

BETÓN PRI EXTRÉMNYCH ZIMNÝCH A LETNÝCH TEPLOTÁCH CONCRETE AT EXTREME WINTER AND SUMMER TEMPERATURES

STANISLAV UNČÍK, IGOR HALAŠA

Výroba betónu a jeho spracovanie na stavbe v extrémnych letných alebo zimných podmienkach je pomerne náročný problém, ktorý si vyžaduje zvláštnu pozornosť. Podcenenie ktorejkoľvek etapy vo výrobe, doprave, spracovaní, či ošetrovaní betónu môže viesť k celkovému zlyhaniu konštrukcie. Dvojnásobne to platí pri betónovaní v extrémnych podmienkach.

Production of concrete and its processing on the site in extreme summer or winter conditions is quite a demanding task which requires special attention. Underestimation of any stage of production, transport, processing or treatment of concrete may lead to a total collapse of the structure. This fact is twice as important when concreting takes place in extreme conditions.

Z hľadiska výroby, dopravy, ukladania a ošetrovania betónu môžeme považovať za extrémne teploty vzduchu také, ktoré klesajú pod 0 °C, alebo prevyšujú cca 25 °C pri relatívnej vlhkosti vzduchu pod 40 %. Betónovanie v takýchto podmienkach si vyžaduje aplikáciu vhodných technologických opatrení, ktoré eliminujú nepriaznivý vplyv nízkych, alebo vysokých teplôt na kvalitu betónu a betónovej konštrukcie. Tieto opatrenia môžeme rozdeliť na opatrenia vykonané do času uloženia a spracovania čerstvého betónu, a opatrenia vykonávané po ztuhnutí čerstvého betónu v debnení.

V prvom prípade ide hlavne o optimálne zloženie betónu, vhodné pre dané podmienky. Veľmi dôležitý je hlavne výber vhodného druhu cementu, vhodných prísad a prímiesí, vodný súčiniteľ apod. Tieto opatrenia zahŕňajú aj úpravu teploty čerstvého betónu pri výrobe.

Opatrenia vykonávané po ztuhnutí betónu v debnení môžeme súhrnne označiť ako ošetrovanie betónu a ide v zásade o zabezpečenie optimálnych teplotných a vlhkostných podmienok na hydratáciu cementu a teda na tuhnutie a tvrdnutie betónu. Spôsobom a dĺžkou ošetrovania betónu sa zaoberá STN P ENV 13670-1: Zhotovovanie betónových konštrukcií.

BETÓNOVANIE V LETNOM OBDOBÍ

Najväčším problémom pri betónovaní v letnom období je vysoká teplota vzduchu, ktorá nezriedka prekračuje 30 °C v tieni, na slnku môže povrch betónovej konštrukcie dosiahnuť 50 °C i viac. V takýchto podmienkach dochádza k rýchlemu odparovaniu vody z čerstvého betónu už počas jeho dopravy a samozrejme aj po jeho zabudovaní do konštrukcie. Zvýšenie teploty betónu vedie taktiež k urýchleniu chemických reakcií, ktoré spôsobujú tuhnutie a tvrdnutie betónu a ktoré sa súhrnne označujú ako hydratácia cementu.

Odparovanie vody a urýchlenie hydratácie cementu vedie k rýchlejšej zmene konzistencie čerstvého betónu, čo sa prejaví zhoršením spracovateľnosti čerstvého betónu, teda zhoršením čerpatelnosti, zhutniteľnosti apod. V praxi sa často tento problém „rieši“ pridaním dodatočného množstva vody do betónu a jeho premiešaním. Takto síce možno obnoviť potrebnú spracovateľnosť čerstvého betónu, ale súčasne treba mať na pamäti, že takéto opatrenie môže znamenať zníženie pevnosti betónu aj o niekoľko tried a celkové zhoršenie jeho vlastností (zníženie modulu pružnosti, zväčšenie zmršťovania, dotvarovania, zníženie vodotesnosti, mrazuvzdornosti a trvanlivosti atd.). Dodatočné pridávanie vody do betónu je jedným z najväčších „hriechov“, ktoré sa dajú na betóne spáchať.

