

MINISTERSTVO DOPRAVY
odbor silniční infrastruktury

**VYSOKOHODNOTNÉ BETONY
PRO MOSTY PK**

TECHNICKÉ PODMÍNKY



Schváleno MD-OSI pod č.j. 546/10-910-IPK/1
ze dne 30.6.2010 s účinností od 1. 7.2010

Praha, červen 2010
PONTEX spol s r.o..

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

OBSAH:

1. Úvod	3
1.1 Předmět TP.....	3
1.2 Terminologie, definice	3
1.2.1 Vysokohodnotné betony	4
1.2.2 Geneze termínu „High Performance Concrete“ (HPC) a „High Strength Concrete“ (HSC).....	4
1.2.3 Betony HPC	4
1.2.4 Vysokopevnostní betony.....	7
2. Složky, Technologie výroby a zkoušení.....	7
2.1 Všeobecně	7
2.2 Možnosti použití HPC.....	9
2.3 Složky betonu.....	10
2.3.1 Kamenivo.....	10
2.3.2 Cement	11
2.3.3 Voda a vodní součinitel	13
2.3.4 Přísady.....	13
2.3.5 Příměsi	14
2.3.6 Vlákná do betonu - rozptýlená výztuž	15
2.4 Výroba betonu.....	16
2.4.1 Výroba a její řízení.....	16
2.4.2 Míchání	20
2.4.3 Doprava, zpracování a ošetřování.....	20
2.4.4 Riziko vzniku trhlin	21
2.4.5 Teplota čerstvého betonu	22
2.5 Vlastnosti betonu, zkoušení	23
2.5.1 Zkoušky čerstvého betonu	23
2.5.2 Vlastnosti a zkoušky ztvrdlého betonu	23
2.5.3 Tělesa a zkušební postupy	25
2.5.4 Objemové změny betonu a jejich zkoušení	25
2.5.5 Trvanlivost vysokohodnotných betonů.....	26
3. Navrhování mostních konstrukcí z vysokohodnotných betonů.....	28
3.1 Návrh podle ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 1992-2.....	28
3.2 Návrh podle ČSN 73 6206 a ČSN 73 6207	31
4. Literatura (ČSN a TP v platném znění):	32
5. Příloha P1 Dovolena namáhání betonu a další charakteristiky.....	34
6. Příloha P2 Betonářská výztuž.....	38

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

1. Úvod

1.1 Předmět TP

Tyto technické podmínky (dále jen TP) platí pro nosné, vyztužené stavební prvky mostních staveb z vysokohodnotného betonu (dále také HPC) a to zejména pro vysokopevnostní beton, tj. z betonů pevnostních tříd C55/67 až C90/105, pro které platí návrhové postupy uvedené v ČSN EN 1992-1-1 a v ČSN EN 1992-2. Pro betony pevnostních tříd vyšších než C90/105 platí návrhové postupy podle EN přiměřeně a potřebné charakteristiky je třeba stanovit na základě zkoušek. Tyto TP neplatí pro lehké vysokopevnostní betony.

Velmi výrazně se rozšířila škála vlastností, které jsou po betonu požadovány a tudíž i kontrolovány. Na místě prvním je to samozřejmě nárůst pevnosti, který doprovází celou historii moderního betonu. Rozšíření této oblasti hodnocení vlastností betonu odpovídají vysokohodnotné betony (HPC). Vlastnosti HPC musí vyhovovat z hlediska trvanlivosti vlivu prostředí podle ČSN EN 206-1.

Vysoká pevnost betonu však není jedinou vlastností betonu, jejíž mimořádnou úroveň můžeme po tomto konstrukčním materiálu požadovat. Tyto požadavky mohou být vztahovány nejen na vlastnosti betonu, ale také na vlastnosti betonu čerstvého. Příkladem takové vlastnosti je např. jeho zpracovatelnost. Před dobou relativně nikoliv dávnou by nebylo možné po betonu požadovat jeho čerpatelnost v parametrech, jakých lze dosahovat v současnosti. Jinou ještě donedávna nedosažitelnou vlastností je např. požadavek odstranění křehkého charakteru porušení betonu, tak jak jej v současné době umožňují vláknobetony. Uvedené dva příklady jsou ukázkou betonů, u kterých může být dosaženo mimořádné vlastnosti, aniž by sama jejich pevnost byla zdůrazněna. Veškeré betony, které vykazují nějakou mimořádnou kvalitu, jsou zahrnuty mezi betony, pro které je používáno označení High Performance Concrete (HPC) s nepřilíživě šťastným návrhem českého ekvivalentu „vysokohodnotný beton“. Jedná se tedy o širokou oblast betonů, pro které je charakteristické, že jedna nebo více jejich vlastností dosahují mimořádné úrovně. Vysokopevnostní betony jsou tudíž podskupinou betonů HPC.

V případě posuzování konstrukcí podle dovolených namáhání se postupuje podle kap. 3.2 těchto TP a použijí hodnoty uvedené v Příloze P1 a P2.

1.2 Terminologie, definice

Terminologie, definice, značky a zkratky jsou uvedeny v ČSN EN 206-1 kap. 3 a dále v ČSN EN 1992-1-1 a v ČSN EN 1992-2, ČSN EN 13670 a v normách souvisejících s těmito normami.

Uvádějí se proto pouze tyto definice:

- **vysokohodnotný beton** (High Performance Concrete – HPC) je beton pevnostních tříd C 55/67 až C 90/105 mimořádné kvality, jehož některá vlastnost překračuje vlastnosti běžných betonů.
- **velmi vysokohodnotný beton** (Very High Performance Concrete – VHPC) je beton mimořádné kvality pevnostních tříd C 100/115 až C 135/150
- **ultra vysokohodnotný beton** (Ultra High Performance Concrete – UHPC) je beton mimořádné kvality pevnostních tříd vyšších než C 135/150.

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

- **vysokopevnostní beton** (High Strength Concrete - HSC) je obyčejný nebo těžký beton pevnostní třídy C 55/67 až C90/105, jehož výraznou vlastností je pevnost
- **vysokopevnostní lehký beton** (LHSC) je beton o objemové hmotnosti menší než 2000 kg/m³ a pevnostní třídy vyšší než LC 50/55.

1.2.1 Vysokohodnotné betony

Tato kapitola je informativní. Vychází z literatury [1], [2] a [3]. Pohled autorů na dělení, označení a vlastnosti betonů není jednotný.

1.2.2 Geneze termínu „High Performance Concrete“ (HPC) a „High Strength Concrete“ (HSC)

Označení High Performance Concrete (HPC) je termín poměrně nový. Pro betony mimořádné kvality bylo dříve používáno označení „High Strength Concrete“ (HSC). Toto označení jednoznačně vychází z jediné charakteristiky betonu a tou je jeho pevnost, která je vnímána jako charakteristika nejdůležitější. V tomto smyslu je označení HSC pro vysokopevnostní betony používáno i nadále.

Existují však i jiné charakteristiky betonu (než je pouze pevnost), které z hlediska vlastností betonu v konstrukci představují neméně důležité kritérium (např. jeho trvanlivost, ze které lze usoudit na životnost konstrukce). Souhrnně se takové betony označují jako vysokohodnotné („High Performance Concrete“ – HPC). Betony typu HSC tvoří jednu podskupinu betonů typu HPC.

Je jedním ze znaků inženýrského přístupu, že vyžaduje přesné vymezení vlastností, které musí materiál vykázat, aby mu mohlo být přiřazeno nějaké označení. Tak tomu je i v případě betonů skupiny HPC. Kritéria pro takové zařazení prošla svým vývojem.

1.2.3 Betony HPC

Pro betony typu HPC se v [1] uvádí, že jejich hodnota vodního součinitele se pohybuje v rozmezí 0,35 až 0,40, což je obvykle umožněno použitím ztekucovačů. Dalším dělítkem pro tyto betony je, zda obsahují či neobsahují latentně-hydraulické příměsi. Kvalita a velikost maximálního zrna kameniva zde nejsou omezeny.

Pro betony VHPC je vhodná hodnota vodního součinitele od 0,25 do 0,35, spolu s povinným použitím ztekucovačů i latentně-hydraulických příměsí. Dále je časté použití zpomalující přísady a v neposlední řadě také použití kameniva s vysokou pevností a s takovým modulem pružnosti, který se co nejméně odlišuje od modulu cementové pasty. Požadavek přiměřené velikosti modulu pružnosti kameniva je v oblasti návrhu složení betonu málo obvyklá. Je však naprosto logická a jen potvrzuje nezbytnost mnohem dokonalejší znalosti vlastností jednotlivých složek. Velikost maximálního zrna kameniva je pro tyto betony doporučena v rozmezí od 10 do 12 mm.

V případě mimořádných betonů typu UHPC se jedná zatím výlučně o betony laboratorní. Jejich hodnota vodopojivového součinitele je směrně v rozmezí 0,15 až 0,22 a vodního součinitele v rozmezí 0,15 až 0,30.

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

V publikaci [2] jsou uvedeny tyto podmínky pro beton HPC:

1) pevnost v tlaku (postačuje splnění alespoň jedné z dále uvedených formulací podmínky):

- pevnost ve stáří betonu 4 hodiny: $\geq 17,5$ MPa,
- pevnost ve stáří betonu 24 hodin: ≥ 35 MPa,
- pevnost ve stáří betonu 28 dní: ≥ 70 MPa

2) trvanlivost betonu

- součinitel trvanlivosti po 300 rozmrazovacích cyklech: $> 0,8$

3) velikost vodopojivového součinitele: $\leq 0,35$

Prvou podmínku představují charakteristiky pevnostní. Všechny tři varianty této podmínky dostatečně demonstrují skutečnost, že tyto betony jsou betony s vysokými hodnotami pevnosti v tlaku. Trojí limit pro hodnotu pevnosti zohledňuje fakt, že pevnost betonu může být hodnocena nikoliv jen z hlediska tlaku nebo tahu, ale především, že rozhodující hodnota tlakové pevnosti může být svázána s údajem o stáří betonu, ve kterém je pevnost hodnocena. Uvedeným stářím je zohledněn rozhodující okamžik historie betonové konstrukce, ve které má být betonu použito. Prvá, několikahodinová hodnota pevnosti, může být rozhodující např. v případě konstrukcí zhotovovaných technologií stříkaného betonu. Tunelová ostění jsou typickým příkladem takové konstrukce. Druhé kritérium jednodenní pevnosti bývá rozhodující např. v případě konstrukcí ve kterých je užito předem předpjaté výztuže. Třetí verze kritéria pevnosti se vztahuje na konstrukce, u kterých dřívější kontrola pevnosti, než je obvyklých 28 dnů, není rozhodující.

Druhou podmínkou je trvanlivost betonu. Zkoušení odolnosti betonů proti cyklickému zmrazování a rozmrazování (odolnosti proti vlivům prostředí XF) se provádí na stavbách PK podle platných norem, podle ČSN 73 1326 a nově vydaných evropských předpisů (viz seznam norem).

Trvanlivost lze také sledovat změnou dynamického modulu pružnosti. Pro jeho zjištění se v zahraničí např. používá metoda ASTM (American Society for Testing and Materials, viz ASTM Standard C 666-77), která sleduje proměnu dynamického modulu pružnosti betonu v závislosti na počtu zmrazovacích cyklů. Pro obyčejné betony metoda povoluje vycházet i z výsledků zkoušek, při kterých byl zkoumaný beton vystaven menšímu počtu zmrazení a tání nežli je výše uvedených 300 cyklů. Pokud je hodnota modulu snížena na hodnotu menší než 40%, je beton hodnocen jako nevyhovující. Je-li výsledek mezi 40 a 60% je hodnocen jako sporný a teprve při překročení hranice 60% jako vyhovující. Podmínky trvanlivosti pro betony typu HPC jsou tudíž výrazně přísnější. Jednak je bez výjimky požadováno zkoušení na plný počet cyklů zmrazení a tání, tedy na 300 těchto cyklů. Ale především je hranice pro přijatelný výsledek posunuta až na 80% hodnoty dynamického modulu pružnosti původního betonu, tedy betonu nevystaveného účinkům zmrazovacích cyklů. Je tudíž, oproti obyčejným betonům, přípustné jen poloviční snížení sledované vlastnosti (jen 20% úbytku u betonů typu HPC a oproti tomu 40% u betonů ostatních).

Třetí podmínka má zásadní vliv na složení betonů typu HPC. Hodnota vodopojivového 0,35 je hodnotou nízkou. Její splnění je, bez použití přísady výrazně ovlivňující zpracovatelnost, obtížné. Splnění této podmínky zaručuje vysokou hutnost cementového kamene. Bez té nelze dosáhnout ani dostatečné pevnosti ani, s výjimkou provzdušněných betonů, požadované trvanlivosti. Z hlediska návrhu složení je tudíž třeba právě tuto podmínku považovat za klíčovou.

Všechny tři uvedené podmínky jsou navzájem propojeny společným cílem, kterým je formulování principů, při jejichž splnění je značná pravděpodobnost návrhu betonu, který bude mít vysokou pevnost i trvanlivost. Z tohoto pohledu je klíčovým doporučením především

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

podmínka třetí. Nutí navrhovatele k použití nízké hodnoty vodopojivového, resp. vodního součinitele. Toho nelze dosáhnout jinak, než s použitím ztekucující přísady, která zaručí i přijatelnou zpracovatelnost čerstvého betonu. Současně použitá formulace této podmínky také nepřímou vyvolává k použití latentně-hydraulických a pucolánových příměsí tím, že zmiňuje rozšířenou formu vodního součinitele, tedy vodopojivový součinitel. Tedy vztah zohledňující nejen podíl cementu, ale veškerých složek, které mohou plnit funkci pojiva. Nízká hodnota vodního součinitele pak, samozřejmě při dokonalém zpracování betonu v hotové konstrukci, zaručuje vysokou hutnost cementového kamene a právě tím i vysokou hodnotu pevnosti.

