

# BAREVNÝ, NE JEN ŠEDÝ BETON ■ COLORED, NOT ONLY GREY CONCRETE

Jana Margoldová

Článek upozorňuje na možné vlivy a okolnosti, které mohou způsobit změny požadovaného odstínu betonu barveného anorganickými pigmenty na bázi oxidů železa. ■ The article draws attention to various possible effects and interferences that can cause differences in the demanded shades of concrete coloured by anorganic iron oxide pigments.

Praktické konstrukční a mechanické vlastnosti betonu jsou široce uznávané, avšak kvůli svému vzhledu je tento univerzální stavební materiál částí odborné i neoborné veřejnosti stále podceňovaný. V posledních letech je architektury postupně objevený potenciál barevného betonu, který poskytuje přídavnou hodnotu každému, kdo s ním pracuje – dodává trvalé zlepšení estetických vlastností běžnému konstrukčnímu materiálu. Barevné betonové stavby jsou přitažlivější, zajímavější a současně se odlišují od ostatních [1, 3 a 5]. Barevný beton je v zahraničí na trhu už několik let. Jeho výroba se jen o málo liší od produkce betonu v jeho přirozené šedé barvě. Pro dosažení požadovaného kvalitního výsledku je třeba uvážit všechny okolnosti, které výsledný barevný odstín betonu mohou ovlivnit.

## PIGMENTY

Při plánování barevného odstínu betonu je třeba mít přesnou představu o požadované barvě, které chceme přidáním pigmentů dosáhnout. Volba správného pigmentu je pro kvalitu výsledného produktu velmi důležitá. Roky sledování barevných betonů vystavených různým klimatickým podmínkám po celém světě ukázaly, že anorganické pigmenty mají zvláště dobré vlastnosti z hlediska dlouhodobé stálosti barevného odstínu.

Pigmenty musí dlouhodobě odolávat agresivnímu působení silně alkalické

cementové pasty, povětrnosti, slunečního světla a běžné úrovni záření dopadajícího na Zemi. Pro použití v betonu se nesmí rozpouštět ve vodě a reagovat s ní, ale naopak se musí v připravovaném čerstvém betonu během míchání jemně a stejnoměrně rozptýlit. Uvedeným požadavkům vyhovují dobře anorganické pigmenty, zejména pigmenty oxidů kovů (tab. 1).

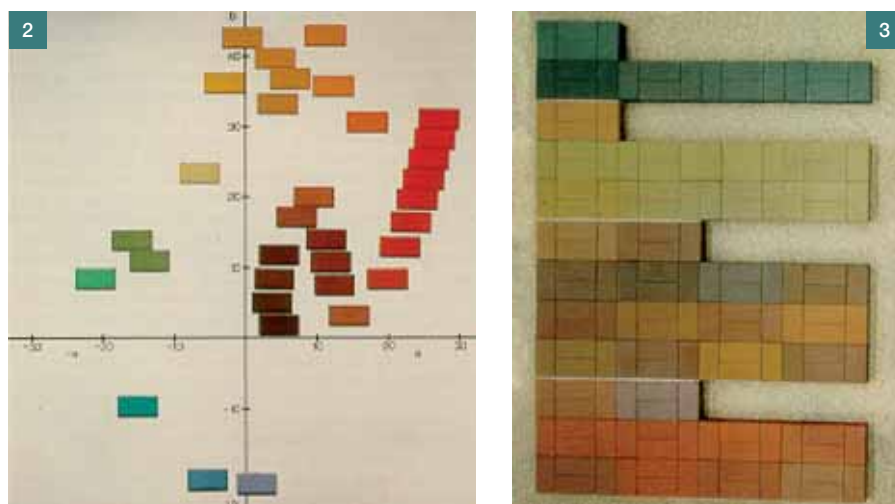
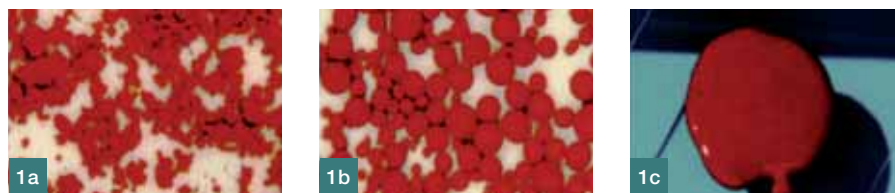
Barevné pigmenty jsou dostupné ve formě prášku a pigmentových přípravků, např. granulí, kompaktního prášku nebo suspenzí (obr. 1). Aplikace pigmentů ve formě pigmentových přípravků je výhodnější při výrobě většího množství barevných betonů z hlediska minimální změny konzistence betonu, bezprašného prostředí a snadnějšího dávkování.

