

REALIZACE ŽELEZOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍ V ZIMNÍCH PODMÍNKÁCH

Pavel Kasal, *

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební,
České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6, Česká republika.
pavel.kasal@fsv.cvut.cz

ABSTRAKT

Tento příspěvek se zabývá realizací železobetonových konstrukcí v zimních podmínkách. Shrnuje doporučení týkající se provádění, receptury betonu a ošetřování betonu. Krátce uvádí základní požadavky norem. V praktické části příspěvku jsou představena opatření při betonáži v zimních podmínkách z reálných staveb. Je zde zastoupeno tepelné izolování bednění, vytápění ztracenými elektrickými topnými kabely, teplovzdušné vytápění při realizaci stropních konstrukcí a použití systémového stěnového vytápěného bednění. V případě dvou příkladů jsou prezentována i měření vývoje teploty betonu. Na závěr jsou zmíněna specifika pracovních spár či jiných detailů konstrukce vzhledem k realizaci železobetonových konstrukcí v zimních podmínkách.

KLÍČOVÁ SLOVA

Betonáž v zimě • Ošetřování betonu • Beton raného stáří • Vytápěné bednění • Odbedňování

ABSTRACT

This paper deals with the execution of reinforced concrete structure in winter conditions. Recommendations for the execution, concrete recipe, and curing of concrete are summarized. Basic requirements related to standards are briefly mentioned. In the practical part, measures for cold weather from real projects are presented. The main parts of the practical part are thermal insulation of formwork, heating via lost electric heating cables, hot-air heating during the hardening process of concrete slab, and usage of heated wall formwork. In the case of the two presented examples, measurements of concrete temperature development are included. Finally, specifics of construction joints or other particular details of reinforced concrete structures are mentioned with regard to cold weather concreting.

KEYWORDS

Cold weather concreting • Concrete curing • Early-age concrete • Heated formwork • Stripping the formwork

1. ÚVOD

Během zimního období vyžaduje ošetřování betonu více pozornosti, zejména kvůli jeho ochraně při nízkých teplotách a mrazech. Při nízké teplotě je také výrazně ovlivněna rychlost hydratace cementu, proto je nutné počítat s pomalejším vývojem pevnosti. V případě, že teplota betonu velmi raného stáří klesne pod 5°C, hydratace cementu je výrazně zpomalena. Pokud teplota klesne pod bod mrazu, hydratace je téměř zastavena a dále může dojít i k nevratnému poškození betonu vlivem expanze vody v pórech při její změně skupenství v led.

V následujících kapitolách jsou uvedena doporučená opatření z hlediska provádění, receptury i ošetřování betonu a příklady ochrany betonu před nízkými teplotami z praxe.

2. DOPORUČENÁ OPATŘENÍ

Betonáž při nízké teplotě nastává pokud teplota vzduchu klesne pod 5°C. Lze ji dále rozdělit na počasí s mírnými mrazy a počasí se silnými mrazy. Za mírné mrazy můžeme považovat počasí, kdy se teplota krátkodobě pohybuje v rozmezí od 0°C do -10°C. V tomto případě zpravidla postačí kombinace vhodné receptury betonu, teploty čerstvého betonu a ochrany betonu - tepelná izolace uloženého betonu. Počasí se silnými mrazy je uvažováno, když teplota vzduchu klesá pod -10°C. Za těchto podmínek je zpravidla třeba použít kromě ochrany betonu před nadměrnými ztrátami tepla i vytápění. [1]

2.1. Příprava

Před betonáží je velmi důležitá příprava povrchů se kterými bude uložený beton v kontaktu, jejich teplota by měla být vyšší než 0°C. Sníh a případný led musí být odstraněn z povrchu bednění, výztuže a pracovních spár. [1]

2.2. Možná úprava receptury

Betonáži v zimním období je vhodné přizpůsobit recepturu betonu v rámci dostupných možností. Doporučují se následující úpravy: [1]

- Použít CEM I vyšší pevnostní třídy (42,5 R, 52,5 R)
- Snížit vodní součinitel použitím superplastifikátoru
- Zvýšit obsah cementu

* Školitel: prof. Ing. Jan L. Vitek, CSc., FEng.

