

Odolnost betonu v prostředí s mrazovými cykly

Se vstupem normy ČSN EN 206-1 vystoupil do popředí význam trvanlivosti betonu. Ke specifikaci betonu se nově začalo přistupovat prioritně dle vlivu prostředí a dle životnosti konstrukce v daném prostředí. Tento vliv prostředí a požadovaná životnost konstrukce v něm teprve udává minimální kvalitativní nebo kvantitativní parametry betonu. Teprve v druhém kroku specifikace betonu porovnáváme, jestli je statikem požadovaná pevnost vyšší než minimální pevnost daná stupněm vlivu prostředí. Ze zkušenosti vyplývá, že zejména pro stupně vlivu prostředí náročnější na trvanlivost betonu je většinou důležitějším a rozhodujícím kritériem minimální pevnostní třída daná normou ČSN EN 206-1/23 než potřebná pevnost daná statickým výpočtem.

Specifikace betonu

Oproti dřívější době, kdy se specifikovala pouze pevnost, případně stupeň vodotěsnosti (např. B30 V8), je dle platné ČSN EN 206-1/23 nutné specifikovat mnohem více parametrů betonu. Příklad specifikace je v následujícím řádku:

Beton dle ČSN EN 206-1/23 C30/37 – XF2 (CZ, F.1) – CI 0,20 – D_{max}22 – S4

Specifikace může obsahovat ještě doplňující parametry, například maximální průsak (nad rámec stupně vlivu prostředí) nebo modul pružnosti. Specifikace betonu tedy obsahuje následující parametry:

- **Normu, dle které je beton navržen** – Vzhledem k tomu, že normy procházejí relativně často změnami a těmito změnami můžou být ovlivněny požadavky na beton, je nutné mít

poznámeno, dle jaké normy byl beton pro konstrukci navržen.

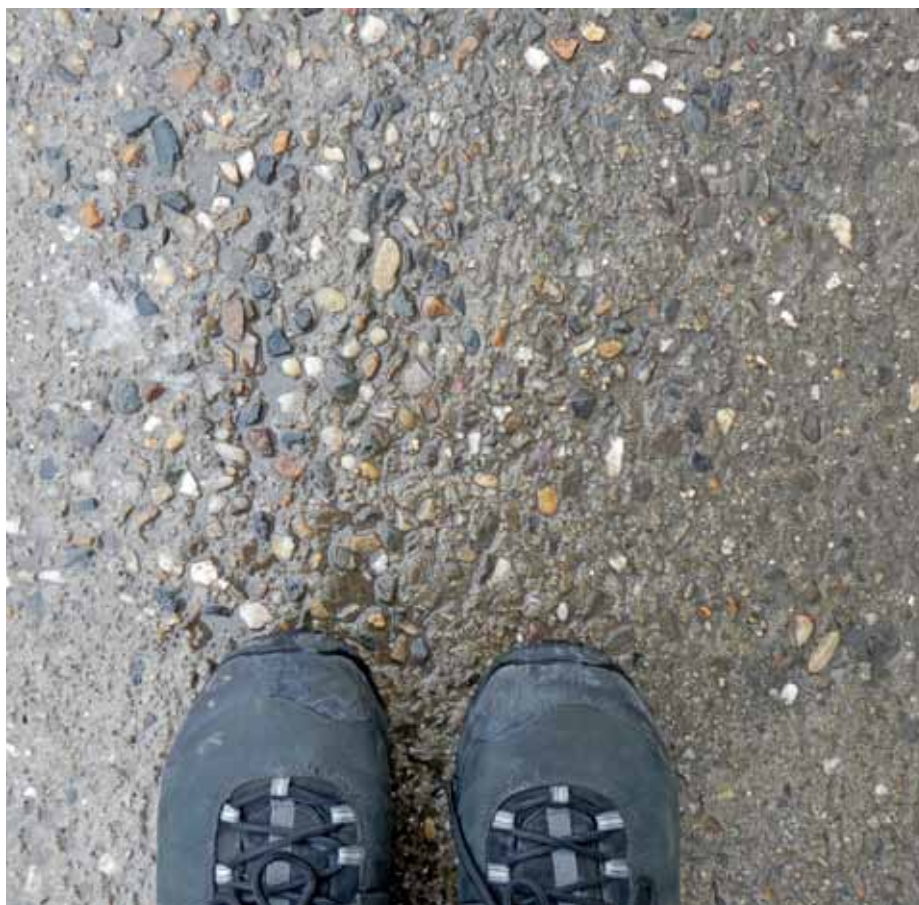
- **Pevnostní třídu betonu** – Tato pevnostní třída určuje zaručenou pevnost betonu v tlaku, měřenou na válcích/krychlích. V České republice se pevnost historicky zkouší prioritně na krychlích o hraně 150 mm. Z tohoto důvodu byla dříve uváděna pevnost pouze krychelná. Z výše uvedeného tedy vyplývá, že z hlediska pevnosti platí následující převod: B30 = C25/30.
- Jednou z nejdůležitějších částí specifikace je **stupeň vlivu prostředí** (dále v textu SVP). Stupňů vlivu prostředí může být pro jeden beton specifikováno více. Správná specifikace stupňů vlivu prostředí zásadně ovlivňuje návrh složení betonu. Stejně tak je ovšem důležité specifikovat tabulku mezních hodnot pro složení betonu dle životnosti nebo namáhání konstrukce. V normě jsou uvedeny tabulky F.1 (předpokládaná životnost konstrukce 50 let), F.2 (předpokládaná životnost konstrukce 100 let) a tabulka F.3 pro prostředí s pohyblivým mechanickým zatížením.
- **Maximální obsah chloridů** je dán způsobem vyztužení konstrukce. Hodnota znamená maximální obsah chloridů v procentech ve vztahu k obsahu cementu. Hodnota 0,20 je pro předpjaté konstrukce, hodnota 0,40 pro konstrukce s ocelovou vyztuží a hodnota 1,0 pro prostý beton. Tento obsah chloridů v betonu nesmí být překročen.
- **Maximální zrno kameniva D_{max} a stupeň konzistence** by měly respektovat stupeň vyztužení a tvar konstrukce. Tyto parametry musí být při objednání specifikovány, ale nemají zásadní vliv na kvalitativní parametry zatvrdlého betonu.

