit der gebildeten mit Hydratationsphase die mechanischen Eigenschaften des Betons, seine Lebensdauer und damit die Lebensdauer der gesamten Konstruktion abhängen. Die Hydratation des Zements selbst und die Bildung der Porenstruktur werden auch von Zusatzmitteln und Zusatzstoffen beeinflusst. Zusatzmittel und Zusatzstoffe, die dem Zement zugesetzt werden, verbessern einerseits technisch bedeutende Eigenschaften des Betons (Festigkeit, Elastizitätsmodule, Schrumpfung) und andererseits die chemische Beständigkeit gegen chemischen und physikalischen aggressiven Einfluss (Beständigkeit gegen Frieren und Auftauen, sich wiederholende dynamische Belastung, Abriebbeständigkeit u. Ä.).

Die technisch bedeutenden Eigenschaften des Betons, die für seine Verwendung in Konstruktionen wichtig sind, spiegeln daher die Quantität und Qualität der darin gebildeten wie Hydratationsphase wider. Aus diesem Grund bedeutet die gründliche Überprüfung der physikalisch-mechanischen Parameter des Betons durch normierte Verfahren eine unerlässliche Bedingung für die anschließende Entscheidung über seine Verwendungsmöglichkeiten in der Baupraxis.

5.4.2 Experimentelle Methoden und Prüfverfahren

5.4.2.1 Materialien

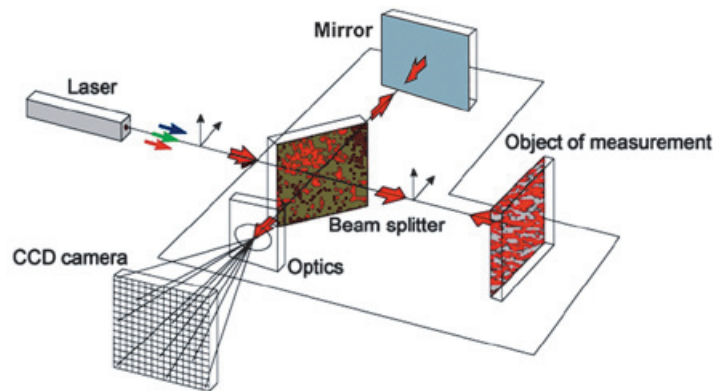
Die Prüfungen erfolgten mit den Materialien, die im 5.1.2.1 und 5.3.2.1 angegeben sind.

5. 4. 2 Použité metódy

Betónové vzorky sa zhotovili podľa STN EN 12390-2 [109]. Objemová hmotnosť zatvrdnutých vzoriek sa stanovila prostredníctvom STN EN 12390-7: 2011 [110] a dynamický modul pružnosti na vzorkách 100x100x400 mm podľa STN 73 1371 [111]. Statický modul pružnosti betónu a pevnosť v tlaku na trámoch 100x100x400 mm sa zistili podľa STN ISO 6784 [112]. Pevnosť v tlaku na kockách 150x150x150 mm betónov sa určila normovaným postupom definovaným v STN EN 12390-3 [113]. Nasiakavosť sa zmerala na kockách 150x150x150 mm

5. 4. 2 Verwendete Methoden

Die Betonversuchskörper wurden gemäß STN EN 12390-2 [109] hergestellt. Das Volumengewicht der gehärteten Versuchskörper wurde mittels STN EN 12390-7: 2011 [110] festgelegt und das dynamische Elastizitätsmodul (100x100x400 mm) gemäß STN 73 1371 [111]. Das statische Elastizitätsmodul des Betons und die Druckfestigkeit der Versuchskörper (100x100x400 mm) wurde gemäß STN ISO 6784 [112] festgestellt. Die Würfel-Druckfestigkeit (150x150x150 mm) des Betons wurde durch ein normiertes



Obrázok 5. 4. 1 Spôsob funkčnosti interferometra
Abbildung 5. 4. 1 Funktionsweise eines Interferometers

a vypočítala podľa STN 73 1316 [114]. Hĺbka presiaknutia betónu na kockách 150x150x150 mm tlakovou vodou sa determinovala podľa STN EN 12390-8 [115]. Odolnosť betónu proti striedavému cyklovaniu v režime mráz – voda sa stanovila na trámoch 100 x100 x 400 mm podľa STN 73 1322 [116]. V prípade ESPI ide o optickú, vysoko presnú, bezkontaktnú metódu merania, pomocou ktorej je možné vyšetrovanie a kvantitatívne určovanie posunu a deformácií na povrchoch materiálov (interferometrická metóda).

Metóda merania umožňuje trojrozmerné snímanie deformácií v rámci vymedzeného napätového poľa s presnosťou až 10 nm. Vlastné meranie je založené na ožiarení povrchu laserovým lúčom z niekoľkých metrov a následným zachytením spätného odrazu lúča, teda na kvantitatívnom určení dvojrozmerného rozloženia deformácie rovného meraného poľa (obrázok 5. 4. 1 - 5. 4. 5).

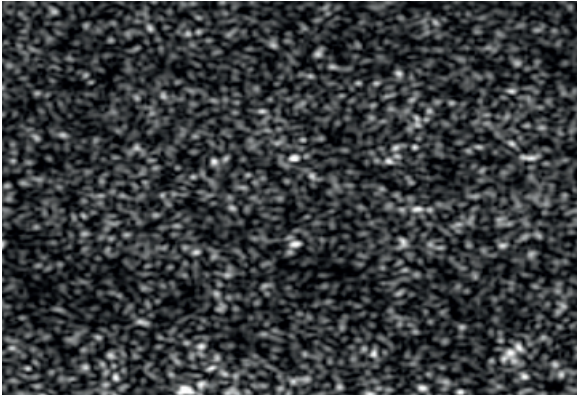
Pomocou lasera sa ožiarí vyšetrovaný povrch a meria sa doba letu koherentného žiarenia. Lúč odrazený od vyšetrovaného objektu sa navrství, respektíve je interferovaný s referenčným lúčom, ktorý sa odráža od zrkadla (interferencia dvoch koherentných lúčov). V závislosti od typu interferencie vznikajú na CCD kamere biele, sivé alebo čierne škvrny. Prichádza k vzniku dvoch extrémnych prípadov: konštruktívna interferencia v prípade, ak sú oba lúče vo fáze, deštruktívna interferencia v prípade fázového posunu 180°.

Medzitým existuje nekonečne veľa možností, ktoré sa odrážajú v závislosti od posunu fázy v rôznych sivých hodnotách. Výsledkom je takzvaný „Speckle-Pattern“, ktorý je možné interpretovať ako odtlačok prsta vyšetrovaného povrchu. Ak prišlo len k jednej zmene povrchu, napríklad z dôvodu deformácie, je znova možné odtlačok na povrchu zosnímať. Z takýchto dvoch spekulových obrázkov vypočíta softvér ESPI takzvaný prúžkový interferogram. Pozdĺž prúžku je deformácia posunutá, prúžok zodpovedá približne posunu 3 µm. Prúžkovým interferogramom je možné identifikovať, ale aj ďalej analyzovať a upravovať trhliny. Touto metódou je možné vypočítať z jedného interferogramu deformáciu, posun, atď.

Verfahren bestimmt, das in STN EN 12390-3 [113] definiert ist. Die Wassereindringung wurde gemessen (150x150x150 mm) und berechnet gemäß STN 73 1316 [114]. Die Tiefe der Durchfeuchtung des Betons (150x150x150 mm) durch Druckwasser wurde gemäß STN EN 12390-8 [115] determiniert. Die Beständigkeit des Betons gegen einen wechselnden Zyklus im Regime Frost – Wasser (100 x 100 x 400 mm) wurde gemäß STN 73 1322 [116] festgelegt. Beim ESPI handelt es sich um ein optisches, hochpräzises, berührungsloses sowie flächenhaftes Messverfahren, mit dessen Hilfe es möglich ist Deformationen an der Oberfläche von Materialien zu beobachten und quantitativ zu bestimmen.

Das Messverfahren erlaubt eine dreidimensionale Aufnahme der Verschiebungsverteilung innerhalb eines distinkten Spannungsfeldes mit einer Genauigkeit von bis zu 10 nm. Die eigentliche Messung basiert auf der quantitativen Bestimmung der zweidimensionalen Verzerrungsverteilung eines ebenen Messfeldes. (Abbildung 5. 4. 1 - 5. 4. 5).

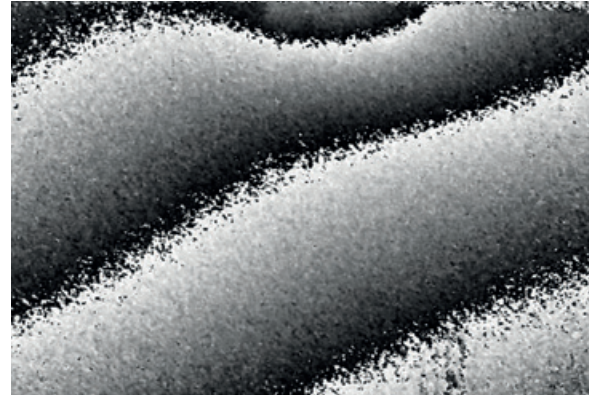
Mittels eines Lasers wird kohärentes Licht auf das zu untersuchende Objekt gestrahlt. Der vom Messobjekt reflektierte Strahl wird mit einem Referenzstrahl, welcher von einem Spiegel reflektiert wird, überlagert bzw. zur Interferenz gebracht. Je nach Art der Interferenz entstehen auf einer CCD-Kamera weiße, graue oder schwarze Flecken. Dabei gibt es zwei Extremfälle: konstruktive Interferenz wenn beide Strahlen in Phase schwingen, destruktive Interferenz bei einer Phasenverschiebung von 180°. Dazwischen gibt es unendlich viele Möglichkeiten, die sich je nach Phasenverschiebung in unterschiedlichen Grauwerten widerspiegeln. Ergebnis ist ein sogenanntes „Speckle-Pattern“, welches wie ein Fingerabdruck der gemessenen Oberfläche interpretiert werden kann. Erfolgt nun eine Veränderung der Oberfläche, z. B. durch Deformation, kann wiederum ein Abdruck der Oberfläche aufgenommen werden. Aus diesen zwei Speckle-Bildern berechnet die ESPI-Software ein sogenanntes Streifenbild. Entlang eines



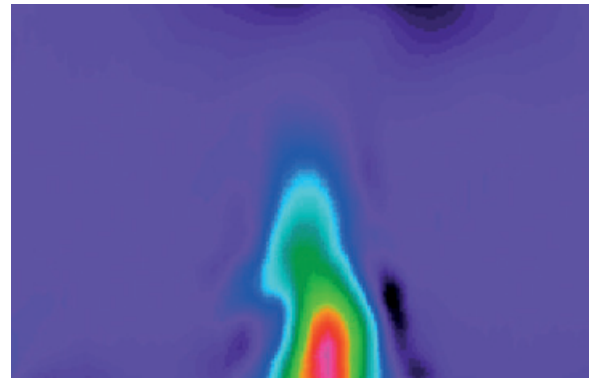
Obrázok 5. 4. 2 Vzor speklovej štruktúry
Abbildung 5. 4. 2 Speckle - Muster



Obrázok 5. 4. 4 Prúžkový interferogram s trhlinou
Abbildung 5. 4. 4 Streifenbild mit Riss, Abbildung



Obrázok 5. 4. 3 Prúžkový interferogram
Abbildung 5. 4. 3 Streifenbild



Obrázok 5. 4. 5 Príklad pre rozloženie napätia v prípade skúšky pevnosti v ťahu pri ohybe v troch bodoch ($\mu\text{m}/\text{mm}$)
Abbildung 5. 4. 5 Bsp. für eine Spannungsverteilung bei einem Punkt-Biegezugversuch ($\mu\text{m}/\text{mm}$)

Streifens ist die Deformation ident, ein Streifen entspricht in etwa einer Verschiebung von $3\ \mu\text{m}$. Das Streifenbild kann zum einen direkt für die Identifizierung von Rissen herangezogen werden, aber auch weiter analysiert und aufbereitet werden. So ist es möglich aus einem Streifenbild Verformung, Schub, Spannungsverteilung, etc. zu berechnen.

5. 4. 2. 3 Výsledky a diskusia - technicky významné vlastnosti betónu

Objemové hmotnosti betónov v čase sa prezentujú v tabuľke 5. 4. 1. Betóny ošetrované vo vode [V: $(20 \pm 1\ ^\circ\text{C})$] zhodne preukazujú nárast objemovej hmotnosti, zatiaľ čo v suchom prostredí [S: 60 % relatívna vlhkosť vzduchu a $(20 \pm 1)\ ^\circ\text{C}$] postupným vysušovaním jej úbytok. Nezistili sa žiadne zásadné rozdiely v objemovej hmotnosti betónov podľa jednotlivých druhov cementov. Rovnaký rastový a redukčný trend sa zaznamenal aj v hodnotách dynamického modulu pružnosti (tabuľka 5. 4. 2). Betóny s zmesovými cementmi CEM V/A druhu sa vyznačujú porovnateľnými modulmi pružnosti s betónom zhotoveným z cementu CEM I. Dynamické moduly pružnosti betónov s cementmi CEM V/B druhu rakúskeho a slovenského pôvodu dokumentujú mierne poklesy oproti CEM V/A ekvivalentom použitých v betóne a tiež v porovnaní s aplikovaným referenčným portlandským cementom. Zistené zníženia sa pripisujú už veľmi výrazne redukovanému obsahu portlandského cementu v zmesovom cemente CEM V/B druhu (viď 5. 1. 4. 1).

Statický modul pružnosti betónov ošetrovaných vo vode vykazuje podľa tabuľky 5. 4. 3 rastovú tendenciu. Suché uloženie, na rozdiel od nameraných objemových hmotností,

5. 4. 2. 3 Ergebnisse und Diskussionen - technisch bedeutende Eigenschaften des Betons

Die Volumengewichte des Betons werden in der Tabelle 5. 4. 1. Beton, behandelt in Wasser präsentiert [V: $(20 \pm 1\ ^\circ\text{C})$] weist übereinstimmend den Anstieg des Volumengewichts nach, im trockenen Umfeld [S: 60 % relative Luftfeuchte und $(20 \pm 1)\ ^\circ\text{C}$] hingegen sinkt es bei schrittweiser Austrocknung. Es wurden keine grundsätzlichen Unterschiede im Volumengewicht des Betons nach einzelnen Zementsorten festgestellt. Der gleiche Anstiegs- und Reduktionstrend wurde auch bei den Werten des dynamischen Elastizitätsmoduls verzeichnet (Tabelle 5. 4. 2). Beton mit dem Kompositzement CEM V/A ist durch vergleichbare Elastizitätsmodule mit Beton aus Zement CEM I gekennzeichnet. Das dynamische Elastizitätsmodul des Betons aus den Zementsorten CEM V/B österreichischer und slowakischer Herkunft dokumentiert ein leichtes Sinken gegenüber dem CEM V/A-Äquivalent im Beton und ebenfalls im Vergleich mit Beton aus dem Referenz-Portlandzement. Das festgestellte Absinken wird dem schon sehr markanten reduzierten Gehalt an Portlandzement im Kompositzement CEM V/B zugeschrieben (siehe 5. 1. 4. 1).

Tabuľka 5. 4. 1 Objemové hmotnosti betónov v čase podľa uloženia

Tabelle 5. 4. 1 Volumengewichte des Betons in der Zeit nach Verlegung

Betón s cementom / Beton mit dem Zement	Uloženie / Verlegung	Objemová hmotnosť / Volumengewicht			
		2 dni / 2 Tage	28 dní / 28 Tage	90 dní / 90 Tage	365 dní / 365 Tage
		(kg/m ³)			
CEM I 32,5 R - Sk referenčný	V	2380	2380	2390	2392
	S	-	2340	2330	2325
CEM V/A (S-V) - AT	V	2340	2350	2380	2392
	S	-	2310	2320	2305
CEM V/B (S-V) - AT	V	2310	2340	2370	2390
	S	-	2270	2260	2258
CEM V/A (S-V) - SK + Berament 05 - 10	V	2320	2360	2390	2392
	S	-	2310	2320	2298
CEM V/B (S-P) - SK + Berament 05 - 10	V	2380	2320	2350	2355
	S	-	2290	2310	2254

Poznámka:

*Ošetrovanie vo vode (V) a v suchom vzduchu (S) pri relatívnej vlhkosti 60 % a (20 ± 1) °C

Die Bemerkung:

*Behandlung in Wasser (V) und in trockener Luft (S) bei relativer Feuchte von 60 % und (20 ± 1) °C

Tabuľka 5. 4. 2 Dynamický modul pružnosti betónov v čase podľa uloženia

Tabelle 5. 4. 2 Dynamisches Elastizitätsmodul des Betons in der Zeit nach Verlegung

Druh cementu / Zementsorte	Uloženie* / Verlegung*	Dynamický modul pružnosti (GPa) / Dynamisches Elastizitätsmodul (GPa)		
		28 dní / 28 Tage	90 dní / 90 Tage	365 dní / 365 Tage
CEM I 32,5 R - SK	V	34,7	35,3	47,2
	S	33,9	34,4	38,6
CEM V/A (S-V) 32,5 R - AT	V	35,4	36,6	46,3
	S	34,3	34,7	34,8
CEM V/B (S-V) 32,5 N - AT	V	34,8	36,8	44,6
	S	34,2	35,7	28,8
CEM V/A (S-V) 32,5 R - SK	V	36,2	37,1	44,8
	S	35,2	35,9	35,6
CEM V/B (S-P) 32,5 N - SK	V	34,4	35,8	41,3
	S	33,9	35,4	30,5

Tabuľka 5. 4. 3 Statický modul pružnosti a pevnosť v tlaku na koncoch trámcoch čase podľa uloženia

Tabelle 5. 4. 3 Statisches Elastizitätsmodul und Druckfestigkeit an den Enden der Versuchskörperin der Zeit nach Verlegung

Betón s cementom / Beton mit Zement	Uloženie* / Verlegung*	Vlastnosti betónu/ Eigenschaften des Betons					
		Statický modul pružnosti (GPa)/ Statisches Elastizitätsmodule (GPa)			Pevnosť v tlaku (MPa) / Druckfestigkeit (MPa)		
		28 dní / 28 Tage	90 dní/ 90 Tage	365 dní/ 365 Tage	28 dní/ 28 Tage	90 dní/ 90 Tage	365 dní/ 365 Tage
CEM I 32,5 R - Sk referenčný / CEM I 32,5 R - Sk Referenz	V	32,9	34,4	39,4	36,3	41,2	46,4
	S	32,0	32,2	32,3	32,0	35,5	35,1
CEM V/A (S-V) - AT	V	30,8	34,4	36,2	40,2	47,7	48,8
	S	29,0	29,2	30,8	31,2	31,9	31,6
CEM V/B (S-V) - AT	V	29,7	35,6	36,0	29,5	35,4	36,2
	S	28,3	32,7	32,5	20,2	20,9	19,6
CEM V/A (S-V) - SK + Berament 05 - 10	V	31,1	34,1	35,8	39,7	42,0	49,1
	S	29,9	33,2	33,2	30,0	30,8	30,1
CEM V/B (S-P) - SK + Berament 05 - 10	V	30,3	33,2	35,6	28,0	33,9	33,9
	S	28,1	28,5	28,1	22,0	23,9	22,5

sa neprejavuje na výraznej redukcii modulov pružnosti v čase, statický modul sa časom uloženia v suchom prostredí v podstate nemení. Rovnaký trend zaznamenávajú aj zmeny pevnosti v tlaku na koncoch trámcoch o veľkosti 100 x100 x400 mm.

Das statische Elastizitätsmodul des Betons in Wasser zeigt laut Tabelle 5. 4. 3 eine ansteigende Tendenz. Die trockene Verlegung zeigt sich im Unterschied zu den gemessenen Volumengewichten nicht bei der Reduktion der Elastizitätsmodule in der Zeit, das statische Modul in der Zeit der Verlegung ändert sich im trockenen Umfeld

Tabuľka 5. 4. 4 Kockové pevnosti v tlaku betónov v čase podľa uloženia

Tabelle 5. 4. 4 Würfel-Druckfestigkeit des Betons in der Zeit nach Verlegung

Betón s cementom / Beton mit Zement	Uloženie*/ Verlegung*	Kocková pevnosť v tlaku / Würfel-Druckfestigkeit			
		2 dni / 2 Tage	28 dní / 28 Tage	90 dní / 90 Tage	365 dní / 365 Tage
(MPa)					
CEM I 32,5 R - Sk	V	19,6	44,8	53,6	59,3
	S	-	43,3	48,3	53,7
CEM V/A (S-V) 32,5 R - AT	V	12,0	45,7	49,8	63,4
	S	-	38,9	45,2	49,8
CEM V/B (S-V) 32,5 N - AT	V	5,0	31,2	39,7	42,4
	S	-	24,8	26,9	31,8
CEM V/A (S-V) 32,5 R - SK + Berament 05 - 10	V	14,2	46,6	50,9	58,5
	S	-	45,8	48,2	57,6
CEM V/B (S-P) 32,5 N - SK + Berament 05 - 10	V	4,9	36,6	40,9	41,9
	S	-	35,5	38,7	39,8

Tabuľka 5. 4. 5 Nasiakavosť betónu uložených pri (20 ± 1) °C a 60 % relatívnej vlhkosti vzduchu

Tabelle 5. 4. 5 Wassereindringung bei Beton, der bei (20 ± 1) °C und 60 % relativer Luftfeuchte verlegt wurde

Druh cementu / Zementsorte	Nasiakavosť (% hmot.) / Wassereindringung (% Gew.)		
	28 dní / 28 Tage	90 dní / 90 Tage	365 dní / 365 Tage
CEM I 32,5 R - SK	4,9	4,6	4,5
CEM V/A (S-V) 32,5 R - AT	3,8	3,6	3,6
CEM V/B (S-V) 32,5 N - AT	4,4	4,3	4,2
CEM V/A (S-V) 32,5 R - SK (+ Berament 05 - 10)	4,3	4,1	4,1
CEM V/B (S-P) 32,5 N - SK (+ Berament 05 - 10)	4,4	4,3	4,2

Tabuľka 5. 4. 6 Hĺbka priesaku tlakovej vody v betónoch uložených 90 a 365 dní vo vode pri (20 ± 1) °C

Tabelle 5. 4. 6 Eindringtiefe von Druckwasser in Beton, der 90 und 365 Tage in Wasser bei (20 ± 1) °C verlegt wurde

Betón s cementom / Beton mit Zement	Maximálny priesak (mm) / Maximale Eindringtiefe (mm)	
	90 dní / 90 Tage	365 dní / 365 Tage
CEM I 32,5 R - SK - referenčný	23	21
CEM V/A (S-V) 32,5 R - AT	19	20
CEM V/B (S-V) 32,5 N - AT	22	22
CEM V/A (S-V) 32,5 R - SK + Berament 05 - 10	18	19
CEM V/B (S-P) 32,5 N - SK + Berament 05 - 10	16	17

Zistené zmeny v objemovej hmotnosti, dynamickom a statickom module pružnosti a pevnosti v tlaku na koncoch trémcov dokumentujú skutočnosť, že vodné uloženie má priaznivý dopad na sledované úžitkové vlastnosti betónov. Suché prostredie nie je tak benefičné, ale ani vyslovene škodlivé. Nezistili sa žiadne zásadné rozdiely, ani žiadne všimnuteľné anomálie v sledovaných vlastnostiach v betónoch za použitia jednotlivých druhov cementov. Betóny zhotovené so zmesovým cementom CEM V/A nezávisle od krajiny pôvodu sa vyznačujú s porovnateľnými parametrami prešetrovaných

im Wesentlichen nicht. Der gleiche Trend wird auch bei Änderungen der Druckfestigkeit an den Enden der Versuchskörper der Größe 100 x 100 x 400 mm verzeichnet. Festgestellte Veränderungen bei den Volumengewichten, beim dynamischen und statischen Elastizitätsmodul und bei der Druckfestigkeit an den Enden der Versuchskörper dokumentieren die Tatsache, dass die Verlegung im Wasser einen günstigen Einfluss auf die beobachteten Nutzeigenschaften des Betons hat. Trockenes Umfeld bringt keine Vorteile, aber es ist auch nicht ausdrücklich schädlich. Es wurden keine grundsätzlichen Unterschiede festgestellt, auch keine wahrnehmbaren Anomalien der beobachteten Eigenschaften im Beton unter Verwendung der einzelnen

Tabuľka 5. 4. 7 Hmotnosť, objemová hmotnosť a hmotnostný úbytok 90 - dňových betónov po 50 cykloch zmrazovania a rozmrazovania
 Tabelle 5. 4. 7 Gewicht, Volumengewicht und Gewichtsverlust bei 90 - tägigem Beton nach 50 Zyklen von Frieren und Auftauen

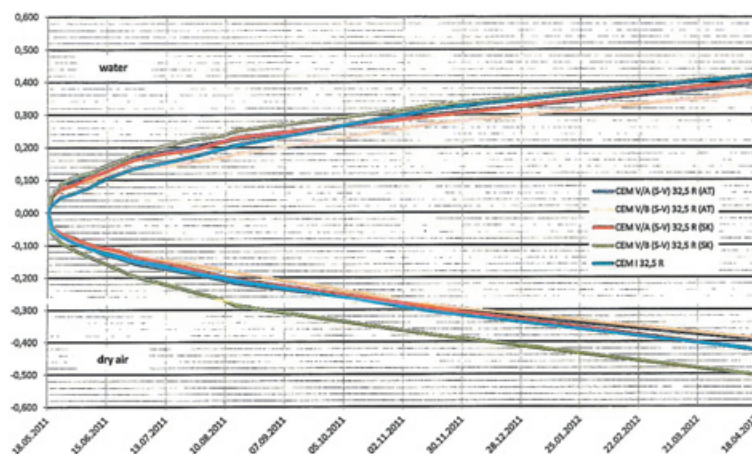
Betón s cementom / Beton mit Zement	Počet cyklov / Anzahl der Zyklen	Hmotnosť hranolov (kg) / Gewicht von Prismen (kg)	Objemová hmotnosť (kg/m ³) / Volumen-gewicht (kg/m ³)	Hmotnostný úbytok (%) / Gewicht-verlust (%)
CEM I 32,5 R - SK	0	9,600	2382	-
	50	9,581	2377	0,20
CEM V/A (S-V) - AT	0	9,638	2358	-
	50	9,618	2353	0,21
CEM V/B (S-V) - AT	0	9,528	2344	-
	50	9,500	2336	0,29
CEM V/A (S-V) - SK + Berament 05 - 10	0	9,567	2351	-
	50	9,544	2345	0,25
CEM V/B (S-P) - SK + Berament 05 - 10	0	9,893	2319	-
	50	9,677	2315	0,16

vlastností ako betón s použitým cementom CEM I druhu. CEM V/B ekvivalenty aplikované v betóne dokumentujú miernu redukciu objemovej hmotnosti, modulov pružnosti, a pevnosti na koncoch trámčov vo vzťahu k CEM V/A a CEM I cementom použitých v betóne. Ako príčina tohto javu sa považuje evidentne redukované zastúpenie podielu

Zementsorten. Beton aus Kompositzement CEM V/A ist unabhängig vom Herkunftsland mit vergleichbaren Parametern der untersuchten Eigenschaften zu Beton unter Verwendung der Zementsorte CEM I gekennzeichnet. CEM V/B-Äquivalente, die im Beton verwendet wurden, dokumentieren eine mäßige Reduktion der

Tabuľka 5. 4. 8 Odolnosť betónov proti mrazu po 90 dňoch ošetrovania vo vode pri (20 ± 1) °C
 Tabelle 5. 4. 8 Beständigkeit des Betons gegen Frost nach 90 Tagen Behandlung im Wasser bei (20 ± 1) °C

Betón s cementom / Beton mit Zement	Počet cyklov / Anzahl der Zyklen	Pevnosť v ohybe f_{cf} (v tlaku f_c) (MPa) / Biegezugfestigkeit f_{cf} (im Druck f_c) (MPa)	Koeficient mrazuvzdornosti $f_{cf}(f_c)$ (-) / Koeffizient der Frostbeständigkeit $f_{cf}(f_c)$ (-)
CEM I 32,5 R - SK	0	5,3 (40,8)	-
	50	2,4 (36,2)	0,45 (0,89)
CEM V/A (S-V) - AT	0	6,0 (37,2)	-
	50	0,5 (30,9)	0,08 (0,83)
CEM V/B (S-V) - AT	0	5,6 (32,4)	-
	50	2,1 (28,3)	0,37 (0,87)
CEM V/A (S-V) - SK + Berament 05 - 10	0	5,8 (38,6)	-
	50	1,0 (34,7)	0,17 (0,90)
CEM V/B (S-P) - SK + Berament 05 - 10	0	4,9 (31,8)	-
	50	1,2 (27,3)	0,25 (0,86)



Obrázok 5. 4. 6 Zmrašťovanie a rozpínanie betónov v čase [122].
 Abbildung 5. 4. 6 Schrumpfung und Dehnung des Betons in der Zeit [122].

portlandského cementu v zmesovom CEM V/B.

Všetky betóny nezávisle od druhu cementu a spôsobu uloženia potvrdzujú rast kockovej pevnosti v tlaku v čase (tabuľka 5.4. 4). Evidentný rozdiel medzi zmesovými cementmi CEM V/A a CEM V/B a referenčným CEM I tkvie v 2-dňovej pevnosti. CEM V/B cementy s nižším obsahom portlandského cementu a vyšším podielom puzolánových prímiesí dokumentujú väčšiu retardáciu 2-dňových pevností betónu v porovnaní s CEM V/A a s CEM I.

Bežiac do úvahy výsledky objemovej hmotnosti (tabuľka 5. 4. 1) a modulov pružnosti (tabuľka 5. 4. 2 a 5. 4. 3) betónov trvale uložených v prostredí suchého vzduchu možno konštatovať, že nasiakavosť (tabuľka 5. 4. 5) sa naopak v čase znižuje, pričom dosahuje vo všetkých prípadoch hodnotu nižšiu ako 6 % hmotnostných.

Hodnoty nasiakavosti vyhovujú vo všetkých prípadoch požiadavke STN EN 206-1/NA, tabuľka F. 1, ktorá špecifikuje maximálne povolenú hodnotu 6 hmotnostných percent.

Rovnako všetky betóny dokumentujú maximálny priesak tlakovej vody ≤ 50 mm, ktorý je v súlade s požiadavkou STN EN 206-1/NA; tabuľka F. 1 (tabuľka 5. 4. 6).

Pre znížený obsah cementu a vyššie hmotnostné zastúpenie puzolánových prímiesí v cemente CEM V/A a CEM V/B druhu sa na preukázanie javila byť najproblematickejšou vlastnosťou odolnosť betónov zhotovených s zmesovými cementmi. Zo skúseností z praxe je známy poznatok, že zmesové cementy s vyšším obsahom prímiesí sa vyznačujú zníženou odolnosťou proti striedavému účinku zmrazovania a rozmrazovania. Výsledky znázornené v tabuľke 5. 4. 7 a 5. 4. 8 tento skúsenostný poznatok plne potvrdili.

Nezistila sa mrazuvzdornosť betónov na základe súčiniteľa mrazuvzdornosti stanoveného z pevnosti ťahu pri ohybe (50 cyklov). Nie je splnená požiadavka STN EN 206 - 1/NA, tabuľka F. 1, ktorá determinuje mrazuvzdornosť betónu hodnotou

Volumengewichte, der Elastizitätsmodule und der Festigkeit an den Enden der Versuchskörper in Beziehung zu Beton aus Zement CEM V/A und CEM I. Als Ursache dieser Erscheinung gilt die evident reduzierte Vertretung des Anteils an Portlandzement im Kompositzement CEM V/B.

Jeder Beton bestätigt unabhängig von der Zementsorte und der Art der Verlegung den Anstieg der Würfel-Druckfestigkeit des Betons in der Zeit (Tabelle 5.4.4). Es gibt einen evidenten Unterschied zwischen den Kompositzementen CEM V/A und CEM V/B und dem Referenzement CEM I bei der 2-tägigen Festigkeit. CEM V/B-Zemente mit einem geringeren Gehalt des Portlandzements und einem höheren Anteil an Puzzolanzusatzstoffen dokumentieren eine größere Retardierung der 2-tägigen Festigkeit des Betons im Vergleich zu CEM V/A und CEM I.

Nach Abwägung der Ergebnisse der Volumengewichte (Tabelle 5. 4. 1) und der Elastizitätsmodule (Tabelle 5. 4. 2 und 5. 4. 3) von Beton mit dauerhafter Verlegung in trockener Luft kann festgestellt werden, dass die Wassereindringung (Tabelle 5. 4. 5) im Gegensatz dazu in der Zeit sinkt, wobei in allen Fällen ein geringerer Wert als 6 % des Volumens erreicht wird.

Die Werte der Wassereindringung entsprechenden allen Fällen den Anforderungen der STN EN 206-1/NA, Tabelle F. 1, die den maximal erlaubten Wert mit 6 Gewichtsprozent spezifiziert.

Ebenso dokumentiert jeder Beton eine maximale Eindringtiefe von Druckwasser von ≤ 50 mm, was im Einklang mit den Anforderungen der STN EN 206-1/NA; Tabelle F. 1 ist (Table 5. 4. 6).

Wegen des gesenkten Zementgehalts und des höheren gewichtsbezogenen Anteils der Puzzolanzusatzstoffe im Zement CEM V/A und CEM V/B war der Nachweis der Beständigkeit des Beton aus Kompositzement am



koeficienta mrazuvzdornosti $> 0,85$ zhodne aj podľa pevnosti v tlaku a pevnosti v ohybe. Zníženie odolnosti proti mrazu môže byť spôsobené absenciou prevzdušňovacej prísady pri výrobe týchto betónov.

Obrázok 5. 4. 6 znázorňuje rozpínanie (expanziu) betónových vzoriek trvale uložených vo vode a ich zmrašťovanie v prostredí suchého vzduchu v čase.

Dĺžkové zmeny betónov nezávisle od použitého cementu podľa zvoleného spôsobu uloženia (vodný súčiniteľ $v/c \sim 0,47$) neukazovali žiadne extrémne hodnoty. Dĺžkové zmeny možno považovať za relatívne nízke a navzájom porovnateľné.

5. 4. 2. 4 Výsledky a diskusia - vznik a tvorba trhlín (ESPI metóda)

5. 4. 2. 4. 1 Realizácia pokusu

Analýza výsledkov podľa metódy ESPI sa uskutočnila pri skúške pevnosti v tlaku a trojosovej skúške pevnosti v ťahu pri ohybe na relevantných betónových vzorkách. Zaznamenalo sa rozloženie napätia pri rôznom zaťažení betónov zhotovených z druhu cementu CEM V/A a CEM V/B. Získané údaje sa vizuálne spracovali a vyhodnotili do príslušných diagramov a tabuliek. Po nasnímaní a zhodnotení „speckle“ údajov ESPI metódou sa prvotné údaje spracovali vyhodnocovacím programom ISTRa, ktorý znázorňuje posun na jednej rovine zaťažovania. Jednotlivé posuny sa numericky označovali a príslušné deformácie sa dokumentovali na každej príslušnej úrovni zaťažovania. Rozsah zaťažovania sa zvyšoval kontinuálne, aby sa merania metódou ESPI vykonali na rôznych úrovniach dosiahnutého zaťažovania betónovej vzorky.

Na skúšky sa vyrobilo 50 kociek betónov s hranou 150 mm (10 vzoriek pre každý druh cementu – CEM I, rakúsky a slovenský CEM V/A a CEM V/B). Merania sa uskutočnili sa vzorkách pôvodnej veľkosti, ale aj menších podľa potreby. Primárnym výsledkom skúšok sa stali údaje pevnosti v tlaku, modulu pružnosti a pevnosti v ťahu pri ohybe. Popri nich sa jednotlivé betóny podrobili rekognoskácii materiálového chovania sa podľa jednotlivých druhov cementov. Chovanie betónu s orientáciou na vznik a rozvoj trhlín sa prešetrilo v pružno-elastickom stave a neskôr priamo pri zlomení a po ňom. Kľúčový výsledok skúšky podľa metódy ESPI dokumentujú zistené rozsahy vloženého napätia (zaťažovania), pri ktorých sa objavili vznik a následne ďalší rozvoj trhlín, ale aj deformačné procesy medzi a na rozhraní kameniva a cementovej matrice, určujúce súdržnosť vzájomnej väzby medzi nimi.

Výsledky metódy ESPI dokumentujú nasledujúce obrázky (5. 4. 7 až 5. 4. 41) a tabuľky (5. 4. 9 až 5. 4. 11).

problematichesten. Aus den Erfahrungen der Praxis ist die Erkenntnis bekannt, dass Kompositzemente mit einem höheren Gehalt an Zusatzstoffen eine geringere Verständlichkeit gegen die wechselseitige Einwirkung von Frieren und Auftauen haben. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 5. 4. 7 und 5. 4. 8 dargestellt, die die Erfahrungserkenntnisse vollständig bestätigen.

Es wurde keine Frostbeständigkeit des Betons auf Grundlage der Kennziffern der Frostbeständigkeit aus der Biegezugfestigkeit (50 Zyklen) festgestellt. Die Anforderung der STN EN 206 - 1/NA, Tabelle F. 1 wird nicht erfüllt, die die Frostbeständigkeit durch den Wert des Koeffizienten der Frostbeständigkeit von $> 0,85$ determiniert, übereinstimmend auch gemäß der Druckfestigkeit und der Biegezugfestigkeit. Das Sinken der Frostbeständigkeit kann auch durch das Fehlen von Durchlüftungszusätzen bei der Herstellung dieses Betons verursacht werden.

Abbildung 5. 4. 6 stellt die Dehnung (Expansion) der Betonkörper dar, die dauerhaft in Wasser verlegt sind, und deren Schrumpfung im Umfeld trockener Luft in der Zeit.

Die Längenänderungen des Betons ist unabhängig vom verwendeten Zement, nach gewählter Art der Verlegung (Wasser-Zementgehalt $W/Z \sim 0,47$) zeigten sich keine extremen Werte. Die Längenänderungen können als relativ gering und miteinander vergleichbar gelten.

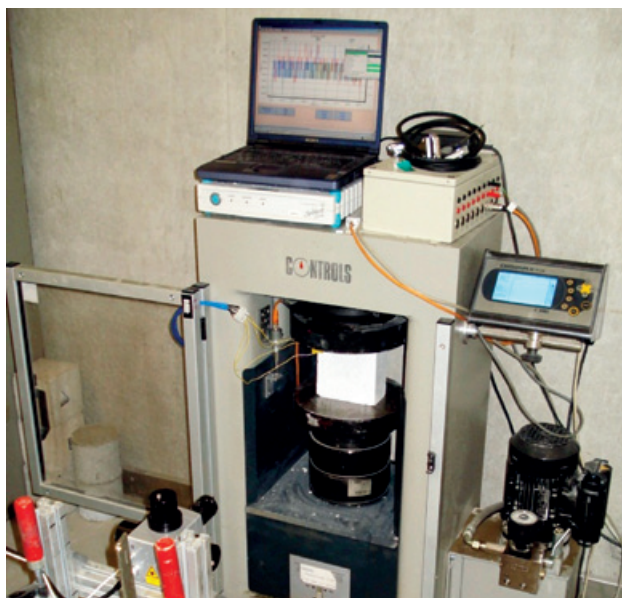
5. 4. 2. 4 Ergebnisse und Diskussionen - Entstehung und Bildung von Rissen (ESPI-Methode)

5. 4. 2. 4. 1 Versuchsdurchführung

Die Untersuchungen mittels ESPI wurden während der Durchführung von Druck- sowie Drei-Punkt-Biegezugversuchen durchgeführt. Dabei wurden Spannungsverteilungen der unterschiedlichen Betonarten bei unterschiedlichen Belastungsstufen aufgezeichnet, ausgewertet und visuell dargestellt. Nach Erfassung der „raw-speckle“-Daten und Berechnung der Verschiebungsmessdaten mittels des ESPI-Systems wurden die Daten mithilfe des Auswerteprogramms ISTRa in Diagramme, welche die Verschiebung in einer Ebene darstellen, umgewandelt. Dabei wurden die Verschiebungen numerisch differenziert und die Deformationen in der jeweiligen Ebene dargestellt. Die Belastung erfolgt schrittweise, um bei den jeweiligen Lastschritten die nötigen ESPI-Messungen durchführen zu können.

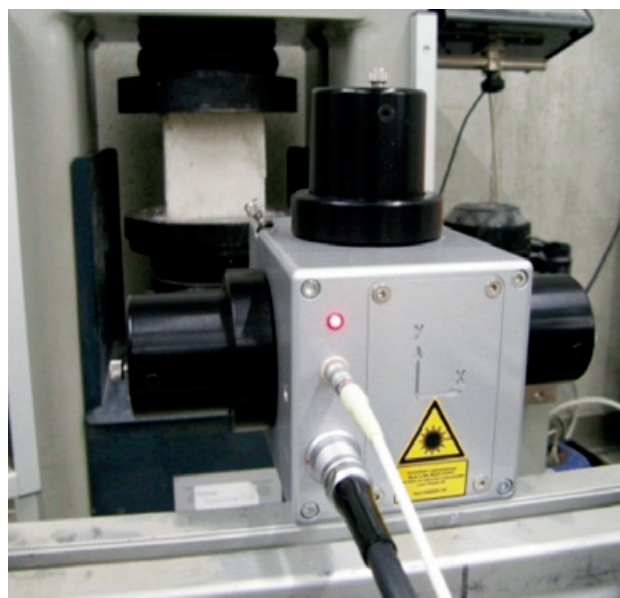
Insgesamt wurden 50 würfelförmige Standardprüfkörper mit einer Kantenlänge von 150 mm (zehn Prüfkörper je Zementart) hergestellt. Diese Prüfkörper wurden zunächst im Ganzen, später auch in unterschiedlich zugeschnittenen Formaten geprüft. Die Untersuchungen dienten neben der Ermittlung von Standardparametern, wie etwa der Druckfestigkeit, des E-Moduls und der Biegezugfestigkeit, v. a. zur Identifizierung des Materialverhaltens der unterschiedlichen Zement- bzw. Betonsorten. So wurde das Materialverhalten im elastischen Bereich, aber auch das Bruch- und Nachbruchverhalten der einzelnen Betonsorten untersucht. Insbesondere wurde die Rissentwicklung genau beobachtet und dokumentiert. Dabei waren die Lasten, bei welchen eine erste Rissentwicklung beobachtet werden konnte, die Art der Rissentwicklung und Rissverteilung sowie die Deformationsvorgänge im Bereich zwischen Gesteinskörnern und Zementmatrix von besonderem Interesse.

Die Ergebnisse der ESPI Methode sind in den folgenden Abbildungen (5. 4. 7 bis 5. 4. 41) und Tabellen (5. 4. 9 bis 5. 4. 11) verarbeitet.



Obrázok 5. 4. 7 Celkový pohľad na realizáciu skúšky podľa metódy ESPI

Abbildung 5. 4. 7 Versuchsaufbau für Durchführung der Druckversuche



Obrázok 5. 4. 8 Betónová kocka počas skúšky

Abbildung 5. 4. 8 Betonwürfel während Prüfung



Obrázok 5. 4. 9 Pôvodná kocka a rezy veľkosti 150 x 150 x 75 mm pre skúšky pevnosti v tlaku

Abbildung 5. 4. 9 Versuchskörper für Druckversuche (150 x 150 x 75 mm)

5. 4. 2. 4. 2 Skúšky v pevnosti v tlaku

Skúšky pevnosti v tlaku sa najprv vykonali na kockách o hrane 150 mm. Následne sa skúšobné vzorky prerezali na polovicu a obe polovice sa podrobili rovnakej tlakovej skúške. Celá plocha rezu sa vystavila príslušným úrovňam zaťaženia. Súdržnosť kameniva a cementovej matrice sa identifikovala na niektorých vybraných miestach. Obrázok 5. 4. 18 ilustruje rezanie kociek na polovičné veľkosti. Obrázky 5. 4. 19 a 5. 4. 20 dokumentujú pevnosti v tlaku získané na kockách pôvodnej a polovičnej veľkosti.

