PŘÍRUČKA TECHNOLOGA

BETON

SUROVINY — VÝROBA — VLASTNOSTI

ČESKOMORAVSKÝ BETON
HEIDELBERGCEMENT Group

ČESKOMORAVSKÝ CEMENT
HEIDELBERGCEMENT Group

ČESKOMORAVSKÝ ŠTĚRK
HEIDELBERGCEMENT Group

2010 / 1. vydání

Vážení příznivci a přátelé betonu,

dostává se Vám do rukou »**PŘÍRUČKA TECHNOLOGA – BETON – SUROVINY, VÝROBA, VLASTNOSTI**«, kterou pro Vás připravila společnost Českomoravský cement. Jsem plně přesvědčen, že tato publikace bude mít stejně příznivý ohlas jako mají příručky »**BETON TASCHENBUCH**« v Německu.

Beton, dříve definovaný jako umělý kámen, je nejrozšířenějším stavebním materiálem. Je ho možno považovat za kompozitní stavební látku, skládající se z plniva, v daném případě z kameniva a pojiva, které zde představuje hydraulické pojivo (většinou cement). Mimo to je v této látce obsaženo určité množství pórů. Slovo beton (převzaté z francouzského béton = hrubá malta, pocházející z latinského betunium = kamenná malta, anglicky Concrete concrescere) se stalo synonymem i pro ostatní stavební kompozity (např. asfaltobeton, plastbeton, pórobeton aj.).

Technologie betonu je vědní a technická disciplína, která se zabývá složením, výrobou a vlastnostmi betonu s cílem dosažení potřebných vlastností s minimální energetickou náročností (úsporou cementu) a minimálním zatížením životního prostředí. Postupně se přechází od empirického poznání a pozorování k obecné formulaci problémů jazykem matematiky, zvyšuje se stupeň matematizace oboru.

Historie betonu sahá až do roku asi 3600 př. n. l., kdy podle Plinia existovaly sloupy v Egyptě z umělého kamene.

Kolem roku 1000 př. n. l. stavěli Féničané v Jeruzalémě velké vodní cisterny a vodovodní přivaděče. Podobně se féničtí stavitelé podíleli kolem r. 690 př. n. l. na stavbách sloužících k zásobování vodou asyrského královského sídelního města Ninive. Féničanům

lze připsat i objev hydraulických vlastností směsi vápna a sopečného tufu. Například na ostrově Santorin ve středomoří byly objeveny kamenné cisterny ze 3. století př. n. l., omítnuté maltou z vápna a místního tufu. Féničané nepochybně navazovali na starší empirické znalosti o hydraulických maltách, jejich technologii však propracovali a poměrně systematicky a dlouhodobě užívali.

Na tyto znalosti navazovali Řekové, kteří ve 2. století př. n. l. začali používat novou zdicí techniku. Masivní zeď byla tvořena dvěma lícovými stěnami z tesaného kamene. Různě široká mezera mezi nimi byla pak vyplňována litou maltou, prokládanou lomovým kamenem. Lícové stěny tedy plnily i funkci »ztraceného bednění«. Tento druh zdiva, nazývaný Řeky »emplekton«, nepochybně výrazně zracionalizoval a urychlil zdění a lze jej považovat za předchůdce dnešního betonu.

Používání hydraulických malt mimořádně propracovali a rozvinuli Římané. Toto lité zdivo mělo řadu charakteristických vlastností. Obsahovalo drcený kámen nebo štěrk s maximálním zrnem obvykle do 70 mm, který byl důkladně promíchán s maltou, skládající se z hydraulického pojiva a písku tak, že vznikla homogenní masa. V bednění byla takto připravená směs zhutněna intenzivním pěchováním nebo stloukáním. Po zatvrdnutí vznikl materiál obdobných vlastností jako dnešní beton. Podle některých domněnek vzniklo toto slovo ze starofrancouzského výrazu »beter«, což znamená tuhnouti. Tuto poslední verzi podporuje anglické označení pro beton - concrete, vzniklé z latinského concrescere = tuhnouti. První použil označení beton pravděpodobně Francouz B. F. Belidor v 1. polovině 18. století. Rozvoj průmyslové výroby v západní Evropě během 17. a 18. století a z něj vyplývající vzrůst stavebních činností oživil zájem o přírodní hydraulická pojiva. Poptávka po tomto pojivu však neustále stoupala. Proto se v 17. a 18. století opakovaně objevily pokusy získat hydraulické pojivo uměle, smísením běžně dostupných surovin.

V r. 1796 přihlásil J. Parker, inspirovaný pravděpodobně Smeatonovou knihou z r. 1791, anglický patent, ve kterém popsal postup drcení a pálení vhodné vápencové suroviny s přiměřenou přímělí hliněných součástí. Výsledek byl nazván románským cementem. Roku 1824 přihlásil J. Aspdin (1778 - 1855) patent s názvem »Zlepšení ve výrobě umělého kamene«. V r. 1825 založil továrnu, v níž vyráběl pojivo pod obchodním názvem »Portlandský cement«. Název vyplýval z toho, že výsledný produkt svou pevností a šedou barvou připomínal oblíbený portlandský vápenec. Současně nejrozšířenější hydraulické pojivo na světě vděčí tedy za svůj název Aspdinově smyslu pro reklamu a správně pochopené úloze, kterou může sehrát při rozhodování vhodná asociace. I po Aspdinově patentu pokračovalo období hledání. Teprve I. Ch. Johnston (1811 - 1911) dovršil úsilí mnoha generací a r. 1844 došel k poznatku o nutnosti pálení suroviny až na mez slinutí. Tím více je třeba vyzdvihnout výsledky práce W. Michaelise (1840 - 1911), který rozvinul a propracoval teorii chemismu portlandského cementu.

Současně s rozvojem výroby hydraulických pojiv, tj. hydraulických vápen, románského cementu a cementu portlandského, se vyvinulo i jejich užití k výrobě konstrukční hmoty - betonu, který umožnil plnit některé nové, do té doby těžko řešitelné úkoly. V první polovině 19. století byly doménou betonu vodní stavby všeho druhu a zakládání objektů v oblastech se spodní vodou. V této oblasti zaujal beton rychle výsadní postavení. Nelze však pominout i jeho užití k výrobě různých architektonických doplňků i menších skulptur. V této oblasti se beton komerčně prosadil zejména v důsledku stoupajících cen kamenických prací a vzrůstající poptávky.

Jako zakladatele železobetonu je označován J. Monier (1823 - 1906), který získal tajný rakouský patent na »konstrukce ze železa a cementu pro prahy, kanály, mosty, schody a podobné druhy«. Nicméně první zprávy o vyztužení betonu bronzovými resp. železnými tyčemi jsou známé z doby antického Říma při stavbě lázní Marca Aureila asi z roku 212 n. l. a další použití jsou uvedeny v knize F. Coigneta o železobetonu z roku 1861.

Jedním z nejznámějších propagátorů železobetonu byl F. Henne-

bique (1842 - 1921). Typickým znakem jeho systému byla důsledná monolitičnost celé konstrukce, což z hlediska statiky mimořádně zvyšovala její tuhost a únosnost.

Beton v počátcích svého masového užití byl materiálem především pro vodní stavby a zakládání. Obytné budovy byly dosti výjimečné. Jako první celobetonový dům, který byl postaven, byl podle tvrzení W. Michaelise malý objekt v Alby ve Francii, který byl postaven v roce 1830 z betonu, kde bylo použito hydraulické vápno. Na přelomu šedesátých a sedmdesátých let 19. stol. byla problematika technologie betonu a betonových konstrukcí zvládnuta natolik, že se betonová obytná výstavba v některých regionech ukázala jako cenově efektivní. V této době se začaly uplatňovat armované betonové prvky i celé konstrukce.

Běžné používání betonu se ke konci 19. století stalo již běžnou záležitostí tisíců stavitelů, nicméně velké betonové stavby, nové technologie a nové teorie byly spojeny pouze s několika firmami a to zejména v oblasti železobetonového stavitelství.

Výrazný zlom nastal až ve dvacátém století, kdy dlouholetý výzkum, zkušenosti z praxe, vývoj a výroba nových technologických zařízení umožnily posunout betonářskou technologii a beton na podstatně vyšší kvalitativní stupeň. V 70. letech se stále ve větším rozsahu začaly používat vysokopevnostní betony HSC (High Strength Concrete). Za jejich základní charakteristiku je možno považovat pevnost v tlaku, která je minimálně 65 MPa. Horní hranice pevnosti HSC leží podle současných výzkumů na hranici 200 MPa. Výzkum v této oblasti úspěšně pokračuje a již dneska jsou známy výsledky výzkumu, které umožňují vyrábět beton s výrazně vyššími pevnostmi. Tato skupina betonů se u nás označuje jako ultravysokopevnostní beton (UVPB). Jedním z jeho představitelů je ve Francii vyvinutý beton označený jako RPC (Reactive Poder Concrete).

Nelze ani opominout významný mezník v technologii betonu, který se datuje na rok 1988, kdy v Japonsku navrhli a odzkoušeli nové složení betonové směsi, zaručující její podstatně vyšší pohyblivost (tekutost) oproti tradičním betonovým směsím. Tento beton dokáže bez zhutnění vyplnit prostor bednění, a to i při husté výztuži. Vzhledem k této vlastnosti se tento beton nazývá samozhutnitelný (SCC - Self Compacting Concrete), přestože se uvedené technologie v řadě vyspělých států Evropy ve stavební výrobě používají, neexistují na jejich výrobu dosud žádné technické normy.

Určitě lze konstatovat, že se dnes žádná stavba bez betonu zcela neobejde, počínaje základy, podlahami nebo stropními konstrukcemi konče. U takových staveb jako jsou přehradní hráze, mosty, chladicí věže, silnice, tunely a další si nelze tuto konstrukci bez použití betonu resp. železobetonu ani představit. Vývoj vlastností betonu prošel od nízkých pevností, které byly na počátku 20. století na úrovni 10 až 15 MPa, do hodnot, u kterých lze hovořit s desetinásobnou pevností.

Ke změně došlo i v oblasti technologie zpracování betonu používáním i jiných druhů plniva než je běžné hutné kamenivo. Pro řadu konstrukcí lze použít kameniva vylehčená (jako například liapor, perlit, struska apod.), ztekuťující přísady, až po současný »betonářský hit« - samozhutnitelný beton.

Doc. Ing. Tomáš Klečka, CSc.
ředitel Kloknerova ústavu ČVUT v Praze

■ Upozornění ■

Tato publikace je určena především k rychlému poskytování informací pro osobní použití a pro praktickou činnost technických a technologických pracovníků v oblasti technologie výroby a zpracování betonu. Uváděné informace pocházejí nejen z ČSN EN 206-1 a ostatních norem, ale i z odborné literatury. Některé údaje z norem a jiných materiálů byly pro lepší srozumitelnost a přehlednost zkráceny nebo zjednodušeny a nejsou ve všech případech uváděny se všemi výjimkami a poznámkami. Údaje proto nemohou být použity jako podklad pro znalecké posudky, soudní jednání apod. Navíc v současnosti dochází k průběžnému a neustálému zavádění evropských technických norem, které postupně nahrazují nebo mění platné ČSN, ve sporných případech je proto nutné vždy používat původní texty platných znění citovaných zdrojů.

1. ZÁKLADNÍ INFORMACE 1

2. CEMENT 2

3. KAMENIVO 3

4. VODA 4

5. PŘÍSADY 5

6. PŘÍMĚSI A VÝZTUŽ 6

7. SLOŽENÍ BETONU 7

8. KONZISTENCE A ZPRACOVÁNÍ ČERSTVÉHO BETONU 8

9. TVRDNUTÍ BETONU 9

10. VLASTNOSTI BETONU 10

11. SPECIFIKACE A KONTROLA KVALITY BETONU 11

PODĚKOVÁNÍ

OBSAH

1 ZÁKLADNÍ INFORMACE str. 16–32

1.1 ZÁKLADNÍ POŽADAVKY
1.1.1 Mechanická odolnost a stabilita
1.1.2 Požární bezpečnost
1.1.3 Hygiena, ochrana zdraví a životního prostředí
1.1.4 Bezpečnost při užívání
1.1.5 Ochrana proti hluku
1.1.6 Úspora energie a ochrana tepla
1.2 UVÁDĚNÍ VÝROBKŮ NA TRH
1.2.1 Postup prokazování shody na výrobek „Beton pevnostních tříd C 12/15 a vyšší“
1.2.2 Prokazování shody dle NV 190/2002 Sb.
1.3 SYSTÉM KVALITY
1.4 VZTAH K ŽIVOTNÍMU PROSTŘEDÍ
1.5 HYGIENICKÁ NEZÁVADNOST BETONU
1.6 SLOŽKY BETONU

2 CEMENT str. 33–59

2.1 SLOŽKY
2.1.1 Hlavní složky
2.1.2 Doplňující složky
2.1.3 Síran vápenatý
2.1.4 Přísady
2.2 SLOŽENÍ A OZNAČOVÁNÍ CEMENTŮ
2.2.1 Cementy pro obecné použití podle ČSN EN 197-1
2.2.2 Normalizované označování
2.3 VLASTNOSTI CEMENTU
2.4 PRACOVNÍ HYGIENA A OCHRANA ZDRAVÍ
2.5 CEMENTY S UPRAVENÝMI VLASTNOSTMI DLE ČSN EN 197-1
2.5.1 Portlandský cement pro výrobu cementobetonových krytů vozovek CEM I 42,5 R - sc
2.5.2 Vysokopecní cement se zvýšenou síranovou odolností CEM III/A 32,5 R - svc
2.5.3 Cementy pro obecné použití s nízkým hydratačním teplem dle ČSN EN 197-1
2.6 CEMENTY S UPRAVENÝMI VLASTNOSTMI DLE JINÝCH NOREM
2.6.1 Síranovzdorný cement
2.6.2 Vysokopecní cementy s nízkou počáteční pevností
2.6.3 Speciální cementy s velmi nízkým hydratačním teplem
2.6.4 Hlinitanový cement
2.6.5 Cement pro zdění
2.6.6 Ostatní cementy s upravenými vlastnostmi
2.7 ZKOUŠENÍ CEMENTU
2.8 PŘEHLED VLASTNOSTÍ CEMENTŮ A JEJICH POUŽITÍ
2.8.1 Vlastnosti nabízených cementů
2.8.2 Použití nabízených cementů podle druhů
2.8.3 Použití nabízených cementů podle pevnostních tříd
2.9 SKLADOVÁNÍ CEMENTU

3 KAMENIVO str. 60–75

3.1 ROZDĚLENÍ KAMENIVA
3.2 VLASTNOSTI HORNIN
3.3 KAMENIVO PRO LEHKÉ A TĚŽKÉ BETONY
3.4 KVALITATIVNÍ POŽADAVKY
3.5 STANOVENÍ MAXIMÁLNÍHO ZRNA KAMENIVA PŘI NÁVRHU BETONU
3.6 PRAKTICKÉ KŘIVKY PRO NÁVRH ZRNITOSTI A SYPNÉ HMOTNOSTI KAMENIVA
3.7 MODULY ZRNITOSTI KAMENIVA, PŘÍKLAD VÝPOČTU MÍSENÍ
3.8 TECHNOLOGICKÉ POŽADAVKY NA KAMENIVO DO BETONU
3.9 ZKOUŠENÍ KAMENIVA

4 VODA str. 76–79

4.1 KRITÉRIA HODNOCENÍ ZÁMĚSOVÉ VODY (PODLE ČSN EN 1008)
4.2 KRITÉRIA HODNOCENÍ ZÁMĚSOVÉ RECYKLOVANÉ VODY

5 PŘÍSADY str. 80–87

5.1 OBECNĚ O PŘÍSADÁCH
5.2 PLASTIFIKÁTORY A SUPERPLASTIFIKÁTORY
5.3 PROVZDUŠŇOVACÍ PŘÍSADY
5.4 TĚSNICÍ PŘÍSADY
5.5 PŘÍSADY ZPOMALUJÍCÍ TUHNUTÍ
5.6 PŘÍSADY URYCHLUJÍCÍ TUHNUTÍ A TVRDNUTÍ
5.7 STABILIZAČNÍ PŘÍSADY
5.8 OSTATNÍ PŘÍSADY

6 PŘÍMĚSI A VÝZTUŽ str. 88–102

6.1 LATENTNÍ HYDRAULICITA
6.2 PŘÍMĚSI
6.2.1 Popílek
6.2.2 Křemičité látky, úlety (silica fume)
6.2.3 Mletá granulovaná vysokopecní struska
6.2.4 Ostatní příměsi
6.3 BAREVNÉ PIGMENTY
6.4 BETONÁŘSKÁ A PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ
6.5 ROZPTÝLENÁ VÝZTUŽ
6.6 KRYCÍ VRSTVA VÝZTUŽE DLE ČSN EN 1992-1

7 SLOŽENÍ BETONU str. 103–181

7.1 POJMY
7.2 KLASIFIKACE BETONU
7.2.1 Klasifikace podle stupně vlivu prostředí
7.2.2 Klasifikace podle konzistence
7.2.3 Pevnostní třídy betonu
7.2.4 Klasifikace dle maximální velikosti zrna kameniva
7.2.5 Třídy objemové hmotnosti
7.3 POŽADAVKY NA SLOŽENÍ BETONU PODLE KLASIFIKACE PROSTŘEDÍ
7.3.1 Základní požadavky na složky betonu
7.3.2 Požadavky na beton v závislosti na stupni vlivu prostředí
7.3.3 Použitelnost cementů pro stupně vlivu prostředí
7.3.4 Požadavky na obsah moučky
7.3.5 Požadavky na maximální obsah chloridů
7.3.6 Požadavky na odolnost proti alkalickokřemičité reakci
7.3.7 Požadavky pro betonování pod vodou
7.3.8 Požadavky na cementovou maltu (jemnozrnný beton s D_{max} 4 mm) pro zmonolitnění prefabrikátů
7.3.9 Požadavky při dodávce betonu
7.4 NÁVRH SLOŽENÍ BETONU
7.5 NÁVRH PODLE EMPYRICKÉHO MNOŽSTVÍ VODY
7.6 SILNIČNÍ BETON
7.7 KONSTRUKČNÍ VRSTVY POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
7.8 BETON ODOLNÝ PROTI PŮSOBENÍ VODY A CHEMICKÝCH ROZMRAZOVACÍCH LÁTEK (CH.R.L.)
7.9 PĚNOBETON
7.10 ČERPANÝ ČERSTVÝ BETON

8 KONZISTENCE A ZPRACOVÁNÍ ČERSTVÉHO BETONU str. 182–198

8.1 MĚŘENÍ KONZISTENCE (ČSN EN 206-1)
8.1.1 Sednutí kužele podle ČSN EN 12350-2
8.1.2 Rozlití podle ČSN EN 12350-5
8.1.3 Rozlití kužele a čas T500 pro samozhutnitelný beton
8.1.4 Přeformování Vebe podle ČSN EN 12350-3
8.1.5 Stupeň zhutnění podle ČSN EN 12350-4
8.2 DOPORUČENÉ KONZISTENCE ČERSTVÉHO BETONU
8.3 ZPRACOVÁNÍ ČERSTVÉHO BETONU
8.3.1 Míchání betonu
8.3.2 Doprava betonu
8.3.3 Ukládání čerstvého betonu
8.4 STŘÍKANÝ BETON
8.5 POTĚRY
8.6 ZHUTŇOVÁNÍ ČERSTVÉHO BETONU

9 TVRDNUTÍ BETONU str. 199–213

9.1 TVRDNUTÍ BETONU
9.1.1 Betonování v horkém letním počasí
9.1.2 Betonování v zimě
9.1.3 Betonování masivních konstrukcí
9.2 OŠETŘOVÁNÍ BETONU
9.3 ODBEDŇOVÁNÍ A ODFORMOVÁNÍ
9.3.1 Odbedňování monolitických konstrukcí
9.3.2 Odformování dílců

10 VLASTNOSTI BETONU str. 213–232

10.1 NORMY NA ZKOUŠENÍ BETONU
10.2 PEVNOST BETONU
10.3 ZKOUŠENÍ PEVNOSTI BETONU
10.4 DEFORMACE BETONU
10.4.1 Technologické ovlivňování dotvarování betonu
10.4.2 Smršťování betonu
10.5 VODOTĚSNOST BETONU
10.6 TRVANLIVOST BETONU
10.6.1 Mrazuvzdornost betonu
10.6.2 Obrusnost betonu
10.6.3 Chemická koroze betonu
10.6.4 Koroze oceli v betonu

11 SPECIFIKACE A KONTROLA KVALITY BETONU str. 232–264

11.1 ZÁKLADNÍ POŽADAVKY SPECIFIKACE
11.2 ŘÍZENÍ VÝROBY
11.2.1 Řízení výroby obecně
11.2.2 Průkazní zkoušky
11.2.3 Výroba betonu
11.2.4 Ověřování složek betonu, zařízení, výrobních postupů a vlastností betonu
11.3 KONTROLA SHODY A KRITÉRIA SHODY PRO TYPOVÝ BETON DLE ČSN EN 206-1
11.3.1 Pojmy
11.3.2 Kontrola shody typového betonu pro pevnost v tlaku
11.3.3 Postup posuzování shody pevnosti betonu v tlaku
11.3.4 Kritéria pro posuzování shody pro pevnost v tlaku
11.3.5 Plán odběru vzorků a četnost zkoušek
11.3.6 Posuzování shody pro soubor betonů
11.3.7 Posuzování shody pevnosti betonu v příčném tahu
11.3.8 Posuzování shody pro jiné vlastnosti než pevnost
11.3.9 Kontrola shody betonu předepsaného složení

1 ZÁKLADNÍ INFORMACE

1.1 ZÁKLADNÍ POŽADAVKY
1.1.1 Mechanická odolnost a stabilita
1.1.2 Požární bezpečnost
1.1.3 Hygiena, ochrana zdraví a životního prostředí
1.1.4 Bezpečnost při užívání
1.1.5 Ochrana proti hluku
1.1.6 Úspora energie a ochrana tepla
1.2 UVÁDĚNÍ VÝROBKŮ NA TRH
1.2.1 Postup prokazování shody na výrobek „Beton pevnostních tříd C 12/15 a vyšší“
1.2.2 Prokazování shody dle NV 190/2002 Sb.
1.3 SYSTÉM KVALITY
1.4 VZTAH K ŽIVOTNÍMU PROSTŘEDÍ
1.5 HYGIENICKÁ NEZÁVADNOST BETONU
1.6 SLOŽKY BETONU

1.1 ZÁKLADNÍ POŽADAVKY

Stavební výrobek je výrobek určený pro trvalé zabudovaní do staveb, jehož vlastnosti mohou ovlivnit alespoň jeden ze základních požadavků na stavby. Trvalé zabudování výrobku do stavby je takové zabudování, při kterém se vyjmutím nebo výměnou trvale mění ukazatele užitných vlastností stavby. Vyjmutí nebo výměna výrobku je stavební prací. Stavební prací je stavební nebo montážní činnost, jejímž účelem je realizace stavby, její změna, popřípadě udržovací práce.

Základní požadavky jsou uvedeny v zákoně č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky v platném znění a v příloze č. 1 NV č. 163/2002 Sb. ve znění NV č. 312/2005 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky, a NV č. 190/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky

na stavební výrobky označované CE. Výrobky musí být při respektování hospodárnosti vhodné pro zamýšlené použití při stavbě. Výrobek musí udržet technické vlastnosti po dobu jeho ekonomicky přijatelné životnosti, tj. po dobu, kdy budou ukazatele užitných vlastností stavby udržovány na úrovni slučitelné s plněním základních požadavků na stavby.

Výrobky musí mít takové vlastnosti, aby stavby, pokud byly řádně projektovány, postaveny a udržovány, splňovaly následující požadavky:

1.1.1 Mechanická odolnost a stabilita

Stavba musí být navržena a postavena takovým způsobem, aby zatížení, o kterých se očekává, že na ni budou působit v průběhu stavění a užívání, neměla za následek:

- zřícení celé stavby nebo její části,
- větší stupeň nepřípustného přetvoření,
- poškození jiných částí stavby nebo technických zařízení nebo instalovaného vybavení následkem deformace nosné konstrukce,
- poškození událostí v rozsahu neúměrném působící příčině.

1.1.2 Požární bezpečnost

Stavba musí být navržena a postavena takovým způsobem, aby v případě požáru:

- byla po určitou dobu zachována nosnost a stabilita konstrukce,
- byl omezen vznik a šíření požáru a kouře ve stavebním objektu,
- bylo omezeno šíření požáru na sousední objekty,
- mohly osoby a zvířata opustit stavbu nebo být zachráněny jiným způsobem,
- byla brána v úvahu bezpečnost záchranných jednotek.

1.1.3 Hygiena, ochrana zdraví a životního prostředí

Stavba musí být navržena a postavena takovým způsobem, aby neohrožovala hygienu nebo zdraví jejích uživatelů nebo sousedů, především v důsledku:

- uvolňování toxických plynů,
- přítomnosti nebezpečných částic nebo plynů v ovzduší,

■ emise nebezpečného záření,
■ znečištění nebo zamoření vody a půdy,
■ nedostatečného zneškodňování odpadních vod, kouře a tuhých nebo kapalných odpadů,
■ výskytu vlhkosti v částech stavby nebo na površích uvnitř stavby.

1.1.4 Bezpečnost při užívání
Stavba musí být navržena a postavena takovým způsobem, aby při jejím užívání nebo provozu nevznikalo nepřijatelné nebezpečí úrazu, např. uklouznutím, smykem, pádem, nárazem, popálením, zásahem elektrickým proudem a zraněním výbuchem.

1.1.5 Ochrana proti hluku
Stavba musí být navržena a postavena takovým způsobem, aby hluk vnímaný obyvateli nebo osobami poblíž stavby byl udržován na úrovni, která neohrozí jejich zdraví a dovolí jim spát, odpočívat a pracovat v uspokojivých podmínkách.

1.1.6 Úspora energie a ochrana tepla
Stavba a její zařízení pro vytápění, chlazení a větrání musí být navrženy a postaveny takovým způsobem, aby spotřeba energie při provozu byla nízká s ohledem na klimatické podmínky místa a požadavky uživatelů.

1.2 UVÁDĚNÍ VÝROBKŮ NA TRH

Obecně platí, že výrobce je povinen uvádět na trh jen bezpečné výrobky, jejichž vlastnosti musí být prokázány stanoveným způsobem. Povinnost dokládat bezpečnost výrobků pro stavby tzv. Prohlášení o shodě, vydávaným na základě několika postupů ověřování shody vlastností výrobků se specifikacemi, je upravena zákonem č. 22/1997 Sb. O technických požadavcích na výrobky v platném znění, doplněným nařízením vlády č. 163/2002 Sb. ve znění NV č. 312/2005 Sb. a nařízením vlády č. 190/2002 Sb., kterými se stanoví technické požadavky na stavební výrobky a seznam stanovených výrobků.

Prohlášení o shodě – výrobce nebo dovozce stanoveného výrobku, tj. výrobku představujícího zvýšenou míru ohrožení, je povinen před uvedením výrobku na trh vydat písemné prohlášení o shodě výrobku s technickými předpisy a o dodržení stanoveného postupu posouzení shody dle příslušného nařízení vlády.

Kvalita, jakost – stupeň splnění požadavků (potřeba nebo očekávání, které jsou stanoveny, obecně se předpokládají nebo jsou závazné) souborem interních znaků (rozlišující vlastnost).

Systém – soubor vzájemně souvisejících nebo vzájemně působících prvků.

Systém managementu – systém pro stanovení Politiky a Cílů kvality a k dosažení těchto cílů.

Systém managementu kvality (QMS) – systém managementu pro zaměření a řízení organizace s ohledem na jakost.

Systém kvality – je organizační struktura, postupy, procesy a zdroje potřebné pro realizaci managementu (vrcholového řízení) jakosti.

Shoda – je vyhovující porovnání charakteristik výrobků s technickým předpisem (normou) při certifikaci výrobku. Kontrola shody je kombinace činností prováděných podle předepsaných nebo dohodnutých pravidel (kritérií), prokazuje shody se specifikacemi.

Certifikace – je postup, jímž třetí strana, tj. nestranný certifikační orgán, autorizovaná nebo notifikovaná osoba, poskytuje na základě prověrky (auditu) písemné ujištění (certifikát), že výrobek nebo systém řízení výroby ve výrobě odpovídá specifikovaným požadavkům a je ve shodě s předepsanou normou nebo jiným dokumentem.

Certifikace výrobku – certifikační orgán prohlašuje shodu charakteristik výrobků s příslušnými normami, či jinými uznávanými specifikacemi. Certifikace je povinná pro stanovené výrobky,

tj. pro významné výrobky, které výrazně ovlivňují bezpečnost jejich užívání při stavbě, zdraví a životním prostředí (zákon č. 22/1997 Sb.). Také může být povinná jen pro některé vlastnosti tohoto výrobku. Podle zákona č. 22/1997 Sb. ve znění NV č. 312/2005 Sb. o technických požadavcích na výrobky v platném znění a nařízení vlády č. 163/2002 resp. nařízení vlády č. 190/2002 Sb. je výrobce nebo dovozce stavebních výrobků povinen před uvedením výrobku na trh zajistit ověření shody parametrů výrobku s požadavky norem a předpisů a to jedním z následujících postupů:

- Postup podle NV č. 163/2002 Sb.
- Postup podle NV č. 163/2002 Sb.

1.2.1 Postup prokazování shody podle NV č. 163/2002 Sb.

Prokazování shody se výrobku „Beton pevnostních tříd C 12/15 a vyšší“ se řídí NV č. 163/2002 Sb. ve znění NV č. 312/2005 Sb., které určuje jako prioritní postup podle § 6 (posouzení systému řízení výroby), alternativně podle § 5 (certifikace výrobku).

Certifikace (§ 5)
Výrobce nebo dovozce poskytne autorizované osobě pro certifikaci výrobku identifikační údaje, technickou dokumentaci, vzorky výrobku a popis provozovaného systému řízení výroby, u dovážených výrobků popis způsobu kontroly výrobků dovozcem. Autorizovaná osoba provede certifikaci výrobku tak, že přezkoumá podklady poskytnuté výrobcem nebo dovozcem, provede počáteční zkoušky typu vybraných výrobků a provede posouzení systému řízení výroby. Pokud vzorky odpovídají určeným normám, technickým předpisům, případně stavebním technickým osvědčením, které souvisejí se základními požadavky a výrobcem je zajištěno řádné fungování systému řízení výroby, vystaví autorizovaná osoba **„Certifikát výrobku“**. Autorizovaná osoba provádí nejméně 1x za 12 měsíců pravidelný dohled nad fungováním systému řízení výroby a odebírá vzorky pro kontrolu dodržení stanovených požadavků u výrobků.

Certifikace bez zkoušek při dohledu (§ 5a)
Autorizovaná osoba může při dohledu vystavit **„Certifikát výrobku“** i bez zkoušek, a to u výrobků, u nichž se v příloze č. 2 k tomuto nařízení předpokládá tento způsob posuzování shody.

Posouzení systému řízení výroby (§ 6)
Výrobce pro posouzení systému řízení výroby provede nebo nechá provést zkoušky vzorku výrobku a vyhodnotí, zda typ výrobku odpovídá požadavkům stanoveným určenými normami, technickými předpisy nebo stavebním technickým osvědčením, zajistí technickou dokumentaci, zajišťuje takový systém řízení výroby, aby všechny výrobky uváděné na trh splňovaly stanovené požadavky a odpovídaly technické dokumentaci, zajistí u autorizované osoby posouzení jím provozovaného systému řízení výroby. Autorizovaná osoba provede posouzení systému řízení výroby. Pokud systém řízení výroby zabezpečuje, že výrobky uváděné na trh odpovídají technické dokumentaci, vydá o tom **„Certifikát řízení výroby“**. Autorizovaná osoba provádí nejméně 1x za 12 měsíců pravidelný dohled nad fungováním systému řízení výroby.

Ověření shody (§ 7)
Výrobce pro ověření shody výrobků zajistí u autorizované osoby provedení počáteční zkoušky typu výrobku na vzorku a posouzení shody typu výrobku s určenými normami (nebo jinými předpisy) autorizovanou osobou, zajistí technickou dokumentaci a zajišťuje takový systém řízení výroby, aby všechny výrobky uváděné na trh odpovídaly technické dokumentaci. Autorizovaná osoba provede počáteční zkoušky typu výrobku na vzorku a posoudí, zda typ výrobku odpovídá určeným technickým normám (nebo jiným předpisům). O výsledcích zkoušek a jejich posouzení vystaví **„Protokol“** s uvedením doby platnosti.

Posouzení shody výrobcem (§ 8)
Výrobce pro posouzení shody výrobků provede nebo nechá provést počáteční zkoušky typu výrobku na vzorku a posoudí, zda typ výrobku odpovídá určeným normám (nebo jiným předpisům). O výsledcích zkoušek a jejich posouzení pořizuje doklad. Zajistí technickou dokumentaci a zajišťuje takový systém řízení výroby, aby všechny výrobky uváděné na trh splňovaly požadavky stanovené určenými normami

(nebo jinými předpisy) a odpovídaly technické dokumentaci.

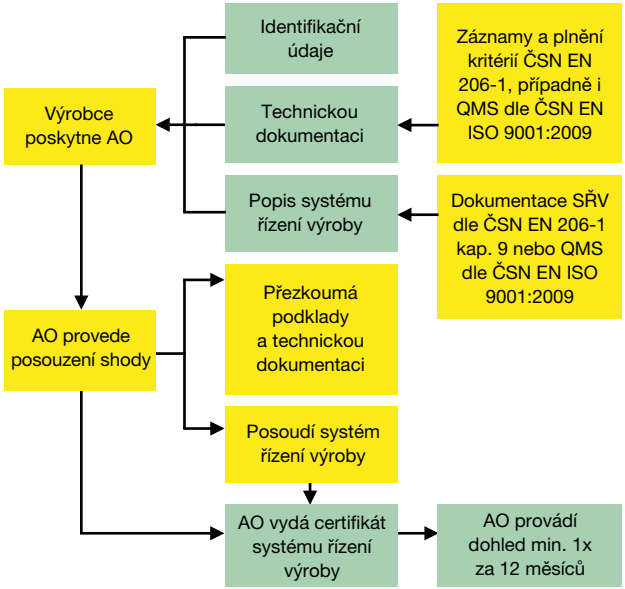
Posouzení shody při kusové výrobě (§ 9)
Výrobce může pro posouzení shody výrobků vyráběných kusově, namísto postupů prokazování shody uvedených v příloze č. 2, k tomuto NV zajistit posouzení shody, pokud určené normy nebo stavební technické osvědčení nestanoví jinak, následujícím postupem. Výrobce posoudí, zda výrobek je v souladu s těmito normami vzhledem k jeho určenému použití ve stavbě, a pořídí doklad o tomto posouzení. U výrobků, jejichž vlastnosti nejsou v souladu s těmito normami, zajistí u autorizované osoby posouzení technické dokumentace. Autorizovaná osoba vydá stavební technické osvědčení. Výrobce následně posoudí, zda vlastnosti vyráběného výrobku odpovídají vlastnostem uvedeným ve stavebním technickém osvědčení.

§ 10
Postupem posouzení shody podle § 5 lze na žádost výrobce nebo dovozce nahradit postupy posuzování shody podle § 6 až 8.

Výrobce vydává při všech postupech prokazování shody (§ 5 až § 9) „Prohlášení o shodě“ a dle § 13 NV č. 163/2002 Sb. ve znění NV č. 312/2005 Sb.

Autorizovaná osoba při postupech podle § 5, § 5a, § 6, § 7 a případně dle § 9 vydá doklad (certifikát, protokol, stavební technické osvědčení) který je v těchto případech nutnou podmínkou pro vydání „Prohlášení o shodě“.

Zákon č. 22/1997 Sb. dále definuje normu jako dokument označený ČSN, jehož vydání bylo oznámeno ve Věstníku Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Norma se stává harmonizovanou, je-li určena pro splnění technických požadavků na výrobky, vyplývajících z tohoto zákona a doprovodných nařízení vlády (seznamu výrobků). Tvorbu a vydávání norem zaručuje stát. České technické normy - ČSN - jsou po vydání platné, ale nezávazné. Závaznými se stávají až na základě požadavků zákonných nařízení (zákonů, nařízeních vlády, vyhlášek apod.) nebo na základě smluvních vztahů.



1.2.2. Prokazování shody dle NV 190/2002 Sb.
Platí pro vstupní suroviny: cement, kamenivo, přísady a příměsi.

NV 190/2002 Sb. v souladu s právem EU stanoví technické požadavky na stavební výrobky, které mají být uváděny na trh s označením CE. Jedná se o výrobky, na něž jsou požadavky stanoveny:

- harmonizovanými českými technickými normami
- zahraničními technickými normami přejímajícími ve státech EU harmonizované evropské normy
- evropskými technickými schváleními
- nebo určenými normami vztahujícími se k tomuto NV.

Výrobce provádí nebo zajišťuje posouzení shody vlastností výrobku s požadavky postupem dle § 5 NV 190/2002 Sb. postupy:

- **§ 5a** Výrobce provede nebo zajistí zkoušku typu výrobku a provozuje systém řízení výroby
- **§ 5b** Výrobce zajistí provedení zkoušky typu výrobku u autorizované (notifikované) osoby a provozuje systém řízení výroby
- **§ 5c** Výrobce provozuje systém řízení výroby a provádí zkoušky vzorků předepsaným způsobem. Autorizovaná (notifikovaná) osoba provádí zkoušku typu výrobku, posuzuje, vyhodnocuje a schvaluje systém řízení výroby, který výrobce provozuje, a dohlíží nad jeho řádným fungováním a namátkově odebírá vzorky výrobků v místě výroby, na trhu nebo na staveništi a kontroluje dodržování technických specifikací
- **§ 5d** Výrobce provozuje systém řízení výroby a provádí zkoušky vzorků předepsaným způsobem. Autorizovaná (notifikovaná) osoba provádí zkoušku typu výrobku, posuzuje, vyhodnocuje a schvaluje systém řízení výroby, který výrobce provozuje a dohlíží nad jeho řádným fungováním
- **§ 5e** Výrobce provádí zkoušku typu výrobku a zkoušky vzorků předepsaným způsobem a provozuje systém řízení výroby. Autorizovaná (notifikovaná) osoba posuzuje, vyhodnocuje a schvaluje systém řízení výroby, který výrobce provozuje a dohlíží nad jeho řádným fungováním
- **§ 5f** Výrobce provádí zkoušku typu výrobku a zkoušky vzorků předepsaným způsobem a provozuje systém řízení výroby. Autorizovaná (notifikovaná) osoba posuzuje, vyhodnocuje a schvaluje systém řízení výroby, který výrobce provozuje.

Výrobce vydává při všech postupech prokazování shody (§ 5a až § 5f) „Označení CE“ dle § 3 NV č. 190/2002 Sb. a příslušné harmonizované normy.

Notifikovaná osoba při postupech podle § 5b až § 5f vydá certifikát, který je v těchto případech nutnou podmínkou pro vydání „ES prohlášení o shodě“ a „Označení CE“.

Označení norem
ČSN P ENV je evropská předběžná norma, zahrnutá do systému ČSN, může obsahovat národní dodatek označovaný ND.

ČSN EN je evropská norma zahrnutá v systému ČSN, pouze pouhý překlad do češtiny, eventuálně s národní předmluvou.

prEN je návrh evropské definitivní normy před schválením členskými státy EU.

ČSN ISO je norma vydaná Mezinárodní organizací pro normalizaci, zahrnutá do systému ČSN, tyto normy se většinou zabývají metodami zkoušení.

1.3 SYSTÉM KVALITY

Zásady:

- **Nadřazenost kvality nad jiná hlediska**
- **Účast všech pracovníků organizace na zabezpečování kvality**
- **Bezvýhradná orientace na potřeby zákazníků**

Normy o řízení a zabezpečování kvality

- ČSN EN ISO 9000:2006 Systémy managementu kvality – Základní principy a slovník
- ČSN EN ISO 9001:2009 Systémy managementu kvality – Požadavky
- ČSN ISO 10001:2008 Management kvality – Spokojenost zákazníka – Směrnice pro pravidla chování organizací
- ČSN ISO 10002:2005 Management kvality – Spokojenost zákazníka – Směrnice pro vyřizování stížností v organizacích
- ČSN ISO 10003:2009 Management kvality – Spokojenost zákazníka – Směrnice pro externí řešení sporů organizace
- ČSN ISO 10005:2006 Systémy managementu kvality – Směrnice pro plány kvality

■ ČSN ISO/TR 10013:2002 Směrnice pro dokumentaci systému managementu jakosti
■ ČSN ISO 10014:2007 Management kvality – Směrnice pro dosahování finančních a ekonomických přínos
■ ČSN EN ISO/IEC 17 025:2005 Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří
■ ČSN EN ISO 19011:2003 Směrnice pro auditování systému managementu kvality a/nebo systému enviromentálního managementu

1.4 VZTAH K ŽIVOTNÍMU PROSTŘEDÍ

Snižování zátěže životního prostředí řeší betonářská technologie ve třech oblastech:

■ materiálové využití odpadů z výroby betonu (voda, kamenivo), nazývané bezodpadovou technologií čerstvého betonu,
■ materiálové využití asanovaných betonových konstrukcí (recyklace),
■ materiálové využívání průmyslových a stavebních odpadů jako složek betonu, čímž se omezují jednak skládky odpadů a jednak těžba přírodních surovin.
Výrobní proces musí respektovat vydané zákony k ochraně životního prostředí.

Systémy environmentálního managementu

ČSN EN ISO 14001:2003 Systémy enviromentálního managementu – Požadavky s návodem pro použití.

1.5 HYGIENICKÁ NEZÁVADNOST BETONU

Při posuzování stavebního výrobku z hlediska zdravých životních podmínek je nutno určit, zda na základě jeho složení lze předpokládat uvolňování škodlivých látek do prostředí při dané technologii a použití výrobků ve stavbě; odhadnout hygienická rizika.

Tato rizika souvisí s umístěním výrobku ve stavbě (interiér, exteriér, kontakt s vodou nebo s potravinami apod.).

Posuzování zdravotního rizika a vlivu na životní prostředí se provádí třemi testy:

1. Chemická analýza výluhu v rozsahu úměrném použití výrobku
Vzorky se vyluhují v pětinásobném množství destilované vody při 20 °C po dobu 24 hodin. Za naprosto nezávadný se považuje výluh s chemickým složením vyhovujícím pitné vodě (ČSN 75 7111). Chemickou analýzou se stanovuje především: pH, konduktivita, Al, As, Ag, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Sn, V, Zn, Tl. Výluhy betonu často překračují limity pitné vody v obsahu Al ($0,7 > 0,2$ mg.l^{-1}) a v pH ($11 > 6$-8).

2. Testy ekotoxicity na živých organizmech
Ekotoxicita je vlastnost stavebních látek, která způsobuje zatížení životního prostředí toxickými účinky na biotické systémy. Testuje se působení výluhu na ryby a planktonního korýše Thamnocephalus platyurus (akutní toxicita) a na chlorokokální řasy Raphidocelis subcapitata (inhibice růstu), vliv na klíčivost i růst kořene hořčice bílé Sinapis alba. Před vlastním testem se provádí dodatečná úprava pH výluhu. Proces probíhá postupnými testy podle pozitivních či negativních výsledků a vyhodnocení se provede metodou porovnávací nebo absolutní. Při různých koncentracích ve zvoleném časovém úseku se hodnotí LC 50 (letální koncentrace vodního výluhu, která způsobuje úhyn 50 % ryb), EC 50 (efektivní koncentrace vodního výluhu, která způsobí úhyn 50 % korýšů) a IC 50 (inhibice - stimulace - růstu řas nebo kořene hořčice bílé je vyšší než 50 %).

3. Hmotnostní aktivita přírodních radionuklidů (tzv. radioaktivita)
I přírodní materiály obsahují určitý podíl radioaktivních izotopů prvků, mj. uranu (U) a radia (Ra), ze kterých v průběhu radioaktivního rozpadu vzniká mj. i izotop radonu (Rn). Radon je plyn,

který proniká volně do ovzduší a je následně vdechován do plic, kde pak dále pokračuje radioaktivní rozpad. Vyhláškou SÚJB č. 499/2005 Sb. jsou stanoveny přípustné hodnoty hmotnostní aktivity stavebních materiálů.

Hlavním ukazatelem je index hmotnostní aktivity I, vypočítaný z hmotnostních aktivit izotopů radia Ra-226, draslíku K-40 a thoria Th-228, dalším ukazatelem je hmotnostní aktivita samotného radia Ra-226. Požadavky jsou rozděleny na stavby, ve kterých pobývají lidé (pobytové stavby) a na stavby jiné, a na směrné a limitní hodnoty. Směrné hodnoty mají charakter doporučených hodnot, při jejich překročení je nutno uplatnit některá další opatření pro ochranu před ionizujícím zářením. Limitní hodnoty nesmí být překročeny (materiál nesmí být uveden do oběhu).

Pro posouzení výrobku je rozhodující hodnota naměřená na hotovém výrobku, ne hodnoty vstupních materiálů - např. u betonu s použitím popílku jako příměsi.

Stavební materiály a mezní hodnoty hmotnostní aktivity Ra-226, při jejichž překročení se nesmí stavební materiál uvádět do oběhu

stavební materiál	A [1)]	B [2)]
Cihly a jiné stavební výrobky z pálené hlíny; stavební výrobky z betonu, sádry, cementu a vápna; stavební výrobky z pórobetonu a škvárobetonu	150 Bq/kg	500 Bq/kg
Stavební kámen; stavební výrobky z přírodního a umělého kamene, umělé kamenivo; keramické obklady a dlaždice; písek, štěrk, kamenivo a jíly; popílek, škvára, struska, sádrovec vznikající v průmyslových procesech, hlušina a kaly pro stavební účely, stavební výrobky z nich jinde neuvedené; materiály z odvalů, výsypek a odkališť pro stavební účely kromě radiačních činností; cement, vápno, sádra	300 Bq/kg	1 000 Bq/kg

[1)] stavby s obytnými nebo pobytovými místnostmi
[2)] stavby výhradně jiné než s obytnými nebo pobytovými místnostmi

Směrné hodnoty obsahu přírodních radionuklidů ve stavebním materiálu

stavební materiál	index hmotnostní aktivity
Stavební materiály určené ke stavbě zdí, stropů a podlah ve stavbách s obytnými nebo pobytovými místnostmi, zejména zdící prvky, prefabrikované výrobky, tvárnice, cihly, beton, sádrokarton	0,5
Ostatní stavební materiály určené k použití ve stavbách s obytnými nebo pobytovými místnostmi	1
Stavební materiály určené k použití jinému než ve stavbách s obytnými nebo pobytovými místnostmi, veškeré stavební materiály určené výhradně k použití jako surovina pro výrobu stavebních materiálů	2

Rozsah (četnost) rozborů obsahu přírodních radionuklidů ve stavebním materiálu

stavební materiál	rozsah rozborů
Stavební materiály určené ke stavbě zdí, stropů a podlah ve stavbách s obytnými nebo pobytovými místnostmi, zejména zdící prvky, prefabrikované výrobky, tvárnice, cihly, beton, sádrokarton	jednou za rok
Ostatní stavební materiály určené k použití ve stavbách s obytnými nebo pobytovými místnostmi	jednou za 2 roky
Stavební materiály určené k použití jinému než ve stavbách s obytnými nebo pobytovými místnostmi	jednou za 5 let

Použití betonu pro stavby a výrobky přicházející do přímého styku s pitnou vodou a na úpravu vody

Vyhláška MZ č. 409 ze dne 30. září 2005 o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody stanovuje v §12 Vodovodní potrubí a vodojemy opatřené na místě vnitřní vystýlkou na bázi cementu následující požadavky:

- vodovodní potrubí do průměru DN 300 včetně, které bylo opatřeno na místě vnitřní vystýlkou na bázi cementu, může být uvedeno do provozu až poté, kdy bylo 7 dní ve styku s pitnou vodou, která byla minimálně třikrát obměněna po minimální stagnaci 24 hodin, a když bylo po nejméně 24hodinové stagnaci pitné vody v potrubí zkouškou ověřeno, že kvalita této vody odpovídá vodě pitné, a to provedením rozboru této vody v rozsahu kráceného rozboru, uvedeného v příloze č. 5 zvláštního právního předpisu a stanovením hodnoty koncentrace hliníku,
- vodovodní potrubí většího průměru než DN 300, které bylo opatřeno na místě vnitřní vystýlkou na bázi cementu, může být uvedeno do provozu až poté, kdy po proplachu bylo zkouškou ověřeno, že kvalita pitné vody po 24hodinové stagnaci odpovídá vodě pitné, a to provedením rozboru této vody v rozsahu kráceného rozboru, uvedeného v příloze č. 5 zvláštního právního předpisu a stanovením hodnoty koncentrace hliníku,
- nový nebo rekonstruovaný vodojem, který má plochy stěn přicházejících do styku s pitnou vodou z betonu nebo kryté vystýlkou na bázi cementu, může být uveden do provozu až poté, kdy jeho stěny byly dostatečně opláchnuty pitnou vodou, a když bylo po nejméně 24hodinové stagnaci pitné vody ve vodojemu zkouškou ověřeno, že kvalita této vody odpovídá vodě pitné, a to provedením rozboru vody v rozsahu kráceného rozboru, uvedeného v příloze č. 5 zvláštního právního předpisu a stanovením hodnoty koncentrace hliníku.

