

# PŮSOBNÍ CHLORIDŮ NA BETON: SOUVISLOSTI, DŮSLEDKY, MODELOVÁNÍ, TESTOVÁNÍ, SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

## ■ CHLORIDE EFFECT ON CONCRETE: CONTEXT, CONSEQUENCES, MODELLING, TESTING AND STATE OF ART

Břetislav Teplý

Navrhování a posuzování betonových konstrukcí je řízeno mezními stavy únosnosti (MSÚ) a použitelnosti (MSP), ve kterých jsou též zahrnuty požadavky na trvanlivost (životnost) a trvalou udržitelnost (k tomuto začíná být přihlíženo teprve v nedávné době, např. [1], [2]). Jedná se přitom o posouzení různých účinků mechanického i environmentálního zatížení; tento příspěvek je zaměřen jen na případy působení chloridů na beton, které je častou příčinou degradace železobetonových či předpjatých konstrukcí, resp. koroze ocelové výztuže. ■ Design and assessment of concrete structures are governed by ultimate limit states (ULS) and serviceability limit states (SLS) incorporating durability (service life) and sustainability issues - this has started to be considered only recently [1], [2]. Different effects of mechanical and environmental load are assessed consequently; this contribution is focused on cases of impact of chlorides on concrete, which is frequently the cause of reinforced or prestressed structures degradation, i.e. steel corrosion.

### DEGRADACE PŮSOBNÍM CHLORIDŮ

Cílem posouzení stávající konstrukce je zjištění jejího současného stavu a odhad jejího budoucího chování – predikce. U nových konstrukcí je cílem návrh materiálů a průkaz jejich trvanlivosti v daném prostředí a s předepsanou údržbou. V souvislosti s přítomností chloridů na betonové konstrukci je tato problematika v odborné literatuře velmi frekventovaná – např. při zadání hesla „chlorides in concrete“ se na internetu v současnosti nabízí několik milionů výsledků! Za jednu z prvních publikací o této tematice je pravděpodobně možno uvést práci Z. P. Bazanta z roku 1978 [3]. Obecně se jedná o velmi široké téma a bývá diskutováno mnoho okolností a souvislostí, ale stále ještě zůstává řada nejistot a otázek; přitom vzhledem k velké šíři problematiky působení chloridů na beton bývá nejčastěji referováno jen o dílčích otázkách. Nahlíženo z obecnějšího pohledu, působení chloridů spadá do otázek navrhování konstrukcí zaměřeného na životnost, jak to bylo velmi výstižně

popsáno např. v [4] a v současnosti je tomu také věnována zvýšená pozornost při hodnocení stavu mostů a rozhodování o jejich dalším „osudu“ – viz aktivity vyvolané mj. kolapsem mostu v italském Janově.

Záměrem předkládaného příspěvku je uvést souhrn současných poznatků, souvislostí a nezodpovězených otázek týkajících se působení chloridů na vyztužený beton, přičemž z velkého množství v nedávném období publikovaných prací v zahraničí i u nás budou uvedeny zejména příspěvky v Betonu TKS, v nichž lze také nalézt řadu odkazů na další relevantní publikace, potřebné vzorce a výsledky řady aplikací, které jsou zde v zájmu stručnosti vynechány.

Postupně jsou uvedeny hlavní souvislosti navrhování a posuzování betonových konstrukcí vystavených působení chloridů. Stručně řečeno, dosáhne-li koncentrace chloridů  $C(x, t)$  v okolí výztuže kritické hodnoty  $C_{cr}$ , dochází k tzv. depasivaci ocelové výztuže, tj. k narušení vrstvičky oxidů železa působící jako ochranná (pasivační) vrstva, zabráňující přímému kontaktu kyslíku, vody i jiných agresivních látek s povrchem výztuže, tedy bránící vzniku koroze. Hovoří se o tzv. iniciační periodě (podrobněji např. [1], [5]).

