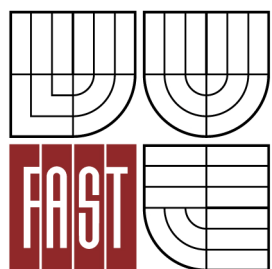




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

**MOŽNOSTI STANOVENÍ REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ
ČERSTVÉHO BETONU POMOCÍ PENETRAČNÍ JEHLY**
POSSIBILITY OF DETERMINATION OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF FRESH CONCRETE BY
PENETRATION NEEDLE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

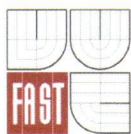
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN DRIML

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ ZACH, Ph.D.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Martin Driml


Název Možnosti stanovení reologických vlastností
čerstvého betonu pomocí penetrační jehly

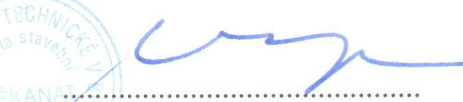
Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Zach, Ph.D.

**Datum zadání
bakalářské práce** 30. 11. 2011

**Datum odevzdání
bakalářské práce** 25. 5. 2012

V Brně dne 30. 11. 2011


.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Vedoucí ústavu


.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT



Podklady a literatura

- [1] BÁRTA, R. Chemie a technologie cementu, Nakladatelství ČSAV Praha, 1961
- [2] VAVŘÍN, F. Maltoviny, VUT v Brně, 1987
- [3] ŠATAVA, V. Úvod do fyzikální chemie silikátů, SNTL 1965
- [4] VAVŘÍN, F. Použití chemických přísad do betonu, SNTL 1982
- [5] PYTLÍK, P. Technologie betonu, VUT v Brně, 2000
- [6] ČSN EN 206-1, Beton - Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda, ČNI, Praha 2001 (změny Z3 - 2008)

Zásady pro vypracování

Bakalářská práce se bude věnovat metodě stanovení reologických vlastností čerstvého betonu pomocí penetrační jehly. V práci bude provedeno zhodnocení současných metod používaných z pohledu platných technických norem pro stanovení reologických vlastností čerstvého betonu a dále srovnání těchto metod s metodou penetrační jehly. V rámci řešení bakalářské práce budou definovány obecné vztahy mezi klasickými metodami stanovení konzistence čerstvého betonu a metodou penetrační jehly. Z výsledků práce budou vyvozeny obecné závěry vymezující použitelnost dané metody ve stavební praxi.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací, rozsah práce cca 40 stran včetně tabulek a grafů.



.....
Ing. Jiří Zach, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Práce se věnuje metodě stanovení reologických vlastností čerstvého betonu pomocí penetrační jehly. V práci je provedeno zhodnocení současných metod používaných z pohledu platných technických norem pro stanovení reologických vlastností čerstvého betonu a srovnání těchto metod s metodou penetrační jehly. Tato metoda se vyznačuje svojí jednoduchostí a nízkou náročností na měřicí techniku, proto může být využívána bezproblémově in-situ přímo na stavbě.

ABSTRACT

This thesis focuses on the method of determining the rheological properties of fresh concrete with a penetration needle. An assessment conducted in this thesis aims at current methods of determining the rheological properties of fresh concrete in terms of the applicable technical standards. These methods are compared with the needle penetration method. This method is characterized with its simplicity and low requirements for measurement techniques. Therefore it can be used directly on site without any problems.

KLÍČOVÁ SLOVA

KONZISTENCE BETONU, REOLOGICKÉ VLASTNOSTI BETONU, BETON, PENETRAČNÍ JEHLA

KEY WORDS:

CONSISTENCY CONCRETE, RHEOLOGICAL PROPERTIES CONCRETE , CONCRETE, PENETRATION NEEDLE

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

DRIML, Martin. *Možnosti stanovení reologických vlastností čerstvého betonu pomocí penetrační jehly*. Brno, 2012. 50 s., Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Jiří Zach, Ph.D..

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne 25.5.2012

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Zachovi Ph.D., za odborné vedení práce, poskytování rad a připomínek a jeho vstřícnost.

OBSAH

ÚVOD	11
I. TEORETICKÁ ČÁST	
1 beton a jeho složky	12
1.1 <i>Cement</i>	12
1.1.1 Druhy cementu	12
1.2 <i>Voda</i>	14
1.3 <i>Kamenivo</i>	14
1.4 <i>Příspěvy</i>	14
1.5 <i>Příměsi</i>	15
2 Konzistence čerstvého betonu	16
2.1 <i>Zkouška sednutím dle ČSN EN 12350-2</i>	17
2.1.1 Podstata zkoušky:	17
2.1.2 Zkušební pomůcky:	17
2.1.3 Postup zkoušky:	18
2.2 <i>Zkouška Vebe dle ČSN EN 12350-3</i>	19
2.2.1 Podstata zkoušky:	19
2.2.2 Zkušební pomůcky:	19
2.2.3 Postup zkoušky:	21
2.3 <i>Stupeň zhutnitelnosti dle ČSN EN 12350-4</i>	23
2.3.1 Podstata zkoušky:	23
2.3.2 Zkušební pomůcky:	23
2.3.3 Postup zkoušky:	24
2.4 <i>Zkouška rozlíváním dle ČSN EN 12350-5</i>	25
2.4.1 Podstata zkoušky:	25
2.4.2 Zkušební pomůcky:	25
2.4.3 Postup zkoušky:	27
3 METODY PUŽÍVANÉ V ZAHRANIČÍ	29
3.1 <i>K-Slump tester</i>	29
3.1.1 Pracovní postup	29
3.2 <i>Kelly ball test</i>	30
3.2.1 Pracovní postup	31
4 Zkoušky samozhutnitelných betonů	33
4.1 <i>Zkouška sednutí-rozlíváním dle ČSN EN 12350-8</i>	33
4.2 <i>Zkouška V-nálevkou dle ČSN EN 12350-9</i>	34
4.3 <i>Zkouška L-truhlíkem dle ČSN EN 12350 – 10</i>	34
4.4 <i>Zkouška Orimet a J-Ring test</i>	35

II. PRAKTICKÁ ČÁST

1	cíl práce	36
2	metodika práce.....	37
3	Stanovení konzistence pomocí penetrační jehly	38
	<i>3.1 Podstata zkoušky stanovení konzistence čerstvého betonu pomocí penetrační jehly</i>	<i>38</i>
	<i>3.2 Zkušební pomůcky</i>	<i>38</i>
	<i>3.3 Postup zkoušky:.....</i>	<i>39</i>
4	Laboratorní ověření	40
	<i>4.1 Laboratorní srovnání metod sednutí kužele, rozlité kužele a penetrační jehly ..</i>	<i>40</i>
	<i>4.2 Přehled naměřených hodnot</i>	<i>42</i>
	<i>4.3 Vyhodnocení naměřených hodnot.....</i>	<i>44</i>
	Závěr.....	47
	Použitá literatura.....	49

SEZNAM ILUSTRACÍ

I. TEORETICKÁ ČÁST

Obr. 1-1 Schéma složek betonu [9].....	12
Obr. 2-1 Tvary sednutí [3]	18
Obr. 2-2 Měření sednutí [3].....	19
Obr. 2-3 Konzistometr (přístroj Vebe) [4]	22
Obr. 2-4 Druhy sednutí (přístroj Vebe) [4]	22
Obr. 2-5 Beton v nádobě před zhutněním a po zhutnění [5].....	24
Obr. 2-6 Měření rozlité [6]	27
Obr. 2-7 Setřásací stůl [6]	28
Obr. 2-8 Forma na beton [6] Obr. 2-9 Dusadlo [6]	28
Obr. 3-1 K-slump tester [12].....	29
Obr. 3-3 Kelly ball test – schéma [13]	31
Obr. 3-2 Kelly ball test – přístroj [13].....	31
Obr. 4-1 Nákres a rozměry podkladové desky v [mm] [14].....	33
Obr. 4-2 Nákres a rozměry V-nálevky [14]	34
Obr. 4-3 Nákres L-truhlíku [14].....	35
Obr. 4-4 Zkouška Orimet + J-Ring [14]	35

II.PRAKTICKÁ ČÁST

Obr. 2-1 Schéma experimentální práce	37
Obr. 3-1 Schématické vyobrazení stanovení penetrace pomocí penetrační jehly (penetrometru) [8]	39

SEZNAM TABULEK

I. TEORETICKÁ ČÁST

Tab. 1-1 Druhy cementu	13
------------------------------	----

II.PRAKTICKÁ ČÁST

Tab. 3-1 Složení zkušebních receptur na 1m ³	41
Tab. 3-2 Přehled naměřených fyzikálních hodnot u čerstvého betonu	42
Tab. 3-3 Přehled naměřených hodnot fyzikálních a mechanických vlastností u zatvrdlého betonu	43

SEZNAM GRAFŮ

II.PRAKTICKÁ ČÁST

Graf 3-1 Závislost penetrace (hloubky vniku penetrační jehly) na sednutí u čerstvého betonu.....	45
Graf 3-2 Závislost penetrace (hloubky vniku penetrační jehly) na rozlítí u čerstvého betonu.....	45
Graf -3-3 Závislost rozlítí na sednutí u čerstvého betonu	46
Graf 3-4 Srovnání pevností v tlaku po 28 dnech	46
Graf 5-1 Srovnání korelačních koeficientů	47

ÚVOD

Beton dříve charakterizovaný jako umělý kámen patří dnes k nejpoužívanějším a nejdůležitějším stavebním materiálům současné doby a má dlouholetou tradici. Historie betonu sahá až do roku asi 3600 let.př.n.l., kde bylo zaznamenáno jeho použití na sloupy v Egyptě, dále na přelomu letopočtu v knize Deset knih o Architektuře o užití vápenné malty s přísadou sopečného popela z Puzzolan. Jsou známé římské stavby s užitím umělého kamene (betonu). Další první zmínky o užití betonu po zániknutí Říma jsou až z roku 1796 v Anglii. Klíčovým vynálezem bylo používání ocelové výztuže do betonu a vznik železobetonu. Rozmach užívání betonu se datuje od počátku 20. století.

Beton a konstrukce z něj vyrobené zaznamenaly v poslední době prudký rozvoj. V současnosti je k dispozici široká škála druhů betonů, ve kterých dokážeme ovlivňovat jejich specifické vlastnosti pomocí příměsí a přísad do betonu (především plastifikátory a superplastifikátory), které při vhodné kombinaci s cementem a kamenivem umožňují dosahovat jeho vysoké pevnosti, vodotěsnosti, odolnosti proti chemickým rozmrazovacím látkám a dlouhodobé zpracovatelnosti.

V dnešní době je již známo, že v podstatě všechny složky betonu ovlivňují reologické chování čerstvého betonu, proto je důležitá znalost reologie čerstvého betonu, která je potřebná pro míchání, dopravu a ukládání čerstvého betonu do forem často i složitých tvarů.

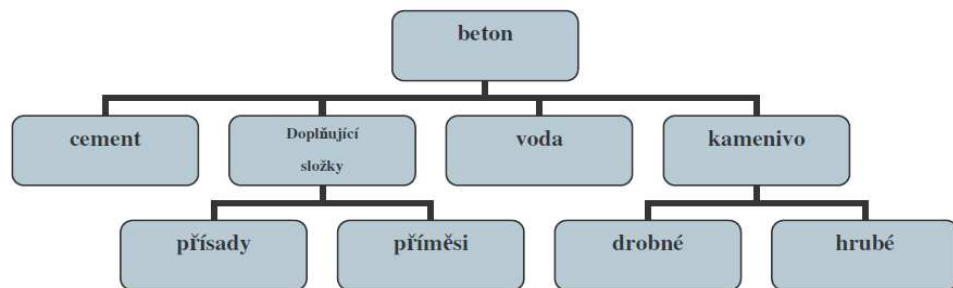
Pro transport betonu je důležitá dostatečná doba zpracovatelnosti čerstvého betonu a pro prefabrikovanou výrobu jsou podstatné pevnosti v brzkých stádiích zrání betonu. U vysokohodnotných betonů je z důvodu použití vysokého množství superplastifikačních přísad odtížné použití klasických metod stanovení konzistence betonu.

