

BETON

HYDRATACE CEMENTOVÉHO BETONU

Po smísení s vodou cement tuhne a postupně nabývá na pevnosti. Tuhnutí a tvrdnutí probíhá za aktivní účasti vody. **Reakcí s vodou** se původně bezvodé **minerální fáze cementu přeměňují** na **hydratační produkty**, tzn. na **nové sloučeniny obsahující chemicky vázanou (krystalovou) vodu**. Tyto hydratační produkty, ačkoliv jde o hydratované fáze, **jsou ve vodě nerozpustné a stálé**.

Reakce slínekových minerálů s vodou jsou ve své podstatě **hydrolyzou** s následující **hydratací**. Nejrychleji reaguje s vodou **C₃A**, pak následuje **C₃S** a **β-C₂S**.

Jestliže se **voda** v tuhnoucí směsi neustále vyměňuje nebo **je jí přebytek**, může nastat až **úplná hydrolyza slínekových minerálů**, kdy produktem je křemičitý gel:



S **malým množstvím vody** vede reakce při normální teplotě ke vzniku **hydrosilikátů** podle schématu:



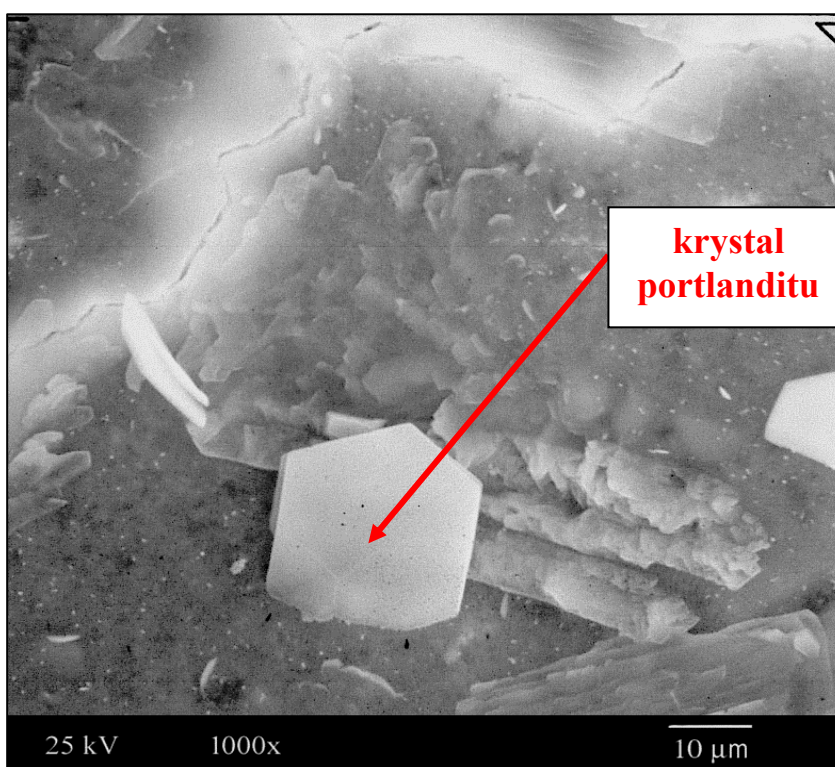
Současně nastává přesycování roztoku **Ca(OH)₂** – portlanditem (označovaným také jako CH), který se později vylučuje v jemných krystalcích, nejčastěji destičkovitého tvaru (Obr.1.). Tento hydroxid dává pórovému roztoku v tuhoucím cementu **alkalickou reakci (pH = 12,4)**.

1. Podle uvedeného schématu **vznikají** při tuhnutí cementu **hydrolyzou a hydratací** C₃S a β-C₂S hydrosilikáty obecného vzorce **mCaO.nSiO₂.pH₂O** (označované někdy souborně také jako tzv. **C-S-H gel**, resp. **hydrosilikáty**

C-S-H). Identifikace přesného složení a struktury hydrosilikátových gelů je obtížná, v literatuře se uvádí řada sloučenin:

- $5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (**tobermorit**), někdy se tato fáze uvádí také v podobě $\text{Ca}_5(\text{OH})_2\text{Si}_6\text{O}_{16} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, resp. $\text{Ca}_5\text{H}_2(\text{Si}_3\text{O}_9)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$,
- $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, resp. $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_4(\text{OH})_6$ (**afwillit**),
- $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, resp. $\text{Ca}_2\text{SiO}_3(\text{OH})_2$ (**hillebrandit**),
- $6\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ nebo-li $\text{Ca}_6\text{Si}_6\text{O}_{17}(\text{OH})_2$ (**xonotlit**).

Pro křemičitanové slínkové minerály je tedy během procesu hydratace charakteristické **odlučování $\text{Ca}(\text{OH})_2$** a tvorba gelů hydrosilikátů s nižším poměrem CaO/SiO_2 než ve výchozím minerálu.



Obr.1. Obraz cementového kamene v elektronovém mikroskopu

2. Naproti tomu alumináty mají sklon vytvářet hydroalumináty výrazně krystalického charakteru. **Konečným stabilním produktem** dlouhodobé hydratace C_3A je kubický $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, který vzniká přes některé

meziprodukty, např.: $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 12-19 \text{ H}_2\text{O}$ (hydrocalumit) a $2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Tuto reakci lze vyjádřit rovnicí:



V přítomnosti $\text{Ca}(\text{OH})_2$ vznikají při hydrataci C_3A hexagonální kalciumhydroalumináty, což lze vyjádřit:



3. Při **hydrataci C_4AF a feritů** vzniká jako poměrně stálý meziprodukt $4\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 14\text{H}_2\text{O}$, **konečným stálým produktem jsou $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$** , resp. **$3\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$** a případný přebytek Al_2O_3 utvoří amorfni hydroxid.
4. **Sádrovec**, který se přidává k portlandskému slínku jako zpomalovač tuhnutí, přechází do roztoku, který je následkem hydratačních reakcí přesycen $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Za těchto okolností se tvoří **při větším množství síranu $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 30-32\text{H}_2\text{O}$ (ettringit, označovaný také jako tzv. trisulfát, resp. fáze AFt), při menším množství CaSO_4 sloučenina $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot \text{CaSO}_4\cdot 10-12 \text{ H}_2\text{O}$ (tzv. monosulfát, resp. fáze AFm)**. Vnik ettringitu je pravděpodobně závislý nejen na přítomnosti vhodných chemických komponent, ale také na tlaku při zpracování, kdy se stoupajícím tlakem obsah ettringitu výrazně klesá.