Obecněji pak, nejenom pouze s ohledem na působení chloridů, lze připomenout např.:

- nutnost rozlišovat, zda se jedná o posuzování stávající, nebo nově navrhované konstrukce, což se liší dostupností, úplností a výstižností údajů o vlastnostech materiálů i konstrukce,
- nutnost uvážit, zda při navrhování či posuzování bude postupováno deterministicky či pravděpodobnostně (to obvykle vyžaduje použití specifických softwarových nástrojů, v případech hodnocení degradace betonových konstrukcí např. FReET-D [6]). To souvisí též s tím, zda se postupuje dle současného trendu pomocí metodiky Performance-based navrhování (PBD) [7], tj. navrhování s ohledem na užité vlastnosti stavebního materiálu/prvku/konstrukce, specifikované v projektu.

K takovým vlastnostem patří kromě základních funkčních vlastností mj. únosnost, spolehlivost (popsána hodnotou pravděpodobnosti poruchy, nebo indexu spolehlivosti  $\beta$ ) a trvanlivost (životnost), dále ekonomická šetrnost, nízká energetická náročnost a další vlastnosti požadované různými předpisy či klientem.

### HODNOCENÍ PŮSOBNÍ CHLORIDŮ A PROGNÓZA ŽIVOTNOSTI

Při hodnocení působení chloridů na betonovou konstrukci je nutno rozlišovat, resp. věnovat pozornost zejména následujícím otázkám.

Betonová konstrukce může být vystavena působení chloridů prostřednictvím:

- posypových rozmrazovacích solí, nejčastěji je to chlorid sodný (NaCl), při velmi nízkých teplotách někdy v kombinaci s podstatně dražším chloridem vápenatým ( $\text{CaCl}_2$ ),
- v mořském, resp. přímořském prostředí se jedná o působení chloridů



1 Ukázka působení aerosolu mořské vody: 200 m od pobřeží, ve směru převládajících větrů, nekvalitní beton bez údržby ■ 1 Example of seawater aerosol effect: 300 m distance from the seashore, in direction of prevailing wind, a low-grade concrete, no maintenance

v mořské vodě (každý kilogram mořské vody obsahuje průměrně 35 g soli, kde asi 85 % tvoří chlorid sodný). Je nutno rozlišovat polohu betonové konstrukce, tj. zda je v mořské vodě trvale ponořená, cyklicky ponořená, nebo vystavená aerosolu s ohledem na vzdálenost od mořského pobřeží (ilustrativní foto na obr. 1).

V obou případech je nutno přihlížet k časové proměnlivosti, v případech působení posypových solí také např. k četnosti a intenzitě posypů, k ročním obdobím, teplotě a četnosti srážek.

Jak bylo uvedeno výše, negativním důsledkem působení chloridů je koroze oceli, kdy se rozlišuje tzv. iniciační stadium (končí depasivací výztuže) a následně propagační stadium, tj. časový úsek, kdy již koroze výztuže probíhá. Tato stadia jsou vyšetřována ve vztahu k mezním stavům použitelnosti a únosnosti, tj. také s ohledem na definici životnosti (často konzervativně chápané jako totožné s iniciačním stadiem) a hodnotu indexu spolehlivosti [6]. Mezní podmínku lze obecně zapsat ve tvaru:

$$P_f(t) = P\{B(t) - A(t) \leq 0\} \leq P_d(t), \quad (1)$$

kde  $A$  je akce vyvolaná působením zatížení či prostředí (např. koncentrace chloridů) a  $B$  bariéra, tj. únosnost nebo odpor konstrukce – mezní hodnota zadaná či stanovená ve vztahu k vyšetřovanému meznímu stavu (v případě hodnocení působení chloridů, tj. stanovení meze iniciačního stadia, jde o kritickou hodnotu  $C_{cr}$ ). Pravděpodobnost  $P_f$  dosažení tohoto stavu se nazývá pravděpodobností poruchy, která se porovnává s mezní návrhovou pravděpodobností  $P_d$ . Z praktických důvodů bývají tyto pravděpodobnosti transformovány na index spolehlivosti  $\beta$  s limitní hodnotou  $\beta_d$ . Veličiny  $A$ ,  $B$  (a tedy i  $P_f$ ) jsou funkcí času a obecně, při posuzování či navrhování konstrukce, je nutno se zabývat chováním betonu i výztuže ve vztahu k času, jak uvádí mj. dokumenty [1] nebo [8]. Je vhodné také uvažovat vlivy současného působení více degradačních efektů (jak je uvedeno dále v tomto textu). Práce s mezními podmínkami typu (1) tedy implikují pravděpodobnostní pojetí, což je současně užitečné vzhledem k častým nejistotám v materiálových, technologických i environmentálních charakteristikách a vede to k používání stochastických modelů.

