

## ZPOMALOVAČE TUHNUTÍ BETONU

Zpoždovače (retardéry) jsou určeny pro zpoždění tuhnutí betonu a tím umožnit delší zpracovatelnost betonu. Zpoždovače tuhnutí jsou nejčastěji vyrobeny a bázi například fosfátů, lignosulfonátů, derivátů cukrů nebo oxicarbonových kyselin. Tyto látky se účastní chemicko-mineralogických reakcí během hydratace cementu. Hydratace cementu je velmi složitý proces, a proto je nutné při výrobě těchto přísad kontrolovat vzniklé interakce mezi cementem a zpoždovačem. Pro aplikaci zpoždovače je nutné navrhnout odpovídající dávkování v závislosti na typu cementu, tloušťce konstrukce, teploty betonové směsi, okolní teploty, požadované době zpoždění tuhnutí betonu. Každá aplikace zpoždovače je tedy jedinečná a není možné tabelárně předepsat dávkování zpoždovačů. Nejspolehlivějšími zpoždovači používanými pro masivní betonové konstrukce jsou pyrofosforečnan tetrasodný a sacharóza. Dlouhodobé zpomalovače na bázi kyseliny fosforečné označované zkratkou PBTC, působí blokováním hydratace křemičitanů vápenatých vrstvou těžko rozpustného vápenatého fosfonátu. V ČR se velmi často používá pro zpomalení tuhnutí betonových potěrů.



## URYCHLOVAČE TUHNUTÍ A TVRDNUTÍ BETONU

Urychlovači se označují látky, které přidáním do směsi cementu a vody urychlují hydratační reakce. Urychlovače se dělí na přísady určené ke zkrácení doby tuhnutí plastické betonové směsi a na přísady určené k zvýšení počátečních pevností zatvrdělého betonu. Některé urychlovače mohou ovlivňovat jak tuhnutí tak i tvrdnutí betonu. Účinnost urychlovačů se ve fázi tuhnutí betonu zjišťuje zkouškou Vicatovým přístrojem s ocelovou jehlou. Účinnost zpomalovačů tvrdnutí se zjišťuje zkouškami počátečních pevností zatvrdělého betonu na betonových trámčích. Účinnost zpomalovačů je možné také zkoušet nepřímo měřením tepla, které se uvolní při hydrataci, protože hydratace je chemickou exotermickou reakcí.

Podle formy urychlovačů se dělí na urychlovače:

- kapalné, vzniklé rozpuštěním anorganickými nebo organickými solí
- práškové rozpustných anorganických nebo organických solí
- práškové nerozpustné látky
- nerozpustné anorganické soli a sloučeniny, dispergované ve vodě

Nejčastějšími látkami používanými jako urychlovače jsou:

- hydroxidy
- halogenidy
- dusitany a dusičnany
- uhličitany
- thiokyanatan
- sírany a thiosírany
- hlinitany
- silikáty
- karboxylové a hydroxykarboxylové kyseliny a jejich soli
- alkanolaminy

## PŘÍŠADY DO BETONŮ A MALT II

Urychlovače jsou používány především pro betonování za snížených nebo nízkých teplot. Některé urychlovače snižují teplotu bodu tání ledu, čímž zabraňují zmrznutí záměsové vody v tuhoucím betonu. Některé urychlovače, které jsou označovány protimrazové, lze použít až do teploty  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Výjimkou je aplikace urychlovačů u stříkaného betonu. Při nižších teplotách dochází k zpomalenému rozpouštění cementu a k pomalým chemickým reakcím se slídkovými minerály. Zpomalené chemické reakce mají za následek malou rychlost uvolňování hydratačního tepla. Zpomalené chemické reakce potom vedou k pomalému nárůstu pevnosti. Urychlovače tuhnutí a tvrdnutí betonu jsou určeny ke zrychlení těchto chemických reakcí působením na reaktivnost trikalciualuminátu ( $\text{C}_3\text{A}$ ) a trikalciumsilikátu ( $\text{C}_3\text{S}$ ) vodou. Před použitím urychlovače je třeba vzít v úvahu možné změny chování betonové směsi a vlastností zatvrdělého betonu. K eliminaci vlivu urychlovačů na vlastnosti betonové směsi a betonu je v některých případech nutné provést úpravy složení betonu, hodnoty vodního součinitele a konzistence betonové směsi.

