

Výroba betonu - energetická optimalizace - ekologizace výroby betonu - zlepšení zařízení a postupů - betony s nízkou pórovitostí - nové ztekucující přísady - speciální betony s vlákny - impregnace polymery - bezcementové betony.

Diskuse o nezbytnosti energetických úspor probíhají téměř 20 let a byly vyvolány především tzv. první energetickou krizí v roce 1974. Tehdejší prudký nárůst cen, zejména ropy, naznačil, že představy o exponenciálním růstu průmyslové výroby by velmi brzo vedly k vyčerpání řady tradičních energetických zdrojů a celkově ke krizi industriální společnosti.

I když tyto obavy jsou často odmítány s poukazem na blízkost vyřešení problematiky jaderné fúze, která by lidstvu měla dát k dispozici z dnešního pohledu takřka neomezené zdroje energie, zůstává skutečností, že reálný horizont využitelnosti této technologie je zatím v nedohlednu.

Energetické úspory jsou proto tím nejreálnějším, co lze v současné době při řešení energetických problémů dělat.

V případě betonu lze pochopitelně nejprve analyzovat energetickou náročnost a možné energetické úspory při výrobě jednotlivých složek (cement, kamenivo, výztuž), ale i samotná výroba betonu vytváří řadu možností pro výrazné energetické úspory. Zároveň je možné konstatovat, že většina energetických úspor se současně promítá i do ekologizace výroby a spotřeby, což je opět často ještě významnější.

Předpokladem proto, aby úsporná opatření byla skutečně globálně efektivní, je jejich komplexní posuzování. Často dílčí resortní úspory mohou vést ke značným celkovým ztrátám. Typickým příkladem může být vylehčování obytných prefabrikovaných budov v 60. a počátkem 70. let na úkor jejich tepelně izolační schopnosti. Tehdejší materiálové úspory je nyní třeba nahrazovat zvýšenou provozní náročností nebo dodatečnými rekonstrukcemi. V oblasti čistě betonářské je podobným jevem naše energeticky špičkově úsporné kamenivo, které však svou kvalitou vyvolává zvýšenou spotřebu energeticky mnohem náročnějšího cementu. Podstatnou užžitnou vlastností, která by neměla být při energetické optimalizaci opomenuta, je trvanlivost betonu, resp. železobetonové konstrukce. Dosahovat úspor na úkor životnosti je sice často jednoduché a po několika letech již obtížné i právně postižitelné, ale frekvence těchto škod má rostoucí tendenci a negativně se odráží na celkové efektivnosti stavebnictví. Proto by mělo být zřejmé, že zvětšování tlaku na úspory by mělo být provázáno nesmlouvavou, nezávislou kontrolní činností.

Pro systémový přístup k úsporám energie platí, že prvotním krokem v každé hospodářské jednotce na všech úrovních musí být nejprve analýza současného stavu. Další fází by mělo být vytvoření soupisu všech úsporných opatření. Tento seznam je třeba rozdělit na:

- opatření okamžitě realizovatelná s minimálními investičními náklady,
- opatření s návratností 1 až 5 let,
- vhodná opatření s delší návratností,
- opatření přicházející v úvahu při prudkém vzestupu cen energií.

Logickým doplněním přijatých opatření pak musí být program kontroly jejich plnění a vyhodnocování efektů. Rozhodujícím by tedy nemělo být členění opatření podle toho, na kterou z fází výrobního programu jsou úspory zaměřeny, ale především jejich praktická realizovatelnost a investiční náročnost. Tak by měly být odděleny reálně získané úspory od stejně snadno formulovatelných návrhů, které však vyžadují takové náklady, které nemá podnik v daném období k dispozici.

Zároveň z toho vyplývá, že zejména dříve používaná indexová metoda plánování úspor obvykle selhává, protože potenciál investičně nenáročných opatření se záhy vyčerpá a další úspory je možno získat jen s podstatně většími investičními vklady.

S ohledem na omezený rozsah příspěvku je v dalším textu uveden

pouze stručný výčet možných opatření vedoucích k úsporám energie, který si v žádném případě nedělá nároky na úplnost. Spíše naznačuje, jak různorodé je spektrum možných opatření.