## MODELOVÁNÍ PROSTUPU CHLORIDŮ

Při posuzování konstrukce je základním úkolem stanovení (resp. prognóza) koncentrace chloridů v úrovni výztuže. To lze získat pomocí modelu nebo laboratorně na vývrtech či vzorcích betonu.

Nejprve bude popsáno modelování. Průnik chloridů betonem je komplexní jev a jeho přesný a výstižný popis je někdy založen na složitých matematických modelech, které vedou k řešení soustav parciálních diferenciálních rovnic a nejsou vhodné pro běžné použití v inženýrské praxi. Proto bývá dávana přednost aplikaci vybraných jednodušších analytických modelů, a to i v pravděpodobnostním pojetí. Tyto modely nejčastěji vycházejí z Fickova 2. zákona a jeho řešení s chybovou funkcí *erf* (dále je označeno jako ERF řešení), kde koncentrace chloridů  $C(x, t)$  [hm. % / cement] v hloubce  $x$  [mm] a čase  $t$  [roky] je vyjádřena pro 1D případy vztahem:

$$C(x, t) = C_s \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{D_c t}} \right) \right], \quad (2)$$

kde  $C_s$  je koncentrace chloridů působících na povrchu betonu [hm. % / cement],  $D_c$  difuzní součinitel průniku chloridů betonem [ $\text{m}^2/\text{s}$ ] a počáteční koncentrace chloridů v betonu je nulová. Vztah (2) platí za předpokladu homogenního materiálu plně nasyceného vodou a pro  $C_s$  a  $D_c$  konstantní v čase. Přesto je toto řešení velmi frekventovaně používáno již po několik dekád díky své jednoduchosti a též díky tomu, že difuze je u průniku chloridových iontů v betonu dominantním jevem. Je ale vhodné přihlídnout k tomu, že při povrchu betonu vystaveného působení chloridů obvykle vzniká vrstvička tloušťky cca 6 až 10 mm nazývaná konvekční zónou, kde difuze není hlavním jevem [1], [9].

Je nutno také připomenout, že celkové množství chloridových iontů  $C_t$  je složeno z iontů vázaných  $C_b$  a iontů volných  $C_f$  (rozpuštěných v pórovém roztoku a ve vodě fyzikálně vázané na stěnách pórů); pouze tyto volné chloridy  $C_f$  se mohou pohybovat v pórovém systému betonu a zkoumaná kritická koncentrace chloridů  $C_{cr}$  by tedy měla být definována pro chloridy volné.

Rychlost koroze výztuže v propagačním stadiu je závislá na různých parametrech, zejména na pórové struktuře betonu a jeho vlhkosti, důležitým parametrem je rovněž obsah hydroxidových iontů, tedy hodnota pH pórového

roztoku. V důsledku karbonatace betonu dochází k poklesu pH a v jeho důsledku k vyšší rychlosti koroze (bližší v [5]). Je nutno poznamenat, že difuze chloridových iontů v betonu je obvykle výrazně rychlejší než postup karbonatace.

Vzhledem k tomu, že  $C_s$  a  $D_c$  jsou ve skutečnosti veličiny závislé na čase, byla vyvinuta řada modifikací vztahu (2), kde je to zohledněno; je to podrobněji popsáno spolu s dalšími souvislostmi např. v již zmíněném článku [9], kde je zahrnuto také srovnání výsledků jednotlivých řešení.

Podrobněji se procesy transportu vody, iontů různého druhu a dalších součástí zabývá práce [10]; je vhodné také zmínit, že rozdíl koncentrace chloridů mezi případy betonu plně nasyceného a částečně vodou nasyceného jsou relativně malé a s postupem času klesají k nule [11].