Mimořádnou kvalitu HPC ovlivňují požadavky na některé blíže specifikované vlastnosti, jako např.:

- snadná zpracovatelnost
- zhutnění bez segregace
- pevnost v ranném stadiu
- dlouhodobě vyhovující fyzikálně-mechanické vlastnosti
- vodotěsnost nebo plynotěsnost
- hutnost
- houževnatost
- vysoká odolnost proti obrusu
- objemová stálost
- trvanlivost
- vysoká odolnost vůči agresivnímu prostředí.

Z uvedeného je patrné, že návrh takového betonu, u kterého by všechny uvedené vlastnosti splňovaly podmínky špičkové jakosti, není pravděpodobně ani teoreticky možný. Principiálně zajímavá je myšlenka uvedená v [3], kde (zatím jen v rovině teoretických úvah) je zmíněn beton, který by náležel do kategorie HPC, ale jehož pevnost by byla jen nevýrazná. Tato myšlenka naznačuje odlišnost kategorií HSC a HPC. Prvá skupina betonů (HSC) vysokou pevnost betonu vykazovat musí. V případě druhé skupiny betonů (HPC) to sice není nezbytně nutné, nicméně v současnosti je to obvyklé.

Výroba betonů typu HPC je podmíněna použitím ztekucujících přísad a latentně-hydraulických příměsí. Tyto složky však nepřinášejí jen zajištění vhodné zpracovatelnosti čerstvého betonu a zvýšení pevnosti v tlaku. Tento zásah do složení betonu má na jeho vlastnosti mnohem širší vliv. Je samozřejmé, že současně se zvýšením pevnosti v tlaku se zvýší i pevnost tahová. Snížení vodního součinitele sníží porozitu cementového kamene a tím zvýší hodnotu modulu pružnosti. Vyšší hutnost sníží prostupnost struktury betonu vůči pronikání kapalin i plynů. Zlepší tudíž vodotěsnost i plynotěsnost a v případě neprovzdušněného betonu také odolnost vůči střídavému zmrazování a tání. Hutnější a pevnější struktura betonu má samozřejmě vyšší odolnost vůči obrusu. Tato zlepšení pozitivně ovlivňují životnost betonové konstrukce. Vyšší hutnost cementového kamene výrazně zlepšuje schopnost povrchové vrstvy betonu k upravování citlivým broušením a nebo dokonce leštěním. Ta může zlepšit estetické vlastnosti betonové konstrukce a rozšířit možnost uplatnění betonu nejen s ohledem na potřeby statika, ale také architekta. Je tudíž možné konstatovat, že použití uvedených látek má za důsledek zlepšení i dalších vlastností betonu, které o jeho zařazení mezi HPC nerozhodují. Optimální celková křivka zrnitosti tyto vlastnosti do značné míry zajišťuje.

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

Existence betonu s vyšší pevností umožňuje navrhovat konstrukce subtilnější. V tomto ohledu je třeba připomenout, že návrh stavební konstrukce je jen tak bezpečný, jak dokonale je projektant seznámen s vlastnostmi materiálu, se kterým pracuje. Betony, jejichž pevnost a trvanlivost je mimořádná, tudíž vyžadují i specifické postupy ověřování těchto vlastností. V případě betonů typu HPC je tudíž při zkoumání jejich vlastností rozšiřováno klasické makroskopické zkoumání o ověřování mikro - nebo dokonce i nanoskopické. Jsou ověřovány velmi lokální vlastnosti struktury betonu, např. fyzikálně-mechanické vlastnosti tak zvané mezilehlé transportní vrstvy. Tedy několikamikronové vrstvičky cementového kamene v oblasti jeho kontaktu s povrchem zrn kameniva. Ukazuje se, že je to právě tato oblast struktury betonu, jejíž vlastnosti jsou s ohledem na výsledné vlastnosti jakostních betonů oblastí rozhodující.

1.2.4 Vysokopevnostní betony

Vysokopevnostní betony (HSC) patří do kategorie vysokohodnotných betonů. Vysokopevnostní beton může být a obvykle je i vysokohodnotným betonem, a to nejen svou vysokou pevností, ale i dalšími, s pevností souvisejícími parametry, převyšujícími analogické parametry betonů běžných tříd. Je to např. vyšší odolnost proti působení CHRL a agresivnímu prostředí vůbec, vyšší vodotěsnost, nižší obrus atd.,

Obvyklé je ovšem rovněž i to, že vysokopevnostní betony bez vláken mají nižší odolnost vůči působení vysokých teplot (požár).

Nevýhody:

- **vyšší křehkost - malá duktilita, kterou lze částečně omezit použitím rozptýlené výztuže,**
- **vyšší jednotková cena betonu,**
- **vyšší náklady na náročnější kontrolu při výrobě.**

2. Složky, Technologie výroby a zkoušení

2.1 Všeobecně

Za HPC se podle platné ČSN EN 1992-1-1 označují běžné hutné betony zařazené do pevnostních tříd vyšších, než je C50/60.

Podle použitých surovin a náročnosti výroby lze HPC rozdělit do 4 základních skupin:

1. skupina – betony C 55/67 a C 60/75

- Na kamenivo nejsou kladeny zvýšené požadavky. Použije se kvalitní, ostře tříděné těžené kamenivo z relativně hladce obroušených fluviálních naplavenin. Drcené kamenivo je u hrubých frakcí rovněž dobře použitelné.
- Použitelná je i většina běžných cementů třídy CEM I a částečně i CEM II (obvykle jen CEM II-S/A) a pevnostní třídy 42,5 (N nebo R).
- Aktivní mikrovýplň není zpravidla nutná.
- Létavý popílek jako náhražka cementu vykazuje obvyklý účinek, jeho užití však v podmínkách ČR není pro značnou kolísavost kvality příliš vhodné (mimo osvědčené dlouhodobě kvalitní zdroje). Vhodnější je použití mleté vysokopecní strusky, protože ta je také latentně hydraulická a má stabilnější kvalitu.

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

- Nezbytné je omezení hodnoty vodního součinitele w/c = hmotnostní poměr voda/cement na cca 0,35 až 0,40 podle požadované třídy betonu.
- Požadovaného ztěkucení čerstvého betonu se obvykle dosahuje pomocí multifunkčních přísad na bázi polykarboxylátů či polykarboxylátetherů. Nelze vyloučit ani starší plastifikátory na bázi polymelaminů či naftlensulfonanů, pro zhoršování zpracovatelnosti s dobou od zamíchání je jejich použití obvykle méně efektivní.
- Tyto pevnostní třídy jsou dosažitelné i při správném provzdušnění (mnohdy stačí jen částečné provzdušnění - od cca 1 % a více aktivních vzduchových pórů v čerstvém betonu).

2. skupina – betony C 70/85, C 80/95 a C 90/105

- Použité kamenivo musí vykazovat vysokou pevnost, maximální velikost zrna je 16 mm.
- Jako hrubé kamenivo se doporučují zušlechtené drtě. Petrograficky je vhodný čedič. Písky mají vykazovat modul zrnitosti cca 2,5 (tj. poměrně hrubé, s min. obsahem jemných částic). Je-li použit jemný písek, musí se jeho dávka omezit. I střední frakce kameniva (typicky 4/8 mm) může být těžená.
- Vhodná hodnota w/c je eea 0,25 až 0,35 a je dosažitelná zejména pomocí multifunkčních přísad na bázi polykarboxylátů či polykarboxylátetherů. Nutný je cílený výběr této přísady s ohledem na zdroj cementu a požadovanou dobu čerpatelnosti a zpracovatelnosti čerstvého betonu.
- Použití zvláštních cementů není nezbytné. Množství CEM I je 350 až 500 kg/m³ dle požadavků na pevnost, čerpatelnost a v souvislosti s použitím či nepoužitím mikrovýplně. Velké množství cementu zvyšuje smršťování betonu a množství uvolněného hydratačního tepla. To ve svých důsledcích vede i k náchylnosti na vznik trhlin.
- Aktivní mikrovýplň lze u těchto tříd vypustit jen výjimečně (např. při využití zvláště kvalitního kameniva). Jako aktivní výplň se v ČR dosud používala převážně křemičitý úlet (silica fume), do budoucna lze očekávat také používání metakaolinu. Důvody pro tuto skutečnost spočívají zejména v celosvětovém omezení produkce mikrosiliky, jakožto odpadního materiálu při výrobě legovaných ocelí. Naproti tomu metakaolin je primární produkt, produkováný v prvé řadě ke sledovanému účelu. V ČR je hned několik konkurujících si výrobců. Snad i proto je cena rovněž příznivější než u mikrosiliky.

3. skupina – betony C 100/115, C 110/125, C 120/135 a C 135/150 (VHPC)

Dosažení těchto pevnostních tříd je v současnosti technicky a ekonomicky velmi náročné. Pro tyto betony nejsou uvedeny v ČSN EN 1992-1-1 a v ČSN EN 1992-2 charakteristické vlastnosti ani návrhové postupy, proto o nich v těchto TP není více pojednáno.

4. skupina – betony vyšší než C 135/150 (UHPC)

Složení UHPC je zcela odlišné než u betonů 1. a 2. skupiny. Vyznačují se pro nás dosud naprosto nezvyklými dávkami pojiv, přísad a příměsí a zpravidla i vysokým obsahem rozptýlené výztuže s vysokým modulem pružnosti (viz část 3.2.2). Odlišné jsou i způsoby míchání a ošetřování. V budoucnu o nich bude pojednáno v samostatném předpisu. Pro tyto betony neplatí postupy uvedené v ČSN EN 1992-1-1 a v ČSN EN 1992-2.

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

2.2 Možnosti použití HPC

Použití vysokohodnotných betonů je obecně výhodné zejména tam, kde je nutno zajistit nejen dostatečnou únosnost prvků, ale i trvanlivost.

HPC je vhodné používat zejména u těchto mostních prvků:

- štíhlé mostní podpěry,
- pylony visutých a zavěšených mostů,
- nosné mostní konstrukce se stlačenou výškou,
- prefabrikáty z předpjatého betonu,
- prvky vystavené extrémní agresivitě prostředí nebo prvky s mimořádnými požadavky na životnost (zde je vysoká pevnost vedlejším efektem)
- prefabrikáty pro vysoce namáhané detaily.

Za hlavní výhody lze považovat:

- obecně zeštíhlení konstrukcí a tím i snížení zatížení navazujících konstrukcí (zmenšení plochy betonového průřezu o cca 20%, u masivních průřezů až 30%, úspory i v porovnání s lehkými betony.
- u letných betonáží větší betonážní celky, zkrácení doby výstavby,
- možnost snížení výšky průřezu až o 25%, použití v podmínkách omezujících výšku průřezu,
- možnost vnesení většího předpětí, které je vázáno na deformace,
- při mírném snížení výšky průřezu se vzhledem k většímu E (modulu pružnosti) nemění tuhost (platí jen velmi omezeně, neboť tuhost klesá s třetí mocninou výšky betonového průřezu, kdežto s E roste jen lineárně).
- větší variabilita při optimalizaci návrhu příčného řezu (zejména u komorových průřezů),
- možnost zvětšení rozpětí nosníků při zachování průřezu,
- výrazně vyšší trvanlivost díky lepší mikrostruktuře betonu (vyšší vodotěsnost, odolnost proti mrazu a abrazi, odolnost proti chloridům, omezená rychlost karbonatace a sulfatace, apod.) a tím i vyšší životnost
- snížení nákladů na údržbu.

Kromě pevnosti v tlaku, která je vyjádřena třídou betonu, jsou dalšími výhodami vysokohodnotných betonů vyšší počáteční pevnosti betonů (výhoda při předpínání, u prefabrikátů apod.) a vyšší hodnoty pevnosti betonu v tahu a ve smyku. Přitom je třeba si uvědomit, že pevnost v tahu narůstá pomaleji, než pevnost v tlaku. (Zatímco při pevnosti v tlaku 30MPa je pevnost v tahu cca 3 MPa (cca 1/10), při pevnosti v tlaku 90 MPa je to okolo 6 MPa (cca 1/15).

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

2.3 Složky betonu

Pro složky betonu obecně platí ČSN EN 206-1 a s ní související normy.

2.3.1 Kamenivo

Vlastnosti kameniva jsou rozhodující pro pevnost betonu v tlaku a modul pružnosti, především pak pevnost hrubé frakce.

Obecné požadavky jsou obsaženy v ČSN EN 206-1 a TKP kap.18.

Zvláštní požadavky na kamenivo musí být uvedeny v projektové dokumentaci či ZTKP.

2.3.1.1 Pro vysokohodnotné betony se musí použít kvalitních a hutných kameniv, přičemž hlavní vlastnosti, které je nutno vzít v úvahu při navrhování receptury, jsou:

- celková křivka zrnitosti, požadovaná pro HPC (i za cenu přetříd'ování kameniv u výrobců),
- geometrický tvar (tvarový index musí být blízký hodnotě 1), mechanické vlastnosti, zvláště vysoká pevnost a modul pružnosti hrubého kameniva,
- dobré spolupůsobení kameniva s cementovým tmelem.