Vznik ettringitu hydratací C_3A lze popsat rovnicí:



Monosulfát vzniká podle schématu:

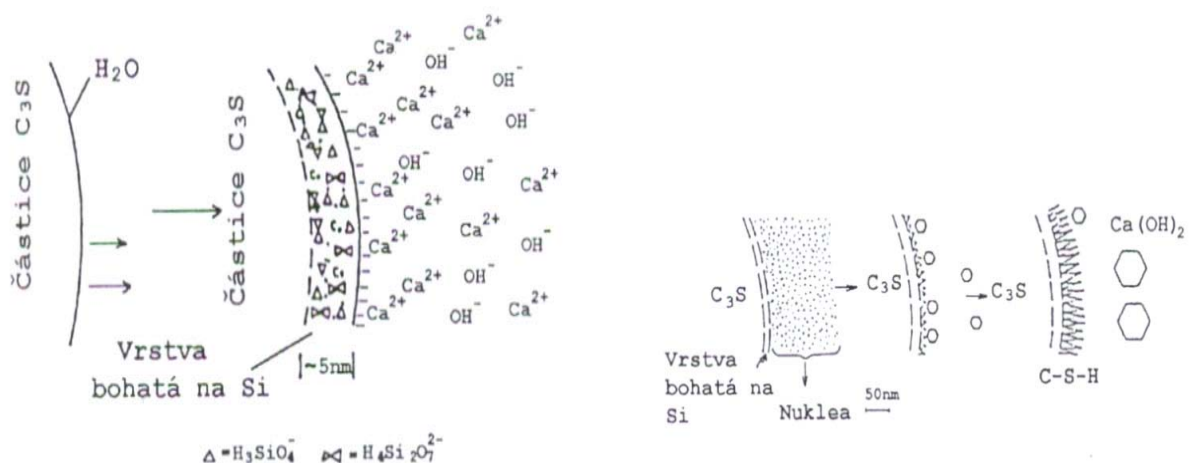


Trisulfát (ettringit) pak může přecházet na monosulfát reakcí s dalšími podíly C_3A .

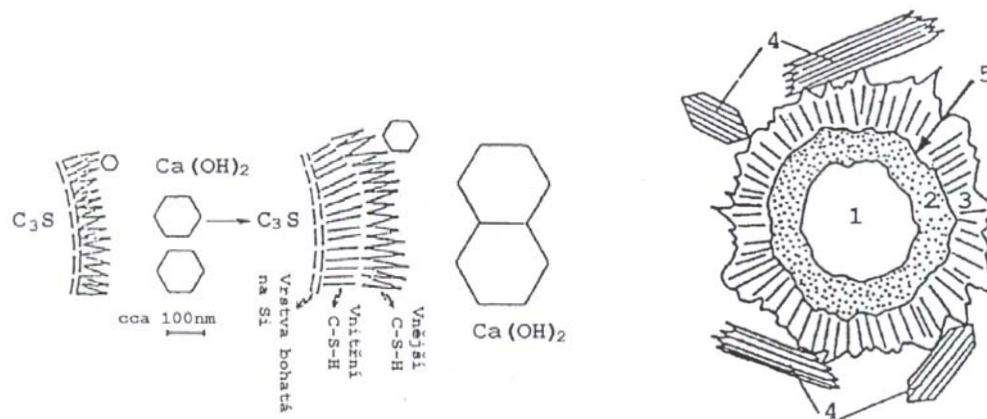
Reakce za účasti CaSO_4 , aluminátové a feritové fáze mají významnou úlohu v počátečním stádiu tuhnutí a tvrdnutí. **Za konečné fyzikální a mechanické vlastnosti ztvrdlého cementu však „odpovídají“ C-S-H gel a $\text{Ca}(\text{OH})_2$** , jež vznikají hydrolýzou alitu a belitu.

Tyto poznatky lze shrnout do celkové, **zjednodušené, představy o tuhnutí a tvrdnutí cementu**, podle níž: **alit odštěpuje $\text{Ca}(\text{OH})_2$** a přechází v **hydrosilikátový gel**, který tvoří slupku okolo zrna původního cementu. S postupující reakcí se **gelové vrstvy spojují**; **C-S-H gel tvoří jehlicovité útvary**, jež vyplňují prostor mezi zrny cementu. **Hydroalumináty** a **sulfoaluminoferity** vznikající hydratací **krystalizují** naopak z roztoku. Oba uvedené procesy, tj. **tvorba C-S-H gelu a krystalků hydroaluminátové fáze probíhají souběžně**. Kromě toho **ještě z přesyceného roztoku krystalizují destičkovité krystalky $\text{Ca}(\text{OH})_2$** . S pokračujícími reakcemi se **další voda chemicky váže**, takže **gelová hmota postupně tuhne a nabývá pevnosti**. Spolu se vznikajícími krystalky $\text{Ca}(\text{OH})_2$ v ní, jako ve spojovací hmotě, jsou uloženy dosud nezreagované slínkové minerály.