Tato práce se věnuje nové metodě pro stanovení konzistence čerstvého betonu. Jedná se o metodu, která je založená na zkoušení hloubky průniku penetrační jehly do vzorku čerstvého betonu za definovaných podmínek. Tato metoda se vyznačuje svojí jednoduchostí a nízkou náročností na měřicí techniku, proto může být využívána bezproblémově in-situ přímo na stavbě. Využití této metody je vhodné především u vysoce zplastifikovaných betonů vyšších pevností nebo čerpatelných betonů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 BETON A JEHO SLOŽKY

Beton je dnes klíčovou stavební látkou. Základní norma betonu (ČSN EN 206 - 1) beton definuje jako materiál ze směsi cementu, hrubého a drobného kameniva a vody, s přísadami nebo příměsemi nebo bez nich, který získá své vlastnosti hydratací cementu.[2] V současné době rozeznáváme velké množství druhů betonů, například samozhutnitelné označované SCC (Self Compacting Concrete), vysokopevnostní označované HSC (High Strength Concrete) a vysokohodnotné označované HPC (High Performance Concrete), které mají specifické vlastnosti a uplatnění.



Obr. 1-1 Schéma složek betonu [9]

1.1 Cement

Cement je polydisperzní partikulární anorganická látka s hydraulickými vlastnostmi. Po smíchání s vodou postupně tuhne a tvrdne. Po zatvrdnutí zachovává svoji pevnost a stálost ve vodě. Vzniká rozemletím slinku a jeho smícháním s dalšími surovinami, jako je například sádrovec (regulátor tuhnutí), struska, popílek, aj. [9]

1.1.1 Druhy cementu

Cement se skládá se z více složek, které se dělíme na hlavní a vedlejší. Dle ČSN EN 197-1 (Cement – Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití).

Tab. 1-1 Druhy cementu

Druh cementu	Název cementu	Označení	Obsah složek v % hmotnosti		
			Slínek	složka	plnivo
I.	portlandský	I	90-100	-	0-5
II.	portlandský směsný	II / A-X	80-94	6-20	0-5
		II / B-X	65-79	21-35	0-5
		III / A	36-64	36-64	0-5
III.	vysokopecní	III / B	20-34	66-80	0-5
		III / C	5-19	81-95	0-5
		IV / A	65-89	11-35	0-5
IV.	pucolánový	IV / B	45-64	36-55	0-5
		V / A	40-64	18-30	0-5
V.	směsný	V / B	20-39	30-50	0-5

Označení složek X (místo X uvedeme písmeno):

CEM II.: S = struska, D = křemičitý úlet (max. 10%), P = přírodní a Q = průmyslový pucolán, V = křemičitý a W = vápenatý popílek, T = kalcinovaná břidlice, L = vápenec.

CEM IV.: složky tvoří křemičitý úlet D, přírodní a průmyslový pucolán P, Q a křemičitý popílek V.

CEM V.: složka je z poloviny tvořena vysokopecní struskou S a z poloviny P, Q, V.

Podle požadavků na fyzikálně mechanické vlastnosti se cementy dle normy rozdělují na třídy normalizované pevnosti. Normalizovaná pevnost je pevnost v tlaku po 28 dnech. Rozeznáváme 3 třídy normalizované pevnosti:

- třída 32,5,
- třída 42,5,
- třída 52,5.

Počáteční pevnost je pevnost v tlaku po 3 nebo 7 dnech, stanovená dle EN 196-1. Rozeznáváme 2 třídy počáteční pevnosti, N – normální počáteční pevnosti, R – vysoké počáteční pevnosti. [1]

1.2 Voda

Voda v betonu plní dvě funkce, hydratační a reologickou. Rozlišujeme dva druhy vod, záměsovou (voda potřebná pro hydrataci cementového tmele) a ošetřovací (voda dodávaná po zatuhnutí betonu sloužící k udržení vlhkosti betonu). Oba druhy musí splňovat podmínky použitelnosti. Obecně se dá říct, že pitná voda je vhodná bez jakýchkoliv dalších zkoušek. Voda z povrchových zdrojů lze použít, ale musí být před použitím otestována. Ve vodě se sleduje obsah síry a siřičku, množství chemických a huminových látek. Dále lze použít recyklovanou vodu používanou v uzavřeném cyklu při výrobě transportbetonu. U této vody je nutné sledovat podíl pevných látek, které nemají překročit 1% hmotnosti kameniva.

1.3 Kamenivo

Požadavky na kamenivo jsou definovány v ČSN EN 12620 + A1 Kamenivo do betonu. Kamenivo je většinou anorganická zrnitá přírodní nebo umělá látka, která tvoří základní složku betonu a zaujímá v něm největší část. Do směsi betonu se používá kamenivo do velikosti zrna do 63mm. Používá se také recyklované kamenivo, které bylo dříve použité v konstrukci. Kamenivo rozdělujeme podle petrografie, frakce, vzniku (těžené nebo drcené), objemové hmotnosti, tvarového indexu a zrnitosti. Dále je požadováno, dle ČSN EN 1367-4 Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání Část 4: Stanovení smršťování aby objemová stálost kameniva byla do 0,075%. Dále je nutné, aby celkový obsah síry byl do 1%. [9]

1.4 Přísady

Přísady se dnes hojně používají do betonové směsi. Slouží ke zlepšení některých vlastností betonu. Dle normy ČSN EN 934-2 Přísady do betonu, malty a injektážní malty. Část 2 – Přísady do betonu, definice, specifikace a kritéria shody se uvádí tyto přísady:

- plastifikační (redukující vodu),
- superplastifikační (velmi redukující vodu),
- stabilizační (zadržující vodu),
- provzdušňovací,
- urychlující tuhnutí cementu,

- urychlující tvrdnutí cementu,
- zpomalující tuhnutí,
- hydrofobizační.

Dále jsou to pěnotvorné a plynotvorné přísady. [9]

1.5 Příměsi

Příměsi jsou většinou práškovité látky přidávané do čerstvého betonu za účelem zlepšení některých vlastností nebo k docílení zvláštních vlastností. Dělí se na dva typy: inertní příměsi (typ I) a pucolány nebo latentně hydraulické látky (typ II). Dále k příměsím řadíme barevné pigmenty a organické polymery. Nejčastěji používané příměsi jsou:

- létavé popílký
- křemičité úlety, mikrosilika
- barevné pigmenty
- hydraulicky aktivní a inaktivní příměsi [9]

2 KONZISTENCE ČERSTVÉHO BETONU

Reologické vlastnosti čerstvého betonu definujeme technologickými veličinami, které stanovujeme pomocí přístrojů a aparatur poskytujících pouze relativní hodnoty pro vzájemné srovnávání čerstvých betonů.

Technologické reologické vlastnosti dělíme na:

- *fenomenologické* (popisné), nevyjadřují podstatu a nelze je měřit. Popisujeme je jako zpracovatelnost čerstvého betonu, která zahrnuje: míchatelnost, dopravovatelnost, ukladatelnost, zhutnitelnost, plastičnost a pohyblivost.
- *zvláštní*, definované pojmem konzistence čerstvého betonu. Je to schopnost odporovat přetváření čerstvého betonu při působení vnějších sil. Hodnotové vyjádření konzistence má usanční charakter, vyplývající z použitého měřicího zařízení a zkušebního postupu. Zkušební metody jsou většinou označeny podle způsobu provádění a lze je zařadit do devíti skupin: sednutí, rozlití, penetrace, přetvárná práce, zhutnění, výtok, deformace, přetvoření při pádu, směšování. Každá metoda není vhodná pro celé spektrum konzistencí, má své vlastní jednotky. Nedoporučuje se provádět převody hodnot jednotlivých zkušebních metod na jiné metody i když lze v určitých mezích usuzovat na shodné reologické chování. [1]

Stanovením reologických vlastností čerstvého betonu hlavně konzistence, tj. stanovením jeho přetvárných vlastností, zejména deformace při stálém zatížení v závislosti na čase, se získávají praktické informace o tom, jak lze čerstvý beton dopravovat, na stavbě zpracovat a případně dále hutnit. [1]

Stanovování konzistence čerstvého betonu může být často velice problematické, obzvláště pak měření prováděné přímo na stavbě. Dle ČSN EN 206-1 by měla být konzistence čerstvého betonu určena jedním z následujících způsobů:

- zkouška sednutím kužele dle EN 12 350-2
- zkouška Vebe podle EN 12 350-3
- stupeň zhutnitelnosti podle EN 12 350-4
- zkouška rozlitím kužele podle EN 12 350-5
- nebo může být stanovena jinou specifickou metodou, která je předem vzájemně odsouhlasena specifikátorem a výrobcem betonu. [2]

Jako nejuniverzálnější a nejvíce používané se dnes jeví zkoušky sednutí a rozlití kužele, které jsou použitelné pro širší spektrum konzistencí betonu. V případě zkoušek Vebe a stanovení zhutnitelnosti je nutné použití speciálního zkušebního zařízení, které je komplikované používat in-situ. Nicméně v některých případech nejsou ani výsledky prvních dvou výše uvedených metod dobře použitelné. Jedná se především o betony s nízkým vodním součinitelem, betony s vyšším obsahem superplastifikačních přísad nové generace a o betony s přetržitou křivkou zrnitosti. [2]

Postup odběru vzorků pro zkoušení stanovuje ČSN EN 12350-1 Zkoušení čerstvého betonu - Část 1: Odběr vzorků.

2.1 Zkouška sednutím dle ČSN EN 12350-2

2.1.1 Podstata zkoušky:

Zkouška sednutím reaguje na změny konzistence betonu, které odpovídají sednutím mezi 10 mm a 200 mm. Mimo tyto hranice může být měření konzistence sednutím nevhodné a mají se použít jiné metody stanovení konzistence.

Jestliže sednutí pokračuje i po době 1. minuty po odstranění formy, zkouška sednutím je nevhodná pro měření konzistence. Tato zkouška není vhodná, jestliže největší zrno kameniva v betonu je větší než 40 mm. [3]

2.1.2 Zkušební pomůcky:

- Forma k tvarování zkušební tělesa (kužel průměr dolní základny 200 ±2 mm; průměr horní základny 100 ±2 mm; výška 300 ±2 mm
- Propichovací tyč, rovná ocelová tyč s kruhovým průřezem o průměru 16 ±1 mm a délce 600 ±5 mm se zaoblenými konci
- Násypka (doporučená), zhotovená z nenasákavého materiálu, nereagujícího na cementovou kaši s nákrůžkem k uchycení násypky na formu
- Právítko se stupnicí od 0 mm do 300 mm s dílky nejvýše 5 mm, přičemž 0 musí být na samém konci pravítka
- Podkladní deska/povrch, nenasákavá tuhá rovná deska nebo povrch na který se umístí forma
- Nádoba na promíchání, plochá nádoba s tuhou konstrukcí, zhotovená z nenasákavého materiálu, nereagujícího na cementovou kaši. Musí

mít přiměřenou velikost, aby bylo možné v ní znovu promíchat beton pomocí lopaty pravoúhlého tvaru

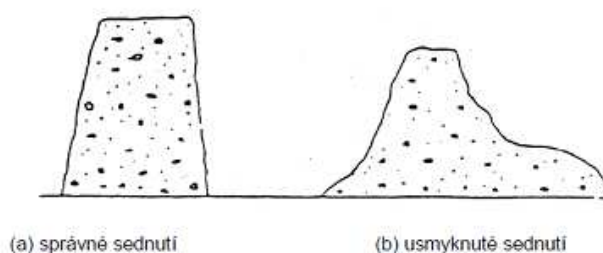
- Lopata pravoúhlého tvaru
- Vlhký hadřík
- Stopky nebo hodiny umožňující měřit čas s přesností 1. vteřiny

2.1.3 Postup zkoušky:

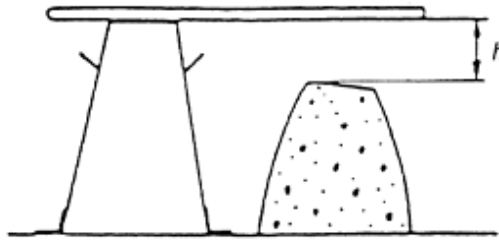
Forma i podkladní deska se navlhčí a forma se položí na vodorovnou podkladní desku. Forma musí být během plnění pevně přichycena k podkladní desce/povrchu buď svěrkami, nebo přišlápnutím dvou příložek. Forma se plní ve třech vrstvách, každá přibližně o jedné třetině výšky kužele po zhutnění. Každá vrstva se zhutňuje 25 vpichy propichovací tyčí. Vpichy jsou rovnoměrně rozloženy po ploše každé vrstvy. Při zhutňování spodní vrstvy je nutno propichovací tyč mírně naklonit a asi polovina vpichů je rozložena spirálovitě ke středu. Druhá a vrchní vrstva se zhutňuje přes celou svou výšku tak, aby vpichy mírně zasahovaly do předcházející vrstvy. Při plnění a zhutňování vrchní vrstvy se před zhutňováním přeplní beton nad horní okraj formy. Jestliže by po zhutnění nedosahoval beton k hornímu okraji formy, je nutno přidat tolik betonu, aby byl stále nad horním okrajem formy přebytek betonu. Po zhutnění vrchní vrstvy se odstraní přebytečný beton současným otáčením a příčným pohybem propichovací tyče. Odstraní se spadlý beton z podkladní desky/povrchu. Forma se opatrně oddělí od betonu svislým pohybem nahoru.

