Evropská směrnice
pro
samozhutnitelný beton

Specifikace, výroba a použití

Květen 2005

PŘEDMLUVA

Tato směrnice a specifikace byla připravena odbornou pracovní skupinou zastupující pět profesních evropských svazů a společností zaměřených na podporu progresivních materiálů a systémů pro dodávání a užití betonu. Tato pracovní skupina zaměřená na samozhutnitelný beton („The Self-Compacting Concrete European Project Group") byla založena v lednu 2004 se zástupci z:

BIBM	The European Precast Concrete Organisation (Evropský svaz výrobců prefabrikátů),
CEMBUREAU	The European Cement Association (Evropský svaz výrobců cementu),
ERMCO	The European Ready-mix Concrete Organisation (Evropský svaz výrobců transportbetonu),
EFCA	The European Federation of Concrete Admixture Associations (Evropský svaz výrobců přísad do betonu)
EFNARC	The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systéme.

Všechny připomínky k „Evropské směrnici pro samozhutnitelný beton," zasílejte prosím na:
www.efca.info nebo ***www.efnarc.org***

PODĚKOVÁNÍ

Evropská pracovní skupina tímto děkuje za pomoc betonářským a stavebním společnostem, které při tvorbě tohoto dokumentu přispěly širokou odbornou znalostí. Zástupci pěti profesních uskupení vycházeli ze zkušeností více než padesáti odborníků na samozhutnitelný beton ze dvanácti zemí EU, ze spolupráce s Britskou betonářskou společností a z projektu EC "TESTING-SCC" probíhajícího v letech 2001 až 2004.

Grafy a fotografie poskytly:

Betonson BV, NL	Price and Myers Consulting Engineers
Degussa	Lafarge
Doka Schalungstechnik GmbH	Sika
Hanson	The "TESTING-SCC" project
Holcim	W. Bennenk

I když bylo snahou zajistit, aby všechny údaje a informace obsažené dále byly přesně v rozsahu odpovídajícím skutečnosti, běžné praxi nebo úsudku v době publikování, pracovní skupina zaměřená na samozhutnitelný beton nepřijímá žádnou zodpovědnost za chyby, chybný výklad údajů a informací, ani za žádné ztráty a škody vzniklé užitím této publikace.

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této publikace nesmí být rozmnožována, umístěna ve vyhledávacím systému nebo v nějaké formě vysílána bez předešlého svolení Evropské pracovní skupiny zaměřené na samozhutnitelný beton.

POZNÁMKY K ČESKÉMU PŘEKLADU (verze 1.0.0):

Překlad byl upraven tak, aby vyhovoval českým předpisům a legislativě ČR. Dokument byl uvolněn k volnému šíření a je v české verzi volně ke stažení zde.
Zpracoval: Svaz výrobců Betonu ČR, Na Zámecké 9, 140 00 Praha 4, www.svb.cz, svb@svb.cz

PODĚKOVÁNÍ: Za spolupráci na překladu děkujeme Doc. Ing. Rudolfu Helovi, CSc.
a Ing. Petrovi Štemberkovi, Ph.D.

OBSAH

1. Úvod ... 6
2. Rozsah ... 6
3. Citované normy ... 8
4. Termíny a definice ... 8
5. Inženýrské vlastnosti ... 9
5.1 Všeobecně ... 9
5.2 Pevnost v tlaku ... 10
5.3 Pevnost v tahu ... 10
5.4 Statický modul pružnosti ... 10
5.5 Dotvarování ... 11
5.6 Smršťování ... 11
5.7 Součinitel teplotní roztažnosti ... 12
5.8 Soudržnost s výztuží, předpínání ... 12
5.9 Pevnost ve smyku při betonáži po vrstvách ... 12
5.10 Požární odolnost ... 12
5.11 Trvanlivost ... 12
5.12 Literatura ... 13
6. Specifikace SCC vyráběného v betonárnách a na staveništi ... 14
6.1 Všeobecně ... 14
6.2 Specifikace ... 15
6.3 Požadavky na čerstvý beton ... 16
6.4 Klasifikace konzistence ... 17
6.5 Příklady specifikace ... 19
7. Složky samozhutnitelného betonu ... 19
7.1 Všeobecně ... 19
7.2 Cement ... 19
7.3 Příměsi ... 19
7.4 Kamenivo ... 20
7.5 Přísady ... 21
7.6 Pigmenty ... 22
7.7 Vlákna ... 22
7.8 Záměsová voda ... 23
8. Složení betonu ... 23
8.1 Všeobecně ... 23
8.2 Zásady návrhu betonu ... 23
8.3 Zkušební metody ... 23
8.4 Základní návrh směsi ... 24
8.5 Postup návrhu směsi ... 25
8.6 Robustnost v čerstvém stavu ... 26
9. Výroba samozhutnitelného betonu v betonárnách a na staveništi ... 27
9.1 Všeobecně ... 27
9.2 Skladování složek ... 27
9.3 Mísící zařízení a zkušební záměsi ... 28
9.4 Postup míchání ... 28
9.5 Řízení výroby ... 29
9.6 Doprava ... 30
9.7 Přejímka na staveništi ... 30
10. Požadavky na staveniště a příprava ... 31
10.1 Všeobecně ... 31
10.2 Řízení staveniště ... 31
10.3 Úprava směsi ... 31
10.4 Dohled a odborná způsobilost ... 32
10.5 Tlak na bednění ... 32
10.6 Návrh bednění ... 32
10.7 Příprava bednění ... 33
10.8 Bednění pro čerpání odspodu ... 34
11. Ukládání betonu do bednění ... 35
11.1 Všeobecně ... 35
11.2 Ukládání betonu ... 35
11.3 Postup ukládání a rychlost ... 35
11.4 Čerpání betonu ... 36
11.5 Ukládání pomocí skluzu nebo vozíku („bádie") ... 37
11.6 Vibrování ... 38

11.7 Úprava povrchu desky 38
11.8 Ošetřování 39
12. Prefabrikované výrobky 39
12.1 Všeobecně 39
12.2 Specifikace samozhutnitelného betonu pro prefabrikaci 39
12.3 Návrh směsi samozhutnitelného betonu pro prefabrikaci 40
12.4 Formy 40
12.5 Výroba ve výrobně prefabrikátů 40
12.6 Ukládání 41
12.7 Povrchová úprava, ošetřování a odbednění 42
13. Vzhled a úprava povrchu 42
13.1 Všeobecně 42
13.2 Povrchové dutiny 42
13.3 Kavitační účinek 43
13.4 Barevná stejnorodost a povrchové nerovnosti 43
13.5 Minimalizace povrchových trhlin 43

Příloha A: Požadavky na samozhutnitelný beton 45
A.0 Úvod 45
A.1 Rozsah 45
A.2 Citované normy 45
A.3 Definice, symboly a zkratky 45
A.4 Klasifikace 46
A.5 Požadavky na beton a metody ověřování 47
A.6 Dodávání čerstvého betonu 48
A.7 Prokazování shody a kritéria shody 48
A.8 Řízení výroby 49

Příloha B: Zkušební metody 50
Příloha B1: Zkoušení čerstvého betonu - Rozlití kužele a čas T_{500} pro samozhutnitelný beton 50
B1.0 Úvod 50
B1.1 Rozsah 50
B1.2 Citované normy 50
B1.3 Princip 50
B1.4 Vybavení 50
B1.5 Zkušební vzorek 51
B1.6 Zkušební postup 51
B1.7 Výsledek zkoušky 52
B1.8 Závěrečná zpráva 52
Příloha B.1.1 (informativní) 52
B1.9 Přesnost 52
Příloha B2: Zkoušení čerstvého betonu: Zkouška V-trychtýřem (V-funnel test) 53
B2.0 Úvod 53
B2.1 Rozsah 53
B2.2 Citované normy 53
B2.3 Princip 53
B2.4 Vybavení 53
B2.5 Zkušební vzorek 54
B2.6 Zkušební postup 54
B2.7 Závěrečná zpráva 54
Příloha B2.1 (informativní) 54
B2.8 Přesnost 54
Příloha B3 Zkoušení čerstvého betonu - Zkouška L-boxem 56
B3.0 Úvod 56
B3.1 Rozsah 56
B3.2 Citované normy 56
B3.3 Princip 56
B3.4 Vybavení 56
B3.5 Zkušební vzorek 57
B3.6 Zkušební postup 58
B3.7 Výsledek zkoušky 58
B3.8 Závěrečná zpráva 58
B3.9 Dodatek 58

Příloha B3.1 (informativní) *58*
B3.10 Přesnost *58*
Příloha B4: Zkoušení čerstvého betonu – Zkouška odolnosti proti segregaci (rozměšování) přes síto **60**
B4.0 Úvod 60
B4.1 Rozsah 60
B4.2 Citované normy 60
B4.3 Princip 60
B4.4 Vybavení 60
B4.5 Zkušební vzorek 60
B4.6 Zkušební postup 60
B4.7 Výsledek zkoušky 61
B4.8 Závěrečná zpráva 61
Příloha B4.1 (informativní) 61
B4.9 Přesnost 61
Tabulka B. 4 - Přesnost výsledků 61

Příloha C: Zlepšení kvality povrchu samozhutnitelného betonu **62**

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Vlastnosti SCC pro různé typy použití (Walraven, 2003) 19
Tabulka 2: Zkoušené vlastnosti a metody pro hodnocení samozhutnitelného betonu 24
Tabulka 3: Typické složení samozhutnitelného betonu 25

Tabulka A. 1 - Třídy rozlití kužele 46
Tabulka A. 2 - Třídy prostupnosti (L-box) 47
Tabulka A. 3 - Třídy viskozity 47
Tabulka A. 4 - Třídy odolnosti proti segregaci (zkouška segregace přes síta) 47
Tabulka A. 5 - Kritéria shody pro samozhutnitelný beton 49

Tabulka B. 1 - Přesnost výsledků 52
Tabulka B. 2 - Opakovatelnost a reprodukovatelnost typických hodnot doby výtoku z V-trychtýře 55
Tabulka B. 3 - Opakovatelnost a reprodukovatelnost pro typické hodnoty poměru prostupu 59
Tabulka B. 4 - Přesnost výsledků 61

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Detail povrchu prefabrikátu, jehož forma byla vyplňována SCC od spodu 14
Obrázek 2: Postup návrhu směsi SCC. 26
Obrázek 3: Zkouška odolnosti proti rozměšování 27
Obrázek 4: Zkouška rozlití kužele 31
Obrázek 5: Po plnění bednění od spodu je přečnívající beton setřen podél vnitřního povrchu bednění pomocí speciální hřídelky nebo je povrch opraven po odbednění 34
Obrázek 6: Betonování desky ze samozhutnitelného betonu. Komerční centrum, Ferrara, Itálie. 37
Obrázek 7: Vyrovnávání povrchu samozhutnitelného betonu pomocí hladítka 39
Obrázek 8: Užití šnekové jímky pro aktivaci samozhutnitelného betonu těsně před ukládáním. 41
Obrázek 9: Vyhlazení povrchu SCC na staveništi. Londýn Piccadilly, Lincoln and Loughborough, Velká Británie 44
Obrázek 10: Podkladní deska dle odstavce B1.4.1 51
Obrázek 11: V-trychtýř 53
Obrázek 12: L-box 57
Obrázek 13: Rozměry a typické uspořádání L-boxu 57

1. Úvod

Samozhutnitelný beton je beton vylepšených vlastností, který nevyžaduje zhutňování během vlastního zpracování. Je schopen téci působením vlastní tíhy, dokonale vyplnit bednění a docílit dokonalého zhutnění i v místech hustého vyztužení. Zatvrdlý beton je hutný, homogenní a má stejné technické vlastnosti a trvanlivost jako tradičně hutněný beton.

Beton, který vyžaduje pouze nepatrné vibrování a zhutňování, je v Evropě používán od počátku sedmdesátých let. Samozhutnitelný beton byl vyvinut až na konci let osmdesátých v Japonsku. V Evropě byl pravděpodobně poprvé použit pro výstavbu dopravních sítí ve Švédsku v polovině devadesátých let. Evropská Unie v letech 1997 až 2000 financovala mezinárodní projekt „Samozhutnitelný beton (SCC)". Od té doby se míra použití samozhutnitelného betonu v zemích Evropské unie zvyšovala.

Samozhutnitelný beton nabízí vysokou rychlost ukládání betonu, rychlejší výstavbu se snadným protékáním okolo hustě uložené výztuže. Tekutost a odolnost proti rozměšování samozhutnitelného betonu zajišťuje vysoký stupeň homogenity s minimálním obsahem pórů a jednotnou pevností, což poskytuje potenciál pro vysoký stupeň kvality povrchu a trvanlivosti konstrukce. Samozhutnitelný beton je často vyráběn při nízkém vodním součiniteli, což umožňuje rychlý nárůst pevnosti, brzké odbednění a z toho plynoucí rychlejší použití stavebních prvků a konstrukcí.

Vyloučení procesu vibrování zlepšuje pracovní prostředí na staveništi i vliv na jeho okolí, stejně jako pracovní podmínky ve výrobnách prefabrikátů, kde je beton ukládán a kde je tedy omezeno vystavování pracovníků hluku a vibraci.

Zlepšené stavební postupy a funkčnost v kombinaci s kladným vlivem na zdraví a bezpečnost práce dělají ze samozhutnitelného betonu velmi atraktivní řešení jak pro prefabrikaci tak pro výstavbu inženýrských děl.

V roce 2002 publikovala EFNARC dokument "Specifikace a směrnice pro samozhutnitelný beton", který pro výrobce a uživatele přinášel nejnovější poznatky té doby. Od té doby bylo o SCC publikováno mnoho dalších technických informací, nicméně evropské návrhové, výrobní a stavební normy konkrétně na samozhutnitelný beton stále ještě neodkazují, což při použití na stavbách brání širšímu uplatnění, zvláště z pohledu zákazníků, projektantů a specifikátorů.

V roce 2004 pět evropských organizací BIBM, CEMBUREAU, ERMCO, EFCA a EFNARC, které podporují progresivní materiály a systémy výroby a používání betonu, vytvořilo Evropskou pracovní skupinu za účelem přehodnocení dosavadní nejlepší stavební praxe a vytvoření nového dokumentu, který by obsahoval všechny aspekty samozhutnitelného betonu. Tento dokument, "*Evropská směrnice pro samozhutnitelný beton*", se zabývá hlavně problematikou, která není zahnuta v Evropských normách a specifikacích a přijatých zkušebních metodách.

2. Rozsah

"***Evropská směrnice pro samozhutnitelný beton***" je dokument obsahující nejnovější poznatky a je určen pro projektanty, výrobce, zákazníky a uživatele, kteří si chtějí rozšířit své odborné znalosti v oblasti samozhutnitelného betonu a jeho použití. Tato směrnice vznikla díky rozsáhlým znalostem a zkušenostem, které zpracovala Evropská pracovní skupina. Navržené specifikace a příslušné zkušební metody pro betony vyráběné jak v betonárnách tak přímo na staveništi jsou prezentovány v přednormové formě za účelem zjednodušení procesu tvorby norem na evropské úrovni. Tento přístup by měl podpořit nárůst užívání samozhutnitelného betonu.

"***Evropská směrnice pro samozhutnitelný beton***" definuje samozhutnitelný beton a mnoho dalších technických termínů, které se používají k popisu jeho vlastností a užití. Též poskytuje informace ohledně norem, které se vztahují ke zkušebnictví a materiálům používaných pří výrobě samozhutnitelného betonu.

Trvanlivost a další inženýrské vlastnosti ztvrdlého SCC jsou v souladu s ČSN EN 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí (Eurocode 2).

Tato směrnice obsahuje informace, které se týkají běžného samozhutnitelného betonu vyráběného jak na betonárnách tak na i staveništi a užívaného při výrobě prefabrikátů. Kapitola 12 se zabývá zvláštními požadavky na prefabrikáty.

Tato směrnice je navržena s důrazem na beton vyráběný na betonárnách a staveništích pro specifikaci betonu čerstvého i ztvrdlého mezi dodavatelem a odběratelem. Směrnice navíc obsahuje zvláštní a důležité požadavky ohledně samozhutnitelného betonu vztahující se k přípravě staveniště a k metodám ukládání, pokud se tyto liší od metod pro tradičně vibrovaný beton.

Specifikace pro prefabrikované betonové výrobky obvykle vychází z kvality zatvrdlého betonového výrobku vzhledem k požadavkům příslušných výrobních norem a normy ČSN EN 13369: *Společná ustanovení pro betonové prefabrikáty*.ČSN EN 13369 se odkazuje pouze na ty části ČSN EN 206-1, které se zabývají požadavky na zatvrdlý beton. Požadavky na čerstvý beton budou předepsány výrobcem ve vlastních interních předpisech.

Tento dokument popisuje vlastnosti samozhutnitelného betonu jak čerstvého tak i ztvrdlého a radí zákazníkovi v otázkách, jak má být beton vyrobený ve výrobně nebo na staveništi specifikován vzhledem k současné evropské normě ČSN EN 206-1. Dále popisuje zkušební metody, které pomáhají při specifikaci. Specifikace a zkušební metody, které jsou v dodatku, jsou uvedeny v přednormovém formátu, který odpovídá současným betonářským Evropským normám.

Dále jsou zde doporučení pro výrobce ohledně složek betonu, jejich kontroly a spolupůsobení. Protože existuje mnoho různých způsobů návrhů směsi samozhutnitelného betonu, není zde žádná metoda přímo doporučena, ale je poskytnut přehledný seznam literatury, která popisuje různé metody návrhu směsi čerstvého SCC.

Rovněž jsou zde uvedeny rady pro uživatele betonu vyrobeného ve výrobně nebo na staveništi ohledně jeho dopravy a ukládání. Vzhledem k tomu, že se samozhutnitelný beton užívá jak v prefa výrobnách tak i na staveništích, snaží se tato směrnice podat konkrétní rady odpovídající různým požadavkům obou výrobních sektorů. Rychlý nárůst pevnosti je například důležitý při výrobě prefabrikátů, zatímco zachování zpracovatelnosti je charakteristické pro betonáže na staveništích.

3. Citované normy

ČSN EN 197-1	Cement - Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití
ČSN EN 206-1	Beton - Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda
ČSN EN 450-1	Popílek do betonu - Část 1: Definice, specifikace a kritéria shody
ČSN EN 450-2	Popílek do betonu - Část 2: Hodnocení shody
ČSN EN 934-2	Přísady do betonu, malty a injektážní malty - Část 2: Přísady do betonu - Definice, požadavky, shoda, označování a značení štítkem
ČSN EN 1008	Záměsová voda do betonu - Specifikace pro odběr vzorků, zkoušení a posouzení vhodnosti vody, včetně vody získané při recyklaci v betonárně, jako záměsové vody do betonu
ČSN EN 1992-1-1	Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
ČSN EN 1992-1-2	Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-2: Obecná pravidla - Navrhování konstrukcí na účinky požáru
ČSN EN 12350-1	Zkoušení čerstvého betonu - Část 1: Odběr vzorků
ČSN EN 12350-2	Zkoušení čerstvého betonu - Část 2: Zkouška sednutím
ČSN EN 12620	Kamenivo do betonu
ČSN EN 12878	Pigmenty pro vybarvování stavebních materiálů na bázi cementu a/nebo vápna - Specifikace a zkušební postupy
ČSN EN 13055-1	Pórovité kamenivo - Část 1: Pórovité kamenivo do betonu, malty a injektážní malty
ČSN EN 13263-1	Křemičitý úlet do betonu - Část 1: Definice, požadavky a kritéria shody
ČSN EN 13263-2	Křemičitý úlet do betonu - Část 2: Hodnocení shody
ČSN EN 13369	Společná ustanovení pro betonové prefabrikáty
ČSN EN 13670-1	Provádění betonových konstrukcí - Část 1: Společná ustanovení
EN 14889	Vlákna do betonu
EN 15167-1	Mletá granulovaná vysokopecní struska pro použití v betonu, maltě a injektážní maltě – Část 1: Definice, specifikace, kritéria shody
EN 15167-2	Mletá granulovaná vysokopecní struska pro použití v betonu, maltě a injektážní maltě – Část 2: Hodnocení shody
ČSN EN ISO 5725	Přesnost (správnost a shodnost) metod a výsledků měření
ČSN EN ISO 9001	Systémy managementu jakosti - Požadavky

POZNÁMKA: Některé z těchto Evropských norem jsou stále ve fázi přípravy.

4. Termíny a definice

Pro účely této publikace jsou použity následující definice:

Příměsi (Addition)
Jemně tříděný anorganický materiál použitý v betonu za účelem zlepšení jistých nebo pro získání zvláštních vlastností. Tato publikace se odvolává na dva typy anorganických příměsí definovaných v ČSN EN206-1: inertní přísada (Typ I), puzzolánové nebo latentně hydraulické přísady (Typ II).

Přísady (Admixture)
Materiál přidaný během míchání betonu v malých množstvích (vzhledem k množství cementu) za účelem úpravy vlastností čerstvého a ztvrdlého betonu.

Pojivo (Binder)
Cement v kombinaci s přísadou Typu II.

Schopnost vyplňování (Filling ability)
Schopnost čerstvého betonu vtéci a vyplnit veškerý prostor v bednění, a to pouze působením vlastní tíhy.

Pohyblivost (Flowability)
Schopnost tečení čerstvého betonu neomezovaného tvarem bedněním nebo výztuží.

Tekutost (Fluidity)
Schopnost tečení čerstvého betonu.

Malta (Mortar)
Část betonu obsahující pouze cementový tmel a zrna kameniva menší než 4 mm.

Tmel (Paste)
Část betonu obsahující pouze pojivo, vodu a vzduch, popř. příměsi.

Prostupnost[1] (Passing ability)
Schopnost čerstvého betonu protéci těsnými otvory (jako např. mezerami mezi výztuží) aniž by se rozmísil nebo zablokoval otvory.

Jemné podíly (Powder, Fines)
Materiál s velikostí částic menšími než 0,125 mm.
POZNÁMKA.: Obsahuje částice cementu, přísad a kameniva.

Garantovaný beton (Proprietary concrete)[2]
Beton, u kterého výrobce zajišťuje dobré ukládání, hutnění a ošetřování, a pro který nemusí výrobce uvádět jeho složení.

Robustnost (Robustness)
Schopnost betonu udržet si svoje vlastnosti v čerstvém stavu, i když dojde k mírným změnám ve vlastnostech složek nebo v jejich množství.

Samozhutnitelný beton (Self-compacting concrete, SCC)
Beton, který je schopen téci a zhutnit se působením vlastní tíhy, dokonale vyplnit bednění i v místech hustého vyztužení, aniž by ztratil svou homogenitu a aniž by byl dodatečně hutněn.

Odolnost proti rozměšování (Segregation resistance)
Schopnost betonu udržet si svou homogenitu, je-li v čerstvém pohyblivém stavu.

Rozlití kužele (Slump-flow)
Střední hodnota průměru rozlití čerstvého betonu při použití běžného kužele pro měření metodou sednutí kužele

Tixotropie (Thixotropy)
Tendence materiálu (např. SCC) ztrácet svou tekutost, když je v klidu, a naopak získat svou tekutost, působí-li na něj vnější energie (vibrace).

Viskozita (Viscosity)
Vlastnost popisující tečení materiálu (např. SCC). Viskozita vzniká z vnitřního tření a závisí především na přitažlivých silách mezi částicemi. Větší viskozita znamená větší brzdění pohybu kapaliny nebo těles v kapalině.
POZNÁMKA.: V případě samozhutnitelného betonu může být viskozita vztažena k rychlosti tečení T_{500} při zkoušce rozlití kužele, nebo době výtoku při použití V-trychtýře.

Přísady modifikující viskozitu (Viscosity Modifying Admixture, VMA)
Příměsi přidané do čerstvého betonu pro zvýšení vnitřní koheze a odolnosti proti rozměšování.