Barevné oxidy železa běžně používané pro barvení betonu pokrývají v různých barevných směsích většinu oblíbených barev a jejich odstínů (tab. 2, obr. 2 a 3).

Pro získání odstínů bílé, zelené a modré barvy jsou používány jiné druhy pigmentů. Čistě světlé barvy, např. žlutá, dopadnou lépe, je-li pro beton použit bílý cement. A beton svítivých barev, podobných jaké se používají pro plastové výrobky, ten není jednoduché ani snadné vyrobit. Je to dáno jednak vstupními látkami a jednak charakterem povrchu (texturou) hotové betonové plochy.

Barvicí síla pigmentů je důležitá kvalitativní charakteristika, která je podstatná pro určení jejich nákladové efektivity. Barvicí síla je definována jako schopnost pigmentu propůjčit svou barvu mediu, které má být obarveno. Obr. 4 ukazuje dva červené prášky: cihelný prach a červený oxid železa. Použijeme-li oba k obarvení laboratorních betonových vzorků, můžeme porovnat zřejmý rozdíl v jejich barvicí síle.

Požadavky na zpracovatelnost pigmentů v betonárnách se během posled-



Tab. 1 Nejdůležitější barevné pigmenty na bázi oxidů železa ■ Tab. 1 The most important iron oxide pigments

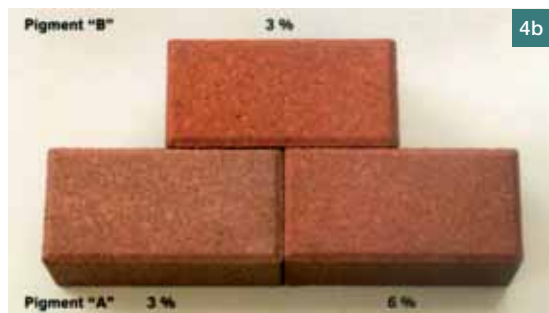
Barva	Pigment
bílá	oxid titaničitý
černá	černý oxid železa
červená	červený oxid železa
žlutá	žlutý oxid železa
hnědá	hnědý oxid železa
zelená	zelený oxid chromu
modrá	kobaltová modř

Tab. 2 Odstíny barev ■ Tab. 2 Coloured shades

Barva	Odstíny
červená	červenozlutý až modročervený
žlutá	zelenožlutý až červenožlutý
hnědá	světlý žlutohnědý až tmavý červenohnědý
černá	světlešedá až antracitová



4a



4b

Obr. 1 Formy pigmentu, a) prášek, b) granule, c) suspenze ■ Fig. 1 Forms for pigments, a) powder, b) granulates, compacted pigments, c) slurry

Obr. 2 Barevné odstíny betonů vzniklé mícháním pigmentů ■ Fig. 2 Total colour space achievable in concrete by mixing oxidic pigments

Obr. 3 Široká barevná škála betonů ■ Fig. 3 Wide colour range of concrete

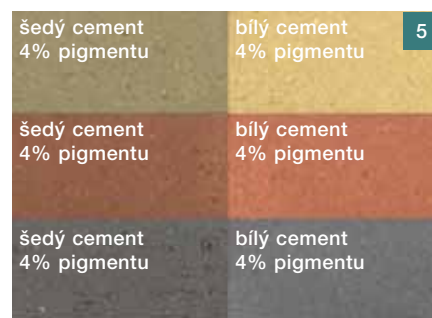
Obr. 4 Srovnání barvicí síly, a) cihelného prachu a červeného pigmentu z oxidu železa, b) dva pigmenty různé barvicí síly ■ Fig. 4 Comparison of tinting strength, a) brick powder and red oxide pigment, b) two pigments with different tinting strength

Obr. 5 Vliv barvy cementu (bílý a šedý) na výsledný odstín barvy betonu ■ Fig. 5 Influence of the cement colour (white and gray) on the final shade of concrete