- Použití urychlovač tvrdnutí bez obsahu chloridů a kompatibilní s použitým cementem

Pokud to možnosti betonárny umožňují, je vhodné zvýšit teplotu čerstvého betonu použitím teplé záměsové vody, ohřevem kameniva či případě kombinací obou opatření. Teplota čerstvého betonu v okamžiku dodání na stavbu by dle EN 13670 neměla být nižší než 5°C. Doporučuje se 10°C, což je zpravidla i požadováno v různých lokální technických předpisech, příkladem mohou být Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací – TKP 18 vydané ministerstvem dopravy v České republice. [1; 2; 3]

2.3. Ošetřování betonu

Je doporučeno udržet teplotu uloženého betonu alespoň na 5°C po dobu minimálně 72 hodin. Nejdůležitější je ochrana betonu před nízkými teplotami – nižšími než 5°C v raném stádiu před dosažením určité minimální pevnosti. Hodnota této pevnosti, kdy beton může být jednorázově vystaven mrazu je v mnoha běžných případech 5 MPa. Může se ovšem lišit v závislosti na druhu konstrukce, její geometrii, stupni vlivu prostředí a třídě betonu. Požadavek je pak zpravidla uveden v technické specifikaci projektu. Pro schopnost betonu vzdorovat zmrazovacím a rozmrazovacím cyklům bez značného negativního vlivu na budoucí vlastnosti je nutné dosáhnout minimálně pevnosti 15 MPa. [1; 4]

2.4. Požadavky norem

Dle evropské normy EN 13670 nesmí teplota povrchu betonu klesnout pod 0°C dokud není dosažena minimální pevnost v tlaku 5 MPa. Americká norma ACI 306 rovněž předepisuje ochranu betonu před mrazem, ale minimální pevnost v tlaku je 500 psi což odpovídá 3,5 MPa. [3; 5]

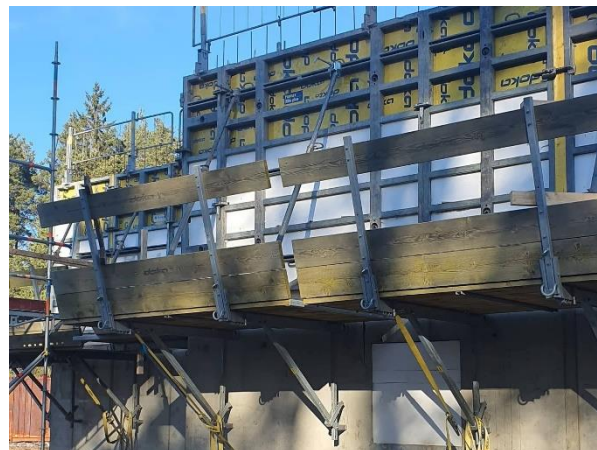
3. PŘÍKLADY ZIMNÍCH OPATŘENÍ V PRAXI

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, pokud teplota vzduchu neklesá hluboko pod bod mrazu, může být dostatečným opatřením tepelná izolace bednění/betonu. Tím se snižují tepelné ztráty betonu a zároveň se efektivně využívá hydratační teplo, které se vyvíjí během hydratace cementu - exotermické reakce cementu s vodou. Při rozhodování zda-li je izolace betonu dostatečná ochrana před nízkými teplotami a mrazem je nutné zvážit: nutnou dobu ochrany betonu, teplotu venkovního prostředí, recepturu betonu a rozměry konstrukce. U subtilních konstrukcí s nízkým poměrem objemu k povrchu může být izolování problematické. Pokud je izolace betonu nedostatečná pro zajištění vhodné teploty zrání betonu, je nutné použít ohřev konstrukce nebo jejího okolí. Následující podkapitoly prezentují příklady řešení zimní betonáže v praxi.

3.1. Tepelná izolace bednění

Prvním příkladem je izolace rámového bednění. Obrázek 1 zobrazuje příklad rámového bednění Framax, do kterého je vložena izolace o tloušťce 80 až 100 mm. Toto řešení se často

používá například ve Švédsku, odkud i zmíněný obrázek pochází.