1.6 SLOŽKY BETONU

Základní
- cement
- voda
- kamenivo

Doplňkové
- přísady (do 5 % cementu)
- příměsi (práškové látky)

Výztuž
- betonářská ocel (pruty, sítě)
- předpjatá výztuž, rozptýlená výztuž (drátky, vlákna)

2 CEMENT

2.1 SLOŽKY
2.1.1 Hlavní složky
2.1.2 Doplňující složky
2.1.3 Síran vápenatý
2.1.4 Přísady
2.2 SLOŽENÍ A OZNAČOVÁNÍ CEMENTŮ
2.2.1 Cementy pro obecné použití podle ČSN EN 197-1
2.2.2 Normalizované označování
2.3 VLASTNOSTI CEMENTU
2.4 PRACOVNÍ HYGIENA A OCHRANA ZDRAVÍ
2.5 CEMENTY S UPRAVENÝMI VLASTNOSTMI DLE ČSN EN 197-1
2.5.1 Portlandský cement pro výrobu cementobetonových krytů vozovek CEM I 42,5 R - sc
2.5.2 Vysokopecní cement se zvýšenou síranovou odolností CEM III/A 32,5 R - svc
2.5.3 Cementy pro obecné použití s nízkým hydratačním teplem dle ČSN EN 197-1
2.6 CEMENTY S UPRAVENÝMI VLASTNOSTMI DLE JINÝCH NOREM
2.6.1 Síranovzdorný cement
2.6.2 Vysokopecní cementy s nízkou počáteční pevností
2.6.3 Speciální cementy s velmi nízkým hydratačním teplem
2.6.4 Hlinitanový cement
2.6.5 Cement pro zdění
2.6.6 Ostatní cementy s upravenými vlastnostmi
2.7 ZKOUŠENÍ CEMENTU
2.8 PŘEHLED VLASTNOSTÍ CEMENTŮ A JEJICH POUŽITÍ
2.8.1 Vlastnosti nabízených cementů
2.8.2 Použití nabízených cementů podle druhů
2.8.3 Použití nabízených cementů podle pevnostních tříd
2.9 SKLADOVÁNÍ CEMENTU

Cement je hydraulické pojivo, tj. jemně mletá anorganická látka, která po smíchání s vodou vytváří kaši, která tuhne a tvrdne v důsledku hydratačních reakcí a procesů. Po zatvrdnutí zachovává svoji pevnost a stálost také ve vodě.

Přehled platných norem o cementu

norma	obsah	druhy cementů	pevnostní třída	specifické vlastnosti
ČSN EN 197-1	cementy pro obecné použití včetně cementů s nízkým hydratačním teplem	CEM I až CEM V	32,5 N/R 42,5 N/R 52,5 N/R	LH (≤ 270 J/g)
ČSN EN 197-4	vysokopecní cement s nízkou počáteční pevností	CEM III	32,5 L 42,5 L 52,5 L	LH (≤ 270 J/g)
ČSN 72 2103	síranovzdorný cement	CEM I CEM III	32,5 N/R 42,5 N/R 52,5 N/R	SV ($C_3A \leq 3,5$)
ČSN EN 14216	speciální cementy s velmi nízkým hydratačním teplem	VLH III VLH IV VLH V	22,5	≤ 220 J/g
ČSN EN 14647	hlinitanový cement	CAC	18 (6h) + 40 (24h)	
ČSN EN 413-1	cement pro zdění	MC	5 12,5 a 12,5 X 22,5 X	

2.1 SLOŽKY

2.1.1 Hlavní složky

Jsou zvlášť vybrané anorganické látky v množství převyšujícím 5 % hmotnosti všech použitých hlavních a doplňujících složek.

■ Portlandský slínek (K)

Portlandský slínek se vyrábí pálením nejméně do slinutí přesně připravené surovinové směsi obsahující prvky, obvykle vyjádřené jako oxidy CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 a malá množství jiných látek. Surovinová směs musí být homogenní.

Portlandský slínek je hydraulická látka, která se musí sestávat nejméně ze dvou třetin hmotnosti z křemičitanů vápenatých (trikalciumsilikát C_3S / Alit a dikalciumsilikát C_2S / Belit). Ve zbytku jsou pak obsaženy slínkové fáze obsahující hliník a železo a jiné sloučeniny (trikalciumaluminát C_3A a tetrakalciumaluminátferit C_4AF).

■ Granulovaná vysokopecní struska (S)

Granulovaná vysokopecní struska vzniká rychlým ochlazením vhodně složené struskové taveniny vznikající při tavení železné rudy ve vysoké peci. Struska musí být nejméně ze dvou třetin hmotnosti sklovitá a při vhodné aktivaci musí vykazovat hydraulické vlastnosti.

Granulovaná vysokopecní struska se musí sestávat nejméně ze dvou třetin hmotnosti z oxidu vápenatého (CaO), oxidu hořečnatého (MgO) a oxidu křemičitého (SiO_2). Zbytek obsahuje oxid hlinitý (Al_2O_3) a malá množství jiných sloučenin. Hmotnostní podíl (CaO + MgO) / (SiO_2) musí být větší než 1.

■ Pucolány (P,Q)

Pucolány jsou přírodní látky křemičité nebo křemičito-hlinité, popřípadě kombinace obou. Popílek a křemičitý úlet mají rovněž pucolánové vlastnosti, ale jsou uvedeny v samostatných článcích.

Pucolány po smíchání s vodou samy netvrdnou, avšak jsou-li jemně semlety, reagují v přítomnosti vody za normální teploty s rozpuštěným hydroxidem vápenatým ($Ca(OH)_2$) a tvoří sloučeniny křemičitanů vápenatých a hlinitanů vápenatých, které jsou nositeli narůstající pev-

nosti. Tyto sloučeniny jsou podobné těm, které vznikají při tvrdnutí hydraulických látek. Pucolány obsahují v podstatě aktivní oxid křemičitý (SiO_2) a oxid hlinitý (Al_2O_3). Ve zbytku pak oxid železitý (Fe_2O_3) a jiné oxidy. Obsah aktivního oxidu křemičitého musí být nejméně 25 % hmotnosti.

Přírodní pucolán (P)
Přírodní pucolány jsou obvykle látky vulkanického původu nebo sedimentární horniny vhodného chemického a mineralogického složení.

Přírodní kalcinované pucolány (Q)
Přírodní kalcinované pucolány jsou látky vulkanického původu, hlíny, břidlice nebo sedimentované horniny, aktivované tepelnou úpravou.

■ **Popílky (V,W)**
Popílek se získává elektrostatickým nebo mechanickým odlučováním prachových částic z kouřových plynů topenišť otápěných práškovým uhlím.
Popílek získaný jiným způsobem nesmí být v cementech podle EN 197-1 použit.
Popílek může být svou podstatou křemičitý nebo vápenatý. První má pucolánové vlastnosti, druhý může mít navíc hydraulické vlastnosti. Ztráta žíháním popílku, stanovená podle EN 196-2, avšak při době žíhání 1 hodinu, musí být v rozsahu hodnot uvedených níže:
a) (0 až 5) % hmotnosti
b) (2 až 7) % hmotnosti
c) (4 až 9) % hmotnosti

Horní hodnota rozsahu ztráty žíháním popílku použitého při výrobě cementu jako hlavní složky musí být uvedena na pytli a/nebo v průvodních obchodních dokladech.

Popílek se ztrátou žíháním do 7 % nebo do 9 % hmotnosti může být použit za předpokladu, že jsou splněny požadavky na trvanlivost, zejména na mrazuvzdornost a na slučitelnost s přísadami podle příslušných norem a/nebo předpisů pro beton nebo maltu v místě použití.

Křemičitý popílek (V)
Křemičitý popílek je jemný prášek převážně sestávající z kulových částic s pucolánovými vlastnostmi. Sestává zejména z aktivního oxidu křemičitého (SiO_2) a oxidu hlinitého (Al_2O_3). Ve zbytku je pak obsažen oxid železitý (Fe_2O_3), oxid vápenatý (CaO) a jiné sloučeniny.

Obsah aktivního CaO musí být nižší než 10 % hmotnosti. Obsah volného CaO stanovený metodou uvedenou v EN 451-1 nesmí být vyšší než 1 % hmotnosti. Popílek s obsahem volného CaO nad 1 % hmotnosti avšak méně než 2,5 % hmotnosti může být rovněž použit za předpokladu, že jsou splněny požadavky na objemovou stálost nepřevyšující 10 mm při zkoušení podle EN 196-3 se směsí 30 % hmotnosti křemičitého popílku a 70 % hmotnosti cementu CEM I, který odpovídá EN 197-1.
Obsah aktivního SiO_2 nesmí být menší než 25 % hmotnosti.

Vápenatý popílek (W)
Vápenatý popílek je jemný prášek, který má hydraulické a/nebo pucolánové vlastnosti. Sestává zejména z aktivního oxidu vápenatého (CaO), aktivního oxidu křemičitého (SiO_2) a oxidu hlinitého (Al_2O_3). Ve zbytku je pak obsažen oxid železitý (Fe_2O_3) a jiné sloučeniny. Obsah aktivního CaO nesmí být menší než 10,0 % hmotnosti.
Rozpínání při zkoušce objemové stálosti vápenatého popílku podle EN 196-3 nesmí být větší než 10 mm s použitím směsi 30 % hmotnosti vápenatého popílku semletého výše uvedeným způsobem a 70 % hmotnosti cementu CEM I, který odpovídá EN 197-1.

■ **Kalcinovaná břidlice (T)**
Kalcinovaná břidlice, zejména kalcinovaná olejnatá břidlice, se vyrábí ve speciální peci při teplotě přibližně 800 °C. Podle složení přírodního materiálu a výrobního postupu obsahuje kalcinovaná břidlice slínkové fáze, zvláště dikalciumsilikát a monokalciumaluminát. Kalcinovaná břidlice má v jemně semletém stavu výrazné hydraulické vlastnosti jako portlandský cement a navíc má pucolánové vlastnosti.
Vhodně semletá kalcinovaná břidlice musí mít při zkoušení podle EN 196-1 po 28 dnech pevnost v tlaku nejméně 25,0 MPa.

Rozpínání při zkoušce objemové stálosti kalcinované břidlice podle EN 196-3 nesmí být větší než 10 mm s použitím směsi 30 % hmotnosti semleté kalcinované břidlice a 70 % hmotnosti cementu CEM I odpovídajícího EN 197-1.

■ **Vápenec (L,LL)**
Vápenec musí splňovat tyto požadavky:

a) obsah uhličitanu vápenatého ($CaCO_3$), vypočtený z obsahu oxidu vápenatého, musí být nejméně 75 % hmotnosti,

b) obsah jílovitého podílu, stanovený zkouškou methylenovou modří podle EN 933-9, nesmí být větší než 1,20 g/100g,

c) celkový obsah organického uhlíku (TOC), při zkoušení podle EN 13639 musí vyhovět těmto kritériím:
LL: obsah TOC nesmí být větší než 0,20 % hmotnosti,
L: obsah TOC nesmí být větší než 0,50 % hmotnosti.

■ **Křemičitý úlet (D)**
Křemičitý úlet vzniká při redukci křemene vysoké čistoty uhlím v elektrické obloukové peci při výrobě křemičitých nebo ferrokřemičitých slitin a sestává z velmi jemných, kulovitých částic obsahujících nejméně 85 % hmotnosti amorfního oxidu křemičitého.
Křemičitý úlet musí splnit tyto požadavky:
a) ztráta žíháním nesmí být vyšší než 4,0 % hmotnosti při stanovení podle EN 196-2, avšak při době žíhání 1 hodina,
b) měrný povrch (BET) původního křemičitého úletu při zkoušení podle ISO 9277 musí být nejméně 15,0 m^2/g.
Pro společné semílání se slínkem a síranem vápenatým může být použit křemičitý úlet v původním stavu nebo lisovaný nebo granulovaný (ovlhčený vodou).

2.1.2 Doplňující složky
Jsou zvlášť vybrané anorganické přírodní látky, anorganické látky pocházející z procesu výroby slínku nebo složky uvedené v ČSN EN 197-1, kap. 5.2, pokud nejsou v cementu použity jako složky hlavní. Množství doplňující složky nesmí převyšovat 5 % hmotnosti všech použitých hlavních a doplňujících složek.
Doplňující složky po vhodné úpravě nebo v důsledku jejich zrnitosti zlepšují fyzikální vlastnosti cementu (jako je zpracovatelnost nebo retence vody). Mohou být inertní nebo mohou mít slabě hydraulické, latentně hydraulické nebo pucolánové vlastnosti. V tom směru však na ně nejsou kladeny požadavky.
Doplňující složky musí být řádně připraveny tj. vybrány, homogenizovány, vysušeny a zdrobněny podle způsobu jejich úpravy nebo dodávání. Nesmí výrazněji zvyšovat spotřebu vody pro zpracování cementu, nesmí v žádném případě snižovat odolnost betonu nebo malty vůči poškození a nesmí snižovat ochranu výztuže vůči korozi.

2.1.3 Síran vápenatý
Se přidává k ostatním složkám cementu v průběhu jeho výroby za účelem úpravy tuhnutí.

2.1.4 Přísady
Jsou látky, které jsou přidávány pro usnadnění výroby nebo pro úpravu vlastností cementu. Celkové množství přísad nesmí překročit 1 % hmotnosti cementu. Množství organických přísad nesmí překročit 0,5 % hmotnosti cementu.

2.2 SLOŽENÍ A OZNAČOVÁNÍ CEMENTŮ

2.2.1 Cementy pro obecné použití podle ČSN EN 197-1
Účelem EN 197-1 je stanovit složení, požadavky a kritéria shody cementů pro obecné použití. Zahrnuje všechny cementy pro obecné použití a cementy pro obecné použití s nízkým hydratačním teplem (LH). Hydratační teplo cementů pro obecné použití s nízkým hydratačním teplem nesmí být větší než charakteristická hodnota 270 J/g.

Cementy pro obecné použití podle ČSN EN 197-1

Hlavní druhy	Označení 27 výrobků (druhy cementů pro obecné použití)		Složení (poměry složek podle hmotnosti)				
			Hlavní složky				
			Slínek	Vysokopecní struska	Křemičitý úlet	Pucolány	
						přírodní	přírod. kalcin.
			K	S	D	P	Q
CEM I	Portlandský cement	CEM I	95-100	-	-	-	-
CEM II Portlandský cement směsný	Portlandský struskový cement	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-
	Portlandský cement s křemičitým úletem	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-
	Portlandský pucolánový cement	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-
		CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35
	Portlandský popílkový cement	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-
		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-
		CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-
	Portlandský cement s kalcinov. břidlicí	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-
	Portlandský cement s vápencem	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-
		CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-
	Portlandský směsný cement	CEM II/A-M	80-94	6-20			
		CEM II/B-M	65-79	21-35			
CEM III	Vysokopecní cement	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-
CEM IV	Pucolánový cement	CEM IV/A	65-89	-		11-35	
		CEM IV/B	45-64	-		36-65	
CEM V	Směsný cement	CEM V/A	40-64	18-30	-	18-30	
		CEM V/B	20-38	31-50	-	31-50	

Složení (poměry složek podle hmotnosti)					
Hlavní složky					Doplňující složky
Popílky		Kalcinovaná břidlice	Vápenec		
křemičité	vápenaté				
V	W	T	L	LL	
-	-	-	-	-	0 - 5
-	-	-	-	-	0 - 5
-	-	-	-	-	0 - 5
-	-	-	-	-	0 - 5
-	-	-	-	-	0 - 5
-	-	-	-	-	0 - 5
-	-	-	-	-	0 - 5
-	-	-	-	-	0 - 5
6-20	-	-	-	-	0 - 5
21-35	-	-	-	-	0 - 5
-	6-20	-	-	-	0 - 5
-	21-35	-	-	-	0 - 5
-	-	6-20	-	-	0 - 5
-	-	21-35	-	-	0 - 5
-	-	-	6-20	-	0 - 5
-	-	-	21-35	-	0 - 5
-	-	-	-	6-20	0 - 5
-	-	-	-	21-35	0 - 5
6-20					0 - 5
21-35					0 - 5
-	-	-	-	-	0 - 5
-	-	-	-	-	0 - 5
-	-	-	-	-	0 - 5
11-35		-	-	-	0 - 5
36-65		-	-	-	0 - 5
18-30	-	-	-	-	0 - 5
31-50	-	-	-	-	0 - 5

2.2.2 Normalizované označování

Cementy CEM musí být přinejmenším označovány druhem cementu podle tabulky 1 a hodnotami 32,5; 42,5 a 52,5 označujícími pevnostní třídy. K označení tříd podle počátečních pevností se podle potřeby připojí písmena N (normální počáteční pevnost) nebo R (vysoká počáteční pevnost).

Příklad: Portlandský cement podle EN 197-1 pevnostní třídy 42,5 s vysokými počátečními pevnostmi se označí:

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

Příklad: Portlandský cement s vápencem obsahující mezi 6 - 20 % hmotnosti vápence, s obsahem TOC, který nepřekračuje 0,20 % hmotnosti (LL), pevnostní třídy 42,5 s vysokými počátečními pevnostmi se označí:

■ Portlandský cement s vápencem EN 197-1 - CEM II/A-LL 42,5 R

Příklad: Portlandský směsný cement obsahující celkové množství vysokopecní granulované strusky (S), vápence s obsahem TOC, který nepřekračuje 0,20 % hmotnosti (LL) mezi 21 – 35 % hmotnosti, pevnostní třídy 32,5 s vysokými počátečními pevnostmi se označí:

■ Portlandský směsný cement EN 197-1 - CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R

Příklad: Portlandský struskový cement obsahující mezi 21 - 35 % hmotnosti vysokopecní granulované strusky (S), pevnostní třídy 32,5 s vysokými počátečními pevnostmi se označí:

■ Portlandský struskový cement EN 197-1 - CEM II/B-S 32,5 R

Příklad: Vysokopecní cement obsahující mezi 36 - 65 % hmotnosti vysokopecní granulované strusky (S), pevnostní třídy 32,5 s normálními počátečními pevnostmi se označí:

■ Vysokopecní cement EN 197-1 - CEM III/A 32,5 N

2.3 VLASTNOSTI CEMENTU

Charakteristické hodnoty pevnosti v tlaku a počátku tuhnutí jsou předepsány podle pevnostních tříd.

Požadavky na mechanické a fyzikální vlastnosti cementů uvedené jako charakteristické hodnoty dle ČSN EN 197-1

pevnostní třída	pevnost v tlaku MPa				počátek tuhnutí
	počáteční pevnost		normalizovaná pevnost 28 dnů		
	2 dny	7 dnů			
32,5 N	-	≥ 16	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75
32,5 R	≥ 10,0	-			
42,5 N	≥ 10,0	-	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60
42,5 R	≥ 20,0	-			
52,5 N	≥ 20,0	-	≥ 52,5	-	≥ 45
52,5 R	≥ 30,0	-			

Objemová stálost všech cementů se stanovuje dle EN 196-3 v Le Chatelierově objímce a její roztažení musí být menší než 10 mm.

Měrné hmotnosti cementu nejsou předepsány, orientační hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce.

Měrná hmotnost cementu [kg.m^{-3}]

cement	měrná hmotnost	sypná hmotnost volně nasypané	sypná hmotnost setřesené
portlandský	3100	900 - 1300	1400 - 1800
portlandský struskový	3050		
portlandský cement s vápencem	3050		
vysokopecní	3000		
portlandský směsný	2950		
pucolánový	2900		

Jemnost mletí cementu se nepředepisuje.

Běžná hodnota **měrného povrchu**, stanovená permeabilní metodou (Blaine), bývá v rozmezí (300–450) $m^2.kg^{-1}$. Jemnost mletí ovlivňuje počáteční nárůst pevností, počátek a dobu tuhnutí, objemové změny a rychlost vývinu hydratačního tepla.

Hydratační teplo při 20 °C (orientační hodnoty, podle EN 196-8) [J.g^{-1}]

druh cementu	pevnostní třída	stanovení hydratačního tepla cementu za:			
		1 den	2 dny	7 dní	28 dní
portlandský cement	52,5 R a 52,5 N 42,5 R	175-250	210-285	270-345	320-395
portlandský cement s vápencem	52,5 N a 42,5 R	180-255	220-295	280-355	315-390
portlandský struskový a vysokopecní cement	42,5 N a 32,5 R	120-195	175-250	250-325	275-350
portlandský směsný	42,5 N a 32,5 R	135-210	180-255	250-325	275-350
vysokopecní cement	32,5 N	70-145	135-210	225-300	250-325

Cementy s nízkým hydratačním teplem pro masivní betonové konstrukce mají mít hydratační teplo po 7 dnech (stanovené podle ČSN EN 196-8) nebo po 41 hodinách (stanovené podle ČSN EN 196-9) nejvýše 270 kJ.kg^{-1}.

Chemické složení cementů podléhá v některých parametrech požadavkům normy uvedených v tabulce.

Požadavky na chemické vlastnosti cementů uvedené jako charakteristické hodnoty dle ČSN EN 197-1

vlastnost	druh cementu	pevnostní třída cementu	požadavek v % hm.
ztráta žíháním	CEM I, CEM II	všechny	≤ 5,0
nerozpustný zbytek	CEM I, CEM II	všechny	≤ 5,0
obsah síranů (jako SO_3)	CEM I, CEM II	32,5 N, 32,5 R, 42,5 N	≤ 3,5
	CEM IV, CEM V	42,5 R, 52,5 N, 52,5 R	≤ 4,0
	CEM III	všechny	≤ 4,0
obsah chloridů	všechny	všechny	≤ 0,1
pucolanita	CEM IV	všechny	vyhoví zkoušce dle EN 196-5

Obsah alkálií vyjádřen jako Na_2O_{EKV} se nepředepisuje.

Běžná hodnota u vyráběných cementů se pohybuje v rozmezí 0,70 - 1,00 %.

Alkalický ekvivalent se vypočítá podle vzorce:

$$Na_2O_{EKV} = Na_2O . 0,658 K_2O [\%]$$

2.4 PRACOVNÍ HYGIENA A OCHRANA ZDRAVÍ

Cement reaguje s vodou výrazně alkalicky, a je proto klasifikován podle zákona č. 356/2003 Sb. v platném znění jako látka dráždivá s označení Xi. Platí to pro cement ve stavu práškovém a bezprostředně po smísení s vodou na cementový tmel. Po ztvrdnutí cementového tmelu nebo betonu tuto nebezpečnou vlastnost ztrácí. Podobně působí některé rozpustné chromany, obsažené v cementu, které mohou při dlouhodobém styku pokožky s čerstvou cementovou maltou nebo betonem vyvolávat alergii. Přípustný expoziční limit pro prach z cementu (PELc) je 10 $mg.m^{-3}$. Pro manipulaci s cementem je nutno používat přiléhavý pracovní oděv, ochranné nepropustné rukavice, ochranné brýle a pokud dochází k rozprášení i respirátor. Je nutno zabránit zejména styku cementu s očima, po práci umýt pokožku teplou vodou a mýdlem a použít vhodný reparační krém. Ekologické riziko představuje jen rozsypání velmi velikého množství cementu ve spojení s vodou. Dochází při tom ke zvýšení hodnoty pH vody a tím k ovlivnění vodního prostředí.

Platí následující R a S věty

R věty - Standardní věty s označením specifické rizikovosti nebezpečných látek a přípravků:

- R 36/37/38 Dráždí oči, dýchací orgány a kůži
- R 43 Může vyvolat senzibilizaci při styku s kůží (tato věta se použije pouze v případě, že cement neobsahuje redukční činidlo)

S věty - Standardní věty s pokyny pro bezpečné nakládání s nebezpečnými látkami a přípravky:

- S 2 Uchovávejte mimo dosah dětí
- S 22 Nevdechujte prach
- S 24 Zamezte styku s kůží
- S 25 Zamezte styku s očima
- S 26 Při zasažení očí okamžitě důkladně propláchněte vodou a vyhledejte lékařskou pomoc
- S 36/37/39 Používejte vhodný ochranný oděv, ochranné rukavice a ochranné brýle nebo obličejový štít

■ S 46 Při požití okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc a ukažte tento obal nebo označení

Chróm
V Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č.1907/2006, v příloze XVII bodu 47 se pro cement uvádějí následující omezení:

Cement a přípravky obsahující cement se nesmějí používat ani uvádět na trh, jestliže po smíšení s vodou obsahují více než 0,0002 % rozpustného šestimocného chrómu, vztaženo na celkovou hmotnost suchého cementu.

Jestliže se použijí redukční činidla, musí být obal cementu nebo přípravku obsahující cement čitelně označen informacemi o datu balení, jakož i údaji o podmínkách a době skladování vhodných pro zachování aktivity redukčního činidla a udržení obsahu rozpustného šestimocného chrómu pod limitem 2 ppm.

Tyto odstavce se nepoužijí pro uvádění na trh a používání v „kontrolovaných uzavřených a plně automatizovaných procesech, v nichž s cementem a přípravky obsahující cement manipulují pouze strojní zařízení a v nichž není možný styk s kůží“.

Které procesy se považují za kontrolované uzavřené a plně automatizované, se uvádí ve sdělení odboru environmentálních rizik MŽP:
■ Proces výroby cementu, jeho přeprava jako volně loženého cementu v autocisternách nebo železničních vagonech a pneumatická doprava cementu do sil odběratelů.
■ Proces pneumatické dopravy cementu, jeho dávkování do zařízení pro přípravu a míchání čerstvého betonu, hydraulická doprava čerstvé betonové směsi do autodomíchávačů, její přeprava na stavbu a ukládání čerstvého betonu hydraulickými pumpami na příslušné místo betonáže na stavbách. V případě výroby prefabrikovaných dílců přímé ukládání čerstvého betonu do forem.
■ Proces dávkování cementu do zařízení pro průmyslovou výrobu suchých nebo vlhkých maltových a omítkových směsí, jejich výroba a doprava. V případě průmyslově vyráběných suchých a vlhkých maltových a omítkových směsí pro strojní zpracování i proces jejich aplikace na stavbě. Před použitím na stavbě jsou aplikační míchací a omítací stroje automaticky plněny z jednotlivých přepravních zásobníků a následně postupně vyprazdňovány v technologickém procesu bez možného fyzického kontaktu s obsluhou.

2.5 CEMENTY S UPRAVENÝMI VLASTNOSTMI DLE ČSN EN 197-1

2.5.1 Portlandský cement pro výrobu cementobetonových krytů vozovek CEM I 42,5 R -sc

Zpřísňující kritéria pro použití cementu na cementobetonové kryty vozovek v souladu s ČSN EN 13877-1 Cementobetonové kryty – Část 1: Materiály:
■ obsah C_3A ve slínku max. 8 %
■ měrný povrch cementu do 350 $m^2.kg^{-1}$
■ počátek tuhnutí nejdříve za 90 min. a doba tuhnutí do 12 hod.
■ pevnost v tahu ohybem za 28 dní min. 7 N/mm^2 (MPa)
■ objemová stálost: roztažení objímky do 6 mm
■ ztráta žíháním max. 1,5 % hmotnosti cementu
■ nerozpustný zbytek max. 3,0 % hmotnosti cementu

Zpřísňující kritéria jsou uvedena v Protokolu o výsledku certifikace výrobku.

Normalizované označování
Příklad: Portlandský cement pro cementobetonové kryty vozovek pevnostní třídy 42,5 s vysokými počátečními pevnostmi se označí:

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

2.5.2 Vysokopecní cement se zvýšenou síranovou odolností CEM III/A 32,5 R - svc

Je cement, který odpovídá požadavkům ČSN EN 197-1 pro mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti druhů a tříd cementů pro obecné použití.
Zpřísňující kritéria pro použití výrobku jako cementu se zvýšenou síranovou odolností jsou uvedena v Protokolu o výsledku certifikace výrobku. Síranové rozpínání stanovené dle metodiky TZÚS IP 0400T 007 musí být menší než 0,6 $mm.m^{-1}$, obsah C_3A v portlandském slínku je max. 8 % a obsah C_3A ve vysokopecním cementu CEM III/A 32,5 R - svc je max. 4 %.

Obsah C_3A se vypočítá z chemické analýzy cementu dle vzorce:

$$C_3A = 2{,}6504 \cdot Al_2O_3 - 1{,}692\ Fe_2O_3$$

Normalizované označování
Příklad: Vysokopecní cement se zvýšenou síranovou odolností pevnostní třídy 32,5 s vysokými počátečními pevnostmi se označí:

■ Vysokopecní cement EN 197-1 - CEM III/A 32,5 R - svc

2.5.3 Cementy pro obecné použití s nízkým hydratačním teplem dle ČSN EN 197-1

Dle této změny hydratační teplo cementu pro obecné použití s nízkým hydratačním teplem nesmí být větší než charakteristická hodnota 270 J/g při stanovení podle EN 196-8 po 7 dnech nebo podle EN 196-9 po 41 hodinách.

Normalizované označování
Příklad: Vysokopecní cement podle EN 197-1, obsahující mezi 66 - 80 % hmotnosti vysokopecní granulované strusky (S), pevnostní třídy 32,5 s normálními počátečními pevnostmi a nízkým hydratačním teplem se označí:

■ Vysokopecní cement EN 197-1 - CEM III/B 32,5 N - LH

2.6 CEMENTY S UPRAVENÝMI VLASTNOSTMI DLE JINÝCH NOREM

2.6.1 Síranovzdorný cement

ČSN 72 2103 Cement síranovzdorný - Složení, specifikace a kritéria shody

Tato norma definuje a určuje specifikace pro 3 výrobky souboru cementů síranovzdorných (SV) a jejich složky.

Podle hlavních druhů jsou cementy síranovzdorné rozděleny takto:

■ CEM I Portlandský cement síranovzdorný (se záměrně upraveným chemickým složením - SV), s obsahem C_3A max. 3,5 % hmotnosti cementu
■ CEM III Vysokopecní cement síranovzdorný CEM III/B nebo CEM III/C (se záměrně upraveným složením - SV), obsah C_3A není limitován

Normalizované označování

Příklad: Portlandský cement síranovzdorný podle této ČSN 72 2103 pevnostní třídy 42,5 s vysokými počátečními pevnostmi se označí:

■ Portlandský cement síranovzdorný ČSN 72 2103 CEM I 42,5 R-SV

2.6.2 Vysokopecní cementy s nízkou počáteční pevností

ČSN EN 197-4 Cement část 4: Složení, specifikace a kritéria shody vysokopecních cementů s nízkou počáteční pevností

Norma definuje a určuje specifikace pro 3 jmenovité vysokopecní cementy s nízkými počátečními pevnostmi a pro jejich složky.

Fyzikální a chemické vlastnosti cementu

pevnostní třída	pevnost v tlaku MPa				počátek tuhnutí [min]	objemová stálost [mm]
	počáteční pevnost		normalizovaná pevnost 28 dnů			
	2 dny	7 dnů				
32,5 L	-	≥ 12,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10,0
42,5 L	-	≥ 16,0	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	
52,5 L	≥ 10,0	-	≥ 52,5	-	≥ 45	

Normalizované označování

Vysokopecní cementy s nízkými počátečními pevnostmi musí být přinejmenším označovány druhem cementu a hodnotami 32,5; 42,5 a 52,5, označujícími pevnostní třídu. Pro označení nízké počáteční pevnosti se použije písmeno L. Pro cementy s nízkým hydratačním teplem se dodatečně použijí písmena LH.

Příklad: Vysokopecní cement s nízkou počáteční pevností obsahující 66 % až 80 % hmotnosti vysokopecní granulované strusky (S), pevnostní třídy 32,5 se označí:

■ Vysokopecní cement s nízkou počáteční pevností
EN 197-4 - CEM III/B 32,5 L

Příklad: Vysokopecní cement s nízkou počáteční pevností obsahující 81 % až 95 % hmotnosti vysokopecní granulované strusky (S), pevnostní třídy 32,5 s nízkým hydratačním teplem se označí:

■ Vysokopecní cement s nízkou počáteční pevností
EN 197-4 - CEM III/C 32,5 L – LH

2.6.3 Speciální cementy s velmi nízkým hydratačním teplem

ČSN EN 14216 Cement: Složení, specifikace a kritéria shody speciálních cementů s velmi nízkým hydratačním teplem

Norma definuje a určuje specifikace pro 6 jmenovitých speciálních cementů s velmi nízkým hydratačním teplem a pro jejich složky.

Speciální cement s velmi nízkým hydratačním teplem je vhodný zejména pro stavbu přehrad a jiných podobných masivních konstrukcí, u nichž rozměry konstrukcí mají velmi nízký poměr povrch/objem.

Složení speciálních cementů
Norma rozděluje tyto cementy na 3 hlavní druhy:
- VLH III Vysokopecní cement
- VLH IV Pucolánový cement
- VLH V Směsný cement

Fyzikální a chemické vlastnosti cementu

pevnostní třída	pevnost v tlaku MPa		počátek tuhnutí [min]	objemová stálost [mm]
	normalizovaná pevnost 28 dnů			
22,5	≥ 22,5	≤ 42,5	≥ 75	≤ 10,0

Hydratační teplo
Hydratační teplo speciálních cementů s velmi nízkým hydratačním teplem stanoveným podle EN 196-8 po 7 dnech nebo podle EN 196-9 po 41 hodinách nesmí být větší než 220 J/g.

Normalizované označování
Příklad: Speciální cement s velmi nízkým hydratačním teplem obsahující 81 % až 95 % hmotnosti granulovanou vysokopecní strusku (S), pevnostní třídy 22,5 se označí:

■ Speciální vysokopecní cement s velmi nízkým hydratačním teplem EN 14216 - VLH/C (S) 22,5

2.6.4 Hlinitanový cement

ČSN EN 14 647 Hlinitanový cement

Hlinitanový cement byl vyvinut koncem devatenáctého století jako alternativa ke křemičitanovému cementu (portlandskému cementu) pro použití k ochraně stavebních prvků proti závažnému vlivu síranů. Kromě této odolnosti má mimořádně rychlé tvrdnutí a velkou odolnost vůči vysokým teplotám.

Hlinitanový cement může být použit ve stavebních oborech, kde se požadují speciální vlastnosti betonů a malt vyrobených s tímto cementem, pokud je to národními předpisy povoleno.

Pro účely navrhování musí být uvažovány pouze pevnosti po konverzi.

Hlinitanový cement nemůže sloužit jako obecná náhrada cementu pro obecné použití podle EN 197-1.
Pevnosti v tlaku dosahují po (6-8) hod. hodnot (35-55) MPa, po 24 hod. (60-80) MPa a po 28 dnech (80-100) MPa.

Normalizované označování
Příklad: Hlinitanový cement podle této normy musí být označen:
■ Hlinitanový cement EN 14647 CAC

2.6.5 Cement pro zdění

ČSN EN 413 Cement pro zdění

Průmyslově vyráběné jemně mleté hydraulické pojivo, u něhož je dosahováno vývoje pevností hlavně přítomností portlandského slínku. Po smíchání s pískem a vodou bez přídavku dalších látek poskytuje zpracovatelnou maltu vhodnou pro vnitřní a vnější omítky a pro zdění.

Cement pro zdění musí obsahovat portlandský slínek, anorganické látky a podle potřeby přísady. Síran vápenatý je přidáván během výroby v malém množství za účelem úpravy tuhnutí.

Normalizované označování
Příklad: Cement pro zdění podle této normy musí být identifikován písmeny „MC“, za nimiž je uvedena třída pevnosti a případně písmeno „X“ :
■ Cement pro zdění EN 413-1 MC 12,5 X.

Písmenem „X“ se označují cementy pro zdění, do nichž nebyla přidána provzdušňující přísada.

2.6.6 Ostatní cementy s upravenými vlastnostmi

■ Rozpínavý cement k rozpojování hornin
■ Bílý cement pro bílé a barevné betony
■ Cement s nízkým obsahem alkálií vyjádřeným jako alkáliový ekvivalent (Na_2O_{EKV}) do 0,6 % k omezení alkalického rozpínání kameniva, které obsahuje reaktivní SiO_2
■ Barnatý cement používaný v těžkých betonech
■ Fotokatalytický cement pro výrobu samočisticího betonu rozkládajícího vzdušné polutanty

2.7 ZKOUŠENÍ CEMENTU

Zkoušení cementů pro obecné použití je prováděno podle jednotlivých částí souboru zkušebních norem ČSN EN 196 Metody zkoušení cementu. Cement pro zdění je dále zkoušen i dle normy ČSN EN 413-2.
■ ČSN EN 196-1 Část 1: Stanovení pevnosti
■ ČSN EN 196-2 Část 2: Chemický rozbor
■ ČSN EN 196-3 Část 3: Stanovení dob tuhnutí a objemové stálosti
■ ČSN EN 196-5 Část 5: Zkoušení pucolanity pucolánových cementů
■ ČSN EN 196-6 Část 6: Stanovení jemnosti mletí

■ ČSN EN 196-7 Část 7: Postupy pro odběr a úpravu vzorků cementu
■ ČSN EN 196-8 Část 8: Stanovení hydratačního tepla – Rozpouštěcí metoda
■ ČSN EN 196-9 Část 9: Stanovení hydratačního tepla – Semidiabatická metoda
■ ČSN EN 196-10 Část 10: Stanovení obsahu ve vodě rozpustného šestimocného chrómu v cementu
■ ČSN P CEN/TR 196-4 Část 4: Kvantitativní stanovení hlavních složek
■ ČSN EN 413-2Cement pro zdění – Část 2: Zkušební metody

2.8 PŘEHLED VLASTNOSTÍ CEMENTŮ A JEJICH POUŽITÍ

2.8.1 Vlastnosti nabízených cementů

CEM I 52,5 R; CEM I 52,5 N; CEM II/A-LL 52,5 N
■ vysoké dosahované pevnosti
■ velmi rychlý nárůst počátečních pevností
■ rychlý vývin hydratačního tepla
CEM I 42,5 R; CEM II/A-LL 42,5 R
■ vysoké normové pevnosti
■ rychlý nárůst počátečních pevností
■ rychlý vývin hydratačního tepla
CEM I 42,5 R -sc
■ limitovaný obsah C_3A
■ limitovaný měrný povrch
■ omezené smršťování betonu
■ příznivý náběh hydratačního tepla
CEM II/A-S 42,5 N; CEM II/B-S 32,5 R
■ pozvolnější nárůst počátečních pevností
■ pomalejší vývin hydratačního tepla
■ světlejší barva (oproti portlandským cementům)
■ snížená náchylnost k tvorbě výkvětů
■ vyšší odolnost proti chemické agresivitě prostředí

CEM II/B-M (S-LL) 42,5 N; CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R
■ příznivý nárůst počátečních pevností
■ pomalejší vývin hydratačního tepla
■ světlejší barva (oproti portlandským cementům)
■ snížená náchylnost k tvorbě výkvětů
CEM III/A 32,5 R
■ příznivý nárůst počátečních pevností
■ odolnost proti agresivnímu prostředí
■ nízký vývin hydratačního tepla
CEM III/A 32,5 R -svc
■ navíc zvýšená odolnost proti chemické agresivitě prostředí
CEM III/A 32,5 R-LH
■ navíc garantovaný nízký vývin hydratačního tepla
CEM III/B 32,5 N
■ nízký nárůst počátečních pevností
■ vysoká odolnost proti chemické agresivitě prostředí
■ nízký vývin hydratačního tepla
CEM III/B 32,5 N -SV
■ navíc odolnost proti síranové agresivitě XA
TioCem® white CEM I 52,5 R (tx)
■ bílý fotokatalyticky aktivní cement
■ samočisticí vlastnosti
■ zlepšuje kvalitu ovzduší
TioCem® premium CEM II/A-S 42,5 R (tx)
■ šedý fotokatalyticky aktivní cement
■ samočisticí vlastnosti
■ zlepšuje kvalitu ovzduší

2.8.2 Použití nabízených cementů podle druhů

Portlandské cementy CEM I
■ výroba betonů o vysokých pevnostech
■ výroba armovaných a předpínaných monolitických i prefabrikovaných konstrukcí vystavených vysokému namáhání
■ výroba náročných betonových výrobků
Portlandské cementy směsné CEM II
■ výroba běžných betonů, zejména transportbetonů

■ výroba běžných betonových a železobetonových monolitických a prefabrikovaných konstrukcí
■ výroba masivních betonových konstrukcí, opěrných stěn, vodních děl

Vysokopecní cement CEM III

■ výroba betonů, které jsou trvale vystaveny vlhkému až mokrému prostředí (vodní díla)
■ výroba masivních a silnostěnných konstrukcí

Směsné cementy CEM V

■ výroba masivních betonových konstrukcí, základů, opěrných stěn apod.
■ výroba méně náročných betonů a betonových výrobků

Cementy na cementobetonové kryty vozovek

■ výroba cementobetonových krytů vozovek
■ výroba betonů pro povrchy letišť

Cement se zvýšenou síranovou odolností

■ výroba betonů pro základové a jiné konstrukce v agresivním půdním prostředí
■ výroba betonů pro konstrukce vystavené agresivním vodám, parám a plynům, např. zemědělské stavby, čistírny odpadních vod, skládky odpadů

Cementy TioCem®

■ výroba bílých i barevných betonů s vysokou trvanlivostí barevného odstínu
■ výroba bílých i barevných betonů rozkládajících znečisťující látky z ovzduší

2.8.3 Použití nabízených cementů podle pevnostních tříd

Cementy třídy 52,5

■ výroba železobetonu nebo předpjatého betonu pro velmi náročné nosné konstrukce
■ výroba velice náročných tenkostěnných monolitických i prefabrikovaných prvků
■ pro betony C 35/45 až C 100/115

Cementy třídy 42,5

■ výroba železobetonu nebo předpjatého betonu pro velmi namáhané konstrukce

■ výroba tenkostěnných monolitických i prefabrikovaných prvků
■ pro betony tříd C 25/30 až C 35/45

Cementy třídy 32,5

■ výroba prostého betonu i vyztuženého betonu pro namáhané konstrukce
■ výroba železobetonových prefabrikátů a betonových výrobků
■ pro betony tříd C 12/15 až C 25/30

2.9 SKLADOVÁNÍ CEMENTU

Cement musí být při skladování chráněn před působením vody a vysoké relativní vlhkosti vzduchu (nejvýše 75 %).

Za těchto podmínek je doba skladování baleného výrobku a účinnosti redukčního činidla 90 dnů od data uvedeného na obalu.

3 KAMENIVO

3.1 ROZDĚLENÍ KAMENIVA
3.2 VLASTNOSTI HORNIN
3.3 KAMENIVO PRO LEHKÉ A TĚŽKÉ BETONY
3.4 KVALITATIVNÍ POŽADAVKY
3.5 STANOVENÍ MAXIMÁLNÍHO ZRNA KAMENIVA PŘI NÁVRHU BETONU
3.6 PRAKTICKÉ KŘIVKY PRO NÁVRH ZRNITOSTI A SYPNÉ HMOTNOSTI KAMENIVA
3.7 MODULY ZRNITOSTI KAMENIVA, PŘÍKLAD VÝPOČTU MÍSENÍ
3.8 TECHNOLOGICKÉ POŽADAVKY NA KAMENIVO DO BETONU
3.9 ZKOUŠENÍ KAMENIVA

3.1 ROZDĚLENÍ KAMENIVA

Základní dělění kameniva

znak	rozdělení	příklad
objemová hmotnost	lehké (pórovité) do 2000 kg.m^{-3} hutné (2000 až 3000 kg.m^{-3}) těžké nad 3000 kg.m^{-3}	keramzit, experlit aj. magnetit, baryt aj.
původ	těžené nebo drcené, přírodní nebo umělé recyklované	
velikost zrn	zrna pod 0,063 mm jemné do 0,25 mm drobné od 0 do 4 mm hrubé od 4 do 63 mm směs kameniva	filer moučka, filer, příměs písek (0/4) drť, štěrk (4/8, 8/16, 32/63) štěrkopísek, štěrkodrť (0/16, 0/32)
frakce (dolní / horní velikost sít d/D)	úzká (když D/d<=2) široká (když D/d>2)	2/4, 4/8, 8/16, 16/32 4/11, 8/32

3.2 VLASTNOSTI HORNIN

Druhy hornin pro hutné betony

hornina	objemová hmotnost [kg.m^{-3}]	tvrdost podle Mohse	pevnost v tlaku [MPa]	pevnost v tahu [MPa]	nasáka-vost [% hm.]
VYVŘELÉ HORNINY					
žula	2600–2800	6–7	120–240	10–35	0,2–1,2
diorit	2700–3000	6–7	135–215	20–40	0,2–0,7
gabro	2800–3100	6–7	150–225	25–60	0,2–0,5
syenit	2500–2900	6–7	150–200	10–20	0,2–0,5
čedič	2900–3050	6	250–400	15–25	0,1–0,3
trachyt	2400–2900	6–7	60–70	5–7	1,0–2,0
diabas	2800–2900	6	120–220	20–45	0,1–0,8
porfyr	2550–2650	6–7	70–210	15–30	0,2–1,5
USAZENÉ HORNINY					
pískovec	2000–2400	proměnl.	30–80	3,8	4,0–8,5
vápenec	2600–2850	3	40 –180	10–25	0,2–0,6
dolomit	2650–2850	3,5	100–200	12–25	0,2–0,6
břidlice	2600–2750	3	100–190	30–100	0,3–1,5
PŘEMĚNĚNÉ HORNINY					
rula	2650–2750	6–7	120–250	24–50	0,1–1,2
křemenec	2500–2700	7	300		0,5
amfibolit	2700–3100	6	170–280		0,1–0,4
mramor	2700–2800	3	75–145	12–26	0,2 –1,0
serpentinit	2500–2850	3–4	60–140	10–23	0,1–2,0

3.3 KAMENIVO PRO LEHKÉ A TĚŽKÉ BETONY

Lehké (pórovité) kamenivo

V ČR se vyrábí keramzit (Liapor) a expandovaný perlit (drobné a jemné kamenivo). Dříve se také vyráběl agloporit (spékaný popílek), expandit (expandovaná břidlice) a zpěněná struska. Jako pórovitého kameniva do lehkých betonů a malt lze také použít: přírodní pemzu, cihelnou drť, expandovaný vermikulit nebo použít jiný výplňový materiál jako mineralizovaná dřevní hmota, expandovaný polystyren aj.

Keramzit

označení	frakce [mm]	sypná hmotnost [kg.m^{-3}]	objemová hmotnost [kg.m^{-3}]	tepelná vodivost [W.m^{-3}.K^{-1}]	mezerovitost [%]	setřesitelnost [%]
8-16/275	8–16	275±40	550±80	0,09	47	13
8-16/600	8–16	600±50	1100±50	0,14	45	2
4-8/350	4–8	350±35	625±90	0,10	44	12
4-8/450	4–8	450±45	850±125	0,11	44	11
4-8/650	4–8	650±50	1200±100	0,14	45	222
4-8/800	4–8	800±50	1500±50	0,19	47	13
4-8/950	4–8	950±50	1825±125	0,23	48	12
1-4/500	0–4	500±75	875±130	0,11	43	55
1-4/625	0–4	625±90	1050±155	0,14	40	13
2-4/450	2–4	450±65	800±120	0,11	44	2
0-2/575	0–2	575±85	1050±155	0,12	43	12

Kamenivo pro těžké betony, ke stavební ochraně proti záření

kamenivo	objemová hmotnost [kg.m^{-3}]	chemické složení
PŘÍRODNÍ TĚŽKÉ		
baryt ($BaSO_4$)	4000–4300	obsah $BaSO_4 \geq 85$ %
magnetit (Fe_3O_4)	4650–4800	obsah Fe 60–70 %
hematit (Fe_2O_3)	4700–4900	obsah Fe 60–70 %
ilmenit ($FeTiO_3$)	4550–4650	obsah Fe 35–40 %
UMĚLÉ TĚŽKÉ		
ferosilicium	5800–6200	obsah Fe 80–85 %
železné granule (Fe)*	6800–7500	obsah Fe 90–95 %
ocelový písek (Fe)*	7500	obsah Fe cca 95 %
ferofosfor	6000–6200	obsah Fe 65–70 %
S OBSAHEM KRYSTALICKÉ VODY		
limonit ($Fe_2O_3.nH_2O$)	3500–3650	obsah krystalické vody cca 11 %
serpentin ($Mg_6[(OH)_6Si_4O_{11}].H_2O$)	cca 2600	obsah krystalické vody cca 12 %
S OBSAHEM BÓRU		
bórcalcit (B_2O_3+CaO+H_2O)	2300–2400	obsah bóru cca 13 %
bórkarbid (B_4C)	cca 2500	obsah bóru cca 78 %

* těžká výplň betonu - není nutné jiné kamenivo ve smyslu ČSN EN 206-1

EXPERLIT

parametr	m.j.	EP 100	EP 150	EP 180	EP AGRO
sypná hmotnost (max.)	$kg.m^{-3}$	100	150	180	200
tepel. vodivost	$W.m^{-1}.K^{-1}$	0,06	0,07	0,075	0,08
vlhkost (max.)	%	2	2	2	2
zrnitost (mm)					
< 0,315	%	70–95	max. 70	max. 40	max.15
< 1,0	%	85–100	70–100	30–80	max.25
1,0–4,0	%	max. 5	0–30	20–70	min. 75
chemické složení					
SiO_2	%	≥ 66	≥ 66	≥ 66	≥ 66
Al_2O_3	%	≤ 18	≤ 18	≤ 18	≤ 18
Fe_2O_3	%	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 3
CaO+MgO	%	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5
Na_2O+K_2O	%	≤ 8	≤ 8	≤ 8	≤ 8

3.4 KVALITATIVNÍ POŽADAVKY

Všechno kamenivo použité pro přípravu betonu podle ČSN EN 206-1 musí být deklarováno podle ČSN EN 12620 Kamenivo do betonu.
Norma ČSN EN 12620 je však pouze deklarační a nikoli hodnotící. To znamená, že je deklarována úroveň určité vlastnosti a nikoli její požadovaná maximální (nebo minimální) hodnota. Ta může být definována v následných předpisech nebo normách, jako je ČSN EN 206-1, OTP, TP, ZTP apod.
Konkrétní vlastnosti kameniva deklaruje výrobce kameniva (lom, pískovna) v prohlášení o shodě. Výrobce betonu porovná deklarované vlastnosti kameniva s požadovanými a rozhodne, které kamenivo je pro danou betonovou směs použitelné.

3.5 STANOVENÍ MAXIMÁLNÍHO ZRNA KAMENIVA PŘI NÁVRHU BETONU

Stanovení maximálního zrna kameniva
Pro stanovení zrnitosti kameniva slouží normové sady sít.

- základní sada sít: 0 - 1 - 2 - 4 - 8 -16 - 31,5 (32) - 63 mm
- rozšířená základní sada sít: 0 - 0,25 - 0,5 - 1 - 2 - 4 - 5,6 (5) - 8 - 11,2 (11) - 16 - 22,4 (22) - 31,5 (32) – 45 - 63 mm

O maximálním zrnu rozhoduje podmínka nejmenšího rozměru:

- nejvýše jedna třetina až polovina nejmenšího rozměru konstrukce (podle jejího tvaru)
- nejmenší vzdálenost ocelových prutů výztuže zmenšená o 5 mm
- nejvýše 1,3 násobek krycí vrstvy výztuže
- 1/3 světlého průměru potrubí, jímž je dopravován beton

Snahou je použití co největšího zrna kameniva, pokud to uvedené podmínky dovolí.

