

# ČSN P 73 2404 A NOVÉ ZKUŠEBNÍ METODY STANOVENÍ ODOLNOSTI BETONU PROTI PŮSOBENÍ VNĚJŠÍHO PROSTŘEDÍ

Vladimír Veselý

V souvislosti se zaváděním nových druhů cementů s více než dvěma hlavními složkami a s novou hlavní složkou (recyklovaný stavební materiál) bylo potřebné řešit možnost použití těchto cementů do betonu příslušného stupně vlivu prostředí doplněním předpisů platných v místě použití. Proto byly do revidované ČSN P 73 2404, jež platí od června 2024, zavedeny nové zkušební postupy. Průkazní zkoušky betonu konkrétního složení na konkrétních betonárnách nahradilo prokazování použitelnosti cementu konkrétního původu a složení z konkrétní výroby/cementárny.

Článek je informací pro širší technickou veřejnost v souvislosti s poměrně rozsáhlými změnami v celé normativní základně týkající se betonu a betonových konstrukcí, které nedávno proběhly, v současnosti průběžně probíhají a plánují se ve velmi blízkém časovém horizontu (do roku 2027).

Téměř celá dosavadní historie použití betonu ve stavebnictví je spojována s využitím jeho mechanicko-fyzikálních parametrů, mezi nimiž dosud dominovala jeho pevnost. Za počátek nového přístupu, kdy se významným parametrem stala předpokládaná životnost betonových konstrukcí s ohledem na prostředí, ve kterém se nacházejí, lze považovat vydání dokumentu CEN ENV 206 v roce 1989. Tento dokument byl následně vydán v roce 1992 jako ČSN P ENV 206 BETON – Vlastnosti, výroba, ukládání a kritéria hodnocení [1].

## Odolnost betonu vůči prostředí

Od počátku standardizace betonu na úrovni CEN byl kladen důraz na odolnost betonu v daném prostředí a z toho plynoucí předpokládanou životnost betonu. V první verzi předběžné normy [1] bylo konstatováno, že mají být odpovídající zkušenosti získány mimo jiné i s ohledem na požadavky na trvanlivost betonu. Požadavky na trvanlivost ve vztahu k agresivnímu prostředí byly definovány pomocí maximálního vodního součinitele a minimálního obsahu cementu, kterýžto princip platí do současnosti. V rámci EN jsou hodnoty uváděny jako informativní s tím, že v místě použití betonu mohou být uvedeny hodnoty jiné (zpravidla v národním standardu nebo jiném předpisu). Zároveň je kladen důraz na to, aby kromě obecného průkazu vhodnosti použití konkrétní složky betonu byly k dispozici průkazy pro její použití ve vztahu k odolnosti betonu pro konkrétní stupeň vlivu prostředí. Tento princip byl

přenesen i do platného standardu pro cement ČSN EN 197-1 [2] již v roce 2001. První konkretizace použitelnosti druhů cementu pro obecné použití do betonu s vazbou na konkrétní stupeň vlivu prostředí byla do předpisů platných v místě použití betonu – ČR – zapracována do normy ČSN EN 206-1 [3]. Postupně docházelo k doplňování mezních parametrů platných v místě použití betonu formou resortních předpisů a k jejich přejímání do národní doplňkové normy ČSN P 73 2404 [4].

Ve všech národních standardech pro beton se až do letošního roku uplatňoval princip prokazování použitelnosti cementu pro jednotlivé stupně vlivu prostředí betonu, pokud nebyla použitelnost přiznána automaticky, formou průkazních zkoušek betonu. Pokud šlo o průkaz odolnosti betonu v daném prostředí, používaly se tři základní zkušební postupy pro ztvrdlý beton:

- odolnost proti působení tlakové vody podle ČSN EN 12390-8 [5],
- odolnost proti působení mrazu podle ČSN 73 1322 [6],
- odolnost proti působení mrazu v kombinaci s chemickými rozmrazovacími prostředky podle ČSN 73 1326 [7].

