

Koroze betonu účinkem agresivních vod

Concrete Corrosion Caused by Aggressive Water

Antonín Špaček

Agresivita vody je určena zejména koncentrací všech agresivních složek, trváním účinku, teplotou a tlakem vody, jakož i charakterem styku agresivního média s povrchem betonu. Vlastní odolnost betonu je nejvíce ovlivňována výběrem složek betonové směsi, způsobem její výroby a ukládání, strukturálními vlastnostmi betonu a jeho tloušťkou. Jen vyváženým zohledněním všech rozhodujících činitelů koroze betonu je možné stanovit stupeň agresivity vody a navrhnout protikorozi ochranu konstrukce.

Aggressiveness of water is determined particularly by concentration of all aggressive components, duration of the attack, water temperature and its pressure, and by mutual contact of the aggressive medium with the concrete surface, as well. Concrete resistance itself is mainly influenced by the choice of components for concrete mixture, the procedure of its manufacture and placing, and by its thickness. It is possible to determine the degree of water aggressiveness and to propose anticorrosive protection only after serious consideration of all significant factors of corrosion.

Rychlost koroze betonu účinkem agresivní vody závisí od různých činitelů, jež obvykle rozdělujeme do dvou skupin. Do první skupiny řadíme činitele, které vymezují agresivitu vody a do druhé potom činitele, spojené s odolností vlastního betonu.

K činitelům agresivity vody začleňujeme zejména koncentraci všech agresivních složek ve vodě, trvání účinku vody, její teplotu a tlak, spolupůsobení klimatických vlivů, účinky používané technologie a charakter styku vody s povrchem betonu.

Odolnost vlastního betonu závisí především od výběru složek betonové směsi, na způsobu její výroby a ukládání a od strukturálních vlastností betonu. Významný je v této spojitosti druh cementu, přísad a příměsí, a v některých případech i druh kameniva. Z technologických činitelů je protikorozi odolnost nejvíce ovlivňována vodním součinitelem. U strukturálních činitelů se ve vztahu k odolnosti zdůrazňuje vodotěsnost, nasáka-

vost a pórovitost. Minimální tloušťka je potom nejzávažnější charakteristikou betonové konstrukce jako celku.

Sekundární ochranu betonové konstrukce obvykle neřadíme k činitelům její vlastní protikorozi odolnosti [1].

Činitelé agresivity vody

Podklady k posouzení a klasifikaci agresivity vody by měly poskytnout výsledky hydrogeologického průzkumu, případně měly by být doplněny v technické zprávě projektu.

První představu o agresivních účincích vody na beton získáme porovnáním údajů o koncentraci jednotlivých složek se základními ukazateli agresivity podle platné ČSN 73 1215 [2]. V této normě je 7 nejčastěji se vyskytujících druhů vod z hlediska obsahu agresivní složky rozděleno do tří stupňů, označovaných jako prostředí:

- slabě agresivní (la),
- středně agresivní (ma),
- silně agresivní (ha).

Toto rozdělení agresivity do tří stupňů má význam nejen pro vytvoření základní představy o intenzitě náporu vody, ale – jak bude vysvětleno dále – i pro navrhování protikorozi ochrany.

V tab. 1, v její levé části, je uvedena klasifikace náporu vody na beton z hlediska obsahu agresivních složek podle ČSN 73 1215. V pravé části je tabulka doplněna o klasifikaci podle prEN 206 [3], o níž se předpokládá, že bude v ČR platit po jejím schválení. Z tab. 1 je vidět, že rovněž klasifikace podle prEN 206 zachovává členění na tři stupně agresivity, označované XA1, XA2 a XA3. Z porovnání přípustného obsahu agresivních složek pro jednotlivé stupně vyplývá, že pro uhlíčitou a síranovou agresivitu připouští prEN 206 v porovnání s ČSN 73 1215 vyšší koncentrace. Kyselá, hořečnatá a amonná agresivita se podle prEN 206 naopak hodnotí přísněji.