Představa o mechanismu hydratace trikalciumpilíkatu (C_3S) jako hlavní složky portlandského slínku je znázorněna na Obr. 2 a Obr. 3.



Obr. 2. Počáteční stádia hydratace C_3S (vlevo – vznik elektrické dvojvrstvy, dané nepohyblivou silikátovou vrstvou a pohyblivými ionty Ca^{2+} a uvolňování Ca^{2+} a OH^- , vpravo – průběh nukleace a krystalizace na konci indukční periody)



Obr. 3. Pokročilá stádia hydratace C_3S (vlevo – růst hydratačních produktů v průběhu střední periody hydratace a zhuštění částic C-S-H gelu v pozdní etapě, vpravo – schematické znázornění hydratovaného zrna cementu, 1 – nehydratovaný zbytek, 2 – vnitřní C-S-H hydrát, 3 – vnější C-S-H hydrát, 4 – dendritické krystalky portlanditu, 5 – hranice zrna na počátku hydratace)

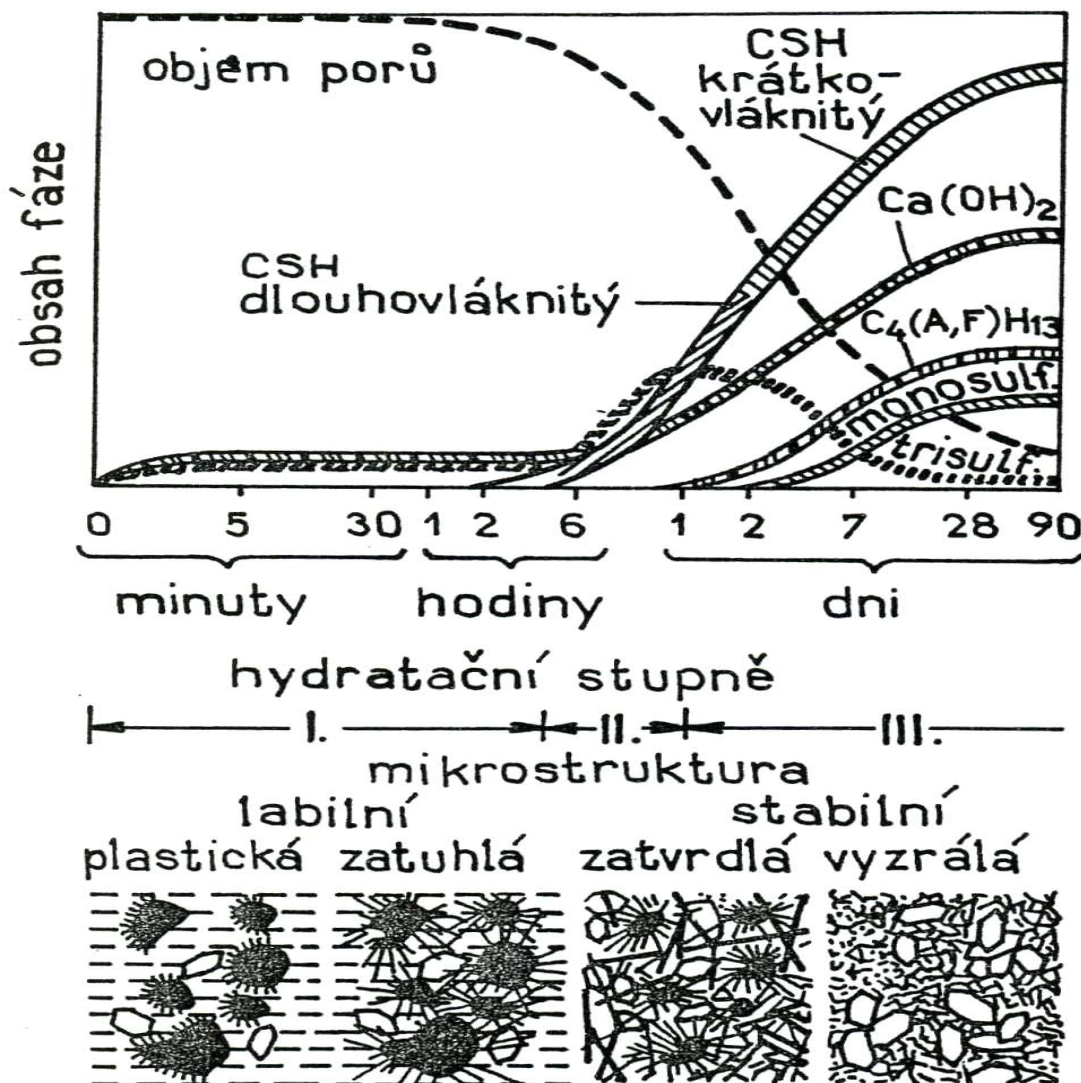
Časově se dá rozdělit hydratace cementu do několika period (Obr.4.):

1. perioda: tzv. **indukční**, která se rozděluje na dvě období. První (přeindukční) je velmi krátké (asi 10 – 15 minut) a představuje **smáčení zrn cementu**. Dochází k prvním reakcím se slíkovými minerály. Toto první období se vyznačuje **velkou rychlostí uvolňování hydratačního tepla, rozpouštěním aluminátů a síranů a vzniku $Ca(OH)_2$ a Aft**. Druhé indukční období se vyznačuje již jen **pomalým uvolňováním hydratačního tepla**, vzrůstá viskozita suspenze (**počátky tuhnutí cementu**), nastává úbytek silikátů a **tvoří se zárodky krystalů C-S-H a CH (portlanditu)**. Pokračuje tvorba Aft a voda proniká k zrnům cementu a tvoří se nové produkty hydratace. Toto druhé období indukční periody je **ukončeno asi za 1 – 2 hodiny od zamíchání**. Pevnost v tlaku cementového tmele je menší než 100 KPa.