Je tedy vidět, že správná specifikace betonu je relativně náročná, pro správný návrh receptury betonu je ale nezbytná.

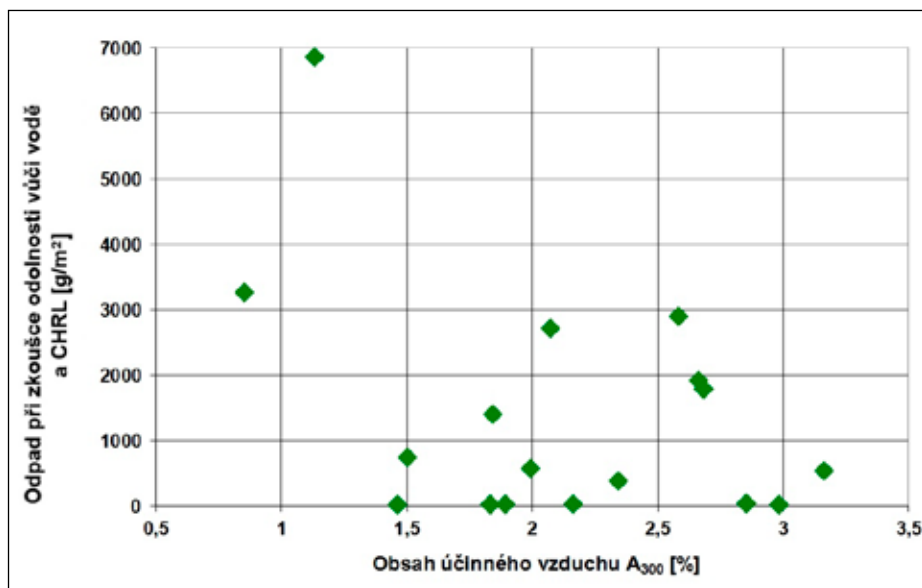
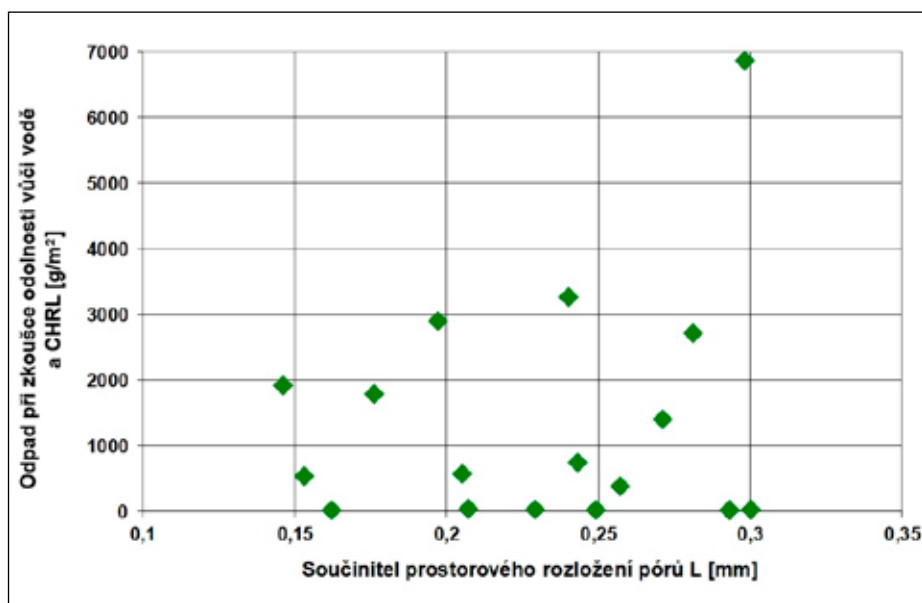
Stupně vlivu prostředí

Jak je uvedeno výše, stupeň vlivu prostředí je jednou z nejdůležitějších částí specifikace. Když pomineme SVP X0 (bez nebezpečí koroze a narušení), XS1-3 (koroze vlivem chloridů z mořské vody) a XM1-2 dle CZ, F.3 (prostředí s pohyblivým mechanickým zatížením), zbývají nám čtyři hlavní stupně vlivu prostředí:

- XC1-4 – koroze vlivem karbonátace,
- XD1-3 – koroze vlivem chloridů, ne však z mořské vody,
- XF1-4 – působení mrazu a rozmrazování (mrazové cykly) s rozmrazovacími prostředky nebo bez nich,
- XA1-3 – chemické působení.