Postupem času se začaly i v tradičním silikátovém stavebnictví, a to jak při výrobě vstupních surovin, tak i v oblasti navrhování staveb a při výrobě betonu, uplatňovat technická a standardizační opatření k eliminaci emisí CO<sub>2</sub>.

V současnosti je ve standardech, nikoli plně na trhu, resp. v normách ČSN EN 197-1, 5 a 6 k dispozici sortiment

šesti hlavních druhů cementu v celkem 38 kombinacích jedné až tří hlavních složek a s možností minimálního obsahu slínku od 95 (CEM I) do 5 (CEM III/C) hmotnostních %.

Určovat obecnou použitelnost jednotlivých druhů cementu včetně kombinací hlavních složek do betonu podle různých stupňů vlivu prostředí je tedy v současnosti, kdy s použitím cementů dle ČSN EN 197-5 a 6 nejsou v ČR žádné zkušenosti (zatím se ani tyto cementy nevyrábějí) a v zahraničí jsou zkušenosti minimální, nemožné bez dodatečných zkoušek a bez použití nově zavedených zkušebních postupů.

## Nový přístup k prokazování obecné použitelnosti jednotlivých druhů cementů dle ČSN P 73 2404

Po vydání norem ČSN EN 197-5 [8] v roce 2021 a ČSN EN 197-6 [9] v roce 2023, které umožňují výrobu nových druhů cementů s více než dvěma hlavními složkami a s novou hlavní složkou (recyklovaný stavební materiál), bylo potřebné řešit možnost použití těchto cementů do betonu příslušného stupně vlivu prostředí doplněním předpisů platných v místě použití.

Jako nejvhodnější forma byla zvolena revize dosud platné ČSN P 73 2404 [4]. Zároveň byla s novými standardy pro cement rozšířena řada zkušebních norem EN 12390 pro zkoušení ztvrdlého betonu, a to i o dvě zkoušky odolnosti betonu proti karbonataci (dle ČSN EN 12390-10 [10] a ČSN EN 12390-12 [12]) a o dvě zkoušky odolnosti betonu pro-

ti difuzi chloridů (dle ČSN EN 12390-1 [11] a ČSN EN 12390-18 [13]).

V rámci revize ČSN P 73 2404 bylo přistoupeno ke změně prokazování možnosti použití druhů cementu pro betony pro konkrétní stupně vlivu prostředí jiným postupem, a to nikoli průkaznými zkouškami betonu konkrétního složení na konkrétních betonárnách, ale prokazováním použitelnosti cementu konkrétního původu a složení z konkrétní výroby/cementárny. Kromě výše uvedených nových zkušebních postupů byly do přílohy N.3 revidované ČSN P 73 2404, definující postupy prokazování shody včetně doporučených zkušebních postupů, zahrnuty i dosud používané standardizované zkušební postupy a jeden postup nestandardizovaný. Jde o zkoušky dle norem [5], [6] a [7] uvedené v předchozí kapitole a dále o:

- zkoušku hloubky karbonatce dle ČSN EN 14630 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy [14],
- měření permeability (propustnosti) povrchu betonu nedestruktivní metodou Torrent permeability [15].

### Stručná charakteristika nově zavedených zkušebních postupů

Pro predikci odolnosti betonu v daném prostředí podle stupňů vlivu prostředí definovaných v ČSN EN 206+A2 je možné použít nově standardizované zkušební postupy.

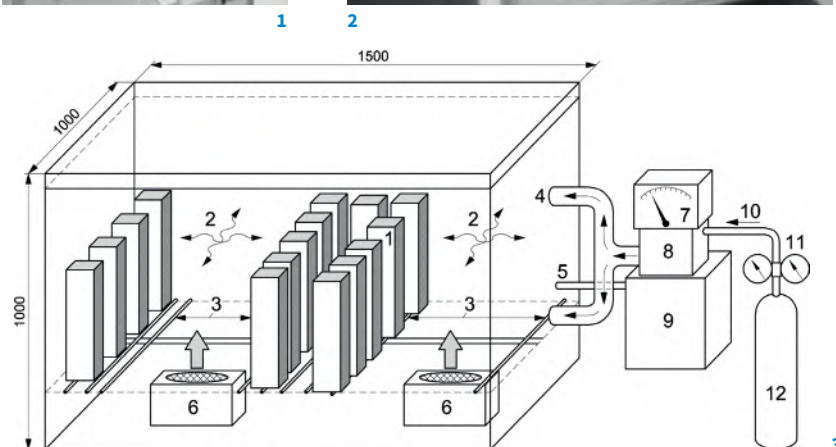
#### Karbonatce – stupně vlivu prostředí XC