2. perioda (přechod do tuhého skupenství): je urychlujícím stupněm hydratace a trvá od 1-2 hod. **do 12-24 hod.** od zamíchání. **C_3S rychle reaguje za vzniku dlouhovláknitého silikátu C-S-H a krystalů portlanditu**. Zrna cementu se k sobě přibližují tím, že prorůstají krystaly hydratačních produktů. V této

periodě se vytvářejí základy mikrostruktury cementového kamene, jedná se o tuhou látku s pevností 1 – 20 MPa.

3. perioda (stupeň stabilní struktury): vznikají fáze **drobnovláknité C-S-H**, **ettringit postupně přechází na monosulfát** Afm, nastává hydratace belitu, **sníží se vývin tepla** a hydratační reakce jsou řízeny difúzí. Tuto periodu lze rozdělit na **období klesající rychlosti hydratace** (asi 28 dnů) a na **období „dozrávání“**, které může trvat i několik let. V prostoru mezi zrny cementu nastává rekrystalizace fází. **Objem hydratačních produktů je 2 až 2,2 krát větší než původní objem cementu.**



Obr.4. Průběh hydratace cementu

Při hydratačních reakcích cementu se **uvolňuje hydratační teplo**, jehož množství je závislé především na:

- mineralogickém složení slínku a cementu,
- jemnosti mletí cementu,
- teplotě, při které hydratace probíhá.

VÝROBA ČERSTVÉHO BETONU

V současnosti je zcela převládajícím způsobem průmyslové přípravy betonu jeho výroba ve formě **transportbetonu**. Transportbeton je čerstvý beton vyrobený v **centrální betonárně**. Centrální betonárna je vybavena mísícím centrem (míchačkou) a skladovacími prostory jednotlivých složek betonu. Pojiva jsou vždy uložena v oddělených silech, kamenivo zpravidla na řízené skládce. Centrální betonárny jsou schopny v relativně krátké době vyrábět velká množství betonu ($16\text{--}90\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$). Na stavenišťe nebo po staveništi je přepravován převážně **autodomíchávači (Obr.5)**. Autodomíchávač je nákladní automobil s nástavbou otáčivého bubnu o užitém objemu **4–12 m³**. Maximální doba přepravy je závislá na složení čerstvého betonu. Obecně se uvádí, že by **neměla překročit 90 minut** při přepravní vzdálenosti **35km**.



Obr.5. Aplikace transportbetonu autodomícháčem a betonovým čerpadlem

ZHUTŇOVÁNÍ ČERSTVÉHO BETONU

Procesem zhutňování se zabezpečuje co možná **nejhutnější struktura** ztvrdlého betonu. Zhutňováním dochází k **minimalizaci vzduchových pórů** v betonu, což pozitivně ovlivňuje jeho mechanické i speciální (vodotěsnost, odolnost vůči agresivním látkám, trvanlivost) vlastnosti (viz Obr. 6. a 7.).

Při hutnění betonu **nesmí dojít k odměšení** (tj. k segregaci) a k odlučování cementového tmelu.

Zhutňování se provádí **následujícími způsoby**:

- **staticky** (lisováním, válcováním),
- **dynamicky** (dusáním, střásáním, propichováním),
- **kombinovaně** (např. vibrolisování),
- **chemicko-fyzikálně** (např. plastifikace).

Způsoby zhutňování se volí podle konzistence čerstvého betonu a jeho reologických vlastností.

Nejčastějším a nejuniverzálnějším způsobem zhutňování čerstvého betonu na staveništi je použití **ponorných nebo příložných vibrátorů**.

Doba vibrace závisí na konzistenci čerstvého betonu. **Čím je čerstvý beton tekutější, tím musí být doba hutnění kratší.**



Obr. 6. Špatně zhutněný beton s velkým množstvím vzduchových pórů



Obr. 7. Dobře zhutněný beton s malým množstvím vzduchových pórů

OŠETŘOVÁNÍ ČERSTVÉHO BETONU

Beton je nutno po určité době po uložení **ošetřovat a ochránit** zejména proti přímým účinkům povětrnostních vlivů (extrémních kladných nebo záporných teplot, dešti, větru), proti škodlivým otřesům, nárazům a dalším poškozením, a to za účelem:

- **minimalizace plastického smršťování** (vlivem rychlého vysychání a vzniku nežádoucích tahových napětí),
- **dosažení požadovaných vlastností** (zabezpečení nerušené hydratace cementového tmelu pro vývoj konečných pevností),
- **zabezpečení dostatečné odolnosti a trvanlivosti povrchové vrstvy** (zejména bude-li beton v konstrukci vystaven okolnímu agresivnímu prostředí).

Povrch uloženého betonu je nutno bez odkladu během tuhnutí a na počátku tvrdnutí udržovat ve vlhkém stavu a vodným způsobem chránit:

- **poléváním vodou**,
- těsným překrytím **plastovou fólií** nebo **vlhkou tkaninou** či jiným zvlhčeným materiálem,
- **ponecháním v bedně** delší dobu, zvláště v letním počasí,

- **nástřikem** speciálními prostředky, které snižují odpařování vody z povrchu.

Betony, které budou vystaveny působení prostředí se stupněm expozice X0 nebo XC1 musejí být ošetřovány **nejméně 12 hodin**, jestliže doba jejich tuhnutí není delší než 5 hodin teplota povrchu betonu se rovná nebo je větší než $+5^{\circ}\text{C}$.

Betony určené pro prostředí s jinými stupni vlivu se musejí ošetřovat tak dlouho, dokud pevnost jejich povrchové vrstvy nedosáhne 50% stanovené pevnosti v tlaku.