5. Inženýrské vlastnosti

5.1 Všeobecně

Samozhutnitelný beton a tradičně vibrovaný beton s podobnou pevností v tlaku mají srovnatelné

[1] Pozn. překl.: V ČR se rovněž používá termín „odolnost proti blokaci" (kameniva)

[2] Pozn. překl.:Tento termín není v ČR běžně používán a v současnosti mu neodpovídá žádný proces v praxi. Nejblíže je termín „beton předepsaného složení".

vlastnosti, a pokud vykazují nějaké rozdíly, jsou tyto pokryty předpoklady bezpečnosti, na kterých jsou založeny návrhové normy. Složení samozhutnitelného betonu se neliší od složení betonu tradičního, nicméně informace o drobných odchylkách, které se mohou vyskytnout, jsou uvedeny v následujících kapitolách. Kdekoliv je to možné, jsou uvedeny odkazy na ČSN EN 1992-1 a ČSN EN 206-1 [1] [2].

Trvanlivost, která představuje schopnost betonové konstrukce čelit účinkům agresivních prostředí během své návrhové životnosti bez narušení požadované funkčnosti, je obvykle dána určením stupně vlivu prostředí. To vede k limitujícím hodnotám pro složení betonu (Příloha F ČSN EN 206-1) a minimálnímu krytí výztuže.

Při navrhování betonových konstrukcí je možné se odkazovat na řadu vlastností betonu, z nichž některé nemusí být pokaždé součástí specifikace betonu. Nejdůležitější jsou:

Pevnost v tlaku
Pevnost v tahu
Modul pružnosti
Dotvarování
Smršťování
Součinitel teplotní roztažnosti
Soudržnost s výztuží
Smyková odolnost ve studených spojích
Požární odolnost

V případech, kdy je hodnota konkrétní vlastnosti, nebo její vývoj, rozhodující, je potřeba provést zkoušky, které zohledňují vliv okolního prostředí a velikost konstrukčního prvku.

5.2 Pevnost v tlaku

Samozhutnitelný beton s obdobným vodním součinitelem bude mít obvykle o něco vyšší pevnost než tradičně vibrovaný beton díky absenci procesu vibrování. To zlepšuje spolupůsobení mezi kamenivem a tvrdnoucí cementovou pastou. Vývoj pevnosti betonu je obdobný. Zkoušky zralosti betonu jsou tudíž účinnou metodou pro zjišťování nárůstu pevnosti, ať již je či není použito urychlování tvrdnutí.

Některé vlastnosti betonu lze odvodit z pevnosti betonu v tlaku, která je běžně specifikována a zkoušena.

5.3 Pevnost v tahu

Samozhutnitelný beton může být dodán v jakékoliv tlakové pevnostní třídě. Lze předpokládat, že pevnost v tahu může být pro danou pevnostní třídu a zralost stejná jako u normálního betonu, neboť objem tmelu (cement + jemné podíly + voda) významně neovlivňuje pevnost v tahu.

Pevnost betonu v tahu za ohybu se používá pro určení momentu na mezi vzniku trhlin u předpjatých prvků, pro omezování šířky trhlin a jejich rozdělení u železobetonových konstrukcí, pro vykreslování závislostí mezi oh. momentem a křivostí, pro návrh nevyztužených betonových vozovek a pro vláknobetony.

U předpjatých prvků se příčná tahová napětí okolo lan stejně tak jako jejich proklouznutí v koncovém průřezu při uvolňování předpínací síly vztahují k hodnotě f_{ct}, což je pevnost betonu v tlaku při uvolnění předpínací síly. Vznik trhlin od příčných tahových napětí se obecně nepřipouští.

5.4 Statický modul pružnosti

Modul pružnosti E (poměr mezi napětím a přetvořením) se používá při pružnostních výpočtech průhybů, často jako řídící parametr při návrhu desek a předem nebo dodatečně předpínaných konstrukcí.

Protože kamenivo představuje většinu objemu betonu, má jeho typ a množství, stejně tak jako i jeho modul pružnosti, největší vliv na beton. Výběrem kameniva s velkým modulem pružnosti se zvětší modul pružnosti betonu, zatímco při zvětšení objemu tmelu se modul pružnosti betonu sníží.

Protože objem tmelu je v samozhutnitelném betonu často vyšší než u vibrovaného betonu, lze předpokládat, že modul pružnosti bude o něco nižší. To by však mělo být dostatečně ošetřeno předpoklady bezpečnosti, ze kterých jsou odvozeny vztahy v ČSN EN 1992-1-1.

Pokud má samozhutnitelný beton poněkud nižší modul pružnosti než vibrovaný beton, ovlivní to vztah mezi pevností v tlaku a vzepětím u předem či dodatečně předpínaných konstrukcí. Z toho důvodu by se mělo zvláště dbát na pevnost ve chvíli, kdy je předpětí aplikováno do betonu.

5.5 Dotvarování

Dotvarování je definováno jako postupný nárůst deformace (přetvoření) s časem při konstantním zatížení, které rovněž bere v úvahu další časově závislé deformace nesouvisející s působícím zatížením jako např. smršťování, bobtnání a deformace od teplotních změn.

Dotvarování v tlaku snižuje předpínací sílu v předpjatém betonovém prvku a způsobuje tak pozvolný přechod zatížení z betonu na výztuž. Dotvarování v tahu může mít kladný účinek, protože částečně snižuje napětí vznikající od bráněných deformací, jako např. smršťování od vysychání nebo účinků teploty.

Dotvarování se odehrává v cementovém tmelu a je ovlivněno porositou, která je přímo spjata s hodnotou vodního součinitele. Během hydratace se porosita cementové pasty snižuje, a tak se dotvarování betonu zmenšuje při nárůstu pevnosti. Typ cementu je důležitý, pokud je přesně dáno stáří betonu, při kterém je zatížen. Cementy, které hydratují rychleji, budou mít vyšší pevností v době prvního zatížení, nižší poměr napětí ku pevnosti a dotvarování na nich bude menší. Protože kamenivo brání dotvarování cementového tmelu, bude dotvarování menší, použije-li se vyšší obsah kameniva a kamenivo s vyšším modulem pružnosti.

Protože má samozhutnitelný beton vyšší objem cementového tmelu, lze předpokládat, že součinitel dotvarování bude rovněž vyšší než u běžného betonu stejné pevnosti.Tyto rozdíly jsou nicméně malé a jsou podchyceny předpoklady bezpečnosti v tabulkách a vztazích v Eurokódu.

5.6 Smršťování

Smršťování zahrnuje autogenní smršťování a smršťování od vysychání. Autogenní smršťování se projevuje během tuhnutí a je způsobeno vnitřní spotřebou vody při hydrataci. Objem produktů hydratace je menší než objem původního nezhydratovaného cementu a vody. Následkem zmenšení objemu jsou tahová napětí, která se následně projevují jako autogenní smršťování.

Smršťování od vysychání je způsobeno odpařováním vody z betonu. Obecně dochází ke ztrátě vody z cementového tmelu, ale u lehkých nasákavých typů kameniva představuje hlavní úbytek únik vody z kameniva. Smršťování od vysychání je poměrně pomalé a vzniklá napětí jsou částečně vyrovnávána odlehčením díky tahovému dotvarování.

Kamenivo brání smršťování cementového tmelu, a tudíž čím větší je objem kameniva v betonu a čím vyšší je modul pružnosti kameniva, tím nižší je smršťování od vysychání. Snížení maximální velikosti zrna kameniva znamená zvýšení objemu cementového tmelu, což způsobuje větší smršťování od vysychání.

Hodnoty a vztahy uvedené v Eurokódu pro běžný beton platí i pro beton samozhutnitelný. Protože pevnost betonu v tlaku je ovlivněna vodním součinitelem, znamená to, že v případě samozhutnitelného betonu s nízkým vodním součinitelem bude sníženo smršťování od vysychání, ale autogenní smršťování jej může převýšit.

Zkoušky dotvarování a smršťování provedené s různými typy samozhutnitelného betonu a s referenčním betonem [7] prokázali následující:

- deformace od smršťování může být větší
- deformace od dotvarování může být menší
- hodnoty součtů deformací od smršťování a dotvarování jsou obdobné

Díky přítomnosti výztuže v průřezu způsobuje smršťování tahová napětí v betonu a tlaková napětí ve výztuži.

5.7 Součinitel teplotní roztažnosti

Součinitel teplotní roztažnosti betonu je definován jako přetvoření betonu po jednotkové změně teploty, kdy betonu není bráněno v deformaci.

Součinitel teplotní roztažnosti betonu je různý podle složení, stáří a vlhkosti betonu. Protože kamenivo představuje největší část objemu betonu, použitím kameniva s nízkým součinitelem teplotní roztažnosti se sníží součinitel teplotní roztažnosti betonu. Snížení součinitele teplotní roztažnosti vede na snížení plochy výztuže omezující šířku trhlin.

I když se hodnota součinitele teplotní roztažnosti betonu pohybuje v rozmezí od 8 do 13 x 10^{-6}/K, EN 1992-1-1 říká, že pokud není dostupná přesnější informace, lze uvažovat hodnotu 10 až 13 x 10^{-6}/K. To samé lze předpokládat pro samozhutnitelný beton.

5.8 Soudržnost s výztuží, předpínání

Železobeton je založen na účinném spolupůsobení betonu a výztuže. Soudržnost betonu s výztuží by měla být dostatečná, aby nedošlo k porušení konstrukce. Účinnost soudržnosti je ovlivněna umístěním výztuže a kvalitou ukládaného betonu. Pro přestup napětí mezi betonem a výztuží je nutná dostatečná krycí vrstva.

Špatná soudržnost je často způsobena nedostatečným obalením výztuže betonem při betonáži nebo krvácením či segregací betonu před jeho zatvrdnutím, což snižuje kvalitu spojení na spodním povrchu výztuže. Tekutost a koheze samozhutnitelného betonu minimalizují tyto negativní účinky, zvláště v případě horní výztuže ve vysokých průřezech [5].

V případě předpínacích lan byly porovnávány roznášecí a kotevní délky pro různé typy samozhutnitelného betonu s kotvením v běžném vibrovaném betonu při stejné tlakové napjatosti. Roznášecí délka lan uložených v samozhutnitelném betonu byla na straně bezpečné při porovnání s vypočtenými hodnotami podle EN 992-1 a EN 206-1, viz. [7] [8].

I když je soudržnost betonu s výztuží obecně lepší při použití samozhutnitelného betonu, pro danou pevnost v tlaku by se měly užít vztahy uvedené v normě.

5.9 Pevnost ve smyku při betonáži po vrstvách

Povrch samozhutnitelného betonu by po uložení a zatvrdnutí měl být hladký a nepropustný. Pokud se povrch první vrstvy nijak neošetří, může být smyková pevnost mezi první a druhou vrstvou nižší než u vibrovaného betonu a nemusí tudíž postačit pro přenesení smykového namáhání. Mělo by se proto přistoupit k ošetření povrchu např. povrchovými zpomalovači, kartáčováním nebo zdrsňováním povrchu, [7] [9].

5.10 Požární odolnost

Beton je nehořlavý a nenapomáhá šíření plamenů. Při vystavení ohni neprodukuje kouř ani toxické plyny nebo zplodiny. Beton má malou tepelnou vodivost, takže přestavuje účinnou požární clonu pro sousedící úseky a při typickém požáru si beton zachovává většinu své pevnosti. Evropská komise dala betonu nejvyšší možné požární označení, A1.

Požární odolnost samozhutnitelného betonu je obdobná jako u normálního betonu, [7]. Obecně je beton s nižší propustností náchylnější k potrhání, ale jeho rozsah závisí na typu kameniva, kvalitě a vlhkosti betonu [6]. Samozhutnitelný beton snadno docílí požadavků pro vysokopevnostní beton o nízké propustnosti a bude se chovat obdobně jako jakýkoliv normální vysokopevnostní beton při požáru [7]. Bylo prokázáno, že použití polypropylénových vláken v betonu účinně zvyšuje odolnost betonu proti potrhání v požární siruaci. Obecně se předpokládá, že mechanismus tkví v rozpuštění vláken a jejich pohlcením do cementové matrice. Dutiny po vláknech pak poskytují prostor pro rozpínající se páru, čímž se snižuje riziko potrhání. Polypropylénová vlákna byla úspěšně použita v samozhutnitelném betonu.

5.11 Trvanlivost

Trvanlivost betonových konstrukcí je úzce spjata s propustností povrchové vrstvy. Ta by měla zabránit průniku látek, které by mohly způsobit nebo dále šířit možné škodlivé účinky (CO_2,

chloridy, sírany, voda, kyslík, alkálie, kyseliny, apod.). V praxi závisí trvanlivost na výběru materiálu složek betonu, stejně tak jako na stupni dozoru při ukládání, hutnění, dokončování a ošetřování.

Nedostatečné zhutnění povrchové vrstvy kvůli problémům při vibrování těsných míst mezi bedněním a výztuží nebo dalšími předměty (např. kanálky kabelů) představuje klíčový faktor pro špatnou trvanlivost železobetonových konstrukcí vystavených agresivnímu prostředí. Překonání tohoto problému byl jeden z hlavních důvodů pro původní vyvinutí samozhutnitelného betonu v Japonsku.

Tradiční vibrovaný beton je hutněn vibrací (nebo pěchováním), které přestavuje přerušovaný proces. V případě vnitřního vibrování, i když je provedeno správně, objem betonu v dosahu vibrování není vystaven stejné hutnící energii. Obdobně, v případě vnějšího vibrování, je konečné zhutnění heterogenní v závislosti na vzdálenosti od zdroje vibrace.

Výsledkem vibrování je tudíž beton s nerovnoměrným zhutněním a tudíž odlišnými propustnostmi, což napomáhá místnímu průniku agresivních látek. Přirozené následky nesprávného vibrování (vrstevnatá struktura, segregace, krvácení, atd.) mají podstatně větší negativní vliv na propustnost a tudíž i na trvanlivost.

Správně navržený samozhutnitelný beton postrádá tyto nedostatky a představuje materiál s nízkou a rovnoměrnou propustností. Z toho důvodu obsahuje méně slabých míst příhodných pro škodlivé účinky prostředí a tudíž zlepšuje trvanlivost konstrukce. Srovnání mezi propustnostmi samozhutnitelného betonu a běžného vibrovaného betonu bude záviset na výběru materiálu a účinném vodním součiniteli.

Existují zkušební metody, ať už uvedené v národních normách nebo doporučené RILEM, pro měření propustnosti betonu v laboratoři nebo na staveništi, které slouží jako ukazatelé trvanlivosti. Obě normy ČSNEN 1992-1 a ČSN EN 206-1 uvažují trvanlivost pomocí zařazení do stupně vlivu prostředí, což vede k mezním hodnotám složení betonu a předpisu minimální krycí vrstvy výztuže [1] [2].

5.12 Literatura

[1] EN 1992-1 – Eurocode 2:Design of concrete structures Part 1 – 1 – General rules and rules for buildings -Part 1 - 2 – General rules – Structural file design

[2] EN206-1: 2000 - Concrete Part 1 – Specification, performance, production and conformity

[3] BROOKS, J *Elasticity, shrinkage, creep and thermal movement*. Advanced Concrete Technology – Concrete properties, Edited by John Newman and Ban Seng Choo, ISBN 0 7506 5104 0, 2003

[4] HARRISON, T A *Early-age thermal crack control in concrete*. CIRIA Report 91, Revised edition 1992 ISBN 0 86017 329 1

[5] SONEBI, M, WENZHONG,Z and GIBBS, J *Bond of reinforcement in self-compacting concrete* – CONCRETE July-August 2001

[6] CATHER, R *Concrete and fire exposure*. Advanced Concrete Technology – Concrete properties, Edited by John Newman and Ban Seng Choo, ISBN 0 7506 5104 0, 2003.

[7] DEN UIJL, J.A., *Zelfverdichtend Beton, CUR Rapport 2002 - 4* - Onderzoek in opdracht van CUR Commissie B79 Zelfverdichtend Beton, Stichting CUR, ISBN 90 3760 242 8.

[8] VAN KEULEN, D, C, *Onderzoek naar eigenschappen van Zelfverdichtend Beton*, Rapport TUE/BCO/00.07, April 2000.

[9] JANMAAT, D, WELZEN.M.J.P, *Schuifkrachtoverdracht in schuifvlakken van zelfverdichtend beton bij prefab elementen*, Master Thesis, Rapport TUE/CCO/A-2004-6.

Obrázek 1: Detail povrchu prefabrikátu, jehož forma byla vyplňována SCC od spodu

6. Specifikace SCC vyráběného v betonárnách a na staveništi

6.1 Všeobecně

Požadavky na specifikaci, výrobu a posuzování shody konstrukčního betonu jsou dány v ČSN EN 206-1. nicméně v případě samozhutnitelného betonu se některé vlastnosti čerstvého betonu vymykají z mezí a tříd poskytnutých touto normou. Žádná ze zkušebních metod v současných normách ČSN EN 12350 „Zkoušení čerstvého betonu" není vhodná pro stanovení klíčových vlastností čerstvého samozhutnitelného betonu. Vhodné zkušební metody pro samozhutnitelný beton jsou uvedeny v Dodatku B této směrnice a uvažuje se o tom, že ČSN EN 12350 bude rozšířena o tyto zkušební metody.

Schopnost vyplňování a stabilita čerstvého samozhutnitelného betonu může být definována čtyřmi klíčovými vlastnostmi. Každá tato vlastnost může být určena jednou nebo více metodami:

Vlastnost	**Doporučená zkušební metoda(y)**
Pohyblivost	Rozlití kužele
Viskozita (určená z rychlosti tečení)	Rozlití kužele T_{500} nebo V-trychtýř
Prostupnost - odolnost proti blokaci	L-box
Segregace	Zkouška odolnosti proti segregaci (síta)

Tyto zkušební metody pro samozhutnitelný beton jsou popsány v Příloze B.

Veškeré detaily ohledně specifikace, funkčnosti, výroby a posuzování shody samozhutnitelného betonu, pokud doplňují ČSN EN 206-1, jsou popsány v Příloze A[3].

Další rady ohledně specifikace čerstvého samozhutnitelného betonu jsou v odst. 6.3 a 6.4.

6.2 Specifikace

Samozhutnitelný beton je normálně specifikován jako beton předepsaného složení.

Metoda předepsaného složení betonu je nejvýhodnější, tvoří-li projektant a výrobce/dodavatel jednu smluvní stranu (případ betonu vyráběného na staveništi).

Z komerčních důvodů budou betonárny, po konzultaci mezi odběratelem a výrobcem, pravděpodobně pro specifikaci upřednostňovat metodu garantovaného betonu[4] (viz Příloha A). Metoda garantovaného betonu se zaměřuje na funkčnost betonu a ponechává zodpovědnost za dosažení této funkčnosti na výrobci. Obvykle je nepraktické pro projektanta, aby navrhnul vlastní samozhutnitelný beton a zadal recepturu betonu výrobci.

Specifikace samozhutnitelného betonu při použití metody garantovaného betonu by měla obsahovat:

a) základní požadavky uvedené v Odst. 6.2.1 této směrnice
b) doplňující požadavky uvedené v Odst. 6.2.2, pokud jsou potřeba

6.2.1 Základní požadavky

Specifikace samozhutnitelného betonu by měla obsahovat:

a) požadavek na přizpůsobení se „Evropské směrnici pro samozhutnitelný beton, květen 2005, Příloha A";
b) pevnostní třídu betonu v tlaku (viz ČSN EN 206-1, Odst. 4.3.1);
c) stupeň vlivu prostředí a/nebo mezní hodnoty pro složení betonu, např. maximální vodní součinitel, minimální obsah cementu (viz ustanovení platná dle místa užití);
d) maximální jmenovitou horní mez frakce kameniva;
e) maximální obsah chloridů v betonu (viz ČSN EN 206-1, Odst. 5.2.7);
f) konzistenci, nebo ve zvláštních případech určenou reologickou zpracovatelnost (viz Příloha A, Tabulka A. 5)

POZNÁMKA 1: V některých zemích EU jsou užívány jen zvláštní pevnostní třídy betonu podle Národní přílohy EN 206-1[5].

POZNÁMKA 2: Je potřeba zvážit požadavek na výrobce, aby používal certifikovaný systém kvality odpovídající normám ČSN EN ISO 9001[6].

6.2.2 Doplňující požadavky

Kromě základních požadavků (6.2.1) by měla specifikace samozhutnitelného betonu také obsahovat kterýkoli z následujících doplňujících požadavků a ustanovení, je-li pokládán za nezbytný a který specifikuje odpovídající vlastnost a zkušební metody jako:

---

[3] Pozn. překl.: Zde jsou míněny vlastnosti betonu týkající se samozhutnitelnosti betonu. Všechny ostatní musí odpovídat ČSN EN 206-1.
[4] Pozn. překl.: V ČR je upřednostňována metoda předepsaného složení betonu.
[5] Pozn. překl.: To se nevztahuje na ČR. V ČR v současnosti platí ČSN EN 206-1 Změna Z2, což je Národní příloha EN 206-1.
[6] Pozn. překl.: V ČR je to dobrovolná záležitost. Nařízení Vlády č. 312/2005 Sb. však výrobci betonu pevností C12/15 a vyšších ukládá mít zaveden certifikovaný systém řízení výroby.

a) hodnota T_{500} zkoušky rozlití (viz Příloha A, Tabulka A. 3) nebo třída ze zkoušky s V-trychtýřem (viz Příloha A, Tabulka A. 3);
b) třída ze zkoušky s L-boxem, nebo ve zvláštních případech určená hodnota (viz Příloha A, Tabulka A. 2);
c) třída odolnosti proti segregaci, nebo ve zvláštních případech určená hodnota (viz Příloha A, Tabulka A. 4);
d) požadavky na teplotu čerstvého betonu, pokud se liší od ČSN EN 206-1, Odst. 5.2.8;
e) ostatní technické požadavky.

POZNÁMKA 1. V případech, kdy jsou zkoušky běžně požadovány, je zapotřebí uvést jejich četnost.

6.3 Požadavky na čerstvý beton

Konkrétní požadavky na čerstvý samozhutnitelný beton závisí na způsobu ukládání, zejména pak na:

- tvaru betonového prvku ve vztahu k bednění a množství, typu a rozmístění výztuže, vložek, krytí a výklenků, apod.
- technologii ukládání (např. čerpání, přímo z autodomíchávače, skluz, betonování pod hladinou vody)
- postupu ukládání (např. počet a rozmístění ukládacích míst)
- způsobu úpravy a ošetřování povrchu

Klasifikační systém popsaný v Příloze A bere v úvahu příslušnou specifikaci samozhutnitelného betonu, která splňuje podmínky charakterizované:

• pohyblivostí	rozlití kužele SF	3 třídy
• viskozitou	viskozita VS nebo VF	2 třídy
• prostupností	propustnost PA	2 třídy
• odolností proti rozměšování	odolnost proti rozměšování SR	2 třídy

Podrobnosti týkající se zkušebních metod pro zjišťování těchto charakteristik lze najít v Příloze B.

Informace ohledně výběru parametrů a tříd jsou v Odst. 6.4.

Požadavky na čerstvý samozhutnitelný beton, vyplývající ze způsobu aplikace SCC, by měli být dány jednou nebo více výše uvedenými klíčovými charakteristikami, a poté by měly být specifikovány pomocí tříd nebo určenou hodnotou podle Přílohy A.

U transportbetonu nebo betonu vyráběného na staveništi by měly být charakteristiky a třídy pečlivě vybírány, kontrolovány a jejich použití ověřeno zkušeností zhotovitele a výrobce betonu nebo konkrétními zkouškami. Proto je důležité, aby odběratel betonu a výrobce betonu prodiskutovali a jasně definovali tyto podmínky ještě před zahájením projektu.