5. 4. 2. 4. 3 Zistenia pri použití celých kociek

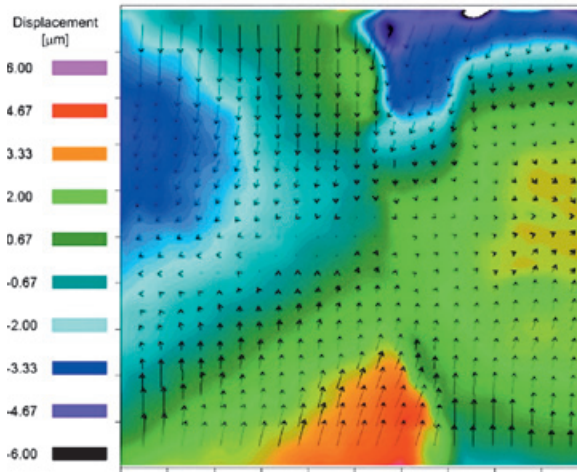
Počas skúšky sa postupne zvyšovalo zaťaženie vzorky o približne 30 kN a následne sa zaznamenávali jej relevantné deformácie pôsobiacim tlakom. Súbežne sa sledovali jednotlivé posuny a rozloženia vložného napätia. Takto sa vyhodnocuje chovanie betónu pod zaťažením berúc do

5. 4. 2. 4. 2 Druckversuche

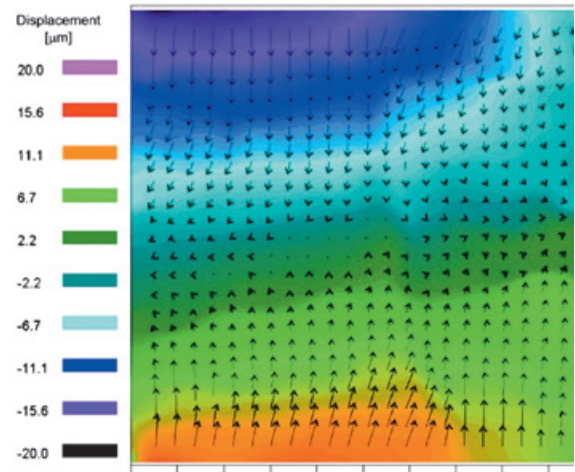
In einer ersten Annäherung wurden Druckversuche an ganzen Würfelproben durchgeführt. In weiterer Folge wurden die Würfeln in der Mitte halbiert und die ganze Schnittfläche betrachtet, in einem zweiten Schritt einige Einzelkörner untersucht. Ziel war die Untersuchung der Betoneigenschaften unter Druckbelastung, die Charakterisierung der Deformationseigenschaften, der Rissentwicklung, der Rissbreiten sowie die Verifizierung der ESPI-Messungen mit Dehnungsmessstreifen. Der gesamte Versuchsaufbau stellte sich während der Druckversuche wie folgt dar.

5. 4. 2. 4. 3 Versuche an ganzen Würfeln

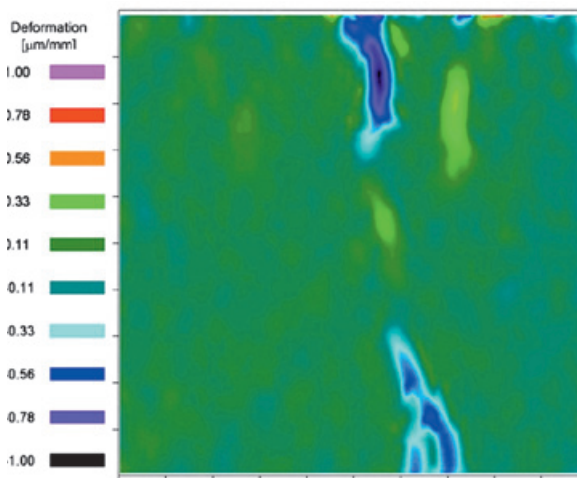
In einzelnen Schritten wurde die Last mit ca. 30 kN pro Lastschritt erhöht und dabei die Deformation mit dem ESPI aufgezeichnet. Es wurden im Folgenden dann die Verschiebungen sowie die Spannungsverteilungen ermittelt. Dadurch konnte das Materialverhalten der einzelnen Zementarten charakterisiert werden.



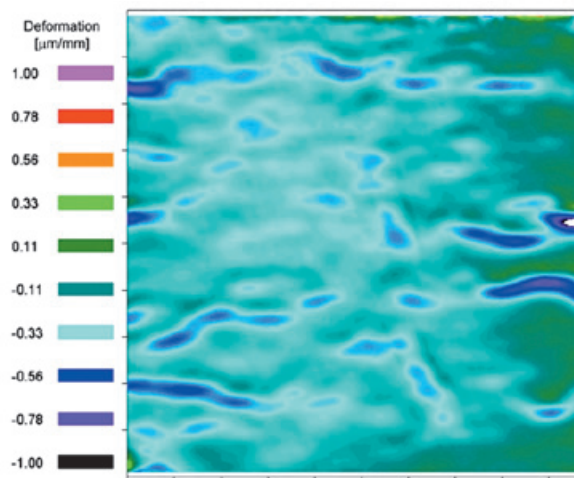
Obrázok 5. 4. 10 Posun v smere x (μm)
Abbildung 5. 4. 10 Verschiebung in x-Richtung (μm)



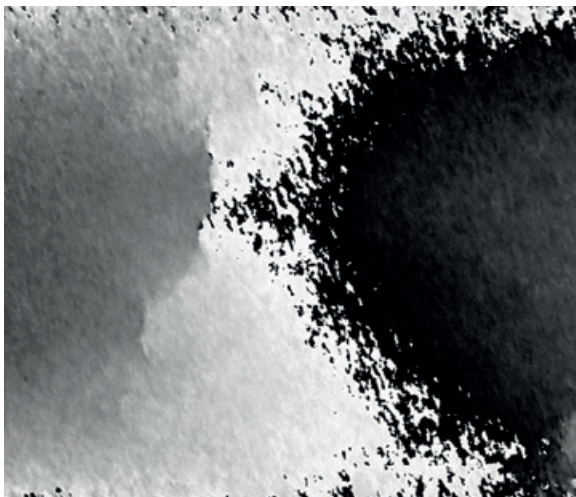
Obrázok 5. 4. 11 Posun v smere y (μm)
Abbildung 5. 4. 11 Verschiebung in y-Richtung (μm)



Obrázok 5. 4. 12 Rozťažnosť v smere x ($\mu\text{m}/\text{mm}$)
Abbildung 5. 4. 12 Dehnungsverteilung in x-Richtung ($\mu\text{m}/\text{mm}$)

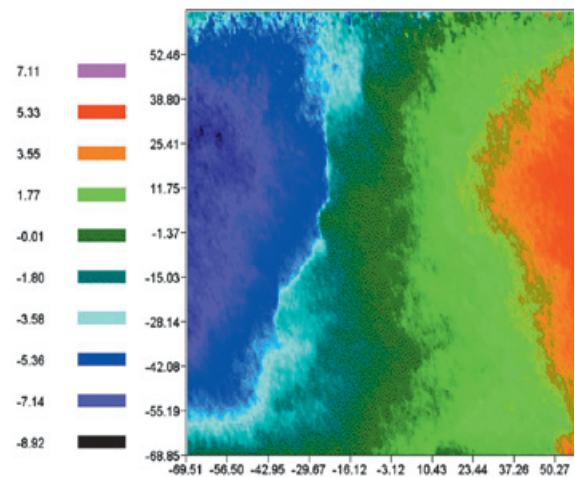


Obrázok 5. 4. 13 Rozťažnosť v smere y ($\mu\text{m}/\text{mm}$)
Abbildung 5. 4. 13 Dehnungsverteilung in y-Richtung ($\mu\text{m}/\text{mm}$)



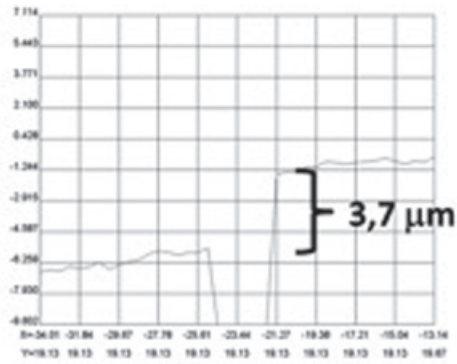
Obrázok 5. 4. 14 Posun v smere x
Abbildung 5. 4. 14 Verschiebung in x-Richtung, Abbildung

úvahy vplyv jednotlivých použitých druhov cementu na sledované parametre ich deformačných vlastností a vzniku a rozvoja trhlin so zvláštnym dôrazom na meranie ich šírky. Vzorky polovičnej veľkosti – rezy sa použili na bližšiu verifikáciu chovania sa cementovej matrice jednotlivých betónov podľa druhu cementu.

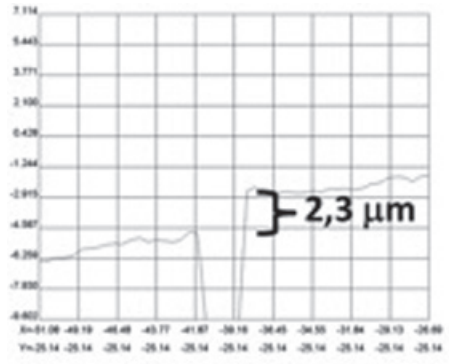


Obrázok 5. 4. 15 Posun v smere y (μm)
Abbildung 5. 4. 15 Verschiebung in y-Richtung (μm)

Da bei diesen Versuchen hauptsächlich nur die Zementleimschicht betrachtet und untersucht wurde, wurden die Würfel für die fortlaufenden Untersuchungen in zwei Hälften geschnitten.



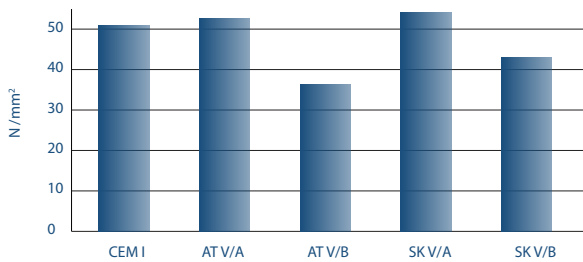
Obrázok 5. 4. 16 Šírka trhliny v hornej časti
Abbildung 5. 4. 16 Rissweite im oberen Rissbereich



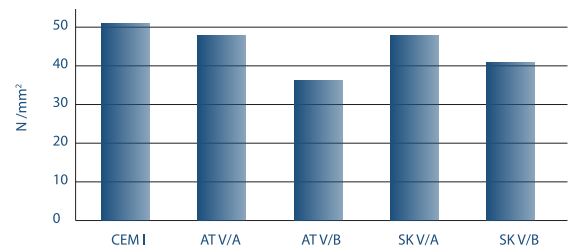
Obrázok 5. 4. 17 Šírka trhliny v spodnej časti
Abbildung 5. 4. 17 Rissbreite im unteren Rissbereich



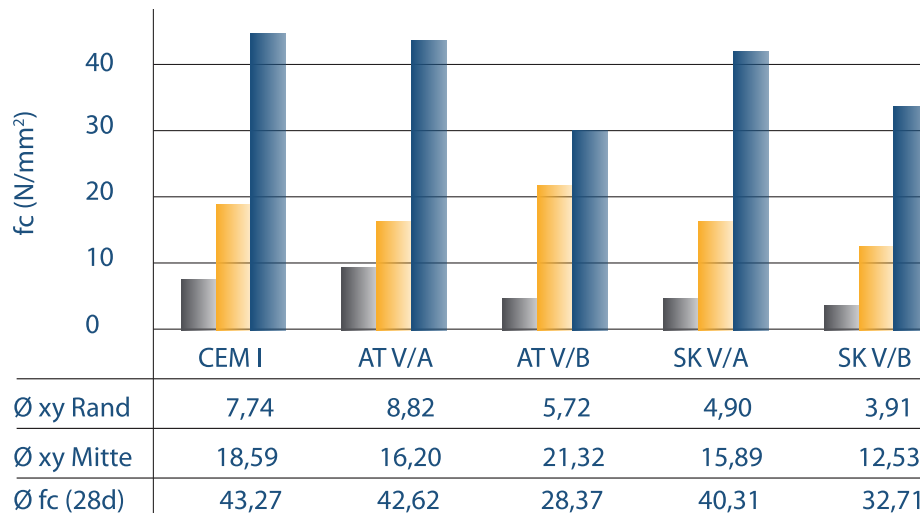
Obrázok 5. 4. 18 Preznanie skúšobných vzoriek na polovicu
Abbildung 5. 4. 18 Halbieren der Würfelproben



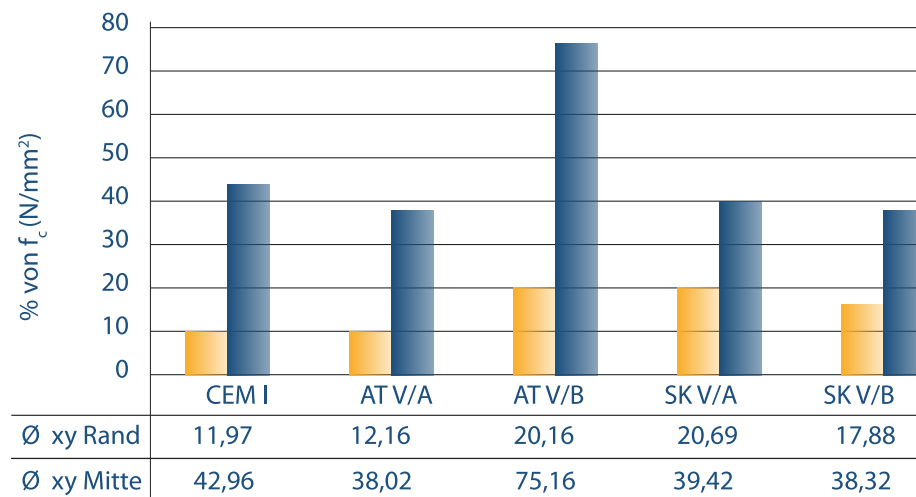
Obrázok 5. 4. 19 Pevnosť v tlaku u celej kocky, Vek: 60 dní
Abbildung 5. 4. 19 Druckfestigkeit ganze Würfel, Alter: 60 Tage



Obrázok 5. 4. 20 Pevnosť v tlaku u polovice kocky, Vek: 60 dní
Abbildung 5. 4. 20 Druckfestigkeit halbe Würfel, Alter: 60 Tage



Obrázok 5. 4. 21 Tlakové napätie pri vzniku prvej trhliny (priemerné hodnoty)
Abbildung 5. 4. 21 Druckspannung bei erster Rissentwicklung (Mittelwerte)



Obrázok 5. 4. 22 Prvá trhlina v % maximálnej pevnosti
Abbildung 5. 4. 22 Erstriss in % der Maximalfestigkeit

5. 4. 2. 4. 4 Zistenia na rezoch pri použití kociek polovičnej veľkosti

Rozrezanie kociek pôvodnej veľkosti na polovičné veľkosti sa uskutočnilo so zámerom podrobného prešetrenia cementovej matrice, najmä súdržnosti medzi ňou a kamenivom. Priebeh skúšky bol identický ako pri kockách pôvodnej veľkosti s hranou 150 mm. Zisťovali sa pevnosti v tlaku relevantné jednotlivým druhom cementu v betóne a zaznamenávali sa údaje o vloženom napätí/zťažení na vznik a ďalší rozvoj trhlín pri kontinuálnom zaťažovaní až do momentu zlomu každej skúšobnej vzorky.

5.4.2.4.5 Pozorovanie individuálnych zŕn

Rozdiely medzi zrnami kameniva a hydratovanou cementovou maticou z pohľadu ich chovania pod zaťažením a vzájomnej interakcie pri zaťažení sa študovali metódou ESPI aj na vybraných zrnách kameniva orezaných vzoriek betónov. Pri tejto verifikácii sa sledovali parametre

5. 4. 2. 4. 4 Versuche an halbierten Würfeln

Um das Innere der Betonwürfel untersuchen zu können und um einen direkten Einblick auf die Korn-Zementmatrix zu bekommen, wurden die Würfel in einem weiteren Versuchsdurchgang in der Mitte durchgeschnitten. Der restliche Ablauf war ident mit den Prüfungen an ganzen Würfeln.

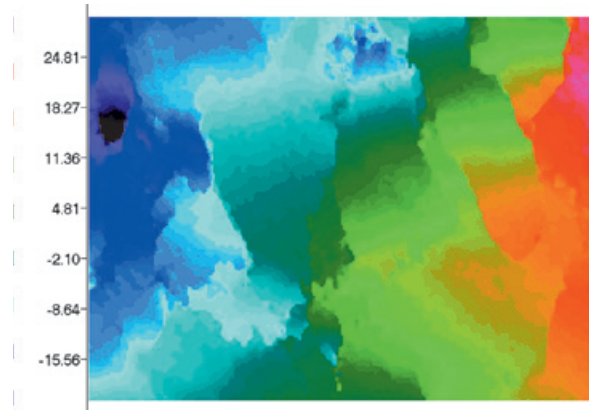
Zunächst wurde die Druckfestigkeit der einzelnen Proben ermittelt und statistisch ausgewertet. Weiters wurde die Last bei der ersten Rissentstehung aufgezeichnet und ebenfalls statistisch ausgewertet.

5. 4. 2. 4. 5 Einzelkornbetrachtung

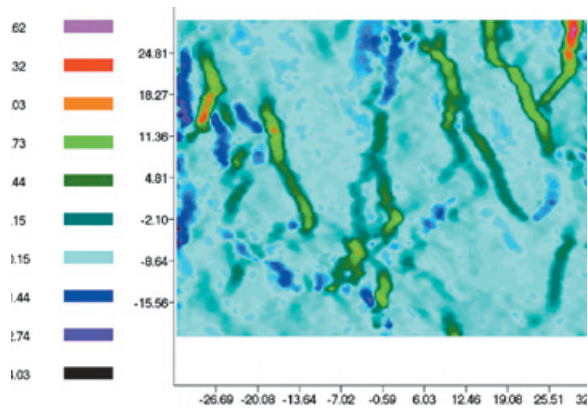
Um die Unterschiede zwischen Korn und Zementmatrix sowie deren Interaktion zu beurteilen, wurden ebenfalls Einzelkornbetrachtungen mittels ESPI durchgeführt. Dabei



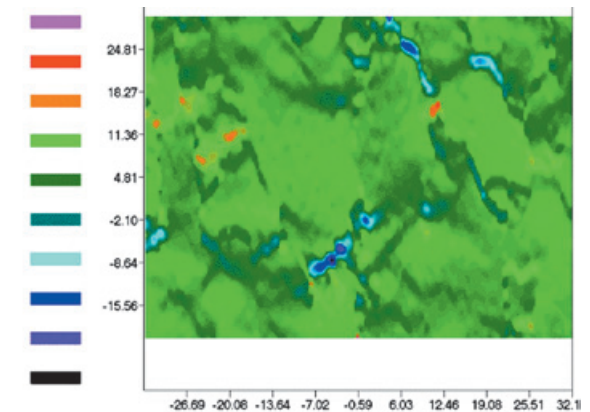
Obrázok 5. 4. 23 Výrez pre realizáciu skúšky
Abbildung 5. 4. 23 Ausschnitt für Versuchsdurchführung



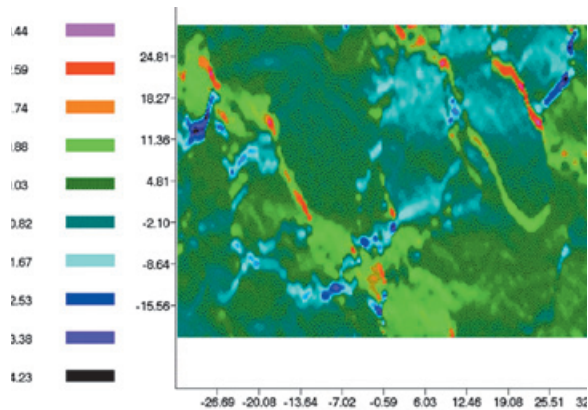
Obrázok 5. 4. 24 Analýza deformácie pomocou ESPI v smere x (μm)
Abbildung 5. 4. 24 Deformationsanalyse mittels ESPI in x-Richtung (μm)



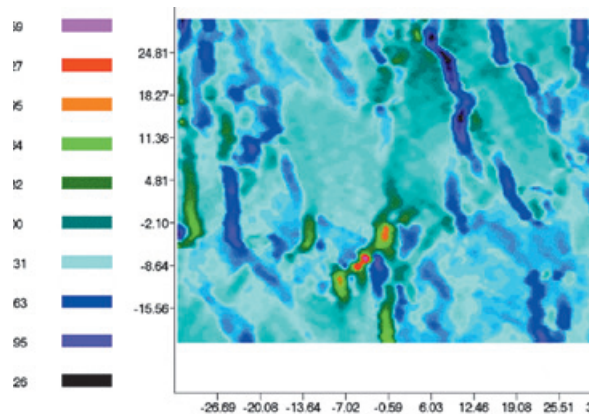
Obrázok 5. 4. 25 Rozťažnosť v smere x ($\mu\text{m}/\text{mm}$)
Abbildung 5. 4. 25 Dehnung in x-Richtung ($\mu\text{m}/\text{mm}$)



Obrázok 5. 4. 26 Rozťažnosť v smere y ($\mu\text{m}/\text{mm}$)
Abbildung 5. 4. 26 Dehnung in y-Richtung ($\mu\text{m}/\text{mm}$)



Obrázok 5. 4. 27 Posuv v smere x ($\mu\text{m}/\text{mm}$)
Abbildung 5. 4. 27 Schub in x-Richtung ($\mu\text{m}/\text{mm}$)



Obrázok 5. 4. 28 Posuv v smere y ($\mu\text{m}/\text{mm}$)
Abbildung 5. 4. 28 Schub in y-Richtung ($\mu\text{m}/\text{mm}$)

vloženého napätia a následnej deformácie, rozloženie napätí, jednotlivé posuny, vznik a rozvoj trhlin.

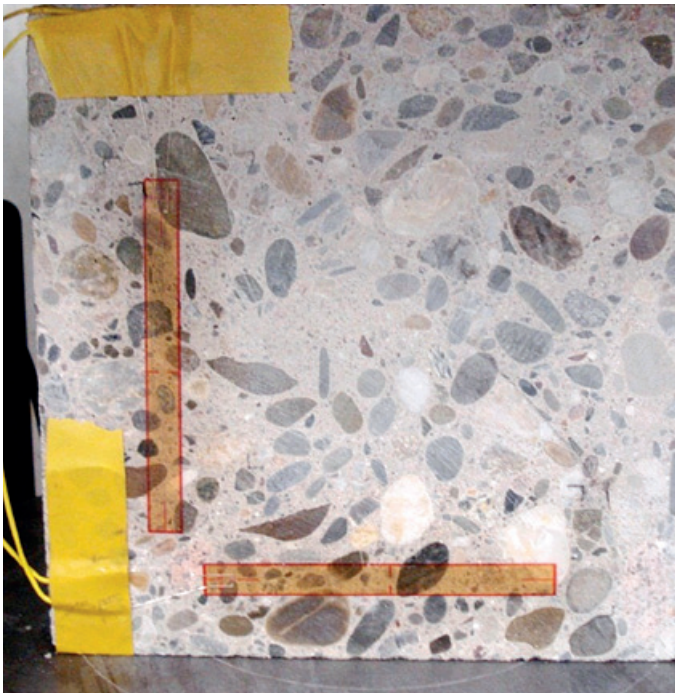
5. 4. 2. 4. 6 Verifikácia meraní ESPI metódy tenzometrom

Dosiahnuté výsledky podľa ESPI metódy sa konfrontovali s paralelnými tenzometrickými (DMS) meraniami. Vzájomné výsledkové porovnanie oboch metód sa dokumentuje

wurden Deformation, Dehnung, Schub sowie Rissentstehung ausgewertet.

5. 4. 2. 4. 6 Verifikation der ESPI-Messungen mittels Dehnungsmessstreifen

Zur Überprüfung der mittels ESPI gemessenen Werte wurden zusätzlich Parallelversuche mit Dehnungsmessstreifen



Obrázok 5. 4. 29 Paralelné meranie ESPI a DMS
Abbildung 5. 4. 29 Parallelmessungen ESPI und DMS

Tabuľka 5. 4. 9 Porovnanie ESPI a tenzometra

Tabelle 5. 4. 9 Vergleich ESPI und Dehnungsmessstreifen

Skúšobné teleso (priebeh) /Prüfkörper (Prüfdurchgang)	DMS H [mm/mm]	ESPI H [mm/mm]	[%]-odchýlka horizontálna /[%]-Abweichung horizontal	DMS V [mm/mm]	ESPI V [mm/mm]	[%]-odchýlka vertikálna / [%]-Abweichung vertikal
1 (DG 1)	0,074	0,068	8,62	0,429	0,461	7,40
1 (DG 2)	0,071	0,072	0,80	0,517	0,560	8,27
2 (DG 2)	0,121	0,135	11,67	0,619	0,670	8,32
3 (DG 1)	0,180	0,188	4,28	0,928	0,977	5,27
3 (DG 2)	0,139	0,153	10,30	0,709	0,735	3,60

v tabuľke 5. 4. 9. Obidve merania poskytujú zrovnateľné výsledky.

5. 4. 2. 4. 7 Skúšky v pevnosti v ťahu pri ohybe

Chovanie betónu podľa jednotlivých druhov cementu sa identifikovalo aj pri skúške ťahom a trojosovej skúške ťahom pri ohybe. Určujúcimi výstupmi skúšok boli údaje pevnosti v ťahu pri ohybe, relevantné moduly pružnosti, moment vzniku trhlin a jej širok. Pre tento cieľ sa pôvodné kockové betónové telesá narezali na veľkosti 150 × 73 × 25 mm. Pre skúšku až do okamihu zlomu sa použilo z každého druhu betónu 10 pripravených hranolových vzoriek.

Vyhodnotenie výsledkov sa realizovalo rovnakým spôsobom ako pri skúške pevnosti v tlaku. Pri ťahovom zatažení vzoriek betónov sa zreteľne pozoroval vznik trhlin. Hlavný dôraz pri analyzovaní výsledkov sa položil na zistenú veľkosť zataženia potrebnú na vznik prvej trhliny v závislosti od jednotlivých druhov cementov v betóne, následne na jej rozvoj a najmä evidovanú šírku.

Z porovnania zdokumentovaných výsledkov vyplýva,

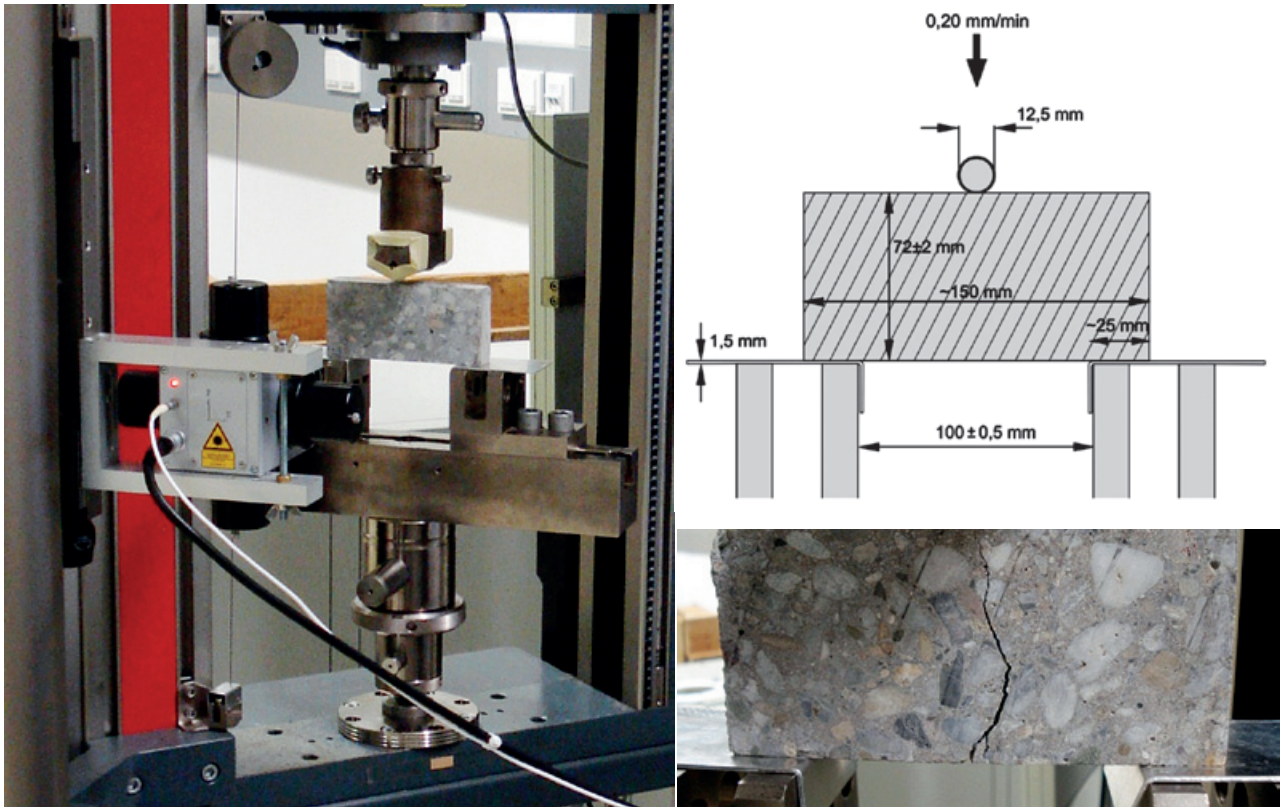
(DMS) durchgeführt. Die Ergebnisse des Vergleichs sind in Tabelle 5. 4. 9 angeführt. Die Messungen von ESPI und Dehnungsmessstreifen zeigten durchaus gute Übereinstimmung.

5. 4. 2. 4. 7 Biegezugversuche

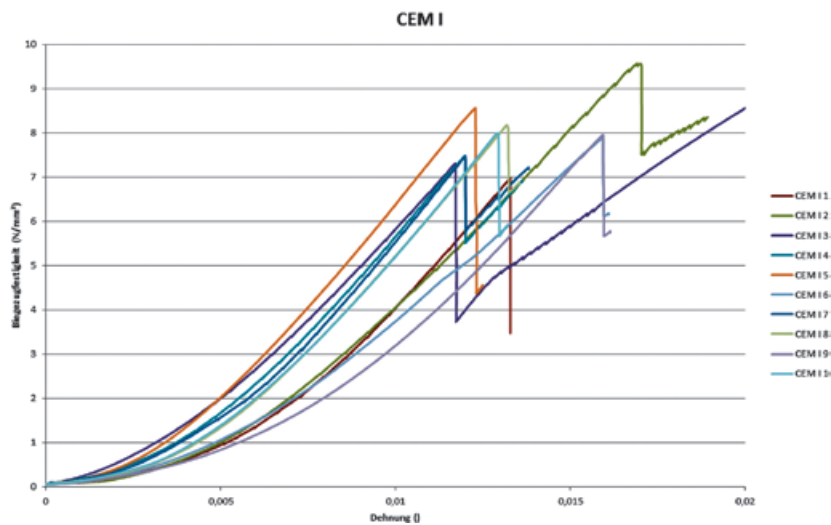
Zur Identifizierung des Betonverhaltens unter Zug- bzw. Biegezugbeanspruchung wurden Versuche mittels Drei-Punkt-Biegezugversuch durchgeführt. Dabei ging es um die Erfassung von Zugfestigkeit, Biegezugmodul, Rissentwicklung und Rissweite. Für die Versuchsdurchführung wurden die Betonwürfel in Scheiben mit den ca. -Maßen 150 × 73 × 25 mm geschnitten.

Der Versuchsaufbau war wie folgt gewählt. Von jeder Betonsorte wurden 10 Probekörper bis zum Bruch belastet.

Es wurde, wie bei den bisherigen Prüfungen auch, Deformationsvorgänge (Verschiebung) analysiert und ausgewertet. Unter Zugbelastung konnte die Rissentwicklung deutlich



Obrázok 5. 4. 30 Usporiadanie pri skúške pevnosti v ťahu pri ohybe v troch bodoch
Abbildung 5. 4. 30 Prüfaufbau für Drei-Punkt-Biegezugversuch

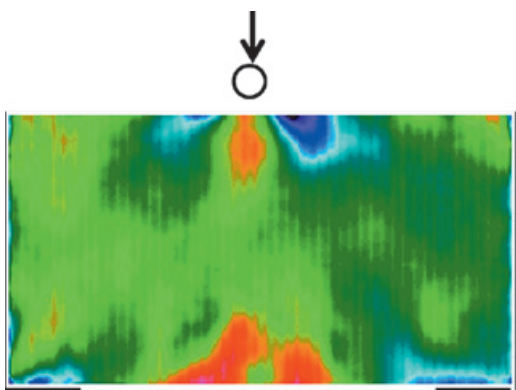


Obrázok 5. 4. 31 Diagram napätie – roztážnosť pre rôzne druhy betónu
Abbildung 5. 4. 31 Spannungs-Dehnungsdiagramm für verschiedene Betonsorte

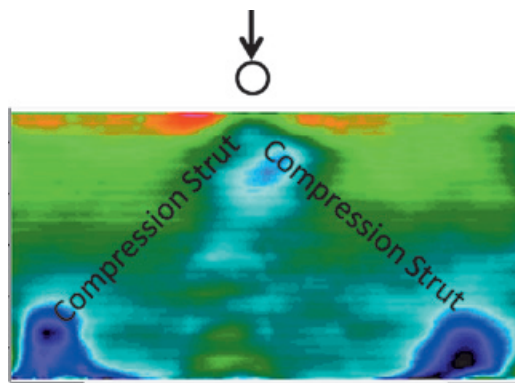
že betón s rakúskym CEM V/A sa vyznačuje rovnakou pevnosťou v ťahu ako referenčný betón s cementom druhu CEM I. Rakúsky cement CEM V/A sa preukazuje najneskorším vznikom prvej trhliny v porovnaní s ostatnými druhmi cementu CEM V pri rovnakej záťaži, pričom rozdiely medzi nimi sú marginálneho charakteru. Slovenský CEM V/B eviduje vznik prvej trhliny v betóne pri jemne zníženom zaťažení v porovnaní s ostatnými meraniami. Tesne pred zlomením skúšobnej vzorky vykazoval najväčšiu šírku trhlín betón s rakúskym cementom CEM V/A a slovenským CEM V/B. Betóny sa klasifikovali podľa typu lomu do jednotlivého zatriedenia a to najmä podľa toho, či určujúcim alebo rozhodne prevažujúcim bol lom, ktorý sa prejavil cez zrno

beobachtet werden. Es wurde z. B. die Last bei Entstehung der ersten Risse dokumentiert und für die einzelnen Betonarten ausgewertet. Weiters wurden wiederum die Rissbreiten beobachtet und analysiert.

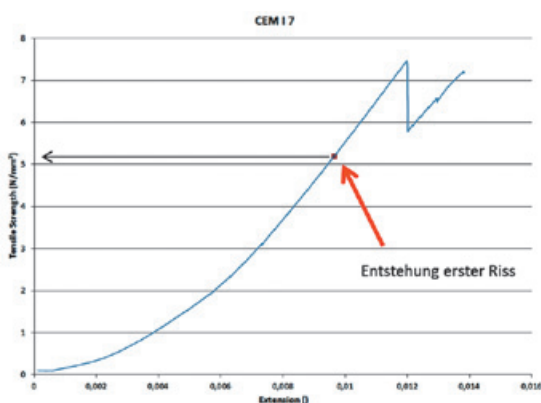
Beim Vergleich der Biegezugfestigkeiten zeigte sich folgendes Bild: der österreichische CEM V/A zeigt neben CEM I die höchste Zugfestigkeit. Erste Risse treten bei AT V/A im Vergleich zu den anderen Zementarten später auf, beim prozentuellen Vergleich über die Maximalfestigkeit fällt nur SK V/B mit deutlich niedrigeren Werten auf, die übrigen Zementarten weisen ähnliche Werte auf. Hinsichtlich Rissweite zeigen AT V/A und SK V/B die



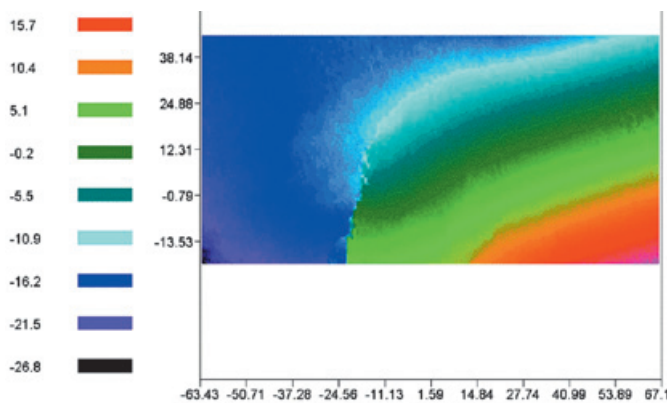
Obrázok 5. 4. 32 Rozloženie napätia v smere x (modrá=tlak, červená=ťah)
Abbildung 5. 4. 32 Spannungsverteilung in x-Richtung (blau=Druck, rot=Zug)



Obrázok 5. 4. 33 Rozloženie napätia v smere y
Abbildung 5. 4. 33 Spannungssverteilung in y-Richtung



Obrázok 5. 4. 34 Vznik prvých trhlin pre jednotlivé skúšobné telesá
Abbildung 5. 4. 34 Erstrissentstehung für einzelnen Prüfkörper



Obrázok 5. 4. 35 Vznik trhlin u skúšobných telies
Abbildung 5. 4. 35 Rissentwicklung bei Probekörper

kameniva alebo okolo neho. Príslušné výsledky zhrňuje tabuľka 5. 4. 10.

5. 4. 2. 4. 8 Dynamické skúšky

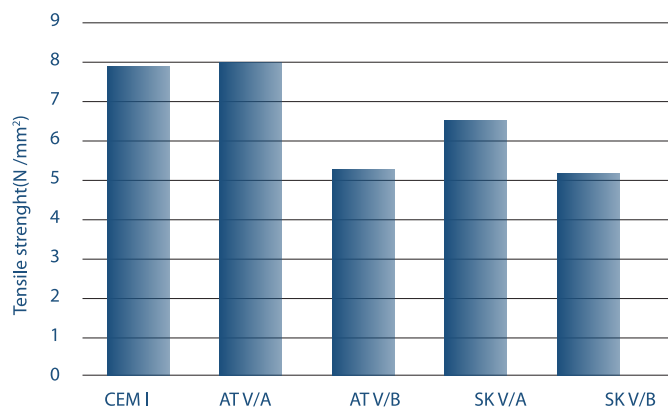
V Inštitúte pre konštrukčné inžinierstvo BOKU-IKI, Viedeň sa realizovali dynamické skúšky betónu s rôznymi cementmi CEM V s cieľom zistenia ich chovania pod dynamickým zaťažením, a to najmä v porovnaní s referenčným cementom

höchsten absoluten Werte unmittelbar vor Versagen der Probe.

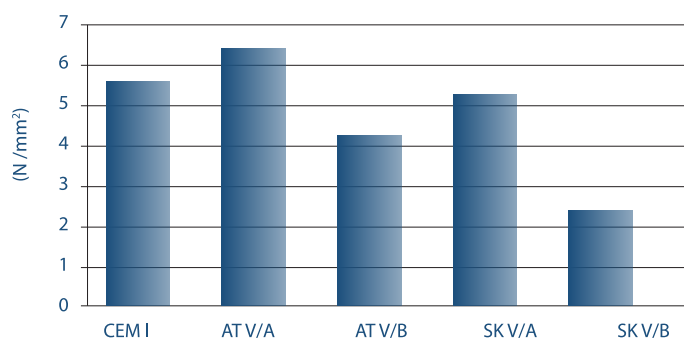
Nach genauer Betrachtung der Bruchflächen wurden die einzelnen Betonarten nach ihrer Versagensursache eingeteilt. Hierbei wurde unterschieden ob der Bruch durch das Korn oder um das Korn herum stattgefunden hat (Tabelle 5. 4. 10).

5. 4. 2. 4. 8 Dynamische Versuche

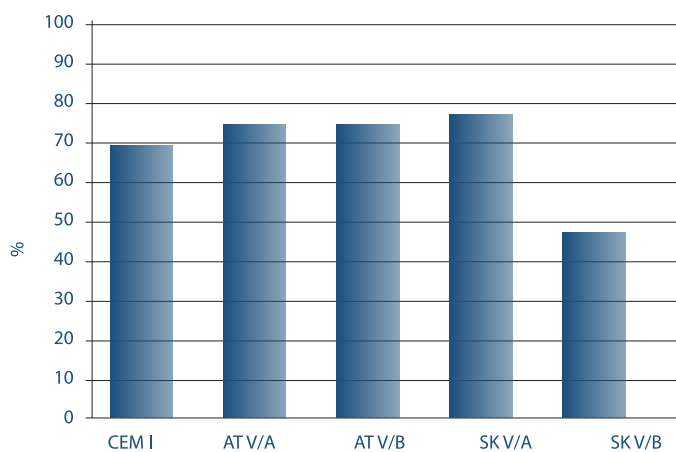
Zum Zweck der Ermittlung der dynamischen Eigenschaften der CEM V Betone und des Vergleichs mit CEM I Standardbeton wurden und werden dynamische Versuche



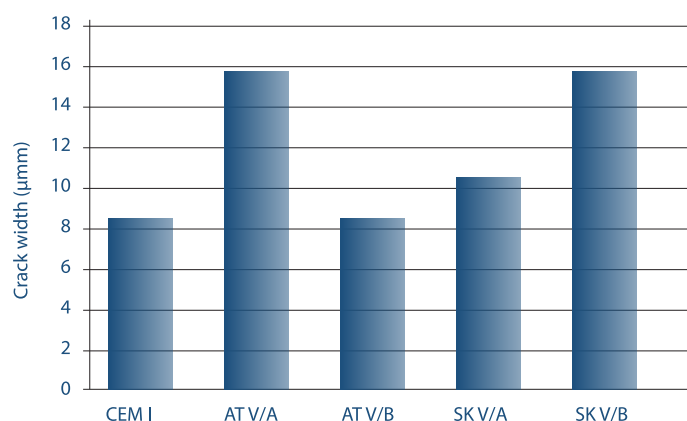
Obrázok 5. 4. 36 Pevnosť v ťahu pre jednotlivé druhy cementu
Abbildung 5. 4. 36 Zugfestigkeit der einzelnen Zementarten



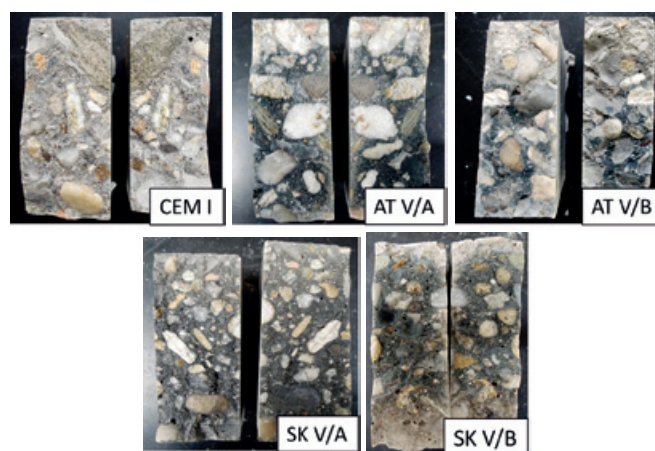
Obrázok 5. 4. 37 Napätie v ťahu pri vzniku prvej trhliny (priemerné hodnoty)
Abbildung 5. 4. 37 Zugspannung bei erster Rissentwicklung (Mittelwerte)



Obrázok 5. 4. 38 Prvá trhlina v % maximálnej pevnosti
Abbildung 5. 4. 38 Erstriss in % der Maximalfestigkeit



Obrázok 5. 4. 39 Šírka trhliny tesne pred zlomením
Abbildung 5. 4. 39 Rissweite knapp vor dem Bruch



Obrázok 5. 4. 40 Plochy lomu rôznych druhov betónu
Abbildung 5. 4. 40 Bruchflächen der unterschiedlichen Betonsorten

Tabuľka 5. 4. 10 Charakteristika lomu pre jednotlivé druhy cementu v betóne
Tabelle 5. 4. 10 Bruchausprägung der einzelnen Zementarten

Druh cementu / Zementart	Vznik lomu (cez zrno alebo okolo zrna) / Bruchentwicklung (durch Korn hindurch oder um Korn herum)
CEM I	oboje / Beides
CEM V/A - AT	Oboje, trend – cez zrno / Beides, Trend durch Korn hindurch
CEM V/B - AT	Viac okolo zrna/ V. a. um Korn herum
CEM V/A - SK	oboje / Beides
CEM V/B - SK	Oboje, trend – okolo zrna / Beides, Trend um Korn herum

CEM I druhu tiež použitým v betóne. Na skúšky sa použili valcovité vzorky, ktoré sa vyrezali z pôvodnej kockovej vzorky betónu pre každý cement. Tieto vzorky sa na 70 % úrovni zaťaženia na medzi pevnosti zaťažili 3 Hz až po okamih zlomu. Pri tejto skúške sa evidovali materiálové parametre betónu inštalovanými snímačmi rôzneho druhu na meranie akustických emisií, prechodu ultrazvuku a tiež sa aplikovali tenzometrické merania. Výsledkom skúšky bola evidencia chovania sa betónu pod dynamickým zaťažením a stupeň jeho poškodenia pri zvolených podmienkach experimentu.

am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau durchgeführt. Geprüft werden dabei aus Würfeln herausgebohrte zylindrische Probekörper. Diese werden bei 70 % Bruchlast bei 3 Herz bis zum Bruch belastet. Zeitgleich erfolgt die Abnahme von Materialparametern mit diversen Sensoren wie akustische Emission, Ultraschall und Dehnungsmessstreifen. Ziel ist es das Materialverhalten und den Grad der Schädigung mit den genannten Sensortechniken sichtbar zu machen.