V ČSN 73 1215 se vymezuje, za jakých podmínek klasifikace platí. Je to pro teplotu vody od 0 do 50 °C, jednostranný tlak do 10 m vodního sloupce a konstrukce, jež jsou osazeny v zeminách se součinitelem filtrace (propustností) větší než 0,1 m za den. Pro organické látky se vyžaduje individuální posouzení. Už z těchto hrubě vymezených podmínek působení vody pro klasifikaci je zřejmé, že pokud se budou podmínky sku-

Tab. 1 – Porovnání stupňů agresivity vody na beton podle ČSN 73 1215 a prEN 206 / Comparison of the degrees of water aggressiveness according to ČSN 73 1215 and prEN 206

Druh agresivity	Jednotky	ČSN 73 1215 - stupeň agresivity			prEN 206 - stupeň agresivity		
		slabě agresivní (la)	středně agresivní (ma)	silně agresivní (ha)	XA1	XA2	XA3
vyluhující	mmol.l ⁻¹	méně než 0,53			nehodnotí	nehodnotí	nehodnotí
kyselá	hodnota pH	5,0 - 6,5	4,0 - 5,0	< 4	5,5 - 6,5	4,5 - 5,5	4,0 - 4,5
uhlíčitá	mg.l ⁻¹ agresivního CO ₂	4,0 - 15,0	15,0 - 30,0	> 30	15 - 40	40 - 100	> 100
hořečnatá	mg.l ⁻¹ Mg ²⁺	1 000 - 2 000	> 2 000		300 - 1 000	1 000 - 3 000	> 3 000
amonná	mg.l ⁻¹ NH ₄ ⁺	100 - 500	> 500		15 - 30	30 - 60	60 - 100
síranová	mg.l ⁻¹ SO ₄ ²⁻	250 - 500	500 - 1 000	> 1 000	200 - 600	600 - 3 000	3 000 - 6 000
odpařování solí z povrchu betonu	g.l ⁻¹	10 - 20	20 - 50	> 50	nehodnotí	nehodnotí	nehodnotí

tečného náporu odlišovat od normových, může se změnit i stupeň agresivity vody. Všimněme si dále, v jakém směru a do jaké míry mohou reálné poměry náporu vody na konstrukci měnit stupeň agresivity.

Při současném působení několika agresivních složek se postupuje obvykle tak, že se nejprve klasifikuje agresivita každé složky zvlášť. Je-li stupeň agresivity jednotlivých složek rozdílný, potom kumulativní agresivita všech složek se určí podle agresivity té složky, jejíž stupeň agresivity je nejvyšší. Když je agresivita dvou nebo více složek stejná, výsledný stupeň se o jeden zvyšuje.

Jako koroze každého materiálu, tak je i koroze betonu otázkou především času. Je proto žádoucí při zvažování činitelů agresivity vody brát do úvahy plánovanou životnost konstrukce. U staveb s relativně dlouhou životností (80 až 100 let) by se měl proto stupeň náporu, stanovený na základě koncentrace, přiměřeně zvýšit. Stavbami s dlouhou životností jsou například kolejové dráhy, štoly, hráze, přehrady, tunely, plavební kanály a podobné konstrukce.

Pokud teplota vody překračuje 50 °C, doporučuje se zvýšení stupně agresivity o jeden stupeň, s výjimkou koroze vyluhováním. Rychlost vyluhující koroze, tj. koroze nápořem měkkých vod, zvyšováním teploty klesá. Při působení kyselin je účelné prověřit vliv teploty s ohledem na druh kyseliny.