Odběratel betonu by měl specifikovat pouze nezbytně nutné charakteristiky čerstvého betonu pro konkrétní použití, aby bylo zabráněno zbytečnému podřizování nepodstatným charakteristikám a třídám. Zkouška pohyblivosti je obvykle specifikována pro všechny samozhnutnitelné betony.

Prostupnost, viskozita a odolnost proti rozměšování ovlivní vlastnosti zatvrdlého betonu na místě, nicméně by měly být specifikovány, pouze je-li to skutečně nutné.

- Pokud není přítomna výztuž nebo je jí jen velmi malé množství, nemusí být nutné specifikovat prostupnost jako požadavek.
- Viskozita může být důležitá v případech, kde je požadována dobrá kvalita povrchu nebo při betonáži míst s velmi hustou výztuží, ale ve většině případů ji není třeba specifikovat.
- Odolnost proti rozměšování začíná být důležitá s vyšší tekutostí a se sníženou viskozitou samozhutnitelného betonu. Pokud má být předepsána, postačí pro většinu aplikací třída 1.

Další rady ohledně specifikace naleznete v Odst. 6.4.

Požadovaná doba pro udržení čerstvé konzistence záleží na době trvání dopravy a ukládání. Ta by měla být stanovena a specifikována a je zodpovědností výrobce, aby zajistil, že si čerstvý

samozhutnitelný beton udrží své vlastnosti po tuto dobu.

Pokud je to možné, měl by být samozhutnitelný beton ukládán nepřetržitě. Tzn., že rychlost dodávek betonu by se měla shodovat s rychlostí ukládání. Aby se zamezilo přestávkám v ukládání kvůli nedostatku betonu nebo dlouhým prodlevám mezi příjezdem betonu na stavbu a jeho uložením, měl by výrobce betonu potvrdit harmonogram dodávek betonu na stavbu.

6.4 Klasifikace konzistence

6.4.1 Klasifikace podle rozlití

Hodnota rozlití udává schopnost tečení čerstvého betonu bez toho, že by mu v tom něco bránilo. Je to citlivý test, který se normálně předepisuje pro všechny samozhutnitelné betony jako první kontrola konzistence čerstvého samozhutnitelného betonu – odpovídá-li specifikaci. Vizuální pozorování během zkoušky a měření hodnoty T_{500} může poskytnout další informace ohledně odolnosti proti rozměšování a stejnoměrnosti každé záměsi.

Zde jsou uvedeny typické třídy rozlití pro řadu použití:

SF1 (550 - 650 mm) je vhodná pro:
- nevyztužené nebo slabě vyztužené betonové konstrukce, kde se beton ukládá shora a není bráněno jeho rozlévání od místa ukládání (např. základové desky)
- ukládání čerpáním pomocí injektážního systému (např. ostění tunelů)
- úseky, které jsou natolik malé, že jejich rozměr nebrání vodorovnému roztékání (např. piloty a některé hluboké základy).

SF2 (660 - 750 mm) je vhodný pro mnohá běžná použití (např. stěny, sloupy).

SF3 (760 – 850 mm) je typicky vyráběn s malou velikostí zrna kameniva (méně než 16 mm[7]) a používá se pro betonáž svislých konstrukcí s hustou výztuží, konstrukcí složitého tvaru nebo pro vyplňování spodem bednění. SF3 bude většinou poskytovat kvalitnější povrch než SF2 při běžné betonáži svislých konstrukcí, ale hůře se zajišťuje odolnost proti rozměšování.

Určené hodnoty, které jsou větší než 850 mm, by měly být specifikovány v některých zvláštních případech, ale zároveň by se velmi mělo dbát na rozměšování betonu a maximální velikost zrna kameniva by měla být menší než 12 mm.

6.4.2 Viskozita

Viskozitu lze vyjádřit jako čas T_{500} během zkoušky rozlití kužele nebo pomocí doby rozlití při zkoušce V-trychtýřem. Získaná hodnota neudává přímo viskozitu samozhutnitelného betonu, ale je s ní v relaci popisem rychlosti rozlití. Beton s nízkou viskozitou se bude z počátku velmi rychle rozlévat, a poté se rozlévání zastaví. Beton s vysokou viskozitou se může rozlévat dále po delší dobu.

Viskozita (nízká nebo vysoká) by měla být předepsána jen ve zvláštních případech, jejichž příklady jsou uvedeny níže. Může být užitečné měřit a zaznamenávat hodnotu T_{500} během vývoje směsi při zkoušce rozlití kužele i jako způsob prokazování shody mezi jednotlivými záměsemi samozhutnitelného betonu.

VS1/VF1 má dobrou schopnost vyplňování i v hustě vyztužených místech. Je schopen utvoření vodorovného povrchu a obecně má nejlepší (nejhladší) povrch. Nicméně má tendenci se rozměšovat a krvácet.

VS2/VF2 nemá žádnou horní mez, ale se vzrůstající dobou rozlití má tendenci chovat se

[7] Pozn. překl.:V ČR obvykle méně než 8 mm.

tixotropně, což může omezit tlak na bednění (viz Odst. 10.5) nebo vylepšit odolnost proti rozměšování. Negativní účinky mohou být patrné na povrchu (póry) a projevuje se větší citlivost na přestávky při betonáži nebo na prodlevy mezi po sobě jdoucími vrstvami.

6.4.3 Prostupnost[8]

Prostupnost popisuje schopnost čerstvého betonu protékat zúženými otvory a úzkými mezerami, jaké jsou v místech hustého vyztužení, bez rozměšování, ztráty jednolitosti nebo ucpávání. Při vymezování prostupnosti je třeba brát v úvahu tvar a hustotu vyztužení, schopnost tečení/schopnost vyplňování a maximální velikost zrna kameniva.

Určujícím rozměrem je velikost nejmenší mezery, kterou má samozhutnitelný beton nepřetržitě protékat, aby vyplnil bednění. Tato mezera je většinou (ne však vždy) dána vzdáleností mezi výztuží. Pokud není vyztužení velmi husté, není potřeba brát v úvahu mezery mezi výztuží a bedněním, protože samozhutnitelný beton má schopnost obtéci výztuž, aniž by musel skrze tyto mezery téci nepřetržitě.

Příklady specifikace prostupnosti jsou uvedeny zde:

PA 1 konstrukce s mezerami od 80 mm do 100 mm, (např. budovy, svislé konstrukce)

PA 2 konstrukce s mezerami od 60 mm do 80 mm, (např. inženýrské stavby)

V případě tenkých desek s mezerou větší než 80 mm a dalších konstrukcí s mezerou větší než 100 mm není potřeba prostupnost předepisovat.

V případě složitých konstrukcí s mezerami menšími než 60 mm může být nutné provést zkoušky na modelech.

6.4.4 Odolnost proti rozměšování

Odolnost proti rozměšování je zásadní pro kvalitu a homogenitu samozhutnitelného betonu na staveništi. Samozhutnitelný beton je náchylný k rozmíšení během ukládání až do počátku tuhnutí. Rozměšování, které se objeví po uložení betonu, má nejzhoubnější účinek u vysokých prvků, ale také u tenkých desek, kde může způsobit vady povrchu projevující se jako trhliny nebo špatný vzhled.

Protože dosud není dostatek potřebných zkušeností, jsou zde poskytnuta následující obecná pravidla týkající se tříd odolnosti proti rozměšování:

Odolnost proti rozměšování se stává důležitým parametrem pro třídy betonu s větším rozlitím, třídy betonu s nižší viskozitou, nebo v případech kdy podmínky ukládání napomáhají rozměšování. Pokud ani jedna z těchto podmínek není splněna, není obvykle nutné specifikovat třídu odolnosti proti rozměšování.

SR1 je obecně použitelná pro tenké desky a pro betonáž svislých prvků, kde potřebná vzdáleností rozlití je menší než 5 metrů a s mezerami většími než 80 mm.

SR2 je vhodná pro svislé prvky, kde je potřebná vzdálenost rozlití větší než 5 metrů a s mezerami většími než 80 mm. V těchto případech SR2 zabrání segregaci během rozlévání SCC při betonáži.

SR2 může být také použita pro betonáž vysokých svislých prvků s mezerami menšími než 80 mm, pokud je vzdálenost rozlití menší než 5 metrů. Je-li vzdálenost rozlití větší než 5 metrů, doporučuje se předepsat určenou hodnotu SR zmenšenou alespoň o 10%.

---

[8] Pozn. překl.: V ČR také označovaná jako „Odolnost proti blokaci".

Je-li pevnost a kvalita horního povrchu obzvlášť důležitá, je vhodné předepsat SR2 nebo určenou hodnotu.

6.5 Příklady specifikace

Následující tabulka zvýrazňuje počáteční parametry a třídy SCC, které je potřeba zvážit při jeho specifikaci pro různá použití. Nebere v úvahu konkrétní vliv překážek, tvar prvku, způsob ukládání nebo vlastnosti složek betonové směsi. Při konečném rozhodnutí týkající se specifikace by měla proběhnout diskuze s výrobcem betonu.

<table>
<tr><td>Viskozita</td><td colspan="3"></td><td>Odolnost proti rozměšování/ prostupnost</td></tr>
<tr><td>VS2
VF2</td><td colspan="3">Rampy</td><td>Urči prostupnost pro SF1 a SF2</td></tr>
<tr><td>VS1 nebo VS2
VF1 nebo VF2
nebo určená hodnota</td><td colspan="3">Stěny a piloty
Vysoké a štíhlé prvky</td><td>Urči SR pro SF3</td></tr>
<tr><td>VS1
VF1</td><td colspan="3">Podlahy a desky</td><td>Urči SR pro SF2 a SF3</td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td>SF 1</td><td>SF 2</td><td>SF 3</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="3">Rozlití</td></tr>
</table>

Tabulka 1: Vlastnosti SCC pro různé typy použití (Walraven, 2003)

Walraven J. (2003) Structural applications of self compacting concrete *Proceedings of 3rd RILEM International Symposium on Self Compacting Concrete*, Reykjavik, Iceland, ed. Wallevik O and Nielsson I, RILEM Publications PRO 33, Bagneux, France, August 2003 pp 15-22.

7. Složky samozhutnitelného betonu

7.1 Všeobecně

Složky samozhutnitelného betonu jsou stejné jako složky tradičního vibrovaného betonu. Musí vyhovovat ČSN EN 206-1. Ve většině případů jsou požadavky na složky zahrnuty v konkrétních evropských normách (viz kapitola 3). Pro zajištění stejnoměrných a stálých vlastností samozhutnitelného betonu je navíc zapotřebí dbát na počáteční volbu složek betonu a na neustálou kontrolu jejich stejnoměrné kvality.

Těchto požadavků se dosáhne zpřísněním kontroly vlastností složek a jejich přípustných odchylek. Tím se také splní kritéria shody ohledně výroby samozhutnitelného betonu bez nutnosti provádět zkoušky a/nebo zvlášť upravovat každou záměs.

7.2 Cement

Pro výrobu samozhutnitelného betonu lze použít všechny cementy, které vyhovují ČSN EN 197-1. Správná volba typu cementu je obvykle dána konkrétními požadavky na použití SCC nebo aktuální nabídkou výrobce, než zvláštními požadavky na samozhutnitelný beton.

7.3 Příměsi

Inertní a pucolánové/hydraulické příměsi se běžně používají pro zlepšení a udržování soudržnosti a odolnosti proti rozměšování. Přidání příměsi typu II také umožní snížení množství cementu za účelem snížení hydratačního tepla a smršťování od teploty.

Příměsi jsou rozděleny podle jejich schopnosti reagovat s vodou:

TYP I	inertní nebo částečně inertní	• minerální plnivo (vápenec, dolomit, atd.) • pigmenty
TYP II	pucolánové	• popílek vyhovující ČSN EN 450 • křemičitý úlet vyhovující ČSN EN 13263
	hydraulické	• jemně mletá granulovaná vysokopecní struska (pokud není součástí cementu vyhovujícího EN 197-1, lze použít národní normy do doby, než bude vydána nová ČSN EN 15167)

U příměsí, které nejsou součástí cementů vyhovujících ČSN EN 197-1, nelze tak dobře kontrolovat, jejich složení a granulometrii zrn, jako u ostatních složek betonu. Proto je třeba pečlivěji kontrolovat jejich dodávky.

Častý důvod, proč je SCC používán, je vysoká kvalita povrchu a pěkný vzhled. Rozdílná barva příměsi může kvalitu a vzhled povrchu negativně ovlivnit.

7.3.1 Minerální mikroplnivo

Čára zrnitosti, tvar a nasákavost minerálního plniva může ovlivnit spotřebu záměsové vody nebo citlivost čerstvého betonu na množství vody. To přímo rozhoduje o jeho vhodnosti pro výrobu samozhutnitelného betonu. Minerální plnivo na bázi uhličitanu vápenatého je velmi používané a dává vynikající reologické vlastnosti a dobrý povrch. Nejvýhodnější je frakce menší než 0,125 mm a obecně je požadováno, aby více než 70% propadlo sítem o velikosti ok 0,063 mm. Plnivo mleté přímo pro tyto účely vylepšuje čáru zrnitosti a jejich stálost v jednotlivých dodávkách a také zlepšuje kontrolu nad spotřebou záměsové vody. Proto je, ve srovnání s ostatními dostupnými materiály, zvláště vhodné pro samozhutnitelný beton.

7.3.2 Popílek

Bylo prokázáno, že popílek je účinná příměs pro samozhutnitelný beton, co se týče zvýšené vnitřní soudržnosti čerstvého betonu a snížené citlivosti na kolísání obsahu záměsové vody. Velké množství popílku však může zvýšit soudržnost tmelu natolik, že zabrání tečení SCC.

7.3.3 Křemičitý úlet

Velká jemnost a prakticky kulový tvar částic křemičitého úletu způsobuje dobrou soudržnost čerstvého betonu a zlepšenou odolnost proti rozměšování. Křemičitý úlet je také účinný pro snižování nebo úplné zamezení krvácení betonu, což však může způsobit problémy s rychlou tvorbou povrchové krusty. Následkem mohou být potíže s úpravou horního povrchu či nechtěné pracovní spáry nebo vady povrchu v případě, kdy byla přerušena dodávka betonu při betonáži.

7.3.4 Jemně mletá granulovaná vysokopecní struska

Jemně mletá granulovaná vysokopecní struska představuje jemné reaktivní částice s nízkým vývinem hydratačního tepla. Je součásti některých cementů CEM II a CEM III, ale je také v některých zemích dostupná jako samostatná příměs, která se může přidávat do míchačky. Velké množství jemně mleté granulované vysokopecní strusky může ovlivnit stabilitu samozhutnitelného betonu, což může vést ke snížení robustnosti s problémy regulace konzistence, přičemž pomalejší tuhnutí může zvýšit riziko rozměšování a krvácení betonu.

7.3.5 Ostatní příměsi

Metakaolin, přírodní pucolán, přírodní sklo, vzduchem chlazená struska a další jemná plniva jsou používána nebo považována za příměsi do samozhutnitelného betonu. Je třeba zvlášť pečlivě posoudit jejich krátkodobé i dlouhodobé účinky na chování betonu.

7.4 Kamenivo

Normální kamenivo musí vyhovovat ČSN EN 12620 a splňovat požadavky na trvanlivost podle ČSN EN 206-1. Lehké kamenivo musí odpovídat ČSN EN 13055-1.

POZNÁMKA: O zrnech kameniva menších než 0,125 mm se předpokládá, že se započítávají do obsahu jemných podílů samozhutnitelného betonu.

Vlhkost, nasákavost, zrnitost a odchylky povolených množství jemných podílů veškerého kameniva je třeba stále pečlivě sledovat a je třeba je vzít v úvahu, pokud se má vyrábět samozhutnitelný beton stálé kvality. Použitím vypraného kameniva se docílí betonu o neměnné kvalitě. Změna dodavatele kameniva zřejmě zapříčiní zásadní změnu vlastností betonu, a proto by měla být pečlivě a zcela vyhodnocena.

Tvar a čára zrnitosti kameniva jsou velmi důležité, protože ovlivňují obalení kameniva tmelem a jeho mezerovitost. Některé metody návrhu betonové směsi využívají mezerovitost k určení potřebného množství cementového tmelu a malty. Některé používají kamenivo s plynulou čárou zrnitosti nebo o jednotné velikosti zrna nebo přerušenou křivku zrnitosti na rozhraní hrubého a jemného kameniva (obvykle s vyloučením frakce 4-8mm).

7.4.1 Hrubé kamenivo

Hrubé kamenivo vyhovující ČSN EN 12620 je vhodné pro výrobu samozhutnitelného betonu. Rovněž lehké kamenivo je úspěšně používáno v samozhutnitelném betonu. Pokud je viskozita cementového tmelu nízká je zapotřebí počítat s možným pohybem kameniva směrem k povrchu. Toto nebezpečí nemusí být odhaleno při zkoušce odolnosti proti rozměšování.

Pro určení maximální velikosti zrna kameniva je hlavním faktorem vzdálenost prutů výztuže. Musí se zabránit ucpávání mezer mezi pruty výztuže zrny kameniva, aby SCC mohl volně postupovat. Prostupnost samozhutnitelného betonu udává zkouška L-boxem. Velikost největšího zrna kameniva by měla být obecně omezena na 12 až 20[9] mm, i když se někdy používají i větší zrna.

Čára zrnitosti a tvar hrubého kameniva přímo ovlivňuje schopnost tečení, prostupnost samozhutnitelného betonu a potřebné množství cementového tmelu. Čím je tvar zrn kameniva bližší kulovému tvaru, tím méně hrozí ucpávání (blokace) a kvůli zmenšenému vnitřnímu tření se zvětší schopnost téct.

7.4.2 Jemné kamenivo/ písek

Vliv jemného kameniva na vlastnosti čerstvého samozhutnitelného betonu je podstatně větší než vliv kameniva hrubého. Frakce kameniva o velikost zrna menší než 0,125 mm by se měly započítat do obsahu jemných podílů a také by se měly brát v úvahu při výpočtu vodního součinitele.

I když velký objem tmelu ve směsích samozhutnitelného betonu snižuje vnitřní tření mezi částicemi písku, stále je potřeba používat plynulou čáru zrnitosti. Někteří výrobci dávají přednost pískům s přetrženou čárou zrnitosti, která ovšem vede k většímu objemu cementového tmelu.

7.5 Přísady

Nedílnou součásti samozhutnitelného betonu jsou superplastifikátory a obsah vody snižující přísady vyhovující ČSN EN 934-2 Tab. 3.1 a 3.2. Přísady upravující viskozitu mohou být rovněž použity pro snížení segregace a citlivosti směsi na kolísání poměru ostatních složek, zejména vlhkosti. Přísady provzdušňující, urychlující a zpomalující tuhnutí mohou být použity stejně jako u tradičního vibrovaného betonu, je však potřeba vždy vyzkoušet optimální okamžik, kdy se má přísada do směsi přidat. Přísady musí vyhovovat ČSN EN 934-2.

Volba přísady pro optimalizaci vlastností betonu může být ovlivněna fyzikálními a chemickými vlastnosti pojiva a příměsí. Mohou se projevit faktory jako jemnost mletí, obsah alkálií a C_3A. Proto se doporučuje, aby byla pečlivě zkontrolována účinnost v případech, kdy se mění dodavatel jakékoliv z těchto složek.

---

[9] Pozn. překl.: V ČR obvykle max. 16 mm

Dávky přísad jsou velmi stejnorodé.Při přechodu na nového dodavatele nebo na jiný typ v rámci jednoho výrobce je pravděpodobné, že tato změna bude mít významný vliv na vlastnosti samozhutnitelného betonu. Proto by se měla nová přísada plně prověřit než vůbec ke změně dojde.

7.5.1 Superplastifikátory/ přísady snižující obsah vody

Většina výrobců přísad poskytuje řadu superplastifikačních přísad přizpůsobených požadavkům konkrétního uživatele k ovlivnění ostatních složek betonu.

Přísada by měla umožnit snížení vodního součinitele při zlepšení zpracovatelnosti, a měla by si zachovat účinnost během doby nutné pro dopravu a zpracování čerstvého betonu. Beton pro prefabrikaci bude zřejmě potřebovat kratší dobu účinnosti než transportbeton, který se dopravuje autodomíchávači na stavbu a tam se ukládá.

7.5.2 Přísady upravující viskozitu

Přísady upravující vnitřní soudržnost (kohezi) samozhutnitelného betonu aniž by významně měnily jeho tekutost se nazývají viskozitu upravující přísady (anglicky VMA). Tyto přísady se v samozhutnitelném betonu používají k minimalizování účinku kolísání množství záměsové vody, jemných podílů v písku nebo změn granulometrie kameniva, což dělá samozhutnitelný beton robustnějším a méně citlivým ke kolísání dávkování a stavu užitých složek. Tyto přísady nesmějí být považovány za způsob obcházení dobrého návrhu směsi a pečlivého výběru ostatních složek samozhutnitelného betonu.

V současné době nejsou viskozitu upravující přísady součástí ČSN EN 934-2 ani EN 934-2, ale měly by vyhovovat obecným požadavkům v Tab. 1 uvedené normy. Dodavatel by navíc měl poskytnout průkaz o jejich vlastnostech. Návrh metody pro stanovení vhodnosti přísad upravujících viskozitu (založený na EN 934-2) je k dispozici na webové stránce EFCA www.efca.info.

7.5.3 Provzdušňující přísady

Provzdušňující přísady mohou být použity při výrobě samozhutnitelného betonu pro zvýšení trvanlivosti s ohledem na střídavé působení mrazu a rozmrazování. Používají se také pro stabilizaci nízkopevnostních samozhutnitelných betonů s nízkým obsahem jemných podílů.

7.6 Pigmenty

Pigmenty vyhovující ČSN EN 12878 mohou být, při dodržování stejných zásad jako u tradičního vibrovaného betonu, úspěšně použity pro samozhutnitelný beton. Mohou však ovlivnit vlastnosti čerstvého betonu, takže by neměly být přidány do existujícího samozhutnitelného betonu bez předchozího ověření zkouškami.

V samozhutnitelném betonu je rozptýlení pigmentu obecně lepší díky jeho vysoké tekutosti. Rovněž se dosahuje větší barevné stejnoměrnosti jak v rámci jedné záměsi tak i mezi jednotlivými záměsemi. Vyšší obsah cementového tmelu může vyžadovat vyšší dávku pigmentu pro získání požadovaného barevného odstínu.

7.7 Vlákna

Při výrobě samozhutnitelného betonu se používají ocelová, polypropylenová i skelná vlákna. Vlákna mohou snížit schopnost tečení a prostupnost SCC. Proto je nutné provést zkoušky za účelem zjištění optimálního typu, délky a množství vláken tak, aby byly zajištěny požadované vlastnosti čerstvého i zatvrdlého betonu.

Polypropylenová vlákna mohou být použita pro zlepšení stability samozhutnitelného betonu, protože napomáhají zabránit sedimentaci a vzniku trhlin v betonu vlivem plastického smršťování.

Ocelová či dlouhá polypropylenová vlákna se používají ke zvýšení tahových pevností zatvrdlého betonu. Jejich délka a množství se volí v závislosti na maximální velikosti zrna kameniva a na konstrukčních požadavcích. Jsou-li použita jako náhrada za normální vyztužení, neexistuje riziko blokace vlákny, ale je potřeba zdůraznit, že při použití vláken v samozhutnitelném betonu pro

konstrukce s výztuží se toto riziko výrazně zvyšuje.

7.8 Záměsová voda

Pro samozhutnitelný beton musí být použita voda vyhovující ČSN EN 1008.

8. Složení betonu

8.1 Všeobecně

Složení betonu je voleno tak, aby splňovalo kritéria pro všechny vlastnosti jak čerstvého tak i ztvrdlého betonu. V případě transportbetonu jsou tato kritéria ve formě specifikace dána odběratelem a měla by splnit všechny požadavky vytýčené v Kapitole 6 tohoto dokumentu.