Obr. 6 Vliv barvy kameniva na výsledný odstín barvy betonu ■ Fig. 6 Influence of the aggregate colour on the final shade



6



5

ních let změnil. Léta se k barvení betonu používala prášková forma pigmentů. Svě místo na trhu si už našly i pigmentové suspenze vysokých koncentrací. Při jejich použití se nezvyšuje prašnost prostředí, dá se s nimi jednoduše zacházet a byla vypracována metodika jejich dávkování pomocí odměrných válců a hydrometrů. Při použití vhodných pump mohou být suspenze do směsi přidávány i z větší vzdálenosti. Suspenzi lze připravit ze suchých pigmentů v betonárně, nebo ji koupit jako polotovár od dodavatele. Tyto barevné kaly obsahují relativně velké množství vody, která zvyšuje jejich přepravní cenu oproti lehčím práškovým pigmentům. Je třeba počítat i s tím, že zrnka pigmentu se v suspenzi, pokud není pravidelně promíchávána, usazují na dně a dochází k nesterhomerné koncentraci v rámci daného objemu. Barevný kal může při nechráněném převozu či skladování také zmrznout.

Uvedené nevýhody tekuté formy pigmentů vedly k dalšímu vývoji suchých forem pigmentů. V poslední době jsou užívány zejména tzv. pigmentové granule. Byly vyvinuty speciálně pro průmyslové použití pigmentů na stavbách. Potlačují nevýhody předchozích forem a umožňují jednoduchou manipulaci, přepravu a skladování, nezatežují okolní prostředí prachem a lze je snadno přesně dávkovat.

Pro individuální výrobu barevného betonu v malém množství je možno použít pigmenty dávkované v sáčcích z vodorozpuštného materiálu. Výhodou tohoto procesu je úplné využití pigmentu obsaženého v sáčku.

Neexistuje všeobecně platný návod na to, která kombinace dodání pigmentu a dávkovacího systému je nejlepší alternativou pro konkrétní případ. Pro optimální vyhodnocení procesu je nutné zvážit místní specifika a různé ekonomické zájmy. Pouze důsledné posouzení individuálních podmínek může zaručit, že starostlivá příprava se odrazí v dobré kvalitě výsledného díla.

#### Vliv barvy cementu na barvu betonu

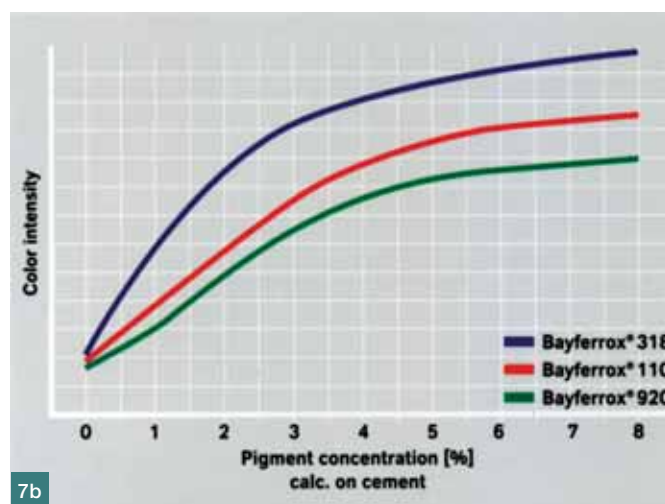
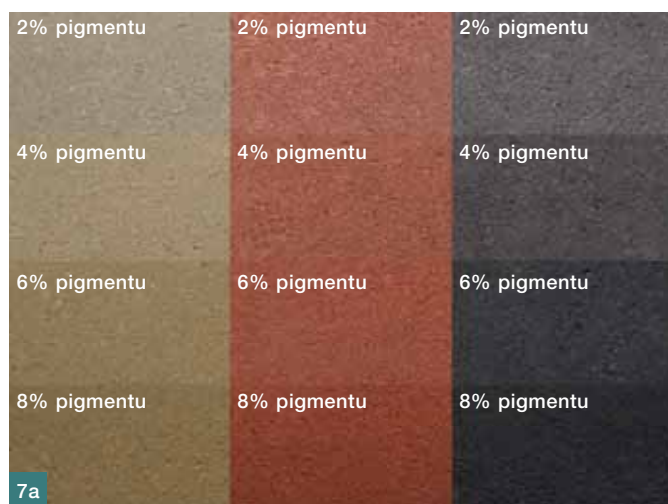
Šedá dokáže ztlumit jas kterékoli výrazné zářivé barvy. Proto barevné betony a betonové prvky vyráběné z běžného Portlandského cementu nikdy nebudou mít tak jasné barvy, jako betony vyrobené s použitím bílého cementu (obr. 5). Zvýšení čistoty barvy získané použitím bílého cementu závisí na barvě použitého pigmentu. Jde-li o černý pigment, potom nebude rozdíl v tom, zda byl použit šedý nebo bílý cement. U tmavohnědých a červených pigmentů už se rozdíl projevuje a u žlutých a zelených pigmentů je výrazný. Pro získání čistšího a jasnějšího barevného odstínu je třeba přidat více bílého cementu. Zrnka bílého cementu nepohlcují světlo, jako šedá. Naopak světlo se od nich odráží a dopadá na zrnka pigmentu nebo kameniva, a tím se barva stává jasnější. Odraz barvy z pigmentových zrn dopadá na bílý povrch cementových zrn a odráží se na nich a synergicky se tak zesiluje barevný vjem.