2.3.1.2 Křivka zrnitosti má být plynulá, její optimální tvar je nutno potvrdit průkazní zkouškou. Přitom je třeba dbát na to, aby tento tvar křivky byl dlouhodobě dodržován (například poskládání křivky zrnitosti z více užších frakcí a smluvní zajištění s výrobcem o jejím dodržování). Použití jemných částic a prachu zvyšuje nároky na množství vody a/nebo přísad.

2.3.1.3 Maximální velikost zrna kameniva je 16 mm. U pevnostních tříd vyšších než C 80/95 jen 11mm. Je to proto, že v důsledku smršť'ování cementového tmele dochází ke vzniku mikrotrhlin v okolí zrn hrubého kameniva (nesmršť'ujícího se). Příliš jemnozrnné betony vykazují vyšší smršť'ování a dotvarování. Se vzrůstající jemnozrnností navíc roste spotřeba cementu.

2.3.1.4 Pro třídu C70/85 a výše se pro hrubé frakce doporučuje výhradně drcené kamenivo z důvodu větší soudržnosti. Hrubá zrna musí být dostatečně pevná, absolutně čistá bez prachových částic, nesmí obsahovat reaktivní SiO₂ a musí dosahovat vhodné granulometrie. Vhodné jsou tedy drcené a následně prané frakce; čedičové kamenivo lze použít obvykle neprané.

2.3.1.5 Drobné kamenivo je nejvhodnější těžené prané s plynulou granulometrií a má obsahovat vyšší obsah středních a větších částic tak, aby spolu s jemnými příměsemi, pokud se použijí, vytvářely plynulou křivku zrnitosti. Použití drcených zrn je vhodné, pokud neobsahují velké množství jemných částic, neboť mohou zhoršovat zpracovatelnost.

2.3.1.6 Doporučení pro druh horniny se často zakládají na regionální dostupnosti materiálu a nelze definovat jejich obecnou platnost. Nedoporučují se hrubozrnné minerály s kluznými plochami. Nevhodné jsou horniny s vyšším obsahem slídy pro její vysokou potřebu vody a nízkou pevnost. V podmínkách ČR se osvědčilo použití čediče pro hrubé a případně i střední kamenivo. Při výrobě HPC třídy C70/85 a vyšší obvykle nelze spoléhat na využití lokálních zdrojů kameniva a je nutné zakalkulovat do nákladů i dovoz kameniva z větší vzdálenosti. Vhodnou lokalitu pro odběr kameniva lze obvykle nalézt na www.betonserver.cz.

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

2.3.1.7 Pevnost v tlaku kameniva musí být vyšší než pevnost cementového tmele.

2.3.1.8 Z hlediska modulu pružnosti kameniva jsou 2 varianty :

- shoda ve velikosti modulů pružnosti kameniva a ztvrdlého cementového tmele vede k vysoké pevnosti betonu,
- rozdílné moduly pružnosti zmírňují nežádoucí křehkost betonu.

Tyto hodnoty musí být uvažovány při návrhu betonu.

Poznámka: Obvykle se požaduje co možná největší shoda cementového kamene a kameniva v modulu pružnosti a zároveň se upřednostňuje vyšší pevnost hrubého kameniva (tj. k poruše dochází v cementovém tmelu obvykle na styčné ploše s kamenivem).

2.3.1.9 U HPC se požaduje odolnost proti působení vody, mrazu a CHRL. Proto musí být kamenivo mrazuvzdorné.

2.3.1.10 Použití recyklovaného kameniva je zakázáno.

2.3.2 Cement

Obecně je vhodnost cementu prokázána, pokud vyhoví požadavkům ČSN EN 197-1. Kontrola jakosti cementu se provádí dle ČSN EN 206-1.

Pro výrobu vysokopevnostních betonů se v zásadě používají stejná pojiva jako při výrobě běžného betonu. To platí jak pro různé minerální složení slínku portlandského cementu, tak pro přímletí latentně hydraulicky působících a pucolánových materiálů (resp. jejich přidání ve výrobně betonu), jakož i pro jemnost mletí.

Pozn.: Velké rozdíly v množství pojiv ve srovnatelných recepturách jsou dány regionální dostupností a často je výběr pojiva motivován čistě ekonomickou kalkulací. Nutná je proto optimalizace v technickém i ekonomickém směru.

2.3.2.1 Druh cementu

Pro mostní stavby se doporučují portlandské cementy, které v betonu zajišťují lepší ochranu výztuže před korozi v důsledku vyšší alkalické kapacity odpovídajícího cementového tmele. Při ověření návrhu lze použít i některé cementy směsné třídy CEM II, popř. CEM III./A.

Podle čl. 5.1.2 ČSN EN 206-1, Z3 lze pro konstrukce z předpjatého betonu, jejichž předpínací výztuž je proti korozi chráněna pouze betonem, použít pouze cementy CEM I a CEM II/A-S (za předpokladu, že je zabezpečena a průkazní zkouškou doložena dostatečná alkalická rezerva betonu).

2.3.2.2 Množství cementu

Množství cementu musí být optimální (ovšem v souladu s TP 137), závisí na požadované pevnosti ztvrdlého betonu, zpracovatelnosti čerstvého betonu a dalších vlastnostech (obvykle se pohybuje v rozmezí 350 až 500 kg/m³). S ohledem na vývoj hydratačního tepla a nebezpečí

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

vzniku trhlin se doporučuje množství cementu 400 – 450 kg/m³ pro třídy vysokohodnotných betonů do C80/95.

Při použití křemičitého úletu nebo metakaolinu je možno snížit dávky cementu pod 400 kg/m³, je však třeba dbát na zachování alkalické kapacity cementového tmele.

Zásadním problémem v podmínkách ČR je požadavek na maximální množství alkálií v cementu, které udává TP 137, ve vazbě na poměrně vysoká množství cementu, která HPC vyžadují. Důvodem pro toto omezení je obava z alkalického rozpínání ztvrdlého betonu.

2.3.2.3 Vývoj pevnosti a konečná pevnost HPC závisí mj. na výběru cementu. Hlavními faktory, které ovlivňují pevnost jsou vedle vodního součinitele složení slínku a jemnost mletí cementu. Pro HPC pevnostní třídy do C 70/85 lze použít CEM I 42,5; pro vyšší pevnostní třídy betonu cement CEM I 52,5, může vyhovět i kvalitní CEM I 42,5, popř. směsné cementy CEM II 42,5 nebo 52,5.

2.3.2.4 Vždy je nutno posuzovat systém pojivo (cement + příměsi)-multifunkční přísada, tj. sledovat fyzikální a chemickou kompatibilitu těchto složek. V každém jednotlivém případě musí být kompatibilita potvrzena průkazní zkouškou čerstvého a ztvrdlého HPC (dále viz TKP 18, P1).

2.3.2.5 Vlivy minerální báze cementu

Při výběru pojiv je nutno zvážit vliv rozdílné minerální báze cementu. Hlavní charakteristiky jsou:

- pro betony s vysokou konečnou pevností jsou podstatně nízký obsah C3A a C4AF a alkálií a naproti tomu zvýšení obsahu C3S a C2S,
- minerály slínku C3S mají největší vliv na vývoj pevnosti v cementovém tmelu, C3S ovlivňuje jak rychlý nárůst pevnosti tak i konečnou pevnost a trvanlivosti,
- C2S – vyšší obsah zpomaluje nárůst počáteční pevnosti, ale významně přispívá ke konečné pevnosti, menší obsah snižuje vývoj hydratačního tepla,
- C3A – vyšší množství částečně ovlivňuje nárůst pevnosti v raném stáří, jestliže není požadován vysoký nárůst krátkodobé pevnosti, pak vede snížení obsahu C3A k vyšší konečné pevnosti,
- alkálie - vysoký obsah zvyšuje počáteční pevnost a snižuje konečnou pevnost, obsah alkálií v betonu je navíc limitován pro zamezení alkalického rozpínání betonu (viz čl. 2.3.2.2. a TP 137).

2.3.2.6 Používají se běžné cementy s hodnotou mletí Blaine od 3000 cm²/g (použití jemněji mletých cementů má pouze marginální vliv na dlouhodobou pevnost betonu).

Jemnost mletí slínku ovlivňuje hydrataci. Větší měrný povrch vede k rychlejší reakci, ale může snížit vývoj pevnosti po 28 dnech. Jemnější mletí se doporučuje požadovat pouze ve zvláštních případech, kdy je požadována vyšší počáteční pevnost.

Pokud se používá směsi cementu s podstatně jemnějším křemičitým úletem (Blaine 20 000 cm²/g) či metakaolinem, zrnitostní složení se neudává.

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

Poznámka:

- problémy související s uvolňováním hydratačního tepla cementu nestoupají proporcionálně s obsahem cementu, protože neúplná hydratace množství uvolnitelného tepla vztaheného k obsahu cementu snižuje. Křemičitý úlet pro hodnoty w/c pod 0,4 množství tepla zmenšuje,
- ultrajemné cementy (macro defect free) se specifickými povrchy cca 10 000 a 15 000 cm²/g, s nimiž lze vyrábět vysokopevnostní, polymericky vázané formovací pasty, nenáležejí k pojivům pro běžné ani vysokopevnostní betony a nejsou předmětem hodnocení,
- doporučuje se též věnovat pozornost kvalitě sádrovce přidávaného do cementu při jeho výrobě.

2.3.3 Voda a vodní součinitel

2.3.3.1 Záměsová voda musí splňovat požadavky podle ČSN EN 1008. Pro HPC nelze použít recyklovanou záměsovou vodu.

2.3.3.2 Vodní součinitel (w/c)

Hodnota vodního součinitele ($w/c = \text{hmotnostně obsah vody} / \text{obsah cementu}$) nesmí překročit 0,45. Za optimální se považuje rozmezí $0,40 > w/c > 0,25$.

2.3.3.3 Velmi nízká hodnota w/c urychluje vývin hydratačního tepla a nárůst pevností, tyto hodnoty musí být potvrzeny při průkazných zkouškách.

2.3.3.4 Do hodnoty w/c se (vedle vody a cementu) zahrnují i obsah vody v suspenzi křemičitého úletu (je-li použita tato forma), celkové množství tekutých přísad. Vedle cementu se zahrnuje i obsah pevné fáze suspenzí křemičitého úletu apod. a celkové množství ostatních přidávaných pucolánových materiálů.

2.3.4 Přísady

Nutnou podmínkou úspěšného návrhu HPC je použití účinných a kompatibilních přísad. Přísady musí vyhovět normám ČSN EN 931, ČSN EN 480 a ČSN EN 206 -1, Změna 3. Vzhledem k podmínkám pro výrobu HPC a současnému výraznému pokroku ve výrobcích stavební chemie, ztrácí dělení některých (v podstatě plastifikačních) přísad uvedené v normě ČSN EN 934-2 smysl. Dále se používá výraz „plastifikátor“ (bez předpon super, hyper, ultra apod.) či nověji termín „multifunkční přísada“.

Použití přísad do HPC je nezbytné ze 3 hlavních důvodů:

- je nutno kvalitně dispergovat částice pojiva,
- je nutno snížit obsah vody v betonu (a případně i obsah cementu pro daný vodní součinitel),
- je nutno zajistit zpracovatelnost čerstvého betonu po požadovanou dobu.

Často lze tyto požadavky zajistit jednou moderní přísadou, proto lze za vhodné považovat označení „multifunkční přísada“, které je navíc v souladu s ČSN EN 934-2.

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

2.3.4.1 Vhodnost jednotlivých přísad a jejich kombinací musí být ověřena průkaznými zkouškami. Nutný je průkaz jejich fyzikálně-chemické kompatibility s použitým cementem a ostatními jemnými částicemi.

2.3.4.2 Na rozdíl od běžných betonů se v HPC uplatňují zejména moderní přísady na bázi polykarboxylátů, a to jako plastifikační, případně multifunkční.

Další často používanou přísadou jsou zpomalovače tuhnutí a tvrdnutí betonu (retardéry). Výrobky na bázi cukrů jsou zakázány.

Příklady množství plastifikačních či multifunkčních přísad jsou uvedeny v tabulce 2.1.

2.3.4.3 Vyšší dávky plastifikátorů mohou zvětšit plastické smršťování a případně i autogenní smršťování a dotvarování betonu. Tyto a další vlivy, které ovlivňují vlastnosti betonu, musí být ověřeny průkaznými zkouškami.

2.3.5 Příměsi

Použití příměsí není nutné, pokud čerstvý i ztvrdlý beton prokáží požadované vlastnosti.

Příměsi se dle ČSN EN 206-1 se dělí na :

- druh I – inertní příměsi (kamenná moučka, mletý vápenec a různé pigmenty),
- druh II – pucolány či latentní hydraulické příměsi (zejména popílek, mletá struska, metakaolin a koloidní SiO₂ tj. křemičitý úlet).

Příměsi II. druhu lze částečně nahradit kamennou moučkou či velmi jemným kamenivem frakce 0-2mm. Tato náhrada má obvykle pozitivní vliv zejména na zpracovatelnost a omezení tvorby mikrotrhlin.

Vzhledem k omezené dostupnosti kvalitních popílků je další věnováno zejména použití křemičitého úletu a metakaolinu.

Křemičitý úlet či metakaolin v množství nad cca 7% hmotnosti cementu obecně způsobují větší přírůstek dlouhodobé pevnosti než stejně velké množství cementu.

U tříd betonu vyšších než C70/85 se obvykle používá křemičitého úletu či metakaolinu.

2.3.5.1 Křemičitý úlet může jako vedlejší průmyslový produkt vykazovat velmi rozdílné vlastnosti a proto je jeho použití podmíněno splněním požadavků ČSN EN 13263. V této normě jsou uvedeny zkoušky, kterými musí být prokázána jeho vhodnost (zejména ztrátu žíháním, jemnost, pucolánickou aktivitu, určení obsahu SiO₂ a požadavek na množství vody). Metakaoliny lze v zásadě posuzovat podle téže normy, navíc jako primární produkt jsou obvykle i předmětem podnikových norem výroby.