8.2 Zásady návrhu betonu

Pro získání požadované kombinace vlastností čerstvého samozhutnitelného betonu, je potřeba:

- aby tekutost a viskozita tmelu byla upravena pečlivým výběrem a dávkou cementu a příměsí, omezením vodního součinitele a přidáním superplastifikátoru a případně přísad upravujících viskozitu. Správné zacházení s těmito složkami je klíčem k získání dobrých samozhutnitelných vlastností jako je schopnost vyplňování, prostupnost a odolnost proti rozměšování.

- Aby se dal řídit nárůst teploty a regulovat vznik trhlin od teplotního smršťování, mohou v sobě jemné podíly obsahovat významný podíl příměsí typu I a II, čímž se zároveň udrží množství cementu na přijatelné úrovni.

- Cementový tmel je prostředkem pro transport kameniva. Proto musí být objem tmelu takový, aby byla všechna zrna kameniva plně obalena a klouzala po jeho vrstvě. Tak se zvýší tekutost čerstvého SCC a sníží tření mezi zrny kameniva.

- Ve směsi je snížen poměr mezi hrubým a jemným kamenivem, v důsledku čehož jsou jednotlivá zrna hrubého kameniva plně obklopena vrstvou malty. Tím se sníží možnost zaklínění zrn kameniva do sebe v případě, že beton protéká úzkými otvory a mezerami mezi výztuží. Zároveň se zvýší prostupnost samozhutnitelného betonu.

Výsledkem užití těchto principů návrhu směsi je beton, který ve srovnání s tradičním vibrovaným betonem normálně obsahuje:

- méně hrubého kameniva
- větší množství cementového tmelu
- nižší vodní součinitel
- účinný superplastifikátor
- případně přísady upravující viskozitu (VMA).

8.3 Zkušební metody

Řada zkušebních metod byla vyvinuta pro měření a hodnocení vlastností čerstvého samozhutnitelného betonu. Tabulka 2 obsahuje seznam nejběžnějších zkušebních metod seřazených podle vlastností, které hodnotí. Veškeré podrobnosti k některým z nich lze nalézt v Příloze B. Tyto metody jsou nejpoužívanější v celé Evropě a je možné jim přiřadit specifikační třídy, jak ukazuje Příloha A. Podrobnosti k většině ostatních metod z Tabulky 2 jsou k dispozici ve směrnici pro samozhutnitelný beton EFNARC SCC na webové stránce www.efnarc.org nebo ve zprávě projektu "Testing-SCC project" financovaným Evropskou unií a řízeným Universitou v Paisley. Adresa webové stránky projektu je:
http://www.civeng.ucl.ac.uk/research/concrete/Testing-SCC/.

Neexistuje žádná samostatná zkušební metoda, která by byla sama schopna posoudit všechny klíčové parametry SCC, a proto je třeba provést kombinaci různých zkoušek, aby byl samozhutnitelný beton plně charakterizován. Evropská projektová skupina, která navrhla tuto

směrnici, došla k závěru, že pro účely specifikace by se mělo používat jen několik málo zkušebních metod. Navrhla jich pět a ty jsou podrobně popsány v Příloze B a mohou být vztaženy k specifikačním třídám popsaným v Příloze A.

Další zkušební metody mohou být vhodné pro vývoj samozhutnitelného betonu, hodnocení jeho vlastností ve vztahu ke konkrétnímu použití a pro zkoušky na staveništi, na kterých se dohodli výrobce s odběratelem.

Zkouška J-ring je slibným adeptem pro hodnocení prostupnosti na staveništi, nicméně v době, kdy byla tato směrnice zpracovávána, bylo rozhodnuto, že je třeba jejího dalšího vývoje, než bude možné stanovit specifikační třídy pro její běžné užití.

Charakteristika	Zkušební metoda	Naměřená hodnota
Schopnost téci/ schopnosti vyplnění	Rozlití	úplné rozlití
	Kajima box	vizuální vyplnění
Viskozita/ tekutost	T500	doba rozlití
	V-trychtýř (V-funnel)	doba rozlití
	O-trychtýř (O-funnel)	doba rozlití
	Orimet	doba rozlití
Prostupnost	L-box	poměr prostupu
	U-box	rozdíl výšek
	J-ring	výška kroku, úplné rozlití
	Kajima box	vizuální prostupnost
Odolnost proti rozměšování	penetrace	hloubka
	segregace na sítech	procento výronu cementu
	odměrný válec	poměr segregace

Tabulka 2: Zkoušené vlastnosti a metody pro hodnocení samozhutnitelného betonu

Kromě zkušebních metod vypsaných v Tabulce 2 se používají i menší kužely a trychtýře pro posouzení tekutosti cementového tmelu a složek malty samozhutnitelného betonu při vývoji směsi v laboratoři. Malý komolý kužel je obvykle 60 mm vysoký s průměrem dolní postavy 100 mm a 70 mm podstavy horní. Malý V-trychtýř je typicky 240 mm vysoký, jeho šířka je 270 mm a hloubka 30 mm. Zužuje se do 30 x 30 x 60 mm vysokého hrdla. Také Marshův kužel je používán pro posouzení tekutosti tmelu a složek malty.

8.4 Základní návrh směsi

Protože neexistuje žádná standardní metoda pro návrh samozhutnitelného betonu, mnoho institucí, výrobců přísad, transportbetonu, prefabrikátů a prováděcích firem vyvinuly své vlastní metody.

Metody návrhu směsi často používají objem malty jako klíčový parametr z důvodu vyplnění mezer mezi zrny kameniva. Některé se snaží přizpůsobit dostupné složky optimální obálce zrnitosti kameniva. Další metoda nejdříve hodnotí a optimalizuje tekutost a stabilitu cementového tmelu, pak malty, načež je přidáno hrubé kamenivo a zkouší se konečný samozhutnitelný beton.

Další informace ohledně návrhu čerstvého SCC a metodách hodnocení jeho vlastností lze nalézt ve směrnici EFNARC pro samozhutnitelný beton (bezplatně ke stažení na www.efnarc.org).

Zde jsou některé publikované návrhové metody směsi SCC:

- Okamura H and Ozawa K. Self-compactable high performance concrete. International Workshop on High Performance Concrete. American Concrete Institute; Detroit. 1994, pp31-44.

- Ouchi M, Hibino M, Ozawa K, and Okamura H. A rational mix-design method for mortar in self-compacting concrete. Proceedings of Sixth South-East Asia Pacific Conference of

Structural Engineering and Construction. Taipei, Taiwan, 1998, pp1307-1312.

- Nawa T, Izumi T, and Edamatsu Y. State-of -the-art report on materials and design of self-compacting concrete. Proceedings of International Workshop on Self-compacting Concrete. August 1998; Kochi University of Technology, Japan. pp160-190.

- Domone P, Chai H and Jin J. Optimum mix proportioning of self-compacting concrete. Proceedings of International Conference on Innovation in Concrete Structures: Design and Construction, Dundee, September 1999. Thomas Telford; London. pp277-285.

- Billberg, P. Self-compacting concrete for civil engineering structures - the Swedish Experience. Report no 2:99. Swedish Cement and Concrete Research Institute. Stockholm, 1999

- Su N, Hsu K-C and Chai H-W A simple mix design method for self-compacting concrete Cement and Concrete Research, 31, (2001) pp 1799-1807

- Gomes P.C.C, Gettu R, Agullo L, Bernard C, Mixture proportioning of high strength, Self-Compacting Concrete: Performance and Quality of concrete structures. Third CANMET/ACI Intnl Conf. (Recefi, Brazil) Supplementary CD, 2002, 12p.

- Bennenk, H. W. & J.Van Schiindel: The mix design of SCC, suitable for the precast concrete industry. Proceedings of the BIBM Congress, 2002 Istanbul, Turkey.

- Billberg, P. Mix design model for SCC (the blocking criteria). Proceedings of the first North American conference on the design and use of SCC, Chicago 2002.

Tato směrnice nemá v úmyslu poskytnout konkrétní rady, jak navrhovat směs SCC, nicméně v tabulce uvedené níže jsou orientační množství složek v samozhutnitelném betonu podle jejich hmotnosti i objemu.

Složka	**Typické množství podle váhy (kg/m^3)**	**Typické množství podle objemu ($litry/m^3$)**
Jemné podíly	380 - 600	
Cementový tmel		300 - 380
Voda	150 - 210	150 - 210
Hrubé kamenivo	750 - 1000	270 - 36
Jemné kamenivo (písek)	Dorovnává množství ostatních složek, typicky 48 – 55% celkové hmotnosti kameniva.	
Objemový poměr vody ku jemným podílům		0.85 – 1.10

Tabulka 3: Typické složení samozhutnitelného betonu

8.5 Postup návrhu směsi

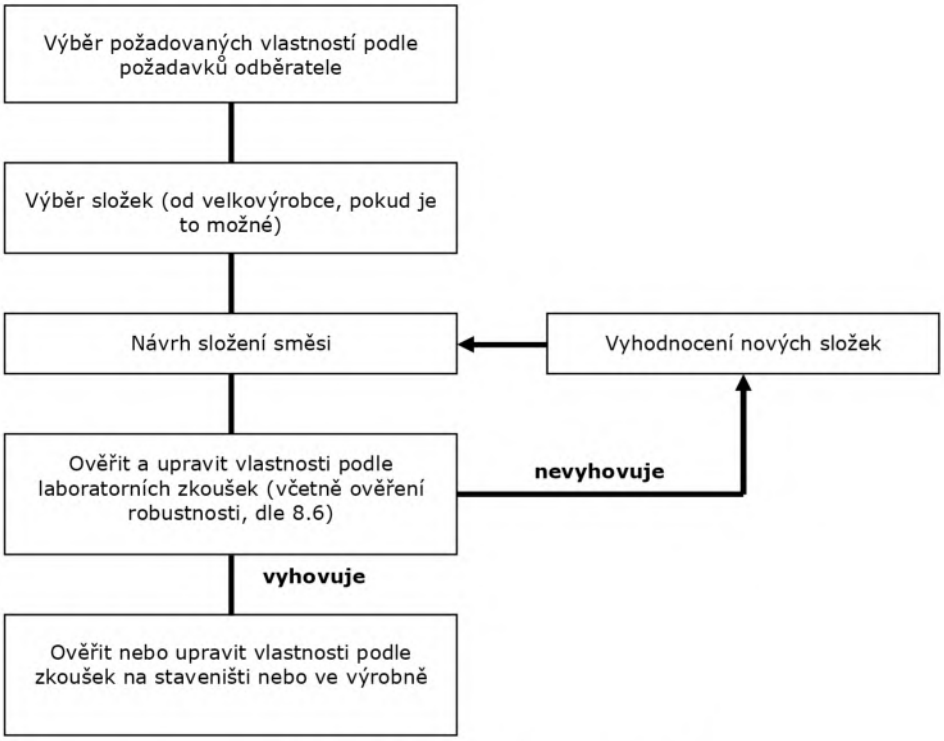
Pro ověření vlastností počátečního složení směsi s ohledem na specifikované vlastnosti a třídy se provedou laboratorní zkoušky. Je-li to nutné, následují úpravy složení směsi. Pokud jsou splněny všechny požadavky, navržená směs se v plné míře vyzkouší ve výrobně a pokud je to nutné, tak i na staveništi, aby se ověřily vlastnosti jak čerstvého tak i ztvrdlého betonu

Návrh směsi SCC obecně vychází z následujících kroků:

- odhadnout množství vody a optimalizovat tekutost a stabilitu cementového tmelu
- stanovit množství písku a přísad pro získání požadované robustnosti
- vyzkoušet citlivost na malé změny v množstvích složek (robustnost)
- přidat odpovídající množství hrubého kameniva
- v laboratoři vyrobit čerstvý samozhutnitelný beton a provést požadované zkoušky
- vyzkoušet vlastnosti ztvrdlého samozhutnitelného betonu

- vyrobit zkušební záměs na betonárně

Postup návrhu směsi SCC je zobrazen na obrázku níže.



Obrázek 2: Postup návrhu směsi SCC.

V případě, že se nedosáhne vyhovujících vlastností, mělo by se zvážit provedení úplně nového návrhu směsi. V závislosti na daném problému, mohou být vhodné následující postupy:

- upravit poměr cementu k jemným podílům a poměr vody k jemným podílům a vyzkoušet tekutost a další vlastnosti cementového tmelu
- vyzkoušet jiné typy příměsí (pokud jsou k dispozici)
- upravit množství jemného kameniva a množství superplastifikátoru
- zvážit použití přísady upravující viskozitu pro snížení citlivosti směsi
- upravit množství nebo zrnitost hrubého kameniva

Další rady pro případy, kdy vlastnosti SCC nebudou vyhovovat, lze nalézt v Příloze C.

8.6 Robustnost v čerstvém stavu

Cílem návrhu směsi samozhutnitelného betou je získání stabilních vlastností čerstvého betonu. Jakákoliv odchylka stejnorodosti složek může porušit tuto stabilitu, což může mít za následek nedostatečnou schopnost tečení, vyplňování, prostupnost nebo odolnost proti rozměšování. Většina odchylek ve složkách je způsobena změnou obsahu vody, ať již z důvodu změny vlhkosti nebo změnou zrnitosti či specifického povrchu kameniva. Následně je potřeba upravit množství záměsové vody.

Dobře navržený samozhutnitelný beton poskytuje přijatelnou odolnost proti běžnému kolísaní těchto parametrů. To snižuje tlak na systém řízení výroby, provádění zkoušek a snižuje možnost potíží na staveništi. Této odolnosti se obvykle říká „robustnost" a závisí na dobrém výběru zdrojů, skladování a zacházení se základními složkami a na přiměřeném obsahu jemných podílů nebo přísad upravující viskozitu.

Dobře navržený a robustní čerstvý samozhutnitelný beton snese změnu obsahu vody o 5 až 8

litrů/m^3 a stále bude odpovídat specifikovaným třídám vlastností. Při navrhování složení samozhutnitelného betonu může pomoci provedení zkoušek s obsahem vody lišícím se o 5 až 8 litrů/m^3 od požadovaného množství a měřit změnu ve vlastnostech čerstvého betonu. Tento postup potvrdí robustnost směsi a ukáže, zda je třeba provést další úpravy návrhu.

Obrázek 3: Zkouška odolnosti proti rozměšování

9. Výroba samozhutnitelného betonu v betonárnách a na staveništi

9.1 Všeobecně

Samozhutnitelný beton je více náchylný na změny vlastností složek a odchylek v dávkování než betony tradiční. Z toho důvodu je důležité, aby veškerá výroba, doprava, ukládání a zpracování byly pod přísným dohledem.

Samozhutnitelný beton má být vyráběn v betonárnách, kde vybavení, provoz a materiály jsou vhodně řízeny podle schématu zajištění kvality (Quality Assurance). Doporučuje se (a v některých zemích EU je to požadavek), aby výrobce měl certifikát podle ISO 9001[10].

Je důležité. aby veškerý personál, který přijde do styku s výrobou a dopravou samozhutnitelného betonu, byl náležitě vyškolen osobou, která již má zkušenosti se samozhutnitelným betonem, a to před zahájením vlastní výroby. Toto školení by mělo obsahovat sledování výroby a zkoušení čerstvých i ztvrdlých SCC.

9.2 Skladování složek

Skladování složek samozhutnitelného betonu je stejné jako u běžného betonu, ale protože je směs více citlivá na odchylky a nepřesnosti, je potřeba navíc dbát následujících opatření:

Kamenivo: má být důsledně skladováno tak, aby nedošlo k vzájemnému promíchání různých druhů a frakcí. Dále má být chráněno před vlivy počasí, aby se minimalizovalo kolísání povrchové vlhkosti a obsahu jemných podílů. Venkovní skládky mají umožňovat odvedení dešťové vody.

Skládka musí mít dostatečnou kapacitu,aby se předešlo přerušení betonáže na stavbě, které může přivodit vážné komplikace. Doporučuje se, aby veškerý materiál pro výrobu byl ve skladu již před jejím zahájením.

---

[10] Pozn. překl.: V ČR je to dobrovolná záležitost. Nařízení Vlády č. 312/2005 Sb. však výrobci betonu pevností C12/15 a vyšších ukládá mít zaveden certifikovaný systém řízení výroby.

Cementy, příměsi a přísady: Neexistují žádné zvláštní požadavky lišící se od požadavků na uvedené složky pro běžný beton. Je třeba dodržovat doporučení výrobce. Dále se doporučuje, aby veškerý materiál pro výrobu byl ve skladu již před výrobou samozhutnitelného betonu, čímž se předejde možným odchylkám ve vlastnostech při dodání čerstvého betonu.

9.3 Mísící zařízení a zkušební záměsi

Samozhutnitelný beton může být vyroben v jakékoli účinné míchačce, nicméně míchačky s nuceným oběhem jsou vhodnější. U samozhutnitelného betonu je zvláště důležité, aby míchačka byla v dobrém stavu a aby zaručovala plné a stejnoměrné promíchání tuhých materiálů a s dostatečnou smykovou účinností rozptýlit a aktivovat superplastifikátor.

Ze zkušenosti je známo, že doba míchání nutná pro zajištění úplného promíchaní samozhutnitelného betonu, může být vlivem snížených smykových sil delší než u běžného betonu. Je to rovněž nutné pro úplné aktivování superplastifikátoru. Je potřeba přesvědčit se předběžnými zkouškami o účinnosti míchačky a o optimálním pořadí vkládání složek SCC. Pro předběžné zkoušky plného rozsahu je třeba vyrobit množství betonu odpovídající alespoň polovině kapacity míchačky.

Doporučuje se provést zkoušky v betonárně před zahájením výroby SCC, aby ser ověřilo, že i při běžné výrobě směs vyhoví požadavkům specifikace vlastností jak čerstvého tak ztvrdlého betonu.

9.4 Postup míchání

Velké množství cementového tmelu a tekutost samozhutnitelného betonu znesnadňují získání stejnorodé směsi v porovnání s betony s tužší konzistencí. Hlavní potíží je tvorba „koulí" z nepromíchaných složek. „Tvorba koulí" se nejčastěji objevuje ve spádových míchačkách (zvláště v automíchačích[11]) než v míchačkách s nuceným oběhem. Tomuto problému lze zabránit tím, že se nejprve rovnoměrně smíchají složky betonu s tužší konzistencí a poté se přidá další voda a superplastifikátor, který zvýší konzistenci na požadovanou úroveň, přičemž se zabrání „tvorbě koulí".

Okamžik přidání přísad během dávkování je důležitý, neboť může ovlivnit jejich účinnost. Přísady upravující viskozitu se přidávají spíše později. Po provedení zkoušek na betonárně se zavede standardní postup, který je třeba přísně dodržet, aby se zamezilo odchylkám mezi jednotlivými záměsemi.

Přísady se nedávkují přímo do suchých složek, ale přidávají se do záměsové vody nebo se dávkují současně s vodou. Různé přísady se spolu nemají smíchat před jejich přimícháním do betonu, pokud to výrobce přísad nepovolí. Pokud se používají provzdušňovací přísady, je nejvhodnější přidat je do směsi před superplastifikátorem, kdy beton ještě vykazuje tužší konzistenci.

Kvůli vysoké účinnosti moderních superplastifikátorů je důležité, aby byly dávkovače pravidelně kalibrovány.

Během výroby se vyskytuje mnoho činitelů, které buď každý zvlášť anebo společně ovlivňují kolísání stejnorodosti směsi čerstvého betonu. Hlavními faktory je kolísání vlhkosti kameniva, granulometrie kameniva a změny v pořadí vkládání složek do míchačky. Protože normálně není možné okamžitě určit konkrétní příčinu kolísání stejnorodosti čerstvého betonu, doporučuje se upravit konzistenci změnou množství přidaného plastifikátoru.

Existuje mnoho postupů plnění míchačky. Níže jsou uvedeny příklady, které poskytují dobré výsledky.

---

[11] Pozn. překl.: pozor na rozdíl pojmů „automíchač" a „autodomíchávač". V ČR se automíchače pravděpodobně vůbec nepoužívají.

9.4.1 Automíchače

Přibližně dvě třetiny záměsové vody se nalijí do míchačky. Dále následuje nadávkování kameniva a cementu. Když se získá stejnorodá směs, dolije se zbylá záměsová voda a přidá se superplastifikátor. Pokud se používá přísada upravující viskozitu, přidá se až po superplastifikátoru a zároveň před konečnou úpravou konzistence změnou množství vody.

Automíchače budou pro samozhutnitelný beton nejspíše potřebovat delší dobu míchání, protože jsou méně účinné než míchačky v betonárnách. Rozdělením celkového objemu záměsi na dvě a více částí lze zlepšit účinnost míchání. Stav míchacího bubnu a lopatek jsou v případě samozhutnitelného betonu zvláště důležité, a proto mají být pravidelně kontrolovány. Rychlost otáčení bubnu během míchání má odpovídat doporučení výrobce, nicméně rychlost otáčení v případě samozhutnitelného betonu se pohybuje okolo 10 až 15 otáček za minutu.

9.4.2 Míchačky s nuceným oběhem

Kamenivo se obecně vkládá do míchačky jako první společně s cementem. Okamžitě následuje přádání záměsové vody a superplastifikátoru. Pokud se použije přísada upravující viskozitu, přidá se společně se zbývající záměsovou vodou. Velké smykové působení míchačky s nuceným oběhem zlepšuje tekutost a homogenitu záměsi.

Přesná metodika plnění míchačky se určí na základě zkoušek provedených před zahájením výroby.

9.5 Řízení výroby

9.5.1 Složky

Samozhutnitelný beton je citlivější na změny fyzikálních vlastností složek než běžný beton. Nejcitlivější je na změny vlhkosti kameniva, zrnitosti, tvarového indexu apod. Proto je třeba častěji provádět kontrolní zkoušky.

Kamenivo se doporučuje hodnotit každý den před zahájením výroby. Dále je potřeba vizuálně kontrolovat každou dodávku kameniva, aby jakákoliv nápadná změna byla zaznamenána. Je nutné neustále sledovat vlhkost kameniva a upravit dávkování vody podle potřeby.

V případě nových dodávek cementu, příměsí a přísad, mohou být důležité dodatečné kontrolní zkoušky pro zjištění závažných změn složek nebo změn v jejich spolupůsobení.

9.5.2 Výroba

Výroba a dodávání samozhutnitelného betonu probíhá v souladu se smluvním ujednáním mezi odběratelem a výrobcem a v souladu s normou ČSN EN 206-1, Odst. 9[12].

Způsob dopravy a zpracování čerstvého SCC rozhodne o konkrétních třídách vlastností, které výrobci předá odběratel betonu. Systém řízení výroby musí zajistit jejich pečlivé plnění během výroby a jakákoli odchylka od nich musí být okamžitě oznámena dispečerovi betonárny a technickému vedoucímu pracovníkovi.

Pokud nejsou zkušenosti s některou částí výroby samozhutnitelného betonu, je nutné zajistit odborný dohled nad celou počáteční výrobou a zkoušením.

Za účelem zajištění shodných vlastností samozhutnitelného betonu, se výrobci betonu doporučuje provádět zkoušku rozlití kužele pro každou záměs, dokud nejsou získány stabilní hodnoty. Další zkoušky slouží pro ujištění, že beton odpovídá smluvené specifikaci. Následně je každá záměs před dopravou na místo ukládání vizuálně kontrolována a provádí se běžné zkoušení podle četností

[12] Pozn. překl.: V ČR Nařízení Vlády č. 312/2005 Sb. výrobci betonu pevností C12/15 a vyšších ukládá mít zaveden certifikovaný systém řízení výroby.

specifikovaných v Příloze A. Je potřeba věnovat zvláštní pozornost každé dodávce složek, zejména kamenivu.