Je důležité si uvědomit, že šedá barva cementu se také může měnit od světlé až po tmavě šedou v závis-

losti na vstupních surovinách. Když se u dodavatele změní šarže cementu nebo se změní dodavatel, vždy je třeba počítat s možnou změnou barvy cementu, což významně ovlivní konečnou barvu betonových prvků.

#### Vliv barvy kameniva na barvu betonu

Při výrobě barevného betonu a/nebo betonových prvků jsou zrna kameniva pokryta cementovou pastou. Může se stát, že zrna výrazně zbarveného kameniva u povrchu prvku nebudou zcela zakryta a výsledný barevný povrch betonu bude narušen přirozenou barvou kameniva. I když u nových konstrukcí se to nemusí zdát tak významné, jejich postupným stárnutím může docházet k setření nebo odloupení povrchové vrstvičky cementové pasty a vystoupení více zrn na povrch, a tím ke změně barevného odstínu příp. ztrátě jeho jasu. Vidíme potom směsný odstín, který vznikl promícháním barvy cementové pasty a barvy odhaleného kameniva. Stejně jako cement má přirozená barva písku větší vliv na výsledné barvy světlých betonů než tmavých (obr. 6).



Obr. 7 Vliv množství použitého pigmentu na sytost odstínu výsledného betonu, a) porovnání vzorků, b) křivky intenzity barevného odstínu v závislosti na % obsaženého pigmentu ■ Fig. 7 Influence of the pigmentational level on the final shade, a) comparison of specimens, b) color intensity curves vs. pigment concentration

Obr. 8 Vliv hodnoty vodního součinitele na výslednou barvu betonu ■ Fig. 8 Influence of the water-cement ratio on the colour of the concrete

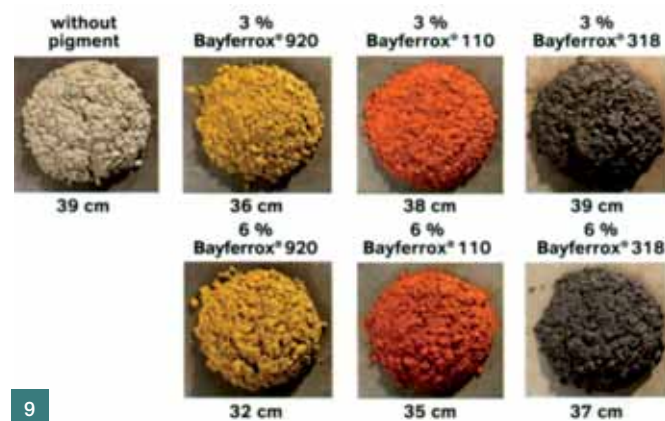
Obr. 9 Vliv barvy použitého pigmentu na zpracovatelnost betonu (slump test), stejný vodní součinitel 0,56 ■ Fig. 9 Influence of the colour of pigment on Slump test results, water/cement ratio value 0,56

Obr. 10 Vliv množství použitého cementu na barvu betonu ■ Fig. 10 Influence of the cement content on the colour of the concrete