Koroze výztuže způsobená karbonatací může mít významný vliv na životnost konstrukce a její použitelnost, proto je důležité stanovit odolnost betonu proti karbonataci, zejména v oblasti krycí vrstvy výztuže.

Pro stanovení odolnosti betonu proti karbonataci, která souvisí se stupněm vlivu prostředí XC1, 2, 3 a 4 podle ČSN EN 206+A2, je možné použít dva nově standardizované postupy: dle ČSN EN 12390-10 a dle ČSN EN 12390-12.

#### ČSN EN 12390-10 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 10: Stanovení odolnosti betonu proti karbonataci při atmosférické koncentraci oxidu uhličitého

Vzorky betonu (dvojice betonových hranolů nebo krychlí) pro zkoušku v daném stáří vyrobené ze stejné dáv-



1 Příklad klimatizační komory 2 Příklad uložení vzorků vystavených působení přirozeného prostředí – Stevensonova meteorologická budka 3 Schéma komory pro uložení vzorků betonu a zkoušku metodou zrychlené karbonatce (1 – vzorky betonu, 2 – turbulентní proudění, 3 – platforma, 4 – přívod CO<sub>2</sub>, 5 – přívod páry, 6 – ventilátor, 7 – regulátor CO<sub>2</sub>, 8 – ovládací skříňka, 9 – odvlhčovač, 10 – přívod plynu, 11 – regulátor, 12 – láhev na plyn CO<sub>2</sub>)

ky betonu se uloží v komoře s řízenou klimatizací (obr. 1) nebo v přirozeném prostředí (obr. 2). Po uplynutí zvolené doby expozice vzorku se pro každou zkoušku v daném stáří odlomí z hranolu přibližně 50 mm široký plátek a provede se zkouška hloubky karbonatce. Pokud se použijí krychle, rozlomí se na polovinu, na jedné z polovin se změří hloubka karbonatce, druhá polovina se znehodnotí.

Hloubka karbonatce se měří na třech místech z každé strany zkušebního hranolu/krychle, to je celkem 12 měření na jednom vzorku a potenciálně 24 měření na dvou vzorcích. Ze všech měření se vypočte střední hodnota hloubky karbonatce. Zbytky hranolů se vrátí do komory s řízenou klimatizací pro zkoušení v dalším daném stáří.

Provedou se minimálně tři sady měření, která se provádějí ve stáří 3, 6 a 12 měsíců. Pokud je naměřená hloubka karbonatce v jednom roce menší než 5 mm, je možno zkoušku prodloužit až na dva roky. Stanoví se rychlost karbonatce vyjádřená jako mm/ $\sqrt{a}$ , přičemž  $a$  je doba expozice v letech.

#### ČSN EN 12390-12 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 12: Stanovení odolnosti betonu proti karbonataci – Metoda zrychlené karbonatce

Z betonu se vyrobí 2 hranoly, 8 krychlí nebo 5 válců a poté se nechají tvrdnout 28 dní v prostředí dle EN 12390-2. Zkušební vzorky se pak ponechají na vzduchu v laboratorním prostředí po dobu 14 dní a poté se uloží do zkušební komory (obr. 3) s koncentrací oxidu uhličitého ( $3,0 \pm 0,5$ ) % objemu v obvyklých podmínkách ( $1\,013$  mbar při  $25\,^{\circ}\text{C}$ ), teplotě ( $20 \pm 2$ )  $^{\circ}\text{C}$ , relativní vlhkosti ( $57 \pm 3$ ) % po dobu až 70 dní.