Organizační opatření a zlepšení existujících zařízení a postupů

- Zajištění technologické kázně ve všech fázích výroby a zpracování betonu.
 - Pravidelná údržba a kontrola strojního zařízení, zejména vážících a dávkovacích mechanismů i dopravních prostředků.
 - Pravidelná vstupní kontrola složek a výstupní kontrola betonové směsi, resp. betonu se zpětnou vazbou na receptury, které by měly zajistit maximální stejnoměrnost kvalitových znaků.
 - Pravidelná kontrola a údržba všech přístrojů a pomůcek používaných při výrobě a zkoušení betonových kontrolních těles.
 - Zvyšování kvalifikace všech výrobních i technickohospodářských pracovníků.
 - Zajištění řádného ošetření vyrobených betonových konstrukcí, které zabrání vzniku trhlin v důsledku rychlých objemových změn při vysychání betonu a vzrůstu, resp. poklesu jeho teploty. Tím by odpadly značné materiálové i energetické vklady do sanace těchto poruch.
 - Stabílní dodávky kameniva a cementu, které umožní zvýšit stejnoměrnost betonu a tím i omezit dávky cementu.
 - Rekonstrukce skládek kameniva tak, aby zásadně nedocházelo k mísení jednotlivých frakcí a zajištění podmínek pro skladování minimálně třech frakcí.
 - Zvýšení kvality kameniva, zlepšení "ostrosti" třídění, čistoty, omezení podsítného a nadsítného.
 - Vyhrazení těženeho kameniva pro betonářské účely.
 - Předepsané skladování cementu (nemísit třídy ani druhy) a dokonalé vyprazdňování sil a dopravních prostředků.
 - Používat v maximální míře popílek jako příměs, zejména u betonů nižších tříd.
 - Výroba a používání kvalitních plastifikátorů. Předpokladem jejich aplikace je však i dostupnost spolehlivých dávkovacích zařízení.
 - Optimalizace rozvozu betonové směsi. Neměla by však být dosahována na úkor stejnoměrnosti betonu v konstrukci.
 - Dodržování rozměrů konstrukčních prvků, zejména u základových konstrukcí a podkladních betonů.
 - Využívání dlouhodobých nárůstů pevnosti betonů vyrobených ze směsných cementů a to zejména u základových konstrukcí a inženýrských staveb.
 - Preferovat výstavbu monolitických konstrukcí realizovaných progresivními bednicími systémy.
- ## Zavedení nových, ale dostupných zařízení a postupů
- Tuzemská produkce nebo dovoz dostatečného množství moderního technologického zařízení pro výrobu kvalitního, zejména drceného kameniva.
 - Tuzemská výroba nebo dovoz kompaktní rychle přemístitelné betonárny o výkonu 10 až 15 m³ betonové směsi za hodinu.
 - Rekonstrukce starších nebo výstavba nových centrálních betonáren vybavených přesnými vážícími a dávkovacími mechanismy a systémem automatického řízení výroby.
 - Rozšířit výrobu suchých maltových směsí dávkovaných jak v oválných, tak v transportovatelných sílech.



Doc. Ing. J. Dohnálek CSc.,
Kloknerův ústav ČVUT Praha

- Nasazení autodomíchávačů s větším obsahem než 4 m³ betonové směsi.
- Dovybavit část současných autodomíchávačů malými pásovými dopravníky, umožňující dopravovat směsi méně tekuté než při použití čerpadla.
- Vybavit všechny větší betonárny zařízením pro průběžné měření vlhkosti kameniva.
- Využívat v maximální možné míře zpracování betonu vakuováním.
- Zavedení progresivních balčích a paletizačních systémů, které by omezily na minimum znehodnocování pytlovaného cementu při jeho přepravě.
- Na větších centrálních betonárnách využívat solárních systémů pro ohřev užitkové vody v zimním období.
- Používání účinných speciálních přísad, zejména bezchloridových urychlovačů tuhnutí betonu.