Zvedání formy se musí provést během 2 s až 5 s, rovnoměrně, bez otáčivých nebo příčných pohybů, které by mohly ovlivnit beton. Celá zkouška od počátku plnění až po zvednutí formy musí probíhat plynule, bez přerušování a musí být ukončena během 150 s.

Ihned po zvednutí formy se změří a zaznamená sednutí (h) zjištěním rozdílu mezi výškou formy a nejvyšším bodem sednutého zkušební vzorku. [3]



Obr. 2-1 Tvary sednutí [3]



Obr. 2-2 Měření sednutí [3]

2.2 Zkouška Vebe dle ČSN EN 12350-3

2.2.1 Podstata zkoušky:

Tato norma uvádí metodu pro stanovení konzistence čerstvého betonu zkouškou Vebe měřením času. Tato zkouška není vhodná pro beton, ve kterém má kamenivo zrna větší než 63 mm. Jestliže změřený čas při zkoušce Vebe je kratší než 5 s nebo delší než 30 s, pak má beton takovou konzistenci, pro kterou zkouška Vebe není vhodná. Čerstvý beton se zhutní ve formě pro zkoušku sednutí. Po zvednutí formy se opatrně spustí na beton kruhová průhledná deska. Zaznamená se sednutí betonu. Spustí se vibrační stůl a změří se doba, během které se celý spodní povrch kruhové desky dostane do styku s cementovou maltou (čas Vebe).

2.2.2 Zkušební pomůcky:

- Příkladový přístroj Vebe (konzistometr)
- Nádoba (A), zhotovená z kovu, nereagujícího na cementovou kaši, válcového tvaru, s vnitřním průměrem 240 mm \pm 5 mm a výškou 200 mm \pm 2 mm. Tloušťka stěny musí být přibližně 3 mm a dna přibližně 7,5 mm. Nádoba musí být vodotěsná a dostatečně tuhá, aby si zachovala svůj tvar při hrubém zacházení. Musí mít ucha a u dna příchytky pro bezpečné upevnění k hornímu povrchu vibračního stolu (G) pomocí křídlových matic (H)
- Forma (B), zhotovená z kovu, nereagujícího na cementovou kaši, s tloušťkou stěny nejméně 1,5 mm. Vnitřní povrch stěn formy musí být hladký a nesmí mít výstupky, jako jsou hlavy nýtů, a nesmí mít důlky. Forma musí mít tvar dutého komolého kužele s následujícími vnitřními rozměry:

- průměr dolní základny: (200 ±2) mm;
- průměr horní základny: (100 ±2) mm;
- výška: (300 ±2) mm.

Dolní i horní základna formy musí být otevřené a musí být vzájemně rovnoběžné a kolmé na osu kužele. Forma musí mít v horní části, přibližně ve 2/3 výšky, dva držáky, které umožní svislé zvednutí formy ze zkušebního betonového tělesa, podle požadavku zkoušky

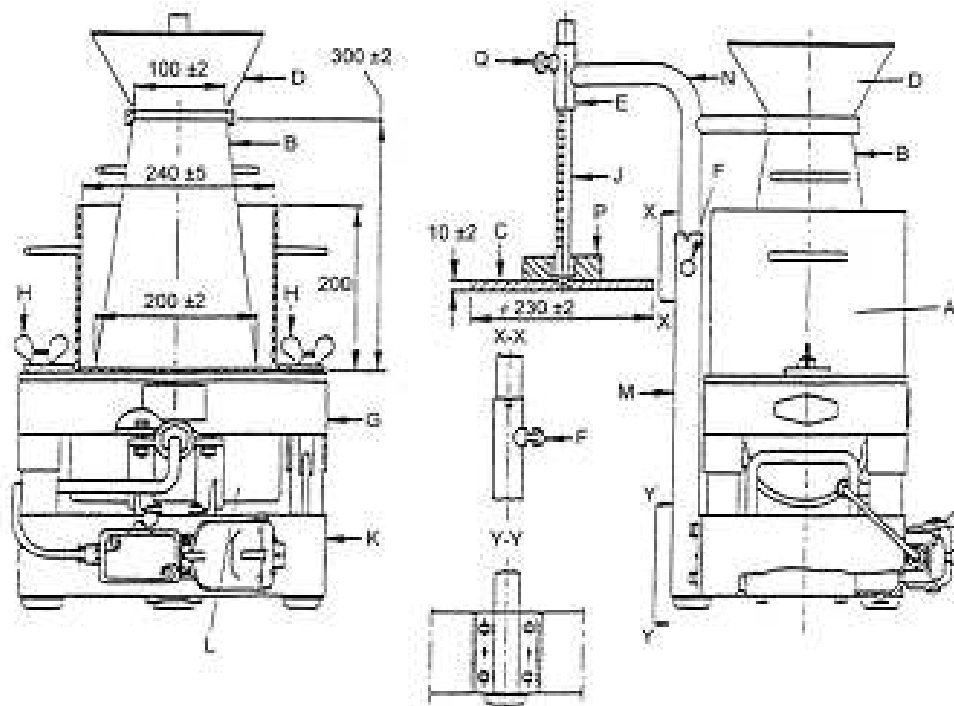
- Kruhová deska (C), průhledná, vodorovná, je připevňována na kovovou vodící tyč (J), která se pohybuje svisle v objímce (E) otočného ramene (N) a která může být zajištěna v určené poloze šroubem (Q). Otočné rameno nese také násypku (D), jejíž základna se shoduje s horní základnou kuželové formy, která je umístěna do středu nádoby. Otočné rameno je vloženo do stojanu (M) a může být zajištěno v určené poloze stavěcím šroubem (F). Poloha vodící tyče i násypky je správná, jestliže se jejich osy shodují s osou nádoby. Průhledná kruhová deska musí mít průměr 230 mm ±2 mm a tloušťku 10 mm ±2 mm. Závaží (P) umístěné přímo nad deskou musí být takové, aby hmotnost pohyblivé části sestávající z tyče, kruhové desky a závaží byla 2 750 g ±50 g. Na vodící tyči musí být měřítko s dílkou 5 mm ke zjišťování sednutí kužele
- Vibrační stůl (G), 380 mm ±3 mm dlouhý a 260 mm ±3 mm široký, je uložen na čtyřech pryžových tlumičích nárazů na dutém podstavci (K), který spočívá na třech pryžových podložkách. Vibrátor (L) je bezpečně upevněn ke spodní části stolu. Vibrátor pracuje při jmenovité frekvenci 50 Hz až 60 Hz a svislá amplituda stolu s prázdnou nádobou nahoře musí být přibližně ±0,5 mm
- Propichovací tyč, rovná ocelová tyč s kruhovým průřezem o průměru přibližně 16 mm a délce asi 600 mm, se zaoblenými konci
- Stopky nebo hodiny, umožňující měřit čas s přesností 0,5 s
- Nádoba na promíchání, plochá nádoba s tuhou konstrukcí, zhotovená z nenasákavého materiálu, nereagujícího na cementovou kaši. Musí mít přiměřenou velikost, aby bylo možné v ní znovu promíchat beton pomocí lopaty pravouhlého tvaru
- Lopata pravouhlého tvaru

2.2.3 Postup zkoušky:

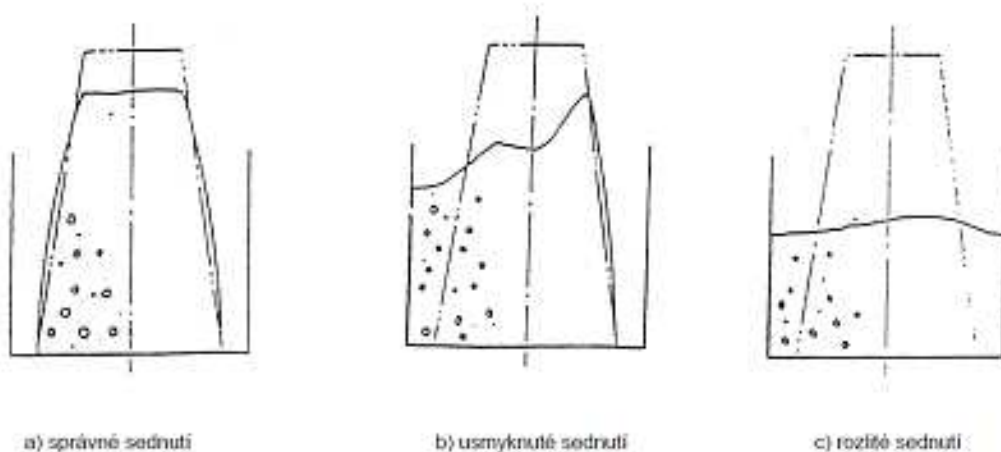
Přístroj Vebe se umístí na tuhý vodorovný podklad, přičemž je nutno zabezpečit, aby nádoba (A) byla pevně přichycena k vibračnímu stolu (G) pomocí křídlových matic (H). Forma (B) se navlhčí a vloží do nádoby. Násypka (D) se natočí do polohy nad formu a spustí se na ni. Stavěcím šroubem (F) se forma zajistí tak, aby se nemohla zvednout ode dna nádoby. Ze vzorku betonu, získaného podle kapitoly 5, se forma plní ve třech vrstvách, každá přibližně o jedné třetině výšky formy po zhutnění. Každá vrstva se zhutňuje 25 vpichy propichovací tyčí, přičemž vpichy jsou rovnoměrně rozloženy po ploše každé vrstvy. Pro zhutňování spodní vrstvy je nutno propichovací tyč mírně naklonit a asi polovina vpichů je rozložena spirálovitě ke středu. Beton se zhutňuje na celou výšku, přičemž je nutno zabránit nárazu propichovací tyče na dno. Druhá a vrchní vrstva se zhutňuje přes celou svou výšku tak, aby vpichy zasahovaly jen do předcházející vrstvy. Při plnění a zhutňování vrchní vrstvy se před zhutňováním přeplní beton nad horní okraj formy. Jestliže je to nutné, přidá se během zhutňování další beton tak, aby stále přesahoval nad horní okraj formy. Po zhutnění vrchní vrstvy se uvolní stavěcí šroub (F), násypka (D) se zvedne a vrátí se do své původní polohy a znovu se zajistí stavěcím šroubem (F) v nové poloze. Je třeba dbát na to, aby se forma (B) nezvedla nebo nepohnula a aby beton nenapadal do nádoby (A). Beton horní vrstvy se zarovná současným otáčením a příčným pohybem propichovací tyče. Forma (B) se opatrně oddělí od betonu svislým pohybem nahoru pomocí držáků na formě. Zvedání formy se musí provést během 2 s až 5 s bez otáčivých nebo příčných pohybů, které by mohly ovlivnit beton. Jestliže se beton usmýkne, jak je vidět na obrázku 2-4 b), nebo se rozlije tak, že se dotýká stěn nádoby (A), jak je vidět na obrázku 5 c), je nutno to zaznamenat. Jestliže beton při sednutí se nedotýká stěn nádoby (A) a sednutí je podle obrázku 2-4 a), je nutno to zaznamenat. Průhledná kruhová deska (C) se natočí nad beton, uvolní se šroub (Q) a velmi opatrně se kruhová deska spustí dolů, až se dotkne betonu. Za předpokladu, že nastalo správné sednutí, se po dotyku kruhové desky v nejvyšším bodě betonu utáhne šroub (Q). Na měřítku na vodící tyči (J) se přečte a zaznamená hodnota sednutí. Uvolní se šroub (Q), aby kruhová deska (C) mohla snadno klesat dolů do nádoby zcela položena na betonu. Jestliže nebylo zjištěno správné sednutí, uvolní se šroub (Q), aby kruhová deska (C) mohla klesat dolů do nádoby položena na betonu. Spustí se vibrace stolu a současně i stopky. Průhlednou kruhovou deskou (C) se sleduje hutnění betonu. Jakmile spodní povrch kruhové desky (C) se celou plochou dotýká cementové malty, zastaví se stopky a vypne se vibrační stůl. Zaznamená se čas zaokrouhlený na nejbližší sekundu. Celá

zkouška, počínaje plněním formy, se nesmí přerušit a musí být ukončena během 5 minut. [4]

Rozměry v milimetrech



Obr. 2-3 Konzistometr (přístroj Vebe) [4]



a) správné sednutí

b) usmyknuté sednutí

c) roziště sednutí

Obr. 2-4 Druhy sednutí (přístroj Vebe) [4]

2.3 Stupeň zhutnitelnosti dle ČSN EN 12350-4

2.3.1 Podstata zkoušky:

Tato zkouška není vhodná pro beton, ve kterém je kamenivo se zrny většími než 63 mm. Tato zkouška není vhodná pro samozhutnitelný beton.

