

Beton repedéstágassága és a betonacél korrózió összefüggése

NAGY Réka Anna

Okleveles szerkezet-építőmérnök (MSc).

Tanulmányait a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Karán végezte. Doktorandusz az Építőanyagok és

Magasépítés Tanszéken.

Fő érdeklődési területei: vasbeton szerkezetek repedései, építőanyagok tartóssága, szálerősítésű polimer (FRP) betétek alkalmazása betonban

Dr. BOROSNYÓI Adorján

Okl. építőmérnök, PhD, egyetemi docens a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszékén.

Főbb kutatási területei: vasbetonszerkezetek használhatósági határállapota, szálerősítésű polimer (FRP) anyagok alkalmazása betonszerkezetekhez, tapadás betonban, roncsolásmentes anyagvizsgálatok (NDT), szálerősítésű betonok (FRC) tartóssága, cement kiegészítő anyagok (SCM). Az Építőanyag-JSBCM folyóirat főszerkesztője.

NAGY RÉKA ANNA • Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem • nagy.reka@epito.bme.hu

DR. BOROSNYÓI ADORJÁN • Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem • borosnyoi.adorjan@epito.bme.hu

Érkezett: 2015. 11. 30. • Received: 30. 11. 2015. • <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2016.2>

Reinforcement corrosion and concrete crack width

Reinforced concrete is a widely used construction material. However, corrosion of steel reinforcement might be a danger to its durability. In this paper the corrosion mechanism of steel reinforcement in concrete is introduced. Literature and case studies are reviewed on concrete crack width and its effect on reinforcement corrosion. The results found in different sources proved to be inconsistent. Crack width variation within concrete cover is presented as a reason. The influencing factors of reinforcement corrosion in concrete are collected with special regard to crack geometry.

Kulcsszavak: beton, betonacél korrózió, klorid-ion, repedéstágasság, tekervényesség

Keywords: concrete, corrosion of reinforcement, chloride-ion, crack width, tortuosity

1. Bevezetés

A világon az egyik legszélesebb körben alkalmazott építőanyag a vasbeton. A vasbeton szerkezetek tartósságát az biztosítja, hogy az acél és a beton nemcsak mechanikailag dolgozik együtt, hanem a beton védi is az acélt a korróziótól. A betonszerkezetekben megjelenő repedések hatással lehetnek erre a védelemre.

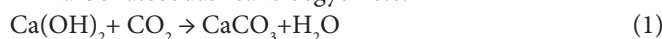
2. Betonacél korróziója

2.1 A korrózió feltételei

A betonacél korróziójának két feltétele van: korrózióra hajlamos anyag és a korróziót elősegítő környezet. Előbbi adott, ugyanis a betonacél gyengén ötvözött acél, ezért hajlamos a korrózióra, melynek betonban három feltétele van: a beton védőhatásának megszűnése, a nedvesség és az oxigén jelenléte.

A betonban a cement hidratációja során felszabaduló Ca(OH)_2 lúgossága passzíválja a betonba ágyazott betonacél felületét és a kialakuló vékony oxidréteg megóvja a betonacélt a további korróziótól. Idővel a beton karbonátosodik, azaz a levegőben található szén-dioxid hatására a lúgos kémhatású Ca(OH)_2 egy része elkezd átalakulni semleges kémhatású mészkővé (1). Ennek következtében a beton kémhatása pH 12,3-12,6-ról pH 8,3-8,5-re csökken.

A karbonátosodás reakcióegyenlete:



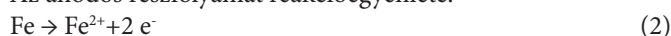
Ez a folyamat a beton külső felületén indul meg, majd egyre növekvő karbonátosodott zóna alakul ki. Amennyiben ez a zóna eléri a betonacélt (melyet néhány centiméter betonfedés véd), megszűnik a betonnak a betonacélra gyakorolt védőhatása.