U konstrukcí vystavených vlivu povětrnosti je nutné brát v úvahu spolupůsobení klimatických činitelů. Vliv tohoto faktoru se posuzuje zařazením stavby do klimatického pásma podle počtu střídání tepla a mrazu, případně podle počtu tzv. ledových dní v průběhu jednoho roku. Údaje o těchto vlivech poskytují ČSN 73 1209 [4]. Účinek klimatických činitelů třeba zohledňovat především u otevřených vodních nádrží, čistíren odpadních vod a hydromelioračních staveb. Střídavému účinku tepla a mrazu čelíme zajištěním betonu na mrazuvzdornost. Technologicky neúčinnější je provzdušnění betonu.

Zesílenému náporu je beton vystaven tehdy, když vedle chemického působení se uplatňují i mechanické účinky. Příkladem může být účinek unášenými splaveninami v říčním korytu nebo kanálech. V zemědělství jsou to manipulační plochy pro krmiwa, např. silážní žlaby, kde působením mechanismů a vozidel dochází k obrusu a oteru. Pro zajištění odolnosti betonu proti účinku oteru, otluku, obrusu a náporu unášenými hmotami se předepisuje použití houževnatého betonu.

Rychlost koroze závisí od množství vody, která přijde do styku s objemovou jednotkou betonu za vymezený časový úsek, tlaku vody a na tom, je-li styk vody trvalý nebo občasný. Při občasném styku s vodou nebo styku přes málo propustnou jílovou zeminu s propustností menší než $10^{-5} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ je možné stupeň agresivity o jeden snížit. Naopak, bude-li konstrukce vystavena působení značného množství vody v toku nebo ve velmi propustné hornině s rychlostí vyšší než 10 m za den, stupeň agresivity je potřebné zvýšit. Zvýšení o jeden stupeň se doporučuje rovněž při jednostranném tlaku vody nad 10 m vodního sloupce.

Podle povahy působení mohou být při klasifikaci náporu vody na beton významné další vlivy. Z těchto uvádím časté kolísání hladiny u otevřených vodních nádrží a vliv plísň a mikroorganismů [5].

Činitelé odolnosti betonu

Podobně jako v případě určení podmínek pro klasifikaci činitelů agresivity vody, ČSN 73 1215 vymezuje i kvalitativní parametry betonu. Je vysloveně uvedeno, že stupně agresivity pro síranové vody jsou stanoveny pro betony připravené z portlandského cementu. Dávka cementu je stanovena na 300 kg na 1 m³ betonu. Beton musí být nepropustný při tlaku vody 0,4 MPa, pu-

sobící 24 hodin při tloušťce betonu 150 mm. Když se tedy použije na přípravu betonu vystavenému účinku síranových vod např. síranovzdorný cement, je možné připustit – za jinak stejných podmínek – vyšší koncentraci síranů, než pro portlandský cement. Uvedu dále, jak mohou změny nejdůležitějších faktorů materiálových, technologických a strukturálních ovlivňovat klasifikaci náporu.

Nejvýraznější ovlivnění odolnosti betonu volbou druhu cementu se projevuje u III. druhu koroze klasifikace podle Moskvina, kdy v pórech a kapilárách probíhá tvorba málorozpustných objemných krystalických solí. Na zpomalení koroze tohoto druhu, např. síranové nebo chloridové, se používají tzv. síranovzdorné cementy s obsahem C₃A (trikalciualuminátu) menším než u běžných portlandských cementů. Za cement se zvýšenou síranovzdorností se považuje už tzv. silniční cement s obsahem C₃A ve slínku do 8 % hmotnostních a zvláště pak síranovzdorný portlandský cement s obsahem C₃A do 3,5 % hmotnostních. Při použití síranovzdorného cementu vyráběného v ČR je vzrůst síranovzdornosti tak značný, že nechráněný beton – při porovnání s portlandským cementem – je schopný odolávat až řádově vyšší koncentraci síranů. Z toho vyplývá zmírnění intenzity náporu ve smyslu ČSN 73 1215 až o dvě jednotky, to značí ze stupně „silně agresivní (ha)“ na stupeň „slabě agresivní (la)“.