Vývoj a použití principiálně nových zařízení a postupů

- Vývoj betonů s nízkou pórovitostí dosahující pevnosti v tlaku přes 100 MPa (současně s přijatelnou zpracovatelností) při použití běžných portlandských cementů a speciálních přísad.
- Vývoj přísad, zejména ztekucujících, umožňujících markantní snížení

dávky záměsové vody při zachování prakticky přijatelné zpracovatelnosti betonové směsi.

- Vývoj speciálních betonů, které přesně odpovídají zvýšeným požadavkům na požadované užitné vlastnosti. Splnění těchto nároků lze dosáhnout různými technologickými postupy (přidáním vláken, impregnace polymery atd.), zatímco dnes se běžně řeší tyto požadavky zvýšenou dávkou cementu.
- Vývoj bezcementových betonů, tj. hmot, kde je veškerý cement nahrazen např. směsí popílku a vápna, sádrou nebo sírou. Aplikace těchto pojiv je aktuální především v souvislosti s programem odsířování tepelných elektráren.
- Vývoj betonů využívajících jako část pojiva nebo plniva odpadní látky z nejrůznějších průmyslových odvětví. Cílem je nejen energetická úspora, ale i fixace těchto hmot v betonu a tedy ochrana životního prostředí.

Z uvedeného spektra možných úsporných opatření vyplývá, že řada úspor může být dosažena jen při vynaložení nemalých investičních prostředků. S tím je třeba počítat a řešit problematiku úspor koncepčním strategickým způsobem. Současně je třeba poznamenat, že většina opatření všech skupin vyžaduje kooperaci výrobců betonu, cementu, kameniva i přísad s pominutím úzce lokálních zájmů.

STŘÍKANÝ BETON A URYCHLUJÍCÍ PŘÍSADY

Tunelové stavitelství - stříkaný beton - dávkování a kvalita složek - výsledky zkoušek vlastností urychlujících přísad tuzemských a zahraničních.

Stříkaný beton je třeba sestavit ze stanovených složek betonu (cementu, kameniva, příměsí, vody a přísad) tak, aby za očekávaných poměrů na stavbě byl možný jeho spolehlivý nástřik a byly s jistotou dosaženy jeho požadované vlastnosti.

Volba cementu je odvislá od vlastností, jež jsou od stříkaného betonu požadovány. Přednost se dává cementům portlandským vytvářejícím vazkoplastickou lepkavou maltu měkké konzistence. Vaznost cementu by měla odpovídat třídě 325 nebo 400. Vzhledem k tomu, že při výrobě stříkaného betonu se často používá vyšších dávek cementu a výsledná hutnost betonu je nižší ve srovnání s betony zpracovanými tradičním způsobem, bývá i smrštění stříkaného betonu výrazně vyšší. Míra smrštění závisí především na obsahu cementu a vody v jednotce objemové směsi, protože tato veličina určuje objem kapilárních pórů ve struktuře betonu, přičemž objem kapilárních pórů rozhodujícím způsobem určuje rychlost odparu vody ze struktury betonu a tedy i rychlost jeho smršťování. Jak z těchto, tak i z ekonomických důvodů se doporučuje dávkování cementu maximálně 400 kg.m⁻³. Použitý cement musí být co nejčerstvější (maximálně jeden měsíc starý). Obzvláštní význam pro možnost používání pojiva je jeho rovnoměrná kvalita, především z hlediska chemické skladby a jemnosti mletí. Průměrná hodnota měrného povrchu podle Blaina by se měla u portlandských cementů pohybovat v rozmezí 350 až 400 m².kg⁻¹, přičemž odchylka od zvolené hodnoty smí dosáhnout maximálně ± 10%.

Velmi důležitou roli na vlastnosti stříkaného betonu má kamenivo. Jeho optimální skladba má podstatně větší význam než je tomu u běžného betonu. Nejde totiž jen o vliv skladby kameniva na pevnost betonu, ale i na vnitřní soudržnost betonové směsi, její přilnavost na nanášený povrch a v konečném důsledku o odpad - ztráty, vznikající odrazem části zrn od podkladu. Vzhledem k tomu, že v odpadu se nacházejí zrna největších frakcí použitého kameniva, dochází ke zmenšování hmotnostní koncentrace kameniva ve stříkaném betonu, což má nepříznivé důsledky na jeho fyzikálně - mechanické vlastnosti projevující se snížením modulu pružnosti, poklesem pevnosti v tlaku, zvětšením objemových změn a dotvarování.