Působením mechanického zatížení dochází ke změnám pórové struktury betonu vlivem vzniku či změnám systému trhlinek, což nepochybně ovlivňuje v čase probíhající průnik škodlivých substancí – např. chloridových iontů. Postup a míra degradace betonu (a tedy též životnosti a spolehlivosti konstrukce) tak může být důsledkem synergie či kombinace různých účinků mechanických, environmentálních i chemických a v případech koroze výztuže i elektrochemických. V souvislosti s karbonatací betonu a vlivem chloridů je to popsáno pro 1D případy např. v [12] (s využitím dalších pramenů), přičemž se opět uplatňuje ERF řešení a vliv mechanického zatížení se zahrnuje do součinitele závislého na druhu a intenzitě napětí (tahového či tlakového), na šířce i vzdálenosti trhlin v betonu. Taková 1D řešení lze užít i pro případy 2D, resp. 3D; např. v práci [13] (částečně již v [14]) se tato ERF řešení využívají jako jisté vstupní informace pro aplikaci nelineárního 3D MKP modelu s lomově-plastickou funkcí aplikovanou na prvky mostní konstrukce. Případy 2D byly též řešeny v práci [5] i s přihlédnutím k vlivu střídání ročních období při solení vozovek.

## KRITIKA POUŽÍVÁNÍ MODELŮ

Přes svou relativní jednoduchost a časté používání výše zmíněných ERF řešení se otevírá kritická diskuse – viz [15] – s cílem nalézt alternativní, více praktické a robustní metody. Důvodem je vysoká variabilita možných výsledků vyvolaná mnohde značnou nejistotou u hodnot modelových parametrů (např. prostorový rozptyl chloridového působení i transportních vlastností betonu studované

Zdroje:

- [1] *fib bulletin No. 65 and 66; fib Draft Model Code 2010*. Lausanne, Switzerland: International Federation for Structural Concrete (*fib*), 2012.
- [2] VYMAZAL, T., TEPLÝ, B., ROVNANÍKOVÁ P. Metodika hodnocení trvalé udržitelnosti betonu. *Beton TKS*. 2018, roč. 18 č. 2, s. 58–63.
- [3] BAŽANT, Z. P. Physical model for steel corrosion in concrete sea structures application. *Journal of the Engineering Mechanics Division ASCE*. 1978, Vol. 105, p. 933–952.
- [4] HELLAND, S. Navrhování zaměřené na životnost: implementace zásad zahrnutých v Model Code 2010 do provozní normy. *Beton TKS*. 2013, roč. 13 č. 6, s. 3–10.
- [5] VOŘECHOVSKÁ, D., PODROUŽEK, J., CHROMÁ, M., ROVNANÍKOVÁ, P., TEPLÝ, B. Modeling of Chloride Concentration Effect on Reinforcement Corrosion. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 24. 2009, p. 446–458.
- [6] TEPLÝ, B., NOVÁK, D. Predikce degradace betonových konstrukcí výpočtním modelováním. *Beton TKS*. 2014, roč. 14 č. 2, s. 58–61.
- [7] TEPLÝ, B., ŠTEVULA, M., ROVNANÍKOVÁ, P. Nové trendy při navrhování a posuzování betonových konstrukcí ve vztahu k připravovaným změnám v EN 206 a *fib* Model Code. *Beton TKS*. 2017, roč. 17 č. 3, s. 49–53.
- [8] ISO 16204:2012. *Durability – Service life design of concrete structures*.
- [9] TEPLÝ, B., VOŘECHOVSKÁ, D., KONEČNÝ, P., ŠOMODÍKOVÁ, M. Otázky modelování průniku chloridů betonem. *Beton TKS*. 2017, roč. 17 č. 2, s. 9–13.
- [10] ČERNÝ, R., ROVNANÍKOVÁ, P. *Transport Processes in Concrete*. London: Spon Press, 2002. 547 s.
- [11] ABABNEH, A., BENBOUDJEMA, F., XI, Y. Chloride Penetration in Nonsaturated Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*. DOI 10.1061/(ASCE)0899-1561(2003)15:2(183).
- [12] TEPLÝ, B., VOŘECHOVSKÁ, D., ŠOMODÍKOVÁ, M., LEHKÝ, D. Modelování životnosti a spolehlivosti betonových konstrukcí při kombinaci mechanického a environmentálního zatížení. *Beton TKS*. 2016, roč. 16 č. 2, s. 26–28.
- [13] HÁJKOVÁ K., ŠMILAUER V., JENDELE, L., ČERVENKA, J. Prediction of reinforcement corrosion due to chloride ingress and its effects on serviceability. *Engineering Structures*. 2018, Vol. 174, p. 768–777.
- [14] HÁJKOVÁ, K., ŠMILAUER, V., JENDELE, L., ČERVENKA, J. Modelování koroze výztuže vlivem chloridů v železobetonových konstrukcích. In: *Sborník 23. Betonářské dny 2016*.
- [15] GULIKERS, J. W., GROENEWEG, T. W. Residual Service Life of Existing Concrete Structures – Is it Useful in Practice? In: HORDIJK, D. A., LUKOVIĆ, M. (eds.) *High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet*. Springer International Publishing AG, 2018. DOI 10.1007/978-3-319-59471-2\_211
- [16] NIELSEN, C. W. Service Life Modelling for Chloride Ingress in Reinforced Concrete. In: HORDIJK, D. A., LUKOVIĆ, M. (eds.) *High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet*. Springer International Publishing AG, 2018. DOI 10.1007/978-3-319-59471-2\_255
- [17] TORRENT, R. The Reference Approach to Service Life Design. In: HORDIJK, D. A., LUKOVIĆ, M. (eds.) *High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet*. Springer International Publishing AG, 2018. DOI 10.1007/978-3-319-59471-2\_254.
- [18] ROVNANÍKOVÁ, P., TEPLÝ, B. Stanovení povrchové koncentrace chloridů spojením laboratorních zkoušek a analytického modelu. *Beton TKS*. 2010, roč. 10 č. 4, s. 75–77.
- [19] LEHNER, P., GHOSH, P., KONEČNÝ, P. Statistical analysis of time dependent variation of diffusion coefficient for various binary and ternary based concrete mixtures. *Construction and Building Materials*. 2018, Vol. 183, p. 75–87.
- [20] KOCÁB, D., MISÁK, P., VYMAZAL, T., KOMÁRKOVÁ, T., HALAMOVÁ, R. Stanovení odolnosti povrchu betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek – metody, praxe, problémy. *Beton TKS*. 2017, roč. 17 č. 2, s. 42–47.
- [21] POLDER, R. B., BOUTZ, M. M. R., OTTELÉ, M. A Proposal for Determining the Remaining Time to Chloride Induced Corrosion Initiation of Existing Reinforced Concrete Structures. In: HORDIJK, D. A., LUKOVIĆ, M. (eds.) *High Tech Concrete: Where Technology and Engineering Meet*. Springer International Publishing AG, 2018. DOI 10.1007/978-3-319-59471-2\_237
- [22] ŠOMODÍKOVÁ, M., STRAUSS, A., ZAMBON, I., TEPLÝ, B. Quantification of parameters for modelling of chloride ion ingress into concrete. *Structural Concrete* (in print, Wiley), 2018.
- [23] JWG Durability: Durability, Exposure Resistance Classes, a new system to specify durability. In: *EN 206 and EN 1992*. Report JWG 250/104 – N25, 2014.

konstrukce) a další otázky, např.: Který chloridový profil z těch několika provedených reprezentuje nejlépe danou konstrukci? Co bude považováno za dosažení iniciačního stadia (tj. konec životnosti): v jednom vývrtnu, či ve více bodech, resp. v jistém procentu / rozsahu konstrukce? Jaká pravděpodobnost či hodnota indexu spolehlivosti je přitom limitní? Mají být stejně posuzovány různé části konstrukce, jejichž degradace vede k odlišným důsledkům ovlivňujícím únosnost? Do jaké míry se přitom má brát ohled na ekonomické důsledky?