2.3.5.2 Doporučená dávka křemičitého úletu a metakaolinu je 10%, maximální hranice cca 15% z hmotnosti cementu. Větší množství již zpravidla nepřispívá ke zvýšení pevnosti betonu.

2.3.5.3 Pro dostatečné rozptýlení křemičitého úletu nebo metakaolinu je nutné použití plastifikační přísady, a proto se u HPC betonu v čerstvém stavu musí účinek těchto příměsí a

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

plastifikační přísady posuzovat společně. Zejména je nutno vzít v úvahu vliv na rychlost vývoje hydratačního tepla a na jeho velikost.

2.3.5.4 Křemičitý úlet je možné použít jak v práškové tak v suspenzní podobě. Suspenzní podoba poskytuje obvykle lepší výsledky díky lepší dispergaci tohoto velmi jemného materiálu. Výhodné (úspora zásobníků na práškovité materiály, jednodušší doprava) je i použití směsi cementu s křemičitým úletem s obsahem úletu 6 -10%, které se označují CEM II/A-D. Metakaolin se zatím dodává pouze ve formě prášku.

2.3.5.5 Vliv obsahu popílku na konečnou pevnost je omezený v závislosti na jeho celkovém množství. Vliv obsahu strusky v množství do cca 10% cementu na dlouhodobé pevnosti bývá již zřetelně (nikoli však zvlášť výrazně) příznivý. Přidání popílku příznivě ovlivňuje zpracovatelnost betonu (je možno snížit množství plastifikátorů nebo snížit vodní součinitel), pokud ovšem převládá kulovitý tvar částic popílku.

Tyto příměsi ovlivňují proces hydratace cementu tak, že je pomalejší a teplotní maxima jsou nižší.

2.3.6 Vlákna do betonu - rozptýlená výztuž

Mezi hlavní obecné nevýhody betonu patří jeho křehkost a smršťování. To platí zvláště pro běžně vyztužené HPC betony, které mají vysoké autogenní smršťování. HPC betony mají kromě vysoké pevnosti velmi vysokou nepropustnost a velmi vysokou odolnost proti vlivům prostředí (včetně karbonatace, která ovlivňuje trvanlivost ocelové výztuže). Trvanlivost a nepropustnost z nich vyrobené konstrukce však může být ohrožena vznikem a rozvojem trhlin. Uvedené platí i při současných vysokých nárocích na tloušťku krycí vrstvy. Tento nedostatek HPC lze významně omezit použitím rozptýlené výztuže s vysokým modulem pružnosti, zatím především ocelové, případně uhlíkové. Lze tak velmi významně zlepšit vlastnosti a funkci krycí vrstvy.

Staticky významný může být i vliv uvedené rozptýlené výztuže na únosnost a spolehlivost prvků s velmi vysokým smykovým namáháním. Rozptýlenou výztuží lze případně částečně nahradit složitou a pracnou betonářskou výztuž.

Ocelové drátky jsou dále často využívány v průmyslových podlahách a to s cílem omezit nebo vyloučit dilatační spáry. S uvedeným cílem byl drátkobeton využit i pro bezespárou mostní vozovku. Beton s rozptýlenou výztuží se může významně uplatnit i v případech účelné tenkostěnnosti konstrukce.

Vše uvedené platí zejména pro UHPC. Jako UHPC jsou zpravidla označovány jen betony, jejichž pevnost v tahu za ohybu je alespoň 15 MPa. Proto je u těchto betonů použití ocelových drátků prakticky nevyhnutelné; účelný zde bývá vysoký obsah rozptýlené výztuže až 120 kg/m² (1,5 % objemu betonu), ve výjimečných případech i více (též v závislosti na rozměrech a tvaru drátků).

Pro výše uvedenou oblast využívání nelze vliv rozptýlené výztuže hodnotit jen podle pevností běžných zkušebních těles. Je třeba zkoušet i přetvárné vlastnosti vláknobetonu (drátkobetonu). Proto se při namáhání hranolu na ohyb měří a hodnotí napětí na mezi vzniku trhlin a dále reziduální pevnosti, tedy napětí, která svým přetvořením nebo šířkou trhliny odpovídající meznímu stavu přetvoření a meznímu stavu únosnosti.

Dostatečně vysoký modul pružnosti mají i skleněná vlákna se zabezpečenou odolností proti působení alkalického prostředí. Pro dříve uvedené požadavky je jejich důležitým nedostatkem jejich křehkost.

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

Běžně dostupná polymerová vlákna jsou v daných souvislostech nevýhodná pro jejich nízký modul pružnosti (běžná polypropylenová vlákna mají modul pružnosti zpravidla pod 3 GPa). Z uvedeného důvodu se dostupná polymerová vlákna uplatňují jen v počátečním období zpevňování betonu, ve kterém má beton velmi malý modul přetvárnosti; cílem je vyloučit vznik smršťovacích trhlin v době před prořezáním dilatačních spár (přesněji smršťovacích spár). Plastová (polypropylenová) vlákna dále velmi příznivě ovlivňují požární odolnost betonových konstrukcí.

Nevýhodou použití rozptýlené výztuže bývá její nepříznivý vliv na konzistenci betonu, zvláště při měrném obsahu drátků nad 120 kg/m³ betonu. Tento vliv lze významně omezit použitím jemnozrnného betonu. Uvedené platí zvláště pro UHPC, kde se velmi dobře uplatňují i betony se zrny do 1,25 mm, případně i do 0,5 mm. Někdy je třeba náročně řešit i způsob rozduřování a dávkování drátků tak, aby nedošlo k jejich shlukům („ježkům“) a aby se zajistilo jejich homogenní rozložení v jimi vyztužené části betonového prvku.

Poznámka: Významnou nevýhodou účinné rozptýlené výztuže bývá takové zvětšení materiálových nákladů, které není eliminováno úsporami vyplývajícími ze snížení pracnosti. Při měrném obsahu drátků 120 kg/m³ je orientační nárůst materiálových nákladů o cca 2400 Kč/m³ betonu. Uvedeným vysokým měrným obsahem se však dosahuje vlastností odpovídajících požadavkům na UHPC; v tomto případě se uplatní i úspory vyplývající z omezení objemu a hmotnosti betonu.

2.4 Výroba betonu

Pro výrobu HPC musí být zaveden systém řízení, za který je odpovědný výrobce. Řízení výroby musí odpovídat ČSN EN 206-1, která vychází ze zásad ČSN EN ISO 9001.

Doplňující požadavky pro HPC jsou uvedeny v ČSN EN 206-1, Příloha H.

2.4.1 Výroba a její řízení

Před zahájením výroby musí být provedeny a schváleny průkazní zkoušky betonů, zpracován a schválen kontrolní a zkušební plán a technologický předpis výroby dle TKP 18.

2.4.1.1 Kontrola kvality složek a zařízení

Pro HPC se požaduje:

- u cementu, příměsí a přísad před každou dodávkou odběr kontrolních vzorků, které se uschovají až do průkazu trvanlivosti betonu; doporučuje se provádění kontrolních zkoušek složek betonu, minimálně však vaznosti cementu,
- průběžné měření vlhkosti kameniva,
- 1x denně ověření křivky zrnitosti kameniva,
- dostatečné skladovací prostory pro používané příměsi a přísady,
- míchací zařízení musí mít dostatečnou účinnost,
- přesnost zařízení na dávkování složek musí být denně kontrolována,
- případně splnění dodatečných požadavků na kontrolu kvality dalších složek HPC.

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

2.4.1.2 Dodací listy

Dodací listy musí obsahovat veškerá automaticky tištěná vážní data, k nimž se dopíše následující údaje:

- vlhkost kameniva do betonu,
- maximální množství plastifikátoru dávkovaného případně do mixu na stavbě před uložením betonu a minimální doba dodatečného promíchání v mixu,
- čas míchání, naložení, příjezdu, začátku a konce ukládání.

2.4.1.3 Plán kvality

Jeho vyhotovení a schválení je podmínkou zahájení výroby. V tomto plánu musí být uvedeno zejména:

- požadované zkoušky a kontroly,
- způsob provádění zkoušek s odkazem na platné předpisy,
- četnost zkoušek,
- způsob zajištění zkoušek,
- hraniční hodnoty a maximální míra rozptylu, možno požadovat individuální hodnoty,
- kompetence a odpovědnost jednotlivých pracovníků.

Plán kvality musí obsahovat nezbytná opatření při nedodržení limitních odchylek. V plánu kvality musí být jednoznačně definovány osobní kompetence při jednotlivých činnostech (výroba, doprava, ukládání, ošetřování atd.). Zodpovědné osoby musí výsledky kontrol a zkoušek dokumentovat předepsaným způsobem.

Plán kvality zpracovává výrobce betonu ve spolupráci se zhotovitelem díla a musí být schválen objednatelem. Plán výroby se zpracuje až po dokončení průkazních zkoušek a zkušenosti se do něho zapracují.

Pro každou stavbu musí být provedena kontrola, že existuje v dostatečném rozsahu průkazní zkouška.

Průkazní zkouška se provádí s použitím vysušeného kameniva nebo kameniva s přesně změřenou vlhkostí.

Obsah vody čerstvého betonu se určí dodatečně sušením nebo přepočtem. Totéž se učiní při výrobě zkušebních těles.

Doporučuje se provádět průkazní zkoušku za teplot, které jsou maximálně o 5°C vyšší, než budou předpokládané teploty při vlastním provádění.

Kontrolní zkouška konzistence se provádí v následujících etapách:

- po naložení betonu,
- před a po každém přidání ztekucovače či plastifikátoru během dopravy a zpracování čerstvého betonu,
- před ukládáním čerstvého betonu.

Časové intervaly musí být zdokumentovány.

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

2.4.1.4 Výroba a vlastnosti betonu

Vysokohodnotné betony do C 90/105 s vodním součinitelem v rozmezí 0,23-0,40 se vyrábějí pomocí konvenčních technologií v běžných výrobnách.

Tabulka 2.1 Příklady složení betonů

Třída	Běžný beton	HPC	HPC	HPC
Průměrná válcová pevnost $f_{cm,28}$ [MPa]	50	75	100	125
Rozsah válcových pevností [MPa]	37,5-62,5	62,5-87,5	87,5-112,5	112,5-137,5
Cement třídy	32,5-42,5	42,5	42,5-52,5	52,5
Cement [kg/m ³]	300-400	350-450	400-500	450-550
Plastifikátor [%hm]	0-1,0	-	-	-
Multifunkční přísada [% hm]	0-0,6	1-1,5	1,5-2,5	2,5-3,5
Provdzdušňovací přísada [% hm]	0,5 – 1,5	0,2 – 0,8	0,2 – 0,5	0,15 – 0,3
Zpomalovač* [%hm]	-	0,1-0,2	0,1-0,3	0,1-0,4
Pevnost kameniva [MPa]	>75	>100	>150	>150
Max. zrno kameniva [mm]	32	22	11-16	11-16
Vodní součinitel	0,40-0,45	0,30-0,35	0,25-0,30	0,23-0,25
Konzistence – rozlití [cm]	40-42	42-48	49-60	49-60

*Poznámka:** Nutno prověřit průkazní zkouškou, protože zvyšuje hydratační teplo (vrchol).

2.4.1.5 Požadavky na výrobu HPC

Základní požadavky jsou:

- HPC s požadovanou kvalitou mohou dodávat betonárky s vybavením odpovídajícím ČSN EN 206-1 se zvýšenou přesností výroby,
- vypracování a dodržování plánu kvality,
- ověření zpracovatelnosti zkouškami před zahájením výroby,
- provádění zkoušky zpracovatelnosti při každé dodávce a to jak na staveništi tak i ve výrobně,
- stanovení požadavků pro přesnost dávkování, četnost kalibrace měřidel a jiných požadavků na výrobu betonu specifikátorem.

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

Ve specifikaci doplňujících požadavků v dokumentaci nebo ZTKP pro jednotlivé konstrukce je nutno zohlednit:

- třídu betonu,
- agresivitu prostředí,
- charakter konstrukce,
- technologii výroby,
- dopravu betonu,
- způsob betonáže,
- hutnění a ošetřování betonu.

2.4.1.6 Zásadní podmínkou pro výrobu HPC je:

- dosažení požadované konzistence,
- zajištění potřebné doby zpracovatelnosti,
- zajištění stability čerstvého betonu (omezení odsazování vody a plastického sedání),
- stejnoměrnost těchto vlastností během celého trvání výroby a zpracování betonu.

2.4.1.7 Před zahájením výroby je nutno stanovit max. rozptyl všech vstupních parametrů, při kterém ještě nedojde ke snížení požadovaných vlastností betonu. Každá nepřesnost vede ke změnám, které výrazně ovlivňují výsledné parametry.

2.4.1.8 Je-li cílem konečná válcová pevnost nad hodnotou 100 MPa, je přídavek křemičitého úletu nezbytný, není-li užito jiných vhodných příměsí. Tyto jemné částice se musí do betonu přidávat jemně rozptýlené. Suroviny se sklonem k hrudkovatění je třeba vhodně upravit peletizací nebo je dodat ve formě vodní suspenze.

2.4.1.9 Pokud kamenivo neobsahuje jemné částice, doporučuje se použít jemné příměsi pro zlepšení zpracovatelnosti a nepropustnosti ztvrdlého betonu.