Mezerovitost kameniva M udává minimální objem cementového tmele, který musí zaplnit dutiny mezi zrny kameniva a vypočte se ze vzorce:

$$M = 1 - \rho_S / \rho_K$$

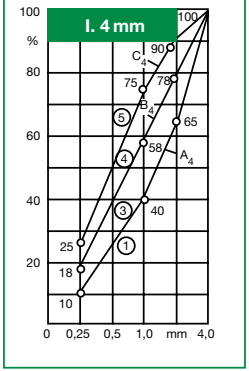
ρ_S - sypná hmotnost kameniva v setřeseném stavu [$kg.m^{-3}$]
ρ_K - objemová hmotnost zrn kameniva [$kg.m^{-3}$]. Pokud není stanovena v laboratoři, použije se pro přírodní kamenivo hodnota 2650 $kg.m^{-3}$

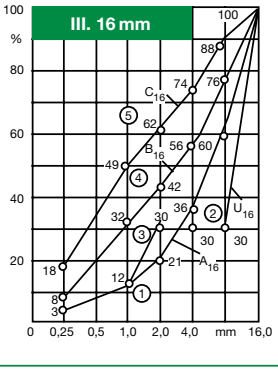
3.6 PRAKTICKÉ KŘIVKY PRO NÁVRH ZRNITOSTI A SYPNÉ HMOTNOSTI KAMENIVA

Křivky zrnitosti
svislá osa = propad sítem v % hmotnosti
vodorovná osa = velikost otvoru síta v mm

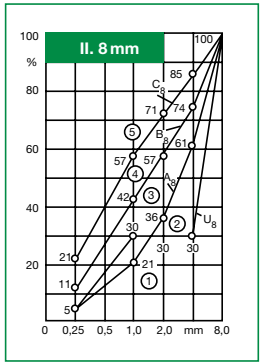
Oblasti:
1 a 5 - nevhodná zrnitost
2 - křivka přerušené zrnitosti
3 - dobrá zrnitost
4 - ještě použitelná zrnitost pro maximální zrno kameniva

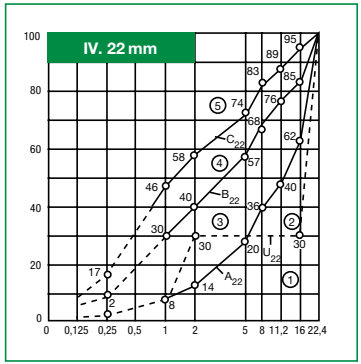
Ideální křivky zrnitosti kameniva pro max. zrno:
- I. - 4 mm
- II. - 8 mm
- III. - 16 mm
- IV. - 22 mm (drcené kamenivo)
- V. - 32 mm
- VI. - 63 mm
- VII. - čerpaný beton 32 mm
- VIII. - vliv vlhkosti na sypnou hmotnost kameniva

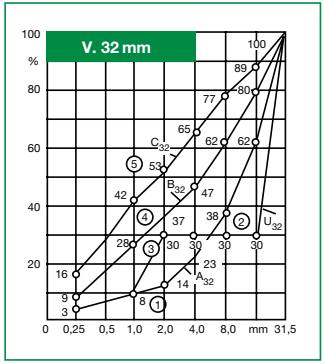




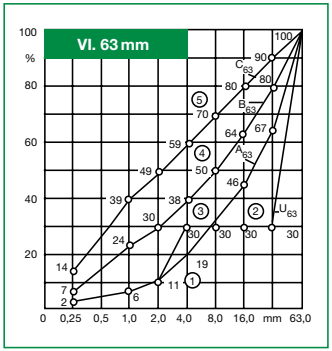
Křivky zrnitosti

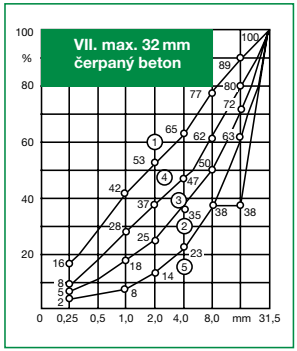




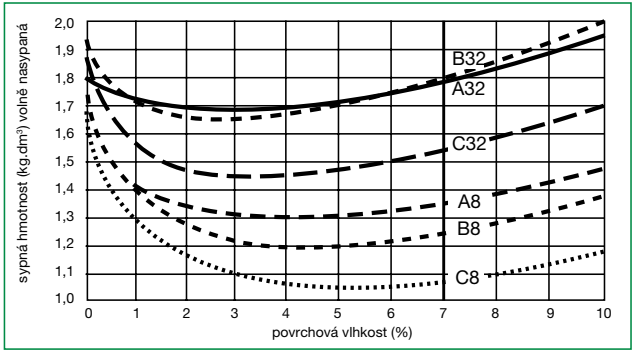


Křivky zrnitosti





Sypná hmotnost vlhkého kameniva



3.7 MODULY ZRNITOSTI KAMENIVA, PŘÍKLAD VÝPOČTU MÍSENÍ

Křivky zrnitosti popisujeme pomocí modulů, které vyjadřují jemnost kameniva. Směs kameniva se stejným modulem vytváří předpoklady pro dosažení stejné pevnosti betonu, ale především takové kamenivo potřebuje stejné množství vody na ovlhčení svého povrchu. Tyto moduly rovněž slouží k výpočtu poměrů mísení dvou i více kameniv rozdílné zrnitosti. Pro stanovení modulu zrnitosti je nutné provést sítový rozbor na normové sadě sít.

k modul - součet zbytků (Abrams)

k modul zrnitosti je součet procentních zůstatků směsi kameniva stanovených na rozšířené základní sadě sít dělený 100.

$$k = \Sigma Z_i / 100$$

D modul - součet propadů (Rothfuchs)

D modul je součet procentních propadů směsi kameniva stanovených na rozšířené základní sadě sít.

$$D = \Sigma y_i = (m - k) \cdot 100$$

Hodnoty modulů pro hraniční čáry zrnitosti (síta 0,25 - 63 mm) (zrnitost dle kap. 3.6)

čára zrnitosti	model zrnitosti k	D - součet	F - hodnota
A_8	3,64	536	134
B_8	2,89	611	111
C_8	2,27	673	92
A_{16}	4,61	439	163
B_{16}	3,66	534	134
C_{16}	2,75	625	107
A_{32}	5,48	352	189
B_{32}	4,20	480	151
C_{32}	3,30	570	123

Mezi k modulem a D modulem je následující vztah:

$$100 \cdot k + D = 900$$

Příklad: Výpočet k modulu a D modulu pro křivku zrnitosti A/B 16

rozměr síta [mm]	0,25	0,50	1,0	2,0	4,0	8,0	16,0	31,5	63,0	součet
zbytek na sítě [%]	92	81	70	60	47	25	0	0	0	375
propad na sítě [%]	8	19	30	40	53	75	100	100	100	525

k = 375 / 100 = 3,75 D = 525

F - hodnota (Hummel)

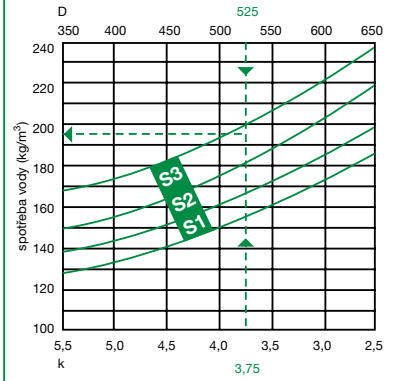
$$F = \Sigma (f_i \cdot m_i / 100)$$
$$f_i = 100 \cdot \log (10 \cdot d_i)$$

y_i = propad sítem o velikosti i [% hm.],
Z_i = zůstatek na sítě o velikosti i [%hm.]
m_i = podíl zrn frakce o průměrné velikosti zrna $d_i = (d_1+d_2) / 2$

Potřeba vody podle modulu kameniva k pro konzistenci čerstvého betonu:

- S3 – měkkou
- S2 – plastickou
- S1 - tuhou (vztaženo na suchý povrch kameniva)

Příklad:
- Kamenivo s modulem k = 3,75
- měkká konzistence S3 odečteme z monogramu 195 litrů na m^3 betonu



3.8 TECHNOLOGICKÉ POŽADAVKY NA KAMENIVO DO BETONU

1. Posouzení jemných částic
Jemné částice se mohou považovat za neškodné, pokud je splněna jedna z podmínek:

- celkový obsah jemných částic je menší než 3 % nebo než je jiná hodnota podle předpisů platných v místě použití kameniva,
- hodnota ekvivalentu písku (SE), zjištěná zkouškou podle EN 933-8 je větší než specifikovaná spodní mez,
- hodnota methylenové modře (MB) zjištěná zkouškou podle EN 933-9 je menší než specifikovaná spodní mez,
- pokud je potvrzeno vyhovující provedení se známým kamenivem, nebo kde je důkaz o vyhovujícím používání s dobrými zkušenostmi bez problémů.

Požadavky na shodu zkoušek ekvivalentu písku methylenové modře na frakci 0/2 mm se běžně vyjadřují s pravděpodobností 90 %.

2. Organické látky
- humusovitost drobného kameniva - zkouškou hydroxidem sodným je přípustné pouze světle žluté až žlutohnědé zabarvení
- bobtnající organické látky (dřevo, uhlí aj.) max. v písku 0,5 % hm. a v hrubém kamenivu do 0,1 % hm.
- obsah uhlíku max. 0,5 % hm.
- organické látky ovlivňující tvrdnutí betonu (cukry, rozpustné soli) musí být omezeny tak, aby srovnatelnými zkouškami betonů nesnížily pevnost o více než 15 %

3. Sloučeniny síry
- max. 1 % hm. stanovené jako SO_3, např. sádra, alkalické sulfáty
- max. 0,2 % hm. stanovené jako obsah síranů rozpustných v kyselině

4. Sloučeniny korodující ocel
Zejména chloridy, ale také dusičnany a ostatní halogenidy, kromě fluoru.
- kamenivo pro železobeton max. 0,04 % Cl^-
- kamenivo pro předpjatý beton max. 0,02 % Cl^-
- pro nevyztužené betony se připouští 0,1 % Cl^-

5. Reaktivní křemen
S alkáliemi vzniká nežádoucí alkalicko-křemičitá reakce, která je doprovázena dlouhodobými objemovými změnami. V ČR se vyskytuje ojediněle. Nežádoucí reaktivní minerály: opál, chalcedon, cristobalit, kryptokrystalická skla obsažená někdy v rhyolitech, dacitech, andezitech, v křemičité břidlici a ve flintu.
- limitní obsah aktivního opálu do 0,5 % hm. nebo reaktivního flintu do 3 % hm.

6. Hmotnostní aktivita přírodních radionuklidů (tzv. radioaktivita)
Viz bod 1.5.

3.9 ZKOUŠENÍ KAMENIVA

Zkoušení kameniva do betonu se řídí požadavky normy ČSN EN 12620.

Zkoušení všeobecných vlastností kameniva
- ČSN EN 932-1 Metody odběru vzorků
- ČSN EN 932-2 Metody zmenšování laboratorních vzorků

Zkoušení geometrických vlastností kameniva
- ČSN EN 933-1 Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor
- ČSN EN 933-2 Stanovení zrnitosti - Zkušební síta, jmenovité velikosti otvorů
- ČSN EN 933-4 Stanovení tvaru zrn - Tvarový index
- ČSN EN 933-5 Stanovení podílu drcených zrn v hrubém kamenivu
- ČSN EN 933-7 Stanovení obsahu schránek živočichů

■ ČSN EN 933-8 Posouzení jemných částic - Zkouška ekvivalentu písku
■ ČSN EN 933-9 Posouzení jemných částic - Zkouška methylenovou modří

Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva
■ ČSN EN 1097-1 Stanovení odolnosti proti otěru (mikro-Deval)
■ ČSN EN 1097-2 Metody pro stanovení odolnosti proti drcení
■ ČSN EN 1097-3 Stanovení sypné hmotnosti a mezerovitosti volně sypaného kameniva
■ ČSN EN 1097-5 Stanovení vlhkosti sušením v sušárně
■ ČSN EN 1097-6 Objemová hmotnost zrn

Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání
■ ČSN EN 1367-1 Stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování
■ ČSN EN 1367-2 Zkouška síranem hořečnatým
■ ČSN EN 1367-3 Zkouška varem

Zkoušení chemických vlastností kameniva
■ ČSN EN 1744-1 Chemický rozbor
■ ČSN EN 1744-2 Stanovení reaktivnosti kameniva s alkáliemi
■ ČSN EN 1744-3 Zkouška vyluhování vodou

Minimální četnost zkoušek obecných vlastností kameniva uvádí ČSN EN 12620:

Zkoušky všeobecných vlastností kameniva
■ zrnitost (ČSN EN 933-1) jednou týdně
■ tvar hrubého kameniva (ČSN EN 933-4) jednou měsíčně
■ obsah jemných částic (ČSN EN 933-1) jednou týdně
■ pokud je požadována jakost jemných částic (ČSN EN 933-8) jednou týdně
■ objemová hmotnost zrn a nasákavost (ČSN EN 1097-6) jednou ročně

Zkoušky specifických vlastností pro konečné použití kameniva
■ odolnost proti drcení hrubého kameniva pro vysokopevnostní beton (ČSN EN 1097-2) dvakrát ročně
■ odolnost proti otěru hrubého kameniva pro obrusné vrstvy vozovek (ČSN 1097-1) jednou za 2 roky
■ odolnost proti ohladitelnosti kameniva pro obrusné vrstvy vozovek (ČSN 1097-8) jednou za 2 roky
■ odolnost proti zmrazování, rozmrazování (ČSN 1367-1 nebo ČSN EN 1367-2) jednou za 2 roky

4 VODA

4.1 KRITÉRIA HODNOCENÍ ZÁMĚSOVÉ VODY (PODLE ČSN EN 1008)
4.2 KRITÉRIA HODNOCENÍ ZÁMĚSOVÉ RECYKLOVANÉ VODY

Všechna voda použitá pro přípravu betonu podle ČSN EN 206-1 vyhovuje, je-li v souladu s požadavky 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.

Klasifikace typů vod

druh vody	použití jako záměsová voda
pitná	použitelná bez zkoušení
voda získaná při recyklaci	nutno ověřit použitelnost
podzemní voda	nutno ověřit použitelnost
povrchová voda	nutno ověřit použitelnost
odpadní průmyslová voda	nutno ověřit použitelnost
mořská voda	do betonu bez výztuže, obecně není vhodná pro výrobu železobetonu a předpjatého betonu
brakická (poloslaná) voda	
splašková voda	není vhodná do betonu

4.1 KRITÉRIA HODNOCENÍ ZÁMĚSOVÉ VODY (PODLE ČSN EN 1008)

Úvodní posouzení vody

vlastnost	požadavek	ověření
oleje a tuky	ne více než viditelné stopy	vizuálně, po 2 minutách
čistící prostředky	jakákoli pěna zmizí do 2 min.	protřepáním 80 ml vody
barva	bledě žlutá nebo světlejší	vizuálně ve válci
rozptýlené látky	usazenina ≤ 4 ml	80 ml vody odstavené po 30 minut
zápach	bez zápachu nebo jako pitná voda	čichem, zda zápach je jiný než pro pitnou vodu
kyselost	pH ≥ 4	indikátorovým papírkem, pH metrem
humusovité látky	barva jako světle žlutá nebo světlejší po přidání NaOH	5 ml vody a 5 ml 3% NaOH, protřepat, 1 hodinu stát a vizuálně posoudit

Četnost zkoušek vody

druh vody	četnost zkoušek jako záměsová voda
pitná	nezkouší se
voda získaná při recyklaci	objemová hmotnost vody jednou denně
podzemní voda	před prvním použitím; následně minimálně 1x měsíčně
povrchová voda	
odpadní průmyslová voda	
mořská voda	před prvním použitím; následně minimálně 1x ročně nebo v případě potřeby
brakická (poloslaná) voda	
splašková voda	není vhodná do betonu

Chemické vlastnosti vody

vlastnost	požadavek	ověření
obsah chloridů (Cl^-)		
předpjatý beton nebo injektážní malta	500 mg/litr	pokud vyhovuje ČSN EN 206-1, lze použít pro vyztužený i předpjatý beton
beton s výztuží	1000 mg/litr	
beton bez výztuže	4500 mg/litr	
obsah síranů (SO_4^{2-}) obsah alkálií (Na^+ a K^+) škodlivé znečištění	< 2000 mg/litr < 1500 mg/litr	ekvivalent NaOH
cukry	100 mg/litr	
fosfáty (jako P_2O_5)	100 mg/litr	
dusičnany (jako NO^{3-})	500 mg/litr	
olovo (jako Pb^{2+})	100 mg/litr	
zinek (jako Zn^{2+})	100 mg/litr	

4.2 KRITÉRIA HODNOCENÍ ZÁMĚSOVÉ RECYKLOVANÉ VODY

Recyklovaná voda, získaná z výroby betonu, musí být použita v souladu s podmínkami uvedenými v ČSN EN 1008. Tato voda obsahuje zvýšený podíl jemných částic (z cementu, drobného a hrubého kameniva, příměsí). S ohledem na uvedené skutečnosti je nutno kvalitu a vlastnosti recyklované vody zohlednit při návrhu a výrobě betonové směsi - možné kolísání jemných částic v betonu a dosažení požadované konzistence čerstvého betonu.

Obsah pevných částic (suchých) v kg/m^3 recyklované vody (objemová hmotnost zrn 2100 kg.m^{-3})

Množství recykl. vody v kg/m^3	Objemová hmotnost recyklované vody v kg/m^3													
	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15
20	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5
40	1	2	3	4	4	5	6	6	7	8	8	9	9	10
60	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
80	3	4	6	7	9	10	11	13	14	15	16	18	19	20
100	4	6	7	9	11	12	14	16	17	19	20	22	23	25
120	4	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	26	28	30
140	5	8	10	13	15	17	20	22	24	26	29	31	33	35
160	6	9	12	15	17	20	23	25	28	30	33	35		
180	7	10	13	16	19	22	25	28	31	34				

5 PŘÍSADY

5.1 OBECNĚ O PŘÍSADÁCH
5.2 PLASTIFIKÁTORY A SUPERPLASTIFIKÁTORY
5.3 PROVZDUŠŇOVACÍ PŘÍSADY
5.4 TĚSNICÍ PŘÍSADY
5.5 PŘÍSADY ZPOMALUJÍCÍ TUHNUTÍ
5.6 PŘÍSADY URYCHLUJÍCÍ TUHNUTÍ A TVRDNUTÍ
5.7 STABILIZAČNÍ PŘÍSADY
5.8 OSTATNÍ PŘÍSADY

5.1 OBECNĚ O PŘÍSADÁCH

Přísady jsou chemické sloučeniny, které se přidávají během míchání do betonu v množství od 0,2 do 5 % hmotnosti cementu za účelem modifikace vlastností čerstvého nebo tvrdnoucího betonu.
Celkové množství přísad, pokud se používají, nesmí překročit maximální dávkování doporučené výrobcem přísady.

Limitní množství přísad

oblast použití	dávka přísady v g/kg cementu včetně započitatelných příměsí II. druhu		
	minimální dávka	maximální dávka	
		při použití jedné přísady	při použití více přísad s různým účinkem
betony do C50/60	2[1)]	50	60
vysokopevnostní betony C55/67 a vyšší		70	80

[1)] Přísady, které se používají v množství menším než 2 g/kg cementu, je možné použít pouze rozptýlené v části záměsové vody.

Jestliže celkové množství tekuté přísady převyšuje 3 l/m^3 betonu, pak se musí toto množství vody vzít v úvahu pro výpočet vodního součinitele.
Pokud se používá více než jedna přísada, pak se musí jejich vzájemná snášenlivost ověřit při průkazních zkouškách.

Rozdělení přísad:
- vodoredukující/plastifikační
- silně vodoredukující/superplastifikační
- stabilizační (zadržující vodu)
- provzdušňovací
- urychlující tuhnutí
- urychlující tvrdnutí
- zpomalující tuhnutí
- těsnící (hydrofobizační, odpuzující vodu)

Řada evropských norem EN 934 Přísady do betonu, malty a injektážní malty, která obsahuje následující části:
- Část 1: Společné požadavky
- Část 2: Přísady do betonu
- Část 3: Přísady do zdicí malty, přísady do malty pro zdění
- Část 4: Přísady do injektážní malty pro předpínací kabely
- Část 5: Přísady do stříkaného betonu
  (Dosud nezavedena do systému ČSN)
- Část 6: Odběr vzorků, kontrola shody a hodnocení shody

Řada evropských norem EN 480 Přísady do betonu, malty a injektážní malty. Zkušební metody, která obsahuje následující části:
- Část 1: Referenční beton a referenční malta pro zkoušení
- Část 2: Stanovení doby tuhnutí
- Část 4: Stanovení odlučování vody z betonu
- Část 5: Stanovení kapilární absorpce
- Část 6: Infračervená analýza
- Část 8: Určení obsahu sušiny
- Část 10: Stanovení obsahu vodou rozpustných chloridů
- Část 11: Stanovení charakteristik vzduchových pórů ve ztvrdlém betonu

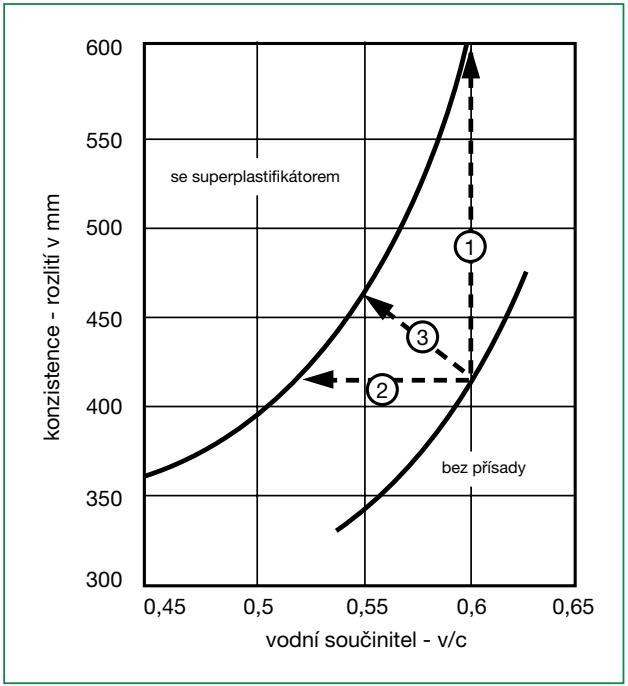
■ Část 12: Stanovení obsahu alkálií v přísadách
■ Část 13: Referenční malta pro zdění pro zkoušení přísad do malty
■ Část 14: Měření náchylnosti na korozi vyztužené oceli v betonu
- Potenciostatická elektrochemická zkušební metoda

Pro zkoušení vlastností přísad a jejich účinnosti se používají referenční, definované složky, malta a beton. Obecné požadavky jsou stanoveny pro homogenitu (při použití nesmí přísada segregovat), barvu (musí být shodná s barvou referenčního vzorku přísady), obsah efektivních složek přísady, který se kontroluje infračervenou spektroskopií (požaduje se shoda charakteristických píků s referenčním vzorkem), relativní hustotu (při hustotě nad 1100 kg.m^{-3}) se připouští (30 kg.m^{-3} a při hustotě pod 1100 kg/m^3 pak ± 20 kg/m^3), obsah sušiny se může odchylovat od deklarované hodnoty výrobcem o ± 5 %, hodnota pH od deklarovaného stavu může mít toleranci ± 1. Vliv přísady na dobu tuhnutí se zkouší u všech přísad na čtyřech druzích cementu (EN 480-1). Obsah chloridů má být do 0,1 % hm. Obsah alkálií nemá překročit definovanou hodnotu výrobcem. Provzdušnění čerstvého betonu přísadou (kromě provzdušňovacích) nemá překročit 2 % proti referenčnímu vzorku. Přísada určená pro použití ve vyztuženém betonu nesmí korozívně napadat ocelovou výztuž.

5.2 PLASTIFIKÁTORY A SUPERPLASTIFIKÁTORY

Plastifikační - voduredukující přísady
Redukují potřebné množství vody pro dosažení stejné zpracovatelnosti čerstvého betonu.

Superplastifikační - silně voduredukující přísady
Jsou látky, které výrazně redukují potřebné množství vody při stejné zpracovatelnosti čerstvého betonu.
Kromě obecných požadavků musí být plastifikační přísadou sníženo množství vody o více jak 5 % při stejné konzistenci stanovené sednutím nebo rozlitím a u superplastifikátoru o více jak 12 %. Pevnost v tlaku přidáním plastifikační přísady má vzrůst za 7 a 28 dní nejméně na 110 % proti referenčnímu betonu.
Superplastifikátorem v důsledku redukce množství vody při stejné zpracovatelnosti má vzrůst pevnost v tlaku betonu za 1 den nejméně na 140 % a za 28 dní nejméně na 115 % proti referenčnímu betonu. Konzistence čerstvého betonu se superplastifikátorem se nesmí za 30 min. po přidání přísady změnit proti původnímu stavu a zlepšení zpracovatelnosti proti referenčnímu betonu přidáním superplastifikátoru má být o 160 mm (rozlitím proti 380 mm) nebo o 120 mm (sednutím proti 70 mm).



5.3 PROVZDUŠŇOVACÍ PŘÍSADY

Látky, které po přidání během míchání čerstvého betonu vytváří uzavřené vzduchové póry rovnoměrně rozložené v betonu. Objem kulovitých pórů (velikosti 0,01 až 0,3 mm a navzájem vzdálených méně než 0,2 mm), jejich velikost a rozložení ovlivňují tyto parametry:

- druh a množství provzdušňovací přísady, ta se dávkuje jen ve velmi malém množství (0,05 až 0,5) % hmotnosti cementu a v čerstvém betonu se musí docílit provzdušnění cca (4–6) % objemu,
- druh, jemnost mletí a množství cementu; čím jemnější cement a čím obsahuje více strusky, tím je třeba větší dávky přísady pro stejné množství vzduchových pórů,
- vodní součinitel w, s jeho zvýšením se zvětšuje velikost pórů,
- granulometrie kameniva, zvýšením podílu zrn (0–0,25) mm se zvyšuje obsah pórů i při stejné dávce přísady a stejné konzistenci,
- potřebné množství pórů se snižuje se zvětšujícím se maximálním zrnem kameniva, dle ČSN EN 206-1 se požaduje provzdušnění min. 4 %,
- intenzivní vibrací se část pórů vytěsní,
- pevnost betonu v tlaku klesá se stupněm provzdušnění asi o 5 % na každé 1 % provzdušnění, avšak nesmí klesnout pod 75 % pevnosti referenčního betonu za 28 dní,
- provzdušňovací přísada působí často plastifikačně, na 1 % pórů se snižuje množství vody asi o 2 % při stejné zpracovatelnosti.

5.4 TĚSNICÍ PŘÍSADY

Mezi hydrofobizační přísady lze zařadit těsnicí přísady, které zvyšují hutnost cementového kamene, snižují jeho pórovitost, zejména objem makropórů. V průběhu hydratace vytváří nerozpustné sloučeniny, které zmenšují průřez kapilár, případně kapiláry zcela zaplní. Pórovitou strukturu cementového kamene také utěsňují provzdušňující přísady tím, že přerušují souvislé, otevřené kapiláry a tak zamezují vzlínání a nasákávání vody.

5.5 PŘÍSADY ZPOMALUJÍCÍ TUHNUTÍ

Přísady zpomalující tuhnutí cementu prodlužují dobu přechodu čerstvého betonu z plastického stavu do stavu tuhé látky. Obsah chloridů je v těchto látkách omezen do 0,1 %, tyto látky mohou provzdušňovat beton nejvýše do 2 % a především pevnost v tlaku betonu za 7 dní musí být vyšší jak 80 % a za 28 dní vyšší jak 90 % pevnosti v tlaku referenčního betonu. Počátek doby tuhnutí má být o více jak 90 min. delší a konec tuhnutí nejvíce o 360 min. delší než referenční čerstvý beton. Retardační přísady se používají k prodloužení doby manipulace s čerstvým betonem. Pomalé tuhnutí cementu omezuje vznik trhlinek a obvykle je 28denní pevnost betonu v tlaku vyšší, než u betonu bez přísady, pokud se nepřekročí kritická koncentrace přísady. Účinnost přísad je závislá na druhu a koncentraci přísady a také na druhu cementu.

5.6 PŘÍSADY URYCHLUJÍCÍ TUHNUTÍ A TVRDNUTÍ

Tyto přísady rozdělujeme do dvou skupin, na urychlovače tuhnutí (zkracují dobu přechodu čerstvého betonu z plastického do tuhého stavu) a na urychlovače tvrdnutí (urychlují vývoj počátečních pevností betonu), které mohou a nemusí urychlovat tuhnutí betonu. Vedle obecných požadavků musí urychlovače také splňovat požadavky dle ČSN EN 934-2.

- Urychlovače tuhnutí nesmí způsobit pokles pevnosti v tlaku za 28 dní pod 80 % pevnosti referenčního betonu a za 90 dnů musí být pevnost v tlaku nejméně stejná jako 28denní pevnost referenčního betonu. Doba tuhnutí má být delší než 30 min., při 20 °C zkracuje dobu tuhnutí nejméně o 40 % a při +5 °C je doba tuhnutí srovnatelná s dobou tuhnutí referenčního betonu tuhnoucího při 20 °C.

- Urychlovače tvrdnutí se posuzují podle pevnosti v tlaku a požaduje se minimálně 120 % pevnosti referenčního betonu za 24 hod. a nejméně 90 % pevnosti, kterou referenční beton dosáhne za 28

dní, dále musí urychlovač za 48 hod. při +5 °C zajistit nejméně 130 % pevnosti referenčního betonu, který tvrdne v normových podmínkách.

5.7 STABILIZAČNÍ PŘÍSADY

Tyto přísady redukují odmísení vody v suspenzi (bleeding), které nastává sedimentací tuhých částic. Kromě obecných požadavků na stabilizační přísady se také požaduje, aby pevnost betonu s přísadou klesla nejvíce na 80 % pevnosti betonu bez přísady a současně musí být dosaženo nejméně 50 % redukce odlučování vody. Přísada přispěje tím více ke stabilitě čerstvého betonu, čím více sníží obsah volné vody a zvýší celkový měrný povrch tuhých částic.

Patří sem:
- Anorganické přísady a především příměsi, které zvětšují měrný povrch tuhých částic v jednotce objemu čerstvého betonu.
- Organické a anorganické přísady, které v první fázi zvětšují měrný povrch tuhých částic a v druhé fázi reagují s volnou vodou a vážou ji fyzikálně nebo chemicky.

5.8 OSTATNÍ PŘÍSADY

Injektážní přísady
Zlepšují tekutost injektážní malty (snižují její viskozitu), snižují potřebné množství vody, snižují smrštění malty. Docilují bobtnání injektážní malty. Používají se do injektážních malt pro dodatečně předpínané betonové konstrukce. Také se používají do rozpínavých malt a betonů k vyplnění dutin v betonu, ve zdivu i v horninách a pro kotvení v tunelovém stavitelství.

Inhibitory koroze
Vytváří pasivní povrch oceli proti korozívnímu prostředí, což je důležité při karbonataci betonu a při použití kyselých aktivačních přísad ($CaCl_2$, SO_4^{2-}). Inhibitory koroze podle dávky urychlují nebo zpomalují tuhnutí cementu a většinou neovlivňují reologické vlastnosti čerstvého betonu.

Biocidní přísady
Omezují biologickou korozi betonu. Každé stavební dílo je osídleno mikroorganizmy a ty potencionálně ohrožují trvanlivost betonu, pokud se vytvoří příznivé mikroklima pro šíření, rozmnožování a aktivitu mikroorganizmů.

Plynotvorné přísady
Při míchání a ukládání betonu reagují chemicky tak, že při tom vzniká plyn, který nakypřuje beton.

Pěnotvorné přísady
Způsobují, že se během míchání dostává do betonu fyzikální cestou velké množství vzduchových bublin, které jsou dostatečně pevné a stabilní a tak umožňují výrobu pěnobetonu.

Adhezní přísady
Zlepšují přídržnost betonu k již zatvrdlému betonu, k maltě nebo k jiným podkladům.

6 PŘÍMĚSI A VÝZTUŽ

6.1 LATENTNÍ HYDRAULICITA
6.2 PŘÍMĚSI
6.2.1 Popílek
6.2.2 Křemičité látky, úlety (silica fume)
6.2.3 Mletá granulovaná vysokopecní struska
6.2.4 Ostatní příměsi
6.3 BAREVNÉ PIGMENTY
6.4 BETONÁŘSKÁ A PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ
6.5 ROZPTÝLENÁ VÝZTUŽ
6.6 KRYCÍ VRSTVA VÝZTUŽE DLE ČSN EN 1992-1

6.1 LATENTNÍ HYDRAULICITA

Hydraulická aktivita je schopnost látky tvrdnout ve vodním prostředí za normální teploty.
Latentní hydraulicita je schopnost látky tvrdnout reakcí s $Ca(OH)_2$ ve vodním prostředí za normální teploty. Podobné vlastnosti mají pucolánové látky, které se vyznačují vysokým obsahem aktivního SiO_2. Podmínkou chemické reakce je alkalické prostředí vytvářené v roztoku i jinými chemickými sloučeninami, které nazýváme budiče hydraulicity.

Z chemického hlediska je lze rozdělit do tří skupin:
1. Látky obsahující amorfní SiO_2, v množství nad 47 % hm., rozpustný v kyselém i v alkalickém prostředí, vykazující pucolánové nebo latentně hydraulické vlastnosti. Patří sem diatomity, opál, křemičité úlety.

2. Pálené hlíny, popílky, struska vykazující latentně hydraulické vlastnosti. Vyrábějí se rozemletím málo pálených jílových zemin (pálených nejvýše do teploty 600°C až 800°C). Tyto látky obsahují od 16 % hm. do 53 % hm. CaO. Jako budiče (iniciátory) hydraulicity lze použít: cement, vápno, NaOH, $CaSO_4$, Na_2SO_4, $Al_2(SO_4)_3$. Popílky vykazují tím větší reaktivitu, čím více obsahují SiO_2 ve sklovité fázi. Reaktivitu negativně ovlivňuje větší množství spalitelných látek (ztráta žíháním).

3. Látky obsahující sopečné sklo vzniklé rychlým ochlazením magmatu. Jsou to pravé pucolány, jako tufy, trasy, sopečné sklo. Látky sopečného původu (rýnský tras, bavorský a římský tras, neapolský tras, řecký santorin) obsahují 45 % až 70 % hm. SiO_2, 10 % až 20 % hm. Al_2O_3, 3 % až 10 % hm. Fe_2O_3, 2 % až 12 % hm. CaO, do 2 % hm. MgO, 3 % až 10 % hm. $K_2O + Na_2O$. Vulkanické horniny většinou obsahují 50 % až 80 % hm. amorfní sklovité fáze a 50 % až 20 % hm. krystalické fáze. Velmi reaktivní jsou vulkanická skla a zeolity.

Podmínkou aktivity těchto látek je velký měrný povrch, který bývá přibližně stejný jako měrný povrch cementu. Velmi reaktivní křemičité úlety však mají měrný povrch i více než 15000 $m^2.kg^{-1}$.

6.2 PŘÍMĚSI

Příměsi do betonu jsou jemné anorganické nebo organické látky, které se přidávají do betonu s cílem zlepšit jeho vlastnosti nebo dosáhnout vlastnosti požadované. V každém případě je nutno započítat je do betonu při výpočtu obsahu složek. Dle ČSN EN 206-1 se příměsi dělí na dva typy.

Typ I: Téměř inertní příměsi, například filery (kamenná moučka, jemně mletý vápenec) dle ČSN EN 12620 nebo pigmenty dle ČSN EN 12878.

Typ II: Pucolány nebo latentní hydraulické příměsi, jako například popílek do betonu dle ČSN EN 450-1, křemičitý úlet dle ČSN EN 13263 nebo struska dle ČSN EN 15167-1.

Příměsi druhu II se mohou vzít v úvahu ve složení betonu pro obsah cementu a vodní součinitel koncepce k-hodnoty.

Koncepce k-hodnoty umožňuje vzít v úvahu příměsi druhu II při:
- nahrazení vodního součinitele, tj. poměru voda/cement (definovaného v 7.1) součinitelem

voda / (cement + k x příměs)

- požadavku na minimální obsah cementu (viz 7.3.2).

Skutečná hodnota k závisí na konkrétní příměsi.
Použití koncepce k-hodnoty pro popílek podle ČSN EN 450-1 a křemičitý úlet podle ČSN EN 13263 s cementem CEM I podle EN 197-1 je uvedeno v následujících článcích. Koncepce k-hodnoty se může použít pro popílek a křemičitý úlet i s jinými druhy cementu i pro jiné příměsi, pokud je prokázána jejich vhodnost.

6.2.1 Popílek

Do betonu je možné použít zásadně jen popílek dle ČSN EN 450-1 „Popílek do betonu“ (musí být takto deklarován výrobcem či dodavatelem). V této normě je popílek definován následovně:

- Popílek je jemný prášek převážně z kulovitých sklovitých částic, které vznikají při spalování práškového uhlí samotného, nebo i se spoluspalovaným materiálem. Má pucolánové vlastnosti a sestává převážně z SiO_2 a Al_2O_3, přičemž obsah aktivního SiO_2, definovaný a stanovený podle ČSN EN 197-1, je nejméně 25 % hmotnostních.
- Popílek se získává elektrostatickým nebo mechanickým odlučováním z plynů topenišť otápěných práškovým uhlím samotným, nebo i se spoluspalovaným materiálem.
- Popílek se může před jeho použitím upravovat například tříděním, výběrem, prosíváním, sušením, smícháváním, mletím nebo snižováním uhlíku nebo kombinací těchto procesů ve vhodném výrobním zařízení. Takto upravený popílek může sestávat z popílků různých zdrojů, přičemž každý popílek musí vyhovovat výše uvedené definici. Pokud jeden, nebo více popílků má původ ze spoluspalování, pak upravený popílek se musí deklarovat jako ze spoluspalování.
Poznámka: Popílek ze spaloven komunálního nebo průmyslového odpadu nevyhovuje výše uvedené definici.
- Popílek ze spoluspalování vyhoví v tom případě, že minimální hmotnostní procento suchého uhlí činí alespoň 80 %.

Popílky mají proměnlivé chemické, mineralogické i granulometrické složení podle druhu spalovaného uhlí, lokality, spalovacího procesu a způsobu odlučování z exhalátů. Popílek z černého uhlí má menší variabilitu vlastností a je vhodnější příměsí do betonu než popílek z hnědého uhlí (v ČR je 80 % popílků z hnědého uhlí).

Popílky bohaté na SiO_2 působí jako pucolány. Pucolanita se projevuje velmi pomalu a je prakticky zjistitelná za 90 dnů a později. Černouhelné popílky většinou obsahují skelné kuličky velikostí blízké zrnům cementu, hnědouhelné popílky mají nepravidelný tvar zrn. Samotný hnědouhelný popílek potřebuje pro iniciaci hydratace 18 % až 20 % hm. CaO, avšak překročení této hodnoty vyvolá nebezpečí rozpadu.

Popílky mají vyšší pravděpodobnost překročení limitu hmotnostní aktivity Ra-226 (viz tab. v 1.5). Obsahují také značné podíly prvků těžkých kovů, které se vyluhováním stávají potenciálním nebezpečím kontaminace spodních vod. Zrnitost popílků je závislá na použitých odlučovačích, z mechanických odlučovačů je popílek hrubší (zrna větší než 0,09 mm jsou obsažena nad 20 %, sypná hmotnost je 900 $kg.m^{-3}$-1200 $kg.m^{-3}$) než z elektrostatických odlučovačů (zrna nad 0,09 mm do 20 %, sypná hmotnost asi 800 $kg.m^{-3}$). Vlastnosti popílků podle způsobu použití jsou normovány v ČSN EN 450.

Kvalitativní požadavky na popílek podle ČSN EN 450-1

vlastnost	požadavek	mezní hodnota jednotlivého vzorku	zkušební metoda
ztráta žíháním (1 h)	kat. A ≤ 5 % kat.B 2 až 7 % kat. C 4 až 9%	+ 2 % + 2 % + 2 %	EN 196-2
obsah chloridů(Cl^-)	≤ 0,1 %	0 %	EN 196-2
obsah SO_3	≤ 3 %	+ 0,5 %	EN 196-2
volný CaO	≤ 2,5 % [1]	+ 0,1 %	EN 451-1
aktivní CaO	≤ 10 %	+ 1 %	EN 197-1
aktivní SiO_2	≥ 25 %	- 3 %	EN 197-1
SiO_2+ Al_2O_3+Fe_2O_3 celkem	≥ 70 %	- 5 %	EN 196-2
obsah alkálií - $Na_2O_{ekv.}$	≤ 5 %	+ 0,5 %	EN 196-2
obsah MgO	≤ 4 %	+ 0,5 %	EN 196-2
P_2O_5 [2]	≤ 4 %	110 mg.kg^{-1}	EN 450-1
zbytek na sítě 0,045 mm	kat. N ≤ 40 % kat. S ≤ 12 %	±10 % + 1%	EN 451-2 za mokra
index účinnosti (porovnání pevnosti v tlaku)	za 28 dní 75 % za 90 dní 85 %	-5 %	EN 196-1
objemová stálost [4]	≤ 10 mm	-	EN 196-3
variabilta měrné hmotnosti	max. ± 200kg.m^{-3} od deklarované	+ 25 kg.m^{-3}	EN 196-6
počátek tuhnutí	ne 2 x delší než směs jen z cementu	+ 20 minut	EN 196-3
požadavek na množství vody	95 % (jen kategorie S)	+ 2%	

[1] pokud je ≥1 %, nutná zkouška na objemovou stálost
[2] obsah rozpustného fosforečnanu vyjádřený jako P_2O_5
[3] porovnání pevnosti v tlaku
[4] 50 % popílku a 50 % cementu

Koncepce k-hodnoty pro popílek podle ČSN EN 450-1

Maximální množství popílku, které lze uvažovat u koncepce k-hodnoty, musí vyhovovat požadavku hmotnostního poměru:

- popílek/cement ≤ 0,33

Jestliže se přidává větší množství popílku, pak se přebývající část nemůže brát v úvahu pro výpočet součinitele voda/(cement + k x popílek) ani pro minimální obsah cementu.

Pro beton obsahující cement druhu CEM I podle ČSN EN 197-1 je dovoleno použít následujících hodnot k:

- CEM 32,5 k = 0,2
- CEM 42,5 a vyšší k = 0,4

Hodnota k = 0,2 se používá pro cementy CEM II/A-S, CEM II/B-S, CEM III A.

Minimální obsah cementu požadovaný v článku 7.3 se může snížit maximálně o množství k x (minimální obsah cementu - 200) kg/m^3, avšak množství (cement + popílek) nesmí být menší než je minimální obsah cementu požadovaný v ČSN EN 206-1.

6.2.2 Křemičité látky, úlety (silica fume)

Křemičité úlety jsou odpadem některých hutnických provozů (výroba ferosilicia). Vyznačují se mimořádně velkým měrným povrchem a dobrými pucolánovými vlastnostmi. Obsahují 80 % až 98 % amorfního SiO_2 ve tvaru kulových zrn o průměru asi 0,1 µm až 0,2 µm, při měrném povrchu 15000 m^2.kg^{-1} až 30000 m^2.kg^{-1} a měrné hmotnosti 2120 kg.m^{-3}. Požaduje se ztráta žíháním do 4 % hm. Křemičité látky jsou aktivní příměsí do cementu i betonu.

Zlepšují vlastnosti čerstvého betonu, jako je odmísení, odlučování vody (bleeding), čerpatelnost, avšak zvyšují potřebné množství vody o 1 litr na 1 kg úletů pro dosažení stejné zpracovatelnosti.

Vhodnost použití do betonu je obecně prokázána, pokud křemičité látky odpovídají ČSN EN 16236-1 „Křemičitý úlet do betonu“. Podle obsahu SiO_2 se rozlišují dvě třídy.

Křemičitý úlet je definován jako:
- Velmi jemné částice amorfního oxidu křemičitého zachyceného jako vedlejší produkt tavícího procesu při výrobě křemíkových kovů a slitin ferosilicia.
- Křemičitý úlet může být upravován, například tříděním, výběrem, smícháváním, aglomerováním nebo vytvářením kaše nebo kombinací těchto procesů v příslušných provozovnách. Takto upravený křemičitý úlet může být z křemičitých úletů z různých zdrojů, každý však musí vyhovovat výše uvedené definici. Křemičitý úlet může být též nazýván „kondenzovaný křemičitý úlet“ nebo „mikrosilika“.

Požadaky na chemické složení a další vlastnosti

vlastnost	požadavek	mezní hodnota jednotlivého vzorku	zkušební metoda
obsah SiO_2	třída 1: ≥ 85 % třída 2: ≥ 80 %	třída 1: 80 % třída 2: 75 %	EN 196-2
obsah elementárního křemíku	≤ 0,4 %	+ 0,1 %	ISO 9286
volný CaO	≤ 1,0 %	-	EN 451-1
obsah síranů (SO_3)	≤ 2,0 %	-	EN 196-2
$Na_2O_{ekv.}$	musí být deklarován	-	EN 196-2
obsah chloridů (Cl^-)[1)]	≤ 0,3 %	-	EN 196-2
ztráta žíháním	≤ 4,0 % hm.	+ 2,0 %	EN 196-2
měrný povrch	(15,0-35,0) $g.m^{-2}$	≥ 13,5	ISO 9277

[1)] nad 0,1 % musí být deklarován

Koncepce k-hodnoty pro křemičitý úlet podle ČSN EN 13263

Maximální množství křemičitého úletu, které lze vzít v úvahu pro výpočet vodního součinitele a pro výpočet obsahu cementu musí vyhovovat požadavku hmotnostního poměru:

- křemičitý úlet/cement ≤ 0,11

Jestliže se přidává větší množství křemičitého úletu, pak se přebývající část nesmí brát v úvahu při koncepci k-hodnoty.

Pro beton obsahující cement druhu CEM I podle EN 197-1 je dovoleno použít následujících hodnot k:

- pro určený vodní součinitel ≤ 0,45 k = 2,0
- pro určený vodní součinitel > 0,45 k = 2,0

s výjimkou pro stupně vlivu prostředí XC a XF, kdy k = 1,0.

Množství (cement + k x křemičitý úlet) nesmí být menší než je minimální obsah cementu, který je požadován pro příslušný stupeň vlivu prostředí (viz kap. 7.3). Minimální obsah cementu nesmí být snížen více než o 30 kg/m^3 betonu použitého pro stupně vlivu prostředí, které vyžadují minimální obsah cementu ≤ 300 kg/m^3.

V případě, že jsou současně použity jako příměs popílek a křemičitý úlet, musí obsahy obou příměsí (popílku p a křemičitého úletu s) odpovídat níže uvedeným hmotnostním podílům k cementu (c).

Při použití cementu CEM I:
- p/c ≤3(0,22 – s/c)

Při použití cementů CEM II/A-S, CEM II/B-S, CEM II/A-D, CEM II/A-T, CEM II/B-T, CEM II/A-LL a CEM III/A
- p/c ≤3(0,15 – s/c)

Poznámka: při použití jiných cementů není společné použití popílku a křemičitého úletu přípustné.

6.2.3 Mletá granulovaná vysokopecní struska

Vhodnost pro použití do betonu je obecně prokázána, pokud struska odpovídá ČSN EN 15167-1.

Granulovaná vysokopecní struska je definována jako:
- Sklovitý materiál vznikající rychlým ochlazením vhodně složené struskovité taveniny vznikající při tavení železné rudy ve vysoké peci, struska musí být nejméně ze dvou třetin hmotnosti sklovitá a při vhodné aktivaci musí vykazovat hydraulické vlastnosti.
- Mletá granulovaná vysokopecní struska je pak jemný prášek, vzniklý mletím granulované vysokopecní strusky.

Požadavky na chemické složení a další vlastnosti

vlastnost	požadavek	mezní hodnota jednotlivého vzorku	zkušební metoda
obsah MgO	≤ 18 %	+ 1,0 %	EN 196-2
obsah sulfidů	≤ 2,0 %	+ 0,5 %	EN 196-2
obsah síranů	≤ 2,5 %	+ 0,5 %	EN 196-2
ztráta žíháním[1)]	≤ 3,0 %	+ 0,5 %	EN 196-2
obsah chloridů [2)]	≤ 0,1 %	-	EN 196-2
obsah vlhkosti	≤ 1,0 %	+ 0,5 %	EN 15167
měrný povrch	≥ 275 m^2kg^{-1}	- 25	EN 196-6
počátek tuhnutí	ne 2 x delší než směs z cementu	2,25 x	EN 196-3
index účinnosti [3)]	za 7 dní 45 % za 28 dní 70 %	- 5 % - 5 %	EN 196-1

[1)] opravená na oxidaci sulfidů
[2)] nad 0,1% musí být deklarován
[3)] porovnání pevnosti v tlaku

Koncepce k hodnoty pro jemně mletou vysokopecní granulovanou strusku:

Maximální množství mleté granulované vysokopecní strusky, které je možné vzít v úvahu pro výpočet vodního součinitele a pro výpočet minimálního obsahu cementu požadovaného pro příslušný stupeň vlivu prostředí, musí splňovat podmínky dle ČSN EN 206-1, Příloha E - Návod na použití ekvivalentní koncepce posouzení vlastností betonu.

To znamená prokázat , že beton s příměsí (jemně mletou granulovanou vysokopecní struskou) má minimálně stejné vlastnosti jako beton referenční.

6.2.4 Ostatní příměsi

Pro ostatní příměsi, jako jsou kamenná moučka, jemně mletý vápenec a případně další materiály (pokud jejich vlastnosti nejsou prokazatelně deklarovány dle ČSN EN 12620), je vhodnost obecně prokázána, jsou-li v technické dokumentaci deklarovány jako vhodné pro použití do betonu a je-li na ně vydáno příslušné STO ve smyslu platného nařízení vlády. Pro jejich použití jako příměsi typu II musí být vhodnost navíc prokázána průkazní zkouškou dle ČSN EN 206-1, Příloha A.

6.3 BAREVNÉ PIGMENTY

Vhodnost použití pigmentů do betonu je obecně prokázána, vyhoví-li ČSN EN 12878.

Anorganické pigmenty do betonu mají mít následující vlastnosti:
- barevná stálost ve styku s cementem a na povětrnosti,
- minimální vliv na pevnost betonu a na dobu tuhnutí a tvrdnutí betonu,
- dobrá krycí schopnost, která je vyjádřena granulometrií a omezenou agregací částic,
- dobrá dispergace o velikosti částic 0,1 µm až 0,2 µm.

Částice často flokulují, vytváří shluky a tím se snižuje barevná krycí schopnost pigmentu. Intenzita barvy je závislá na dávce pigmentu, jejichž cena je relativně vysoká, ale nad 6 % - 9 % dávky pigmentu, vztaženo na hmotnost cementu, se již intenzita barvy nezlepšuje. Obvykle se dávkuje do 5 % hmotnosti cementu. Dobrá barevnost betonu se získá použitím bílého cementu a praného, světlého kamenina s vyloučením zrn do 0,01 mm a omezením frakce do 1 mm na 20 %. Používáme-li šedý cement, získáme tmavší barvy, pro žlutou, modrou a zelenou barvu se jeho použití nedoporučuje.