9.6 Doprava

Jednou z hlavních výhod samozhutnitelného betonu je vyšší rychlost ukládání. Je však nezbytně nutné, aby výrobní kapacita betonárny, přepravní čas a možnosti ukládání na staveništi byly vyváženy. To umožní pracovníkům na staveništi ukládat beton bez prodlev v dodávkách a v době, kdy si čerstvý beton uchovává svou konzistenci. Přestávky ve výrobě mohou mít za následek tixotropní chování již uloženého betonu, což může ovlivnit jeho schopnost vyplňování a tečení při dalším zahájení betonáže anebo způsobit vznik neplánovaných pracovních spár.

9.7 Přejímka na staveništi

V případě transportbetonu je důležité, aby fungoval dohodnutý, zdokumentovaný a standardizovaný postup přejímky samozhutnitelného betonu na staveništi. Výrobce a odběratel se na postupu předem dohodnou[13]. Má obsahovat vizuální kontrolu každé záměsi betonu a předepsané zkoušky a parametry shody.

ČSN EN 206-1 nařizuje výrobci v dané četnosti provést zkoušky betonu v ní uvedené pro hodnocení konzistence, pevnosti a dalších vlastností. Toto se označuje jako „posuzování shody".

Pro účely zkoušení může výrobce beton dělit do skupin. Pokud však ještě nezískal větší zkušenosti se samozhutnitelným betonem, nedoporučuje se slučovat beton samozhutnitelný do skupin s betonem běžným.

Příloha A udává minimální četnosti zkoušek pro získání vlastností čerstvého samozhutnitelného betonu[14]. Četnost zkoušení vlastností ztvrdlého betonu se řídí podle ČSN EN 206-1. Součástí smlouvy mohou být dodatečné zkoušky, například zkoušení konzistence každé záměsi, dokud není získána stejnorodost dodávek (viz 9.5.2).

Někdy může odběratel požadovat dodatečné zkoušky SCC. Kritéria pro přijetí nebo odmítnutí samozhutnitelného betonu jsou v Příloze A [14].

Zdokumentovaný postup má obsahovat podrobnosti ohledně zodpovědnosti za zkoušení stejně tak jako postupy pro případ neshody:

- Odběratel zajistí, že všechny průkazní zkoušky na staveništi jsou provedeny kompetentním a vyškoleným pracovníkem v prostředí, které není ovlivněno vibracemi a je chráněno před počasím. Vybavení má být dobře udržované a kalibrované. Místo pro zkoušení má mít pevnou a vodorovnou plochu.
- Alespoň jednu minutu před odběrem vzorku, má být beton znovu promíchán v autodomíchávači (ve vysokých otáčkách).
- Vzorky jsou získány podle ČSN EN 12350-1. První vzorek z autodomíchávače nemusí být reprezentativní. (Pozn.: Pokud není možné získat reprezentativní vzorek, tolerance udaná v Příloze A může být zvětšena.)
- Pro výrobu těles ke zkouškám pevnosti v tlaku a dalších zkoušek ztvrdlého betonu se forma vzorku vyplní jednou vrstvou betonu a nehutní se.

Doporučenou zkouškou pro charakterizování samozhutnitelného betonu na staveništi je rozlití kužele. Tato zkouška dobře vypovídá o stejnorodosti dodávek. Rozlití kužele udává celkovou tekutost betonu a tudíž i jeho schopnost vyplňovaní. Pozorování jakéhokoli náznaku oddělení cementového tmelu nebo malty po obvodu rozlití či jakékoliv oddělení kameniva uprostřed oblasti poskytuje rovněž informaci o odolnosti proti segregaci.

---

[13] Pozn. překl.: Je potřeba vzít v úvahu ČSN EN 206-1 a smluvní vztahy mezi účastníky procesu.

[14] Pozn. překl.: Zde jsou míněny vlastnosti betonu týkající se samozhutnitelnosti betonu. Všechny ostatní musí odpovídat ČSN EN 206-1.

Je potřeba neustále pozorovat uložený beton a všímat si stavu vyplnění formy a jakýchkoliv náznaků blokace, segregace nebo sedimentace SCC.

Obrázek 4: Zkouška rozlití kužele

10. Požadavky na staveniště a příprava

10.1 Všeobecně

Zhotovitel musí zajistit, aby odpovídající přípravy proběhly ještě před dodáním betonu. Tyto přípravy zahrnují:

- ověření, že konkrétní samozhutnitelný beton se hodí pro dané použití (viz Kapitola 6)
- ověření, že beton lze na staveništi ukládat dohodnutou rychlostí
- schválené postupy přejímání samozhutnitelného betonu s potřebnou dokumentací
- pracovníky na staveništi vyškolené pro ukládání samozhutnitelného betonu
- důkladně připravené bednění.

10.2 Řízení staveniště

Aby mohlo dojít k přejímce, mají být postupy řízení kvality SCC dokumentovány a mají se na staveništi dodržovat (viz Odst. 9.7).

Dokud není potvrzena stejnorodost dodávek, doporučuje se provést zkoušku rozlití kužele pro každou dodanou záměs samozhutnitelného betonu. Poté, nejedná-li se o záměs, která je považována za mezní, je za postačující považována vizuální kontrola kompetentním pracovníkem. Protože je výrobce povinen provádět zkoušky na posuzování shody, dodatečné zkoušky na staveništi nejsou potřeba a mají se provádět jen při výjimečných aplikacích.

10.3 Úprava směsi

Obecně je nevhodné provádět úpravy samozhutnitelného betonu na staveništi, zejména proto, že výrobce je pro danou stavbu schopen dodat konkrétní směs s požadovanými vlastnostmi. Nicméně za zvláštních okolností, nebo předpokládají-li se či plánují jisté pokusy za účelem optimalizace směsi kvůli zvláštnímu uspořádání bednění nebo dosažení zvláštní povrchové úpravy, je rozumné ustanovit další dokumentovaný postup pro menší úpravy betonu na staveništi, který se však musí provádět pod odborným dohledem.

Úpravy jsou prováděny a hodnoceny technologem výroby betonu na jeho zodpovědnost. Všechny úpravy jsou zaznamenávány.

- Přidání přísad, např. pro oddálení počátku tuhnutí. Může být provedeno na staveništi před ukládáním betonu, pokud byl účinek přísady plně vyhodnocen a odzkoušen.
- Betony, jejichž rozlití nesplňuje kritéria shody[15] (viz Příloha A, Tabulka A. 5), mohou být upraveny, pokud byl daný postup schválen a pokud je zdokumentován. Jakékoliv přidání složek do autodomíchávače vyžaduje dohodnutou minimální dobu míchání betonu (např. 1 minutu na 1 m^3 s minimem 4 minuty).

10.4 Dohled a odborná způsobilost

Je nezbytně nutné, aby pracovníci, který ukládají samozhutnitelný beton byly vyškoleni a instruováni ohledně zvláštních požadavků na ukládání tohoto typu betonu.

Pracovníci na staveništi mají být seznámeni s ustanoveními v Kapitolách 10 a 11 této směrnice. Zvláštní zřetel má být kladen na:

- vliv vibrování na stabilitu směsi
- rychlost ukládání betonu
- vliv přestávek během ukládání betonu
- postup při přestávce v betonáži
- sledování blokování kameniva, segregace složek a úniku vzduchu
- požadavky na ukládání čerpáním, skluzem, včetně polohy plnícího potrubí
- vyhlazení horního povrchu a ošetřování.

10.5 Tlak na bednění

Tlak na bednění závisí na schopnosti téct a na soudržnosti samozhutnitelného betonu, rychlosti nárůstu výšky betonu v bednění a způsobu ukládání (ze shora nebo od spodu). Návrh bednění včetně podpor a upevňovacího systému má normálně počítat s plným hydrostatickým tlakem betonu na bednění. V případě, kdy je beton pumpován od spodu, může v blízkosti vstupu potrubí tlak lokálně převyšovat hodnotu hydrostatického tlaku, zvláště při znovuzapočetí přerušeného čerpání.

Zkoušky ukázaly, že při přiměřené míře tixotropie, při ukládání SCC shora, může být tlak menší než je tlak hydrostatický. Pokud má být tento předpoklad použit v praxi, tak pouze na základě ověření zkouškami a dohodou mezi zhotovitelem, výrobcem betonu a dodavatelem bednění.

Literatura:

- Andreas Leeman, Cathleen Hoffman. *Pressure of self-compacting concrete on the formwork*. EMPA, Swiss Federal Laboratories of Materials Testing and Research, Switzerland.
- Peter Billberg. *Formwork pressure generated by self-compacting concrete*. Swedish Cement Research Institute, CBI.
- Wolfgang Brameshuber, Stephan Uebachs. *Investigations on the formwork pressure using self-compacting concrete.* Institute of Building Materials Research (ibac) Aachen University.

10.6 Návrh bednění

Absence vibrování umožňuje použít nové typy bednění jako například tvarovače magneticky přichycené k ocelovému bednění. To může být zvláště užitečné při výrobě prefabrikátů ze samozhutnitelného betonu, kdy detailní provedení může zkvalitnit povrch výrobku. Lze vyrobit neobvyklé a složité tvary, což je u vibrovaného betonu nemožné.

---

[15] Pozn. překl.: Zde jsou míněny vlastnosti betonu týkající se samozhutnitelnosti betonu. Všechny ostatní musí odpovídat ČSN EN 206-1.

Vysoká tekutost samozhutnitelného betonu může způsobit plování dutých částí bednění, koncovek nebo tvarovačů, které nejsou dostatečně upevněny. Zvláště je třeba dávat pozor na upevnění a utěsnění bednění k podložce, kde může vztlak způsobit problémy. Může se objevit netěsnost spojů, která zhoršuje jinak vysokou kvalitu povrchu. Samozhutnitelný beton obecně prosakuje méně než beton vibrovaný.

Protože se při použití samozhutnitelného betonu předpokládá plný hydrostatický tlak, je zvláště potřeba všímat si vnějších podpor, spojovacích drátů a jejich vzdáleností, aby se bednění nemohlo deformovat během ukládání.

10.7 Příprava bednění

Samozhutnitelný beton běžně vykazuje velice vysokou kvalitu povrchu s obtiskem bednění. To umožňuje vylepšit povrchové úpravy. Pokud se však nepracuje pečlivě, dá samozhutnitelný beton vyniknout nedostatkům v bednění, vyhlazení povrchu nebo vystoupení nějaké složky na povrch, což poškozuje konečný vzhled. Rovněž posun bednění ve spojích nebo jeho prohýbání pod tlakem betonu je také více nápadné u samozhutnitelného betonu.

Dobrá příprava bednění (viz níže) platí pro všechny typy betonu, ale je nezbytná v případě, kdy má být optimalizováno vyhlazení povrchu samozhutnitelného betonu.

10.7.1 Prostředky pro odbednění

Samozhutnitelný beton vymezuje jasné požadavky na typ a četnost použití odbedňovacího prostředku kvůli schopnosti dosáhnout vysoké kvality povrchu. Většina bednění používaná pro samozhutnitelný beton je vyrobena z oceli nebo překližky opatřené epoxidovým nátěrem. Tyto materiály jsou nenasákavé nebo velmi málo nasákavé. Nadbytečné nanesení odbedňovacího prostředku na bednění může způsobit skvrny, zadržení vzduchových bublin a další vady.

Odbedňovací prostředky na organické, minerální nebo vodní bázi musí být nanášeny jako tenká vrstva, například rozetřením kusem látky. Také je důležité, aby odbedňovací prostředek nebyl zředěn nebo jakkoliv znečištěn.

Samozhutnitelný beton běžně umožňuje odvedení vzduchu z betonu podél bednění. Proto musí být odbedňovací prostředek takového typu, aby vzduchu umožnil řízeně se pohybovat a uniknout z betonu.

Některé odbedňovací prostředky v kombinaci s nepropustným bedněním jsou příliš přilnavé, čímž zabrání odchodu vzduchu. To má za následek přilnutí vzduchových bublin k povrchu bednění a vznik pórů na povrchu betonu. Bez předchozího vyhodnocení se používají odbedňovací prostředky pouze v kombinaci s prostupnými nebo poloprostupnými bedněními, aby se zajistilo solidní vyhlazení povrchu.

Typ bednění určuje jeho přípravu před betonáží, typ odbedňovacího prostředku a způsob, jakým je použito.

10.7.2 Dřevěné bednění bez nátěru

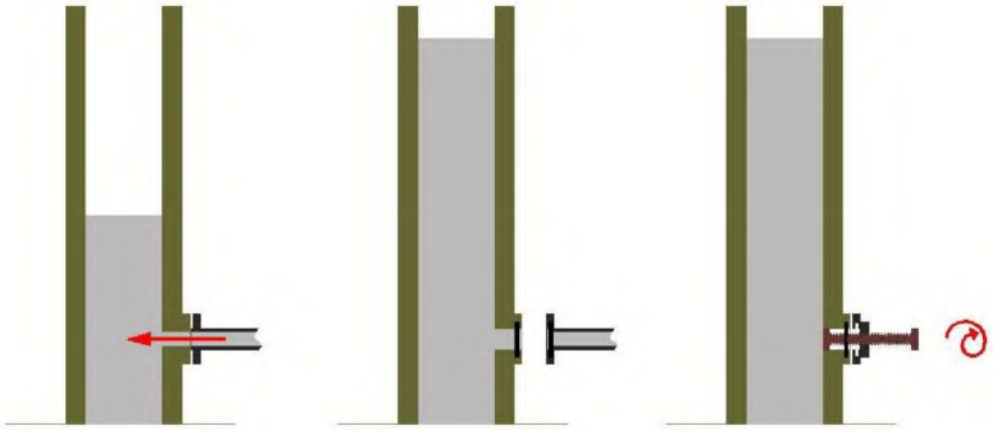
Pokud je požadována dobrá kvalita povrchu, není vhodné použití suchého nebo úplně nového dřeva, které je silně nasákavé a které může způsobit chemickou reakci s povrchem čerstvého betonu, což způsobí skvrny na povrchu nebo zpomalení jeho zrání. Vady vláken a povrchu bednění se projeví na povrchu betonu a jakékoliv vyčnívající vlákno dřeva, může být v betonu zachyceno.

Nové dřevěné bednění musí mít dobře opracovaný povrch, musí být utěsněné a musí být použit vysoce účinný odbedňovací prostředek. Neopracované dřevo musí být vlhké a pokud možno předem potřené cementovým mlékem, které jej utěsní a sníží nebezpečí povrchových skvrn a nebezpečí zpomalení hydratace kvůli obsahu cukrů ve dřevě.

Pokud se pracuje s již několikrát použitým dřevěným bedněním, je potřeba nanést méně odbedňovacího prostředku, aby se zabránilo vzniku skvrn na povrchu betonu.

10.7.3 Dřevěné bednění se syntetickým nebo epoxidovým nátěrem a ocelové bednění

Tyto materiály jsou nenasákavé nebo velmi málo nasákavé. Ekonomické, tenké a zároveň důkladné nanesení kvalitního odbedňovacího prostředku je důležité. V případě extrémně hladkého bednění, které se používá pro vysoké zdi, je třeba použít odbedňovací prostředek se zvýšenou soudržností. Pro optimální vyhlazení povrchu je potřeba konzultací s dodavatelem nátěru a bednění.



Obrázek 5: Po plnění bednění od spodu je přečnívající beton setřen podél vnitřního povrchu bednění pomocí speciální hřídelky nebo je povrch opraven po odbednění.

10.8 Bednění pro čerpání odspodu

Samozhutnitelný beton umožňuje použití nových metod ukládání včetně betonování od spodu.

V tomto případě je pumpa připojena k bednění pomocí zvláštního spojovacího kusu se šoupátkovým ventilem. Návrh bednění musí počítat minimálně s plným hydrostatickým tlakem od betonu.

Pokud je to možné, čerpadlo má ústit uprostřed stěny, čímž se minimalizuje vodorovná vzdálenost roztékání. Vodorovné vzdálenosti vyústění čerpadel závisí na hustotě vyztužení a na možnosti roztékání samozhutnitelného betonu a musí být schváleny dodavatelem betonu.

Svislé vzdálenosti vyústění čerpadel závisí na maximálním tlaku, který bednění snese, a musí být projednány s dodavatelem bednění.

Po dokončení čerpání od spodu je ventil uzavřen a zajištěn. V tuto chvíli musí být u ventilu přečnívající beton setřen podél vnitřního povrchu bednění pomocí speciální hřídelky, viz Obrázek 5. Eventuálně může být přečnívající beton odstraněn a povrch opraven po odstranění bednění.

11. Ukládání betonu do bednění

11.1 Všeobecně

Samozhutnitelný beton byl vyvinut tak, aby měl velmi vysokou tekutost a společně s vnitřní soudržností zajistil rovnoměrné rozložení kameniva a nerozměšoval se. Použití vibrátoru ovlivní tuto vyváženost a obvykle vede k výraznému rozměšování a segregaci složek betonu. Z tohoto důvodu se vibrační zařízení nepoužívá pro hutnění samozhutnitelného betonu s výjimkou zvláštních případů popsaných v Odstavci 11.6. Podobně se může projevovat vliv vnějších zdrojů vibrace jako např. jiného poblíž stojícího zařízení.

Během ukládání je beton pravidelně kontrolován, aby se ověřilo, že hrubé kamenivo zůstává na povrchu nebo velmi blízko povrchu a že se směs nerozměšuje. Beton má vytvořit pravidelně postupující vlnu, která se mírně svažuje, má být patrné obtékání a obalení prutů výztuže, aniž by vznikly vzduchové kapsy. Nemá docházet k nadměrnému uvolňování vzduchových bublin, které by znamenalo, že dochází k uzavírání vzduchu během ukládání. Zkontrolujte, zda-li se na bednění neobjevují známky netěsností.

Po dokončení první části betonáže mohou jak zhotovitel tak i specifikátor a výrobce zkontrolovat kvalitu ztvrdlého betonu. Na povrchu betonu hledají možné výkvěty cementu, nerovnoměrnost v jeho zbarvení a místa, kde byl zachycen vzduch nebo jakékoli další vady, které jsou viditelné.

Samozhutnitelný beton se vyznačuje dobrou kvalitou povrchu. Získání povrchu bez drobných povrchových pórů, skvrn nebo vadného zbarvení však vyžaduje více než jen dobře navržený čerstvý beton. V současné době neexistuje směrnice pro spolehlivé a důsledné získání vynikající kvality (vyhlazení) povrchu samozhutnitelného betonu. Nicméně je zřejmé, že plochy bednění musí být bezvadné a ukládání musí být provedeno v nejvyšší kvalitě. Pracovníci ukládající samozhutnitelný beton, stavbyvedoucí a mistři na staveništi musí mít na zřeteli důležitost každého kroku výstavby při aplikaci SCC.

Je nezbytné, aby zaměstnanci, kteří ukládají samozhutnitelný beton byli vyškoleni a instruováni ohledně konkrétních požadavků pro ukládání tohoto typu betonu.

11.2 Ukládání betonu

Ukládání se provádí až po provedení kontroly vlastností čerstvého betonu (viz Odst. 9.7).

Samozhutnitelný beton může být ukládán přímým vykládáním z autodomíchávače pomocí skluzu, nebo z vozíků („bádií") nebo čerpáním.

11.3 Postup ukládání a rychlost

Před ukládáním samozhutnitelného betonu má být ověřeno, jsou-li výztuž a bednění umístěny podle plánu a není-li v bednění voda a nečistoty.

Rychlost ukládání betonu do bednění musí odpovídat hustotě výztuže, charakteristikám tečení

betonu a možnostem úniku vzduchu z betonu.

Optimální doba, rychlost plnění a vzdálenost volného tečení může pomoci uvolnění nadbytečného vzduchu z betonu. Nicméně délky přesahující zhruba 10 metrů mohou způsobit nebezpečí segregace a tvorby vzduchových pórů.

Rychlé svislé ukládání může zabránit úniku vzduchu na povrch betonu, což má za následek zvýšení počtu vzduchových pórů uvnitř i na povrchu betonu.

Postup ukládání má být nepřetržitý bez přerušení, což pomůže udržovat tečení čerstvého betonu a zmenší nebezpečí vzniku pórů, skvrn na povrchu a nestejné barvy povrchu.

Některé samozhutnitelné betony, zvláště pak betony s nízkou tekutostí (vysoká hodnota času T_{500} nebo času ze zkoušky s V-trychtýřem), mohou vykazovat tendenci k tixotropnímu gelovatění. To znamená zatuhnutí při zastavení a opětovné ztekucení je-li beton vystaven dostatečnému smykovému nebo míchacímu účinku. Tixotropnímu gelovatění lze zabránit mícháním při cestě na staveniště před ukládáním. Ukládání má probíhat bez přerušení a ukládací místa mají být rozmístěna tak, aby umožňovala neustálý pohyb postupující vlny roztékajícího se betonu. Tixotropní gelovatění je výhodné po skončení ukládání, kdy se při zastavení pohybu betonu snižuje riziko průsaku ve spojích a snižuje se tlak na bednění.

Samozhutnitelný beton je soudržnější a obvykle méně trpí na rozměšování než beton běžný. Nicméně volný pád betonu při ukládání může způsobit rozměšování a zvýšit obsah vzduchu v betonu. Proto se má volnému pádu zabránit. Pokud je volný pád betonu nevyhnutelný, jeho výška je omezena zkouškami, které vyhodnotí jeho vliv.

Pokud se betonují rozlehlé vodorovné plochy, kde část celkové plochy musí být dokončena před betonováním následujících ploch, je nutné provést zabednění konců betonované části, přičemž se osvědčují ocelové prvky.

11.4 Čerpání betonu

Čerpání je nejběžnější metodou ukládání samozhutnitelného betonu.

Pokud čerpadlem nebyla nejprve prohnána cementová malta, prožene se jím prvních zhruba 100 až 150 litrů betonu a vrátí se zpět do autodomíchávače. Takto se promaže čerpací potrubí, přičemž zbytkové hrubé kamenivo se smíchá se zbylým objemem samozhutnitelného betonu.

Samozhutnitelný beton je velmi vhodný pro čerpání skrz ventil ve spodní části bednění za podmínky, že je odolný proti rozměšování. Tato metoda poskytuje hladký a čistý povrch betonu a bylo prokázáno, že se hodí pro betonování stěn budov, pro systémová bednění, pro ostění tunelů a sloupy. Používá se rovněž pro dodatečné zesílení stávajících betonových konstrukcí.

Čerpání od spodní části bednění skrz ventil poskytuje obvykle nejlepší kvalitu povrchu pro jakýkoli svislý konstrukční prvek, přičemž se do betonu dostává méně vzduchu a umožňuje rychlejší ukládání než při betonáži shora. Čerpací potrubí musí být stále zcela zaplněno, aby se zamezilo přítomnosti vzduchu ve spodní části konstrukce. Je rovněž zapotřebí pamatovat na nebezpečí spojené se znovuzapočetím čerpání, které může zvýšit tlak na bednění.

Po dokončení čerpání od spodu je ventil uzavřen a zajištěn. Beton přečnívající u ventilu v bednění může být odstraněn po odbednění, ale lepší je použití speciální hřídelky ihned po ukončení betonáže (viz Odst. 10.8).

Pokud se beton ukládá shora a pokud je třeba optimalizovat kvalitu povrchu, ukládá se samozhutnitelný beton hadicí, která je ponořena do betonu. Tím se sníží možnost vniknutí vzduchu do čerstvého betonu. Ukládání se zahájí na nejnižším místě bednění, kde může být hadice pumpy umístění nejblíže k povrchu bednění. Jakmile je vytvořena dostatečná vrstva betonu, hadice se do něj ponoří. Konec hadice se potom drží pod povrchem betonu po celou dobu trvání betonáže a to i v okamžiku, kdy se hadice přesouvá na jiné místo, aby se do ní nedostal vzduch.

Čerpání je řízeno tak, aby umožňovalo stálý a rovnoměrný nárůst výšky betonové vrstvy v bednění s minimem přestávek.

Obrázek 6: Betonování desky ze samozhutnitelného betonu. Komerční centrum, Ferrara, Itálie.