Vysoké teploty a odparovanie vody z betónu nie sú problémom len z hľadiska dopravy a spracovania čerstvého betónu. Veľmi dôležité je zabezpečiť optimálne podmienky na hydratáciu aj po uložení a zhutnení betónu, hlavne v prípade konštrukcií, kde je veľká voľná povrchová plocha. Betón potrebuje na hydratáciu dostatočné množstvo vody. Ak dochádza k vysušeniu povrchových vrstiev, hydratácia v týchto vrstvách prebieha nie pri optimálnych podmienkach a mikroštruktúra vznikajúceho cementového kameňa nemá potrebnú kvalitu. Povrchová vrstva takéhoto betónu má podstatne horšie vlastnosti a nižšiu trvanlivosť ako jadrový betón a spravidla po prvej zime dochádza k jej deštrukcii. Pri intenzívnom odparovaní vody z povrchu betónu dochádza tiež k jeho zmršťovaniu a k vzniku trhlin.

Kľúčovým problémom pri betónova-

ní v lete je zabezpečenie potrebnej spracovateľnosti betónu dostatočne dlhý čas a zabránenie zhoršeniu vlastností betónu po jeho zabudovaní do konštrukcie.

Pomalú zmenu konzistencie možno dosiahnuť vhodným zložením betónu. Veľký význam má výber vhodného cementu. Pre letné obdobie možno odporúčať cementy s nižším hydratačným teplom. Vhodné sú cementy CEM II až V s normálnym tuhnutím (N), alebo kombinácia portlandského cementu s aktívnymi minerálnymi prísadami (elektrárenský popoľček, vysokopecná troska atd.).

Overenou pomôckou pri regulácii vývinu hydratačného tepla sú prísady spomaľujúce tuhnutie betónu. Vhodná je taktiež ich kombinácia so superplastifikátormi, alebo používanie kombinovaných prísad so spomaľovacím aj plastifikačným účinkom, napr. superplastifikátor spomaľujúci tuhnutie betónu. Použitie plastifikačných prísad umožňuje dosiahnuť potrebné pevnosti betónu pri nižších dávkach cementu, čo vedie k obmedzeniu vývinu hydratačného tepla. Aplikácia vhodných prísad umožňuje betónovať aj masívne konštrukcie vo väčších celkoch.

Možnosťou ako spomaliť tuhnutie čerstvého betónu je zníženie jeho teploty. Takéto opatrenie je vhodné hlavne pri betónovaní veľmi masívnych konštrukcií. Zníženie teploty čerstvého betónu možno dosiahnuť použitím ľadovej drviny namiesto časti zámesovej vody.

Pre dosiahnutie maximálneho efektu je vhodné kombinovať viacero uvedených opatrení naraz.

Potenciálnym nebezpečenstvom v letnom období je cement s vysokou teplotou (nad 50 °C). Najmä pri výrobe veľkého množstva betónu je často potrebné priebežne doplňať zásoby cementu. Pokiaľ je dovezený cement horúci, nedokáže za niekoľko hodín dostatočne vychladnúť. Použitie horúceho cementu vnáša do betónu nežiadúce teplo.

Doprava čerstvého betónu v letnom období by mala byť plynulá, bez zbytočných prestojov, aby sa betón dostal v čo najkratšom čase do debnenia. Veľmi dôležitá je komunikácia výrobcu betónu a realizátora stavby a manažovanie dodávok betónu.

Ošetrovaniu čerstvého betónu treba

venovať v letnom období mimoriadnu pozornosť. Spôsoby ošetrovania možno rozdeliť v zásade do dvoch skupín.

Prvú skupinu, tzv. **mokrý ošetrovanie**, predstavujú metódy ošetrovania, pri ktorých sa dodáva čerstvému betónu voda. Možno sem zaradiť kropenie čerstvého betónu a zakrývanie povrchu betónu vlhkými materiálmi (piliny, piesok, zemina, rohože, geotextília apod.). Pri vysokej intenzite slnečného žiarenia je vhodné kropiť betón vlažnou, nie studenou vodou, aby nedochádzalo k poškodzovaniu povrchu betónu v dôsledku napätí od prudkých zmien teploty povrchu betónu. Na kvalitu ošetrovacej vody sú kladené rovnaké požiadavky, ako na vodu zámesov.

