

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Aplikovatelnost zahraničních portlandských cementů v České republice

Martin Drajer

Bakalářská práce

2019

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin Drajer**
Osobní číslo: **D14158**
Studijní program: **B3607 Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní stavitelství**
Název tématu: **Aplikovatelnost zahraničních portlandských cementů v České republice**
Zadávací katedra: **Katedra dopravního stavitelství**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

V tématice (portlandských) cementů je vyžadováno zpracovat literární rešerši stávající míry poznání. Je požadováno zaměřit se na aspekty využitelnosti zahraničních portlandských cementů (CEM I) v podmínkách České republiky. Vlastní experimentální zkoušky budou probíhat na zhotovených zkušebních tělesech.

Požadované výstupy:

Úvod

1) Teoretická část

Analýza současného stavu poznání

2) Experimentální část

Zhotovení a ošetřování zkušebních těles

Zkoušení cementu

3) Vyhodnocení dosažených výsledků

Verifikace a závěr

Příloha zadání bakalářské práce

Seznam odborné literatury:

- ČSN EN 196-X. Metody zkoušení cementu. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- ČSN EN 197-1 ed. 2. Cement - Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- ČSN EN 197-2. Cement - Část 2: Hodnocení shody. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- ČSN EN 206+A1. Beton: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- ČSN P 73 2404. Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda - Doplňující informace. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- KRATOCHVÍL, Bohumil, Václav ŠVORČÍK a Dalibor VOJTĚCH. Úvod do studia materiálů. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2005. ISBN 978-80-7080-568-8.
- MEHTA, P. Kumar a Paulo J. M. MONTEIRO. Concrete: microstructure, properties, and materials. 4th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014. ISBN 978-0-07-179787-0; MHID 0-07-179787-4.
- PAVLÍKOVÁ, Milena, Zbyšek PAVLÍK a Jiří HOŠEK. Materiálové inženýrství I. 2. přeprac. vydání. Praha: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04932-7.
- PAVLÍKOVÁ, Milena a Martin KEPPERT. Chemie: chemie stavebních materiálů. Praha: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04237-3.
- PYTLÍK, Petr. Technologie betonu. 2. vyd. Brno: VUTIUM, 2000, 390 s. ISBN 80-214-1647-5.
- TKP staveb pozemních komunikací: Kapitola 18: Betonové konstrukce a mosty. Praha: Ministerstvo dopravy, 2016.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury: **viz příloha**

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Vladimír Suchánek


Katedra dopravního stavitelství

Datum zadání bakalářské práce: **20. prosince 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **25. května 2018**


doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

L.S.


doc. Ing. Vladimír Doležel, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 3. ledna 2018

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

Tato bakalářská práce byla realizována s využitím technologií Výukového a výzkumného centra v dopravě.

V Pardubicích dne 12. 5. 2019

Martin Drajer

PODĚKOVÁNÍ:

Na tomto místě bych rád poděkoval především vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Vladimíru Suchánkovi, Ph.D., za odborné vedení a cenné rady při tvorbě práce. Další poděkování patří společnosti Cemex za zapůjčení Vicatova přístroje, zkušebních forem a společnosti KASI s.r.o. za dodání cementu (Odra a Warta).

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá aplikovatelností zahraničních portlandských cementů v České republice. V experimentální části je zachycena výroba a ošetřování zkušebních těles, stanovení pevnostních charakteristik, dob tuhnutí a kompatibility cementu s vybranými superplastifikátory. V závěru práce je porovnání a vyhodnocení celého experimentu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Portlandský cement, výroba cementu, pevnost v tlaku, pevnost v tahu za ohybu, tuhnutí cementu

TITLE

The applicability of foreign Portland cement in the Czech Republic

ANNOTATION

The bachelor thesis deals with applicability of foreign Portland cement in the Czech Republic. In the experimental part is described production and treatment of test specimens, determination of strength properties, solidification of cement and cement compatibility with selected superplasticizers. In the conclusion is a comparison and evaluation of the whole experiment.

KEYWORDS

Portland cement, production of cement, compressive strength, tensile strength in bending, solidification of cement

OBSAH

ÚVOD.....	14
CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	15
I. TEORETICKÁ ČÁST	16
1. Cement	16
1.1 Historie	16
1.2 Suroviny pro výrobu portlandského cementu	17
1.2.1 Základní suroviny	17
1.2.2 Vedlejší (korigující) suroviny	17
1.2.3 Pomocné suroviny.....	17
1.3 Cementářské moduly	18
1.3.1 Hydraulický modul	18
1.3.2 Silikátový modul.....	18
1.3.3 Aluminátový modul	18
1.3.4 Stupeň sycení vápnem	19
1.4 Výroba portlandského cementu	20
1.4.1 Suchý způsob výroby cementu	21
1.4.2 Mokrý způsob výroby cementu	26
1.5 Mineralogické složení portlandského slínku	27
1.5.1 Alit (trikalciumsilikát)	27
1.5.2 Belit (dikalciualuminát).....	28
1.5.3 Trikalciualuminát.....	29
1.5.4 Celit (tetrakalciumaluminoferit)	29
1.5.5 Vedlejší složky.....	29
1.6 Druhy cementu	30
1.6.1 Cementy pro obecné použití	30
1.6.2 Speciální cementy	30

1.7	Hydratace cementu	32
1.7.1	Periody hydratace cementu	32
1.8	Zkoušky cementu	35
1.8.1	Stanovení pevnosti	35
1.8.2	Chemický rozbor cementu	36
1.8.3	Stanovení dob tuhnutí a objemové stálosti	36
1.8.4	Kvantitativní stanovení hlavních složek	37
1.8.5	Zkouška pucolanity pucolánových cementů	37
1.8.6	Stanovení jemnosti mletí	38
1.8.7	Postupy pro odběr a úpravu vzorků cementu	39
1.8.8	Stanovení hydratačního tepla	39
1.8.9	Stanovení obsahu ve vodě rozpustného chromu (Cr ⁶⁺) v cementu	40
1.9	Požadavky na mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti	41
1.10	Cementový průmysl v České republice	42
II.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	45
2.	Měřicí přístroje	45
2.1.1	Váha Matest	45
2.1.2	Zhutňovací zařízení	46
2.1.3	Zatěžovací lis	46
2.1.4	Míchací zařízení	47
2.1.5	Další pomůcky a nástroje použité při experimentu	47
3.	Zkoušení cementů	48
3.1	Zhotovení a ošetřování zkušebních těles	48
3.2	Stanovení pevnosti	50
3.2.1	Pevnostní charakteristiky po 24 hodinách	51
3.2.2	Pevnostní charakteristiky po 48 hodinách	53
3.2.3	Pevnostní charakteristiky po 7 dnech	55

3.2.4	Pevnostní charakteristiky po 28 dnech	57
3.2.5	Vyhodnocení pevnostních zkoušek	59
3.3	Stanovení normální konzistence, počátku a doby tuhnutí cementů	62
3.3.1	Stanovení normální konzistence	62
3.3.2	Stanovení dob tuhnutí	63
3.3.3	Porovnání dob tuhnutí.....	64
3.4	Kompatibilita cementu se superplastifikátorem	65
3.4.1	Stanovení rozlití pomocí minikuželu	65
3.4.2	Porovnání jednotlivých rozlití	68
ZÁVĚR	69
CITACE	70
DOKLADOVÁ ČÁST	73

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Proces výroby cementu [8].....	20
Obrázek 2: Ložisko Prachovice [9]	21
Obrázek 3: Předhomogenizační skládka [10]	22
Obrázek 4: Homogenizační silo [10]	22
Obrázek 5: Surovinový mlýn [10]	22
Obrázek 6: Rotační pec (90 m; Ø5,6 m) [9]	23
Obrázek 7: Schéma procesů probíhajících v cementářské peci [11]	24
Obrázek 8: Srovnání alitu a belitu z hlediska průběhu hydratace a vývoje pevnosti [14].....	28
Obrázek 9: Mikrostruktura cementové pasty ve stáří $t = 1$ h (vlevo) a $t = 2$ h (vpravo) [11]...33	
Obrázek 10: Mikrostruktura cementové pasty ve stáří $t = 4$ h (vlevo) a $t = 9$ h (vpravo) [11].34	
Obrázek 11: Vicatův přístroj [20].....	36
Obrázek 12: Le Chatelierova objímka [20]	37
Obrázek 13: Kalorimetr [27], [28].....	40
Obrázek 14: Výroba, spotřeba, dovoz a vývoz cementu [30].....	42
Obrázek 15: Mapa výrobců cementu, upraveno z [32].....	44
Obrázek 16: Váha Matest	45
Obrázek 17: Vibrační stolek	46
Obrázek 18: Zatěžovací lis Matest.....	46
Obrázek 19: Automatická míchačka Stast	47
Obrázek 20: Normalizovaný písek CEN EN 196–1	48
Obrázek 21: Zhotovená zkušební tělesa (vzorek Odra a Warta)	49
Obrázek 22: Uložení zkušebních těles ve vodní lázni	49
Obrázek 23: Zkoušení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku (vzorek Berlín).....	50
Obrázek 24: Nárůst pevností v tahu za ohybu během 28 dní	60
Obrázek 25: Nárůst pevností v tlaku během 28 dní.....	61
Obrázek 26: Normální konzistence.....	62
Obrázek 27: Počátek tuhnutí (vzorek Odra)	63
Obrázek 28: Porovnání jednotlivých dob tuhnutí	64
Obrázek 29: Minikužel pro zkoušky zpracovatelnosti [11].....	65
Obrázek 30: Průměr rozlití (vzorek Berlín + MasterGlenium ACE 446).....	66
Obrázek 31: Porovnání jednotlivých rozlití.....	68

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Chemické reakce při zahřívání surovinové směsi (výpal slínku) [6]	24
Tabulka 2: Mineralogické složení portlandského slínku [13]	27
Tabulka 3: Druhy cementu pro obecné použití [16]	31
Tabulka 4: Požadavky na mechanické a fyzikální vlastnosti [16]	41
Tabulka 5: Požadavky na chemické vlastnosti [16]	41
Tabulka 6: Tuzemské cementárny	43
Tabulka 7: Zahraniční cementárny	43
Tabulka 8: Pevnost v tahu za ohybu po 24 hodinách	51
Tabulka 9: Pevnost v tlaku po 24 hodinách	52
Tabulka 10: Pevnost v tahu za ohybu po 48 hodinách	53
Tabulka 11: Pevnost v tlaku po 48 hodinách	54
Tabulka 12: Pevnost v tahu za ohybu po 7 dnech	55
Tabulka 13: Pevnost v tlaku po 7 dnech	56
Tabulka 14: Pevnost v tahu za ohybu po 28 dnech	57
Tabulka 15: Pevnost v tlaku po 28 dnech	58
Tabulka 16: Normální konzistence, počátky a doby tuhnutí	64
Tabulka 17: Hodnoty rozlité se superplastifikační přísadou Stachement MM	67
Tabulka 18: Hodnoty rozlité se superplastifikační přísadou MasterGlenium ACE 446	67

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

Al_2O_3	oxid hlinitý
CaCO_3	uhličitan vápenatý
CaO	oxid vápenatý
C_2S	dikalciumsilikát
C_3A	trikalciualuminát
C_3S	trikalciumsilikát
C_4AF	tetrakalciumaluminoforit
F_c	nejvyšší zatížení při porušení
F_t	zatížení na střed trámečku
Fe_2O_3	oxid železitý
R_c	pevnost v tlaku
R_f	pevnost v tahu za ohybu
MgO	oxid hořečnatý
SiO_2	oxid křemičitý

ÚVOD

Cement je hydraulické pojivo, jemně mletá anorganická látka vytvářející po smíchání s vodou kaši, která tuhne a tvrdne v důsledku hydratačních procesů.

Cement je dnes nejpoužívanějším pojivem při výrobě čerstvých betonů a maltových směsí. V normě ČSN EN 197-1 jsou vzhledem k procentuálnímu zastoupení hlavních a doplňujících složek cementy děleny na 5 základních typů. Prvním z normových cementů je Portlandský cement (CEM I), který je v současné době nejpoužívanějším druhem cementu, a je díky tomu předmětem této práce.

Práce byla rozdělena na dvě základní části (teoretickou a praktickou). V teoretické části je shrnuta historie až po současnou výrobu cementu, výsledné mineralogické složení a dělení cementu, časový průběh hydratace, včetně přehledu normových zkoušek cementu. V závěru teoretické části je rozebírána možnost dovozu cementu ze zahraničí, jejíž trend v dnešní době zažívá vzestup.

V praktické části jsou jednotlivé cementy porovnávány pomocí některých normových zkoušek (stanovení pevnosti, počátek a doba tuhnutí) nebo z hlediska nenormové metody (kompatibilita se superplastifikačními přísadami). V závěru práce je provedeno vyhodnocení dosažených výsledků.

CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cíle bakalářské práce jsou následující:

- Zachytit historický a současný stav poznání v oblasti cementu
- Porovnat možnosti dovozu cementu (CEM I 42,5 R) ze zahraničí
- Provést zkoušení vybraných zástupců (normové metody)
- Porovnat vybrané cementy z hlediska nestandardních metod
- Popsat závěrečné vyhodnocení zkoušek

I. TEORETICKÁ ČÁST

1. Cement

„Cement je polydisperzní partikulární anorganická látka s hydraulickými vlastnostmi. Po smíchání s vodou postupně tuhne a tvrdne. Po zatvrdnutí zachovává pevnost a stálost ve vodě. Hydraulické tvrdnutí cementu probíhá v důsledku hydratace vápenatých silikátů a aluminátů.“
[1].

1.1 Historie

Původ cementu lze datovat až do starověkého Řecka. Řekové používali pro výrobu malty vápno smíšené se zeminou z ostrova Santorin. Ještě větší používání bylo patrné u Římanů.

Římané betonovali klenby budov, mosty a přístavy hydraulickou maltovinou, vyráběnou z vyhašeného vápna a sopečného popela těžného u Puzzuola v Kampanii.

Ve středověku se od použití hydraulických pojiv zcela upouští.

K obratu ve využití dochází až v 18. století, kdy je současně i zdokonalena původní receptura. John Smeaton zjišťuje, že cement vyrobený z nečistého vápence má lepší vlastnosti než ten vyrobený z vápna nejčistšího vápence. Chemické základy výroby cementu stanovuje Louis Joseph Vicat, který provedl chemický rozbor vápenců a následně je roztřídil podle obsahu hydraulických látek. Vicat byl také první, kdo prokázal nutnou přítomnost jílové složky ve vápenci. V případě, že ve vápenci není obsažena, je nutné jí přidat.

Roku 1824 byl vydán patent na výrobu portlandského cementu Johnu Aspdinovi, který jej nazval podle jeho podoby šedozelenavému pískovci od města Portland. Vynalezení portlandského cementu dokončil Isaak Charles Johnson, který přišel s poznatkem pálit surovinu až na mez slnutí, čímž dal podobu výrobě portlandského slínku. Tehdejší cement se však velmi lišil od dnešních výrobků, vyznačoval se zejména mírnějším vypálením a hrubším mletím, čímž měl i nižší počáteční pevnost. Teprve až zlepšením technologie se dospělo k dnešním hodnotným výrobkům.

Do českých zemí se nejprve cement dovážel z Anglie a Německa. V roce 1864 byla založena továrna v Bohosudově u Teplic. Roku 1870 následovala cementárna v Bráníku (Podolí) a o dva roky později Radotínská cementárna.

V počátku se výroba těžko bránila zahraniční konkurenci, k obratu došlo až po zavedení cla na dovoz cementu v roce 1885. Následně bylo i pomocí zkoušek dokázáno, že český cement je lepší než ten dovážený z Anglie [2].

1.2 Suroviny pro výrobu portlandského cementu

1.2.1 Základní suroviny

Základní surovinou pro výrobu cementu je vápenec. Vápenec je sedimentární hornina, skládající se z více než 90 % z kalcitu (CaCO_3), může obsahovat příměsi dolomitu, písku či jílu. V cementu se vápenec využívá dvěma způsoby (základní surovina v surovinové směsi nebo jako složka cementu).

Pro výrobu cementu je nejlepší použití středně až silně znečištěných vápenců jílovými součástmi, na rozdíl od výroby vápna, kde se naopak využívají čisté vápence. Čisté vápence jsou tvrdé a při výpalu surovin méně reaktivní, čímž jsou negativně ovlivněny náklady na výpal. Nevhodné je také používat vápence s vyšším obsahem dolomitu ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$).

Obsah CaCO_3 ve vápenci by se měl ideálně pohybovat v rozmezí 76-78 %, aby mohli být obsaženy sialitické složky.

Sialitickými složkami jsou jíly, hlíny a různé druhy břidlic, vnášející do surovinové směsi oxidy železa, hliníku a křemíku.

1.2.2 Vedlejší (korigující) suroviny

Surovinová směs většinou nedosahuje požadovaného chemického složení potřebného k tvorbě slínku. Proto se přidávají tři druhy surovin ke korekci obsahu hydraulických oxidů, které jsou potřebné k dosažení požadovaných vlastností.

Nedostatečné množství Fe_2O_3 se řeší použitím kyzových výpražků, železné rudy.

Ke korekci Al_2O_3 přidáváme do surovinové směsi bauxit a při nedostatku SiO_2 používáme křemičitý písek, křemelinu.

1.2.3 Pomocné suroviny

Pomocné suroviny slouží k úpravě vlastností surovinové směsi za syrova nebo během výpalu. Lze je ještě rozdělit na intenzifikátory, mineralizátory a regulátory tuhnutí.

Intenzifikátory jsou látky, které snižují viskozitu taveniny a umožňují snížit teplotu výpalu až o 100°C .

Mineralizátory podporují vznik a vlastnosti určitých slínkových minerálů na úkor jiných (například tvorbu C_3S).

Regulátory tuhnutí slouží k regulaci průběhu tuhnutí cementu po jeho rozdělání s vodou. Používá se například chemosádrovec či energosádrovec. Pomocné suroviny se využívají v malém množství (jednotky procent) [3], [4], [5].

1.3 Cementářské moduly

Optimální poměr jednotlivých oxidů (CaO, Fe₂O₃, Al₂O₃ a SiO₂) v surovinové směsi nám definují cementářské moduly. Jsou dobrou pomůckou při skládání surovin pro cementy daných vlastností. Jednotlivé moduly se vždy uvádějí v určitém intervalu.

Mezi základní patří modul hydraulický, silikátový a aluminátový. Existuje ještě celá řada dalších modulů jako například (modul intenzity tvrdnutí, modul silikátových složek, modul agresivity či kalorický modul).

1.3.1 Hydraulický modul

$$M_H = \frac{\text{CaO}}{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2} \quad (1)$$

Optimální hodnota se pohybuje v rozmezí 1,7 až 2,4. Cementy s nižší hodnotou vykazují nižší pevnosti. Cementy s hodnotou vyšší než 2,4 mají vyšší hydratační teplo, vyšší počáteční pevnosti, ale naopak nižší odolnost vůči agresivním látkám a nejsou objemově stálé.

1.3.2 Silikátový modul

$$S_M = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3} \quad (2)$$

Optimální hodnoty v rozmezí 2,4 až 2,7. Vyšší hodnota se vyznačuje pomalejším tuhnutím a tvrdnutím cementu, obtížnější je i výpal slínku, ale zároveň narůstá odolnost vůči agresivnímu prostředí.

1.3.3 Aluminátový modul

$$A_M = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3} \quad (3)$$

Aluminátový modul bývá většinou 1,5 až 2,5. Vyšší hodnota modulu zvyšuje vypalovací teplotu slínku, výsledné pevnosti a hydratační teplo cementu. Naopak dochází ke snížení odolnosti vůči síranům [1], [4], [6].

1.3.4 Stupeň sycení vápnem

$$S_s = \frac{100 \text{ CaO}}{2,80 \text{ SiO}_2 + 1,65 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,35 \text{ Fe}_2\text{O}_3} \quad (4)$$

Stupeň sycení vápnem je poměr skutečně přítomného CaO ve směsi k teoreticky potřebnému množství k reakci s Al_2O_3 , Fe_2O_3 a SiO_2 .

Stupeň sycení vápnem je podle Kühla možné vyjádřit rovněž pomocí takzvaného standardu vápna.

- Standard vápna:

$$S_{SK(Cst)} = \frac{100 \text{ CaO}}{2,80 \text{ SiO}_2 + 1,1 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,7 \text{ Fe}_2\text{O}_3} \quad (5)$$

- Maximální přípustný obsah CaO dle Lea a Parkera:

$$S_{SLP} = \frac{100 \text{ CaO}}{2,80 \text{ SiO}_2 + 1,18 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,65 \text{ Fe}_2\text{O}_3} \quad (6)$$

Rozdíly mezi uvedenými stupni sycení jsou pro běžné cementy maximálně čtyři jednotky.