11.5 Ukládání pomocí skluzu nebo vozíku („bádie")

Ačkoliv se doporučuje ukládání samozhutnitelného betonu pomocí čerpání, jsou skluzy a vozíky rovněž úspěšně používány. Při ukládání ze skluzu se jeho konec namíří na nejvzdálenější část oblasti ukládání a při betonáži se posouvá.

Pokud je samozhutnitelný beton ukládán z vozíku („bádie"), je třeba zvážit následující otázky:

- Metoda ukládání z vozíku („bádie") je kvůli malé kapacitě ukládání (typicky 12–20 m^3/hod) vhodná pouze pro relativně malé stavební prvky nebo nízké zdi, ale záleží na velikosti vozíku („bádie") a manévrovatelnosti jeřábu.

- Vozík („bádie") musí být utěsněný, aby zabránil ztrátě malty nebo cementového tmelu během dopravy.
- Vozík („bádie") nemá být vystavován vibracím nebo nadměrnému třesení, aby se zabránilo rozměšování betonu.
- Ponechání betonu po delší dobu ve vozíku může způsobit jeho tixotropní zgelovatění, takže při otevření klapky nevyteče z vozíku („bádie") samovolně a hladce.
- Pomalé dodávky betonu mohou způsobit tvorbu škraloupů na povrchu betonu v bednění nebo jeho tixotropní gelovatění, v důsledku čehož mohou vzniknout viditelné vodorovné spáry mezi vrstvami.

11.6 Vibrování

Vibrování samozhutnitelného betonu se běžně nepoužívá, protože by vedlo k výraznému sedání hrubého kameniva. Pokud není získána požadovaná hutnost, je třeba nejprve zjistit, zda-li beton odpovídá specifikaci. Pokud ano, ale nelze dosáhnout plného zhutnění, je třeba zvážit změnu specifikace.

V některých případech může být nezbytné mírné, pečlivě řízené vibrování:

- U některých konstrukcí může tvar bednění v některých místech zadržovat vzduch. Vzduch pak může být uvolněn místním poklepáním nebo prostým propichováním postižené oblasti.
- Desky, zvláště ty, které se betonují ze samozhutnitelného betonu s nižší třídou rozlití, mohou vyžadovat jemné poklepání nebo velmi mírné vibrování stahovací latí pro získání hladkého povrchu bez vyčnívajících zrn hrubého kameniva.
- Po přestávce v ukládání, kdy se na aktivním povrchu objevila krusta nebo povrch ztuhnul natolik, že se může vytvořit neplánovaná pracovní spára[16].

11.7 Úprava povrchu desky

Desky obecně vyžadují nižší třídu rozlití než betony pro zdi a sloupy. Tato konzistence, která netrpí na krvácení a tixotropní gelovatění, může vyvolávat pocit, že je lepkavá a těžko se vyhlazuje. Konečnou úpravu povrchu je třeba provést co nejdříve poté, co bylo dosaženo jeho správného vyrovnání a dříve než beton začne tixotropně gelovatět a než se objeví vysýchaní povrchu a tvorba krust.

Při vyhlazování povrchu samozhutnitelného betonu se v případě, že se deska nesvažuje, jako účinná ukazuje vibrační stahovací lať. Ruční nástroje se použijí v případě, kdy hrozí segregace kameniva. Ocelová hladítka fungují lépe než hladítka dřevěná nebo hladítka z polyuretanové pěny.

Pokud je sklon desky více než 2 - 3 %, je třeba používat i mírně vibrující zařízení velmi opatrně, protože by mohlo způsobit boční sesunutí, nedodržení sklonu plochy nebo jiné nechtěné pohyby čerstvého samozhutnitelného betonu.

Vyrovnávání povrchu desek se nejlépe provádí pomocí stahování ocelovým příčným hladítkem (viz Obrázek 7). Takto se „probudí" povrch betonu a zajistí se dostatečné zhutnění bez způsobení nechtěné segregace kameniva. Správná konzistence čerstvého betonu a správné provedení betonářských prací poskytne rovný a hladký povrch.

Konečné úpravy jako hlazení pomocí ocelové zednické lžíce nebo hladítka mohou být provedeny stejně jako se provádějí u vibrovaného betonu. Pokud však samozhutnitelný beton vykazuje tixotropní gelovatění, je obtížné určit správný okamžik, kdy začít s těmito pracemi.

[16] Pozn. překl.: Primárně je zapotřebí zajistit plynulost dodávek betonu.

Obrázek 7: Vyrovnávání povrchu samozhutnitelného betonu pomocí hladítka

11.8 Ošetřování

Ošetřování je důležité pro jakýkoliv beton, ale zejména pro horní vrstvu prvků vyrobených ze samozhutnitelného betonu. Ty mohou rychleji vysýchat kvůli většímu množství cementového tmelu, nižšímu vodnímu součiniteli a nepřítomnosti „vykrvácené" vody na povrchu. Počáteční ošetřování musí proto začít co nejdříve po uložení betonu a uhlazení jeho povrchu. Tím se minimalizuje riziko tvorby krusty na povrchu a trhlin od smršťování způsobeného odpařováním vody z velmi mladého betonu.

12. Prefabrikované výrobky

12.1 Všeobecně

Výrobci prefabrikátů dodávají zákazníkům výrobky ze ztvrdlého betonu, které se smontují na staveništích a mohou se kombinovat s betonem monolitickým

12.2 Specifikace samozhutnitelného betonu pro prefabrikaci

U konstrukčních výrobků mají být specifikované požadavky v souladu buď s příslušnou harmonizovanou normou pro výrobky (založené na ČSN EN 13369: Společná ustanovení pro betonové prefabrikáty) nebo přímo podle ČSN EN 13369, která se odkazuje na příslušné části ČSN EN 1992-1 (Eurokód 2) a na ČSN EN 206-1.

Samozhutnitelné vlastnosti čerstvého betonu jsou stanoveny výrobcem a závisí na požadavkách na výrobek a na charakteru výrobního procesu.

Pokud musí být vlastnosti čerstvého samozhutnitelného betonu určeného pro prefabrikaci specifikovány pro konkrétní aplikaci, bude samozhutnitelný beton charakterizován podle Kapitoly 6 tohoto dokumentu a klasifikačního systému uvedeného v Příloze A.

Požadavky na trvanlivost a krytí výztuže jsou stejné jako u běžného betonu a jsou stanoveny

v příslušných normách pro výrobky a/nebo v ČSN EN 13369.

12.3 Návrh směsi samozhutnitelného betonu pro prefabrikaci

Základní specifikace betonu pro prefabrikaci musí vyhovět stupni vlivu prostředí a třídě pevnosti. Pro výrobce budou nejdůležitější požadavky na počáteční pevnost, aby pracovníci mohli výrobek odbednit, předepnout a manipulovat s ním v rámci výrobního cyklu.

Složky jsou vybrány podle Kapitoly 7 a navíc podle dalších požadavků uvedených v příslušných normách pro výrobky a/nebo v ČSN EN 13369.

Návrh směsi musí odpovídat dříve stanoveným požadavkům na ztvrdlý samozhutnitelný beton v kombinaci s nutnými vlastnostmi čerstvého samozhutnitelného betonu, jako jsou tekutost, viskozita a stabilita, které závisí na podmínkách ukládání a úpravy povrchu.

Zkrácený čas pro dopravu a ukládání, obvykle kratší než 30 minut, znamená, že není třeba požadovat schopnost dlouhého uchování konsistence. To znamená, že beton si musí uchovat konzistenci jen po krátkou dobu, může začít rychleji tuhnout a může dojít k rychlejšímu nárůstu pevnosti. Rychlejší nástup procesu tvrdnutí je prospěšný pro vyšší počáteční pevnost, obvykle 14 ± 2 hodiny, s ohledem na výrobní cyklus.

Vysoké počáteční pevnosti samozhutnitelného betonu lze docílit pomocí návrhu směsi čerstvého betonu nebo pomocí tepelného urychlování tvrdnutí, které je často ovládáno a řízeno vybavením pro zkoušení pevnosti v čase.

Výrobny prefabrikátů obvykle vyvíjejí řadu standardních návrhů směsi, které odpovídají obecným požadavkům pro každý typ produktu. Tyto standardní směsi mohou být poté upraveny podle konkrétních požadavků. Návrh směsi samozhutnitelného betonu pro prefabrikované výrobky je obecně založen na postupu popsaném v Kapitole 8.

12.4 Formy

Typ formy, ať už ocelové pro opakované použití nebo natřené překližkové pro omezený počet použití, se podstatně neliší od forem používaných pro většinu prefabrikovaných výrobků vyrobených z tradičního vibrovaného betonu.

Absence vibrování připouští užití nových bednění s matricemi pro tvarování povrchu, které se magneticky upevňují ke kovovému bednění. Toto bednění je zvláště vhodné při výrobě prefabrikátů ze samozhutnitelného betonu, kdy lze vyrobit výrobek se složitým jemným reliéfem na povrchu. Je možné vyrobit neobvyklé a složité tvary, které jsou s tradičně vibrovaným betonem neproveditelné.

Ačkoliv je opotřebení formy díky absenci vibrování menší, její tuhost a pevnost musí odolávat tlaku betonu během ukládání, přičemž se předpokládá plný hydrostatický tlak. (viz Odst. 10.5).

Další informace ohledně návrhu formy, přípravy jejího povrchu a výběru a aplikaci odbedňovacího prostředku lze nalézt v Odst. 10.6 a 10.7.

12.5 Výroba ve výrobně prefabrikátů

Všeobecné zásady pro výrobu prefabrikovaného betonu se shodují se zásadami v Kapitole 9. Výrobce prefabrikátů musí mít na paměti také následující požadavky:

U všech záměsí betonu musí být pohledem zkontrolována jejich stejnorodost a konzistence dříve než budou uloženy do formy. Rovněž se provádí zkouška rozlití z každé záměsi. V případě pochybností lze provést další příslušné zkoušky, aby se získaly dodatečné informace ohledně vlastností čerstvého samozhutnitelného betonu.

Doporučuje se (a v některých státech EU je to podmínkou), aby výrobce zavedl systém řízení výroby podle požadavků příslušných norem pro výrobky nebo podle ČSN EN 13369, Příloha D. Systém řízení výroby zahrnuje:

- kontrolu vybavení
- kontrolu vstupních materiálů
- dozor nad výrobou
- kontrolu hotového výrobku
- pravidla pro přepravu

Pokud je požadováno dočasné skladování čerstvého betonu kvůli výkonu míchačky a/nebo kvůli poptávce výroby, lze použít jímku s instalovaným promícháváním, která umožní přetržité ukládání samozhutnitelného betonu pro každý výrobek zvlášť.

Obrázek 8: Užití šnekové jímky pro aktivaci samozhutnitelného betonu těsně před ukládáním.

12.6 Ukládání

V případě SCC je velmi důležité, stejně tak jako v případě SCC ukládaného na staveništi, aby všichni pracovníci, kteří se budou na jeho ukládání podílet, byli dostatečně vyškoleni před vlastním zahájením prací, protože jsou používány odlišné postupy.

Použijí se doporučení v Kapitole 11, zvláště Odst. 11.1, 11.2, 11.3 a 11.6. Je nezbytné plnit formu takovou rychlostí, při které stačí vzduch unikat z betonu. Tím se zajistí beton bez vzduchových pórů. Průběh ukládání musí probíhat nepřetržité, protože dočasné přestávky mohou způsobit vznik neplánovaných pracovních spár mezi vrstvami, které ovlivní pevnost, trvanlivost a vzhled výrobku. Pokud přece jen dojde k přestávce v ukládání betonu, je třeba zvýšit energii čerstvého betonu při jeho ukládání, např. uložením z větší výšky, čímž se oživí povrch předchozí vrstvy a zabrání se vzniku spáry.

Některé ukládací jednotky mají zmenšené výstupní otvory, jimiž se zvýší kinetická energie betonu, který vytéká ven.

12.7 Povrchová úprava, ošetřování a odbednění

Pokud není samozhutnitelný beton sám schopen vytvořit vodorovný povrch, lze povrch lehce pohrabat nebo vyhladit do vodorovna. Mechanická vibrace se použije pouze po pečlivých zkouškách, které ověří rozměšování v místě ukládání betonu (viz Odst. 11.6).

Konečná technika vyhlazování povrchu je obdobná jako u vibrovaného betonu, obecně se však začíná později, což záleží na složení, vlastnostech, na okolní teplotě a teplotě betonu.

Nechráněný povrch prefabrikovaného výrobku vyrobeného ze samozhutnitelného betonu se ošetřuje stejně jako běžný vibrovaný beton (viz Odst. 11.8).

Užití tepla pro urychlení nárůstu pevnosti vybetonovaného prvku je účinné u samozhutnitelného betonu stejně jako u betonu běžného. Zkouška zralosti se používá pro ovládání a řízení vývoje pevnosti.

Pokud se použije tepelného ošetřování za účelem urychlení tvrdnutí samozhutnitelného betonu, jeho charakteristiky (tepelného ošetřování) musí odpovídat požadavkům ČSN EN 13369, Odst. 4.2.1.4.

13. Vzhled a úprava povrchu

13.1 Všeobecně

Samozhutnitelný beton je charakterizován vysokou kvalitou povrchu. Je však třeba dbát na návrh směsi a na jeho zpracovaní na staveništi.

Vzhled prvku vybetonovaného samozhutnitelným betonem záleží hlavně na:

- typu cementu a použitých příměsí
- složení směsi samozhutnitelného betonu
- kvalitě formy a odbedňovacího prostředku
- postupu ukládání.

Vzhled je obvykle lepší než u běžného betonu:

- barva je více stejnoměrná
- je jednodušší zabránit vadám vzniklých průsaky v místech spojů formy a okolo výstupů předpínacích lan a drátů
- hrany mohou být ostré, pokud je forma dobře navržena a udržována
- povrchové póry se vyskytují vždy, může být však omezen jejich počet a velikost
- důkladným naplněním formy může být omezen počet a velikost vzduchových pórů pod vodorovnými částmi formy.

Samozhutnitelný beton obvykle vykazuje vyšší kvalitu povrchu v porovnání s tradičním betonem. Následující vady lze nalézt u všech typů betonu:

- povrchové dutiny
- kavitační účinek
- svislé pruhy a jiné změny barvy
- trhliny způsobené plastickým smršťováním a smršťováním od vysychání.

Seznam možných příčin vad a poruch a postupy k jejich eliminaci lze nalézt v Příloze C.

Další informace ohledně některých vad jsou uvedeny v následujících odstavcích.

13.2 Povrchové dutiny

Vzduch se do betonu dostává během míchání, ale také během dopravy a ukládání. Množství vzduchu, které je buď stabilizováno v samozhutnitelném betonu nebo z betonu odejde během ukládání, závisí na soudržnosti směsi. Vysoká hodnota rozlití SF3 a malá plastická viskozita VS/VF1 pomáhá dosáhnout dokonalého povrchu, protože usnadňuje odchod vzduchu z betonu.

U směsí, které jsou velmi blízko rozmísení, bude dosaženo nejlepšího povrchu.

Povrchové dutiny vznikají, je-li malé množství vzduchu zachyceno nebo přilne-li k povrchu bednění. Kromě výše uvedených faktorů mohou být povrchové dutiny způsobeny kvalitou povrchu bednění a jeho typem anebo kvalitou použitého odbedňovacího prostředku. Pomoc je třeba hledat ve spolupráci s dodavatelem odbedňovacího prostředku a s výrobcem betonu.

Vzduch se z betonu uvolní snadněji, pokud je omezena rychlost ukládání betonu do bednění a pokud se beton může ve formě pohybovat několik metrů do stran.

Plnění bednění ode dna zlepšuje hladkost povrchu. Pokud není možné jej použít, a betonuje se shora, je třeba udržovat hadici pod povrchem betonu do celou dobu ukládání. Volně padající beton má vyšší počet větších pórů uvnitř betonu i na jeho povrchu.

13.3 Kavitační účinek

Kavitační účinek může vzniknout netěsností bednění, ale většinou je způsoben malou prostupností betonu, což má za následek zaklínění a blokaci zrn kameniva a tvorbu dutin za výztuží.

Samozhutnitelný beton s malou prostupností má obvykle tyto příčiny:

- příliš nízkou třídu rozlití
- příliš velkou viskozitu
- příliš velké maximální zrno kameniva
- nedostatečné množství cementového tmelu nebo příliš mnoho hrubého kameniva.

Pokud se dostaví kavitační účinek, který není způsoben netěsností bednění, je třeba zkontrolovat odpovídá-li beton specifikaci. V případě, že je ověřena shoda betonu se specifikací, je nutno zvážit revizi specifikace.

13.4 Barevná stejnorodost a povrchové nerovnosti

Svislé pruhy na povrchu samozhutnitelného betonu se objevují jen zřídka a obvykle jsou způsobeny krvácením betonu. Voda z krvácení má snahu shromažďovat se u svislého povrchu formy a postupovat vzhůru, přičemž na povrchu ztvrdlého betonu zanechává viditelné pruhy způsobené vymytím odbedňovacího prostředku z formy.

Některé příčiny krvácení betonu:

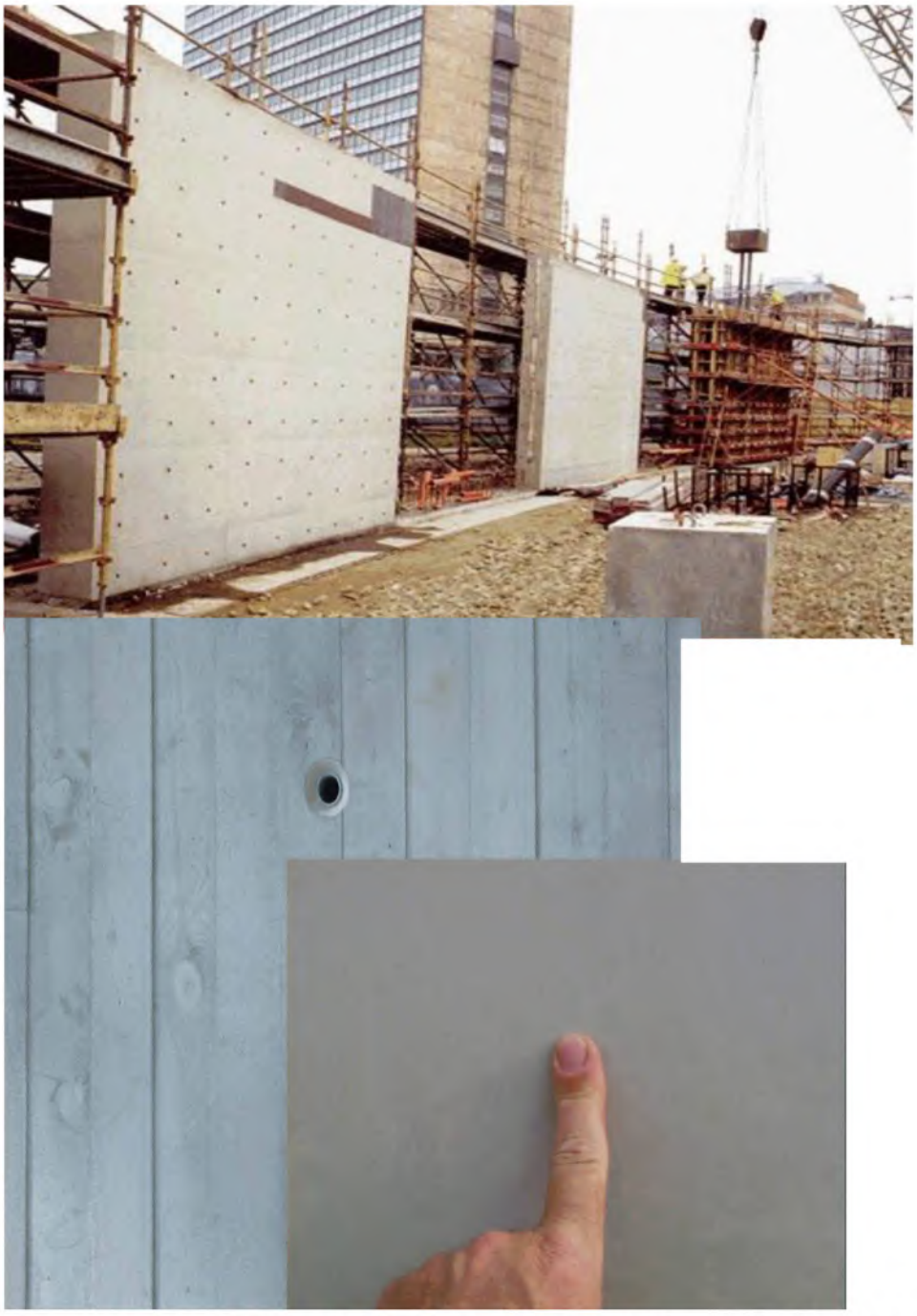
- vysoká hodnota poměru vody k jemných podílům
- příliš malá viskozita
- nízká teplota
- zpožděný počátek tuhnutí

Další příčiny barevných odlišností:

- nestejnoměrné vysychání povrchu (způsobené například použitím nové nebo suché dřevěné formy nebo umělá fólie, která se dotýká části betonu během jeho ošetřování)
- nadměrné množství nebo špatná volba odbedňovacího prostředku
- různé zdroje složek betonu mezi jednotlivými záměsemi.

13.5 Minimalizace povrchových trhlin

Samozhutnitelný beton je navrhován tak, aby byl stabilní a odolný proti rozměšování, ale stejně jako u vibrovaného betonu se u něj mohou nad výztuží objevit trhliny od plastického sedání, pokud dojde k usazování kameniva. Některé návrhy směsi samozhutnitelného betonu, a zejména ty, u kterých je požadována velmi vysoká kvalita povrchu, se mohou blížit k bodu, kdy již dochází k segregaci kameniva, takže si mohou vyžádat mimořádnou péči. Užití přísad upravujících viskozitu společně s vhodným obsahem jemných podílů může vést k získání robustnějšího betonu a snížení rizika plastického sedání a trhlin.



Obrázek 9: Vyhlazení povrchu SCC na staveništi. Londýn Piccadilly, Lincoln and Loughborough, Velká Británie

Protože samozhutnitelný beton krvácí málo nebo vůbec, může docházet ke ztrátě vody na jeho povrchu. To, v případě pozdního počátku ošetřování betonu, vede ke vzniku trhlin od plastického smršťování.

Příloha A: Požadavky na samozhutnitelný beton

A.0 Úvod

Samozhutnitelný beton je považován za zdokonalenou verzi normálního betonu o vysoké konzistenci.

Specifikace je provedena jako beton předepsaného složení. Pro vlastnosti a požadavky jiné než týkající se samozhutnitelnosti, je odkazováno na ČSN EN 206-1 nebo v případě betonových prefabrikátů je možné použít ČSN EN 13369.

A.1 Rozsah

Tato příloha obsahuje požadavky a kritéria shody pro samozhutnitelný beton.

A.2 Citované normy

Do této přílohy jsou včleněny odkazy na ustanovení uvedená v jiných publikacích. Tyto normové citace jsou uvedeny na příslušných místech v textu a v seznamu publikací na konci textu.

ČSN EN 206-1 Beton - Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda
ČSN EN 13369 Společná ustanovení pro betonové prefabrikáty

Příloha B1, Zkoušení čerstvého betonu – Zkouška rozlití kužele (Slump-flow test)
Příloha B2, Zkoušení čerstvého betonu – Zkouška V-trychtýřem (V-Funnel test)
Příloha B3, Zkoušení čerstvého betonu – Zkouška L-boxem (L-Box test)
Příloha B4, Zkoušení čerstvého betonu – Zkouška odolnosti proti rozměšování (Segregation resistence test)

POZNÁMKA: Tyto zkušební metody jsou doporučovány k implementaci do evropských norem.