A betonhoz a jó bedolgozhatóság érdekében mindig több vizet adagolnak, mint amennyi a cement hidratációjához kémiailag szükséges. A fölösleges víz a későbbiekben elpárolog, átjárható kapilláris pórusokat hagyva maga után a cementkőben. Ezek a pórusokon keresztül a nedvesség és az oxigén képes eljutni a betonacélhoz, tehát kialakulhat a megfelelő környezet a korróziós folyamathoz.

2.2 A korróziós folyamat

Betonacélok korróziója jellemzően elektrokémiai folyamat. A korrózió anódos és katódos részfolyamata a betonacél két, térben elválasztott felületén megy végbe, az anód- és katód-felület lokálemeként viselkedik, az elektrolit a beton, a fémek kapcsolatát pedig a betonacél biztosítja (1. ábra). A két pólus közötti feszültségkülönbség hatására az anódnál a vasionok oldatba mennek, miközben elektronok szabadulnak fel (2), melyek a betonacél közvetítésével a katódhoz vándorolnak és ott az oxigénnel és vízzel hidroxilionokat (OH^-) képeznek (3). A hidroxilionok a pórusoldatban a vasionok felé vándorolnak, vegyülnek, ebből lesz a rozsda (4,5).

Az anódos részfolyamat reakcióegyenlete:



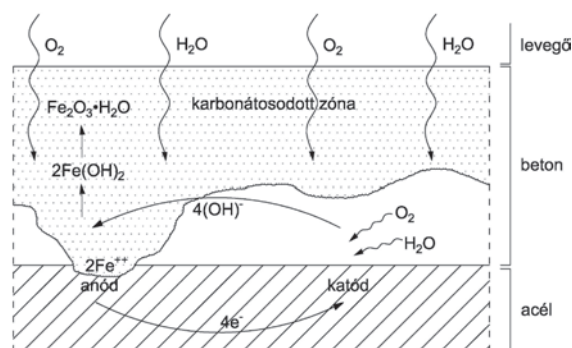
A katódos részfolyamat reakcióegyenlete:



A vashidroxid képződésének reakcióegyenlete:



A vasoxid képződésének reakcióegyenlete:



1. ábra Betonacél korróziós mechanizmusának vázlat

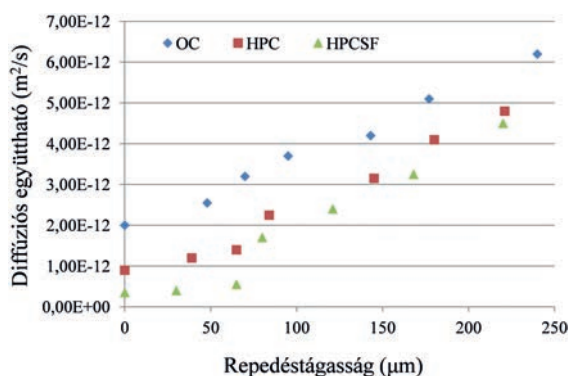
Fig. 1. Scheme of corrosion mechanism of reinforcement

Jégmentesítő sózás vagy tengervíz hatására a betonba kloridok kerülhetnek, ekkor ún. kloridkorrózióról beszélünk. Kloridkorrózió a nem karbonátosodott zónában is létrejehet, ha a kloridtartalom meghaladja azt a határt, amelyet a cement tartósan leköt. A kloridionok erősen lúgos környezetben is

(pH>9) – kis helyen – megszüntetik a betonacél védelmét és lyukkorróziót okoznak; karbonátosodott betonban pedig meggyorsítják az egyenletes korróziót. Kifejezetten veszélyes, hogy a kloridionok nem épülnek be, hanem a korróziós folyamat végén újra felszabadulnak és végtelen körfolyamatként újabb és újabb korrózió okozói lesznek.