Důležitá je technologie přípravy čerstvého barevného betonu, který lze připravit dvěma variantami:

- Cement a pigment dávkujeme v suchém, sypkém stavu do míchačky.
- Pigment rozplavíme ve vodě a vzniklou suspenzi dávkujeme do rozmíchaného čerstvého betonu (tento způsob je vhodnější, neboť umožňuje větší flexibilitu dávkování a vylučuje prašnost).

Působením klimatu (UV záření, voda, teplota, znečistěný vzduch) dochází ke změnám barvy dekorativního betonu. Změny zbarvení vzniklé působením znečištěného vzduchu lze významně omezit použitím fotokatalytického cementu, který průběžně rozkládá nečistoty usazené na povrchu betonu. Rovněž zabraňuje růstu řas, mechů a hub.

Předpokládaný dlouhodobý časový průběh změn barevného betonu (bez dodatečného ošetření):

- za 4 týdny až 4 měsíce se tvoří výkvěty ($CaCO_3$) a povrch barevného betonu se mléčně zabarví,
- za 18 měsíců až 3 roky déšť smyje výkvěty, povrch betonu získá původní barvu,
- v období 3 až 8 roků nastává eroze povrchu, barva se přibližuje barvě kameniva,
- za 5 roků se povrch betonu začíná špinit, povrch nepravidelně a výrazně ztmavne,

- za 8 až 10 roků - proměnlivé barvy povrchu jsou způsobeny organizmy (mechy, řasy, houby).

6.4 BETONÁŘSKÁ A PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽ

Betonářská ocel dle normy ČSN EN 10080 zahrnuje svařitelnou betonářskou výztuž dodávanou ve formě tyčí, svitků a rozvinutých výrobků, továrně vyrobené strojově svařované sítě a příhradové nosníky. Výrobek musí být označen typem výrobku, číslem normy, jmenovitým rozměrem a technickou skupinou oceli.

Ocel se značí písmenem skupiny (B pro betonářskou ocel), charakteristickou hodnotou meze kluzu R_e (400–600) MPa a třídou tažnosti (A, B, C).

Ocel ve formě tyčí musí být označena identifikací výrobce sestávající z kódu země původu a čísla výrobního závodu. Takové označení se provádí např. pomocí zesílených či chybějících žebírek nebo vtištěnými značkami. Hladká ocel může být identifikována údaji na přiloženém štítku.

Svařovaná síť musí být navíc opatřena štítkem s označením výrobce sítě.

Evropská norma EN 10138 pro předpínací ocel definuje:

- Všeobecné požadavky.
- Za studena tažené dráty s odstraněným pnutím, hladké a profilované. Pevnostní třída 1570 MPa o průměru 9,4 a 10,0 mm; 1670 MPa o průměrech 5,0; 6,0; 7,0; 7,5; 8,0 mm, 1770 MPa o průměrech 4,0; 5,0; 6,0 mm a průměru 4,0 mm pevnosti 1860 MPa.
- Pramence. Třídrátové průměru 5,2 mm pevnostní třídy 1960 MPa a 2060 MPa, průměru 6,5 mm pevnosti 1860 MPa a 1960 MPa, průměru 6,8 a 7,5 mm s pevností 1860 MPa. Sedmidrátové s dráty pevnostní třídy 2060 MPa o průměru 7,0 mm, s dráty o pevnosti 1860 MPa a profilech 9,0; 11,0; 12,5; 13,0; 15,2; 16,0 mm, s dráty

o pevnosti 1770 MPa o průměrech 15,2; 16,0; 18,0 mm. Používají se dráty s hladkým i s profilovaným povrchem. Jednoduchý předpínací pramenec jsou 3 dráty svinuté do výztužné vložky tak, aby výška vinutí se rovnala 18 až 24násobku jmenovitého průměru použitého drátu. Předpínací lano je jednopramenné lano svinuté ze 7 hladkých drátů (1 + 6) kruhového průřezu. Předpínacími kabely jsou souběžně sdružené vložky předpínací výztuže.
- Tyče za tepla válcované, hladké a žebrované. Pevnostní třídy 1030 a 1230 MPa s průměrem tyče 20, 25, 26, 32, 36, 40 mm. O průměru 50 mm jen z oceli 1030 MPa. Tyto tyče lze použít i pro předpínání elektroohřevem (max. teplota 400 °C po dobu nejdéle 10 min).
- Zušlechtěné dráty (kalené, temperované).

6.5 ROZPTÝLENÁ VÝZTUŽ

Vláknovou výztuží se zlepšují některé vlastnosti betonu:

- zvyšuje se pevnost betonu v tahu a v tahu ohybem, tím se omezuje nebo zamezuje vzniku trhlin,
- snižují se deformace betonu, neboť se zvyšuje modul pružnosti,
- omezuje se křehkost betonu, zvyšuje se jeho houževnatost a pevnost v rázu,
- zvyšuje se únavová pevnost, vlákna přenášejí sílu přes případnou trhlinu.

Ocelová vlákna jsou nejčastěji používána v délkách od 12 do 60 mm, tloušťky od 0,25 do 1,0 mm, štíhlostního poměru (poměr délky k tloušťce) 50 až 100.

Rozdílná úprava vláken má zajistit dostatečné kotvení v cementovém kameni. Vlákna jsou zalomena, na koncích zploštělá, ohnutá, profilovaná nebo lze použít ocelových třísek z obrábění oceli.

Ocelová vlákna se dávkují v % objemu betonu: hladká vlákna 0,8 % až 1,8 % (v maltě 1 % - 2 %), tvarovaná vlákna 0,3 % až 0,9 % (v maltě 0,5 % - 1,0 %).

Vhodnost ocelových vláken do betonu je obecně prokázána, splňují-li podmínky ČSN EN 14889-1.

Ocelová vlákna musí být zatříděna do jedné z následujících skupin dle základního materiálu použitého pro jejich výrobu:
Skupina I : za studena tažený drát
Skupina II : vlákna stříhaná z plechu
Skupina III : vlákna oddělovaná z taveniny
Skupina IV : vlákna protahovaná z drátu taženého za studena
Skupina V : vlákna frézovaná z ocelového bloku

Ocelová vlákna musí být přímá nebo tvarovaná. Výrobce musí deklarovat tvar vlákna.

Polymerová vlákna jsou dodávaná v délce 6 a 12 mm, o průměru vláken 18 μm, a s měrnou hmotností 910 kg.m^{-3}.

Vhodnost polymerových vláken do betonu je obecně prokázána, splňují-li podmínky ČSN EN 14889-2.

Polymerová vlákna musí být deklarována výrobcem podle jejich fyzického tvaru:
- Třída Ia: mikrovlákna s průměrem < 0,30 mm; jednovláknovitá (monofilamentická)
- Třída Ib: mikrovlákna s průměrem < 0,30 mm; vláknitá (fibrilovaná)
- Třída II : makrovlákna s průměrem > 0,30 mm

(vlákna Třídy II se obecně používají tam, kde je vyžadováno zvýšení zbytkové pevnosti v tahu ohybem)

Skelná vlákna musí být upravena pro vyšší odolnost v alkalickém prostředí cementového kamene, jednak úpravou chemického složení sklářského kmene a jednak lubrikací (velmi tenkým povlakem na povrchu vláken). Dávkují se 1 % - 2 %, do stříkaného betonu 8 % - 12 %.
- Komerční označení: Cemfil, Rezalt, Fibrex, Dolamit, Dimapos.

6.6 KRYCÍ VRSTVA VÝZTUŽE DLE ČSN EN 1992-1-1

Betonová krycí vrstva je dána vzdáleností mezi povrchem výztuže nejbližším k povrchu betonu (včetně spon, třmínků a případně povrchové výztuže) a nejbližším povrchem betonu.

Nominální krycí vrstva musí být předepsána na výkresech. Je definována jako součet minimální krycí vrstvy c_{min} (dle ČSN EN 1992-1-1 článek 4.4.1.2) a přídavku na návrhovou odchylku Δc_{dev} (dle ČSN EN 1992-1-1 článek 4.4.1.3).

7 SLOŽENÍ BETONU

7.1 POJMY
7.2 KLASIFIKACE BETONU
7.2.1 Klasifikace podle stupně vlivu prostředí
7.2.2 Klasifikace podle konzistence
7.2.3 Pevnostní třídy betonu
7.2.4 Klasifikace dle maximální velikosti zrna kameniva
7.2.5 Třídy objemové hmotnosti
7.3 POŽADAVKY NA SLOŽENÍ BETONU PODLE KLASIFIKACE PROSTŘEDÍ
7.3.1 Základní požadavky na složky betonu
7.3.2 Požadavky na beton v závislosti na stupni vlivu prostředí
7.3.3 Použitelnost cementů pro stupně vlivu prostředí
7.3.4 Požadavky na obsah moučky
7.3.5 Požadavky na maximální obsah chloridů
7.3.6 Požadavky na odolnost proti alkalickokřemičité reakci
7.3.7 Požadavky pro betonování pod vodou
7.3.8 Požadavky na cementovou maltu (jemnozrnný beton s D_{max} 4 mm) pro zmonolitnění prefabrikátů
7.3.9 Požadavky při dodávce betonu
7.4 NÁVRH SLOŽENÍ BETONU
7.5 NÁVRH PODLE EMPYRICKÉHO MNOŽSTVÍ VODY
7.6 SILNIČNÍ BETON
7.7 KONSTRUKČNÍ VRSTVY POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ
7.8 BETON ODOLNÝ PROTI PŮSOBENÍ VODY A CHEMICKÝCH ROZMRAZOVACÍCH LÁTEK (CH.R.L.)
7.9 PĚNOBETON
7.10 ČERPANÝ ČERSTVÝ BETON

ČSN EN 206-1 platí pro beton určený pro konstrukce betonované na staveništi, montované konstrukce a pro prefabrikované konstrukční dílce pozemních a inženýrských staveb.
Beton může být vyráběn na staveništi, dodáván jako transportbeton nebo vyráběn ve výrobně betonových výrobků.

Oblasti použití betonu dle ČSN EN 206-1

oblasti použití	norma neplatí pro:
obyčejný beton těžký beton lehký beton vysokopevnostní beton předpjatý beton samozhutnitelný beton [a)]	pórobeton pěnobeton beton s otevřenou strukturou (jednozrnný beton) beton s objemovou hmotností menší než 800kg/m^3 žáruvzdorný beton beton s napěněnou maltou betony (cementové malty) s maximální jmenovitou horní mezí frakce kameniva nejvýše 4 mm, výjimkou je cementová malta pro zmonolitnění montovaných konstrukcí proteplované vysokopevnostní betony silniční betony

[a)] Pro samozhutnitelný beton lze použít i ustanovení specifických předpisů, například:

- Evropské směrnice pro samozhutnitelný beton - Specifikace, výroba a použití;
- TP 187 Samozhutnitelný beton pro mostní objekty pozemních komunikací (Technické podmínky MD).

7.1 POJMY

Beton
Materiál ze směsi cementu, hrubého a drobného kameniva a vody, s přísadami nebo příměsemi nebo bez nich, který získá své vlastnosti hydratací cementu.

Čerstvý beton
Beton, který je zcela zamíchán a je ještě v takovém stavu, který umožňuje jeho zhutnění zvoleným způsobem.

Ztvrdlý beton
Beton, který je v pevném stavu a má již určitou pevnost.

Beton vyráběný na staveništi
Beton, který byl odběratelem vyroben na staveništi pro vlastní potřebu.

Transportbeton
Beton dodávaný v čerstvém stavu osobou nebo organizací, která není odběratelem betonu; transportbeton ve smyslu normy ČSN EN 206-1 je také:
- beton vyráběný odběratelem mimo staveniště,
- beton vyráběný na staveništi, ale ne odběratelem.

Obyčejný beton
Beton, který má po vysušení v sušárně objemovou hmotnost větší než 2 000 kg/m^3, ale nepřevyšující 2 600 kg/m^3.

Lehký beton
Beton, který má po vysušení v sušárně objemovou hmotnost větší než 800 kg/m^3 a menší než 2000 kg/m^3. Je vyráběn zcela nebo jen zčásti z pórovitého kameniva.

Těžký beton
Beton, který má po vysušení v sušárně objemovou hmotnost větší než 2600 kg/m^3.

Vysokopevnostní beton
Beton, který má třídu pevnosti v tlaku větší než C 50/60 pro obyčejný a těžký beton a LC 50/55 pro lehký beton.

Provzdušněný beton
Beton obsahující provzdušňující přísady, kterými se zabezpečí obsah vzduchových pórů, minimálně v hodnotách požadovaných normou nebo jinými specifikacemi.

Krychlový metr betonu
Množství čerstvého betonu, které po zhutnění postupem uvedeným v EN 12350-6 vyplňuje objem jednoho krychlového metru.

Typový beton
Beton, pro který jsou výrobci specifikovány požadované vlastnosti a doplňující charakteristiky betonu a výrobce zodpovídá za dodání betonu vyhovujícího požadovaným vlastnostem a doplňujícím charakteristikám.

Beton předepsaného složení
Beton, pro který je výrobci předepsáno složení betonu včetně používaných složek a výrobce zodpovídá za dodání betonu předepsaného složení.

Charakteristická pevnost
Hodnota pevnosti, pro kterou lze očekávat nižší hodnoty nejvýše u 5 % základního souboru všech možných výsledků zkoušek pevnosti hodnoceného objemu betonu.

Specifikace
Konečná sestava dokumentovaných technických požadavků předaných výrobci ve formě požadovaných vlastností nebo složení betonu.

Působení prostředí
Takové chemické a fyzikální působení, kterému je vystaven beton, jehož účinky na beton nebo, na výztuž, nebo na zabudované kovové vložky nejsou uvažovány jako zatížení konstrukce.

Celkový obsah vody
Dávkovaná voda a voda, která je už obsažená v kamenivu i na povrchu zrn kameniva, voda obsažená v přísadách a příměsích, které jsou přidávány v suspenzi, i voda z přidávaného ledu nebo při ohřívání párou.

Účinný obsah vody
Rozdíl mezi celkovým obsahem vody přítomným v čerstvém betonu a vodou nasáknutou kamenivem.

Vodní součinitel
Poměr účinného obsahu vody k hmotnosti cementu v čerstvém betonu.

Přísada
Materiál, který upravuje vlastnosti čerstvého nebo ztvrdlého betonu, přidávaný během míchání betonu v malém množství v poměru ke hmotnosti cementu.

Příměs
Práškovitý materiál, který se přidává do betonu za účelem zlepšení určitých vlastností nebo k docílení speciálních vlastností betonu; norma ČSN EN 206-1 pojednává o dvou druzích anorganických příměsí:

- téměř inertní příměsi (druh I),
- pucolány nebo latentní hydraulické příměsi (druh II).

7.2 KLASIFIKACE BETONU

Beton se dle ČSN EN 206-1 klasifikuje dle různých kriterií a to podle:

- klasifikace dle stupně vlivu prostředí,
- klasifikace dle stupně konzistence,
- klasifikace dle třídy pevnosti v tlaku,
- klasifikace dle třídy objemové hmotnosti (pro lehký beton).

7.2.1 Klasifikace podle stupně vlivu prostředí

Za účelem stanovení životnosti betonu ve stavebních konstrukcích jsou vlivy na beton rozděleny do stupňů vlivů prostředí dle nebezpečí koroze betonu nebo výztuže následovně:

- beton bez nebezpečí koroze nebo narušení X0,
- nebezpečí koroze výztuže XC, XD, XS (chloridy z mořské vody, v ČR je nepravděpodobné),
- nebezpečí koroze betonu XF, XA, XM.

Resortní předpis MD ČR ještě rozlišuje nebezpečí vzniku alkalickokřemičité reakce XW.

Beton může být vystaven působení více než jednoho z uvedených vlivů. V tom případě se vliv prostředí vyjádří jako kombinace stupňů.

Bez nebezpečí koroze nebo narušení

Platí pro nevyztužené betonové konstrukce (bez zabudovaných kovových vložek) a beton bez vlivu vnějšího prostředí (například velmi suché prostředí nebo beton s dostatečnou vnější ochranou).

označení stupně	popis prostředí	příklady výskytu
X0	pro beton bez výztuže nebo zabudovaných kovových vložek: všechny vlivy s výjimkou střídavého působení mrazu a rozmrazování, obrusu nebo chemicky agresivního prostředí. pro beton s výztuží nebo se zabudovanými kovovými vložkami; velmi suché	beton základů bez výztuže v prostředí bez vlivu mrazu; beton bez výztuže uvnitř budov beton uvnitř budov s velmi nízkou vlhkostí vzduchu

Koroze vlivem karbonatace

Pokud beton obsahující výztuž nebo jiné zabudované kovové vložky je vystaven ovzduší a vlhkosti, pak se stupeň vlivu prostředí určuje následovně:

označení stupně	popis prostředí	příklady výskytu
XC1	suché nebo stále mokré	beton uvnitř budov s nízkou** vlhkostí vzduchu; beton trvale ponořený ve vodě; části staveb uvnitř budov se střední vlhkostí vzduchu (včetně kuchyní, koupelen a prádelen v obytných budovách); nesmáčené prvky mostních konstrukcí přístupné vzduchu
XC2	mokré, občas suché	povrch betonu vystavený dlouhodobému působení vody; většina základů; části vodojemů
XC3	středně mokré, vlhké	beton uvnitř budov se střední*** nebo velkou**** vlhkostí vzduchu; venkovní beton chráněný proti dešti; části staveb, ke kterým má často nebo stále přístup vnější vzduch např.: haly, vnitřní prostory s velkou vlhkostí vzduchu (kuchyně pro hromadná stravování, lázně, prádelny, veřejné a kryté bazény, stáje a chlévy)
XC4	střídavě mokré a suché	povrchy betonu ve styku s vodou, které nejsou zahrnuty ve stupni vlivu prostředí XC2; vnější části staveb z betonu přímo vystaveného srážkám

POZNÁMKA: Vlhkostní podmínky se vztahují ke krycí vrstvě výztuže nebo jiných kovových vložek, ale v mnoha případech podmínky v krycí vrstvě výztuže se mohou považovat za stejné jako v okolním prostředí. V takových případech může být přiměřené stanovit vliv podle okolního prostředí, ne však v případech, kdy je beton od okolního prostředí oddělen.
Informativní dělení prostředí podle průměrné dlouhodobé relativní vlhkosti vzduchu:

- * velmi nízká, méně než 30 %
- ** nízká 30 % - 60 %
- *** střední 60 % - 85 %
- **** velká, více než 85 %

Koroze vlivem chloridů, ne však z mořské vody

Pokud beton s výztuží, nebo s jinými zabudovanými kovovými vložkami, přichází do styku s vodou obsahující chloridy, včetně rozmrazovacích solí, ze zdrojů jiných než z mořské vody, musí být vliv prostředí odstupňován následovně:

označení stupně	popis prostředí	příklady výskytu
XD1	středně mokré, vlhké	povrchy betonů vystavené chloridům rozptýleným ve vzduchu; stavební části dopravních ploch, jednotlivé garáže
XD2	mokré, občas suché	plavecké bazény; beton vystavený působení průmyslových vod obsahujících chloridy; části mostů vystavené postřikům obsahujícím chloridy
XD3	střídavě mokré a suché	vozovky, betonové povrchy parkovišť, části mostů a inženýrských staveb vystavené postřikům obsahujícím chloridy

Koroze vlivem chloridů z mořské vody

Pokud beton s výztuží nebo s jinými zabudovanými kovovými vložkami přichází do styku s chloridy z mořské vody nebo slaným vzduchem z mořské vody, musí být vliv prostředí odstupňován následovně:

označení stupně	popis prostředí	příklady výskytu
XS1	vystaven slanému vzduchu, ale ne v přímém styku s mořskou vodou	stavby blízko mořského pobřeží nebo na pobřeží
XS2	trvale ponořen ve vodě	části staveb v moři
XS3	smáčený a ostřikovaný přílivem	části staveb v moři

Koroze vlivem působení mrazu a rozmrazování s rozmrazovacími prostředky nebo bez nich

Pokud je mokrý beton vystaven značnému působení mrazu a rozmrazování (mrazovým cyklům), musí být vliv prostředí odstupňován následovně:

označení stupně	popis prostředí	příklady výskytu
XF1	mírně nasycen vodou bez rozmrazovacích prostředků	svislé betonové povrchy vystavené dešti a mrazu
XF2	mírně nasycen vodou s rozmrazovacími prostředky	svislé betonové povrchy konstrukcí pozemních komunikací vystavené mrazu a rozmrazovacím prostředkům rozptýleným ve vzduchu
XF3	značně nasycen vodou bez rozmrazovacích prostředků	vodorovné betonové povrchy vystavené dešti a mrazu; otevřené nádrže na vodu; části staveb v zóně kolísání hladiny sladké vody; přelivná tělesa vodních staveb
XF4	značně nasycen vodou s rozmrazovacími prostředky nebo mořskou vodou	vozovky a mostovky vystavené rozmrazovacím prostředkům; betonové povrchy vystavené přímému ostřiku rozmrazovacími prostředky a mrazu; omývaná část staveb v moři vystavená mrazu, lapoly a nádrže u komunikací, betonová svodidla

Koroze vlivem chemického působení

Pokud je beton vystaven chemickému působení rostlé zeminy a podzemní vody, musí být vliv prostředí odstupňován, jak je uvedeno dále.

označení stupně	popis prostředí	příklady výskytu
XA1	slabě agresivní chemické prostředí	nádrže čistíren odpadních vod, jímky odpadních vod (žumpy, septiky), základy staveb
XA2	středně agresivní chemické prostředí	části staveb v půdách agresivních vůči betonu, základy staveb
XA3	vysoce agresivní chemické prostředí	průmyslové čistírny odpadních vod s chemicky agresivními vodami; základy staveb, sklady chemických rozmrazovacích látek a umělých hnojiv, silážní jámy a krmné žlaby v zemědělství; chladící věže s odvodem kouřových plynů
POZNÁMKA: Ke stanovení příslušných stupňů vlivu může být nutná zvláštní studie, pokud: ■ jsou hodnoty mimo mezní hodnoty uvedené v tabulce 2 ČSN EN 206-1; ■ jsou přítomny jiné chemikálie; ■ je zemina nebo voda chemicky znečištěná; ■ je vysoká rychlost vody v kombinaci s chemikáliemi podle tabulky 2 ČSN EN 206-1.		

Definice agresivního prostředí podle ČSN EN 206-1

Odstupňování chemického prostředí je založeno na přírodních půdách a spodních vodách při teplotě 5 °C až 25 °C s velmi malou rychlostí proudění vody blížící se nehybným podmínkám.
Pro zařazení je určující nejagresivnější hodnota jednotlivých chemických charakteristik. Jsou-li dvě nebo více charakteristik stejného stupně, je nutno použít pro zařazení nejbližší vyšší stupeň, pokud se neprokáže, že to není nezbytné.

chemická charakteristika	referenční zkušební metoda	XA1 slabě agresivní	XA2 středně agresivní	XA3 vysoce agresivní
voda:				
SO_4^{II-} (mg/l)	ČSN EN 196-2	≥ 200 ≤ 600	> 600 ≤ 3000	> 3000 ≤ 6000
pH	ISO 4316	≤ 6,5 ≥ 5,5	< 5,5 ≥ 4,5	< 4,5 ≥ 4,0
CO_2 agr. (mg/l)	ČSN EN 13577	≥ 15 ≤ 40	> 40 ≤ 100	>100 až k nasycení
NH_4^+ (mg/l)	ISO 7150-1 nebo	≥ 15 ≤ 30	> 30 ≤ 60	> 60 ≤ 100
Mg^{II+} (mg/l)	ISO 7980	≥ 300 ≤ 1000	> 1000 ≤ 3000	> 3000 až k nasycení
půda:				
SO_4^{II-} mg/kg [1;2]	ČSN EN 196-2	≥ 2000 ≤ 3000 [3]	> 3000 ≤ 12000	> 12000 ≤ 24000
st. kyselosti	DIN 4030-2	> 20° Gula-Baumann		

[1] Jílovité zeminy s propustností menší než 10^{-5} m/s se řadí do nižšího stupně.
[2] Zkušební metoda předepisuje vyluhování SO_4^{II-} pomocí kyseliny chlorovodíkové. Jestliže jsou k dispozici zkušenosti v místě užití betonu, lze alternativně užít vodní extrakci.
[3] Limit 3000 mg/kg se zmenší na 2000 mg/kg v případě nebezpečí hromadění síranových iontů v betonu v důsledku střídavého vysoušení a zvlhčování nebo kapilárního sání.
V případě že je znám původ (voda/zemina) a rozsah agresivity prostředí (viz. tabulka výše), lze pro návrh opatření k ochraně betonu použít následující tabulku:

Doporučená opatření na primární ochranu betonu proti jeho korozi vlivem chemicky agresivního prostředí (XA1, XA2, XA3)

stupeň vlivu prostředí a)b)c)	Druh chemické agresivity zeminy nebo vody														
	síranová (SO_3)			hořečnatá (Mg)			kyselá (pH)			uhličitá (CO_3)			amonná (NH_4)		
	XA1	XA2	XA3	XA1	XA2	XA3	XA1	XA2	XA3	XA1	XA2	XA3	XA1	XA2	XA3
podmínky působení	platí pro agresivní zeminu a vodu s teplotou od 5 °C do 25 °C působící na konstrukci více než 100 roků; platí pro neproudící a malou rychlost vody (zcela výjimečně do 2 $m.s^{-1}$)														
min. tloušťka kostrukce	pro prostý beton 0,3 m														
druh cementu	síranovzdorný cement 1 f)	síranovzdorný cement 2 g)	síranovzdorný cement 3 h)	v případě že nejsou použity vhodné příměsi, použít cement s nízkým obsahem portlandského slínku (s granulovanou vysokopecní struskou, s popílkem, s pucolánem); pokud se jedná o stupeň XA2 až XA3 vyvolaný agresivním CO_2, nepoužijí se portlandské směsné cementy CEM II, které obsahují vápenec jako hlavní složku											
příměsi d)	popílek, jemně mletá vysokopecní struska	popílek, křemičitý úlet, metakaolín, jiný geopolymer	křemičitý úlet, metakaolín, jiný geopolymer	-	-	křemičitý úlet	-	-	železná příměs nebo mletý geopolymer (metakaolín, jiný zeolit), kombinace zeolitu s křemičitým úletem	-	-	křemičitý úlet			
přísady	při použití křemičitého úletu a jiných vodonáročných příměsí je nutné použít vodoredukující přísadu (použití této přísady je vhodné i v ostatních případech)														

a) stupeň vlivu prostředí se určí podle tabulky 2 ČSN EN 206-1

b) stupeň vlivu prostředí se zvýší zpravidla o jeden stupeň když:
- teplota vody je vyšší než 25 °C, ale nižší než 50 °C
- předpokládaná provozní životnost je vyšší než 100 roků
- rychlost vody je vyšší než 2 $m.s^{-1}$
- na konstrukci působí současně dva nebo více chemických prostředí stejného stupně a není provedena podrobnější analýza

c) stupeň vlivu prostředí se sníží o jeden stupeň, když je konstrukce uložena v jílovitých zeminách s propustností menší než 10^{-5} $m.s^{-1}$

d) přísady a příměsi musí splnit požadavky článku 5 ČSN EN 206-1

f) síranovzdorný cement 1 - použití síranovzdorného cementu není nutné při použití uvedených příměsí anebo při použití cementu, který obsahuje alespoň 21% strusky, popílku nebo pucolánu a jehož obsah C_3A ve slínku nepřekročí 10 %.

g) síranovzdorný cement 2 - síranovzdorný cement podle ČSN 72 2103. Při obsahu SO_4 do 1500 mg/l lze použít i cementy CEM III/B a CEM III/C a dále následující cementy v kombinaci s příměsí do betonu:
a) CEM I s obsahem C_3A ve slínku do 10 %, CEM II/A-S a CEM II/B-S s dostatečnou dávkou pucolánové příměsi (např. s alespoň 20 % popílku)
b) CEM III/A s alespoň 10 % popílku

h) síranovzdorný cement 3 - síranovzdorný cement podle ČSN 72 2103

Koroze vlivem mechanického působení (obrus)

Pokud je beton vystaven pohyblivému mechanickému zatížení, musí být vliv prostředí odstupňován následovně:

označení stupně	popis prostředí	příklady výskytu
XM1	mírné nebo střední namáhání obrusem	nosné vyztužené nebo nevyztužené průmyslové podlahy pojížděné vozidly s pneumatikami
XM2	silné namáhání obrusem	nosné vyztužené nebo nevyztužené průmyslové podlahy pojížděné vozidly s pneumatikami nebo celogumovými koly vysokozdvižných vozíků
XM3	velmi silné namáhání obrusem	nosné vyztužené nebo nevyztužené průmyslové podlahy pojížděné vozidly ocelovými nebo umělohmotnými koly vysokozdvižných vozíků; plochy pojížděné pásovými vozidly vodní stavby vystavené intenzivnímu proudění vody např. vývařiště

Vyloučení alkalickokřemičité reakce

Dle zvláštních předpisů pro beton používaný pro pozemní komunikace je vnější prostředí, které na beton působí, rozděleno do následujících stupňů vlhkosti:

označení stupně	popis prostředí	příklady výskytu
XW1	suché	části betonových konstrukcí, které zůstávají při normálním ošetřování betonu krátce vlhké a po vyschnutí během používání trvale suché: konstrukce v prostředí X0
XW2	vlhké	části betonových konstrukcí, které jsou během užívání často nebo delší dobu vlhké, konstrukce v prostředí XC2-XC4, XF1, XF3
XW3	vlhké s přísunem alkálií z vnějších zdrojů	části betonových konstrukcí, které jsou mimo vlhké prostředí (XW2) ještě dodatečně vystaveny častějšímu nebo dlouhodobému přísunu alkálií z vnějších zdrojů; konstrukce v prostředí XD1-XD3, XS1-XS3, XF2, XF4

Poznámka: Tyto definice stupňů vlhkosti prostředí jsou platné bez ohledu na kombinaci s dalšími možnými vlivy prostředí na beton (např. karbonatace, mrazové cykly, fyzikální působení posypových solí na beton, chemické působení posypových solí na ocel v betonu, chemické agresivní prostředí na beton).

7.2.2 Klasifikace podle konzistence

Pro klasifikaci betonu dle konzistence platí následující tabulky:

Klasifikace podle sednutí kužele

stupeň	sednutí [mm]
S1	10 až 40
S2	50 až 90
S3	100 až 150
S4	160 až 210
S5	≥ 220

Zkušební postup: ČSN EN 12350-2
Zkoušení čerstvého betonu – Část 2: Zkouška sednutím

Klasifikace podle Vebe

stupeň	Vebe čas [s]
V0	31
V1	30 až 21
V2	20 až 11
V3	10 až 6
V4	5 až 3

Zkušební postup: ČSN EN 12350-3
Zkoušení čerstvého betonu – Část 3: Zkouška Vebe

Klasifikace podle zhutnitelnosti

stupeň	zhutnitelnost
C0	1,46
C1	1,45 až 1,26
C2	1,25 až 1,11
C3	1,10 až 1,04

Zkušební postup: ČSN EN 12350-4
Zkoušení čerstvého betonu – Část 4: Stupeň zhutnitelnosti

Klasifikace podle rozlití

stupeň	průměr rozlití [mm]
F1	≤ 340
F2	350 a 410
F3	420 až 480
F4	490 až 550
F5	560 až 620
F6	630 až 750
F7	760 až 850

Zkušební postup: ČSN EN 12350-5
Zkoušení čerstvého betonu – Část 5: Zkouška rozlitím

Poznámka: Pro klasifikaci a provádění zkoušek konzistence samozhutnitelných betonů lze použít specifické předpisy, například:

- Evropská směrnice pro samozhutnitelný beton - Specifikace, výroba a použití

- TP 187 Samozhutnitelný beton pro mostní objekty pozemních komunikací (Technické podmínky MD)

7.2.3 Pevnostní třídy betonu

Pokud se beton klasifikuje podle pevnosti v tlaku, platí následující tabulky. Pro klasifikaci se použije charakteristická pevnost v tlaku ($f_{ck,cyl}$), zjištěná na válcích o průměru 150 mm a výšce 300 mm ve stáří 28 dnů nebo charakteristická pevnost v tlaku ($f_{ck,cube}$) zjištěná na krychlích o hraně 150 mm ve stáří 28 dnů.

Třídy pevnosti v tlaku obyčejného a těžkého betonu podle ČSN EN 206-1

třída pevnosti v tlaku	Minimální charakteristická válcová pevnost $f_{ck,cyl}$ [N/mm^2]	Minimální charakteristická krychelná pevnost $f_{ck,cube}$ [N/mm^2]
C -/5		5
C -/7,5		7,5
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60
C 55/67 a)	55	67
C 60/75 a)	60	75
C 70/85 a)	70	85
C 80/95 a)	80	95
C 90/105 a)	90	105
C 100/115 a)	100	115

a) Vysokopevnostní beton

Třídy pevnosti v tlaku lehkého betonu podle ČSN EN 206-1

třída pevnosti v tlaku	Minimální charakteristická válcová pevnost $f_{ck,cyl}$ [N/mm^2]	Minimální charakteristická krychelná pevnost $f_{ck,cube}$ [N/mm^2]
LC 8/9	8	9
LC 12/13	12	13
LC 16/18	16	18
LC 20/22	20	22
LC 25/28	25	28
LC 30/33	30	33
LC 35/38	35	38
LC 40/44	40	44
LC 45/50	45	50
LC 50/55	50	55
LC 55/60	55	60
LC 60/66 a)	60	66
LC 70/77 a)	70	77
LC 80/88 a)	80	88

a) Vysokopevnostní beton

Srovnání tříd pevnosti obyčejného betonu podle platných a dříve používaných norem

ČSN 73 1201:1967 neplatná	ČSN 73 2001:1970 neplatná	ČSN 73 2400:1989 neplatná	ČSN EN 206-1 platná
0I	B 60 B 80	(B 3,5) B 5	C-/5
0	B 105	B 7,5	C -/7,5
I	B 135	B 10 B 12,5	C 8/10
II	B 170	(B 13,5) B 15	C 12/15
III	B 250	B 20 B 25	C 16/20 C 20/25
IV	B 330 B 400	(B 28) B 30 B 35	C 25/30 C 30/37
V	B 500	B 40 B 45	C 35/45
VI	B 600	B 50 B 55 B 60	C 40/50 C 45/55 C 50/60 C 55/67 C 60/75 C 70/85 C 80/95 C 90/105 C 100/115

7.2.4 Klasifikace dle maximální velikosti zrna kameniva

Pro specifikaci betonu dle velikosti zrna kameniva se použije jmenovitá hodnota nejhrubší použité frakce kameniva (D_{max}) v betonu.

7.2.5 Třídy objemové hmotnosti

Použije-li se lehký beton dle tříd jeho objemové hmotnosti, pak platí následující tabulka:

Třídy dle objemové hmotnosti lehkého betonu podle ČSN EN 206-1 [kg.m^{-3}]

D 1,0	D 1,2	D 1,4	D 1,6	D 1,8	D 2,0
≥ 800 ≤ 1000	≥ 1000 ≤ 1200	≥ 1200 ≤ 1400	≥ 1400 ≤ 1600	≥ 1600 ≤ 1800	≥ 1800 ≤ 2000
Objemová hmotnost lehkého betonu může být předepsána i jako konkrétní hodnota.					

7.3 POŽADAVKY NA SLOŽENÍ BETONU PODLE KLASIFIKACE PROSTŘEDÍ

7.3.1 Základní požadavky na složky betonu

Složky betonu nesmí obsahovat škodlivé látky v takovém množství, které by ohrozilo trvanlivost betonu, nebo bylo příčinou koroze výztuže, a musí být vhodné pro zamýšlené použití betonu.

I když je vhodnost složek pro beton obecně prokázána, neznamená to, že jsou vhodné pro jakýkoliv případ a pro každé složení betonu. Pro beton vyhovující EN 206-1 se musí použít pouze složky betonu s prokázanou vhodností pro specifikované použití.

Cement

Vhodnost cementu je obecně prokázána, pokud vyhoví požadavkům EN 197-1.

U konstrukcí z předpjatého betonu s přepínací výztuží chráněnou proti korozi jinak než betonem, vyhovují všechny cementy dle ČSN EN 197-1, které splňují požadavky na vyztužený beton dle ČSN EN 206-1.

U konstrukcí z předpjatého betonu s předpínací výztuží chráněnou proti korozi pouze betonem vyhovují s ohledem na případný stupeň vlivu prostředí následující cementy dle ČSN EN 197-1:

- CEM I a CEM II/A-S,
- ostatní cementy dle ČSN EN 197-1 s pevnostními třídami 42,5 R; 52,5 N a 52,5 R.

Použití pro jednotlivé stupně vlivu prostředí viz kapitola 7.3.3.

Kamenivo

Vhodnost kameniva je obecně prokázána, pokud hutné a těžké kamenivo vyhoví ČSN EN 12620.

Upřesňující požadavky na kamenivo do betonu pro dopravní a jiné významné stavby jsou uvedeny níže.

Pórovité kamenivo vyhoví, pokud odpovídá ČSN EN 13055-1.

Recyklované kamenivo vyhoví pokud:

- svými geometrickými, fyzikálními a chemickými vlastnostmi splňuje požadavky ČSN EN 12620,

- použitím recyklovaného kameniva (recyklátu) typu 1 do betonu se nesmí zvýšit celkový obsah reakce schopných alkálií v jednotce objemu betonu nad hranici, která je nebezpečná z hlediska reakce kameniva s alkáliemi. Tato hranice a výpočet je uveden např. v TP 137 MD.

Jako recyklované kamenivo do betonu vyhovujícího ČSN EN 206-1 lze použít pouze recyklát typu 1. Pro výrobu betonu odolného vůči vlivu prostředí XC1-XC4 pevnostních tříd v tlaku C 8/10 a nižších lze použít recyklát typu 2.

Přípustný obsah hmot v jednotlivých typech recyklátu

druh hmoty	obsah hmot v hmotnostních procentech v jednotlivých typech recyklátu	
	typ 1 drť nebo písek vyrobený drcením pouze betonu (betonová drť)	typ 2 drť nebo písek vyrobený drcením stavební sutě
beton a kamenivo podle ČSN EN 12620	≥ 90	≥ 70
slinutá keramika, nikoliv porézní cihelný střep; vápencový pískovec	≤ 10	≤ 30
ostatní minerální podíly *)	≤ 2	≤ 3
asfalt	≤ 1	≤ 1
ostatní příměsi **)	≤ 0,2	≤ 0,5

*) Ostatní minerální podíly jsou například: porézní cihelný střep, lehký beton, pórobeton, mezerovitý beton, štuk, malta, porézní struska nebo škvára, pemza

**) Ostatní příměsi jsou například: sklo, keramika, struska z neželezných kovů, štuková sádra, guma, plasty, kovy, dřevo, rostlinné zbytky, papír

Objemová hmotnost a nasákavost recyklovaného kameniva

objemová hmotnost a nasákavost	recyklát	
	typ 1	typ 2
minimální objemová hmotnost [kg/m^3]	2000	
povolená tolerance objemové hmotnosti [kg/m^3]	± 150	
maximální nasákavost po 10 minutách [%]	10	15

Kategorie a maximální obsah rozpustných chloridů v recyklovaném kamenivu

typ recyklátu	maximální obsah rozpustných chloridů, hmotnostní procenta	kategorie ACI
typ 1, typ 2	0,04	ACI 0,04

Recyklované kamenivo nelze použít pro výrobu betonu odolného vůči vlivu prostředí XF2, XF4, XD1-XD3, pro předpjaté betonové konstrukce, pro konstrukce s vysokými požadavky na vodotěsnost betonu, pro pohledové betony (plochy), pro výrobu betonu ve styku s pitnou vodou a potravinami.

Záměsová voda
Vhodnost záměsové vody i vody získané při recyklaci v betonárně je prokázána, pokud vyhoví ČSN EN 1008.
Doporučení pro používání recyklované vody[1)]:

- recyklovaná voda se smí použít pro výrobu nového betonu ve výrobně, kde vznikla
- recyklovaná voda se zásadně nepoužívá při výrobě provzdušněných betonů a vysokopevnostních betonů

- hmotnost pevných látek vnesených do betonu při použití recyklované vody musí být menší než 1 % z celkové hmotnosti kameniva v betonu
- obsah pevných látek v recyklované vodě se musí pravidelně kontrolovat

POZNÁMKA: Recyklovaná voda obsahuje jemné částice (cement, kamenivo) zpravidla velikosti pod 0,25 mm. Proto musí být její homogenita udržována pravidelným promícháváním. Není-li promíchávání zajištěno, je třeba pevné částice z recyklované vody oddělit například sedimentací ve vhodných nádržích.

[1)]recyklovaná voda je voda vznikající ve výrobně betonu, rozplavováním zbytků čerstvého betonu nebo cementových malt při vymývání bubnu míchačky, autodomíchávače nebo zbytků betonu z čerpadel betonu, kterou lze využít k výrobě betonu.

Přísady
Přísada (admixture): materiál, který upravuje vlastnosti čerstvého nebo ztvrdlého betonu, přidávaný během míchání betonu v malém množství v poměru ke hmotnosti cementu. Vhodnost přísad je obecně prokázána, pokud vyhoví ČSN EN 934-2.

Příměsi
Příměs (addition): práškovitý materiál, který se přidává do betonu za účelem zlepšení určitých vlastností nebo k docílení speciálních vlastností betonu včetně anorganických filerů a pigmentů:

- téměř inertní příměsi (druh I)
- pucolány nebo latentní hydraulické příměsi (druh II)

Vhodnost příměsi druhu I, je obecně prokázána pokud:

- filer jako kamenivo vyhoví ČSN EN 12620
- pigmenty vyhoví ČSN EN 12878

Pro příměsi druhu II je vhodnost obecně prokázána pokud:

- popílek vyhoví ČSN EN 450-1
- křemičitý úlet vyhoví ČSN EN 13263
- struska vyhoví ČSN EN 15 167

Pro ostatní příměsi, jakými jsou například kamenná moučka, jemně mletý vápenec případně další materiály, je vhodnost použití obecně prokázána, jsou-li v technické dokumentaci deklarovány jako vhodné pro použití do betonu a je-li na ně vydáno příslušné STO ve smyslu platného nařízení vlády. Pro použití takovýchto materiálů jako příměsí typu II musí být vhodnost navíc prokázána průkazní zkouškou.

Vlákna
Vhodnost vláken do betonu lze považovat za prokázanou pokud:

- vlákna ocelová vyhoví ČSN EN 14889-1
- vlákna syntetická vyhoví ČSN EN 14889-2

7.3.2 Požadavky na beton v závislosti na stupni vlivu prostředí

Požadavky na odolnost betonu vůči působení prostředí jsou dány buď mezními hodnotami pro složení betonu a stanovenými vlastnostmi betonu, nebo mohou být požadavky odvozeny z návrhu složení betonu s určitou vlastností. Požadavky musí vzít v úvahu předpokládanou provozní životnost betonové konstrukce. Pro betonové konstrukce se uvažuje minimální provozní životnost v délce:
- všeobecně 50 let,
- pro konstrukce dopravních staveb a jiné mimořádné konstrukce – 100 let.

Mezní hodnoty pro složení betonu použitého na území České republiky jsou uvedeny v následujících tabulkách a jsou normativní (minimální pevnostní třída je doporučená). Mezní hodnoty platí pro všechny druhy cementů dle ČSN EN 197-1 v souladu s kapitolou 7.3.3.

V případě, že beton splňuje požadavek na minimální obsah cementu (resp. cementu a příměsi typu II), maximální vodní součinitel, případně na minimální obsah vzduchu, nemusí být dodržena doporučená minimální pevnostní třída. Není-li zkouškami prokázáno jinak, musí beton pro daný stupeň vlivu prostředí splňovat alespoň požadavky na pevnostní třídu o jeden stupeň nižší než je doporučená.

Normové požadavky na vlastnosti a složení betonu dle ČSN EN 206-1 (předpokládaná životnost 50 let)

stupeň vlivu prostředí	max. w/c	minimální množství cementu [kg.m^{-3}]	min. třída pevnosti betonu[e)]	min. V_z [%]	maximální průsak vody při zkoušce dle ČSN EN 12390-8 [mm] [b)]	odolnost betonu vůči zmrazování a rozmrazování, při zkoušce dle ČSN 73 1326 - metoda/počet cyklů/odpad [g/m^2]	jiné požadavky
XO	-	-	C 12/15	-	-	-	-
XC1	0,65	260	C 16/20	-	-	-	-
XC2	0,60	280	C 16/20	-	-	-	-
XC3	0,55	280	C 20/25	-	-	-	-
XC4	0,50	300	C 25/30	-	50	-	-
XS1	0,50	300	C 30/37	-	-	-	-
XS2	0,45	320	C 35/45	-	-	-	-
XS3	0,45	340	C 35/45	-	-	-	-
XD1	0,55	300	C 25/30	-	-	-	-
XD2	0,55	300	C 25/30	-	50	-	-
XD3	0,45	320	C 30/37	-	20	-	-
XF1	0,55	300	C 25/30	-	50		kamenivo podle ČSN EN 12620 s dostatečnou mrazuvzdorností
XF2	0,55	300	C 25/30	4,0 [a)]	50	A/75/1250, C/50/1500	
XF3	0,50	320	C 25/30	4,0 [a)]	35	A/100/1250, C/75/1250	
XF4	0,45	340	C 30/37	4,0 [a)]	35	A/100/1000, C/75/1000	
XA1	0,55	300	C 25/30	-	50	-	-
XA2	0,50	320	C 25/30 [c)]	-	35	-	
XA3	0,45	360	C 30/37 [c)]	-	20	-	SVC dle ČSN 72 2103
XM1	0,55	300	C30/37 [i)]	-	-	-	-
XM2	0.55	300	C30/37 [i)]	-	-	-	speciální zpracování povrchu [f)]
	0.45	320	C 35/45 [i)]	-	-	-	
XM3	0,45	320	C 35/45 [i)]	-	-	-	úpravy povrchu odolnými materiály [g) h)]

w/c - vodní součinitel, V_z - objem vzduchových pórů

a) Beton nemusí být provzdušněn na předepsanou hodnotu (může být částečně provzdušněn, anebo vůbec), pokud jsou provedena příslušná opatření (např. příměs křemičitého úletu současně s vodním součinitelem nižším než 0,4) a vyhoví přitom kritériu odolnosti. Pokud beton bez provzdušnění nesplní při PZ kritéria odolnosti a vodonepropustnosti, je nutno beton provzdušnit (částečně provzdušnit).

b) Platí pro konstrukce objektů v přímém styku s vodou. Hodnoty platí, nepožaduje-li specifikátor jinak. Zkouší se dle ČSN EN 12390-8 při KZ i PZ dle přílohy A normy, nezkouší se u provzdušněného betonu, při PZ dle přílohy A normy musí být hodnoty průsaku o 20 % nižší.

c) Pevnosti v tlaku odpovídající C30/37 a C35/45 lze předepsat v případě použití SVC a směsných cementů až po 90 dnech tvrdnutí betonu.

d) Pokud se vyskytuje pouze vliv XD3 a vliv XF je vyloučen, lze použít minimální třídu betonu C25/30, pokud je beton provzdušněn dle požadavku pro XF2 až XF4.

e) Minimální pevnostní třída platí pro betony obyčejné a těžké. Pro betony lehké (LC) platí hodnota minimální válcové pevnosti, minimální krychelná pevnost je pak dána tabulkou 8 normy.

f) Například vakuováním nebo hlazením rotační hladičkou.

g) Například vsypy do betonu pro zušlechtění povrchu betonu a zvýšení jeho odolnosti proti obrusu.

h) Beton vrstev chránících vodohospodářské konstrukce proti účinkům obrušování a otloukání unášenými splaveninami nesmí obsahovat kamenivo drcené z uhličitanových hornin. Otlukovost kameniva stanovená podle ČSN EN 1097-2 nesmí překročit hodnotu 30. Viz čl. 8.9.1 ČSN P ENV 13670-1.

i) Při použití provzdušněného betonu je pevnostní třída o jeden stupeň nižší.