A.3 Definice, symboly a zkratky

Pro účely této přílohy platí termíny a definice uvedené v ČSN EN 206-1 a dále:

A.3.1 Definice

A.3.1.1 Garantovaný beton (Proprietary concrete)[17]

Beton, u kterého výrobce zajišťuje dobré ukládání, hutnění a ošetřování, a pro který nemusí výrobce uvádět jeho složení.

A.3.1.2 Samozhutnitelný beton (Self-compacting concrete, SCC)

Beton, který je schopen téci a zhutnit se působením vlastní tíhy, dokonale vypnit bednění i v místech hustého vyztužení, aniž by ztratil svou homogenitu a aniž by byl dodatečně hutněn.

A.3.1.3 Schopnost vyplňování (Filling ability)

Schopnost čerstvého betonu vtéci a vyplnit veškerý prostor v bednění, a to pouze působením vlastní tíhy.

---

[17] Pozn. překl.:Tento termín není v ČR běžně používán a v současnosti mu neodpovídá žádný proces v praxi. Nejblíže je termín „beton předepsaného složení".

A.3.1.4 Viskozita (Viscosity)

Vlastnost popisující tečení materiálu (např. SCC). Viskozita vzniká z vnitřního tření a závisí především na přitažlivých silách mezi částicemi. Větší viskozita znamená větší brždění pohybu kapaliny nebo těles v kapalině.
POZNÁMKA.: V případě samozhutnitelného betonu může být viskozita vztažena k rychosti tečení T_{500} při zkoušce rozlití kužele, nebo době výtoku při použití V-trychtýře.

A.3.1.5 Prostupnost (Passing ability)

Schopnost čerstvého betonu protéci těsnými otvory (jako např. mezerami mezi výztuží) aniž by se rozmísil nebo zablokoval otvory.

A.3.1.6 Odolnost proti rozměšování (Segregation resistance)

Schopnost betonu udržet si svou homogenitu, je-li v čerstvém pohyblivém stavu.

A.3.2 Symboly a zkratky

Pro účely této přílohy platí symboly a zkratky uvedené v ČSN EN 206-1 a dále:

SCC	Samozhutnitelný beton
SF1 až SF3	Třída konzistence vyjádřená rozlitím kužele
VS1 až VS2	Třída viskozity vyjádřená časem T_{500}
VF1 až VF2	Třída viskozity ze zkoušky V-trychtýřem (V-Funnel test)
PA1 až PA2	Třída prostupnosti ze zkoušky L-boxem (L-Box test)
SR1 až SR2	Třída segregace ze zkoušky odolnosti proti segregaci přes síta.

A.4 Klasifikace

A.4.1 Všeobecně

Platí klasifikace podle ČSN EN 206-1, Kapitola 4.

A.4.2 Klasifikace použitá pro specifikaci samozhutnitelného betonu

Pro klasifikaci vlastností samozhutnitelného betonu platí Tabulka A. 1 až Tabulka A. 4.

POZNÁMKA: Běžně se specifikuje pouze třída rozlití kužele. V některých případech je také nutné specifikovat třídu:

- prostupnosti ze zkoušky L-boxem
- segregace získané ze zkoušky odolnosti proti segregaci přes síta nebo
- čas T_{500}
- třídu ze zkoušky V-trychtýřem

Tabulka A. 1 - Třídy rozlití kužele

Třída	Rozlití [mm]
SF1	550 až650
SF2	660 až 750
SF3	760 až 850

Tabulka A. 2 - Třídy prostupnosti (L-box)

Třída	Prostupnost
PA1	≥ 0,80 přes 2 výztužné pruty
PA2	≥ 0,80 přes 3 výztužné pruty

Tabulka A. 3 - Třídy viskozity

Třída	T_{500} [s]	čas ze zkoušky V-trychtýřem [s]
VS1/ VF1	≤ 2	≤ 8
VS2/ VF2	> 2	9 až 25

Tabulka A. 4 - Třídy odolnosti proti segregaci (zkouška segregace přes síta)

Třída	Odolnost proti rozměšování [%]
SR1	≤ 20
SR2	≤ 15

POZNÁMKA: Pro specifikaci se upřednostňuje použití výše uvedené klasifikace, nicméně ve zvláštních případech lze předepsat jiné hodnoty.

A.5 Požadavky na beton a metody ověřování

A.5.1 Základní požadavky na složky betonu

Platí ČSN EN 206-1, Odst. 5.1 nebo v případě prefabrikátů platí příslušné normy pro výrobky anebo ČSN EN 13369, Odst. 4.1.

A.5.2 Základní požadavky na složení betonu

Platí ČSN EN 206-1, Odst. 5.2 nebo v případě prefabrikátů platí příslušné normy pro výrobky anebo ČSN EN 13369, Odst. 4.2.1.

A.5.3 Požadavky ve vztahu ke stupňům vlivu prostředí

Beton musí splnit požadavky ustanovení platných v místě použití pro daný stupeň nebo stupně vlivu prostředí anebo specifikovaných mezních hodnot nebo specifikované normy pro prefabrikované výrobky.

A.5.4 Požadavky na čerstvý beton

Pro stanovení vlastností čerstvého samozhutnitelného betonu se použijí následující zkoušky:

- Rozlití kužele a zkouška T_{500} vyhovující Příloze B1
- Zkouška V-trychtýřem (V-funnel test) vyhovující Příloze B2
- Zkouška L-boxem (L-box test) vyhovující Příloze B3
- Zkouška odolnosti proti rozměšování vyhovující Příloze B4

Při specifikaci přímo nebo nepřímo pomocí stupně vlivu prostředí musí beton vyhovět příslušným požadavkům v ČSN EN 206-1, Odst. 5.4.2 až 5.4.4. nebo příslušné normě pro výrobky anebo ČSN EN 13369, Odst. 4.2.2.

A.5.5 Požadavky na ztvrdlý beton

Platí ČSN EN 206-1, Odst. 5.5 nebo v případech, kdy jsou zkoušky prováděny na prefabrikovaných výrobcích, platí ČSN EN 13369 nebo jiné příslušné normy pro výrobky.

A.6 Dodávání čerstvého betonu

A.6.1 Informace od odběratele betonu pro výrobce betonu

Platí ČSN EN 206-1, Odst. 7.1.

A.6.2 Informace od výrobce betonu pro odběratele betonu

Na požádání výrobce poskytne následující informace:

a) výsledky příslušných provedených zkoušek betonu;
b) vývoj pevnosti.

A.6.3 Dodací list pro transportbeton

Na dodacím listu budou uvedeny informace dle ČSN EN 206-1, Odst. 7.3 plus následující:

- třída pevnosti;
- stupeň vlivu prostředí;
- maximální obsahu chloridů v betonu;
- třídy nebo určené hodnoty specifikované pro vlastnosti týkající se samozhutnitelnosti;
- mezní hodnoty složení betonu, pokud jsou specifikovány;

- maximální jmenovitá horní mez frakce kameniva;
- jakékoli další specifikované vlastnosti.

A.7 Prokazování shody a kritéria shody[18]

POZNÁMKA: V případě transportbetonu se provádí kontrola shody ověřením údajů na dodacím listu.

V případě betonu pro prefabrikaci a betonu vyrobeného na staveništi, kdy zpracovatel i výrobce jsou součástí jedné společnosti, jsou zkoušky a ověřování (rozsah, počet, kritéria) stejné jako při prokazování shody v systému řízení výroby. Případ nesplnění kritérií nevede k prohlášení neshody, ale k internímu šetření, které zjistí, znamená-li daná odchylka neshodu s požadavky na ztvrdlý beton.

Rozsah zkoušek konzistence rozlitím kužele je dán ČSN EN 206-1, v případě prefabrikovaných výrobků ČSN EN 13369 nebo příslušnou normou pro výrobky. Zkouška T_{500}, čas ze zkoušky V-trychtýřem, zkouška L-boxem a zkouška odolnosti proti segregaci přes síta jsou prováděny pouze, pokud je to určeno specifikací.

Shoda některých vlastností samozhutnitelného betonu je prokázána, pokud specifikovaná kritéria splňují hodnoty, které uvádí Tabulka A. 5.

Pro další specifikované vlastnosti a požadavky platí rozsah zkoušek a kritéria shody uvedená v ČSN EN 206-1 nebo v případě prefabrikovaných výrobků příslušné normy pro výrobky nebo

[18] Pozn. překl.: Zde je míněno prokazování shody u vlastností, které se týkají samozhutnitelnosti. Na ostatní se vztahuje ČSN EN 206-1 a Nařízení Vlády 312/2005 Sb.

ČSN EN 13369.

A.8 Řízení výroby[19]

Pro specifikaci vlastností samozhutnitelného betonu platí principy kontroly výroby čerstvého betonu uvedené v ČSN EN 206-1, Kapitola 9. V případě prefabrikovaných výrobků platí pro další aspekty výroby ČSN EN 13369, Odst. 6.3 anebo příslušné normy pro výrobky.

Tabulka A. 5 - Kritéria shody pro samozhutnitelný beton

Vlastnost	**Kritéria**
Třída rozlití kužele (Slump-fluw) SF1	≥ 520mm, ≤ 700mm
Třída rozlití kužele (Slump-fluw) SF2	≥ 640mm, ≤ 800mm
Třída rozlití kužele (Slump-fluw) SF3	≥ 740mm, ≤ 900mm
Třída rozlití specifikovaná určenou hodnotou	± 80mm od určené hodnoty
Třída ze zkoušky V-třychtýřem (V-Funnel test) VF1	≤ 10 s
Třída ze zkoušky V-třychtýřem (V-Funnel test) VF2	≥ 7s, ≤ 27s
Třída ze zkoušky V-třychtýřem specifikovaná určenou hodnotou	± 3 s
Třída ze zkoušky L-boxem PA1	≥ 0,75
Třída ze zkoušky L- boxem PA2	≥ 0,75
Třída ze zkoušky L- boxem specifikovaná určenou hodnotou	Ne více než 0,05 pod určenou hodnotou
Třída ze zkoušky odolnosti proti segregaci přes síta SR1	≤ 23
Třída ze zkoušky odolnosti proti segregaci přes síta SR2	≤ 18

[19] Pozn. překl.: V ČR Nařízení Vlády č. 312/2005 Sb. výrobci betonu pevností C12/15 a vyšších ukládá mít zaveden certifikovaný systém řízení výroby.

Příloha B: Zkušební metody

Příloha B1: Zkoušení čerstvého betonu - Rozlití kužele a čas T500 pro samozhutnitelný beton

B1.0 Úvod

Zkouška rozlití a čas T_{500} slouží k vyhodnocení schopnosti téct a rychlosti tečení samozhutnitelného betonu bez přítomnosti překážek. Tato zkouška je založena na zkoušce sednutí kužele, která je popsána v ČSN EN 12350-2. Výsledek rovněž vypovídá o schopnosti vyplňování samozhutnitelného betonu. Čas T_{500} je také mírou rychlosti tečení a tudíž viskozity samozhutnitelného betonu.

B1.1 Rozsah

Tento dokument specifikuje postup pro stanovení rozlití kužele a času T_{500} samozhutnitelného betonu. Tato zkouška není vhodná pro směsi, které obsahují zrna kameniva větší než 22 mm[20].

B1.2 Citované normy

Do této přílohy jsou včleněny odkazy na ustanovení uvedená v jiných publikacích. Tyto citace jsou uvedeny na příslušných místech v textu a v seznamu publikací na konci textu.

ČSN EN 12350-1	Zkoušení čerstvého betonu - Část 1: Odběr vzorků
ČSN EN 12350-2	Zkoušení čerstvého betonu - Část 2: Zkouška sednutím
ČSN ISO 5725	Přesnost (správnost a shodnost) metod a výsledků měření

B1.3 Princip

Čerstvý beton se vlije do kuželu, který se podle ČSN EN 12350-2 používá pro zkoušku sednutí. Kužel se zvedne a měří se čas od chvíle, kdy se kužel začal zvedat až do chvíle, kdy se čerstvý beton rozteče do průměru 500 mm. To je čas T_{500}. Po ukončení pohybu betonu je změřen největší průměr rozlití a průměr na něj kolmý. Jejich zprůměrováním získáme hodnotu rozlití kužele.

POZNÁMKA: Měření času T_{500} není třeba provádětnení-li požadováno.

B1.4 Vybavení

Zařízení musí odpovídat ČSN EN 12350-2 s následujícími výjimkami:

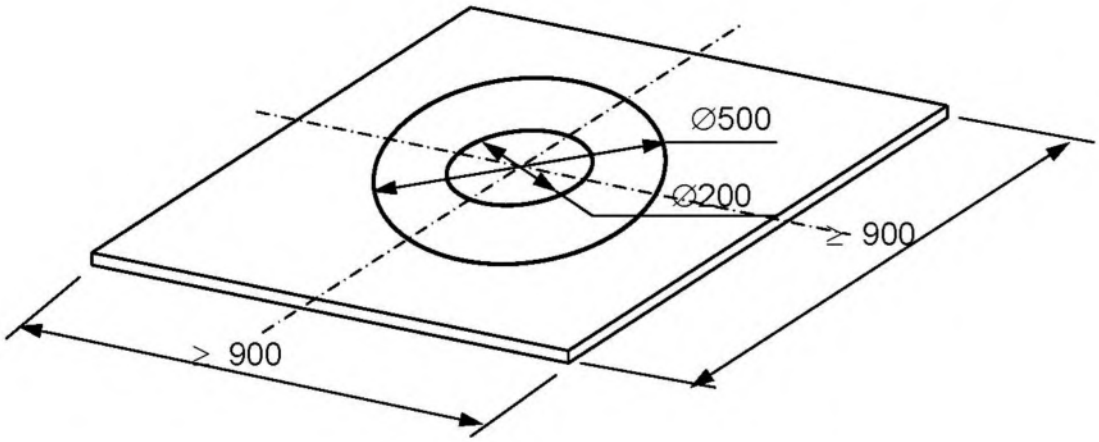
B1.4.1 Podkladní deska

Podkladní deska, vyrobená z ploché desky o velikosti alespoň 900 x 900 mm, na kterou se umístí beton. Povrch desky má být plochý, hladký a nenasákavý. Minimální tloušťka 2 mm. Povrch desky musí odolávat vlivu cementového tmelu a musí být nerezavějící. Konstrukce desky musí zabránit jejímu deformování. Odchylka od roviny nesmí být v žádném místě větší než 3 mm položí-li se pravítko na střed protějších stran.

Ve středu desky má být vyznačen kříž, jehož čáry jsou rovnoběžné se stranami desky. Dále dvě vyznačené kružnice o průměru 200 a 500 mm. Jejich střed má být totožný se středem desky, viz Obrázek 10.

---

[20] V anglickém originále je uvedena hodnota 40 mm. V ČR se pro čerpaný beton z praktických důvodů nepoužívá kamenivo se zrny většími než 22mm.



Obrázek 10: Podkladní deska dle odstavce B1.4.1

B1.4.2 Pravítko

Pravítko, se stupnicí od 0 mm do 1000 mm se značením po 1 mm.

B1.4.3 Stopky

Stopky s měřením po 0,1 s.

B1.4.4 Zatěžovací objímka (nepovinná)

Zatěžovací objímka (nepovinná), o hmotnosti alespoň 9 kg.
POZNÁMKA: při použití zatěžovací objímky může zkoušku provádět jedna osoba.

B1.5 Zkušební vzorek

Vzorek má být získán podle ČSN EN 12350-1.

B1.6 Zkušební postup

Připraví se kužel a podkladní deska podle ČSN EN 12350-2. Zatěžovací objímka se přiloží na kužel (pokud bude použita). Kužel se postaví na pokladní desku přesně na kruh o průměru 200 mm. Na desce jej přidrží spolupracovník, který se postaví na stupačky nebo se použije zatěžovací objímka. Tím se zabrání úniku betonu zespodu kuželu.

Kužel se vyplní betonem bez použití míchání nebo propichování. Z vrcholu kužele se odstraní přečnívající beton. Kužel nemá stát naplněný déle než 30 sekund. Během této doby se odstraní rozlitý beton z podkladní desky a zajistí navlhčení podkladní desky tak, aby na ní nezůstala přebytečná voda.

Kužel se jedním plynulým pohybem zvedne svisle vzhůru tak, aby nebránil rozlévání betonu. Jakmile se kužel odlepí od podkladní desky, spustí se stopky (pokud byl požadován čas T_{500}). Měří se čas - na nejbližší desetinu vteřiny (0,1 s) - až do chvíle, kdy beton dosáhne v nějakém místě kruhu o průměru 500 mm. Bez kontaktu s betonem či podkladní deskou se s přesností na 1 cm změří největší průměr rozlití a jako hodnota d_m se zaznamená. Poté následuje měření průměru rozlití ve směru kolmém a zaznamená se jako d_r , rovněž s přesností na 1 cm.

Zkontroluje se, nedošlo-li k segregaci betonu: Cementový tmel nebo malta se může oddělit od hrubého kameniva a vytvořit několikamilimetrový prstenec okolo hrubého kameniva na obvodu rozlití. Rovněž je možné pozorovat oddělené hrubé kamenivo ve střední oblasti rozlití. V takovém případě se oznámí, že došlo k segregaci a že výsledek zkoušky je nevyhovující.

B1.7 Výsledek zkoušky

Rozlití je průměr hodnot d_m a d_r zaokrouhlený na nejbližších 10 mm.

Čas T_{500} se zapisuje na nejbližších 0,1 s.

B1.8 Závěrečná zpráva

Závěrečná zpráva musí obsahovat:

a) označení zkušebního vzorku;
b) místo, kde byla zkouška provedena;
c) datum, kdy byla zkouška provedena;
d) rozlití změřené na nejbližších 10 mm;
e) záznam o jakémkoliv náznaku segregace betonu;
f) dobu mezi ukončením míchání a provedením zkoušky;
g) jakoukoliv odchylku od postupu uvedeného v tomto dokumentu.

Závěrečná zpráva může též obsahovat:

h) čas T_{500} zaokrouhlený na nejbližších 0,1 s;
i) teplotu betonu v okamžiku zkoušky;
j) čas, kdy byla zkouška provedena.

Příloha B.1.1 (informativní)

B1.9 Přesnost

Opakovatelnost *r* a reprodukovatelnost *R* byla stanovena na základě programu, kterého se zúčastnilo 8 laboratoří, 16 pracovníků a byl proveden v souladu s ISO 5725:1994.

Výsledné hodnoty *r* a *R* ukazuje Tabulka B. 1.

Tabulka B. 1 - Přesnost výsledků

Rozlití mm	**< 600**	**600 750**	**> 750**
Opakovatelnost *r* [mm]	n/a	42	22
Reprodukovatelnost *R* [mm]	n/a	43	28
Čas T_{500} [s]	**< 3,5**	**3,5 – 6,0**	**> 6,0**
Opakovatelnost *r* [s]	0,66	1,18	n/a
Reprodukovatelnost *R* [s]	0,88	1,18	n/a

Příloha B: Zkušební metody

Příloha B2: Zkoušení čerstvého betonu: Zkouška V-trychtýřem (V-funnel test)

B2.0 Úvod

Zkouška V-trychtýřem (V-funnel test) se používá pro zjištění viskozity a schopnosti vyplňování samozhutnitelného betonu.

B2.1 Rozsah

Tento dokument popisuje postup pro stanovení času tečení samozhutnitelného betonu z V-trychtýře. Tato zkouška není vhodná pro betony obsahující kamenivo o zrnech větších než 22 mm.

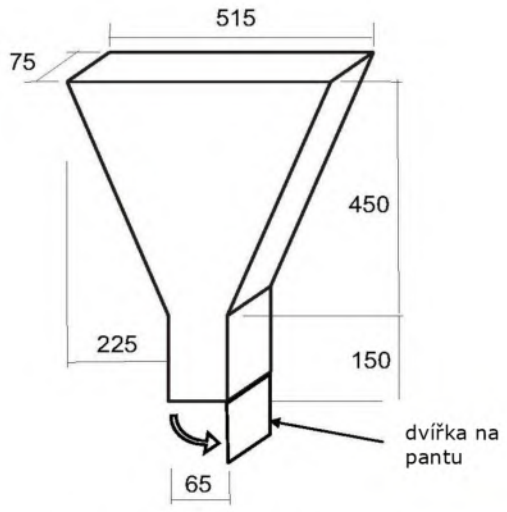
B2.2 Citované normy

Do této přílohy jsou včleněny odkazy na ustanovení uvedená v jiných publikacích. Tyto normové citace jsou uvedeny na příslušných místech v textu a v seznamu publikací na konci textu.

ČSN EN 12350-1	Zkoušení čerstvého betonu - Část 1: Odběr vzorků
ČSN ISO 5725	Přesnost (správnost a shodnost) metod a výsledků měření

B2.3 Princip

Trychtýř tvaru V je naplněn čerstvým betonem. Měří se doba, během které beton vyteče z trychtýře. Tato se označuje jako doba výtoku z V-trychtýře.



Obrázek 11: V-trychtýř

B2.4 Vybavení

B2.4.1 V-trychtýř (V-funnel)

V-trychtýř (Obrázek 11), vyrobený s přesností ± 1 mm, je na své spodní straně vybaven rychle otevíratelnými utěsněnými dvířky a je uložen tak, že jeho vršek je vodorovný. V-trychtýř musí být vyroben z kovu, jeho povrch hladký a nesmí rychle podléhat působení cementového tmelu a musí být nerezavějící.

B2.4.2 Nádoba

Nádoba, do které se vejde zkušební vzorek betonu a jejíž objem je větší než objem trychtýře, avšak minimálně 12 l.

B2.4.3 Stopky

Stopky s měřením po 0,1 s.

B2.4.4 Pravítko

Pravítko nebo lať pro zarovnání betonu na vrcholu trychtýře.

B2.5 Zkušební vzorek

Vzorek o objemu alespoň 12 l se získá podle ČSN EN 12350-1.

B2.6 Zkušební postup

Trychtýř se včetně spodních dvířek očistí. Celý vnitřní povrch včetně dvířek se navlhčí. Dvířka se zavřou a do trychtýře se bez použití míchaní nebo propichování nalije vzorek betonu. Přebytečný beton se odstraní z vrchu trychtýře tak, aby vzorek „zařezával" s vrcholem trychtýře. Pod trychtýř se umístí dostatečně velká nádoba k zachycení betonu. Po prodlevě 10 ± 2 s od naplnění trychtýře se dvířka otevřou a změří se čas t_v s přesností na 0,1 s. t_v je čas od otevření dvířek až do okamžiku, kdy je možné svisle skrz trychtýř vidět nádobu pod trychtýřem. t_v je doba výtoku z V-trychtýře.

B2.7 Závěrečná zpráva

Závěrečná zpráva musí obsahovat:

a) označení zkušebního vzorku;
b) místo, kde byla zkouška provedena;
c) datum, kdy byla zkouška provedena;
d) dobu výtoku z V-trychtýře (t_v) zaokrouhlenou na nejbližší 0,1 s;
e) dobu mezi ukončením míchání a provedením zkoušky;
f) jakoukoliv odchylku od postupu uvedeného v tomto dokumentu.

Závěrečná zpráva může též obsahovat:

g) teplotu betonu v okamžiku zkoušky;
h) čas, kdy byla provedena zkouška.

Příloha B2.1 (informativní)

B2.8 Přesnost

Opakovatelnost r a reprodukovatelnost R byla stanovena na základě programu, kterého se zúčastnilo 10 laboratoří, 20 pracovníků a byl proveden v souladu s ISO 5725:1994.

Hodnoty r a R jsou dány následujícími rovnicemi, kde C označuje korelační součinitel.

$r = 0{,}335\ t_v - 0{,}62$, s $C^2 = 0{,}823$, když $3 \le t_v \le 15$; a $r = 4{,}4$ když $t_v > 15$

a

$R = 0{,}502\ t_v - 0{,}943$, s $C^2 = 0{,}984$, když $3 \le t_v \le 15$; a $R = 6{,}6$ when $t_v > 15$

Hodnoty r a R, pro typické hodnoty t_v , spočítané pomocí těchto rovnic uvádí Tabulka B. 2.