Bezprostředně poté, co vzorky v komoře uložené dosáhnou požadovaného stáří 7, 28 nebo 70 dní (což dává přibližně stejné rozdíly hodnot  $\sqrt{t}$  dní), se dvě krychle rozlomí na polovinu; jeden váleček se rozlomí na polovinu podél jeho vertikální osy a z každého hranolu se oddělí 50mm plátek a změří se hloubka karbonatce. Na každé polovině válce nebo na každém plátku z hranolu nebo na každé polovině krychle se změří hloubka karbonatce na 12 jed-

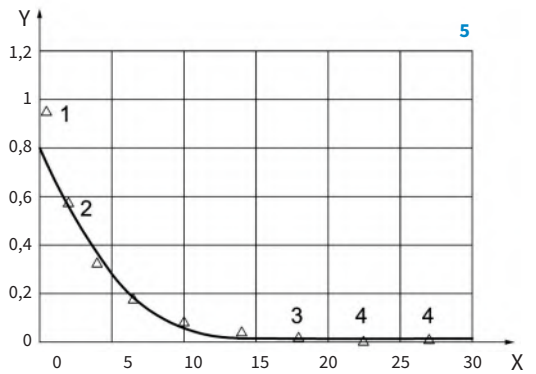
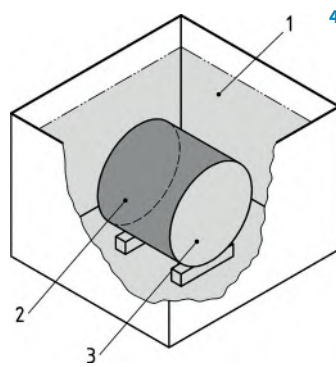
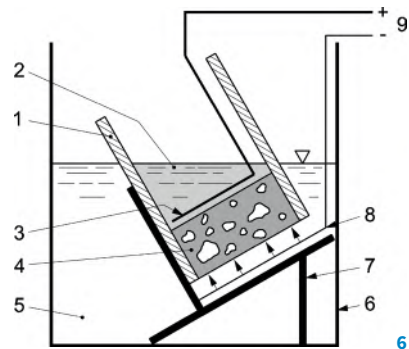
notlivých bodech ( $d_{k,point}$ ) po uplynutí doby vystavení vzorku působení  $CO_2$  a hloubka karbonatace ( $d_k$ ) je vyjádřena jako střední hodnota dvou zkušebních vzorků. Měřeními na vzorcích provedenými ve stanovených časech se stanoví rychlost karbonace KAC vyjádřená v  $mm/\sqrt{dn}$ .

**Difuze chloridů – stupně vlivu prostředí XD, XS**

Možnost koroze výztuže roste se zvyšujícím se množstvím chloridů, které na beton působí. Z tohoto důvodu je důležité měřit pronikání chloridů betonem nebo propustnost betonu vůči chloridům. Pro predikci odolnosti betonu v daném prostředí podle stupňů vlivu prostředí definovaných v ČSN EN 206+A2 je možné použít nově standardizované zkušební postupy dle ČSN EN 12390-11 nebo ČSN EN 12390-18.

**ČSN EN 12390-11 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 11: Stanovení odolnosti betonu proti chloridům, jednosměrná difuze**

Vzorek betonu ve tvaru válce nebo krychle se vyrobí a ošetřuje minimálně po dobu 28 dní podle ČSN EN 12390-2 nebo se odebere z již zhotovené konstrukce.