Obrázok 5. 4. 41 Usporiadanie skúšobného zariadenia pre dynamické skúšky
Abbildung 5. 4. 41 Versuchsanordnung für dynamische Versuche

5. 4. 2. 4. 9 Výsledky a zhrnutie

Tabuľka 5. 4. 11 podáva rozhodujúce porovnanie výsledkov, vyplývajúce z metódy ESPI aj vrátane hodnôt zistených pre referenčný betón s cementom CEM I. Vyhodnotenie výsledkov podľa ESPI metódy poskytuje tieto určujúce závery. Metóda umožňuje kvalitatívne a kvalitatívne zaznamenať závislosti napätia a deformácií pri zaťažení betónov tlakom a ťahom pri ohybe, identifikovať nielen pevnostné charakteristiky, ale aj vznik prvej trhliny a rozvoj ďalších trhlín, zaevidovať mieru zaťaženia betónu pri vzniku prvej trhliny a merať jej šírku a to aj pri ďalšom zaťažovaní až do momentu zlomu, stanoviť určujúci či prevažujúci typ zlomu: cez

5. 4. 2. 4. 9 Ergebnisse und Zusammenfassung

Tabelle 5. 4. 11 zeigt einen direkten Vergleich inklusive Bewertung (gegenüber dem Referenzzement CEM I) der einzelnen Zement- bzw. Betonarten.

Insgesamt kann folgendes zusammengefasst werden: durch das ESPI war es möglich Verschiebungen, Dehnungen, Schub, etc. der einzelnen Prüfkörper qualitativ und quantitativ während Druck- bzw. Zugbelastung aufzuzeichnen und zu visualisieren. Der Vergleich dieser Messmethode mittels Dehnungsmessstreifen zeigte gute Übereinstimmung.

Was die Eigenschaften der einzelnen Betonarten betrifft, so konnte gezeigt werden, dass CEM V/A - AT in vielen Belangen

Tabuľka 5. 4. 11 Porovnanie jednotlivých druhov betónu, respektíve cementu
Tabelle 5. 4. 11 Vergleich der einzelnen Beton- bzw. Zementsorten

	CEM I (referenčný) /CEM I (Referenz)	CEM V/A - AT	CEM V/B - AT	CEM V/A - SK	CEM V/B - SK
Pevnosť v tlaku (po 60 dňoch / Druckfestigkeit (nach 60 Tage)	51 N/mm ²	+	-	+	-
Pevnosť v ťahu pri ohybe /Biegezugfestigkeit	7,8 N/mm ²	+	-	-	-
Vznik trhlín / Rissentwicklung	5,5 N/mm ²	+	-	0	-
Šírka trhlín / Rissbreite	8,9 mm	-	0	0	-
Zlomenie (cez alebo okolo zrna) / Versagen (durch oder um Korn herum)	beides	durch	um Korn herum	beides	um Korn herum
			+ besser	- schlechter	0 gleich

Poznámka

+ lepšia, - horšie, 0 nezmené

Die Bemerkung :

+ besser, - schlechter, 0 gleich

zrno kameniva alebo popri ňom a rekognoskovať správanie sa betónu pri dynamickom namáhaní z pohľadu vzniku prvej trhliny, ich rozvoja a šírkou trhlín.

Berúc do úvahy všetky uvedené parametre determinujúce mechanické a deformačné vlastnosti betónov vyhodnotených podľa ESPI možno konštatovať, že rakúsky cement CEM V/A v betóne disponuje až rovnakými parametrami ako referenčný cement CEM I, pričom ostatné druhy cementu sa vyznačujú približne rovnakými alebo marginálne zníženými hodnotami v oblasti sledovaných mechanických a deformačných vlastností betónov.

5. 4. 2. 5 Mikroštruktúra betónov

RTG záznamy betónov s cementmi CEM V/A - (AT,SK) a s referenčným cementom CEM I druhu po ročnej expozícii vo vode a v suchom vzduchu ilustrujú obrázky 5. 4. 42 a 5. 4. 43.

Mineralogické zloženie betónov pozostáva z majoritného kremeňa a minoritného živca ako anortitu pochádzajúcich z použitého riečného kameniva z Moravy. Hydroxid vápenatý (portlandit) Ca(OH)_2 predstavuje reakčný produkt hydratácie cementu a prítomný kalcit s najväčšou pravdepodobnosťou karbonátový produkt hydratácie cementu, najmä portlanditu. Porovnanie intenzít difrakčných čiar pre Ca(OH)_2 potvrdzuje spotrebovanie Ca(OH)_2 v betóne s cementom CEM V/A a CEM V/B puzolánovou reakciou, na rozdiel od betónu s referenčným cementom CEM I. RTG difrakčná analýza dokumentuje, že betóny s cementom CEM V/A a CEM V/B, uložené vo vode po dobu jedného roku obsahujú menej kryštalického portlanditu. To na druhej strane znamená, že prebiehajúca puzolánová reakcia medzi hydratovaným cementom a popolčekom, vysokopecnou troskou a zeolitom podporuje vznik gélových hydratačných produktov viazaním CaO puzolánom na úkor tvorby portlanditu. Rozhodujúce závery termickej analýzy betónov znázorňuje obrázok 5. 4. 44.

1. Ca(OH)_2 je evidentne viac spotrebované v zmesových cementoch - CEM V/ (A, B).
2. Obsah vody viazanej v hydratačných produktoch cementu CEM V je podobný ako u cementu CEM I za výrazne nižšieho podielu slinku.

Toto dve skutočnosti podávajú dôkaz o puzolánovej aktivite použitých prímiesí pri dostatočne dlhej dobe ošetrovania betónov vo vode. Zmesové cementy počas trvania jednoročnej hydratácie vstupujú do puzolánovej reakcie s použitými prímiesami (popolček, vysokopecná troska a zeolit) a vytvárajú pritom hydratovanú fázu s väčším podielom zastúpenia gélových hydratačných produktov typu C-S-H a C-A-H a menším obsahom kryštalického portlanditu.

To znamená indíciu, že betóny zhotovené zo zmesového cementu CEM V/A a CEM V/B sa majú preukázať so zahustenou pórovou štruktúrou a tým aj nižšou priepustnosťou.

Hydratovaná fáza betónov zhotovených z cementu druhu CEM V/A a CEM V/B, ktorá sa vyznačuje nižším obsahom CaO (obrázok 5. 4. 45) potvrdzuje podľa výsledkov RTG a termickej analýzy lepšie kvalitatívne a kvantitatívne parametre ako v betóne s cementom CEM I druhu. V obrázku 5. 4. 5 znázorňujúcom obsah CaO v betóne po jednom roku uloženia vo vode je nepresnosť v legende: obsah CaO nie je vzťahnutý k cementu, ale prezentuje jeho obsah v betóne. Výsledky štúdie pórovej štruktúry betónov uložených jeden rok vo vodnom prostredí demonštruje tabuľka 5. 4. 12.

Betóny zhotovené zo zmesového cementu CEM V/A a CEM V/B sa vyznačujú väčším špecifickým povrchom plochy všetkých pórov a celkovým objemom pórov a vyššou celkovou pórovitosťou. . Súčasne dokumentujú nižší stredný polomer (medián) mikropórov a všetkých pórov a nižšiu priepustnosť špecifikovanú koeficientom priepustnosti

an die mechanischen Eigenschaften des Referenzzements CEM I anknüpfen kann (im ausgehärteten Zustand, Alter ca. 60 Tage). Die übrigen Zement- bzw. Betonsorten zeigten mechanisch gesehen zumeist geringere Werte.

5. 4. 2. 5 Mikrostruktur des Betons

Röntgenaufnahmen des Betons mit den Zementen CEM V/A - (AT, SK) und mit dem Referenzzement CEM I nach einem Jahr Exposition in Wasser und in trockener Luft illustrieren die Abbildungen 5. 4. 42 und 5. 4. 43.

Die mineralogische Zusammensetzung des Betons besteht aus majoritem Silizium und minoritem Feldspat wie Anorthit, die aus der verwendeten Gesteinskörnung der March stammen. Calciumhydroxid (Portlandit) Ca(OH)_2 stellt ein Reaktionsprodukt der Hydratation des Zements dar und das vorhandene Calcit ist mit größter Wahrscheinlichkeit ein Karbonatisierungsprodukt der Hydratation des Zements, insbesondere von Portlandit. Der Vergleich der Intensität der Diffraktionslinien für Ca(OH)_2 bestätigt den Verbrauch von Ca(OH)_2 im Beton mit dem Zement CEM V/A und CEM V/B durch eine Puzolanreaktion, im Gegensatz zu Beton mit dem Referenzzement CEM I. Die RTG Diffraktionsanalyse dokumentiert, dass Beton mit dem Zement CEM V/A und CEM V/B, für ein Jahr in Wasser eingelegt, weniger kristallines Portlandit enthält. Das bedeutet andererseits, dass Puzolanreaktionen zwischen hydriertem Zement und Flugasche, Hüttensand und Zeolith die Entstehung von Gel-Hydratationsprodukten durch die Bindung von CaO -Puzolan zu Lasten der Bildung von Portlandit unterstützen. Die entscheidenden Schlussfolgerungen der thermischen Analyse stellt Abbildung 5. 4. 44 dar.

1. Ca(OH)_2 wird evident mehr in den Kompositzementen - CEM V/ (A, B) verbraucht.
2. Der Gehalt an Wasser, das in Gel-Hydratationsprodukten des Zements CEM V gebunden ist, ist ähnlich dem beim Zement CEM I bei deutlich geringerem Klinkeranteil.

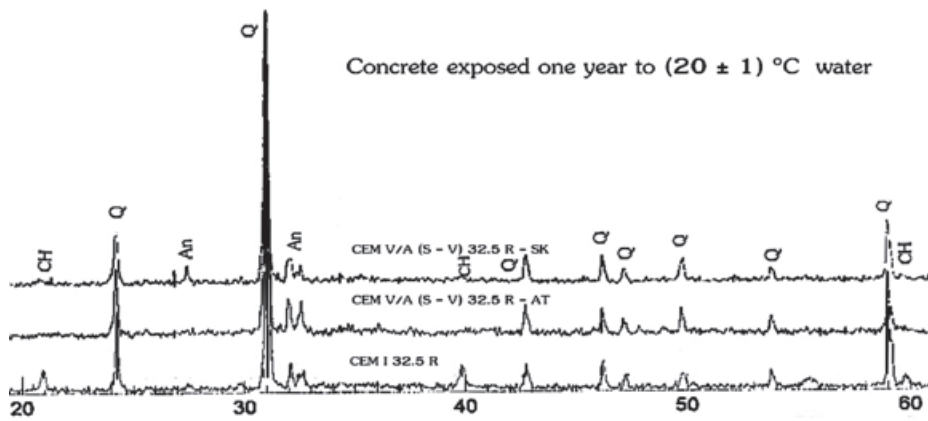
Diese beiden Tatsachen liefern einen Beweis für die Puzolanaktivität der verwendeten Zusatzstoffe bei ausreichend langer Dauer der Behandlung den Betone in Wasser. Kompositzemente treten während der einjährigen Hydratation in eine Puzolanreaktion mit den verwendeten Zusatzstoffen (Flugasche, Hüttensand und Zeolith) und bilden dabei eine Hydratationsphase mit einem höheren Anteil des Auftretens an Gel-Hydratationsprodukten des Typs C-S-H und C-A-H mit einem geringeren Gehalt an kristallinem portlanditu.

Das ist ein Indiz dafür, dass Beton aus dem Kompositzement CEM V/A und CEM V/B sich mit einer dichteren Porenstruktur ausweisen sollten und damit auch mit einer geringeren Durchlässigkeit.

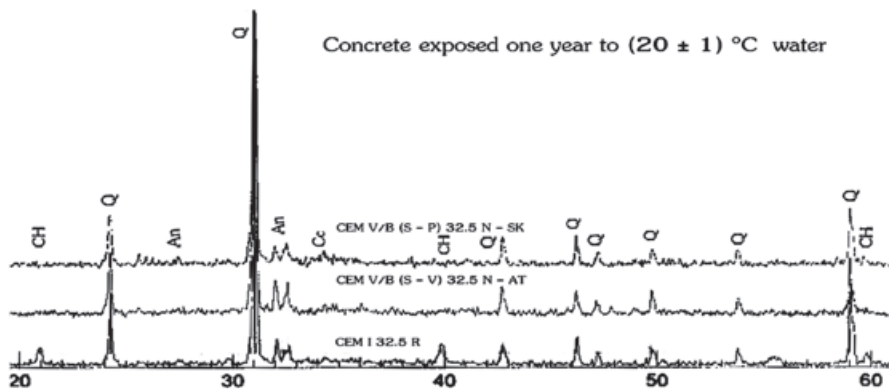
Die Hydratationsphase des Betons aus den Zementsorten CEM V/A und CEM V/B, die durch einen geringeren Gehalt an CaO gekennzeichnet ist (Abbildung 5. 4. 45), bestätigt die Ergebnisse des Röntgens und der thermischen Analyse, und zwar bessere qualitative und quantitative Parameter als im Beton mit der Zementsorte CEM I.

Abbildung 5. 4. 45 CaO -Gehalt im Beton nach einzelnen Zementsorten nach einem Jahr Verlegung im Wasser (die englische Legende ist falsch, der CaO -Gehalt ist nicht im Zement, sondern im Beton).

Die Ergebnisse der Studie der Porenstruktur des Betons nach einem Jahr im Wasser präsentiert Tabelle 5. 4. 12.



Obrázok 5. 4. 42 Difraktogramy betónu CEM I a CEM V/A druhu
Abbildung 5. 4. 42 Diffraktogramme der Betone CEM I und CEM V/A

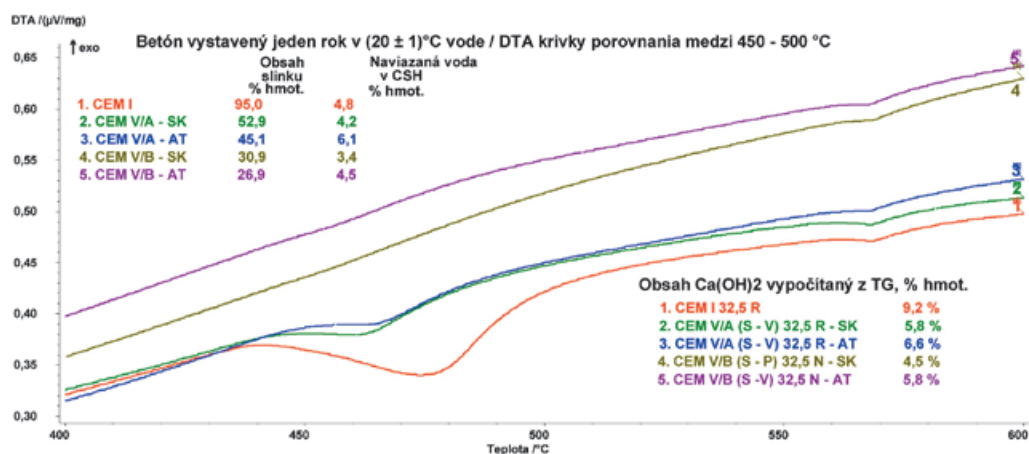


Obrázok 5. 4. 43 Difraktogramy betónu CEM I a CEM V/B druhu CH - portlandit $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Cc – vápenc CaCO_3 ako kalcit,
Q - krem SiO_2 , An - anortit: patriaci do skupiny živcov - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$

Abbildung 5. 4. 43 Diffraktogramme der Betone CEM I und CEM V/B CH - Portlandit $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Cc – Kalkstein wie CaCO_3 , Calcit,
Q - Silizium SiO_2 , An - Anorthit: zur Gruppe der Feldspare gehörend - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$

(permeability) v porovnaní s parametrami pórovej štruktúry zistenými v referenčnom betóne. Tieto fakty reprezentujú dôkaz o tom, že betóny pripravené zo zmesových cementov CEM V/A a CEM V/B disponujú so zjemnenou, zahustenou a menej priepustnou pórovou štruktúrou. Zahustená pórová štruktúra je výsledkom puzzolánovej reakcie, ktorá vytvára v jednotkovom objeme hydratovanej fázy betónu zhotoveného zo zmesových cementov väčší podiel gélových a tým menej priepustných hydratačných produktov s prevažujúcim zastúpením mikropórov v porovnaní s mikroštruktúrou referenčného betónu, v ktorom bez prítomnosti puzzolánov nedochádza k intenzívnemu spotrebovaniu CaO na C-S-H a C-A-H gély, ale v nej prevažuje kryštalický portlandit. Obohatenie hydratovanej fázy puzzolánovou reakciou o gélové hydratačné produkty a následné zahustenie pórovej štruktúry s najväčšou pravdepodobnosťou bude rezultovať vo zvýšení odolnosti týchto betónov proti pôsobeniu chemicky agresívneho prírodného prostredia.

Beton aus Kompositzement CEM V/A und CEM V/B ist durch eine größere spezifische Oberfläche aller Poren, größeres Gesamtvolumen der Poren und größere Gesamtporosität gekennzeichnet. Gleichzeitig wird ein geringeres Mittelmaß (Median) der Mikroporen und aller Poren dokumentiert und eine geringere Durchlässigkeit, die mit dem Durchlässigkeitskoeffizient spezifiziert wird (Permeabilität) im Vergleich zu den Parametern der Porenstruktur des Referenzbetons. Diese Fakten repräsentieren den Beweis dafür, dass Beton aus den Kompositzementen CEM V/A und CEM V/B über eine feine, dichte und weniger durchlässige Porenstruktur verfügt. Die dichtere Porenstruktur ist das Ergebnis der Puzzolanreaktion, die im einheitlichen Volumen der Hydratationsphase des Betons aus den Kompositzementen einen größeren Anteil an geligen Produkten bildet, und dadurch weniger durchlässige Hydratationsprodukte mit überwiegender Vertretung von Mikroporen im Vergleich zur Mikrostruktur des Referenzbetons, in dem es ohne Vorkommen von Puzzolanen nicht zum intensiveren Verbrauch von CaO für C-S-H und C-A-H-Gele kommt, sondern in denen kristallines Portlandit überwiegt. Aus der Anreicherung der Hydratationsphase mit Gel-Hydratationsprodukten durch die Puzzolanreaktion und durch die anschließende Verdichtung der Porenstruktur wird mit größter Wahrscheinlichkeit eine Erhöhung der Beständigkeit dieses Betons gegen die Einwirkung einer chemisch aggressiven natürlichen Umgebung resultieren.



Obrázok 5. 4. 44 Obsah portlanditu a vody viazanej v gélových hydratačných produktoch
Abbildung 5. 4. 44 Gehalt an Portlandit und Wasser, das in Gel-Hydratationsprodukten gebunden ist

Poznámka / Die Bemerkung:

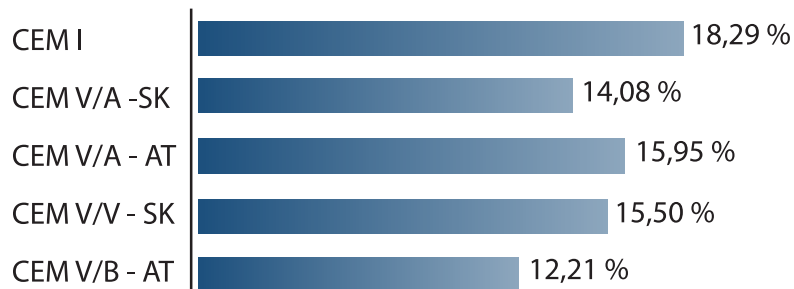
Obsah slinku / Klinkergehalt

Naviazaná voda v CSH / Gebundenes Wasser in CSH

Obsah Ca(OH)₂ / Ca(OH)₂ Gehalt, der aus TG berechnet ist

Betón vystavený jeden rok vo vode (20 ± 1) °C / DTA krivky - porovnania medzi 450 - 500 °C /

Beton ein Jahr im (20 ± 1) °C Wasser ausgestellt / DTA Kurvenvergleich in zwischen 400 - 500 °C



Obrázok 5. 4. 45 Obsah CaO v betóne podľa jednotlivých druhov cementu po ročnom uložení vo vode
Abbildung 5. 4. 45 CaO-Gehalt im Beton nach einzelnen Zementsorten nach einem Jahr Verlegung im Wasser

Tabuľka 5. 4. 12 Základné parametre pórovej štruktúry betónov podľa použitých cementov

Tabelle 5. 4. 12 Grundparameter der Porenstruktur des Betons nach verwendeten Zementen

Betón Beton	Špecifický povrch, plocha pórov / Spezifische Oberflächen der Poren (m ² /g)	Celkový objem pórov Gesamtvolumen den Poren (mm ³ /g)	Stredný polomer Median des Mittelwerts		Celková pórovitosť Gesamtporosität (%)	Koefficient priepustnosti Koeffizient der Durchlässigkeit (k × 10 ⁻¹⁵) (m/s)
			mikro póry /der Mikroporen (nm)	celkový / aller Poren (nm)		
CEM I	9,14	670	23,5	30,8	14,2	4
CEM V/A - AT	24,85	1040	9,7	18,8	18,6	2
CEM V/B - AT	21,98	850	9,3	13,3	15,8	1
CEM V/A - SK	27,00	1280	9,9	18,5	23,5	2
CEM V/B - SK	22,13	1020	12,0	15,5	20,2	2

5. 4. 3 Záver

Dosiahnuté výsledky z betónov zhotoveným z cementu druhu CEM V/A a CEM V/B umožňujú postulovanie nasledovných záverov.

1. Špecifikácia pre betón s cementom CEM V/A podľa štandardizovaných kritérií pre betón uvádzaných v STN EN 206-1/NA môže byť navrhnutá nasledovne:

STN EN 206-1 - C30/37 - XC4, XD2, XA2 (SK) - CI 0,2 - Dmax 16 – maximálny priesak vody 50 mm, nasiakavosť menej ako 6 % hmot. (bez prevzdušnenia) .

2. Špecifikácia pre betón s cementom CEM V/B podľa štandardizovaných kritérií pre betón uvádzaných v STN EN 206-1/NA môže byť navrhnutá nasledovne:

STN EN 206-1 - C 20/25 - XC3, XA1 (SK) - CI 0,2 - Dmax 16 – maximálny priesak vody 50 mm, nasiakavosť menej ako 6 % hmot. (bez prevzdušnenia).

3. Zmrašťovanie/rozpínanie, šírenie trhliny (vznik, rýchlosť) a s tým súvisiace šírky trhlín v betónoch so zmesovými cementmi sú porovnateľné s hodnotami pre betón s cementom CEM I, dokonca v niektorých prípadoch sú zistené parametre lepšie.

4. Betóny s cementom CEM V druhu sú bohatšie na gélové hydratačné produkty a chudobnejšie na kryštalický Ca(OH)_2 v porovnaní s betónom s cementom CEM I. Takýto stav hydratovanej fázy spôsobuje zjemnenie pórovej štruktúry a zníženie priepustnosti zmesových cementových betónov.

5. Výsledky naznačujú možné budúce rozšírenie v používaní betónov s cementmi CEM V/ (A, B), najmä v chemicky agresívnom prostredí.

5. 4. 3 Zusammenfassung

Die erreichten Ergebnisse des Betons aus der Zementsorte CEM V/A und CEM V/B ermöglichen die Aufstellung der folgenden Schlussfolgerungen:

1. Die Spezifikation für Beton mit dem Zement CEM V/A nach standardisierten Kriterien für Beton gemäß STN EN 206-1/NA könnte vorgeschlagt sein als:

STN EN 206-1 - C30/37 - XC4, XD2, XA2 (SK) - CI 0,2 - Dmax 16 – maximale Wasserdurchlässigkeit 50 mm, Eindringung geringer als 6 % des Gewichts (ohne Durchlüftung).

2. Die Spezifikation für Beton mit dem Zement CEM V/B nach standardisierten Kriterien für Beton gemäß STN EN 206-1/NA könnte vorgeschlagt sein als:

STN EN 206-1 - C 20/25 - XC3, XA1 (SK) - CI 0,2 - Dmax 16 – maximale Wasserdurchlässigkeit 50 mm, Eindringung geringer als 6 % des Gewichts (ohne Durchlüftung).

3. Schrumpfung/Dehnung, Verbreitung von Rissen (Entstehung, Geschwindigkeit) und die damit zusammenhängende Breite der Risse in Beton mit Kompositzementen sind vergleichbar mit den Werten für Beton mit dem Zement CEM I, in einigen Fällen wurden sogar bessere Parameter festgestellt.

4. Beton mit der Zementsorte CEM V ist reicher an Gel-Hydratationsprodukten und ärmer an kristallinen Ca(OH)_2 im Vergleich zu Beton mit dem Zement CEM I. Ein solcher Zustand der Hydratationsphase verursacht eine Verfeinerung der Porenstruktur und eine Senkung der Durchlässigkeit des Kompositzement-Betons.

5. Die Ergebnisse deuten eine mögliche künftige Ausweitung der Verwendung von Beton mit den Zementen CEM V/ (A, B) an, insbesondere in einer chemisch aggressiven Umgebung.

5.5 Štúdium mikroštruktúry vzniknutých hydratovaných fáz a pórovej štruktúry, vrátane permeability, na cementových kašiach rovnakého zloženia ako v betóne

Časť 5.5 popisuje vytvorenú mikroštruktúru cementových kaší z cementov s rozdielnym zložením (CEM V/A-AT, -SK a CEM V/B-AT, -SK), ktoré sú svojím zložením z pohľadu obsahu cementu, vody a prípadne superplastifikátora totožné s „cementovou pastou“ vyrobených betónov. Týmto spôsobom sa základným výskumom študujú podmienky vzniku hydratovanej fázy a tvorby pórovej štruktúry, ktoré možno očakávať v samotnom betóne. Zmesové cementy CEM V/A a CEM V/B sa navzájom líšia hlavne rozdielnym obsahom slínku, avšak na objektívne hodnotenie týchto cementov a príslušných kaší iba toto kritérium nestačí. Zhodnotenie a porovnanie chovania sa hydratujúcich cementov v cementových kašiach sa uskutočňuje podľa ďalšieho významného kritéria – podielu kaše z portlandského cementu pochádzajúceho z jednotlivých cementov CEM V.

5.5.1 Úvod

Stanovenie základných fyzikálnych parametrov zmesových cementov druhu CEM V/A a CEM V/B podľa EN 197-1 vyrobených v Rakúsku (AT) a na Slovensku (SK). Použili sa tieto skúšobné metódy: stanovenie špecifického povrchu zariadením podľa Blaina; stanovenie hustoty (špecifickej hmotnosti) plynovým pyknometrom a RTG difrakčná fázová analýza na identifikáciu hlavných kryštalických fáz.

Sledovanie zmien pórovej štruktúry betónov vyrobených z uvedených cementov v priebehu hydratácie v termínoch 28 – 90 – 365 dní. Betóny boli ošetrované v dvoch prostrediach, na vzduchu a vo vode. Na stanovenie parametrov pórovej štruktúry a ďalších významných hodnôt sa použila metóda ortuťovej tlakovej porozimetrie.

Štúdium fázového zloženia a pórovej štruktúry cementových pást s rovnakým zložením ako má spojivo v príslušných betónoch. Na sledovanie tvorby hydratačných produktov v čase sa použila termická analýza (DTA/TGA), RTG fázová analýza ako aj stanovenie hustoty. Na stanovenie parametrov pórovej štruktúry a ďalších významných hodnôt sa použila metóda ortuťovej tlakovej porozimetrie.

Primárnym zámerom bolo porovnať navzájom dvojice cementov 32,5 AT a SK v rámci jedného druhu CEM V/A s rovnakou minerálnou prímiesou S-V a tiež druhu CEM V/B s rozdielnymi minerálnymi prímiesami S-V v AT cemente a S-P v SK cemente. Ako referenčný cement sa použil portlandský cement CEM I 32,5 R vyrobený na Slovensku.

V zmysle znenia EN 197-1 sa označujú minerálne prímiesy v cemente CEM V nasledovne: S – vysokopecná troska; V – kremičitý popolček; P – prírodný puzolán, v cemente CEM V/B – Sk bol použitý zeolitický tuf.

Už na začiatku bolo jasné, že cementy CEM V/A – AT a – SK možno porovnávať, pretože sú charakterizované rovnakou minerálnou prímiesou typu S-V. Objektívne porovnanie týchto cementov je však možné len v prípade rovnakého alebo veľmi blízkeho zloženia (obsah slínku, sadrovca, celkového podielu

5.5 Studium der Mikrostruktur der entstandenen Hydratationsphasen und der Porenstruktur, einschließlich der Permeabilität, bei den Zementleimen der gleichen Zusammensetzung wie im Beton

Der Teil 5.5 beschreibt die gebildete Mikrostruktur des Zementleims aus Sedimenten mit unterschiedlichen Inhaltsstoffen (CEM V/A-AT, -SK und CEM V/B-AT, -SK), die durch ihre Zusammensetzung aus Sicht des Gehalts an Zement, Wasser und eventuell Superplastifikator dem „Zementleim“ des hergestellten Betons entsprechen. Auf diese Weise werden durch die grundlegende Erforschung die Bedingungen der Entstehung der Hydratationsphase und der Porenstruktur studiert, die im Beton selbst erwartet werden können. Die Kompositzemente CEM V/A und CEM V/B unterscheiden sich voneinander hauptsächlich durch den Gehalt an Klinker, allerdings genügen diese Kriterien für die objektive Bewertung dieser Zemente und der entsprechenden Leime nicht. Die Auswertung und der Vergleich des Verhaltens der hydratierenden Zemente in den Zementleimen erfolgt nach einem weiteren bedeutenden Kriterium – Anteil des Leims aus Portlandzement, der aus den einzelnen Zementen CEM V stammt.

5.5.1 Einleitung

Festlegung der grundlegenden physikalischen Parameter der Kompositzemente CEM V/A und CEM V/B gemäß EN 197-1 aus Österreich (AT) und der Slowakei (SK). Es wurden diese Prüfmethode angewendet: Festlegung der spezifischen Oberfläche durch eine Anlage gemäß Blain; Festlegung der Dichte (des spezifischen Gewichts) durch ein Gas-Pyknometer und Röntgen-Diffraktionsphasenanalyse zur Identifikation der hauptsächlich kristallinen Phasen.

Beobachtung der Änderungen der Porenstruktur des Betons aus den angeführten Zementen im Verlauf der Hydratation zu den Terminen 28 – 90 – 365 Tage. Der Beton wurde in zwei Umfeldern behandelt, an der Luft und im Wasser. Zur Festlegung der Parameter der Porenstruktur und weiterer bedeutender Werte wurde die Methode Quecksilber-Druckporosimetrie angewendet.

Studium der Phasenzusammensetzung und der Porenstruktur der Zementleime mit gleicher Zusammensetzung wie der des Bindemittels im entsprechenden Beton. Zur Beobachtung der Bildung der Hydratationsprodukte in der Zeit wurden die thermische Analyse (DTA/TGA), Röntgen-Phasenanalyse und die Festlegung der Dichte angewendet. Für die Festlegung der Parameter der Porenstruktur und weiterer bedeutender Werte wurde die Methode Quecksilber-Druckporosimetrie angewendet.

Primäre Absicht war es, die beiden Zemente 32,5 AT und SK im Rahmen der Sorte CEM V/A mit den gleichen Mineralzusätzen S-V zu vergleichen, und ebenfalls die Sorte CEM V/B mit unterschiedlichen Mineralzusätzen S-V im AT-Zement und S-P im SK-Zement. Als Referenzzement wurde der Portlandzement CEM I 32,5 R aus der Slowakei verwendet.

Im Sinne des Wortlauts der EN 197-1 werden die Mineralzusätze im Zement CEM V wie folgt gekennzeichnet:

minerálnej prímеси S-V ako aj parciálneho zloženia zmesi S-V. Do hry ďalej vstupuje aj chemické a mineralogické zloženie trosky a popolčeka, ako aj špecifický povrch cementu.

V prípade cementov druhu CEM V/B bolo zrejmé, že akékoľvek porovnanie bude hneď na začiatku sťažené – okrem faktorov uvedených pre cementy CEM V/A – hlavne rozdielnym druhom minerálnej prímеси. Zatiaľ čo AT cement obsahuje zmes trosky a popolčeka (S-V), v SK cimente je popolček nahradený zeolitickým tufom (zeolit), pričom je známe, že zeolit je výrazne aktívnejší puzolán ako popolček. Vysokopečná troska a elektrárenský popolček obsahujú len minimálny podiel kryštalických fáz, ich puzolánová aktivita spočíva vo vysokom obsahu amorfnej (sklovitej) zložky. Zeolity sú charakterizované vysokým špecifickým povrchom (vnútorným aj vonkajším), ktorý podmieňuje vysokú puzolánovú reaktivitu

Napriek všetkým týmto rozdielom – vrátane aplikácie plastifikátora pri príprave pást z SK cementov sa postupne podarilo na základe získaných údajov o chemickom a mineralogickom zložení cementov vypracovať postup pre objektívnejšie hodnotenie cementov a ich pást predovšetkým z hľadiska ich pórovej štruktúry. Výsledky základného výskumu dokumentujú nasledovné obrázky (5. 5. 1 až 5. 5. 32) a tabuľky (5. 5. 1 až 5. 5. 10)

5. 5. 2 Použité metódy

5. 5. 2. 1 Plynová pyknometria

Automatický plynový pyknometer s príslušenstvom sa používa na meranie hustoty a objemu tuhých látok vo forme práškov, kompaktných vzoriek (bloky, granule) a kaší. Hustota tuhých látok používaných v stavebníctve (spojivá, plnivá, suroviny, minerálne prímеси, priemyselné odpady a pod.) hrá významnú úlohu nielen pri charakterizovaní štruktúry, ale aj pri vývoji nových progresívnych materiálov. Plynový pyknometer používa väčšie objemy vzorky ako pri klasickej kvapalinovej metóde, materiál sa počas merania neznehodnocuje. Metódy plynovej pyknometrie sú štandardizované:

STN ISO 8130-2 Práškové náterové látky. Časť 2: Stanovenie hustoty plynovým porovnávacím pyknometrom (referenčná metóda);

STN EN ISO 18753 Jemná keramika (špeciálna keramika, špeciálna technická keramika). Stanovenie absolútnej hustoty keramických práškov pyknometrom;

ASTM C188-95 Štandardná skúšobná metóda pre stanovenie hustoty hydraulického cementu;

ASTM D5550-00 Štandardná skúšobná metóda pre hustotu zemín plynovým pyknometrom.

Hustota vysušených vzoriek (cementy, cementové pasty) v práškovom stave sa stanovila plynovým pyknometrom Quantachrome Pentapyc 5200e. Objem (V , cm^3) práškovej vzorky známej hmotnosti (M , g) sa pri analýze presne stanoví

S – Hüttensand; V – Flugasche; P – natürliches Puzzolan, im Zement CEM V/B – SK wurde Zeolithuff verwendet.

Schon am Anfang war klar, dass die Zemente CEM V/A – AT und – SK verglichen werden können, weil sie vom gleichen Mineralzusatz des Typs S-V charakterisiert sind. Der objektive Vergleich dieser Zemente ist allerdings nur im Fall gleicher oder sehr ähnlicher Zusammensetzung möglich (Gehalt an Klinker, Gipsstein, Gesamtanteil des Mineralzusatzes S-V, wie auch der partiellen Zusammensetzung der Mischung S-V. Ins Spiel kommen auch die chemische und die mineralogische Zusammensetzung der Schlacke und der Flugasche, wie auch die spezifische Oberfläche des Zements.

Im Fall der Zementsorte CEM V/B war offensichtlich, dass Vergleiche sofort am Beginn erschwert werden – außer bei den Faktoren für die Zemente CEM V/A – und zwar hauptsächlich durch die unterschiedlichen Arten der Mineralzusätze. Wo der AT-Zement eine Mischung aus Schlacke und Flugasche (S-V) enthält, wird im SK-Zement die Flugasche durch Zeolithuff (Zeolith) ersetzt, wobei bekannt ist, dass Zeolith ein deutlich aktiveres Puzzolan als Flugasche ist. Hüttensand und Kraftwerks-Flugasche enthalten nur einen minimalen Anteil kristalliner Phasen, ihre Puzzolanaktivität beruht auf dem hohen Gehalt an amorphen (glasigen) Inhaltsstoffen. Zeolithe werden durch eine hohe spezifische Oberfläche charakterisiert (innere und auch äußere), die eine hohe Puzzolanreaktivität mit sich bringt.

Trotz aller dieser Unterschiede – einschließlich der Applikation eines Plastifikators bei der Vorbereitung der Leime aus SK-Zementen gelang es schrittweise auf Grundlage der erlangten Daten über die chemische und mineralogische Zusammensetzung der Zemente ein Verfahren zur objektiveren Bewertung der Zemente und ihrer Leime auszuarbeiten, vor allem aus Sicht ihrer Porenstruktur. Die Ergebnisse der Grundsicherung sind in dem folgenden Abbildungen (5. 5. 1 bis 5. 5. 32) und Tabellen (5. 5. 1 bis 5. 5. 10) verarbeitet.

5. 5. 2 Angewendete Methoden

5. 5. 2. 1 Gaspyknometrie

Das automatische Gaspyknometer mit Zubehör wird für die Messung der Dichte und des Volumens fester Stoffe in Form von Pulvern, kompakten Proben (Blöcke, Granulat) und Leimen verwendet. Die Dichte fester Stoffe, die im Bauwesen verwendet werden (Bindemittel, Füllstoffe, Rohstoffe, Industrieabfall u. Ä.) spielt nicht nur bei der Charakterisierung der Strukturen eine wichtige Rolle, sondern auch bei der Entwicklung neuer progressiver Materialien. Das Gaspyknometer nutzt größere Volumen der Proben als bei der klassischen Flüssigkeitsmethode, das Material wird während der Messung nicht vernichtet. Die Methoden der Gaspyknometrie sind standardisiert:

STN ISO 8130-2 Pulvrige Anstrichstoffe. Teil 2: Festlegung der Dichte mit dem vergleichenden Gaspyknometer (Referenzmethode);

STN EN ISO 18753 Feinkeramik (spezielle Keramik, spezielle technische Keramik). Festlegung der absoluten Dichte keramischer Pulver mit dem Pyknometer;

ASTM C188-95 Standardprüfmethode für die Festlegung der Dichte hydraulischen Zements;

ASTM D5550-00 Standardprüfmethode für die Dichte von Böden mit dem Gaspyknometer.

Die Dichte der getrockneten Proben (Zemente, Zementleime) im pulvrigen Zustand wurde mit dem Gaspyknometer Quantachrome Pentapyc 5200e festgestellt. Das Volumen (V ,



```

QUANTACHROME CORPORATION
Pentapyc 1200e V4.G2
Analysis Report Cell # 2

CEM V/A (S-V) 32.5R Turna
Thu Jul 21 09:25:40 2011
User ID:

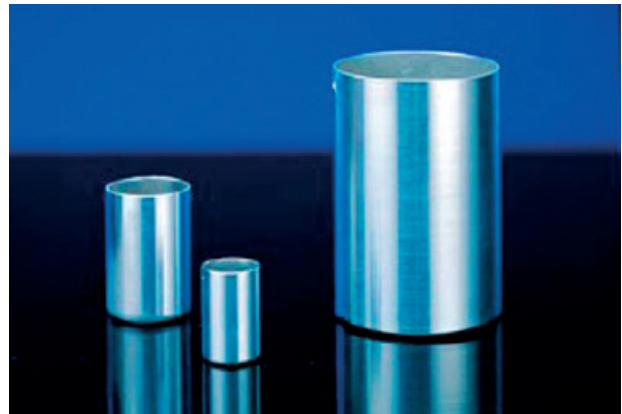
Sample Parameters
Sample ID: CEM 0.319
Weight: 4.9052 g

Analysis Parameters
Cell size = Small
V Added - Small: 11.0026 cc
V Cell: 21.4737 cc
Analysis Temperature: 25.2 C
Target Pressure: 137.2 kPa
Type of gas used: N2
Equilibration Time: Auto
Flow Range: 2.0 mL/min
Maximum Runs: 5
Number of runs Averaged: 3
Deviation Requested: 0.0500 %

Analysis Results
Deviation achieved: 0.2228 %
Average Volume: 1.7228 cc
Volume Std. Dev.: 0.0049 cc
Average Density: 2.8638 g/cc
Density Std. Dev.: 0.0077 g/cc
Coefficient of Variation: 0.2673 %

-----
Run Data
-----
RUN      VOLUME (cc)  DENSITY (g/cc)
-----
1        1.7228      2.8473
2        1.7224      2.8495
3        1.7185      2.8542
4        1.7127      2.8642
5        1.7075      2.8710
-----

```



Obrázok 5. 5. 1 Výpis merania hustoty pre cement CEM V/A (S-V) -SK
 Abbildung 5. 5. 1 Liste der Messungen der Dichte für den Zement CEM V/A (S-V) -SK

Obrázok 5. 5. 2 Nádobky pre vzorky s objemom 10, 50 a 135 cm³
 Abbildung 5. 5. 2 Probenbehälter mit Volumen 10, 50 und 135 cm³

Tabuľka 5. 5. 1 Hustota a hlavné zložky zmesových cementov
 Tabelle 5. 5. 1 Dichte und Hauptbestandteile der Kompositzemente

Cement / Zement	Pasta / Leim	Hustota / Dichte g/cm ³	Slinok / Klinker %	Sadrovec / Gipsstein %	Minerálna prímes % / Mineralzusatz %		
					Troska / Schlacke	Popolček / Flugasche	Zeolit / Zeolith
CEM V/A (S-V) AT	VAA	2,824	45,10	10,70	25,30	19,80	
CEM V/A (S-V) SK	VAS	2,864	52,90	7,10	20,00	20,00	
CEM V/B (S-V) AT	VBA	2,811	26,90	10,70	34,00	28,60	
CEM V/B (S-P) SK	VBS	2,916	30,90	5,10	32,00		32,00

Tabuľka 5. 5. 2 Výpočet hustoty cementov z ich známeho zloženia
 Tabelle . 5. 5. 2 Berechnung der Dichte der Zemente aus ihrer bekannten Zusammensetzung

Pasta / Leim	Dexp / Dexp	Dcalc / Dcalc	D (%)
CEM I	3,115	3,107	-0,26
CEM V/A-AT	2,824	2,798	-0,92
CEM V/A-SK	2,864	2,817	-1,64
CEM V/B-AT	2,811	2,656	-5,51
CEM V/B-SK	2,916	2,705	-7,24

a hustota (špecifická hmotnosť D) sa vypočíta z týchto hodnôt podľa vzťahu:

$$D = M / V \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Hustota sa ďalej použila na výpočet celkovej pórovitosti P pasty zo známej hodnoty objemovej hmotnosti vo vysušenom stave:

$$P = 100 [1 - (OH / D)] \text{ (% obj.)}$$

Použité zariadenie Pentapyc je špecifické tým, že má až 5 meracích komôrok.

Jednou z prvých skúšok sledovaných cementov bolo stanovenie hustoty plynovým pyknometrom. Hustota patrí k významným parametrom materiálov, možno ju považovať za materiálovú konštantu. Hodnota hustoty cementu je obecné daná hustotami jeho jednotlivých zložiek. Stanovené hodnoty hustoty zmesových cementov sú uvedené v **tabuľke 5. 5. 1**. Hustoty jednotlivých zložiek cementov (tabuľkové a experimentálne hodnoty):

Slinkok – 3,150-3,200 g/cm³ / Sadrovec – 2,300 g/cm³ / Vysokopecná troska (SK) – 2,785 g/cm³
Popolček (SK) – 2,153 g/cm³ / Zeolitický tuf (SK) – 2,260 g/cm³

Orientačne možno hustotu cementu D_c vypočítať zo známeho zloženia podľa vzťahu, a ako príklad výpočtu sa použil referenčný cement CEM I:

$$D_c = D_{z1} \times M_{z1} + D_{z2} \times M_{z2} + D_{z3} \times M_{z3} + \dots + D_{zy} \times M_{zy}$$

kde D_{z1} . . D_{zy} sú hustoty zložiek 1 až y a M_{z1} . . M_{zy} sú hmotnostné podiely jednotlivých zložiek v cemente.

Pretože zhoda medzi vypočítanou a stanovenou hodnotou hustoty bola veľmi dobrá, aplikoval sa tento výpočet aj na zmesové cementy. Výsledky sú uvedené v **tabuľke 5. 5. 2**.

Vyššie rozdiely sa zistili len u oboch cementov druhu CEM V/B s vysokým podielom minerálnych prímiesí; obecné môžu byť tieto rozdiely spôsobené tým, že reálne hodnoty hustôt pre jednotlivé zložky (troska, popolček) rakúskych cementov nie sú známe a pre výpočet hustoty slovenských cementov sa použili hustoty trosky z US Steel a popolčeka z ENO; len hustotu zeolitu možno považovať za reálnu hodnotu.

Experimentálny aj výpočtový postup potvrdili, že hustoty slovenských cementov sú vyššie v porovnaní s rakúskymi ekvivalentmi, pričom tento rozdiel je väčší u cementov CEM V/B.

CEM V/A-AT obsahuje síce o 5,3 % viac trosky, ale pri prakticky rovnakom obsahu popolčeka súčasne obsahuje o 7,8 % menej slinku a práve tento rozdiel prispel k nižšej hodnote hustoty.