Účinnost urychlovačů závisí na mnoha faktorech. Prvním faktorem je velikost dávky urychlovače. Každá přísada má výrobcem stanové rozmezí a v tomto rozmezí se musí dávka urychlovače pohybovat. Překračování nejvyšší přípustné dávky je vždy spojeno s rizikem negativních změn vlastností zatvrdělého betonu. Naopak dávka urychlovače na spodní prahu doporučeného dávkování může mít téměř nulový efekt. Účinnost urychlovače podstatně ovlivňuje druh a pevnostní třída cementu. Největší účinnosti dosahují cementy s vysokým obsahem trikalciualuminátu ( $\text{C}_3\text{A}$ ), tj. cementy CEM I. Proto účinek urychlovačů u směsných cementů je vždy menší než u cementů CEM I. U urychlovačů panuje názor, že postačí přidat do betonu přísadu, která se postará o ztvrdnutí betonu s dostatečnou pevností. Pro funkci urychlovačů je nutná co největší teplota betonové směsi. Proto je nutné dodržovat zásady betonáže za nízkých teplotách.

V následujícím přehledu jsou uvedeny nejčastěji používané urychlovače.

### URYCHLOVAČE NA BÁZI CHLORIDU VÁPENATÉHO ( $\text{CaCl}_2$ )

Tyto urychlovače jsou nejstaršími používanými urychlovači. Jsou velmi účinné a kromě zkrácení doby tuhnutí betonu zkracují počátek tuhnutí betonu. Chlorid vápenatý urychluje jak reakci mezi trikalciualuminátem ( $\text{C}_3\text{A}$ ) a sádrovce ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), ale také s alitem ( $\text{C}_3\text{S}$ ). Tohoto efektu se využívá například při výrobě betonových dlaždic nebo trub. Nevýhodou chloridových urychlovačů je **nemožnost použití pro železobeton, ale i pro prostý beton vyztužený pouze konstrukční nebo manipulační ocelovou výztuží**. Další nevýhodou je možný výskyt výkvětů, což je nežádoucí především u pohledových prvků.

### URYCHLOVAČE NA BÁZI DUSIČNANŮ

Tento typ urychlovačů má jako základní složku tetrahydrát dusičnanu vápenatého ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ). Nemají korozivní účinky, takže jsou použitelné jak pro prostý beton, tak i pro železobeton. Dusičnany mají nižší účinnost než chlorid vápenatý. Dusičnan vápenatý v betonu způsobuje vápenatým iontem rychlejší tvorbu hydroxidu vápenatého. Dusičnan a s trikalciualuminátem a vodou vytváří komplexní sloučeniny, které zvyšují rychlost tvorby hydroxidu vápenatého. Na rozdíl od ostatních urychlovačů dusičnany dosahují zrychlení tuhnutí při nižších dávkách, ale pro

## PŘÍSDADY DO BETONŮ A MALT II

zvýšení tvrdnutí betonu je vhodné smíchat dusičnany s jiným urychlovačem. Na zvýšení rychlosti tuhnutí nemá u dusičnanů vliv obsahu trikalcialuminátu, ale na obsahu belitu. Kromě toho ocelovou výztuž chrání dusičnanový iont. Dusičnanový iont vyvolává tvorbu hydroxidu železnatého, chrání ocelovou výztuž. Podle řady technických listů od výrobců je deklarována funkce zabraňovat zmrznutí vody při teplotě pod bodem mrazu, takže umožňují betonáž při nízkých teplotách až do  $-15^{\circ}\text{C}$ . Funkce jako nemrznoucí přísady ale nebylo prokázáno.

### URYCHLOVAČ NA BÁZI DUSITANU

Tento urychlovač má jako základní složku dusitan vápený  $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ . Dusitan vápenatý je krystalická rozpustná látka s bílými krystaly, a používá se jako nemrznoucí přípravek a anodový inhibitor koroze. Účinnost je přibližně stejná jako účinnost chloridu vápenatého. Dávkuje se v množství 0,3 až 2,3 % z hmotnosti cementu. Problémem použití tohoto urychlovače je jeho jedovatost a diskutuje se, zda není mutagenní. I když je dusitan vápenatý považován za nejlepší urychlovač betonu, tak není doporučen kvůli ohrožení zdraví a životního prostředí.