Obrázek 1 - Izolace rámového bednění pěnovým polystyrénem, Švédsko [Foto: Robert Björkman]

Vyplněním prostoru mezi ocelovými rámy redukuje tepelnou propustnost L [W/K] jednoho panelu zhruba na polovinu. Dosažení nižších hodnot tepelné propustnosti velmi omezuje konstrukce ocelového rámu s vysokým součinitelem tepelné vodivosti λ [W/m.K]. Ačkoliv se z pohledu tepelné techniky nejedná o efektivní opatření, pro mírné mrazy v kombinaci s vyšší teplotou čerstvého betonu je toto řešení dostatečné a často úspěšně používané za mírných mrazů. Výhodou tohoto řešení je relativně snadné provedení a jednoduché použití v praxi. Tepelné izolační výplň je vkládána do bednění zpravidla na začátku projektu a dále jsou už jsou prováděny pouze nutné úpravy v závislosti na sestavování a rozebírání bednění. Je ovšem nutné ještě tepelně ošetřit pracovní spáry, které by normálně byly v přímém kontaktu se studeným vnějším prostředím.

3.2. Vytápění ztracenými kabely

Dalším příkladem je vytápění konstrukce ztracenými odporovými kabely. Obrázek 2 zobrazuje ztracený odporový kabel připevněný na výtuži stěnové konstrukce.



Obrázek 2 - Vytápění betonu elektrickými odporovými kabely, Polsko [Foto: Ivan Beliatski]

Vzhledem k použití elektrické energie je při zapojování kabelu ke zdroji nutná jistá opatrnost. Jedná se také o relativně jednoduché řešení, které vyžaduje ztracený prvek – kabel, který je zabetonován do konstrukce.

3.3. Teplovzdušný ohřev stropních konstrukcí

Třetím příkladem je ohřev prostoru pod stropní konstrukcí pomocí teplovzdušných topidel umístěných v podlaží pod realizovanou stropní konstrukcí. Pro zajištění alespoň částečné efektivity tohoto řešení je nutné provést následující dvě opatření. Výrazně omezit výměnu vzduchu mezi vytápěným podlažím a exteriérem případně ostatními částmi budovy. Běžné řešení je „zaplachtování“ otvorných otvorů a schodiště.



Obrázek 3 - Zakrytí okenních otvorů v podlaží, kde je umístěno vytápění, Finsko [Foto: Autor]

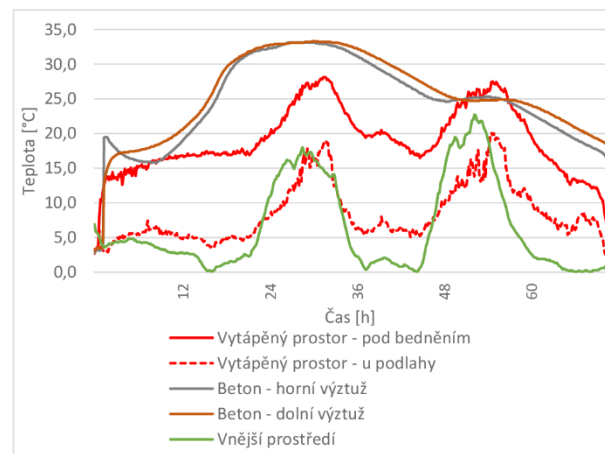
Dále je nutné omezit tepelné ztráty povrchu betonu a současně ochránit beton před mrazem. To lze zajistit přikrytím horního povrchu betonu polyethylenovou pěnovou fólií o tloušťce cca 1 – 2 cm po dokončení betonáže.



Obrázek 4 - Dokončování betonářských prací, Finsko [Foto: Autor]

Obrázek 5 ukazuje vývoj teplot betonu a vzduchu při použití tohoto řešení. Betonáž byla dle plánovaného harmonogramu dokončena v pátek odpoledne. Víkend, kdy je stavba zavřena, byl využit pro zrání betonu. V grafu je viditelný čas zabetonování teplotních čidel prudkým vzrůstem měřené teploty „betonu“. Teplota čerstvého betonu při dodání na stavbu byla 21°C. Teplota vzduchu vytápěného prostoru pod zrající stropní konstrukcí byla měřena ve dvou místech, křivky těchto teplot dobře demonstřují teplotní stratifikaci vzduchu po výšce prostoru. Vzhledem ke slunečnému víkendovému počasí je zde viditelný vliv slunečního záření na teplotu v horní vrstvě betonu. Teplota venkovního vzduchu dosahovala během dne maximálně 5°C, naměřené hodnoty

zelené křivky jsou ovlivněny umístěním teplotního čidla na slunci.