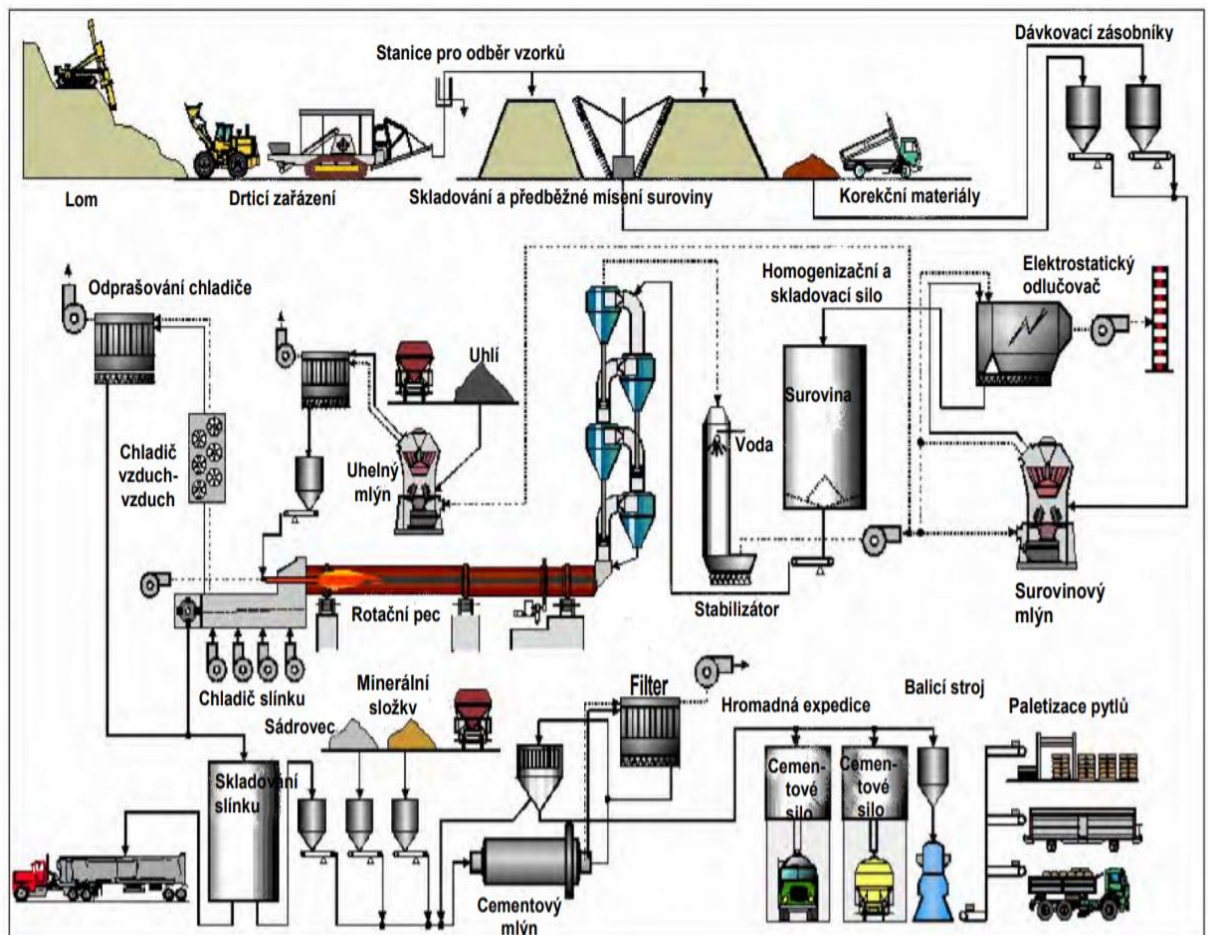
U normálních cementů se hodnota C_{st} pohybuje v rozmezí 85 až 95. Větší hodnota stupně sycení znamená, že slínek bude bohatší na C_3S a C_3A a bude dosahovat vyšších počátečních pevností ($C_{st} = 93-97$). V případě, že je hodnota větší než 100 % musí se počítat s volným CaO ve slínku, jehož množství je až do 1 % ve slínku žádoucí [4], [7].

1.4 Výroba portlandského cementu

Existují čtyři způsoby výroby cementu:

- Suchý způsob (surovina se mele a suší na surovinovou moučku v podobě sypkého prášku, která se přivádí do pece s předehříváčem nebo předkalcinátorem)
- Polosuchý způsob (suchá surovinová moučka se granuluje s vodou a přivádí se do roštového předehříváče před pecí nebo do dlouhé pece)
- Mokrý způsob (suroviny se melou ve vodném prostředí na čerpatelný kal. Kal se dopravuje do pece, popřípadě do sušičky kalu)
- Polomokrý způsob (surovinový kal se zbavuje vody. Z filtračního koláče se lisují granule, které se dávkuje do roštového předehříváče, nebo do sušičky filtračního koláče na výrobu surovinové moučky).

Výběr vhodného procesu je závislý na stavu surovin (suché nebo mokré). V Evropě je 90 % produkce založeno na suchém procesu, který je levnější a méně energeticky náročný než způsob mokrý. Mokrý způsob výroby cementu se využívá například v Dánsku a Belgii [8].



Obrázek 1: Proces výroby cementu [8]

1.4.1 Suchý způsob výroby cementu

Výrobu lze rozdělit do tří základních fází:

- výroba surovinové moučky
- výpal portlandského slínku
- mletí a výroba cementu

1.4.1.1 Výroba surovinové moučky

V první fázi výroby cementu je provedena těžba surovin. Hlavní suroviny se získávají z povrchových lomů pomocí clonových odstřelů. U těžných surovin se provádějí analýzy chemického složení, aby bylo možné připravit optimální směs. Lomy se nacházejí poblíž výrobního provozu, protože z ekonomického hlediska je dovoz vápence nákladný. Po odstřelení se surovina přepravuje pomocí dopravního pásu nebo v nákladních automobilech do výrobního závodu.



Obrázek 2: Ložisko Prachovice [9]

Vytěžený vápenec se dále drtí. Drcení je obvykle prováděno ve dvou stupních. Nejprve je provedeno primární drcení, pro které se užívají čelist'ové a kuželové drtiče. U čelist'ových drtičů je materiál drcen tlakem, lámáním nebo roztíráním mezi pevnou a pohyblivou čelistí. U kuželových drtičů je surovina zdobňována drtícím kuželem a nepohyblivým drtícím pláštěm. Velikost frakce po primárním drcení je přibližně v rozmezí 100 až 250 mm. K sekundárnímu drcení používáme drtiče kladivové a odrazové. Ty drtí surovinu údery kladiv nebo drtících lišt. Takto upravená surovina se přepraví do cementárny ke skladování. Všechny suroviny jsou uchovávány na předhomogenizačních skládkách zajišťujících jejich dostatečnou zásobu. Později jsou přidávány v určitém množství do surovinového mlýna dle druhu vyráběného cementu [5], [8], [10].



Obrázek 3: Předhomogenizační skládka [10]



Obrázek 4: Homogenizační silo [10]

V surovinovém mlýně je surovina mleta na moučku s požadovaným chemickým složením vhodným pro výpal slínku. Používají se především mlýny s volnými mlecími tělesy (kulové mlýny), lze je popsat jako vodorovně se otáčející duté bubny. Bubny obsahují železné koule, pomocí nichž je surovina padajícími a převalujícími se koulemi rozemleta. Rozemletá surovina prochází třídícím, který vrací hrubší částice zpět do mlýna. Jemnost mletí je důležitá pro proces slinování a rychlost tvorby slínku při výpalu. Vytvořená moučka je následně dopravována pomocí pneumatických a mechanických systémů do homogenizačních sil, kde je skladována [8], [10].



Obrázek 5: Surovinový mlýn [10]

1.4.1.2 Výpal portlandského slínku

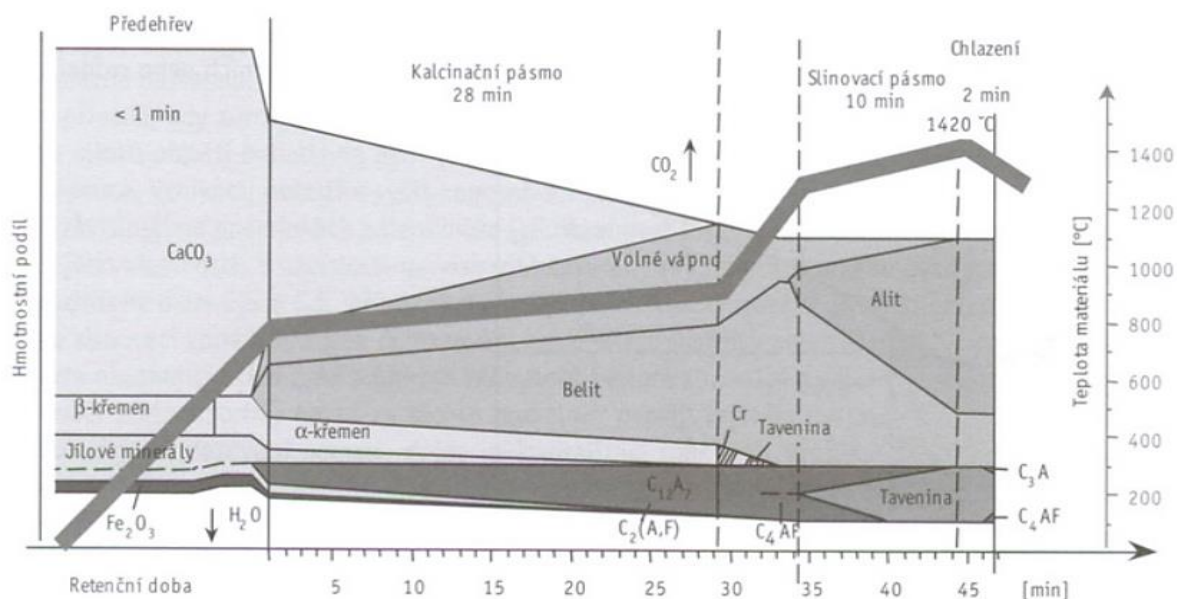
Druhou fází ve výrobě cementu je výpal slínku. Pro výpal slínku se dnes používá rotační pec, která se skládá z ocelové roury s poměrem 10:1 a 38:1 (délka k průměru). Roura je umístěna na podpěrách a má spád 2,5 až 4,5 %, pec se otáčí kolem své osy rychlostí 0,5 až 5 otáček za minutu. Materiál se v peci přepravuje prostřednictvím otáčení pece a jejího podélného sklonu. Pec je vyložena žáruvzdornými materiály, aby vydržela vysoké teploty při výpalu. Rotační pec lze použít pro mokrý i suchý způsob výroby. V minulosti se rovněž používali šachtové pece, které jsou použitelné jen pro malé výrobní závody, a proto se jejich počet neustále snižuje.



Obrázek 6: Rotační pec (90 m; Ø5,6 m) [9]

Během procesu výpalu slínku se požaduje vysoká teplota zpracování, tak aby došlo k přeměně surovinové směsi na cementový slínek. Při výpalu prochází surovinová směs celou délkou pece, obsahující různá tepelná pásma:

- sušící (do 200 °C)
- předehřívací (200-800 °C)
- kalcinační (800-1200 °C)
- exotermické (1300 °C)
- slinovací (1400-1450 °C)
- chladičí (1100-1000 °C) [5], [8], [10]



Obrázek 7: Schéma procesů probíhajících v cementářské peci [11]

Tabulka 1: Chemické reakce při zahřívání surovinové směsi (výpal slínku) [6]

Teplota (°C)	Reakce	Chemická rovnice
20 až 200	vypuzení volné vody (sušení)	-
200 až 450	vypuzení absorbované vody	-
450 až 600	rozklad jílu, vznik metakaolinitu	$\text{Al}_4(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10} \rightarrow 2(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2) + 4\text{H}_2\text{O}$
600 až 900	reakce metakaolinitu a vznik C_2S a CA (před C_2S), dále C_2F	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 + 5\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + 5\text{CO}_2$ $2\text{CaCO}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{CO}_2$
900 až 1000	rozklad vápence, vznik $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ a $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ $5\text{CaO} + 2\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow 2(2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2) + \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
1000 až 1300	vznik dalšího C_2S , dále vznik C_4AF a C_2A , dosavadní reakce bez účasti taveniny (v tuhé fázi)	$2\text{C} + \text{S} \rightarrow \text{C}_2\text{S}$ $\text{CA} + 2\text{C} \rightarrow \text{C}_3\text{A}$ $\text{CA} + 3\text{C} + \text{F} \rightarrow \text{C}_4\text{AF}$
1300 až 1450	vznik taveniny (slinování), reakce za účasti taveniny, vázání přebytku C na C_2S za vzniku hlavního slínkového minerálu C_3S	$\text{C}_2\text{S} + \text{C} \rightarrow \text{C}_3\text{S}$

- Výměníky tepla

Teplné výměníky se nachází před rotační pecí a fungují jako předehříváče suroviny. Používají se šachtové výměníky. Šachtové výměníky se skládají ze svislé šachty, do které jsou spodem nasávány spaliny z pece. Plyny postupují nahoru proti surovině přiváděné shora. V důsledku turbulence se vytvářejí podmínky pro přestup tepla do suroviny.

- Vytápění pece

K dodání tepla pro výrobní proces se využívá různých paliv (konvenční paliva, odpady). Z konvenčních paliv se používají:

1. pevná paliva (uhlí, petrokoks a lignit)
2. kapalná paliva (topné oleje)
3. plynná paliva (zemní plyn)

Příprava pevných paliv zahrnuje drcení, mletí a sušení, vše je obvykle prováděno na místě. Uhlí a petrokoks se melou na prášek stejné velikosti jako surovinová moučka. Namleté palivo je dopravováno do pece ke spálení nebo se skladuje.

Paliva se skladují v krytých skladech (uhlí a petrokoks), popřípadě ve venkovních skladech pro dlouhodobé zásoby. Práškové uhlí a petrokoks se skladují v silech. Topný olej ve vertikálních ocelových nádržích a jako zásoba zemního plynu se používá plynová rozvodná síť. Vzhledem k životnímu prostředí a šetření přírodních zdrojů se využívají stále častěji odpadní materiály.

Odpady se ve většině případů dávají do pecního systému stejným způsobem jako konvenční paliva. Používají se různé druhy, rozříděné na nebezpečné a ostatní odpady. Konkrétně se používají plasty, textilie, pneumatiky, průmyslové kaly, zemědělský odpad, živočišná moučka a mnoho dalších. Paliva z odpadů se uskladňují přímo v cementárně a poté se dělí ke vsázce do pece.

- Chladiče slínku

Posledním procesem při výpalu slínku je chlazení. Chladiče snižují teplotu slínku na vhodnou teplotu a zároveň přejímají z horkého slínku teplo a vrací jej zpátky do výrobního procesu. Používají se nejčastěji roštové chladiče, případně planetové chladiče. U roštových chladičů se dosahuje chlazení průchodem proudu vzduchu přes vrstvu slínku (slínkové lože), který je uložen na roštu propouštějícím vzduch. Užívají se dva způsoby dopravy slínku (posuvný rošt a vratný posuvný rošt). Vzduch ze zóny nachází využití pro vysoušení cementových přísad nebo uhlí. Slínek se po vychladnutí dále drtí a potom se přesouvá ke skladování [8], [10].

1.4.1.3 Mletí a výroba cementu

Hotový slínek a další cementové složky se skladují v silech nebo v uzavřených halách, případně na otevřeném prostranství.

Odležený slínek se později mele společně se síranem vápenatým, nejčastěji v podobě energosádrovce ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), což je průmyslový odpad vzniklý odsiřováním spalin. Jako regulátor tuhnutí je možné použít také přírodní anhydrit nebo hemihydrát.

V případě směsných cementů se přidávají ještě další složky (struska, popílek, přírodní nebo umělé pucolány a jiné).

Používají se trubnaté mlýny s otevřený nebo uzavřeným okruhem, válcové mlýny. Jsou to dlouhé otáčivé válce obsahující ocelové koule různých velikostí, které v důsledku otáčení válce padají a tím drtí materiál. Minimální jemnost mletí je u portlandského cementu $225 \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$.

Výsledkem je hotový produkt, který je přemístěn do skladovacích sil. Odlišné druhy cementů je nutné skladovat odděleně. Pro dopravu do skladovacích sil se používají pneumatické, mechanické dopravníkové systémy. Nejčastěji se používá kombinace vzdušného žlabu nebo šnekových/řetězových dopravníků s řetězovým korečkovým elevátorem.

K odběru ze skladovacích sil se využívá stlačeného vzduchu, který prochází přes provzdušňovací desky umístěné na dně sil. Cement se expanduje jako volně ložený v autocisternách nebo se na balících linkách balí do papírových pytlů.

Dlouhodobé skladování cementu má negativní vliv na jeho pevnost. Vzdušná vlhkost a oxid uhličitý působí částečnou hydrataci a karbonataci cementu. Bez větších úprav je možné všechny druhy cementu pro obecné použití skladovat až 3 měsíce, tato doba může být ještě prodloužena případnou hydrofobizací (přidání látky odpuzující vlhkost) [8], [10], [11], [12].

1.4.2 Mokrý způsob výroby cementu

Mokrý způsob je vhodné použít při výrobě cementu z měkkých surovin s velkým obsahem vlhkosti (nad 20 %). Tento způsob je energeticky náročnější než způsob suchý.

Suroviny se melou ve vodném prostředí. Využívá se mlecích systémů s uzavřeným okruhem. Materiál s vodou se přivede do mlýna, kde se rozdrobí na kal střížnými a rázovými silami. Jemný materiál následně prochází sítí ve stěně mlýna.

Výsledkem je surovinový kal, obsahující až 40 % vody. Ten je následně homogenizován a uskladněn v nádržích, nebo silech. Kal se přesunuje dále k vysušení a následně do rotační pece, kde se vypaluje.

V České republice se mokrý způsob výroby nepoužívá od roku 1998 [4], [8], [10].

1.5 Mineralogické složení portlandského slínku

Složení slínku má velký vliv na výsledné vlastnosti cementu. V portlandském slínku je popsáno více než 25 minerálních fází.

Zásadní vliv na vlastnosti mají čtyři hlavní sloučeniny, kterými jsou trikalciumsilikát (křemičitan trojvápenatý), dikalciumsilikát (křemičitan dvojvápenatý), trikalciumaluminát (hlinitan trojvápenatý), tetrakalciumaluminoforit (hlinitoželezitan čtyřvápenatý). Tyto hlavní sloučeniny tvoří okolo 90 % z celkového složení slínku. Každá z těchto složek ovlivňuje výsledné vlastnosti cementu. Kromě nich můžeme popsat technické fáze (alit, belit, celit).

Pro betonářskou praxi platí (mineralogicky však tyto technické fáze obsahují i další složky):

- C_3S = alit
- C_2S = belit
- C_4AF = celit

Tabulka 2: Mineralogické složení portlandského slínku [13]

Název minerální fáze	Vzorec	Technické fáze	Obsah (%)	Hydratace
trikalciumsilikát	C_3S	alit	37-75	rychlá
dikalciumsilikát	C_2S	belit	5-40	střední
trikalciumaluminát	C_3A	amorfní fáze	3-15	velmi rychlá
tetrakalciumaluminoforit	C_4AF	celit	9-14	rychlá
oxid vápenatý	CaO	volné vápno	4	pomalá
oxid hořečnatý	MgO	periklas	6	pomalá

1.5.1 Alit (trikalciumsilikát)

Nejdůležitějším slínkovým minerálem je alit. Jeho množství v portlandském slínku ovlivňuje počáteční pevnosti cementu, rychlost tvrdnutí a hydratační teplo.

Svoji pevnost nabývá především v období do 28 dní. Rychlovazné cementy proto obsahují velké množství alitu.

Krystaly alitu mají hexagonální tvar a jejich velikost narůstá se zvyšující se teplotou výpalu.

K tvorbě alitu dochází při teplotě nad 1300 °C. Oblast stability se pohybuje v rozmezí teplot 1250-1900°C. Pod teplotou 1250 °C se rozkládá na CaO a C_2S . Taveninu je proto nutné rychle zchladit, čímž se vytvoří metastabilní stav vedoucí k vysoké hydraulické aktivitě cementu.

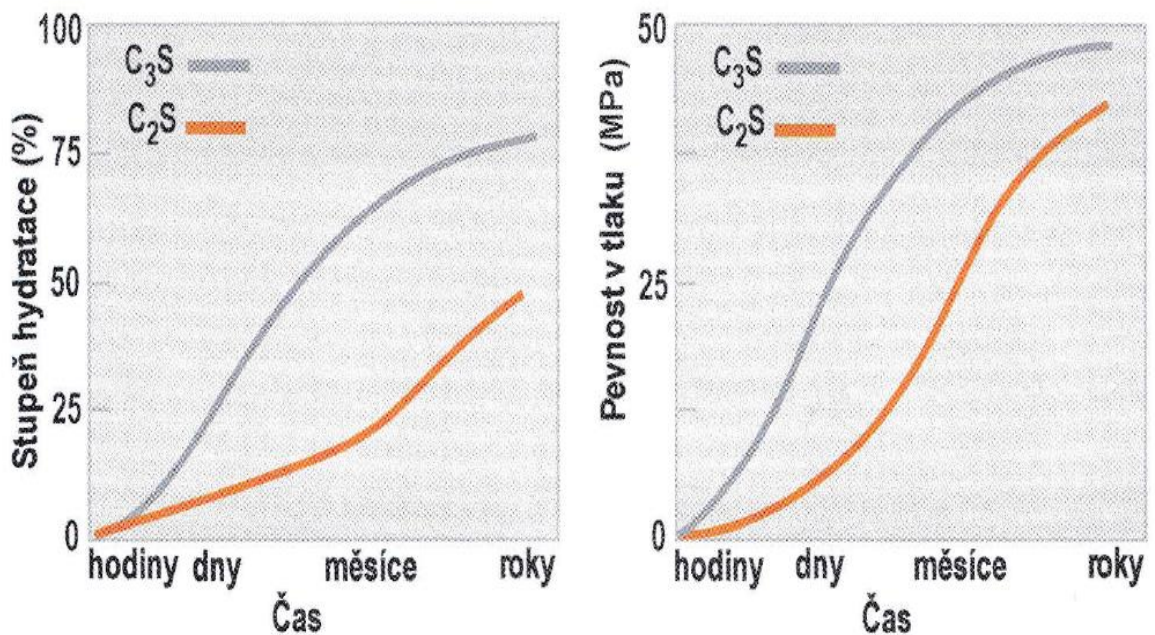
1.5.2 Belit (dikalciumaluminát)

Belit je druhý nejvýznamnější minerál, jeho obsah ve slínku se pohybuje většinou v rozmezí 15-35 %. Je méně reaktivní než alit a podílí se tedy na konečných pochodech uvolněním nepatrného hydratačního tepla.