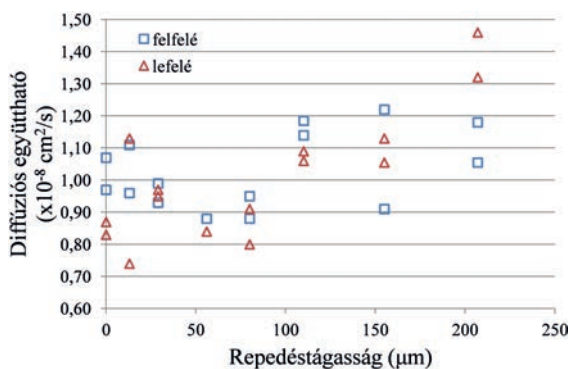
A korrózió diffúziós folyamatként írható le, melynek során a korróziót elősegítő anyagok (oxigén, víz, szén-dioxid, kloridion) a környezetből vándorolnak a beton belseje felé a koncentráció különbség hatására. A vándorlás, és ezáltal a korrózió sebessége, a koncentráció különbségen kívül a beton áteresztőképességétől is függ; minél nagyobb a beton áteresztőképessége, annál gyorsabb a korrózió.

Repedések jelenléte esetén megnő a beton áteresztőképessége, mely a diffúziós együtthatóval jellemezhető. Szakirodalmi eredmények alátámasztják, hogy a repedéstágasság növekedésével növekszik a diffúziós együttható (2. és 3. ábra).



2. ábra Repedéstágasság (w) hatása a beton diffúziós együtthatójára (D) állandósult klorid diffúzió esetén (Djetbi et al, 2008)

Fig. 2. Influence of crack width (w) on the diffusion coefficient of concrete (D) under steady state chloride diffusion (Djetbi et al, 2008)



3. ábra Diffúziós együttható a repedéstágasság függvényében (Jang et al, 2011)

Fig. 3. Diffusion coefficient as a function of crack (Jang et al, 2011)

Feltételezhető tehát, hogy a repedéseken keresztül a korróziót elősegítő anyagok könnyebben jutnak a beton belsejébe és felgyorsítják a korrózió folyamatát. Ugyanakkor a szakirodalomban nem lelhető fel erre egyértelmű összefüggés, ezt alátámasztó és megcáfoló eredményeket is találhatunk. Jelen cikk célja, hogy a témában összegyűjtött publikációk áttekintésével ezen ellentmondásokra felhívja a figyelmet és megpróbáljon okokat feltárni.

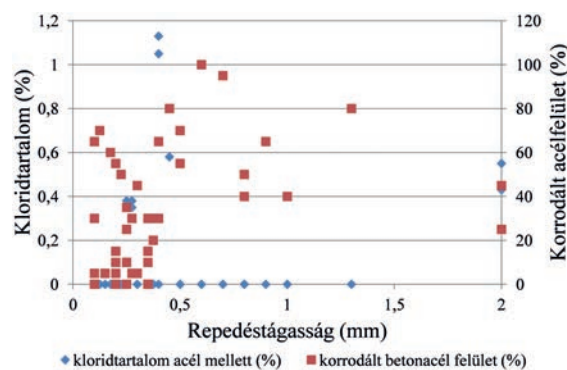
3. Felületi repedéstágasság és korrózió – szakirodalmi áttekintés

Vasbeton szerkezetek esetében bevett gyakorlat a tervezés során a beton felületén megjelenő repedések megnyílását, szélességét, az úgynevezett repedéstágasságot korlátozni, feltételezve, hogy kisebb repedéstágasság mellett a betonacél korrózió lassabban alakul ki, illetve megy végbe. A felületi repedéstágasság a helyszínen könnyen, egyszerű eszközökkel mérhető. Ez a fejezet a mért repedéstágasság és a betonacél korrózió között keres összefüggést szakirodalmi adatok alapján.

3.1 Rehm, Nürnberger, Neubert (1988)

Helgoland (Németország) kikötőjének 30 éves korú vasbeton szerkezetében vizsgálták a betonacél korróziós állapotát. 50 darab fúrt magmintát vettek a szerkezetből, ezekben határozták meg a beton kloridion tartalmát a cement tömegére vonatkoztatva, a repedéstágasságokat és az acélbetétek korróziójának mértékét. Utóbbi esetében a korrodált acélfelület nagyságát határozták meg (cm²), illetve a rozsdásodás kiterjedése és mélysége alapján korróziós osztályba sorolták (0-5) a mintákat.

