

prof. Ing. Juraj Bilčík, PhD.

Katedra betónových konštrukcií a mostov SvF STU

Radlinského 11, 810 05 Bratislava, tel: +421 2/59 274 546

e-mail: juraj.bilcik@stuba.sk

---

## **OPONENTSKÝ POSUDOK**

habilitačnej práce Ing. Miroslava Brodňana, PhD.

### **„Pôsobenie degradačných činiteľov a ich vplyv na železobetónové konštrukcie“**

Za oponenta habilitačnej práce Ing. Miroslava Brodňana, PhD. v študijnom odbore 5.1.5 inžinierske konštrukcie a dopravné stavby, som bol menovaný dekrétom dekana Stavebnej fakulty ŽU v Žiline zo dňa 10.12.2018. Ing. Miroslav Brodňan, PhD., pracovník Katedry stavebných konštrukcií a mostov Stavebnej fakulty Žilinskej univerzity v Žiline predložil habilitačnú prácu, ktorá má 117 strán textu a obrázkov. Na 7 stranách sú odkazy na 103 prác domácich a zahraničných autorov.

Oponovaná habilitačná práca sa zaoberá aktuálnou problematikou vplyvu korózie betonárskej výstuže na spoľahlivosť existujúcich železobetónových konštrukcií. Aktuálnosť problematiky vyplýva z technických, ekonomických, ako aj environmentálnych požiadaviek kladených na trvalú udržateľnosť stavebných objektov. Vzhľadom na to, že aktuálny stav dopravnej infraštruktúry na Slovensku nezodpovedá jej strategickému významu, je významnou úlohou nielen jej urýchlené dobudovanie, ale aj predĺženie zostatkovej životnosti existujúcich objektov. Zostatková životnosť železobetónových konštrukcií je funkciou viacerých premenných, kde degradačné činitele majú dominantné postavenie. Spoľahlivosť mosta je pri hodnotení jeho aktuálneho stavu v systéme hospodárenia s mostnými objektmi základný hodnotiaci parameter. Na základe informácií z pravidelných i nepravidelných prehliadok mostov je zrejmé, že mosty patria medzi inžinierske stavby, ktoré sú vystavené najextrémnejším environmentálnym zaťaženiam. Všetky časti nosnej konštrukcie mosta sú priamo vystavené fyzikálnym, chemickým a biologickým účinkom environmentálneho zaťaženia a počas zimnej údržby ciest aj intenzívnej aplikácii chemických rozmrazovacích látok (ChRL).

Habilitačná práca sa skladá z viacerých, vzájomne súvisiacich častí, ktoré sú zosumarizované v desiatich kapitolách.

Po Úvode a Cieloch habilitačnej práce poskytuje tretia kapitola základné informácie o chemickej korózii betónu a podrobnejšie poznatky o elektrochemickej korózii konštrukčnej ocele a betonárskej výstuže.

V štvrtej kapitole sa uvádzajú vybrané metódy, ktoré umožňujú presnejšie stanovenie koróznej aktivity oceleovej výstuže v betóne.

Piata kapitola opisuje postup a výsledky experimentálneho merania koróznej aktivity oceleovej výstuže umiestnenej v betónových trámoch. Na meranie koróznej aktivity bola použitá metóda merania zmeny elektrického odporu (MER). Metóda bola vybraná na základe dobrej korelácie s výsledkami korózných úbytkov na konštrukciách in situ. Betónové trámce boli vystavené cyklickým účinkom prostredia 5 % vodného roztoku NaCl podľa odporúčaní RILEM. Výsledky laboratórnych meraní boli použité na numerické modelovanie rozvoja trhlin iniciovaných zväčšovaním objemu korózných splođín v prostredí softvéru ATENA 2D.

V šiestej kapitole sú uvedené výsledky koróznej aktivity betonárskej výstuže, resp. konštrukčnej ocele, používaných na zhotovenie železobetónových, resp. oceleových mostov. Významný parameter korózie ocele je ročná rýchlosť korózie v jednotkách  $\mu\text{m.rok}^{-1}$ . V práci sa uvádzajú rovnice pre rovnomernú aj jamkovú koróziu. Podáva sa informácia o vzniku máp koncentrácií znečisťujúcich látok v ovzduší na Slovensku, vygenerované na základe údajov SHMÚ pre parametre  $\text{SO}_2$ ,  $\text{Cl}^-$ , T a RH. Na ich základe je možné stanoviť mieru korózie uhlíkovej ocele v jednotlivých lokalitách. Po Slovensku boli rozmiestnené vzorky samotnej betonárskej výstuže, ako aj výstuže zabudovanej do betónových vzoriek. Uvádzajú sa aj výsledky korózných úbytkov zo vzoriek, ktoré boli vystavené zrýchleným koróznym skúškam v klimatizovanej komore.

Ťažisko habilitačnej práce predstavuje siedma kapitola, ktorá analyzuje účinky environmentálneho zaťaženia na betónové mosty. V úvode tejto kapitoly sa definujú podmienky vyvolávajúce porušenie betónu a betonárskej výstuže. Na základe teoretických poznatkov a dlhodobého monitorovania sú prezentované výsledky hodnotenia troch cestných železobetónových mostov nad vodnými tokmi. Jedná sa o praktickú aplikáciu vybraných metód uvedených v predošlých kapitolách.

V minulosti boli pri statickom výpočte mostov, bez ohľadu na zloženie betónu a poveternostných podmienok tvrdenia betónu, používané tabuľkové hodnoty modulov pružnosti betónu (tab. 3.1 v STN EN 1992-1-1). Tento postup sa často prejavoval nadmernými priehybmi hornej stavby. Nielen zloženie betónu, ale aj teplota prostredia počas betónovania majú vplyv na pevnostné a pretvárne vlastnosti betónu. Účinkami vplyvu teploty prostredia pri betónovaní v zimnom období na deformačné vlastnosti betónu sa zaoberá ôsma kapitola.