Obrázek 5 - Vývoj teplot vzduchu a betonu při použití plynového vytápění

Měření bylo provedeno ve střední části Finska bohužel až na začátku dubna, kdy se průměrná teplota pohybuje pouze okolo bodu mrazu.

3.4. Systémové vytápěné bednění

Čtvrtý příklad stejně jako předchozí pochází z výstavby rezidenční budovy u města Oulu ve Finsku, které se nachází přibližně 170 km jižně od severního polárního kruhu. Zde je zimní betonáž aktuálním tématem přibližně od října do dubna vzhledem k místním teplotám.

Dodavatelé betonu jsou schopni během zimního období dodávat na staveniště betonu o teplotě 20°C. Toho jsou schopni docílit zvýšenou teplotou záměsové vody v kombinaci s ohříváním kameniva.

Z důvodů dlouhého zimního období je zde používáno i systémové vytápěné bednění, kterým je v tomto konkrétním případě rámové bednění Framax Xlife Plus Thermo. Jedná se o rámové bednění Framax Xlife Plus doplněné od izolovaný přídatný rám, který zajišťuje vytápění. Zpravidla se bednění používá v setu sestaveném z třech panelů o rozměrech 270 x 270 cm. Dále jsou dostupné i velikosti panelů 135 x 270 cm, 60 x 270 cm pro zajištění větší rozměrové variability. Pro tři panely je třeba jedno řídicí zařízení do kterého je zapojen zdroj elektrické energie (bílý box - obrázek 6). Vytápění funguje na principu elektrického odporového vytápění.

Cílem tohoto systémového řešení je umožnění jednodenního cyklu výstavby stěnových železobetonových konstrukcí. Jak bylo uvedeno v předchozí podkapitole, betonáž stropu je zpravidla plánována před víkendem kvůli efektivnímu využití dvou dnů pro zrání betonu, kdy se na stavbě nepracuje. Stěnové konstrukce, které jsou z hlediska statiky méně náročné, se zde zpravidla provádějí v jednodenním cyklu. Od časného rána probíhají armovací práce, před polednem je konstrukce zabetonována a po obědě probíhá betonáž. Konstrukce je pak odbedněna následující ráno – přibližně po sedmácti hodinách.

Obrázek 6 zobrazuje zmíněné vytápěné bednění v levé části, v pravé části je dále vidět přibližně 20 let staré vytápěné bednění.



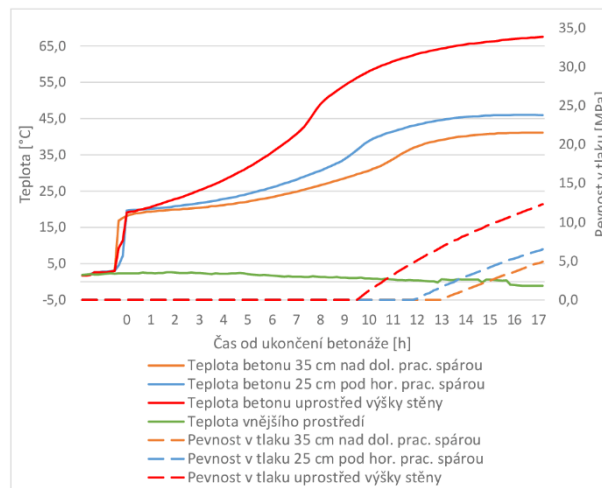
Obrázek 6 - Vytápěné stěnové bednění, Finsko [Foto: Autor]

Obrázek 8 zobrazuje měření teplot a pevností betonu v konstrukci stěny o tloušťce 150 mm (její betonáž - obrázek 7). Ve stěně byly osazeny tři teplotní čidla uprostřed její tloušťky. První čidlo bylo osazeno 35 cm od paty stěny, druhé uprostřed výšky stěny a třetí 25 cm od horní pracovní spáry. Čas „0“ označuje dokončení betonáže.