Vyskytuje se v pěti modifikacích, formujících se za velkých objemových změn v určitém teplotním intervalu. Belit obsahuje příměs různých oxidů (Cr, Fe, P, Na a dalších), jež ho stabilizují. Je tvořen okrouhlými krystalky, ty jsou ve slínku nepravidelně rozmístěné a seskupené v počtu několika desítek zrn.

Změnou poměru mezi alitem a belitem je možné řídit rychlost růstu pevnosti v určitých fázích hydratace. V prvních hodinách je rozdíl v nárůstu pevností téměř zanedbatelný a po delší době hydratace (několik let) se naměřené pevnosti vyrovnávají, nicméně jejich odlišné chování v období dne, týdne a měsíce má velký vliv na praktické použití.

U obvyklých cementů se jejich množství pohybuje v poměru 3:1. Větší zastoupení belitu je patrné v belitovém cementu s nízkým hydratačním teplem k betonáži masivních konstrukcí [4], [5], [12], [14].



Obrázek 8: Srovnání alitu a belitu z hlediska průběhu hydratace a vývoje pevnosti [14]

1.5.3 Trikalciumaluminát

Je součástí tzv. tmavé mezerní hodnoty (v odraženém světle se jeví tmavě), jeho obsah ve slínku se pohybuje v rozmezí 3-15 %. Tvoří tuhý roztok s obsahem Na_2O a jiných oxidů.

Vyznačuje se velkou reaktivitou s vodou, rychlým tuhnutím, tvrdnutím a rychlým vývojem hydratačního tepla. Jeho hydratace probíhá velmi rychle, což má negativní vliv na zpracování čerstvé betonové směsi, proto se do cementu přidává sádrovec, který hydrataci zpomaluje.

Větší obsah trikalciumaluminátu je nežádoucí, protože způsobuje velké objemové změny a je velmi citlivý na působení síranů.

Pro síranuvzdorné cementy užívané na betonáž základových konstrukcí je tedy nutné obsah trikalciumaluminátu snižovat. V případě, že by se nevyskytoval v cementu vůbec, jednalo by se o takzvaný Ferocement, který se vyznačuje tmavou barvou a je velmi citlivý na superplastifikátor.

1.5.4 Celit (tetrakalciumaluminoforit)

Tetrakalciumaluminoforit se označuje jako celit nebo brownmillerit. Je součástí tzv. světlé mezerní hodnoty (v odraženém světle při sledování mikroskopem se jeví světle). Ve slínku je zastoupen v rozmezí 9-14 %.

Jde o sklovitou hmotu tvořící výplň mezi krystalky alitu a belitu, kterou tvoří směs sloučenin oxidů (Al, Fe, Ca) a malého množství MgO a alkalií. Má významný vliv na barvu slínku, dobrou odolnost vůči působení síranových vod a malé smrštění.

1.5.5 Vedlejší složky

Slínek obsahuje kromě hlavních slínkových minerálů také další složky. Mezi tyto složky patří CaO (volné vápno) a MgO .

- CaO

V cementovém slínku je obsaženo malé množství oxidu vápenatého v nevázané formě (volné vápno). Vzhledem k teplotě výpalu o něm mluvíme jako o mrtvě páleném. Jeho obsah se pohybuje okolo 4 %, při větším množství může dojít k nežádoucímu rozpínání a ke vzniku trhlin.

- MgO

MgO může být součástí tuhých roztoků C_3S nebo ferrialuminátové fáze, zbytek se může vyskytovat jako volné MgO (periklas). Periklas se vyskytuje v případě, že obsah MgO přesahuje 2 %. Větší obsah MgO ve slínku je nežádoucí kvůli jeho pomalé hydrataci s vodou, jeho množství by mělo být tedy menší než 6 % [4], [5], [12], [15].

1.6 Druhy cementu

Z pohledu použití ve stavebním průmyslu lze cementy rozdělit takto:

- cementy pro obecné použití
- cementy speciální

1.6.1 Cementy pro obecné použití

Cementy pro obecné použití definuje norma ČSN EN 197-1. V uvedené normě jsou cementy pro obecné použití označovány jako CEM a jsou děleny do pěti skupin. Dle normy se cementy rozdělují do těchto tříd:

- CEM I Portlandský cement
- CEM II Portlandský cement směsný
- CEM III Vysokopecní cement
- CEM IV Pucolánový cement
- CEM V Směsný cement

V označení cementů se vždy uvádí hodnota jejich pevnostní třídy, která představuje pevnost cementové pasty po 28 dnech hydratace. V České republice se v současnosti vyrábějí pevnostní třídy cementů 32.5, 42.5 a 52.5. Pro označení třídy počáteční pevnosti cementu se užívají písmena N, L a R. Písmenem R se označují rychlovazné cementy dosahující vysokých počátečních pevností. Cementy, které mají standardní dobu tuhnutí se označují písmenem N. Cementy s nízkou počáteční pevností jsou značeny L (tato třída se používá pouze pro CEM III). Síranovzdorné cementy pro obecné použití je navíc nutné označit písmeny SR [5], [16].

1.6.2 Speciální cementy

Speciální cementy jsou cementy se speciálními vlastnostmi, které se liší od běžných typů svým složením, výrobou a mechanismem tuhnutí. Můžeme rozlišovat například:

- Barnatý cement
- Bílý cement
- Hlinitanový cement
- Rozpínavý cement
- Silniční cement
- Síranovzdorný cement
- Vysokohodnotný cement
- Cementy upravené přísadami [5]

Tabulka 3: Druhy cementu pro obecné použití [16]

Hlavní druhy	Označení 27 výrobků (druhy pro obecné použití)		Složení (poměry složek podle % hmotnosti ^a)										Doplňující složky	
			Hlavní složky											
			Slínek	Vysokopecní struska	Křemičitý úlet	Pucolány		Popilek		Kalcinovaná břidlice	Vápenec			
						přirodní	přirodní kalcinované	křemičitý	vápenatý					
K	S	D ^b	P	Q	V	W	T	L	LL					
CEM I	Portlandský cement	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Portlandský struskový cement	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portlandský cement s křemičitým úletem	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portlandský pucolánový cement	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portlandský popílkový cement	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
	Portlandský cement s kalcinovanou břidlicí	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
	Portlandský cement s vápencem	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5	
		CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5	
	Portlandský směsný cement ^c	CEM II/A-M	80-88	←----- 12-20 ----->									0-5	
CEM II/B-M		65-79	←----- 21-35 ----->									0-5		
CEM III	Vysokopecní cement	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM IV	Pucolánový cement ^c	CEM IV/A	65-89	-	←----- 11-35 ----->					-	-	-	0-5	
		CEM IV/B	45-64	-	<----- 36 65 ----->					-	-	-	0-5	
CEM V	Směsný cement ^c	CEM V/A	40-64	18-30	-	←----- 18-30 ----->		-	-	-	-	0-5		
		CEM V/B	20-38	31-49	-	←----- 31-49 ----->		-	-	-	-	0-5		

^a Hodnoty v tabulce se vztahují k součtu hlavních a doplňujících složek.

^b Obsah křemičitého úletu je omezen do 10 %.

^c Hlavní složky v portlandských směsných cementech CEM II/A-M a CEM II/B-M, v pucolánových cementech CEM IV/A a CEM IV/B a ve směsných cementech CEM V/A a CEM V/B mimo slínek musí být deklarovány v označení cementu (viz příklad v kapitole 8).

1.7 Hydratace cementu

Pro tvrdnutí cementu existuje celá řada teorií, většina z nich však vychází z následujících dvou teorií. Jsou jimi Le Chatelierova krystalová teorie a Michaelisova koloidní teorie.

- Krystalová teorie

Podle této teorie probíhá proces tvrdnutí ve dvou fázích. V první fázi dochází k postupnému rozpouštění cementu ve vodě (hydrolyza + hydratace), čímž vznikne přesycený roztok. Druhou fází je krystalizace z roztoku a vylučování vzájemně propojených krystalů.

- Koloidní teorie

Koloidní teorie rovněž předpokládá, že proces tvrdnutí probíhá ve dvou fázích. V první fázi dochází k částečnému rozpouštění cementu ve vodě a tvorbě koloidní hmoty z CA-, CS-, a CF-hydrátů, čímž vznikají takzvané C-S-H gely. Ve druhé fázi pak dochází ke smrštění hydrogelu vlivem vnitřního odsávání vody nehydratovanými cementovými zrny.

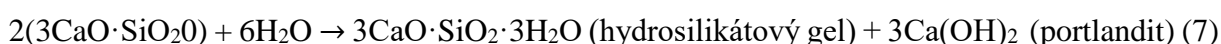
1.7.1 Periody hydratace cementu

Hydrataci cementu můžeme rozdělit do těchto základních period:

1.7.1.1 Smíchání s vodou (předindukční perioda)

Tato perioda trvá 10 až 15 minut od prvního kontaktu zrn cementu se záměsovou vodou. Proces rozpouštění je rychlý a hydratace je exotermická. Dochází nejprve ke smáčení zrn cementu s vodou a k první reakci se slínkovými minerály.

Reakce C₃S za vzniku hydrosilikátového gelu a portlanditu:

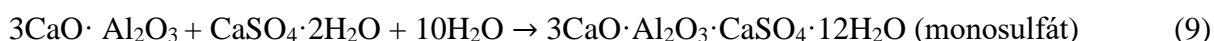


Současně probíhá reakce C₃A za přítomnosti regulátoru tuhnutí sádrovce (CaSO₄·2H₂O). Sádrovec v důsledku hydrolyzy přechází do roztoku, jenž je vlivem hydratačních reakcí přesycen Ca(OH)₂. Při větším množství CaSO₄ dochází ke vzniku ettringitu:



Sádrovec modifikuje reakční rychlosti a současně mění reakční produkt z C-A-H na ettringit. Ettringit vznikající v prvních minutách se označuje jako primární. Tento ettringit pokrývá povrch C₃A a C₄AF a tím zabraňuje kontaktu vody a kalciumaluminátů.

Při menším množství CaSO₄ dochází ke vzniku monosulfátu:

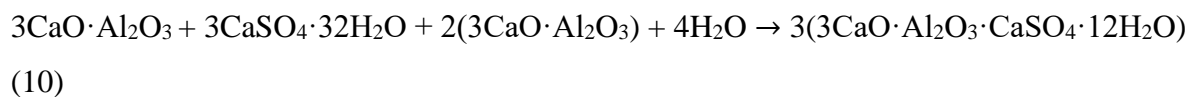


Optimální množství přidaného sádrovce se pohybuje v rozmezí 7-8 % ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Množství je nižší, než by bylo potřeba pro transformaci všeho C_3A na ettringit. Vyšší množství sádrovce by mohlo způsobit tvorbu ettringitu ještě dlouho po tuhnutí cementu a tím by došlo ke vzniku trhlin. V případě, že by sádrovec nebyl přítomen, výsledkem by byl vznik plochých krystalů C-A-H a C-A(F)-H, které působí mezi cementovými zrny a tím způsobují rychlé tuhnutí.

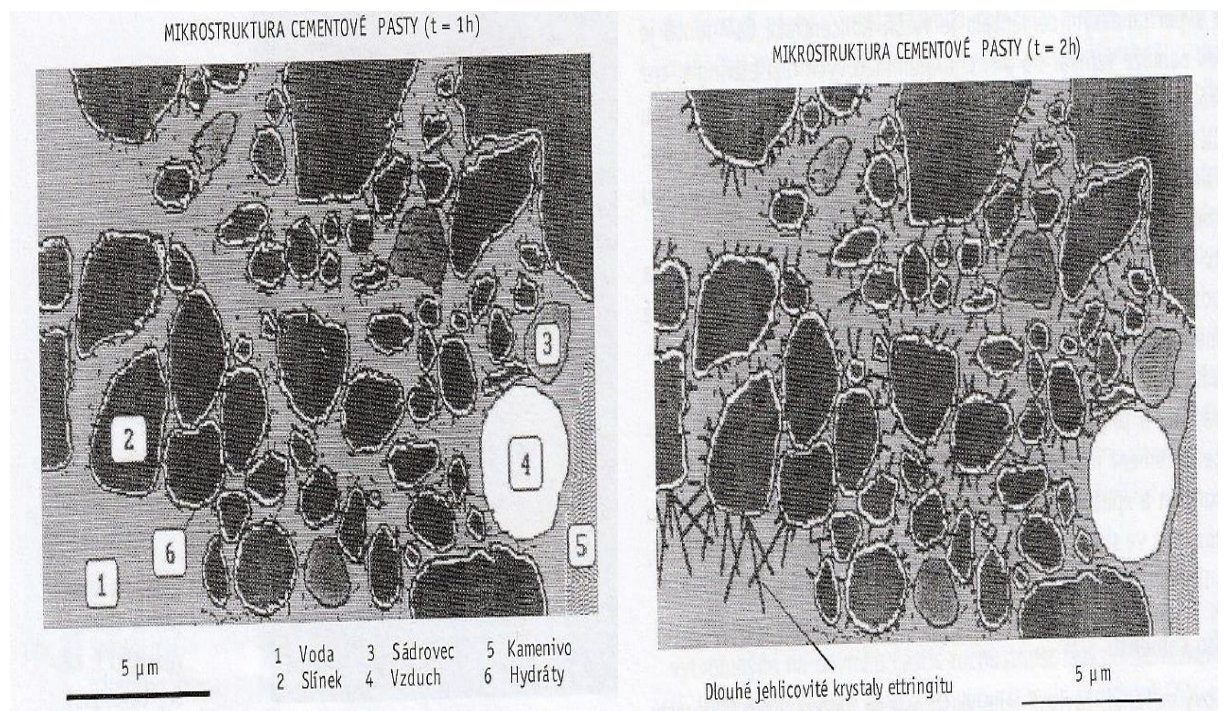
1.7.1.2 Indukční perioda

V této periodě dochází k nárůstu viskozity suspenze, úbytku silikátů a tvoří se zárodky krystalů C-S-H a CH. Rychlost uvolňování hydratačního tepla je pomalejší.

Současně pokračuje tvorba krystalického ettringitu, který postupně přechází na monosulfát tvořící destičky:



Z jemných krystalků se začnou tvořit velké tyčinkovité krystaly. Tyčinkovité krystaly zubovitě spojí jednotlivá zrna a tím se dosáhne prvního zpevnění směsi.

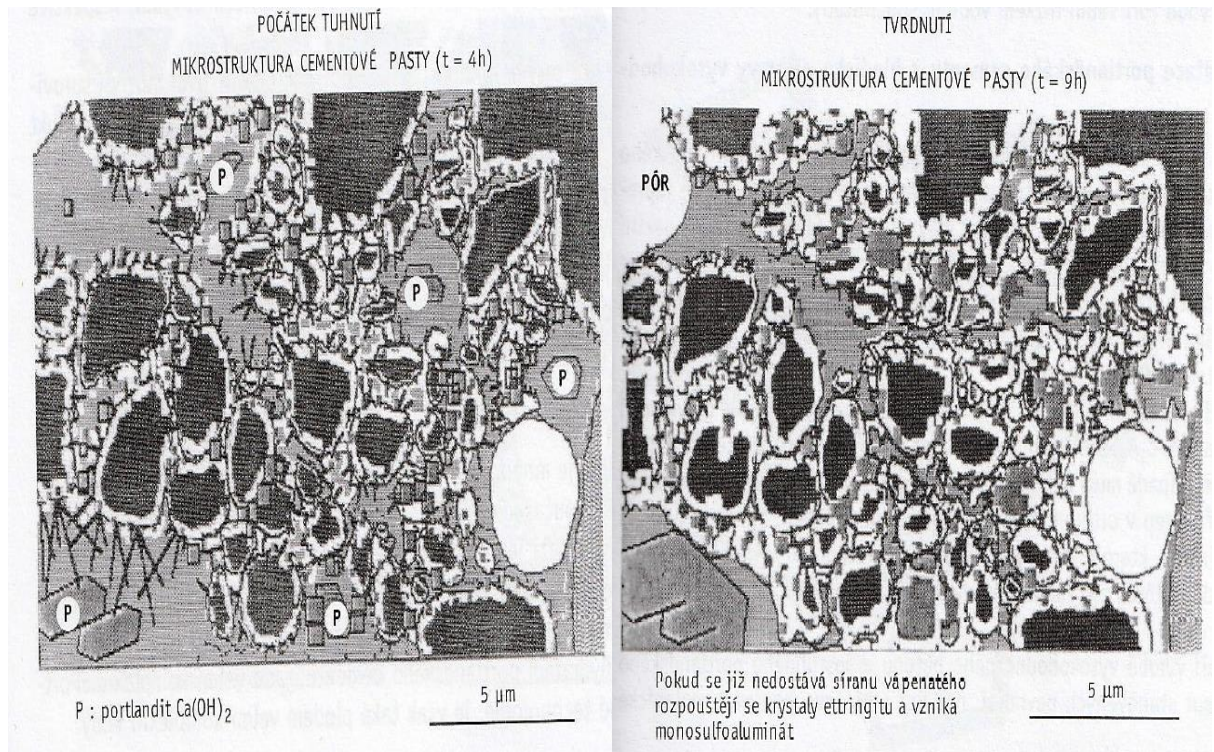


Obrázek 9: Mikrostruktura cementové pasty ve stáří $t = 1$ h (vlevo) a $t = 2$ h (vpravo) [11]

Indukční perioda končí zhruba po 2 hodinách od smíchání s vodou. Na konci této perioda je pevnost v tlaku cementového tmele menší než 100 kPa.

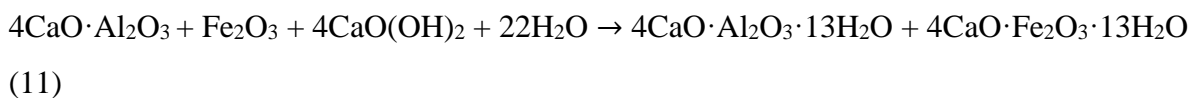
1.7.1.3 Urychlující perioda

Cementová pasta přechází do tuhého skupenství, důsledkem rozvoje základní hydratační reakce C_3S za vzniku dlouhovláknitého kalciumhydrosilikátu C-S-H a zvětšených krystalků portlanditu. Dochází k přibližování zrn cementu, důsledkem prorůstání jednotlivých krystalů a vytvoření základu mikrostruktury cementového kamene. Pevnost cementové pasty narůstá na hodnoty 1 až 20 MPa v závislosti na jemnosti mletí, chemismu slínku a dalších faktorech.



Obrázek 10: Mikrostruktura cementové pasty ve stáří $t = 4$ h (vlevo) a $t = 9$ h (vpravo) [11]

Dochází také k hydrataci C_4AF :



1.7.1.4 Konečná perioda

V této periodě dochází k vytvoření stabilní struktury cementového kamene. Vznikají drobnovláknité fáze C-S-H a ettringit postupně přechází na monosulfát.

Probíhá hydratace nehydratovaných cementových zrn a hydratace C_2S :



Toto období ještě dělíme na období klesající hydratace (přibližně 28 dní) a období dozrávání, trvající několik let [5], [10], [11], [14].

1.8 Zkoušky cementu

1.8.1 Stanovení pevnosti

- Pevnost v tahu za ohybu

Stanovení pevnosti v tahu za ohybu je prováděno na zkušebních tělesech zhotovených dle normy ČSN EN 196-1 ve tvaru trámečků o rozměrech 40 x 40 x 160 mm. Tato tělesa se uloží do zkušebního stroje, a to kolmo na válcové podpěry. Vzdálenost mezi podpěrami je 100 mm. Zatížení je realizováno zatěžovacím válcem a zvyšuje se rovnoměrnou rychlostí (50 ± 10) N/s do zlomení. Výsledná pevnost v tahu za ohybu je stanovena dle vztahu:

$$R_f = \frac{1,5 \times F_t \times l}{b^3} \quad (13)$$

kde:

R_f je pevnost v tahu za ohybu [MPa].

F_t je zatížení na střed trámečku [N].

l je vzdálenost mezi podporami [mm].

b je strana čtvercového průřezu trámečku v [mm].