2.4.1.10 Zcela nepřijatelné je dodatečné doplňování vody do čerstvého betonu. Úpravy konzistence jsou možné pouze ověřeným způsobem, který je popsán v plánu kvality a ověřen průkaznými zkouškami (např. přídavkem plastifikátoru).

2.4.1.11 Zpracovatelnost

Zkoušku zpracovatelnosti je nutno ověřit průkaznými zkouškami v různých časových intervalech odpovídajících skutečným podmínkám při výrobě, dopravě a ukládání betonu.

Pro zkoušky zpracovatelnosti se doporučují použít jiné metody (míra rozlití) než sednutí Abramsova kužele. Způsob zkoušení zpracovatelnosti musí být stanoven při průkazných zkouškách.

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

2.4.1.12 Technickou úroveň a systém řízení výroby betonu posuzuje inspekční orgán – viz Příloha C ČSN EN 206 – 1 a TKP 18.

2.4.2 Míchání

2.4.2.1 Intenzita míchání

Obecně se požaduje vyšší intenzita míchání než u běžných betonů (tj. talířový nebo žlabový míchač) a prodloužená doba míchání. Tento požadavek je nutný zejména při použití křemenného prachu a multifunkčních přísad na bázi polykarboxylátů. Obvykle se snižuje i stupeň zaplnění míchačky proti výrobě běžných betonů.

2.4.2.2 Postup míchání

Postupy míchání se navrhnou individuálně s ohledem na zkušenosti. Musí však být ověřeny průkazní zkouškou a je nutno je bezpodmínečně dodržovat.

Nejčastěji se v první fázi míchá kamenivo s cementem a práškovými příměsemi. Následně se přidává křemičitý úlet ve formě vodní suspenze (je-li použita tato forma) a nakonec tekuté přísady.

Postup přidávání jednotlivých druhů přísad a čas pro jejich zamíchání se musí ověřit průkazními zkouškami.

2.4.3 Doprava, zpracování a ošetřování

2.4.3.1 Doprava

Pro dopravu jsou postačující běžně používané transportní prostředky.

2.4.3.2 Ukládání betonu

Pro ukládání betonu platí ČSN EN 13670.

HPC obvykle vykazuje větší citlivost zpracování a ošetřování než běžné betony,

Požadavek na zpracovatelnost se uplatňuje v okamžiku ukládání betonu do bednění. Ztráta plasticity během dopravy musí být kompenzována například:

- již při výrobě betonu na betonárně (receptura musí omezovat ztrátu zpracovatelnosti během dopravy)
- přidáním přísad do autodomíchavače těsně před ukládáním betonu.

2.4.3.3 Hutnění

Zhutňování betonu je obtížnější než u běžných betonů, a proto je mu nutno věnovat zvýšenou pozornost. Čerstvý beton je v důsledku použití vysoce účinných plastifikačních přísad tekutý a často „medovitý“, takže se roztéká po poměrně dlouhou dobu, což je problém, např. při spádování. To je nutno řešit vhodnou formulací multifunkční přísady. Způsob hutnění je nutno ověřit průkazní zkouškou, jejíž součástí je praktické ověření ve výrobě.

Nedostatečně zhutněný beton vykazuje velké ztráty v pevnosti. Vzhledem k obvyklému silnému vyztužení je nutno přizpůsobit velikost vibrátorů vzdálenosti vyztuže.

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

V případě výroby samozhutitelného HPC je vibrování zakázáno.

2.4.3.4 Ošetřování

Ošetřování má významný vliv na trvanlivost betonu a porušení trhlinami, vliv na pevnost je výrazně menší. Nejsou požadovány žádné speciální druhy ošetřování. Nutná je důsledná aplikace konvenčních metod a její kontrola. Nutné je okamžité ošetřování po uložení betonu, kterým se zabrání ztrátě vody nutné pro hydrataci.

Důsledky špatného ošetřování mají výrazný vliv na vlastnosti povrchových vrstev betonu.

Při ošetřování je bezpodmínečně nutná ochrana povrchu betonu před vypařováním vody do atmosféry. Preferuje se ošetřování vodou se zakrytím fóliemi před aplikací nástřiků různých membrán. Vlhčení povrchu betonu zabraňuje (omezuje) jeho smršťování a vzniku trhlin.

HPC obvykle vyžaduje důslednější dodržování výše uvedených požadavků.

2.4.3.5 Doba ošetřování

Zejména vzhledem k rychlé hydrataci a rychlému nárůstu pevností je doba ošetřování obvykle delší než u běžných betonů.

Proti běžným betonům je nižší náchylnost k tzv. "bleedingu" - krvácení betonu. Důvodem je vyšší obsah jemných částic.

2.4.4 Riziko vzniku trhlin

2.4.4.1 HPC s nízkým vodním součinitelem jsou trhlinami ohroženy daleko více než běžné betony. Důvodem jsou časné a značné teplotní spády v důsledku vývoje hydratačního tepla, výraznější účinky autogenního smršťování a superponování vzniklých napětí s účinky smršťování od vysychání a od případného omezení volného přetvoření.

2.4.4.2 Riziko vzniku trhlin je nutno pro praktické účely stanovit na základě vývoje hydratačního tepla a druhu konstrukce (vliv vnějších vazeb). Účinnou obranou je snížení teploty čerstvého betonu a uvolnění vnějších vazeb v období tuhnutí a tvrdnutí. Při posouzení rizika vzniku trhlin je nutno vzít v úvahu zejména vlivy :

- tepelné roztažnosti (vliv hydratačního tepla),
- smršťování (autogenní i v důsledku vysychání),
- druh konstrukce a vnější vazby,
- relaxace betonu,
- technologie betonu (výroba, doprava, ukládání, konzistence atd.).

2.4.4.3 Hlavní možnosti pro omezení rizika vzniku trhlin:

- důsledné ošetřování betonu v počátečních fázích tvrdnutí – dle TKP 18,
- rozptýlená výztuž
- snížení vodního součinitele,
- použití speciálních přísad proti smrštění (nutno ověřit průkazní zkouškou),

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

- respektování zásad TP xxx: Zásady pro omezení vzniku trhlin v betonových mostech.

2.4.4.4 Směsné cementy lze použít za podmínek, které specifikují ČSN EN, zejména ČSN EN 206-1, Změna 3.

2.4.4.5 Autogenní smršťování, v jehož důsledku mohou vznikat mikrotrhliny a může dojít ke ztrátě pevnosti, je výrazně vyšší než u běžných betonů. Proto jakákoliv ztráta vody v důsledku působení klimatických podmínek na povrch betonu má negativní vliv na výslednou kvalitu betonu.

Po více než cca 100 dnech je průběh smršťování od vysychání přibližně stejný jako u běžných betonů. Smršťování závisí více na poměru celkového množství vody k celkovému objemu betonu než na vodním součiniteli.

2.4.4.6 HPC ve fázi plastické jsou, vlivem nízkého vodního součinitele a použitých multifunkčních přísad, velmi náchylné ke vzniku plastických trhlin. Riziko vzniku těchto trhlin je nutno posoudit při průkazných zkouškách a následně při provozním ověření.

2.4.5 Teplota čerstvého betonu

Teplota čerstvého betonu a teplota prostředí musí být, v případě větších objemů betonáže, průběžně monitorovány. Průkazní zkouškou se stanoví teplotní podmínky pro výrobu, dopravu, ukládání a ošetřování čerstvého betonu.

Vysoký obsah pojiva a minimální obsah vody mají protichůdný účinek na vznik tepla. V případě potřeby se doporučuje snížení teploty čerstvého betonu známými způsoby: předchlazením výchozích surovin, přidávkem ledové tříště nebo vháněním tekutého N₂ do hotového čerstvého betonu.

2.4.5.1 Obecně lze konečnou pevnost příznivě ovlivnit ukládáním betonu ve vhodných klimatických podmínkách, tj. při nízkých teplotách a udržení této teploty během hlavní fáze hydratace. Tím se snižuje riziko vzniku trhlin v tvrdnoucím betonu.

2.4.5.2 Vysoká teplota při ukládání, tuhnutí a tvrdnutí negativně ovlivňuje vlastnosti ztvrdlého betonu. Je proto snaha o co nejnižší teplotu vstupních složek již při výrobě. Doporučuje se teplota betonu při výrobě 5 - 15 ° C, není-li specifikátorem stanoveno jinak. Za extrémních klimatických podmínek je vhodné betonáž odložit.

2.4.5.3 Zpracovatelnost HPC závisí na teplotě, neboť ta ovlivňuje množství vody v čerstvém betonu (vyšší teplota betonu vyžaduje více vody), proto návrh receptur musí deklarovat použitelnost čerstvého betonu vzhledem k jeho vlastní teplotě, teplotě vnějšího prostředí a možné modifikace v závislosti na teplotních změnách.

2.4.5.4 Teplotní gradient je nutno pro masivní konstrukce ověřit výpočtem. Max. povolenou hodnotu, tj. 20°C, je nutno u všech konstrukcí dodržet.

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

2.5 Vlastnosti betonu, zkoušení

2.5.1 Zkoušky čerstvého betonu

Zkoušky čerstvého betonu se navrhují zejména pro ověření zpracovatelnosti betonu. Zkouškami se má ověřit, že beton lze zabudovat do konstrukce tak, aby se vytvořily předpoklady pro splnění jeho požadovaných vlastností po ztvrdnutí.

Vlastnosti jsou specifikovány v ČSN EN 206-1 a v TKP Kap. 18 a zkouší se podle ČSN EN 12350 - část 1-7 (73 1301).

Za základní vlastnosti se považují:

- vodní součinitel,
- obsah vzduchu a zastoupení tříd velikosti vzduchových pórů,
- konzistence čerstvého betonu,
- teplota čerstvého betonu (při výrobě, ukládání a během tuhnutí),
- maximální frakce kameniva,
- množství, druh a třída cementu,
- objemová hmotnost čerstvého betonu.

Požadované hodnoty musí stanovit plán kvality a technologický předpis a ty musí být schváleny objednatelem.

2.5.2 Vlastnosti a zkoušky ztvrdlého betonu

Zkoušky ztvrdlého betonu ověřují jeho vlastnosti potřebné pro výstavbu konstrukce (např. náběh pevnosti v čase, trvanlivosti, atd.). Specifikátor stanoví rozsah zkoušek na tělesech zhotovených v místě výroby a v místě uložení betonu. Dále stanoví druh a rozsah průkazných a kontrolních zkoušek.

2.5.2.1 Objemová hmotnost betonu

Objemová hmotnost betonu se stanovuje podle ČSN EN 12390-7.

2.5.2.2 Pevnost v tlaku na zkušebních tělesech

Pevnost v tlaku se zjišťuje na zkušebních tělesech podle ČSN EN 12390-3. Pro zkoušku je nutno zajistit rovnoměrný přenos zatěžovacích sil na zkušební těleso.

U betonů pevnostní třídy do C 90/105 se nemění žádné mechanické vlastnosti materiálu skokem. Křivka závislosti napětí na přetvoření (pracovní diagram) při kvazistatické tlakové zkoušce je však u HPC betonu ve srovnání s betonem o běžné pevnosti charakterizovaná následovně:

- HPC beton vykazuje lineární chování až do hodnoty cca 80-90% maximálního napětí,
- klesající větev je prakticky neměřitelná na běžných zkušebních zařízeních,
- lehce zvýšené zakřivení při dosažení maximálního zatížení (napětí),
- poměrné zkrácení při maximálním dosaženém napětí vzrůstá s vyššími mechanickými vlastnostmi až k hodnotě 3 ‰.

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

Vznik mikrotrhlin lze předpokládat při cca 65% max. napětí pokud dochází k poruše v cementovém tmelu.

Další nárůst pevnosti po 28 dnech je obvykle výrazně nižší než u běžných betonů, záleží ovšem i na obsahu aktivních přísad. Pokud se umožňuje dosažení cílové pevnosti často až po 56, resp. 91 dnech v závislosti na konkrétním požadavku použití, musí toto být předepsáno dokumentací.

2.5.2.3 Modul pružnosti

Statický modul pružnosti se stanovuje podle ČSN ISO 6784. Musí se stanovit při průkazní zkoušce a ověřit kontrolními zkouškami.

2.5.2.4 Pevnost v tahu ohybem na zkušebních tělesech

Pevnost v tahu ohybem se stanovuje podle ČSN EN 12390-5.

Mezi pevnostmi v tlaku β_D a pevnostmi v tahu za ohybu β_{BZ} , resp. pevnostmi v příčném tahu β_{SZ} , existuje u HPC betonu jistá korelace. Pro pevnost v příčném tahu se udává vztah: $\beta_{SZ} = 0,05$ až $0,06 \beta_D$.

Dále jsou ověřeny následující vztahy : $\beta_{SZ} = 0,54$ až $0,68 \beta_D^{0,5}$ a : $\beta_{BZ} = 0,90$ až $0,94 \beta_D^{0,5}$.

Při použití křemičitého úletu jsou použitelné vyšší hodnoty.

2.5.2.5 Pevnost v příčném tahu na zkušebních tělesech

Pevnost v příčném tahu se stanovuje podle ČSN EN 12390-6.

Koeficient příčného roztažení μ je nezávislý na pevnosti, konečné úpravě a stáří betonu. Hodnota μ leží mezi 0,16 a 0,26, v průměru 0,20 a klesá s rostoucí hodnotou vodního součinitele.

2.5.2.6 Zkoušky soudržnosti výztuže

Soudržnost se stanoví podle ČSN 73 1328.