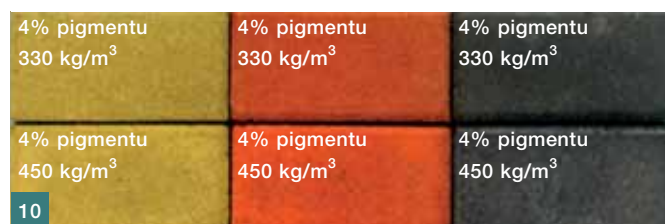
Obr. 11 Vliv podmínek tvrdnutí betonu na jeho výslednou barvu ■ Fig. 11 Influence of the hardening conditions on the shade of concrete

Obr. 12 Výkvěty po nějaké době zmizí samy ■ Fig. 12 Efflorescence disappears after a certain time by itself

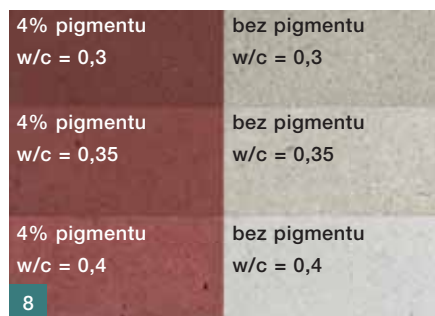
Obr. 13 Stěna z barevných betonových cihel postavená v roce 1970 a vystavená působení povětrnosti porovnávána po 25 letech s referenčními vzorky ■ Fig. 13 Concrete coloured brick wall compared with unweathered reference sample, start of weathering in 1970, photo 1995



9



10



8

### Vliv formulace požadavku na barvu betonu

Znalost optimální koncentrace pigmentu umožňuje snížit náklady, protože se nepoužívá více pigmentu, než je skutečně potřeba k dosažení požadovaného konečného odstínu barvy.

Jestliže je do betonové směsi přidáván pigment, zpočátku vzrůstá intenzita barvy lineárně s přidáním množství pigmentu. Od určitého množství přidaného pigmentu je však barva betonu už tak sytá, že přidáním další

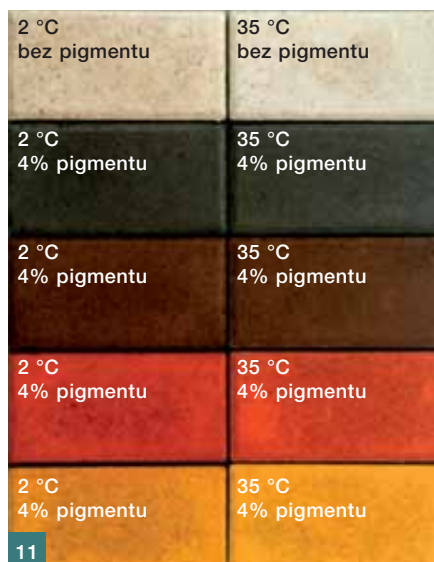
dávky již sytost barvy nenarůstá a zvyšování množství pigmentu je již neekonomické. Při použití pigmentů s vysokou barvicí schopností je obvykle dostatečná dávka do 5 % obsahu pojiva (obr. 7). U slabších pigmentů však ani několikrát násobně vyšší dávka nemusí zajistit stejnou sytost výsledné barvy betonu. Množství pigmentu, které v takovém případě zajistí požadovanou sytost výsledné barvy, může dosáhnout hodnot, které je třeba už započítávat do celkového objemu jemných složek v betonu, protože jinak by jejich přidání mohlo mít negativní dopady na mechanické vlastnosti betonu.

Nadbytečná záměsová voda se z betonu odpařuje a nechává po sobě drobné dutinky ve formě jemných pórů, které po vyschnutí tvoří světlý šlem. Je to jako bílá pěna na čerstvě natočené sklenici piva, když vlastní nápoj je žlutý. Jemné póry rozptylují dopadající světlo, a tím zesvětlu-

jí vnímanou barvu betonu. Šlem se dá odstranit zbroušením tenké povrchové vrstvičky. Pokud však nebude povrch obroušen v celé ploše, bude zásah velmi pravděpodobně zřetelný.

Čím vyšší je vodní součinitel čerstvého betonu, tím světlejší bude výsledný beton (obr. 8). Změna sytosti barevného odstínu se v souvislosti se změnou vodního součinitele se projevuje stejně na barevném i přirozeně šedém betonu.

