



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Technologie betonu a maltovin



Úvod do technologie betonu, historie, beton jako kompozitní látka, druhy betonu, ekologie.

Cement, kamenivo a voda v betonu.

- Normy,
- definice,
- rozdělení,
- zkoušení.

Přísady do betonu

Přísady jsou chemické sloučeniny, které se přidávají během míchání do betonu v množství do 5% hmotnosti cementu za účelem modifikace vlastností čerstvého nebo ztvrdlého betonu.

Normy, dělení přísad a zkoušení přísad

Dělení přísad do betonu

- Plastifikační
- Superplastifikační
- Stabilizační
- Provzdušňovací
- urychlující tuhnutí cementu

- urychlující tvrdnutí cementu
- zpomalující tuhnutí
- hydrofobizační,
- plynotvorné
- pěnotvorné,
- odpěňovací,
- protizmrazovací
- expanzní,
- adhézní,
- protikorozi
- *multifunkční přísady*

Příměsi do betonu

Práškovité látky, přidávané do čerstvého betonu, které zlepšují vlastnosti nebo se jimi dosahují zvláštní vlastnosti čerstvého nebo ztvrdlého betonu.

Typ I – inertní příměsi

- mleté horniny - vápence
- moučky, odprašky (filler) - Odprašky z provozů kamenolomů, Jemné částice z cementového kalu
- pigmenty - anorganické – trvanlivé / organické - nestabilní

Typ II- pucolány, latentně hydraulické látky

- létavý popílek
- jemně mletá struska
- metakaolín
- silika- křemičité úlety

Hydraulická aktivita je schopnost látky tvrdnout ve vodním prostředí za normální teploty.
(cement)

Létavý popílek

Jemně mletá vysokopecní struska

Křemičité úlety

Vyztužování betonu

Beton je křehký materiál, má nízkou pevnost v tahu (8-10 %) oproti pevnosti v tlaku.

Výztužná látka za určitých předpokladů přebírá především tahová napětí vznikající v konstrukci.

Je nutné zajištění soudržnosti výztuže a oceli.

- Pro **železobetonové** konstrukce se používá betonářská výztuž (měkká) – pruty, dráty a svařované sítě.
- Použití i nekovových výztuží.



Vlastnosti ocele

Rozdělení oceli podle:

- chemického složení (uhlíkatá, legovaná – nízkolegovaná, vysokolegovaná)
- účelu použití (konstrukční-stavební, konstrukční-strojní, konstrukční ušlechtilá, nástrojová, speciální)

Vlastnosti, málo závislé na chemickém složení:

- Měrná hmotnost $\rho = 7850 \text{ kg.m}^{-3}$
- Modul pružnosti (200 GPa) - dráty a pruty, lana (190 GPa)
- Lineární teplotní roztažnost $\alpha = 10.10^{-6} \text{ K}^{-1}$
- Měrné teplo $c = 0,46 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- měrná tepelná vodivost $\lambda = 37 - 55 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Mechanické vlastnosti jsou závislé na chemickém složení a je tvářením a tepelným zpracováním.

- pružnost
- pevnost
- tvárnost
- houževnatost
- tvrdost

Závislost napětí – deformace vyjadřuje **pracovní diagram oceli**.

Betonářská ocel

Funkce: vyztužení konstrukcí a dílců, kde je výztuž namáhána působením vnějších sil.

Třídění podle (ČSN EN 10080):

- značky
- třídy
- rozměru
- charakteristik povrchu
- svařitelnosti

ČSN EN 10080 posuzuje také:

- vhodnost ocele k ohýbání
- odolnost vůči kmitavému namáhání
- maximální přípustná odchylka od jmenovité hmotnosti
- relativní žebrová plocha f_R
- max. uhlíkový ekvivalent

Svařované sítě a rohože

Typy charakteristik povrchu pro zvýšení soudržnosti betonu s ocelí.

Předpínací výztuž

PrEN 10138: 2000 Předpínací ocel

Používá se patentovaného drátu.

***Patentování:** hutnická úprava drátů tažených za studena. Po tažení se ohřejí asi na 800 °C a pak se ochladí v olověné nebo solné lázni na 400-500 °C a pak na vzduchu. Tak je drát schopen předpínání.*

Třídění výrobků (dráty, lana, pruty) užívaných jako předpínací výztuž podle:

- značky
- třídy relaxačního chování
- průměru
- charakteristiky povrchu

Ochrana výztuže proti korozi.

Tloušťka krycí vrstvy

Distanční tělíska

- funkce
- materiály
- nevhodné materiály

Rozptýlená výztuž

Systém náhodně prostorově rozmístěných vláken v betonu.