- Pevnost v tlaku

Pevnost v tlaku se stanovuje na polovinách trámečků po zkoušce pevnosti v tahu za ohybu, které jsou uchovávány do doby zkoušky přikryté vlhkou tkaninou. Poloviny trámečků se vloží mezi ocelové destičky zkušebního stroje. Destičky vymezují velikost tlačené plochy. Rozměry destiček jsou 40 x 40 x 10 mm. Zatížení je zvyšováno rychlostí (2400 ± 200) N/s až do porušení. Výsledná pevnost v tlaku je pak:

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (14)$$

kde:

R_c je pevnost v tlaku v [MPa].

F_c je nejvyšší zatížení při porušení [N].

Výsledkem zkoušky pevnosti v tahu za ohybu je aritmetický průměr tří hodnot stanovených na sadě tří zkušebních těles s přesností 0,1 MPa. U pevnosti v tlaku se vyjádří průměrná aritmetická hodnota ze šesti jednotlivých výsledků uvedená s přesností 0,1 MPa.

Pokud se jedna z naměřených hodnot liší o více než 10 % od průměru, je nutné jí vyřadit a vypočítat nový aritmetický průměr zbylých hodnot. V případě dalších odlišností se výsledek zkoušky považuje za neplatný [17].

1.8.2 Chemický rozbor cementu

Chemický rozbor cementu se provádí referenční metodou, popřípadě pro určité případy alternativní metodou, která je popsána pro stanovení (Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , SiO_2 , MgO , SO_3 a dalších) při použití rentgenfluorescenční spektrometrie (XRF). Jednotlivé postupy pro chemický rozbor mokrou cestou (postup zkoušení, používané chemikálie a zkušební zařízení) a chemický rozbor rentgenfluorescenční spektrometrií jsou uvedené v příslušné normě [18].

1.8.3 Stanovení dob tuhnutí a objemové stálosti

- Stanovení dob tuhnutí

Ke stanovení doby tuhnutí se používá Vicatův přístroj s připevněnou penetrační jehlou. Vicatův prstenec se naplní kaší normální konzistence dle normy.

Prstenec se uloží na destičku do nádoby, která je naplněna vodou. Povrch kaše musí být nejméně 5 mm pod hladinou. Nádoba s prstencem se postaví pod jehlu Vicatova přístroje. Jehla se nastaví, tak aby byla ve styku s povrchem cementové kaše, zůstane v této poloze 1 až 2 sekundy. Poté se pohyblivá část uvolní a jehla se nechá vnikat do cementové kaše. Provede se odečet hodnoty a vše se uvede do protokolu. Vpichy se opakují na stejné cementové kaši v daných místech ve vhodných časových intervalech. Prstenec s kaší se následně použije pro stanovení konce tuhnutí.

Počátek tuhnutí je doba od vsypání cementu do vody k okamžiku, kdy mezi jehlou a podložní destičkou je (6 ± 3) mm.

Konec tuhnutí je doba od okamžiku, kdy kruhový nástavec jehly poprvé nezanechá obrys na tvrdnoucím povrchu cementové kaše [19].



Obrázek 11: Vicatův přístroj [20]

- Objemová stálost

Zkušebním zařízením pro stanovení objemové stálosti je Le Chatelierova objímka. Objímka se naplní kaší normální konzistence a umístí se do vlhkého prostředí, kde se ponechá po dobu 24 hodin \pm 30 minut. Poté se změří vzdálenost hrotů tyčinek (A) s přesností 0,5 mm. Objímka se poté zahřívá ve vodní lázni (30 ± 5) minut až do varu a tento stav se udržuje 3 hodiny \pm 5 minut, po dokončení můžeme změřit vzdálenost hrotů tyčinek (B). Horká objímka se vyjme z lázně a ochladí se. Změří se vzdálenost hrotů tyčinek (C) s přesností 0,5 mm. Vypočte se rozdíl (C-A) s přesností 1 mm. Pokud je výsledek větší než určená hodnota, je nutno opakovat [19].



Obrázek 12: Le Chatelierova objímka [20]

1.8.4 Kvantitativní stanovení hlavních složek

Stanovují se chemické složky pro obecný postup selektivním rozpouštěním (obsah oxidu sírového a uhličitého, zbytky po rozpouštění v roztoku EDTA a kyseliny dusičné, obsah sulfidu v cementu a ve zbytku po rozpouštění v roztoku EDTA) a pro postupy rozborů cementů se třemi složkami (obsah oxidu sírového a uhličitého, ztráty žíháním, oxidu vápenatého, oxidu hořečnatého a oxidu manganatého, obsah sulfidů a nerozpustného zbytku.

U postupu selektivního rozpouštění se na jednu část cementu působí roztokem, který obsahuje triethanilamin, diethylamin a EDTA. Na druhou část se působí zředěnou kyselinou dusičnou. Výsledek těchto rozpouštění a další dodatečná stanovení umožní vypočítat obsahy různých složek cementu. U cementu se třemi složkami stanovujeme obsah (strusky, popílku, přírodního pucolánu) [21].

1.8.5 Zkouška pucolanity pucolánových cementů

Zkouška puconality se provádí porovnáním koncentrace iontů vápníku (vyjádřen jako oxid vápenatý) ve vodném roztoku, který je ve styku s hydratovaným cementem s množstvím iontů vápníku v nasyceném roztoku stejné alkality. Hodnoty koncentrace hydroxylových iontů a iontů vápníku se vynesou do grafu. Cement vyhoví zkoušce, jestliže je koncentrace iontů vápníku v roztoku nižší než koncentrace roztoku nasyceného [22].

1.8.6 Stanovení jemnosti mletí

- Permeabilní metoda (Blaine)

Jemnost mletí cementu je vyjádřena jako měrný povrch vypočtený z času potřebného pro průtok určitého množství vzduchu zhutněným cementovým lůžkem stanovené velikosti a porozity. Pro měření se používá Blainův přístroj, který je složen z průtokové komory, pístu a měřicí manometrické trubice.

Zkoušený vzorek cementu se nejprve protřepává v uzavřené nádobce po dobu 2 minut a další 2 minuty se nechá stát. Následně se prášek promíchá, aby bylo dosaženo rovnoměrného rozdělení jemného podílu v cementu. Před měřením se stanoví měrná hmotnost pomocí pyknometru a připraví se cementové lůžko dle normy ČSN EN 196-6.

Vlastní zkouška začíná nasazením kuželové části průtokové komory do manometru.

Horní část komory se uzavře zátkou. Otevře se kohout a natáhne se kapalina k uvedené značce, následně se kohout uzavře. Poté se odstraní zátka, čímž začne hladina kapaliny klesat, po dosažení druhé značky se spustí stopky. Stopky vypneme až v okamžiku dosažení třetí značky. Čas zaznamenáváme s přesností 0,2 sekund a teplotu s přesností na 1 °C. Celý postup provedeme ještě jednou a zaznamenáme nové hodnoty času a teploty. Poté se připraví nové cementové lůžko a znovu se provedou dvě měření a zaznamenají se hodnoty.

Výsledný měrný povrch [cm^2/g] se vypočítá podle vztahu uvedeného v normě [23].

- Prosévací metoda proudem vzduchu

Zkouška se provádí na normalizovaných sítích, používají se síta s otvory 63 μm a 90 μm . Laboratorní vzorek se nejprve vysuší, naváží se ($25 \pm 0,2$) g cementu s přesností 0,01 g.

Vzorek cementu se převede na síto. Na síto se umístí poklop a zařízení se uvede do provozu. Po uplynutí ($5,0 \pm 0,2$) minut se zařízení vypne a síto se sejme. Zvážíme zbytek na síti zahrnující i setřené částice ze síta s přesností 0,01 g.

Zkušební síto se znovu umístí na přístroj a přesype se na něj celý zvážený zbytek. Zkušební postup se opakuje do konce prosévání. Konečná hodnota zbytku se zváží s přesností 0,01 g. Vyjádří se hmotnost zbytku na síti v procentech s danou přesností.

Celý postup opakujeme s novým vzorkem. Po dokončení druhého měření stanovíme výsledný zbytek cementu na síti jako průměrnou hodnotu z prvního a druhého měření s přesností 0,01 % [23].

1.8.7 Postupy pro odběr a úpravu vzorků cementu

Pro odběr vzorku cementu se použije nejvhodnější zařízení podle postupů uvedených v normě. Po odběru vzorku musí být provedena homogenizace. Následuje dělení vzorku na požadovaný počet. Velikost všech daných vzorku (laboratorní, kontrolní, archivní) má být taková, aby bylo možné provést dvakrát všechny předepsané zkoušky [24].

1.8.8 Stanovení hydratačního tepla

- Rozpouštěcí metoda

Zkouška se provádí v kalorimetru. Kalorimetr je složen z rozpouštěcího zařízení, teploměru, násypky a míchadla. Při této metodě stanovujeme rozpouštěcí teplo nehydratovaného a hydratovaného cementu ve směsi kyselin. Množství kyselin se volí podle hmotnosti nebo objemu, aby byla hladina kapaliny přibližně 2 cm pod uzávěrem kalorimetru. Zvolené množství se vlije do nádoby, směs kyselin se míchá 40 až 50 minut. V případě, že vzestup teploty je ustálený, tak začneme měřit čas a počáteční teplotu \bar{T}_{15} . Po uplynutí 15 minut se změní teplota T_0 a vsype se vzorek. Směs se míchá 30 minut, po kterých se považuje rozpuštění za úplné a zaznamenává se teplotní hodnota \bar{T}_{30} a teplota okolního prostředí (T_a). V případě, že je rozdíl hodnot T_a a \bar{T}_{30} menší než 0,5 °C, zkouška se opakuje. Po dalších 15 minutách se měří teplota \bar{T}_{45} .

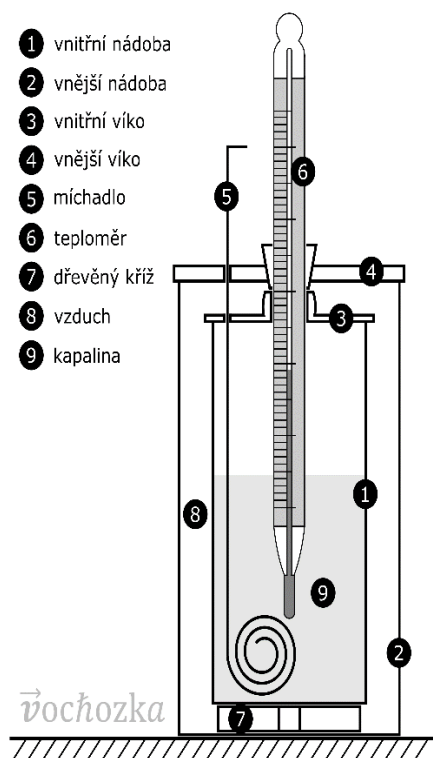
Rozpouštěcí teplo nehydratovaného cementu se pak vypočítá podle vztahu uvedeného v normě. U hydratovaného cementu se vzorek vyjme ze zkumavky a zdrobní se pomocí síta 600 μm . Čas zdrobňování vzorku nesmí překročit 15 minut. Vzorek se poté vloží do utěsněné nádobky a protřepáním se zhomogenizuje. Kalorimetrické stanovení se provádí stejně jako u nehydratovaného cementu. Množství cementu pro stanovení rozpouštěcího tepla je vyšší o 40 % oproti nehydratovanému cementu.

Hydratační teplo se určí z rozdílu rozpouštěcího tepla nehydratovaného cementu a hydratovaného cementu [25].

- Semiadiabatická metoda

Připravíme vzorek malty odpovídajícího složení podle normy o hmotnosti (1575 ± 1) g. Malta se naváží do nádobky a usadí se víko. Pouzdro na teploměr se naplní olejem. Nádobka se zváží s přesností $\pm 0,5$ g a přemístí se do zkušebního zařízení a uzavře se izolační zátkou. Zkušebním zařízením je kalorimetr, který je složen z izolační nádobky, utěsněné zátkou a umístěné v pevném obalu. Za zahájení zkoušky se považuje čas, kdy byla přidána voda. Měření spočívá v odečtu teploty zkušebního vzorku a interního vzorku (v referenčním kalorimetru).

První odečet teploty se provede v prvních 30 minutách a následují další ve stanovených časech. Hydratační teplo v joulech na gram cementu se pak spočítá jako součet množství tepla nahromaděného v kalorimetru a tepelných ztrát do okolního prostředí podle vzorce uvedeného v normě [26].



Obrázek 13: Kalorimetr [27], [28]

1.8.9 Stanovení obsahu ve vodě rozpustného chrómu (Cr^{6+}) v cementu

Zkouška se provádí na homogenním vzorku, který získáme úpravou laboratorního vzorku. Z laboratorního vzorku se prostřednictvím děliče vzorků nebo kvartací odebere asi 1 000 g. Vzorek se vnese do čisté nádoby se vzduchotěsným uzávěrem a promíchá se.

Dle normy se zhotoví malta, která se předepsanou dobu míchá a poté filtruje. Z filtrátu se odebere alikvotní objem, ke kterému se přidá s-difenyلكarbazid a okyslí se na úzké rozmezí pH. Chróm (Cr^{6+}) vytvoří v tomto kyselém prostředí červenofialový komplex, jeho absorbance se proměřuje spektrometricky při 540 nm. Sestrojí se kalibrační křivka vynesemím změřených hodnot absorbance proti koncentraci chróm (Cr^{6+}). Koncentrace ve vodě rozpustného chrómu (Cr^{6+}) se potom stanoví z kalibrační křivky. Obsah chrómu se vypočítá v procentech hmotnosti cementu v dodaném stavu s přesností 0,00001 % ze vztahu uvedeného v normě [29].

1.9 Požadavky na mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti

Tabulka 4: Požadavky na mechanické a fyzikální vlastnosti [16]

Pevnostní třída	Pevnost v tlaku MPa				Počátek tuhnutí minuta	Objemová stálost (rozepnutí) mm
	Počáteční pevnost		Normalizovaná pevnost			
	2 dny	7 dnů	28 dnů			
32,5 L ^a	-	≥ 12,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
32,5 N	-	≥ 16,0				
32,5 R	≥ 10,0	-				
42,5 L ^a	-	≥ 16,0	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	
42,5 N	≥ 10,0	-				
42,5 R	≥ 20,0	-				
52,5 L ^a	≥ 10,0	-	≥ 52,5	-	≥ 45	
52,5 N	≥ 20,0	-				
52,5 R	≥ 30,0	-				

^a Třída pevnosti určená pouze pro cementy CEM III.

Tabulka 5: Požadavky na chemické vlastnosti [16]

1	2	3	4	5
Vlastnost	Metoda zkoušení	Druh cementu	Pevnostní třída	Požadavky ^a
Ztráta žíháním	EN 196-2	CEM I CEM III	všechny	≤ 5,0 %
Nerozpustný zbytek	EN 196-2 ^b	CEM I CEM III	všechny	≤ 5,0 %
Obsah síranů (jako SO ₃)	EN 196-2	CEM I CEM II ^c CEM IV CEM V	32,5 N 32,5 R	≤ 3,5 %
			42,5 N 42,5 R 52,5 N 52,5 R	≤ 4,0 %
		CEM III ^d	všechny	
Obsah chloridů	EN 196-2	všechny ^e	všechny	≤ 0,10 %
Pucolanita	EN 196-5	CEM IV	všechny	musí vyhovět

^a Požadavky jsou uvedeny jako procenta hmotnosti v hotovém cementu.

^b Stanovení nerozpustného zbytku v kyselině chlorovodíkové a v uhličitane sodném.

^c Cementy druhu CEM II/B-T a CEM II/B-M s obsahem T > 20 % smí u všech pevnostních tříd obsahovat až 4,5 % síranů (jako SO₃).

^d Cement druhu CEM III/C smí obsahovat až 4,5 % síranů.

^e Cement druhu CEM III smí obsahovat více než 0,10 % chloridů, avšak v tom případě musí být maximální obsah chloridů uveden na obalech a/nebo v průvodní dokumentaci.

^f Cementy pro předpínané prvky mohou být vyráběny s nižší požadovanou hodnotou.

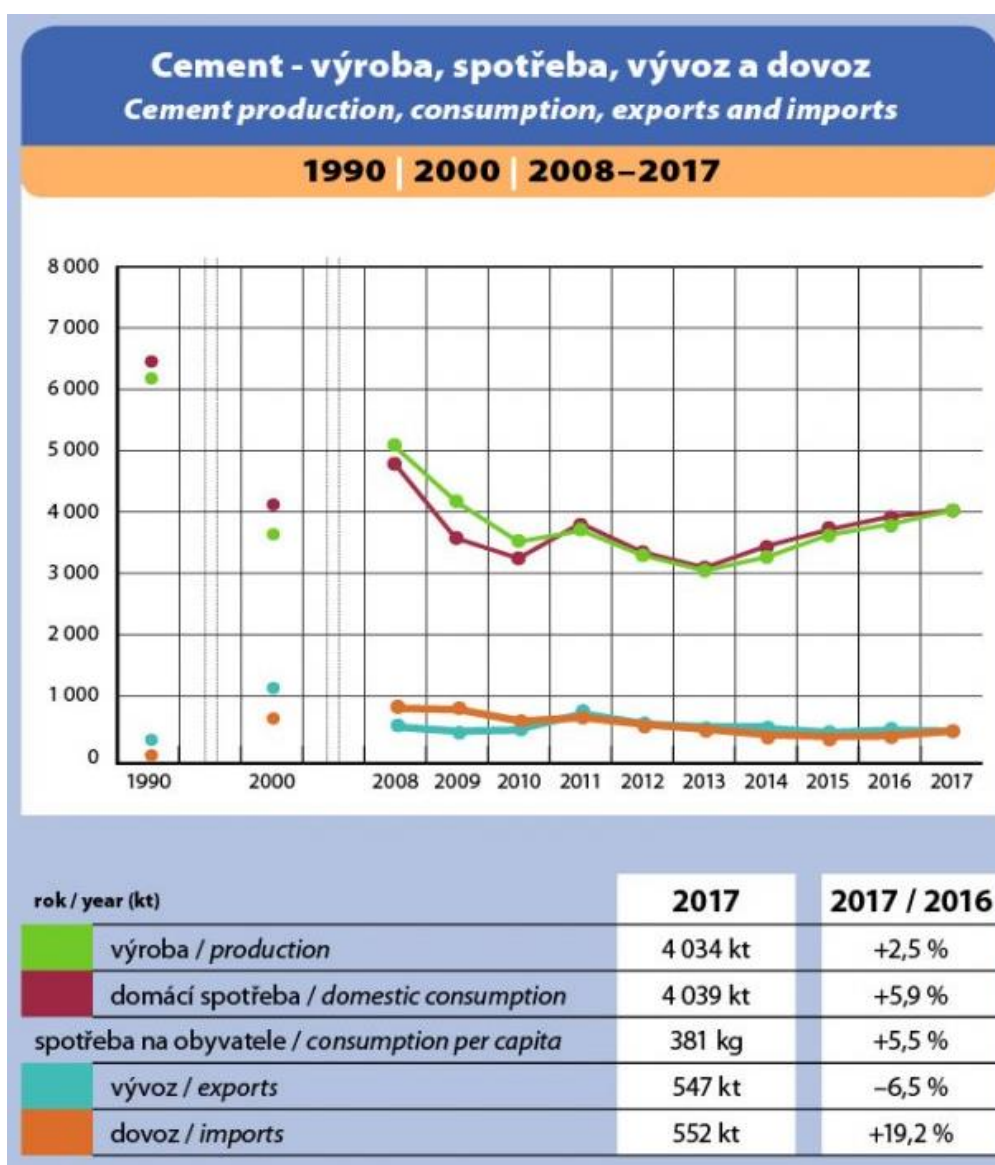
V tom případě musí být hodnota 0,10 % nahrazena touto nižší hodnotou a ta musí být uvedena v průvodní dokumentaci.

1.10 Cementový průmysl v České republice

V České republice se v roce 2017 vyrobilo **4 034 kt** cementu, což je více než v předchozích letech. Dovoz (**552 kt**) a vývoz (**547 kt**) jsou téměř v rovnováze, přičemž hodnota dovozu neustále stoupá (+19,2 %), naopak vývoz klesá (-6,5 %).

Nejvíce cementu se vyváží na Slovensko (přibližně 60 %), následuje Německo (33 %), zbytek připadá na Polsko a Rakouskou. Z hlediska dovozu (**552 kt**) pochází téměř 50 % cementu ze Slovenska a více než třetina z Polska.

Mezi největší spotřebitele cementu patří betonárny a výrobci prefabrikovaných dílců (zhruba 75 %) [30], [31].



Obrázek 14: Výroba, spotřeba, dovoz a vývoz cementu [30]

V případě dovozu cementu do konkrétního zařízení (např. betonárny) hraje významnou roli z hlediska výsledné ceny jejich vzájemné geografické umístění. Obchodovatelná vzdálenost cementu se pohybuje okolo 300 km [31]. V následujících tabulkách (6 a 7) jsou uvedené možné alternativy výrobců nacházejících se v přijatelné vzdálenosti. Jako cílové místo dodání byly uvažovány **Pardubice**.