Jestliže stupeň zhutnitelnosti je menší než 1,04 nebo větší než 1,46, pak má beton takovou konzistenci, pro kterou zkouška stupněm zhutnitelnosti není vhodná. Čerstvý beton se opatrně ukládá do nádoby pomocí zednické lžíce, přičemž je nutno dbát na to, aby nebyl hutněn. Po naplnění nádoby je přebytečný beton odstraněn a zarovnan s horní hranou nádoby. Beton se zhutní vibrováním a vzdálenost povrchu zhutněného betonu od horní hrany nádoby slouží ke stanovení stupně zhutnitelnosti.

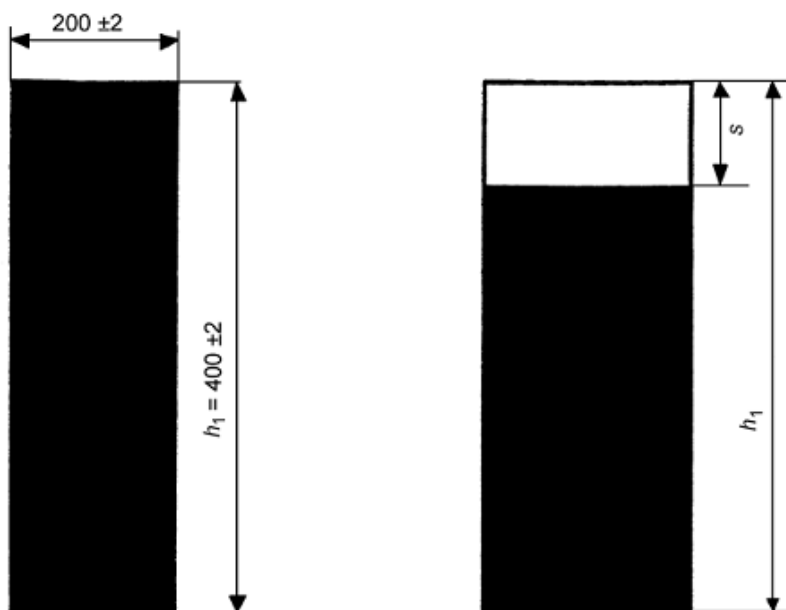
2.3.2 Zkušební pomůcky:

- Nádoba, zhotovená z kovu, který nereaguje s cementovou kaší. Vnitřní rozměry nádoby musí být základna 200 ± 2 mm x 200 ± 2 mm; výška 400 ± 2 mm. Tloušťka základny a stěn musí být nejméně 1,5 mm.
- Zednická lžíce s rovným listem
- Vybavení na zhutnění betonu, a to jedno ze dvou následujících:
 - ponorný vibrátor: s minimální frekvencí přibližně 120 Hz (7 200 kmitů za minutu). Průměr hlavice ponorného vibrátoru nesmí být větší než jedna čtvrtina nejmenšího rozměru nádoby
 - vibrační stůl: s minimální frekvencí přibližně 40 Hz (2 400 kmitů za minutu)
- Nádoba na promíchání - plochá nádoba s tuhou konstrukcí zhotovená z nenasákavého materiálu, nereagujícího na cementovou kaši. Musí mít přiměřenou velikost, aby bylo možné v ní znovu promíchat beton pomocí lopaty pravoúhlého tvaru
- Lopata, pravoúhlého tvaru
- Srovnávací lišta, delší než 200 mm
- Pravítko
- Vlhký hadřík

2.3.3 Postup zkoušky:

Nádoba se vyčistí a vnitřní stěny se navlhčí vlhkým hadříkem. Nádoba se naplní bez zhutňování, postupným vyklápěním lžice ze všech čtyř horních hran nádoby. Po naplnění nádoby se odstraní přebytečný beton nad horními hranami příčným pohybem srovnávací lišty tak, aby se zabránilo jakémukoliv hutnění. Beton se zhutní pomocí vibračního stolu nebo ponorným vibrátorem tak, až není patrné další zmenšování objemu. Během hutnění nutno zabránit ztrátě betonu jeho rozstříkáním nebo netěsností nádoby. POZNÁMKA 1. Při použití ponorného vibrátoru je třeba věnovat velkou pozornost tomu, aby nedošlo ke ztrátě provzdušnění. Po zhutnění se stanoví hodnota s (viz obrázek 2-5), to znamená průměrná hodnota vzdálenosti mezi horní hranou formy a povrchem zhutněného betonu, s přesností na jeden milimetr. Tato průměrná hodnota se stanoví ze čtyř vzdáleností změřených uprostřed každé strany nádoby. [5]

Rozměry v milimetrech



Obr. 2-5 Beton v nádobě před zhutněním a po zhutnění [5]

2.4 Zkouška rozlitím dle ČSN EN 12350-5

2.4.1 Podstata zkoušky:

Tato norma uvádí metodu pro stanovení konzistence čerstvého betonu zkouškou rozlitím. Zkouška není vhodná pro pěnobeton nebo jednozrnný beton, a také pro beton, v němž největší zrno kameniva je větší než 63 mm. Do této evropské normy jsou začleněna formou datovaných nebo nedatovaných odkazů ustanovení z jiných publikací. Tyto normativní odkazy jsou uvedeny na vhodných místech textu a seznam těchto publikací je uveden níže. U datovaných odkazů se pozdější změny nebo revize kterékoliv z těchto publikací vztahují na tuto evropskou normu jen tehdy, pokud do ní byly začleněny změnou nebo revizí. U nedatovaných odkazů platí poslední vydání příslušné publikace. Tato zkouška stanoví konzistenci čerstvého betonu změřením rozlití betonu na rovné desce, která je vystavena otřesům.

2.4.2 Zkušební pomůcky:

- Střásací stolek, (viz obrázek 2-7), sestávající z pohyblivé horní části, zhotovené z rovné desky o ploše (700 ± 2) mm x (700 ± 2) mm, na kterou se ukládá beton; deska je na jedné straně připojena závěsem k tuhé podkladní desce, na kterou může dopadat z nastavené výšky. Horní deska střásacího stolku musí mít rovný kovový povrch, plech o tloušťce nejméně 2 mm, který nesmí reagovat na cementovou kaši ani být náchylný ke korozi. Horní deska střásacího stolku musí mít hmotnost $(16 \pm 0,5)$ kg a být připojena k podkladní desce dostatečně silným závěsem. Konstrukce desky musí být taková, aby nemohlo dojít k deformaci povrchu desky. Horní deska musí být připojena k podkladní desce tak, aby kamenivo nemohlo uvíznout mezi podkladní a horní deskou. Uprostřed povrchu stolku musí být vyznačen kříž, jehož čáry jsou rovnoběžné s hranami stolku a střední kružnice o průměru (210 ± 1) mm. Na předních rozích horní desky musí být zesponu pevně přichyceny dvě tuhé zarážky, které se nesmí deformovat ve vlhku a musí být nenasákavé. Tyto zarážky, které přenášejí zatížení z horní desky na podkladní, nesmí způsobit deformaci stolku. Rám podkladní desky musí být konstruován tak, aby

se zatížení přenášelo přímo na plochu, na které je stříšovací stůl umístěn. Tím je snížena tendence k odskoku horní desky při volném pádu. K zajištění stability při používání je stříšovací stůl vybaven deskou na přišlápnutí. Výška volného pádu horní desky, měřená uprostřed přední hrany desky, je nastavena na (40 ± 1) mm jednou nebo více zářkami. Ke zvedání horní desky slouží držadlo nebo zvedací zařízení, které umožňuje zvedání desky bez škrubnutí a dopad volným pádem z celé nastavené výšky.

- Forma ke tvarování zkušební tělesa, zhotovená z kovu, který nereaguje s cementovou kaší a má tloušťku stěny nejméně 1,5 mm. Vnitřní povrch stěn formy musí být hladký a nesmí mít výstupky jako jsou hlavy nýtů a nesmí mít důlky. Forma musí mít tvar dutého komolého kužele s následujícími vnitřními rozměry:

- průměr dolní základny: (200 ± 2) mm
- průměr horní základny: (130 ± 2) mm
- výška: (200 ± 2) mm

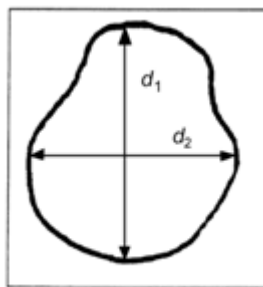
Dolní i horní základna musí být otevřená a musí být vzájemně rovnoběžná a kolmá na osu kužele. Forma musí mít v horní části dva držáky. U dolní základny upevňovací svěrky nebo náslapné příložky k uchycení formy k podkladu. Forma se svěrkami k uchycení k podkladu je přípustná za předpokladu, že upínací zařízení umožní uvolnění formy bez jejího posunutí a neovlivní sednutí betonu.

- Dusadlo, zhotovené z tvrdého materiálu, s čtvercovým průřezem o délce stran (40 ± 1) mm, s délkou přibližně 200 mm. Další část, o délce 120 mm až 150 mm, může mít kruhový průřez pro uchopení dusadla (viz obrázek 3-9).
- Pravítko, nejméně 700 mm dlouhé, s měřicími dílky 5 mm po celé své délce
- Nádoba na promíchání, plochá nádoba s tuhou konstrukcí, zhotovená z nenasákavého materiálu, nereagujícího na cementovou kaši. Musí mít přiměřenou velikost, aby bylo možné v ní znovu promíchat beton pomocí lopaty pravoúhlého tvaru
- Lopata, pravoúhlého tvaru
- Vlhký hadřík
- Lopatka, přibližně 100 mm široká

- Stopky nebo hodiny, umožňující měřit čas s přesností 1 s

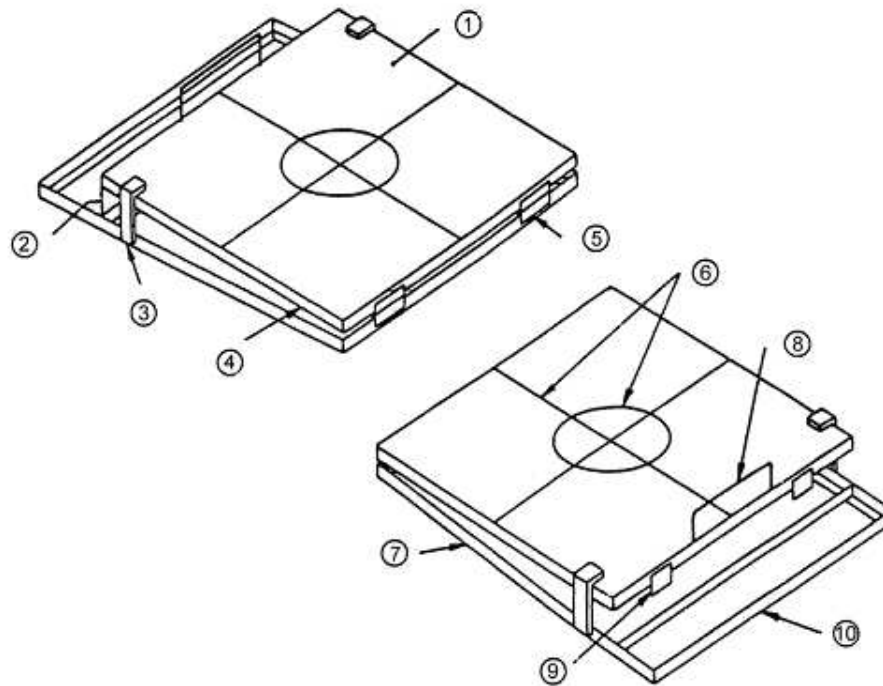
2.4.3 Postup zkoušky:

Střásací stůl se umístí na rovnou, vodorovnou plochu, která není ovlivněna vnějšími vibracemi ani otřesy. Je nutno zajistit, aby horní závěsná deska stolku mohla být zvednuta do správné výšky a pak volně spadnout na spodní zářku. Stůl je podepřen tak, aby při dopadu horní desky stolku na spodní zářku, měla deska minimální tendenci k odskoku. Těsně před zkoušením se stůl a forma očistí a navlhčí bez nadbytečné vlhkosti. Kontaktní zářky je nutno udržovat čisté. Forma se umístí na střed horní desky a udržuje se v této poloze buď přišlápnutím nožních příložek nebo s použitím magnetů. Forma se naplní pomocí lopatky betonem ve dvou stejných vrstvách, každá vrstva se vyrovná desetinásobným lehkým dusáním dusadlem. Jestliže je to nutné, přidá se ještě beton na druhou vrstvu tak, aby převyšoval horní hranu formy. Pomocí dusadla se beton srovná do výšky zároveň s horní hranou formy a povrch horní desky se očistí od spadlého betonu. Po 30 sekundách od urovnání povrchu betonu se pomocí držadel zvedne forma během 3 sekund až 6 sekund svisle nahoru. Střásací stůl se stabilizuje přišlápnutím na přední straně spodní desky a pomalu se zvedne horní deska až k horní zářce, přičemž na ni nesmí prudce narazit. Horní deska se nechá volně dopadnout na spodní zářku. Tento cyklus se opakuje 15x, přičemž každý cyklus nesmí být kratší než 1 sekundy a ne delší než 3 sekundy. Pravítkem se změří největší rozměr rozlitého betonu ve dvou směrech d_1 a d_2 (viz obrázek 2,6), rovnoběžně s hranami stolku a obě měření se zaznamenají, zaokrouhlené na nejbližších 10 mm. Zkontroluje se rozlité betonu s ohledem na segregaci. Cementová kaše se může oddělit od hrubého kameniva a vytvořit prstenec kaše přesahující několik milimetrů za hrubé kamenivo. Pokud se segregace objeví, zaznamená se a zkouška je proto nevyhovující. [6]



Obr. 2-6 Měření rozlité [6]

Rozměry v milimetrech

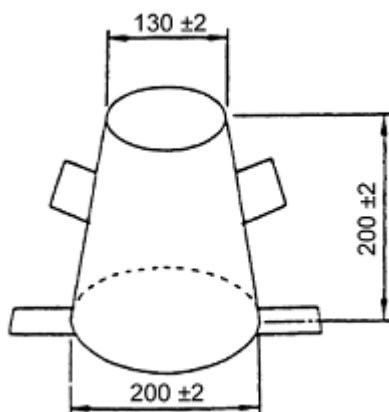


Legenda:

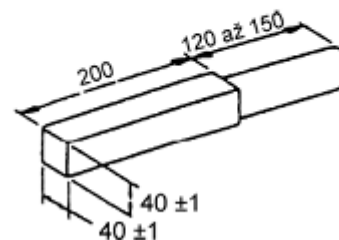
- | | |
|--------------------------------------|--------------------------|
| 1) kovový povrch | 6) vyznačení |
| 2) omezení zdvihu na (40 ± 1) mm | 7) rám podkladní desky |
| 3) horní zarážka | 8) držadlo na zvedání |
| 4) horní deska | 9) spodní zarážka |
| 5) vnější závěsy | 10) deska na přislápnutí |

Obr. 2-7 Setřásací stůlek [6]

Rozměry v milimetrech



Obr. 2-8 Forma na beton [6]



Obr. 2-9 Dusadlo [6]

3 METODY PUŽÍVANÉ V ZAHRANIČÍ

3.1 K-Slump tester

K-slump Tester je malé zařízení, které může být vsunuto přímo do čerstvého betonu k rychlému určení propadu. Test byl vyvinut K.W. Nasserem v 70. letech a je někdy označován jako „Nasserova sonda.“ [10]

Zařízení se skládá z trubice s otvory, jak je vidět na obrázku č.3-1., špičatý konec trubice se vtláčí do betonu. Destička cca v polovině délky trubice ukazuje správnou hloubku ponoru zařízení. Z druhé strany trubice vychází píst, který se v trubici volně pohybuje. [10]

K-slump test byl standardizován jako ASTM C1362 v roce 1997 a je komerčně dostupný. Byla vyvinuta také digitální verze testeru (US patent 5,437,181) Zařízení je vhodné pro středně a vysoce zpracovatelné betony. Test je nutné provést reálně, nelze jej nahradit výpočtem a neměří přímo plastickou viskozitu, přestože K a W hodnoty poskytují lepší informaci než samotný propad. Protože šterky větší než tři osminy palce neprojdou skrz otvory v trubici, test neměří vliv šterku na zpracovatelnost v plném rozsahu. Rozptyl výsledků je vskutku velký. [10]



Obr. 3-1 K-slump tester [12]

3.1.1 Pracovní postup

- Tester navlhčete vodou a přebytečnou vodu otřepete.
- Zvedněte měřicí tyč, lehce ji nakloňte a zachyťte za výstupek (čep) uvnitř testeru.
- Zarovnejte povrch betonu a vtláchte tester vertikálně do betonu až po disk.

- Poznámka: Při vtlačení a vytahování testerem nekrúťte!
- Po jedné minutě pomalu spusťte měřicí tyč, až dosedne na povrch směsi uvnitř tyče. Odečtěte hodnotu K-propadu ze stupnice na tyči.
 - Měřicí tyč znovu vytáhněte a nechte spočinout na čepu.
 - Vyjměte tester z betonu kolmo vzhůru a znovu pomalu spusťte měřicí tyč, až dosedne na zbytek směsi v testeru, a odečtěte hodnotu W ze stupnice na tyči.
 - Hodnoty zapište jako K – W (např. K 3,0 – 2,5).
 - Umyjte tester vodou.
 - První čtení přibližně odpovídá běžnému propadu, zatímco druhé čtení (W) udává zpracovatelnost a kompaktnost směsi. Čím větší je hodnota (W) , tím je lepší zpracovatelnost a kompaktnost betonu. Rozdíl mezi K a W by neměl překročit 2.0, aby se minimalizovala segregace. [7]
 - Tester lze vložit do menšího (15x30 cm) válce, kbelíku, míchačky, skluzavky, desek, sloupu, a dalších míst, kde je čerstvý beton. Ujistěte se, že je okolo testeru aspoň 15cm betonu a že disk se volně opírá o povrch betonu. Při použití ve kbelíku, míchačce atd. je pro přesnější jednoznačnější výsledky lepší směr předem udusat.
 - Pokud se tester používá ve standardních válcích, zaklepte lehce na válec (cca dvacetkrát) dusací tyčí nebo testerem samotným, abyste zaplnili otvor vzniklý použitím testeru. Tuhost válce se změní pouze o cca 2%. [7]

3.2 Kelly ball test

Kelly ball test byl vyvinut v padesátých letech ve Spojených státech jako rychlá alternativa poklesového testu. Tento jednoduchý a levný test je možné provádět přímo na místě a výsledky lze rychle porovnat s propadem. [10]

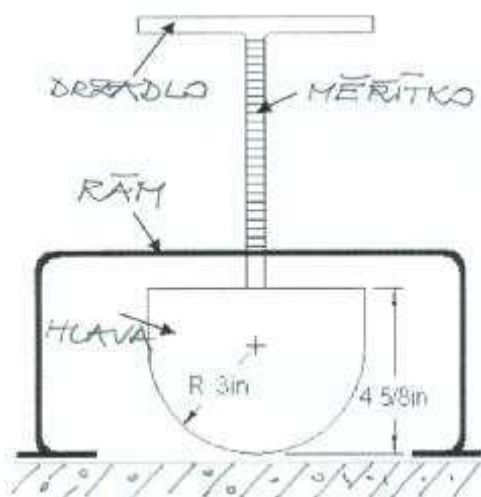
Kelly Ball test poskytuje informaci o mezi tečení a v podstatě měří, zda je síla dopadu závaží větší než-li mez tečení betonu (Ferraris, 1999). Pro dané směsi betonu lze výsledek srovnávat s propadem. Byly publikovány vzorce založené na empirickém testování určitých směsí betonu (Powers, 1968) Typicky je hodnota propadu 1,1-2 krát větší než hodnota Kelly ball testu. Podle některých názorů je Kelly ball test přesnější pro určení tuhosti než propadový test. [10]

Kelly ball test byl dříve standardizován normou ASTM C360-92 „Standardní testovací metoda pro náraz závaží v čerstvě připravené směsi betonu z hydraulického cementu.“ [10]

ASTM standart byl v roce 1999 vzhledem minimálnímu použití zrušen. Tento test se nikdy příliš neujal mimo území USA. [10]

Test je použitelný pro podobnou škálu tuhosti betonu jako propadový test a je také použitelný pro speciální směsi, např. odlehčené a tvrzené betony. Přesnost testu klesá se zvětšující se velikostí zrn použitého štěrku. [10]

Zařízení sestává z kulového závaží (hlavy) o průměru šest palců (9 cm), vážícího 30 liber (15 kg), uchyceného na násadě (viz obrázek č. 3-3) Násada má na sobě měřítko s čtvrtpalcovými (6mm) intervaly a volně prochází skrz rám, který se opírá o čerstvý beton. K provedení testu musí být povrch betonu zarovnan. Závaží se spustí na beton a měří se hloubka zaboření k nejbližšímu čtvrtpalci. Pro každý vzorek jsou třeba minimálně tři měření. [10]



Obr. 3-3 Kelly ball test – schéma [13]



Obr. 3-2 Kelly ball test – přístroj [13]

3.2.1 Pracovní postup

- Urovnejte povrch testovaného betonu. Použijte dřevěné hladítko ke srovnání povrchu, vyvarování se nadměrné práce a formace něčeho nebo jemné omítky (cementová kaše nebo injektáží)
- Položte rámeček aparátu na úroveň povrchu betonu. Zkontrolujte, že držák je ve vertikální poloze a hýbe se volně skrz rámeček
- Snižujte píst, dokud se nedotkne povrchu betonu a pomalu jej uvolněte. Ujistěte se, že beton v kontejneru není předmět k vibrování cukání, nebo jiný pohyb během testu
- Jakmile se píst přestane hýbat, odečtěte penetraci z měřidla na hřídle držadla proti vrchnímu rohu vodícího rámu. Přečtěte penetraci k nejbližším 6 mm

- Minimum ze tří čtení jsou brány z každého vzorku daného umístění. Odečítání jsou dána na bodech nejméně 150 mm vzdálených od předchozí pozice základu rámu
- Přizpůsobitelná svorka nacházející se na hřídeli držadla může být zafixována na pozici indikující penetraci. To umožní přečíst výsledek ve výhodnější pozici po tom, co byl odebrán míč z betonu
- Pokud první tři čtení nepadnou do intervalu 25 mm, další odečtení musí být vzata část tří úspěšných odečtení padnoucích do tohoto intervalu. Žádné opravy se nedělají pro případ nepatrného urovnání od základu rámečku
- Výsledek je zaznamenán jako průměr tří čtení, zaokrouhlený k nejbližším 6 mm [10]

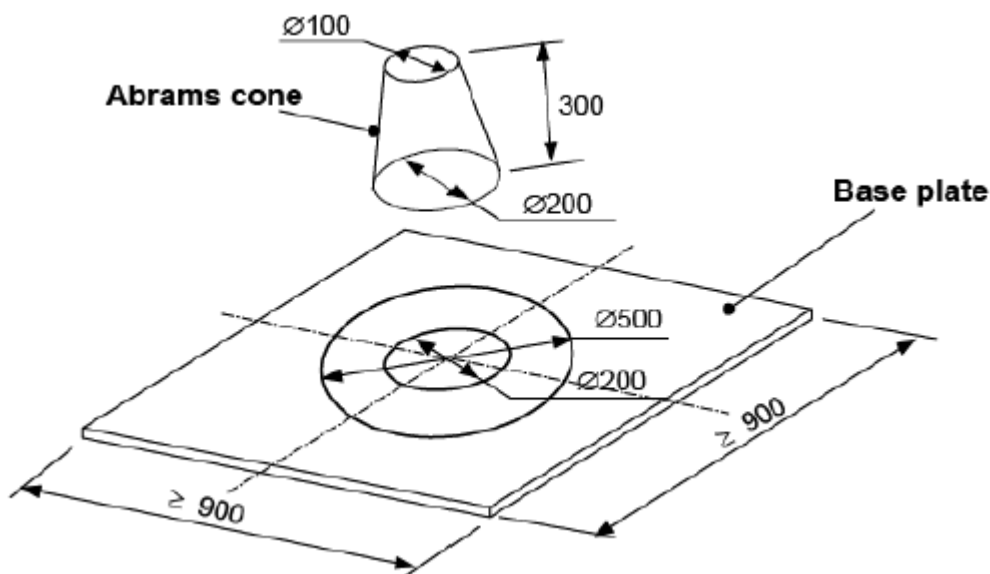
4 ZKOUŠKY SAMOZHUTNITELNÝCH BETONŮ

Z důvodu vysoké tekutosti samozhutnitelných betonů nelze použít standardní zkoušky konzistence betonu. Přístroje na zkoušení reologických vlastností betonu fungují na různém principu posouzení toku. Postupy jednotlivých zkoušek jsou specifikované normami.