Funkce vláknové výztuže.

Nenahrazuje ocelovou výztuž v betonu, ale zlepšuje některé vlastnosti betonu (pevnost, deformace betonu smrštěním, zmenší křehkost, vyšší únavová pevnost, odolnost proti náhlým prudkým teplotním změnám, vodonepropustnost).

Materiál:

Ocelové drátky (FRC)

Skelná lubrikovaná vlákna (SFRC , GFRC)

Polymerní vlákna (GFRC)

Vlákna některých přírodních látek (PFRC)

Čerstvý beton

Čerstvý beton: beton v plastickém stavu, který je ještě schopen zhutnění běžným způsobem.
(stochastický charakter betonu a všech jeho složek!)

NÁVRH SLOŽENÍ BETONU

1. fáze - Definování požadavků (vstupní data):

- stupeň vlivu prostředí
- požadovaná pevnost betonu v tlaku (jiné pevnostní charakt.)
- technologie zpracování ČB

Stupně vlivu prostředí

Podle nich jsou definovány požadavky na:

- Max vodní součinitel
- Minimální množství cementu
- Minimální pevnostní třída betonu
- Minimální provzdušnění

Požadovaná pevnost betonu v tlaku

Technologie zpracování čerstvého betonu

Technologické požadavky definují:

- způsob zpracování ČB
- konzistenci ČB
- způsob dopravy a ukládání ČB
- možnosti zhutňování

Zpracovatelnost lze zlepšit:

- Zvýšením w
- Užitím plastifikátorů a superplastifikátorů potřebné koncentrace
- Částečně vyšším množstvím cementu a příměsí
- Kamenivem s větší mezerovitostí a menším měř. Povrchem

Výslednou pevnost betonu lze zvýšit:

- snížením w
- vyšší R_c
- vyšším m_c (určitá horní hranice !)
- kamenivem s menší mezerovitostí
- snížením podílu vzduchových pórů v betonu

2. fáze návrhu - volba složek betonu

Kamenivo

druh

zrnitost

počet frakcí

D_{max}

Cement

druh

pevnost R_c

Přísady

druh, koncentrace cp

Příměsi

druh, koncentrace mp

3. fáze - Výpočet receptury

Základní vztah pro výpočet složení betonu (rovnice absolutních objemů):

$$\frac{m_C}{\rho_C} + \frac{m_V}{\rho_V} + \frac{m_K}{\rho_K} + \frac{m_P}{\rho_P} = 1 - \frac{V_z}{100}$$

Pro předběžné technické výpočty se uvažuje:

$\rho_C = 3100 \text{ kg.m}^{-3}$, $\rho_V = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$, $\rho_K = 2650 \text{ kg.m}^{-3}$,

$m_V = m_C \cdot w$

m_x – hmotnost složky x (v-voda, p-příměsi, c-cement) V_z – objem vzduchu v % obj.

ρ_x – objemová hmotnost složky x

Při výpočtu je třeba kontrolovat:

- $w < w$ požadovaná dle stupně vlivu prostředí
- $m_c > m_c$ požadovaná dle stupně vlivu prostředí
- $m_j < m_j$ tuhé částice do $0,25 D_{\max}$ 16 do 530 kg/m^3 , $D_{\max} 32$ do 460 kg/m^3

Vodní součinitel zahrnuje:

- množství H_2O pro hydrataci cementu
- množství H_2O pro solvataci zrn kameniva
- množství H_2O pro solvataci zrn cementu
- množství H_2O pro solvataci zrn příměsí
- reologickou vodu

účinný obsah vody = voda adsorbovaná na povrchu kameniva a příměsí + voda v přísadách + záměsová voda + voda zkondenzovaná při ohřevu ČB v míchačce.

Predikce pevnosti betonu

- Matematické modely
- Experimentální metody

Příklady výpočtu složení betonu

1. Návrh složení podle odhadu přebytku cementového tmele
2. Metoda CH. T. Kenedyho
3. Metoda podle Bolomeye
4. Návrh podle empirického množství vody

4. fáze - Empirické ověření návrhu

- 1) výpočet dávky pro zkušební záměs
- 2) stanovení konzistence
- 3) úprava složení (př. superplastifikátor) na požadovanou konzistenci
- 4) zhotovení zkušebních krychlí
- 5) úprava stanoveného složení na potřebnou pevnost pro potřebnou konzistenci
- 6) určení definitivního složení

Reologie čerstvého betonu

Reologie je věda o deformacích a toku hmoty tj. fyzika deformací.