A korrodált acélfelület nagysága a repedéstágasság növekedésével növekvő tendenciát mutatott, bár igen nagy a szórás. A kloridion tartalom és a korrodált acélfelület nagysága között azonban nem látszik összefüggés, elhanyagolható kloridion tartalom mellett is bekövetkezik korrózió (4. ábra). Eredményeik azt sem támasztják alá, hogy nagyobb repedéstágasság nagyobb kloridion tartalommal jár.



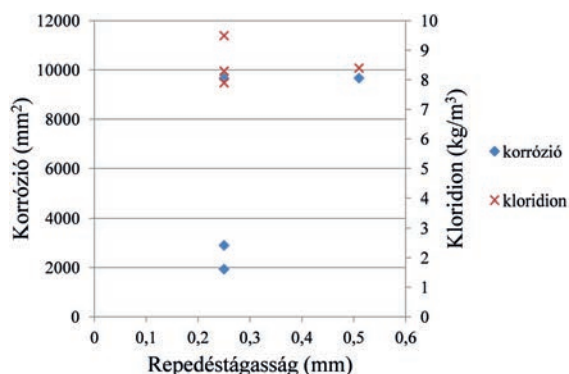
4. ábra Kloridtartalom (cement tömegére vonatkoztatva) és korrodált acélfelület a repedéstágasság függvényében (Rehm et al, 1988 alapján)

Fig. 4. Corroded steel surface, chloride content (percentage of cement mass) and crack with (based on Rehm et al, 1988)

3.2 Berke, Dellaire, Hicks, Hoopes (1993)

A szerzők a kalcium-nitrát korróziócsökkentő hatását vizsgálták vasbeton próbatesteken. Jelen cikknek nem célja ezen hatás tárgyalása, a referencia próbatestek adatai azonban felhasználhatóak. A próbatesteket két-két hetes ciklusokban 3%-os NaCl oldattal árasztották el illetve hagyták kiszáradni. 16 hónap elteltével megvizsgálták, hogy mekkora volt a kloridion koncentráció, illetve az acélbetéteknek mekkora felülete korrodált a repedések környezetében. Az 5. ábra közös koordináta rendszerben ábrázolja a korrózió mértékét (korrodált acélfelület nagysága) és a kloridion koncentrációt a repedéstágasság függvényében. Megfigyelhető, hogy kisebb repedéstágasság mellett a betonacélnek kisebb felülete korrodált, miközben a

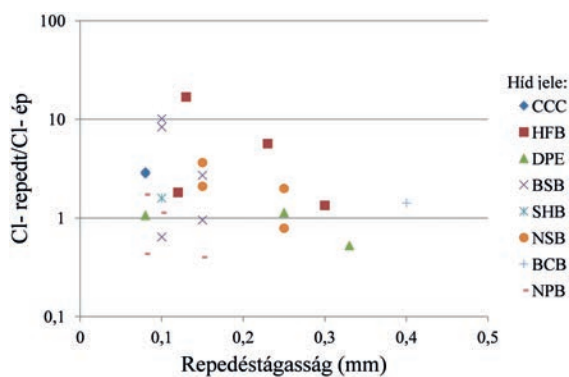
kloridion koncentráció közel ugyanakkora volt. Magyarázatul szolgálhat, hogy a kloridion kisebb repedéstágasság esetében is eléri a betonacélt és kifejti a korróziót elősegítő hatását, míg a korrózióhoz szükséges oxigén utánpótlás így nehezebben való meg, mint nagyobb repedéstágasság esetén.



