

Zimní betonáž je náročná z hlediska technických, technologických, organizačních i ekonomických podmínek. Výrazně lepší podmínky pro tuto činnost jsou na velkých stavbách. Příčiny závad jsou různé. Převládající problémy jsou v chybném celkovém řešení a v technologické nekázní. Zásady k zajištění potřebné úrovně kvality v zimním období musí být komplexní s přihlédnutím ke konkrétním podmínkám. Vlastní procesy betonáže je třeba řídit a usměrňovat.

Winter concreting is demanding from technical, technological, organizational and economic points of view. Conditions for this activity are much better on big construction works. Causes of defects are different. Dominant problems are in the generally wrong conception and in the lack of technological discipline. Regulations for securing the quality level necessary in the winter period have to be complete with taking into account specific conditions. Winter concreting itself must be well controlled and assured.

Při celkovém hodnocení hospodárnosti a kvality výroby, přepravy, zpracování i ošetření betonu je nutno přihlížet k ročnímu období, zejména zimní období ovlivňuje intenzitu a efektivnost betonářských prací. Dosavadní zkušenosti ukazují, že betonové konstrukce lze provádět i v tomto období, avšak jen při zajištění vhodných opatření.

Provádění betonových konstrukcí za nízkých a záporných teplot přestalo již být záležitostí velkých staveb (se značným objemem betonářských prací). V porovnání s ostatními stavebními činnostmi lze však pokládat technologii betonáže ve zmíněných teplotních podmínkách za jeden z nejdůležitějších a nejobtížnějších problémů stavební výroby vzhledem ke skutečným teplotním poměrům v České republice. To však nemůže být omluvou pro výrobu betonů špatné kvality během zimního období. Je třeba vědět, kdy jsou podmínky pro výrobu kvalitní betonové konstrukce škodlivé a jaká opatření musí být provedena, aby se zaručilo, že se potřebná či požadovaná úroveň kvality prací dodrží. V období s nízkými teplotami musíme docílit, aby beton při výrobě, přepravě, uložení i při tuhnutí a na počátku tvrdnutí měl podmínky jako při ideálních povětrnostních poměrech.

V případě, že dodavatelská firma (betonárna i stavba) při betonování v zimních podmínkách není ochotna nebo schopna zajistit potřebná opatření k dosažení požadované kvality, pak by taková firma uvedená práce v citovaných podmínkách neměla provádět, neboť vynaložené pracovní síly, energie i materiály vedou pouze k nekvalitnímu výrobku.

Při rozhodování o betonáži při nízkých a záporných teplotách, zejména na menších stavbách, tj. s malou intenzitou objemu betonu, je nutno přihlídnout též k některým *negativním jevům*, jako jsou:

- ◆ zvýšené riziko snížení kvality betonářských prací;
- ◆ vyšší nároky na spotřebu energie;
- ◆ zvýšené náklady;
- ◆ větší pracnost vyvolaná zimním opatřením;
- ◆ snížená výrobnost;
- ◆ větší opotřebení strojního zařízení;
- ◆ zvýšené nebezpečí úrazů.

Naproti tomu *velké stavby (např. hydrotechnické) mají při řešení problému zimní betonáže lepší možnosti než drobné stavby:*

- ◆ velkou intenzitu prací a většinou dobré technické zázemí;
- ◆ vlastní betonáž i průběh zrání betonu jsou řešeny již v projektové dokumentaci před zahájením vlastní akce;
- ◆ betonují se konstrukce nebo jejich části o velkých kubaturách najednou;
- ◆ následná betonáž v témže místě bývá ve velmi krátkém časovém období;
- ◆ bednění bývá zesíleno nejen kvůli tepelné izolaci, ale i z hlediska statického a kvůli mnohonásobnému použití;
- ◆ přeprava betonu z betonárny na místo ukládky je pravidelná, velmi rychlá a obvykle probíhá ve velkém množství najednou;
- ◆ beton může mít nižší obsah vody, takže vývoj hydratačního tepla není opožděn, jeho zpracování ovšem vyžaduje účinné vibrátory;
- ◆ betony mohou být s maximálním zrnem kameniva větším než 32,0 mm;
- ◆ kamenivo se většinou odebírá ze skládek se spodním odběrem a prochází dopravními cestami chráněnými proti nadměrnému ochlazení, takže mívá většinou teplotu nad bodem mrazu a nevyskytuje se v něm sníh, led nebo zmrzlé hroudy;
- ◆ povrch, na který se ukládá nový beton, mívá teplotu nad +5 °C v důsledku hydratace dříve uloženého betonu;
- ◆ celá technologie je řízena komplexně vybavenou laboratorní službou a vlastní betonáž se doplňuje součinností ostatních útvarů stavby;
- ◆ období s nízkými teplotami je ideální pro ukládání betonů masivních konstrukcí, pokud je betonáž správně řízena a vlastní konstrukce je přiměřeně chráněna před nepříznivými účinky povětrnosti.