Na zvýšenie odolnosti betónu proti účinkom chemických rozmrazovacích látok (ChRL) sa používajú sekundárne ochranné prostriedky. V deviatej kapitole sa uvádzajú výsledky aplikácie dvoch rôznych náterových systémov. Referenčné a náterovými systémami chránené betónové vzorky boli podrobené 25 až 275 zmrazovacím a rozmrazovacím cyklom v prostredí s 3 % roztokom NaCl. Výsledky preukázali, že použitie aplikovaných náterov zabránilo prieniku ChRL do betónu a tým aj zvýšenú odolnosť betónového povrchu.

V desiatej kapitole Závěry sú zhrnuté a zhodnotené výsledky uvedené v jednotlivých kapitolách. Väčšina výsledkov bola uverejnená v domácich a zahraničných časopisoch

a v článkoch na odborných a vedeckých konferenciách na Slovensku aj v zahraničí. To znamená, že v habilitačnej práci prezentované výsledky a závery prešli verejnou odbornou a vedeckou kontrolou.

K oponovanej habilitačnej práci mám tieto vecné pripomienky:

1. Obsah habilitačnej práce by lepšie vystihoval názov: Vplyv korózie výstuže na spoľahlivosť železobetónových konštrukcií.
2. str. 15, 9. riadok odspodu: Odporúčam existujúci text nahradiť textom: Pri dlhodobom pôsobení mäkkých vôd na cementový kompozit môže dôjsť k úplnému vylúhovaniu  $\text{Ca(OH)}_2$  a rozkladu ostatných hydrátov oxidu kremičitého.
3. str. 18, 12. riadok od hora: ... a ocele, prípadne starnutie izolačných materiálov.
4. str. 18, predposledný riadok: Odporúčam existujúci text nahradiť textom: ...výstuže) a vyššiu hutnosť povrchovej vrstvy. Uhlíčitá korózia cementových kompozitov vzniká pôsobením vody, v ktorej sa nachádza tzv. agresívny oxid uhličitý, čo môže viesť až k rozpadu cementového kameňa.
5. str. 22, 2. riadok : ...v rozmedzí pH  $\approx$  10 až 13,8 (pozri Obr. 3.6) a ku korózii dochádza keď hodnota pH poklesne pod 10,0 alebo .....
6. str. 22, text v Obr. 3.3: korózia ocele neprebíha, s výnimkou v prípade prítomnosti chloridových iónov
7. str. 40: Pri korózii betonárskej výstuže vznikajú rôzne oxidy alebo hydroxidy železa, ktoré majú rôzny objem. Preto treba tieto identifikovať aby bolo možné odhadnúť aké napätia vyvolávajú v betónovej krycej vrstve.
8. str. 59, rovnica 7.1: Rovnica 7.1 je neprípustne zjednodušená (nezohľadňuje vplyv vlhkosti betónu, počtu zmrazovacích a rozmrazovacích cyklov a teploty).
9. str. 96, 4 riadok pod Obr. 8.7: Stanovenie modulu pružnosti betónu bolo v mäkkom režime (riadená rýchlosť napätia)?

Z formálnych pripomienok uvádzam:

1. Všeobecne v texte: odporúčam používať výraz ióny, ionty je po česky
2. str. 20: text k Obr. 3.2: Typy korózie kovov: a) ....
3. str. 24, 5. odstavec: Korózia výstuže prebieha vždy .....
4. str. 26, 1. riadok: ... v okolí výstuže hydroxylovými iónmi, čím sa ....
5. str. 28, text k Obr. 4.2: .... (konštrukčná oceľ)
6. str. 34, 3. riadok: ... nedeštruktívne alebo polodeštruktívne metódy ...
7. str. 41, 3. riadok: ... materiálmi vyššiu pevnosť v tlaku a predovšetkým ...
8. str. 43, text v Obr. 5.11: text k vodorovnej osi: Cykly chloridového prostredia?

9. str. 47, Tab. 6.1: chyba odkaz na literatúru
10. str. 47, 4. odstavce: odkaz na Andrade [51] nesúhlasí so zoznamom literatúry na str. 114
11. str. 61, 1. riadok: ... a na aktivnu etapu korózie výstuže a porušenia betónu (obr. 7.2).
12. str. 102, 6. a 9. riadok pod Obr. 9.3: navrhujem opraviť výrazy „mikroskopický prieduch“, resp. „rozožieranie akéhokoľvek druhu“.

Práca je z vecného aj formálneho hľadiska na veľmi dobrej úrovni. Literárne poznatky sú napísané v logickom slede a prehľadne, s citáciami referencií. Použité obrázky výrazne prispievajú k celkovej úrovni habilitačnej práce. Ing. Brodňan v práci preukázal, že ovláda odbornú terminológiu a je zbehlý pri formulovaní diskusie a záverov, za čo vďačí zrejme aj bohatej publikačnej činnosti.

Oponovaná habilitačná práca rozširuje poznatky v oblasti vplyvu korózie betonárskej výstuže na hodnotenie existujúcich železobetónových konštrukcií, najmä betónových mostov. Je konzistentným pokračovaním problematiky, ktorej sa Ing. Brodňan aj pracovisko venujú už niekoľko rokov.

S ohľadom na vyššie uvedené konštatovania **odporúčam** udeliť vedecko-pedagogický titul docent Ing. Miroslavovi Brodňanovi, PhD. v danom študijnom odbore.

Bratislava, 3. januára 2019