Obrázek 7 - Betonáž stěny s použitím vytápěného stěnového bednění, Finsko [Foto: Autor]

Teplota venkovního vzduchu se pohybovala v době měření okolo 0°C. Pro realizaci stěnové konstrukce byl použit beton C28/35. (pozn.: Tato pevnostní třída betonu není v České republice běžná, ale v Holandsku, Itálii či Finsku se jedná o běžně používanou pevnostní třídu betonu.) Na základě přibližné kalibrace byl stanoven i vývoj pevnosti v tlaku pomocí metody zralosti s bezpečnostním faktorem 3,2 MPa. Po sedmnácti hodinách, tedy následující ráno po betonáži byla pevnost betonu ve všech měřených bodech dostatečná pro odbednění (≥ 5 MPa).



Obrázek 8 - Vývoj teploty a pevnosti v tlaku betonu při použití rámového vytápěného bednění

Po odbednění jsou stěny zpravidla přikryty polyethylenovou pěnovou fólií o tloušťce 1 – 2 cm, aby se zpomalilo chladnutí konstrukce.



Obrázek 9 - PE pěnová fólie (vlevo), stavební elektrický rozvaděč - důležitá součást staveniště při použití vytápěného bednění (vpravo), Finsko [Foto: autor]

3.5. Řešení pracovních spár

Problematickým detailem z hlediska ochrany betonu před nízkými teplotami jsou pracovní spáry či rohy stěnových konstrukcí.

Příkladem pracovní spáry je pata realizované stěnové konstrukce, kde čerstvý beton přichází do kontaktu se ztvrdlým betonem o velmi nízké teplotě – s relativně velkým objemem materiálu o nízké teplotě s velkou tepelnou kapacitou. Z tohoto důvodu se při velmi nízkých teplotách umísťuje do pracovních spár ztracený elektrický odporový kabel, aby ani zrající beton v těsné blízkosti pracovní spáry nebyl vystaven nízkým teplotám.

Druhým uváděným problematickým detailem je například roh stěnové konstrukce. Pro tuto část neexistují systémová řešení s integrovaným vytápěním, proto v některých projektech, kde se počítá s použitím vytápěného bednění jsou tyto detaily řešeny vylamovací výztuží.

4. ZÁVĚR

Pro dosažení požadované kvality výsledného materiálu konstrukce - betonu a předcházení výrazného zpoždění oproti plánovanému harmonogramu při realizaci železobetonových konstrukcí v zimních podmínkách jsou důležité následující opatření:

- výběr vhodné receptury betonu,
- výběr systému bednění a řešení ochrany betonu či ohřevu betonové konstrukce,
- správné ošetřování,
- důsledná ochrana před nízkými teplotami.

PODĚKOVÁNÍ

V závěru bych rád poděkoval svému švédskému kolegovi Robertu Björkmanovi za diskuzi a podněty spojené s tímto tématem.

Výsledky uvedené v článku jsou jedním z podkladů pro řešení projektu SGS21/041/OHK1/1T/11.

CITOVANÁ LITERATURA

- [1] KLEČKA, Tomáš, Vladimír VESELÝ, Stanislav SMIRŔNSKÝ, Václav BLÍŽKOVSKÝ a Lukáš PEŘEK. *Příručka technologa: Suroviny - výroba - vlastnosti*. 1. aktualizované. Praha: Českomoravský beton, 2013.
- [2] ČESKÁ REPUBLIKA. *Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací: Kapitola 18 - Betonové konstrukce a mosty*. In: . Praha: Ministerstvo dopravy - odbor pozemních komunikací, 2016, ročník 2, TKP 18.
- [3] ČSN EN 13670. *Provádění betonových konstrukcí*. 1. Praha: UNMZ, 2010.
- [4] COLLEPARDI, Mario. *The New Concrete*. 2nd. Lancenigo, Italy: Grafiche Tintoretto, 2010. ISBN 9788890377723.
- [5] ACI 306. *Guide to Cold Weather Concreting*. USA: American Concrete Institute, 2016.