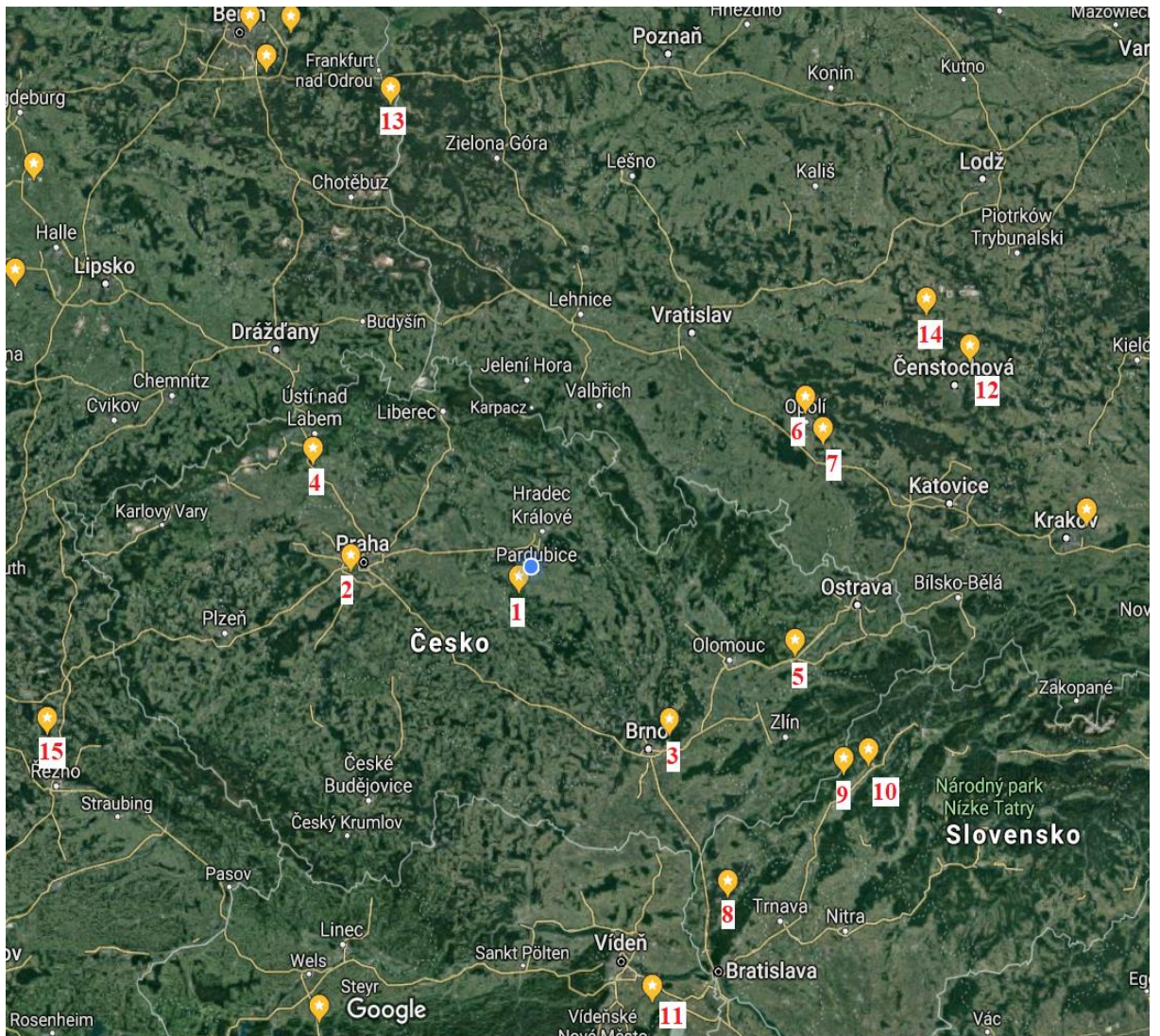
Tabulka 6: Tuzemské cementárny

Označení	Název společnosti	Umístění	Vzdálenost do Pardubic [km]
1	Cemex Czech Republic, s.r.o.	Prachovice	24
2	Českomoravský cement, a.s.	Radotín	135
3	Českomoravský cement, a.s.	Mokrá	153
4	Lafarge cement, a.s.	Čížkovice	173
5	Cement Hranice, a.s.	Hranice	184

Tabulka 7: Zahraniční cementárny

Označení	Název společnosti	Umístění	Vzdálenost do Pardubic [km]
6	Cementownia Odra S.A.	Opole (Polsko)	230
7	Góraždze Cement S.A.	Góraždze (Polsko)	240
8	CRH PLC	Rohožník (Slovensko)	260
9	Cemmac a.s.	Horné Srnie (Slovensko)	272
10	Považská cementáreň, a.s.	Ladce (Slovensko)	282
11	Lafarge Zementwerk GmbH	Mannersdorf (Rakousko)	320
12	Cemex Polska	Rudniki (Polsko)	326
13	Cemex OstZement GmbH	Eisenhüttenstadt (Německo)	345
14	Cementownia Warta S.A.	Warta (Polsko)	360
15	HeidelbergCement AG	Burglengenfeld (Německo)	368

Kromě výše uvedených cementáren jsou na obrázku 15 vyznačeni ještě další výrobci, jejichž dojezdová vzdálenost se vzhledem k Pardubicím pohybuje nad 400 km.



Obrázek 15: Mapa výrobců cementu, upraveno z [32]

Při zkoumání situace v Pardubickém kraji bylo zjištěno, že většina betonáren odebírá cement Odra (Polsko), dále se bylo možné setkat s cementem Warta (Polsko) a z domácích výrobců (Prachovice, Mokrá a Čížkovice).

U baleného cementu převládá cement Prachovice, ze zahraničních cementů je možné se setkat pouze s cementem Odra.

II. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V experimentální části byl porovnáván cement CEM I 42,5 R od pěti zahraničních výrobců. Při výběru vzorků k testování nehrála roli vzdálenost uvedená v tabulkách 6 a 7, ale dostupnost z pohledu celého tuzemského trhu. Byli vybráni následující zástupci:

- Cementownia Odra S.A. (Polsko)
- Cementownia Warta S.A. (Polsko)
- Spenner Zementwerk Berlin GmbH & Co. KG, (Německo)
- Cemex OstZement GmbH Rüdersdorf (Německo)
- CRH Rohožník (Slovensko)

Většina vzorků byla zakoupena v podobě baleného cementu, výjimku tvoří pouze cementy Warta a Rüdersdorf, ty byly odebrány přímo ze sila na příslušné cementárně.

Za účelem porovnání s domácí výrobou byly zařazeny ještě tuzemské cementy:

- Cemex Czech Republic, s.r.o. Prachovice
- Lafarge cement, a.s. Čížkovice

2. Měřicí přístroje

2.1.1 Váha Matest

K navážení potřebného množství cementu a vody byla použita váha Matest s přesností 0,1 g.



Obrázek 16: Váha Matest

2.1.2 Zhutňovací zařízení

Ke zhutnění naplněných forem byl použit vibrační stolek, který se skládá z horní desky a dvou příložných vibrátorů. Horní část stolku je navíc pružně oddělena od spodní části, čímž je zabráněno přenosu vibrací.



Obrázek 17: Vibrační stolek

2.1.3 Zatěžovací lis

Stanovení jednotlivých pevností probíhalo na lisu Matest s dvojitou testovací komorou a dvěma nezávislými měřícími rozsahy 250 kN a 15 kN s čidly zatížení a řídicí jednotkou Servo-plus.



Obrázek 18: Zatěžovací lis Matest C104

2.1.4 Míchací zařízení

Míchačka je složená z nádoby o objemu přibližně 5 litrů, ocelové metly, která se pomocí elektromotoru otáčí kolem své osy stanovenou rychlostí. V horní části se nachází násypka, která je ovládaná automaticky. Na panelu míchačky je umístěno programovací relé.

Přepínač v horní části panelu umožňuje volbu programu míchání. Program 1 vyhovuje požadavkům na doby míchání stanovené normou ČSN EN 196-3 a program 2 vyhovuje požadavkům normy ČSN EN 196-1.



Obrázek 19: Automatická míchačka Stast

2.1.5 Další pomůcky a nástroje použité při experimentu

- Vicatův přístroj
- Váha KERN EW 600 (navážení superplastifikátoru)
- Minikužel
- Zednické nářadí, štětce, formovací olej, stopky, posuvné měřítko
- Odměrný válec, stříčka na vodu

3. Zkoušení cementů

3.1 Zhotovení a ošetřování zkušebních těles

Zhotovení a ošetřování zkušebních těles probíhalo v souladu s normou ČSN EN 196-1 [17]. Před mícháním proběhlo odvážení daného množství cementu, vody a nastavení druhého programu na míchacím zařízení, který splňuje požadavky na jednotlivé etapy míchání stanovené normou.

Normalizovaný písek CEN EN 196-1 byl odebrán od Filtrační písky, spol. s r.o. Chlum. Písek byl zabalen v souladu s normou v sáčcích o hmotnosti (1350 ± 5) g.



Obrázek 20: Normalizovaný písek CEN EN 196–1

Ihned po namíchání malty se začalo se zhotovením zkušebních těles. Zkušební formy byly před plněním natřeny formovacím olejem pro snadnější odformování. Formy byly naplněny maltou do $\frac{1}{2}$ výšky a následně zhutněny na vibračním stolku. Po zhutnění byla doplněna druhá vrstva a rovněž zhutněna. Horní povrch byl urovnán ocelovým hladítkem. Všechny formy se označily identifikačními čísly a jednotlivé časy zhotovení se zaznamenaly.

Naplňené formy byly uloženy na paletu a zakryté nerezovou plechovou tabulí tloušťky 2 mm, která nereaguje s cementem. Celkem bylo zhotoveno 12 trámečků (4 formy) pro každý zkoušený druh cementu.



Obrázek 21: Zhotovená zkušební tělesa (vzorek Odra a Warta)

Po 24 hodinách byla všechna tělesa vyjmuta z forem a označena vodovzdornou barvou. Tělesa určená ke zkoušení po 48 hodinách, 7 a 28 dnech byla vložena do vodní lázně s teplotou přibližně 20 °C. Tělesa určená ke zkoušení po 24 hodinách byla po odbednění přikryta vlhkou tkaninou.



Obrázek 22: Uložení zkušebních těles ve vodní lázni

3.2 Stanovení pevnosti

Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku probíhalo v souladu s normou ČSN EN 196-1 [17]. Zkušební tělesa o rozměrech 40 x 40 x 160 mm byla nejprve očištěna a poté umístěna do zkušební lisu, na kterém byla nastavena rychlost zatěžování 50 N/s. Rozlomená zkušební tělesa byla následně přemístěna do zařízení pro stanovení pevnosti v tlaku s předem nastavenou rychlostí zatěžování 2 400 N/s. Tělesa byla zkoušena ve stáří 24 hodin, 48 hodin, 7 dní a 28 dní. Z naměřených hodnot byla vypočítána průměrná pevnost a vše bylo zaznamenáno do tabulek 8 až 15.



Obrázek 23: Zkoušení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku (vzorek Berlín)

3.2.1 Pevnostní charakteristiky po 24 hodinách

Tabulka 8: Pevnost v tahu za ohybu po 24 hodinách

Zkoušený cement	Vzorek	F_t [kN]	R_f [MPa]	Průměrná hodnota [MPa]
Prachovice	1	1,492	3,498	3,4
	2	1,446	3,390	
	3	1,393	3,266	
Čížkovice	1	2,227	5,220	5,4
	2	2,323	5,444	
	3	2,400	5,626	
Odra	1	1,538	3,604	3,8
	2	1,597	3,742	
	3	1,772	4,154	
Warta	1	1,385	3,246	3,3
	2	1,449	3,395	
	3	1,327	3,111	
Berlín	1	1,734	4,065	4,3
	2	1,987	4,656	
	3	1,772	4,154	
Rüdersdorf	1	2,706	6,343	6,1
	2	2,859	6,701	
	3	2,220	5,202	
Rohožník	1	2,032	4,763	5,4
	2	2,286	5,357	
	3	2,623	6,148	

Tabulka 9: Pevnost v tlaku po 24 hodinách

Zkoušený cement	Vzorek	F _c [kN]	R _c [MPa]	Průměrná hodnota [MPa]	Směrodatná odchylka [MPa]
Prachovice	1	21,335	13,334	12,6	0,44
	2	20,531	12,832		
	3	19,523	12,202		
	4	19,885	12,428		
	5	20,272	12,670		
	6	19,134	11,959		
Čížkovice	1	29,557	18,473	18,3	0,54
	2	29,888	18,680		
	3	29,373	18,358		
	4	28,250	17,656		
	5	28,103	17,564		
	6	30,142	19,080		
Odra	1	22,929	14,331	15,1	0,62
	2	24,796	15,498		
	3	25,398	15,874		
	4	24,325	15,203		
	5	22,622	14,139		
	6	24,519	15,324		
Warta	1	19,162	11,976	12,1	0,30
	2	19,902	12,439		
	3	19,680	12,300		
	4	19,550	12,219		
	5	19,236	12,022		
	6	18,422	11,513		
Berlín	1	26,438	16,523	16,7	0,46
	2	26,033	16,270		
	3	27,367	17,104		
	4	26,419	16,512		
	5	25,748	16,092		
	6	27,845	17,403		
Rüdersdorf	1	45,595	28,497	27,4	1,27
	2	41,283	25,802		
	3	44,481	27,801		
	4	44,665	27,916		
	5	40,939	25,587		
	6	46,193	28,870		
Rohožník	1	36,651	22,907	23	0,14
	2	36,853	23,033		
	3	36,909	23,068		
	4	36,485	22,803		
	5	37,001	23,125		
	6	37,157	23,223		

3.2.2 Pevnostní charakteristiky po 48 hodinách

Tabulka 10: Pevnost v tahu za ohybu po 48 hodinách

Zkoušený cement	Vzorek	F_t [kN]	R_f [MPa]	Průměrná hodnota [MPa]
Prachovice	1	2,753	6,452	6,7
	2	2,973	6,967	
	3	2,880	6,751	
Čížkovice	1	2,790	6,539	7,1
	2	3,137	7,353	
	3	3,138	7,355	
Odra	1	2,634	6,174	6,1
	2	2,739	6,419	
	3	2,472	5,793	
Warta	1	2,333	5,468	5,6
	2	2,477	5,806	
	3	2,307	5,408	
Berlín	1	2,708	6,347	6,5
	2	2,780	6,516	
	3	2,797	6,556	
Rüdersdorf	1	2,981	6,987	7
	2	2,945	6,903	
	3	3,088	7,238	
Rohožník	1	2,906	6,811	6,7
	2	2,837	6,649	
	3	2,825	6,621	

Tabulka 11: Pevnost v tlaku po 48 hodinách

Zkoušený cement	Vzorek	F _c [kN]	R _c [MPa]	Průměrná hodnota [MPa]	Směrodatná odchylka [MPa]
Prachovice	1	48,760	30,475	31,1	0,9
	2	49,478	30,924		
	3	51,323	32,077		
	4	47,923	29,957		
	5	48,887	30,487		
	6	51,912	32,445		
Čížkovice	1	54,351	33,969	33,6	0,89
	2	51,052	31,907		
	3	53,678	33,549		
	4	53,005	33,128		
	5	55,192	34,495		
	6	55,155	34,472		
Odra	1	43,929	27,456	26,7	0,44
	2	43,543	27,214		
	3	42,181	26,363		
	4	42,457	26,536		
	5	42,135	26,334		
	6	42,319	26,449		
Warta	1	46,441	29,026	27,8	0,65
	2	45,116	28,198		
	3	44,490	27,807		
	4	44,251	27,657		
	5	43,101	26,938		
	6	43,911	27,444		
Berlín	1	48,576	30,360	29,7	0,46
	2	46,864	29,290		
	3	46,533	29,083		
	4	48,355	30,222		
	5	47,352	29,595		
	6	47,647	29,779		
Rüdersdorf	1	55,520	34,700	34,8	0,55
	2	56,435	35,272		
	3	55,576	34,735		
	4	54,136	33,835		
	5	56,921	35,576		
	6	55,370	34,606		
Rohožník	1	58,305	36,440	35,4	0,47
	2	56,725	35,453		
	3	56,370	35,231		
	4	56,650	35,406		
	5	55,996	34,998		
	6	56,230	35,144		

3.2.3 Pevnostní charakteristiky po 7 dnech

Tabulka 12: Pevnost v tahu za ohybu po 7 dnech

Zkoušený cement	Vzorek	F_t [kN]	R_f [MPa]	Průměrná hodnota [MPa]
Prachovice	1	4,034	9,455	9,1
	2	3,918	9,183	
	3	3,656	8,570	
Čížkovice	1	4,068	9,534	8,8
	2	3,734	8,752	
	3	3,400	7,969	
Odra	1	3,147	7,377	7,5
	2	3,163	7,413	
	3	3,341	7,831	
Warta	1	3,807	8,923	8,7
	2	3,719	8,717	
	3	3,669	8,599	
Berlín	1	3,466	8,122	8,3
	2	3,411	7,995	
	3	3,767	8,830	
Rüdersdorf	1	3,642	8,537	8,4
	2	3,541	8,299	
	3	3,519	8,248	
Rohožník	1	3,434	8,050	8,2
	2	3,376	7,913	
	3	3,686	8,639	

Tabulka 13: Pevnost v tlaku po 7 dnech

Zkoušený cement	Vzorek	F _c [kN]	R _c [MPa]	Průměrná hodnota [MPa]	Směrodatná odchylka [MPa]
Prachovice	1	75,379	47,112	46,1	1,24
	2	75,520	47,200		
	3	72,903	45,654		
	4	69,983	43,683		
	5	75,202	47,001		
	6	73,118	45,699		
Čížkovice	1	76,193	47,620	47,9	1,01
	2	77,847	48,654		
	3	75,772	47,357		
	4	79,473	49,671		
	5	74,781	46,738		
	6	75,351	47,095		
Odra	1	66,791	41,744	42,5	0,66
	2	66,800	41,750		
	3	69,529	43,456		
	4	68,239	42,649		
	5	69,136	43,210		
	6	67,763	42,352		
Warta	1	74,884	46,803	46,4	1,25
	2	75,800	47,375		
	3	73,005	45,628		
	4	70,818	44,261		
	5	77,089	48,181		
	6	74,248	46,405		
Berlín	1	72,837	45,523	44	0,83
	2	69,108	43,193		
	3	70,258	43,911		
	4	68,968	43,105		
	5	71,351	44,595		
	6	70,174	43,859		
Rüdersdorf	1	73,520	45,950	46,5	1,51
	2	78,940	49,338		
	3	74,277	46,423		
	4	70,819	44,262		
	5	75,146	46,966		
	6	73,884	46,177		
Rohožník	1	79,192	49,495	49,3	0,47
	2	80,258	50,161		
	3	78,183	48,864		
	4	78,454	49,034		
	5	79,146	49,466		
	6	78,052	48,783		

3.2.4 Pevnostní charakteristiky po 28 dnech

Tabulka 14: Pevnost v tahu za ohybu po 28 dnech

Zkoušený cement	Vzorek	F_t [kN]	R_f [MPa]	Průměrná hodnota [MPa]
Prachovice	1	4,327	10,141	10,4
	2	4,465	10,465	
	3	4,517	10,587	
Čížkovice	1	4,835	11,332	10,6
	2	4,391	10,292	
	3	4,351	10,197	
Odra	1	3,971	9,306	9,2
	2	4,031	9,448	
	3	3,736	8,755	
Warta	1	4,484	10,508	10,1
	2	4,681	10,970	
	3	3,777	8,853	
Berlín	1	4,110	9,634	9,7
	2	4,027	9,437	
	3	4,256	9,976	
Rüdersdorf	1	4,387	10,281	10,1
	2	4,298	10,074	
	3	4,225	9,903	
Rohožník	1	4,113	9,639	10
	2	4,310	10,101	
	3	4,440	10,407	

Tabulka 15: Pevnost v tlaku po 28 dnech

Zkoušený cement	Vzorek	F _c [kN]	R _c [MPa]	Průměrná hodnota [MPa]	Směrodatná odchylka [MPa]
Prachovice	1	97,436	60,897	59	1,57
	2	97,473	60,920		
	3	95,174	59,484		
	4	92,753	57,971		
	5	91,482	57,176		
	6	91,641	57,276		
Čížkovice	1	90,099	56,312	56,5	0,91
	2	89,959	56,224		
	3	92,697	57,936		
	4	90,903	56,814		
	5	87,791	54,869		
	6	90,772	56,732		
Odra	1	82,660	51,662	50,3	0,90
	2	80,174	50,108		
	3	78,491	49,057		
	4	81,585	50,990		
	5	78,977	49,360		
	6	80,828	50,517		
Warta	1	89,819	56,137	56,4	0,83
	2	92,360	57,725		
	3	91,258	57,036		
	4	88,333	55,208		
	5	89,174	55,734		
	6	90,239	56,399		
Berlín	1	86,426	54,016	54,9	1,31
	2	90,529	56,581		
	3	90,155	56,347		
	4	88,239	55,149		
	5	84,491	52,807		
	6	87,174	54,484		
Rüdersdorf	1	89,164	55,728	56,8	1,14
	2	89,660	56,037		
	3	92,276	57,673		
	4	92,118	57,573		
	5	88,361	55,225		
	6	93,276	58,298		
Rohožník	1	98,660	61,662	58,6	1,62
	2	90,277	56,423		
	3	94,034	58,771		
	4	94,426	59,016		
	5	92,015	57,509		
	6	93,136	58,210		

3.2.5 Vyhodnocení pevnostních zkoušek

- Pevnost v tahu za ohybu

Na rozdíl od pevnosti v tlaku nejsou pro pevnost v tahu za ohybu normou dané žádné minimální hodnoty, které musí testovaný cement splňovat. Průměrná hodnota pevnosti byla vypočítána ze tří naměřených hodnot uvedených v tabulkách (8, 10, 12 a 14).