2.5.2.7 Trvanlivost betonu – odolnost povrchu betonu vůči zmrazování a rozmrazování (odolnost vůči vlivu vody a CHRL)

Obecné požadavky na trvanlivost (odolnost) povrchu betonu ve vztahu k vlivu prostředí, ve kterém je konstrukce z HPC uložena, jsou definovány a specifikovány v ČSN EN 206-1, Změně 3. Odolnost povrchu betonu proti působení vody, mrazu a chemických rozmrazovacích látek se zkouší podle ČSN 73 1326, metodami „A“ a „C“. Metoda podle ČSN P CEN/TS 12390-9 (Slabtest) se jako smluvní na stavbách pozemních komunikací v České republice zatím nepoužívá. Pro stavby pozemních komunikací je odolnost betonu při cyklickém působení mrazu, vody a CHRL předepsána a souhrnně definována v tabulkách 18-3 a 18-6 TKP 18.

Předpokládá se, že pokud beton splňuje požadavky na odolnost povrchu betonu podle kapitoly 18 TKP při zkoušce dle ČSN 73 1326, pak automaticky splňuje i kritéria pro mrazuvzdornost celého průřezu konstrukce (respektive zkoušeného vzorku) nejméně T 150 podle ČSN 73 1322.

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

2.5.3 Tělesa a zkušební postupy

Pro HPC se používají tělesa shodná s tělesy pro zkoušení běžného betonu.

2.5.3.1 Tvar zkušebních těles

Tvar, rozměry a jiné požadavky na zkušební tělesa a formy stanovuje ČSN EN 12390-1. Tvar zkušební vzorku má u HPC menší vliv na pevnost v tlaku než u betonu běžného (vliv rozdílných frakcí kameniva). Základní zkušební tělesa pro zkoušky HPC jsou krychle o hraně 150 mm a válce o průměru 150 mm a výšce 300 mm.

2.5.3.2 Výroba a ošetřování zkušebních těles

Způsob výroby a jejich ošetřování pro zkoušky pevností betonu stanovuje ČSN EN 12390-2. Požaduje se uložení zkušebních těles ve vodě.

2.5.3.3 Příprava tlačných ploch

U zkušebních krychlí se vyžaduje, aby byly vyrobeny v ocelových formách. Při použití plastových forem dochází zejména při vyšších třídách betonu ke zkreslení výsledků pevnosti a proto je nelze použít.

Tlačné plochy vzorků se koncují. Pro HPC betony lze použít pouze koncování broušením nebo pískovým boxem (viz Příloha A, ČSN EN 12390-3). Do pevnostní třídy C 80/95 lze použít přesných ocelových forem bez následného broušení vzorku. Vyrovnávací vrstvy z malty, sádry nebo síry již při válcových pevnostech cca 70 až 80 N/mm² selhávají.

2.5.3.4 Zvyšování zatížení

Zkouška se provádí podle ČSN EN 12390-3.

2.5.4 Objemové změny betonu a jejich zkoušení

Zkoušení objemových změn HPC je zkouškou, která doplňuje běžné zkoušky a vyžaduje se pouze pro betony určené pro konstrukce, kde objemové změny mohou významně ovlivnit jejich deformace nebo rozdělení vnitřních sil během času.

Pro zkoušení lze použít postup uvedený v ČSN 73 1320. Tento postup však stanovuje zejména objemové změny vznikající po odbednění (vyjmutí vzorku z formy). HPC však obvykle vykazují větší deformaci vyvolanou tzv. autogenním smršťováním. Aby bylo možné tuto deformaci identifikovat, je nutné zahájit měření bezprostředně po vybetonování, pomocí např. zabetonovaných tenzometrů.

Při zkouškách smršťování se obvykle zjišťují celkové účinky (nikoliv tedy odděleně autogenní smršťování a smršťování způsobené dlouhodobým vysycháním).

Dotvarování se doporučuje měřit stejným způsobem pomocí zabetonovaných tenzometrů, neboť pak se minimalizuje nepříznivý vliv okolního prostředí na měřenou veličinu (zejména teploty okolního prostředí).

Při měření dotvarování je třeba sledovat smršťování na identických vzorcích vyrobených ze stejné dávky betonu ve stejném čase jako vzorky pro měření dotvarování.

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

Rozsah měření se určí v dokumentaci v závislosti na významu konstrukce, pro kterou se měření provádí.

2.5.4.1 Postup měření objemových změn ihned po betonáži

Do formy se umístí tenzometr pro snímání deformace. Odměrná délka musí být min. 2/3 nejmenšího rozměru zkušebního tělesa. Měření se provádí ve střední části zkušebního tělesa ve směru jeho délky (válec, hranol). Doporučuje se využívat standardní vzorky, tj. válce nebo hranoly min. průměru 150 mm. Menší hranoly (100 x 100 x 400mm) nejsou pro měření vhodné, neboť u nich dochází k příliš rychlému vysychání betonu ve srovnání s konstrukčními prvky.

Základní čtení se sejme před betonáží vzorku. Po vyplnění formy betonem a jeho ztuhnutí se odečítají naměřené deformace nejpozději 60 min po betonáži a pak v intervalech max. 2 hod. během prvních 24 hodin. Pak lze interval snímání deformací zvětšit na 24 hodin a po cca 7 dnech dále prodloužit.

Ošetřování betonu by mělo odpovídat plánovanému ošetřování budované konstrukce, pro kterou bude zkoušený beton použit.

Při měření deformace od dotvarování betonu je třeba vyvodit min. tlakové napětí, které vyvolá deformace měřitelné s dostatečnou přesností (cca 5% - tj. citlivost měřicího zařízení musí být taková, aby odchylka nepřekročila 5% měřené veličiny). Sleduje se u pružné (okamžité nebo počáteční deformace po zatížení vzorku). Zatěžovací napětí nesmí překročit 40% krychelné pevnosti betonu. U HPC bude pravděpodobně zatěžovací napětí v dolní části přípustného rozpětí. To však nemusí být na závadu, neboť se předpokládá, že dotvarování je vzhledem k zatěžovacímu napětí lineární.

2.5.5 Trvanlivost vysokohodnotných betonů

HPC mají lepší některé vlastnosti než obyčejné betony . Příčinou je zvýšení těsnosti a nepropustnosti betonu (redukce množství a průměru kapilár) vlivem nízkého vodního součinitele a přidávání jemných příměsí (není vždy podmínkou).

Trvanlivost nemusí být v přímé korelaci s vyšší pevností, a proto pokud je vyžadována, musí se ověřit zkouškami.

2.5.5.1 Obecné požadavky na trvanlivost betonu jsou stanoveny v ČSN EN 206-1 a TKP 18. Průkaz jednotlivých vlastností, které ovlivňují trvanlivost musí být v relaci s agresivitou prostředí, v němž je konstrukce uložena. Pro mosty jsou požadavky na trvanlivost předepsány v TKP kap. 18 a v ČSN EN 206 – 1, Změně 3. Při hodnocení betonů s hlediska trvanlivosti se jedná zejména o průkaz následujících vlastností :

- stanovení hloubky průsaku tlakovou vodou dle ČSN EN 12390 – 8,
- odolnost proti působení chemických rozmrazovacích prostředků a mrazu (vlivy prostředí XF1 až XF4) se ověřuje dle ČSN 73 13 26, metodou „A“ nebo „C“,
- odolnost proti působení chemických vlivů (vlivy prostředí XA2 a XA3),
- odolnost proti abrazi,
- modul pružnosti.

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

Za základní kritéria trvanlivosti se považují:

- vodonepropustnost (např. hloubka průsaku),
- složení betonu (obsah a druh cementu, množství a druh přísad),
- obsah vzduchu, prostorové rozložení vzduchových pórů – dle TKP 18,
- obsah chloridů,
- obsah sloučenin síry v betonu,
- odpady při zkoušce dle ČSN 73 13 26 dle TKP 18.

Ve specifikaci betonu či ZTKP mohou být předepsány požadavky na další vlastnosti.

2.5.5.2 Významný je vliv křemičitého úletu na trvanlivost betonu:

- jemnější struktura pórů s minimální mírou difuze škodlivých látek,
- redukováný obsah Ca(OH)_2 .

2.5.5.3 Zásadní vliv na trvanlivost má vysychání, ošetřování, klimatické podmínky při betonáži a v době tuhnutí a časného tvrdnutí betonu a složení betonu.

2.5.5.4 Extrémně nízké hodnoty vodního součinitele mohou trvanlivost snížit, protože mikrotrhliny působí následkem vysychání podobně jako nežádoucí kapiláry.

2.5.5.5 Chemické působení křemičitého úletu

HPC s přídatkem křemičitého úletu vykazují vysokou trvanlivost vůči působení sulfátů a alkalické reakci kameniva a vykazují též vysoké odolnosti proti minerálním i organickým kyselinám.

Přídatkem křemičitého úletu váže rovněž alkálie z cementu.

2.5.5.6 Koroze oceli

HPC vykazují minimální propustnost vůči plynům, vodám a iontům. Příznivý vliv na omezení karbonatace betonu je prokázán. Větší těsnost současně zmírňuje difuzi Cl iontů a vnik vody obsahující Cl a malou elektrickou vodivost v důsledku nedostatku elektrolytu. Přidání křemenného prachu není podmínkou.

Křemičitý úlet zmenšuje též schopnost vazby iontů Cl ve ztvrdlém cementovém tmelu.

2.5.5.7 Mráz a rozmrazovací prostředky

Při působení mrazu a rozmrazovacích látek se může vyskytnout ztráta odolnosti povrchových vrstev, –popř. porucha vnitřní struktury HPC. Odolnost se může zvýšit přídatkem křemičitého úletu.

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

2.5.5.8 Zvýšená teplota

Obecně jsou HPC více náchylné na poškození vlivem vysokých teplot než běžné betony (kritické teploty již od 100°C).

2.5.5.9 Odolnost proti abrazi (houževnatost)

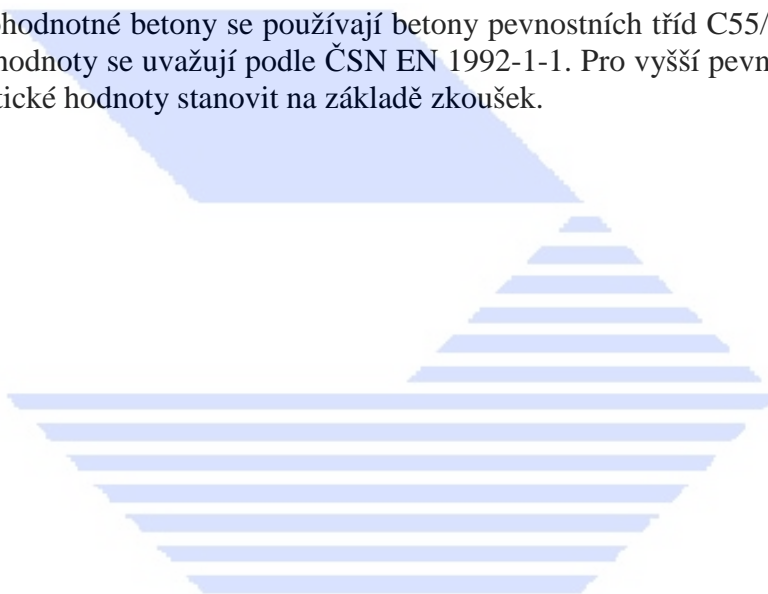
Požadavky na houževnatost betonu musí být specifikovány v dokumentaci či ZTKP s ohledem na konkrétní podmínky a provozní požadavky.

Pro zajištění houževnatosti HPC platí příslušné předpisy (např. příloha NA k ČSN EN 13670).

3. Navrhování mostních konstrukcí z vysokohodnotných betonů

3.1 Návrh podle ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 1992-2

3.1.1 Pro vysokohodnotné betony se používají betony pevnostních tříd C55/67 až 90/105. Jejich charakteristické hodnoty se uvažují podle ČSN EN 1992-1-1. Pro vyšší pevnostní třídy betonu je třeba charakteristické hodnoty stanovit na základě zkoušek.



TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

Tabulka 3. 1. Charakteristické hodnoty pevností a poměrných deformací podle ČSN EN 1992-1-1

1	f_{ck} (MPa)	50	55	60	70	80	90	Poznámky
2	$f_{ck,cube}$ (MPa)	60	67	75	85	95	105	
3	f_{cm} (MPa)	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)
4	f_{ctm} (MPa)	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	$f_{ctm} = 0,30 \times f_{ck}^{(2/3)} \leq C 50/60$ $f_{ctm} = 2,12 \times \ln(1 + (f_{cm}/10))$ > C 50/60
5	$f_{ctk, 0,05}$ (MPa)	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{ctk, 0,05} = 0,7 \times f_{ctm}$ 5 % kvantil
6	$f_{ctk, 0,95}$ (MPa)	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	$f_{ctk, 0,95} = 1,3 \times f_{ctm}$ 95 % kvantil
7	E_{cm} (GPa)	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22[(f_{cm})/10]^{0,3}$ (f_{cm} in MPa)
8	ε_{c1} (‰)	-2,45	-2,5	-2,6	-2,7	-2,8	-2,8	ε_{c1} (‰) = $-0,7 f_{cm}^{0,31}$
9	ε_{cu1} (‰)	-3,5	-3,2	-3,0	-2,8	-2,8	-2,8	ε_{cu1} (‰) = $-2,8 - 27[(98 - f_{cm})/100]^4$
10	ε_{c2} (‰)	-2,0	-2,2	-2,3	-2,4	-2,5	-2,6	ε_{c2} (‰) = $-2,0 - 0,085(f_{ck} - 50)^{0,53}$
11	ε_{cu2} (‰)	-3,5	-3,1	-2,9	-2,7	-2,6	-2,6	ε_{cu2} (‰) = $-2,6 - 35[(90 - f_{ck})/100]^4$
12	n	2,0	1,75	1,6	1,45	1,4	1,4	$n = 1,4 + 23,4[(90 - f_{ck})/100]^4$
13	ε_{c3} (‰)	-1,75	-1,8	-1,9	-2,0	-2,2	-2,3	ε_{c3} (‰) = $-1,75 - 0,55[(f_{ck} - 50)/40]$
14	ε_{cu3} (‰)	-3,5	-3,1	-2,9	-2,7	-2,6	-2,6	ε_{cu3} (‰) = $-2,6 - 35[(90 - f_{ck})/100]^4$

3.1.2 Mostní objekty z HPC (1. a 2. skupina podle 2.1 těchto TP) se navrhují podle ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 1992-2. Pro vyšší pevnostní třídy betonu než C90/105 neplatí ČSN EN 1992-1-1, ČSN EN 1992-2.