### URYCHLOVAČE NA BÁZI THIOKYANATANŮ

Tyto urychlovače byly v minulosti nazývány jako sulfokyanatanové, thiokyanidové nebo rhodanidové. Hlavní složkou těchto přísad je thiokyanatan sodný ( $\text{NaSCN}$ ), draselný ( $\text{KSCN}$ ) nebo vápenatý ( $\text{Ca}(\text{SCN})_2$ ). Urychlovače na bázi thiokyanatanů působí ve fázi tvrdnutí, takže se často míchají s dusitany nebo dusičnany. Často se přidávají do lignosulfonátů pro eliminaci jeho retardačních účinků. Protože jsou thiokyanatany klasifikovány jako zdraví škodlivé, tak má používání těchto urychlovačů klesající tendenci. Urychlovač musí být označen značkou Xn ZDRAVÍ ŠKODLIVÝ. Ze skupiny urychlovačů na bázi thiokyanatanů je nejméně účinný thiokyanatan draselný. Ostatní thiokyanatany jsou velmi účinné. Dávka těchto urychlovačů by neměla překročit 1% z hmotnosti cementu. Urychlovače na bázi thiokyanatanů jsou považovány z látky, vyvolávající korozní prostředí, což ale nebylo zkouškami prokázáno. Z obav z možného korozního působení na ocelovou výztuž při předávkování přísady má používání tohoto urychlovače také klesající tendenci. Další nevýhodou pro přísady na bázi alkalických thiokyanátů je vysoké množství alkálií, které vstupují do betonu, což může vést k alkalicko-křemičité reakci.

### URYCHLOVAČE NA BÁZI UHLIČITANŮ ALKALICKÝCH KOVŮ

Nejčastěji používaným urychlovačem na bázi uhličitánů alkalických kovů je uhličitan draselný ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ), který je znám pod označením potaš. Potaš je bílá, silně hygroskopická sůl kyseliny uhličitě. Vodný roztok potaše je silně alkalický. Kromě potaše se také používá uhličitan sodný ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) známý též jako soda. V bezvodém stavu jde o bílý prášek. Ve vodě se snadno rozpouští za uvolnění hydratačního tepla. Vodný roztok sody je silně zásaditý. Potaš je velmi rychlý urychlovač, který se často používá pro stříkací beton. Pro použití v normálním betonu je nutné zpomalit hydrataci. Pro zpomalení chemické reakce se používá citrát vápenatý.

## URÝCHLOVAČE NA BÁZI SOLI KARBOXYLOVÉ KYSELINY

Pro urychlovače lze použít některé soli monokarboxylových kyselin. Nejpoužívanějším urychlovačem na bázi solí karboxylových kyselin je mravenčan vápenatý. Mravenčan vápenatý je vápenatou solí kyseliny mravenčí, a má chemický vzorec  $\text{Ca}(\text{HCOO})_2$ , a jeho pH hodnota je 8,0. Mravenčan vápenatý je stejně účinný jako chlorid vápenatý. Funguje také jako prostředek proti mrazu, který zabraňuje zmrznutí čerstvého betonu nebo malty s obsahem cementu. Při shodné receptuře je beton s urychlovačem chráněn proti poškození mrazem až do teploty  $-15\text{ }^\circ\text{C}$ . Potřeba záměsové vody se při stejné konzistenci přidáním tohoto urychlovače snižuje. Nezpůsobuje žádné výkvěty nebo korozi zabudovaných ocelových prvků. Umožňuje provádět betonářské a zednické práce i v zimě. Je vhodný zejména pro železobeton, silniční betony, transportbeton, cementové a vápenocementové malty. Je možno jej používat se všemi druhy cementu, které splňují normu ČSN EN 197. Není určen pro směsi kameniva s makroporézními a silně savými zrn (např. pemza, keramzit, agloporit a podobně). Rovněž není dovoleno použít pro výrobu betonové směsi zmrzlé kamenivo. Dávkování urychlovače činí při teplotě vzduchu do  $-10\text{ }^\circ\text{C}$  cca 1% hmotnosti cementu, tj. 10 g na 1 kg cementu, při teplotě do  $-15\text{ }^\circ\text{C}$  cca 2% hmotnosti cementu, tj. 20 g na 1 kg cementu. Největším problémem při použití mravenčanu vápenatého jako urychlující přísady do betonu je její nízká rozpustnost ve vodě (cca. 16 g / 100 g vody při pokojové teplotě). Dostupnost urychlovače je tedy pouze v práškové formě, což dělá problémy při dávkování. Problémem jsou poměrně vysoké dávky urychlovače, což zvyšuje obsah alkálií v betonu.