Pro zajištění bezproblémového procesu výroby a uložení betonu se jeho konzistence během výroby celého požadovaného množství může pohybovat pouze v úzkém intervalu, což znamená, že obsluha betonárny musí pozorně sledovat množství použité vody. S automatizací výroby betonu jsou změny sytosti jeho barevného odstínu způsobené kolísáním vodního součinitele při výrobě spíše výjimečné. Je však třeba upozornit na skutečnost, že pigmenty různých barev mají


**Literatura:**

- [1] Scale of shades, opusC 1/2009, str. 62–67
- [2] Materiály Lanxes Deutschland GmbH, [www.lanxess.com](http://www.lanxess.com), [www.bayferrox.de](http://www.bayferrox.de), [www.colored-concrete-works.com](http://www.colored-concrete-works.com)
- [3] Lopez A., Tobes J. M., Zerbino R., Barragán B.: Barevný samozhutnitelný beton – receptura a charakterizace, BETON TKS 1/2009, str. 44–50
- [4] Carvalho de Arruda Coelho F.: Vliv přidání anorganických pigmentů na trvanlivost betonu, BETON TKS 4/2009, str. 44–47
- [5] Margoldová J.: Most mezi staletími, BETON TKS 4/2009, str. 42–43
- [6] Příkrýl J.: Zkoušení světlostálости anorganických pigmentů v betonu, BETON TKS 6/2009, str. 63–65
- [7] Pečur I., Juračin S., Duvnjak M., Lovrič T.: Vliv pigmentů na vlastnosti betonu, BETON TKS 6/2009, str. 66–69

různé vlastnosti, které ovlivňují chování čerstvého betonu spíše než vlastnosti vyzrálého betonu [3, 7]. Laboratorní zkoušky ukázaly (slump test), že čerstvé betony vyrobené s přidáním 3%, resp. 6% podílu barevných pigmentů měly při stejném vodním součiniteli různou konzistenci (obr. 9), [2].

Nejvýznamnějším nositelem zbarvení betonu je cementová pasta, nikoliv kamenivo. Protože se množství použitého pigmentu vždy určuje jako procentní podíl použitého pojiva, bude mít beton s vyšším množstvím pojiva při stejném podílu pigmentu vždy sytější barvu než beton s menším množstvím pojiva (obr. 10).

## VÝROBA BAREVNÉHO BETONU

### Dávkování a rozptýlení pigmentů v betonu

Kvalita betonových konstrukcí hraje stále důležitější roli ve stavebním prů-



myslu a vysoce kvalitní barevný beton se nedá vyrábět bez přesného dávkování a rovnoměrného rozptýlení zrn pigmentů v čerstvém betonu.

Z hlediska rozmíchání pigmentů je velmi důležité vědět, kdy může být pigment do připravované betonové směsi přidán. Výrobci pigmentů doporučují míchat nejprve 15 s pigment pouze s kamenivem a po té teprve přidat pojivo. Potom už je postup přidávání jednotlivých složek směsi stejný jako u nebarveného betonu. V každém případě je třeba zabránit tomu, aby se všechny složky začaly míchat současně, nebo aby byl nejprve smíchán písek a pojivo.

Pro rovnoměrné rozptýlení zrn pigmentu v mase betonu je také důležitá doba míchání. Každá míchačka má dle svého typu a výkonu předepsanou minimální dobu míchání. Je-li např. celková doba míchání doporučována 1,5 až 2 min, časové rozložení jednotlivých kroků by mohlo být následující:

- písek + pigment: přibližně 10 až 20 s
- písek + pigment + pojivo: přibližně 15 až 20 s
- písek + pigment + pojivo + voda: přibližně 1 až 1,5 min

### Vliv podmínek při tvrdnutí betonu na jeho barvu

V tvrdnoucí cementové matici, která vzniká reakcí vody a cementu, rostou krystaly produktů hydratace různé velikosti v závislosti na teplotě, ve které

beton zraje. Velikost těchto krystalů je následně rozhodující pro to, jakým způsobem se bude od povrchu betonu odrážet dopadené světlo, případně jak se bude na povrchu rozptylovat.

Při vyšší teplotě se tvoří jemnější jehličky krystalů, ty budou později dopadající světlo více rozptylovat a povrch betonu se tak bude zdát světlejší než povrch betonu, který zrál za nižších teplot a mohly se vytvořit větší krystaly hydratačních produktů.