Druhú skupinu metód ošetrovania betónu možno nazvať **membránové ošetrovanie**, ktoré spočíva v prevencii straty vody z betónu. Pri tejto metóde sa vytvorí na povrchu betónu nepriepustná vrstva z vhodnej fólie, alebo vo forme nástreku roztokov hydrokarbónov, akrylátových, vinylových, styren-butadienových živíc, voskových emulzií apod. Pri použití ochranných postrekov je veľmi dôležitý správny čas aplikácie. Ak sa postreky nanášajú príliš skoro, na ešte mokrý povrch betónu, môže dôjsť k ich znehodnoteniu, nevytvoria súvislý film na povrchu čerstvého betónu, ktorý by bránil odparovaniu vody. Pri neskorej aplikácii už môže dôjsť k čiastočnej strate vody z povrchových vrstiev betónu. Na ochranné postreky sú vhodné materiály, ktoré majú krátku životnosť, v priebehu niekoľkých dní dochádza k ich rozpadu a neznečisťujú povrch betónu.

Potrebná dĺžka ošetrovania závisí na jednej strane od zloženia betónu a rýchlosti vývinu jeho pevnosti, na druhej strane od poveternostných podmienok, ktorým je čerstvý betón vystavený. Ošetrovanie musí byť tým dlhšie, čím je pomalší vývin pevnosti betónu a čím sú lepšie podmienky pre odparovanie vody z betónu, teda čím je vyššia teplota prostredia, nižšia relatívna vlhkosť vzduchu a vyššia rýchlosť jeho prúdenia (prievan, alebo vietor).

BETÓNOVANIE V ZIME

Výroba a spracovanie betónu pri nízkych a záporných teplotách prináša celý rad problémov. Ich úspešné zvládnutie si vyžaduje špecifické technologické opatrenia, ktoré umožňujú hydratáciu cementu aj pri nízkych teplotách a zabráňujú poškodeniu čerstvého betónu mrazom.

Samotná výroba čerstvého betónu je v zimnom období sprevádzaná značnými problémami. Pri poklese teploty pod 0 °C dochádza k zamŕznaniu kameniva na skládke, čo sťažuje jeho dopravu a dávkovanie. Pri výrobe treba dbať na to, aby sa do betónu nedostali hrudy zmrznutého štrku, ktoré by mohli rozmraziť až po zabudovaní v konštrukcii a vytvárať nežiaduce štrkové hniezda. Zamrznuté kamenivo taktiež vnáša do betónu nekontrolovateľné množstvo vody vo forme ľadu, ktorý po rozmrznutí v čerstvom betóne zvyšuje dávku vody a mení zloženie a teda aj vlastnosti betónu. Problémy sú aj so zámesovou vodou a niektorými prísadami, ktoré môžu pri nízkych teplotách meniť viskozitu (tuhnúť), čo sťažuje manipuláciu s týmito materiálmi a ich dávkovanie. Betonárne, ktoré vyrábajú betón aj v zimnom období, by mali byť primerane vybavené. K základnej výbave patria zariadenia na rozmrazovanie kameniva, ohrev zložiek betónu, prípadne čerstvého betónu počas jeho výroby. Betonárne by mali mať zateplenú výrobu a temperované sklady kvapalných prísad.

Podľa STN EN 206-1/Z1 čl. 5.2.8 Teplota betónu, musia byť splnené tieto požiadavky na teplotu čerstvého betónu. Pri teplote vzduchu medzi +5 a -3 °C nesmie poklesnúť teplota betónu pri dodaní pod +5 °C. Teplota betónu nesmie poklesnúť pod +10 °C ak je obsah cementu v betóne menší ako 240 kg/m³ alebo ak bol použitý cement s nízkym hydratačným teplom. Pri teplote vzduchu pod -3 °C musí byť teplota betónu pri dodaní najmenej +10 °C.

Týmto požiadavkám treba prispôbiť aj spôsob dopravy a rýchlosť spracovania čerstvého betónu v debni.

Nízke teploty však výrazne ovplyvňujú nielen technológiu výroby a spracovania betónu, ale aj vlastnosti čerstvého a ztvrdnutého betónu. Je všeobecne známe, že so znižovaním teploty dochádza k spomaleniu procesov hydratácie cementu. K podstatnému spomaleniu hydratácie cementu dochádza už pri teplote +5 °C. V dôsledku toho sa spomaľuje aj vývin pevnosti betónu a predlžuje sa čas na dosiahnutie potrebných pevností.