Tabulka B. 2 - Opakovatelnost a reprodukovatelnost typických hodnot doby výtoku z V-trychtýře

doby výtoku z V-trychtýře [s]	3,0	5,0	8,0	12,0	> 15,0
Opakovatelnost *r* (s)	0,4	1,1	2,1	3,4	4,4
Reprodukovatelnost *R* (s)	0,6	1,6	3,1	5,1	6,6

Příloha B: Zkušební metody

Příloha B3 Zkoušení čerstvého betonu - Zkouška L-boxem

B3.0 Úvod

Zkouška L-boxem se používá pro posouzení schopnosti samozhutnitelného betonu protéci skrz úzké otvory, jako například mezerami mezi výztuží a dalšími překážkami, aniž by došlo k segregaci kameniva nebo vzpříčení zrn a ucpání formy v úzkém místě. Tato zkouška má dvě varianty, kdy se používají dva nebo tři pruty výztuže. Varianta se třemi pruty napodobuje husté vyztužení.

B3.1 Rozsah

Tento dokument popisuje postup pro stanovení prostupnosti samozhutnitelného betonu za použití zkoušky L-boxem.

B3.2 Citované normy

Do této přílohy jsou včleněny odkazy na ustanovení uvedená v jiných publikacích. Tyto normové citace jsou uvedeny na příslušných místech v textu a v seznamu publikací na konci textu.

ČSN EN 12350-1	Zkoušení čerstvého betonu - Část 1: Odběr vzorků
ČSN ISO 5725	Přesnost (správnost a shodnost) metod a výsledků měření

B3.3 Princip

Předepsaný objem čerstvého betonu protéká vodorovně skrz mezery mezi svislou hladkou výztuží, přičemž se zjišťuje výška hladiny betonu, který protekl.

B3.4 Vybavení

B3.4.1 L-box

Tvar a rozměry L-boxu (s tolerancí ± 1 mm) ukazuje Obrázek 12. L-box musí být tuhý, jeho povrch hladký a plochý, nesmí podléhat vlivu cementového tmelu a musí být nerezavějící. Vrchní část může být odnímatelná, což zjednoduší čištění. Při zavřených dvířkách a naplnění až po horní okraj musí být objem svislé části 12,6 až 12,8 litrů.

Výztuž má následující uspořádání. V případě zkoušky se dvěma pruty obsahuje dva pruty o průměru 12 mm s mezerou 59 mm. V případě zkoušky se třemi pruty obsahuje tři pruty o průměru 12 mm s mezerami 41 mm. Tyto sestavy jsou vyměnitelné a mají zajistit rovnoměrné rozmístění svislých prutů po šířce boxu. Maximální velikost zrn kameniva nesmí být větší než 16[21] mm.

POZNÁMKA: Upřednostňuje se použití kovové formy, nicméně natřená forma z překližky s uzavřenou strukturou dřeva o tloušťce 12 mm je rovněž vhodná.

B3.4.2 Pravítko

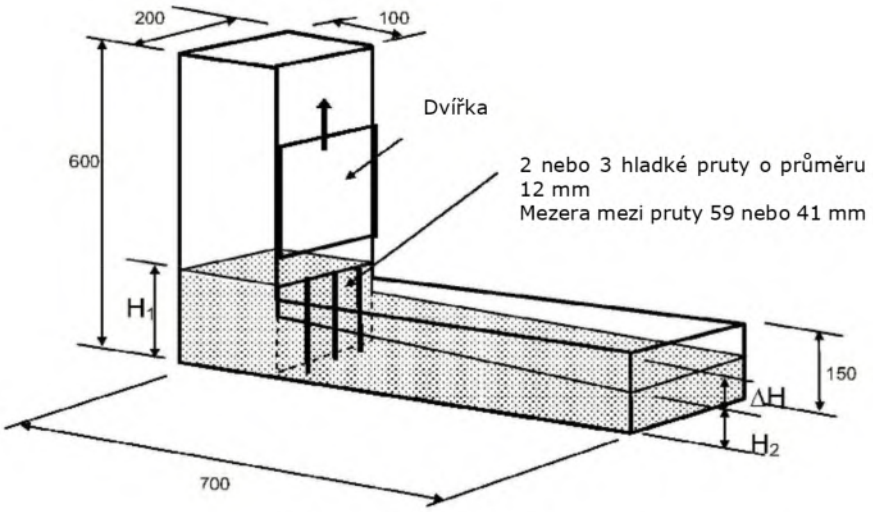
Pravítko, se stupnicí od 0 mm do 300 mm se stupnicí po 1 mm.

B3.4.3 Nádoba

Nádoba, do které se vejde zkušební vzorek betonu a jejíž objem není menší než 14 l.

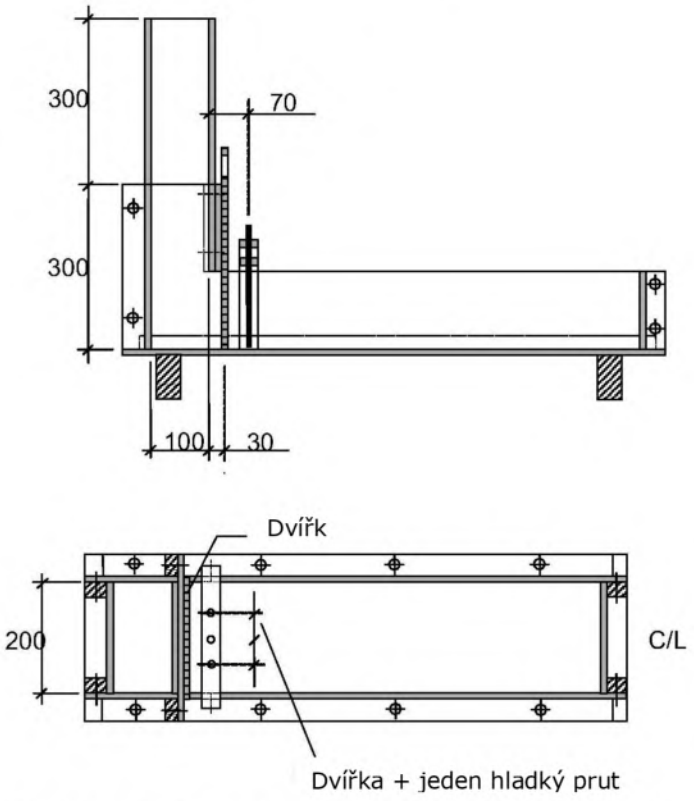
---

[21] Pozn. překl.:Uvedeno pouze v českém překladu.



Všechny rozměry jsou v mm

Obrázek 12: L-box



Obrázek 13: Rozměry a typické uspořádání L-boxu

B3.5 Zkušební vzorek

Vzorek o objemu přibližně 17 l získaný podle ČSN EN 12350-1.

B3.6 Zkušební postup

L-box se postaví na vodorovnou podstavu. Dvířka mezi svislou a vodorovnou částí se uzavřou. Beton se nalije z nádoby do svislé části L-boxu. Nechá se stát po dobu 60 (± 10) s. Zaznamená se jakákoliv známka rozmísení. Poté se vysunou dvířka, aby beton mohl vytékat do vodorovné části L-boxu.

Když pohyb betonu ustane, změří se svislá vzdálenost od povrchu betonu k hornímu okraji vodorovné části L-boxu na konci jeho vodorovné části. Měření se provede na třech místech po celé šířce L-boxu shodně od sebe vzdálených. Po odečtení těchto hodnot od výšky vodorovné části L-boxu se vypočítá střední hloubka betonu v mm označená jako H2. Podle stejného postupu se v mm vypočte hloubka betonu těsně za dvířky a označí se H1.

B3.7 Výsledek zkoušky

Prostupnost PA se vypočte z následující rovnice.

PA = H2/H1

B3.8 Závěrečná zpráva

Závěrečná zpráva musí obsahovat:

a) označení zkušebního vzorku;
b) místo, kde byla zkouška provedena;
c) datum, kdy byla zkouška provedena;
d) záznam o jakémkoliv náznaku segregace betonu;
e) záznam byly-li použity dva nebo tři pruty;
f) poměr prostupu zaokrouhlený na 0,01;
g) dobu mezi ukončením míchání a provedením zkoušky;
h) jakoukoliv odchylku od postupu uvedeného v tomto dokumentu.

Závěrečná zpráva může též obsahovat:

i) teplotu betonu v okamžiku zkoušky;
j) čas, kdy byla zkouška provedena.

B3.9 Dodatek

Existuje též návrh na vyjádření výsledku zkoušky L-boxem pomocí PA = $H2/H_{max}$,

kde H_{max} je 91 mm a představuje teoretickou výšku H2, pokud by svislá část obsahovala přesně 12,7 l samozhutnitelného betonu a pokud by se při zkoušce zcela sám vyrovnal.

Použití tohoto výpočtu usnadňuje měření a zlepšuje přesnost zkoušky.

Pokud se má použít tato konstanta, musejí být rozměry formy a objem betonu obsaženého ve svislé části správné.

UPOZORNĚNÍ:
Hodnota PA získaná z $H2/H_{max}$ se liší od hodnoty získané z H2/H1, a proto se nesmí použít při prokazování splnění požadavků uvedených v Příloze A této směrnice.

Příloha B3.1 (informativní)

B3.10 Přesnost

Opakovatelnost *r* a reprodukovatelnost *R* byla stanovena na základě programu, kterého se zúčastnilo 11 laboratoří, 22 pracovníků a byl proveden v souladu s ISO 5725:1994.

Pro zkoušku se třemi pruty se hodnoty *r* a *R* získají pomocí následujících rovnic, kde *C* je součinitel

korelace.

r=0,074–0,463 P_L, s C^2=0,996, když P_L≥0,65; a r=0,18 když P_L<0,65

a

R=0,454–0,425 P_L, s C^2=0,989, když P_L≥0,65; a R=0,18 když P_L<0,65

Hodnoty r a R pro typické hodnoty P_L a spočtené pomocí těchto rovnic jsou uvedeny v Tabulce. A.1.

Tabulka B. 3 - Opakovatelnost a reprodukovatelnost pro typické hodnoty poměru prostupu

Poměr prostupu PA H2/H1	**≥0,8**	**<0,8**
Opakovatelnost r	0,11	0,13
Reprodukovatelnost R	0,12	0,16

Příloha B: Zkušební metody

Příloha B4: Zkoušení čerstvého betonu – Zkouška odolnosti proti segregaci (rozměšování) přes síto

B4.0 Úvod

Zkouška odolnosti proti segregaci přes síta se používá pro posouzení odolnosti samozhutnitelného betonu proti rozměšování.

B4.1 Rozsah

Tento dokument popisuje postup pro stanovení odolnosti samozhutnitelného betonu proti rozměšování přes síto.

B4.2 Citované normy

Do této přílohy jsou včleněny odkazy ustanovení uvedená v jiných publikacích. Tyto normové citace jsou uvedeny na příslušných místech v textu a v seznamu publikací na konci textu.

ČSN EN 12350-1	Zkoušení čerstvého betonu - Část 1: Odběr vzorků
ČSN ISO 3310-2	Zkušební síta. Technické požadavky a zkoušení. Část 2: Zkušební síta z děrovaného plechu
ČSN ISO 5725	Přesnost (správnost a shodnost) metod a výsledků měření

B4.3 Princip

Po získání vzorku se ponechá čerstvý beton stát po dobu 15 minut a sleduje se jakékoliv oddělení vykrvácené vody. Horní část vzorku je pak prolévána přes síta se čtvercovými otvory o velikosti 5 mm. Po dvou minutách se zaznamená hmotnost materiálu, který prošel skrz síto. Poměr segregace se pak spočítá jako poměrná část vzorku, která prošla skrz síto.

B4.4 Vybavení

B4.4.1 Ploché síto

Ploché síto, které má čtvercové otvory o velikosti 5 mm. Průměr rámu je podle ČSN ISO 3310-2 300 mm, výška 40 mm,. Síto je doplněno o spodní nádobu, od které lze síto snadno oddělit svislým zvednutím.

B4.4.2 Váha

Váha, s plochou deskou, na kterou lze postavit spodní nádobu zpod síta a která zváží alespoň 10 kg s kalibrovanou stupnicí se stupni menšími než 20 g.

B4.4.3 Nádoba

Nádoba na vzorek s víkem, vyrobená z umělé hmoty nebo z kovu s vnitřním průměrem 300 ± 10 mm, a objemem 11 až 12 l.

B4.5 Zkušební vzorek

Vzorek se získá podle ČSN EN 12350-1.

B4.6 Zkušební postup

Beton se vloží do nádoby na vzorek 10 (± 0,5) l a přiklopí víkem. Vzorek se nechá stát ve vodorovné poloze v klidu po dobu 15 (±0,5) min.

Váha musí být umístěna na rovině aby jí neovlivňovaly vibrace. Spodní nádoba se položí na váhu a zaznamená se její hmotnost W_p (v gramech). Síto se nasadí na spodní nádobu a opět se zaznamená hmotnost.

Po vypršení doby, kdy byl beton v klidu, se z nádoby na vzorek odstraní víko. Objeví-li se na povrchu betonu voda z krvácení, je nutné to zaznamenat. Ihned poté začne lití betonu (4,8 ± 0,2 kg) včetně vykrvácené vody na síto, které je i se spodní nádobou umístěno na váze, přičemž horní hrana nádoby na vzorek je ve výšce 500 (± 50) mm nad sítem. Zaznamená se skutečná hmotnost betonu na sítu W_c (v gramech). Beton se na sítu ponechá po dobu 120 (± 5) s. Potom se síto odstraní svislým zvednutím, aniž by došlo k potřásání betonem. Zaznamená se hmotnost spodní nádoby a betonu, který prošel skrz síto W_{ps} (v gramech).

B4.7 Výsledek zkoušky

Segregovaná poměrná část SR se vypočítá z následující rovnice a zaokrouhlí se na nejbližší 1 %.

$$SR = (W_{ps} - W_p)\ 100 / W_c\ [\%]$$

B4.8 Závěrečná zpráva

Závěrečná zpráva musí obsahovat

a) označení zkušebního vzorku;
b) místo, kde byla zkouška provedena;
c) datum, kdy byla zkouška provedena;
d) přítomnost vykrvácené vody, pokud se objevila po 15 minutách klidu;
e) segregovaná poměrná část zaokrouhlená na nejbližší jedno %;
f) dobu mezi ukončením míchání a provedením zkoušky;
g) jakoukoliv odchylku od postupu uvedeného v tomto dokumentu.

Závěrečná zpráva může též obsahovat:

a) teplotu betonu v okamžiku zkoušky;
b) čas, kdy byla provedena zkouška.

Příloha B4.1 (informativní)

B4.9 Přesnost

Opakovatelnost *r* a reprodukovatelnost *R* byla stanovena na základě programu, kterého se zúčastnilo 11 laboratoří, 22 pracovníků a byl proveden v souladu s ISO 5725:1994.

Výsledné hodnoty *r* a *R* jsou uvádí Tabulka B. 4.

Tabulka B. 4 - Přesnost výsledků

Segregovaná část [%]	**≤ 20**	**> 20**
Opakovatelnost *r* [%]	3,7	10,9
Reprodukovatelnost *R* [%]	3,7	10,9

Příloha C: Zlepšení kvality povrchu samozhutnitelného betonu

Tabulka dole ukazuje hlavní vady, které se mohou objevit během ukládání nebo po uložení samozhutnitelného betonu. Některé popsané vady se též vztahují k tradičnímu vibrovanému betonu. Některým vadám lze však snadněji zabránit při použití samozhutnitelného betonu díky jeho charakteru. Je však třeba vzít na vědomí, že vady povrchu jako např. povrchové dutiny a jiné vady mají vliv na vzhled betonu a že další problémy jako např. kavitační účinek, rozvrstvení a trhlinky mohou ovlivnit celistvost betonu.

Druh vady	Základní příčiny	Praktické příčiny	Jak jim předejít nebo je napravit
Povrchové dutiny	zadržený vzduch zadržená voda zadržený olej z formy	• příliš mnoho jemných podílů/ velký specifický povrch	• ubrat jemné podíly
		• příliš mnoho nebo nerovnoměrné použití odbedňovacího prostředku ve formě	• minimální nutné množství a rovnoměrné nanesení
		• drsný povrch formy	• zajistit čistý povrch formy • použitá geotextílie na povrchu formy pohltí vzduch
		• příliš rychlé ukládání	• zajistit plynulé ukládání do formy
		• nadměrné roztékání	• omezit délku roztékání na 5m
		• příliš krátká délka roztékání	• zvětšit délku roztékání na 1 m
		• volný pád z velké výšky	• zmenšit výšku volného pádu < 1 m • použít rouru s měkkou stěnou pro větší hloubky ukládání • pumpování odspodu pomůže vyhnat vzduch z betonu
		• příliš vysoká teplota betonu	• snížit teplotu betonu pod 25°C
		• příliš pomalé ukládání	• naplánovat dodávky betonu a prostředky na staveništi tak, aby se zajistilo plynulé ukládání
		• sedání složek v superplastifikátoru, zvláště v odpěňovači	• výrobce betonu zlepší skladování přísad, použít míchání během skladování
		• příliš velká viskozita	• snížit dávky přísad upravujících viskozitu • zkontrolovat recepturu
		• nevhodná zrnitost kameniva	• použít přísad upravujících viskozitu a provzdušňovače • upravit velikost max. zrna kameniva a křivku zrnitosti
		• příliš dlouhá doba míchání zvyšuje obsah vzduchu	• zkontrolovat dobu míchání
		• spolupůsobení přísad a cementu	• posoudit kompatibilitu přísad a příměsí s cementem před zahájením výroby
Fyzikální příčiny:	nedostatečná schopnost vyplňování nedostatečná prostupnost vysoká viskozita a vysoké napětí na mezi kluzu malé rozlití nebo dlouhý čas T_{500} prudké snížení rozlití		

Druh vady	Základní příčiny	Praktické příčiny	Jak jim předejít nebo je napravit
Svislé pruhy nebo viditelné vymílání vodou na povrchu betonu	krvácení vody a jemných podílů	• příliš vysoký poměr vody k jemným podílům • příliš malá viskozita	• lze použít přísad upravujících viskozitu • zvýšit viskozitu přidáním jemných podílů • použít provzdušňovač, který sníží vliv špatné zrnitosti kameniva
Fyzikální příčina: malá stabilita			

Druh vady	Základní příčiny	Praktické příčiny	Jak jim předejít nebo je napravit
Změny v barvě	na povrchu rozdíly v záměsích	• příliš nízká teplota	• udržovat teplotu betonu a uvnitř formy v zimním období
		• příliš velké rozlití, příliš malá viskozita	• zvýšit viskozitu přidáním jemných podílů a zvážit použití přísady upravující viskozitu
		• vliv přísad nebo odbedňovacího prostředku na zpoždění počátku tuhnutí	• pečlivý výběr přísad podle požadavků okolního prostředí • snížit obsah vody nebo množství plastifikačních přísad • zvážit použití mírného urychlovače • použít geotextílii na povrchu formy
		• změny v rychlosti ukládání	• plynulé ukládání
		• umělohmotná ošetřovací membrána se dotýká betonu nepravidelně	• zajistit rovnoměrný kontakt
		• dřevěné formy se suchým povrchem	• rovnoměrně navlhčit formu před ukládáním • dát přednost natřeným formám
Fyzikální příčiny: vliv odbedňovacího prostředku, přísad, apod. na zpomalení tuhnutí a tvorbu skvrn příliš velká plastická viskozita a příliš vysoké napětí na mezi kluzu			

Druh vady	Základní příčiny	Praktické příčiny	Jak jim předejít nebo je napravit
Špatný a nerovný povrch	zdeformování formy či bednění „otisky" formy na povrch betonu	• rychlé ukládání nebo měkká forma	• snížit rychlost ukládání, čímž se sníží hydrostatický tlak • použít přísadu upravující viskozitu pro zvýšení viskozity • předělat bednění
		• opotřebený povrch formy • přilepený beton z minulé betonáže	• nové bednění • očistit plochy před ukládáním
		• nevhodný odbedňovací prostředek nebo nevhodný způsob jeho použití	• experimentálně stanovit nejlepší odbedňovací prostředek • nanést jej ve správném množství pomocí vhodného vybavení za správného tlaku a pomocí rozprašovací trysky
		• příliš vysoký poměr voda/ jemné podíly	• použít více superplastifikátoru a přísadu upravující viskozitu
Fyzikální příčiny: velký tlak na bednění příliš malá plastická viskozita			

Druh vady	Základní příčiny	Praktické příčiny	Jak jim předejít nebo je napravit
Kavitační účinek	nedostatečné množství cementového tmelu nebo jemných podílů beton se rozměšuje kvůli příliš malé plastické viskozitě beton není schopen vyplnit všechny části formy	• malý obsah cementového tmelu/ jemných podílů	• přidat jemné podíly, použít alespoň 450 kg jemných podílů na 1 m^3 • přidat provzdušňující přísadu
		• nevhodná zrnitost	• spojitá čára zrnitosti
		• zrna kameniva příliš velká v porovnání s volnými mezerami	• menší maximální velikost zrna kameniva
		• netěsnost formy	• zkontrolovat neporušenost formy, zvláště ve spojích
Fyzikální příčiny: nedostatečná schopnost vyplňování nedostatečná prostupnost nedostatečná stabilita příliš malé rozlití nebo čas T_{500} segregace hrubého kameniva/ cementového tmelu			

Druh vady	Základní příčiny	Praktické příčiny	Jak jim předejít nebo je napravit
Rozvrstvení	povrchová vrstva obsahuje pouze jemné podíly a začala tuhnout příliš brzy	• neošetřováno nebo pouze omezeně	• zajistit vhodné ošetřování odpovídající okolním podmínkám
		• segregace anebo krvácení způsobené příliš nízkým obsahem jemných podílů	• přidat jemné podíly • použít přísadu upravující viskozitu • použít provzdušňující přísadu
Fyzikální příčiny: nedostatečná stabilita segregace anebo krvácení příliš rychlé vysychání			

Druh vady	Základní příčiny	Praktické příčiny	Jak jim předejít nebo je napravit
Viditelné spáry mezi různými záměsemi (běžně nazývanými „studené spoje")	tvorba krusty na povrchu zabraňuje monolitickému spojení s další dávkou betonu	• přerušované dodávky betonu	• plynulé ukládání bez přestávek
		• beton rychle tuhne	• předem provést zkoušky, nedovolit příliš rychlé tuhnutí
		• vysoká teplota betonu nebo vzduchu	• teplota nižší než 25°C
		• segregace hrubého kameniva	• zkontrolovat recepturu • snížit hodnotu rozlévání
		• příliš velký specifický povrch jemných podílů	• ubrat jemné podíly
Fyzikální příčiny:	nedostatečná schopnost vyplňování tixotropní tuhnutí příliš rychlá ztráta rozlití příliš vysoká viskozita spolupůsobení přísad a cementu		

Druh vady	Základní příčiny	Praktické příčiny	Jak jim předejít nebo je napravit
Plastické trhliny (smršťování v raném stadium a plastické sedání)	příliš rychlé vysychání sedimentace umístění výztuže	• špatný režim ošetřování v raném stádiu	• začít ošetřovat ihned po ukončení ukládání a uhlazení povrchu • vhodné ošetřování odpovídající okolním podmínkám
		• segregace a krvácení	• uzavřít plastické trhliny dříve než začne beton tuhnout • přidat jemné podíly • použít přísadu upravující viskozitu • použít provzdušňující přísadu
		• extrémní okolní podmínky (teplota, relativní vlhkost, vítr, atd.)	• provádět uhlazení povrchu podle panujících podmínek
		• vysoké vrstvy s výztuží u povrchu	• předělat návrh armovacího koše
Fyzikální příčiny:	zvětšené plastické smršťování a smršťování od vysychání špatná stabilita		