CEM V/B-AT obsahuje síce o 2,0 % viac trosky, ale pretože popolček (D ca 2,153) v cemente CEM V/B-SK bol nahradený vyššou dávkou zeolitu (D ca 2,260), a súčasne obsahuje o 4 % menej slinku - práve tento rozdiel prispel k nižšej hodnote hustoty.

Výsledky merania hustoty jasne ukázali, že SK zmesové cementy majú vyššie hodnoty hustoty ako ich AT ekvivalenty. Najpravdepodobnejšou príčinou týchto rozdielov v hustotách je rozdielny obsah slinku v cementoch – SK cementy obsahujú vyšší podiel slinku.

cm³) der Pulverprobe mit bekanntem Gewicht (M , g) wird bei der Analyse genau festgestellt und die Dichte (spezifisches Gewicht D) wird aus diesem Wert nach folgender Beziehung berechnet:

$$D = M / V \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Die Dichte wurde weiter für die Berechnung der Gesamtporosität P der Leime aus den bekannten Werten der Rohdichte im getrockneten Zustand berechnet:

$$P = 100 [1 - (OH / D)] \text{ (% Vol.)}$$

Für die verwendete Anlage Pentapyc ist spezifisch, dass sie bis zu 5 Messkammern hat.

Einer der ersten Tests der beobachteten Zemente war die Festlegung der Dichte mit dem Gaspyknometer. Die Dichte gehört zu den bedeutendsten Parametern von Materialien, sie kann als Materialkonstante gelten. Der Wert der Dichte des Zements ist allgemein durch die Dichten seiner einzelnen Inhaltsstoffe gegeben. Die festgelegten Werte der Dichte der Kompositzemente sind in der **Tabelle 5. 5. 1** angeführt.

Dichte der einzelnen Inhaltsstoffe der Zemente (tabellarische und experimentelle Werte):

Klinker – 3,150-3,200 g/cm³ / Gipsstein – 2,300 g/cm³ / Hüttensand (SK) – 2,785 g/cm³
Flugasche (SK) – 2,153 g/cm³ / Zeolithtuff (SK) – 2,260 g/cm³

Zur Orientierung kann die Dichte des Zements D_c aus der bekannten Zusammensetzung gemäß ihrer Beziehung berechnet werden, als Berechnungsbeispiel diente der Referenzzement CEM I:

$$D_c = D_{z1} \times M_{z1} + D_{z2} \times M_{z2} + D_{z3} \times M_{z3} + \dots + D_{zy} \times M_{zy}$$

wo D_{z1} . . D_{zy} die Dichte der Inhaltsstoffe 1 bis y sind, und M_{z1} . . M_{zy} die Gewichtsanteile der einzelnen Inhaltsstoffe im Zement.

Da die Übereinstimmung von berechnetem und festgelegtem Wert der Dichte sehr gut war, wurde diese Berechnung auch für die Kompositzemente angewendet. Die Ergebnisse sind in **Tabelle 5. 5. 2** angeführt.

Größere Unterschiede wurden nur bei den beiden Zementsorten CEM V/B mit einem hohen Anteil an Mineralzusätzen festgestellt; allgemein können diese Unterschiede dadurch verursacht werden, dass die realen Werte der Dichte für einzelne Inhaltsstoffe (Schlacke, Flugasche) der österreichischen Zemente nicht bekannt sind, und für die Berechnung der Dichte der slowakischen Zemente wurde die Dichte der Schlacke aus US Steel und der Flugasche aus ENO verwendet; nur die Dichte des Zeoliths kann als realer Wert gelten.

Das experimentelle und das Berechnungsverfahren bestätigten, dass die Dichten der slowakischen Zemente höher als die der österreichischen Äquivalente sind, wobei dieser Unterschied bei den Zementen CEM V/B größer ist.

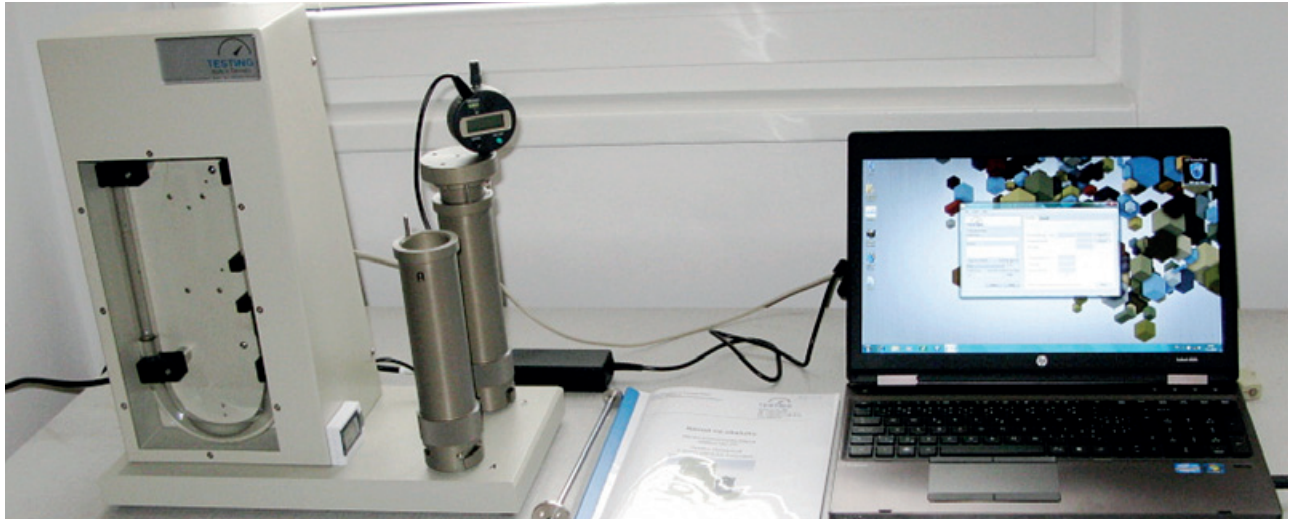
CEM V/A-AT enthält zwar um 5,3 % mehr Schlacke, aber bei praktisch gleichem Gehalt an Flugasche enthält er gleichzeitig um 7,8 % weniger Klinker und gerade dieser Unterschied trug zum geringeren Wert der Dichte bei.

CEM V/B-AT enthält zwar um 2,0 % mehr Schlacke, aber weil Flugasche (D ca 2,183) im Zement CEM V/B-SK durch eine höhere Zugabe von Zeolith (D ca 2,260) ersetzt wurde, und er gleichzeitig um 4 % weniger Klinker enthält - trug gerade dieser Unterschied zum geringeren Wert der Dichte bei.

Die Messergebnisse der Dichte zeigten klar, dass SK-Kompositzemente höhere Dichtewerte als ihre AT-Äquivalente haben. Die wahrscheinlichste Ursache dieser Unterschiede der Dichte ist der unterschiedliche

5. 5. 2 Charakterizácia povrchu práškových materiálov

Použil sa analyzátor špecifického povrchu cementu a iných práškových materiálov (permeabilná metóda – podľa Blaina). Zariadenie pracuje na princípe vyhodnotenia prestupu vzduchu práškovým materiálom, ktorého pórovitosť je definovaná meraným množstvom v konštantnom objeme. Použitý prístroj pracuje s dvomi meracími komorami. Metóda sa používa na meranie špecifického povrchu práškových materiálov (cementy a iné spojivá, minerálne prísady a pod.) v rozsahu 150-900 m²/kg a v súčinnosti



Obrázok 5. 5. 3 Analyzátor špecifického povrchu cementu
Abbildung 5. 5. 3 Analysator der spezifischen Oberfläche des Zements

s metódami štruktúrnej analýzy – sorpcia plynov, ortuťová porozimetria a plynová pyknometria poskytne pre účely výskumu a vývoja materiálov významný parameter – špecifický povrch.

Pri vývoji nových druhov spojív a kompozitov sa používajú práškové materiály, ktorých jemnosť a tým aj aktivnosť sa hodnotí okrem rozmeru a rozdelenia veľkosti častíc aj podľa hodnoty špecifického povrchu. Metóda je štandardizovaná:

Tabuľka 5. 5. 3 Merný povrch študovaných cementov

Tabelle 5. 5. 3 Spezifische Oberflächen der studierten Zemente

Cement / Zement	Merný povrch / Spezifische Oberfläche
	m ² /kg
CEM I	356
CEM V/A (S-V) AT	485
CEM V/A (S-V) SK	568
CEM V/B (S-V) AT	503
CEM V/B (S-P) SK	778

STN EN 196-6 Metódy skúšania cementu Časť 6. Stanovenie jemnosti mletia; ASTM C204 Standard Test Methods for Fineness of Hydraulic Cement by Air-Permeability Apparatus. Jemnosť cementu má veľký vplyv na rýchlosť hydratácie a teda aj rýchlosti nárastu pevnosti. Jemnejší cement poskytuje pre hydratáciu väčší povrch a teda aj rýchlejší vývoj pevnosti. Vhodným parametrom pre popis jemnosti cementu

Klinkergehalt in den Zementen – SK-Zemente enthalten einen höheren Klinkeranteil.

5. 5. 2. 2 Charakterisierung der Oberfläche von Pulvermaterialien

Es wurde ein Analysator der spezifischen Oberfläche des Zements und anderer pulvriger Materialien verwendet (permeabile Methode – Blaine-Gerät). Die Anlage arbeitet nach dem Prinzip der Auswertung des Durchgangs der Luft durch Pulvermaterial, dessen Porosität durch die gemessene Menge im konstanten Volumen definiert ist. Das verwendete Gerät arbeitet mit zwei Messkammern. Die Methode wird bei der Messung der spezifischen Oberfläche von Pulvermaterialien (Zemente und andere

Bindemittel, Mineralzusätze u. Ä.) im Umfang 150-900 m²/kg angewendet und unter Mitwirkung der Methoden der Strukturanalyse – Sorption von Gasen, Quecksilber-Porosimetrie und Gaspyknometrie gewährt sie zur Erforschung und Entwicklung von Materialien den bedeutenden Parameter - der spezifischen Oberfläche.

Bei der Entwicklung neuer Arten von Bindemitteln und Kompositen werden Pulvermaterialien verwendet, deren

Feinheit, und dadurch auch Aktivität, außer durch Größe und Verteilung der Teilchengrößen auch nach dem Wert der spezifischen Oberfläche bewertet werden. Die Methode ist standardisiert: STN EN 196-6 Methoden der Prüfung von Zement Teil 6. Festlegung der Mahlfineinheit; ASTM C204 Standard Test Methods for Fineness of Hydraulic Cement by Air-Permeability Apparatus.

je rozdelenie veľkosti častíc a predovšetkým špecifický povrch, pretože väčšina povrchu pochádza od najmenších častíc. Najbežnejšou metódou pre charakterizáciu povrchu cementu je Blaine – permeabilná metóda a hodnoty špecifického povrchu cementov (Blaine jemnosť) sa obvykle pohybujú v rozmedzí 300 - 500 m²/kg.

„Hrubšie“ cementy s nižšou jemnosťou (250-280 m²/kg) vyžadujú dlhšiu dobu na tuhnutie a ich vývoj pevnosti je pomalší. Koeficient difúzie je u jemnejších cementov vždy nižší. Jemnosť cementu značne zvyšuje pevnosť, zvlášť v počiatočných štádiách hydratácie a neskôr len v menšej miere. To je spôsobené rýchlejšou hydratáciou cementu v dôsledku vyššieho špecifického povrchu. Cementy druhu CEM III sú obecné mleté na vyššiu jemnosť ako ostatné druhy, ich špecifický povrch často prevyšuje 500 m²/kg. Zmesové cementy obvykle majú vyšší špecifický povrch ako CEM I rovnakej pevnostnej triedy (tabuľka 5. 5. 3).

Fyzikálne a mechanické vlastnosti cementu závisia od chemického zloženia a mineralogickej skladby zložiek, ich relatívnych množstiev, optimalizácie dávky sadrovca a jemnosti cementu. Hodnoty špecifického povrchu sledovaných a porovnávaných cementov sú uvedené

Die Feinheit des Zements hat großen Einfluss auf die Geschwindigkeit der Hydratation und daher auch auf die Geschwindigkeit des Anstiegs der Festigkeit. Feinerer Zement bietet für die Hydratation eine größere Oberfläche und daher auch eine schnellere Entwicklung der Festigkeit. Ein geeigneter Parameter für die Beschreibung der Feinheit des Zements ist die Verteilung der Teilchengrößen und vor allem die spezifische Oberfläche, weil der Großteil der Oberfläche von den kleinsten Teilchen stammt. Die üblichste Methode für die Charakterisierung der Zementoberfläche ist Blaine-Methode – permeabile Methode und die Werte der spezifischen Oberfläche von Zementen (Blaine-Feinheit) bewegen sich üblicherweise zwischen 300 - 500 m²/kg.

„Größere“ Zemente mit geringerer Feinheit (250-280 m²/kg) erfordern eine längere Erstarrungszeit und die Entwicklung ihrer Festigkeit ist langsamer. Der Diffusionskoeffizient ist bei feineren Zementen immer niedriger. Die Feinheit des Zements erhöht deutlich die Festigkeit, besonders in den Anfangsstadien der Hydratation und später nur in geringerem Maß. Dies wird durch die schnellere Hydratation des Zements infolge der höheren spezifischen Oberfläche verursacht. Zemente der Sorte CEM III werden allgemein feiner gemahlen als andere Sorten, ihre spezifische

Tabuľka 5. 4 Tuhnutie a spracovateľnosť pást zo sledovaných cementov CEM V, stanovená na striasacom stolíku

Tabelle 5. 4 Erstarrung und Verarbeitbarkeit der Leime aus den beobachteten Zementen CEM V - festgelegt auf dem Rütteltisch

Pasta / Leim	Začiatok tuhnutia h/min / Beginn der Erstarrung h/min	Koniec tuhnutia h/min / Ende der Erstarrung h/min	Rozliatie mm / Zerfließen mm
CEM I	5 h 10 min	6 h 40 min	230 / >300
CEM V/A (S-V) -AT	6 h 20 min	8 h 05 min	134 / 223
CEM V/A (S-V) -SK	6 h 00 min	7 h 50min	242 / 288
CEM V/B (S-V) -AT	8 h 40 min	>9 h 10 min	141 / 221
CEM V/B (S-P) -SK	5 h 20 min	7 h 30 min	>300

v tabuľke. Zistilo sa, že SK cementy majú v porovnaní s ich AT ekvivalentmi vždy výrazne vyššie hodnoty špecifického povrchu. Veľký rozdiel medzi CEM V/B –SK a – AT je pravdepodobne spôsobený vysokou jemnosťou samotnej puzolánovej prímеси – prírodného zeolitu. Vyššia jemnosť SK cementov výrazne ovplyvnila spracovateľnosť čerstvých kompozitov (betónov), čo bolo nutné kompenzovať aplikáciou plastifikačnej prísady. Jej prítomnosť v pastách sa prejavila aj v mierne rozdielnom reologickom chovaní pást vyrobených z SK cementov (tabuľka 5. 5. 4).

Obecné možno konštatovať, že zmesové cementy SK sú charakterizované kratšími dobami tuhnutia v porovnaní s AT cementmi. Príčinou je pravdepodobne vyšší podiel slínku, vyššia jemnosť mletia SK cementov ako aj značne nižšia reaktivita puzolánovej zmesi S-V v porovnaní so zmesou S-P v paste VBS. Plastifikátor v tomto smere ovplyvnil predovšetkým spracovateľnosť čerstvej pasty.

Z experimentálnych výsledkov získaných meraním hustoty a špecifického povrchu cementov ako aj zo známych hodnôt zloženia týchto cementov bolo možné postulovať niekoľko predbežných záverov:

CEM V/A-AT obsahuje vyšší podiel trosky a rovnako aj celej zmesi S-V, čo je pozitívne pre zhutnenie (zjemnenie) pórovej štruktúry pasty. CEM V/A-SK má vyšší špecifický povrch (pozitívne pre rýchlejší vývoj pevnosti); vyšší podiel slínku aj OPC (slínok + sadrovec) môže prispieť k vyššej pevnosti a vyššiemu množstvu uvoľneného vápna. CEM V/B-AT obsahuje mierne vyšší podiel OPC. CEM V/B-SK má vyšší špecifický povrch (pozitívne pre rýchlejší vývoj pevnosti); pozitívom je prítomnosť aktívnejšieho zeolitu; množstvo

Oberfläche überschreitet oft 500 m²/kg. Kompositzemente haben für gewöhnlich eine höhere spezifische Oberfläche als CEM I der gleichen Festigkeitsklasse (Tabelle 5. 5. 3).

Die physikalischen und mechanischen Eigenschaften des Zements hängen von der chemischen Zusammensetzung und der mineralogischen Zusammensetzung der Inhaltsstoffe ab, von deren relativen Mengen, der Optimierung der Zugabe von Gipsstein und von der Feinheit des Zements. Die Werte der spezifischen Oberfläche der beobachteten und verglichenen Zemente sind in der Tabelle angeführt. Es wurde festgestellt, dass die SK-Zemente im Vergleich zu ihren AT-Äquivalenten immer einen deutlich höheren Wert der spezifischen Oberfläche haben. Der große Unterschied zwischen CEM V/B –SK und – AT wird wahrscheinlich von der hohen Feinheit der Puzzolanzusatzstoffe verursacht – des natürlichen Zeoliths. Die höhere Feinheit der SK-Zemente beeinflusste markant die Verarbeitbarkeit der frischen Komposite (Beton), was durch die Verwendung von Plastifikatorzusätzen kompensiert werden musste. Ihre Feinheit in den Leimen zeigte sich auch im leicht unterschiedlichen rheologischen Verhalten der Leime aus SK-Zementen (Tabelle 5. 5. 4).

Allgemein kann festgestellt werden, dass Kompositzemente SK durch kürzere Erstarrungszeiten im Vergleich zu den AT-Zementen charakterisiert sind. Ursachen sind wahrscheinlich der höhere Anteil an Klinker, die größere Mahlfineinheit der SK-Zemente, wie auch die deutlich geringere Reaktivität der Puzzolanmischung S-V im Vergleich zur Mischung S-P im Leim VBS. Der Plastifikator beeinflusste in dieser Richtung vor allem die Verarbeitbarkeit des Frischleims.

zeolitu v cemente je výrazne vyššie ako popolčeka v CEM V/B-AT; obsahuje mierne vyšší objem zmesi S-P (zjemnenie pórovej štruktúry).

Aus den experimentellen Ergebnissen, die bei der Messung der Dichte und der spezifischen Oberfläche gewonnen wurden, wie auch aus den bekannten Werten der Zusammensetzung dieser Zemente konnten einige vorläufige Schlüsse gezogen werden: CEM V/A-AT enthält einen höheren Anteil an Schlacke und ebenfalls an der gesamten Mischung S-V, was für die Verdichtung (Verfeinerung) der Porenstruktur des Leims positiv ist.

CEM V/A-SK hat eine höhere spezifische Oberfläche (positiv für die schnellere Entwicklung der Festigkeit); der höhere Anteil an Klinker und auch OPC (Klinker + Gipsstein) kann zur höheren Festigkeit und zur höheren Menge an freigesetztem Kalk beitragen. CEMV/B-AT enthält einen leicht höheren Anteil an OPC. CEM V/B-SK hat eine höhere spezifische Oberfläche (positiv für die schnellere Entwicklung der Festigkeit); positiv ist auch das aktivere Zeolith; die Zeolithmenge im Zement ist deutlich höher als die von Flugasche im CEM V/B-AT; enthält ein mäßig höheres Volumen der Mischung S-P (Verfeinerung der Porenstruktur).

5. 5. 2. 3 Röntgenová difrakčná fázová analýza

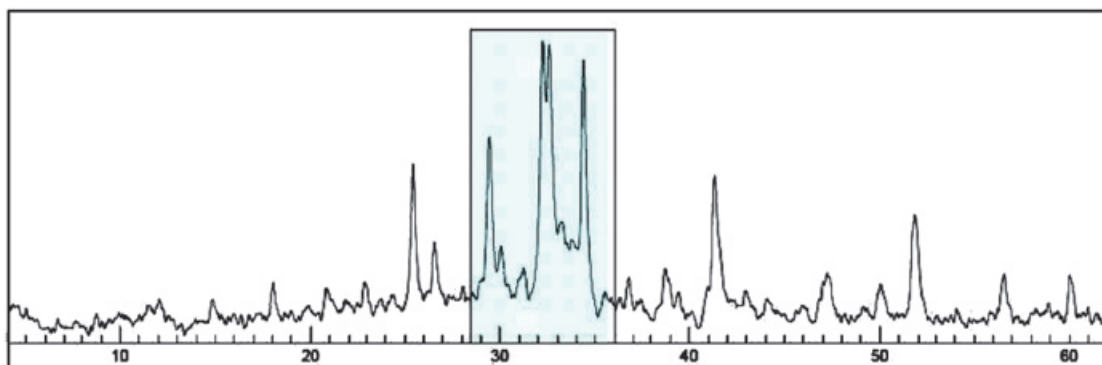
Röntgenová (RTG) prášková difrakcia je priama metóda na kvalitatívne charakterizovanie jemne zrnitých materiálov ako sú slinok a cementy a možno ju použiť aj na analýzu surovín. Každá fáza v kryštalickom stave vytvára unikátnu difrakčnú líniu, nezávislú od ostatných, s intenzitou úmernou

5. 5. 2. 3 Röntgen-Diffraktions-Phasenanalyse

Die Röntgen (RTG) -Pulverdiffraktion ist eine direkte Methode der qualitativen Charakterisierung feiner körniger Materialien wie Klinker und Zemente und sie kann auch zur Analyse von Rohstoffen eingesetzt werden. Jede Phase im kristallinen Zustand bildet eine einzigartige Diffraktionslinie, die



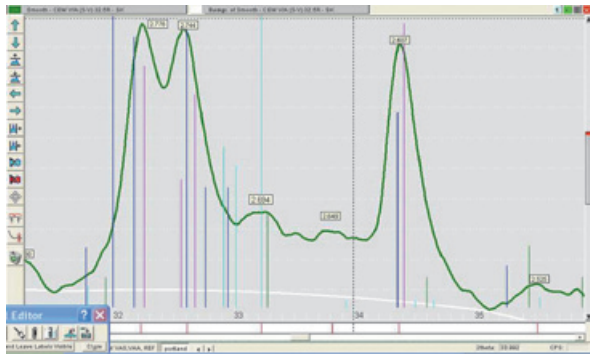
Obrázok 5. 5. 4 RTG difrakčný prístroj
Abbildung 5. 5. 4 RTG -Diffraktion Gerät



Obrázok 5. 5. 5 RTG difraktogram cementu CEM V/A (S-V) 32,5 R - SK
Abbildung 5. 5. 5 RTG-Diffraktogramm des Zements CEM V/A (S-V) 32,5 R - SK

koncentrácií. Difrakčné záznamy slínku a cementov sú značne zložité, takže veľké množstvo fáz vytvára často zložené línie s prekrývajúcimi sa čiarami. RTG prášková difrakcia sa v projekte ENVIZEO použila na kvalitatívnu analýzu cementov a neskôr aj na charakterizáciu cementových pást, ktoré boli ošetrované vo dvoch rozdielnych prostrediach (na vzduchu a vo vode) po dobu 28, 90 a 365 dní.

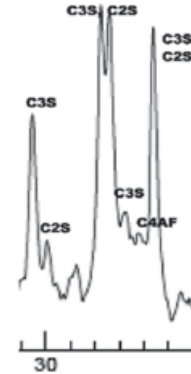
Difrakčné záznamy vzoriek boli snímané RTG difraktometrom Philips s goniometrom PW 1050, prepojeným



Obrázok 5. 5. 6 RTG difraktogram cementovej pasty z CEM V/A (S-V) 32,5 R – SK po 365 dňoch ošetrovania vo vode (uhlový rozsah 30-36°2θ)

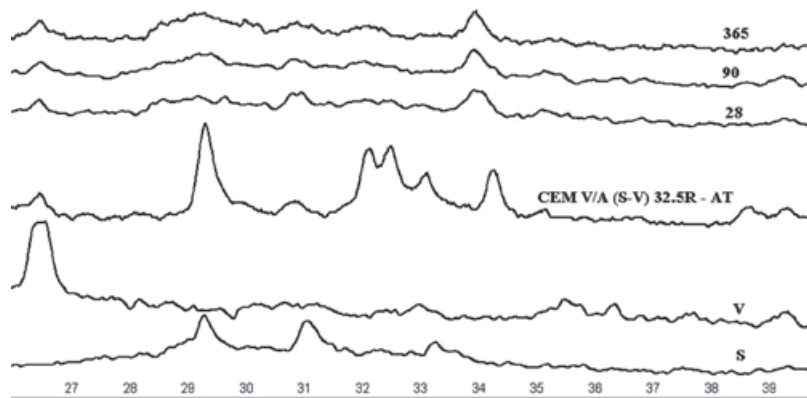
Abbildung 5. 5. 6 RTG-Diffraktogramm der Zementpaste aus CEM V/A (S-V) 32,5 R – SK nach 365 Tagen Behandlung in Wasser (Winkelumfang 30-36° 2θ)

unabhängig von anderen ist und mit von der Konzentration abhängigen Intensität. Diffraktionsaufzeichnungen von Klinker und Zementen sind schwierig, da viele Phasen oft komplizierte Linien mit sich überschneidenden Linien bilden. Die RTG-Pulverdiffraktion wurde im Projekt ENVIZEO zur qualitativen Analyse der Zemente angewendet und später auch für die Charakterisierung der Zementleime, die für 28, 90 und 365 Tage in zwei unterschiedlichen Umgebungen behandelt wurden (an der Luft und im Wasser).



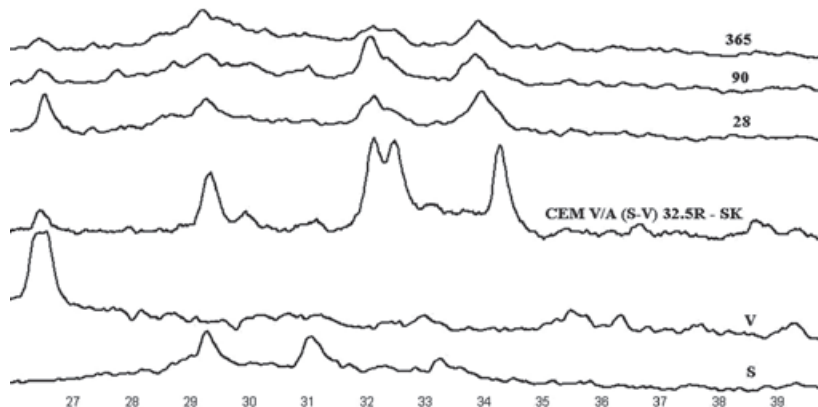
Obrázok 5. 5. 11 Výrez z RTG difraktogramu cementu CEM V/A (S-V) 32,5 R – SK

Abbildung 5. 5. 11 Ausschnitt aus dem RTG-Diffraktogramm des Zements CEM V/A (S-V) 32,5 R – SK



Obrázok 5. 5. 7 RTG difraktogramy nehydratovaného cementu CEM V/A (S-V) -AT a pasty vyrobenej z tohto cementu v priebehu hydratácie vo vode (28-90-365 dní)

Abbildung 5. 5. 7 RTG-Diffraktogramm des nicht hydratierten Zements CEM V/A (S-V) -AT und des Leims aus diesem Zement im Verlauf der Hydratation im Wasser (28-90-365 Tage)



Obrázok 5. 5. 8 RTG difraktogramy nehydratovaného cementu CEM V/A (S-V) -SK a pasty vyrobenej z tohto cementu v priebehu hydratácie vo vode (28-90-365 dní)

Abbildung 5. 5. 8 RTG-Diffraktogramm des nicht hydratierten Zements CEM V/A (S-V) -SK und des Leims aus diesem Zement im Verlauf der Hydratation im Wasser (28-90-365 Tage)

s proporcionálnym počítačom a automatickým systémom záznamu. Použilo sa žiarenie CuK α v rozsahu uhlov 4-62° 2 θ a Ni filter, rýchlosť skenovania 2°/min. Cu lampa pracuje pri 35 kV a 20 mA. Prášková vzorka v množstve cca 0,5 g bola umiestnená do hliníkového držiaku. Na spracovanie získaných dát sa použil SW BedeZDS Search/Match.

Z uvedených difraktogramov pre cementy a pasty CEM V/A (S-V) je zrejmé, že pôvodne kryštalické hlavné fázy cementov – slinkové minerály (hlavne C₃S a C₂S) sa v priebehu hydratácie transformujú na prevažne amorfné fázy – hydratačné produkty ako sú kalciumsilikát hydráty (32-33°2 θ) a kalciumaluminát hydráty a kryštalický hydroxid vápenatý (34°2 θ). Je tiež známe, že hlavné difrakčné línie OPC slinku sú sústredené v uhlovom rozsahu 29 – 36°2 θ a 41,3°2 θ . Využitie RTG difrakcie na hodnotenie cementov a ich pást z hľadiska stupňa hydratácie a puzzolánovej aktivity minerálnych prímiesí nie je možné, pretože s dobou hydratácie sa produkcia Ca(OH)₂ zvyšuje, ale súčasne podiel tohto hydratačného produktu v paste klesá v dôsledku puzzolánových reakcií.

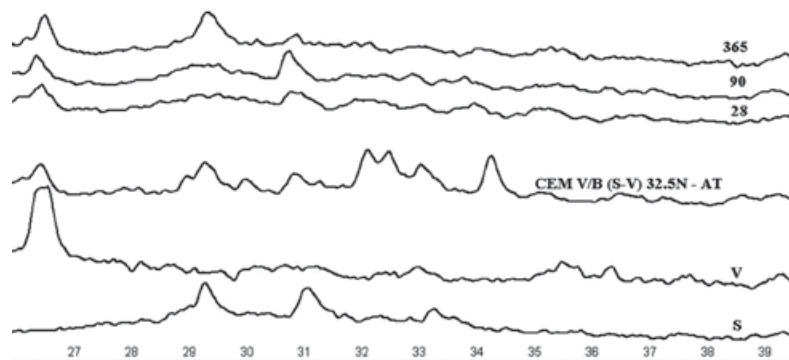
Intenzita čiar, ktoré korešpondujú s fázou C-S-H je obecné mierne vyššia u pasty na báze CEM V/A (S-V) -SK ako aj u pasty z CEM V/B (S-P) v porovnaní s pastami vyrobenými z ekvivalentných rakúskych cementov. Intenzita týchto čiar je tiež vyššia vo všetkých pastách ošetrovaných dlhšiu dobu vo vode. Táto skutočnosť zreteľne potvrdzuje vyšší podiel slinku v pastách vyrobených zo slovenských cementov v porovnaní s cementmi vyrobenými v Rakúsku.

Z týchto dôvodov sa RTG difrakčná analýza uplatnila hlavne pri charakterizovaní jednotlivých zmesových cementov. Napriek tomu, že ide o kvalitatívnu metódu, bolo možné na základe identifikácie a porovnania intenzity hlavných línií pre

Die Diffraktionsaufzeichnungen der Proben wurden mit dem RTG-Diffraktometer Philips mit dem Goniometer PW 1050, verbunden mit einem proportionalen Computer und automatischem Aufzeichnungssystem aufgezeichnet. Es wurde die Strahlung CuK α im Umfang der Winkel von 4-62° 2 θ und ein N-Filter und eine Scangeschwindigkeit von 2°/min verwendet. Die Cu-Lampe arbeitet bei 35 kV und 20 mA. Die Pulverprobe der Menge von ca. 0,5 g wurde in der Aluminiumhalterung angebracht. Zur Bearbeitung der erlangten Daten wurde die SW BedeZDS Search/Match genutzt.

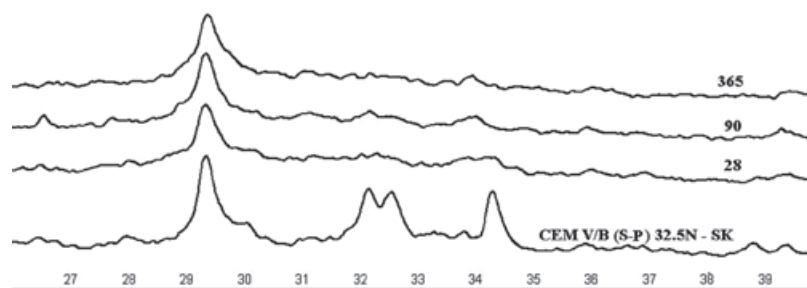
Aus den angeführten Diffraktogrammen für die Zemente und Leime CEM V/A (S-V) ist ersichtlich, dass die ursprünglichen kristallinen Hauptphasen der Zemente – Klinkerminerale (hauptsächlich C₃S und C₂S) sich im Verlauf der Hydratation zu überwiegend amorphen Phasen umwandeln – in Hydratationsprodukte wie Calciumsilikathydrate (32-33°2 θ), Calciumaluminathydrate und kristallines Calciumhydroxid (34°2 θ). Es ist auch bekannt, dass die Haupt-Diffraktionslinie von OPC-Klinker in einem Winkelumfang von 29 – 36°2 θ und 41,3°2 θ konzentriert sind. Die Nutzung der RTG-Diffraktion zur Bewertung von Zementen und ihren Leimen aus Sicht des Grades der Hydratation und der Puzzolanaktivität der Mineralzusätze ist nicht möglich, weil sich mit der Dauer der Hydratation die Produktion von Ca(OH)₂ erhöht, aber gleichzeitig der Anteil dieses Hydratationsprodukts im Leim infolge der Puzzolanaktivität sinkt.

Die Intensität der Linien, die mit der Phase C-S-H korrespondiert, ist allgemein etwas höher bei Leim auf der Basis CEM V/A (S-V) -SK, wie auch bei Leim aus CEM V/B (S-P), im Vergleich zu Leimen aus den äquivalenten österreichischen Zementen. Die Intensität dieser Linien ist auch in allen Leimen höher, die längere Zeit im Wasser behandelt wurden. Diese Tatsache bestätigt offensichtlich



Obrázok 5. 9 RTG difraktogramy nehydratovaného cementu CEM V/B (S-V) -AT a pasty vyrobenej z tohto cementu v priebehu hydratácie vo vode (28-90-365 dní)

Abbildung 5. 9 RTG-Diffraktogramm des nicht hydratierten Zements CEM V/B (S-V) -AT und des Leims aus diesem Zement im Verlauf der Hydratation im Wasser (28-90-365 Tage)

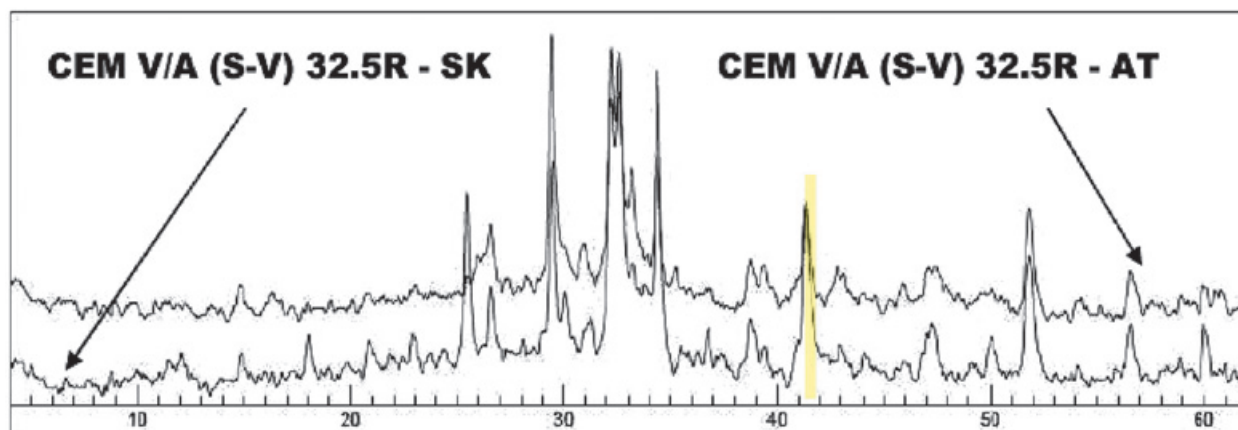


Obrázok 5. 10 RTG difraktogramy nehydratovaného cementu CEM V/B (S-P) -SK a pasty vyrobenej z tohto cementu v priebehu hydratácie vo vode (28-90-365 dní)

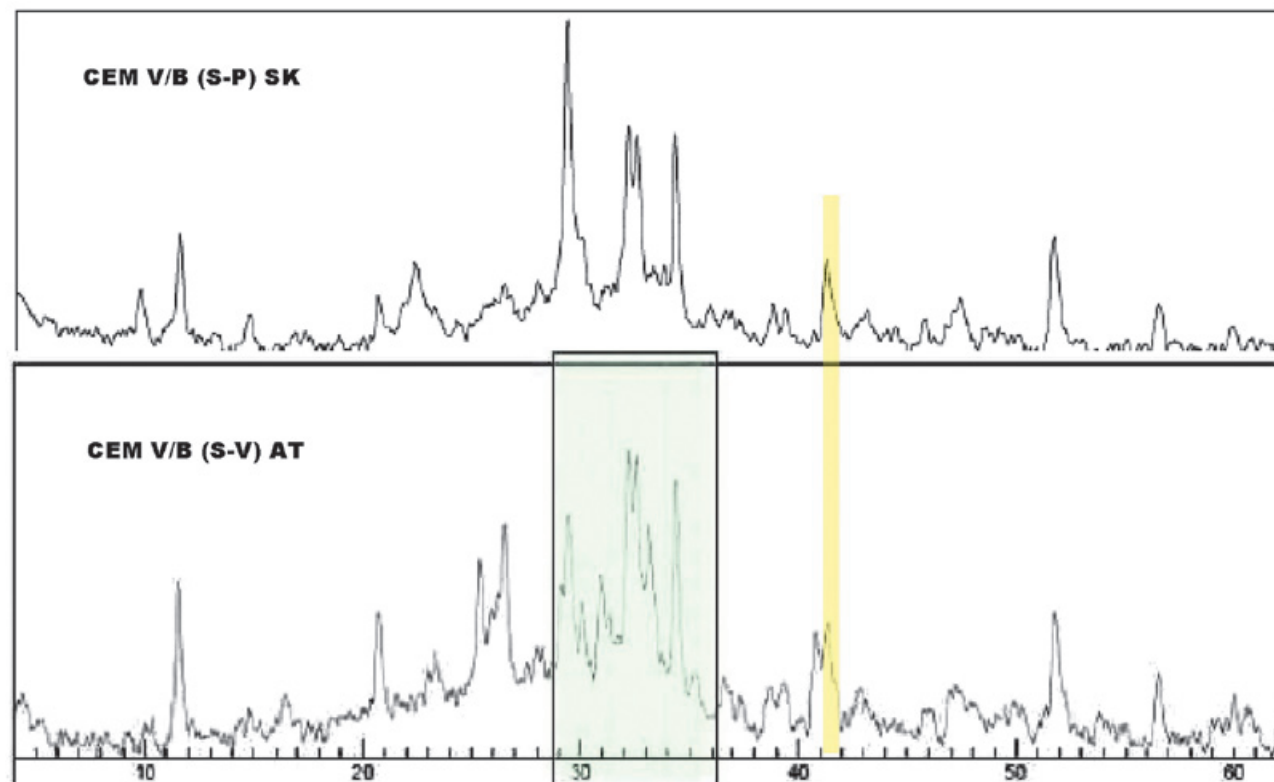
Abbildung 5. 10 RTG-Diffraktogramm des nicht hydratierten Zements CEM V/B (S-P) -SK und des Leims aus diesem Zement im Verlauf der Hydratation im Wasser (28-90-365 Tage)

Tabuľka 5. 5. 5 Obsah slinku v zmesových cementoch – výpočet z RTG záznamov
 Tabelle 5. 5. 5 Klinkergehalt in den Kompositzementen – Berechnung aus RTG-Aufnahmen

Zmesový cement/ Kompositzement	Obsah slinku v cemente (%) / Klinkergehalt im Zement (%)		
	EN 197-1	Vypočítaný/Berechnet	Skutočný/Richtig
CEM V/A (S-V) SK	40-64	48	53
CEM V/A (S-V) AT		40	45
CEM V/B (S-P) SK	20-38	26	27
CEM V/B (S-V) AT		29	31



Obrázok 5. 5. 12 RTG difraktogramy nehydratovaných cementov CEM V/A (S-V) -AT a -SK s vyznačenou líniou C₃S použitou na zistenie obsahu slinku
 Abbildung 5. 5. 12 RTG-Diffraktogramm der nicht hydratierten Zemente CEM V/A (S-V) -AT und -SK mit gekennzeichnete C₃S-Linie, verwendet zur Feststellung des Klinkergehalts



Obrázok 5. 5. 13 RTG difraktogramy nehydratovaných cementov CEM V/B-SK a -AT s vyznačenou líniou C₃S použitou na zistenie obsahu slinku
 Abbildung 5. 5. 13 RTG-Diffraktogramm der nicht hydratierten Zemente CEM V/B-SK und -AT mit gekennzeichnete C₃S-Linie, verwendet zur Feststellung des Klinkergehalts

trikalciom silikát (C_3S) vypočítat orientačne aj predpokladaný obsah slinku v jednotlivých cementoch. Tieto vypočítané hodnoty boli potom konfrontované s reálnymi hodnotami, zistenými chemickou analýzou a ktoré boli poskytnuté producentmi cementov. Preukázala sa relatívne dobrá zhoda medzi vypočítanými a experimentálne stanovenými obsahmi slinku v zmesových cementoch (tabuľka 5. 5. 5).

Predbežné závery na základe RTG difrakčnej analýzy sú:

Cement CEM V/A (S-V) -AT je charakterizovaný intenzívnejším amorfným halo v porovnaní s cementom rovnakého druhu, vyrobeným na Slovensku.

Pre vysvetlenie tohto zistenia môžu existovať dve príčiny: amorfnejší charakter (vyšší podiel sklovitej fázy) oboch minerálnych prímiesí (troska, popolček) v AT cemente; alebo – čo je pravdepodobnejšie, vyšší celkový obsah týchto prímiesí S+V v AT cemente.

Tento druhý predpoklad bol potvrdený výpočtom zisteným nižším obsahom slinku (a teda vyšším obsahom minerálnych prímiesí) v AT cemente v porovnaní s SK cementom.

Ako sa zistilo už v prvých etapách sledovania cementových pást, obsah slinku v cementoch sa ukázal ako jeden z rozhodujúcich faktorov, ktoré ovplyvnili ich stupeň hydratácie, predovšetkým v prvých štádiách ošetrovania (28 dní). Sledovanie priebehu hydratácie cementov a ich hodnotenie a porovnanie z hľadiska hlavných kritérií stupňa hydratácie sa realizovalo metódami termickej analýzy.

5. 5. 2. 4. Termická analýza

Termický analyzátor METTLER TOLEDO TGA/DSC-1 STAR je určený pre meranie charakteristických teplôt fázových prechodov, ako aj na kvantitatívne stanovenie zmeny stavu skúmaného materiálu na základe merania rozdielu teplôt medzi vzorkou a referenčným materiálom ako funkcie programovanej teploty (DTA) a hmotnosti vzorky (TGA), dôraz sa preto kladie na precíznosť a citlivosť vážiacej jednotky. Zariadenie možno ďalej využiť na stanovenie hlavných zložiek a čistoty látok, na charakterizáciu materiálov a na iné špeciálne účely v oblasti výskumu a vývoja kompozitov. Metóda je štandardizovaná podľa DIN 51007 General principles of differential thermal analysis.

Pri analýzach sa použili tieto podmienky :

- teplotný rozsah: (30-1 000) °C
- atmosféra: vzduch (30 ml/min)
- rýchlosť ohrevu: 10 °C/min.

Na spracovanie zmeraných údajov sa použil SW STARE v. 9. 30.

Termická analýza je užitočný nástroj pre hodnotenie jednotlivých cementov v priebehu ich hydratácie a umožnila objektívne porovnávať cementy jedného druhu (CEM V/A, CEM V/B) od dvoch rôznych výrobcov navzájom. Z tohto dôvodu sa analyzovali vzorky pást po 28, 90 a 365 dňoch

den vyšší klinkerantiel v den Leimen aus den slowakischen Zementen im Vergleich zu den in Österreich hergestellten Zementen.

Aus diesen Gründen wurde die RTG-Diffraktionsanalyse hauptsächlich bei der Charakterisierung der einzelnen Kompositzemente angewendet. Obwohl es sich um eine qualitative Methode handelt, war es möglich, auf Grundlage der Identifikation und des Vergleichs der Intensität der Hauptlinien für Tricalciumsilikat (C_3S) ungefähr auch den voraussichtlichen Klinkergehalt in den einzelnen Zementen zu berechnen. Diese berechneten Werte wurden dann mit den realen Werten verglichen, die durch die chemische Analyse festgestellt wurden, und die von den Zementproduzenten angegeben wurden. Es wurde einer relativ gute Übereinstimmung der berechneten und der experimentell festgestellten Klinkergehalte in den Kompositzementen nachgewiesen (Tabelle 5. 5. 5).