Dobu ošetřování se doporučuje prodloužit v případě, že beton bude vystaven obrusu nebo jiným nepříznivým podmínkám.

Teplota vody pro ošetřování betonu může být **maximálně o 10°C vyšší**, než je teplota povrchu betonu. Při teplotách prostředí nižších než $+5^{\circ}\text{C}$ se tvrdnoucí beton nevlhčí.

Teplota povrchu betonu nesmí (zejména v počátečních fázích tuhnutí a tvrdnutí) klesnout pod 0°C .

VLIV TEPLoty NA VLASTNOSTI BETONU

Beton je **kompozitní materiál**, tj. i jeho chování při působení vyšších teplot je dáno rozdílnou teplotní roztažností kameniva, cementového tmele a oceli. Při teplotách zhruba mezi **$350 - 600^{\circ}\text{C}$** dochází k uvolňování chemicky vázané vody v hydratovaných minerálech. Při teplotě **573°C** dochází k polymorfní změně křemene z modifikace α na modifikaci β , což je doprovázeno objemovými změnami (Obr.8.). Se vzrůstající teplotou soustavně klesá pevnost betonu, při **500°C** asi **na 80%** a při **800°C** už na **10 – 20%** původní pevnosti. Pokles pevnosti závisí však také na době působení zvýšené teploty. V železobetonu se navíc projeví pokles pevnosti ocele.



Obr.8. Podoba krychle, vyrobené z prostého cementového betonu, původních rozměrů 150x150x150mm, po výpalu na 1200°C

KOROZE BETONU

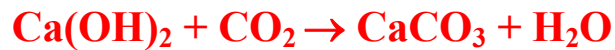
Působením okolního prostředí dochází ke **korozi betonu**. Beton je napadán řadou látek, které působí na jeho strukturu a vlastnosti. **Nejslabším místem v betonovém kompozitu je cementový kámen.**

Základními případy koroze jsou:

- **působení** měkké („**hladové**“, čisté) **vody** (tzv. **koroze I. typu**) – viz Obr. 9.,
- **působení** vzdušného oxidu uhličitého za přítomnosti vlhkosti – **karbonatace** – viz Obr. 10.,
- **působení síranových iontů – sulfatace** (Obr.11.),
- **alkalicko-křemičitá reakce kameniva** v betonu,
- **biologická koroze betonu.**

Pravděpodobně nejčastějším případem koroze betonu je **karbonatace**. Karbonatace je projevem „stárnutí“ betonu, který je napadán oxidem uhličitým z atmosféry. Koncentrace CO₂ ve vzduchu je běžně **0,03%**, ale v průmyslových

oblastech nebo v průmyslových nebo občanských stavbách může být několika řádově vyšší (sportovní haly apod.). Při procesu karbonatace dochází ke vzniku novotvořeného kalcitu, což je doprovázeno zvětšováním objemu a výrazným poklesem pH betonu:



Karbonatace betonu je v rámci „polních zkoušek“ zjišťována jednak pomocí reakce povrchu betonu se zředěným roztokem HCl a/nebo reakcí s lihovým roztokem fenolftaleinu. **Fenolftalein** je acidobazickým indikátorem, který mění v zásaditém prostředí svoji barvu do fialova (červenofialova). Tato změna barvy je na povrchu betonu viditelná při **pH 9,5** (Obr.10.).

Při **sulfataci** betonu dochází k reakci C₃A se síranovými ionty za vzniku **ettringitu**. V rámci této reakce dojde ke zhruba **osminásobnému zvětšení** objemu reakčních produktů a tím pádem k lokální destrukci struktury cementového kamene (proto je např. v síranovzdorných cementech omezeno množství C₃A).



Obr.9. Vyloužení části cementového kamene v betonu v důsledku působení koroze I. typu



Obr. 10. Acidobazická reakce zdravého betonu při fenolftaleinové zkoušce



Obr. 11. Výkvěty sádrovce na povrchu betonu

Při **alkalicko-křemičité reakci** dochází ke tvorbě rozpínavého gelu, a to díky reakci alkálií z cementu, vody, příp. kameniva s reaktivním SiO_2 v kamenivu.

Potencionálně nebezpečnými typy kameniva jsou horniny obsahující opál,

chalcedon nebo vulkanické sklo. V letech 1995–1998 došlo (díky alkalicko-křemičité reakci) k odstranění např. cca 10km cemento-betonového krytu D11.

BETONOVÁNÍ V „EXTRÉMních“ KLIMATICKÝCH PODMÍNKÁCH

Extrémními klimatickými podmínkami se rozumí jednak **horké letní počasí** a jednak **mrazivé zimní teploty**. V obou případech se jedná o vliv teploty na tvrdnutí betonu a nárůst pevnosti při teplotách značně odlišných od normální teploty 20°C. Opatření vůči vysokým teplotám mají charakter buď:

- **aktivní ochrany** (složení a vlastnosti čerstvého betonu),
- **pasivní ochrany** (omezení vlivu vnějšího prostředí na beton).

Při **betonování při vyšších letních teplotách** dochází k **rychlejšímu tuhnutí a tvrdnutí betonu**, k **intenzivnějšímu odpařování vody z povrchu betonu**, čímž mohou v betonu **vznikat trhlinky**. Rovněž se výrazně **zkracuje doba zpracovatelnosti betonu**. Mohou být uplatněna tato ochranná opatření:

- **omezit působení přímých slunečních paprsků** na kamenivo, strojní zařízení a beton,
- **dávkovat do míchačky „studené“ kamenivo** (uložené ve stínu) a studené vody,
- **používat cementy s nízkým hydratačním teplem**, popř. **zpomalovací přísady**,
- **v mimořádných situacích raději betonovat v noci**.