Tento jev je výrazný, zejména srovnáme-li barevný odstín propařovaného betonu a betonu tvrdnoucího za běžných teplotních podmínek. Samozřejmě, že naopak beton, který zraje při teplotách blízkých nule (zimní období), bude mít na pohled tmavší povrch než stejný beton vyrobený uprostřed letních veder (obr. 11). Barevný rozdíl bude patrný, pokud části konstrukce, které byly betonovány za různých teplotních podmínek, budou po dokončení stavby vedle sebe ve stejných světelných podmínkách. I k tomu je třeba přihlídnout při plánování procesu výstavby objektu.

### Stárnutí barevného betonu

Změny barvy povrchu se v průběhu času projevují na konstrukcích z barveného ale i přírodního šedého betonu. Příčin může být několik a jejich dopady lze rozdělit na dočasné (např. výkvěty) a trvalé (např. odhalování zrn kameniva) změny barvy povrchu.

14a



14b



14c



Obr. 14 Referenční projekty, a) vinařství Antión, La Rioja, Španělsko, architekt Jesús Marino Pascual, 12 000 m<sup>3</sup> betonu, 120 t žlutého pigmentu, b) most Arsta ve švédském Stockholmu [5], c) stanice lanovky z Mayrhofenu v Zillertálském údolí na vrchol Ahornu, architekt Antonius Lanzinger ■ Fig. 14 Reference projects, a) Bodega Antión, La Rioja, Spain, architect Jesús Marino Pascual, 12 000 m<sup>3</sup> of concrete, 120 t of yellow pigment, b) New Arsta Bridge, Stockholm, Sweden [5], c) Station of the Mayrhofen Ahornbahn in the Tyrolean Ziller Valley, architect Antonius Lanzinger

### Stárnutí povrchové vrstvy

Na povrchu betonu bývá vrstvička obsahující jemná zrna kameniva a cementu. Její tloušťka závisí na složení směsi, způsobu hutnění uloženého čerstvého betonu ad. Tato vrstva tvrdé cementové malty je postupně mechanicky i povětrností obrušována až se po letech na povrchu zvolna objevují větší zrna kameniva a ovlivňují vnímání celkového barevného odstínu povrchu konstrukce. Barevné betonové povrchy vyrobené z kameniva vhodné barvy a vystavené 25 let působení povětrnosti vykazují velmi malé odlišnosti oproti referenčním vzorkům (obr. 13).

### ZÁVĚR

Pokud jsou pro výrobu barevného betonu používány kvalitní a stabilní anorganické pigmenty, a je dodržován doporučený technologický postup, je výsledné zbarvení materiálu stejnoměrně syté a trvalé a jeho odstín se během let mění jen nepatrně (obr. 14), [2, 4, 6].

fotografie archiv společnosti Lanxes Deutschland GmbH

### Výkvěty

Výkvěty (*efflorescence*) jsou kletbou, která visí nad všemi výrobci betonových prvků a zejména těch barevných, kde je na vzhled povrchu kladen zvlášť velký důraz. Je zřejmé, že bílé vápenaté usazeniny jsou na barevných površích daleko nápadnější než na přírodním šedém nebo dokonce bílém betonovém podkladu. Výkvěty jsou výsledkem souhrnu dějů úzce spjatých s vlastnostmi betonu, zejména s transportem solí rozpuštěných v záměsové vodě jeho pórovou strukturou (primární efflorescence). Hlavním zdrojem výkvětů na povrchu betonů je hydroxid vápenatý a jeho reakce s oxidy uhlíku obsaženými ve vzduchu.

Tvorbu výkvětů lze omezit snížením vodního součinitele, avšak nelze zaručit její úplné potlačení, neboť v pórech konstrukce se mohou srážet i kapičky rosy nebo vlhkosti, která dovnitř pronikla za deště (sekundární efflorescence) [2].

Porosita betonu také hraje důležitou roli. Čím hutnější je beton, tím nižší má sklon k tvorbě výkvětů.

Usazený uhličitán vápenatý na povrchu betonu zvolna reaguje s oxidem uhličitým rozpuštěným v dešťové vodě a vytváří kyselý uhličitán vápenatý, který je naopak ve vodě rozpustný. Tímto způsobem výkvěty s povrchu betonu pomalu mizí (obr. 12). Kyselá složky atmosféry také rozpouštějí vápenaté usazeniny na povrchu betonů.