Příčiny závad konstrukcí prováděných při nízkých a záporných teplotách lze rozdělit takto:

- ◆ zbytečně velké používání cementů typu II/B (označení podle ČSN PENV 197-1) a nejnižších tříd (<32,5) s nízkým a pomalým vývinem hydratačního tepla, s možností působení mrazu na mladý beton s nedostatečnou pevností (hlavně tahovou);
- ◆ možnost vzniku trhlin i přes celou tloušťku konstrukce od teplotního spádu mezi povrchem a prostředkem konstrukce a od jeho následného vyrovnání;
- ◆ opatření prováděná dodavatelem v zimních podmínkách jsou nedostatečná (např. použití tenkého a tepelně propustného bednění, velmi dlouhá přepravní doba, neadekvátní tepelné ošetření apod.) a neodpovídají skutečným geometrickým rozměrům konstrukce charakterizovaným povrchovým modulem (poměr plochy povrchu k objemu);
- ◆ předčasným odbedněním prvku oproti pomalejšímu nárůstu pevnosti; k tomu dojde někdy i omylem (pevnosti betonu se posoudí ve zmrzlém stavu);
- ◆ kombinace nízkých teplot s působením agresivního prostředí na mladý beton;
- ◆ hrubé chyby a omyly:
 - použití urychlovače na bázi CaCl₂ u železobetonové konstrukce;
 - použití plastifikační přísady s vedlejším retardačním účinkem;
 - předávkování provzdušňovacího přípravku;
 - přerušování či předčasné ukončení ohřevu betonu;
 - betonování na zmrzlý povrch (promrzlé bednění či podkladní vrstva) s možným nerovnoměrným sedáním po rozmrznutí);

– betonování v pozdním podzimu bez náležitého zajištění (při náhlém poklesu teploty nebo nepříkrytých hubených betonů přes celou zimu);

◆ nedostatečná zkušenost [1].

Provádění betonových konstrukcí za nízkých i záporných teplot všeobecně vyžaduje:

◆ důkladnou přípravu, vysokou operativnost, odpovídající technologickou kázeň i příslušné znalosti všech zúčastněných útvarů i organizací;

◆ podrobné posouzení podmínek i zvoleného řešení (doporučuje se provádět ověření výpočetní technikou na podkladě všech vstupních i okrajových parametrů [2, 3]);

◆ zajištění:

- účelného průběhu tuhnutí a tvrdnutí;
- proti poškození zmrznutím;
- proti poškození trhlinkami v důsledku příslušného teplotního gradientu i jeho následného vyrovnání;

◆ odpovědný přístup k otázkám řízení výroby i kontroly každé akce [4].

Nebezpečí spojené s betonáží za nízkých teplot lze shrnout především do dvou oblastí. Nízké teploty pod $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (u cementů typu I) a pod $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (u cementů typu II/B) jednak výrazně zpomalují tuhnutí a tvrdnutí betonu, a oddalují tedy dosažení projektem požadovaných pevností, což může mít za následek neúnosné zpomalení tempa výstavby, jednak vytvářejí nebezpečí vzniku mrazových poruch tuhnoucího betonu. Tyto mrazové poruchy vznikají především jako důsledek prudce se zvětšujícího objemu vody na úrovni $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Toto zvětšení objemu činí přibližně 9 % a při dalším poklesu teploty se dále zvětšuje [2]. V důsledku toho vznikají ve struktuře betonu expanzní tlaky, které mohou mladý, několik hodin tuhnoucí beton s minimálními tahovými pevnostmi nevratně poškodit.