Normové požadavky na vlastnosti a složení betonu dle ČSN EN 206-1 pro dopravní a jiné významné stavby (předpokládaná životnost 100 let)

stupeň vlivu prostředí	max. w/c	minimální množství cementu [kg.m^{-3}]	doplňková specifikace min. pevnostní třídy betonu bez rozlišení životnosti konstrukce, pro konkrétní konstrukce je specifikována zvláštním předpisem**)	minimální V_z [%] při zkoušce dle ČSN EN 12350-7 [c] pro D_{max} v mm 8 16 22-32	maximální průsak vody při zkoušce dle ČSN EN 12390-8 [mm][e]
XO	-	-	C 12/15	-	-
XC1	0,65	260	C 20/25	-	-
XC2	0,60	280	C 25/30	-	-
XC3	0,55	280	C 25/30	-	50
XC4	0,50	300	C 30/37	-	50
XD1	0,55	300	C 25/30	-	50
XD2	0,50	300	C 25/30	-	50
XD3	0,45	320	C 30/37 [i]	-	20
XF1	0,55 [k]	300	C 25/30	4,0[f] 3,0[f] 2,5[f]	50
XF2	0,55	300 [d]	C 25/30	4,5[f] 3,5[f] 3,0[f]	50
XF3	0,50	320 [d]	C 25/30	5,0[a] 4,0[a] 3,5[a]	35
XF4	0,45	340 [d]	C 30/37	5,5[a] 4,5[a] 4,0[a]	35
XA1	0,55	300	C 25/30	-	50
XA2	0,50	320	C 25/30 [h]	5,5[b] 4,5[b] 4,0[b]	35
XA3	0,45	360	C 30/37 [h]	5,5[b] 4,5[b] 4,0[b]	20

stupeň vlivu prostředí	odolnost betonu vůči zmrazování a rozmrazování, při zkoušce dle ČSN 73 1326 metoda/počet cyklů/odpad [g/m^2] [g][m]	minimální obsah mikropórů A_{300} ve ztvrdlém betonu při zkoušce dle ČSN EN 480-11 [%] [o]	maximální součinitel rozložení vzduchových pórů (L) při zkoušce dle ČSN EN 480-11 [mm]
XF1	A/67/1250C/50/1250		
XF2	A/100/1250C/75/1250	1,0 [l]	0,24 [l]
XF3	A/100/1250C/75/1250	1,0 [l]	0,24 [l]
XF4	A/100/1000C/75/1000	1,8 [l] [n]	0,20 [l] [n]

			stupně prostředí														
			X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
kamenivo podle požadavků ČSN EN 12620 drobné kamenivo a směs kameniva	obsah jemných částic f [p]	těžené	f_3 [v) x)]					f_3 [v) x)]									
			f_3 deklarované [y) z)]														
		drcené	f_3 [v)]	f_3 [v)]				f_3							f_3 [v)]		
			f_{10} [x) aa)]	f_{10} [x) aa)]											f_{10} [x) aa)]		
			f_3 deklarované [y) z)]														
		směs	f_3 [n)]	f_3 [v)]				f_3							f_3 [v)]		
			f_{11} [x) aa)]	f_{11} [x) aa)]											f_{11} [x) aa)]		
			f_3 deklarované [y) z)]														
	odolnost vůči alkalicko-křemičité reakci [q)]		deklarace podle ČSN EN 206-1 čl. 5.2.3.4 [ab) ah)]														
	humusovitost [u)]		světlejší než etalon [ad)]														
	obsah lehkých znečišťujících látek [u)]		maximálně 0,25 % [v)]	maximálně 0,25 % [v)]				maximálně 0,25 % [v)]							maximálně 0,25 % [v)]		
			hodnoty se deklarují [x) p)]	hodnoty se deklarují [x)]											hodnoty se deklarují [x)]		

				stupně prostředí														
				X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
kamenivo podle požadavků ČSN EN 12620	hrubé kamenivo	souhrnné meze tolerance kameniva GT [aa]	D/d <4	GT 15														
			D/d ≥4	GT 17,5														
		tvarový index SI [af]		SI_{20} [v]	SI_{20} [v]					SI_{20}						SI_{20} [v]		
				SI_{40} [x]	SI_{40} [x]											SI_{40} [x]		
				SI_{55} [y]														
		obsah jemných částic f [ag]		$f_{1,5}$ [v] [x]	$f_{1,5}$													
				f_4 [y]														
				LA_{50} [x] [y]	LA_{40} [v]					LA_{35} [v]						LA_{40} [v]		
					LA_{50} [x]											LA_{50} [x]		
			D>11	LA_{35} [v]	LA_{35} [v]											LA_{35} [v]		
					LA_{50} [x]											LA_{50} [x]		
		součinitel Los Angeles LA-drcené [ah]	D≤11	LA_{30} [v]	LA_{30} [v]					LA_{30}						LA_{30} [v]		
				LA_{35} [x]	LA_{35} [x]											LA_{35} [x]		
				LA_{40} [y]														
			D>11	LA_{25} [v]	LA_{25} [v]					LA_{25} [v]						LA_{25} [v]		
				LA_{30} [x]	LA_{30} [x]											LA_{30} [x]		
				LA_{35} [y]														
		ohladitelnost PSV [ai]		hodnoty se deklarují [v] [aj] (mimo CB kryty)														
		nasákavost podle kapitoly 8 ČSN EN 1097-6 WA_{24} [ak]		≤1,5 % [v]	≤1,5 % [v]					≤1,5 % [v]						≤1,5 % [v]		

7

			stupně prostředí														
			X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
kamenivo podle požadavků ČSN EN 12620	hrubé kamenivo		≤1,5 % [a) x)]	≤1,5 % [a) x)]											≤1,5 % [a) x)]		
			≤2,5 % [a) y)]														
		odolnost proti zmrazování a rozmrazování F [am) an)]	F1 [v)]	F1 [v)]				F1							F1 [v)]		
			F2 [x)]	F2 [x)]											F2 [x)]		
			F4 [y)]														
		zkouška síranem hořečnatým MS [ao) an)]	MS_{18} [v)]	MS_{18} [v)]				MS_{18}							MS_{18} [v)]		
			MS_{25} [x)]	MS_{25} [x)]											MS_{25} [x)]		
			MS_{35}														
		odolnost vůči alkalicko-křemičité reakci [q)]	deklarace podle ČSN EN 206-1 čl. 5.2.3.4														
		obsah lehkých znečišťujících částic [u)]	maximálně 0,05 % [v)]	maximálně 0,05 % [v)]				maximálně 0,05 %							maximálně 0,05 % [v)]		
			hodnoty se deklarují [x) y)]	hodnoty se deklarují [x)]											hodnoty se deklarují [x)]		
	zrnitost		křivky zrnitosti podle ČSN EN 206-1, grafů L.1 až L.6														
	obsah chloridů [r)]		maximálně 0,02 % [ac)]														
	obsah síranové síry AS [s)]		$AS_{0,2}$ [v) x)]	$AS_{0,2}$													
			$AS_{0,8}$ [y)]														
	obsah veškeré síry [f)]			maximálně 1 %													
jiné požadavky			SVC [b) j)]														

7

Vysvětlivky a zpřesnění závazných požadavků na beton k tabulce:

Použité zkratky: ZDS – zadávací dokumentace stavby

*) Jedná se o tabulku NA.F.1 upravenou a doplněnou podle požadavků vyšší životnosti betonových konstrukcí a dalších odlišností u dopravních a jiných významných staveb. Požadavky na pevnostní třídu betonu jsou doplňkově specifikovány ve zvláštních předpisech, např. v předpisu**).

**) Kapitola 18 TKP Beton pro konstrukce (Ministerstvo dopravy - odbor pozemních komunikací, č.j. 474/05-120-RS/1, Praha, srpen 2005).

a) Beton nemusí být ve zvláštních případech stanovených v ZDS provzdušněn na předepsanou hodnotu (může být částečně provzdušněn a nebo vůbec), pokud jsou provedena příslušná opatření (např. příměs křemičitého úletu současně s vodním součinitelem nižším než 0,4) a vyhoví přitom kritériu odolnosti. Pokud beton bez provzdušnění nesplní při PZ kritéria odolnosti a vodonepropustnosti, je nutno beton provzdušnit (částečně provzdušnit).

b) Pokud množství SO_4^{2-} vyvolává stupeň vlivu prostředí XA2 a XA3, je nezbytné beton provzdušnit a použít SVC. Pokud se cement klasifikuje s ohledem na síranovzdornost, pak mírně nebo vysoce SVC se má použít pro stupeň agresivity XA2 (a případně i pro stupeň vlivu prostředí XA1), a vysoce SVC se má použít pro stupeň vlivu prostředí XA3.

c) Max. obsah vzduchu pro XF1, XF2, XF3, XF4 může být nejvýše o 3% vyšší než stanovené minimum. PZ odolnosti se u betonu pro XF1 při min. hodnotě předepsaného provzdušnění nebo při částečném provzdušnění provádí při minimální navržené hodnotě obsahu vzduchu.

d) Nepřipouští se použití popílku.

e) Zkouší se dle ČSN EN 12390-8 při KZ i PZ, nezkouší se u provzdušněného betonu, při PZ musí být hodnoty průsaku o 20 % nižší.

f) Beton nemusí být provzdušněn na předepsanou hodnotu (může být částečně provzdušněn a nebo vůbec), pokud je betonová konstrukce převážně v prostředí s přirozenou atmosférickou vlhkostí bez kapalných srážek a nebo s přirozenou atmosférickou vlhkostí v dosahu slané mlhy (chloridů rozptýlených pouze ve vzduchu, části hydroizolací chráněných mostních konstrukcí), a vyhoví přitom kritériu odolnosti. Pokud beton bez provzdušnění nesplní při PZ kritéria odolnosti a vodonepropustnosti, je nutno beton provzdušnit (částečně provzdušnit).

g) Zkouší se dle ustanovení příslušné kapitoly zvláštních předpisů **) na vývrtech průměru 150 mm z konstrukce (dílce) nebo na tělesech (KZ) – metodika, kritéria a počet cyklů pro KZ i PZ jsou uvedeny ve zvláštních předpisech **).

h) Pevnosti v tlaku odpovídající C30/37 a C35/45 lze předepsat v případě použití síranovzdorných a směsných cementů až po 90 dnech tvrdnutí betonu.

i) Pokud se vyskytuje pouze vliv XD3 a vliv XF je vyloučen, lze použít minimální třídu betonu C25/30, pokud je beton provzdušněn dle požadavku c).

j) V případě uhličité agresivity (více než 15 mg/litr podzemní vody CO_2 agresivního) se použije směsných cementů vyhovujících tabulce F.4.

k) Pro nosné konstrukce mostů se připouští vodní součinitel max. 0,5.

[l)] Při PZ musí být uvedené hodnoty součinitele prostorového rozložení vzduchových pórů (dříve spacing factor, nyní L) dosaženy o 20 % nižší a A_{300} o 20 % vyšší než je uvedeno v tabulce 18-3 zvláštního předpisu **). A_{300} a L musí být při průkazní zkoušce prokázán, pokud je pro provzdušněný beton použito kombinace provzdušňovací přísady a superplastifikátorů a/nebo plastifikátorů a/nebo zpomalovačů a není provedena vyhovující průkazní zkouška vlivu kombinace přísad na charakteristiku vzduchových pórů.

[m)] Podrobně jsou požadavky pro zkoušení a parametry pro posouzení shody uvedeny ve zvláštním předpisu **)

[n)] L a A_{300} se u vlivu prostředí XF4 při průkazních zkouškách provzdušněných betonů ověřuje vždy.

[o)] Minimální obsah pojiva a A_{300} v tabulce platí pro největší zrno kameniva 22 mm. Při největším zrnu 32 mm mohou být hodnoty sníženy o 5 %, a naopak musí být zvýšeny o 5 % při největším zrnu 16 mm, o 10 % při největším zrnu 11 mm, o 15 % při největším zrnu 8 mm a o 25 % při největším zrnu 4 mm. Nejmenší obsah pojiva se zaokrouhluje na 5 kg. Pro betonáž pod vodou je nejmenší množství pojiva 375 kg/m^3.

[p)] Čl. 4.3.6, tabulka 11 ČSN EN 12620

[q)] Čl. 5.7.3, ČSN EN 12620

[r)] Čl. 6.2, ČSN EN 12620

[s)] Čl. 6.3.1, ČSN EN 12620

[t)] Čl. 6.3.2, ČSN EN 12620

[u)] Čl. 6.4.1, ČSN EN 12620

[v)] Použití pro betony s vysokými nároky na vlastnosti, vysokopevnostní beton, předpjatý beton, CB kryty, beton vystavený vyšším nárokům vlivu prostředí (XD, XF, XA), beton odolný proti abrazivním účinkům vody a splavenin.

[x)] Použití pro betony s běžnými nároky na vlastnosti konstrukčních betonů, beton třídy C16/20 až C45/55, beton vystavený menším nárokům vlivu prostředí (X0 a XC).

[y)] Použití pro betony s minimálními nároky na vlastnosti betonu, beton třídy C12/15 a nižší, beton vystavený vlivu prostředí X0.

[z)] V případě většího obsahu jemných částic než 3 % se posoudí jejich nevhodnost dle přílohy D ČSN EN 12620.

[aa)] Jakost jemných částic (podle 4.7 ČSN EN 12620) se určuje dle přílohy D ČSN EN 12620, s vyloučením postupu d).

[ab)] Pro betony v suchém prostředí se vlastnost nepožaduje v případech označených poznámkou „x)“ a „y)“.

[ac)] Pro použití pro nevyztužené betony se připouští 0,1 %.

[ad)] V případě, že zbarvení není světlejší než etalon, a v případě podezření na přítomnost cukrů, musí se kamenivo vyzkoušet na maltových zkušebních tělesech podle čl. 15.3 ČSN EN 1744-1. Začátek tuhnutí a pevnost v tlaku musí vyhovovat požadavkům uvedeným v čl. 6.4.1 ČSN EN 12620.

[ae)] Čl. 4.3.2, tabulka 3 ČSN EN 12620

[af)] Čl. 4.4, tabulka 9 ČSN EN 12620

[ag)] Čl. 4.6, tabulka 11 ČSN EN 12620

[ah)] Čl. 5.2,tabulka 12 ČSN EN 12620

[ai)] Čl. 5.4.1, tabulka 15 ČSN EN 12620

[aj] Deklaruje se pro určené použití pro CB kryty.

[ak] Čl. 5.5 ČSN EN 12620

[al] V případě vyšší hodnoty nasákavosti je rozhodující odolnost proti zmrazování a rozmrazování.

[am] Čl. 5.7.1, tabulka 18 ČSN EN 12620

[an] Pokud je požadována mrazuvzdornost, může být prokázána jedním z obou způsobů.

[ao] Čl. 5.7.1, tabulka 19 ČSN EN 12620

[ap] Pro betony v suchém prostředí se vlastnost nepožaduje v případech označených poznámkou „[p]“.

[aq] Další ustanovení ohledně alkalicko-křemičité reakce mohou být uvedena v jiných dokumentech, např. resortních předpisech (TKP apod.).

7.3.3 Použitelnost cementů pro stupně vlivu prostředí

V následující tabulce je uvedeno jaké cementy dle normy ČSN EN 197-1 je možno použít do betonů pro jednotlivé stupně vlivu prostředí.

Legenda:

x	použitelný pro daný stupeň vlivu prostředí
x [a)b)c)d)]	použitelný při splnění uvedených podmínek
-	použití pro daný stupeň vlivu prostředí je vyloučeno

Podmínky:

[a] Při chemické síranové agresivitě se stupněm vlivu prostředí vyšším než XA1 se musí použít SVC cement podle ČSN 72 2103.

[b] Pokud se jedná o stupeň XA2 až XA3 vyvolaný CO_2 agresivním, nepoužijí se portlandské směsné cementy CEM II, které obsahují vápenec jako hlavní složku.

[c] Odolnost vůči působení vlivu prostředí musí být ověřena průkazní zkouškou.

[d] Přípustné jen v případě, že obsah příměsí nepřesáhne 40 kg/m^3.

Použitelnost cementů pro stupně vlivu prostředí

cementy dle ČSN EN 197-1	stupně vlivu prostředí																	
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2	XM3
CEM I	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x[a)b)]	x[a)b)]	x	x	x
CEM II/A,B-S	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x[a)b)]	x[a)b)]	x	x	x
CEM II/A-D	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x[a)b)]	x[a)b)]	x	x	x
CEM II/A,B-P,Q	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	-	x	x[a)b)]	x[a)b)]	x	x	x
CEM II/A-V	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x[a)b)]	x[a)b)]	x	x	x
CEM II/B-V	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x[c)]	x[c)]	x[c)]	x	x[a)b)]	x[a)b)]	x	x	x
CEM II/A-W	x	x	x	x	x	x	x	x	x[c)]	x[c)]	x[c)]	x[c)]	x	x[a)b)]	x[a)b)]	-	-	-
CEM II/B-W	x	x	x	x	x	x	x	x	x[c)]	x[c)]	x[c)]	x[c)]	x	x[a)b)]	x[a)b)]	-	-	-
CEM II/A,B-T	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x[a)b)]	x[a)b)]	x	x	x
CEM II/A-L	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x[c)]	x[c)]	x[c)]	-	-	-	x	x	x
CEM II/B-L	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CEM II/A-LL	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x[a)b)]	x[a)b)]	x	x	x
CEM II/B-LL	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CEM II/A-M	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x[c)]	x[c)]	x[c)]	x	x[a)b)]	x[a)b)]	x	x	x
CEM II/B-M	x	x	x	x	x[c)]	x[c)]	x[c)]	x[c)]	x[c)]	x[c)]	x[c)]	x[c)]	-	-	-	x	x[d)]	x[c)]
CEM III/A	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x[a)b)]	x[a)b)]	x	x	x
CEM III/B	x	x	x	x	x	x	x	x	x[c)]	x[c)]	x[c)]	x[c)]	x	x[a)b)]	x[a)b)]	x	x	x
CEM III/C	x	x	x	-	-	x	x	-	-	-	-	-	x	x[a)b)]	x[a)b)]	-	-	-
CEM IV/A,B	x	x	x	x[c)]	x[c)]	x[c)]	x[c)]	-	x[c)]	x[c)]	-	-	-	-	-	-	-	-
CEM V/A,B	x	x	x	x[c)]	x[c)]	x[c)]	x[c)]	-	x[c)]	x[c)]	-	-	-	-	-	-	-	-

7

7.3.4 Požadavky na obsah moučky

Doporučené hodnoty obsahu moučky (zrn cementu, příměsí a kameniva do 0,125 mm) jsou uvedeny v následující tabulce.

Při nižším obsahu se zvyšuje nebezpečí odlučování vody, při vyšším obsahu se zvyšují spolu s obsahem vody objemové změny betonu (smrštění) a zvyšuje se nebezpečí vzniku trhlin.

Doporučené hodnoty obsahu moučky

horní mez kameniva D_{max} [mm]	obsah moučky [kg.m^{-3}]		
	dolní mez	střední hodnota	horní mez [a]
		dolní mez pro čerpatelné, pohledové a tekuté betony	směrná hodnota pro pohledové betony (přípustné překročení 40 kg.m^{-3})
8	425	450	475
11	325	350	375
16	350	375	400
22	325	350	375
32	300	325	350

a) Neplatí pro samozhutnitelné a pohledové betony, betony pro vrtané piloty a podzemní stěny a pro betonování pod vodou.

7.3.5 Požadavky na maximální obsah chloridů

Nejvyšší povolený obsah chloridů v betonu

beton	obsah chloridu kategorie [a]	maximální obsah Cl^- k hmotnosti cementu [b]
bez ocelové výztuže nebo jiných kovových vložek, s výjimkou korozivzdorných závěsných háků	Cl 1,0	1,0 %
s ocelovou výztuží nebo jinými kovovými vložkami	Cl 0,4	0,40 %
s předpjatou ocelovou výztuží	Cl 0,2	0,20 %

[a] Pro specifické použití betonu závisí použitá kategorie na ustanoveních platných v místě použití betonu.
[b] Pokud se používají příměsi druhu II, které se berou v úvahu pro obsah cementu, pak obsah chloridů se vyjadřuje jako procentní podíl chloridových iontů k hmotnosti cementu a celkové hmotnosti příměsí, které se berou v úvahu.

Chlorid vápenatý a přísady na bázi chloridů se nesmějí použít do betonu s ocelovou výztuží, s předpjatou ocelovou výztuží a s jinými kovovými vložkami.

Požadavky stanovené v tabulce se prokazují výpočtem.

- Výpočet je založený na maximálním obsahu chloridů ve složce, který je přípustný normami pro složky betonu nebo je deklarovaný výrobcem každé složky betonu.
- Výpočet založený na obsahu chloridů ve složkách betonu, sta-

novený měsíčně jako průměrná hodnota z nejméně 25 stanovení obsahu chloridů plus 1,64násobek vypočtené směrodatné odchylky pro každou složku betonu.

7.3.6 Požadavky na odolnost proti alkalickokřemičité reakci

Pokud kamenivo obsahuje formy SiO_2 reagujícího na působení alkálií (Na_2O a K_2O z cementu nebo jiného původu) a jestliže je beton vystaven vlhkému prostředí, musí se preventivně prokázat jeho vhodnost, aby se zabránilo škodlivým účinkům alkalicko křemičité reakce.

Reaktivnost neuhličitanového kameniva do betonu s alkáliemi se zkouší podle ČSN 72 1179 a výsledky zkoušky pro preventivní průkaz vhodnosti se posuzují takto:

Chemická zkouška:

- když D>70, je možné předpokládat, že kamenivo by mohlo být reaktivní, pokud S>D;
- když D<70, je možné předpokládat, že kamenivo by mohlo být reaktivní, pokud S>35+D/2,

kde D je úbytek zásaditosti v milimolech na 1 litr původního filtrátu a
S je molární koncentrace SiO_2 v milimolech na 1 litr původního filtrátu.

Maltová zkouška:

Je možné předpokládat, že kamenivo by mohlo být reaktivní, pokud rozpínání zkušebních trámečků je větší než:

- 0,05 % po 3 měsících uložení podle ČSN 72 1179;
- 0,10 % po 6 měsících stejného uložení.

Rozpínání větší než 0,05 % po 3 měsících uložení se neuvažuje, když rozpínání po 6 měsících je menší než 0,10 %. Výsledky zjištěné po 3 měsících jsou rozhodující jen tehdy, když nejsou k dispozici výsledky rozpínání trámečků po 6 měsících uložení.
Reaktivnost uhličitanového kameniva do betonu s alkáliemi se zkouší podle ČSN 72 1160.

Podmínky pro stavby pozemních komunikací

Pro stavby pozemních komunikací jsou podrobněji specifikovány požadavky na vyloučení alkalické reakce kameniva kameniva v betonu v předpisu ministerstva dopravy TP 137.

Požadavky na cement

Cement portlandský CEM I pro beton v prostředí XW1, XW2 a XW3 nesmí obsahovat větší množství alkálií než je definováno.

Ekvivalent alkálií Na_2O_{eq} je : $Na_2O + 0{,}658\ K_2O$.
Jestliže bude do betonu použito kamenivo (hrubé nebo drobné) z geologických jednotek a/nebo horninových komplexů známých výskytem reaktivních hornin (maximálně nebo středně rizikových) a bude s nimi petrograficky příbuzné, i když průkazní zkoušky kameniva na odebraném vzorku horniny prokáží horninu s minimální rizikovostí, platí podmínka na max. obsah alkálií v CEM I 0,6% Na_2O_{eq} a max. obsah 2,5 kg Na_2O_{eq} (aktivních alkálií) na jeden m^3 betonu.

Požadavky na kamenivo

Kamenivo pro beton v prostředí XW1, XW2, XW3, těžené i drcené, nesmí reagovat s alkáliemi obsaženými ve složkách (v cementu, přísadách, příměsích) a v okolním prostředí. Použitelnost kameniva s ohledem na prostředí je uvedena v následující tabulce.

Vhodnost použití přírodního kameniva do betonu podle stupně vlhkosti prostředí

rizikovost kameniva		minimální	střední	maximální
vhodnost do prostředí	suchého - XW1	ano	ano	ano
	vlhkého - XW2	ano [3)]	ano [1)]	ano [2)]
	vlhkého - XW3	ano [1)]	ano [2)]	ne

Vysvětlivky:
Ano - kamenivo lze použít do betonu
Ne - kamenivo nelze použít do betonu

[1] Podmínka vhodnosti do betonu: obsah alkálií v cementu maximálně 0,8 % hmotnosti, avšak max. 3,5 kg Na_2O_{eq} (aktivních alkálií) na jeden m^3 betonu.

[2] Podmínka vhodnosti do betonu: obsah alkálií v cementu maximálně 0,6 % hmotnosti, avšak max. 2,5 kg Na_2O_{eq} (aktivních alkálií) na jeden m^3 betonu.

[3] Obsah alkálií v cementu u kameniva s minimální rizikovostí použitého do prostředí XW2 nebo XW3 je maximálně 1 % hmotnosti, avšak max. 4,5 kg Na_2O_{eq} (aktivních alkálií) na jeden m^3 betonu.

Klasifikace kameniva do betonu z hlediska rizika reakce s alkáliemi

zkušební metoda	jednotky	rizikovost přírodního kameniva (zkouškou zjištěné hodnoty)		
		min.	střední	max.
dilatometrická dle ASTM C-1260-94[1]	% délky	≤0,100	> 0,100-0,200	>0,200
dilatometrická dle ČSN 721179 [2]	% délky	≤0,070	> 0,070-0,100	>0,100
chemická dle ČSN 72 1179 podíl rozpuštěného SiO_2	mmol/l	≤0,50	-	>0,50
chemická dle ČSN 72 1179 [3] úbytek zásaditosti	mmol/l	-	-	-
dilatometrická dle ČSN 72 1160 [4] (uhličitanové kamenivo)	% délky	≤0,50	-	>0,50 [4]

Vysvětlivky:
[1] Při výrazném překročení parametru dle ASTM nad 0,300 % délky je výsledek bez ohledu na výsledky ostatních metod „Rizikovost maximální“.

[2] Dilatometrická trámečková zkouška podle ČSN 72 1179 s použitím portlandského cementu CEM I 42,5 s dodatkem doplnění alkálií v záměsové vodě na 1,25 % Na_2O_{eq}. V případě intenzivního vzestupného průběhu křivky rozpínání tělesa (bez tendence k poklesu) z rizikových materiálů při zkoušce dle ČSN 72 1179 provést zkoušku v trvání jednoho roku s kritériem 0,200 % délky. Při překročení této hodnoty je výsledné hodnocení bez ohledu na výsledky ostatních metod „Rizikovost maximální".

[3] Bez stanovení parametru.

[4] Při rozpuštění nebo rozpadu mikrotrámečku při dilatometrické zkoušce uhličitanového kameniva podle ČSN 72 1160 je výsledek považován rovněž za nevyhovující.

Orientační rozdělení některých hornin dle rizikovosti vzniku AKR

rizikovost hornin	skupina hornin		petrografický druh
minimální	magmatické		žula, granodiorit, gabro, čedič, melafyr, diabas, spilit, znělec
	sedimentární	zpevněné	vápence bez přítomnosti rohovců
		nezpevněné	písek, štěrkopísek (dle oblasti výskytu)
	metamorfované		granulit, amfibolit, hadec, krystalický vápenec (dolomit)
střední	magmatické		ryolit, porfyr, porfyrit, melafyr s mandlovci
	sedimentární	zpevněné	droba, slepencové droby
		nezpevněné	písek, štěrkopísek (dle oblasti výskytu)
	metamorfované		pararula, ortorula, rohovec, metadroba, metamorfované prachovce, prachovcové břidlice
maximální	magmatické		ryolit, porfyr, porfyrit, vulkanické sklo, sopečný tuf
	sedimentární	zpevněné	droba, vápenec s rohovcem
		nezpevněné	písek, štěrkopísek (dle oblasti výskytu)
	metamorfované		rohovec, metadroba, křemenec, buližník

Požadavky na složení betonu

a) Beton v prostředí se stupněm vlhkosti XW3 podle tab. č. 1 může při návrhu obsahovat max. 3,5 kg Na_2O_{eq} (aktivních alkálií) na jeden m^3 betonu při použití minimálně rizikového kameniva, max. 2,5 kg Na_2O_{eq} na 1 m^3 při použití středně rizikového kameniva.

b) Beton v prostředí se stupněm vlhkosti XW2 může při návrhu obsahovat max. 3,5 kg Na_2O_{eq} (aktivních alkálií) na jeden m^3 betonu při použití středně rizikového kameniva, a max. 4,5 kg Na_2O_{eq} (aktivních alkálii) na jeden m^3 betonu při použití minimálně rizikového kameniva.

c) Obsah aktivních alkálií v betonu se stanoví součtem obsahů alkálií z receptury při návrhu betonu podle obsahů alkálií v jednotlivých složkách betonu takto:

ca) Pro stanovení alkálií v cementu se bere 100 % obsahu alkálií ve slínku a sádrovci, 50 % obsahu alkálií ve strusce a plnivech, 17 % obsahu alkálií v popílku a pucolánech (pokud nejsou známy obsahy aktivních alkálií ve složkách cementu, bere se vždy 100 % alkálií stanovených ve výrobku - expedovaném cementu),

cb) obsah alkálií ve vodě a přísadách se započte jako 100 %,

cc) obsah alkálií v kamenivu se v ČR u přírodního kameniva nezjišťuje ani nezapočítává.

Tento parametr (skutečný obsah aktivních alkálií v betonu) musí být vždy uveden ve zprávě o průkazních zkouškách betonu.

d) Pokud není možno pro stavbu dopředu určit a zajistit max. obsah alkálií v cementu a tím ani v betonu dle bodů a), b), je nutno ve fázi průkazní zkoušky betonu prokázat, že hodnota obsahu alkálií v betonu vyhoví jednomu ze vztahů:

$$T_m < \frac{3,5}{1 + 2V_c} \ [kg/m^3], \ T_{max} < 3,5\ ^{*)} \ [kg/m^3]$$

Kde:
T_m je obsah všech alkálií vnesených do betonu jeho složkami (viz bod.c).

T_{max} je maximální obsah všech alkálií vnesených do betonu jeho složkami (pro obsah alkálií v cementu se použije max. hodnota ze statistického souboru).

V_c je variační koeficient souboru nejméně 8 po sobě jdoucích hodnot obsahu alkálií v použitém a pro stavbu navrhovaném cementu, kde jedna hodnota reprezentuje výrobu za období 3 týdnů nebo delší, použije se soubor ze statistického přehledu, reprezentujícího období před zahájením průkazních zkoušek - PZ (zahájení PZ = datum doručení zadání PZ do laboratoře). Pokud v období 3 nebo více týdnů bylo provedeno více stanovení obsahu alkálií, vybere se hodnota nejvyšší.

*) je limit obsahu Na_2O_{eq} na 1 m^3, podle a),b) (2,5 nebo 3,5 nebo 4,5 kg/ m^3)

Tato podmínka d) se musí ve formě číslovaného dodatku ke zprávě o průkazních zkouškách kontrolovat podle aktuálních již předem nezprůměrovaných hodnot obsahu alkálií v používaném cementu. Dodatek s vyhodnocením vypracovává autor průkazní zkoušky min. 1 x ročně nebo dle smlouvy častěji a zasílá jej objednateli PZ a příslušné správě nebo závodu ŘSD ČR, případně předkládá AO pro beton při dohledech. PZ i jejich dodatky musí obsahovat údaje o použitých hodnotách obsahu alkálií (datum analýzy, jaké období hodnota reprezentuje, metoda měření atd.) a jejich identifikaci u výrobce cementu.

7.3.7 Požadavky pro betonování pod vodou

Pro beton určený k betonáži pod vodou se navíc požaduje:

- stupně konzistence F3, S3 a všechny vyšší (tekutější) konzistence;
- obsah cementu nebo součet obsahu cementu a popílku při D_{max} = 22 mm alespoň 360 kg/m^3;
- vodní součinitel nejvýše 0,60, v případě použití popílku se popílek započítává k-hodnotou 0,70.

7.3.8 Požadavky na cementovou maltu (jemnozrnný beton s D_{max} 4 mm) pro zmonolitnění prefabrikátů

- minimální pevnostní třída cementu musí být alespoň 32,5
- minimální dávka cementu musí být alespoň 400 kg/m^3 betonu

7.3.9 Požadavky při dodávce betonu

Teplota čerstvého betonu
Teplota čerstvého betonu v době dodávání nesmí být menší než + 5 °C. Pokud se požaduje jiná minimální teplota betonu nebo se požaduje maximální teplota, pak musí být uvedena s dovolenými odchylkami. Jakýkoliv požadavek na umělé ochlazování nebo oteplování betonu před jeho dodáváním musí být odsouhlasen předem mezi výrobcem a odběratelem.

Podrobnější údaje o teplotě betonu při dodání viz kapitola 9.

Konzistence při dodání
Čerstvý beton se dodává v konzistencích dle čl.7.2.2 a to buď deklarovaným stupněm konzistence, nebo určenou hodnotou.
V případě určené hodnoty konzistence platí pro tyto hodnoty následující tolerance:

Tolerance pro určené hodnoty konzistence

sednutí			
určená hodnota [mm]	≤ 40	50 až 90	≥ 100
tolerance [mm]	± 10	± 20	± 30
Vebe čas			
určená hodnota [s]	≥ 11	10 až 6	≤ 5
tolerance [s]	± 3	± 2	± 1
stupeň zhutnitelnosti			
určená hodnota	≥ 1,26	1,25 až 1,11	≤ 1,10
tolerance	± 0,10	± 0,08	± 0,05
průměr rozlití			
určená hodnota [mm]	všechny hodnoty		
tolerance [mm]	± 30		

S ohledem na ztrátu citlivosti zkušebních metod mimo určité hodnoty konzistence, se doporučuje používat uvedené zkušební metody při hodnotách:

- sednutí ≥ 10 mm a ≤ 210 mm
- Vebe čas ≥ 5 s a ≤ 30 s
- index zhutnění ≥ 1,04 a < 1,46
- rozlití > 340 mm a ≤ 620 mm

Konzistence samozhutnitelných betonů je označována stupněm F6 nebo F7, anebo určenou hodnotou a zkouší se postupy dle zvláštních předpisů, například:

- Evropská směrnice pro samozhutnitelný beton - Specifikace, výroba a použití,
- TP 187 Samozhutnitelný beton pro mostní objekty pozemních komunikací (Technické podmínky MD).

Pokud je specifikována konzistence betonu, musí se zkoušky provádět v době ukládání betonu nebo, v případě transportbetonu, v době dodání.

Pokud je beton dodáván v automíchači nebo v autodomíchávači, může být konzistence měřena na jednotlivém vzorku odebraném na začátku vyprazdňování. Vzorek se musí odebrat podle EN 12350-1 po vyprázdnění asi 0,3 m^3 betonu.

Podmínky úpravy konzistence při dodání:

Obecně je jakékoliv přidávání vody nebo přísad při dodání zakázáno.

Ve zvláštních případech, pokud je to na zodpovědnosti výrobce, je možné přidat vodu nebo přísady za účelem úpravy konzistence na požadovanou hodnotu, a to za předpokladu, že nejsou překročeny mezní hodnoty uvedené ve specifikaci a přidání přísady je obsaženo v návrhu složení betonu. V každém případě musí být jakékoliv množství vody nebo přísady přidané do automíchače zaznamenáno na dodacím listě.

Voda nesmí být přidávána v případě, že nejsou předem ověřeny vlastnosti betonu s vyšší dávkou vody průkazními nebo kontrolními zkouškami.

V případě dávkování přísad do čerstvých betonů na staveništi se do dodacího listu ručně uvedou následující údaje:
- doba přidání,
- přidaný druh a množství přísady,
- před přidáním přísady do částečně vyprázdněného míchacího bubnu i odhad objemu zbývajícího čerstvého betonu.

V případě přidání přísady do autodomíchávače na stavbě nesmí být doba znovu zamíchání po hlavním míchání kratší než 1 min/m^3 a ne kratší než 5 minut po přidání přísady.

7.4 NÁVRH SLOŽENÍ BETONU

Navrhnout technicky vyhovující a hospodárné složení (recepturu) betonu podle zadaných parametrů je složitý úkol a vyžaduje určité zkušenosti v technologii betonu. V praxi se používá mnoho různých metod pro výpočet složení betonu. Tato kapitola uvádí přehled základních kroků při zpracování návrhu složení betonu a následující kapitola uvádí příklad jednoduššího postupu s využitím tabelovaných hodnot uváděných v SRN.

Ekonomickým kritériem složení betonu je **minimální spotřeba cementu.**

Stupeň vlivu prostředí definuje hodnoty pro max. vodní součinitel, min. množství cementu a stupeň provzdušnění (kap. 7.3.2).

Třída pevnosti betonu $f_{c,cube}$ (kap. 7.2.3)

Se statickým výpočtem souvisí i určení vzdálenosti mezi pruty výztuže a její krytí, podle toho se stanovuje max. zrno kameniva.

Největší zrno kameniva D_{max} se volí podle betonové konstrukce se snahou použít co největšího zrna.

- menší než 1/4 nejmenšího rozměru konstrukce
- menší o 5 mm než nejmenší vzdálenost mezi pruty výztuže

■ menší než 1,3násobek krycí vrstvy výztuže
Vodní součinitel w, t.j. poměr účinného obsahu vody k hmotnosti cementu v čerstvém betonu. V případě dávky kapalné přísady větší jako 3 litry, připočítává se tato kapalina k množství vody ve směsi a tím se zvyšuje vodní součinitel.

Používaný vodní součinitel pro:

■ železobeton v mezích $w_{max} \geq 0,45$ až 0,65
■ pro prostý beton $w_{max} \leq 0,70$
■ předpjatý beton $w_{max} \leq 0,60$
■ vodotěsný beton $w_{max} \leq 0,55$
■ silniční beton $w_{max} = 0,45$ až 0,50

ČSN EN 206-1 určuje maximální přípustný vodní součinitel (w_{max}) k požadovanému stupni vlivu prostředí působícímu na beton. Minimální množství cementu je definováno třídou vlivu prostředí a maximální množství pak hospodárností složení.

Množství cementu se posuzuje v objemu cementového tmele, který musí být vždy vyšší než mezerovitost kameniva. Přebytek cementového tmele υ je koeficient, kterým násobíme mezerovitost kameniva pro stanovení objemu cementového tmele. Jeho hodnota je minimální $\upsilon = 1,05$ a maximální $\upsilon = 1,3$ až výjimečně 1,4.

Limituje se **maximální obsah jemných podílů tuhých částic** do velikosti 0,25 mm pro D_{max}=16 mm do 530 kg.m^{-3}, D_{max} = 32 mm do 460 kg.m^{-3} a pro 63 mm do 430 kg.m^{-3}.
V tomto limitu je zahrnut cement, příměsi a jemné podíly kameniva.

Množství vzduchových pórů V_z v betonu se udává v % objemu. Čerstvý beton bez provzdušňovacích přísad lze prakticky zhutnit až do minimální hodnoty asi 2 %. Min. obsah vzduchu v čerstvém betonu je definován podle stupně vlivu prostředí v rozsahu (4-6) % viz tabulka v kapitole 7.3.2.
Složení betonu většinou zkusmo upravujeme pro potřebnou konzistenci čerstvého betonu a dosažení potřebných 28 denní pevností.

Zpracovatelnost zlepšíme (zvýšíme sednutí kužele nebo rozlití):

■ zvýšením vodního součinitele
■ použitím plastifikátorů a superplastifikátorů
■ částečně zvýšením množství cementu a příměsi
■ kamenivem s větší mezerovitostí a menším měrným povrchem (snížíme podíl frakce 0/4 mm)

Výslednou **pevnost betonu** zvýšíme:

■ snížením vodního součinitele
■ cementem vyšší pevnostní třídy
■ vyšším množstvím cementu, ale pouze po určitou hranici
■ kamenivem s menší mezerovitostí
■ snížením podílu vzduchových pórů v betonu

Schéma návrhu složení betonu

fáze	zadání	stanovení
1. definování požadavků	■ třída vlivu prostředí ■ typ betonové konstrukce ■ technologie zpracování betonu ■ ostatní požadavky	min. m_C, max w, min. V_Z, min. $f_{c,cube}D_{max}$, konzistence, doba tuhnutí,nárůst pevnosti, obj. hm., max. průsak tl.vodou
2. volba složek betonu	kamenivo cement přísady a příměsi	druh, zrnitost druh, pevnostní třída druh a dávka m_P
3. výpočet návrhu složení		
4. experimentální ověření návrhu	■ stanovení konzistence čerstvého betonu ■ úprava složení na požadovanou konzistenci ■ zhotovení zkušebních krychlí ■ úprava složení na potřebnou pevnost při zachování konzistence ■ určení definitivního složení betonu	

Schéma návrhu složení betonu

Základním vztahem pro výpočet složení betonu je rovnice absolutních objemů:

$$\frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_V}{\rho_V} + \frac{m_k}{\rho_k} + \frac{m_p}{\rho_p} = 1 - \frac{V_Z}{100}$$

m_c, m_v, m_k, m_p množství cementu, vody, kamenina a příměsí [kg.m^{-3}]

$\rho_c, \rho_v, \rho_k, \rho_p$ objemové hmotnosti cementu, vody, kameniva a příměsi [kg.m^{-3}]

V_Z objem vzduchu v betonu v % objemu

Pro technické předběžné výpočty používáme obj. hmotnosti složek:

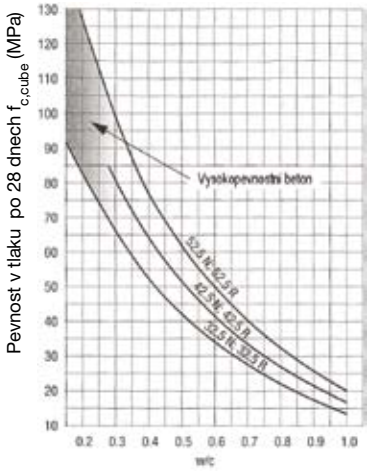
- cementu CEM I ρ_C = 3100 kg.m^{-3}
- CEM II ρ_c = 3050 kg.m^{-3}
- příměsi ρ_c = 2100 kg.m^{-3} (ρ_p je proměnlivé podle druhu a původu příměsi)
- kameniva ρ_k = 2600 až 3100 kg.m^{-3} podle druhu horniny
- vody ρ_v = 1000 kg.m^{-3}

7.5 NÁVRH PODLE EMPYRICKÉHO MNOŽSTVÍ VODY

Závislost pevnosti betonu na vodním součiniteli a pevnosti cementu podle Walze

Schéma výpočtu:

- a) Podle nomogramu z obrázku odečteme vodní součinitel w pro požadovanou pevnost $f_{c,cube}$ a zvolenou pevnostní třídu cementu. Zkontrolujeme vodní součinitel dle kap. 7.3.2.



1) CEM 52,5
2) CEM 42,5
3) CEM 32,5

b) Z tabulky zjistíme potřebné množství vody pro zvolenou konzistenci C nebo S a granulometrii kameniva podle zvolené křivky zrnitosti (kap. 3.6) pro beton bez přísad.

Potřeba vody (m_v) v l na 1 m^3 betonu na požadovanou konzistenci v závislosti na granulometrii směsi nedrceného těženého kameniva

konzistence	křivka zrnitosti											
	A_8	B_8	C_8	A_{16}	B_{16}	C_{16}	A_{32}	B_{32}	C_{32}	A_{63}	B_{63}	C_{63}
C 0	160	178	197	139	160	183	133	152	171	123	139	163
S 1	166	184	205	145	166	189	137	158	177	127	145	169
S 2	176	194	217	155	176	200	145	167	188	135	155	180
S 3	192	212	135	170	192	217	159	181	207	148	170	197
S 4	204	227	250	181	204	232	171	197	223	159	181	211

■ c) Pokud chceme použít plastifikátor nebo superplastifikátor se známým účinkem na snížení dávky vody, provedeme korekci dávky vody pro danou konzistenci.
■ d) Vypočteme množství cementu z rovnice:

$$m_c = m_v / w$$

■ e) Z rovnice absolutních objemů vypočteme celkové množství kameniva m_k (kap. 7.4) a podle zvolené křivky zrnitosti rozdělíme na jednotlivé frakce.
■ f) Sestavíme recepturu pro záměs 1m^3 betonu a zkontrolujeme množství pevných částic do 0,25 mm (kap. 7.4), známe-li mezerovitost zvolené křivky kameniva, zkontrolujeme i přebytek cementového tmele (kap. 7.4).
■ g) Vyrobíme beton podle vypočtené receptury, požadovanou konzistenci betonu dosáhneme vhodnou dávkou plastifikátoru nebo superplastifikátoru.
■ h) Sečteme skutečné navážky všech složek na 1m^3 betonu Σm_i v kg, stanovíme skutečnou objemovou hmotnost vyrobeného betonu

(po zhutnění) ρ_b v kg.m^{-3} a vypočteme přepočítávací koeficient k:

$$k = \rho_b / \Sigma m_i$$

■ i) Přesné dávky složek pro 1 m^3 zhutněného betonu m_{iu} získáme vynásobením použitých dávek jednotlivých složek m_i koeficientem k:

$$m_{iu} = k \cdot m_i$$

Korektury potřeby vody:

■ Použitím drceného kameniva od 4 do 8 mm se voda zvyšuje až o 10 %, od 8 mm se zvyšuje množství vody o 5 %.
■ Zvýšením tuhých částic (cement, příměsi a jemné podíly kameniva do 0,25 mm) přes 350 kg.m^{-3} se přidává voda na každých 10 kg o 1 kg.m^{-3}.
■ Provzdušněním čerstvého betonu o 1 % obj. pórů, které převyšuje 1,5 % obj. se redukuje množství vody asi o 5 kg.m^{-3}.
■ Plastifikační přísady snižují množství vody nejméně o 5 % hmotnosti.

Příklad:
Zadání:
Beton třídy C 25/30 XF2 podle ČSN EN 206-1, tzn. vodní součinitel w max. 0,55 a min. dávka cementu m_c = 300 kg.m^{-3}, kontrolní pevnost betonu při neznámé stejnoměrnosti (směrodatné odchylce) betonu R_b min. 36 Nmm^{-2} (MPa), krycí vrstva výztuže a vzdálenost prutů výztuže je 30 mm, volíme proto kamenivo o max. velikosti zrna D_{max} 16 mm (ρ_k = 2650 kg.m^{-3}), zrnitost kameniva podle křivky B 16 (viz. 3.8), kamenivo frakce 0/4 mm obsahuje 8% hm. jemných tuhých částic do 0,25 mm. Provzdušnění čerstvého betonu (XF2) je min. 4 %. Pro provzdušněné betony zvolíme např. cement CEM I 42,5 R (ρ_c = 3100 kg.m^{-3} a $R_{c\ 28}$ = 50 MPa). Konzistence betonu stupeň S3 – cca 120 mm sednutí kužele.

Postup:

■ **add a)** z grafu odečteme pro $f_{c,cube}$ = 42 MPa vodní součinitel w/c = 0,57, který ovšem nevyhovuje požadavku na XF2, volíme proto w/c = 0,55

■ **add b**) pro kamenivo s D_{max} 16 mm, křivky B16 a konzistence S3 odečteme z tabulky dávku vody 192 kg.m^{-3}

■ **add c**) nebudeme uvažovat použití plastifikační přísady

■ **add d)** dávka cementu m_c = 192/0,55 = 349 kg.m^{-3}

■ **add e)** předpokládaný obsah vzduchu je 5 % obj.

celková dávka kameniva:

349/3100 + 192/1000 + m_k/2650 = 1 - 5/100m_k = 1710 kg.m^{-3}

použijeme frakce kameniva 0/4, 4/8 a 8/16 a za předpokladu podobné objemové hmotnosti jednotlivých frakcí vypočteme navážky:

0/4 mm .... 0,56 . 1710 = 958 kg
4/8 mm .... 0,20 . 1710 = 342 kg
8/16 mm .. 0,24 . 1710 = 410 kg

■ **add f)** dávka provzdušňující přísady 0,3 % hm. z dávky cementu, tj. 349 . 0,003 = 1,05 kg

Navržené složení záměsi betonu pro objem 1 m^3 po zhutnění:

■ cement CEM I 42,5 R	349 kg
■ kamenivo frakce 0/4 mm	958 kg (hm. podíl zrn do 0,25 mm = 8%)
■ kamenivo frakce 4/8 mm	342 kg
■ kamenivo frakce 8/16 mm	410 kg
■ voda	192 kg
■ provzdušňovací přísada	1,05 kg

Obsah jemných pevných částic do 0,25 mm vyhovuje:

349 + 958 . 0,08 = 426 kg < 530 kg

■ **add g)** pro dosažení konzistence S3 bylo nutno přidat 2,5 kg plastifikátoru, byl zjištěn obsah vzduchu v čerstvém betonu 5,7 % obj. a objemová hmotnost čerstvého betonu ρ_b = 2230 kg.m^{-3}

■ **add h)** celková navážka záměsi

Σ_{mi} = 349 + 958 + 342 + 410 + 192 + 1,05 + 2,5 = 2254,55 = 2255 kg

koeficient k = 2230/2255 = 0,989

Upravené složení záměsi betonu pro objem 1 m^3 po zhutnění:

■ cement CEM I 42,5 R	346 kg
■ kamenivo frakce 0/4 mm	947 kg
■ kamenivo frakce 4/8 mm	338 kg
■ kamenivo frakce 8/16 mm	405 kg
■ voda	190 kg
■ provzdušňovací přísada	1,04 kg
■ plastifikační přísada	2,47 kg
■ konzistence betonu	S3
■ obsah vzduchu	5,7 % obj.
■ obj. hmotnost čerstvého betonu	2230 kg.m^{-3}

7.6 SILNIČNÍ BETON

Problematikou provádění a kontrolou shody cementobetonových krytů vozovek dálnic, silnic, místních a účelových komunikací, dopravních a jiných ploch, letištních drah a ploch se zabývá ČSN 73 6123-1. Tato norma označuje cementobetonové kryty podle použité technologie a dopravního zatížení. Definuje požadavky na údaje v dokumentaci a podkladní vrstvy. Popisuje konstrukční zásady cementobetonového krytu, vlastní postupy stavebních prací a kontrolu shody.

Označení cementobetonových krytů podle použité technologie

technologie	značka
cementobetonový kryt	CB [1)]
horní vrstva cementobetonového krytu dvouvrstvového	CB(H)
spodní vrstva cementobetonového krytu dvouvrstvového	CB(S)

[1)] Podle skupiny cementobetonového krytu se přidává označení: I,II,III.

Označení cementobetonových krytů podle dopravního významu

doporučená nejnižší skupina	specifikace komunikace	třída dopravního zatížení dle ČSN 73 6114[1)]
CB I	letištní dráhy a plochy, dálnice, rychlostní komunikace, rychlostní místní komunikace, silnice I. tř.	S, I - III
CB II	silnice II. a III. třídy, sběrné místní komunikace, obslužné místní komunikace, odstavné a parkovací plochy	III - V
CB III	obslužné místní komunikace, odstavné a parkovací plochy,dočasné komunikace a účelové komunikace	IV - VI

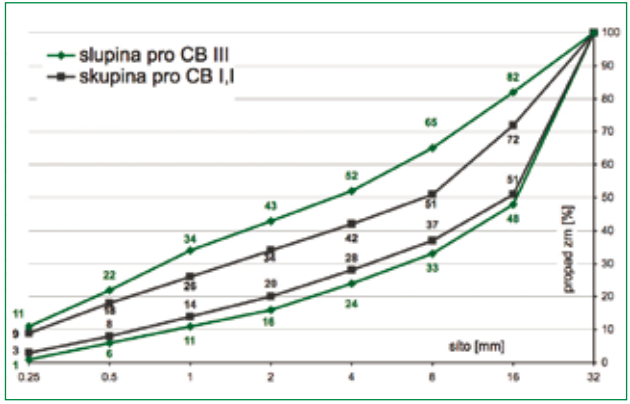
[1)] Netýká se letištních drah a ploch.

Složky do betonu
Složky do betonu musí splňovat požadavky ČSN EN 206-1 a ČSN EN 13877-1. Volba složek pak musí zajistit splnění požadavků na vlastnosti betonu v čerstvém i ztvrdlém stavu.