Obr. 1: Povrch betonu porušený mrazem a rozmrazovacími prostředky

Graf 1: Závislost odolnosti vůči vodě a CHRL na A₃₀₀

Graf 2: Závislost odolnosti vůči vodě a CHRL na L

Karbonatace je reakce mezi kyselými plyny v atmosféře a produkty hydratace cementu. Výsledkem této reakce je postupné snižování alkality betonu, které má za následek ztrátu ochrany ocelové výztuže. Výztuž začne korodovat a vlivem zvětšujícího se objemu začne odprýskávat krycí vrstva betonu.

Koroze vlivem chloridů má podobný efekt, tzn. odprýskávání povrchové vrstvy betonu od koroذující výztuže, důvod je však odlišný od karbonatace. Chloridy mohou pronikat k výztuži a aktivovat ji, aniž by došlo k poklesu pH pórového roztoku.

Poškození betonu působením mrazu a rozmrazování není závislé na přítomnosti ocelové výztuže. Jedná se o čistou degradaci povrchu nebo struktury betonu. Tímto prostředím a zajištěním odolnosti betonu v něm se bude článek zabývat níže.

V prostředí s **chemickým působením** je vždy potřeba pro správné zařazení stupně agresivity zajistit rozbor agresivních látek, které budou na konstrukci působit. Nejčastějšími konstrukcemi v tomto prostředí jsou konstrukce spodní stavby bez izolace (bílá vana, základové konstrukce). Z hlediska složení betonu je nejdůležitější specifikovat, jestli je stupeň vlivu prostředí XA2-3 způsoben síranem. V případě že ano, je nezbytné použít síranovzdorný cement.

Dle tabulky F.1, resp. F.2 z normy ČSN EN 206-1/23 zajistíme dostatečnou odolnost betonu v daném prostředí dodržáním tabulkou předepsaných parametrů betonu. Jedná se zejména o minimální pevnostní třídu, vodní součinitel a minimální obsah cementu. Tyto požadavky jsou předepsány pro všechny SVP kromě X0. Pro stupeň vlivu prostředí XF a XA

(pouze pro životnost 100 let) je předepsáno provzdušnění betonu. Českou specialitou, popírající původní logiku normy, je požadavek na zkoušky odolnosti betonu vůči průsaku tlakové vody (všechny intenzivnější SVP) a odolnosti povrchu betonu vůči působení mrazu a rozmrazování za přítomnosti vody nebo chemických rozmrazovacích látek (SVP XF). Norma vychází z logiky, že nižší vodní součinitel, vyšší pevnostní třída a vyšší obsah cementu zajistí vyšší odolnost betonu vůči vlivům prostředí. Zejména u vodního součinitele je tento předpoklad dosti diskutabilní. Je vysoce pravděpodobné, že u dvou betonů se stejným obsahem cementu a s různými vodními součiniteli bude odolnější beton s nižším vodním součinitelem. Avšak zejména u betonů s nízkým vývojem hydratačního tepla, kde výrazně omezuje množství cementu, se dostáváme do situace, kde už vodní součinitel 0,55 znamená velmi nízký absolutní obsah vody a velmi odolnou strukturu cementového kamene. Když toto srovnáme s betonem s běžným obsahem cementu a stejným vodním součinitelem, zjistíme, že beton obsahuje mnohem více vody a ve výsledku zdaleka není tak odolný jako předchozí beton. Při dalším pohledu zjistíme, že beton s vyšším obsahem cementu a vyšším obsahem vody (ale stejným vodním součinitelem) bude mít vyšší smrštění a tím i vyšší riziko trhlin, což je potenciální riziko pro trvanlivost konstrukce jako celku.

Stupeň vlivu prostředí XF – historie přístupu k mrazuvzdornému betonu

Typickými konstrukcemi vystavenými prostředí XF jsou stavby dopravní a vodohospodářské. Všechny tyto konstrukce jsou vystaveny mrazu a rozmrazování za přítomnosti vody, případně vody s rozmrazovacími prostředky. Degradace betonu je dle Erlin/Matherova efektu způsobena napětím v betonu, vyvolaným rozpínajícím se ledem z důvodu teplotní roztažnosti při ohřívání ledu. Dle této teorie tedy k nejintenzivnější degradaci dochází při oteplení, při teplotách těsně pod 0 °C. Teorii porušení mrazem je ovšem více. Výsledkem této degradace je povrch, ze kterého odpadávají rozrušené kousky betonu (obr. 1), případně narušená struktura betonu způsobující pokles pevnosti v tahu za ohybu nebo modulů pružnosti.