Při **betonování v zimě** je nutno si uvědomit, že **nízké teploty výrazně zpomalují vývoj pevnosti betonu**, **při teplotách nižších než +5°C se výrazně zpomaluje hydratace cementu** a při teplotách okolo 0°C se prakticky zastavuje.

Tvorbou ledu zároveň **mrznoucí voda zvětšuje svůj objem o 9%**, čímž dochází v tvorbě hydraulického tlaku v pórové mikrostruktuře a může docházet k porušení struktury betonu, ztrátě soudržnosti kamene s výztuží nebo povrchem kameniva. Mezi technologická opatření mohou patřit:

- zvýšení obsahu cementu, použití cementů vyšších pevnostních tříd a s vyšším vývinem hydratačního tepla,
- snížit vodní součinitel účinnými plastifikátory,
- použít přísady urychlující tvrdnutí betonu,
- ohřev složek čerstvého betonu (kameniva a vody),
- ohřev čerstvého betonu v míchačce vstřikováním páry po dobu míchání,
- tepelná izolace bednění.

SPECIÁLNÍ BETONY

Do kategorie speciálních betonů se řadí betony, u nichž **některý ze zásadních** (klíčových) **parametrů nabývá neobvyklé hodnoty**.

Mezi speciální betony tedy patří:

- betony s garantovanou **vodotěsností** (**vodostavební betony**),
- betony s **neobvyklou objemovou hmotností** (lehké a těžké betony),
- betony s **vysokou pevností a trvanlivostí** (**HPC a HSC betony**),
- betony se **zvýšenou odolností vůči vysokým teplotám** (žárovzdorné betony),
- betony se **zvýšenou zpracovatelností** (**samozhutnitelné betony – SCC**)
- betony plnící architektonickou funkci (**pohledové betony, vymývané betony**),
- **betony s rozptýlenou výztuží** (drátkobetony, vláknobetony).

Vodostavební beton

Vodostavební beton je speciálním druhem trvanlivého betonu, u něhož byla zabezpečena dostatečná odolnost vůči účinkům tlakové vody. Na vodou nezátížená straně **nesmějí vznikat viditelné průsaky ani vlhké skvrny**.

Vodostavební betony mohou mít velmi rozmanité použití:

- vodní díla, gravitační přehrady, části zemních hrází,
- úpravny a čistírny vod,
- trubní rozvody a dílce pro kanalizační systémy,

- vyztužené skořepiny trupů říčních plavidel,
- ostění tunelů, realizované v technologii stříkaného betonu,
- tzv. bílé vany – podzemní konstrukce a objekty, vystavené účinkům vody, které nemají běžnou vrstvu vodotěsné izolace.

Nejnižší přípustná třída betonu vystaveného účinkům proudící vody je C 20/25. Vodotěsnost betonu **závisí především na pórové struktuře ztvrdlého cementového kamene**. Cementový kámen, zhotovený s vodním součinitelem $w/c \leq 0,40$ je možno považovat za téměř nepropustný. Jednou ze základních laboratorních zkoušek, kterými se ověřuje vodonepropustnost betonů je zkouška tlakovou vodou na tlakové stolici.

Lehký beton

Lehké betony (LC) jsou **vylehčeny** dutinami a póry ve své textuře nebo betony, které byly vyrobeny za použití **pórovitého kameniva** nebo za pomoci plynotvorných a pěnotvorných přísad.

Objemová hmotnost lehkých betonů v suchém stavu se obvykle pohybuje v rozpětí **mezi 200 – 2000 kg.m⁻³**. Krychelná pevnost může dosáhnout až okolo 90 MPa. Podle způsobu vylehčení se lehké betony rozdělují na:

- mezerovité (s využitím mezerovitosti kameniva),
- hutné, nepřímo lehčené pomocí pórovitého kameniva,
- přímo lehčené vytvořenými póry při výrobě hmoty (pórobetony).

Pórobeton

Pórobeton (autoklávovaný pórobeton) je nejvýznamnějším druhem **přímo lehčeného betonu**, v minulosti byly tyto hmoty označovány také jako **plynobetony** nebo **plynosilikáty**. Podle složení (a tím pádem barvy) se pórobetony někdy rozdělují na tzv. **bílý pórobeton** a tzv. **šedý pórobeton**. Základními surovinami pro výrobu pórobetonů jsou:

- **pojivo** – **pálené vápno, cement,**

- **křemičité látky** – křemičitý písek, popílek,
- **plynotvorné látky** – práškové kovy (zejména **hliník**),
- **pomocné suroviny** – např. **sádrovec (energosađrovec)**,
- **voda.**

Technologie výroby pórobetonu postupuje v zpravidla následujících krocích:

- **velmi jemné semletí** křemičitých látek (samostatně nebo společně),
- **mísení a homogenizace** semletých křemičitých látek **s pojivy a případnými pomocnými látkami,**
- **smíchání surovinové směsi** v míchačce **s vodou**, tzv. přerostovými kaly **a plynotvornými látkami,**
- **vlití „těsta“ do forem**, v nichž proběhne nakypření směsi,
- **zarovnání a rozřezání „buchty“** (odstranění přerostů, rozřezání strunovými odřezávači na požadované tvary),
- **autoklávování** (vytvrzování za vyšší teploty pomocí páry a za vyššího tlaku).

Základní látkou, která zabezpečuje tvorbu pórů ve struktuře je hliníkový prášek. Plynotvorná reakce probíhá podle následující chemické reakce:



Těžký beton

Jako **těžký beton** se podle ČSN EN 206-1 označuje beton s objemovou hmotností v suchém stavu vyšší než **2600 kg.m⁻³** (resp. 2800 kg.m⁻³). Těžké betony se využívají zejména při stínění RTG záření nebo γ – záření. Hlavní součástí těžkých betonů je těžké kamenivo, tj. **kamenivo s objemovou hmotností nad 3000 kg.m⁻³**. Nejčastěji se jako plniva používají minerály železa (magnetit, hematit, limonit), baryt nebo uměle připravené a upravené kusy oceli nebo litiny (broky, odřezky).