Pokles teploty pod 0 °C môže mať navyše veľmi nepriaznivý vplyv na štruktúru betónu a teda aj na jeho vlastnosti. Pri záporných teplotách dochádza postupne k zamŕznaniu pórovej kvapaliny čerstvého betónu. Premena vody na ľad je spre-

vádzaná zväčšením jej objemu o približne 9 %. Takéto zväčšenie objemu môže spôsobovať vnútorné napätie v betóne. Z hľadiska poškodenia čerstvého betónu je veľmi dôležité, kedy dôjde k jeho zamrznutiu. V prípade, že sa tak stane bezprostredne po jeho uložení do debnenia, keď ešte nezačali prebiehať procesy hydratácie a betón je ešte v plastickom stave, zamrznutie čerstvého betónu sa nemusí prejavovať výraznejším poškodením štruktúry. Po zvýšení teploty môže hydratácia pokračovať a betón môže dosiahnuť predpokladané parametre. Iná situácia nastane, ak k zamrznutiu dôjde po určitom čase, keď už začala prebiehať hydratácia a začala sa tvoriť pevná štruktúra, ale betón nemá ešte dostatočnú pevnosť, aby bol schopný prenášať expanzné napätia. Často sa stáva, že počas ukladania betónu do debnenia sa teplota pohybuje nad nulou, ale v priebehu niekoľkých hodín klesne hlboko pod nulu. V takýchto prípadoch dochádza k nevratnému poškodeniu rodicej sa štruktúry betónu, čo má za následok zníženie pevnosti betónu, zhoršenie jeho ďalších vlastností a v krajnom prípade úplný rozpad betónu. Veľmi nepriaznivé je hlavne opakované zamŕznutie čerstvého betónu.

Betónovanie v zime teda prináša značné riziká. Pre zníženie, respektíve eliminovanie týchto rizík treba vykonať opatrenia, ktoré zabránia poškodeniu čerstvého betónu mrazom a umožnia hydratáciu cementu aj pri nízkych teplotách.

V zimnom období je veľmi dôležitý výber cementov. Vhodné sú cementy, ktoré sa vyznačujú veľkým hydratačným teplom a rýchlym vývinom pevnosti. Takými sú predovšetkým portlandské cementy CEM I. Odporúča sa tiež používať cementy vyšších tried s vyššími začiatocnými pevnosťami (R). Naopak, používanie cementov s obsahom minerálnych prímiesí a taktiež samostatné dávkovanie týchto prímiesí (popolček, vysokopecná troska) nie je v zimnom období vhodné.

K základným opatreniam pri betónovaní v zime možno zaradiť zníženie obsahu vody v čerstvom betóne. Čím menší je obsah vody, tým menšia je aj prípadná expanzia čerstvého betónu pri jej zamrznutí. Teplota, pri ktorej voda v pórovom systéme zamrzne, závisí od veľkosti pórov a od koncentrácie solí, prípadne protizmrazovacích látok v pórovej kvapaline. Čím sú rozmery pórov menšie a koncentrácia solí vyššia, tým pri nižšej tep-

lote voda zamŕza. Zníženie dávky zámesovej vody vedie k zníženiu pórovitosti a k vytvoreniu priaznivejšej pórovej štruktúry. Nižšia dávka vody taktiež znamená vyššiu koncentráciu solí a prípadne použitých protizmrazovacích látok. Redukcia dávky vody teda vedie k zníženiu teploty, pri ktorej môže voda v pórovom systéme zamŕznúť, a pri zamŕznutí k zmenšeniu celkovej expanzie.

Výrazné zníženie dávky zámesovej vody (až o 30 %) možno dosiahnuť použitím superplastifikátorov. Takéto opatrenie vedie taktiež k zvýšeniu pevností betónu a k celkovému zlepšeniu jeho vlastností.

Aj pri nízkych dávkach zámesovej vody by zamŕznutie čerstvého betónu mohlo spôsobiť vážne problémy. Preto sa odporúča používať pri betónovaní v zime urýchľovacie prísady. Zmyslom ich aplikácie je dosiahnuť v čo možno najkratšom čase pevnosti, pri ktorých je betón schopný preniesť expanzné napätia spôsobené mrazom, a tiež pevnosti potrebné pre odformovanie konštrukcie. Betón by nemal byť vystavený účinkom mrazu kým nedosiahne pevnosť cca 8 MPa. Urýchľovacie prísady teda znižujú riziko poškodenia štruktúry čerstvého betónu mrazom a súčasne urýchľujú výstavbu. Vhodné je, ak majú tieto prísady aj protizmrazovací účinok, prípadne ak sa kombinujú s protizmrazovacími prísadami. Takéto prísady zabráňujú zamŕznutiu čerstvého betónu aj pri veľmi nízkych teplotách ($-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ i viac pod nulou) a súčasne umožňujú hydratáciu cementu pri týchto teplotách.