Při použití rozmrazovacích prostředků se namáhání betonu zvyšuje.

Způsob zajištění trvanlivosti betonu při mrazových cyklech měl svůj vývoj. Už v roce 1950 se prezentuje možnost zvýšení mrazuvzdornosti pomocí provzdušňovacích přísad nebo provzdušňujících cementů. Množství vázaného vzduchu se pohybuje v rozmezí 2–6 %. Bub-



Obr. 2: Povrch zkušebního tělesa po zkoušce odolnosti vůči vodě a CHRL metodou C – naměřený odpad 6887 g/m²



Obr. 3: Povrch zkušebního tělesa po zkoušce odolnosti vůči vodě a CHRL metodou C – naměřený odpad 33,1 g/m² (těleso vyrobeno bez úpravy povrchu)

linky mají velikost 60–200 μm a jsou stejnoměrně rozděleny [1]. Už tehdy je zdůrazňována důležitost jejich velikosti a stejnoměrného rozložení v betonu. Podmínkou pro dosažení mrazuvzdorného betonu je kromě provzdušněného pojivového tmele i mrazuvzdornost kamenných složek. Zkušební metody začátku 60. let 20. století jsou dobře popsány v pátém svazku *Technologie betonu* od akademika Bechyného [2]. Konstatuje zde, že trvanlivý beton musí být vodotěsný a nesmí pohlcovat vodu. Vodotěsnosti se dosahuje hlavně tučností betonu a vhodně zrněným pískem. Následky působení mrazu na beton se rozdělovaly na viditelné povrchové a vnitřní, okem nepozorovatelné. Kontrola váhy poskytuje neúplnou informaci, protože možné vnitřní, nebezpečnější následky neodhaluje. Zjevné mrazové porušení betonu doprovázejí totiž vždy neviditelné změny: ztráta pevnosti, modulu pružnosti, ztráta nepropustnosti a zvětšení objemu. Obvykle se uplatní tyto změny dříve než poruchy viditelné, čili zkoušky, jimiž se tyto skryté změny zjišťují a měří, jsou přísnější a přesnější, ale i pohotovější. Citlivé je měření pevnosti v tahu, kdežto změny pevnosti v tlaku jsou malé a neprůkazné [2]. Nejlepším, v té době známým způsobem kontroly následků mrazu, je měření proměny modulu pružnosti E . Změna modulu pružnosti E se vhodně měří např. z frekvence vlastního kmitání nebo akusticky z rychlosti šíření zvuku. Mrazuvzdorné betony ukazují po určitém počtu cyklů ustálený modul, zmenšený nejvýše o 15 %. Alternativou bylo měření změn nasáklivosti a propustnosti. Bylo vyzorováno, že betony s vodním součinitelem nižším než 0,4 odolávají mrazu dobře a mají dobrou pórovitost jako betony provzdušněné. Účinnost přísad poutajících vzduch byla nevýznamná v betonech tučných a obsahujících kamennou moučku. Vyztužený beton, poměrně tučný, se nedoporučovalo provzdušňovat také z důvodu tvorby nedostatečného množství bublinek, které se usazovaly na výztuži a zhoršovaly její soudržnost s betonem. Doporučovalo se minimální množství cementu od 250 do 350 kg dle typu a způsobu chránění konstrukce. Pro mrazuvzdorné betony se osvědčilo použití hydrofobních cementů. Stejně jako v dřívějších publikacích se upozorňuje na důležitost množství, velikosti a vzdálenosti bublin [2]. V 70. letech 20. století se už mrazuvzdornost hodnotí počtem zmrazovacích a rozmrazovacích cyklů a označuje písmenem T (T 50, T 100, T 150, T 250 atd.). Součinitel mrazuvzdornosti má být nejméně 0,75 a úbytek hmotnosti smí být nejvýše 5 %. Mrazuvzdornost se stanovuje na trácích měřením změny pevnosti v tahu za ohybu cyklováním.