Konkrétní řešení zahrnuje (podle situace nemusí být všechny body uplatněny):

◆ zvýšení teploty betonu (hlavně ohřevem složek: vody, kameniva); zde ovšem negativně působí, že zvýšení teploty betonu vyžaduje vyšší obsah záměsové vody k zajištění potřebné konzistence [4]; musí se uvážit i zvýšený odpar vody z betonu;

◆ používání vyšších tříd betonu (snížením vodního součinitele v důsledku vyššího obsahu cementu) či vyšších tříd cementu portlandského typu (I) pro zkrácení doby nutného ošetřování [1];

◆ uplatnění protimrazových přísad (bez vedlejších negativních účinků a přítomnosti chloridů) a urychlovacích přísad, doporučují se výrobky na základě hlinitanu sodného apod., ale s posouzením všech vlivů jeho aplikace:

– urychlené tuhnutí betonu může být závažným problémem při dopravě, ukládání a zpracování, neboť tuhnutí před ztuhnutím poškozuje nenávratně pevnost;

– výrazně zvyšuje počáteční pevnost (ve stáří 6 až 24 hodin), naopak snižuje normové pevnosti (ve stáří 28 dní);

◆ nepoužívání zmrzlého kameniva i s ledem, měkkými zrny a nečistotami (výrazně lepší podmínky mají velkokapacitní betonárny s možností předzásobení před zimním obdobím a spodními odběry jednotlivých frakcí);

◆ dostatečná teplotní ochrana konstrukce (izolační materiály zabraňují nežádoucím vysokým gradientům teploty mezi

vnitřkem a povrchem betonu), kterou je třeba vždy doplnit paronepropustnou zábranou (např. fólií) k zamezení nežádoucího odparu;

◆ teplotní ošetření betonu (např. elektroohřevem pomocí ztraceného nízkonapětového izolovaného vodiče, tento postup je vysoce spolehlivý, umožňuje práci v našich klimatických podmínkách bez omezení, vlastní průběh se musí řídit bimetalickými teploměry či elektrickými termočládky; návrh technologie je vždy třeba zpracovat výpočetním modelem [5] s uvažováním vývinu hydratačního tepla, je to ovšem značně nákladné); opět nelze opominout paronepropustnou zábranu;

◆ organizační opatření, která většinou nejsou příliš nákladná (např. usměrnění betonáže z exteriéru do interiéru apod.);

◆ odpovědné stanovení potřebné odběhové doby (na podkladě experimentálních výsledků vhodnou zkušební metodou).

Pro řízení a kontrolu výroby betonu v chladném období je třeba zajistit:

◆ systematickou přejímku všech vstupních složek a namátkové posouzení skutečného stavu na deponiích kameniva (prakticky důsledně uplatnění podmínek ČSN PENV 206);

◆ měření teplot ovzduší (pokud ne průběžně, alespoň maximum minimálním teploměrem) a jejich ovlivnění stavem ovzduší (klidno, slabý či silný vítr apod.);

◆ systematické zkoušení teploty a konzistence betonu při jeho přejímce;

◆ průběžné měření teplot betonu (minimálně do doby jejich vyrovnání s vnějším prostředím);

◆ aby se potřebné parametry (např. pevnost betonu apod.) určovaly pomocí metod, jejichž experimentální údaje registrují skutečné poměry (např. kontrolní vzorky uložené v prostředí stavby apod.) a nejsou druhotně ovlivňovány vnějšími podmínkami, doporučuje se integrální sledování teplot betonu (službou či počítačem na podkladě zabudovaných čidel) nebo využití kapilární metody [6].

Literatura

[1] Valenta, O.: Rozbor závad při zimní betonáži. *Inženýrské stavby*, roč.13 (1965), č.12, s. 530–536.

[2] Dohnálek, J.: Provádění betonářských prací – konkrétní aplikace a postupy. In: *Technologie betonu v malých provozech a na stavbách* (Praha, 1994). Sekurkon, Praha, 1994, s. 54–73.

[3] Jonasson, J. E.: Beräkning av betongs mognadsutveckling vid vintergjutning. *Nordisk Betong*, (1983), č.6., s. 15–20.

[4] Horký, B.: Problémy zimní betonáže. In: *Technologie betonu v malých provozech a na stavbách* (Praha, 1994). Sekurkon, Praha, 1994, s. 23–31.

[5] Jašek, J.: Elektroohřev betonu monolitické železobetonové konstrukce ztraceným izolovaným vodičem. *Inženýrské stavby*, roč. 40 (1992), č. 9, s. 300–304.

[6] Krátký, J.: Současné možnosti počítače při řízení výroby betonu. In: *Aktuální trendy v rozvoji technologie betonu* (II.díl, Praha, 1989). DT ČSVTS, Praha, 1989, s. 67–72.

Ing. Bohumil Horký, CSc., Kloknerův ústav ČVUT Praha, Šolínova 7, 166 08 Praha 6