## URÝCHLOVAČE NA BÁZI KŘEMIČITANŮ

Urychlovačem na bázi křemičitanů je vodní sklo, které je považováno za konvenční urychlovač pro stříkaný beton. Vodní sklo je vodný roztok křemičitanu sodného (chemický vzorec  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ). Vodní sklo má hodnotu pH nad 12, patří tedy k zásaditým urychlovačům. Působení vodního skla spočívá ve velmi rychlé chemické reakci vodního skla s alumináty, čímž se zkrátí počátek doby tuhnutí. Vodní sklo působí jako urychlovač tuhnutí betonu a zároveň zvyšuje vaznost a lepivost betonu, protože spolu s vodou vytváří gel. Tohoto se využívá u stříkaného betonu. Vodní sklo se doporučuje u stříkaných betonů pouze výjimečně, ale stále se používá ve velké míře. Důvodem je, že u vodního skla dochází k značnému negativnímu ovlivnění struktury betonu, což vede ke snížení konečné pevnosti betonu. Vodní sklo lze použít pro všechny typy cementů. Vodní sklo vyžaduje dávku cca 10% z hmotnosti cementu. Použití vodního skla způsobuje dodání velkého množství alkálií do betonu, což může vést u betonů trvale vystavených vlhkosti ke zvýšení alkalicko-křemičité reakce.

## URÝCHLOVAČE NA BÁZI HLINITANŮ

Urychlovače na bázi hlinitanů jsou určeny pro stříkané betony. Urychlovače na hlinitanové bázi se rozlišují je na hlinitan sodný a hlinitan draselný. Hlinitan sodný ( $\text{Na}_3\text{AlO}_3$ ), (také nazývaný jako oxid hlinito-sodný) je bílý až nažloutlý prášek, ale může mít formu kapaliny nebo. V práškové formě je hygroskopický, snadno rozpustný ve vodě a jeho vodný roztok je silně alkalický s pH hodnotou 12. Hlinitan draselný ( $\text{K}_2\text{Al}_2\text{O}_4$ ) má stejné vlastnosti. Oba urychlovače mohou být použity pro suché míchání, míchání za mokra a jsou především určeny pro stříkaný beton. Doporučená dávka je

## PŘÍSADY DO BETONŮ A MALT II

obvykle od 2,5% do 5,5% procent z hmotnosti cementu. S hlinitanem draselným se dosahuje lepších výsledků. Hlinitany urychlují reakci sádrovce ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) a alitu ( $\text{C}_3\text{S}$ ) a brzdí vývoj etringitu kolem cementových zrn, což vyvolává okamžitou reakci trikalciualuminátu ( $\text{C}_3\text{A}$ ), což je požadováno u stříkaného betonu. Použití hlinitanů způsobuje dodání velkého množství alkálií do betonu, což může vést u betonů trvale vystavených vlhkosti ke zvýšení alkalicko-křemičité reakce.

### URYCHLOVAČE NA BÁZI SÍRANŮ

Urychlovače na bázi síranu mají zpravidla jako základní složku síran hlinitý  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . Tyto urychlovače jsou používány téměř výhradně pro výrobu stříkaného betonu. Síran hlinitý je bílý prášek a je rozpustný ve vodě. Při vysoké dávce vyvolává v betonu bleskovou chemickou reakci. Síran hlinitý reaguje s hydroxidem vápenatým a reakčním produktem je ettringit a hydroxid hlinitý. Síran hlinitý je používán v kombinaci s dalšími látkami jako součást urychlovacích systémů. Ve směsi látek je používána organická kyselina (např. kyselina mravenčí), hydroxid vápenatý, síran vápenatý jako hlavní složka a alkanolamin jako povrchově aktivní látka. Výsledkem je nealkalická přísada do stříkaného betonu, která nezvyšuje obsah alkálií v betonu. Právě alkálie ohrožují beton alkalicko-křemičitou reakcí.