Jako rychlá kontrolní zkouška se dá využít nepřímá zkouška mrazuvzdornosti zjištěním nasákavosti betonu během 24 hodin. Pro určité druhy cementů a stupeň mrazuvzdornosti jsou daná nejnižší množství cementu v m³ betonu. Přiměřené procento provzdušnění je v rozmezí 4–6 % a nemělo by přestoupit 8 %. Směs má být podle zpracovatelnosti nejvýše málo měkká nebo zavlhá. Vodní součinitel má být pod hodnotou 0,6, nejlépe roven 0,56 nebo nižší. Hlavní změnou tohoto období je začátek uvažování vlivu rozmrazovacích látek na beton v průběhu cyklování. Rozmrazovacími chemikáliemi vznikají v betonu v důsledku odčerpání tepla tepelné šoky, které zvyšují účinek vody v kapilárách. Trvanlivost povrchu betonu při rozmrazování vodou a chemickými prostředky se zkouší dle tehdy nového předpisu ČSN 73 1326 na dlaždicích velikosti 20x20 cm. Počet cyklů je nejméně 50. Jeden cyklus trvá 16 hodin zmrazování a 1,5 hodiny rozmrazování. Výsledky se klasifikují slovně. Povrch dlaždice se klasifikuje jako nenarušený, malé povrchové odlupování, vylupování zrn drobného kameniva, poškozený povrch [3]. V 80. letech 20. století se mrazuvzdornosti dosahuje dvěma způsoby. Buď výrobou dostatečně hutného, vodotěsného betonu, nebo provzdušněním betonové směsi. Stejně jako v minulosti zůstává nezbytným použitím mrazuvzdorného nenasákavého kameniva. Zdůrazňuje se nutnost vytvoření bublinek provzdušnění o dostatečně malém průměru. Pro zkoušení mrazuvzdornosti platí normy ČSN 73 1322 (zkoušení mrazuvzdornosti měřením pevnosti v tahu za ohybu na trámčích), ČSN 73 1325 (zkrácená zkouška mrazuvzdornosti měřením nasákavosti) a ČSN 73 1326 (stanovení trvanlivosti povrchu betonu při rozmrazování chemickými prostředky). Zmiňují se i jiné nenormované metody, jako měření změny dynamického modulu pružnosti nebo určování deformací (součinitele roztažnosti) [4].

Normové požadavky a zkoušení betonu pro prostředí XF

Jak bylo uvedeno výše, hlavním způsobem zajištění odolnosti betonu v prostředí XF je provzdušnění betonu. V tabulce jsou shrnuty požadavky norem v České republice, v Rakousku a v Německu na beton stupně vlivu prostředí XF2. U nás je situace složitější o to, že jsou odlišné požadavky na beton s plánovanou životností 50 a 100 let (tabulky F.1 a F.2).

Z tabulky je patrné, že ačkoliv všechny předpisy vycházejí z jedné normy, požadavky se vlivem národních úprav dost liší. Normy se i přes drobné odchylky v hodnotách shodnou v požadavcích na minimální vodní součinitel, minimální obsah

cementu a minimální obsah vzduchových pórů. Českou specialitou ovšem je předepisovat, nejen jak má být beton navržen, ale i zkoušení zatvrdlého betonu na maximální průsak a odolnost vůči vodě a CHRL. U životnosti 100 let je ještě vyžadován minimální obsah mikropórů (v souladu s rakouskými požadavky) a maximální součinitel rozložení vzduchových pórů.

Co se týká provzdušnění betonu, je tedy nutné pro životnost 100 let a prostředí XF2-4 zkoušet nejenom celkový obsah vzduchu v čerstvém betonu, ale také jeho kvalitu. Celkový obsah vzduchu v čerstvém betonu se zkouší dle ČSN EN 12350-7 tlakovou metodou na hrnci. Tato metoda je nejjednodušším způsobem ověření obsahu vzduchu během výroby na betonárně i během přejímky na stavbě. Touto zkouškou ovšem nezkontrolujeme kvalitu provzdušnění. Jak bylo zmíněno výše, nejdůležitějším pro odolnost vůči vodě a CHRL je obsah mikropórů A_{300} , tzn. obsah pórů o průměru do 300 μm (A_{300}) a součinitel jejich rozložení (L). Obsah mikropórů a jejich rozložení se měří mikroskopicky na zatvrdlém tělese, na řezné vyleštěné ploše dle normy ČSN EN 480-11. Obsah a velikost pórů se dá měřit také AVA analyzátozem. Tato metoda se používá pro měření na čerstvém betonu. Zjednodušeně princip metody spočívá v mechanickém uvolňování vzduchu z provzdušněného tmele, který se po průchodu kapalinou zachytává pod miskou. Miska je tímto vzduchem nadlehčována, což je zaznamenáváno v čase. Vzduchové póry větší velikosti se uvolní a kapalinou projdou rychleji než póry malé. Na základě toho se zkouška vyhodnotí a dostaneme podobné hodnoty jako při mikroskopické zkoušce [5].

Hodnoty A_{300} a L jsou bezesporu důležité pro vyhodnocení kvality provzdušnění. Například pro

porovnání provzdušňovacích přísad dokážeme předpovědět, který beton bude více a který méně odolný. Tyto hodnoty ovšem nelze brát jako záruku dobré, případně nevyhovující odolnosti. Problémem je, že výsledky (hodnoty) A_{300} a L jsou velmi závislé na konkrétním složení betonu, zejména na množství jemných podílů. Například u samozhutnitelných betonů nebo betonů vyšší pevnosti, které mají vyšší obsah pojiva, bude větší problém dosáhnout požadovaných hodnot. Oproti tomu např. betony s nízkým vývinem hydratačního tepla (nízkým obsahem cementu) splní požadavky na kvalitu provzdušnění bez problémů s velkou rezervou, zdaleka to ovšem neznamená dostačující odolnost. Porovnání výsledků na těchto typech betonů jsou uvedeny v grafech č. 1 a 2.