Požadavky na cement:
- pro CB I cement CEM I 42,5 dle ČSN EN 197-1
- obsah C_3A je max. 8 %, počátek tuhnutí min.1,5 h, obsah MgO max 5% hm. slínku
- pro CB II a CB III cementy CEM I 42,5, CEM I 32,5 a CEM II/A-S 32,5
- pro CB I ,II a III - měrný povrch cementů max. 350 m^{-2}.kg

Požadavky na kamenivo:
- max. velikost zrna kameniva může být nejvíce do 1/4 tloušťky vrstvy, u spojitě vyztužených krytů max. velikost zrna do 1/3 vzdálenosti mezi podélnými výztuhami
- možno použít i přetržitou křivku zrnitosti pro CB I a CB II složenou min. ze tří frakcí
- max. tvarový index do 40 %
- požadavky na obsah jemných částic (max. 3 %), nasákavost (max.1,5 %), odolnost proti alkalickokřemičité reakci, humusovitost, mrazuvzdornost kameniva (F_1,F_2)
- limitovaný obsah agresivních iontů (Cl^-, SO_4^{2-}) a obsah veškeré síry (max. 1%)

Graf zrnitosti směsí kameniva s D_{max} = 32 mm (propad zrn v % hm.)



Požadavky na složení betonu

- doporučuje se obsah jemných částic do 0,25 mm v množství (350–450) kg.m^{-3}
- minimální obsah cementu pro skupinu krytů CB I a CB II je 350 kg.m^{-3}
- minimální obsah cementu pro skupinu krytů CB III je 330 kg.m^{-3}
- min. denní průměr obsahu vzduchu v čerstv. betonu pro D_{max} = 22 mm je 4 %, resp. pro D_{max} = 16 mm 5 %
- součinitel prostorového rozložení obsahu účinného vzduchu A_{300} pro skupinu CB I a CB II je maximálně L = 0,24, pro CB III není požadován
- pokud jsou použity vložené ocelové prvky nechráněné proti korozi, nesmí obsah Cl^- překročit 0,40% hm. cementu

Kvalitativní parametry ztvrdlého betonu dle ČSN EN 13877-1

skupiny vozovek	CB I	CB II	CB III
třída pevnosti v tlaku podle ČSN EN 206-1	C 30/37	C 30/37	C 25/30
pevnost v tahu ohybem [MPa] [1)]	4,5	4,5	4,0
stupeň vlivu prostředí	XF4	XF4	[1)]
max. variační koeficient [%]	10	10	12
pevnost v tlaku na zlomcích trámců [MPa]	32	32	32
min. počet cyklů působení vody a rozmraz. solí [2)]	100/75	75/50	-[1)]
max. povolený odpad (g.m^{-2})	1000	1000	-[1)]
max. součinitel prostorového rozložení vzduchových pórů [mm]	0,24	0,24 [3)]	-

[1)] Pokud je požadováno v dokumentaci stavby
[2)] Metoda A,C dle ČSN 73 1326. Metoda zkoušek odolnosti proti zmrazování a rozmrazování musí být předem dohodnuta a potvrzena.
[3)] Doporučená hodnota

7.7 KONSTRUKČNÍ VRSTVY POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

Jednotlivé technologie konstrukčních vrstev pozemních komunikací se od sebe liší použitým pojivem, místem použití při stavbě pozemních komunikací a samozřejmě technickými vlastnostmi.

Druhy pojiv rozdělují používané technologie a jejich označení na:

technologie	označení	normativní předpis
směs stmelená cementem	SC	ČSN EN 14227-1 a -10
směs stmelená struskou	SS	ČSN EN 14227-2 a -12
směs stmelená popílkem	SP	ČSN EN 14227-3 a -14
směs stmelená hydraulickými silničními pojivy	SH	ČSN EN 14227-5 a -13
pokud není určena technologie, resp. pojivo	S	

Přičemž směsi podle norem ČSN EN 14227-10 až 14 jsou de facto zeminy, přírodní, umělý nebo recyklovaný materiál upravený hydraulickými pojivy. Prioritně jsou určeny pro úpravu podloží pozemních komunikací. Jen za určitých podmínek lze použít tyto směsi i do ochranné nebo podkladní vrstvy.

V nedávné minulosti došlo k poměrně značným normativním změnám v označování, požadavcích na směsi konstrukčních vrstev vozovek a zkušebnictví. Technologie známé pod názvy Kamenivo zpevněné cementem (KSC), stabilizace s cementovým pojivem (SC) a další směsi se zavedením EN norem již neplatí. Pro snazší orientaci ve značení a použití směsí lze použít následující tabulku.

Přiřazení původních a nových názvů technologií k zavedeným třídám pevnosti

	nový název technologie				původní název technologie
třída pevnosti	směs stmelená cementem SC	směs stmelená struskou SS	směs stmelená popílkem SP	směs stmelená hydr.silnič. pojivy SH	
	$C_{0,4/0,5}$	$C_{0,4/0,5}$	$C_{0,4/0,5}$	$C_{0,4/0,5}$	stabilizace cementem S III
	$C_{0,8/1,0}$	$C_{0,8/1,0}$	$C_{0,8/1,0}$	$C_{0,8/1,0}$	
	$C_{1,5/2,0}$	$C_{1,5/2,0}$	$C_{1,5/2,0}$	$C_{1,5/2,0}$	stabilizace cementem S II
	$C_{3/4}$	$C_{3/4}$	$C_{3/4}$	$C_{3/4}$	stabilizace cementem S I
	$C_{5/6}$	$C_{5/6}$	$C_{5/6}$	$C_{5/6}$	kamenivo zpevněné cementem KSC II
	$C_{8/10}$	$C_{8/10}$	$C_{8/10}$	$C_{8/10}$	kamenivo zpevněné cementem KSC I
	$C_{12/15}$	$C_{12/15}$	$C_{12/15}$	$C_{12/15}$	válcovaný beton VB I
	$C_{16/20}$	$C_{16/20}$	$C_{16/20}$	$C_{16/20}$	podkladový beton PB I
	$C_{20/25}$	$C_{20/25}$	$C_{20/25}$	$C_{20/25}$	podkladový beton PB II

Nové normativní požadavky na složení směsí, zkušebnictví a použití konkrétních technologií přesahují svým rozsahem možnosti a účel Příručky technologa. Je nutné se s každou technologií důkladně seznámit a poté řešit konkrétní požadavky ve spolupráci s objednatelem.

7.8 BETON ODOLNÝ PROTI PŮSOBENÍ VODY A CHEMICKÝCH ROZMRAZOVACÍCH LÁTEK (CH.R.L.)

ČSN EN 206-1 rozděluje betony do skupin podle předpokládané provozní životnosti betonových prvků či konstrukcí vystavených různým vlivům agresivního prostředí.

Beton vystavený účinkům mrazu je při použití rozmrazovacích prostředků, které vyvolají tání ledu i při teplotách pod 0 °C, extrémně namáhán a musí vykazovat zvýšenou odolnost. Pro zvýšení odolnosti se mimo jiné požaduje:

- dodržení daného vodního součinitele a min. dávky cementu
- použití vhodných příměsí a plniv v kombinaci s vybranými typy přísad
- vhodné provzdušnění betonu (minimální obsah vzduchu je předepsán v různé výši v závislosti na složení betonu – viz tabulka v kapitole 7.3.2)

Obsah vzduchových pórů v čerstvém betonu se stanoví běžně pomocí tlakoměrných hrnců podle ČSN EN 12350-7.

Obsah tzv. účinných vzduchových pórů A_{300} do velikosti 300 μm a stanovení součinitele prostorového rozložení těchto pórů ve ztvrdlém betonu je podle postupu uvedeného v ČSN EN 480-11.

Odolnost povrchu betonu proti působení CH.R.L. se obyčejně stanoví metodou A (automatické cyklování), případně metodou C (automatické cyklování II) podle ČSN 73 1326. Kritériem při stanovení odolnosti betonu proti působení CH.R.L. je míra narušení povrchu betonu vystaveného zmrazovacím a rozmrazovacím cyklům v prostředí roztoku chloridu sodného. Výsledkem zkoušky je hmotnost odpadu betonu v $g.m^{-2}$ z povrchu zkoušeného vzorku betonu po stanoveném počtu cyklů. Metody se od sebe liší tvarem zkušebních těles, způsobem přípravy vzorků před zkouškou, režimem zmrazovacích a rozmrazovacích cyklů a mírou účinnosti cyklování na povrch vzorku betonu.

7.9 PĚNOBETON

Používají se pěnotvorné přísady, které se přidávají buď přímo do míchačky s nuceným oběhem, anebo se ve zvláštním přístroji vytvoří pěna a ta se zamíchá do čerstvého betonu hned v míchačce nebo v automíchači v různé fázi dopravy nebo až na staveništi. Obsah cementu je 300 až 350 kg.m^{-3}, obsah vody 100 až 200 litrů na m^3 betonu. Objemová hmotnost pěny je cca 50 kg.m^{-3}.

Příklad složení pěnobetonu s objemovou hmotností 1200 kg.m^{-3}

- CEM I 42,5 R 300 kg.m^{-3}
- písek frakce 0/2 mm 810 kg.m^{-3}
- voda 135 kg.m^{-3}
- pěna 460 l

7.10 ČERPANÝ ČERSTVÝ BETON

Níže použitý text není normativně daný, vychází z již neplatné ČSN 73 1209, včetně použité tabulky. Nadále však může sloužit jako technologická pomůcka.
Největší zrno kameniva se řídí použitým průměrem potrubí. Tvarový index větší jak 3 max. 30 % obj. a je dovoleno max. 10 % obj. nadsítného podílu kameniva. Podíl zrn do 1 mm je vhodné zvýšit o 10 % proti hodnotám křivky zrnitosti (viz 3.8). Jemné frakce zrn do 0,25 mm zajišťují přenos čerpacího tlaku, tvoří vrstvu na stěnách potrubí a tím snižují vnitřní tření čerstvého betonu, omezují odlučování vody a zvyšují soudržnost čerstvého betonu.

průměr potrubí [mm]	těžené kamenivo	drcené kamenivo
50	D_{max} 4 mm	-
65	D_{max} 8 mm	-
100	D_{max} 32 mm	D_{max}16 mm
125	D_{max} 40 mm	D_{max}22 mm

Obsah jemných podílů do 0,25 mm má být do 8 % obj. a jejich množství spolu s cementem se limituje podle maximálního zrna kameniva. K doplnění jemných podílů se používají příměsi: popílek (zbytek na sítě 0,063 mm do 20 %, ztráta žíháním do 7 %, obsah SO_3 ≤ 3 % a obsah síry ≤ 0,4%, mletý vápenec, struska, méně vhodné jsou prosívky drceného kameniva (jsou ostrohranné). Nejvyšší teplota čerstvého betonu ještě vhodná pro čerpání je cca 25 °C.

Jemné podíly (cement, příměsi a kamenivo) do 0,25 mm pro čerpaný beton v kg.m^{-3} pro směsi kameniva do max. velikosti zrna D_{max}

D_{max} [mm]		8	16	22	32
těžené kamenivo		520	450	420	400
kombinace s drceným kamenivem od frakce	4/8	600	550	520	500
	8/16	-	510	490	470
	16/22	-	-	470	450

Doporučuje se konzistence těchto parametrů:
- rozlití F do 400 mm (tato metoda umožňuje posoudit i stabilitu čerstvého betonu),
- sednutí kužele S2 až S4 (beton s těženým kamenivem a popílkem S = 80±20 mm a s drceným kamenivem S = 140±20 mm).

Nejvhodnější je konzistence měřená rozlitím F od 360 do 400 mm a tomu odpovídající vodní součinitel cca m_V/m_C = 0,45 až 0,55.
Zlepšení čerpatelnosti čerstvého betonu lze dosáhnout:
- zvýšením podílu částic do 0,25 mm,
- příměsemi s větším měrným povrchem,
- vyšším podílem drobného kameniva 0/4 mm,
- konzistencí s větším sednutím kužele, avšak nejvýše do S ≤ 200 mm,
- náhradou drceného kameniva kamenivem těženým,
- účelnou dávkou vhodné plastifikační přísady,
- provzdušněním.

8 KONZISTENCE A ZPRACOVÁNÍ ČERSTVÉHO BETONU

8.1 MĚŘENÍ KONZISTENCE (ČSN EN 206-1)
8.1.1 Sednutí kužele podle ČSN EN 12350-2
8.1.2 Rozlití podle ČSN EN 12350-5
8.1.3 Rozlití kužele a čas T500 pro samozhutnitelný beton
8.1.4 Přeformování Vebe podle ČSN EN 12350-3
8.1.5 Stupeň zhutnění podle ČSN EN 12350-4
8.2 DOPORUČENÉ KONZISTENCE ČERSTVÉHO BETONU
8.3 ZPRACOVÁNÍ ČERSTVÉHO BETONU
8.3.1 Míchání betonu
8.3.2 Doprava betonu
8.3.3 Ukládání čerstvého betonu
8.4 STŘÍKANÝ BETON
8.5 POTĚRY
8.6 ZHUTŇOVÁNÍ ČERSTVÉHO BETONU

8.1 MĚŘENÍ KONZISTENCE (ČSN EN 206-1)

Ke zjištění konzistence transportbetonu se běžně používají zkoušky sednutím kužele, méně často zkouška rozlitím. Pro potřeby prefabrikované výroby se používají i metody zhutnění, případně přeformování Vebe.

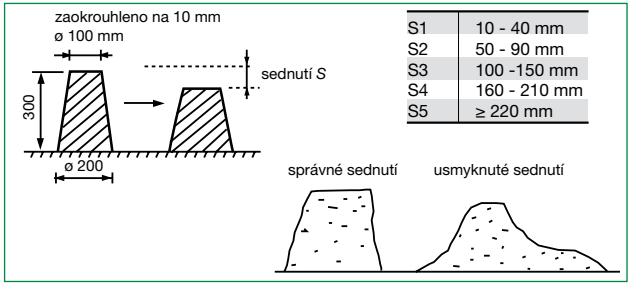
8.1.1 Sednutí kužele podle ČSN EN 12350-2

Sednutí kužele podle Abramse, postup dle ČSN EN 12350-2, označení S (= Slumptest).

Postup zkoušky sednutí kužele:
Na vlhkou podložku se postaví zevnitř zvlhčená forma kužele. Forma se postupně naplní třemi vrstvami čerstvého betonu. Každá z nich se zhutní 25 vpichy propichovací tyčí. Poté se odstraní přebytek betonu a povrch se srovná do roviny s formou valivým po-

hybem propichovací tyče. Z podložky se odstraní zbytky betonu. Forma se zdvihne během 2 až 5 sekund tak, aby nebyla nikterak ovlivněna zkouška. Forma nesmí v průběhu zdvihání nikterak usměrňovat, případně podpírat sesedající beton vně formy. Výsledkem zkoušky je rozdíl výšky sednutého kužele betonu měřeného v nejvyšším bodě oproti výšce formy kužele. Změřený rozdíl v mm se zaokrouhlí na 10 mm. Doba trvání zkoušky od plnění až po změření sednutí by neměla být delší než 150 s. Vhodnost metody sednutí je dána tvarem sednutého kužele po zkoušce. Pokud je část betonu kužele usmyknutá, je třeba zkoušku opakovat z jiného vzorku, případně zvolit jinou metodu zkoušení konzistence.

Sednutí kužele (Abrams), ČSN EN 12350-2, označení S (= Slumptest)



S1	10 - 40 mm
S2	50 - 90 mm
S3	100 -150 mm
S4	160 - 210 mm
S5	≥ 220 mm

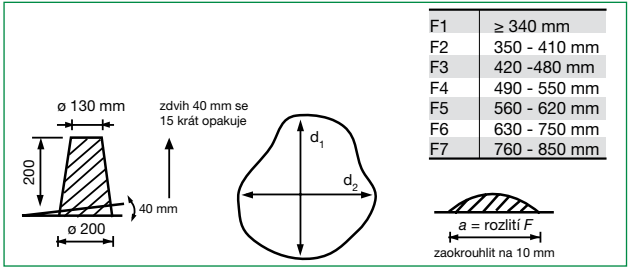
8.1.2 Rozlití podle ČSN EN 12350-5

Zkouška rozlitím podle ČSN EN 12350-5, označení F (= Flowtest).

Postup zkoušky rozlití:
Střásací stolek je nutné umístit na vodorovnou plochu. Na vlhký podklad střásacího stolku se postaví zevnitř zvlhčená forma kužele. Forma se postupně naplní dvěmi vrstvami čerstvého betonu. Každá z nich se vyrovná desetinásobným dusáním předepsaným dusadlem. Jeho pomocí se poté srovná povrch betonu s hranou formy. Z povrchu stolku se odstraní zbytky betonu a forma se

po 30 sekundách zdvihne. Vzniklý kužel se volným pádem pohyblivé části střásacího stolku rozlévá. Volný pád horní desky je dán vzdáleností dvou zarážek (40 mm) a opakuje se 15krát s periodou 1 až 3 sekundy. Změří se největší rozměr rozlitého betonu (d_1 a d_2), a to ve dvou na sobě kolmých směrech rovnoběžných s hranami stolku. Průměrná hodnota se zaokrouhlí na 10 mm. Na rozlitém betonu se též posuzuje případná segregace.

Rozlití (Graf), ČSN EN 12350-5, označení F (= Flowtest)



F1	≥ 340 mm
F2	350 - 410 mm
F3	420 -480 mm
F4	490 - 550 mm
F5	560 - 620 mm
F6	630 - 750 mm
F7	760 - 850 mm

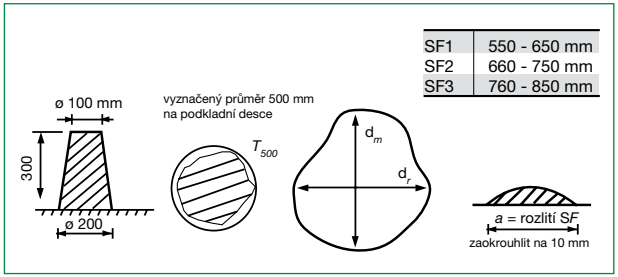
8.1.3 Rozlití kužele a čas T_{500} pro samozhutnitelný beton

Rozlití kužele a čas T_{500} pro samozhutnitelný beton podle Evropské směrnice pro samozhutnitelný beton, označení SF (Slump-flow).

Postup zkoušky:
Podkladní deska o rozměrech 900x900 mm, jejíž povrch je rovný, hladký a nenasákavý, se umístí na vodorovnou plochu. Povrch desky se navlhčí. Na vyznačený střed desky se postaví kužel tvarově shodný se zkouškou sednutí dle ČSN EN 12350-2. Kužel se pomocí stupaček přišlápne k podkladní desce a naplní se najednou bez propichování až po okraj. Během následujících 30 sekund se odstraní přečnívající beton z vrcholu kužele a povrchu desky. V okamžiku zvednutí kužele se spustí stopky, které měří čas rozlití betonu k dosažení jakéhokoliv místa vyznačeném kružnicí o Ø 500 mm. Po ukončení rozlití betonu se změří největší rozměr rozlitého betonu d_m. Druhý největší měřený rozměr rozlití betonu d_r je kolmý na d_m. Současně se pozoruje, zda-li nedošlo k segregaci kameniva. Výsledkem zkoušky je průměrná hodnota rozlití zaokrouhlená na nejbližších 10 mm a čas T_{500} s přesností nejbližších 0,1 s.

Poznámka:
Výsledky měření jednotlivými metodami jsou korelačními závislostmi, není vhodné ani průkazné výsledky vzájemně přepočítávat z jedné metody na druhou.

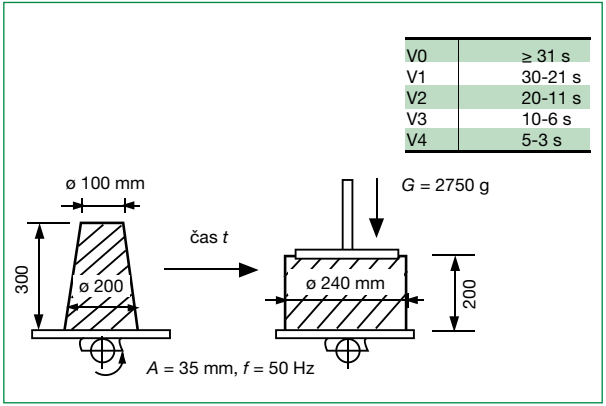
Rozlití kužele a čas T_{500} pro samozhutnitelný beton, označení SF (=Slump-flow)



SF1	550 - 650 mm
SF2	660 - 750 mm
SF3	760 - 850 mm

8.1.4 Přeformování Vebe podle ČSN EN 12350-3

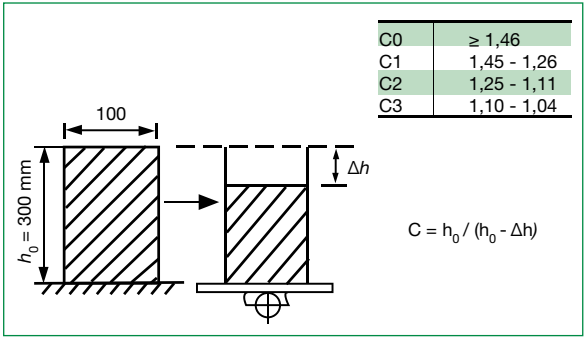
Přeformování Vebe, ČSN EN 12350-3, označení V (= Vebe Test)



V0	≥ 31 s
V1	30-21 s
V2	20-11 s
V3	10-6 s
V4	5-3 s

8.1.5 Stupeň zhutnění podle ČSN EN 12350-4

Stupeň zhutnění, ČSN EN 12350-4, označení C (= Compaction Test)



C0	≥ 1,46
C1	1,45 - 1,26
C2	1,25 - 1,11
C3	1,10 - 1,04

8.2 DOPORUČENÉ KONZISTENCE ČERSTVÉHO BETONU

Čerstvý beton se doporučuje míchat a dodávat na staveniště pod všeobecně známým a zažitým názvem „velmi měkká konzistence“ s rozlitím F3, tj. 420 mm až 480 mm nebo sednutím S3, tj. 100 mm - 150 mm.

Tato konzistence čerstvého betonu má tyto výhody:

■ univerzální použití ■ homogenní staveništní beton ■ není nutná úprava na staveništi ■ dobré povrchy betonové konstrukce ■ vysoký výkon zpracování s malými náklady

konzistence							
F [mm]	≤ 340	-	350-410	490-550	560-620	630-750	760-780
S [mm]	-	10-40	50-90	160-210	≥220	-	-
SF [mm]	-	-	-	-	550-650	660-750	760-850
C	-	≥1,20	1,19-1,08	1,07-1,02	-	-	-
doprava a ukládání čerstvého betonu							
přímé ukládání do bednění			←	←	←	←	→
doprava jeřábem	←	←	←	←	←	←	→
čerpání čerstvého betonu			←	←	←	←	→
zhutňování betonu							
dusání		↔	↔				
vibrování							
propichování				↔	↔		
betonová konstrukce							
nevyztužený beton	←	←	←	←	←	←	→
velmi vyztužený beton		←	←	←	←	←	→
železobeton pro vnitřní konstrukce			←	←	←	←	→
pohledový beton			←	←	←	→	
beton pod vodou				↔	↔		
beton odolný chemické korozi		←	←	←	←	←	→
vodotěsný beton		←	←	←	←	←	→
beton odolný proti obrusu	←	←	←	→			

8

8.3 ZPRACOVÁNÍ ČERSTVÉHO BETONU

Zpracování čerstvého betonu se rozděluje na fázi mísení složek čerstvého betonu, fázi dopravy a ukládání do bednění nebo do forem a fázi zhutňování. Cílem je dosažení stejnorodosti (homogenity) složení betonu, který se při dopravě a ukládání nerozmísí a také v poslední fázi dostatečně zhutní, t.j. bude obsahovat jen minimální množství vzduchových dutin (kromě provzdušněného betonu).

Výrobu betonu, dopravu a ukládání musí zajišťovat pracovníci s odpovídajícími zkušenostmi. Pracovníci (nebo vyškolení zástupci) odpovědní za výrobu betonu, příjem betonu a jeho dopravu na staveništi, jeho ukládání a ošetřování musí být přítomni po celou dobu tohoto procesu. Rovněž musí být určen pracovník zodpovědný za kontrolu výroby, který má odpovídající znalosti a zkušenosti v technologii betonu, ve výrobním procesu, ze zkoušení a z kontrolního systému.

8.3.1 Míchání betonu

Cement, kamenivo a příměsi se dávkují hmotnostně, voda, přísady a příměsi v suspenzi mohou být dávkovány i objemově. Požadovaná přesnost dávkování je ±3 % cementu, kameniva, příměsí a ±5 % přísad. Přesnost dávkovacího zařízení musí být pravidelně ověřována. Hmotnostní dávkování kameniva je ovlivněno vlhkostí, jak nasáklou, tak povrchovou. Počátek dávkování přísad se doporučuje opozdit asi o 30 s po dávce první části vody.

Míchačky s nuceným oběhem (vanové, talířové) mají minimální dobu míchání 30 s a optimální 60 s, neuvádí-li výrobce jinak. „Tuhá konzistence“ vyžaduje delší dobu míchání, optimální doba pro beton konzistence C > 1,3 je 90 s až 120 s, pro konzistenci C < 1,25 postačuje 60-90 s. Doporučená konzistence podle ČSN EN 206-1 je S3 (sednutí kužele 100-150 mm) nebo F3 (rozlití 420-480 mm).

Bezodpadová technologie betonu
V centrálních betonárnách vzniká cca 2 % - 4 % zbytků čerstvého betonu (z výplachu automíchačů, mytí míchačky apod.), které lze využít zpět do výroby betonu. Po separaci kameniva se do výroby vracejí spolu se záměsovou vodou i pevné velmi jemné částice. Přídavek těchto částic může negativně ovlivnit pevnost betonu, jeho smrštění, příp. zvýšit jeho náchylnost k tvorbě výkvětů. Přesto je recyklace materiálů z hlediska životního prostředí lepším řešením než ukládání na skládky.

8.3.2 Doprava betonu

Transportbeton
Čerstvý beton, který je zamíchán na betonárně a dodán na staveniště v automíchači. Maximální doba dopravy se uvádí 90 min při cca 20 °C nebo dopravní vzdálenost 25-30 km. Prodloužení této doby vyžaduje použití zpomalujících přísad.

Na staveništi lze sekundárně čerstvý beton dopravovat:
- samospádem (žlaby, koryta, sešupy atd.) s max. sklonem 45°
- pásovým dopravníkem
- hydraulickou dopravou pomocí (stabilních, mobilních) čerpadel

Používají se pístová nebo rotační čerpadla. Pro dopravu pěnobetonu je vhodnější použít rotační čerpadlo, kdy nedochází k tlakovým rázům a k poruše struktury pěnobetonu. Potrubí je unifikované s vnitřní průměrem 100 mm nebo 125 mm, dosah výložníku čerpadla na mobilním podvozku je 20-40 m do výšky a 15-30 m do dálky. Při delších dopravních vzdálenostech se zpravidla připojuje ocelové potrubí.

8.3.3 Ukládání čerstvého betonu

Před uložením se musí zkontrolovat uložení a spoje výztuže, poloha distančních tělísek. Je třeba zamezit odmísení čerstvého betonu v průběhu dopravy a ukládání. Proto je nutné volit vhodné složení směsi (dobrá zrnitost kameniva, dostatečný objem cementového tmele, nižší vodní součinitel), vhodný tvar násypek, dodržovat max. 1,5 m výšku pádu čerstvého betonu atd.

Pracovní a dilatační spáry
Důvodem pro zhotovení dilatačních spár je sedání konstrukce (rozdílné založení stavby, rozdílné zatížení konstrukce aj.), tepelná dilatace a smršťování betonu. Dilatační spáry se zpravidla u konstrukcí provádějí ve vzdálenosti 25-30 m, u konstrukčních prvků se vzdálenost vlivem klimatických změn snižuje na 10-15 m, těsnění se provádí bitumenovými zálivkami nebo elastickými polymerovými pásy. Při přerušení betonáže zpravidla na dobu delší než 2 hod. vzniká pracovní spára.

Základním požadavkem je minimalizace počtu a délky pracovních spár. Je třeba zohlednit následující:
- spáry nesmí vzniknout v místech předpokládaného největšího smykového napětí konstrukce,
- betonáž ukončujeme podle polohy výztuže,
- polohu spár omezuje bednění a technologický postup,
- pohledový beton nemůže mít spáry tam, kde se tvoří stínová hrana.

Zásady řešení nutné pracovní spáry:
- spáru umístit tak, aby tlak nového čerstvého betonu směřoval kolmo na pracovní spáru,
- pracovní spáru profilovat (zalomit) u velmi namáhaných konstrukcí,
- vodotěsné konstrukce potřebují několikrát zalomenou spáru, aby se tok vody prodloužil, pokud je spára ve směru toku,
- spojení obou vrstev betonu přes pracovní spáru lze upravit vyčnívající výztuží nebo vložením vhodné spojky,
- povrch starší betonové vrstvy zdrsnit kartáčem, pískováním nebo tryskáním vodou,
- odstranit nevsáklou vodu a nanést vhodný spojovací můstek.

Betonování pod vodou

Betonová směs se nesmí volně sypat do vody. Při použití betonu bez speciálních přísad nesmí v místě ukládání betonu voda proudit.

Metody betonování pod vodou:
- čerstvý beton je sypán svislou násypkou, kdy vyústění násypky je pod hladinou vody a zároveň cca 1 m pod hladinou čerstvého betonu (metoda kontraktor) - používá se nejčastěji
- čerpaný beton s vyústěním potrubí pod hladinou čerstvého betonu
- přerušovaná betonáž hadicí s tuhým vyústěním (metoda s hydroventilem)
- betonování kontejnerem s vysypáním betonu pod hladinou vody a zároveň pod hladinou čerstvého betonu
- dvoufázové betonování
- do vody se umísťuje čerstvý beton balený v průlinčitých pytlích (pytlovací metoda)
- vybetonování plastových matrací na šikmém podkladu
- použití speciálních přísad do betonu s extrémně stabilizačním účinkem (při použití vhodných přísad je možno čerstvý beton ukládat i do mírně tekoucí vody)

8.4 STŘÍKANÝ BETON

Stříkaným betonem se zabývá norma ČSN EN 14487 definující specifikaci, shodu a provádění. Existuje také několik dokumentů charakteru doporučení, např. rakouská směrnice ÖVBB pro stříkaný beton nebo evropská specifikace EFNARC.

Z hlediska technologie je množství odpadu při stříkání závislé na:
- vodním součiniteli - pro mokrý i suchý způsob se volí vodní součinitel w < 0,50,
- objemu cementového tmele - objem cementového tmele má být větší než mezerovitost kameniva, avšak < 0,37 m^3 ve vyrobeném m^3 betonu,
- dávce urychlující přísady - vyšší dávka znamená rychlejší nárůst pevnosti, vyšší prašnost a větší odpad.

Pro zvýšení přídržnosti a soudržnosti čerstvého betonu se používá kamenivo s max. zrnem 8 mm s vyšším podílem jemné frakce. Přidává se běžná příměs (až 20 % hm. z cementu) - popílek, křemičité úlety aj. Používá se vhodný cement v množství (400-500) $kg.m^{-3}$. Vodní součinitel pro nástřik mokrou cestou se udržuje v rozmezí

0,45 - 0,50. K urychlení tuhnutí a tvrdnutí betonu se přidávají speciální přísady. Doporučuje se používat bezalkalické přísady.

Vlastnosti a zkoušení
jsou uvedeny v ČSN EN 14488-1 až 14488-6. Jedním z předpokladů rychlého nárůstu počátečních pevností a 28denní pevnosti stříkaného betonu je jeho správné složení. Pro zvýšení pevnosti v tahu za ohybu, omezení smršťování a k zlepšení duktility se používají vlákna.

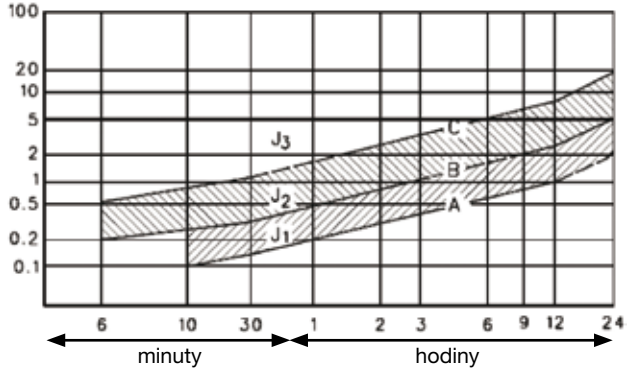
Kvalita nastříkané vrstvy se posuzuje především podle pevnosti v počátečním stadiu tvrdnutí a k tomu účelu se používají dva základní zkušební postupy:

- penetrace jehlou v rozsahu pevnosti 0 MPa až 1 MPa (Proctorův penetrometr podle ASTM C 403-95). Síla potřebná k zatlačení jehly je v korelační závislosti na pevnosti betonu v tlaku, avšak je třeba stanovit kalibrační křivku,
- vstřelování hřebu v rozsahu pevnosti 2 MPa až 16 MPa (Hilti). Závislost poměru síly působící na hřeb k hloubce proniknutí hřebu je velmi těsná na pevnosti betonu v tlaku.

Nárůst pevnosti v tlaku stříkaných betonů by měl odpovídat jedné ze tří oblastí vymezených křivkami A, B a C. Oblast J1 se doporučuje pro aplikaci tenké nenosné vrstvy na suchý podklad. Výhodou je nízká prašnost a odpad. V případě vyššího materiálového toku tryskou nebo požadavků na okamžité přenášení zatížení (např. vlivem následných činností – rozpojování horniny atd.) je nutný nárůst pevnosti odpovídající oblasti J2. Vzhledem k vysoké prašnosti a odpadu je vhodné používat beton odpovídající oblasti J3 jen v nejnutnějších případech vynucených složitými geologickými podmínkami, silnými přítoky vody atd.

Křivky A, B, C a oblasti J1, J2 a J3

Pevnost v tlaku [MPa]



Některé zásady pro provádění stříkaných betonů:
- vzdálenost mezi tryskou a podkladem by v závislosti na velikosti materiálového toku měla být dodržována v rozmezí 0,5 m až 2 m
- tryska by při nástřiku měla vždy směřovat k podkladu pod úhlem co nejbližším 90°
- dávka cementu a urychlovače se může mírně měnit podle aktuálních podmínek ovlivněných stavem podkladu, geologickými podmínkami, přítoky vody a vlhkostí nebo sezónním vlivem teploty
- minimální doporučená teplota čerstvého betonu je 13 °C
- urychlovač by měl být skladován podle pokynů výrobce při teplotách vyšších než 10 °C
- při nízké teplotě podkladu (např. zmrzlá hornina) se doporučuje zvýšit tloušťku vrstvy stříkaného betonu o 2 cm až 3 cm
- pokud jsou jednotlivé vrstvy stříkaného betonu nanášeny s delším časovým odstupem, je nutné povrch spodní vrstvy očistit a navlhčit proudem vzduchu a vody
- při přejímce čerstvého betonu je vhodné ověřit konzistenci a teplotu směsi

■ dodatečné přidávání vody je nepřípustné, zvýšení vodního součinitele velmi negativně ovlivňuje chování betonu po nástřiku a zvyšuje nutné množství urychlovače

8.5 POTĚRY

Potěr
Potěr je vrstva nebo vrstvy potěrového materiálu pokládané na stavbě. Potěry mohou být spojené nebo nespojené s podkladem nebo nanesené na dělící nebo tlumící vrstvu pro zabezpečení jednoho nebo více požadavků:

■ dosažení předepsané výšky
■ umožnění konečné úpravy povrchu podlahy
■ k bezprostřednímu použití

Názvoslovím, definicemi pro výrobu a používáním potěrů se zabývá ČSN EN 13318.

Požadované vlastnosti čerstvých i ztvrdlých potěrů vycházejí z účelu jejich použití. Vlastnosti potěrů závisí na druhu použitého pojiva, druhu kameniva, příp. přísad a příměsí. Požadavky na vlastnosti potěrů jsou uvedeny v ČSN EN 13813.

Označení potěrových materiálů podle použitého pojiva

označení	název potěru
CT	cementové potěrové materiály
CA	potěrové materiály ze síranu vápenatého
MA	potěrové materiály z hořečnaté maltoviny
AS	asfaltové potěrové materiály
SR	pryskyřičné potěrové materiály

Složení potěru se volí podle požadovaných vlastností v zatvrdlém stavu, velikosti pokládané plochy, technologie ukládání a způsobu zpracování potěru. Pro obrusné vrstvy je nutná znalost obrusu kameniva v cm^3 na 50 cm^2 plochy (cementový kámen 17-25, křemen 9-10, korund 1-3 cm^3 na 50 cm^2). Kvalita potěrových vrstev je značně závislá na míře zhutnění betonu, proto se někdy využívá vakuování ploch. Tím se zvýší tvrdost povrchu a sníží smrštění (snížení obsahu vody o 10-20 %, doba vakuování 1-2 minuty na každých 10 mm tloušťky odsávané desky). Při nedostatečném ošetření, případně špatném složení může dojít k deformaci potěrové vrstvy - zvednutí na okrajích a v rozích. Cementové potěry vykazují obecně vyšší objemové změny. Potěry na bázi síranu vápenatého naopak vynikají objemovou stálostí, naproti tomu mají omezené použití ve vlhkých prostorách.

Označení potěrových materiálů podle vlastností

vlastnost	třída
pevnost v tlaku	C5,C7,C12,C16,C20,C25,C30, C35,C40,C50,C60,C70,C80
pevnost v tahu za ohybu	F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F10, F15, F20, F30, F40, F50
odolnost proti obrusu [1)]	A22, A15, A12, A9, A6, A3, A1,5
odolnost proti opotřebení valivým zatížením [2)]	RWFC150, RWFC250, RWFC350, RWFC450, RWFC550
tvrdost povrchu [3)]	SH30, SH40, SH50, SH70, SH100, SH150, SH200
modul pružnosti v tahu za ohybu [4)]	E1, E2, E5, E10, E15, E20, E 25, E30, E 35, E 40 ……
přídržnost [5)]	B0,2 , B0,5 , B1,0 , B1,5 , B2,0

[1)] Odolnost proti obrusu zkoušená metodou Böhme – v množství obrouseného materiálu v cm^3/50 cm^2.
[2)] Odolnost proti opotřebení valivým zatížením – hodnoty zatížení v N.
[3)] Tvrdost povrchu potěrových materiálů s hořečnatou maltovinou, určených k namáhání obrusem v N/mm^2, případně pro ostatní potěrové materiály s kamenivem max. 4 mm.
4) Modul pružnosti v tahu za ohybu u potěrových materiálů jiného než asfaltového – hodnoty v kN/mm^2.

5) Povinná deklarace výrobce u pryskyřičných potěrových materiálů – hodnoty v N/mm^2.

Pevnosti potěrů v tlaku a tahu za ohybu jsou stanoveny podle ČSN EN 13892-2.

Potěry lze použít jako „plovoucí“ potěry na dělicích, uzavíracích, těsnicích, izolačních vrstvách tloušťky 35 mm (na měkké izolaci až 40 mm) s pevností v tahu ohybem 2,5 MPa -3,5 MPa. Čím nižší dynamická tuhost izolace, tím vyšší požadavek na pevnost v tahu ohybem. Potěry pro užitkové a obrusné vrstvy mají tloušťku (35-40) mm, pevnost v tahu ohybem 2,5 MPa–4,5 MPa. Podkladní beton by neměl mít větší nerovnost než 5 $mm.m^{-1}$.

Lité potěry
Lité potěry mají rovněž oporu v normě. Jedná se o směsi, které se při optimálním složení při ukládání na stavbě pouze volně rozvolňují pomocí „nivelační hrazdy“. Povrch potěru se při rozvolňování samovolně srovná do roviny. Nerovnost by měla být ve ztvrdlém stavu menší než 2 $mm.m^{-1}$. Potěry vyžadují důsledné dodržování určených podmínek ošetřování. Zejména zabránit vysychání povrchu (v nepříznivých klimatických podmínkách potěr za 8 hodin zcela vyschne).

Jako pojiva se nejčastěji používají:

- cement vyhovující ČSN EN 197-1
- bezvodý síran vápenatý (anhydrit)

K dosažení požadované konzistence je nutné, aby ve směsi bylo dostatečné množství jemných podílů v kombinaci s vhodnou ztekucující, případně stabilizační přísadou. Ke kontrole konzistence litého potěru se používá Hägermannův kužel.

8.6 ZHUTŇOVÁNÍ ČERSTVÉHO BETONU

Zhutňování vibrací
Na čerstvý beton se působí kmitavými pohyby, čímž se uvedou jednotlivé částice do vzájemného pohybu a tak dochází k lepšímu uspořádání zrn kameniva a cementu a vzniká hutnější struktura betonu.

Uložení vibrátoru
Rozlišuje se vibrace přímá (vibrátor je ve styku s čerstvým betonem) - ponorná nebo povrchová, vibrace nepřímá (na čerstvý beton působí kmitání formy nebo bednění) - příložný vibrátor nebo vibrační stůl, příp. podložka.

Používané způsoby hutnění betonu v závislosti na konzistenci betonu:
- dusání - tuhá (C1)
- povrchová vibrace - málo měkká (C1 - C2)
- vnitřní ponorná vibrace - měkká (C2)
- příložná vibrace na bednění - velmi měkká až měkká (C2 - C3)
- propichování - velmi měkká (S4, F4)

Ponorná vibrace
- průměr hrušky vibrátoru (30–100) mm
- vzdálenost sousedních vpichů vibrátoru nesmí přesáhnout 1,4 násobku viditelného poloměru účinnosti vibrátoru
- rychlost ponořování a vytahování (5–8) $cm.s^{-1}$
- ukládaná vrstva čerstvého betonu (300–500) mm, ponoření vibrátoru do předchozí, již zhutněné vrstvy do cca (100–150) mm
- nejmenší vzdálenost mezi vibrátorem a bedněním cca 200 mm, příliš tuhá konzistence betonu způsobí, že otvory po vytažení vibrátoru se nezacelí
- příliš měkká konzistence betonu umožní rozmísení čerstvého betonu a při velmi dlouhé době může docházet k nasávání vzduchu do směsi
- lze dosáhnout zhutnění do 3 % obsahu vzduchu v betonu

Povrchová vibrace
- vibrační lištou na povrchu betonu
- použití pro plastické a málo měkké betony (konzistence cca S 1–S 2)
- obvyklá frekvence (50–100) Hz, směrodatné zrychlení (2–10) g
- doba hutnění záleží na chování betonu, obvykle cca 60 s při 50 Hz nebo cca 30 s při 100 Hz
- posun vibrátoru cca (0,5–5) $m.s^{-1}$

Příložná horizontální vibrace
- vibrátor a bednění nebo forma tvoří jeden celek
- vyžaduje dostatečnou tuhost bednění
- použití pro málo měkké betony (cca konzistence S 2–S 3)
- obvyklá frekvence 50 - 150 Hz, zrychlení na naplněné formě cca (2–3) g
- účinnost podle tuhosti formy do hloubky cca 300 mm
- rozmístění vibrátorů po formě ve vzdálenosti cca (1,5–2,5) m od sebe
- maximální doba hutnění cca 5 minut

Vertikální spodní vibrace
- použití pro tuhé až málo měkké betony (cca konzistence C 1, S 1–S 2)
- ve výrobě dílců hutnění na podložkách
- usměrněná vibrace frekvence (25–250) Hz a zrychlení (2–4) g na naplněné formě
- doba hutnění podle konstrukce formy a podložky a konzistence betonu cca (10–100) s

Propichování
- pro měkký až tekutý beton (cca konzistence S 3–S 5)
- tyče o průměru (15–25) mm po dlouhé dráze

Dusání
- pro tuhý nebo zavlhlý beton (cca konzistence C 1, S 1)
- max. tloušťka ukládané vrstvy cca (100–150) mm
- doba dusání podle chování směsi cca 2 min.
- vyžaduje krytí výztuže min. 50 mm

9 TVRDNUTÍ BETONU

9.1 TVRDNUTÍ BETONU
9.1.1 Betonování v horkém letním počasí
9.1.2 Betonování v zimě
9.1.3 Betonování masivních konstrukcí
9.2 OŠETŘOVÁNÍ BETONU
9.3 ODBEDŇOVÁNÍ A ODFORMOVÁNÍ
9.3.1 Odbedňování monolitických konstrukcí
9.3.2 Odformování dílců

9.1 TVRDNUTÍ BETONU

V technologické praxi rozlišujeme tři rozdílné rychlosti nárůstu počátečních pevností betonu:
1. normové podmínky tvrdnutí betonu při 20±2 °C, relativní vlhkosti >90% nebo uložení ve vodě

2. zpomalené tvrdnutí s použitím retardačních přísad nebo tvrdnutí při nižší teplotě než 15 °C

3. urychlené tvrdnutí betonu (označované UTB), které lze docílit některým opatřením:
- zvýšenou teplotou betonu
- chemickými přísadami - urychlovači tvrdnutí
- použitím cementu s označením R
- složením betonu a jeho zpracováním (nízký vodní součinitel, tuhá konzistence)
- tepelnou izolací ocelových forem a přikrytím povrchu betonu izolační fólií

Doporučená složení betonu pro vývoj pevnosti betonu

vývoj pevnosti	vodní součinitel	druh cementu
rychlý	<0,5	42,5 R; 52,5 N/R
střední	0,5-0,6 <0,5	42,5 R 32,5 R; 42,5
pomalý, velmi pomalý	vše ostatní	ostatní

Pro stanovení doby ošetřování betonu může být uvedena informace o průběhu nárůstu pevnosti betonu buď údaji podle tabulky 12 ČSN EN 206-1, nebo křivkou průběhu nárůstu pevnosti při 20 °C v době mezi 2 dny a 28 dny.

Průběh nárůstu pevnosti betonu při 20 °C

průběh nárůstu pevnosti	předpokládaný pevnostní součinitel $f_{cm,2} / f_{cm,28}$
rychlý	≥0,5
střední	≥ 0,3 až < 0,5
pomalý	≥ 0,15 až < 0,3
velmi pomalý	< 0,15

Pevnostní součinitel charakterizuje průběh nárůstu pevnosti betonu a je vyjádřen poměrem průměrné pevnosti v tlaku po 2 dnech ($f_{cm,2}$) k průměrné pevnosti v tlaku po 28 dnech ($f_{cm,28}$). Stanoví se při průkazních zkouškách nebo je založen na známých vlastnostech betonu srovnatelného složení. Pro tyto průkazní zkoušky a stanovení pevnosti musí být zkušební tělesa odebrána, vyrobena, ošetřována a zkoušena podle ČSN EN 12350-1, ČSN EN 12390-1, ČSN EN 12390-2 a ČSN EN 12390-3.

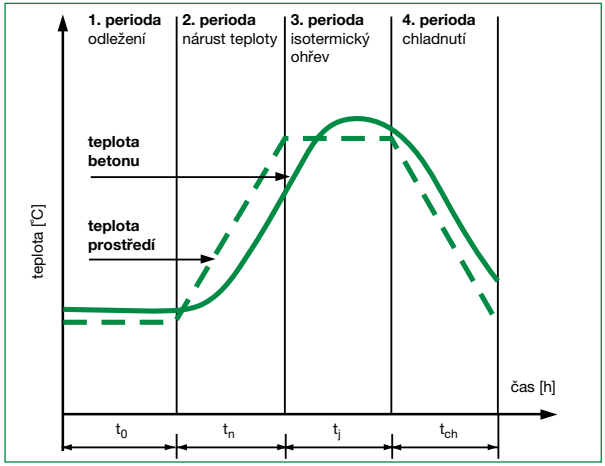
Vyšší teploty při tvrdnutí betonu používáme k urychlování tvrdnutí betonu (UTB), zejména při výrobě dílců a betonového zboží. Za vyšší teploty se považují teploty nad 30°C. Vyšší teplota urychluje hydrataci cementu a ovlivňuje pórovitou strukturu cementového kamene, která je způsobena obsahem vody a vzduchu. Voda a vzduch se zvyšováním teploty rozdílně roztahují a tak vzniká různé napětí, které může být příčinou vzniku trhlinek. V teplotním poli pórovitého prostředí migruje vlhkost a nerovnoměrné rozdělení vody vede k rozdílným stupňům hydratace na povrchu částic cementu. Celý proces ohřívání a ochlazování betonu je doprovázen teplotní roztažností, která při rozdílných součinitelích teplotní roztažnosti složek betonu ovlivňuje výsledné pevnosti betonu.

Režim proteplování betonu
Vlastnosti proteplovaného betonu jsou ovlivněny částečným porušením struktury. Většinou dochází ke snížení pevnosti proti betonu tvrdnoucímu v normálních podmínkách. Snížení pevnosti se výrazněji projevuje u pevnosti v tahu, než u pevnosti v tlaku, a zejména při rychlých změnách teploty (více jak 20°C.h^{-1}) a vyšších teplotách proteplování (nad 80°C).

Normový režim proteplování platí pro betony umístěné v jakémkoli prostředí, kromě suchého prostředí:
- teplota do 3 hodin od zamíchání nesmí překročit 30 °C,
- teplota do 4 hodin nemá překročit 40 °C,
- maximální teplota prohřevu nesmí překročit 60 °C,
- dovolený nárůst teploty je maximálně 20 °C za hodinu,
- dovolený pokles teploty při chladnutí nejvýše rychlostí 10 °C za hodinu.

Režim proteplování je předepsaná a vyzkoušená závislost regulované teploty betonu (většinou však prostředí) v čase. Rozděluje se do čtyř period, které jsou definovány teplotou T [°C] a dobou t [h]:

Režim proteplování betonu



9.1.1 Betonování v horkém letním počasí

Při vyšších letních teplotách dochází k rychlejšímu tuhnutí a tvrdnutí betonu, k intenzivnějšímu odpařování vody z povrchu betonu a mohou vznikat v betonu trhlinky. Doba zpracování betonu se výrazně zkracuje. Přidávání vody k tuhnoucímu betonu je nepřípustné, má za následek výrazný pokles výsledných pevností. Teplota ukládaného betonu nemá překročit teplotu 27 °C. Toto omezení neplatí, pokud byly provedeny průkazní zkoušky zaměřené na vyšší teplotu betonu a byla prokázána dostatečná doba zpracovatelnosti, požadovaný obsah vzduchu, charakteristika vzduchových pórů a reálnost dosažení všech předepsaných vlastností ztvrdlého betonu.

Doporučená doba zpracování betonu při vyšších teplotách v minutách

teplota [°C]	konzistence		
	velmi tuhá C1	tuhá až měkká S2 – S3	tekutá S4 / F4
20	35	50	35
30	30	40	30
45	25	30	25
60	20	25	20

Při betonování se uplatňují následující opatření, buď jednotlivě, nebo ve vzájemném spojení:

- omezit působení přímých slunečních paprsků na kamenivo, strojní zařízení a beton,
- dávkovat do míchačky studené kamenivo (uložené ve stínu) a vodu,
- používat cementy s nízkým hydratačním teplem (např. CEM II a CEM III),
- používat zpomalovací přísady,
- posunout betonáž na časné ranní hodiny nebo betonovat v noci,
- upravit technologický postup ukládání betonu tak, aby byl vystaven slunečnímu záření a účinkům teplého vzduchu co možná nejmenší povrch.