Nejvhodnější křivka zrnitosti je definována na základě praktických zkušeností a je uvedena v zahraničních normách ÖNORM B 3304, DIN 4226 a DIN 1045. Porovnáním mezních hodnot těchto křivek s křivkami zrnitosti dostupných šterkopisků frakce 0 - 8 mm (Velvary, Jevíněves, Kozlovice, Chržín, Čičelice) se ukazuje, že žádná z nich nespĺňuje parametry požadované zahraničními normami. S výjimkou lokality Čičelice a Chržín obsahují ostatní šterkopisky minimum zrn menších než 0,25 mm a i relativně málo frakcí 2-8 mm. Zatímco nedostatek jemných částic lze částečně vyrovnat použitím popílku nebo křemičitého úletu, nedostatek hrubších frakcí lze zvýšit pouze doplněním šterkopisku ostře tříděným kamenivem

frakce 2-4 nebo 2-8 mm.

V tomto směru jsou mimořádně cenné lokality Čičelice a Chržín, které obsahují optimální podíly hrubších frakcí a mají pouze menší obsah zrn menších než 0,25 mm, resp. 0,5 mm, který, jak již bylo uvedeno, lze částečně redukovat přísadou popílku nebo křemičitého úletu.

Uvedené křivky zrnitosti jsou v hrubých rysech typické pro stře-dočeskou oblast a nelze tedy předpokládat nalezení zcela optimálních lokalit. Z těchto důvodů je nutné počítat se skládáním kameniva ze dvou až tří frakcí, resp. obohacováním běžných šterkopisků o hrubší (> 2 mm) a jemnější frakce (< 0,25 mm). Ve všech případech je třeba počítat s přísadou popílku nebo křemičitého úletu.

Je třeba vzít v úvahu, že pominutí optimální skladby kameniva s poukazem na organizační komplikace se negativně projeví na užitných vlastnostech stříkaného betonu.

Teplota kameniva, resp. suché betonové směsi nemá před zpracováním poklesnout pod 5°C a přestoupit 30°C. Teploty pod 5°C ovlivňují vývoj počáteční pevnosti, teploty nad 30°C urychlují předhydrataci. Vnitřní vlhkost písku 0 - 4 nemá poklesnout pod 2% a nesmí překročit 6%. Vnitřní vlhkost celkového kameniva (plniva) nemá být vyšší než 4%. Při příliš nízké vnitřní vlhkosti se suchá betonová směs předvlihčí skrápěním bezprostředně před dalším zpracováním.

Záměsová voda pro výrobu stříkaných betonů musí vyhovovat stejným nárokům na čistotu, jaké jsou kladeny na výrobu ostatních betonů. Voda musí být do stříkací pistole dopravována s dostatečným tlakem hadicemi nebo trubkami. Její teplota by neměla poklesnout pod 8°C a přestoupit 50°C. Při započítávání obsahu vody v kamenivu kolísá vodní součinitel v/c v rozsahu 0,45 až 0,5.

V zahraničí se používá celá řada komerčních práškových i tekutých přísad urychlujících a tvrdnutí betonu. Základními hmotami těchto přísadků je buď chlorid vápenatý nebo uhličitán sodný, hlinitan sodný, fluorid sodný, resp. křemičitan sodný nebo draselný (vodní sklo). Urychlovače na bázi CaCl₂ nelze používat u armovaných konstrukcí a jsou v některých zemích zakázány (Rakousko, SRN). Vodní sklo urychluje tuhnutí stříkaného betonu velice málo, zvyšuje pouze významně lepkavost v důsledku vytváření gelu s vodou. Neumožňuje nástřikání srovnatelných vrstev betonu a především výrazně snižuje konečnou pevnost stříkaného betonu.

Nezbytným faktorem určujícím možnost použití přísady do stříkaného betonu je jeho pozitivní vliv na zvýšení počátečních pevností,



Ing. Tomáš Klečka, CSc.,
Kloknerův ústav ČVUT Praha