4.1 Zkouška sednutí - rozlívání dle ČSN EN 12350-8

Zkouška spočívá ve vyhodnocení schopnosti téct a rychlosti tečení SCC bez přítomnosti překážek. Ke zkoušce se používá kužel Čas t_{500} vypovídá o rychlosti tečení i o viskozitě SCC. Zkouška není vhodná pro betony s maximálním zrnem kameniva větším než 40 mm.

Čerstvý beton se vlije do kužele totožného jako pro zkoušku sednutí umístěného na pevné podložce. Kužel zvedneme a měříme čas t_{500} , který udává čas zvednutí kužele od chvíle kdy se začal zvedat po čas, kdy se beton rozteče do průměru 500mm. Rozlívání kužele se změří ve dvou na sebe kolmých směrech. [14]

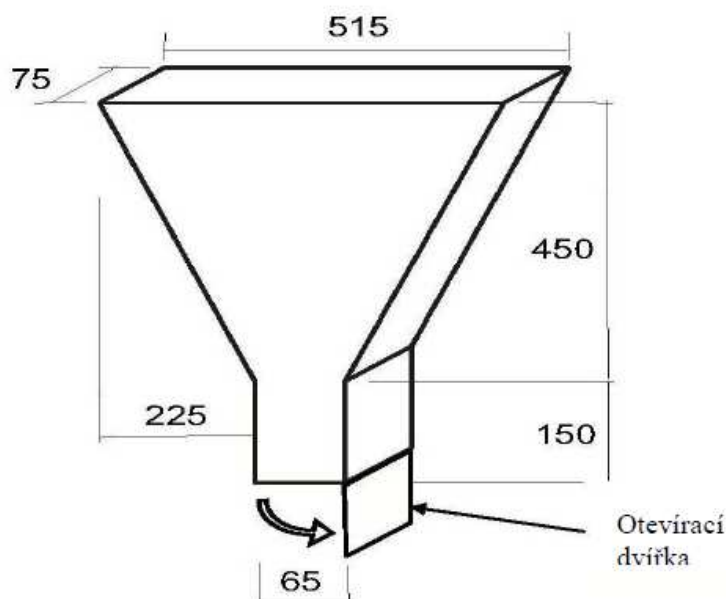


Obr. 4-1 Nákres a rozměry podkladové desky v [mm] [14]

4.2 Zkouška V-nálevkou dle ČSN EN 12350-9

Tato zkouška pro samozhutnitelný beton se používá pro zjištění viskozity a jeho schopnosti vyplnit.

Nálevka tvaru V je naplněn čerstvým betonem a měří se doba, během které beton vyteče z trychtýře. Tato doba se označuje jako doba výtoku z V-nálevky. [14]

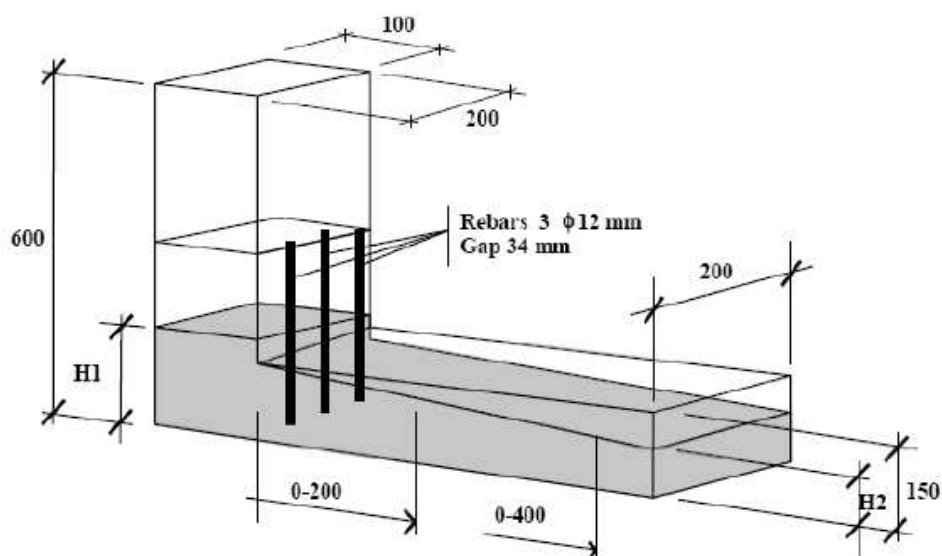


Obr. 4-2 Náskres a rozměry V-nálevky [14]

4.3 Zkouška L-truhlíkem dle ČSN EN 12350 – 10

Zkouška se používá pro posouzení schopnosti samozhutnitelného betonu protéct skrze jednotlivé pruty výztuže a dalšími překážkami, aniž by došlo k segregaci nebo ucpání. Touto zkouškou lze pozorovat pohyblivost a náchylnost k segregaci betonu. [14]

Změřený objem čerstvého betonu protéká vodorovně skrz mezery mezi svislou hladkou výztuží, přičemž se zjišťuje výška betonu, který protekl. Výsledkem zkoušky je výpočet propustnosti PA tzv. blokující procento dle následujícího vztahu: $PA=H2/H1$ [14]



Obr. 4-3 Nákres L-truhlíku [14]

4.4 Zkouška Orimet a J-Ring test

Tento test nejvíce simuluje umístění betonu do bedně, lze jím pozorovat tekutost, možnost segregace a schopnost odolávat blokaci.[14]

Trubka průměru 100 mm a délce 600 mm se umístí 500 mm nad úroveň podlah, pod trubku se umístí kruhový prstenc, který je opatřen výztuží rovnoměrně umístěnou po celém jeho obvodu. Při tečení betonu z trubky, prochází beton přímo tímto prstencem. Měří se doba výtoku a současně se sledu zdali beton nemá sklony k blokaci a shromažďování uvnitř prstence. Se zvyšující se zpracovatelností se snižuje doba protékání betonu. [14]



Obr. 4-4 Zkouška Orimet + J-Ring [14]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

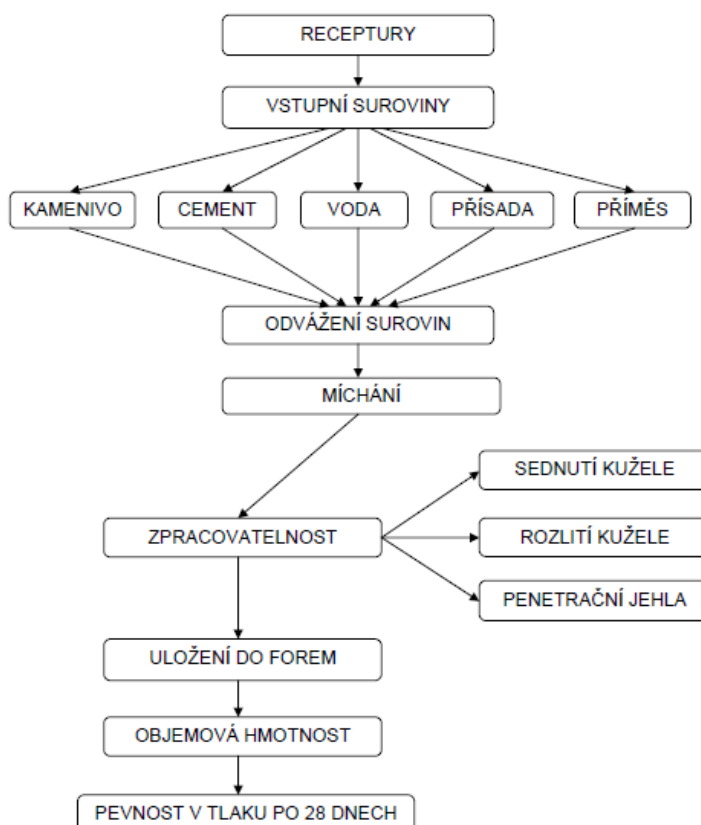
1 CÍL PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je posouzení možnosti stanovení reologických vlastností čerstvého betonu pomocí penetrační jehly. V práci bude provedeno zhodnocení současných metod používaných stanovení reologických vlastností čerstvého betonu a dále srovnání těchto metod s metodou penetrační jehly. Pro objektivní zhodnocení využitelnosti metody penetrační jehly a srovnání výsledků získaných touto metodou s výsledky získanými pomocí metod klasických budou navrženy receptury betonů různých pevnostních tříd i konzistencí na nichž budou provedena praktická měření. V rámci řešení bakalářské práce budou definovány obecné vztahy mezi klasickými metodami stanovení konzistence čerstvého betonu a metodou penetrační jehly. Z výsledků práce budou vyvozeny obecné závěry vymezující použitelnost dané metody ve stavební praxi.

2 METODIKA PRÁCE

Ze získaných reálně používaných receptur R1-R6 byly namíchány směsi betonu různých konzistencí dle sednutí kužele S2-S4. Na těchto směsích bylo provedeno měření konzistence betonu sednutím kužele, rozlitím kužele a pomocí penetrační jehly. Po provedení zkoušek byl beton naplněn do forem, stanovena objemová hmotnost čerstvého betonu a formy uloženy k normovému zrání betonu. Po 28 dnech byly vzorky změřeny, zváženy, otestovány v lisu a byla stanovena pevnost betonu. Z naměřených hodnot konzistencí byly sestaveny následující závislosti.

- závislost penetrace (hloubky vniku penetrační jehly) na sednutí u čerstvého betonu
- závislost penetrace (hloubky vniku penetrační jehly) na rozlití u čerstvého betonu
- závislost rozlití na sednutí u čerstvého betonu.



Obr. 2-1 Schéma experimentální práce

3 STANOVENÍ KONZISTENCE POMOCÍ PENETRAČNÍ JEHLY

3.1 Podstata zkoušky stanovení konzistence čerstvého betonu pomocí penetrační jehly

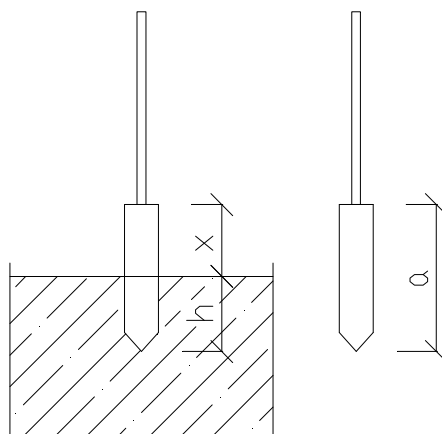
Snahou VUT v Brně FAST bylo vytvoření jednoduché univerzální metody pro stanovení konzistence čerstvého betonu, která by byla nenáročná na zkušební techniku a zařízení a byla zároveň použitelná pro nejširší spektrum konzistencí betonu. V roce 2006 započal vývoj jednoduchého zkušebního přípravku pro stanovení konzistence čerstvého betonu s názvem „penetrační jehla“. Beton se naplní pomocí lopatky do nádoby definovaných rozměrů, ztuhne se a penetrační jehla se nechá vnikat do zkušebního vzorku uvnitř naplněné nádoby.

3.2 Zkušební pomůcky

- Zkušební nádoba o objemu 8 dm³
- Penetrometr - ocelový válec definovaného průřezu a délky, ukončený špicí s definovaným náběhovým úhlem, ukotvený k ocelové tyči definovaného průřezu a délky (viz. obr.3-1)
- Propichovací tyč, rovná ocelová tyč s kruhovým průřezem o průměru 16 ±1 mm a délce 600 ±5 mm se zaoblenými konci
- Pravítko, se stupnicí od 0 mm do 300 mm, s dílkou nejvýše 5 mm, přičemž 0 musí být na samém konci pravítka
- Nádoba na promíchání, plochá nádoba s tuhou konstrukcí, zhotovená z nenasákavého materiálu, nereagujícího na cementovou kaši. Musí mít přiměřenou velikost, aby bylo možné v ní znovu promíchat beton pomocí lopaty pravoúhlého tvaru
- Lopata, pravoúhlého tvaru
- Vlhký hadřík
- Stopky nebo hodiny umožňující měřit čas s přesností 1 vteřiny.