Méně výrazný vliv na zpomalení procesů koroze III. druhu mají cementy obsahující mletou vysokopecní strusku a puzolánové příměsi vůbec. V závislosti na druhu, dávce a jemnosti příměsí – při dodržení základních kvalitativních parametrů betonu – dovolují intenzitu náporu klasifikovat přibližně o jednotku níže.

U koroze II. druhu (výměnou iontů) a I. druhu (rozpuštěním) je vliv druhu cementu na odolnost relativně malý a neumožňuje snížení stupně agresivity. Vyšší odolností se vyznačují struskové portlandské cementy a hlavně cementy puzolánové.

Další možností jak dosáhnout pokles stupně náporu představují protikorozní přísady a příměsi. Procesy koroze III. druhu se dají účinně zpomalit provzdušněním betonové směsi a dávkováním puzolánových příměsí, přičemž intenzita náporu klesne přibližně o jeden stupeň. Železné příměsi podle druhu, dávky a jemnosti retardují uhlíčitou a kyselou korozi tak intenzivně, že stupeň klasifikovaný původně jako „silně agresivní (ha)“ může poklesnout na stupeň „slabě agresivní (la)“, tedy až o dva stupně níže. Plastifikační přísady zvyšují protikorozní odolnost betonu jen tehdy, pokud se jejich účinek využije na snížení hodnoty vodního součinitele.

Zvyšováním dávky cementu nad 300 kg na 1 m³ betonu odolnost vzrůstá. Toto zvýšení není však tak výrazné, aby umožňovalo pokles stupně agresivity. Dávky cementů pro styk s agresivním prostředím podle ČSN 73 1216 [6] se pohybují v rozmezí od 300 do 450 kg na 1 m³ betonu, podle prEN 206 jen 300 – 360 kg. Snížení dávky cementu podle evropských norem je možné jen za předpokladu přísnějších opatření při výběru složek betonové směsi, návrhu složení betonu, jakož i dodržováním požadovaných vlastností betonu.

Vysoký vodní součinitel má nepříznivý vliv na odolnost betonu a proto se v normách jeho velikost striktně ohraničuje. Pro nejnižší stupeň agresivity, tedy pro prostředí „slabě agresivní (la)“, je přípustný nejvyšší $v/c = 0,55$, pro „středně agresivní (ma)“ maximální $v/c = 0,50$ a pro nejvyšší stupeň agresivity, prostředí „silně agresivní (ha)“, nejvyšší $v/c = 0,45$ [3]. Redukci vodního součinitele lze dosáhnout dávkováním účinných plastifikátorů a zhutňováním betonové směsi vibrátory. Při výrobě betonových trub se vysoké hutnosti při relativně malém množství záměsové vody dosahuje zvláštním výrobním postupem, tzv. vibrolisováním a vibrodostředováním.

Ze strukturálních vlastností betonu se ve vztahu k odolnosti proti korozi zdůrazňuje vodotěsnost, pórovitost, resp. nasákavost. Podle ČSN 73 1216 je nejnižší stupeň vodotěsnosti stupeň V4. V nových evropských normách se však už upouští od členění vodotěsnosti betonu na jednotlivé stupně. Pórovitost betonu zvýšené odolnosti se limituje maximálně na 16 % objemových, nebo nasákavost na maximálně 6 % hmotnostních.

Minimální tloušťka betonové konstrukce je jedním z nejdůležitějších činitelů její protikorozi odolnosti. Významnost tohoto faktoru je v ČSN 73 1215 zdůrazněna článkem 03, podle něhož už pro klasifikaci stupně agresivity konstrukcí s tloušťkou menší než 500 mm a velmi členitě konstrukce je nutné zvláštní odborné posouzení. V ČSN 73 1216 a technologických předpisech VÚIS [7] se konstrukce z hlediska subtilnosti člení na konstrukce tloušťky větší než 500 mm a konstrukce s tloušťkou 300 až 500 mm. Pokles odolnosti konstrukce při zvyšování její subtilnosti třeba kompenzovat jiným opatřením na zvýšení její odolnosti. Podle druhu koroze a konstrukce je účelné použít odolnější cement, zvýšit dávku cementu, dávkovat přísady a příměsi, nebo zvýšit hutnost betonu.