Největší počáteční pevnosti vykazovaly vzorky Rüdersdorf (6,1 MPa), Čížkovice a Rohožník (oba 5,4 MPa). Nejmenší hodnoty naopak Prachovice a Warta (3,4 a 3,3 MPa). Po uplynutí 28 dní byla u většiny vzorků naměřena pevnost okolo 10 MPa, pouze cementy Berlín (9,7 MPa) a Odra (9,2 MPa) nedosáhly hodnoty 10 MPa.

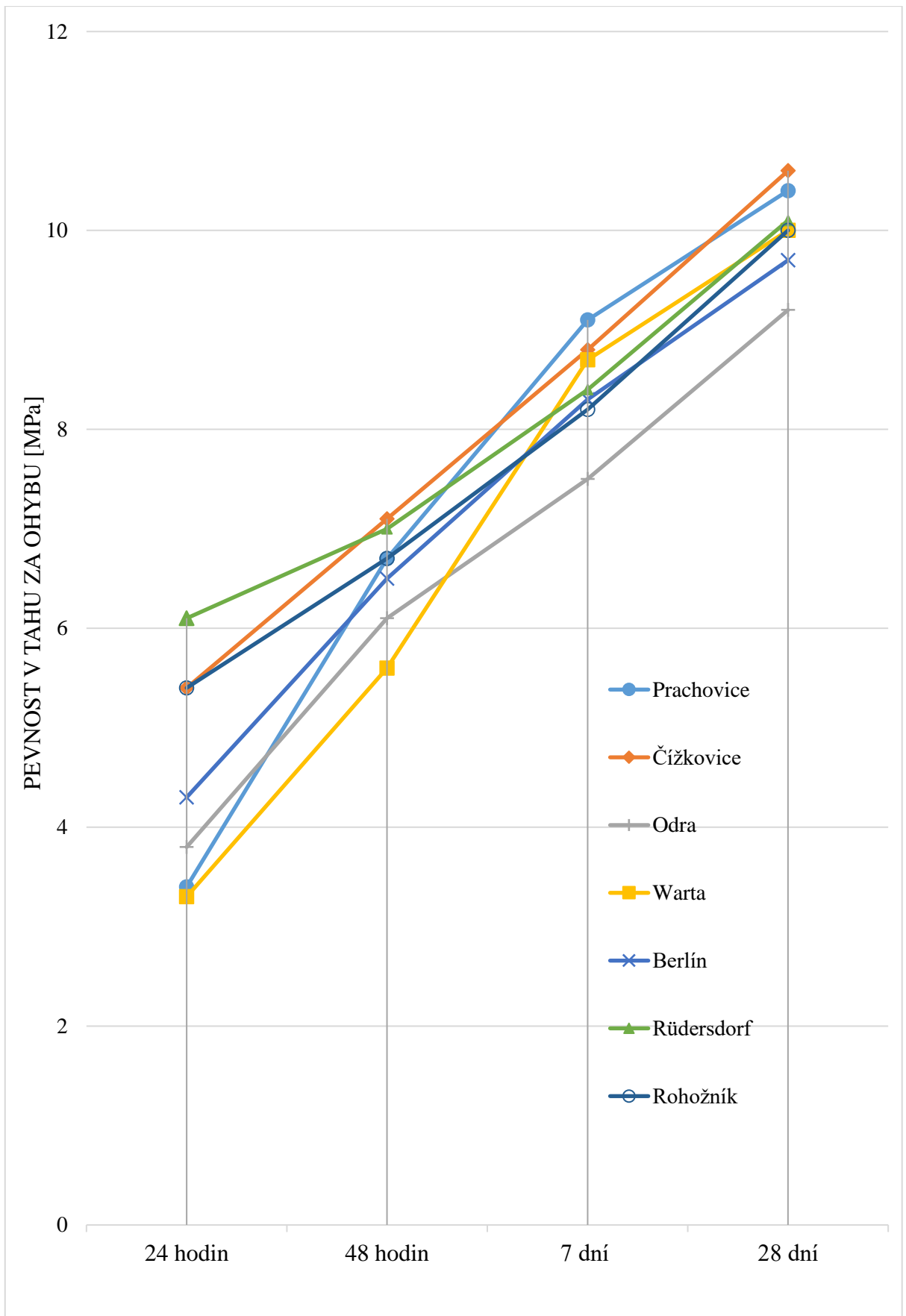
Podrobnější srovnání v průběhu času je patrné z obrázku 24.

- Pevnost v tlaku

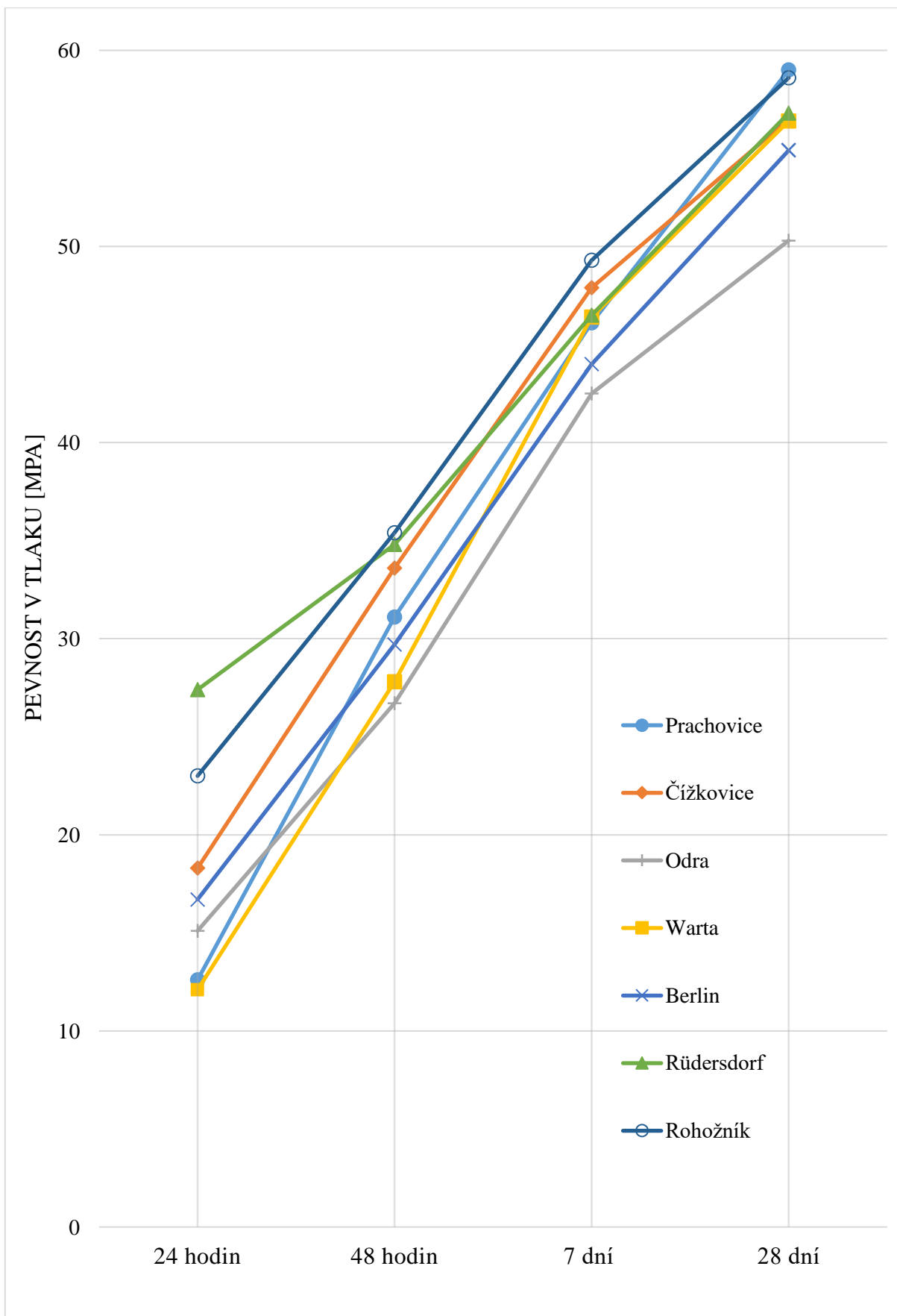
Průměrná pevnost v tlaku byla vypočítána z šesti naměřených hodnot uvedených v tabulkách (9, 11, 13 a 15). Žádná z naměřených hodnot se nelišila o více než 10 % od průměrné hodnoty a nebylo tedy nutné žádnou z nich vyřadit.

Nejvyšší počáteční pevnost (po 24 hodinách) vykazoval vzorek Rüdersdorf (27,4 MPa). Nejmenší hodnoty naopak vzorky Prachovice (12,6 MPa) a Warta (12,1 MPa). Tyto naměřené rozdíly jsou poměrně vysoké, nicméně z hlediska normy ČSN EN 196-1 je důležitá až hodnota po 48 hodinách (minimálně 20 MPa). Nejnižší hodnota po 48 hodinách byla naměřena u vzorku Odra (26,7 MPa) a nejvyšší u vzorku Rohožník (35,4 MPa). Z toho vyplývá, že všechny cementy splnily minimální hodnotu danou normou s jistou rezervou.

Další požadavek je na pevnost po 28 dnech, která má být v intervalu (42,5 až 62,5) MPa. Nejnižší hodnota byla zaznamenána u cementu Odra (50,3) MPa. Nejvyšší hodnota u cementu Prachovice (59 MPa) a Rohožník (58,6 MPa). Všechny cementy se tedy vešly do požadovaného intervalu normalizované pevnosti uvedeného v normě ČSN EN 196-1.



Obrázek 24: Nárůst pevností v tahu za ohybu během 28 dní



Obrázek 25: Nárůst pevností v tlaku během 28 dní

3.3 Stanovení normální konzistence, počátku a doby tuhnutí cementů

3.3.1 Stanovení normální konzistence

K zjištění normální konzistence se postupovalo podle příslušné normy ČSN EN 196-3 [19]. Pro stanovení byl použit Vicatův přístroj s ručním ovládáním. Před samotnou zkouškou byl upevněn penetrační váleček a nastavila se nulová hodnota na stupnici přístroje.

Na míchacím zařízení byl nastaven příslušný program, který odpovídá požadavkům na jednotlivé doby míchání uvedené v normě. Po dokončení míchání byl prstenec naplněn cementovou kaší a povrch urovnán ocelovým hladítkem. Prstenec byl neprodleně umístěn pod penetrační váleček, následně došlo k uvolnění a odečtení příslušné hodnoty na stupnici.

Celý postup se několikrát opakoval s cementovými kašemi, obsahujícími různé množství vody, dokud nebylo dosaženo normální konzistence. Cementová kaše má normální konzistenci, jestliže je vzdálenost mezi podložní destičkou a spodní plochou penetračního válečku 6 ± 2 mm (jako na obrázku 26). Výsledné hodnoty potřebného množství vody byly zaznamenány do tabulky 16 s přesností 0,5 %.



Obrázek 26: Normální konzistence

3.3.2 Stanovení dob tuhnutí

Při stanovení dob tuhnutí se postupovalo podle normy ČSN EN 196-3 [19]. Ve Vicatově přístroji byl nahrazen penetrační váleček jehlou a nastavena nulová hodnota na stupnici. Prstenec a podložní destička byli před zkouškou potřeni olejem, po namíchání kaše normální konzistence byl prstenec naplněn a povrch zarovnan ocelovým hladítkem. Naplněný prstenec s podložní destičkou se uložil do nádoby naplněné vodou. Při zkoušení bylo vzhledem k absenci normové nádoby nutné prstenec s podložní destičkou vytáhnout z nádoby a zkoušet bez ní. Po odzkoušení byl prstenec s destičkou okamžitě umístěn zpět do nádoby.

Vpichy se opakovaly po 10 minutách. Doba, která uplynula od smíchání cementu s vodou do doby, kdy byla vzdálenost mezi penetrační jehlou a podložní destičkou (6 ± 3) mm, byla zaznamenána do tabulky 14 v minutách jako začátek tuhnutí. Prstenec byl poté otočen pro stanovení konce tuhnutí a zkoušen pomocí jehly pro stanovení konce tuhnutí. Okamžik, kdy kruhový nástavec jehly nezanechal na cementové kaši kruhový obrys, byl vyhodnocen dle normy ČSN EN 196-3 jako konec tuhnutí cementové kaše a rovněž zaznamenán do tabulky 16.



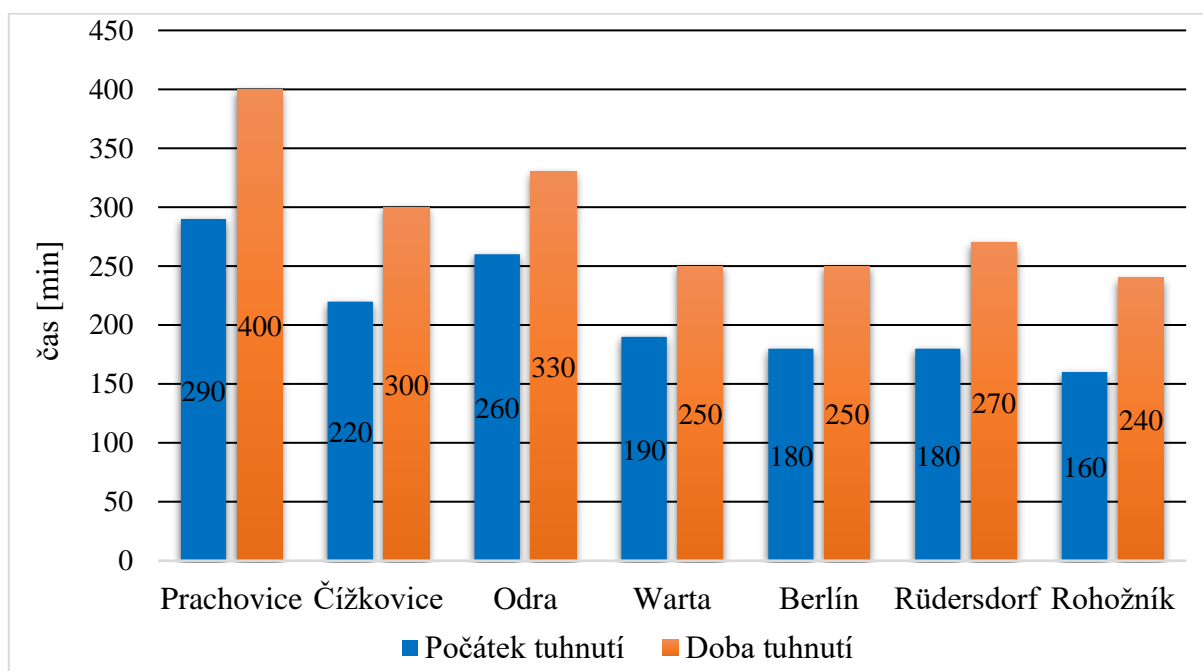
Obrázek 27: Počátek tuhnutí (vzorek Odra)

Tabulka 16: Normální konzistence, počátky a doby tuhnutí

Zkoušený cement	Normální konzistence [%]	Počátek tuhnutí [min]	Doba tuhnutí [min]
Prachovice	32	290	400
Čížkovice	30	220	300
Odra	30,5	260	330
Warta	30	190	250
Berlín	30	180	250
Rüdersdorf	31	180	270
Rohožník	36	160	240

3.3.3 Porovnání dob tuhnutí

Z hlediska normy ČSN EN 196-3 je předepsán pouze požadavek na minimální počátek tuhnutí (60 minut). Nejmenší hodnota počátku tuhnutí byla naměřena u vzorku Rohožník (160 minut), naopak nejdelší počátek tuhnutí měl vzorek Prachovice (290 minut). Všechny cementy tedy splňují požadovanou minimální hodnotu. Podrobnější porovnání je znázorněno na obrázku 28.

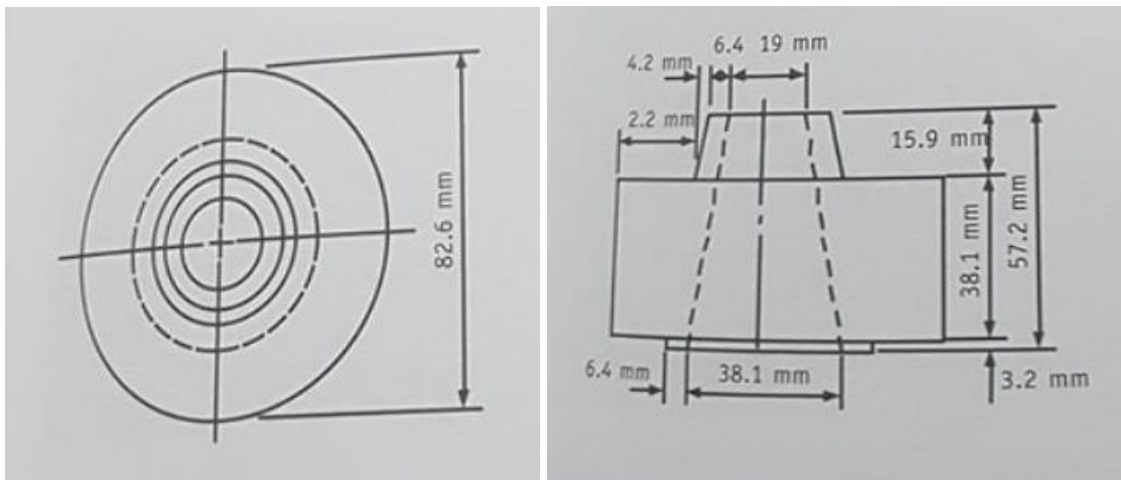


Obrázek 28: Porovnání jednotlivých dob tuhnutí

3.4 Kompatibilita cementu se superplastifikátorem

Aby bylo možné se lépe podívat na vzájemné chování určitého superplastifikátoru s cementem a udělat si představu o tom jaké reologické chování očekávat, byly vyvinuty metody, které jsou méně časově a materiálově náročné než ty pro testování čerstvého betonu.

Pro stanovení se používají metody rozlití pomocí minikuželu nebo Marchova kuželu. Při metodě minikuželu je umíchaná cementová pasta hodnocena z hlediska statického chování. U Marchova kuželu naopak v dynamických podmínkách, současně je zde i vyšší nárok na spotřebu materiálu [11].



Obrázek 29: Minikužel pro zkoušky zpracovatelnosti [11]

3.4.1 Stanovení rozlití pomocí minikuželu

Pro zkoušení byla zvolena metoda rozlití pomocí minikuželu. Zkušební postup byl částečně převzat z knihy Vysokohodnotný beton [11].

Před zkouškou bylo naváženo 200 g cementu. Množství superplastifikační přísady má být voleno podle doporučení výrobce v rozmezí 0,4 až 1,4 % z hmotnosti cementu. Pro testování byly vybrány superplastifikační přísady Stachement MM a MasterGlenium ACE 446. Přísady byly přidány v množství 2,4 g (1,2 %). Vodní součinitel (w) byl volen 0,4. Množství vody potřebného pro namíchání pasty bylo pak vypočteno z rovnice 15.

$$w = \frac{mv}{mc + \text{přísada}} \quad (15)$$

Cement byl s vypočteným množstvím vody (81 ml) a superplastifikační přísadou míchán po dobu dvou minut pomocí špachtle. Mixování pasty v elektrickém mixeru bylo vynecháno. Ihned po rozmíchání byla pasta umístěna do minikuželu, který byl poklepán 10 ranami gumovou paličkou a následně rychle zvednut. Průměr rozlití cementové pasty se změřil ve dvou na sebe kolmých směrech. Z těchto dvou měření byl vypočítán průměr a vše bylo uvedeno do tabulek 17 a 18.