Je zřejmé, že je nutno hledat odpovědi na tyto i případně další otázky a včlenit je do předpisů. Nepochybně se to uplatní při zavádění tzv. Performance-based postupů v souvislosti

s očekávanou revizí Eurokódu 2 a dalších dokumentů ([7], [16]).

V těchto souvislostech je zajímavý též příspěvek [17], který kromě kritického hodnocení používání modelů uvádí jednoduchou, robustní metodu opřenu o ERF model dle rovnice (2) a o hodnoty  $w/c$  a minimálního krytí předepsané normou EN 206-1 pro expoziční třídy. Autor ale připouští, že metodu je nutno ještě podrobněji verifikovat.

Je též zřejmé, že nezastupitelné místo přitom bude dále patřit zkušenostem inženýra, odborné vizuální inspekci, doplněné příp. o dlouhodobý monitoring.

#### EXPERIMENTÁLNÍ METODY

Při posuzování působení chloridů na betonové konstrukce je obvykle nutno

znát tzv. chloridový profil, tj. koncentraci chloridů měnící se od povrchu s hloubkou, jež je závislá také na čase [18], [9]. To lze stanovit např. z vývrtnu, když se provede chemická analýza betonového prášku odebraného během postupného odvtávání nebo broušení z jednotlivých vrstviček betonového vzorku. Množství chloridů v betonovém prášku je možné určit např. potenciometrickou titrací (viz ČSN EN 14629), což potom slouží jako vstup pro výpočet difuzního součinitele pomocí vztahu (2) a metody nejmenších čtverců. Kromě difuzního součinitele  $D_c$  je hledaným parametrem i koncentrace chloridů  $C_s$  v povrchu, která může být zjištěna proložením hodnot naměřených z chloridového profilu vhodnou

křivkou (pokud neuvažujeme konvekční zónu).

Novější možnosti výpočtu difuzního součinitele spočívají ve využití efektivnějších testů zrychlené penetrace chloridů a elektrického odporu betonu [9], [19].

Je vhodné též uvést, že v aktuální literatuře (zejména zahraniční) se často upozorňuje na nutnost dalších, podrobnějších experimentálních zkoumání některých faktorů pro ERF řešení, zejména  $C_{cr}$  a faktoru času pro stanovení difuzního koeficientu.

Také výsledky experimentálních metod se ale nevyhýbají nejistotám – rozdílnost výsledků získaných na různých pracovištích či při opakování pokusů může být značná, např. [20], a také většina otázek zmíněných v předchozím odstavci není experimentálními metodami řešena.

#### KOMBINACE MODELŮ A TESTŮ; DALŠÍ METODY

S ohledem na očekávané nejistoty, ale i výše zmíněné výhody i nevýhody používání modelů a experimentálních metod je zřejmé, že užitečná může být jejich kombinace spojená s pravděpodobnostními metodami. Jako příklad lze jmenovat práci [21], jejíž jednotlivé kroky postupu navrženého pro posouzení existující konstrukce jsou zde stručně popsány:

- nejprve se provede identifikace kritických částí konstrukce, tj. částí důležitých vzhledem k nosné funkci nebo míst, kde lze očekávat zvýšené riziko koroze. Tato místa se pak podrobí vizuální inspekci zejména se zřetelem na trhliny, příznaky koroze a další poškození. S přihlédnutím k tomu se zvolí minimálně šest míst, která budou podrobně testována (TA – test areas),
- pro každou TA se minimálně u dvanácti prutů vnější výztuže zjistí tloušťky krytí  $c$  a vypočte se jejich průměrná hodnota  $c_m$ ,
- v každé TA se provede vývrt (minimální průměr 50 mm a hloubka minimálně 60 mm) a odtud se pak

v laboratoři stanoví chloridový profil (pro řezu po 10 mm) odpovídající času inspekce  $t_{insp}$ ,