Pro beton používaný v styku s agresivním prostředím mohou být podle povahy expozice významné další vlivy. Pevnost betonu má větší význam jedině u koroze III. druhu, kdy je protiváhou tlaku vyvolávanému v pórech a kapilárách a při působení ořetů, otluku, obrusu a náporu unášenými splaveninami [8].

Navrhování protikorozi ochrany

Zdůvodněným a vyváženým zohledněním všech jednotlivých významných faktorů agresivity vody a odolnosti betonu se nejprve stanoví celkový stupeň agresivity vody. Protikorozi ochrana se potom v souladu s ČSN 73 1214 [9] navrhuje podle tab. 2.

Tab. 2 – Navrhování protikorozi ochrany betonu podle ČSN 73 1214 / Proposal of concrete anticorrosive protection according to ČSN 73 1214

Stupeň agresivity podle ČSN 73 1215	Charakteristický druh ochrany konstrukce proti korozi
slabě agresivní (la)	primární ochrana
středně agresivní (ma)	kombinace primární a sekundární ochrany
silně agresivní (ha)	primární a sekundární ochrana za použití hmot podle speciálního návrhu

Primární ochranou označujeme ochranu výběrem materiálů, změnou složení nebo struktury stavebního materiálu před provedením nebo v průběhu provádění konstrukce. Sekundární ochranou rozumíme ochranu omezením nebo vyloučením působení agresivního prostředí na konstrukci po jejím provedení. Je všeobecnou snahou navrhnout betonové konstrukce tak, aby nebyla potřebná buď vůbec žádná nebo jen minimální sekundární ochrana. Primární ochrana je totiž obvykle jednodušší a spolehlivější. U některých druhů konstrukcí, například při zakládání na pilotách, jsme odkázáni jen na primární ochranu, protože sekundární ochrana (izolace) pilot je obtížně proveditelná nebo se nedá realizovat vůbec.

Výzkum zvyšování protikorozi odolnosti betonu primárním postupem byl předmětem dlouhodobého koordinovaného výzkumu, prováděného na několika pracovištích v bývalé Československé republice. Výsledky tohoto výzkumu se využily pro tvorbu norem [6] a technologických předpisů [7]. Podle

technologického předpisu VÚIS z roku 1988 [5] je primární ochrana betonu reálná do následujících koncentrací agresivních složek:

- u kyselých vod do pH = 4,5,
- u uhličitých vod do obsahu 40 mg.l⁻¹ agresivního CO₂,
- u hořečnatých vod při náporu chloridem hořečnatým do obsahu 2 000 mg.l⁻¹ Mg²⁺ a při náporu síranem hořečnatým do obsahu 1 265 mg.l⁻¹ Mg²⁺,
- u amonných vod při náporu síranem amonným do obsahu 500 mg.l⁻¹ SO₄²⁻,
- u síranových vod do obsahu 5 000 mg.l⁻¹ SO₄²⁻.

Výše uvedená směrná čísla agresivity vod, přípustná pro styk s nechráněným betonem, není možné brát dogmaticky, bez vztahu k jiným činitelům. Bylo zdůrazněno, že rychlost (stupeň) koroze betonu závisí na všech významných činitelích agresivity vody i odolnosti betonu.