Obrázek 30: Průměr rozlití (vzorek Berlin + MasterGlenium ACE 446)

Tabulka 17: Hodnoty rozlití se superplastifikační přísadou Stachement MM

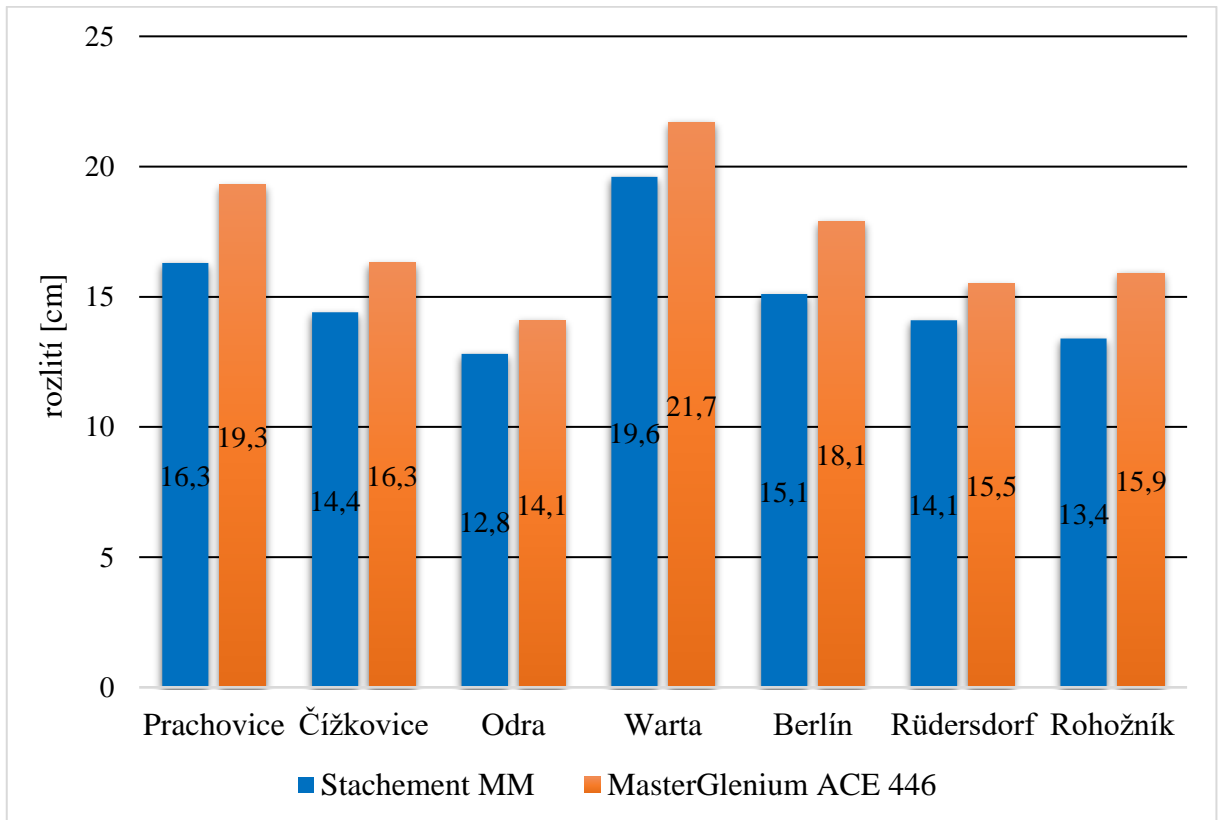
Zkoušený cement	Směr 1 [cm]	Směr 2 [cm]	Aritmetický průměr [cm]
Prachovice	15,2	17,3	16,3
Čížkovice	15	13,8	14,4
Odra	12,6	12,9	12,8
Warta	19,1	20	19,6
Berlín	14,7	15,4	15,1
Rüdersdorf	14,4	13,8	14,1
Rohožník	14,1	12,7	13,4

Tabulka 18: Hodnoty rozlití se superplastifikační přísadou MasterGlenium ACE 446

Zkoušený cement	Směr 1 [cm]	Směr 2 [cm]	Aritmetický průměr [cm]
Prachovice	19,4	19,1	19,3
Čížkovice	16	16,6	16,3
Odra	14,3	13,8	14,1
Warta	21,5	21,8	21,7
Berlín	17,7	18,5	18,1
Rüdersdorf	15,8	15,2	15,5
Rohožník	15,5	16,2	15,9

3.4.2 Porovnání jednotlivých rozlití

Výsledné hodnoty rozlití jsou graficky znázorněny na obrázku 31. Z obrázku je patrné, že pro všechny zkoušené vzorky byly větší hodnoty rozlití naměřeny u přísady MasterGlenium ACE 446. Největší rozlití bylo zaznamenáno pro obě přísady u cementu Warta (19,6 a 21,7 cm), nejmenší naopak pro cement Odra (12,8 a 14,1).



Obrázek 31: Porovnání jednotlivých rozlití

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo porovnání jednotlivých parametrů u vybraných výrobců cementu **CEM I 42,5 R** vyskytujících se na tuzemském trhu, dále pak porovnání ekonomické stránky při dovozu ze zahraničí.

V experimentální části práce byla sledována zejména pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku během 28 dní, počátek a doba tuhnutí a kompatibilita se superplastifikačními přísadami.

Měření pevností probíhalo ve stáří 24 hodin, 48 hodin, 7 dní a 28 dní, aby bylo možné udělat si lepší představu o nárůstu pevností. Nejvyšší počáteční pevnosti vykazovaly cementy Rüdersdorf a Rohožník, u nichž byla naměřena po 24 hodinách pevnost v tlaku nad 20 MPa a pevnost v tahu za ohybu (6,1 a 5,4 MPa). U ostatních vzorků byly naměřeny menší hodnoty, nicméně normou požadovaná hodnota pevnosti v tlaku po 48 hodinách byla splněna u všech vzorků. Požadavky na výslednou 28denní pevnost byly splněny u všech cementů již po 7 dnech. Při posledním zkoušení po 28 dnech se všechny hodnoty pohybovaly v rozmezí 50 až 60 MPa. Zajímavostí je, že cement Prachovice, který měl nejmenší hodnoty počáteční pevnosti, dosáhl po 28 dnech nejvyšší pevnosti v tlaku a druhé nejvyšší pevnosti v tahu za ohybu.

Rozdílný nárůst pevností u jednotlivých vzorků, který je patrný z příslušných obrázků 24 a 25, je způsobený jejich **odlišným mineralogickým složením** (viz kapitola 1.5 Mineralogické složení portlandského slínku), jehož zkoumání nebylo předmětem této bakalářské práce.

Z pohledu počátku a doby tuhnutí vykazovaly vzorky (Warta, Berlín, Rüdersdorf) obdobné rychlosti. Nejkratší doba tuhnutí byla naměřena u cementu Rohožník (240 minut), nejdelší naopak u cementu Prachovice (400 minut).

Na základě provedených experimentů je možné konstatovat, že naměřené výsledky vyhovují požadavkům stanovených v normě.

Při stanovení kompatibility se superplastifikačními přísadami bylo zjištěno, že všechny vzorky vyhovují, přičemž u přísady MasterGlenium ACE 446 byly naměřeny pro všechny cementy nepatrně vyšší hodnoty. Z praktického hlediska je však možné obě přísady považovat za vyhovující a použitelné.

Nejdůležitějším faktorem při výběru dodavatele cementu je cena výrobku a s tím úzce spjatá přepravní vzdálenost. Z pohledu dopravy do **Pardubic** se v přijatelné vzdálenosti (do 400 km) nachází 15 výrobců cementu (5 českých a 10 zahraničních).

Bohužel nebylo možné zveřejnit a porovnat konkrétní ceny jednotlivých výrobců. Veškeré ceny jsou smluvního charakteru a není možné uvést ani jejich orientační rozmezí z důvodu výrobního tajemství a vzájemné konkurence.

CITACE

- [1] PYTLÍK, Petr. *Technologie betonu*. 1. Brno: Vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-214-0779-4.
- [2] BARTA, Rudolf. *Chemie a technologie cementu*. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1961. ISBN (váz.):.
- [3] TĚHNÍK, Vladimír, Radovan NEČAS a Dana KUBÁTOVÁ. Vápenec jako základní kámen maltovin. In: *Vápno, cement, ekologie - 2008* [online]. Výzkumný ústav stavebních hmot a. s., 2008 [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: <https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/uploads.mangoweb.org/shared-prod/svcement.cz/uploads/2016/07/sd2008-prednaska-vt-vapence.pdf>
- [4] PAVLÍKOVÁ, Milena a Martin KEPPERT. *Chemie: chemie stavebních materiálů*. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04237-3.
- [5] PAVLÍKOVÁ, Milena, Zbyšek PAVLÍK a Jiří HOŠEK. *Materiálové inženýrství I. 2.*, přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04932-7.
- [6] HENNING, Otto a Vladimír LACH. *Chemie ve stavebnictví*. Vyd. 1. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1983. ISBN (váz.).
- [7] HLAVÁČ, Jan. *Základy technologie silikátů*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1981.
- [8] *Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách: Průmyslová odvětví výroby cementu, vápna a oxidu hořečnatého* [online]. 2010 [cit. 2018-10-31]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/ippc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecisteni/referencni-dokumenty-bref/2016/12/BREF-Cement-vapno_konecny.pdf
- [9] *Cementárna Prachovice CZECH REPUBLIC, s.r.o., CEMEX Cement, k.s.* [online]. In: . b.r. [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: <https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/uploads.mangoweb.org/shared-prod/svcement.cz/uploads/2017/08/14-cementarna-prachovice-czech-republic-s-r-o-cemex-cement-k-s.pdf>

- [10] *Nerostné suroviny a jejich využití* [online]. Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR & Vysoká škola báňská. Technická univerzita Ostrava, 2008 [cit. 2019-02-01]. ISBN 978-80-248-1378-3. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/Loziska/suroviny/anorganicka_pojiva.html
- [11] AITCIN, Pierre-Claude. *Vysokohodnotný beton*. 1. české vydání. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2005. Betonové stavitelství. ISBN 80-86769-39-9.
- [12] SVOBODA, Luboš. *Stavební hmoty* [online]. 4.vydání. Praha, 2018 [cit. 2019-02-01]. ISBN 978-80-260-4972-2. Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~svobodasl/sh/SH4v1.pdf>
- [13] GREGEROVÁ, Miroslava. *Petrografie technických hmot: teze habilitační práce*. Brno: VUTIUM, 2000. Vědecké spisy Vysokého učení technického v Brně. ISBN 80-214-1136-8.
- [14] COLLEPARDI, Mario. *Moderní beton*. 1. vyd. Přeložil Vlastimil BÍLEK, přeložil Halina SZKLORZOVÁ. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2009. Betonové stavitelství. ISBN 978-80-87093-75-7.
- [15] MEHTA, Kumar a Paulo MONTEIRO. *Concrete: microstructure, properties, and materials*. 4th ed. New York: McGraw-Hill Higher Education, 2014. ISBN 978-0-07-179787-0.
- [16] ČSN EN 197-1 ed. 2. *Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví., 2012.
- [17] ČSN EN 196-1. *Metody zkoušení cementu - Část 1: Stanovení pevnost*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví., 2016.
- [18] ČSN EN 196-2. *Metody zkoušení cementu – Část 2: Chemický rozbor cementu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví., 2016.
- [19] ČSN EN 196-3. *Metody zkoušení cementu - Část 3: Stanovení dob tuhnutí a objemové stálosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví., 2016.
- [20] Zkoušení stavebních materiálů a výrobků. In: *Zkoušení stavebních materiálů a výrobků* [online]. b.r. [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=malty_cement_zk
- [21] ČSN EN 196-4. *Metody zkoušení cementu - Část 4: Kvantitativní stanovení hlavních složek*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví., 2016.

- [22] ČSN EN 196-5. *Metody zkoušení cementu - Část 5: Zkoušení pucolanity pucolánových cementů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví., 2016.
- [23] ČSN EN 196-6. *Metody zkoušení cementu - Část 6: Stanovení jemnosti mletí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví., b.r.
- [24] ČSN EN 196-7. *Metody zkoušení cementu - Část 7: Postupy pro odběr a úpravu vzorků cementu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví., 2016.
- [25] ČSN EN 196-8. *Metody zkoušení cementu - Část 8: Stanovení hydratačního tepla - Rozpouštěcí metoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví., 2016.
- [26] ČSN EN 196-9. *Metody zkoušení cementu - Část 9: Stanovení hydratačního tepla - Semiadiabatická metoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví., 2016.
- [27] Wikipedia. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Sou%C4%8D%C3%A1sti_kalorimetru.png
- [28] Stroje pro zkušebnictví. In: *Stroje pro zkušebnictví: Zkoušení cementu a vápna* [online]. b.r. [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: <https://www.strojeprozkusebnictvi.cz/kalorimetr.html>
- [29] ČSN EN 196-10. *Metody zkoušení cementu - Část 10: Stanovení obsahu ve vodě rozpustného chrómu (Cr6+) v cementu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví., 2016.
- [30] Svaz výrobců cementu ČR: Data 2017. In: *Svaz výrobců cementu ČR* [online]. b.r. [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: <https://www.svcement.cz/data/data-2017/>
- [31] Estav: Výroba cementu v ČR. *Estav.cz* [online]. 2018 [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/6609.vyroba-cementu-v-cr-loni-vzrostla-o-2-5-pct-na-ctyri-miliony-tun>
- [32] Google. *Mapy Google* [online]. b.r. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/@50.2239328,14.6233367,537710m/data=!3m1!1e3?hl=cs-CZ>

DOKLADOVÁ ČÁST

Obsah dokladové části:

- A. Certifikát o shodě: Normalizovaný písek CEN, ČSN EN 196-1 Chlum
- B. Osvědčení o stálosti vlastností portlandského cementu CEM I 42,5 R Prachovice
- C. Osvědčení o stálosti vlastností portlandského cementu CEM I 42,5 R Čížkovice
- D. Osvědčení o stálosti vlastností portlandského cementu CEM I 42,5 R Odra
- E. Osvědčení o stálosti vlastností portlandského cementu CEM I 42,5 R Warta
- F. Osvědčení o stálosti vlastností portlandského cementu CEM I 42,5 R Berlín
- G. Osvědčení o stálosti vlastností portlandského cementu CEM I 42,5 R Rüdersdorf
- H. Osvědčení o stálosti vlastností portlandského cementu CEM I 42,5 R Rohožník
- I. Prohlášení o vlastnostech: Superplastifikační přísada Stachement MM
- J. Prohlášení o vlastnostech: Superplastifikační přísada MasterGlenium ACE 446

A. Certifikát o shodě: Normalizovaný písek CEN, ČSN EN 196-1 Chlum

	TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p. Technical and Test Institute for Construction Prague, SOE <small>Akreditovaná zkušební laboratoř. Autorizovaná osoba. Notifikovaná osoba. Oznamovaný subjekt. Subjekt pro technické posuzování, Certifikační orgán, Inspekční orgán · Accredited Testing Laboratory, Authorized Body, Notified Body, Technical Assessment Body, Certification Body, Inspection Body · Prosecká 81176a, 190 00 Praha 9 - Proseck, Czech Republic</small>
Certifikační orgán Pobočka 0400 – Teplice vydává	
<h1>CERTIFIKÁT</h1>	
č. 040 – 056728	
na produkt:	
Normalizovaný písek	
typ/varianta : CEN, ČSN EN 196-1	
žadatel:	
Filtrační písky, spol. s r. o.	
IČ:	25 40 90 00
Adresa:	Chlum 117, 472 01 Doksy
Výrobna:	Chlum
IČ:	25 40 90 00
Adresa:	Chlum 117, 472 01 Doksy
Zakázka:	Z040 14 0264
Certifikační schéma 1a podle ČSN EN ISO/IEC 17067 zahrnující zkoušení vzorků produktu.	
Certifikační orgán tímto certifikátem osvědčuje, že:	
<ul style="list-style-type: none">u vzorku předmětného produktu zjistil shodu jeho vlastností s požadavky technické specifikace: ČSN EN 196-1 Metody zkoušení cementu - Část 1: Stanovení pevnosti	
Tento certifikát je vydán na základě protokolu o výsledku certifikace produktu č. 040 – 056727 ze dne 1. ledna 2018 vydaného TZÚS Praha, s. p. - pobočkou Teplice, který se předává žadateli. Protokol obsahuje závěry zjišťování a podmínky platnosti certifikátu.	
Certifikát má 1 přílohu (1 strana), která je nedílnou součástí certifikátu.	
Teplice, 1. ledna 2018	Platnost certifikátu do: 31. ledna 2021
	 Ing. Pavel Rubáš, Ph.D. zástupce vedoucího certifikačního orgánu



TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.
Technical and Test Institute for Construction Prague, SOE

Akreditovaná zkušební laboratoř, Autorizovaná osoba, Notifikovaná osoba, Oznamovaný subjekt, Subjekt pro technické posuzování, Certifikační orgán, Inspekční orgán • Accredited Testing Laboratory, Authorized Body, Notified Body, Technical Assessment Body, Certification Body, Inspection Body • Prosecká 811/76a, 190 00 Praha 9 - Prosek, Czech Republic

Příloha k certifikátu č. 040 – 056728


Podmínky platnosti a používání certifikátu:

1. Certifikát shody se musí používat pouze pro účely, pro které byl vydán.
2. Tento certifikát nenahrazuje dokumenty vydávané autorizovanou osobou podle nařízení vlády č. 163/2002 Sb. ani oznamovým subjektem podle nařízení EP a Rady (EU) č. 305/2011.
3. Certifikovaný produkt musí být trvale v souladu s technickou specifikací.
4. Držitel certifikátu je povinen:
 - a) informovat certifikační orgán o všech změnách: modifikaci produktu nebo výrobního procesu, materiálových změnách, změnách systému řízení výroby, které mají vliv na shodu certifikovaného produktu;
 - b) oznamovat certifikačnímu orgánu změny ve vlastnictví, struktuře nebo vedení;
 - c) vést záznamy o všech stížnostech týkajících se neshody certifikovaného produktu s požadavky příslušné normy;
 - d) přijmout vhodná opatření na odstranění neshody a přijatá opatření dokumentovat;
 - e) na požádání předložit certifikačnímu orgánu výše uvedené záznamy o stížnostech;
5. Certifikační orgán provádí opakované hodnocení produktu v případě, že dojde ke změnám ovlivňujícím vlastnosti produktu, ke změně technických specifikací nebo k významným změnám ve vlastnictví, struktuře nebo vedení organizace.
6. Proti tomuto certifikátu má žadatel právo podat odvolání na TZÚS Praha, s.p., úsek řízení jakosti, do 15 dnů ode dne doručení tohoto certifikátu.

Tato příloha je nedílnou součástí certifikátu č. 040 – 056727.

Teplíce, 1. ledna 2018




Ing. Pavel Rubáš, Ph.D.
zástupce vedoucího certifikačního orgánu

B. Osvědčení o stálosti vlastností portlandského cementu CEM I 42,5 R Prachovice

 **TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.**
Technical and Test Institute for Construction Prague
Akreditovaná zkušební laboratoř, Autorizovaná osoba, Notifikovaná osoba, Oznamovaný subjekt, Subjekt pro technické posuzování, Certifikační orgán, Inspekční orgán / Accredited Testing Laboratory, Authorized Body, Notified Body, Technical Assessment Body, Certification Body, Inspection Body, Prosecká B11/76a, 190 00 Praha 9 - Prosek, Czech Republic

Oznámený subjekt 1020

**OSVĚDČENÍ
O STÁLOSTI VLASTNOSTÍ**
certificate of constancy of performance

č. 1020 – CPR – 040 019097

V souladu s nařízením Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 305/2011 ze dne 9. března 2011 (nařízení o stavebních výrobcích nebo CPR) se vydává toto osvědčení pro stavební výrobek:

Portlandský cement EN 197-1 – CEM I 42,5 R
Výrobek je určen pro přípravu betonu, malt, injektážní malty a jiných směsí pro stavění a výrobu stavebních výrobků.

vyrobený výrobcem nebo pro výrobce:
CEMEX Cement, k.s.
Tovární 296, 538 04 Prachovice
IČ 15 05 23 20

ve výrobním závodě:
cementárna Prachovice
Tovární 296, 538 04 Prachovice

Toto osvědčení prokazuje, že všechna ustanovení týkající se posuzování a ověřování stálosti vlastností popsaná v příloze ZA normy
EN 197-1:2011
podle systému 1+ pro vlastnosti stanovené v tomto osvědčení byla uplatněna a že
výrobek splňuje všechny předepsané požadavky pro tyto vlastnosti.

Toto osvědčení bylo poprvé vydáno **1. dubna 2004** a zůstává v platnosti, dokud se nezmění zkušební metody a/nebo požadavky na řízení výroby, obsažené v harmonizované normě použité při posuzování vlastností deklarovaných základních charakteristik, a pokud se výrazně nezmění stavební výrobek a/nebo výrobní podmínky v místě výroby nebo pokud oznámený subjekt pro osvědčení výrobku nepozastaví nebo nezruší platnost tohoto osvědčení.