Podle logiky normy by z grafu č. 1 měla vyplynout jasně závislost vyšší A_{300} = nižší odpad. Toto z grafu zjevně nevyplývá. Jednak tato závislost neplatí, ale zároveň ani nelze stanovit hodnotu A_{300} , pro kterou již budou odpady zaručeně vyhovující. Jak již bylo zmíněno výše, nejde o betony stejného složení. Pokud by se jednalo o stejné betony, různě provzdušněné, závislost by se pravděpodobně projevila. Norma ale neplatí pro stejné složené betony, tudíž by ani neměly být stanoveny konkrétní kvalitativní hodnoty provzdušnění.

Z grafu č. 2 by měla vyjít závislost nižší L = nižší odpad. Tyto závislosti z grafu opět nejsou patrné. Platí tedy stejné závěry jako výše s tím, že by konkrétní hodnota neměla být normou předepsána.

Nejdůležitější zkouškou pro SVP XF je odolnost betonu vůči zmrazování a rozmrazování. Zde jsou normou ČSN EN 206-1/23 předepsány dvě metody – metoda A, která se provádí na krychlich, a metoda C, která se provádí na odřezcích z válců. V obou případech se zkouší odolnost povrchu betonu měřením hmotnosti

Tabulka: Porovnání požadavků na beton pro SVP XF2

Norma/požadavek	ČSN EN 206-1/23 – CZ, F.1	ČSN EN 206-1/23 – CZ, F.2	ÖNORM B 4710-1:2007	DIN EN 206-1/A2
Max. w/c	0,55	0,5	0,5	0,55
Min. pevnostní třída	C25/30	C25/30	–	C25/30
Min. obsah cementu [kg/m ³]	300	300	320	300
Min. obsah vzduchu v ČB [%] pro D_{max} 22 mm	4,0	3,0	2,5	4,0
Max. průsak vody [mm]	50	35	–	–
Odolnost betonu vůči zmrazování a rozmrazování při zkoušce dle ČSN EN 12390-8 – metoda A [g/počet cyklů]	1250/75	1250/100	–	–
Odolnost betonu vůči zmrazování a rozmrazování při zkoušce dle ČSN EN 12390-8 – metoda C [g/počet cyklů]	1500/50	1250/75	–	–
Minimální obsah mikropórů A_{300} [%]	–	1,0	1,0	–
Maximální součinitel rozložení vzduchových pórů L [mm]	–	0,24	–	–



Obr. 4: Trojský most, mostovka z betonu C50/60 XF2



Obr. 5: Dálniční most přes údolí Botiče, mostovka z betonu C30/37 XF2

betonu odpadlého ze zkoušeného povrchu vlivem zmrazování a rozmrazování. Dříve používaná zkouška mrazuvzdornosti betonu, kde se měřila změna mechanických parametrů (pevnosti v tahu za ohybu) vlivem zmrazování a rozmrazování, se dnes běžně nepoužívá.

Nevýhodou zkoušky odolnosti vůči mrazu a rozmrazování metodami A a C je velký vliv výroby a ošetřování tělesa na výsledek zkoušky. Tento vliv je mnohdy větší než samotná kvalita betonu. Zejména vlastnosti zkoušené povrchové vrstvy jsou velmi proměnlivé. Extrémně zde totiž záleží na konzistenci směsi a jí přiměřeně intenzitě vibrování, na uložení čerstvého i zatvrdlého tělesa a hlavně na způsobu úpravy povrchu. Další nevýhodou je, že způsob a intenzita vibrace většinou neodpovídá způsobu a intenzitě vibrace betonu v konstrukci. Dalším problémem těchto zkoušek je jejich vypovídající hodnota ve vztahu ke stylu namáhání konstrukce. Například při zkoušení CB krytů má zkouška jasně vypovídající hodnotu. Zkouší se stejná část tělesa jako konstrukce, tzn. upravený povrch válce a pojižděný povrch vozovky. Oproti tomu u konstrukcí namáhaných stupněm vlivu prostředí XF2 je namáhána svislá plocha, tudíž plocha z bednění která se nezkouší.

Typ zkoušené plochy má vliv nejen na absolutní hodnotu odpadu při zkoušce, ale také na tvar grafu (viz graf 3)

V grafu je vidět srovnání výsledků získaných na tělesech odebraných ze zabetonovaného pokusného bloku a porovnání se standardně provedením zkušebním tělesem (válcem). Tělesa byla odebrána jádrovým vývrtem z upraveného povrchu vzorku a z boku vzorku z bednění. Dále byla zkoušena pro srovnání i řezná plocha vzorku neovlivněná ani bedněním, ani úpravou povrchu. Z výsledků je vidět podobná dynamika porušení vývrtu z povrchu a standardního tělesa. V těchto případech je porušení na počátku zkoušky pozvolnější z důvodu ochrany vzorku povrchovou vrstvou. Ve chvíli kdy dojde k rozpadu tohoto hlazeného povrchu, výrazně se zvýší rychlost rozrušování mrazovými cykly. Oproti tomu má povrch z bednění a řezu na počátku mírně vyšší porušení, ale po 50 cyklech dochází ke zmenšení rychlosti porušování.