Vorläufige Schlussfolgerungen auf Grundlage der RTG-Diffraktionsanalyse sind:

Der Zement CEM V/A (S-V) -AT ist hat ein intensiveres amorphes Halo im Vergleich zum Zement der gleichen Sorte aus der Slowakei.

Bei der Erklärung dieser Feststellung können zwei Ursachen existieren: amorpherer Charakter (höherer Anteil der gläserigen Phase) beider Mineralzusätze (Schlacke, Flugasche) im AT-Zement; oder – was wahrscheinlicher ist, höherer Gesamtgehalt der Zusätze S+V im AT-Zement.

Diese zweite Voraussetzung wurde durch die Berechnung des festgestellten niedrigeren Klinkergehalts (und daher des höheren Gehalts an Mineralzusätzen) im AT-Zement im Vergleich mit Sk-Zement bestätigt.

Wie bereits in den ersten Etappen der Beobachtung der Zementleime festgestellt wurde, zeigte sich der Klinkergehalt in den Zementen als einer der entscheidenden Faktoren, die den Grad der Hydratation beeinflussten, vor allem in den ersten Stadien der Behandlung (28 Tage). Die Beobachtung des Verlaufs der Hydratation der Zemente, ihre Bewertung und der Vergleich aus Sicht der Hauptkriterien das Grades der Hydratation erfolgte mit den Methoden der thermischen Analyse.

5. 5. 2. 4. Thermische Analyse

Der thermische Analysator METTLER TOLEDO TGA/DSC-1 STAR ist für die Messung charakteristischer Temperaturen der Phasenübergänge bestimmt, wie auch für die quantitative Festlegung der Änderung des Zustands des überprüften Materials auf Grundlage der Messung der Temperaturunterschiede zwischen Probe und Referenzmaterial als Funktion der programmierten Temperatur (DTA) und des Gewichts der Probe (TGA). Besonderer Wert wird deshalb auf die Präzision und Empfindlichkeit der Wägezelle gelegt. Die Anlage kann außerdem für die Festlegung der Hauptinhaltsstoffe und der Reinheit der Stoffe, für die Charakterisierung von Materialien und für andere spezielle Zwecke im Bereich Erforschung und Entwicklung von Kompositen genutzt werden. Die Methode ist gemäß DIN 51007 General principles of differential thermal analysis standardisiert.

Bei der Analyse wurden diese Bedingungen verwendet:

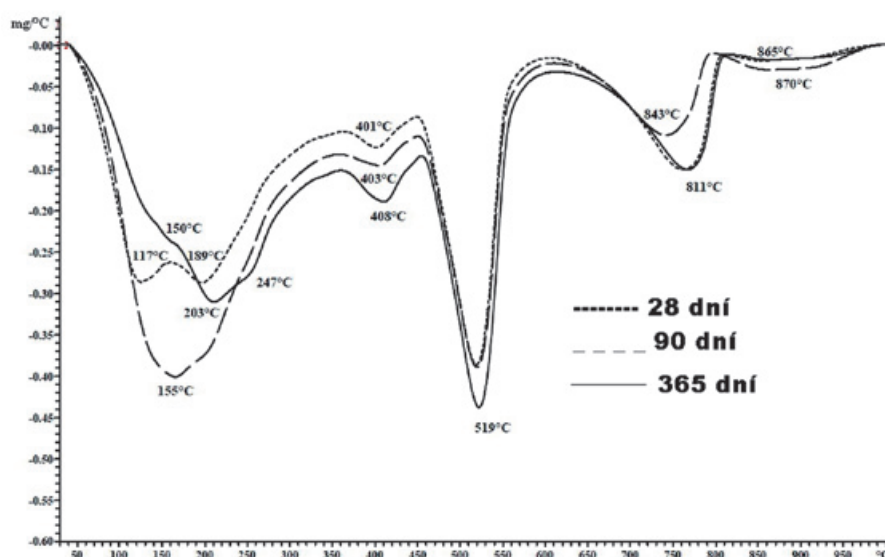
- Temperaturumfang: (30-1 000) °C
- Atmosphäre: Luft (30 ml/min)
- Erwärmungsgeschwindigkeit: 10 °C/min.

Für die Verarbeitung der gemessenen Daten wurde die SW STARE v. 9. 30 verwendet.

Die thermische Analyse ist ein wichtiges Instrument für



Obrázok 5. 5. 14 Termický analyzátor
Abbildung 5. 5. 14 Thermische Analysator



Obrázok 5. 5. 15 DTG krivky vzorky pasty z CEM I po 28, 90 a 365 dňoch uloženia vo vode
Abbildung 5. 5. 15 DTG-Kurven der Leimprobe aus CEM I nach 28, 90 und 365 Tagen der Aufnahme in Wasser

uloženia na vzduchu aj vo vode. Priebeh hydratácie sa sledoval hlavne na krivkách DTG a ako príklad možno uviesť výsledky termickej analýzy pasty REF uloženej vo vode. V pastách boli identifikované produkty hydratácie a prirodzenej karbonatácie a stanovené ich množstvá z úbytku hmotnosti z TG kriviek. Prehľad týchto produktov môže byť nasledovný:

(1) sorbovaná voda (vlhkosť vo vzorke) pri 100-130 °C, s vrcholom pri 110 °C;

(2) hydrátová voda medzi 110 a 220 °C a 160 a 185 °C (voda v hydratačných produktoch cementu ako sú sadrovec, etringit alebo monosulfát, kalciumsilikát hydráty s premenlivým obsahom vody C-S-H);

(3) gelová voda (chemicky viazaná voda) medzi 220 a 400 °C; na DTA krivke sa endoterma C-S-H pozoruje pri 200–300 °C a ďalšia pri 400 °C; potom nasleduje krátka indiferentná oblasť do cca 450 °C, z ktorej postupne vychádza výrazná endoterma prislúchajúca rozkladu $\text{Ca}(\text{OH})_2$;

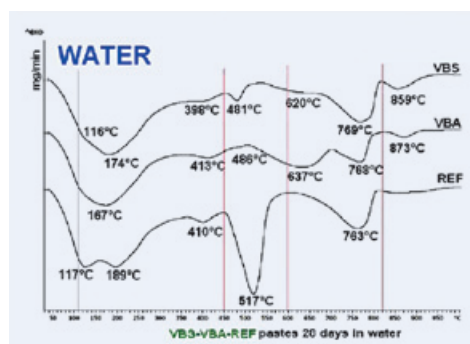
die Bewertung der einzelnen Zemente im Verlauf ihrer Hydratation und ermöglichte den objektiven Vergleich von Zementen einer Sorte (CEM V/A, CEM V/B) von zwei verschiedenen Herstellern. Aus diesem Grund wurden die Leimproben nach 28, 90 und 365 Tagen an der Luft und im Wasser bewertet. Der Verlauf der Hydratation wurde vor allem bei den DTG-Kurven beobachtet, und als Beispiel können die Ergebnisse der thermischen Analyse des Leims REF im Wasser angeführt werden.

In den Leimen wurden Hydratationsprodukte der natürlichen Karbonatisierung identifiziert und deren Menge aus dem Gewichtsverlust aus den TG-Kurven festgestellt. Die Übersicht dieser Produkte:

(1) sorbiertes Wasser (Feuchtigkeit in der Probe) bei 100-130 °C, mit Höhepunkt bei 110 °C;

(2) hydratiertes Wasser zwischen 110 und 220 °C und 160 und 185 °C (Wasser in den Hydratationsprodukten des Zements wie Gipsstein, Etringit oder Monosulfat,

(4) rozklad portlanditu $\text{Ca}(\text{OH})_2$ medzi 400–500 °C; medzi 500 a 700 °C sa môže tiež objaviť ďalšia dehydratácia a/alebo dehydroxylácia a tvorba kalcitu. Pokles pri 550 °C je čiastočne spôsobený CO_2 a čiastočne finálnym stavom dehydratácie C-S-H a hydratovaných aluminátov;

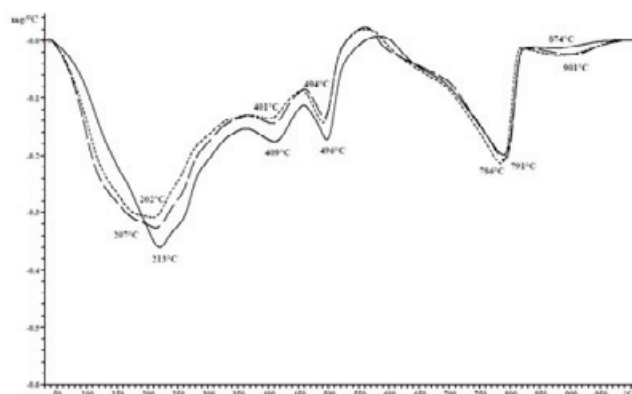


Obrázok 5. 5. 16 DTG krivky pást uložených 28 dní vo vode
Abbildung 5. 5. 16 DTG-Kurve der Leime, die 28 Tage in Wasser lagen

(5) rozklad kalcitu CaCO_3 pri 680–770 °C; uhličitán vápenatý sa môže tvoriť pri teplote nad 400 °C z portlanditu reakciou so vzduchom; u vzoriek uložených vo vode sa kalcit môže tvoriť reakciou vápna s rozpusteným CO_2 vo vode; ďalším zdrojom tvorby kalcitu môže byť samotný proces sušenia vzoriek pred analýzou;

(6) Na DTA krivke sa môže ešte objaviť výchylka pri vyššej teplote ako 800 °C, ktorá súvisí s objavením sa (rekryštalizácia) novej fázy (800-900 °C) – wollastonitu CaSiO_3 (produkt deštrukcie C-S-H).

Z priebehu DTG kriviek pást ošetrovaných 28 dní vo vode jednoznačne vyplýva, že krivky pást vyrobených z cementu CEM V/A (S-V) –AT a -SK sú prakticky totožné, čo je dôsledkom približne rovnaké zloženie AT a SK cementu. Na krivkách DTG pást z cementu CEM V/B ale možno pozorovať výraznejšie rozdiely, ktoré vyplývajú z rozdielneho zloženia (rozdielne minerálne prímеси v AT a SK cimente).



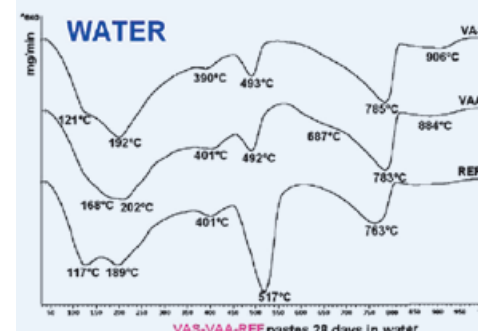
Obrázok 5. 5. 17 DTG krivky vzorky pasty z CEM V/A (S-V) -AT po 28, 90 a 365 dňoch uloženia vo vode
Abbildung 5. 5. 17 DTG-Kurve der Leimprobe aus CEM V/A (S-V) -AT nach 28, 90 und 365 Tagen in Wasser lagen

Ako sa mení priebeh DTG krivky v priebehu hydratácie pást uložených vo vode (termíny 28, 90 a 365 dní) možno demonštrovať na príklade vzorky pasty z CEM V/A (S-V) -AT a CEM V/B (S-P) -SK.

Vplyv doby hydratácie sa obecné prejavil hlavne v prehĺbení endotermickej výchylky s maximom medzi 200-215 °C a jej miernom posune smerom k vyšším teplotám.

Calciumsilikathydrate mit veränderlichem Wassergehalt C-S-H);

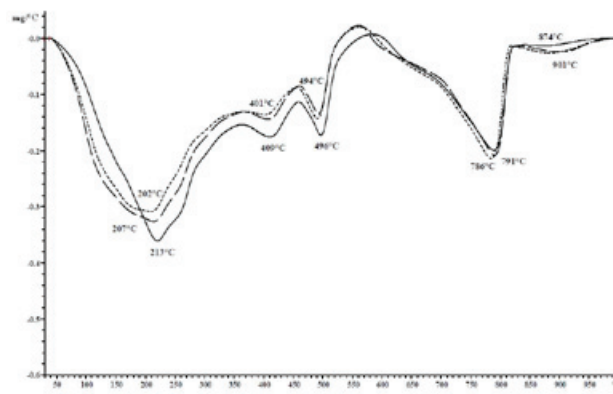
(3) Gelwasser (chemisch gebundenes Wasser) zwischen 220 und 400 °C; auf der DTA-Kurve wird endothermes C-S-H bei 200–300 °C und weiter bei 400 °C beobachtet; dann folgt ein kurzer indifferenter Bereich bis ca. 450 °C, aus dem



schrittweise eine deutliche endotherme Zersetzung von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ hervorgeht;

(4) Zersetzung von Portlandit $\text{Ca}(\text{OH})_2$ zwischen 400–500 °C; zwischen 500 und 700 °C kann sich auch bei der weiteren Dehydratation und/oder Dehydroxylation und bei der Bildung von Calcit zeigen. Das Sinken bei 550 °C wird teilweise durch CO_2 verursacht und teilweise durch den finalen Stand der Dehydratation von C-S-H und der hydratierten Aluminat;

(5) Zersetzung von Calcit CaCO_3 bei 680–770 °C; Calciumcarbonat kann bei einer Temperatur über 400 °C aus der Portlanditreaktion mit der Luft entstehen; bei den Proben in Wasser kann Calcit durch die Reaktion von Kalk mit im Wasser gelösten CO_2 entstehen; eine weitere Quelle der Bildung von Calcit kann der Prozess der Trocknung der Proben selbst vor der Analyse sein;



Obr. 5. 5. 18 DTG krivky vzorky pasty z CEM V/B (S-P) -SK po 28, 90 a 365 dňoch uloženia vo vode
Abbildung 5. 5. 18 DTG-Kurve der Probe der Paste aus CEM V/B (S-P) -SK nach 28, 90 und 365 Tagen in Wasser lagen

(6) Auf der DTA-Kurve kann auch eine Abweichung bei einer höheren Temperatur als 800 °C auftreten, die mit dem Auftreten (Rekristallisierung) der neuen Phase (800-900 °C) zusammenhängt – Wollastonit CaSiO_3 (Produkt der Destruktion von C-S-H).

Stupeň hydratácie je priamo úmerný množstvu chemicky viazanej vody a množstvo vápna je takmer úmerné stupňu hydratácie cementu, to však platí len pre OPC a nie pre zmesové cementy. Vhodnejším kritériom hodnotenia stupňa hydratácie študovaných štyroch zmesových cementov CEM V by mohla byť celková strata žíhaním, ktorá zodpovedá rozkladu C-S-H a ostatných hydrátov v teplotnom intervale 110 až 450 °C. V nasledujúcej tabuľke sú uvedené vypočítané hodnoty nasledujúcich kritérií pre objektívne hodnotenie stupňa hydratácie oboch druhov zmesových cementov CEM V: množstvá Ca(OH)_2 (CH₁ a CH₂); úbytok hmotnosti v intervale 110-450 °C (CSH) a celkový obsah Ca(OH)_2 , vypočítaný ako suma vápna uvoľneného pri hydratácii a vápna premeneného na CaCO_3 karbonatáčnou reakciou (CH-original).

Množstvo Ca(OH)_2 vo vzorke pasty sa vypočítalo ako súčin hodnoty príslušnej straty žíhaním (L. O. I. 450-590 °C) a 4,11 a bolo označené ako CH₁ (%). Množstvo podielu Ca(OH)_2 , ktorý bol premenený karbonatáciou na CaCO_3 sa vypočítalo

Tabuľka 5. 5. 6 Kritériá stupňa hydratácie zmesových cementov – pasty vo vode

Tabelle 5. 5. 6 Kriterien des Grades der Hydratation der Kompositzement–Leime in Wasser

Pasta / Leim	Obsah v % hm. / Gehalt in % Gew.				
	CH ₁ 450-590 °C	CH ₂ z/aus Cc	LOI CSH 110-450 °C	CH _{original} CH ₁ + CH ₂	NEW* CSH + CH _{orig}
CEM I	16,60	5,70	9,81	22,30	32,11
365 d/T	19,40	5,86	10,72	25,26	35,98
CEM V/A-AT 28 d/T	4,24	6,38	10,16	10,62	20,78
365 d/T	6,00	5,54	10,90	11,54	22,44
CEM V/A-SK 28 d/T	4,82	7,64	9,84	12,46	22,30
365 d/T	5,88	7,07	10,70	12,95	23,65
CEM V/B-AT 28 d/T	6,80	6,06	8,13	14,86	22,39
365 d/T	5,47	6,17	8,09	11,64	19,73
CEM V/B-SK 28 d/T	3,97	5,88	8,31	9,85	18,16
365 d/T	4,85	6,01	8,72	10,86	19,58

Poznámka:

x – NEW – neodpariteľná voda (non evaporable water)

Die Bemerkung:

x – NEW – nicht verdampfbares Wasser (non evaporable water)

ako súčin príslušnej straty žíhaním (L. O. I. > 590 °C) a 1,68) a bolo označené ako CH₂ (%). Takže celkové množstvo Ca(OH)_2 , ktoré bolo (teoreticky) pôvodne prítomné v danej vzorke sa vypočítalo ako suma CH₁ + CH₂ (%).

Z uvedených výsledkov vyplýva, že stupeň hydratácie cementu vyjadrený ako NEW (v zmysle použitej definície) v pastách z CEM V/A-SK a CEM V/B-SK je vždy vyšší alebo porovnateľný ako pre cementy v pastách z CEM V/A-AT a CEM V/B-AT. Hlavnou príčinou môže byť vyšší obsah slinku v oboch slovenských cementoch v porovnaní s cementmi vyrobenými v Rakúsku. Ďalej sa zistilo, že hydratačné produkty zmesí OPC s minerálnymi prísadami S-V a S-P v pastách z CEM V/B sú veľmi podobné.

Zmenšenie plochy píku na DTG krivke v oblasti 450-600 °C – rozklad portlanditu v pastách po 28 dňoch uloženia vo vode v porovnaní s referenčnou pastou REF potvrdzuje iniciáciu a rozvoj puzolánových reakcií. V pastách zo zmesových cementov sa obsah vápna z tohto dôvodu znižuje, zatiaľ čo v paste z CEM I sa vápno len produkuje, ale nepotrebováva (ak sa neberie do úvahy prirodzená karbonatácia). Pokles obsahu Ca(OH)_2 je obecné nižšie v pastách z CEM V/A-AT a CEM V/B-AT, čo indikuje mierne menej intenzívnu

Aus dem Verlauf der DTG-Kurven der Leime, die 28 Tage im Wasser behandelt wurden, ergibt sich eindeutig, dass die Kurven der Leime aus dem Zement CEM V/A (S-V) –AT und –SK praktisch identisch sind, was die Folge der etwa gleichen Zusammensetzung des Zements AT und SK ist. Auf den DTG-Kurven der Leime aus dem Zement CEM V/B können aber deutlichere Unterschiede beobachtet werden, die sich aus der unterschiedlichen Zusammensetzung ergeben (unterschiedliche Mineralzusätze in den Zementen AT und SK).

Wie sich der Verlauf der DTG-Kurve im Verlauf der Hydratation der in Wasser eingelegten Leime (Termine 28, 90 und 365 Tage) ändert, kann am Beispiel der Leimproben aus CEM V/A (S-V) –AT und CEM V/B (S-P) –SK demonstriert werden.

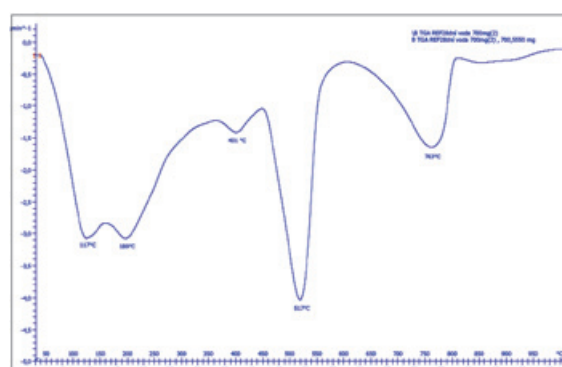
Der Einfluss der Hydrationsdauer zeigte sich allgemein hauptsächlich in der Vertiefung der endothermischen Abweichungen mit einem Maximum zwischen 200-215 °C und einer mäßigen Verschiebung in Richtung zu höheren Temperaturen.

Der Grad der Hydratation entspricht direkt der Menge des chemisch gebundenen Wassers und die Menge des Kalks entspricht dem Grad der Hydratation des Zements, dies gilt allerdings nur für OPC und nicht für Kompositzemente. Ein geeigneteres Kriterium für die Bewertung des Grades der Hydratation der vier studierten Kompositzemente CEM V könnte der Gesamt-Glühverlust sein, der der Zersetzung von C-S-H und anderen Hydraten im Temperaturintervall von 110 bis 450 °C entspricht. In der folgenden Tabelle sind die berechneten Werte der folgenden Kriterien für die objektive Bewertung des Grades der Hydratation beider Sorten Kompositzemente CEM V angeführt: Mengen Ca(OH)_2 (CH₁ und CH₂); Gewichtsverlust im Intervall 110-450 °C (CSH) und Gesamtgehalt an Ca(OH)_2 berechnet als die Summe des Kalks, der bei der Hydratation freigesetzt wird, und des Kalks, der in CaCO_3 durch die Karbonatisierungsreaktion (CH-original) umgewandelt wird.

Die Menge an Ca(OH)_2 in der Leimprobe wurde als Produkt des Werts des entsprechenden Glühverlusts (L. O. I. 450-590 °C) und 4,11 berechnet, und wurde als CH₁ (%) gekennzeichnet. Die Menge des Anteils an Ca(OH)_2 , der durch die Karbonatisierung in CaCO_3 umgewandelt wurde, wurde als Produkt des entsprechenden Glühverlusts

puzolánovú reakciu v pastách z rakúskych cementov.

Ďalej sa preukázalo, že ošetrovanie vo vode má vplyv na zvýšenie intenzity endotermickej výchylky pre rozklad $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v porovnaní s ošetrovaním na vzduchu (laboratórne podmienky). Príčinou je vyšší stupeň hydratácie cementov ošetrovaných vo vode. Hlavné rozdiely medzi DTG krivkami pást zo zmesových cementov ošetrovaných vo vode a na vzduchu možno pozorovať v oblasti teplôt nad 600 °C (rozklad kalcitu). Príslušná endoterma dekarbonatácie je podľa očakávania mohutnejšia pre pasty ošetrované na vzduchu a je charakterizovaná dvojitým priebehom v porovnaní s jediným ostrým maximum u pást uložených vo vode. Príčinou je výrazne intenzívnejší proces karbonatácie pasty voľne uloženej na vzduchu. Prvá výchylka môže byť priradená rozkladu vateritu alebo jemnej forme kalcitu a druhé maximum prislúcha kalcitu s hrubšími kryštálmi.



Obrázok 5. 5. 19 DTG krivka pasty z CEM I uloženej 28 dní vo vode
Abbildung 5. 5. 19 DTG-Kurve des Leims aus CEM I 28 Tage in Wasser lagen

(L. O. I. > 590 °C) und 1,68) berechnet und als CH2 (%) gekennzeichnet. Ebenso wurde die Gesamtmenge an $\text{Ca}(\text{OH})_2$, die (theoretisch) ursprünglich in der betreffenden Probe vorhanden war, als Summe CH1 + CH2 (%) berechnet.

Aus den angeführten Ergebnissen ergibt sich, dass der Grad der Hydratation des Zements, ausgedrückt als NEW (im Sinne der verwendeten Definition) in den Leimen aus CEM V/A-SK und CEM V/B-SK immer höher oder vergleichbar ist mit dem Zement in den Leimen aus CEM V/A-AT und CEM V/B-AT. Hauptursache kann der höhere Klinkergehalt in beiden slowakischen Zementen im Vergleich mit Zementen aus Österreich sein. Weiter wurde festgestellt, dass die Hydratationsprodukte der Mischungen OPC mit den Mineralzusätzen S-V und S-P in den Leimen aus CEM V/B sehr ähnlich sind.

Die Verkleinerung der Flächen des Peaks bei der DTG-Kurve im Bereich 450-600 °C – Zersetzung von Portlandit in den Leimen nach 28 Tagen im Wasser bestätigt im Vergleich mit der Referenzpaste REF die Initiierung und Entwicklung

der Puzzolanreaktion. In den Leimen aus Kompositzement sinkt deshalb der Kalkgehalt, während im Leim aus CEM I nur Kalk produziert, aber nicht verbraucht wird (wenn die natürliche Karbonatisierung nicht in Betracht gezogen wird). Das Sinken des $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Gehalts ist in den Pasten aus CEM V/A-AT und CEM V/B-AT allgemein niedriger, was eine leicht geringere Intensität der Puzzolanreaktion in den Leimen aus den österreichischen Zementen vermuten lässt.

Weiter wurde nachgewiesen, dass die Behandlung in Wasser Einfluss auf die Erhöhung der Intensität der endothermischen Abweichungen bei der Zersetzung von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ im Vergleich mit der Behandlung an der Luft (Laboratoriumsbedingungen) hat. Ursache ist der höhere Grad der Hydratation der Zemente, die in Wasser behandelt wurden. Die Hauptunterschiede zwischen den DTG-Kurven der Leime aus Kompositzement in Wasser und an der Luft können im Bereich der Temperaturen über 600 °C (Calcitersetzung) festgestellt werden. Die entsprechende endothermische Dekarbonatisierung ist gemäß den Erwartungen bei Leimen an der Luft stärker und wird durch einen doppelten Verlauf im Vergleich mit einem einzigen scharfen Maximum bei Leimen in Wasser charakterisiert. Ursache ist der deutlich intensivere Prozess der Karbonatisierung des Leims an der Luft. Die erste Abweichung kann der Zersetzung von Vaterit oder der feinen Form von Calcit zugeordnet werden und das zweite Maximum Calcit mit größeren Kristallen.

5. 5. 2. 5 Ortuťová tlaková porozimetria

V projekte sa používal automatický analyzátor veľkosti a objemu pórov - ortuťový tlakový porozimeter QUANTACHROME Poremaster 60GT, určený pre kvalitatívnu a kvantitatívnu charakterizáciu pórovitých materiálov vo forme práškov a kompaktných kompozitov. Porozimeter

5. 5. 2. 5 Quecksilber-Druckporosimeter

Im Projekt wurde ein automatischer Analysator der Größe und des Volumens der Poren verwendet - das Quecksilber-Druckporosimeter QUANTACHROME Poremaster 60GT, das für die qualitative und quantitative Charakterisierung



Obrázok 5. 5. 20 Tlakový prozimeter
Abbildung 5. 5. 20 Druckporosimeter

meria parametre pórovej štruktúry tuhých látok metódou vtláčania ortute do pórov vzorky pod tlakom.

Metódy ortuťovej porozimetrie sú štandardizované:

ASTM UOP578-02 Automatizované rozdelenie objemu pórov a veľkosti pórov pórovitých látok ortuťovou porozimetriou;
DIN 66133:1993-06 Stanovenie rozdelenia objemu pórov a špecifického povrchu tuhých látok intrúziou ortute;
ISO 15901-1 (2005) Hodnotenie rozdelenia veľkosti pórov a porozimetria tuhých materiálov ortuťovou porozimetriou a adsorpciou plynu - Časť 1: Ortuťová porozimetria;

Rozsah merania veľkostí (polomeru) pórov: 1,8 nm - 0,3 mm (aplikovaný tlak cca 414 MPa).

Pre analýzu sa použili úlomky vzoriek pást s veľkosťou cca 10 mm a s celkovou hmotnosťou ca 1,5 g.

Ortuťová porozimetria (MIP) patrí v súčasnosti k populárnym metódam na charakterizovanie pórovej štruktúry tuhých pórovitých látok. Jediná analýza malého objemu vzorky poskytne všetky významné štruktúrne parametre, ako sú objem pórov, charakteristický rozmer pórov, špecifický povrch pórov, celková pórovitosť, objemová hmotnosť a hustota. Okrem týchto číselných hodnôt možno získať aj rozdelenie pórov v objeme vzorky vo forme krivky alebo histogramu ale aj údaje o tortuozite, fraktálnom rozmere

poröser Materialien in Form von Pulver und kompakten Kompositen bestimmt ist. Das Porosimeter misst die Parameter der Porenstruktur fester Stoffe durch die Methode des Eindrückens von Quecksilber in die Poren der Probe unter Druck.

Die Methoden der Quecksilber-Druckporosimetrie sind standardisiert:

ASTM UOP578-02 Automatisierte Verteilung des Volumens der Poren und der Größe der Poren poröser Stoffe durch die Quecksilber-Druckporosimetrie;

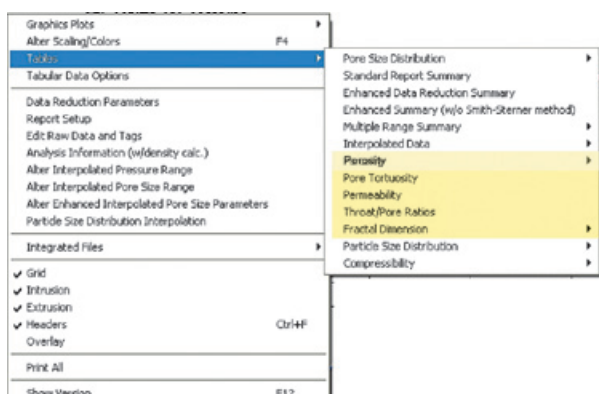
DIN 66133:1993-06 Festlegung der Verteilung des Volumens der Poren und der spezifischen Oberfläche fester Stoffe durch Intrusion von Quecksilber;

ISO 15901-1 (2005) Bewertung der Verteilung der Größe der Poren und Porosimetrie fester Materialien durch Quecksilber-Porosimetrie und Gasadsorption - Teil 1: Quecksilber-Porosimetrie;

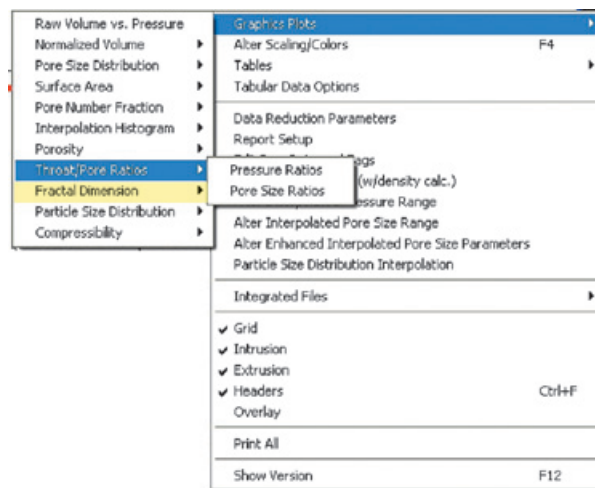
Umfang der Messung der Porengröße (Mittelwert) : 1,8 nm - 0,3 mm (angewendeter Druck ca. 414 MPa).

Für die Analyse wurden Bruchstücken der Leimproben mit einer Größe von ca. 10 mm und mit einem Gesamtgewicht von ca. 1,5 g verwendet.

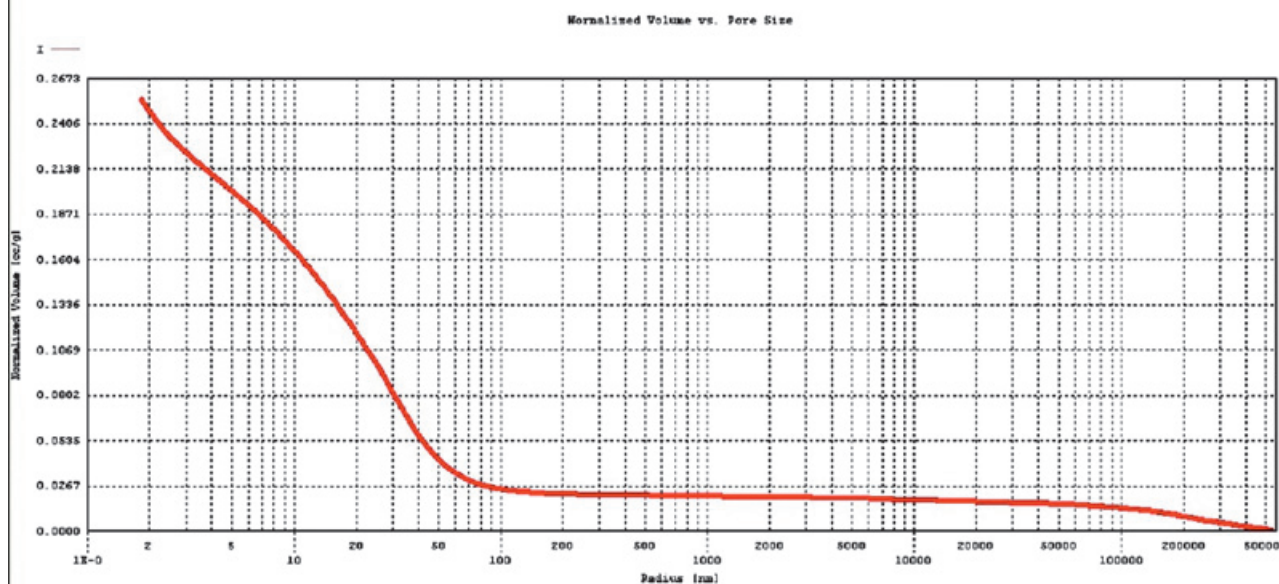
Die Quecksilber-Porosimetrie (MIP) gehört gegenwärtig zu den populären Methoden der Charakterisierung der



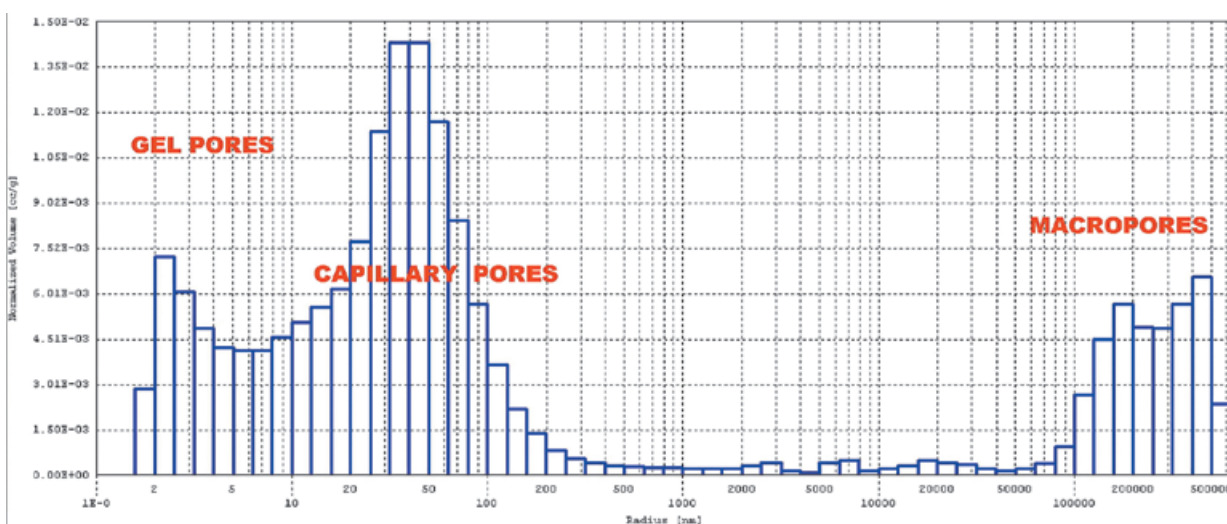
Obrázok 5. 5. 21 Príklady výstupov vo forme tabuliek
Abbildung 5. 5. 21 Beispiele der Ergebnisse in Form von Tabellen



Obrázok 5. 5. 22 Príklady výstupov vo forme grafov
Abbildung 5. 5. 22 Beispiele der Ergebnisse in Form von Grafiken



Obrázok 5. 5. 23 Kumulatívna krivka rozdelenia veľkosti pórov vzorky pasty z CEM V/A (S-V) -SK po 365 dňoch uloženia vo vode
Abbildung 5. 5. 23 Kumulative Kurve der Verteilung der Porengrößen der Leimprobe aus CEM V/A (S-V) -SK nach 365 Tagen in Wasser lagen



Obrázok 5. 5. 24 Typický vzhľad histogramu rozdelenia veľkosti pórov cementovej pasty
Abbildung 5. 5. 24 Typisches Aussehen eines Histogramms der Verteilung der Porengrößen der Zementleime

a priepustnosti. Táto spoľahlivá a rýchla metóda našla najväčšie uplatnenie v oblasti vývoja a výskumu stavebných materiálov a v oblasti cementových kompozitov ju možno dokonca považovať za štandard.

Na histograme PSD vzorovej cementovej pasty ošetrovanej vo vode (obrázok 5. 5. 24) možno pozorovať dve jasne oddelené a dobre definované výchytky, čo indikuje bimodálnu distribúciu pórov; prvý široký pik je v oblasti mikropórov až do R cca 500 nm a druhý, značne menší pik začína v oblasti cca 100 μm , čo je oblasť makropórov.

Pre hodnotenie cementových pást z hľadiska charakteru pórovej štruktúry sú zaujímavé kapilárne póry (R 10 nm - 100 μm), nachádzajúce sa medzi zrnami hydratačných produktov, pričom transportné vlastnosti kompozitu ovplyvňujú póry s R 100 nm - 10 μm . Gélové póry (R < 2 nm) sa nachádzajú v reakčných produktoch a ich množstvo (objem) sa s pokračujúcou hydrataciou zvyšuje na úkor kapilárnej porozitosti. Nemôžu byť stanovené metódou ortuovej porozimetrie priamo, avšak pre zjednodušenie, ako kritérium stupňa hydratacie možno definovať oblasť gelových pórov

Porenštruktúra fester poróznych látok. Jedinečná analýza malého objemu vzorky ponúka všetky významné štruktúrne parametre, ako je objem pórov, charakteristické rozmery pórov, špecifická plocha pórov, celková porozita, hrubá hustota a hustota. Okrem týchto číselných hodnôt možno tiež získať distribúciu pórov v objeme vzorky vo forme krivky alebo histogramu získaného z údajov o tortuozite, fraktálnych parametroch a priepustnosti. Táto spoľahlivá a rýchla metóda našla svoju najväčšiu aplikáciu v oblasti vývoja a výskumu stavebných materiálov a v oblasti cementových kompozitov, kde sa dokonca považuje za štandard.

Na histograme PSD bežného zementového lemu vo vode (obrázok 5. 5. 24) možno pozorovať dve jasne oddelené a dobre definované výchytky, čo indikuje bimodálnu distribúciu pórov; prvý široký pik je v oblasti mikropórov až do R cca 500 nm a druhý, značne menší pik začína v oblasti cca 100 μm , čo je oblasť makropórov.

Tabuľka 5. 5. 7 Parametre pórovej štruktúry vzoriek pást hydratujúcich 28 a 365 dní vo vode
 Tabelle 5. 5. 7 Parameter der Porenstruktur der Leimproben, 28 und 365 Tage in Wasser hydratiert

Pasta / Leim	SpP m ² /g	V _{MP} mm ³ /g	V _{TP} mm ³ /g	Makro %	M _{MP} nm	M _{TP} nm	CP % vol.	HR nm
CEM I 28 d/T	26,25	184,50	229,80	19,71	38,10	52,04	34,24	8,75
365 d/T	29,02	164,30	183,00	10,22	25,71	30,28	28,07	6,31
CEM V/A-SK 28 d/T	60,01	255,20	311,10	17,97	21,98	32,79	41,80	5,18
365 d/T	61,99	235,20	254,60	7,62	15,33	17,57	34,58	4,10
CEM V/A-AT 28 d	39,62	225,50	271,60	16,97	25,59	35,57	38,02	6,85
365 d/T	68,69	232,00	247,00	6,07	10,20	11,32	34,93	3,60
CEM V/B-SK 28 d	67,13	315,90	379,30	16,71	19,39	24,05	47,73	5,65
365 d/T	78,00	299,00	323,00	7,43	13,31	15,10	41,31	4,14
CEM V/B-AT 28 d	48,54	311,20	373,10	16,59	25,59	31,61	47,78	7,69
365 d/T	67,42	288,80	318,60	9,35	13,54	15,33	38,90	4,73

Poznámka:

SpP - špecifický povrch pórov, VMP – objem mikropórov, VTP – celkový objem pórov, Makro – podiel makropórov (R>5000 nm), MMP – medián polomeru mikropórov, MTP – medián polomeru všetkých pórov, CP - celková pórovitosť, HR – hydraulický polomer

Die Bemerkung:

SpP - spezifische Oberfläche der Poren, VMP – Volumen der Mikroporen, VTP – Gesamtvolumen der Poren, Makro – Anteil der Makroporen (R>5000 nm), MMP – Median des Mittelwerts der Mikroporen, MTP – Median des Mittelwerts aller Poren, CP - Gesamtporosität, HR – hydraulischer Mittelwert

Tabuľka 5. 5. 8 Rozdelenie veľkosti pórov v pastách ošetrovaných vo vode (% obj.)

Tabelle 5. 5. 8 Verteilung der Porengröße in Leimen in Wasser lagen (% Vol.)

Pasta / Leim	<10	10-50	50-100	100-500	500-10 ³	10 ³ – 5. 10 ³	5. 10 ³ -10 ⁴	10 ⁴ -5. 10 ⁴	5. 10 ⁴ -10 ⁵	>10 ⁵
CEM I 28 d/T	13,67	32,94	19,31	12,72	0,72	1,01	0,76	1,75	1,60	15,52
365 d/T	23,49	43,52	16,19	5,36	0,44	1,02	0,58	1,22	0,88	7,30
CEM V/A-SK 28 d	26,88	36,01	13,60	4,74	0,23	0,65	0,36	0,79	0,75	15,99
365 d/T	35,22	47,21	7,78	1,57	0,22	0,46	0,44	0,89	0,97	5,24
CEM V/A-AT 28 d	20,29	38,26	17,38	5,93	0,40	0,78	0,53	1,43	0,98	14,02
365 d/T	46,08	41,20	4,78	1,15	0,19	0,45	0,37	1,09	0,68	4,01
CEM V/B-SK 28 d	25,06	47,58	7,26	2,47	0,27	0,86	0,43	0,85	0,60	14,62
365 d/T	36,10	51,00	3,84	1,07	0,16	0,50	0,38	0,80	0,99	5,16
CEM V/B-AT 28 d	16,52	47,80	14,80	3,84	0,23	0,60	0,46	1,30	0,92	13,53
365 d/T	33,60	52,82	2,73	1,01	0,21	0,48	0,39	1,10	0,88	6,78

Tabuľka 5. 5. 9 Doplnkové parametre štruktúry pást získané metódou MIP

Tabelle 5. 5. 9 Ergänzende Parameter der Struktur der Pasten, die mit der Methode MIP gewonnen wurden

Pasta / Leim	OH g/cm ³	D g/cm ³	iQ x10 ⁻¹² m/s	K x10 ⁻¹⁵ m/s
CEM I 28 d/T	1,490	2,266	288	13
365 d/T	1,534	2,133	63	6
CEM V/A-SK 28 d/T	1,343	2,308	58	6
365 d/T	1,358	2,076	12	3
CEM V/A-AT 28d	1,400	2,259	87	9
365 d/T	1,412	2,170	6	2,5
CEM V/B-SK 28 d/T	1,258	2,408	36	8
365 d/T	1,280	2,181	10	4
CEM V/B-AT 28 d/T	1,281	2,452	71	14
365 d/T	1,221	1,999	9	5

Poznámka:

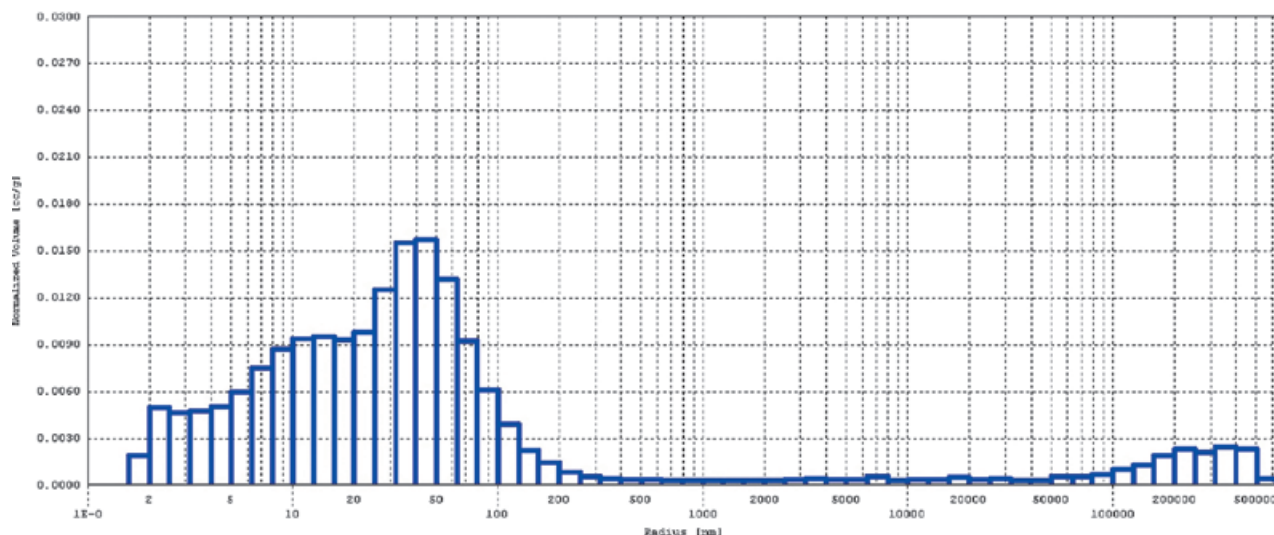
OH – objemová hmotnosť, D – hustota, iQ - index kvality mikroštruktúry pasty,

K – koeficient priepustnosti zohľadňujúci vplyv tortuozity, podiel pórov zodpovedných za priepustnosť (R 100 nm – 10 μm)

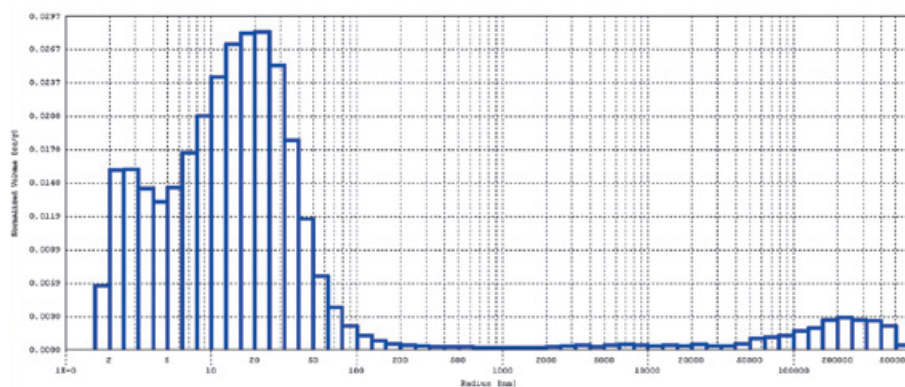
Die Bemerkung:

OH – Rohdichte, D – die Dichte, iQ - Index der Qualität der Mikrostruktur des Leims,

K – Koeffizient der Durchlässigkeit, den Einfluss von Tortuosität berücksichtigend, Anteil der Poren, die für die Durchlässigkeit verantwortlich sind (R 100 nm – 10 μm)



Obrázok 5. 5. 25 Histogram rozdelenia veľkosti pórov v paste z CEM I po 365 dňoch vodného uloženia
Abbildung 5. 5. 25 Histogramm der Verteilung der Porengröße im Leim aus CEM I nach 365 Tagen in Wasser lagen



Obrázok 5. 5. 26 Histogram rozdelenia veľkosti pórov v paste z CEM V/B (S-P) -SK po 365 dňoch vodného uloženia
Abbildung 5. 5. 26 Histogramm der Verteilung der Porengröße im Leim aus CEM V/B (S-P) -SK nach 365 Tagen in Wasser lagen

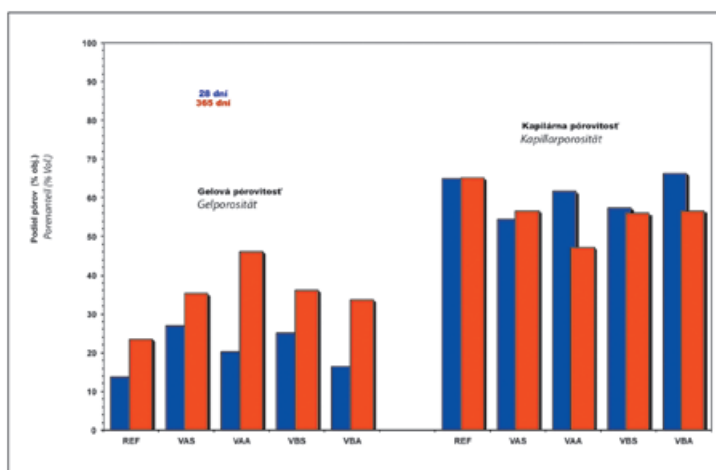
v rozsahu R 1,8 – 10 nm.