3.3 Postup zkoušky:

Nádoba se umístí na rovnou vodorovnou plochu. Nádoba se vyčistí a vnitřní stěny se navlhčí vlhkým hadříkem. Nádoba přesně definovaného objemu 8 l se naplní čerstvým betonem ve dvou vrstvách pomocí navlhčené lopatky. Každá z vrstev se zhutní dvaceti vpichy navlhčenou hutnicí tyčí, které jsou rovnoměrně rozloženy po ploše vrstvy. Druhá vrstva se zhutňuje přes celou svou výšku tak, aby vpichy mírně zasahovaly do předcházející vrstvy. Při plnění a zhutňování vrchní vrstvy se před zhutňováním přeplní beton nad horní okraj formy. Jestliže by po zhutnění nedosahoval beton k hornímu okraji formy, je nutno přidat tolik betonu, aby byl stále nad horním okrajem formy přebytek betonu. Po zhutnění vrchní vrstvy se odstraní přebytečný beton současným otáčením a příčným pohybem propichovací tyče. Penetrometr se přiloží na povrch betonu tak, aby byl minimálně třicet milimetrů od okraje nádoby a hrot vnikal dva milimetry pod povrch vzorku betonu. Osa penetrometru musí směřovat kolmo k povrchu zkušebního vzorku. Penetrometr se uvolní a nechá se vlastní tíhou pronikat do zkušebního vzorku. Sleduje se hloubka zápichu h [mm], přičemž platí že: hloubka vpichu: $h = a - x$ (viz. obr. 13). Po dobu vnikání penetrometru se měří čas. Penetrometr se vytáhne z betonu, očistí vlhkým hadříkem a připraví k dalšímu měření. Celkem se na jednom naplnění formy změří čtyři hodnoty hloubky vniknutí, z nichž se jedna nejvíce odlišná od ostatních vyloučí. Jednotlivá místa vpichů musí být rovnoměrně rozmístěna po povrchu zkušebního vzorku, přičemž minimální vzdálenost mezi jednotlivými místy vpichu nesmí být menší než 30 mm. Celá zkouška od počátku plnění až po provedení čtvrté penetrace musí probíhat plynule, bez přerušování a musí být ukončena během 210 s.



Obr. 3-1 Schématické vyobrazení stanovení penetrace pomocí penetrační jehly (penetrometru) [8]

4 LABORATORNÍ OVĚŘENÍ

4.1 Laboratorní srovnání metod sednutí kužele, rozlití kužele a penetrační jehly

V daném případě byla pro základní ověření dané zkušební metody provedena série laboratorních měření na šesti základních recepturách betonu R1 – R6, přičemž receptury R1 – R3 byly navrženy s použitím klasické plastifikační přísady na bázi lignosulfonátů, jako betony pevnostní třídy C 20/25 a receptury R4 – R6 byly navrženy s použitím superplastifikační přísady na bázi polykarboxylátů jako betony pevnostní třídy C35/45.

Jednotlivé receptury se dále vzájemně lišily množstvím použitých frakcí kameniva. Receptury R4 a R5 byly dvojfракční, receptura R2 byla trojfracční a zbývající receptury R1, R3 a R6 byly zvoleny jako čtyřfracční. Receptura R5 byla navržena pro prostředí XF4 s použitím provzdušňovací přísady. Z těchto základních receptur byly vytvořeny vždy další tři podreceptury, které se od sebe lišily vodním součinitelem a množstvím použité plastifikační nebo superplastifikační přísady. Cílem bylo vždy vytvořit tři rozdílné konzistence S2, S3 a S4. Jednotlivé receptury jsou uvedeny v tabulkách č. 3-1.

V daném případě byla vždy namíchána základní receptura konzistence S2, která byla upravena nejprve na konzistenci S3 a posléze na S4. Na každé receptuře bylo provedení stanovení konzistence sednutím, rozlitím a pomocí penetrační jehly. Stanovení penetrace bylo vždy provedeno čtyřikrát na jednom vzorku. Z naměřených hodnot byla vždy vyloučena jedna hodnota, která vykazovala největší odchylku od průměru a výsledná hodnota je průměrem ze zbývajících třech naměřených hodnot. Mimo samotné stanovení konzistence byla z každé receptury odebrána sada vzorků na stanovení objemové hmotnosti a mechanických vlastností.

Tab. 4-1 Složení zkušebních receptur na 1m³

Receptura	Cement	Popílek	Kamenivo				Voda	Plastifikační přísada	Provzdušňovací Přísada
			0-4	4-8	8- 16	11-22			
č.	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	
R1S2	280	-	846	235	335	180	173	1,7	-
R1S3	280	-	846	235	335	180	199	2,3	-
R1S4	280	-	846	235	335	180	209	3,0	-
R2S2	285	-	817	-	440	615	163	1,7	-
R2S3	285	-	817	-	440	615	181	2,3	-
R2S4	285	-	817	-	440	615	183	2,6	-
R3S2	270	55	807	235	355	415	208	2,0	-
R3S3	270	55	807	235	355	415	217	2,9	-
R3S4	270	55	807	235	355	415	236	3,2	-
R4S2	421	-	725	-	868	-	166	2,0	-
R4S3	421	-	725	-	868	-	172	2,6	-
R4S4	421	-	725	-	868	-	178	3,2	-
R5S2	421	-	725	-	868	-	164	2,0	0,5
R5S3	421	-	725	-	868	-	169	2,5	0,5
R5S4	421	-	725	-	868	-	170	3,0	0,5
R6S2	390	60	686	195	345	430	175	2,0	-
R6S3	390	60	686	195	345	430	179,62	2,6	-
R6S4	390	60	686	195	345	430	179,62	3,2	-

4.2 Přehled naměřených hodnot

Výsledky naměřené při laboratorních zkouškách jsou zaneseny v tabulce 3-2.

Tab. 4-2 Přehled naměřených fyzikálních hodnot u čerstvého betonu

Receptura	Označení vzorku	Sednutí kužele [mm]	Rozlití kužele			Penetrační jehla			
			a [mm]	b [mm]	průměr [mm]	h [mm]	210 - h [mm]	Doba vpichu [s]	
R1	R1 S2	40	310	320	315	32	28	178	3
						24		186	2,5
						29		181	3
R1	R1 S3	132	370	380	375	150	158,3	60	2
						157		53	2,5
						168		42	2,4
R1	R1 S4	170	430	440	435	210	210	0	1
						210		0	1,5
						210		0	1,1
R2	R2 S2	63	300	290	295	25	23,3	185	1,6
						23		187	1,2
						22		188	1,3
R2	R2 S3	80	320	330	325	65	64,3	145	1,5
						62		148	1,5
						66		144	1,3
R2	R2 S4	160	400	420	410	165	158	45	1
						159		51	1,1
						150		60	1,3
R3	R3 S2	52	300	300	300	37	35,7	173	1,3
						40		170	1,6
						30		180	1,2
R3	R3 S3	100	340	350	345	78	87	132	1,3
						88		122	1,7
						95		115	1,5
R3	R3 S4	160	390	400	395	190	194,8	20	2,4
						185		25	1,9
						210		0,5	1,3
R4	R4 S2	60	260	260	260	26	23,3	184	1,5
						24		186	1,2
						20		190	1,3

Receptura	Označení vzorku	Sednutí kužele [mm]	Rozlití kužele			Penetrační jehla			
			a [mm]	b [mm]	průměr [mm]	h [mm]		210 - h [mm]	Doba vpichu [s]
R4	R4 S3	120	300	310	305	127	115	83	2,1
						100		110	2,2
						118		92	2,1
R4	R4 S4	190	340	320	330	200	202,7	10	2,6
						210		0	2,3
						198		12	3
R5	R5 S2	60	280	280	280	38	36,7	172	1,7
						35		175	1,8
						37		173	1,5
R5	R5 S3	105	320	330	325	105	108	105	2,6
						115		95	3,3
						104		106	2,5
R5	R5 S4	170	350	340	345	195	201,7	15	4
						200		10	3,5
						210		0	4
R6	R6 S2	65	260	260	260	38	42,7	172	2,8
						55		155	2
						35		175	2,9
R6	R6 S3	145	340	330	335	185	173,7	25	2,2
						162		48	3
						174		36	3,8
R6	R6 S4	195	380	400	390	180	187,7	30	2,9
						195		15	2,7
						188		22	4,3

Tab. 4-3 Přehled naměřených hodnot fyzikálních a mechanických vlastností u zatvrdlého betonu

Receptura	Označení vzorku	D ZB kg.m ⁻³	Rozměry			Síla v N	Pevnost v tlaku v [N.mm ⁻²]
			l(mm)	b(mm)	h(mm)		
R1	R1 S2	2320	149,8	150	151,3	802000	35
R1	R1 S3	2275	150	150	148,9	644000	29
R1	R1 S4	2185	150	150	147,2	500000	23
R2	R2 S2	2315	150	150	151	758000	33
R2	R2 S3	2310	150	150	151,5	733000	32
R2	R2 S4	2310	150,1	150	149,1	655000	29

Receptura	Označení vzorku	D ZB kg.m ⁻³	Rozměry			Síla v N	Pevnost v tlaku v [N.mm ⁻²]
			l(mm)	b(mm)	h(mm)		
R3	R3 S2	2300	149,8	150	151,9	866000	38
R3	R3 S3	2305	150	150	150,8	816000	36
R3	R3 S4	2290	150	150	149,3	710000	32
R4	R4 S2	2330	149,8	149,8	152,1	1209000	53
R4	R4 S3	2310	149,9	150	151,1	1325000	58
R4	R4 S4	2355	150,1	150	151,2	1354000	60
R5	R5 S2	2280	149,8	150	151,6	1221000	54
R5	R5 S3	2280	150,1	150,1	151,9	1040000	46
R5	R5 S4	2315	148,7	150	151,6	1132000	50
R6	R6 S2	2310	149,9	149,9	152,5	1124000	49
R6	R6 S3	2305	150	150	151,5	1143000	50
R6	R6 S4	2285	150	150	150,1	1144000	51

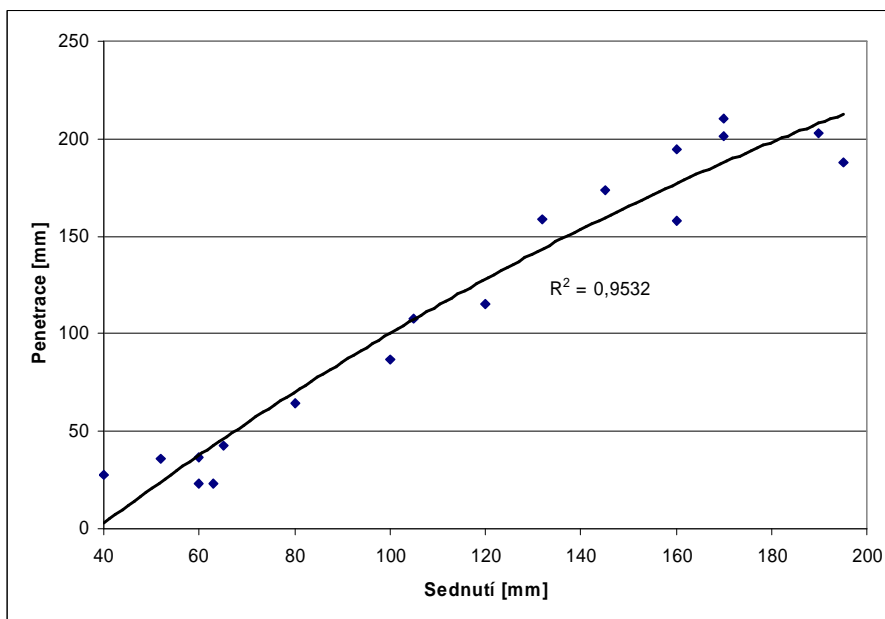
4.3 Vyhodnocení naměřených hodnot

Z naměřených hodnot konzistencí byly sestaveny následující závislosti:

- závislost penetrace (hloubky vniku penetrační jehly) na sednutí u čerstvého betonu
- závislost penetrace (hloubky vniku penetrační jehly) na rozlítí u čerstvého betonu
- závislost rozlítí na sednutí u čerstvého betonu

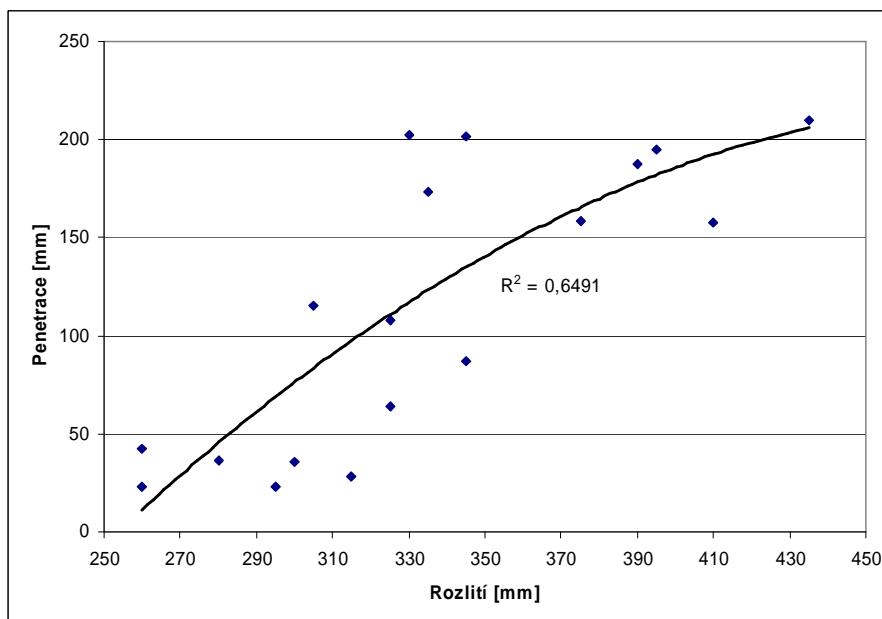
Naměřené hodnoty jednotlivých receptur a konzistencí byly graficky vyhodnoceny a byly stanoveny korelace mezi výsledky stanovení konzistence u jednotlivých metod. U závislosti penetrace (hloubky vniku penetrační jehly) na sednutí kužele u čerstvého betonu - je viditelná silná závislost mezi výsledky těchto metod. Hodnota koeficientu korelace mezi sednutím kužele a penetrace je 0,976.