Vliv teploty jednotlivých složek na teplotu čerstvého betonu je závislý na celkovém množství, teplotě a měrné tepelné kapacitě složky. U typických receptur má největší vliv na teplotu čerstvého betonu použité kamenivo. V následujícím příkladu postačuje k dosažení nižší teploty čerstvého betonu o jeden °C ochladit kamenivo o 1,5 °C, zatímco vodu by bylo nutné ochladit o 8,1 °C, cement o 8,3 °C a popílek dokonce o 45,5 °C.

složka	dávka dle receptury [kg.m^{-3}]	skutečná dávka [kg.m^{-3}]	měrná tepelná kapacita [kJ.kg^{-1}.K^{-1}]	teplota [°C]	x [1] [°C]	1/x [2] [°C]
cement	360	360	0,920	45	0,12	8,3
kamenivo	1699	1750			0,66	1,5
- drobné (5% vlhkost)	850	892	0,960	25	0,36	2,8
- hrubé (1% vlhkost)	850	858	0,920	25	0,30	3,4
popílek	60	60	1,010	30	0,02	45,5
voda	132	81	4,184	15	0,12	8,1

1) O kolik stoupne teplota čerstvého betonu, bude-li teplota složky vyšší o 1°C?
2) O kolik °C je nutné ochladit složku, aby bylo dosaženo o 1°C nižší teploty čerstvého betonu?

Krajním opatřením v předcházení vzniklých škod technicky nezajištěné betonáže v horkém letním počasí je její odložení.

9.1.2 Betonování v zimě

Z hlediska klimatu rozlišujeme počasí se silnými mrazy (< -10°C) a dlouhým mrazivým obdobím a počasí s mírnými, krátce trvajícími mrazy (0°C až -10°C). V prvním případě je nutno vedle aktivní ochrany provádět ještě intenzivní pasivní ochranu betonové konstrukce, anebo pokud je to možné, betonáž neprovádět. V druhém případě postačují aktivní metody ochrany a ochránit beton před ztrátami hydratačního tepla.

Příčiny problémů zimního betonování

1. Zpomalený vývoj pevnosti betonu. Hydratace se výrazně zpomaluje při teplotě nižší než 5°C a při teplotách pod 0°C se téměř zastavuje.

Vývoj pevnosti betonu v % normové 28 denní pevnosti

pevnostní třída cementu	venkovní teplota +20°C			venkovní teplota +5°C		
	3d	7d	28d	3d	7d	28d
22,5	30-50	45-65	100	10-15	20-40	70-80
32,5	45-60	55-70	100	20-45	35-60	80-85
42,5	55-65	70-80	100	40-50	50-65	85-95

2. Tvorba ledu ve struktuře betonu. Objem vody se přechodem do tuhého skupenství zvětšuje o 9 %. Beton je třeba v ranném stadiu tvrdnutí chránit do té doby, než dosáhne minimální pevnosti. Tuto minimální pevnost nazýváme zmrazovací pevností R_Z, její velikost je doporučena v mezích od 5 do 15 MPa. Pro vícenásobné zmrazování a rozmrazování je nedostatečná. Vyjádřením hodnoty vzrůstající pevnosti betonu R_B si lze přiblížit procesy, které mají vliv na kvalitu betonové konstrukce.

- **$R_B \leq 0{,}1$ MPa.** Hydratace prakticky ještě nezačala a při teplotách pod bodem mrazu hydratace ustává. Zvýší-li se později teplota nad 5°C, hydratace nerušeně pokračuje a prakticky nedojde k porušení struktury a snížení konečných pevností.
- **R_Z (= 5 MPa) $> R_B > 0{,}1$ MPa.** Působením záporných teplot a vytvořením ledu ve struktuře betonu dojde k destrukci, poruší se struktura cementového kamene, vzniknou trhlinky a betonová konstrukce je znehodnocena, nedosáhne požadovaných pevností ani v budoucnu.
- **$R_Z < R_B < R_{min}$ (12-15 MPa).** Tvrdnoucí beton může i jedenkrát zmrznout bez výraznějšího porušení struktury nebo snížení ko-

nečných pevností. Beton v tomto stadiu nárůstu pevnosti však není odolný k několika zmrazovacím cyklům.

3. Sníh a led v bednění a na výztuži. Před betonáží je nutné velmi pečlivě odstranit případný do bednění napadaný sníh a led, nejlépe vysušením horkým vzduchem (méně vhodná je pára). Ocelovou výztuž (pruty ø ≥25 mm a zámečnické vložky) rovněž očistit od ledu a zahřát ji na teplotu alespoň 0°C. V žádném případě nebetonovat na zmrzlou a zledovatělou pracovní spáru.

4. Teplotní diference v průřezu konstrukce. Velmi účinnou ochranou betonu před zmrznutím je využívání hydratačního tepla cementu. Nebezpečným obdobím je odbedňování a zkušenostmi je prokázáno, že rozdíl teplot mezi středem konstrukce a vnějším povrchem nemá překročit 15°C, jinak dojde ke vzniku poruch.

Doporučení pro betonáž v zimě:

- zvýšit obsah cementu, použít cement CEM I vyšší pevnostní třídy (42,5 R; 52,5 R),
- snížit vodní součinitel použitím plastifikátorů,
- použití přísad urychlujících tvrdnutí betonu,
- udržet teplotu čerstvého betonu po uložení alespoň +5°C po dobu 72 hod. (do teploty prostředí -3°C) resp. 10 °C (při teplotách prostředí pod -3°C),
- u transportbetonu dodržet teplotu čerstvého betonu v okamžiku dodávky na stavbu nejméně 10°C,
- chránit beton před mrazem až do dosažení zmrazovací pevnosti R_Z.

Tepelná izolace bednění

Tímto opatřením se snižuje rychlost ochlazování čerstvého betonu, který má určitou teplotu, a cement obsažený v betonu vyvíjí hydratační teplo. Tepelnou izolaci je třeba navrhnout s ohledem na dobu ochrany betonu, než dosáhne potřebné zmrazovací pevnosti R_Z, s ohledem na venkovní teploty a dobu působení mrazu, s ohledem na množství vyvinutého hydratačního tepla a vzhledem k rozměrům konstrukce (poměr objemu k povrchu).

Ohřev betonu v bednění

Zahřívání betonu lze provádět vnitřkem konstrukce, přímými nebo nepřímými metodami, a podobně i vně betonové konstrukce přímo či nepřímo.

9.1.3 Betonování masivních konstrukcí

Za masivní konstrukce jsou považovány stavební části, jejichž nejmenší rozměr je větší než 1 m. Uvolňování hydratačního tepla z takové konstrukce je doprovázeno vznikem velkého teplotního spádu mezi středem betonovaného prvku a jeho povrchem. Právě tento teplotní spád může být příčinou vzniku nežádoucích trhlin a je nutné jej v maximální míře eliminovat, aby nepřekročil maximální hodnotu stanovenou výpočtem. K tomu slouží několik základních principů.

- Omezení celkového množství tepla vzniklého hydratací snížením dávky cementu.
- Omezení rychlosti nárůstu teploty betonu použitím cementu s nízkým hydratačním teplem a retardačních přísad.
- Omezení maximální dosažené teploty chlazením vstupních složek a použitím cementu s pomalým vývinem hydratačního tepla.
- Použití maximálního možného zrna kameniva (s ohledem na vyztužení a možnosti ukládání).
- Odbedňovat co nejpozději. Bednění sice zpomaluje uvolňování tepla z konstrukce do okolí, ovšem právě díky tomu snižuje teplotní spád v konstrukci a urychluje tvrdnutí betonu.
- Umístit do místa s předpokládanou nejvyšší teplotou (největší vzdálenost k povrchu konstrukce) teplotní čidlo a průběžně porovnávat naměřenou teplotu s teplotou povrchu.

■ Pokud by to nemělo negativní vliv na konečné užitné vlastnosti, zlepšit tepelnou vodivost konstrukce od jejího středu k povrchu vhodným uspořádáním ocelové výztuže.

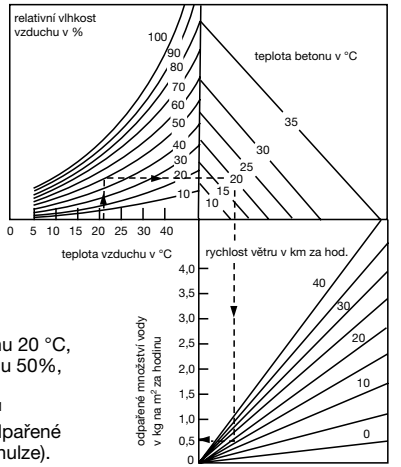
9.2 OŠETŘOVÁNÍ BETONU

Cílem ošetřování betonu je dosažení co největší pevnosti betonu, využitím hydratace cementu a nerušené tvorby struktury cementového kamene. Je nutno omezit nežádoucí tahová nebo tlaková napětí ve struktuře betonu, která mohou vzniknout rychlým vysušením povrchu betonu nebo jeho zmrznutím. Zhoršení kvality konstrukce může nastat také předčasným odbedněním nebo odformováním. Ošetřování a ochrana povrchu betonu začíná co nejdříve po vytvarování a zhutnění betonu.
Vlhké ošetřování zajišťuje dostatečnou hydrataci cementu na povrchu betonu. Vysušení povrchu snižuje pevnost betonu, způsobuje smršťovací trhlinky, vznikají deformace, které snižují trvanlivost betonu. Povrch betonu musí být udržován vlhký nebo se musí zamezit odpařování vody z jeho povrchu.

Ochrana se provádí metodami:
■ ponecháním betonu v bednění delší dobu, zvláště v horkém počasí,
■ pravidelným mlžením vodou v krátkých intervalech (nevystavovat povrch betonu přímému proudu vody a zamezit možnému vymývání pojiva z povrchové vrstvy),
■ překrytím povrchu betonu foliemi nebo vlhkými tkaninami,
■ nástřikem parotěsnou látkou (většinou emulze na bázi parafinů), která vytvoří ochranný film zamezující odpařování vody; film se po několika týdnech rozpadne vlivem UV záření.

Množství odpařené vody z povrchu betonu závisí na povětrnostních podmínkách: teplotě a relativní vlhkosti vzduchu a rychlosti větru. Množství odpařené vody lze odečíst z nomogramu.

Odpařování vody z povrchu betonu v závislosti na počasí



Příklad: teplota vzduchu 20 °C, relativní vlhkost vzduchu 50%, teplota betonu 20 °C, rychlost větru 20 km.h^{-1} a potom je množství odpařené vody 0,6 kg.m^{-2}.h^{-1} (Schulze).

Pro betony do stupně vlivu prostředí SVP X0 a XC1 požaduje ČSN P ENV 13670-1 minimální dobu ošetřování, při teplotě povrchu betonu vyšší než 5 °C v délce 12 hodin. Pro SVP jiné než X0 a XC1 pak předepisuje takovou dobu ošetřování, dokud pevnost betonu povrchové vrstvy nedosáhne 50 % stanovené pevnosti v tlaku. Je možno se řídit i podle hodnot předepsaných v tabulce E.1 v příloze této normy.

Nejkratší doba ošetřování betonu pro SVP jiné než X0 a XC1 (ČSN P ENV 13670-1)

teplota povrchu betonu (t) v °C	nejkratší doba ošetřování ve dnech [1) 2)] vývoj pevnosti betonu (f_{cm2}/f_{cm28}) [4)]			
	rychlý r ≥ 0,50	střední r = 0,30	pomalý r = 0,15	velmi pomalý r < 0,15
t ≥ 25	1	1,5	2	3
25 > t ≥ 15	1	2	3	5
15 > t ≥ 10	2	4	7	10
10 > t ≥ 5 [3)]	3	6	10	15

[1)] Plus doba tuhnutí přesahující 5 hodin.
[2)] Mezi hodnotami lze interpolovat.
[3)] Pro teploty nižší než 5 °C se může doba prodloužit o dobu trvání teploty nižší než 5 °C.
[4)] Charakteristika vývoje pevnosti betonu podle ČSN EN 206-1.

Praktické rady pro ošetřování betonu podle povětrnostních podmínek:
1. Běžné počasí s teplotou 20 ±5 °C, relativní vlhkostí nad 50 %, střední sluneční svit nebo střední vítr. Po dobu tuhnutí asi 12 až 24 hodin, ale minimálně 6 hodin, zakrýt povrch betonu vodozadržující textilií. Při tvrdnutí betonu udržovat povrch vlhký nejméně 3 dny nebo nastříkat parotěsnou látku.
2. Horké počasí s teplotami nad 25 °C, relativní vlhkostí do 50 %, s intenzivním slunečním svitem nebo větrným počasím. Po dobu tuhnutí stejně jako v 1. případě. Při tvrdnutí betonu udržovat povrch betonu stále vlhký nebo zakrytý foliemi, lze také nasypat na povrch 5 cm vrstvu vlhkého písku. Doba ošetřování nejméně 4-7 dnů, desky až 14 dnů, 10 dnů je postříkávat mlhovinou vody.
3. Studené a vlhké počasí s teplotami kolem 15 °C, vysokou relativní vlhkostí vzduchu (ϕ>0,8), slunce nesvítí a je většinou bezvětří. Po dobu tuhnutí a tvrdnutí betonu, po dobu nejméně 3 dnů zakrýt povrch plastovými foliemi nebo světlým, nepropustným papírem.

Další možností je nástřik povrchu parotěsnou látkou.
4. Mrazivé počasí s teplotami (-5 až 5) °C. Doba ošetřování minimálně týden. Zabránit vzniku kaluží vody na povrchu betonu.

Minimální doba tvrdnutí betonu pro dosažení pevnosti v tlaku 5 MPa

pevnostní třída cementu	vodní součinitel	doba tvrdnutí [dny] při teplotě betonu [°C]	
		5 °C	20 °C
52,5 R; 42,5 R	0,4	0,5	0,25
52,5 N	0,6	0,8	0,5
32,5 R	0,4	1	0,5
42,5 N	0,6	2	1
32,5 N	0,4	2	1
	0,6	5	2

9.3 ODBEDŇOVÁNÍ A ODFORMOVÁNÍ

9.3.1 Odbedňování monolitických konstrukcí
Betonovou konstrukci lze odbednit, když dosáhla potřebné pevnosti k přenesení bez deformací předpokládaného maximálního zatížení.

Podle náročnosti betonové konstrukce rozlišujeme:
- odbednění bez průkazu pevnosti betonu (základové konstrukce, boční díly bednění nezatěžované konstrukce apod.),
- odbednění s průkazem pevnosti betonu (bednění průvlaků, desek, stropů),
- odbedňování v zimních podmínkách.

Předčasným odbedněním se zvyšuje dotvarování konstrukce, dochází k poškozování hran a rohů. Minimální pevnost betonu, aniž by došlo k poškozování hran konstrukce, je 3 MPa (u dřevěného bednění min. 5 MPa). Doba odbedňování ovlivňuje ekonomii vy-

užití systémového bednění, ale na druhé straně brzké odbednění může znehodnotit celou konstrukci. Doporučuje se odbedňovat podhledové bednění desek po dosažení (60–70) % návrhové pevnosti betonu, stěny lze odbednit již při poloviční hodnotě charakteristické pevnosti dané třídy betonu. Pohledové plochy je vhodné po odbednění opatřit ochranou vrstvou z PE fólie.

Orientační doba odbedňování konstrukce ve dnech při teplotách nad 5 °C

pevnostní třída cementu	32,5 N	32,5 R ; 42,5 N	42,5 R ; 52,5 N
boční bednění, sloupy, stěny	3	2	1
stropy o rozpětí do 4,5 m nad 4,5 m	8 21	4 8	3 6

9.3.2 Odformování dílců

Ve výrobnách dílců je potřeba z ekonomických důvodů v krátkém čase po vyrobení s dílci manipulovat a expedovat je. **Manipulační pevnost R_M** je pevnost betonu, jakou má dílec, s kterým lze bez poškození manipulovat (bez formy a podložky) a dílec lze vyvést na venkovní skládku. **Expediční pevnost R_E** je pevnost betonu umožňující vyvážku dílce ze skládky závodu na staveniště.

Doporučené manipulační pevnosti dílců:

Otevření bočnice (1–3) MPa, přemisťování hmotnějších dílců (7–9) MPa, přeprava tenkostěnných dílců (9–11) MPa, odformování z vertikální baterie (dílce jsou stále ve vertikální poloze) 8 MPa. Expediční pevnost R_E = 0,8.RB a montáž dílců na stavbě lze provádět, dosáhne-li pevnost betonu (75 až 90) % charakteristické pevnosti.

Provozní zkušenosti s odformováním dílců:

- odformování dílců neprovádět při teplotách okolí pod 5 °C, pokud jejich teplota neklesla na (30–40) °C,
- odformované dílce ponechat na vnitřních skládkách do té doby, pokud nedosáhly alespoň 2/3 normové pevnosti, na skládce je ošetřovat kropením vodou nejvýše o 20 °C teplejší, než je teplota dílce,
- dobu pobytu dílce na vnitřní skládce určit individuálně podle ročního období, může být 4 h, ale také až 2 dny.

10 VLASTNOSTI BETONU

10.1 NORMY NA ZKOUŠENÍ BETONU
10.2 PEVNOST BETONU
10.3 ZKOUŠENÍ PEVNOSTI BETONU
10.4 DEFORMACE BETONU
10.4.1 Technologické ovlivňování dotvarování betonu
10.4.2 Smršťování betonu
10.5 VODOTĚSNOST BETONU
10.6 TRVANLIVOST BETONU
10.6.1 Mrazuvzdornost betonu
10.6.2 Obrusnost betonu
10.6.3 Chemická koroze betonu
10.6.4 Koroze oceli v betonu

10.1 NORMY NA ZKOUŠENÍ BETONU

ČSN EN 12350-1 Zkoušení čerstvého betonu - Část 1: Odběr vzorků

ČSN EN 12350-2 Zkoušení čerstvého betonu - Část 2: Zkouška sednutím

ČSN EN 12350-3 Zkoušení čerstvého betonu - Část 3: Zkouška Vebe

ČSN EN 12350-4 Zkoušení čerstvého betonu - Část 4: Stupeň zhutnitelnosti

ČSN EN 12350-5 Zkoušení čerstvého betonu - Část 5: Zkouška rozlitím

ČSN EN 12350-6 Zkoušení čerstvého betonu - Část 6: Objemová hmotnost

ČSN EN 12350-7 Zkoušení čerstvého betonu - Část 7: Obsah vzduchu - Tlakové metody

ČSN EN 12390-1 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 1: Tvar, rozměry a jiné požadavky na zkušební tělesa a formy

ČSN EN 12390-2 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 2: Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušky pevnosti

ČSN EN 12390-3 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles

ČSN EN 12390-4 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 4: Pevnost v tlaku - Požadavky na zkušební lisy

ČSN EN 12390-5 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles

ČSN EN 12390-6 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 6: Pevnost v příčném tahu zkušebních těles

ČSN EN 12390-7 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu

ČSN EN 12390-8 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou

ČSN EN 12504-1 Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 1: Vývrty - Odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku

ČSN EN 12504-2 Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 2: Nedestruktivní zkoušení – Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem

ČSN EN 12504-3 Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 3: Stanovení síly na vytržení

ČSN EN 12504-4 Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 4: Stanovení rychlostí šíření ultrazvukového impulsu

ČSN EN 13791 Posouzení pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných dílcích

ISO 6784 Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku

ČSN 73 1372 Rezonanční metoda stanovení dynamického modulu pružnosti

ČSN 73 1327 Stanovení sorpčních vlastností betonu

ČSN 73 1320 Stanovení objemových změn betonu

ČSN 73 1326 Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích prostředků

ČSN 73 1340 Betonové konstrukce. Zkoušení korozní odolnosti betonu. Všeobecné požadavky

10.2 PEVNOST BETONU

Beton vzdoruje rozdílnou měrou všem druhům napětí, která v betonové konstrukci vznikají. Beton je křehká látka, která vzdoruje napětím v tahu a ve smyku podstatně méně, než pevnosti v tlaku.

Rozlišujeme:
- pevnost v tlaku (prostém R_B, v sevřeném stavu, v soustředěném),
- pevnost v tahu (prostém $R\tau$, ohybem R_{TO}, příčném R_{PT}),

■ pevnost ve smyku (střihu Rτ, propichování) a v kroucení.

Vzájemné vztahy mezi druhy pevností betonu mají empirický charakter a vyplývají z regresní analýzy mnoha výsledků:

■ pevnost v tlaku
$R_B = (5 \div 8) \cdot R_{TO}$ [N/mm^2]
$R_B = (10 \div 13) \cdot R\tau$ [N/mm^2]

■ pevnost v prostém tahu
$R\tau \cong 0{,}232 \cdot R_B^{2/3}$ [N/mm2]
$R\tau = 0{,}8 \cdot R\tau$ [N/mm^2]

■ pevnost v příčném tahu
$R_{PT} \cong 0{,}255 \cdot R_B^{2/3}$ [N/mm^2]
■ pevnost v tahu ohybem
$R_{TO} \cong 0{,}371 \cdot R_B^{2/3}$ [N/mm2]
$R_{TO} = 2 \cdot R_T = 1{,}7 \cdot R\tau$ [N/mm^2]

■ pevnost ve smyku
$R\tau \cong 0{,}38 \cdot R_B$ [N/mm^2]

R_B - pevnost betonu v tlaku [N/mm^2] na krychlích o hraně 150 mm; v ČSN EN 206-1 značená jako $f_{c,cube}$

Poměr pevnosti v tahu i v tahu ohybem k pevnosti v tlaku se u vyšší pevnosti betonu snižuje, podobně se tento poměr snižuje i stářím betonu.

Poměry pevnosti v tlaku R_B k pevnosti v tahu ohybem R_{TO}

pevnost betonu v tlaku R_B [N/mm^2]	poměr pevností betonu R_B / R_{TO}	
	s těženým kamenivem	s drceným kamenivem
10	5,0	4,0
20	5,9	4,7
30	6,8	5,4
40	7,5	6,0
50	8,3	6,8
60	9,0	7,5

Vliv stáří betonu ve dnech na jeho pevnost v %

pevnostní třída cementu	3 dny	7 dnů	28 dnů	180 dnů	1 rok
32,5	45-65	60-75	100	105-125	105-130
42,5 a 52,5	55-70	70-80	100	105-115	105-120

Platí pro cementy CEM I a CEM II za normálních podmínek zrání betonu.

Technologické ovlivňování pevnosti betonu
Pevnost betonu prakticky určuje kvalita cementového kamene (zejména vodní součinitel), podíl cementového kamene a pevnost (soudržnost) rozhraní vnitřního povrchu betonu (povrchu kameniva).

Čím vyšší vodní součinitel, tím lze očekávat nižší pevnost betonu. Množství cementového kamene má být takové, aby zaplnilo mezery mezi zrny kameniva a obalilo povrch zrn kameniva tenkou vrstvou. Nadbytek cementového tmele (poměr objemu cementového tmele k mezerovitosti kameniva) má být minimálně 1,05 a maximálně 1,3 až 1,5. Je žádoucí co největší podíl kameniva takové granulometrie, která vykazuje minimální mezerovitost. Rozhodující je vlhkost a teplota prostředí, ve kterém beton tvrdne.

10.3 ZKOUŠENÍ PEVNOSTI BETONU

ČSN EN 12390-1 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 1: Tvar, rozměry a jiné požadavky na zkušební tělesa a formy

ČSN EN 12390-2 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 2: Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušky pevnosti

Normy uvádějí pojmy: dávka (objem betonu, z něhož se požaduje odběr vzorku) a vzorek reprezentující dávku, který obvykle sestává nejméně ze tří dílčích vzorků (= množství jednorázově odebraného čerstvého betonu). Objem musí být 1,5 násobkem potřebného množství a nejméně 0,02 m^3. Doba mezi odběrem a plněním forem má být co nejkratší.

Používané formy musí být vodotěsné z nenasákavého materiálu a lze použít plnicích nástavců. Formy se plní nejméně ve dvou vrstvách. Zhutnění čerstvého betonu ve formě lze provést třemi způsoby:
- Vibračním stolem s minimální frekvencí budiče vibrace f = 40 Hz, forma musí být přitlačena ke stolu a vibruje se tak dlouho, až se na povrchu betonu objeví tenká, souvislá vrstva cementového tmele. Používá se pro konzistence S1, S2, V0, V1, V2, C0, C1, C2.
- Ponorným vibrátorem s minimální frekvencí f = 120 Hz o průměru hrušky vibrátoru maximálně 1/4 nejmenšího rozměru zkušebního tělesa, využívá se plnícího nástavce formy. Vibrátor se ponořuje svisle do hloubky asi 20 mm od dna formy. Používá se pro konzistence S2, V2, C2.

- Ručně, propichovací tyčí o průměru 16 mm, délky asi 600 mm, na jednom konci půlkruhovitě zaoblené. Propichuje se zaobleným koncem do celé hloubky předchozí vrstvy čerstvého betonu vždy jedním vpichem na každých 10 cm^2. Používá se pro konzistence S3, S4, V3, V4, C3.

Betony označované jako samozhutňující se do forem nalévají pouze v jedné vrstvě bez jakéhokoliv následného hutnění.
Zkušební tělesa jsou ponechána ve formě v prostředí o teplotě 20 °C ±5 °C minimálně 16 hodin a nejvíce 3 dny. Je nutné zabránit otřesům, vibracím a vysoušení. Pak se vzorky uloží do vody o teplotě 20 °C ±2 °C nebo do prostředí s relativní vlhkostí vzduchu větší nebo rovnou 95 % a teplotě 20 °C ±2 °C.
Poznámka: Beton uložený v prostředí s relativní vlhkostí asi 60 % nikdy nedosáhne potřebné pevnosti, uvádí se jen asi 80 - 90 % proti uložení v normových podmínkách.
Norma definuje jmenovitý rozměr d zkušebních těles s povolenou mezní odchylkou rovinnosti tlačných ploch max ±0,0005 d, mezní odchylkou přímosti přímek válců pro zkoušku příčným tahem max ±0,001 d, toleranci úhlu mezi dvěma protilehlými plochami (90 °C ±0,5 °C). Zatěžovací plochu lze vypočítat ze jmenovitých rozměrů zkušebního tělesa, pokud se skutečný rozměr neliší více jak o 1%, jinak se vypočítává skutečná plocha ze změřených rozměrů, měřených s přesností na 1 mm. Použitý jmenovitý rozměr tělesa má být nejméně čtyřnásobkem největšího zrna kameniva.

Základní rozměry zkušebních těles:
- krychle d = 150 mm, pro zkoušení pevnosti v tlaku a v příčném tahu
- válce d = 150 mm a výšky = 2d, pro zkoušení pevnosti v tlaku, v prostém a v příčném tahu
- hranoly d = 150 mm a délky = 4d, pro zkoušení pevnosti v tahu ohybem (zlomky lze použít pro pevnost v tlaku a v příčném tahu)
- ostatní použitelné rozměry: d = 100, 200, 250, 300 mm (u hranolů i délka = 5d)

ČSN EN 12390-3 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles

- změření rozměrů zkušebního tělesa s přesností 1 mm a případná úprava tělesa, zkušební těleso musí vyhovovat rozměry ČSN EN 12390-1
- zatěžování v lise rychlostí od (0,4 – 0,8) MPa/s
- odečtení maximálního zatížení při porušení tělesa
- stanovení pevnosti v tlaku s přesností 0,1 $N.mm^{-2}$
- posouzení způsobu porušení zkušebních těles

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad [MPa]$$

ČSN EN 12504-2 Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 2: Nedestruktivní zkoušení - Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem

Nedestruktivní zkoušky betonu nejsou náhradními metodami zkoušení pevnosti betonu. Pevnost však může být odhadována, pokud se dostatečně stanoví vztahy mezi pevností a výslednými hodnotami nedestruktivní metody (stupnicí na tvrdoměru, rychlost impulsu ultrazvukové metody). Určování přesných hodnot pevnosti betonu z tvrdosti se nedoporučuje.
Tvrdoměr sestává z ocelového úderného zařízení a pružiny, která vymršťuje ocelový razník proti povrchu betonu. Pružinové kladívko se pohybuje stanovenou a reprodukovatelnou rychlostí. Velikost odrazu razníku se měří na stupnici umístěné v pouzdru tvrdoměru. Každý typ a velikost tvrdoměru se má používat pro druh a pevnostní třídu betonu, pro který je vhodný. Nejběžněji se používá tvrdoměr Schmidt typ N. Hladké povrchy nebo povrchy uhlazené hladítkem se mohou zkoušet bez broušení. Ostatní hrubé, měkké povrchy nebo povrchy s uvolněnou maltou je nutné upravit brusným kamenem.

Zkušební postup:
Před sérií zkoušek a po zkoušení se ověří tvrdoměr na kalibrační kovadlině. Tvrdoměr se přiloží kolmo na povrch betonu, plynule se zvyšuje tlak na razník až do úderu kladívka. Na každé zkušební ploše se provede min. 9 měření, která jsou od sebe vzdálena min. 25 mm a jsou vzdálena od hran min. 25 mm. Zaznamená se poloha a směr působení tvrdoměru pro každou sadu měření. Ze všech měření se vypočte aritmetický průměr a výsledek se vyjádří jako celé číslo. Jestliže více než 20 % všech čtení se liší od střední hodnoty o více než 6 jednotek, pak celá sada čtení musí být zamítnuta.

Zkušenosti:
Suchý nebo karbonatovaný beton dává vyšší výsledky tvrdosti než vlhký beton. Obroušený povrch ukazuje vyšší tvrdost než povrchy po odstranění dřevěného bednění. Beton s teplotou do 0 °C může vykazovat velmi vysokou pevnost, podobně výsledky může ovlivnit i teplota kladívka (má být 10 °C). Jednotlivá měření se mohou porovnávat jen tehdy, je-li směr úderu stejný a je-li použito stejného kladívka (kladívka stejného typu a velikosti mohou vykazovat různě zjištěné hodnoty tvrdosti).

10.4 DEFORMACE BETONU

Deformace betonu dělíme na pružné (vratné) a plastické (nevratné). Pružnými jsou deformace charakterizované modulem pružnosti, teplotní dilatace a částečně i smrštění betonu způsobené migrací vlhkosti. Plastickými deformacemi jsou dotvarování betonu způsobené dlouhodobým zatížením a částečně smrštění, které vyvolává hydratace a karbonatace.

Modul pružnosti
Je jedním ze základních parametrů betonu jako stavebního materiálu z hlediska navrhování a užitnosti konstrukce. Vyjadřuje závislost mezi přetvořením a namáháním materiálu. Pro beton je tato závislost lineární pouze v počátku zatěžování, při vyšších napětích není modul pružnosti konstantní, klesá. Při napětí dosahující cca 30 % zlomového napětí začínají vznikat trhlinky a projevují se trvalé (plastické) deformace.

Stanovení modulu pružnosti betonu se provádí destruktivními (měření přetvoření při daném zatížení) a nedestruktivními (ultrazvukovými, rezonančními) metodami. Přesné pracovní postupy stanovení modulu pružnosti jsou uvedeny v příslušných normách (ČSN, ISO, ČSN P ENV).

Modul pružnosti betonu je ovlivněn mnoha činiteli, např. stářím betonu, uložením betonu, objemem cementového tmele v betonu, modulem pružnosti použitého kameniva, prostředím působícím na beton aj. Pružnější materiály mají nižší modul pružnosti.

Dotvarování betonu (creep)
Dotvarováním betonu rozumíme trvalé změny objemu nebo tvaru betonu způsobené dlouhodobým zatížením.

10.4.1 Technologické ovlivňování dotvarování betonu:

- **Druh cementu.** Portlandské cementy vyšších pevností mají malé dotvarování, směsné cementy vykazují velké dotvarování.
- **Obsah cementu.** Předávkování cementu způsobí větší dotvarování, při stejném vodním součiniteli mají betony s nižším obsahem cementu menší dotvarování.
- **Vodní součinitel** má rozhodující význam pro dotvarování, které vzrůstá s dvojmocí vodního součinitele.
- **Druh kameniva.** Dotvarování není ovlivněno vlastnostmi horniny, výhodnější jsou pevné a drcené horniny.
- **Granulometrie kameniva.** Zrnitost v oblasti velmi dobře snižuje dotvarování.
- **Pórovitost.** Čím nižší pórovitost, tím menší dotvarování.
- **Ošetřování betonu.** Nejmenší dotvarování vykazuje beton uložený ve vodě a největší pak uložením v prostředí suchého vzduchu, teplotní změny způsobují zvýšení dotvarování. Tepelné ošetření betonu před jeho zatížením sníží dotvarování až o 30 %.
- **Stáří betonu při zatížení.** Je jedním z významných parametrů ovlivňující dotvarování, čím je beton před zatěžováním starší, tím má menší dotvarování.
- **Stupeň zatížení.** Dotvarování je úměrné napětí asi do 40 % pevnosti betonu, vyšší napětí zvyšují dotvarování.
- **Doba zatížení.** Asi za dva roky je dotvarování ukončeno, po této době se může zvýšit nejvíce o 5 %. Po 28 dnech zatížení se dosáhne asi 1/3 celkového dotvarování.
- **Druh zatížení.** Tlakové nebo tahové napětí vyvolá zhruba stejné dotvarování při stejném stupni zatížení.
- **Velikost zkušebního tělesa (konstrukce).** Se zvětšující se velikostí, snižuje se dotvarování.

10.4.2 Smršťování betonu

Je způsobeno migrací vlhkosti v betonu, hydratací cementu a karbonatací betonu. V jeho důsledku dochází ke vzniku trhlinek, kdy se snižují užitné vlastnosti nejen materiálu, ale i celé konstrukce. Trhliny se mohou vytvořit při smrštění > 2 $mm.m^{-1}$.

Pro omezení smršťování betonu se doporučuje:
- minimalizovat vodní součinitel, s jeho rostoucí hodnotou roste i smrštění betonu, betony s vodním součinitelem w > 0,60 vykazují smrštění nad 1 $mm.m^{-1}$
- použít vhodné příměsi
- použít vlákna (rozptýlenou výztuž) v množství větším než 0,1 % hm. cementového tmelu, která v počáteční fázi tuhnutí a tvrdnutí betonu omezí vznik trhlin v betonu
- ošetřovat beton dostatečně dlouho, tj. zabránit odpařování vody z povrchu betonu např. vlhčením nebo vytvořením parotěsné zábrany nástřikem prostředku pro ošetření čerstvého betonu
- vyloučit teplotní rozdíly mezi podkladem a vrstvou betonu, nelze-li jinak, provést dilatační spáry ve vzdálenostech podle tloušťky a celkové plochy betonu

10.5 VODOTĚSNOST BETONU

Pro odolnost betonu proti působení tlakové vody jsou rozhodující otevřené kapiláry velikosti větší než 10^{-7}m, kterými prochází voda působením tlakového gradientu. Menší póry (mikropóry) průchod vody neumožňují.

Zkouška na odolnost betonu proti působení tlakové vody je prováděna podle ČSN EN 12390-8 Zkoušení ztvrdlého betonu- Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou

Stanovení hloubky průsaku tlakovou vodou. Zkouška se provádí na hranolových tělesech s délkou hrany 150 mm (max. zrno kameniva do 32 mm), 200 mm, 300 mm nebo vývrtech. Poměr výšky k délce hrany se doporučuje větší než 0,5. Stáří betonu je nejméně 28 dnů. Před zkouškou je vhodné stanovit objemovou hmotnost betonu. Zkušební vzorek se upne do zařízení a zatíží tlakem vody. Objeví-li se voda na ploše tělesa, která není vystavena tlaku vody, skutečnost se zaznamená a uváží se platnost výsledku. Po skončení stanovené doby působení tlaku vody se těleso rozlomí v polovině kolmo k povrchu, na který působil vodní tlak. Výsledkem zkoušky je největší dosažená hloubka průsaku s přesností na milimetr.

Technologicky odolnosti betonu proti tlakové vodě (vodotěsnost) ovlivníme:
- hutností a podílem cementového kamene (nízký vodní součinitel, dokonale zhutnění čerstvého betonu, řádným a dlouhodobým ošetřováním betonu),
- použitím hydrofobních přísad nebo příměsí polymerů,
- impregnací betonu nebo jinou vhodnou povrchovou úpravou,
- vodotěsnost je velmi významná vlastnost betonových trub, které musí být vyráběny s vodním součinitelem $w \leq 0,4$.

Vodotěsnost betonu zvýšíme tím, když snížíme množství makrokapilár.

Materiálové parametry betonu

beton	objemová hmotnost [kg.m^{-3}]	vzduchová propustnost ε_m [s]	difuze vodních par δ [s]	tepelná vodivost λ [W.m^{-1}.K^{-1}]
prostý	2100-2300	(1,2-1,4).10^{-9}	0,013.10^{-9}	1,28-,54
železobeton	2300-2500	(1,2-1,4).10^{-9}	0,008.10^{-9}	1,63-1,72
keramzitbeton	700-1700	(1,5-3,6).10^{-4}	(0,013-0,025).10^{-9}	0,3-1,2
lehký beton	do 1000	-	-	0,49
	1000-1200	-	-	0,62
	1200-1400	-	-	0,79
	1400-1600	-	-	1,00
	1600-1800	-	-	1,30
	1800-2000	-	-	1,60

10.6 TRVANLIVOST BETONU

Trvanlivost je časově omezený, relativní pojem, který závisí na době působení fyzikálních a chemických vlivů. Hovoříme o korozi betonu, čímž rozumíme děje, vedoucí k jeho rozrušování cestou chemických pochodů nebo fyzikálními vlivy.

V betonu nebo na jeho povrchu a povrchu ocelové výztuže vznikají různé závady (lom, trhlinky, deformace, odprýskávání, výkvěty, skvrny apod.) způsobené korozními procesy:
- chemickými vlivy (roztoky kyselin a solí, organické sloučeniny, plyny, znečistěné ovzduší, tuhé škodlivé látky),
- fyzikální pochody (teploty pod bodem mrazu, vysoké teploty, mech. otěr),

■ biologické působení organizmů (plísně, mikroorganizmy).
Intenzita působení těchto vlivů závisí na vlastnostech betonu a betonové konstrukce (povrchu a pórovitosti cementového kamene) a na agresivitě prostředí (druhu a koncentraci agresivních látek, teplotě a relativní vlhkosti prostředí a na ostatních vlivech působících na rozhraní beton - prostředí).

V betonu se většinou vyskytují trhlinky, které zvyšují rychlost působení agresivního prostředí. Trhlinky vznikají všude tam, kde lokální napětí v mikrostruktuře betonu překročilo pevnost betonu (cementového kamene). Lokální stav napjatosti je vyvolán vnějšími silami (zatížení, teplota) a vnitřními účinky (smršťování, teplotní roztažnost aj.). Trhlinky o velikosti do 100 μm většinou nesnižují únosnost konstrukce, trhlinky do 50 μm nezhoršují ani vodotěsnost, ale vždy každá trhlinka snižuje trvanlivost betonu. Trhlinky vznikají již při tuhnutí betonu a především po jeho zatvrdnutí.

10.6.1 Mrazuvzdornost betonu

Mrazuvzdorností se rozumí schopnost betonu ve vodou nasyceném stavu odolávat opakovanému zmrazování a rozmrazování.

Mrazuvzdornost betonu závisí na několika činitelích:

■ **Stáří betonu.** Beton postupně získává stále vyšší mrazuvzdornost, jak se zvyšuje jeho pevnost.
■ **Kontakt s vodním prostředím.** Není-li beton nasáklý vodou, pak snižování teploty pod bod mrazu se projeví pouze tepelnými dilatacemi. Pokud na beton působí vodní prostředí, beton nasákne vodou a zmrznutí se projeví objemovými změnami skupenství vody v led, tepelnými dilatacemi a působením hydraulického tlaku.
■ **Pórovitá struktura cementového kamene** je rozhodujícím kritériem mrazuvzdornosti, zejména distribuce pórů zaplněných vodou. Voda zamrzá snižováním teploty postupně od největších kapilár k nejmenším.

■ **Koncentrace roztoku,** který je obsažen v pórovité struktuře cementového kamene. Čím je roztok koncentrovanější, tím je bod tání nižší, beton je odolnější.
■ **Pevnost betonu** musí odolávat napětí, které vznikne zvětšováním objemu vody, přecházející v led (objemová změna o 9 %). Mac Innis stanovil minimální pevnost betonu odpovídající této kritické objemové změně hodnotou $R_B \geq 33{,}5$ MPa.
■ **Provzdušnění betonu** je umělé vytvoření uzavřených vzduchových pórů definované velikosti (< 300 μm) s definovaným rozložením v cementovém kameni. Póry vzniklé provzdušněním, nejsou vodou zaplněny, slouží jako kompenzační prostor pro zvětšování objemu ledu.
■ **Odolnost povrchu betonu proti působení chemickým rozmrazovacím prostředkům** je vlastnost povrchu betonu odolávat zejména působení agresivních posypových solí používaných v zimním období. Odolnost povrchu betonu ovlivňují stejné zásady uvedené u mrazuvzdorného betonu.

10.6.2 Obrusnost betonu

Je závislá především na vlastnostech kameniva a je významná zejména u cementobetonových krytů vozovek nebo u betonové dlažby.

Vlastnosti kameniva z hlediska obrusnosti betonu s pevností v tlaku 52 MPa

obrusnost betonu [%]	druh a vlastnosti kameniva				
	druh	pevnost [MPa]	ohladitelnost [%]	otlukovost [%]	obrus [%]
3,02	čedič	301	0,45-0,53	9-30	0,08
3,44	žula	151	0,48-0,53	13-40	0,10
8,10	křemenec	220	0,49-0,51	14-30	0,10
5,52	vápenec	80-160	0,39-0,57	24-32	0,53
4,0-5,2	pískovec	110-132	0,64	34	0,45-2,75

Požární odolnost vybraných betonových konstrukcí podle jejich tloušťky

požární odolnost [min.]	15	30	90	75	60	10	45	100
stěna z prostého betonu	80	90	70	15	60	110	100	80
stěna ze železobetonu	50	20	90	135	120	100	30	120
železobetonový strop	-	155	140	120	40	180	200	170
krytí výztuže stropu [mm]	-	150	55	240	240	200	175	65

10.6.3 Chemická koroze betonu

Beton je chemicky napadán kyselými činidly podle jejich koncentrace a skupenství. Podle stupně agresivity prostředí se musí navrhovat i složení betonu, tak jak je stanoveno v ČSN EN 206-1.

Agresivně působí plyny podle složení a vlhkosti vzduchu, kapaliny (roztoky a voda obsahující agresivní CO_2) a tuhé látky, které jsou vyluhovány kapalným prostředím.
Korozi betonu lze rozdělit na tři typy:

- **I. typ** - vyluhováním CaO z betonu ve formě $Ca(OH)_2$, který vzniká hydratací cementu.
- **II. typ** - chemické látky obsažené v agresivním prostředí vytvářejí s hydratovanými minerály cementu rozpustné sloučeniny, které jsou z betonu postupně vyluhovány.
- **III. typ** - agresivní činidla tvoří s hydratovanými minerály cementu novotvary se zvětšeným objemem. Jedná se většinou o hygroskopické látky (sloučeniny) přijímající vodu z vlhkého vzduchu a krystalizující s více molekulami vody, čímž zvětšují objem a porušují strukturu betonu.

Obecně je beton napadán řadou látek, které působí na jeho strukturu a vlastnosti. Nejslabším místem v betonovém kompozitu je cementový kámen. Již roztoky od pH < 5,5 jsou zřetelně agresivní a se snižujícím se pH se agresivita stupňuje. Proti alkalicky reagujícím látkám je beton z portlandského cementu odolný, ale hlinitanový cement je již napadán 5% roztokem sodného louhu (NaOH) a při vyšší koncentraci se rychle rozpadá. Čistá voda, obsahující málo rozpustných látek, je velmi agresivní. Rychlost koroze betonu čistou vodou je přímo úměrná tlaku vody a propustnosti betonu, v případě základových konstrukcí také rychlosti proudění vody. Beton rozrušují kyseliny, které tvoří s vápníkem lehce rozpustné sloučeniny.

Vody obsahující kyselinu uhličitou (minerální a bažinaté vody) vedou nejdříve ke tvorbě $CaCO_3$ (karbonataci betonu), který je málo rozpustný a částečně utěsňuje póry v cementovém kameni. Tento uhličitan je však další kyselinou uhličitou převáděn do rozpustné formy na kyselý uhličitan $Ca(HCO_3)_2$, který je dobře rozpustný. Mezi karbonátovou tvrdostí a agresivitou vody existuje nepřímá závislost. Korozi betonu způsobují »měkké« vody s nízkou karbonátovou (přechodnou) tvrdostí do 6° dH (1° dH = 10 mg CaO/l). Čím je vyšší karbonátová tvrdost vody, tím více může být přítomno CO_3^{-2}, aniž by korozivně ohrožovalo beton. Ve stojatých vodách rychlost koroze »hladovou vodou« postupně klesá.

Beton také korodují látky tvořící těžce rozpustné, mýdelnaté vápenaté sloučeniny, organické mastné kyseliny a také kyseliny octová, mléčná, máselná.

Beton koroduje mořská voda (obsahuje ionty SO_4^{2-}, Cl^-, Mg^{2+}), splaškové vody (obsahují sloučeniny síry H_2S, H_2SO_4, SO_4^{2-} a sloučeniny amoniaku).

Agresivní sloučeniny NH^{4+} jsou také přítomny v močůvce a kejdě vedle obsahu organických kyselin. Škodlivé jsou většinou i průmyslové odpadní vody.

Chemická koroze se vyskytuje všude tam, kde beton přichází do styku s agresivním vodním prostředím anebo agresivní látky v ovzduší působí spolu s vlhkostí vzduchu (CO_2, SO_2). Beton je napadán a korodován tím více, čím má vyšší pórovitost, t.j. byl vyroben s vysokým vodním součinitelem, obsahuje otevřené kapiláry a byl nedostatečně zhutněn.

Karbonatace betonu
je projevem »stárnutí« betonu, který je soustavně napadán oxidem uhličitým z ovzduší. Obvyklý obsah CO_2 ve vzduchu je 0,03 % objemu (60 mg.m^{-3}), ale v průmyslových oblastech bývá násobně vyšší. Rozklad probíhá na povrchu betonu a časem postupně proniká otevřenou pórovitostí do hloubky, napadá korozivně ocelovou výztuž v železobetonu a konečným produktem je karbonát a především výrazné snížení pH betonu. Snižuje se hodnota pH, což má mimořádný význam pro korozi oceli (proto je také předepsáno minimální krytí výztuže betonem 20 až 50 mm).

Rychlost karbonatace za rok je v rozmezí od 0,1 do 1 mm. Nižší hodnota platí pro velmi hutné betony vyšší pevnostní třídy, vyšší hodnota pro málo pevné betony. Betonová konstrukce vystavená dešti a venkovnímu prostředí zkarbonovala do hloubky 10 mm a stejný beton (pevnosti 35 MPa), chráněný před deštěm do 30 mm, obě konstrukce byly hodnoceny za 30 roků.

Výkvěty
Objevují se na pórovitých materiálech tehdy, obsahují-li rozpustné látky nebo tyto vznikají chemickou korozí nebo je materiál napadán roztokem soli.

Transport rozpustných látek směrem k povrchu pomocí kapilár a pórů probíhá společně s transportem vody vlivem vlhkostního spádu mezi vnitřkem materiálu a jeho povrchem, kde se voda odpaří a rozpuštěné látky vykrystalizují. Zpravidla nemají negativní vliv na fyzikálně mechanické vlastnosti betonu a jsou pouhou estetickou vadou.

Podle druhu rozpustných látek rozlišujeme:
- vápenné výkvěty způsobené hydroxidem vápenatým – základní sloučeninou provázející hydrataci cementu
- alkalické výkvěty způsobené rozpustnými alkalickými solemi

Zabránit vzniku vápenných výkvětů lze maximálním využitím následujících opatření:
- minimalizovat vlhkostní spád – zabránit odparu vody z povrchu a omezit primární vlhkost betonu
- minimalizovat vodní součinitel – snížení pórovitosti o množství volné vody
- zabránit vyschnutí betonu před dokončením hydratačních procesů
- použít těsnící příměsi a přísady
- omezit následnou dotaci materiálu kapalnou vodou – vhodně ošetřovat a skladovat

10.6.4 Koroze oceli v betonu

V betonu je povrch oceli obalen cementovým kamenem, jehož pórová voda obsahuje nasycený roztok $Ca(OH)_2$ s pH = 12,6. Tato vysoká alkalita zajišťuje pasivitu povrchu oceli ochranou vrstvou, pokud nepůsobí jiné agresivní ionty (např. chloridy).

Koroze oceli v betonu nastává snížením koncentrace iontů OH^- (pH < 11,5) nebo působením chloridových iontů. Koroze oceli probíhá pouze za přítomnosti vody (nebo ve vlhkém vzduchu s relativní vlhkostí větší jak 65 %).

Ocel v betonu je vystavena korozi v těchto případech:
- snížením hodnoty pH pod 11,5 působením kyselého prostředí, vyluhováním minerálů, karbonatací povrchových vrstev betonu
- působením chloridových iontů, ČSN EN 206-1 omezuje množství chloridů na (0,4–0,2) % u železobetonu a na (0,2–0,1) % u předpjatého betonu
- obsah chloridů je také omezen ve složkách betonu, v cementu 0,1 % hm., ve vodě (0,06–0,2) % a v kamenivu 0,03 %

Opatření ke snížení možnosti koroze oceli v betonu jsou:
- snížení pórovitosti
- nízký vodní součinitel
- dostatečná tloušťka krycí vrstvy betonu
- omezení vzniku trhlinek, zejména širších jak 0,1 mm
- především je třeba zamezit snížení pH na povrchu oceli pod 11,5

11 SPECIFIKACE A KONTROLA KVALITY BETONU

11.1 ZÁKLADNÍ POŽADAVKY SPECIFIKACE
11.2 ŘÍZENÍ VÝROBY
11.2.1 Řízení výroby obecně
11.2.2 Průkazní zkoušky
11.2.3 Výroba betonu
11.2.4 Ověřování složek betonu, zařízení, výrobních postupů a vlastností betonu
11.3 KONTROLA SHODY A KRITÉRIA SHODY PRO TYPOVÝ BETON DLE ČSN EN 206-1
11.3.1 Pojmy
11.3.2 Kontrola shody typového betonu pro pevnost v tlaku
11.3.3 Postup posuzování shody pevnosti betonu v tlaku
11.3.4 Kritéria pro posuzování shody pro pevnost v tlaku
11.3.5 Plán odběru vzorků a četnost zkoušek
11.3.6 Posuzování shody pro soubor betonů
11.3.7 Posuzování shody pevnosti betonu v příčném tahu
11.3.8 Posuzování shody pro jiné vlastnosti než pevnost
11.3.9 Kontrola shody betonu předepsaného složení

ČSN EN 206-1 zavádí pojem specifikace betonu, což je jednoznačné a přesné určení požadavků nejen na vlastnosti betonu po ztvrdnutí, ale i požadavků na vlastnosti betonu nutné pro přepravu, ukládání, hutnění, ošetřování a případnou následnou úpravu betonu. Specifikaci vypracuje specifikátor a odběratel betonu ji předává výrobci betonu. Specifikátorem může být přímo odběratel betonu nebo jiná osoba, která specifikaci pro odběratele vypracuje , např. projektant, stavební dozor aj.