Vysokopevnostní betony

Jako **vysokopevnostní beton** (HSC) se označuje beton s charakteristickou pevností **vyšší než 65 MPa**. Vysokopevnostní betony se vyznačují velmi rychlým nárůstem pevnosti – za 24 hodin dosahují již cca 30 – 50 MPa a v normových podmínkách zrání za 28 dní pevnosti v rozmezí 90 – 150 MPa.

Celkově se vysokopevnostní betony vyznačují zejména **vysokou hutností cementového tmele**, což, spolu s nízkými hodnotami vodního součinitele, použitím účinných superplastifikátorů a kvalitního kameniva, vede právě k dosažení vysokých pevností ztvrdlého betonu. Vysoká hutnost betonu se zároveň příznivě projeví ve **vysoké kvalitě jeho trvanlivostních vlastností**. Výraznou předností vysokopevnostních betonů je možnost zmenšení průřezů nosných prvků a tím pádem snížení celkového množství betonu použitého v konstrukci, zmenšení množství výztuže a úspora půdorysné plochy staveb

První HSC a HPC byly ve světě použity na přelomu 60. a 70. let 20. století, jejich intenzivní vědecký a laboratorní výzkum a praktické aplikace jsou však zahájeny zejména **na přelomu 80. a 90. let minulého století**. V současné době našly HPC a HSC své uplatnění zejména v USA, Japonsku a některých zemích západní Evropy, např. v Německu, Norsku, Dánsku nebo Francii, a to jak u výškových budov, v mostním stavitelství, tak také při budování vrtných plošin pro těžbu ropy a zemního plynu z mořského dna.

Vysoké pevnosti a nízké propustnosti cementového tmele jsou u HSC betonů dány **přítomností speciálních příměsí**, které „vylepšují“ zrnitost cementového zrna. Jedná se např. o mikrosiliku (tj. amorfni příměs s vysokým – 90-99% obsahem amorfniho SiO_2) nebo metakaolín – $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$.

Žárovzdorné betony

Žárovzdorné betony se používají v případech, kdy je nutno použít beton pro **oblast vysokých teplot**. Příkladem je např. vyložení úvodních pásem rotační pece pro výpal cementářského slínku. Pro přípravu žárovzdorných betonů se často používá hlinitanový cement.

Samozhutnitelný beton

Samozhutnitelný beton (SCC) je charakterizován **schopností tečení čerstvého betonu bez působení vnějších dynamických sil**. Další typickou vlastností je odolnost vůči rozměšování a segregaci hrubých zrn a schopnost zhutnění vlastní hmotností. Zvláštním požadavkem na SCC je vysoký obsah jemnozrnných příměsí. Při max. zrnů 16mm by měl podíl částic $\leq 150\mu\text{m}$ činit asi $500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Vláknobetony a drátkobetony

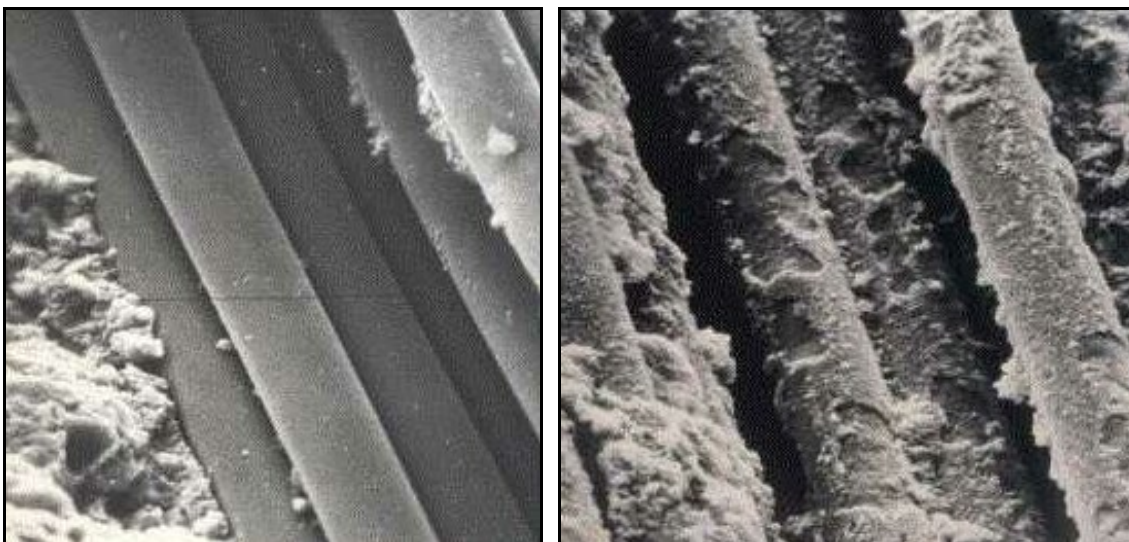
Vláknobetony (FRC – Fibre Reinforced Concrete) jsou speciální typy konstrukčních betonů, u kterých **se již při jejich výrobě k běžným složkám přidávají vhodná vlákna**, plnící funkci rozptýlené výztuže. Úlohou vláknové výztuže je **změna křehkého charakteru** betonu. Nejedná se o nahrazování ocelové výztuže v betonu, ale o **rozšíření možností uplatnění betonu**, protože vláknovou výztuží dochází ke zlepšení některých vlastností betonu, např.:

- **zvyšuje se pevnost betonu v tahu a v tahu ohybem**, tím se omezuje nebo zamezuje vzniku trhlin,
- **snižují se deformace betonu smrštěním** (dochází k lepší odolnosti vůči objemovým změnám při tvrdnutí betonu),
- **omezuje se křehkost betonu**, zvyšuje se jeho houževnatost a pevnost v rázu,
- **zvyšuje se únavová pevnost**, vlákna přenášejí sílu přes případné trhliny.