Náhrada popolčeka (V) v zmesi S-V (v paste CEM V/B-AT) približne rovnakým množstvom zeolitu (P) v zmesi S-P (v paste CEM V/B-SK) posúva rozdelenie veľkosti pórov smerom od väčších k jemnejším pórom. Táto priaznivá modifikácia pórovej štruktúry potom vedie k poklesu transportných parametrov (koeficient priepustnosti K aj index kvality iQ) pasty CEM V/B-SK. Pórová štruktúra pasty so zeolitom je dokonca jemnejšia ako v referenčnej paste CEM I. Pasta CEM V/B-SK so zeolitom je charakterizovaná vyšším objemom gélových hydratačných produktov (C-S-H gél) a nižšou priepustnosťou. To dokazujú vyššie hodnoty podielu gélovej pórovitosti (P10) a nižšie hodnoty koeficientov iQ a/alebo K.

So zvyšovaním doby ošetrovania pást vo vode (28 až 365 dní) a tým aj s rastom stupňa hydratácie dochádza k redukcii pórovitosti. Objem kapilárnych pórov (R 10-500 nm) sa znižuje a objem gélových pórov s R < 10 nm (miera stupňa hydratácie) sa naopak zvyšuje.

Für die Bewertung der Zementleime aus Sicht des Charakters der Porenstruktur sind die Kapillarporen (R 10 nm - 100 nm) interessant, die sich zwischen den Körnern der Hydratationsprodukte befinden, wobei die Transporteigenschaften des Kompositums von Poren mit R 100 nm - 10 mm beeinflusst werden. Gelporen (R < 2 nm) befinden sich in den Reaktionsprodukten und ihre Menge (Volumen) erhöht sich mit fortschreitender Hydratation zulasten der Kapillarporosität. Sie können durch die Methode der Quecksilber- Porosimetrie nicht direkt festgestellt werden, allerdings kann zur Vereinfachung als Kriterium des Grades der Hydratation der Bereich Gelporen im Umfang von R 1,8 – 10 nm definiert werden.

Durch den Ersatz der Flugasche (V) in der Mischung S-V (im Leim CEM V/B-AT) durch etwa die gleiche Menge Zeolith (P) in der Mischung S-P (im Leim CEM V/B-SK) werden die Poren kleiner. Diese günstige Modifikation der Porenstruktur führt dann zum Sinken der Transportparameter (Koeffizient der Durchlässigkeit K, auch Qualitätsindex iQ) des Leims CEM V/B-SK. Die Porenstruktur des Leims mit Zeolith ist sogar feiner als im Referenzleim CEM I. Der Leim CEM V/B-SK mit Zeolith ist durch einen höheren Gehalt an geligen



Obrázok 5. 5. 27 Zvýšenie objemu gélových pórov ($R < 10 \text{ nm}$) a zníženie objemu kapilárnych pórov ($R 10\text{-}500 \text{ nm}$) v cementových pastách v priebehu hydratácie vo vode
 Abbildung 5. 5. 27 Erhöhung des Volumens der Gelporen ($R < 10 \text{ nm}$) und Sinken des Volumens der Kapillarporen ($R 10\text{-}500 \text{ nm}$) in den Zementleimen im Verlauf der Hydratation in Wasser

Zvýšenie objemu gélových pórov s dobou hydratácie znamená, že sa vytvoril väčší objem väznej fázy C-S-H. Tento nárast gélovej pórovitosti je paradoxne výraznejší u pást vyrobených z AT cementov. Naopak, v oblasti kapilárnych pórov dochádza s dobou hydratácie ku zníženiu ich objemu, čo vedie k poklesu priepustnosti kompozitu. Tento pokles kapilárnej pórovitosti je opäť výraznejší u pást vyrobených z AT cementov, čo znamená, že nižší podiel slinku v AT cementoch bol v neskorších štádiách hydratácie vykompenzovaný intenzívnejšou puzolánovou reakciou v porovnaní s SK cementmi.

Hydratationsprodukten (C-S-H-Gel) und eine geringere Durchlässigkeit charakterisiert. Das beweisen die höheren Werte des Anteils der Gelporosität (P10) und die niedrigeren Werte der Koeffizienten iQ und/oder K .

Mit der Erhöhung der Dauer der Behandlung des Leims in Wasser (28 bis 365 Tage) und dadurch auch mit dem Anstieg des Grades der Hydratation kommt es zur Reduktion der Porosität. Das Volumen der Kapillarporen ($R 10\text{-}500 \text{ nm}$) sinkt und das Volumen der Gelporen mit $R < 10 \text{ nm}$ (niedriger Grad der Hydratation) erhöht sich dagegen.

Das erhöhte Volumen der Gelporen mit zunehmender Dauer der Hydratation bedeutet, dass sich ein größeres Volumen der Bindungsphase C-S-H bildete. Dieser Anstieg der Gelporosität ist paradoxerweise bei den Leimen aus AT-Zementen markanter. Dagegen kommt es im Bereich der Kapillarporen mit zunehmender Dauer der Hydratation zum Sinken ihres Volumens. Dies führt zum Sinken der Durchlässigkeit der Komposite. Dieses Sinken der Kapillarporosität ist wieder bei den Leimen aus AT-Zementen markanter. Das bedeutet, dass der geringe Klinkeranteil in den AT-Zementen in den früheren Stadien der Hydratation durch eine intensivere Puzzolanreaktion im Vergleich mit SK-Zementen kompensiert wurde.

5. 5. 2. 6 Analýza pást metódou DSC

Diferenciálna skenovacia kalorimetria sa často používa na meranie zmien entalpie vo vzorkách v dôsledku zmien v ich fyzikálnych a chemických vlastnostiach. Pretože entalpia tuhej látky obecné závisí od jej množstva, v projekte sa táto termoanalytická metóda použila na monitorovanie objemu C-S-H v pastách v zmesových cementoch po 90 dňoch ich vodného uloženia.

Na analýzu sa použilo zariadenie METTLER-TOLEDO DSC-1 pri týchto podmienkach: rýchlosť ohrevu do cca $550 \text{ }^\circ\text{C}$: $10^\circ \text{C}/\text{min}$; dusiková atmosféra, $20 \text{ cc}/\text{min}$; Al-keľimok s objemom $40 \mu\text{l}$, navážka cca 16 mg .

Obecné je známe, že množstvo rozličných fáz prítomných v zatvrdnutej cementovej paste môže byť monitorované meraním entalpie príslušných výchyliek. DSC termogramy pást ošetrovaných 90 dní vo vode sú znázornené na obrázkoch 5. 5. 29 až 5. 5. 32 a hodnoty entalpií v tabuľke 5. 5. 10.

Na výpočet entalpie sa zvolili endotermy, ktoré prislúchajú hydratačným produktom – s výnimkou $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Oblasť výskytu týchto výchyliek je ohraničená teplotným

5. 5. 2. 6 Analyse der Leime mit der Methode DSC

Die Differenzkalorimetrie wird häufig für die Messung von Änderungen der Enthalpie von Proben infolge der Änderung ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften genutzt. Weil die Enthalpie fester Stoffe allgemein von ihrer Menge abhängt, wurde im Projekt diese thermoanalytische Methode zur Beobachtung des Volumens C-S-H in den Leimen aus Kompositzement nach 90 Tagen im Wasser genutzt.

Zur Analyse wurde die Anlage METTLER-TOLEDO DSC-1 bei diesen Bedingungen verwendet: Erwärmungsgeschwindigkeit bis ca. $550 \text{ }^\circ\text{C}$: $10^\circ \text{C}/\text{min}$; Stickstoffatmosphäre, $20 \text{ cc}/\text{min}$; Al-Becher mit Volumen $40 \mu\text{l}$, Probengewicht ca. 16 mg .

Es ist allgemein bekannt, dass die Menge unterschiedlicher Phasen, die in gehärtetem Zementleim vorkommen, durch die Messung der Enthalpie der entsprechenden Abweichungen beobachtet werden können. DSC-Thermogramme der Leime nach 90 Tagen in Wasser sind auf den Abbildungen 5. 5. 29 bis 5. 5. 32 dargestellt und die Werte der Enthalpie in Tabelle 5. 5. 10.

rozsahom od cca 100 °C do cca 480 °C. Tieto výchyľky prislúchajú dehydratácii kalciumsilikát hydrátov (C-S-H), kalciumsilikátaluminát hydrátov (C-S-A-H) ako aj kalciumaluminát hydrátov (C-A-H).

Z dosiahnutých a prezentovaných výsledkov je zrejme, že účinnosť zmesi minerálnych prímiesí S-V v zmesových cementoch CEM V/A je v tomto štádiu hydratácie vyššia u cementu CEM V/A-SK ako u cementu CEM V/A-AT. To je v zhode so závermi z termickej analýzy, kde sa preukázal rovnaký trend.

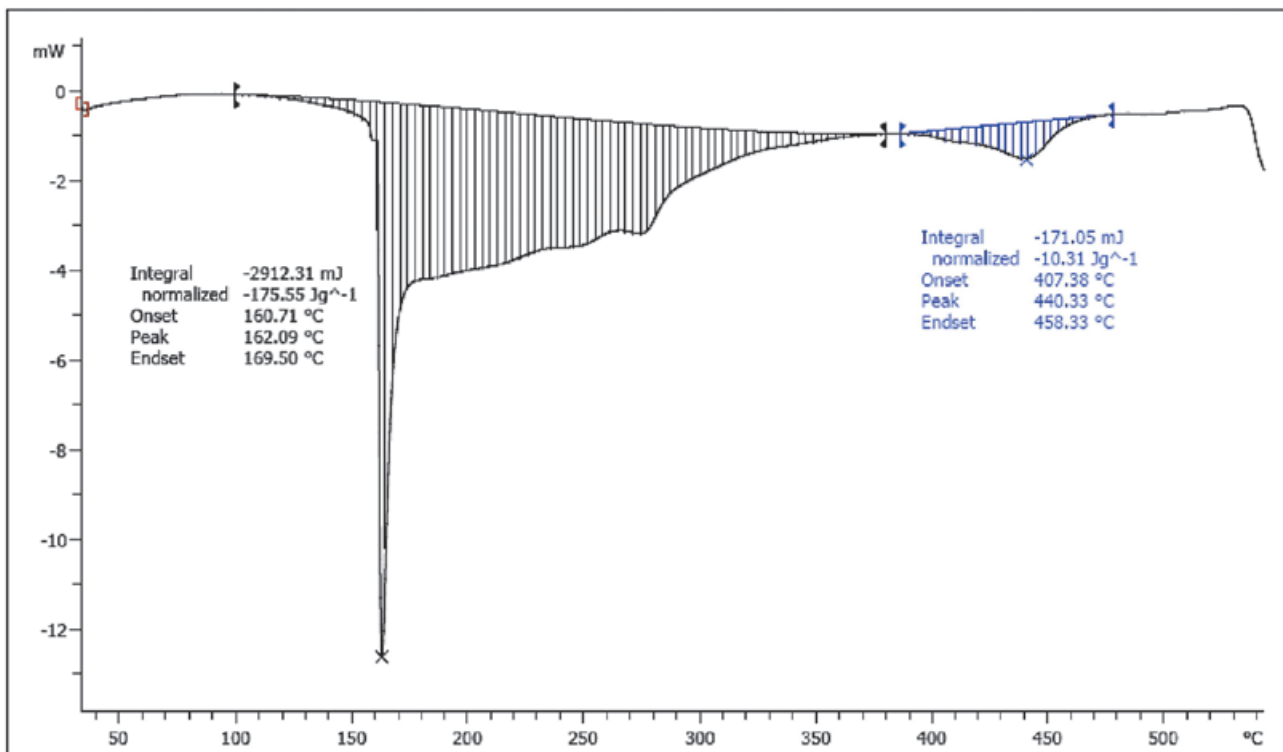
Účinnosť zmesi minerálnych prímiesí S-P v zmesovom cemente CEM V/B-SK je tiež vyššia v porovnaní s cementom CEM V/B-AT s prímiesou S-V. To znamená, že puzolánová

Zur Berechnung der Enthalpie wurden Endotherme gewählt, die dem Hydratationsprodukt zugeordnet werden – mit Ausnahme von Ca(OH)_2 . Der Bereich des Auftretens dieser Abweichungen ist durch den Temperaturumfang von ca. 100 °C bis ca. 480 °C begrenzt. Diese Abweichungen werden der Dehydratation von Calciumsilikathydraten (C-S-H), Calciumsilikataluminathydraten (C-S-A-H), wie auch Calciumaluminathydraten (C-A-H) zugeordnet.

Aus den erreichten und präsentierten Ergebnissen ist ersichtlich, dass die Wirksamkeit der Mischungen der Mineralzusätze S-V in den Kompositzementen CEM V/A in diesem Stadium der Hydratation beim Zement CEM V/A-SK größer als beim Zement CEM V/A-AT ist. Dies steht im Einklang mit den Schlussfolgerungen aus der thermischen



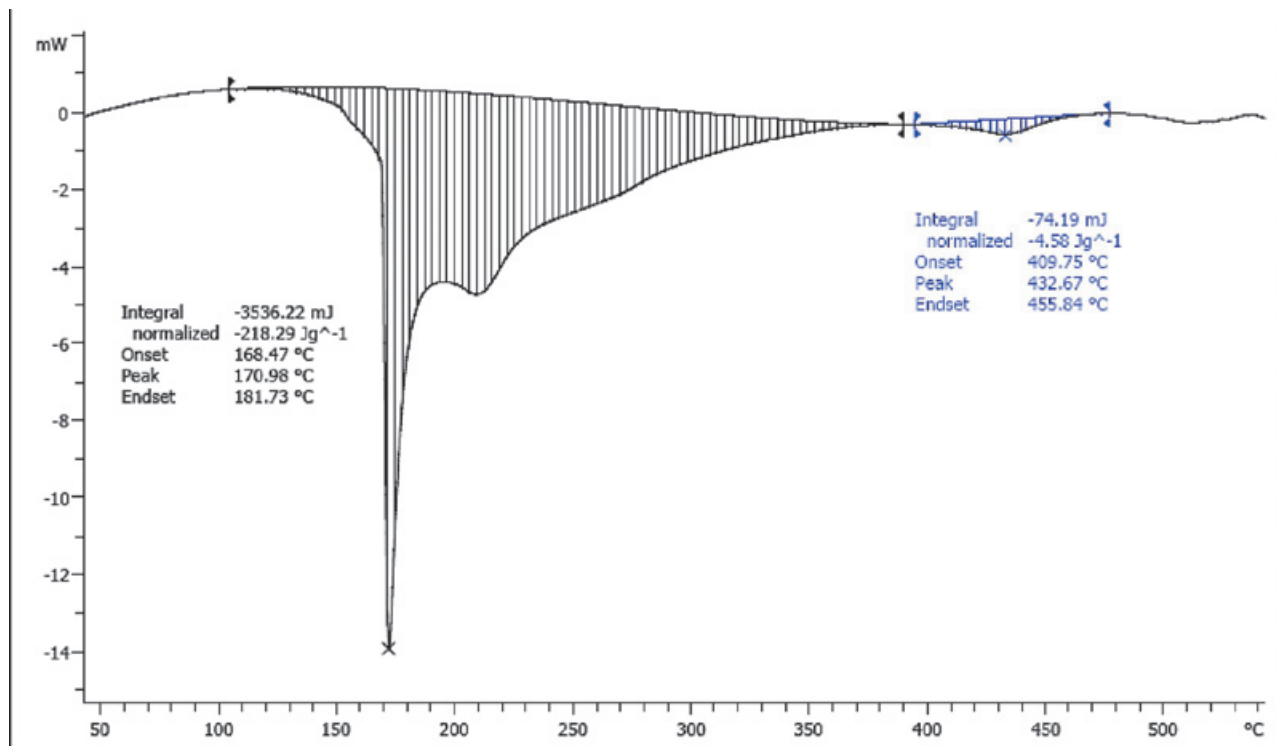
Obrázok 5. 5. 28 Diferenciálny skenovací kalorimeter
Abbildung 5. 5. 28 Die Differenzkalorimetrie Gerät



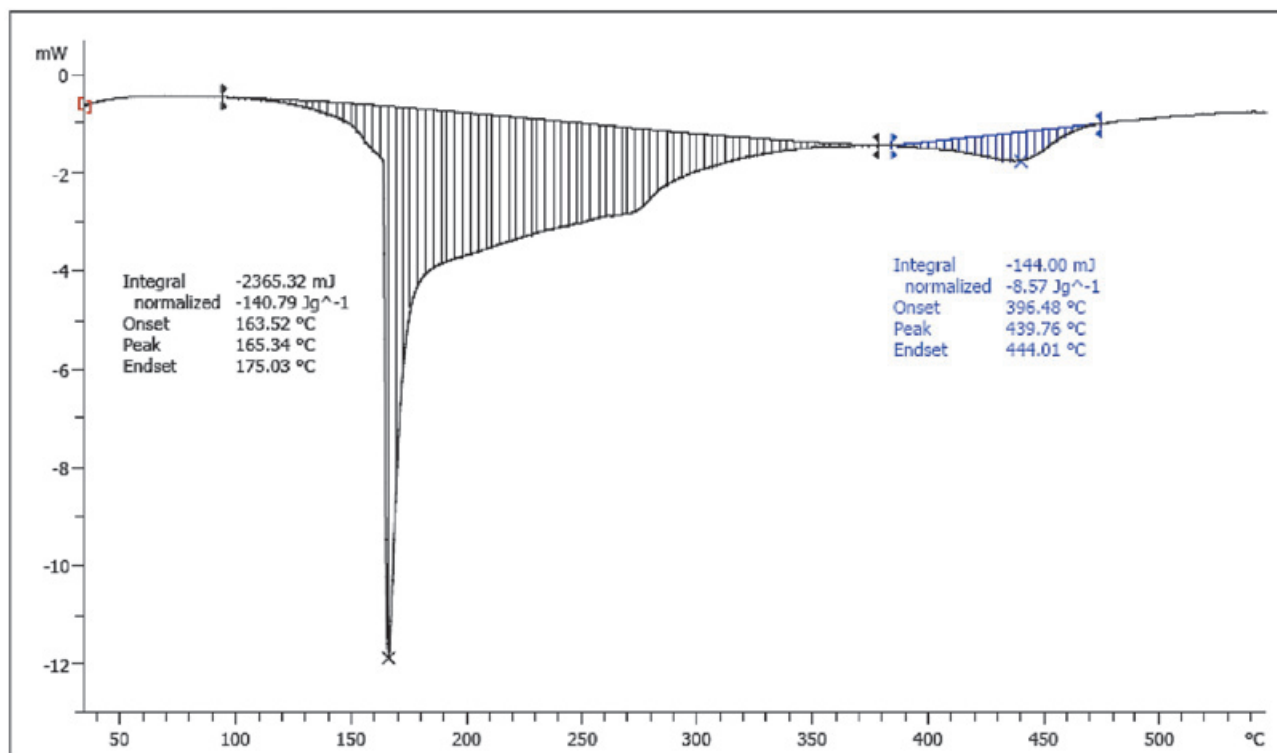
Obrázok 5. 5. 29 DSC termogram pasty CEM V/A-AT
Abbildung 5. 5. 29 DSC-Thermogramm des Leims CEM V/A-AT

aktivita zmesi S-P v cemente CEM V/B-SK sa zdá byť vyššia ako aktivita S-V v cemente CEM V/B-AT. Na druhej strane sú rozdiely v DH medzi pastami CEM V/B-AT a CEM V/B-SK neočakávane malé, výrazne menšie ako v prípade dvojice CEM V/A-AT a CEM V/A-SK. Príčinou je skutočnosť, že sa pri porovnávaní ešte nezohľadnil faktor objemového podielu OPC pasty v pastách zo zmesových cementov, ktorý je rozhodujúci pre objektivne hodnotenie účinnosti jednotlivých cementov. Pri použití uvedeného objemového

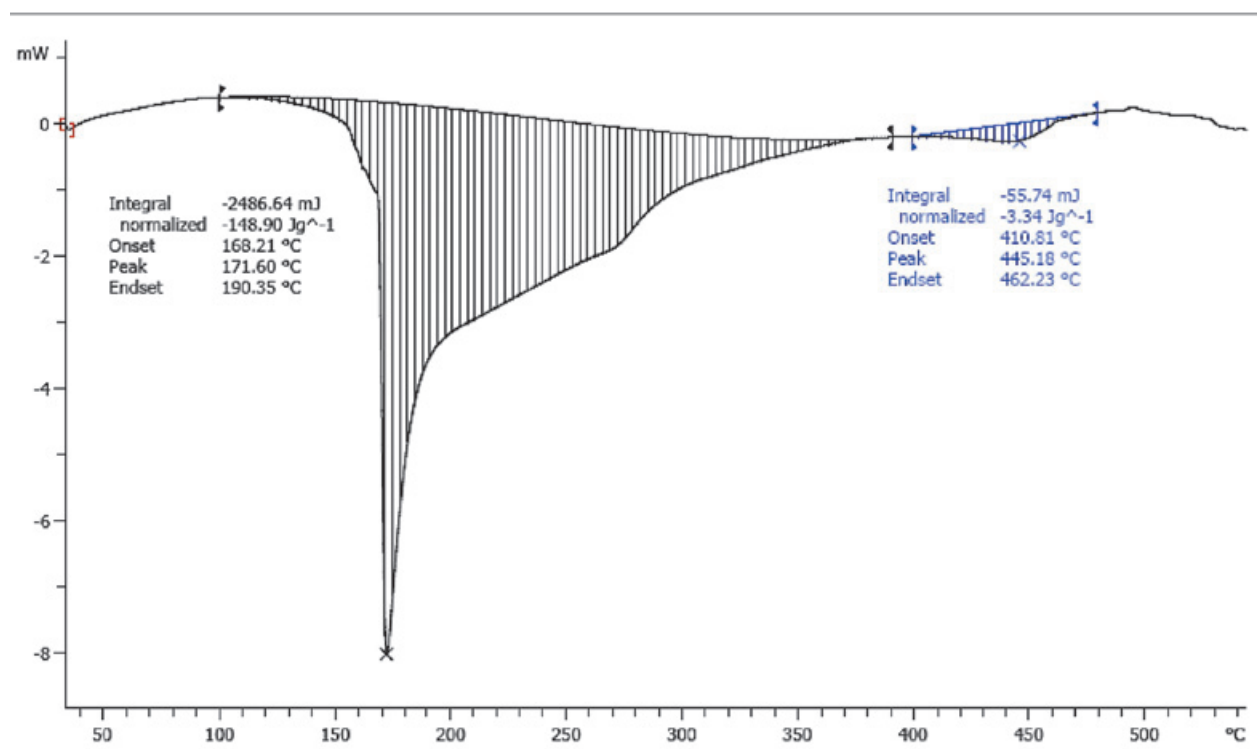
Analyse, durch die der gleiche Trend nachgewiesen wurde. Die Wirksamkeit der Mischungen der Mineralzusätze S-P im Kompositzement CEM V/B-SK ist im Vergleich mit dem Zement CEM V/B-AT mit dem Zusatz S-V ebenfalls höher. Dies bedeutet, dass die Puzzolanaktivität der Mischung S-P im Zement CEM V/B-SK größer zu sein scheint als die Aktivität von S-V im Zement CEM V/B-AT. Andererseits sind die Unterschiede bei DH zwischen den Leimen CEM V/B-AT und CEM V/B-SK unerwartet klein, deutlich geringer als im



Obrázok 5. 5. 30 DSC termogram pasty CEM V/A-SK
Abbildung 5. 5. 30 DSC-Thermogramm der Paste CEM V/A-SK



Obrázok 5. 5. 31 DSC termogram pasty CEM V/B-AT
Abbildung 5. 5. 31 DSC-Thermogramm der Paste CEM V/B-AT



Obrázok 5. 5. 32 DSC termogram pasty CEM V/B-SK
Abbildung 5. 5. 32 DSC-Thermogramm der Paste CEM V/B-SK

Tabuľka 5. 5. 10 Výsledky DSC analýzy
Tabelle 5. 5. 10 Ergebnisse der DSC-Analyse

Pasta / Leim	Entalpia DH1 J/g	Entalpia DH2 J/g	Suma DH1+DH2 J/g / Summe DH1+DH2 J/g
CEM V/A-AT	175,55	10,31	185,86
CEM V/A-SK	218,29	4,58	222,87
CEM V/B-AT	140,79	8,57	149,36
CEM V/B-SK	148,90	3,34	152,24

faktora budú rozdiely v parametroch štruktúry (stanovené metódami TA, DSC, MIP) medzi pastami z CEM V/A-AT a CEM V/A-SK menšie a naopak, rozdiely v parametroch štruktúry medzi pastami z CEM V/B-AT a CEM V/B-SK väčšie.

5. 5. 3 Záver

Dve dvojice cementov s rozdielnym zložením (CEM V/A-AT, -SK a CEM V/B-AT, -SK) sa spoiatku hodnotili prostým porovnaním významných parametrov mikroštruktúry z nich vyrobených pást. Zmesové cementy CEM V/A a CEM V/B od dvoch výrobcov sa navzájom líšia hlavne rozdielnym obsahom slinku, avšak na objektívne hodnotenie týchto cementov a príslušných pást toto kritérium nestačí. Okrem samotného obsahu slinku v zmesovom cemente je významným parametrom aj obsah OPC (slink + sadrovec). Pre objektívne hodnotenie a porovnanie cementov v pastách je však rozhodujúcim kritériom podiel objemu OPC pasty v paste z cementu CEM V.

Z tohto hodnotenia vyplynuli nasledujúce závery:

Fall des Paares CEM V/A-AT und CEM V/A-SK. Ursache ist die Tatsache, dass beim Vergleich der Faktor das Volumenanteils des OPC-Leims in den Leimen aus den Kompositzementen noch nicht berücksichtigt wurde, der für die objektive Bewertung der Wirksamkeit der einzelnen Zemente entscheidend ist. Bei Anwendung des angeführten Volumenfaktors werden die Unterschiede in den Strukturparametern (festgelegt durch die Methoden TA, DSC, MIP) zwischen den Leimen aus CEM V/A-AT und CEM V/A-SK geringer, und im Gegensatz dazu die Unterschiede in den Strukturparametern zwischen den Leimen aus CEM V/B-AT und CEM V/B-SK größer.

5. 5. 3 Zusammenfassung

Zwei Zementpaare mit unterschiedlicher Zusammensetzung (CEM V/A-AT, -SK und CEM V/B-AT, -SK) wurden anfangs durch einfachen Vergleich der bedeutenden Parameter der Mikrostruktur der aus ihnen hergestellten Leime bewertet. Die Kompositzemente CEM V/A und CEM V/B von beiden Herstellern unterscheiden sich voneinander hauptsächlich durch den unterschiedlichen Klinkergehalt, allerdings genügt für die objektive Bewertung dieser Zemente und der entsprechenden Leime dieses Kriterium nicht aus. Außer dem Klinkergehalt selbst ist im Kompositzement auch der OPC-Gehalt (Klinker + Gipsstein) ein bedeutender Parameter. Für die objektive Bewertung und den Vergleich der Zemente in den Leimen ist allerdings der Anteil des Volumens des OPC-Leims im Leim aus dem Zement CEM V ein entscheidendes Kriterium.

Rakúsky cement CEM V/A (S-V) -AT obsahuje síce výrazne nižší hmotnostný obsah slinku aj OPC ako rovnaký druh slovenského cementu CEM V/A (S-V) -SK, avšak objem OPC pasty je v paste z AT cementu len mierne nižší. To sa prejavilo v tom, že potenciál tohto rakúskeho cementu sa preukázal hlavne po dlhodobom ošetrovaní – ako dôsledok puzolánových reakcií vyššieho obsahu minerálnych prímiesí.

Rakúsky cement CEM V/B (S-V) -AT obsahuje na jednej strane výrazne nižší obsah slinku ako slovenský cement CEM V/B (S-P), ale hmotnostný aj objemový podiel OPC pasty je v paste z AT cementu naopak mierne vyšší. Tento pozitívny vplyv na predpokladané skvalitnenie pórovej štruktúry bol však eliminovaný prítomnosťou popolčeka s relatívne nízkou puzolánovou aktivitou. Potenciál tohto rakúskeho cementu sa prejavil hlavne po dlhodobom ošetrovaní, avšak len po ošetrovaní vo vode.

Rozhodujúcim faktorom pre tvorbu kvalitnejšej pórovej štruktúry pasty na báze cementu CEM V/B (S-P) -SK je prítomnosť prírodného puzolánu zeolitu, ktorý je výrazne aktívnejšou minerálnou prímiesou ako popolček v rakúskom cemente.

Rozdiely v parametroch medzi pastami na báze rakúskych a slovenských cementov sa preukázali len na úrovni pórovej štruktúry a stupňa hydratácie. Uvedené rozdiely sú však relatívne veľmi malé, čo znamená, že cementy možno považovať za kvalitatívne úplne porovnateľné.

Aus dieser Bewertung ergaben sich folgende Schlussfolgerungen:

Der österreichische Zement CEM V/A (S-V) -AT enthält zwar einen deutlich geringeren Gewichtsanteil an Klinker und auch OPC als die gleiche slowakische Zementart CEM V/A (S-V) -SK, allerdings ist das Volumen des OPC-Leims im Leim aus dem AT-Zement nur leicht geringer. Das zeigte sich darin, dass das Potenzial dieses österreichischen Zements sich hauptsächlich nach langer Behandlungsdauer zeigte – als Folge der Puzzolanreaktion des höheren Gehalts an Mineralzusätzen.

Der österreichische Zement CEM V/B (S-V) -AT enthält einerseits einen deutlich geringeren Klinkergehalt als der slowakische Zement CEM V/B (S-P), aber der Gewichts- und der Volumenanteil des OPC-Leims im Leim aus dem AT-Zement ist im Gegensatz dazu leicht höher. Dieser positive Einfluss auf die voraussichtliche Qualität der Porenstruktur wurde allerdings durch das Vorkommen an Flugasche mit relativ geringer Puzzolanaktivität eliminiert. Das Potenzial dieses österreichischen Zements zeigte sich hauptsächlich nach langfristiger Behandlung, allerdings nur nach der Behandlung in Wasser.

Der entscheidende Faktor für die Bildung einer qualitativen Porenstruktur des Leims auf Basis des Zements CEM V/B (S-P) -SK ist die Anwesenheit des natürlichen Puzzolans Zeolith, dass ein deutlich aktiverer Mineralzusatz als Flugasche im österreichischen Zement ist.

Unterschiede bei den Parametern der Leime auf der Basis der österreichischen und slowakischen Zemente wurden nur auf dem Niveau der Porenstruktur und des Grades der Hydratation nachgewiesen. Die angeführten Unterschiede sind allerdings relativ gering. Das bedeutet, dass die Qualität der Zemente vollständig vergleichbar ist.



5.6 Návrh receptúry pre transportbetón za použitia cementov druhu CEM V/A a CEM V/B

Časť 5.6 dokumentuje návrh optimálneho zloženia receptúr transportbetónu za použitia cementov druhu CEM V/A a CEM V/B slovenského pôvodu. Návrh zloženia transportbetónu musí vychádzať z požiadaviek, ktoré sa naň budú klásť počas jeho predpokladanej životnosti v konkrétnej konštrukcii. Tieto požiadavky sa definujú v špecifikácii transportbetónu. Z aplikačného pohľadu prioritnou požiadavkou, ktorej transportbetón musí vyhovieť, sa javí byť optimálna konzistencia čerstvej zmesi. Pozornosť venovaná transportbetónu je dôležitá preto, že v súčasnosti sa vo vyspelej Európe dopravuje na miesto staveniska ako transportbetón až 70 % celkovo vyrobeného betónu.

5.6.1 Úvod

Pri navrhovaní zloženia transportbetónu treba vychádzať z požiadaviek, ktoré sa budú klásť na stavbu, na ktorej má byť transportbetón použitý [117]. Tieto požiadavky zahrňujú: statické (trieda betónu a jeho pevnosť), technologické (spracovateľnosť čerstvého transportbetónu a jej prípustná strata v čase uvažovanom od momentu výroby v betonárni až po jeho bezproblémové uloženie v konštrukcii), trvanlivostné (očakávané prostredie pôsobiace na transportbetón počas jeho životnosti z pohľadu chemickej agresivity). Požiadavky na zloženie navrhovaného betónu špecifikuje STN EN 206-1[1].

5.6.2 Experimentálne metódy a postupy skúšania

5.6.2.1 Materiály

Cementy použité pre zhotovenie betónových vzoriek popisuje odsek 5.1.4.1 Materiály. Na výrobu transportbetónu sa použilo rovnaké riečne kamenivo z lokality Vysoká pri Morave frakcií 0/4 mm, 4/8 mm a 8/16 mm ako na výrobu betónu (**časť 5.3**). Na rozdiel od návrhu receptúry pre betón (**časť 5.3**) pri optimalizácii zloženia transportbetónu sa rozšíril sortiment používaných chemických prísad. Ako chemické prísady sa použili superplastifikátor (FM) Berament HT2 založený na polykarboxylátovej báze s 25 % podielom sušiny a prevzdušňovacia prísada (LP) Berapor 101 od spoločnosti BetónRacio, spol. s r. o., Trnava.

5.6.2.2 Použité metódy

Konzistencia čerstvého transportbetónu sadnutím kužela sa stanovila podľa STN EN 12350-2 [106], jeho objemová hmotnosť podľa STN EN 12350-6 [107] a obsah vzduchu v čerstvej zmesi podľa STN EN 12350-7 [108].

5.6 Vorschlag der Rezeptur für Transportbeton unter Verwendung der Zementsorten CEM V/A und CEM V/B

Der Teil 5.6 dokumentiert den Vorschlag der optimalen Zusammensetzung der Rezeptur für Transportbeton unter Verwendung der Zementsorten CEM V/A und CEM V/B slowakischer Herkunft. Der Vorschlag der Zusammensetzung des Transportbetons muss von den Anforderungen ausgehen, die an ihn während seiner voraussichtlichen Lebensdauer in einer konkreten Konstruktion gestellt werden. Diese Anforderungen werden in der Spezifikation des Transportbetons definiert. Aus Anwendungssicht ist die Prioritätsanforderung, der der Transportbeton entsprechen muss, die optimale Konsistenz der frischen Mischung. Die dem Transportbeton gewidmete Aufmerksamkeit ist deshalb wichtig, weil gegenwärtig im entwickelten Europa bis zu 70 % des insgesamt hergestellten Betons als Transportbeton auf die Baustellen gebraucht werden.

5.6.1 Einleitung

Bei der vorgeschlagenen Zusammensetzung des Transportbetons muss von den Anforderungen ausgegangen werden, die an den Bau gestellt werden, für den der Transportbeton verwendet werden soll [117]. Diese Anforderungen beinhalten: statische Anforderungen (Betonklasse und seine Festigkeit), technologische Anforderungen (Verarbeitbarkeit des frischen Transportbetons und der zulässige Schwund in der Zeit ab dem Moment der Herstellung im Betonwerk bis zu seiner problemlosen Verlegung in der Konstruktion), sowie Anforderungen an die Beständigkeit (erwartete Umgebung, das auf den Transportbeton während seiner Lebensdauer aus Sicht der chemischen Aggressivität einwirkt). Die Anforderungen an die Zusammensetzung des vorgeschlagenen Betons spezifiziert STN EN 206-1[1].

5.6.2 Experimentelle Methoden und Prüfverfahren

5.6.2.1 Materialien

Die Zemente, die für die Herstellung der Betonprüfkörper verwendet werden, beschreibt Abschnitt 5.1.4.1 Materialien. Für die Herstellung des Transportbetons wurde ebenfalls Flussgesteinskörnung vom Standort Vysoká pri Morave in den Fraktionen 0/4 mm, 4/8 mm und 8/16 mm wie bei der Herstellung von Beton (**Teil 5.3**) verwendet. Im Gegensatz zum Vorschlag der Rezeptur für Beton (**Teil 5.3**) erweiterte sich bei der Optimierung der Zusammensetzung des Transportbetons das Sortiment der verwendeten chemischen Zusatzstoffe. Als chemischer Zusatzstoff wurde der Superplastifikator (FM) Berament HT2 auf Polycarboxylat-Basis mit 25 % Anteil Trockenmasse und der Durchlüftungszusatz (LP) Berapor 101 der Firma BetónRacio, spol. s r. o., Trnava verwendet.

5.6.2.2 Angewendete Methoden

Die Konsistenz des frischen Transportbetons durch Setzen eines Kegels wurde gemäß STN EN 12350-2 [106] festgelegt, sein Volumengewicht gemäß STN EN 12350-6 [107] und der Luftgehalt in der frischen Mischung gemäß STN EN 12350-7 [108].

5. 6. 2. 3 Výsledky a diskusia

Tabuľka 5.6.1 dokumentuje zloženie čerstvého transportbetónu uvažovanej triedy C30/37 a tabuľka 5. 6. 2 parametre čerstvej zmesi. Okrem transportbetónu triedy C30/37, bol pripravený

5. 6. 2. 3 Ergebnisse und Diskussionen

Tabelle 5. 6. 1 dokumentiert die Zusammensetzung des frischen Transportbetons der Klasse C30/37 und Tabelle 5. 6. 2 die Parameter der frischen Mischung. Außer Transportbeton

Tabuľka 5. 6. 1 CEM V/ (A, B) - SK (C30/37) - zloženie pripravenej zmesi betónu (1m³)

Tabelle 5. 6. 1 CEM V/ (A, B) - SK (C30/37) - Zusammensetzung der vorbereiteten Betonmischung (1m³)

Zložka / Inhaltsstoff	CEM V/A (S - V) 32,5 R C 30/37	CEM V/B (S - P) 32,5 N C 30/37
Cement / Zement	370 kg	370 kg
Voda / Wasser	171 l	171 l
Berament HT2 (FM)	5,0 kg	6,0 kg
Vodný súčiniteľ / Wasserzementwert	0,47	0,47
Kamenivo 0/4 mm / Gesteinskörnung 0/4 mm	803 kg	803 kg
Kamenivo 4/8 mm / Gesteinskörnung 4/8 mm	219 kg	219 kg
Kamenivo 8/16 mm / Gesteinskörnung 8/16 mm	803 kg	803 kg

Tabuľka 5. 6. 2 Parametre čerstvého betónu zloženia C30/37

Tabelle 5. 6. 2 Parameter des Frischbetons der Zusammensetzung C30/37

Parameter / Parameter	CEM V/A	CEM V/B
Teplota po 5 min / Temperatur nach 5 min	25,7 °C	23,2 °C
Teplota po 60 min / Temperatur nach 60 min	23,6 °C	22,5 °C
Vnesený vzduch po 5 min / Eingelange Luft nach 5 min	1,1 %	0,8 %
Vnesený vzduch po 60 min / Eingelange Luft nach 60 min	1,2 %	1,1 %
Potenie / Schwitzen	0,5 kg/m ³	0,6 kg/m ³
Vypočítaný vodný súčiniteľ / berechneter wirksamer Wassergehalt	0,470	0,454
Množstvo vody na m ³ / Wassermenge je m ³	174 l	168 l
Objemová hmotnosť / Volumengewicht	2372 kg/m ³	2343 kg/m ³

Tabuľka 5. 6. 3 CEM V/ (A, B) - SK (C35/45) - zloženie pripravenej zmesi betónu (1m³)

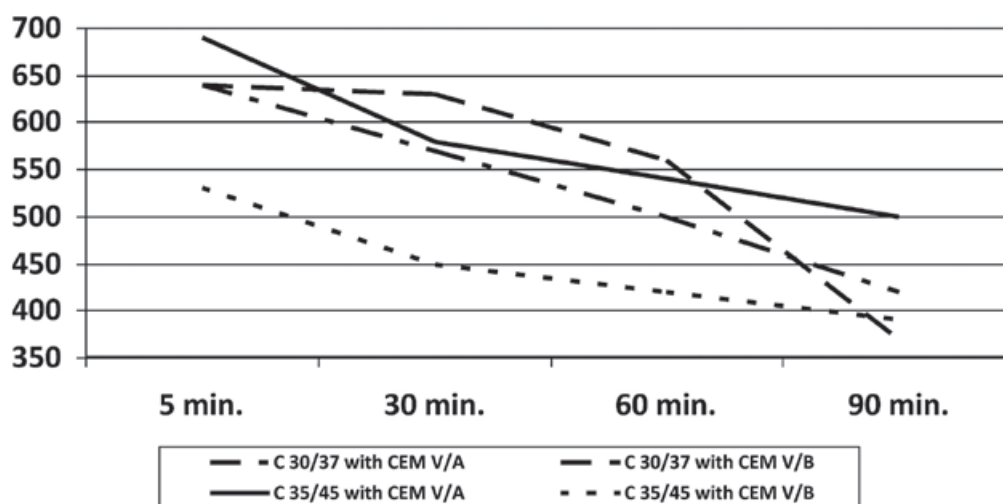
Tabelle 5. 6. 3 CEM V/ (A, B) - SK (C35/45) - Zusammensetzung der vorbereiteten Betonmischung (1m³)

Zložka / Inhaltsstoff	CEM V/A (S - V) 32,5 R C 35/45	CEM V/B (S - P) 32,5 N C 35/45
Cement / Zement	410 kg	410 kg
Voda / Wasser	186 l	186 l
Berament HT2 (FM)	5,0 kg	6,0 kg
Berapol 101 (LP)	4,0 kg	4,0 kg
Vodný súčiniteľ / Wasserzementwert	0,45	0,45
Kamenivo 0/4 mm / Gesteinskörnung 0/4 mm	777 kg	777 kg
Kamenivo 4/8 mm / Gesteinskörnung 4/8 mm	212 kg	212 kg
Kamenivo 8/16 mm / Gesteinskörnung 8/16 mm	777 kg	777 kg

Tabuľka 5. 6.4 Parametre čerstvého betónu zloženia C35/45

Tabelle 5. 6.4 Parameter des Frischbetons der Zusammensetzung C35/45

Parameter / Parameter	CEM V/A	CEM V/B
Teplota po 5 min / Temperatur nach 5 min	18,1 °C	19,1 °C
Teplota po 60 min / Temperatur nach 60 min	16,8 °C	17,9 °C
Vnesený vzduch po 5 min / Eingelange Luft nach 5 min	5,0 %	5,2 %
Vnesený vzduch po 60 min / Eingelange Luft nach 60 min	5,0 %	5,1 %
Potenie / Schwitzen	0 kg/m ³	0 kg/m ³
Vypočítaný vodný súčiniteľ / berechneter wirksamer Wassergehalt	0,45	0,45
Množstvo vody na m ³ / Wassermenge je m ³	186 l	186 l
Objemová hmotnosť / Volumengewicht	2310 kg/m ³	2233 kg/m ³



Obrázok 5. 6. 1 Strata spracovateľnosti transportbetónu triedy C30/37 a C35/40 v čase 90 minút od momentu výroby.