Jestliže byl stupeň náporu agresivní vody na beton klasifikován jako „středně agresivní (ma)“ nebo jako „silně agresivní (ha)“, je nutné přistoupit k sekundární ochraně. Jak je vidět z tab. 2, ani v tomto případě však není přípustné primární ochranu opomenout. Sekundární ochrana betonové konstrukce se realizuje pomocí těchto zásadně odlišných způsobů:

- zabráněním přístupu vody k povrchu betonu,
- zvýšením protikorozi odolnosti betonu, nejčastěji však jen jeho povrchu,
- snížením účinné koncentrace agresivní složky ve vodě.

Mezi nejčastěji používané postupy zabraňující přístupu vody k povrchu betonu patří ochrana pomocí nátěrových systémů, dále pomocí polymermalt (polymerbetonů), asfaltových vložkových povlaků, ochrana pomocí fólií a silikátových izolačních systémů. Z organických nátěrů vyráběných v ČR a SR mají dobrou odolnost běžné tenkovrstvé nátěry na bázi emailu polymerátového, polystyrénového, chlorkaučukového, epoxidového a epoxideptového, dále nátěry na bázi roztoků kumaronových pryskyřic a dvojsložkové nátěry na bázi polyuretanů. Velkou skupinu hydroizolačních nátěrů tvoří nátěry asfaltové a silikátové. Polymermalty se používají ve velmi namáhaných chemických a potravinářských provozech, kanalizačních stokách a čistírnách odpadních vod, kde vedle chemického náporu je i silné mechanické namáhání. Jako izolační fólie slouží hlavně polyizobutylénové, polyvinylchloridové a fólie z nízkolehčeného polyetyleny [10].

Protikorozi odolnost betonu je možné zvýšit vyplněním volných pórů vhodnými látkami, odolnými proti působení agresivního prostředí. Tento způsob zvýšení odolnosti označujeme ochrannou impregnací. Pokud však látka v pórech krystalizuje, označujeme tento postup těsněním krystalizací. Při povrchové impregnaci betonu se póry vyplňují impregnační látkou (monomermem) s následnou polymerací uvnitř betonu. Jde obvykle o rozpouštědlové systémy nízkomolekulových až středněmolekulových epoxidových pryskyřic, jež pronikají až několik milimetrů pod povrch betonu. Hloubka vniknutí impregnačního prostředku je dána kvalitou a vlhkostí podkladního betonu. Na povrchu betonu se vytváří tenké filmy, jež zabraňují styku agresivního prostředí s betonem.

Snížením (otupením) účinné koncentrace agresivní složky ve vodě lze chránit beton vytvořením tzv. neutralizační clony, nebo obsypem základového prvku horninou, chemicky reagující s agresivní vodou. Touto horninou je při náporu vyluhující, kyselá a uhličitá voda nejčastěji vápencová drť [11].

Volba jednotlivých výše uvedených druhů sekundární ochrany závisí na stupni náporu vody, vhodnosti a dostupnosti prostředků, relativní jednoduchosti či složitosti postupu, potřebě

bě mechanismů a specialistů, jakož i výhodnosti z hlediska celkového řešení při realizaci stavby. V některých případech, například při zakládání v pásmech zdrojů pitné vody, je důležité i ekologické hledisko a hygienická nezávadnost použitých materiálů. Proto dříve než se navrhne určitý druh ochrany, je nutné kritické posouzení použitých materiálů i z hlediska vyluhovatelnosti, obsahu škodlivých látek, tvorby trhlin dodatečným tvrdnutím v důsledku ztrát změkčovadel, možné biologické korozi apod.

Literatura:

[1] **Jambor J.:** Možnosti presnejšieho hodnotenia agresivnosti prostredia a odolnosti betónu. In: *Životnosť nosných konštrukcií betonových stavieb a panelových domů*, s. 1-6. Brno, DT ČSVTS, 1975.

[2] **ČSN 73 1215 (1983)** Betónové konštrukcie. Klasifikácia agresívnych prostredí.

[3] **prEN 206 (1996)** Concrete – Performance, production and conformity.