Jako rozptýlené výztuže se používaly nebo používají tyto látky:

- **azbestová vlákna** (dnes jsou díky prokázané karcinogenitě azbestu z používání vyloučena),
- **ocelové drátky** (nejčastěji jsou používány v délkách od 12 do 60mm, tloušťek od 0,25 do 1,0mm, štíhlostní poměr 50 až 100; často mají upravené konce kvůli dostatečnému zakotvení v betonu),
- **skelná vlákna** (musejí především **odolávat silně alkalickému prostředí cementového tmele a kamene**, čehož se dosahuje buď speciálním

složením sklářského kmene ($\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2 - \text{ZrO}_2$) nebo povrchovou lubrikací) – viz. Obr. 12),



Obr. 12. Mikrostruktura betonu vyztuženého skleněnými vlákny (vlevo - skleněné vlákno odolné proti alkalitě (Cem-FIL) po několika letech, vpravo - běžné skleněné vlákno po několika týdnech). Podle Pytlíka (2000).

- čedičová vlákna,
- polypropylenová vlákna.

MALTY A OMÍTKY

Malta je stavivo, které se připravuje smísením **drobného kameniva**, **anorganického pojiva**, popřípadě i **přísad** a **příměsí** a následným rozmísením vzniklé granulární směsi vodou na požadovanou konzistenci.

Tímto postupem může být z výchozích složek malty vyráběna buď přímo na staveništi (**staveništní malta**) nebo se ke stejnému účelu použije v továrně předem vyrobená směs plniv, pojiv, přísad a příměsí (**suchá maltová směs**), která se na staveništi už pouze rozmíchává s vodou. Třetí možností je výroba kompletní malty včetně vody v centrální výrobě (**mokrý maltová směs**).

Malty jsou tradiční stavební hmotou, sloužícím ke spojování stavebních prvků, k ochraně a úpravě povrchů staveb, k těsnění dutin, spár, k izolaci před teplotami, vodou a agresivním prostředím a k ochraně výztuže.

Podle účelu se rozeznávají především **malty pro zdění** a **malty pro omítky**. Kromě toho se malty používají pro **kladení dlažeb a obkladů**, ke **spárování** a pro **výrobu keramických stavebních dílců**. Významné uplatnění mají také **stykové malty** (cementové malty pro osazování stavebních dílců), **zálivkové malty** (malty pro vyplňování prostoru mezi dílci) a malty používané jako sanační či reparační hmoty při úpravách povrchu stavebních konstrukcí (např. **sanační malty**).

Pro výrobu malt se používá hlavně těchto složek:

- **pojiv**
 - **vzdušných** (sádra, vyhašené vzdušné vápno, vápenný hydrát)
 - **hydraulických** (hydraulické vápno, cementy – portlandský, směsný portlandský, vysokopecní, speciální)
 - **kombinovaných a směsných** (cement + vápno, vápno + pucolán, vápno + sádra)
- **plniv**
 - **přírodního kameniva** (štěrkopísek se zrnitostí 0– 8mm)
 - **umělého kameniva** (vysokopecní struska, škvára, popílek, teracové drtě, keramzit, expandovaný perlit, slévárenský písek, expandovaný polystyrén)
- **přísad a příměsí**
- **záměsové vody**

Zrnitost plniva (kameniva) se volí podle účelu malty:

- **frakce 0/8** – pro malty v keramických dílcích, pro osazování dílců (pro **stykové malty**), pro potěry,
- **frakce 0/4** – pro malty pro zdění, pro kladení dlažeb a obkladů, pro jádrovou vrstvu omítek,
- **frakce 0/1** – pro malty na jemné omítky (**štuk**), pro spárování spár do šířky 4mm.

Rozdělení malt

1. podle účelu použití

- *malty pro zdění (třídy pevnosti M1; M2,5; M5; M10; M15; M20)*
- *malty pro vnější a vnitřní omítky*
- *malty pro výrobu keramických dílců*
- *malty tepelně izolační*
- *malty stykové a spárovací*
- *malty pro kladení dlažeb a obkladů*
- *speciální malty (březolitové, kyselinovzdorné a žáruvzdorné, barytové, hliněné) a omítky (tenkovrstvé, sanační)*

2. podle typu použitého pojiva

- *vápenné obyčejné (hrubé) – MV*
- *vápenné jemné – MVJ*
- *vápenocementové obyčejné (hrubé) – MVC*
- *vápenocementové jemné – MVCJ*
- *malty pro šlechtěné omítky – MVCO*
- *vápenosádrové – MVS*
- *sádrové – MS*
- *cementové obyčejné (hrubé) – MC*
- *malty pro cementový postřík – MCP*

3. podle objemové hmotnosti malty ve vysušeném stavu

- *tepelně izolační (do 1100 kg.m⁻³)*
- *vylehčené (resp. lehké, do 1600 kg.m⁻³)*
- *obyčejné (do 2300 kg.m⁻³)*
- *těžké (nad 2300 kg.m⁻³)*

4. podle tepelné vodivosti u tepelně izolačních malt

- tepelně izolační (λ max. $0,4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
- vysoce tepelně izolační (λ max. $0,25 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
- mimořádně tepelně izolační (λ max. $0,14 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)



Obr.13. Zařízení pro stanovení konzistence čerstvé malty



Obr. 14. Výsledek odtrhové zkoušky zatvrdlé malty