Doprava čerstvého betónu pri nízkych teplotách musí byť taktiež plynulá, bez čakania na vyprázdňovanie domiešavačov. Aj v tomto prípade treba klásť zvýšený dôraz na manažovanie betonárskych prác a koordinovanie výroby, dopravy a ukladania betónu do debnenia. Pri ukladaní betónu je nutné zabezpečiť, aby debne-

nie bolo očistené od snehu, ľadu a okamžite po uložení bolo možné betón, resp. konštrukciu prikryť, prípadne zahrievať. Povrch, na ktorý bude betón ukladany, by mal mať teplotu minimálne $5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Aj keď primárne opatrenia pri betónovaní v zime, teda používanie vhodných cementov a prísad, či ohrievanie zložiek betónu a čerstvého betónu môžu byť veľmi účinné, treba ich kombinovať s vhodným ošetrovaním betónu. V tomto prípade ide hlavne o zabezpečenie potrebnej teploty na hydratáciu cementu. Po uložení betónu do debnenia je nutné zabrániť prístupu snehu alebo dažďa a hlavne zabrániť tepelným stratám betónu. Teplota povrchu betónu by nemala klesnúť pod $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Je vhodné tepelne izolovať debnenie a tiež voľný povrch betónovej konštrukcie. V extrémnych prípadoch sa doporučuje dodatočný ohrev betónu po jeho zabudovaní do konštrukcie.

ZÁVER

Výroba betónu a jeho spracovanie na stavbe v extrémnych letných alebo zimných podmienkach je pomerne náročný problém, ktorý si vyžaduje zvláštnu pozornosť. Ak má byť betónovanie v takýchto podmienkach úspešné, musia byť splnené tieto predpoklady:

- presná špecifikácia betónu vrátane dopravných vzdialeností, resp. časov dopravy a predpokladaných poveternostných podmienok, pri ktorých bude betón na stavbe spracovávaný,
- zloženie betónu musí byť navrhnuté a overené pre dané extrémne podmienky,
- presné dodržiavanie technologického predpisu výroby a spracovania betónu,
- primerané technické vybavenie výrobcu betónu a jeho spracovateľa,
- dobrá komunikácia výrobcu a spracovateľa betónu už v prípravnej fáze, vzá-

Literatúra:

- [1] Ramachandran V. S.: Concrete Admixtures Handbook. Properties, Science and Technology. New Jersey, Noyes Publications 1984
- [2] Neville A. M.: Properties of Concrete. Edinburg Gate, Addison Wesley Longman Limited, 1995
- [3] Bajza A., Rouseková I.: Technológia betónu, Zložky betónu. Bratislava, ES SVŠT, 1986

jomná koordinácia opatrení potrebných pre betónovanie v extrémnych podmienkach a následné manažovanie výroby, dopravy a ukladania betónu tak, aby spracovanie betónu bolo plynulé s minimálnymi čakacími dobami dopravných prostriedkov s čerstvým betónom,

• adekvátne ošetrovanie čerstvého betónu po jeho zhutnení.

Na záver treba zdôrazniť, že každý účastník výroby stavebného diela je zodpovedný za svoju časť práce. Platí to aj o výstavbe betónových konštrukcií. Podcenenie ktorejkoľvek etapy vo výrobe, doprave, spracovaní, či ošetrovaní betónu môže viesť k celkovému zlyhaniu konštrukcie. Dvojnásobne to platí pri betónovaní v extrémnych podmienkach.

Doc. Ing. Stanislav Unčík, PhD.

Stavebná fakulta STU

Radlinského 11, 813 68 Bratislava

tel.: +421 259 274 686

e-mail: uncik@svf.stuba.sk

Ing. Igor Halaša

BetónRacio, s. r. o.

Skladová 2, 917 00 Trnava

tel.: +421 335 531 531

e-mail: halaša@betonracio.sk

Článek byl lektorován

OMLUVA

Vážení čtenáři,

ve 3. čísle časopisu nám šotek sebral lomítko v článku Prof. Břetislava Teplého. Zde uvádíme správný tvar vztahu (2) ze strany 4

$$N(t) = N / (1 + r)^t.$$

Za přehlédnutou chybu se Vám omlouváme.

redakce