- Makroreologie
- Mikroreologie

Základní pojmy – vlastnosti

- Napětí [$\text{N.m}^{-2} = \text{Pa}$, $\text{N.mm}^{-2} = \text{MPa}$]
- Normálové napětí σ
- Tangenciální napětí τ
- Deformace ε
- Viskozita
- Mez toku plastických látek
- Tření

- Thixotropie
- Reopexie
- Dilatance (rozpínavost)
- Relaxace

Reologické modely

Elementární reologické látky

Reologie cementového tmele

- Gradient rychlosti
- Tokové rovnice
- Reometrie

Funkce vody v cementovém tmelu

Konzistence čerstvého betonu

Vliv vodního součinitele w na konzistenci

Vliv objemu cementového tmele na konzistenci

Měření konzistence

- Sednutí kužele (Abrams)
- Rozlití
- Přeformování Vebe
- Stupeň zhutnění

Tvrdnutí betonu

- Tvrdnutí betonu je způsobeno hydratací cementu.
- Rychlost hydratace se sleduje nárůstem pevnosti betonu.

Nárůst pevnosti betonu lze vyjádřit v čase

Hydratace cementu

Vlivy na rychlost hydratace

Mikrostruktura cementového kamene.

Tvrdnutí betonu za vyšších teplot

- Technologie UTB

Betonování v extrémních klim. Podmínkách

- Betonování v horkém letním počasí
- Betonování v zimě

Ztvrdlý beton

Rozdělení vlastností betonu dle společných znaků:

mechanické - *pevnost v tlaku, příčný tah, v tahu za ohybu, ve smyku*

deformační - změna objemu působením vnějších sil: *modul pružnosti, dotvarování vnitřních sil: smrštění*

permeabilita - popisuje pohyb media nebo tok energie: *vodotěsnost, vzlinavost, nasákavost, provzdušnost, tepelná a elektická vodivost*

trvanlivost - odolnost proti působení vnějších sil a polí: *ohnivzdornost, mrazuvzdornost, obrusnost, odolnost proti korozi betonu a oceli*

Vlastnosti betonu jsou určeny:

- vlastnostmi složek
- objemovým podílem složek
- vlastnostmi rozhraní
- znalostí pórovité struktury cem. kamene
- znalostí mikromechaniky betonu

Zásady:

- Vlastnosti betonu mají empirický charakter.
- Vlastnosti betonu mají stochastický charakter.
- Zkoušení vlastností je ireversibilní
- Funkce času.

Pórovitá struktura cementového kamene

- Vznik pórů
- Rozdělení pórů dle původu
- Celková pórovitost

Pevnost cementového kamene**Deformace cem. kamene****Permeabilita cem. kamene****Pevnost betonu**

- pevnost v tlaku: prostém, v sevřeném a v soustředěném stavu,
- pevnost v tahu: prostém, ohybem, příčném
- pevnost ve smyku: střihu, propichování
- pevnost v kroucení

Zkoušení pevností betonu

- Příprava vzorků
- Vlastní zkoušení
- Vyhodnocování výsledků

Zkoušení:

- Destruktivní
- Nedestruktivní

Deformace betonu

- Reversibilní (E, teplotní dilatace, částečně smrštění)
- Ireversibilní (dotvarování, smrštění)

Deformace se projevuje: stlačením, protažením tělesa

Modul pružnosti E

- Stanovení statického E
- Stanovení dynamického E

Teplotní dilatace betonu

- lineární teplotní roztažnost betonu
- objemová teplotní roztažnost

Dotvarování betonu ϵ_d

- Trvalé změny objemu nebo tvaru betonu, způsobené dlouhodobým zatížením.
- Pružné a trvalé deformace.

Smršťování betonu**Bobtnání****Permeabilita betonu**

- **pronikání vody pórovitou strukturou cem. kamene -**
 - Propustnost
 - Vodotěsnost
 - Vzlínavost
 - Nasákavost,
 - Navlhavost,
 - Vysýchavost.

- **pronikání plynů** - provzdušnost, difuze vodních par
- **tepelná a elektrická vodivost betonu**

Trvanlivost betonu

Degradace betonu: děje, vedoucí k jeho rozrušování cestou chem. pochodů nebo fyzikálními vlivy.

Chemické vlivy - roztoky kyselin, organické slouč., plyny, znečištěné ovzduší, tuhé škodlivé látky.

Fyzikální pochody - teploty pod bodem mrazu, vysoké teploty, mechanický otěr.

Biologické působení organismů - plísně, bakterie.

Zkoušky trvanlivosti betonu