Prezentované výsledky predstavujú laboratórne skúšky.

Abbildung 5. 6. 1 Der Schwund der Verarbeitbarkeit des Transportbetons der Klasse C30/37 und C35/40 in der Zeit von 90 Minuten ab dem Moment der Herstellung. Die präsentierten Ergebnisse stellen Laboratoriumsversuche dar.



čerstvý betón C 35/40, ktorý obsahoval zvýšené množstvo zmesového cementu CEM V/A a CEM V/B druhu a popri superplastifikátore Berament HT 2 aj prevzdušňovaciu prísadu Berapol 101. Transportbetón uvažovanej triedy C35/40 sa zhotovil pri vodnom súčiniteli $v/c = 0,45$. Receptúru transportbetónu triedy C35/40 a jeho základné parametre sa prezentujú v tabuľkách 5. 6. 3 a 5. 6. 4.

Transportbetón triedy C30/37 a C35/40 zhotovený s obidvomi druhmi zmesového cementu preukazuje po 90 minútach od výroby vhodné parametre čerstvej zmesi pre eventúálne použitie v praxi (obrázok 5. 6. 1).

5. 6. 3. Záver

Hlavné poznatky, ktoré vyplývajú z porovnania čerstvých transportbetónových zmesí podľa jednotlivých druhov cementu CEM V/A a CEM V/B sa vzťahujú na triedy transportbetónu C30/37 a C35/40 vždy s rovnakým obsahom cementu na 1 m^3 hotového betónu 370 kg a 410 kg. Na dosiahnutie 5 % prevzdušnenia čerstvej zmesi triedy C35/45 je nevyhnutné aplikovať relatívne vysokú dávku prevzdušňovacej prísady 4 kg/m^3 pri vodnom súčiniteli $v/c = 0,45$. Prevzdušnením sa objemové hmotnosti čerstvých transportbetónov C35/45 znižujú pod hodnoty zistené pre triedu C30/37. Všetky druhy transportbetónov, nezávisle od triedy a druhu cementu sa vyznačujú dobrou objemovou stabilitou vneseného vzduchu v čerstvej zmesi po 5 a 60 minútach od jeho výroby. Rovnako všetky štyri overované vzorky transportbetónu preukazujú rovnaký priebeh zmien v spracovateľnosti zisťovanej v čase do 90 minút od jeho namiešania. Strata spracovateľnosti v čase umožňuje použitie študovaných transportbetónov v praxi.

der Klasse C30/37 wurde frischer Beton C 35/40 angefertigt, der eine erhöhte Menge der Kompositzementsorte CEM V/A und CEM V/B und daneben den Superplastifikator Berament HT 2 und den Durchlüftungszusatz Berapol 101 enthält. Transportbeton der Klasse C35/40 wurde bei einem wirksamen Wassergehalt von $v/c = 0,45$ hergestellt. Die Rezeptur des Transportbetons der Klasse C35/40 und dessen Basisparameter fassen die Tabellen 5. 6. 3 und 5. 6. 4 zusammen.

Transportbeton der Klasse C30/37 und C35/40 aus beiden Sorten Kompositzement weist nach 90 Minuten ab der Herstellung geeignete Parameter der frischen Mischung für eine eventuelle Verwendung in der Praxis nach (Abbildung 5. 6. 1).

5. 6. 3 Zusammenfassung

Die Haupteigenschaften, die sich aus dem Vergleich von frischem Transportbetonmischungen nach einzelnen Zementsorten CEM V/A und CEM V/B ergeben, beziehen sich auf die Klasse des Transportbetons C30/37 und C35/40 immer mit gleichem Zementgehalt je 1 m^3 fertigen Betons von 370 kg und 410 kg. Zum Erreichen von 5 % Durchlüftung der frischen Mischung der Klasse C35/45 muss eine relativ hohe Dosis des Durchlüftungszusatzes von 4 kg/m^3 bei einem wirksamen Wassergehalt von $v/c = 0,45$ zugesetzt werden. Durch die Durchlüftung sinkt das Volumengewicht des frischen Transportbetons C35/45 unter die festgestellten Werte für die Klasse C30/37. Alle Arten von Transportbeton zeichnen sich unabhängig von der Klasse und der Zementsorte durch eine gute Volumenstabilität der eingelangten Luft in der frischen Mischung nach 5 und nach 60 Minuten ab seiner Herstellung aus. Ebenso weisen alle vier überprüften Proben des Transportbetons den gleichen Verlauf der Änderungen der Verarbeitbarkeit in der Zeit bis 90 Minuten ab seiner Anmischung auf. Der Schwund der Verarbeitbarkeit in der Zeit ermöglicht die Verwendung des studierten Transportbetons in der Praxis.

5.7 Stanovenie technicky významných vlastností transportbetónov dôležitých pre prax

Časť 5.7 sa zaoberá úžitkovými vlastnosťami transportbetónov zhotovených z cementov druhov CEM V/A a CEM V/B slovenskej výroby, ktoré sú dôležité pre prax. Tieto výsledky sú dôležité z pohľadu všestrannej použiteľnosti transportbetónu. Cieľom našej práce bola inovácia receptúr transportbetónu so zmesovými cementmi CEM V/A a CEM V/B druhu a dokázanie, že je možné z nich vyrobiť technicky použiteľný transportbetón pre stavebnú prax. Problematika transportbetónu nebola pôvodne zahrnutá do výskumného zámerného projektu. Vedomosť o najrozšírenejšom používaní práve tohto druhu betónu v stavebnej praxi primäla pôvodný plán rozšíriť o preukázanie aplikačnej opodstatnenosti transportbetónov zhotovených zo zmesových cementov. Dosiahnuté výsledky možno považovať za pioniersky prienik do overovania možnej aplikovateľnosti cementov CEM V/A a CEM V/B druhu v transportbetóne. Pokračovanie aplikovaného výskumu v spolupráci so stavebnými podnikmi je preto veľmi perspektívne.

5.7.1 Úvod

Prednosti transportbetónu ako stavebného materiálu možno zhrnúť nasledovne [117]: Transportbetón je osvedčený materiál s veľkou tradíciou – počiatky výroby siahajú do 60-tych rokov 20. storočia.

Transportbetón - predstavuje zaručenú kvalitu - transportbetón sa vyrába priemyselnými postupmi, ktoré umožňujú dosiahnuť kvalitu, ktorá je vyššia ako kvalita betónu vyrobeného miešaním na stavbe. Výroba transportbetónu sa realizuje v betonárňach, v ktorých sú sa jednotlivé zložky betónu (cement, kamenivo, prímеси a prísady) starostlivo skladujú a ich dávkovanie pri výrobe transportbetónu sa riadi počítačom. Kvalita vstupných zložiek sa pravidelne kontroluje.

- dovoľuje stavať aj pri zhoršených poveternostných podmienkach - vyrobený transportbetón sa počas zimného obdobia môže zatepľovať v betonárni a počas jeho dopravy na stavenisko vhodnými technologickými opatreniami. V letnom období sa naopak uplatňuje ochrana chladením pred nepriaznivým účinkom zvýšených teplôt.
- umožňuje stavať rýchlo a hospodárne - zhotovovanie betónových konštrukcií je rýchle a hospodárne. Betonárske práce za použitia transportbetónu vedú k celkovému urýchleniu výstavby, čo sa v konečnom efekte premietá do znížovania potrebných nákladov na zhotovenie celej konštrukcie.
- je vhodný na všetky druhy konštrukcií – súčasné moderné systémové debnenia a dopravné zariadenia umožňujú transportbetón použiť na výstavbu akýchkoľvek konštrukcií.
- znamená pevnosť a trvanlivosť - transportbetón je nehorľavý materiál, je odolný voči erózii, obrusovaniu, záplavám, násilnému vniknutiu, dobre odoláva, najmä v súčinnosti so zabudovanou oceľovou výstužou seizmickým účinkom.
- je dobre odolný (najmä v závislosti od cementu, vodného súčiniteľa a prísad) proti striedavému účinku zmrazovania a rozmrazovania, pôsobeniu rozmrazovacích solí, náhlych a periodicky sa opakujúcich zmien vlhkosti a teploty a tiež je odolný (v závislosti od zloženia betónu) proti pôsobeniu chemicky agresívneho prostredia (napr. chloridov, síranov).

5.7 Festlegung der technisch bedeutenden Eigenschaften von Transportbeton, die wichtig für die Praxis sind

Der Teil 5.7 befasst sich mit den Nutzeigenschaften von Transportbeton aus der Zementsorte CEM V/A und CEM V/B slowakischer Produktion, die wichtig für die Praxis sind. Diese Ergebnisse sind aus Sicht der allgemeinen Nutzbarkeit des Transportbetons wichtig. Ziel unserer Arbeit war die Innovation der Rezeptur des Transportbetons mit den Kompositzementen CEM V/A und CEM V/B und der Nachweis, dass aus ihnen technisch nutzbarer Transportbeton für die Baupraxis hergestellt werden kann. Die Problematik des Transportbetons war ursprünglich nicht in die Forschungsabsicht des Projekts integriert. Die Kenntnis von der weit verbreiteten Nutzung gerade dieser Betonart in der Baupraxis brachte uns dazu, den ursprünglichen Plan um den Nachweis der Anwendungsmöglichkeiten von Transportbeton aus Kompositzementen zu erweitern. Die erreichten Ergebnisse können als Pionierarbeit bei der Überprüfung der möglichen Verwendungen der Zemente CEM V/A und CEM V/B bei Transportbeton gelten, sie sind allerdings nicht abschließend. Die Fortführung der Anwendungsforschung in Zusammenarbeit mit Baubetrieben ist deshalb begrüßenswert.

5.7.1 Einleitung

Die Vorteile des Transportbetons als Baumaterial können wie folgt zusammengefasst werden [117]: Transportbeton ist ein bewährtes Material mit großer Tradition - die Anfänge der Produktion reichen bis in die 60er Jahre des 20. Jahrhunderts.

Transportbeton - stellt eine garantierte Qualität dar - Transportbeton wird durch industrielle Verfahren hergestellt, die eine Qualität erreichen, die höher als die Qualität von Beton ist, der auf dem Bau angemischt wird. Transportbeton wird in Betonwerken hergestellt, wo die einzelnen Inhaltsstoffe des Betons (Zement, Gesteinskörnung, Zusatzstoffe und Zusatzmittel) sorgfältig gelagert werden, und deren Dosierung bei der Herstellung des Transportbetons computergesteuert erfolgt. Die Qualität des Endprodukts wird regelmäßig kontrolliert.

- erlaubt, auch bei schlechteren Witterungsbedingungen zu bauen - der hergestellte Transportbeton kann im Winter in den Betonwerken und während seines Transports zur Baustelle durch geeignete technologische Maßnahmen gewärmt werden. Im Sommer dagegen wird er durch Kühlung vor der ungünstigen Einwirkung erhöhter Temperaturen geschützt.
- ermöglicht, schnell und wirtschaftlich zu bauen - die Fertigung von Betonkonstruktionen ist schnell und wirtschaftlich. Betonierarbeiten mit Transportbeton führen zur gesamten Beschleunigung des Baus, was sich im Endeffekt in der Senkung der erforderlichen Baukosten für die gesamte Konstruktion widerspiegelt.
- ist für alle Konstruktionsarten geeignet - die gegenwärtigen modernen Schalungssysteme und Transportanlagen ermöglichen es, den Transportbeton für die Errichtung jeglicher Konstruktionen zu nutzen.
- bedeutet Festigkeit und Dauerhaftigkeit - Transportbeton ist ein nicht brennbares Material, er ist beständig gegen Erosion, Abrieb, Hochwasser, gewaltsames Eindringen, und er widersteht, insbesondere mit einer Stahlbewehrung, auch gut seismischer Wirkung.
- ist beständig (insbesondere in Abhängigkeit vom Zement, vom wirksamen Wassergehalt und den Zusätzen) gegen Frost-Tau-Wechsel, die Einwirkung von Streusalzen, plötzlich und sich periodisch wiederholende Änderungen

5. 7. 2 Experimentálne metódy a postupy skúšania

5. 7. 2. 1 Materiály

Skúšky sa vykonali s materiálmi špecifikovanými v odseku 5. 6. 2. 1 Materiály

5. 7. 2. 2 Použité metódy

Betónové vzorky sa zhotovili podľa STN EN 12390-2 [109]. Kocková pevnosť v tlaku na kockách 150x150x150 mm betónov sa určila podľa STN EN 12390-3 [113]. Nasiakavosť sa zmerala na kockách 150x150x150 mm a vypočítala podľa STN 73 1316 [114]. Hĺbka presiaknutia betónu (na kockách 150x150x150 mm tlakovou vodou sa determinovala podľa STN EN 12390-8 [115]. Statický modul pružnosti betónu na trámoch 100x100x400 mm sa zistil podľa STN ISO 6784 [112]. Pevnosť v priečnom ťahu sa stanovila podľa STN EN 12390-6 [118]. Odolnosť betónu proti striedavému cyklovaniu v režime mráz – voda na trámoch 100x100x400 mm sa stanovila podľa STN 73 1322 [116].

5. 7. 2. 3 Výsledky a diskusia

Hlavné technicky významné vlastnosti transportbetónu uvažovanej triedy C30/37 pripravené so slovenskými cementmi CEM V/A a CEM V/B druhu sa predstavujú v [tabuľke 5. 7. 1](#). Vzorky sa ošetrovali 90 dní v prostredí s relatívnou vlhkosťou > 90 % a pri teplote (20 ± 1) °C. Relevantné skúšky s rakúskymi cementmi sa nevykonali.

Neprevzdušnený transportbetón zhotovený z cementu CEM V/A C30/37 sa vyznačuje vysokými hodnotami kockovej pevnosti v tlaku, statického modulu pružnosti a pevnosti v priečnom ťahu. Oproti tomu sa logicky vyznačuje nízkou nasiakavosťou a maximálnym priesakom tlakovej vody. Neprevzdušnený transportbetón s cementom CEM V/B druhu preukazuje nižšiu pevnosť v tlaku, statický modul pružnosti a pevnosť v priečnom ťahu, avšak zistené hodnoty v každom prípade dokumentujú kvalitne pripravený transportbetón použiteľný v stavebnej konštrukcii.

Tabuľka 5. 7. 1 Prehľad úžitkových vlastností transportbetónu C30/37 podľa použitých cementov po 90 dňovom uložení vo vlhkom vzduchu

Tabelle 5. 7. 1 Übersicht der Nutzeigenschaften des Transportbetons C30/37 gemäß den verwendeten Zementen nach 90 Tagen in feuchter Luft

Transportbetón C 30/37 / Transportbeton C 30/37	Vlastnosti transportbetónu / Eigenschaft des Transportbetons				
	Pevnosť v tlaku (MPa) / Druckfestigkeit (MPa)	Nasiakavosť (% hmot.) / Wassereindringung (% Gew.)	Hĺbka priesaku vody (mm) / Eindringtiefe von Wasser (mm)	Statický modul pružnosti (GPa) / Statisches Elastizitäts- modul (GPa)	Pevnosť v priečnom ťahu (MPa) / Querzugfestigkeit (MPa)
CEM V/A (S - V) 32,5 R	62,8	1,8	33	34,0	4,36
CEM V/B (S - P) 32,5 N	44,1	2,3	25	30,7	3,26

Za použitia oboch cementov CEM V hodnoty nasiakavosti vyhovujú požiadavke STN EN 206-1/NA, tabuľka F. 1, ktorá špecifikuje maximálne povolených 6 hmotnostných percent. Overované vzorky dokumentujú maximálny priesak tlakovej

der Feuchtigkeit und Temperatur, und er ist ebenfalls beständig (in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Betons) gegen die Einwirkung einer chemisch aggressiven Umgebung (z. B. Chloride, Sulfate).

5. 7. 2 Experimentelle Methoden und Prüfverfahren

5. 7. 2. 1 Materialien

Die Tests erfolgten mit Materialien, die im Abschnitt 5. 6. 2. 1 Materialien spezifiziert sind.

5. 7. 2. 2 Angewendete Methoden

Die Betonprüfkörper wurden gemäß STN EN 12390-2 [109] hergestellt. Die Würfel-Druckfestigkeit (150x150x150 mm) des Betons wurde gemäß STN EN 12390-3 [113] bestimmt. Die Wassereindringung (150x150x150 mm) wurde gemäß STN 73 1316 [114] gemessen und berechnet. Die Tiefe der Durchfeuchtung des Betons (150x150x150 mm) durch Druckwasser wurde gemäß STN EN 12390-8 [115] festgestellt. Das statische Elastizitätsmodul des Betons (100x100x400 mm) wurde gemäß STN ISO 6784 [112] festgestellt. Die Querzugfestigkeit wurde gemäß STN EN 12390-6 [118] festgelegt. Die Beständigkeit des Betons gegen Frost-Tau-Wechsel (100x100x400 mm) wurde gemäß STN 73 1322 [116] festgelegt.

5. 7. 2. 3 Ergebnisse und Diskussionen

Die hauptsächlichlichen technisch bedeutenden Eigenschaften des Transportbetons der Klasse C30/37 aus den slowakischen Zementarten CEM V/A und CEM V/B sind in der [Tabelle 5. 7. 1](#) dargestellt. Die Proben wurden 90 Tage im Umfeld feuchter Luft mit einer relativen Feuchte von > 90 % und bei einer Temperatur von (20 ± 1) °C behandelt. Relevante Tests mit österreichischen Zementen wurden nicht durchgeführt.

Transportbeton ohne Porenbildner aus dem Zement CEM V/A C30/37 ist durch hohe Werte der Würfel-Druckfestigkeit, des statischen Elastizitätsmoduls und der Querzugfestigkeit gekennzeichnet. Dem gegenüber weist er logischerweise eine geringere Wassereindringung und maximale Eindringtiefe von Druckwasser auf. Transportbeton ohne Porenbildner aus dem Zement CEM V/B weist eine geringere Werte der Druckfestigkeit, des statischen Elastizitätsmoduls und der Querzugfestigkeit auf, allerdings dokumentieren die fest-

gestellten Werte in jedem Fall, dass qualitativ vorbereiteter Transportbeton in Baukonstruktionen nutzbar ist. Bei beiden Zementen CEM V entsprechen die Werte der Wassereindringung den Anforderungen der STN EN 206-1/

vody ≤ 50 mm, ktorý je v súlade s požiadavkou STN EN 206-1/NA; tabuľka F. 1.

Tabuľka 5. 7. 2 prezentuje základné úžitkové vlastnosti transportbetónu uvažovanej triedy C35/45 pri zvýšenej dávke jednotlivých cementov CEM V o 40 kg/m^3 a aplikácii prevzdušňovacej prísady.

Transportbetón uvažovanej triedy C35/45 preukazuje jemne redukovanú pevnosť v tlaku v porovnaní so vzorkou C30/37.

Tabuľka 5. 7. 2 Základné úžitkové vlastnosti transportbetónu triedy C35/45 podľa použitých cementov po 90 dňovom uložení vo vlhkom vzduchu

Tabelle 5. 7. 2 Grundlegende Nutzeigenschaften des Transportbetons der Klasse C35/45 nach verwendeten Zementen nach 90 Tagen in feuchter Luft

Transportbetón C35/45 / Transportbeton C35/45	Pevnosť v tlaku (MPa) / Druckfestigkeit (MPa)	Nasiakavosť (% hmot.) / Wasser- eindringung (% Gew.)	Hĺbka priesaku (mm) / Eindring- tiefe von Wasser (mm)	Pevnosť v priečnom ťahu (MPa) / Querkug- festigkeit (MPa)
CEM V/A (S - V) 32,5 R	57,2	1,2	41	3,90
CEM V/B (S - P) 32,5 N	43,9	0,9	36	2,55

Tento efekt zrejme spôsobuje prídavok prevzdušňovacej prísady. Za použitia cementu druhu CEM V/B pevnostný rozdiel medzi obidvomi triedami transportbetónu je úplne zanedbateľný. Maximálna hĺbka priesaku tlakovej vody sa zvyšuje v dôsledku prevzdušnenia oproti transportbetónu C30/37. Naopak znižujú sa nasiakavosti a pevnosti v priečnom ťahu. Transportbetón uvažovanej triedy C35/45 sa vyznačuje technicky významnými vlastnosťami plne postačujúcimi pre použitie v stavebnej konštrukcii. Doteraz sa vykonal iba obmedzený rozsah laboratórnych skúšok, ktoré treba preveriť v praxi so širším diapazónom normovaných skúšok. Prvé projektové poznatky z problematiky transportbetónu zhotoveného z cementu druhu CEM V/A a CEM V/B jednoznačne naznačujú ich reálnu aplikovateľnosť v stavebnej praxi.

Tabuľka 5. 7. 3 znázorňuje výsledky odolnosti transportbetónu triedy C30/37 a C35/45 po 90 dňoch základného ošetrovania vo vlhkom vzduchu proti striedavému účinku zmrazovania a rozmrazovania (50 cyklov). Betón spĺňa požiadavky na odolnosť proti zmrazovaniu a rozmrazovaniu po 50 cykloch podľa STN EN 206-1/NA, tabuľka F. 1, keď hodnoty koeficientov mrazuvzdornosti sú $> 0,85$, vypočítané z oboch pevnostných parametrov.

Vyššia dávka cementu a prevzdušnenie transportbetónu (C35/45) prispelo k zlepšeniu jeho odolnosti proti striedavému účinku zmrazovania a rozmrazovania v porovnaní s transportbetónom C30/37. Mrazuvzdornosť sa napriek tejto skutočnosti nepreukázala, hoci koeficient mrazuvzdornosti

NA, Tabelle F. 1, die die maximal erlaubten 6 Gewichtsprozent festlegt. Die überprüften Proben dokumentieren eine maximale Eindringung von Druckwasser von ≤ 50 mm, die im Einklang mit den Anforderungen der STN EN 206-1/NA; Tabelle F. 1 ist.

Tabelle 5. 7. 2 präsentiert die grundlegenden Nutzeigenschaften des Transportbetons der Klasse C35/45 bei erhöhter Zugabe der einzelnen Zemente CEM V um 40 kg/m^3 und die Zugabe eines Porenbildners.

Transportbeton der Klasse C35/45 weist eine gering reduzierte Druckfestigkeit im Vergleich mit der Probe C30/37 auf. Dieser Effekt wird offensichtlich durch die Zugabe des Porenbildners verursacht. Bei Verwendung der Zementsorte CEM V/B ist der Unterschied zwischen beiden Klassen des Transportbetons völlig zu vernachlässigen. Die maximale Eindringtiefe von Druckwasser erhöht sich infolge der Porenbildung gegenüber dem Transportbeton C30/37. Dagegen sinken die Wassereindringung und die Querkzugfestigkeit. Transportbeton der Klasse C35/45 ist durch technisch bedeutende Eigenschaften gekennzeichnet, die der Verwendung in Baukonstruktionen genügen. Bisher erfolgte nur ein eingeschränkter Umfang an Laboratoriumstests, die in der Praxis durch breitere Normtests überprüft werden müssen. Die ersten Projekterkenntnisse aus der Problematik des Transportbetons aus der Zementsorte CEM V/A und CEM V/B deuten seine reale Anwendbarkeit in der Baupraxis an.

Tabelle 5. 7. 3 stellt die Ergebnisse der Beständigkeit des Transportbetons der Klassen C30/37 und C35/45 nach 90 Tagen Behandlung in feuchter Luft gegen Frost-Tau-Wechsel (50 Zyklen) dar. Der Beton erfüllt die Anforderungen an die Beständigkeit gegen Frost und Auftauen nach 50 Zyklen gemäß STN EN 206-1/NA, Tabelle F. 1, wenn die Werte des Koeffizienten der Frostbeständigkeit $> 0,85$ sind, der aus den beiden Festigkeitsparametern berechnet wird.

Die höhere Zugabe von Zement und die Porenbildung im Transportbeton (C35/45) trugen zur besseren Beständigkeit

Tabuľka 5. 7. 3 Mrazuvzdornosť transportbetónu triedy C30/37 a C35/45

Tabelle 5. 7. 3 Frostbeständigkeit des Transportbetons der Klasse C30/37 a C35/45

Transportbetón s cementom druhu / Transportbeton mit der Zementsorte	Počet cyklov / Anzahl der Zyklen	Pevnosť v ohybe f_{cf} (v tlaku f_c) (MPa) / Biegefestigkeit f_{cf} (im Druck f_c) (MPa)	Koeficient mrazuvzdornosti $f_{cf}(f_c)$ / Koeffizient der Frostbeständigkeit $f_{cf}(f_c)$
CEM V/A (S - V) / C30/37	0	7,5 (59,3)	--
	50	1,9 (39,1)	0,25 (0,66)
CEM V/B (S - P) / C30/37	0	6,4 (33,1)	--
	50	0,2 (21,8)	0,03 (0,51)
CEM V/A (S - V) / C35/45	0	6,9 (61,4)	--
	50	5,7 (50,8)	0,83 (0,83)
CEM V/B (S - P) / C35/45	0	7,4 (54,8)	--
	50	4,7 (40,9)	0,64 (0,75)

transportbetónu C35/45 z CEM V/A cementom na úrovni 0,83 sa limitne blíži k normovanej podmienke $> 0,85$. Možno usúdiť, že dosiahnutie mrazuvzdornosti transportbetónu s cementom CEM V/A druhu je teoreticky možné, hoci doteraz nepreukazané.

5.7.3 Záver

Realizovaný súbor experimentálnych výsledkov s transportbetónmi zhotovenými z cementov druhov CEM V/A a CEM V/B umožňuje postulovanie nasledovných záverov.

1. Špecifikácia pre neprevzdušený transportbetón s cementom CEM V druhu podľa štandardizovaných kritérií pre betón uvádzaných v STN EN 206-1/NA môže byť navrhnutá nasledovne: STN EN 206-1 - C30/37 - XC4, XD2, XA2 (SK) - CI 0,2 - S3 - Dmax 16 – maximálny priesak vody 50 mm, nasiakavosť menej ako 6 % hmotnostných.
2. Špecifikácia pre prevzdušený transportbetón s cementom CEM V druhu podľa štandardizovaných kritérií pre betón uvádzaných v STN EN 206-1/NA môže byť navrhnutá nasledovne: STN EN 206-1 - C 35/45 - XC4, XD3, XA3 (SK) - CI 0,2 - S3 - Dmax 16 – maximálny priesak vody 50 mm, nasiakavosť menej ako 6 % hmotnostných.
3. Transportbetón C30/37 a C35/45 sa vyznačuje spracovateľnosťou vhodnou pre použitie do 90 minút od momentu jeho výroby.
4. Obidve triedy transportbetónu sa okrem mrazuvzdornosti vyznačujú technicky významnými vlastnosťami vhodnými pre aplikáciu v praxi.
5. Zvýšenie mrazuvzdornosti a hlbšie overovanie ich normovaných reologických a úžitkových vlastností, včítane odolnosti proti chemicky agresívne pôsobiacemu prostrediu a prešetrenia podmienok korózie oceľovej výstuže bude vyžadovať ďalší výskum a vývoj orientovaný na transportbetóny s cementmi CEM V/A a CEM V/B druhu.
6. Dosiahnuté výsledky reálne naznačujú budúce možné aplikácie transportbetónov s cementmi CEM V/ (A, B), najmä v chemicky agresívnom prostredí.

gegen Frost-Tau-Wechsel im Vergleich zum Transportbeton C30/37 bei. Die Frostbeständigkeit wurde trotz dieser Tatsache nicht nachgewiesen, obwohl der Koeffizient der Frostbeständigkeit des Transportbetons C35/45 aus CEM V/A-Zement auf dem Niveau von 0,83 nahe dem Limit der Normbedingung von $> 0,85$ ist. Die Frostbeständigkeit des Transportbetons mit der Zementsorte CEM V/A kann also theoretisch erreicht werden, wurde aber bisher nicht nachgewiesen.

5.7.3 Zusammenfassung

Die experimentellen Ergebnisse für Transportbeton aus der Zementsorte CEM V/A und CEM V/B ermöglichen folgende Schlussfolgerungen:

1. Die Spezifikation von Transportbeton ohne Porenbildner mit dem Zement CEM V nach standardisierten Kriterien für Beton gemäß STN EN 206-1/NA könnte vorgeschlagt sein als: STN EN 206-1 - C30/37 - XC4, XD2, XA2 (SK) - CI 0,2 - S3 - Dmax 16 – maximale Wassereindringung 50 mm, Wassereindringung geringer als 6 Gewichtsprozent.
2. Die Spezifikation von Transportbeton mit Porenbildner mit dem Zement CEM V nach standardisierten Kriterien für Beton gemäß STN EN 206-1/NA könnte vorgeschlagt sein als: STN EN 206-1 - C30/37 - XC4, XD3, XA3 (SK) - CI 0,2 - S3 - Dmax 16 – maximale Wassereindringung 50 mm, Wassereindringung geringer als 6 Gewichtsprozent.
3. Transportbeton C30/37 und C35/45 haben eine Verarbeitbarkeit, die für die Nutzung bis 90 Minuten ab seiner Herstellung geeignet ist.
4. Beide Klassen des Transportbetons sind außer durch die Frostbeständigkeit durch technisch bedeutende Eigenschaften gekennzeichnet, die für die Anwendung in der Praxis geeignet sind.
5. Die Erhöhung der Frostbeständigkeit und die weitere Überprüfung der normierten rheologischen und der Nutzeigenschaften, einschließlich der Beständigkeit gegen ein chemisch aggressiv wirkendes Umfeld und der Überprüfung der Bedingungen der Korrosion der Stahlbewehrung, erfordern die weitere Erforschung und Entwicklung des Transportbetons mit den Zementsorten CEM V/A und CEM V/B.
6. Die erreichten Ergebnisse deuten real eine künftig mögliche Anwendung von Transportbeton mit den Zementen CEM V/ (A, B) an, insbesondere in chemisch aggressiven Umgebung.

5.8 Praktická demonštrácia aplikácie betónu so zmesovým cementom druhu CEM V

Časť 5.8 predstavuje dva rakúske druhy cementu CEM V/A v betóne. Cement vyrobený dňa 27.1.2011 dokumentuje laboratórne pripravený materiál. Cement vyrobený dňa 30.3.2012 reprezentuje cement použitý v praktickej demonštrácii. Výroba obidvoch cementov CEM V/A ako aj praktická ukážka sa realizovali spoločnosťou SCHRETTNER, Vils.

5.8.1 Úvod

Praktická demonštrácia aplikácie betónu s cementom druhu CEM V/A sa zamerala na dokazovanie, že takýto betón je možné stavebnou firmou nielen vyrobiť, ale aj aplikovať, rovnako ako betóny s inými druhmi cementu. Dvojročná doba riešenia problematiky neumožnila realizáciu rozsahom väčšieho poloprevádzkového experimentu.

5.8.2 Experimentálne metódy a postupy skúšania

5.8.2.1 Materiály

Pri demonštrácii sa aplikovali 2 druhy rakúskeho cementu CEM V/A (S-V) 32,5 R, ktorých materiálové zloženie špecifikuje tabuľka 5.8.1 a chemické zloženie tabuľka 5.8.2.

5.8.2.2 Použité metódy

Konzistencia čerstvého betónu sadnutím kužeľa sa stanovila podľa EN 12350-2 [106], jeho objemová hmotnosť podľa EN 12350-6 [107] a obsah vzduchu v čerstvej betóne podľa EN 12350-7 [108]. Betónové vzorky sa zhotovili podľa EN 12390-2 [109]. Pevnosť v tlaku na kockách 150x150x150 mm betónov sa určila podľa EN 12390-3 [113]. Začiatok, doba tuhnutia a objemová stálosť cementu sa stanovili podľa EN 196-3 [96]. Základné vlastnosti cementových mált sa určili podľa EN 196-1 [97].

5.8 Praktische Anwendung von Beton mit der Kompositzementsorte CEM V

Der Teil 5.8 stellt die beiden österreichischen Zementsorten CEM V/A vor. Beide Zemente wurden von der Firma Schetter, Vils hergestellt. Mit der Kompositzementsorte CEM V/A wurde ebenfalls eine Teststrecke hergestellt / errichtet.

5.8.1 Einleitung

In Zuge dieser Untersuchungen sollte nachgewiesen werden, dass ein mit CEM V/A hergestellter Beton ebenfalls in der Baupraxis Verwendung finden kann. Die zweijährige Dauer der Lösung der Problematik ermöglichte keine Realisierung größeren Umfangs als im Halbbetriebsexperiment.

5.8.2 Experimentelle Methoden und Prüfverfahren

5.8.2.1 Materialien

Für die Versuchsdurchführungen wurden 2 Sorten des österreichischen Zements CEM V/A (S-V) 32,5 R verwendet, deren Materialzusammensetzung in Tabelle 5.8.1 und chemische Zusammensetzung in Tabelle 5.8.2 dargestellt sind.

5.8.2.2 Angewendete Methoden

Die Konsistenz des Frischbetons wurde durch Kegelsetzung gemäß EN 12350-2 [106] festgelegt, sein Volumengewicht gemäß EN 12350-6 [107], der Luftgehalt im Frischbeton gemäß EN 12350-7 [108]. Die Betonprüfkörper wurden gemäß EN 12390-2 [109] angefertigt. Die Würfel-Druckfestigkeit (150'150'150 mm) des Betons wurde gemäß EN 12390-3 [113] bestimmt. Anfang, Dauer der Erstarrung und Beständigkeit des Zements wurden gemäß EN 196-3 [96] festgelegt. Die Grundeigenschaften der Zementmörtel wurden gemäß EN 196-1 [97] bestimmt.

Tabuľka 5.8.1 Zloženie dvoch zhotovených vzoriek cementu CEM V/A (S-V) 32,5 R
Tabelle 5.8.1 Zusammensetzung der beiden angefertigten Zementproben CEM V/A (S-V) 32,5 R

CEM V/A (S-V) 32,5 R	27.1.2011	30.3.2012	Jednotka / Einheit
Obsah slinku / Klinkergehalt	45,0	44,7	%
Obsah vysokopečnej trosky / Hüttensandgehalt	25,3	26,3	%
Obsah popolčeka / Flugaschegehalt	19,8	21,1	%
Obsah sadrovca / Gipssteingehalt	9,9	7,9	%
SO ₃ (merané XRF) / SO ₃ (gemessen mit XRF)	3,5	3,7	%
Merný povrch (Blaine) / Spezifische Oberfläche (Blaine)	487,0	467,0	m ² /g

Tabuľka 5. 8. 2 Chemické zloženie cementu CEM V/A (S-V) 32,5 R
 Tabelle 5. 8. 2 Chemische Zusammensetzung des Zements CEM V/A (S-V) 32,5 R

Metóda XRF / Methode XRF	27. 1. 2011	30. 3. 2012	Jednotka / Einheit
SiO ₂	29,8	31,4	%
CaO	42,6	40,8	%
Al ₂ O ₃	12,2	11,9	%
Fe ₂ O ₃	2,9	2,9	%
MgO	5,3	5,8	%
SO ₃	3,5	3,7	%
Na ₂ O	0,3	0,4	%
K ₂ O	1,1	0,9	%

Tabuľka 5. 8. 3 Doba tuhnutia a normované pevnosti v tlaku mált s cementom CEM V/A
 Tabelle 5. 8. 3 Erstarungszeit und Anstieg der Normdruckfestigkeit der Mörtel mit dem Zement CEM V/A

CEM V/A (S-V) 32,5 R	27. 1. 2011	30. 3. 2012	Jednotka / Einheit
Pevnosť v tlaku, 2 dni / Druckfestigkeit, 2 Tage	10,4	8,8	MPa
Pevnosť v tlaku, 7 dní / Druckfestigkeit, 7 Tage	26,4	24,5	MPa
Pevnosť v tlaku, 28 dní / Druckfestigkeit, 28 Tage	51,3	47,3	MPa
Požadovaná voda / Erforderliches Wasser	31,2	31,0	%
Čas tuhnutia / Erstarungszeit	280	255	min

Tabuľka 5. 8. 4 Laboratórne vyrobené betóny s cementom CEM V/A (V-S) 32,5 R
 Tabelle 5. 8. 4 Im Laboratorium hergestellter Beton mit dem Zement CEM V/A (V-S) 32,5 R

Zloženie betónu / Zusammensetzung des Betons		Vlastnosti čerstvého betónu / Eigenschaften des frischen Betons		Pevnosť v tlaku / Druckfestigkeit	
cement / Zement	370 kg/m ³	Sadnutie kužeľa / Kegelssetzung	400 mm	Pevnosť v tlaku, 2 dni / Druckfestigkeit, 2 Tage	12,0 MPa
kamenivo / Gesteins-körnung	1825 kg/m ³	Objemová hmotnosť / Volumen-gewicht	2322 kg/m ³	Pevnosť v tlaku, 28 dní ošetrený na vzduchu / Druckfestigkeit 28, Tage an der Luft	38,9 MPa
voda / Wasser	176 l/m ³	Obsah vzduchu / Luftgehalt	2,0 obj. %	Pevnosť v tlaku, 28 dní ošetrený vo vode / Druckfestigkeit, 28 Tage im Wasser	45,7 MPa
vodný súčiniteľ / Wasserzementwert	0,475	-	-	mrazuvzdornosť / Frostbeständigkeit	nie / nein

5. 8. 2. 3 Výsledky a diskusia

Obidva druhy cementu CEM V/A sa líšia iba nepatrne podľa obsahu jednotlivých zložiek, SO₃ a jemnosti mletia. Zmesový cement vyrobený dňa 27. 1. 2011 sa použil pre laboratórne skúšky, zatiaľ čo jeho alternatíva vyrobená dňa 30. 3. 2012 pre praktickú demonstráciu. Žiadne zásadné rozdiely medzi dátumovo rozličnými cementmi sa nepozorovali ani chemickou analýzou. Výsledky reprezentujú merania rtg. fluorescenčným (XRF) prístrojom.

Základné parametre cementu CEM V/A (S-V) 32,5 R vystihuje tabuľka 5. 8. 3. Doby tuhnutia a nárast normovaných pevností v tlaku mált v čase sú približne rovnaké.

Tabuľka 5. 8. 4 predostiera zloženie laboratórne pripraveného betónu, jeho vlastnosti v čerstvom stave a zistené pevnosti

5. 8. 2. 3 Ergebnisse und Diskussion

Beide Zementsorten CEM V/A unterscheiden sich nur SO₃ - Gehalt gering beim Gehalt einzelnen Inhaltsstoffe, SO₃ und der Mahlfineinheit. Der Kompositzement vom 27. 1. 2011 wurde für Labortests verwendet, jener vom 30. 3. 2012 für die praktische Anwendung. Es wurden keine grundlegenden Unterschiede zwischen beiden Zementen beobachtet, auch nicht durch die chemische Analyse. Die Ergebnisse repräsentieren die Messungen mit dem Röntgenfluoreszenz-Gerät (XRF).

Die Grundparameter des Zements CEM V/A (S-V) 32,5 R sind in Tab 5. 8. 3 dargestellt. Die Erstarungszeit und der Anstieg der Normdruckfestigkeit der Mörtel sind ungefähr gleich.

Tabuľka 5. 8. 5 Receptúra betónu použitého na praktickú demonštráciu prepočítaná na 1 m³ čerstvej zmesi
 Tabelle 5. 8. 5 Rezeptur des Betons, der für die praktische Anwendung verwendet wurde, umgerechnet auf 1 m³ Frischbeton

Zložka betónu / Inhaltsstoffe des Betons	kg	%
cement CEM V/A / Zement CEM V/A	400	18,1
kamenivo 0/4 mm / Gesteinskörnung 0/4 mm	905	41,0
kamenivo 4/8 mm / Gesteinskörnung 4/8 mm	415	18,8
kamenivo 8/16 mm / Gesteinskörnung 8/16 mm	485	22,0
plastifikačná prísada / Plastifikatorzusatz	F45 - F52	
prevzdušňovacia prísada / Durchlüftungszusatz	≈ 5 obj. % / ≈ 5 Vol. %	
voda / Wasser	180	
vodný súčiniteľ / Wasserzementwert	0,45	

v tlaku po 2 dňoch uloženia a 28 dňoch ďalšieho zvoleného ošetrovania. Dvojdňovú pevnosť v tlaku 12,0 MPa možno považovať za mierne zníženú oproti betónu zhotovenému z portlandského cementu, v ktorom možno očakávať vyššiu

Tabelle 5. 8. 4 zeigt die Zusammensetzung des im Laboratorium zubereiteten Betons, dessen Eigenschaften im frischen Zustand und die Druckfestigkeit nach 2 und 28 Tagen. Die zweitägige Druckfestigkeit von 12,0 MPa ist

Tabuľka 5. 8. 6 Základné vlastnosti betónu s cementom CEM V/A pripraveného v laboratóriu

Tabelle 5. 8. 6 Grundlegende Eigenschaften des Betons mit dem Zement CEM V/A, der im Laboratorium vorbereitet wurde

Vlastnosti čerstvého betónu / Eigenschaften des Frischbetons		Výsledky pre zatvrdnutý betón / Ergebnisse für gehärteten Beton	
Sadnutie kužeľa / Kegelsezung	470 mm	Pevnosť v tlaku, 2 dni / Druckfestigkeit, 2 Tage	8,4 MPa
Objemová hmotnosť / Volumengewicht	2390 kg/m ³	Pevnosť v tlaku, 7 dní ošetrovaný vo vode / Druckfestigkeit, 7 Tage in Wasser	26,9 MPa
Obsah vzduchu / Luftgehalt	4,9 obj. %	Pevnosť v tlaku, 28 dní ošetrovaný vo vode / Druckfestigkeit, 28 Tage in Wasser	42,2 MPa
Vodný súčiniteľ / Wasserzementwert	0,45	-	-

počiatočný nárast pevností. Skúšky s referenčným betónom chýbajú, takže sa tieto údaje nemôžu priamo porovnať. Znížený počiatočný nárast pevností betónu so zmesovým cementom CEM V/A spôsobuje nižší podiel slinku, čím sa

im Vergleich zu geringer, die leichter einem Beton aus Portlandzement gelten, in dem ein höherer Anfangsanstieg der Festigkeit erwartet werden kann. Tests mit Referenzbeton fehlen, daher können diese Daten nicht direkt verglichen

Tabuľka 5. 8. 7 Základné vlastnosti priemyselne pripraveného betónu pre praktickú demonštráciu

Tabelle 5. 8. 7 Grundlegende Eigenschaften des industriell hergestellten Betons für die praktische Demonstration

Vlastnosti čerstvého betónu / Eigenschaften des Frischbetons		Výsledky pre zatvrdnutý betón / Ergebnisse für gehärteten Beton	
Sadnutie kužeľa / Kegelsezung	523 mm	Pevnosť v tlaku, 3 dni / Druckfestigkeit, 3 Tage	19,0 MPa
Objemová hmotnosť / Volumengewicht	2390 kg/m ³	Pevnosť v tlaku, 7 dní ošetrovaný vo vode / Druckfestigkeit, 7 Tage in Wasser	24,2 MPa
Obsah vzduchu / Luftgehalt	5,0 obj. % / 5,0 Vol. %	Pevnosť v tlaku, 28 dní ošetrovaný vo vode / Druckfestigkeit, 28 Tage in Wasser	52,7 MPa
Vodný súčiniteľ / Wasserzementwert	0,45	-	-

do určitej miery retarduje počiatočnú hydratáciu cementu a tým aj nárast pevností. Predchádzajúce výsledky betónov z cementom CEM V/A druhu dokumentujú, že pevnostný deficit betónu s cementom CEM V voči CEM I je už po 28 dňoch tvrdnutia vyrovnaný.