4 Příklad uložení vzorků v roztoku a utěsnění bočního povrchu (1 – roztok chloridu ne méně než 12,5 m na  $cm^2$  povrchu, 2 – utěsněné povrchy, 3 – exponovaný povrch) 5 Příklad regresní analýzy (Y – obsah chloridu [% hmotnosti], X – hloubka [mm], 1 – první bod je vždy z křivky vyloučen; 2 – první bod použitý pro regresivní analýzu; 3 – „nulový bod“; 4 – body za „nulovým bodem“, které jsou z křivky vyloučeny) 6 Schéma uspořádání migračního testu (1 – gumové pouzdro, 2 – anolyt, 3 – anoda, 4 – zkušební vzorek, 5 – katolyt, 6 – nádrž na katolyt, 7 – podpěra migrační buňky, 8 – katoda, 9 – usměrňovač) 7 Příklad uspořádání měřících bodů pro stanovení hloubky průniku chloridů 8 Schéma měřící buňky přístroje Torrent permeability tester

Vzorek se rozdělí na dva dílčí vzorky:

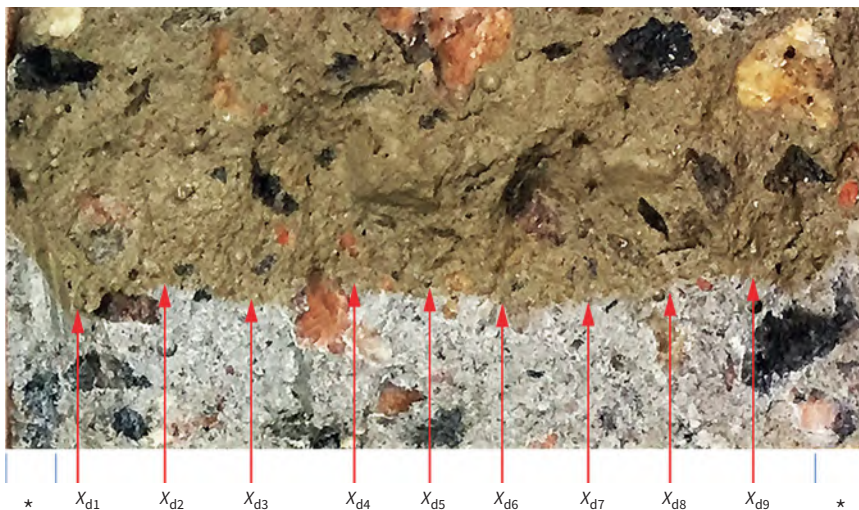
- profilový vzorek, který se používá ke stanovení chloridového profilu po jednosměrné expozici betonu chloridy,
- počáteční chloridový dílčí vzorek, který se používá ke stanovení počáteční hladiny chloridů  $C_i$ . Tato počáteční hodnota je brána jako hladina chloridu pro monolitický beton.

Profilový vzorek je vakuově nasycen destilovanou nebo demineralizovanou vodou, poté je na všech stranách potažen vrstvou vhodného materiálu (epoxidu, polyuretanu, tuhého parafínu nebo podobného materiálu), přitom je třeba zajistit, aby zkoušený povrch zůstal bez nátěrového materiálu. Poté se volný lícový povrch vystaví působení roztoku chloridů (obr. 4). Expozice chloridovým roztokem se provede buď celkovým potopením vzorku volného lícového povrchu, nebo obrácením vzorku a ponořením volného lícového povrchu do

roztoku chloridů. Referenční roztok je 3% hmotnostní roztok chloridu sodného (NaCl) působící po dobu 90 dní (jsou povoleny i jiné koncentrace nebo roztoky, jako je např. umělá mořská voda, stejně jako různé expoziční doby). Použití velkých, zcela ponořených vzorků je popsáno v příloze D.

Po 90 dnech expozice se z povrchu vystaveného působení chloridu odbrousí minimálně osm rovnoběžných vrstev. Stanoví se obsah chloridů rozpustných v kyselinách u každé vrstvy a průměrná hloubka vrstvy od povrchu betonu vystaveného působení chloridů. Počáteční obsah chloridů je stanoven rozemletím druhého dílčího vzorku a stanovením obsahu chloridů rozpustných v kyselině v něm obsažených.

Nelineární regresní analýzou pomocí křivky nejmenších čtverců se stanoví obsah chloridu v exponovaném povrchu  $C_s$  a koeficient nerovnoměrné difuze chloridů  $D_{nss}$  (příklad je v grafu na obr. 5).