3.1.3 Je třeba posoudit všechny mezní stavy, tj. únosnosti, použitelnosti a mezní stav únavy.

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

3.1.4 V mezním stavu únosnosti se pravděpodobnost variability zatížení vyjádří dílčími součiniteli zatížení a pravděpodobnost vlastností materiálu se vyjádří dílčími součiniteli spolehlivosti materiálu podle příslušných ČSN EN.

3.1.5 V mezních stavech použitelnosti je nutno prokázat, že nebudou překročena přípustná namáhání, posoudí se vznik a šířka trhlin a deformace konstrukce.

3.1.6 V mezním stavu únavy je nutno posoudit beton i výztuž na opakované namáhání.

3.1.7 Při analýze konstrukcí se doporučuje použít přiměřeně TP 144 MD ČR.

3.1.8 Modul pružnosti

Pro konstrukce, jejichž návrh je výrazně ovlivněn velikostí a průběhem modulu pružnosti, musí se pro daný beton zjistit laboratorně.

Pokud se modul pružnosti stanoví z empirických vzorců, kde je jeho hodnota uváděna jako funkce pevnosti betonu v tlaku, je třeba vzít v úvahu, že u vyšších tříd betonu bývá jeho hodnota přeceňována. V nižších třídách (do C 60/75 včetně) je přímo závislý na použitém hrubém kamenivu. Při použití těženeho kameniva je nutný průkaz vždy, neboť moduly pružnosti jsou obvykle nižší než normou udávané hodnoty. Lze použít hodnoty E podle ČSN EN 1992-1-1 (viz Tabulka P.1.7 těchto TP) nebo ze zkoušek hodnoty přesnější.

3.1.9 Pracovní diagramy se používají podle použitých návrhových norem. Při výpočtu se uvažuje, že :

- vysokohodnotný beton vykazuje lineární chování až do hodnoty cca 80-90% maximálního napětí,
- klesající větev je prakticky neměřitelná,
- poměrné přetvoření při max. dosaženém napětí vzrůstá s vyššími mechanickými vlastnostmi až k hodnotě 3 ‰.

Pracovní diagram pro posouzení meze únosnosti má maximální přetvoření betonu v tlaku omezené hodnotou 3 ‰.

3.1.10 Smršťování a dotvarování betonu se uvažuje podle Přílohy B, ČSN EN 1992-2.

3.1.11 Jako nosná betonářská výztuž se uvažuje podle ČSN EN 10080 a ČSN EN 1992-1-1.

3.1.12 Údaje o předpínacích výztužích se uvažují podle protokolů o certifikaci platného pro příslušný předpínací systém.

Poznámka: EN pro předpínací výztuže nebyly dosud schváleny a tudíž do soustavy ČSN nebyly převzaty.

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

3.1.13 Pro výpočet deformací konstrukcí z vysokohodnotného betonu lze v běžných případech (tj. u konstrukcí, které nejsou mimořádně náchylné na vývoj nadměrných deformací, např. železobetonové konstrukce, předpjaté konstrukce malých a středních rozpětí, segmentové konstrukce s kontaktními nevyztuženými spárami) použít běžné vztahy a hodnoty uvedené v příslušných normách a nebo předpisech.

Při výpočtu průhybů u konstrukcí náchylných na jejich dlouhodobý nárůst (mosty velkých rozpětí, extrémně štíhlé prvky) se musí stanovit hodnoty modulu pružnosti, smršťování a dotvarování betonu měřením na vzorcích vyrobených pro konkrétní beton, jako podklad pro ověření předpokladů RDS. Měření musí probíhat minimálně 90 dní. Z naměřených hodnot lze extrapolovat hodnoty použitelné pro výpočet deformací konstrukcí.

3.1.14 V návaznosti na Eurokódy lze existující mostní objekty posuzovat podle ČSN EN 13822, ČSN 73 6222 a TP 200.

3.1.15 Konstrukční požadavky

Při stanovení minimální tloušťky krycí vrstvy výztuže lze zohlednit pevnostní třídu betonu a jeho nepropustnost (při hodnotě průsaku max. 35 mm). Pokud objednatel nestanoví jinak lze pro HPC snížit třídu konstrukce „S“ z hlediska pevnostní třídy (viz Tabulka 4.3N ČSN EN 1992-1-1) o 2 třídy.

3.2 Návrh podle ČSN 73 6206 a ČSN 73 6207

3.2.1 Mostní objekty, jejichž dokumentace (DSP/ZDS a následující stupně) byla rozpracována nebo smluvně zajištěna před 1.4.2010, lze navrhovat podle zásad ČSN 73 6203, ČSN 73 6206 a ČSN 73 6207.

3.2.2 Beton mostních objektů z vysokohodnotného betonu lze zařadit podle tabulky 3.2. V tabulkách lze pro mezilehlé (nenormové) třídy betonů lineárně interpolovat.

Tabulka 3.2 Třídy a značky betonů

Pevnostní třída betonu ¹⁾ *)	C 55/67	C 60/75	C 70/85	C 80/95	C90/105
Třída betonu ²⁾	B 67	B 75	B 85	B 95	B 105
Značka betonu ³⁾	725	800	900	1000	1 100

¹⁾ podle ČSN EN 1992-1-1 a ČSN EN 206-1

*) válcová/krychelná pevnost betonu

²⁾ podle dříve platné ČSN 73 1201

³⁾ podle dříve platné ČSN 73 6206, ČSN 73 6207

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

3.2.3 Pro navrhování a posuzování průřezů jsou hodnoty dovolených namáhání betonu a další charakteristiky uvedeny v Příloze P1 těchto TP.

3.2.4 Údaje o betonářských výztužích se uvažují podle ČSN 73 6206. Jsou uvedeny v Příloze P2 těchto TP.

3.2.5 Údaje o předpínacích výztužích se uvažují podle protokolů o certifikaci platného pro příslušný předpínací systém.

4. Literatura (ČSN a TP v platném znění):

ČSN EN 197-1 (72 2101) Cement – Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití

ČSN EN 480 (72 2325) Přísady do betonu, malty a injektážní malty. Zkušební metody

ČSN EN 934 (72 2326) Přísady do betonu, malty a injektážní malty. Požadavky

ČSN EN 10080 (42 1039) Ocel pro výztuž do betonu – Svařitelná betonářská ocel - Všeobecně

ČSN EN 12350 (73 1301) Zkoušení čerstvého betonu

ČSN EN 13263 (72 2095) Křemičitý úlet do betonu

ČSN EN 12390-1 (73 1302) Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 1 Tvar, rozměry a jiné požadavky na zkušební tělesa a formy

ČSN EN 12390-2 (73 1302) Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 2 Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušky pevnosti.

ČSN EN 12390-3 (73 1302) Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3 Pevnost v tlaku zkušebních těles.

ČSN EN 12390-5 (73 1302) Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 5 Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles.

ČSN EN 12390-6 (73 1302) Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 6 Pevnost v příčném tahu zkušebních těles.

ČSN EN 12390-7 (73 1302) Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7 Objemová hmotnost ztvrdlého betonu.

ČSN ISO 4012 (73 1317) Stanovení pevnosti v tlaku zkušebních těles

ČSN ISO 6784 (73 1319) Beton – Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku.

ČSN EN 1990 (73 0002) Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991 (73 0035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Část 1-1 všeobecné zatížení, hustoty, vlastní hmotnost, užité zatížení.

ČSN EN 1992-1-1 (73 1201) Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí. Část 1-1 Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ČSN EN 1992-2 (73 6208) Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí. Betonové mosty, navrhování a konstrukční zásady.

ČSN EN 206–1 (73 2403) Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda

ČSN P CEN/TS 12390–9 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 9: Odolnost proti zmrazování a rozmrazování – Odlupování

ČSN 73 1380 CEN/TR 15177 Zkoušení odolnosti betonu proti zmrazování a rozmrazování – Porušení vnitřní struktury

ČSN EN 14889-1 Vlákná do betonu - Část 1: Ocelová vlákna - Definice, specifikace a shoda

ČSN EN 14889-2 Vlákná do betonu - Část 2: Polymerová vlákna - Definice, specifikace a shoda

ČSN EN 14651+A1 Zkušební metody betonu s kovovými vlákny - Měření pevnosti v tahu za ohybu (mez úměrnosti, zbytková pevnost)

ČSN EN 14845-1 Zkušební metody pro vlákna v betonu - Část 1: Referenční betony

ČSN EN 14845-2 Zkušební metody pro vlákna do betonu - Část 2: Vliv na beton

ČSN EN 14721+A1 Zkušební metoda betonu s kovovými vlákny - Měření obsahu vláken v čerstvém a ztvrdlém betonu

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

ČSN 73 1320 Stanovení objemových změn betonu

ČSN 73 1322 Stanovení mrazuvzdornosti betonu

TKP-18 Beton pro konstrukce

TP FC 1-1 Technické podmínky 1: Vláknobeton - Část 1 Zkoušení vláknobetonu - Vyhodnocení destruktivních zkoušek a stanovení charakteristického pracovního diagramu vláknobetonu pro navrhování vláknobetoných konstrukcí. Českomoravský beton, a.s., 2008

TP 137 Vyloučení alkalické reakce kameniva v betonu na stavbách PK, MDS 2003 , revize 2010

TP 144 Doporučení pro navrhování, posuzování a sledování betonových mostů PK, MD 2010

TP 200 Stanovení zatížitelnosti mostů PK

TP XXX: Zásady pro omezení vzniku trhlin v betonových mostech, (v přípravě)-2010

ČSN 73 6203 Zatížení mostů

ČSN 73 6206 Navrhování betonových a železobetonových mostních konstrukcí

ČSN 73 6207 Navrhování mostních konstrukcí z předpjatého betonu

ČSN 73 6222 Zatížitelnost mostů PK

ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí-Hodnocení existujících konstrukcí

[1] "High Performace Concrete: From material to structure"; edited by Yves Malier; 1993

[2] S. P. Shah, S. P. Ahmad: " High Performance Concrete: Properties and applications", 1994

[3] Pierre - Claude Aitcin: "High-performance concrete", 1998

[4] Henry G. Russell: „What is high performance concrete?“, 1999

[5] CEB Model-Code 90

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

5. Příloha P1 Dovolená namáhání betonu a další charakteristiky

Tabulky vycházejí z ČSN 73 6207, Změny Z2 (leden 2006), kde se najdou také další podrobnosti. Pro betony C80/95 a C90/105 byly hodnoty stanoveny extrapolací. Na základě zkoušek lze odvodit hodnoty přesnější. Hodnoty platí pro navrhování mostních konstrukcí z předpjatého betonu.

Tabulka P.1.1 - Dovolená namáhání betonu v tlaku

Obor platnosti		Dovolené namáhání v tlaku pro beton značky [MPa] třídy					Řádek
		725	800	900	1000	1100	
		C 55/67	C 60/75	C 70/85	C 80/95	C90/1 05	
V tlačené oblasti při hlavním zatížení ¹⁾	Za dostředného tlaku	17,0	18,5	20,5	22,0	23,5	1
	Za rovinného ohybu nebo mimostředného tlaku či tahu ²⁾³⁾⁴⁾	20,5	22,0	23,5	25,0	26,5	2
V tažené oblasti při hlavním zatížení ^{5) 6)}	Za dostředného tlaku	20,5	22,0	23,5	25,0	26,5	3
	Za rovinného ohybu nebo mimostředného tlaku či tahu ²⁾³⁾⁴⁾	22,0	24,0	26,0	28,0	31,0	4

¹⁾ Při celkovém zatížení jsou dovolená namáhání betonu v tlačené oblasti 1,15násobkem příslušných hodnot dovolených namáhání pro zatížení hlavní.

²⁾ Za rovinného ohybu nebo mimostředného tlaku či tahu protíná rovina vnějších sil průřez v hlavní ose. Za prostorového ohybu nebo mimostředného tlaku či tahu neprotíná rovina vnějších sil průřez v hlavní ose.

³⁾ U plných obdélníkových průřezů se zvětší dovolená namáhání betonu v tlaku za ohybu nebo mimostředného tlaku či tahu na 1,05násobek.

⁴⁾ Za prostorového ohybu nebo mimostředného tlaku či tahu je dovolené namáhání 1,05násobkem příslušných dovolených namáhání pro rovinný ohyb nebo mimostředný tlak či tah.

⁵⁾ Neplatí pro přibetonované nebo připojené části ze železového nebo prostého betonu spřažených konstrukcí.

⁶⁾ Při celkovém zatížení jsou dovolená namáhání betonu v tažené oblasti 1,05násobkem příslušných hodnot dovolených namáhání pro zatížení hlavní.