Graf 4-1 Závislost penetrace (hloubky vniku penetrační jehly) na sednutí u čerstvého betonu



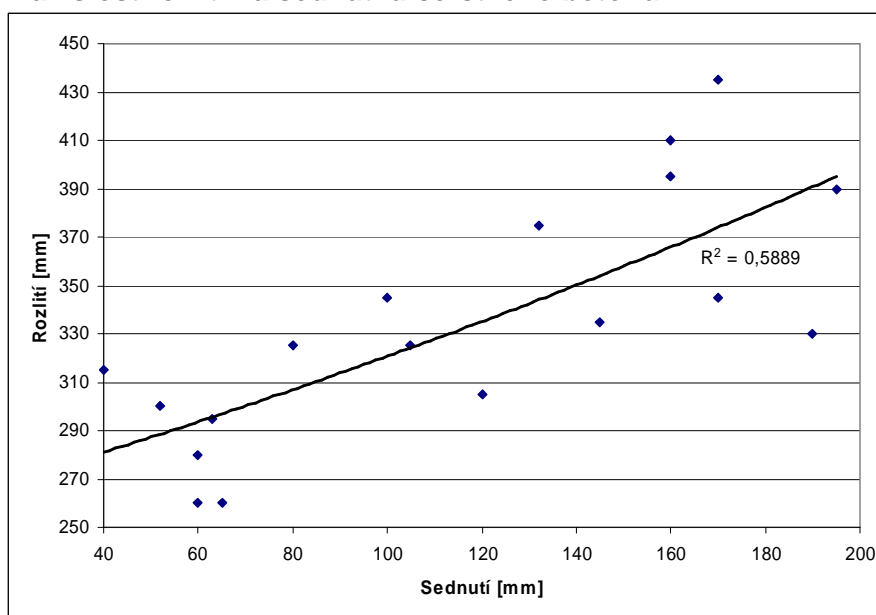
V grafickém vyhodnocení naměřených hodnot jednotlivých receptur a konzistencí provedené mezi metodami penetrace (hloubky vniku penetrační jehly) a rozlítí kužele u čerstvého betonu - je viditelné, že závislost těchto dvou metod je nižší než u sednutí kužele a penetrace. Hodnota koeficientu korelace mezi rozlítím kužele a penetrace je 0,805.

Graf 4-2 Závislost penetrace (hloubky vniku penetrační jehly) na rozlítí u čerstvého betonu



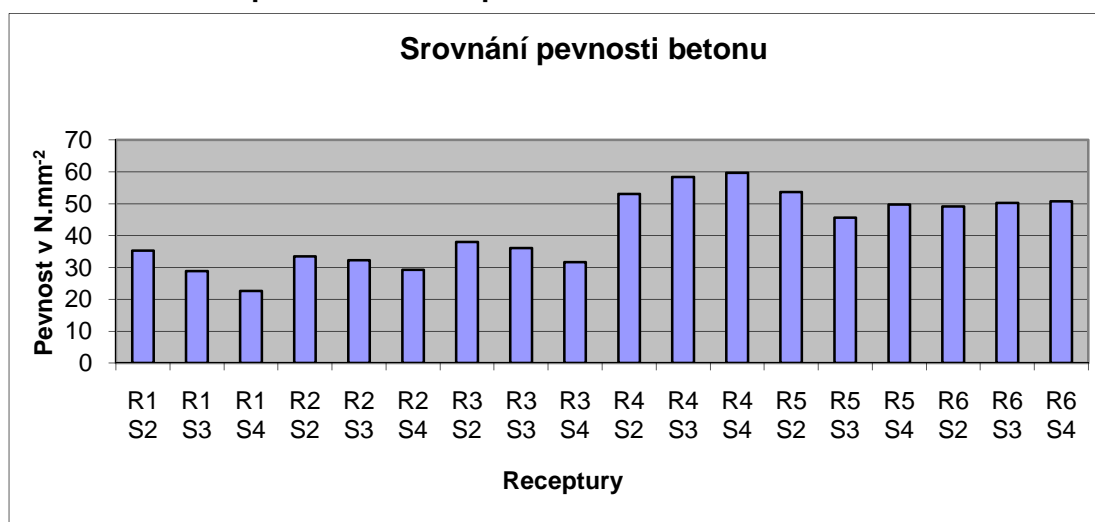
Při srovnání naměřených hodnot jednotlivých receptur a konzistencí mezi metodami sednutí kužele na rozlité kužele u čerstvého betonu - je závislost nejnižší než u porovnání normových zkoušek s metodou penetrace. Hodnota koeficientu korelace mezi sednutím kužele a rozlitem kužele je 0,767.

Graf -4-3 Závislost rozlité na sednutí u čerstvého betonu



Informativně byly provedeny zkoušky pevností betonu po 28 dnech. Srovnání výsledků je v níže uvedené tabulce. Na grafu je viditelné, že se zvyšujícím se vodním součinitelem a zvyšujícím množstvím plastifikační přísady je viditelný pokles pevnosti. Receptury R1-R3 byly navrženy pevnostní třídy C20/25, receptury R4-R6 byly navrženy pevnostní třídy C35/45, což se provedenou zkouškou potvrdilo.

Graf 4-4 Srovnání pevností v tlaku po 28 dnech



ZÁVĚR

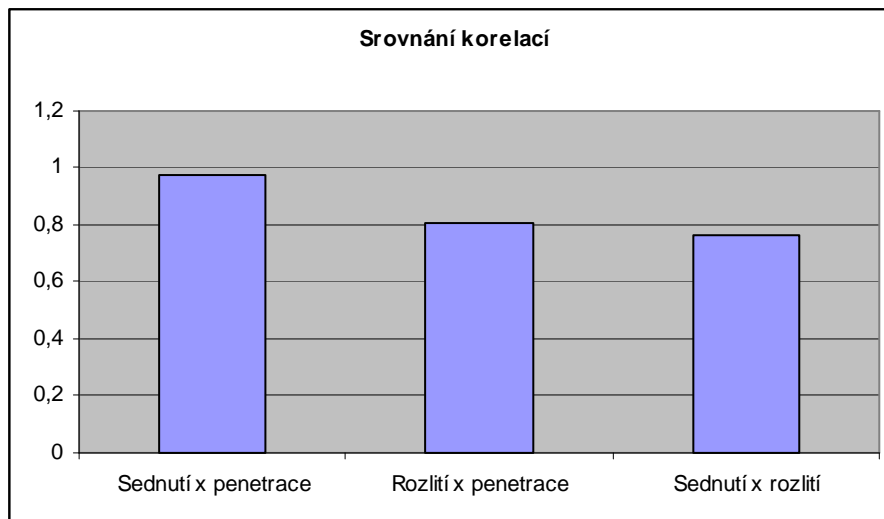
Na třech běžně používaných recepturách betonů pevnostních tříd C20/25 a třech recepturách C35/45, byla provedena série měření stanovení konzistence betonu. Z každé základní receptury konzistence S2 byly namíchány dvě podreceptury konzistencí S3, S4. Na všech třech konzistencích bylo provedeno srovnání metod stanovení konzistence čerstvého betonu metodami sednutí kužele, rozlití kužele a stanovení konzistence pomocí penetrační jehly.

Jak je patrné z výše uvedených grafů: na široké škále receptur betonu, byla prokázána silná funkční závislost mezi výsledky stanovení konzistence metodou sednutí a pomocí penetrační jehly. Dále byla prokázána i funkční závislost mezi metodou rozlití a metodou stanovení konzistence pomocí penetrační jehly. Jako srovnávací funkční závislostí byla stanovena závislost mezi normalizovanými metodami sednutí kužele a rozlití kužele.

Z naměřených hodnot byly vypočítány jednotlivé koeficienty korelace (mezi jednotlivými datovými soubory), přičemž byly zjištěny následující hodnoty:

1. penetrace x sednutí: $\rho_{x,y} = 0,976$
2. penetrace x rozlití: $\rho_{x,y} = 0,805$
3. sednutí x rozlití: $\rho_{x,y} = 0,767$

Graf 0-1 Srovnání korelačních koeficientů



Jak je patrné z výše uvedeného grafu: v daném případě byla potvrzena uvedená silná závislost mezi výsledky stanovení konzistence metodou sednutí kužele a pomocí penetrační jehly. Dále bylo zjištěno, že závislost mezi hodnotami stanovenými metodou rozlití kužele a pomocí penetrační jehly je vyšší než mezi hodnotami stanovenými normalizovanými zkouškami metodou rozlití kužele a metodou sednutí kužele.

Na výše uvedené sadě provedených měření bylo prakticky ověřeno, že uvedená metoda stanovení konzistence pomocí penetrační jehly je využitelná pro širokou škálu běžně vyráběných betonů v rámci konzistencí sednutí S2 – S4. Tuto metodu lze vzhledem ke své nenáročnosti na provedení a vybavení velmi jednoduše využít in-situ na stavbě. Mimo oblast klasických betonů je možné tuto metodu použít i u vysoce plastifikovaných HPC a u SCC (v tomto případě je nutné jako doplňkovou veličinu stanovit dobu vnikání penetrační jehly). Tato problematika je v současné době předmětem výzkumné práce na VUT FAST v Brně.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] PYTLÍK, P. *Technologie betonu*, VUTIUM, VUT v Brně, 2000
- [2] ČSN EN 206-1. *Beton - Část 1: Specifikace, vlastností, výroba a shoda*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1.9.2001.
- [3] ČSN EN 12350-2. *Zkoušení čerstvého betonu - Část 2: Zkouška sednutím*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1.10.2009
- [4] ČSN EN 12350-3. *Zkoušení čerstvého betonu - Část 3: Zkouška Vebe*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1.10.2009.
- [5] ČSN EN 12350-4. *Zkoušení čerstvého betonu - Část 4: Stupeň zhutnitelnosti*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1.10.2009
- [6] ČSN EN 12350-5. *Zkoušení čerstvého betonu - Část 5: Zkouška rozlíváním*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1.10.2009.
- [7] Operating manual. *Gilson Company* [online]. 2011 [cit. 2012-03-20]. Dostupné z: http://www.globalgilson.com/documents/manuals/manual_hm-65.pdf
- [8] KUDLÁČEK, M. *STUDIUM CHOVÁNÍ SUPERPLASTIFIKAČNÍCH PŘÍŠAD NA BÁZI POLYKARBOXYLÁTŮ A JEJICH UPLATNĚNÍ V HPC PRO MOSTNÍ KONSTRUKCE*. Brno, 2007. Diplomová práce. VUT v Brně. Vedoucí práce Ing. JIŘÍ ZACH, Ph.D.
- [9] *Technologie betonu* [online]. Brno, 2005 [cit. 2012-02-13]. Dostupné z: <https://intranet.study.fce.vutbr.cz/studium/materialy/opory.asp>
- [10] Summary of Concrete Workability Test Methods. KOEHLER, Eric P. Koehler a David W. FOWLER. *ICAR* [online]. 2003 [cit. 2012-04-11]. Dostupné z: http://www.icar.utexas.edu/publications/105/105_1.pdf

- [11] BARTOS, P. J. M.; SONEBI, M.; TAMIMI, A.K. *Workability and rheology of fresh concrete: compendium of tests ; report of RILEM Technical Committee 145-WSM 'Workability of Special Concrete Mixes'*. Cachan: RILEM Publ, 2002. ISBN 29-121-4332-2.
- [12] *Test Mark Industies* [online]. 2012 [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: <http://www.testmark.net/showitem-897.html>
- [13] *Advanced Technocracy Inc.* [online]. 2012 [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: <http://www.electronicstrumentsmanufacturer.com/cement-concrete-testing-equipment.html>
- [14] *Technologie betonu II* [online]. Brno, 2007 [cit. 2012-02-15]. Dostupné z: <https://intranet.study.fce.vutbr.cz/studium/materialy/opory.asp>