**ČSN EN 12390-18 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 18: Stanovení koeficientu migrace chloridů**

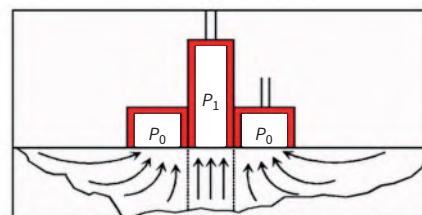
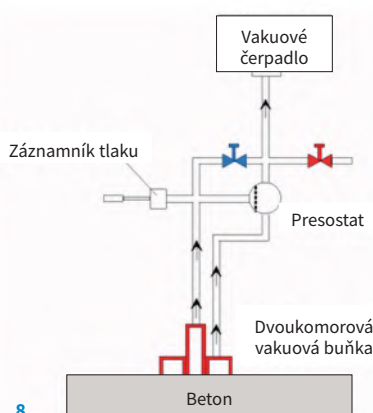
Vzorek betonu nebo malty ve stáří aspoň 28 dní (pokud není stanoveno jinak) se umístí v pryžovém pouzdru do nádoby mezi dva alkalické roztoky: anolyt (např. 0,2 N KOH) neobsahující chloridové ionty a katolyt (např. referenční 5% roztok NaCl – 50 g NaCl na 950 g 0,2 N KOH), který chloridové ionty obsahuje (obr. 6). Na dvě vnější elektrody se přivede elektrické napětí, které způsobí pohyb iontů chloridů, a tím jejich pronikání do vzorku betonu. Po určité době se

Literatura:

- [1] ČSN P ENV 206 BETON. Vlastnosti, výroba, ukládání a kritéria hodnocení. 1989.
- [2] ČSN EN 197-1 Cement – Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití. Praha: ČNI, 2001.
- [3] ČSN EN 206-1 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Praha: ČNI 2001.
- [4] ČSN P 73 2404 Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda – Doplnující informace. Praha: ÚNMZ, 2020.
- [5] ČSN EN 12390-8 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou. Praha: ÚNMZ, 2020.
- [6] ČSN 73 1322 Stanovení mrazuvzdornosti betonu. Praha: UHM, 1969.
- [7] ČSN 73 1326 Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrázovacích látek. Praha: ÚNMZ, 1984.
- [8] ČSN EN 197-5 Cement – Část 5: Portlandský směsný cement CEM II/C-M a Směsný cement CEM VI. Praha: ÚNMZ, 2021.
- [9] ČSN EN 197-6 Cement – Část 6: Cement s recyklovanými stavebními materiály. Praha: ÚNMZ, 2023.
- [10] ČSN EN 12390-10 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 10: Stanovení odolnosti betonu proti karbonatům při atmosférické koncentraci oxidu uhličitého. Praha: ÚNMZ, 2019.
- [11] ČSN EN 12390-11 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 11: Stanovení odolnosti betonu proti chloridům, jednosměrná difuze. Praha: ÚNMZ, 2015.
- [12] ČSN EN 12390-12 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 12: Stanovení odolnosti betonu proti karbonatům – Metoda zrychlené karbonatace. Praha: ÚNMZ, 2020.
- [13] ČSN EN 12390-18 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 18: Stanovení koeficientu migrace chloridů. Praha: ÚNMZ, 2021.
- [14] ČSN EN 14630 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí, zasažených karbonatami v zatvrdlém betonu pomocí fenolfaleinové metody. Praha: ČNI 2008.
- [15] Přístroj na měření permeability TORRENT – návod k používání. Technický a zkušební ústav stavební Praha.