Beton může být specifikován jako:
Typový beton - beton, pro který jsou výrobci specifikovány požadované vlastnosti a doplňující charakteristiky betonu, a výrobce zodpovídá za dodání betonu vyhovujícího požadovaným vlastnostem a doplňujícím charakteristikám.

11.1 ZÁKLADNÍ POŽADAVKY SPECIFIKACE

- požadavek, aby beton vyhovoval ČSN EN 206-1
- pevnostní třída betonu v tlaku
- stupně vlivu prostředí (viz kapitola 7.2.1)
- maximální jmenovitá horní mez frakce kameniva
- stupeň obsahu chloridů podle tabulky v kap. 7.3.5

Pro lehký beton, navíc:
- třída objemové hmotnosti nebo určená objemová hmotnost

Pro těžký beton, navíc:
- požadovaná objemová hmotnost

Pro transportbeton a beton vyráběný na staveništi, navíc:
- stupeň konzistence nebo, ve zvláštních případech, určená hodnota konzistence
- další údaje o požadovaném způsobu dopravy včetně přístupu ke konstrukci, ukládání a požadovaném množství v čase
- označení tabulky, dle které je požadováno splnění mezních hodnot (ČSN EN 206-1, tabulky F.1, F.2 nebo F.3)

Označení tabulky, dle které je požadováno splnění mezních hodnot se uvede do závorky za označení CZ (například C25/30 – XC3 (CZ, F.1).

Doplňující požadavky specifikace
Následující požadavky se mohou specifikovat buď podle požadavků na vlastnosti, nebo pomocí zkušebních metod:
■ zvláštní druhy nebo třídy cementu (např. cement s nízkým hydratačním teplem)
■ zvláštní druhy nebo třídy kameniva

Poznámka 1: V těchto případech je specifikátor odpovědný za složení betonu, které minimalizuje nepříznivý účinek alkalicko křemičité reakce.

■ charakteristiky požadované k zajištění odolnosti proti účinkům mrazu a rozmrazování, (např. obsah vzduchu, viz 7.3.2)

Poznámka 2: Pokud se stanoví obsah vzduchu při dodání, musí vzít specifikátor v úvahu možné následné ztráty vzduchu během čerpání, ukládání, zhutňování atd.

■ požadavky na teplotu čerstvého betonu, pokud se liší od požadavků v 7.3.9
■ nárůst pevnosti
■ vývin tepla během hydratace
■ pomalé tuhnutí
■ odolnost proti průsaku vody
■ odolnost proti obrusu
■ pevnost v příčném tahu
■ další technické požadavky (např. požadavky na zvláštní povrchovou úpravu nebo na zvláštní způsob ukládání)
■ objemová hmotnost čerstvého betonu
■ obsah vody v čerstvém betonu
■ odolnost proti střídavému zmrazování a/nebo proti rozmrazovacím látkám
■ objemové změny, zvláště smrštění
■ odlučování vody
■ nasákavost
■ doba zpracovatelnosti
■ modul pružnosti

Beton předepsaného složení - beton, pro který je výrobci předepsáno složení betonu včetně používaných složek, a výrobce zodpovídá za dodání betonu předepsaného složení.

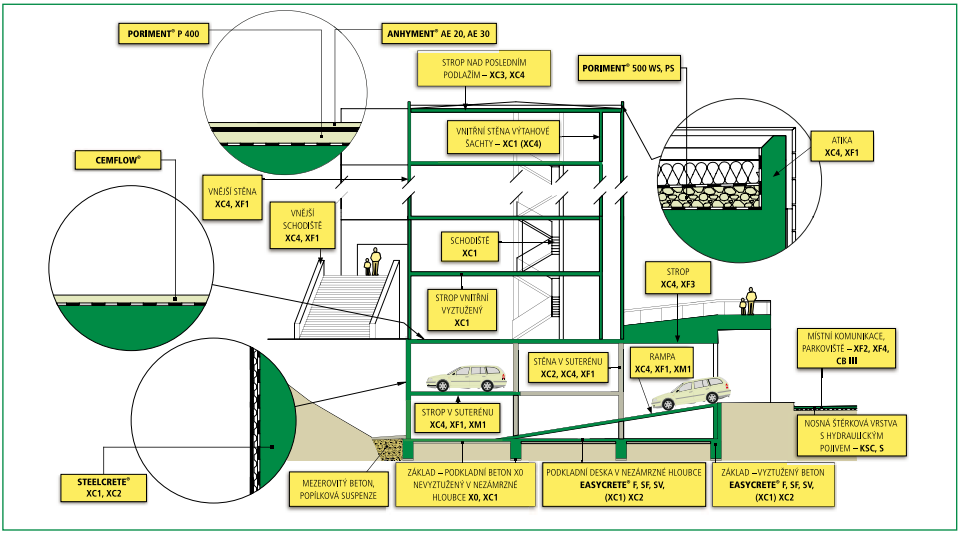
Základní požadavky specifikace
Specifikace musí obsahovat tyto údaje:
■ požadavek, aby beton vyhovoval ČSN EN 206-1
■ obsah cementu
■ druh a třída cementu
■ buď vodní součinitel, nebo konzistence určená stupněm, nebo určenou hodnotou; (určená hodnota vodního součinitele by měla být o 0,02 menší než případně požadovaná mezní hodnota)
■ druh, kategorie a maximální obsah chloridů v kamenivu; v případě lehkého nebo těžkého betonu minimální nebo maximální objemová hmotnost zrn kameniva
■ maximální jmenovitá horní mez frakce kameniva a případná omezení pro zrnitost
■ druh a množství přísady nebo příměsi, pokud se používají
■ pokud se používají přísady nebo příměsi, původ těchto složek a cementu, jako náhrada za charakteristiky, které nejsou definovatelné jiným způsobem

Doplňující požadavky
Specifikace může obsahovat:
■ původ některých nebo všech složek betonu jako náhrada za charakteristiky, které nejsou definovatelné jiným způsobem
■ doplňující požadavky na kamenivo
■ požadavky na teplotu čerstvého betonu, pokud se liší od požadavků v 7.3.9 ■ další technické požadavky

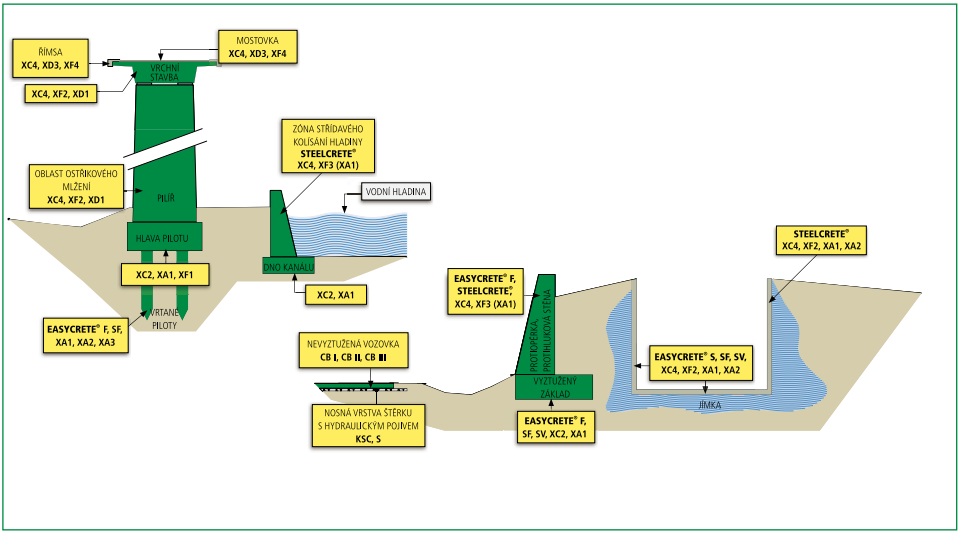
Normalizovaný beton - beton, jehož složení je předepsáno v normě platné v místě použití betonu.

Specifikace normalizovaného betonu
Normalizovaný beton musí být specifikován citací:
■ normy platné v místě použití betonu, která stanovuje příslušné požadavky ■ označení betonu podle citované normy

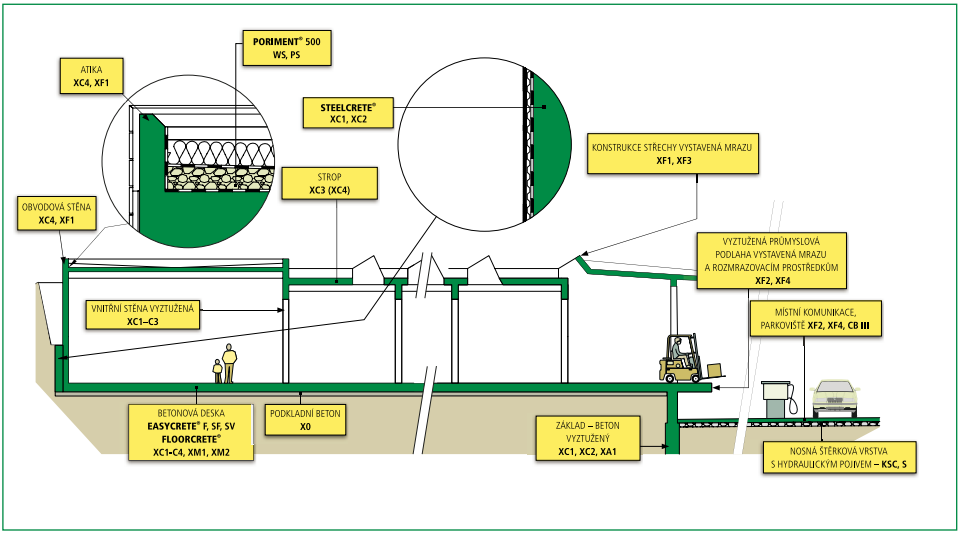
BYTOVÉ A OBČANSKÉ STAVBY



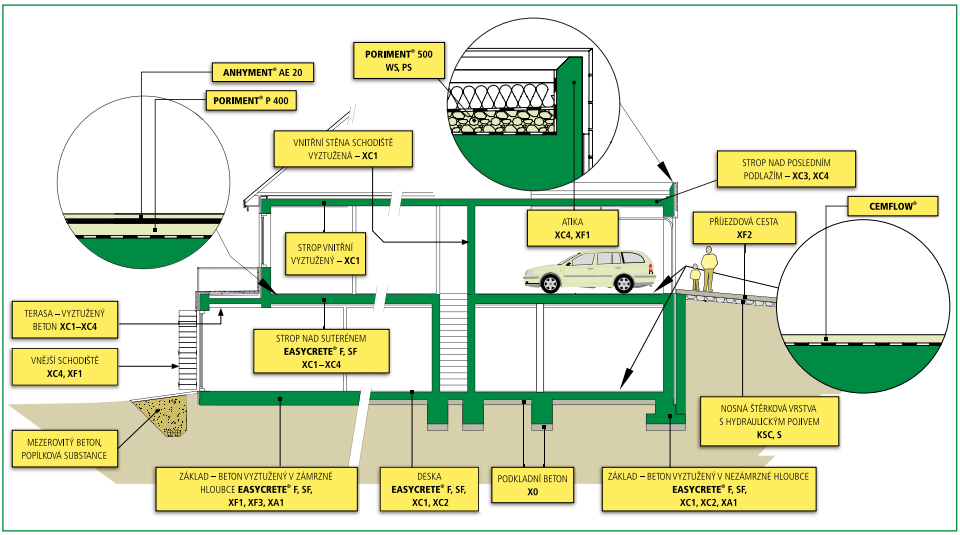
INŽENÝRSKÉ A VODOHOSPODÁŘSKÉ STAVBY

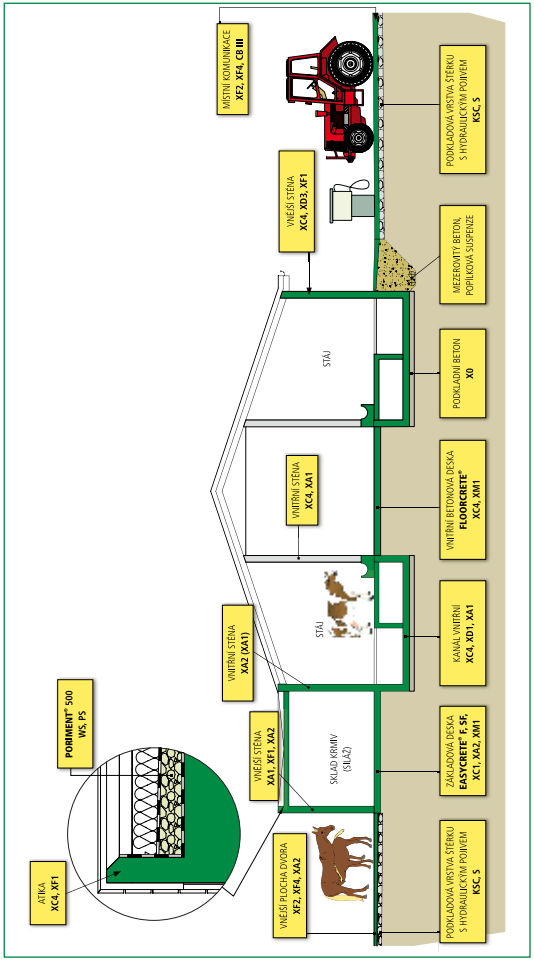


PRŮMYSLOVÉ STAVBY



RODINNÉ DOMY





11.2 ŘÍZENÍ VÝROBY

11.2.1 Řízení výroby obecně

Pro výrobu všech betonů musí být zaveden systém řízení, za který je odpovědný výrobce.
Řízení výroby zahrnuje všechny činnosti nutné k udržení vlastností betonu ve shodě s předepsanými požadavky.

Zahrnuje:
- výběr materiálů
- návrh složení betonu
- výrobu betonu
- kontroly a zkoušky
- využití výsledků zkoušek složek betonu, čerstvého a ztvrdlého betonu a zařízení
- případně také kontrolu zařízení pro dopravu čerstvého betonu
- kontrolu shody, pro kterou jsou uvedena ustanovení v kapitole 11.3

Odpovědnost, pravomoce a vztahy všech pracovníků, kteří řídí, provádějí a ověřují činnosti, které ovlivňují jakost betonu, musí být definovány v dokumentaci systému řízení výroby (v příručce jakosti).

Systém řízení výroby se musí přezkoumat vedením výrobce nejméně jednou za 2 roky, aby se potvrdila vhodnost a efektivnost systému.

Záznamy o těchto přezkoumáních se musí uchovat nejméně 3 roky, pokud právní předpisy nevyžadují delší období.

Všechny důležité údaje z řízení výroby se musí zaznamenat. Záznamy řízení výroby se musí uchovat nejméně 3 roky, pokud právní předpisy nevyžadují delší období.

11.2.2 Průkazní zkoušky

V případě použití nového složení betonu se musí provést průkazní

zkoušky, zda beton dosahuje předepsaných vlastností s přiměřenou jistotou.

Za alternativní průkazní zkoušku lze považovat:

a) návrh složení betonu založený na údajích z předchozích zkoušek nebo na dlouhodobých zkušenostech

- jsou-li k dispozici výsledky zkoušek betonů podobného složení (alespoň 35 výsledků pevnosti betonu v tlaku, v případě požadavku na odolnost alespoň 6 výsledků vodonepropustnosti nebo odolnosti proti CHRL) z výroby na jednom zařízení po dobu alespoň 6 měsíců
- použít je možné i výsledky v režimu průběžné výroby
- jsou k dispozici směrodatné odchylky pro jednotlivá složení nebo skupiny betonů
- jsou k dispozici dlouhodobé výsledky zkoušek vstupních materiálů
- ve výrobně betonu je zaveden a certifikován systém řízení výroby
- výrobce betonu má dostatečně kvalifikovaný personál v oblasti technologie betonu nebo má pro tuto činnost kvalifikovaného smluvního partnera

b) složení betonu získané interpolací nebo extrapolací pevností v tlaku betonů, která nepřesahuje 5 N/mm^2

Odpovědnost za průkazní zkoušky:

■ typový beton	výrobce betonu
■ beton předepsaného složení	specifikátor

Četnost průkazních zkoušek

Průkazní zkoušky musí být provedeny vždy:

- před používáním nového betonu nebo souboru betonů
- jestliže nastane podstatná změna [1] buď u složek betonu, nebo u specifikovaných požadavků, které byly podkladem pro předchozí výsledky

Za podstatnou změnu se považuje změna zdroje nebo původu vstupních složek nebo změna druhu vstupních složek při zachování zdroje.

[1] Za podstatnou změnu se nepovažuje změna frakcí kameniva, pokud je použito kamenivo ze stejného zdroje, nebo je-li upravována konzistence o jeden stupeň níže snížením obsahu vody nebo výše, zvýšením dávky přísady bez zvyšování dávky vody (zachování vodního součinitele).

Odchylky obsahu složek od receptury stanovené po průkazní zkoušce

Z důvodu možnosti operativního řízení výroby jsou povoleny odchylky obsahu složek betonu od hodnot stanovených ve vyhodnocení průkazních zkoušek:

cement: -10 kg/m^3, +15 kg/m^3
popílek: ±15 kg/m^3
přísady: -0 %, +30 % z dávky v receptuře, ne však více než maximální dávka doporučená výrobcem přísady a celková dávka nesmí překročit největší přípustnou dávkou dle kapitoly 5.
Poznámka: Jiné odchylky může stanovit autor průkazních zkoušek.

Podmínky pro provádění průkazních zkoušek

Průkazní zkoušky je možné provádět:

- Ve speciálních prostorách k tomu určených (laboratořích betonu) nebo přímo na výrobním zařízení (ve výrobnách betonu).
- Při teplotě čerstvého betonu v rozmezí mezi 15 °C až 22 °C (provádí-li se průkazní zkoušky přímo na výrobním zařízení, nemusí být tento parametr dodržen. V tomto případě se musí zaznamenat skutečné teploty prostředí a čerstvého betonu pro možné následné korekce při výrobě betonu za jiných teplotních podmínek).
- Průkazní zkoušky se mohou provádět na již konkrétní navržená složení jednotlivých betonů (receptury) nebo na modelová složení s odstupňovanými dávkami pojiva, ze kterých se interpolací odvodí následně konkrétní složení jednotlivých betonů.
- Pro průkazní zkoušku konkrétního navrženého složení jednoho betonu (receptury) se musí vyzkoušet minimálně dvě záměsi. Z každé provedené záměsi se musí odebrat nejméně dvě zkušeb-

ní tělesa pro zkoušku pevnosti betonu ve stáří 2 dnů a tři zkušební tělesa pro zkoušku pevnosti betonu ve 28 dnů.
■ Při zkouškách modelového složení betonu se musí provést minimálně tři modelové záměsi a rozdíl dávek pojiva mezi jednotlivými záměsemi nesmí být větší než 50 kg pojiva na 1 m^3 betonu. Pro průkazní zkoušku na modelovém složení betonu se z každé záměsi odeberou dvě trojice těles pro zkoušku pevnosti betonu ve stáří 2 dny a 28 dnů. Požaduje-li specifikace betonu deklarování pevností betonu v jiném stáří, odeberou se ještě tři tělesa pro zkoušku pevnosti betonu v požadovaných časech.
■ Pevnost v tlaku betonu určitého složení, která má být podkladem pro konkrétní případ, musí být vyšší než hodnota f_{ck} s bezpečnostní rezervou. Rezerva má být asi dvojnásobek očekávané směrodatné odchylky, to znamená nejméně od 6 N/mm^2 do 12 N/mm^2, a to v závislosti na vybavení betonárny, použitých složkách betonu a dostupných podkladových informacích o kolísání.

11.2.3 Výroba betonu

V systému řízení výroby zajišťuje výrobce, aby:

■ pracovníci, kteří se podílejí na výrobě i na řízení výroby, měli znalosti, výcvik a praxi pro výrobu příslušného druhu betonu, např. pro výrobu vysokopevnostního betonu, lehkého betonu
■ uskladnění složek betonu a jejich manipulace s nimi byly takové, aby se významně nezměnily jejich vlastnosti, např. vlivem počasí, promícháním nebo znečištěním a aby byla zachována shoda s příslušnou normou
■ dávkovací zařízení byla taková, aby se při běžných provozních podmínkách docílila a udržela požadovaná přesnost uvedená v následující tabulce
■ míchačky byly takové, aby se během doby míchání daného objemu betonu dosáhlo rovnoměrného promíchání složek a stejnoměrné konzistence betonu
■ pro inspekci a zkoušky zařízení, složek betonu i betonu bylo k dispozici všechno potřebné vybavení, zařízení včetně instrukcí pro jejich správné použití

Tolerance při dávkování složek betonu

složka betonu	přípustná odchylka
cement voda kamenivo celkem příměsi v množství větším než 5 % hmotnosti cementu	±3 % požadovaného množství
přísady a příměsi v množství ≤ 5 % hmotnosti cementu	±5 % požadovaného množství

11.2.4 Ověřování složek betonu, zařízení, výrobních postupů a vlastností betonu

Ověřování složek betonu, zařízení, výrobních postupů a vlastností betonu patří k vstupní, mezioperační a výstupní kontrole a je součástí systému řízení výroby.

Ověřování složek betonu

složka	kontrola / zkouška	účel	nejmenší četnost
cement	kontrola dodacího listu [d] před vyložením	zda je dodávka dle objednávky a zda je ze správného zdroje	každá dodávka
kamenivo	kontrola dodacího listu [b) d)] před vyložením	zda je dodávka dle objednávky a zda je ze správného zdroje	každá dodávka
kamenivo	kontrola kameniva před vyložením	k vizuálnímu porovnání zrnitosti, tvaru a znečištění	každá dodávka; pokud se kamenivo dodává dopravníkovým pasem, pravidelně v závislosti na místních nebo dodacích podmínkách
kamenivo	zkouška zrnitosti podle EN 933-1	zda vyhovuje normě nebo odsouhlasené zrnitosti	první dodávka z nového zdroje, pokud nejsou k dispozici informace od dodavatele kameniva; v případě pochybnosti při vizuální kontrole; pravidelně, podle místních a dodacích podmínek [e)]
kamenivo	zkouška na znečištění	k posouzení přítomnosti a množství nečistot	první dodávka z nového zdroje, pokud nejsou k dispozici informace od dodavatele kameniva; v případě pochybnosti při vizuální kontrole; pravidelně, podle místních a dodacích podmínek [e)]
kamenivo	zkouška nasákavosti podle EN 1097-6	k posouzení účinného obsahu vody v betonu, viz 5.4.2	první dodávka z nového zdroje, pokud nejsou k dispozici informace od dodavatele kameniva; v případě pochybnosti
pórovité nebo těžké kamenivo	zkouška podle EN 1097-3	k zjištění sypné hmotnosti	první dodávka z nového zdroje, pokud nejsou k dispozici informace od dodavatele kameniva; v případě pochybnosti při vizuální kontrole; pravidelně, podle místních a dodacích podmínek [e)]
přísady [c)]	kontrola dodacího listu a štítku na obalu [d)] před vyložením	zda je dodávka podle objednávky a je správně označena	každá dodávka

Ověřování složek betonu – pokračování

složka	kontrola / zkouška	účel	nejmenší četnost
přísady [c)]	zkoušky pro identifikaci podle EN 934-2, např. objemová hmotnost, infračervená analýza	k porovnání s údaji uvedenými dodavatelem	v případě pochybnosti
příměsi [c)] práškové	kontrola dodacího listu [d)] před vyložením	zda je dodávka podle objednávky a zda je ze správného zdroje	každá dodávka
příměsi [c)] práškové	zkouška ztráty žíháním popílku	k identifikaci změn obsahu uhlíku, který může ovlivnit provzdušněný beton	každá dodávka, která se použije pro provzdušněný beton, pokud nejsou informace k dispozici od dodavatele
příměsi v suspenzi [c)]	kontrola dodacího listu [d)] před vyložením	zda je dodávka podle objednávky a ze správného zdroje	každá dodávka
příměsi [c)] v suspenzi	zkouška objemové hmotnosti	k zjištění stejnorodosti	každá dodávka a pravidelně během výroby betonu
voda	zkouška podle EN 1008	zda voda, pokud není pitná, neobsahuje škodlivé látky	pokud se začne používat nový zdroj nepitné vody; v případě pochybnosti

[a)] Doporučuje se, aby vzorky byly odebírány a uschovány jednou za týden pro každý druh cementu pro zkoušky v případě pochybnosti.

[b)] Dodací list, nebo údaje o výrobku, má také obsahovat informace o maximálním obsahu chloridu a má obsahovat zatřídění s ohledem na alkalicko-křemičitou reakci v souladu s předpisy platnými v místě použití betonu.

[c)] Doporučuje se, aby vzorky byly odebírány z každé dodávky a uchovány.

[d)] Dodací list musí obsahovat nebo musí být doprovázen prohlášením o shodě nebo certifikátem shody, jak je vyžadováno v příslušné normě nebo specifikaci.

[e)] Toto není nutné, pokud je řízení výroby kameniva certifikováno.

Ověřování zařízení

složka	kontrola / zkouška	účel	nejmenší četnost
skládky, zásobníky, atd.	vizuální kontrola	ověření shody s požadavky	jednou týdně
váhy	vizuální kontrola při provozu	zda jsou čisté a správně fungují	denně
váhy	zkouška přesností vah	zda přesnost vyhovuje článku 9.6.2.2 ČSN EN 206-1	při instalaci; minimálně jednou za rok; při změně národních předpisů; v případě pochybnosti
dávkovač přísad (i na automíchačích)	vizuální kontrola při provozu	k ověření měřícího zařízení, zda je čisté a správně funguje	denně při prvním použití každé přísady
dávkovač přísad (i na automíchačích)	zkouška přesnosti měření	k zabránění nepřesného dávkování	při instalaci; minimálně jednou za rok; v případě pochybnosti
vodoměr	zkouška přesnosti měření	zda přesnost vyhovuje článku 9.6.2.2	při instalaci; minimálně jednou za rok; v případě pochybnosti
zařízení k průběžnému měření obsahu vody v drobném kamenivu	porovnání skutečného množství s údajem na měřidle	k ověření přesností	při instalaci; periodicky [a] a po instalaci; v případě pochybnosti
dávkovací zařízení	vizuální kontrola	zda dávkovací zařízení správně funguje	denně
dávkovací zařízení	porovnání skutečné hmotnosti složek v záměsi s požadovanou hodnotou a v případě s automatickým záznamovým zařízením dávkovače, se záznamem hmotností	zda přesnost dávkovacího zařízení vyhovuje	při instalaci; periodicky [a] a po instalaci; v případě pochybnosti
zkušební zařízení	kalibrace podle příslušných národních nebo EN norem	k posouzení shody	periodicky [a]; pro zkušební lisy nejméně jednou ročně
míchačky (včetně automíchačů)	vizuální kontrola	kontrola opotřebování mísícího zařízení	periodicky [a]

[a] Četnost záleží na druhu zařízení, jeho citlivosti při používání a provozních podmínkách betonárny.

Ověřování výrobních postupů a vlastností betonu

složka	kontrola / zkouška	účel	nejmenší četnost
vlastnosti typového betonu	průkazní zkouška (viz příloha A ČSN EN 206-1)	zda lze požadovaných vlastností dosáhnout navrženým složením s přiměřenou jistotou	před použitím nového složení betonu
vlhkost drobného kameniva	průběžný měřící systém, zkouška sušením nebo ekvivalentní zkouška	stanovení hmotnosti suchého kameniva a dávkování vody	denně, pokud není průběžné, v závislosti na klimatických a místních podmínkách může být požadovaná četnost větší nebo menší
vlhkost hrubého kameniva	zkouška sušením nebo ekvivalentní	stanovení hmotnosti suchého kameniva a dávkování vody	závisí na klimatických a místních podmínkách
obsah vody v čerstvém	kontrola množství dávkované vody [a]	k získání údajů pro vodní	každá záměs
obsah chloridů v betonu	vizuální kontrola	zda není překročen maximální obsah chloridů	při průkazní zkoušce; v případě překročení obsahu chloridů ve složkách betonu
konzistence	zkouška nasákavosti podle EN 1097-6	k posouzení běžného vzhledu	první dodávka z nového zdroje, pokud nejsou k dispozici informace od dodavatele kameniva; v případě pochybnosti
konzistence	zkouška konzistence podle EN 12350-2, 3, 4 nebo 5	k posouzení dosažení určené hodnoty konzistence a ke kontrole možné změny obsahu vody	pokud je konzistence určená, při zkoušce obsahu vzduchu; v případě pochybnosti při vizuální inspekci
objemová hmotnost čerstvého betonu	zkouška objemové hmotnosti podle EN 12350-6	u lehkého a těžkého betonu ke kontrole dávkování a objemové hmotnosti	denně
obsah cementu v čerstvém betonu	kontrola hmotnosti cementu v záměsi [a]	ke kontrole obsahu cementu a získání údajů pro vodní součinitel	každá záměs

Ověřování výrobních postupů a vlastností betonu - pokračování

složka	kontrola / zkouška	účel	nejmenší četnost
obsah příměsi v čerstvém betonu	kontrola hmotnosti příměsi v záměsi [a]	ke kontrole obsahu příměsi a získání údajů pro vodní součinitel	každá záměs
obsah přísady v čerstvém betonu	kontrola hmotnosti nebo objemu přísady v záměsi [a]	ke kontrole obsahu přísady	každá záměs
vodní součinitel čerstvého betonu	výpočet nebo zkušební metoda	zda bylo dosaženo požadovaného vodního součinitele	denně, pokud je požadován
obsah vzduchu v čerstvém betonu, pokud je požadován	zkouška podle EN 12350-7 pro běžný a těžký beton, pro lehký beton ASTM C 173	k posouzení dosažení požadovaného obsahu vzduchu	u provzdušněného betonu: první záměs nebo dávka z každé denní výroby, dokud se hodnoty neustálí
teplota čerstvého betonu	měření teploty	k posouzení dosažení minimální teploty 5 °C nebo specifikované meze	v případě pochybností; pokud je teplota specifikována: pravidelně, podle situace; každá záměs nebo dávka, pokud je teplota blízko mezní hodnoty
objemová hmotnost ztvrdlého lehkého nebo těžkého betonu	zkouška podle EN 12390-7 [b]	k posouzení dosažení požadované objemové hmotnosti betonu	pokud je požadována objemová hmotnost betonu, četnost jako pro pevnost v tlaku
zkouška pevnosti v tlaku zhotovených zkušebních betonových těles	zkouška podle prEN 12390-3:1999	k posouzení dosažení požadované pevnosti	pokud je pevnost v tlaku požadována, četnost zkoušek je jako pro kontrolu shody

[a] Pokud se nepoužívá záznamové zařízení a tolerance dávkování pro záměs nebo dávku jsou překročeny, zaznamená se dávkované množství v záznamu výroby.
[b] Může být také zkoušen v nasyceném stavu, pokud je bezpečně stanoven vztah k objemové hmotnosti ve vysušeném stavu.

11.3 KONTROLA SHODY A KRITÉRIA SHODY PRO TYPOVÝ BETON DLE ČSN EN 206-1

Kontrola shody je kombinace činností a rozhodnutí, která jsou prováděna v souladu s předem přijatými pravidly pro kontrolu shody betonu se specifikací. Kontrola shody je součástí řízení výroby.

Kontrola shody se provádí pro následující vlastnosti betonu:

- pevnost v tlaku
- pevnost v příčném tahu
- objemová hmotnost těžkého a lehkého betonu
- vodní součinitel
- obsah cementu
- obsah vzduchu v čerstvém provzdušněném betonu
- obsah chloridů v betonu
- objemová hmotnost čerstvého betonu
- obsah vody v čerstvém betonu
- odlučování vody
- vývin tepla během hydratace
- zpoždění počátku tuhnutí
- teplota čerstvého betonu
- největší hloubka průsaku vody
- mrazuvzdornost
- odolnost povrchu betonu proti působení vody a rozmrazovacích látek
- součinitel prostorového rozložení vzduchových pórů
- obsah mikroskopického vzduchu A_{300}
- obsah vzduchu ve ztvrdlém betonu
- nasákavost
- statický modul pružnosti v tlaku
- objemové změny

11.3.1 Pojmy

Hodnocení shody
Systematické zkoumání, v jaké míře výrobek splňuje specifikované požadavky.

Počáteční výroba
Výroba betonu do získání nejméně 35 výsledků zkoušek v časovém období nejméně 3 měsíce.

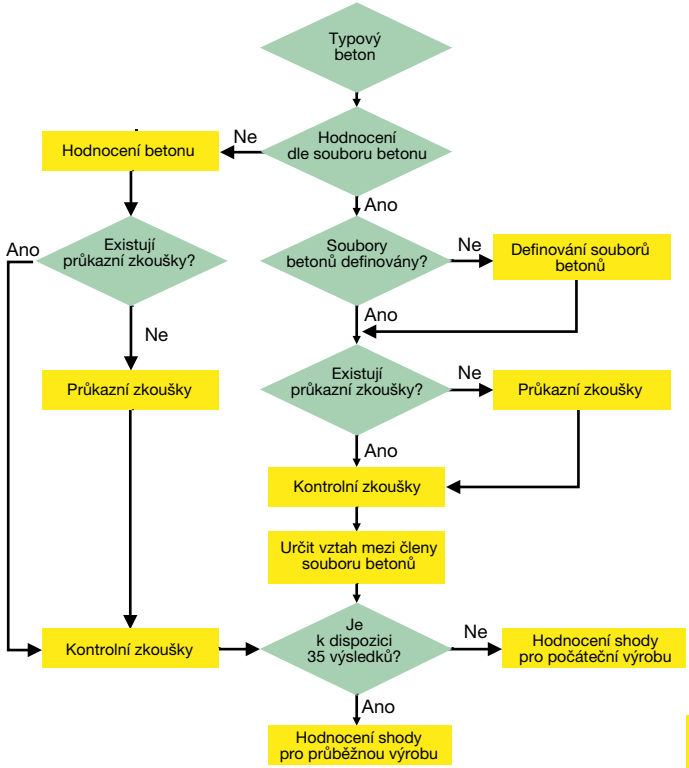
Průběžná výroba
Průběžná výroba je výroba, která nastane po získání nejméně 35 výsledků zkoušek během období, které není delší než 12 měsíců.

Soubor betonů
Soubor betonů různých složení, pro které byl stanoven a dokumentován spolehlivý vztah pro příslušné vlastnosti.

11.3.2 Kontrola shody typového betonu pro pevnost v tlaku

- posuzovací období v délce nejvíce posledních 12 měsíců
- zpracování výsledků zkoušek zkušebních těles ve stáří 28 dní. V případě, že je to vyžadováno, je možné posuzovat betony ve stáří jiném než 28 dní (například betony pro masivní konstrukce apod.).

Postupový diagram pro prokazování shody – pevnost betonu v tlaku



11.3.3 Postup posuzování shody pevnosti betonu v tlaku

Obyčejný a těžký beton tř. C 8/10 až C 50/60 a lehký beton tř. LC 8/9 až LC 55/60 se kontroluje na vzorcích buď pro každé jednotlivé složení betonu zvlášť, nebo na vhodně určeném souboru betonů.

Pro vysokopevnostní betony třídy C55/67 a vyšší se nesmí použít princip souboru betonů.

Posuzování se provádí pro betony z počáteční výroby nebo z výroby průběžné (viz 11.3.1).

Pokud výroba jednotlivého složení betonu nebo souboru betonů je pozastavena na období delší než 12 měsíců, musí výrobce použít kritéria shody a plán odběru vzorků a zkoušek pro počáteční výrobu.

Postupy posuzování shody pevnosti betonu v tlaku a příslušná kritéria

hodnocení shody	počáteční výroba (do 35 zkoušek)	průběžná výroba (více než 35 zkoušek)
vyhodnocení jednotlivých složení (receptur)	každý jednotlivý výsledek zkoušky (kritérium 2)	
	průměr n výsledků zkoušek f_{cm} (kritérium 1)	
vyhodnocení souboru betonů	každý jednotlivý výsledek zkoušky (netransformovaný) každého betonu v souboru (kritérium 2)	
	průměr n výsledků zkoušek f_{cm} (netransformovaný) každého betonu v souboru (kritérium 3)	
	průměr n výsledků zkoušek f_{cm} (netransformovaný) každého betonu v souboru (kritérium 1)	

11.3.4 Kritéria pro posuzování shody pro pevnost v tlaku

ČSN EN 206-1 zavádí 3 kritéria pro posouzení shody:
- Kritérium 1 - průměr n výsledků zkoušek f_{cm}
- Kritérium 2 - každý jednotlivý výsledek zkoušky f_{ci}
- Kritérium 3 - Průměr z n výsledků zkoušek (f_{cm}) pro jednotlivý beton souboru

Kritéria shody pro pevnost betonu v tlaku

výroba	počet výsledků zkoušek pevnosti v tlaku ve skupině	kritérium 1	kritérium 2
		průměr z výsledků zkoušek f_{cm} [MPa]	každý jednotlivý výsledek zkoušky f_{ci} [MPa]
počáteční	3	$\geq f_{ck} + 4$ vysokopevnostní beton $\geq f_{ck} + 5$ betony C-/5 a C-/7,5 $\geq f_{ck}$ 7,5 10,5	$\geq f_{ck} - 4$ vysokopevnostní beton $\geq f_{ck} - 5$ betony C-/5 a C-/7,5 $\geq f_{ck}$ 3,0 4,5
průběžná	15	$\geq f_{ck} + 1{,}48\ \sigma$ vysokopevnostní beton $\geq f_{ck} + 1{,}48\ \sigma$ $\sigma \geq 5$ MPa	$\geq f_{ck} - 4$ vysokopevnostní beton $\geq 0{,}9\ f_{ck}$

f_{ck} - charakteristická pevnost betonu v tlaku, viz bod 7.1
σ - vyhovující zavedená stanovená směrodatná odchylka základního souboru

Na počátku se musí směrodatná odchylka vypočítat z nejméně 35 po sobě jdoucích výsledků za období delší než 3 měsíce a které jsou z období těsně před výrobním obdobím, ve kterém se má posoudit shoda.

Potvrzující kritéria pro členy souboru betonů

počet výsledků zkoušek pevnosti v tlaku pro jednotlivý beton souboru	kritérium 3
	průměr z výsledků zkoušek f_{cm} pro jednotlivý beton souboru [MPa]
2	$\geq f_{ck} - 1,0$
3	$\geq f_{ck} + 1,0$
4	$\geq f_{ck} + 2,0$
5	$\geq f_{ck} + 2,5$
6	$\geq f_{ck} + 3,0$

Obecně platí pro:

počáteční výrobu (do získání 35 výsledků)
- posouzení průměru skupiny po sobě jdoucích překrývajících se nebo nepřekrývajících se výsledků zkoušek - f_{cm} podle kritéria 1
- posouzení každého jednotlivého výsledku zkoušky – f_{ci} podle kritéria 2

průběžnou výrobu
- zpracování min. 35 výsledků z počáteční výroby, výpočet a zavedení stanovené směrodatné odchylky základního souboru σ
- výpočet směrodatné odchylky z posledních 15 výsledků zkoušek s15 z průběžné výroby
- pro průběžné hodnocení lze použít již zavedenou hodnotu σ (metoda 1) nebo hodnotu s vypočtenou ze všech výsledků průb. zkoušek (metoda 2), v obou případech pouze za předpokladu, že platí $0,63\ \sigma \leq S_{15} \leq 1,37\ \sigma$, jinak je nutno stanovit novou hodnotu s z posledních 35 výsledků zkoušek
- posouzení průměru skupiny po sobě jdoucích překrývajících se nebo nepřekrývajících se výsledků zkoušek - f_{cm} podle kritéria 1
- posouzení každého jednotlivého výsledku zkoušky – f_{ci} podle kritéria 2

soubor betonů
- prokázání příslušnosti jednotlivého betonu k souboru podle průměru nepřevedených výsledků zkoušek tohoto betonu f_{cm} podle kritéria 3
- posouzení převedených výsledků zkoušek na referenčním betonu podle kritéria 1
- posouzení původních výsledků zkoušek podle kritéria 2
- nevyhoví-li beton kritériu 3, musí být posuzován samostatně

11.3.5 Plán odběru vzorků a četnost zkoušek

Vzorky betonu musí být náhodně vybrány a odebrány v souladu s ČSN EN 12350-1. Odběr vzorků se musí provádět u každého souboru betonů (viz 11.3.6) vyráběného za podmínek, které lze považovat za jednotné. Nejmenší četnost odběru vzorků a zkoušek betonu musí být v souladu s následující tabulkou 1 při četnosti, která dává nejvyšší počet vzorků pro počáteční, respektive pro průběžnou výrobu.

Minimální četnost odběru vzorků pro posouzení shody

výroba	prvních 50 m^3 výroby	následně po prvních 50 m^3 vyrobeného betonu [a]	
		beton s certifikací řízení výroby	beton bez certifikace řízení výroby
počáteční (do získání 35 výsledků zkoušek	3	1/ 200 m^3 nebo 2 během týdenní výroby	1/ 150 m^3 nebo 1 denně při výrobě
průběžná [b] (pokud je k dispozici nejméně 35 výsledků zkoušek)	-	1/ 400 m^3 nebo 1 během týdenní výroby	-

[a] Odběry vzorků rozložit rovnoměrně během výroby, na 25 m^3 výroby max. 1 vzorek.
[b] Pokud směrodatná odchylka z posledních 15 výsledků s_{15}>1,37 σ (zavedené směrodatné odchylky), zvýší se četnost na úroveň počáteční výroby.

11.3.6 Posuzování shody pro soubor betonů
Při zařazování betonů do souboru se doporučuje vybrat betony splňující kritéria:
- cement stejného druhu, třídy pevnosti i původu
- prokazatelně stejné kamenivo (geologicky, druh - drcené, těžené, vlastnosti) i příměs I. druhu
- betony jen s použitím nebo jen bez použití plastifikačních přísad
- úplný rozsah stupňů konzistence
- omezený rozsah tříd pevnosti
- samostatný soubor pro betony s příměsí II. druhu
- samostatný soubor pro betony s přísadami ovlivňujícími pevnost (plastifikační, urychlující, zpomalující, provzdušňující)

Pro použití koncepce souboru betonů při kontrole shody lze použít normu ČSN P 73 1309.

Pro kontrolu souboru betonů musí být odebírány vzorky z celého rozsahu složení vyráběných betonů daného souboru.

Transformace pevností betonu v tlaku
Jako **referenční beton** se zvolí nejvíce vyráběný beton souboru nebo beton uprostřed souboru betonů.

Výsledky zkoušek jednotlivých betonů se převádějí na referenční beton pomocí předem stanovených referenčních vztahů mezi jednotlivými členy souboru a referenčním betonem.

Pro přepočet pevnosti betonu v tlaku jednotlivých členů souboru betonu na pevnost referenčního betonu je možné využít postupy uvedené v ČSN P 73 1309. Například: přepočet součinitelem pevnosti v tlaku.

Pro výpočet součinitele pevnosti v tlaku se nejdříve stanoví pro každý beton v souboru tzv. cílová pevnost:
- u nových betonů je to průměrná pevnost z výsledků průkazních zkoušek, případně hodnota získaná interpolací (extrapolací) z výsledků zkoušek obdobných betonů (při použití principu dlouhodobých zkušeností viz. 11.2.2),
- u již vyráběných betonů průměr z výsledků zkoušek bezprostředně předcházejících.

Cílová pevnost se následně zjišťuje/upřesňuje v pravidelných intervalech.

Přepočet dle součinitele pevnosti v tlaku:

$$\text{součinitel}_{(\text{beton K})} = \text{cílová pevnost}_{(\text{referenční beton})} / \text{cílová pevnost}_{(\text{beton K})}$$

Přepočet pevností v tlaku jednotlivých betonů v souboru f_{ci}:

$$f_{ci,trans} = fci_{(\text{betonK})} \cdot \text{součinitel}_{(\text{beton K})}$$

11.3.7 Posuzování shody pevnosti betonu v příčném tahu

Pevnost betonu v příčném tahu se posuzuje stejně jako pevnost v tlaku, pouze nelze použít posouzení na souboru betonů.

Kritéria shody pro pevnost betonu v příčném tahu

výroba	počet výsledků zkoušek pevnosti v tlaku ve skupině	kritérium 1	kritérium 2
		průměr z výsledků zkoušek f_{tm} v $N.mm^{-2}$	každý jednotlivý výsledek zkoušky f_{ti} v $N.mm^{-2}$
počáteční	3	$\geq f_{tk} + 0,5$	$\geq f_{tk} - 0,5$
průběžná	15	$\geq f_{tk} + 1,48\ \sigma$	$\geq f_{tk} - 0,5$

f_{tk} – charakteristická pevnost betonu v příčném tahu, viz bod 7.1
σ - vyhovující zavedená stanovená směrodatná odchylka základního souboru

11.3.8 Posuzování shody pro jiné vlastnosti než pevnost

Náhodný odběr vzorků musí odpovídat podle ČSN EN 12350-1, minimální počet vzorků nebo stanovení a kritéria uvádí tabulka.

Posuzování shody vlastností

■ Všechny jednotlivé výsledky zkoušek musí být v rozmezí největší přípustné odchylky.

■ Počet výsledků zkoušek mimo předepsanou limitní hodnotu nebo meze třídy nebo toleranci předepsané hodnoty nesmí být větší než přejímací číslo podle tabulky 19a nebo 19b v ČSN EN 206-1 (např. pro konzistenci jsou to 2 výsledky při 5-7 stanoveních nebo 5 výsledků při 13-19 stanoveních; pro ostatní vlastnosti 2 výsledky při 20-31 stanoveních a 5 výsledků při 50-64 stanoveních).

Legenda k následující tabulce:
[a] není-li předepsáno jinak
[b] tolerance neplatí, pokud není předepsaná dolní nebo horní mez
[c] vyšší hodnoty tolerance platí pro zkoušení na začátku vyprazdňování z automíchače

Kritéria shody pro jiné vlastnosti betonu

vlastnost	minimální počet vzorků nebo stanovení	max. dovolená odchylka jednotlivé zkoušky od mezí předepsané třídy nebo od tolerance určené hodnoty	
		dolní mez	horní mez
objem. hmotnost těžkého betonu	jako pevnost v tlaku	- 30 kg.m^{-3}	neomezeno
objem. hmotnost lehkého betonu	jako pevnost v tlaku	- 30 kg.m^{-3}	+ 30 kg.m^{-3}
vodní součinitel	1x denně	neomezeno [a)]	+ 0,02
obsah cementu	1x denně	- 10 kg.m^{-3}	neomezeno [a)]
obsah vzduchu v čerstvém provzdušněném betonu	1x denně při ustálené výrobě	- 0,5 % absolutní hodnoty	+ 1,0 % absolutní hodnoty
obsah chloridů v betonu	pro každé složení betonu a při změně obsahu ve složkách	neomezeno [a)]	není povolena vyšší hodnota
objemová hmotnost čerstvého betonu	jako pevnost v tlaku	- 40 kg/m^3	+ 40 kg/m^3
obsah vody v čerstvém betonu	jako pevnost v tlaku	- 10 kg/m^3	+ 10 kg/m^3
odlučování vody	1000 m^3,1 x za rok	-	1 kg/m^3
vývin tepla během hydratace	1000 m^3,1 x za rok	-	2 K
zpoždění počátku tuhnutí	1000 m^3,1 x za rok	- 1 h	+ 1 h
teplota čerstvého betonu	jako pevnost v tlaku	-	+ 1 °C
ztráta obrusem	1000 m^3,1 x za rok	-	1 cm^3/50 cm^2
mrazuvzdornost			+ 20 %
odolnost povrchu betonu proti působení vody CHRL			+ 20 %
součinitel prostorového rozložení vzduchových pórů	10000 m^3, 1 x za 2 roky		0
obsah mikroskopického vzduchu A_{300}	10000 m^3, 1 x za 2 roky	0	
obsah vzduchu ve ztvrdlém betonu	10000 m^3,1 x za 2 roky	- 0,5 % abs. hodnoty	+ 1,0 % absolutní hodnoty
nasákavost	1000 m^3,1 x za rok		0
stupeň sednutí	jako pevnost v tlaku, při zkoušce provzdušnění, při pochybnostech	- 10 mm; - 20 mm [c)]	+ 20 mm; + 30 mm [c)]
stupeň rozlití		-15 mm; - 25 mm c)	+ 30 mm; + 40 mm [c)]
stupeň zhutnitelnosti		- 0,05; - 0,07 [c)]	+ 0,03; + 0,05 [c)]
stupeň Vebe		-4s; -6s [c)]	+2s; +4s [c)]

11.3.9 Kontrola shody betonu předepsaného složení

Posuzování shody vlastností

Podle výrobních záznamů se u každé záměsi posuzuje shoda složení betonu v daných tolerancích s obsahem specifikace. Pro normalizovaný beton platí požadavky příslušné normy.

Posuzování shody složení betonu podle rozboru čerstvého betonu lze provádět pouze podle zkušební metody předem odsouhlasené mezi odběratelem a výrobcem.

Posouzení shody konzistence se provádí stejně jako u typového betonu.

Tolerance dávkování složek a hodnoty vodního součinitele

složka betonu	povolená odchylka
cement	± 3 %
voda	
kamenivo celkem	
příměsi v množství > 5 % hm. cementu	
příměsi a přísady v množství ≤ 5 % hm. cementu	± 5 %
vodní součinitel	0,04

PODĚKOVÁNÍ

Při přípravě **Příručky technologa** nám poskytli neocenitelnou pomoc naši kolegové.

Rádi bychom poděkovali zejména Ing. Vladimíru Veselému, Ing. Stanislavu Smiřinskému a RNDr. Václavu Blížkovskému ze společnosti BETOTECH, s.r.o.

Naše poděkování také patří Ing. Lukáši Peřkovi ze Svazu výrobců cementu.