- určí se hloubka karbonatce (alespoň pomocí fenoltaleinové zkoušky),
- určí se typ cementu,
- s využitím takto stanoveného chloridového profilu a s pomocí vztahu (2) a metody nejmenších čtverců se získá difuzní profil, tj. stanoví se odpovídající koncentrace chloridů  $C_S$  u povrchu a difuzní součinitel  $D_C$ ,
- s těmito veličinami jako vstupními a při opětovném využití (2) provedeme pro každou TA prognózu vývoje koncentrace chloridů v časech  $t > t_{insp}$ . Čas  $t_R$ , kdy je dosaženo  $C = C_{cr}$  je pak hledanou životností, konzervativně definovanou jako iniciační čas, kdy by mohla výztuž započít korodovat. Přitom se zjednodušeně uvažují nejistoty tak, že krytí se do výpočtu zahrne hodnotou  $c_m = 5$  mm, což odpovídá pravděpodobnosti poruchy cca 30 %,
- těchto šest hodnot životností  $t_R$  je rozděleno do tří intervalů:  
 $t_R < 5$  let,  
 $t_R = 5$  až 15 let,  
 $t_R > 15$  let.

Interval, který zahrnuje nejméně tři volby je pak považován za výsledný. V případě, kdy každý interval má dvě položky, se za výsledek považuje  $t_R \leq 5$  let.

Podobný postup, ale bez třídění do intervalů, byl aplikován i v [18].

V nedávné práci [22] jsou podrobně popsány principy hodnocení betonových konstrukcí v souvislosti s difuzí chloridů z rozmrazovacích látek a systematicky jsou rozříděny do několika úrovní vzhledem k využití inspekcí, modelů a experimentálních metod. Je připojena komplexní studie degradace železničního betonového mostu přecházejícího nad vozovkou, kde bývají v zimním období aplikovány rozmrazovací látky.

Slibnou se jeví práce mezinárodní komisi - návrh tzv. tříd odolnosti (resistance classes) pro danou expozici, které

by doplnily limitní hodnoty pro krytí výztuže vztážené k expozičním třídám, a to ve třech úrovních odolnosti (nízká, střední a vysoká). Třída odolnosti je tam definována pomocí charakteristické odolnosti materiálu při standardizovaném působení prostředí, tj. expoziční třídy, pro jistou nominální životnost, např. 50 let. Navrhování na životnost je potom obdobné navrhování na únosnost, kde se prokazuje potřebná pevnostní třída betonu, a postup má již charakter performance-based navrhování, i když jen „skokově“, tj. v rámci tříd odolnosti a s danou hladinou spolehlivosti (navrhuje se maximální pravděpodobnost 10 % překročení mezní hodnoty  $C$ ). Je nutno ale upozornit, že se nejedná o „úplné“ hodnocení pravděpodobnosti poruchy ve smyslu podmínky (1), jde jen o oddělené hodnocení akce  $A$ , zatímco odolnost  $B$  (v tomto případě je to tloušťka krytí výztuže) je pouze deterministická hodnota. Nevýhodou tohoto postupu je mj. to, že není umožněno uvažovat důsledky současného působení více degradačních procesů. Více o této tematicce v [7] (podrobně v původním zdroji [23]).

#### STRUČNĚ SHRNUJÍ

Navrhování a posuzování betonových konstrukcí při působení chloridů, které jsou příčinou degradace, resp. koroze ocelové výztuže, je náročná, komplexní problematika a její dostatečně robustní i pro praxi schůdné řešení není v betonářské praxi či předpisech doposud k dispozici.

Tato práce vznikla za podpory prostředků grantu GAČR 18-079495.

prof. Ing. Břetislav Teplý, CSc.  
 Fakulta stavební VUT v Brně  
 Ústav stavební mechaniky  
 teplý.b@fce.vutbr.cz



Článek byl posouzen odborným lektorem.  
 The article was reviewed.



June 04 - 06, 2019

To be held in the conference place of  
 Hotel Galant Lednice, Czech Republic

Vážení přátelé,

rádi bychom Vás informovali o konání

**XXII. ročníku mezinárodní konference**

Výzkumného ústavu stavebních hmot, a.s.

Bližší informace na

[www.icbmpt.com](http://www.icbmpt.com)

nebo

[www.vustah.cz](http://www.vustah.cz)

**VUSTAH**