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

Tabulka P.1.2 - Dovolena namáhání betonu v tahu

Obor platnosti 1)			Dovolena namáhání v tahu pro beton					Řádek	
			značky třídy [MPa]						
			725	800	900	1000	1100		
			C 55/67	C 60/75	C 70/85	C 80/95	C90/1 05		
V tlačené oblasti při hlavním zatížení	Za rovinného ohybu nebo mimostředního tahu či tlaku 2)	Před a po zavedení předpětí 4) 6)	1,3	1,35	1,45	1,55	1,65	1	
		Po zavedení veškerých stálých zatížení 5) 7)	0 9)					2	
V tažené oblasti při hlavním zatížení	Při plném předpětí	Za dostředního tahu 7)	0					3	
		Za rovinného ohybu nebo mimostředního tahu či tlaku 5) 8)	0					4	
		Za dostředního tahu 7)	1,3	1,35	1,45	1,55	1,65	5	
		Tažená oblast v dolní části průřezu 4) 7)	3,35	3,65	4,0	4,35	4,7	6	
	Při omezeném předpětí	Za rovinného ohybu nebo mimostředního tahu či tlaku 2)	S izolací 3) 4) 7)	3,35	3,65	4,0	4,35	4,7	7
		Tažená oblast v horní části průřezu	Bez izolace 3) 4) 7)	1,7	1,85	2,05	2,2	2,3	8
	Při částečném předpětí	Za dostředního tahu 7)	4,0	4,2	4,6	4,9	5,1	9	
		Za rovinného ohybu nebo mimostředního tahu či tlaku 2) 4) 7)	6,0	6,55	7,05	7,4	7,7	10	

1) Neplatí pro přibetonované nebo připojené části ze železového nebo prostého betonu spřažených konstrukcí.

2) Za rovinného ohybu nebo mimostředního tahu či tlaku protíná rovina vnějších sil průřez v hlavní ose. Za prostorového ohybu nebo mimostředního tlaku či tahu neprotíná rovina vnějších sil průřez v hlavní ose.

3) Izolací se rozumí ochrana konstrukce při horním povrchu proti účinkům srážkové vody. U konstrukce bez izolace, u níž je však vyloučeno působení srážkové vody na konstrukci, lze uvažovat dovolena namáhání platná pro konstrukce s izolací.

4) Za prostorového ohybu nebo mimostředního tahu či tlaku se dovolena namáhání betonu v tahu zvětšuje o čtvrtinu mezního napětí betonu v tahu podle řádku 3 v tabulce 11.

5) Za prostorového ohybu nebo mimostředního tahu či tlaku se dovolena namáhání betonu v tahu zvětšuje o třetinu mezního napětí betonu v tahu podle řádku 3 v tabulce 11.

6) Při celkovém zatížení se dovolena namáhání betonu v tahu zvětšuje o čtvrtinu mezního napětí betonu v tahu podle řádku 3 v tabulce 11.

7) Při celkovém zatížení se dovolena namáhání betonu v tahu zvětšuje o třetinu mezního napětí betonu v tahu podle řádku 3 v tabulce 11.

8) Při celkovém zatížení se dovolena namáhání betonu v tahu zvětšuje o dvě třetiny mezního napětí betonu v tahu podle řádku 3 v tabulce 11.

9) U konstrukcí z omezeně nebo částečně předpjatého betonu se uvažují hodnoty podle řádku 1, avšak pouze v úseku mezi teoretickou podporou a přiléhající čtvrtinou rozpětí konstrukce, pokud zatížení nevyvozuje v podporovém průřezu ohybové momenty (při podporách prostých nosníků, při krajních podporách spojitých nosníků apod.). Poznámky 5) a 7) se v tomto případě (řádek 2) vztahují ale k dovolenému namáhání betonu v tahu rovnému nule.

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

Tabulka P.1.3 - Dovolená namáhání betonu v hlavním tahu

Obor platnosti			Dovolené namáhání v hlavním tahu pro beton značky třídy [MPa]					Řádek
			725	800	900	1000	1100	
			C 55/67	C 60/75	C 70/85	C 80/95	C 90/105	
Při plném předpětí	Hlavní působí zatížení	Smykem za ohybu nebo kroucením	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1
		Smykem za ohybu a kroucením	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
	Celkové působí zatížení	Smykem za ohybu nebo kroucením	1,5	1,6	1,7	1,85	1,95	3
		Smykem za ohybu a kroucením	1,8	1,9	2,05	2,1	2,2	4
Při omezeném a částečném předpětí	Hlavní působí zatížení	Smykem za ohybu nebo kroucením	2,6	2,75	2,85	2,95	3,1	5
		Smykem za ohybu a kroucením	3,1	3,25	3,4	3,55	3,7	6
	Celkové působí zatížení	Smykem za ohybu nebo kroucením	3,1	3,25	3,4	3,6	3,7	7
		Smykem za ohybu a kroucením	3,6	3,8	4,05	4,1	4,25	8

Tabulka P.1.4 -Dovolená namáhání betonu v soudržnosti

Obor platnosti pro	Dovolené namáhání soudržnosti pro beton značky třídy [MPa]					Řádek
	725	800	900	1000	1100	
	C 55/67	C 60/75	C 70/85	C 80/95	C90/105	
zatížení hlavní	1,0	1,1	1,2	x)	x)	1
zatížení celkové	1,15	1,25	1,35	x)	x)	2

x) Vzhledem k vzrůstající křehkosti betonů vyšších pevností je dovolené namáhání omezeno hodnotou pro beton C70/85, pokud nejsou ověřeny zkouškami hodnoty vyšší

Tabulka P.1.5 - Dovolená namáhání betonu v otláčení

Obor platnosti	Dovolené namáhání v otláčení pro beton značky třídy [MPa]					Řádek
	725	800	900	1000	1100	
	C 55/67	C 60/75	C 70/85	C 80/95	C90/105	
Při hlavním nebo celkovém zatížení	22,0	23,5	24,5	25,5	26,5	1

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

Tabulka P.1.6 - Mezní napětí betonu

Druh napětí	Mezní napětí pro beton $\frac{\text{značky}}{\text{třída}}$ [MPa]					Řádek
	725	800	900	1000	1100	
	C 55/67	C 60/75	C 70/85	C 80/95	C90/105	
V dostředném tlaku	38,5	41,0	43,5	45,5	47,0	1
V tlaku za ohybu nebo mimostředném tlaku či tahu	45,0	47,5	49,5	51,5	53,5	2
V tahu nebo hlavním tahu	3,9	4,1	4,4	4,6	4,7	3
V soudržnosti	2,4	2,5 ^{*)}	2,6 ^{*)}	2,7 ^{*)}	2,8 ^{*)}	4

^{*)} pro průměry prutu $\varnothing > 32$ mm se hodnoty vynásobí součinitelem $(132-\varnothing)/100$

Tabulka P.1.7 - Moduly pružnosti betonu

Moduly pružnosti betonu pro beton $\frac{\text{značky}}{\text{třída}}$ [GPa]					Poznámka
725	800	900	1000	1100	
C 55/67	C 60/75	C 70/85	C 80/95	C90/105	
42,5	43,5	44,5	^{*)}	^{*)}	Podle ČSN 73 6207
41,4	42,0	43,0	44,0	44,5	Podle Richtlinie ^{**)}
38,0	39,0	41,0	^{*)}	^{*)}	Podle ČSN EN 1992 - 1-1

Poznámky: Hodnoty modulů pružnosti betonu pro pevnostní třídy C55/67, C60/75 a C70/85 se doporučuje ověřit zkouškami

^{*)} nutno prokázat zkouškami

^{**)} Richtlinie für hochfesten Beton, Ausgabe August 1995

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

6. Příloha P2 Betonářská výztuž

Hodnoty dovolených namáhání jsou převzaty z ČSN 73 6206, Změna Z3 (srpen 2005), kde lze najít další podrobnosti.

Tab. P2.1 Dovolena namáhání betonářské výztuže

Řádek	Jakostní značka oceli	Jmenovitý průměr D [mm]	Písmenné označení vložek	Dovolené namáhání výztuže při hlavním zatížení $\sigma_{dov}^{1)}$ v MPa pro beton pevnostní třídy			
				< C16/20		C16/20 a vyšší	
				v tahu i v tlaku		v tahu	v tlaku
1	10 216	5,5 až 8	E	108 ³⁾			
		10 až 32		120 ³⁾			
2	11 373 11 375	5,5 až 32	EZ	120 ²⁾	120 ²⁾³⁾		
3	10 425	10 až 32	V	235			
4	10 505	10 až 36	R B500B ⁶⁾	nepoužívá se	280	265	
5	10 555	8 až 40	BSt 550 B550B ⁶⁾		310	290	
6	sítě SZ ⁴⁾	4 až 8	SZ		260 ⁵⁾	250	

1) Dovolena namáhání výztuže pro ostatní kombinace zatížení se uvedené hodnoty násobí součinitelem:
 -pro zatížení celkové 1,15
 - pro zatížení hlavní s mimořádným 1,22
 - pro zatížení celkové s mimořádným 1,40

2) Při namáhání závěsů na smyk se dosazuje v hodnotě 72 MPa.

3) - ocel 10 216 se používá jen jako výztuž konstrukční a zajišťující
 - ocel 11 373 a 11 375 se používá pro speciální účely (např. pro závěsná oka prefabrikátů). Pro konstrukce a konstrukční části namáhané na únavu se nesmí používat.

4) Platí pouze pro popouštěné sítě SZ s mezí kluzu popř. smluvní mezí 0,2 alespoň 490 MPa, s tažností A 10 nejméně 8 %. Konstrukční zásady jsou uvedeny v ČSN 73 1201:1986.

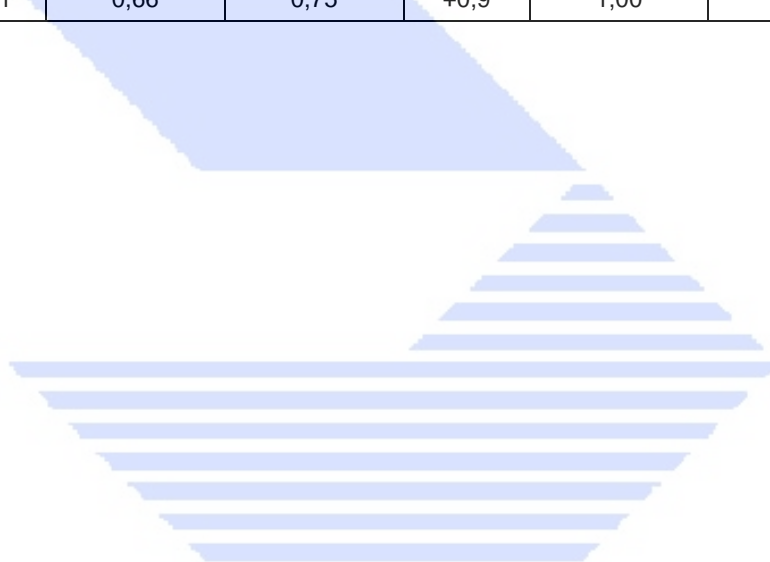
5) Při použití sítí jako smykové výztuže se dosazuje hodnota 250 MPa.

6) Označení podle ČSN EN 1992-1-1

TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK

Tab.P2.2 Součinitele únavy k_p

ρ_a	k_p při oceli jakostní značky		ρ_a	k_p při oceli jakostní značky	
	10 425 10 505 10 555 síť SZ	10 216 11 373 11375		10 425 10 505 10 555 síť SZ	10 216 11 373 11 375
-1,0	0,44	0,52	+0,0	0,70	0,78
-0,9	0,46	0,54	+0,1	0,74	0,82
-0,8	0,48	0,56	+0,2	0,79	0,87
-0,7	0,50	0,58	+0,3	0,84	0,94
-0,6	0,52	0,60	+0,4	0,91	1,00
-0,5	0,54	0,62	+0,5	0,98	1,00
-0,4	0,57	0,65	+0,6	1,00	1,00
-0,3	0,59	0,68	+0,7	1,00	1,00
-0,2	0,62	0,71	+0,8	1,00	1,00
-0,1	0,66	0,75	+0,9	1,00	1,00



TP 226 - Vysokohodnotné betony pro mosty PK



TECHNICKÉ PODMÍNKY TP 226

Vydalo: Ministerstvo dopravy ČR,
Odbor silniční infrastruktury

Zpracoval: PONTEX, spol s r.o., Praha
ve spolupráci se: FSv VUT Brno, FSv ČVUT Praha a
Skanska a.s.

Realizační výstup projektu 803/120/118 Vysokohodnotný beton pro mostní konstrukce PK

Při zpracování byly také uplatněny poznatky získané v rámci řešení projektu MPO FI-IM/185 (Nové úsporné konstrukce z vysokopevnostního betonu) a úkolu MSM 021630519 (Progresivní spolehlivé a trvanlivé nosné stavební konstrukce).

Technická redakční rada: Ing. L. Tichý, CSc., Mgr. V. Mráz (MD-OSI),
Ing. J. Sláma, CSc., Ing. J. Hromádko, Ing. J. Marusič (ŘSD-GŘ)
Ing. M. Birnbaumová (ŘSD-ZB), Ing. P. Klimeš (EUROVIA),
Ing. J. Tichý, CSc., Ing. J. Peřina (SKANSKA),
Doc. Ing. V. Hrdoušek, CSc., Doc. Ing. K. Trtík, CSc. (ČVUT),
Ing. V. Hvizdal, Ing. P. Drbohlav (PONTEX), ing. K. Nechmač

Distributor: PONTEX, spol. s r.o., Bezová 1658, Praha 4, 147 14