Tabuľka 5. 8. 5 uvádza materiálové zloženie betónu vyrobeného pre praktickú demonštráciu. V tejto receptúre sa navýšil obsah cementu o 30 kg/m³ betónu pri použití

werden. Den gesenkten Anfangsanstieg der Festigkeit von Beton mit dem Kompositzement CEM V/A verursacht der geringere Klinkeranteil, wodurch in bestimmtem Maß die Anfangshydratation des Zements, und damit auch der Anstieg der Festigkeit, verzögert wird. Die vorhergehenden Ergebnisse des Betons mit der Zementsorte CEM V/A dokumentieren, dass das Festigkeitsdefizit des Betons mit dem Zement CEM V gegenüber CEM I bereits nach 28

plastifikačnej a prevzdušňovacej prísady. Zhotoviteľ betónu prísady bližšie nešpecifikoval. Porovnanie základných reologických vlastností laboratórne pripraveného betónu z cementu CEM V/A /S-V) 32,5 R rakúskeho pôvodu (27. 1. 2011) a betónu zhotoveného pre praktickú demonštráciu (30. 3. 2012) sumarizujú tabuľky 5. 8. 6 a 5. 8. 7.

Obrázok 5. 8. 1. ilustrujú priebeh praktickej demonštrácie betónu s rakúskym cementom CEM V/A (S-V) 32,5 R.

Praktická demonštrácia betónu s cementom CEM V/A (S-V) 32,5 R druhu súvisí s výstavbou betónovej dosky, ktorá sa uskutočnila pri prevádzkovom pokuse spoločnosťou Schretter & Cie, Vils. Podstatné otázky, na ktoré odpovie čas sú:

- čo sa stane s týmto betónom v čase?
- je betón mrazuvzdorný ?
- vydrží prejazdy dopravných prostriedkov, najmä nákladných áut?

Túto skutočnosť preverí premávka a ďalšie alpské zimy.

5. 8. 3 Záver

Praktická demonštrácia betónu s cementom CEM V/A druhu potvrdila výskumom zistené poznatky o tom, že cementy druhu CEM V sú rovnako použiteľné v betonárskej praxi ako iné, doteraz známejšie cementy druhu, napríklad CEM II. Ďalšie aplikácie cementu CEM V druhu v betóne prípadne transportbetóne prinesú vyšší skúsenostný potenciál, na ktorého základe sa vyšpecifikuje jeho najlepšie použitie v stavebnej praxi.

Tagen Erhärtung ausgeglichen ist.

Tabelle 5. 8. 5 führt die Materialzusammensetzung des Betons an, der für die praktische Anwendung hergestellt wurde. In dieser Rezeptur wurde der Zementgehalt um 30 kg/m^3 Beton bei Verwendung von Fließmittel und LP - Bildner erhöht. Der Hersteller das Betons spezifizierte näher.

Vergleich der grundlegenden rheologischen Eigenschaften des im Labor vorbereiteten Betons mit dem Zement CEM V/A /S-V) 32,5 R österreichischer Herkunft (27. 1. 2011) und des Betons, der für die praktische Anwendung hergestellt wurde (30. 3. 2012), sind in den Tabellen 5. 8. 6 und 5. 8. 7 zusammengefasst.

Das Bild 5. 8. 1 illustriert den Verlauf der praktischen Anwendung des Betons mit dem österreichischen Zement CEM V/A (S-V) 32,5 R.

Um die praktische Anwendbarkeit von CEM V - zementen aufzuzeigen, wurde von Schretter & Cie ein technisches Versuch in Vils durchgeführt.. Dabei zeigte sich dass ein Die wesentlichen Fragen, die mit der Zeit beantwortet werden, sind:

- was passiert mit diesem Beton mit der Zeit?
- Ist der Beton frostbeständig?
- hält er die Durchfahrt von Transportmitteln aus, insbesondere von LKW?

Diese Tatsachen werden vom Verkehr und vom nächsten Alpenwinter überprüft.

5. 8. 3 Zusammenfassung

Die praktische Demonstration des Betons mit der Zementsorte CEM V/A bestätigte die in der Forschung erlangten Erkenntnisse darüber, dass die Zementsorte CEM V in der Betonierpraxis ebenso verwendbar sind, wie bisher bekanntere Zementsorten, z. B. CEM II. Weitere Anwendungen der Zementsorte CEM V in Beton, bzw. Transportbeton, bringen ein höheres Erfahrungspotenzial, auf dessen Grundlage seine besseren Anwendungsmöglichkeiten in der Baupraxis spezifiziert werden.



Obrázok 5. 8. 1 Praktická demonstrácia aplikácie betónu so zmesovým cementom druhu CEM V/A (S-V) 32,5 R.
Abbildung 5. 8. 1 Praktische Anwendung von Beton mit der Kompositzementsorte CEM V/A (S-V) 32,5 R.

6. Záver

Hlavné projektové poznatky a odporúčania sú:

1. Povolené používanie cementov druhu CEM V/A a CEM V/B v betóne pre dva stupne agresivity účinkom karbonatácie XC1 (prostredie suché alebo stále mokré) a XC2 (prostredie mokré, občas suché) podľa STN EN 206-1/NA, Tabuľka F. 3 – Použitelnosť cementov pre stupne vplyvu prostredia, rozšíriť na všetky štyri stupne agresivity XC3 (stredne mokré, vlhké) a XC4 (striedavo mokré a suché). Pre XC3 a XC4 sa vyžaduje overenie odolnosti počiatočnou skúškou typu.
2. Nepovolené používanie cementov druhu CEM V/A a CEM V/B v betóne pre dva stupne agresivity účinkom chloridov, iných ako z morskej vody XD1 (prostredie stredne mokré, vlhké) a XD2 (prostredie mokré, občas suché) podľa STN EN 206-1/NA, Tabuľka F. 3 nahradiť za prípustné na základe overenia odolnosti proti vplyvu prostredia počiatočnou skúškou typu. Použitie cementov CEM V/A a CEM V/B pre najvyšší stupeň agresivity prostredia XD3 nie je dovolené.
- 3.) Použitie cementov druhu CEM V/A a CEM V/B sa pripúšťa podľa STN EN 206-1/NA, Tabuľka F. 3 v betóne vystavenému najnižším dvom stupňom striedavého zmrazovania a rozmrazovania XF1 (betón mierne nasýtený vodou bez rozmrazovacích prostriedkov) a XF2 (betón mierne nasýtený vodou s rozmrazovacími prostriedkami), pričom odolnosť proti vplyvu prostredia musí byť overená počiatočnou skúškou typu. Použitie cementov CEM V/A a CEM V/B pre dva vyššie stupne agresivity XF3 (betón značne nasýtený vodou bez rozmrazovacích prostriedkov) a XF4 (betón značne nasýtený vodou s rozmrazovacími prostriedkami) nie je dovolené.
- 4.) Použitie cementov druhu CEM V/A a CEM V/B v betóne nie je dovolené podľa STN EN 206-1/NA, Tabuľka F. 3 pre všetky tri stupne agresivity chemického pôsobenia prostredia (XA1 až XA3). Zo štúdia fyzikálno-mechanických vlastností, mikroštruktúry a pórovej štruktúry betónov zhotovených zo zmesových cementov vyplýva indícia možnosti povoleného použitia týchto cementov v slabo agresívnom (XA1) a stredneagresívnom (XA2) chemickom prostredí podľa STN EN 206-1, Tabuľka 2 – Medzné hodnoty pre stupne chemického pôsobenia zeminy a podzemnej vody. K tomu účelu bude potrebné predpísať overenie odolnosti proti chemickému vplyvu prostredia počiatočnou skúškou typu. Použitie týchto cementov pre najvyšší stupeň agresivity XA3 ponechať naďalej nepovolené.
- 5.) Pri používaní zmesových cementov druhu CEM V/A a CEM V/B sa musia akceptovať odporúčané opatrenia na primárnu ochranu betónu pred koróziou betónu vplyvom chemicky agresívneho prostredia (XA. .) podľa Tabuľky F. 1 v STN EN 206-1/NA.
- 6.) Zvýšenie chemickej odolnosti betónu obsahujúceho cement CEM V/A alebo CEM V/B sa môže dosiahnuť použitím prísad (napr. superplastifikátory, urýchľovače počiatočného nárastu pevnosti) a/alebo inhibítormi korózie k účinnej pasivácii ocelej výstuže v betóne a/alebo súbežnými technologickými opatreniami (zvýšenie krytia ocelej výstuže) pri aplikácii konštrukčného betónu na stavenisku.

6. Zusammenfassung

Maßgebliche Erkenntnisse und Projektempfehlungen sind:

1. Erweiterung der bisher erlaubten Verwendung der Zementsorten CEM V/A und CEM V/B in Beton für die beiden Aggressivitätsklassen durch Einwirkung von Karbonatisierung XC1 (trockene oder ständig nasse Umgebung) und XC2 (nasse Umgebung, manchmal trocken) gemäß STN EN 206-1/NA, Tabelle F. 3 – Nutzbarkeit der Zemente für Umgebungsklassen, auf alle vier Aggressivitätsklassen inklusive XC3 (mittelnass, feucht) und XC4 (abwechselnd nass und trocken). Für XC3 und XC4 ist die Überprüfung der Beständigkeit durch eine Erstprüfung erforderlich.
- 2.) Bisher nicht erlaubte Verwendung der Zementsorten CEM V/A und CEM V/B in Beton für zwei Aggressivitätsklassen bei Einwirkung von Chloriden, die nicht aus Meerwasser stammen – XD1 (mittelnasse, feuchte Umgebung) und XD2 (nasse Umgebung, manchmal trocken) – gemäß STN EN 206-1/NA, Tabelle F. 3, auf Grundlage einer Erstprüfung zulassen. Die Verwendung der Zemente CEM V/A und CEM V/B für die höchste Aggressivitätsklasse XD3 ist weiterhin nicht erlaubt.
- 3.) Die Verwendung der Zementsorten CEM V/A und CEM V/B gemäß STN EN 206-1/NA, Tabelle F. 3 in Beton zulässig ist, wenn dieser den beiden niedrigsten Klassen der wechselnden Einwirkung von Frieren und Tauen ausgesetzt ist - XF1 (Beton, der leicht mit Wasser ohne Taumittel gesättigt ist) und XF2 (Beton, der leicht mit Wasser und Taumitteln gesättigt ist), wobei der Nachweis der Beständigkeit gegen besagten Einfluss durch eine Erstprüfung bestätigt werden muss. Die Verwendung der Zemente CEM V/A und CEM V/B für die beiden höchsten Aggressivitätsklassen XF3 (Beton, der beträchtlich mit Wasser ohne Taumittel gesättigt ist) und XF4 (Beton, der beträchtlich mit Wasser und mit Taumitteln gesättigt ist) ist nicht erlaubt.
- 4.) Die Verwendung der Zementsorten CEM V/A und CEM V/B in Beton gemäß STN EN 206-1/NA, Tabelle F. 3 ist bisher für alle drei Aggressivitätsklassen bei chemischer Einwirkung der Umgebung nicht erlaubt (XA1 bis XA3). Nach Analyse der physikalisch-mechanischen Eigenschaften sowie der Mikro- und der Porenstruktur von Beton mit Kompositzement ergibt sich die Möglichkeit, eine Verwendung dieser Zemente in leicht aggressiver (XA1) und mäßig aggressiver (XA2) chemischer Umgebung gemäß STN EN 06-1, Tabelle 2 – Grenzwerte für die Klassen der chemischen Einwirkung von Böden und Grundwasser, zuzulassen. Zu diesem Zweck muss die Überprüfung der Beständigkeit gegen den chemischen Einfluss der Umgebung durch eine Erstprüfung angeordnet werden. Die Verwendung dieser Zemente für die höchste Aggressivitätsklasse XA3 ist weiterhin nicht erlaubt.
- 5.) Bei der Verwendung der Zementsorten CEM V/A und CEM V/B müssen die empfohlenen Maßnahmen zum Schutz des Betons vor Korrosion durch den Einfluss einer chemisch aggressiven Umgebung (XA. .) gemäß Tabelle F. 1 der STN EN 206-1/NA eingehalten werden.
- 6.) Die Erhöhung der chemischen Beständigkeit des Betons mit dem Zement CEM V/A oder CEM V/B kann durch Zusatzmittel erreicht werden (z. B. Superplastifikatoren, Beschleuniger für erhöhte Frühfestigkeit) und/oder durch Korrosionshemmer zur wirksamen Passivierung der

- 7.) Navrhovaná špecifikácia pre betón s cementom CEM V/A podľa štandardizovaných kritérií pre betón uvádzaných v STN EN 206-1/NA je: STN EN 206-1 - C30/37 - XC4, XD2, XA2 (SK) - CI 0,2 - Dmax 16 – maximálny priesak vody 50 mm, nasiakavosť menej ako 6 % hmot. (Betón je zhotovený bez prevzdušnenia). Odporúčaná špecifikácia zahrňuje v projekte získané poznatky a v tejto podobe predstavuje špecifikačnú úroveň nad rámec povolený STN EN 206-1/NA. Poznatky presahujúce súčasnú normovanú úroveň dokumentujú vlastný vedecký prínos projektu.
- 8.) Navrhovaná špecifikácia pre betón s cementom CEM V/B podľa štandardizovaných kritérií pre betón uvádzaných v STN EN 206-1/NA je: STN EN 206-1 – C20/25 – XC3, XA1 (SK) - CI 0,2 - Dmax 16 – maximálny priesak vody 50 mm, nasiakavosť menej ako 6 % hmot. (Betón bez prevzdušnenia). Odporúčaná špecifikácia zahrňuje v projekte získané poznatky a v tejto podobe predstavuje špecifikáciu nad rámec povolený STN EN 206-1/NA. Poznatky presahujúce súčasnú normovanú úroveň dokumentujú vlastný vedecký prínos projektu.
- 9.) Navrhovaná špecifikácia pre neprevzdušnený transportbetón s cementami CEM V/A a CEM V/B druhu podľa štandardizovaných kritérií pre betón uvádzaných v STN EN 206-1/NA je: STN EN 206-1 - C30/37 - XC4, XD2, XA2 (SK) - CI 0,2 - S3 - Dmax 16 – maximálny priesak vody 50 mm, nasiakavosť menej ako 6 % hmotnostných. Odporúčaná špecifikácia zahrňuje v projekte získané poznatky a v tejto podobe predstavuje špecifikáciu nad rámec povolený STN EN 206-1/NA. Poznatky presahujúce súčasnú normovanú úroveň dokumentujú vlastný vedecký prínos projektu.
- 10.) Navrhovaná špecifikácia pre prevzdušnený transportbetón štandardizovaných kritérií pre betón uvádzaných v STN EN 206-1/NA: 2009 je: STN EN 206-1 - C 35/45 - XC4, XD3, XA3 (SK) – CI 0,2 – S3 – Dmax 16 – maximálny priesak vody 50 mm, nasiakavosť menej ako 6 % hmotnostných. Odporúčaná špecifikácia zahrňuje v projekte získané poznatky a v tejto podobe predstavuje špecifikáciu nad rámec povolený STN EN 206-1/NA. Dokumentovaná špecifikácia pre stupne vplyvu prostredia XD3 a XA3 presahuje už odporúčaný rámec v bode 2.) a 4.). Použitelnosť cementu CEM V/A a CEM V/B pre tieto vplyvy prostredia sa nevyhnutne musí potvrdiť relevantnými skúškami chemickej odolnosti. Poznatky presahujúce súčasnú normovanú úroveň predstavujú vlastný vedecký prínos projektu.
- 11.) Obidve triedy betónu a transportbetónu sa okrem mrazuvzdornosti vyznačujú technicky významnými vlastnosťami vhodnými pre aplikáciu v praxi.
- 12.) Výsledky zmesových cementov CEM V/A a CEM V/B druhu naznačujú budúce aplikácie betónu a transportbetónu najmä v chemicky agresívnom prostredí.
- 13.) Celosvetová ročná produkcia cementu číni v roku 2012 2,4 miliárd ton. Atmosféra sa zaťažuje každou tonou vyrobeného portlandského cementu (95 % obsah slinku) 0,9

Stahlbewehrung im Beton und/oder durch gleichzeitige technologische Maßnahmen (Erhöhung der Überdeckung der Stahlbewehrung) bei Anwendung in Konstruktionsbeton auf der Baustelle.

- 7.) Die vorgeschlagene Spezifikation für Beton mit dem Zement CEM V/A nach standardisierten Kriterien für Beton gemäß STN EN 206-1/NA ist: STN EN 206-1 - C30/37 - XC4, XD2, XA2 (SK) - CI 0,2 – Dmax 16 – maximale Wassereindringtiefe 50 mm, Wasseraufnahme geringer als 6 % des Betongewichts (der Beton wurde ohne Luftporenbildner hergestellt). Die empfohlene Spezifikation betrifft im Projekt gewonnene Erkenntnisse und stellt in dieser Form ein Spezifikationsniveau über den erlaubten Rahmen der STN EN 206-1/NA hinaus dar. Die Erkenntnisse, die das gegenwärtige Normierungsniveau übersteigen, dokumentieren den eigenen wissenschaftlichen Beitrag des Projekts.
- 8.) Die vorgeschlagene Spezifikation für Beton mit dem Zement CEM V/B nach standardisierten Kriterien für Beton gemäß STN EN 206-1/NA ist: STN EN 206-1 – C20/25 – XC3, XA1 (SK) - CI 0,2 – Dmax 16 – maximale Wassereindringtiefe 50 mm, Wasseraufnahme geringer als 6 % des Betongewichts (der Beton wurde ohne Luftporenbildner hergestellt). Die empfohlene Spezifikation betrifft im Projekt gewonnene Erkenntnisse und stellt in dieser Form ein Spezifikationsniveau über den erlaubten Rahmen der STN EN 206-1/NA hinaus dar. Die Erkenntnisse, die das gegenwärtige Normierungsniveau übersteigen, dokumentieren den eigenen wissenschaftlichen Beitrag des Projekts.
- 9.) Die vorgeschlagene Spezifikation für Transportbeton ohne Luftporenbildner mit dem Zement CEM V/A und CEM V/B nach standardisierten Kriterien für Beton gemäß STN EN 206-1/NA ist: STN EN 206-1 - C30/37 - XC4, XD2, XA2 (SK) - CI 0,2 - S3 – Dmax 16 – maximale Wassereindringtiefe 50 mm, Wasseraufnahme geringer als 6 % des Betongewichts. Die empfohlene Spezifikation betrifft im Projekt gewonnene Erkenntnisse und stellt in dieser Form ein Spezifikationsniveau über den erlaubten Rahmen der STN EN 206-1/NA hinaus dar. Die Erkenntnisse, die das gegenwärtige Normierungsniveau übersteigen, dokumentieren den eigenen wissenschaftlichen Beitrag des Projekts.
- 10.) Die vorgeschlagene Spezifikation für Transportbeton mit Luftporenbildner nach standardisierten Kriterien für Beton gemäß STN EN 206-1/NA: 2009 ist: STN EN 206-1 - C 35/45 - XC4, XD3, XA3 (SK) – CI 0,2 – S3 – Dmax 16 – maximale Wassereindringtiefe 50 mm, Wasseraufnahme geringer als 6 % des Betongewichts. Die empfohlene Spezifikation betrifft im Projekt gewonnene Erkenntnisse und stellt in dieser Form ein Spezifikationsniveau über den erlaubten Rahmen der STN EN 206-1/NA hinaus dar. Die dokumentierte Spezifikation für die Umgebungsklassen XD3 und XA3 übersteigen den empfohlenen Rahmen laut Punkt 2.) und 4.). Die Verwendung der Zemente CEM V/A und CEM V/B für diese Umgebungseinflüsse muss durch relevante Tests der chemischen Beständigkeit bestätigt werden. Die Erkenntnisse, die das gegenwärtige Normierungsniveau übersteigen, dokumentieren den eigenen wissenschaftlichen Beitrag des Projekts.
- 11.) Beide Beton- und Transportbetonklassen zeichnen sich durch Frisch- und Festbetoneigenschaften – mit Ausnahme der Frostbeständigkeit – aus, die für eine Anwendung in der Praxis geeignet sind.
- 12.) Die Forschungsergebnisse betreffend den Zementarten CEM V/A und CEM V/B deuten auf eine künftige Verwendung von Beton und Transportbeton besonders in einer chemisch aggressiven Umgebung hin.

až 1,0 tonou CO₂. Technologicky je potenciál znižovania emisií CO₂ v moderných cementárňach takmer vyčerpaný. Jediné ekologicky a ekonomicky úsporné riešenie prezentujú zmesové cementy, kam patria CEM V/A (64 až 40 % slinku) a CEM V/B (38 až 20 % slinku). Celosvetový potenciál zníženia emisií skleníkového plynu CO₂ výrobou zmesových cementov sa odhaduje na minimálne 5 % a maximálne 20 % celkových emisií CO₂.

14.) Projekt ENVIZEO dokumentuje prvý rozsiahly teoreticko-experimentálny aplikovaný výskum orientovaný na zmesové cementy CEM V/A a CEM V/B, dotovaný zo štrukturálnych fondov EÚ pre cezhraničný región Bratislava (Slovensko) - Viedeň (Rakúsko).

13.) Die weltweite Jahresproduktion von Zement hat im Jahr 2012 2,4 Milliarden Tonnen betragen. Die Atmosphäre wird mit jeder produzierten Tonne Portlandzement (95 % Klinkergehalt) mit 0,9 bis 1,0 Tonnen CO₂ belastet. Technologisch ist das Senkungspotenzial der CO₂ Produktion in modernen Zementwerken bereits beinahe ausgeschöpft. Die einzige ökologisch und ökonomisch sinnvolle Einsparungsmöglichkeit stellen Kompositzemente dar, zu denen CEM V/A (64 bis 40 % Klinker) und CEM V/B (38 bis 20 % Klinker) gehören. Das weltweite Potenzial zur Senkung der Emissionen des Treibhausgases CO₂ im Zuge der Produktion von Kompositzementen wird auf ca. 5 % bis 20 % der gesamten CO₂-Emissionen durch Zementherstellung geschätzt.

14.) Das Projekt ENVIZEO dokumentiert die erste umfangreiche theoretisch-experimentelle Anwendungsforschung für die Zemente CEM V/A und CEM V/B, welche aus Strukturfonds der EU für die Grenzregion Bratislava (Slowakei) - Wien (Österreich) unterstützt wurde.



7. Prehľad citovaných noriem a literatúra

7. Durchblick der zitierten Normen und Literatur

Citované normy sú uvádzané v stave aktuálnom ku dňu 31. 8. 2012.

Zitierte Normen sind in aktuellen Zustand zum Datum 31. 8. 2012 genent.

[1] STN EN 206-1: 2002/A1: 2004/A2: 2005/NA:2009/NA/01:2011 Betón. Časť 1: Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda.

[2] ÖNORM EN 206-1: 2000 + A1/2004 + A2/2005 Beton - Teil 1: Festigung, Eigenschaften, Herstellung und Komformität.

[3] STN EN 206-1/NA: 2009/NA/01: 2011 Betón. Časť 1: Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda. Národná príloha.

[4] ČSN EN 206-1: 2001/A1: 2005/A2: 2005/Z1: 2002/Z2: 2003/Z3: 2008 Beton - Časť 1: Špecifikace, vlastnosti, výroba a shoda.

[5] ČSN EN 206-1. ZMĚNA 3: 2008 Beton - Časť 1: Špecifikace, vlastnosti, výroba a shoda.

[6] STN EN 197-1: 2002/A1: 2004/A3: 2007 Cement. Časť 1: Zloženie, špecifikácia a kritéria na preukazovanie zhody cementov na všeobecné použitie.

[7] Moskvín, V., Ivanov, F., Alekseyev, S., Guzeyev, E. (1983): Concrete and Reinforced Concrete Deterioration and Protection. Mir Publishers, Moscow.

[8] Janotka, I., Ševčík, P., Prokešová, K. (2010): Základné úžitkové charakteristiky domácich cementov CEM V/ (A, B). Inžinierske stavby, č. 6, s. 46-49.

[9] STN EN 13454-2 + A1: 2007 Spojivá, zložené spojivá a priemyselne vyrábané zmesi na podlahové potery na báze síranu vápenatého. Časť 2: Skúšobné metódy (Konsolidovaný text).

[10] Ježo, L. (2010): Možnosti náhrady slinku v cementoch inými zložkami. Autoreferát k dizertačnej práci. Považská cementáreň a. s., Ladce.

[11] Ściślewski, Z. (1972): Korozja i ochrona zbrojenia. Arkady. Warszawa.

[12] Ściślewski, Z., Wieczorek, G., Woyzbun, I. (1976): Vplyv dodatku popiołów lotnych do betonu na korozję stali zbrojeniovej. Instytut techniki budowlanej. Warszawa.

[13] Soboličová, R., Špaček, A., Polák, J. (1985): Ochrana oceleovej výstuže betónu proti korózii v agresívnom prostredí a proti účinku bludných prúdov. Technologický predpis. Účelová ne-periodická publikácia Výskumného ústavu inžinierskych stavieb v Bratislave č. 208. Bratislava.

[14] STN 73 1341: 1987 Metódy skúšania ochranných vlastností betónu proti korózii betonárskej výstuže.

[15] STN EN 1008: 2003 Zámесová voda do betónu. Špecifikácia odberu vzoriek, skúšania a preukazovania vhodnosti vody, vrátane recyklovanej vody z postupov betonárskych prác, ako zámесovej vody do betónu.

[16] STN EN 12350-7: 2011 Skúšanie čerstvého betónu. Časť 7: Obsah vzduchu. Tlakové metódy.

[17] Janotka, I., Špaček, A. (2010): Použitie portlandských zmesových cementov na zvyšovanie odolnosti betónu proti účinku agresívneho prostredia. In: Betón na Slovensku 2006 – 2010, s. 386-393. Žilina.

[18] Matoušek, M. (1981): Vliv složení cementu na korozii způsobenou atmosférickými vlivy. Korozie železobetonových konstrukcí škodlivými plyny z atmosféry. In: Životnost betonových konstrukcí, s. 48. DT ČSVTS Brno.

[19] Matoušek, M. (1981): Korozie železobetonových konstrukcí škodlivými plyny z atmosféry. In: Životnost betonových konstrukcí, s. 46-47. DT ČSVTS Brno.

[20] Janotka, I., Krajčí, L., Špaček, A. (2011): Karbonatácia betónu železobetonových konstrukcií. Časť I: Základné poznatky. Beton 2011, č. 3, s. 52-59.

[21] Matoušek, M. (1975): Vliv vzdušného kyslíčnicku uhličitého na betonové konstrukce. In: Životnost nosných konstrukcií betonových staveb a panelových domů, s. 89-92. ČVTS, Brno.

[22] Ruffert, G. (1988) Auswirkung von Mangeln in der Betondeckung auf das Auftreten von Korrosionsschäden. Strassen- und Tiefbau, č. 7-8, s. 16-20.

[23] Živica, V. (1972): Chloridová korózia zatvrdnutých cementových kaší. Stavebnícky časopis, č. 2, s. 118-138.

[24] Haque, M. N., Kayyali, O. A., Gopalan, M. K. (1992): Fly Ash Reduces Harmful Chloride Ions in Concrete. ACI Materials Journal, Vol. 89, No. 3, May-June, pp. 238-241.

[25] Špaček, A., Krajčí, L. (2008): Inhibitory korózie oceleovej výstuže. Geotechnika, č. 1, s. 23-29.

[26] Mironov, S. A. (1954): Morozostojkost betona i jevo zapolnitelej. In: Korrozija betona i mery borby s nej, s. 74-85. Izdatelstvo akademii nauk SSSR, Moskva.

[27] Biczó, I. (1960): Betonkorrosion - Betonschutz. Gemeinschaftsaufgabe VEB Verlag für Bauwesen Berlin, Ungarischer Verlag für Technik Budapest, Verlag der ungarischen Akademie der Wissenschaften Budapest. Budapest.

[28] Taflan, F., Teodorescu, D. (1972): Issledovanie vlijania chímieskoj agresivnosti morskoj vody na betony iz različnyh vidov cementa. In: Ochrana stavebného diela pred koróziou. Dodatok, s. 124-128. Bratislava.

[29] Jambor, J. (1975): Korózia betónu síranovými vodami a ochrana proti nej. Stavebnícky časopis, č. 3, s. 159-176.

[30] Jambor, J. (1966): Vplyv puzolánovej prímеси na odolnosť cementu proti síranovým roztokom a na mechanizmus viazania SO₃. Stavebnícky časopis, č. 9, s. 511-529.

[31] Jambor, J. (1975): Vplyv koncentrácie a času pôsobenia síranových roztokov na koróziu cementových mált a betónov. In: Životnost nosných konstrukcií betonových staveb a panelových domů, s. 7-15. Česká vědeckotechnická společnost, Dům techniky, Brno.

[32] Špaček, A. (1981): Dlhodobé sledovanie odolnosti betónu

voči agresívnym vodám. Spravodaj Výskumného ústavu inžinierskych stavieb, č. 2, s. 13-18.

[33] Jambor, J., Živica, V. (1968): Výskum mechanizmu reakcií horečnatých solí s hydratačnými produktami portlandského cementu a objasnenie príčin horečnatej korózie cementových mált. Závěrečná správa témy č. 5 čiastkovej úlohy ŠVP č. V-2-2/11 „Výskum mechanizmu hydratácie a tvrdnutia portlandských a zmesových cementov a základných vlastností zatvrdnutých spojivových kaší“. Bratislava ČSAV - Ústav stavebníctva a architektúry SAV.

[34] Jambor, J., Živica, V. (1978): Korózia betónov s vyšším obsahom horečnatých iónov. In: Ochrana stavebného diela pred koróziou, s. 33-39. Bratislava.

[35] Mojumdar, S. C., Janotka, I. (2001): Acid solution attack on zeolite-filled portland cement. In: Proceedings of the Conference on Cement and Concrete Science. Aberdeen, Scotland, 30-31. Section 7: Miscellaneous, 4 s.

[36] Kos, J. (1971): Výzkum perspektivních problémů ochrany hloubkových základů. Část 1 - Přehled rozdělení agresivních účinků spodních vod na území ČSR - podle původu, intenzity a geotechnických podmínek - sestavení a rajonizace. Zpráva úkolu H-O-26-46/4. Výzkumný ústav pozemních staveb Praha.

[37] ČSN 73 1001: 1966 Základová půda pod plošnými základy (norma je zrušená).

[38] Špaček, A. (1981): Dlhodobé sledovanie odolnosti betónu voči agresívnym vodám. Spravodaj Výskumného ústavu inžinierskych stavieb, č. 2, s. 13-18.

[39] Špaček, A. (2005): Chemické protikorozní přísady do betonu. Geotechnika, č. 4, s. 18-25.

[40] ČSN 72 2122: 1972/A: 1976/B: 1976 Struskoportlandský cement (norma je zrušená).

[41] Schimmelwitz, P., Maultzsch, M. (1975): Stav cementové malty ve stojatých a tekoucích agresivních vodách. In: Životnost nosných konstrukcí betonových staveb a panelových domů, s. 93-96. ČVTS DT Brno.

[42] Janotka, I., Špaček, A., Jeřábek, M. (1992): Použitie cementovej suspenzie so zvýšenou chemickou odolnosťou. Stavebnický časopis, č. 11, s. 681-697.

[43] Janotka, I., Krajčí, L. (2004): Chemical resistance of cement-bentonite suspension for slurry cut-off wall. Acta Mineralogica - Petrographica, Abstract Series, Vol. 4, s. 51.

[44] Barker D., Turner S., Napier-Moore P., Clark M., Davison J. (2009): CO₂ capture in the cement industry. Energy Procedia, Vol. 1. Washington.

[45] Müller N., Harnisch J. (2008): A blueprint for a climate friendly cement industry. Gland: WWF Lafarge conservation partnership (WWF – Lafarge conservation partnership report).

[46] The cement sustainability initiative (CSI) (2007): CSI report. <<http://www.wbcscement.org>>.

[47] Ecofys, Fraunhofer ISI, Öko-Institut (2009): Methodology for the Free Allocation of Emission Allowances in the EU ETS Post. Sector Report for the Cement Industry.

[48] Shi C., Fernández Jiménez A., Palomo A. (2011): Cement and Concrete Research, Vol. 41, No. 7, s. 759-763. : New cements for the 21st century: The pursuit of an

alternative to Portland cement. Cement and Concrete Research 41-2Protection Agency. Washington.

[54] Choate W. (2003): Energy and emission reduction opportunities for the cement industry. U. S. Department of Energy. Columbia.

[55] Hendriks C., Worrell E., De Jager D., Blok K., Riemer P. (2002): Emission reduction of greenhouse gases from the cement industry Citeseer. International Energy Agency (IEA), Netherland.

[56] Deja J., Uliasz-Bochenczyk A., Mokrzycki E. (2010): CO₂ emissions from Polish cement industry. International Journal of Greenhouse Gas Control.

[57] Anand S., Vrat P., Dahiya R. (2006): Application of a system dynamics approach for assessment and mitigation of CO₂ emissions from the cement industry. Journal of Environmental Management 79.

[58] VDZ Verein Deutscher Zementwerke (2008): Zement – Taschenbuch. 51. Ausgabe. VBT Verlag für Bau und Technik. Düsseldorf.

[59] Gartner E. (2004): Industrially interesting approaches to low CO₂ cements. Cement and Concrete Research, Volume 34.

[60] Rahn R., Nehdi M. (2005): Carbon dioxide emission and climate change: policy implications for the cement industry. Environmental Science & Policy. Volume 8.

[61] Worrell E., Martin N., Price L. (2000): Potentials for energy efficient improvement in the US cement industry. Energy. Volume 25.

[62] Genon G., Brizio E. (2008): Perspectives and limits for cement kilns as a destination for RDF. Waste Management, Volume 28.

[63] VDZ Verein Deutscher Zementwerke (2007): Tätigkeitsbericht 2005-2007. Düsseldorf.

[64] Locher F. (2006): Cement – principles of production and use. Verlag Bau + Technik. Düsseldorf.

[65] Guggenberger T. (2009): Einfluss der Zementart auf das Tragverhalten von Befestigungselementen in Beton. Diplomarbeit am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Universität für Bodenkultur Wien.

[66] Gonzalez J. (2005): Technology change and environmental management for cement manufacturing: the cement industry in the United States (2004–2050). PhD thesis, Carnegie Mellon University, Pittsburgh.

[67] Stürmer U. (2011): Energiemanagement für Anlagenbetreiber. IT&Production.

[68] Habert G., Billard C., Rossi P., Chen C., Roussel N. (2010): Cement production technology improvement compared to factor 4 objectives. Cement and Concrete Research 40 (5).

[69] Martin N., Worrell E., Price L. (1999): Energy efficiency and carbon dioxide emissions reduction opportunities in the US cement industry. Lawrence Berkeley National Laboratory. California.

[70] Damtoft J., Lukasik J., Herfort D., Sorrentino D., Gartner E. (2008): Sustainable development and climate change initiatives. Cement and Concrete Research 38 (2).

- [71] STN 73 2401: 1986/a:1988/Z2: 2002 Zhotovovanie a kontrola konštrukcií z predpäťého betónu.
- [72] Schießl P., Gehlen C., Sodeikat C., Mayer T. F., Schießl-Pecka A. (2008): Dauerhafter Konstruktionsbeton für Wasserbauwerke. In: Bergmeister, K., Wörner, J. -D. (Hrsg.) Betonkalender 2008, Teil 1. Ernst & Sohn. Berlin.
- [73] Bosoaga A., Masek O., Oakey J. (2009): CO₂ capture technologies for cement industry. Energy Procedia, Vol. 1. Washington.
- [74] Huntzinger D., Eatmon T. (2009): A life-cycle assessment of portland cement manufacturing: comparing the traditional process with alternative technologies. Journal of Cleaner Production, Nr. 17.
- [75] European Cement Research Academy ECRA (2009): Development of state of the art-techniques in cement manufacturing: trying to look ahead. Düsseldorf.
- [76] European Cement Research Academy ECRA (2009): ECRA CCS Project e Report About Phase II. Technical Report 106.
- [77] ÖNORM EN 197-1 (2011): Zement - Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement. Österreichisches Normungsinstitut. Wien.
- [78] Quillin K. (2001): Performance of belite-sulfoaluminate cements, Cem. Concr. Res. 31 (9).
- [79] Shi C., Roy D., Krivenko P. (2006): Alkali-activated Cements and Concretes, Ed. Taylor & Francis. London.
- [80] Shi C., Fernández Jiménez A., Krivenko P., Palomo A. (2010): Classification and characteristics of alkali-activated cements, First International Conference on Advances In Chemically-Activated Materials (CAM'2010-China), in Conjunction with 7th International Symposium On Cement And Concrete (ISCC2010). Jinan, China.
- [81] European Cement Research Academy ECRA (2007): Carbon Capture Technology Options and Potential. Technical Report 044.
- [82] Zeman F., Lackner K. (2008): The reduced emission oxygen kiln. A White Paper Report for the Cement Sustainable Initiative of the World.
- [83] Zeman F. (2009): Oxygen combustion in cement production. Energy Procedia Vol 1.
- [84] Banderborcht B., Ruppert J. (2008): CO₂ savings from alternative fuels in the cement industry. ECRA conference.
- [85] Cembureau (2006): 2003 and 2004 Statistics on the use of alternative fuels & materials in the clinker production in the European cement industry.
- [86] European Commission (2009): IPPC reference document on best available techniques in the cement, lime and magnesium oxide manufacturing industries.
- [87] Penman J., Gytarsky M., Hiraiishi T., Irving W., Krug T. (2006): IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories.
- [88] Utlu Z., Sogut Z., Hepbasli A., Oktay Z. (2005): Applied Thermal Engineering: Energy and exergy analyses of a raw mill in a cement production. Applied Thermal Engineering, Vol. 26.
- [89] Khurana S., Banerjee R., Gaitonde U. (2002): Energy balance and cogeneration for a cement plant, Applied Thermal Engineering, Vol. 22.
- [90] Engin T., Ari V. (2004): Energy auditing and recovery for dry type cement rotary kiln systems. A case study. Energy Conversion and Management 46, (4).
- [91] Halsnæs K., Shukla P., Ahuja D., Akumu G., Beale R., Edmonds J., Gollier C., Grübler A., Ha Duong M., Markandya A., McFarland M., Nikitina E., Sugiyama T., Villavicencio A., Zou J. (2007) : Framing issues. Climate Change 2007: Mitigation.
- [92] Krajčí, L. (2003): Corrosion of steel reinforcement in mortars subjected to aggressive attack of environment, Proceedings of the 3rd International Conference on Quality and Reliability in Building Industry, Levoča, p. 327-332.
- [93] Krajčí, L. (2004): Mortars with zeolite-blended Portland cements and their significance, Proceedings of the International Conference on Life Cycle Assessment, Behaviour and Properties of Concrete and Concrete Structures, Brno, p. 247- 253.
- [94] Krajčí, L. (2006): Relation of cement matrix deterioration to steel reinforcement corrosion of mortars in aggressive environment, Building Research Journal, (3-4), p. 233-241.
- [95] Janotka, I. (2010): Zmesové cementy a ich použiteľnosť podľa Národnej prílohy STN EN 206-1/NA, 6/2009, Zborník z VIII. celoštátneho odborného seminára SILITECH 2010 (vydaný na CD), Gabčíkovo, 8 s.
- [96] STN EN 196 – 3 + A1: 2009 Metódy skúšania cementu. Časť 3: Stanovenie času tuhnutia a objemovej stálosti (Konsolidovaný text).
- [97] STN EN 196 - 1: 2005 Metódy skúšania cementu. Časť 1: Stanovenie pevnosti.
- [98] Jerga, J., Halas, P. (1990): Ingress of chloride into the prestressed concrete structure, Proceedings of the 5th International Conference on Concrete, Prague, pp. 400-404.
- [99] Krajčí, L., Janotka, I. (2006): Significance of steel electrical resistance method in the evaluation of reinforcement corrosion in cementitious systems, Materiales de Construccion, Vol. 54, No. 274, pp. 17 – 29.
- [100] Janotka, I., Krajčí, L. (2011): Passivation ability of the mortars containing different cement kinds, Proceedings of the 4th International Conference Non-traditional Cement and Concrete, Brno, pp. 342-351.
- [101] STN EN 196 - 2: 2005 Metódy skúšania cementu. Časť 2: Chemický rozbor cementu.
- [102] Aitcin P. -C. (2005): Vysokohodnotný beton (preklad z originalu High-Performance Concrete), Editor: Informačné centrum ČKAIT, Praha, 1. České vydání v edici Betonové staviteľství (český preklad: V. Bílek, J. Krátký a I. Smolík), 319 s.
- [103] Collepardi, M. (2006): The New Concrete, Editor: Grafiche Tintoretto, Castrette di Villorba TV, Italy, 421 p.
- [104] Kurdowski, W. (2010): Chemia cementu i betonu (v poľskom jazyku), Editor: Stowarzyszenie Producentów Cementu - SPC, Kraków a Wydawnictwo Naukowe – PWN, Warszawa, 728 s.
- [105] Janotka, I., Bergmeister, K., Špaček, A., Voit, K., Prokešová, K. (2012): Technicko-ekonomická- ekologická štúdia/Technisch-ökonomisch-ökologisch Studie, Editor: Technický a skúšobný ústav stavebný TSÚS, Bratislava, 64 s (prístupná na www.tsus.sk/envizeo).
- [106] STN EN 12350-2: 2010 Skúšanie čerstvého betónu. Časť 2: Skúška sadnutím.

[107] STN EN 12350-6: 2011 Skúšanie čerstvého betónu. Časť 6: Objemová hmotnosť.

[108] STN EN 12350-7: 2011 Skúšanie čerstvého betónu. Časť 7: Obsah vzduchu. Tlakové metódy.

[109] STN EN 12390-2: 2010 Skúšanie zatvrdnutého betónu. Časť 2: Výroba a príprava skúšobných telies na skúšky pevnosti.

[110] STN EN 12390-7: 2011 Skúšanie zatvrdnutého betónu. Časť 7: Objemová hmotnosť zatvrdnutého betónu.

[111] STN 73 1371: 1981 Skúšanie betónu ultrazvukovou metódou.

[112] STN ISO 6784: 1993 Betón. Stanovenie statického modulu pružnosti v tlaku.

[113] STN EN 12390-3: 2010/AC: 2012 Skúšanie zatvrdnutého betónu. Časť 3: Pevnosť v tlaku skúšobných telies.

[114] STN 73 1316: 1989 Stanovenie vlhkosti, nasiakavosti a vzliňavosti betónu.

[115] STN EN 12390-8: 2011 Skúšanie zatvrdnutého betónu. Časť 8: Hĺbka presiaknutia tlakovou vodou.

[116] STN 73 1322: 1968/Z1: 2003/O1: 2004 Stanovenie mrazuvzdornosti betónu.

[117] Unčík, S. a kolektív (2010): Transportbetón, Editor: Vydavateľstvo EUROSTAV, spol. s r. o. Bratislava pod vedením ing. Márie Rosovej ako editorky, 176 s.

[118] STN EN 12390-6: 2011 Skúšanie zatvrdnutého betónu. Časť 6: Pevnosť v priečnom ťahu skúšobných telies.

[119] STN EN 1097-2: 2010/O1: 2011 Skúšky na stanovenie mechanických a fyzikálnych vlastností kameniva. Časť 2: Metódy na stanovenie odolnosti proti rozdrobovaniu.

[120] STN 72 2103: 2003 Cement síranovzdorný. Zloženie, špecifikácie a kritériá.

[121] STN EN 12620 + A1: 2008 Kamenivo do betónu (Konsolidovaný text).

[122] STN 73 1320: 1987 Stanovenie objemových zmien betónu.

[123] ČSN EN 12390-8: 2009 – Zkoušení ztvrdlého betonu – Časť 8: Hĺbka prúsaku tlakovou vodou.



Podakovanie

Táto publikácia sa vypracovala v rámci projektu štrukturálneho fondu EÚ Creating the future N00086 „Využitie ekocementov CEM V/ (A, B) druhu podľa EN 197-1 v konštrukčnom betóne“ v programe cezhraničnej spolupráce Slovensko – Rakúsko 2007 – 2013.

Danksagung

Diese Publikation wurde im Rahmen des Projekts des Strukturfonds der EU Creating the future N00086 „Nutzung der Ökozemente des CEM V/ (A, B) Types gemäß EN 197-1 im konstruktiven Beton“ im Programm zur grenzüberschreitenden Zusammenarbeit Slowakei - Österreich 2007 - 2013 ausgearbeitet.



www.tsus.sk/envizeo

Vydavateľ:

Technický a skúšobný ústav stavebný, n. o.,
Technisches Prüfinstitut für Bauwesen
Studená 3,
821 04 Bratislava, Slovenská republika
2012

ISBN 978 - 80 - 971296-9 - 9



Universität für Bodenkultur Wien
University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna
Institut für konstruktiven Inoenerbau (IKI)



Institute of Construction and Architecture
Inštitút Akadémie vied Slovenskej republiky

SCHRETTER & CIE



EUROPEAN UNION
European Regional
Development Fund



creating the future

Programm zur grenzüberschreitenden Zusammenarbeit SLOWAKEI - ÖSTERREICH 2007-2013
Program cezhraničnej spolupráce SLOVENSKÁ REPUBLIKA - RAKÚSKO 2007-2013