Když bychom vyhodnotili tyto výsledky pro beton SVP XF2 (CZ, F.1), kde máme požadavek na odpad při metodě C maximálně 1500 g/m² po 50 cyklech, můžeme uznat všechny výsledky

za vyhovující. Po 50 cyklech bychom tento beton mohli na základě zkoušky na standardním tělese považovat za beton odolný s velikou rezervou. Při porovnání s výsledky zjištěnými na vývrtech z tělesa ale zjistíme, že tato „velmi dobrá odolnost“ je dosažena pouze úpravou povrchu a s vlastní odolností betonu nemá nic společného. Pro SVP XF3–4 dle tabulek F.1 a F.2 už beton dostatečně odolný není ani v jednom případě.

Jednoznačně se tedy ukázalo, že zkoušení betonu pro SVP XF2 (svislé plochy) na vodorovném povrchu vzorku nedává reprezentativní hodnoty pro plochy konstrukce z bednění a bylo by vhodné předepsané zkušební těleso změnit.

Složení betonu pro prostředí XF

Jak bylo uvedeno v předchozí kapitole, základním požadavkem na složení betonu v prostředí s mrazovými cykly (XF) je množství a kvalita vzduchových pórů v pojivovém tmelu. Dále norma ČSN EN 206-1/Z3 stanovuje minimální obsah cementu, maximální vodní součinitel a kvalitativní požadavky na kamenivo. Zároveň norma dává možnost v určitých případech beton neprovzdušňovat, pokud se odolnost zajistí jiným způsobem. Jako příklad se uvádí snížení vodního

součinitele pod 0,4 při současném použití mikrosiliky.

Otázkou je, proč vůbec předepisovat požadavky na složení, když beton musí vždy vyhovět parametrům odolnosti. V grafu 4 je vidět porovnání alternativních způsobů zvýšení odolnosti betonu vůči mrazovým cyklům, včetně výše uvedeného doporučení (mikrosilika + $w/c < 0,4$), s provzdušněným betonem. Jedná se o betony s přibližně stejnou krychelnou pevností okolo 60 MPa po 28 dnech. Konzistence těchto betonů byla na pomězi stupňů S4 a S5. Stejná sada zkoušek byla provedena také na betonech se stejnou pevností, ale s konzistencí S3. V tomto případě byly všechny varianty dostatečně odolné.

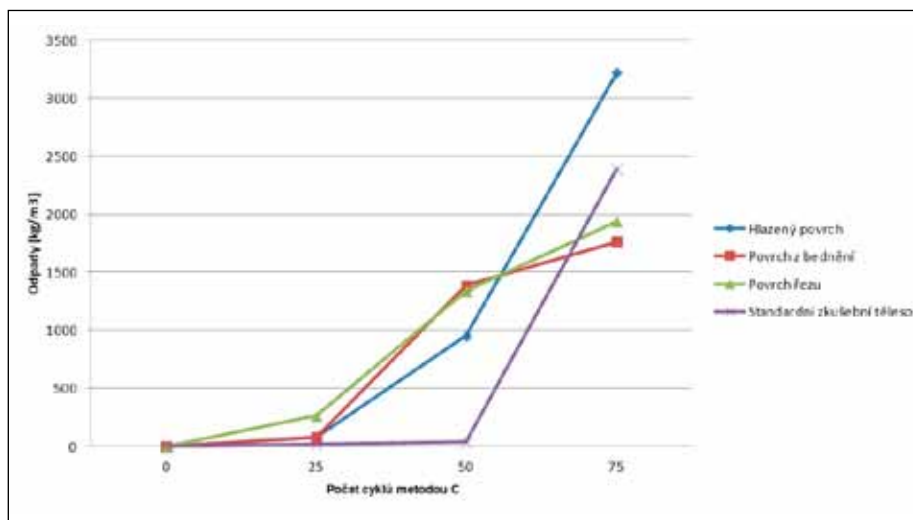
Z grafu je vidět, že zrovna normou doporučená alternativa k provzdušněnému betonu nebyla například pro prostředí XF4 dostatečně odolná, stejně jako referenční receptura, kde měla odolnost zajistit pouze vyšší pevnostní třída a nízký vodní součinitel. Oproti tomu provzdušněná varianta dle předpokladů dopadla dobře, stejně jako verze s alternativně zkoušenou příměsí.

Samostatnou kapitolou je odolnost vysokohodnotných, resp. ultravysokohodnotných betonů. U těchto betonů je již hutnost jejich struktury natolik vysoká, že sama o sobě zajistí odolnost vůči mrazovým cyklům. Odpady se i po výrazném navýšení množství cyklů pohybují do 100 g/m². Samozřejmostí je ověření každé jednotlivé receptury před zahájením výroby.