[4] **ČSN 73 1209 (1985)** *Vodostavebný betón.*

[5] **Špaček A.:** Činitele agresivity vod a betonové konštrukcie. *Geotechnika 2* (1999), č. 3, s. 16-18.

[6] **ČSN 73 1216 (1986)** *Betónové konštrukcie. Navrhovanie primárnej protikoróznej ochrany.*

[7] **Slanička Š., Špaček A., Madej J.:** Technologický predpis na výrobu betónov so zvýšenou odolnosťou proti pôsobeniu síranových, horečnatých, kyslých a uhličitých agresívnych vôd. Účelová neperiodická publikácia Výskumného ústavu inžinierskych stavieb v Bratislave č. 206, 1985.

[8] **Špaček A.:** Činitele protikorozní odolnosti betonu. *Geotechnika 2* (1999), č. 4, s. 18-20.

[9] **ČSN 73 1214 (1983)** *Betonové konštrukce. Základní ustanovení pro navrhování ochrany proti korozi.*

[10] **Greipl E., Horvat I., Podolan J., Pospíšil A.:** Ochrana stavebných konštrukcií proti vode a agresívnym vplyvom. Účelová neperiodická publikácia Výskumného ústavu inžinierskych stavieb v Bratislave č. 210, 1986.

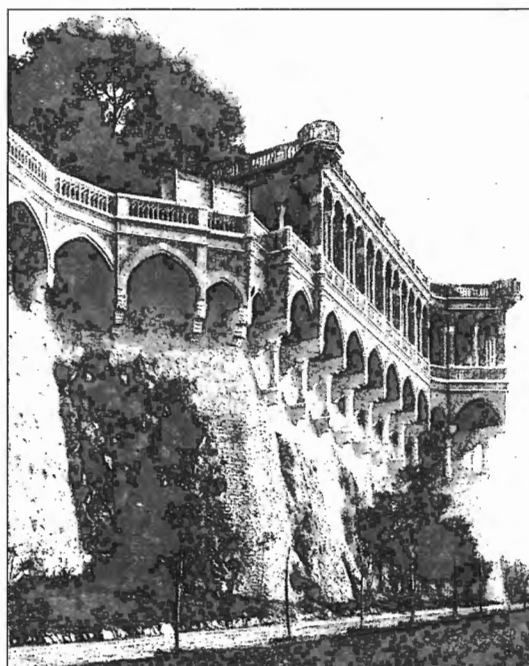
[11] **Jambor J.:** Možnosti zvýšenia odolnosti základových betónov výberom cementu, použitím prísad a niektorými doplnčovacimi opatreniami. Zborník zo seminára „Zakladanie v agresívnom prostredí“, s. 57-67. Odborná skupina pre zakladanie stavieb KV ČSVTS Košice, Pobočka ČSVTS Ústavu priemyslového staviteľstva v Košiciach, 1982.

Ing. Antonín Špaček, CSc., Bagarova 14, 841 01 Bratislava, Slovenská republika

O dobrých vlastnostech vyztuženého betonu (5)

Praha 1909 – Mnohonásobně již bylo vyztuženého betonu upotřebeno na konsoly, podporující pavlače, na galerie, vyložené rampy a vůbec při všech konstrukcích převislých, jež jsou namáhány na přelomení. Zde poskytuje armovaný beton příhodnou náhradu za kámen i železo a podává architektu možnost navrhovati konstrukce tyto i o velmi značném vyložení. Obr. 1 podává pohled na terasu a loggii v Janově, kde je veškerá konstrukce jen z armovaného betonu vypěchována. Stavba ta je zároveň příkladem architektonického vyzdobení konstrukcí železobetonových (Z knihy *Vyztužený beton – jeho upotřebení a výpočty hlavně k účelům pozemního stavitelství*, napsali F. Klokner a J. Fidler, vydali vlastním nákladem v Praze 1909).

Petr Hájek



Obr. 1 – Terasa a loggia v Janově / Terrace and loggia in Génova