Teplice, 1. května 2015




Ing. Pavel Ruběš, Ph.D.
zástupce vedoucího oznámeného subjektu

Zdroj:

<https://www.cemex.cz/documents/46856796/46979739/CERTvyr.pdf/90d25cdf-7e60-d4bd-3f4f-2bcb3be46bd0?version=1.0>

C. Osvědčení o stálosti vlastností portlandského cementu CEM I 42,5 R Čížkovice

	TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p. Technical and Test Institute for Construction Prague, SOE <small>Akreditovaná zkušební laboratoř, Autorizovaná osoba, Notifikovaná osoba, Oznámený subjekt, Subjekt pro technické posuzování, Certifikační orgán, Inspekční orgán / Accredited Testing Laboratory, Authorized Body, Notified Body, Technical Assessment Body, Certification Body, Inspection Body. Prosecka 811/76a, 190 00 Praha 9 - Prosek, Czech Republic</small>
Oznámený subjekt 1020	
OSVĚDČENÍ O STÁLOSTI VLASTNOSTÍ certificate of constancy of performance č. 1020 – CPR – 040 043509	
<p>V souladu s nařízením Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 305/2011 ze dne 9. března 2011 (nařízení o stavebních výrobcích nebo CPR) se vydává toto osvědčení pro stavební výrobek:</p>	
Portlandský cement typ / varianta: CEM I 42,5 R	
uvedený na trh pod jménem nebo firmou nebo ochrannou známkou výrobce:	
LAFARGE CEMENT, a. s. 411 12 Čížkovice, čp. 27 IČO: 14 86 74 94	
a vyrobený ve výrobním závodě: cementárna Čížkovice 411 12 Čížkovice, čp. 27	
<p>Toto osvědčení prokazuje, že všechna ustanovení týkající se posuzování a ověřování stálosti vlastností popsaná v příloze ZA normy</p>	
EN 197-1:2011	
<p>podle systému 1+ pro vlastnosti uvedené v tomto osvědčení byla uplatněna a že řízení výroby u výrobce zajišťuje</p>	
stálost vlastností stavebního výrobku	
<p>Toto osvědčení bylo poprvé vydáno 22. dubna 2013 jako certifikát podle CPD a zůstává v platnosti, dokud se harmonizovaná norma, stavební výrobek, postupy posuzování a ověřování stálosti vlastností ani výrobní podmínky v místě výroby výrazně nezmění nebo pokud oznámený subjekt pro osvědčení výrobku nepozastaví nebo nezruší platnost tohoto osvědčení.</p>	
Teplice, 22. března 2017	
	 Ing. Pavel Rubáš, Ph.D. zástupce vedoucího oznámeného subjektu

Zdroj:

https://www.lafarge.cz/sites/czech/files/documents/20170503_Osvedceni_o_stalosti_vlastnosti_I_I_42_5_R_0.pdf

D. Osvědčení o stálosti vlastností portlandského cementu CEM I 42,5 R Odra

	Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych	Jednostka notyfikowana Nr 1487	
02-676 Warszawa · ul. Postępu 9			POLSKIE CENTRUM AKREDITACJI CERTYFIKACJA WYROBÓW AC 086
Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie OŚRODEK CERTYFIKACJI I NORMALIZACJI 31-983 Kraków · ul. Cementowa 8			
CERTYFIKAT STAŁOŚCI WŁAŚCIWOŚCI UŻYTKOWYCH 1487–CPR–006-02			
Zgodnie z Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) Nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 roku (Rozporządzenie Wyroby Budowlane lub CPR) niniejszy certyfikat dotyczy wyrobu budowlanego			
Cement portlandzki EN 197-1 CEM I 42,5 R			
< poziomy i klasy właściwości użytkowych wyrobu budowlanego zgodne z EN 197-1:2011; przygotowanie betonu, zaprawy, zaczynu i innych mieszanek dla budownictwa i do produkcji wyrobów budowlanych >			
produkowany przez			
Cementownia ODRA S.A. ul. Budowlanych 9 · 45-005 Opole			
w zakładzie produkcyjnym			
Cementownia ODRA S.A. ul. Budowlanych 9 · 45-005 Opole			
Niniejszy certyfikat potwierdza, że wszystkie postanowienia dotyczące oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych, określone w załączniku ZA normy			
EN 197-1:2011 w systemie 1+ są stosowane oraz, że			
wyrób budowlany spełnia wszystkie określone wymagania dotyczące tych właściwości			
Niniejszy certyfikat został wydany po raz pierwszy wg CPD 15.10.2004 i pozostaje ważny dopóki nie zmienią się metody badań i/lub wymagania dotyczące zakładowej kontroli produkcji zawarte w zharmonizowanej normie, zastosowane do oceny właściwości użytkowych zadeklarowanych charakterystyk oraz, sam wyrób budowlany i warunki produkcji w zakładzie nie ulegną istotnym zmianom, chyba że został zawieszony lub cofnięty przez jednostkę certyfikującą wyrób.			
 Dyrektor Oddziału Henryk Szelaż		Kierownik Ośrodka Certyfikacji i Normalizacji <i>Wz</i> Piotr Zepolala Stanisław Płocica	
Kraków, dnia 9 kwietnia 2014 roku			

Zdroj: <https://odrasa.com.pl/media/system/oferta-cementu/66a45b8659aeb27ae8e70bc5327a6682.pdf>

E. Osvědčení o stálosti vlastností portlandského cementu CEM I 42,5 R Warta

	Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych	Jednostka notyfikowana Nr 1487	
02-676 Warszawa · ul. Postępu 9			PCAFORCE CENTRUM AKREDYTOWANE CERTYFIKACJA WYRÓBÓW AC 086
Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie OŚRODEK CERTYFIKACJI I NORMALIZACJI 31-983 Kraków · ul. Cementowa 8			
Zertifikat der Leistungsbeständigkeit			
1487-CPR-020-03			
Gemäß der Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 (Bauproduktenverordnung - CPR), gilt dieses Zertifikat für das Bauprodukt			
Portlandzement EN 197-1 CEM I 42,5 R			
< Stufen und Klassen der Leistung des Bauproduktes nach EN 197-1:2011; Herstellung von Beton, Mörtel, Einpressmörtel und anderen Mischungen für das Bauwesen und für die Herstellung von Bauprodukten >			
hergestellt von			
Cementownia WARTA S.A. Trębaczew · ul. Przemysłowa 17 · 98-355 Działoszyn			
und hergestellt im Werk			
Cementownia WARTA S.A. Trębaczew · ul. Przemysłowa 17 · 98-355 Działoszyn			
Dieses Zertifikat bescheinigt, dass alle Vorschriften über die Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit beschrieben im Anhang ZA der harmonisierten Norm			
EN 197-1:2011			
entsprechend System 1+ angewendet werden und dass			
das Bauprodukt alle darin vorgeschriebenen Anforderungen erfüllt.			
Dieses Zertifikat wurde erstmals am 15.10.2004 ausgestellt und bleibt gültig, solange sich die in der harmonisierten Norm genannten Prüfverfahren und/oder Anforderungen der werkseigenen Produktionskontrolle zur Bewertung der Leistung der erklärten Merkmale nicht ändern und das Produkt und die Herstellbedingungen im Werk nicht wesentlich geändert werden, und wenn sie nicht durch Produktzertifizierungsstelle ausgesetzt oder widerrufen wird.			
			
Stellvertretender Direktor OSiMB in Krakau Paweł Piłcharczyk		Leiter der Zertifizierungs- und Normalisierungsstelle Stanisław Płocica	
Krakau, 28. Februar 2014			

Zdroj: <http://www.wartasa.com.pl/produkty/niskoalkaliczne2/>

F. Osvědčení o stálosti vlastností portlandského cementu CEM I 42,5 R Berlín



Zertifikat der Leistungsbeständigkeit

0840-CPR-5210-130000-01

Gemäß der Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 (Bauproduktenverordnung) gilt dieses Zertifikat für das Bauprodukt

**Portlandzement
EN 197-1 – CEM I 42,5 R**

des Herstellers

**Spenner Zementwerk Berlin GmbH & Co. KG
Werk Berlin
Köpenicker Chaussee 9-10, D-10317 Berlin.**

Dieses Zertifikat wurde ausgestellt von der anerkannten Zertifizierungsstelle

FIZ GmbH

und bescheinigt, dass alle Vorschriften des Anhangs ZA der Norm

DIN EN 197-1 : 2011,

die die Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit entsprechend System 1+ und die Leistungseigenschaften des Produkts betreffen, angewendet werden, und dass das Bauprodukt alle darin vorgeschriebenen Anforderungen erfüllt.

Dieses Zertifikat wurde erstmals am 02.04.2001 ausgestellt. Es ist gültig bis zum 31.01.2020, höchstens jedoch solange die in der Norm genannten Prüfmethoden und/oder Anforderungen der werkseigenen Produktionskontrolle sowie das Produkt und die Produktionsbedingungen im Werk sich nicht wesentlich ändern.

Düsseldorf, 23.01.2019




Dr. Silvan Baetzner
Leiter der Zertifizierungsstelle

Zdroj: <https://spenner-zementwerk.de/wp-content/uploads/sites/3/2019/02/Zertifikat-der-Leistungsbest%C3%A4ndigkeit-CEM-I-425-R.pdf>

G. Osvědčení o stálosti vlastností portlandského cementu CEM I 42,5 R Rüdersdorf



Zertifikat der Leistungsbeständigkeit

0840-CPR-5510-130000-01

Gemäß der Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 (Bauproduktenverordnung) gilt dieses Zertifikat für das Bauprodukt

**Portlandzement
EN 197-1 – CEM I 42,5 R**

des Herstellers

**CEMEX Zement GmbH
Werk Rüdersdorf
Frankfurter Chaussee, D-15558 Rüdersdorf.**

Dieses Zertifikat wurde ausgestellt von der anerkannten Zertifizierungsstelle

FIZ GmbH

und bescheinigt, dass alle Vorschriften des Anhangs ZA der Norm

DIN EN 197-1 : 2011,

die die Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit entsprechend System 1+ und die Leistungseigenschaften des Produkts betreffen, angewendet werden, und dass das Bauprodukt alle darin vorgeschriebenen Anforderungen erfüllt.

Dieses Zertifikat wurde erstmals am 02.04.2001 ausgestellt. Es ist gültig bis zum 31.01.2020, höchstens jedoch solange die in der Norm genannten Prüfmethode(n) und/oder Anforderungen der werkseigenen Produktionskontrolle sowie das Produkt und die Produktionsbedingungen im Werk sich nicht wesentlich ändern.

Düsseldorf, 23.01.2019



A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'S. Baetzner', is positioned above a horizontal line.

Dr. Silvan Baetzner
Leiter der Zertifizierungsstelle

Zdroj: <https://www.cemex.de/produkte/zement>

H. Osvědčení o stálosti vlastností portlandského cementu CEM I 42,5 R Rohožník

Notifikovaná osoba č. 1301

TSLG TECHNICKÝ A SKŮŠOBNÝ ÚSTAV STAVEBNÝ, n. o.
BUILDING TESTING AND RESEARCH INSTITUTE
Studená 3, 821 04 Bratislava, Slovenská republika

Certifikát o nemennosti parametrov
1301 – CPR – 1207

V súlade s nariadením Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) č. 305/2011 z 9. marca 2011 (Nariadenie o stavebných výrobkoch - CPR) sa tento certifikát vzťahuje na stavebný výrobok

Portlandský cement EN 197-1 – CEM I 42,5 R

používaný na prípravu betónu, malty, injektážnej malty a iných zmesí pre stavby a na výrobu stavebných výrobkov.

Uvedený na trh pod menom

CRH (Slovensko) a. s.
906 38 Rohožník
Slovenská republika

a vyrábaný vo výrobní

CRH (Slovensko) a. s.
906 38 Rohožník

Týmto certifikátom sa potvrdzuje, že všetky ustanovenia týkajúce sa posudzovania a overovania nemennosti parametrov uvedených v prílohe ZA normy

EN 197-1: 2011

podľa systému 1+ pre parametre stanovené v tomto certifikáte sú uplatnené a že systém riadenia výroby vykonávaný výrobcom sa posúdil na zabezpečenie

nemennosti parametrov stavebného výrobku.

Tento certifikát bol prvýkrát vydaný dňa 13. decembra 2016 a ostáva v platnosti dovtedy, kým sa harmonizované normy, stavebný výrobok, metódy posudzovania a overovania nemennosti parametrov a ani výrobné podmienky vo výrobní významne nezmenia a pokiaľ nebude pozastavený alebo zrušený notifikovanou osobou na certifikáciu výrobkov.

Bratislava 13. decembra 2016




Ing. Daša Kozáková
vedúca Notifikovanej osoby 1301

082318

Zdroj:http://www.crhslovakia.com/media/1128131/certificate_cem-i-42-5-r_1301-cpr-1207_crh-roho%C5%BEn%C3%ADk_sk-version.pdf

I. Prohlášení o vlastnostech: Superplastifikační přísada Stachement MM

STACHEMENT MM
PROHLÁŠENÍ O VLASTNOSTECH
č. 10100113000/1

1. Jedinečný identifikační kód typu výrobku:

EN 934-2: T 3.1/3.2 //59

2. Typ, série nebo sériové číslo nebo jakýkoliv jiný prvek umožňující identifikaci stavebních výrobků podle čl. 11 odst. 4:

Číslo šarže: najdete na obalu výrobku a průvodní dokumentaci

3. Zamýšlené použití nebo zamýšlená použití stavebního výrobku v souladu s příslušnou harmonizovanou technickou specifikací podle předpokladu výrobce:

Superplastifikační přísada do betonu dle EN 934-2+A1:2012

4. Jméno, firma nebo registrovaná obchodní známka a kontaktní adresa výrobce podle čl. 11 odst. 5:

STACHEMA CZ s.r.o.
Zibohlavy 1
Kolín 280 02

5. Případně jméno a kontaktní adresa zplnomocněného zástupce, jehož plná moc se vztahuje na úkoly uvedené v čl. 12 odst. 2:

Nebyl ustanoven

6. Systém nebo systémy posuzování a ověřování stálosti vlastností stavebních výrobků, jak je uvedeno v příloze V:

Systém 2+

7. V případě prohlášení o vlastnostech týkajících se stavebního výrobku, na který se vztahuje harmonizovaná norma:

Notifikovaná osoba č. 0921- QDB se sídlem Mainzer Landstraße 55 D-60329 Frankfurt am Main provedla počáteční inspekci v místě výroby a řízení výroby ve výrobním závodě i průběžného dohledu, posuzování a schvalování řízení výroby u výrobce v souladu se systémem 2+ a vydal: Certifikát řízení výroby číslo 0921-CPR-2000.

8. V případě prohlášení o vlastnostech týkajících se stavebního výrobku, pro který bylo vydáno evropské technické posouzení:

Nevztahuje se

9. Vlastnosti uvedené v prohlášení

Základní charakteristiky	Vlastnost	Harmonizované technické specifikace
Obsah chloridových iontů	≤ 0,1 hm. %	EN 934-2
Obsah alkálií	≤ 8 %	EN 934-2
Korozivní vlastnosti	Výrobek obsahuje pouze složky uvedené v EN 934-1:2008 příloha A.1	EN 934-2
Redukce vody (při stejné konzistenci)	Ve zkušební směsi ≥ 12 % ve srovnání s kontrolní směsí	EN 934-2
Pevnost v tlaku (při stejné konzistenci)	Po 1 dnu: Zkušební směs ≥ 140 % kontrolní směsi Po 28 dnech: Zkušební směs ≥ 115 % kontrolní směsi	EN 934-2
Obsah vzduchu v čerstvém betonu (při stejné konzistenci)	Ve zkušební směsi maximálně o 2 objemová % více než v kontrolní směsi	EN 934-2
Zvětšení konzistence (při stejném vodním součiniteli)	Zvětšení sednutí ≥ 120 mm z původních (30 ± 10) mm Zvětšení rozlití ≥ 160 mm z původních (350 ± 20) mm	EN 934-2
Zachování konzistence (při stejném vodním součiniteli)	30 minut po přidání přísady neklesne konzistence zkušební směsi pod hodnotu původní konzistence kontrolní směsi	EN 934-2
Pevnost v tlaku (při stejném vodním součiniteli)	Po 28 dnech: zkušební směs ≥ 90 % kontrolní směsi	EN 934-2
Obsah vzduchu v čerstvém betonu (při stejném vodním součiniteli)	Ve zkušební směsi maximálně o 2 objemová % více než v kontrolní směsi	EN 934-2
Nebezpečné látky	Formaldehyd < 0,1 %	EN 934-2

Pokud byla použita podle článku 37 nebo 38 specifická technická dokumentace, požadavky, které výrobek splňuje:

Nevztahuje se

10. Vlastnost výrobku uvedené v bodě 1 a 2 je ve shodě s vlastností uvedenou v bodě 9. Toto prohlášení o vlastnostech se vydává na výhradní odpovědnost výrobce uvedeného v bodě 4.

Podepsáno za výrobce a jeho jménem:

Bc. Martin Váša, výrobní ředitel

Zibohlavý, 1.7.2013

(místo a datum vydání)


stachema (1)
STACHEMA CZ s.r.o.
Zibohlavý 1, 280 02 Kolín
IČ 6353747 DIČ CZ6353747

(podpis)

Stránka 3 z 3

Zdroj: <https://prisadydobetonu.stachema.cz/files/files/Prohlaseni-o-vlastnostech-stachement-mm.pdf>

J. Prohlášení o vlastnostech: Superplastifikační přísada MasterGlenium ACE 446



Prohlášení o vlastnostech

Podle přílohy III nařízení Evropského parlamentu a rady č. 305/2011

pro produkt **MasterGlenium ACE 446**

č. 30609930

1. Jedinečný identifikační kód typu výrobku:

EN 934-2: T3.1/3.2

2. Typ, série nebo sériové číslo nebo jakýkoli jiný prvek umožňující identifikaci stavebních výrobků podle čl. 11 odst. 4:

Číslo výrobní šarže: viz etiketa produktu

3. Zamyšlené použití nebo zamýšlená použití stavebního výrobku v souladu s příslušnou harmonizovanou technickou specifikací podle předpokladu výrobce:

Silně vodoredukující/superplastifikační přísada

4. Jméno, firma nebo registrovaná obchodní známka a kontaktní adresa výrobce podle čl. 11 odst. 5:

BASF Stavební hmoty Česká republika s.r.o.
K Májovu 1244
537 01 Chrudim

5. Případné jméno a kontaktní adresa zplnomocněného zástupce, jehož plná moc se vztahuje na úkoly uvedené v čl. 12 odst. 2:

není relevantní

6. Systém nebo systémy posuzování a ověřování stálosti vlastností stavebních výrobků, jak je uvedeno v příloze V:

Systém 2 +

7. V případě prohlášení o vlastnostech týkajících se stavebního výrobku, na který se vztahuje harmonizovaná norma:

QUALIFORM, a. s.
Mlaty 8, 642 00 Brno
Akreditovaný certifikační orgán č. 3012
Autorizovaná osoba č. 238
Oznámený subjekt (Notified Body) 1544



We create chemistry

Notifikovaný orgán provedl počáteční kontrolu produktů a kontrolu řízení výroby, jakož i následný dohled, zjištění a hodnocení řízení výroby podle systému 2+ a vydal následující:

Certifikát systému řízení výroby:

1544-CPR-065

8. V případě prohlášení o vlastnostech týkajících se stavebního výrobku, pro který bylo vydáno evropské technické posouzení:

není relevantní

9. Vlastnosti uvedené v prohlášení

T 3.1 (při stejné konzistenci)

Základní charakteristiky (viz. poznámka 1)	Vlastnosti (viz. poznámka 2)	Harmonizované technické specifikace (viz. poznámka 3)
Obsah chloridů	max. 0,1% hmotnostně	EN 934- 2+A1:2012
Obsah alkálií	max. 2,5% hmotnostně	
Korozivní vlastnosti	Korozivní vlastnosti: Obsahuje pouze složky uvedené v EN 934-1:2008 příloha A.1.	
Pevnost v tlaku	Po 1 dnu: Zkušební směs \geq 140% kontrolní směsi Po 28 dnech: Zkušební směs \geq 115% kontrolní směsi	
Redukce vody	Ve zkušební směsi \geq 12 % ve srovnání s kontrolní směsí	
Obsah vzduchu v čerstvém betonu	Ve zkušební směsi maximálně o 2 objemová % více než v kontrolní směsi, pokud výrobce nestanovuje jinak	
Nebezpečné látky	NPD	

NPD: No Performance Determined



We create chemistry

T3.2 (při stejném vodním součiniteli)

Základní charakteristiky (viz. poznámka 1)	Vlastnosti (viz. poznámka 2)	Harmonizované technické specifikace (viz. poznámka 3)
Obsah chloridů	max. 0,1% hmotnostně	EN 934- 2+A1:2012
Obsah alkálií	max. 2,5% hmotnostně	
Korozivní vlastnosti	Korozivní vlastnosti: Obsahuje pouze složky uvedené v EN 934-1:2008 příloha A.1.	
Pevnost v tlaku	Po 28 dnech: Zkušební směs \geq 90% kontrolní směsi	
Obsah vzduchu v čerstvém betonu	Ve zkušební směsi maximálně o 2 objemová % více než v kontrolní směsi, pokud výrobce nestanovuje jinak	
Zvětšení konzistence	Zvětšení sednutí \geq 120 mm z původních (30 \pm 10) mm Zvětšení rozliti \geq 160 mm z původních (350 \pm 20) mm	
Zachování konzistence	30 minut po přidání přísady nesmí konzistence zkušební směsi klesnout pod hodnotu původní konzistence kontrolní směsi	
Nebezpečné látky	NPD	

NPD: No Performance Determined

10. Vlastnost výrobku uvedená v bodě 1 a 2 je ve shodě s vlastností uvedenou v bodě 9. Toto prohlášení o vlastnostech se vydává na výhradní odpovědnost výrobce uvedeného v bodě 4.

Podepsáno za výrobce a jeho jménem:

Ing. Martin Polák
Jednatel firmy

V Praze dne 1. 3. 2018

BASF Stavební hmoty Česká republika s.r.o.
K Májovu 1244, 537 01 Chrudim

strana 3 / 3

MASTER®
BUILDERS
SOLUTIONS

Zdroj: <https://www.master-builders-solutions.basf.cz/cs-cz/products/mastergleniumace/masterglenium-ace-446>