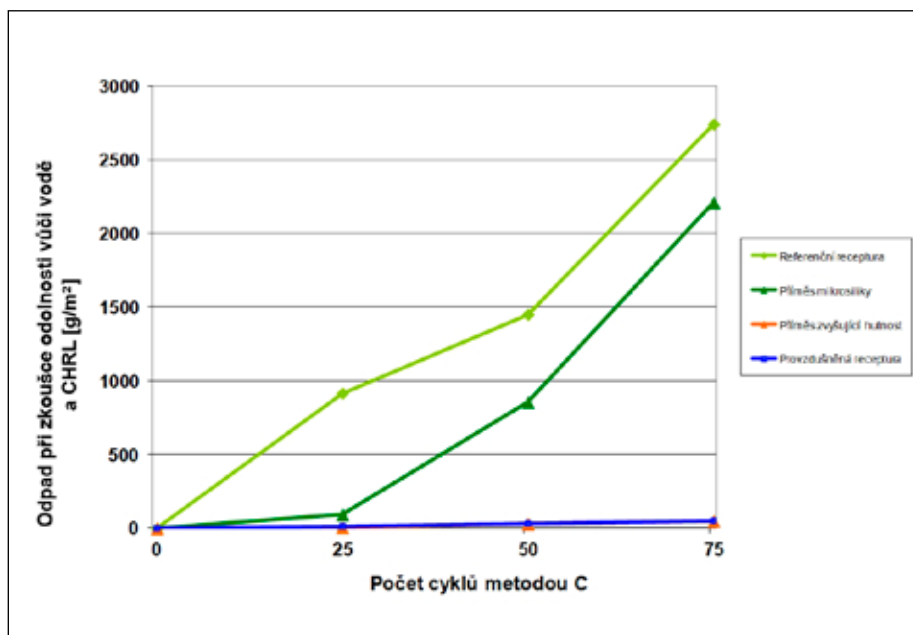
Závěr

Hlavními problémy betonů pro prostředí s mrazovými cykly (XF) jsou zejména způsob jejich zkoušení, resp. výroba zkušebních těles a normové požadavky na betony v tomto prostředí. Výroba těles, stejně jako provedení zkoušky, zásadně ovlivňují výsledek odolnosti betonu. Při výrobě tělesa výsledek nejvíce ovlivňuje úprava povrchu zkušebního tělesa. Dle výše uvedených výsledků (graf 3) povrch z bednění (tzn. prostředí XF2) například nejlépe simuluje řezná plocha tělesa. Pokud bychom brali tuto plochu za reprezentativní, odstraníme vliv úpravy povrchu a ošetřování, stejně jako vliv odbedňovacího prostředku v případě zkoušky např. boku krychle. Vliv plochy kameniva v řezné ploše by se dal vzít v úvahu přenastavením kritéria maximálního dovoleného odpadu betonu. Zkušební postupy mají také řadu problémů, které výsledek zkoušky dokáží ovlivnit. Toto je vidět zejména z výsledků mezilaboratorních porovnávacích zkoušek, které ale nebyly náplní tohoto článku.

Co se týká složení betonu a normových požadavků, je dle mého názoru kontraproduktivní předepisovat normou příliš mnoho poža-



Graf 3: Porovnání vlivu typu povrchu na výsledek zkoušky odolnosti povrchu cementového betonu vůči působení vody a chemických rozmrazovacích látek metodou C



Graf 4: Porovnání způsobů zajišťujících odolnost betonu vůči mrazovým cyklům

davků. Složení betonu a jeho využití je natolik rozmanité, že je důležitější posuzovat pouze finální odolnost betonu, respektive betonové konstrukce. Způsob jejího dosažení by měl být založen na znalosti používaných materiálů a způsobu použití betonu. Jen takto můžeme dosáhnout nejen odolného betonu, ale i odolné konstrukce.

Pozn.: V článku jsou uvedeny některé výsledky z projektu MPO ČR č. FR – T13/531.

ROBERT COUFAL

foto archiv autora

Literatura:

1) Bechyně, Stanislav: Stavitelství betonové – 1, Technologie betonu, svazek první, složky betonu. SNTL, Praha 1954.

- 2) Bechyně, Stanislav: Stavitelství betonové – 1, Technologie betonu, svazek pátý, vodotěsnost a jiné stavební a fyzikální vlastnosti betonu. SNTL, Praha 1961.
- 3) Pavlík, Adolf – Doležel, Jaroslav – Fiedler, Karel: Technologie betonu. SNTL, Praha 1973.
- 4) Jílek, A. – Novák, V.: Betonové stavitelství I. SNTL, Praha 1986.
- 5) Smiřinský, Stanislav: sborník konference Zkoušení a jakost ve stavebnictví, 2006.

Ing. Robert Coufal, Ph.D., (*1980)

absolvoval České vysoké učení technické v Praze, Fakultu stavební. Pracuje jako technolog ve firmě TBG METROSTAV, s. r. o., kde má na starosti výzkum a vývoj nových produktů.