Tab. 1 Časová náročnost zkoušek

		Doba trvání [d]						Celkem [d] (minimum)	
		Výroba těles	uložení	přepřava vzorků	1. měření	2. měření	3. měření		
ČSN EN 12390-10 karbonatace	komora	2	27		92	92	181	394	možno prodloužit o dalších 365 dní
	volné uložení	2	2-4-7					369-371-374	
ČSN E 12390-11 chloridy	uložení v roztoku	2	28	2	90	0	-	122	možnost prodloužovat v 90denních intervalech
ČSN E 12390-12 karbonatace zrychlená	zkušební komora	2	28	14	2	5	63	100	nedá se použít v případě hloubky karbonatace ≤ 4 mm
ČSN E 12390-18 chloridy koeficient migrace	migrační komora	2	28	1	1-7			31-37	
Kvalita vrstvy	Torrent permeability tester	2	28	1	1	volitelné		32- ...	vhodné pro srovnávací zkoušky



vzorek vyjme, opláchne pitnou vodou, osuší a rozlomí. Rozlomené, ještě vlhké plochy se nastříkají roztokem dusičnanu stříbrného (alternativně se připouští ještě roztok dichromanu draselného pro zvýraznění barevného rozhraní). Následně se stanoví hloubka pronikání volných chloridových iontů systémem definovaným v normě (obr. 7).

Koeficient migrace chloridů se vypočítá na základě naměřené hloubky průniku, velikosti aplikovaného napětí a dalších parametrů.

### Měření permeability (propustnosti) povrchu betonu nedestruktivní metodou

Zkouška slouží ke stanovení propustnosti vrstvy betonu. Provádí se prostřednictvím přístroje Torrent permeability tester (obr. 8).

Přístroj pracuje na principu vytvoření vakua 1 000 mbar pomocí vakuové pumpy. Po dosažení této hodnoty se pumpa vypne a sleduje se proud vzduchu procházející betonem do vnitřní komory P<sub>1</sub>. Přístroj změří a vyhodnotí součinitel propustnosti k<sub>T</sub> [× 10<sup>-16</sup> m<sup>2</sup>] hloubkou, do které se podařilo vytvořit

požadovaný podtlak, a velikost tlaku poté, co dojde k jeho vyrovnání mezi vnější P<sub>0</sub> a vnitřní P<sub>1</sub> komorou vakuové buňky. Doba měření je maximálně 12 min.

Vzorky betonu ve tvaru desky o rozměrech 300 × 300 × 50 mm pro tuto zkoušku se vyrábějí v ocelové formě v laboratoři. Postup výroby a ošetřování je stejný jako při výrobě zkušebních těles dle ČSN EN 12390-2.

Tato zkušební metoda není v ČR standardizována, nicméně je např. ve Švýcarsku specifikována normou SN 505 262/1.

Zkušební metodu je výhodné používat pro její jednoduchost a získání údajů v časovém horizontu 1 až 2 měsíce a zejména pro srovnávání permeability povrchových vrstev betonů známého složení, a to betonů s již známou rezistencí v konkrétním stupni vlivu prostředí s betony ještě netestovanými, obsahujícími nové druhy směsných cementů.

### Závěr

Nové zkušební postupy pro stanovení odolnosti betonu proti karbonatům a difuzi chloridů jsou časově poměrně náročné (tab. 1) a v ČR v době vzniku tohoto článku (srpen 2024) nebyly dosud

zavedeny, avšak hodnoty zjištěné při těchto zkouškách mají být zdrojem pro nová ustanovení nové verze standardu pro navrhování betonových konstrukcí EN 1992-1-1 a pro stanovení požadavku na odolnost betonu podle navrhované verze standardu pro beton EN 206-100.

Z tohoto důvodu byly tyto zkoušky zařazeny do revidované ČSN P 73 2404 [4], jež platí od června 2024. Norma byla v rámci revize doplněna o přílohu N.3 Systém prokazování shody použití cementů pro konkrétní stupně vlivu prostředí, kterou navazuje na ustanovení norem pro výrobu cementu ve smyslu přenesení pravomoci určovat obecnou použitelnost konkrétních druhů cementu pro výrobu konkrétních druhů betonu daného stupně vlivu prostředí na místo použití, tedy prakticky na úroveň jednotlivých zemí.

Potřeba zavést nové zkušební postupy, validovat je a začít je v širší míře používat je v současnosti téma vysoce aktuální.



Ing. Vladimír Veselý  
vladimir.boza.vesely@seznam.cz