5. ábra Felületi korrózió és kloridion koncentráció a repedéstágasság függvényében (Berke et al, 1993 alapján)
 Fig. 5. Corroded steel surface, chloride content and crack with (based on Berke et al, 1993)

3.3 Sagues, Kranc et al (1994)

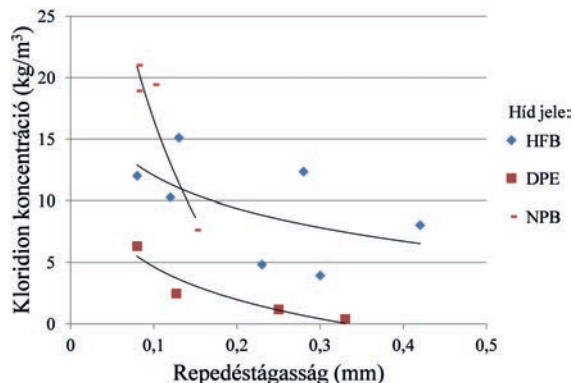
Tengerparti vasbeton hidak természetes korrózióját figyelték meg, melyek esetében a tengervíz illetve a sós pára szolgáltatta a klorid-ion forrást. Fúrt magminta párokat vettek meglévő repedéseken keresztül, illetve a repedések közelében az ép betontól és ezek kloridion koncentrációját határozták meg. A 6. ábrán az összetartozó (közel azonos helyről vett) berepedt és ép minták kloridion koncentrációjának arányát ábrázoltuk a repedéstágasság függvényében a szerzők adatai alapján. Ezt vizsgálva nem mutatható ki, hogy a repedéstágasság növekedésével a berepedt mintákban nagyobb lenne a kloridion koncentráció az azonos mélységből vett ép mintához képest.



6. ábra Kloridion koncentráció aránya a repedt és ép beton magmintákban a repedéstágasság függvényében, különböző hidakon vizsgálva (Sagues, Kranc et al, 1994 adatai alapján)(1-1,5 inch mélységben) - Megjegyzés: a hidak jelölése az eredeti cikk szerint van megadva
 Fig. 6. Ratio of chloride content in cracked and sound concrete and crack width of different bridges (based on Sagues, Kranc et al, 1994)(at 1-1.5 in depths) - Note: bridge identification according to the original paper

A szerzők által közzétett mérési eredményeket tovább elemezve más megfigyelések is tehetők. Azon hidak eseteit vizsgálva, ahol elegendő számú repedés adatait rögzítették, a kloridion abszolút koncentrációját vizsgáltuk a repedéstágasság függvényében. A kloridion koncentráció a repedéstágasság nő-

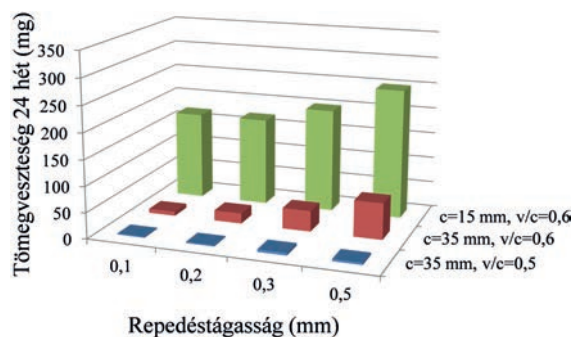
vekedésével csökkenő tendenciát mutat (7. ábra). Ennek oka lehet, hogy a beton képes megkötni a kloridionok egy részét és a vizsgálat a kötött és a szabad (korróziós folyamatban résztvevő) kloridion tartalmat együttesen mutatja ki. Nagyobb repedéstágasság mellett vastagabb karbonátosodott réteg alakulhatott ki, melynek kloridion megkötő képessége kisebb, ezáltal kisebb lesz a kimutatható kloridion tartalom.



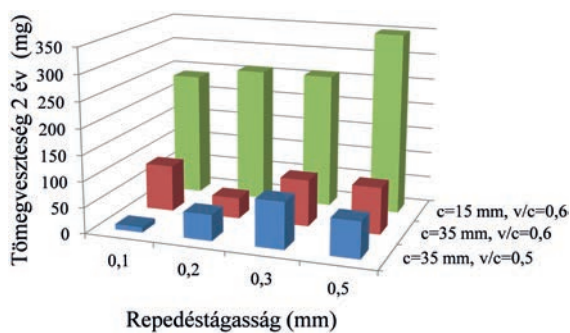
7. ábra Repedéstágasság és kloridion koncentráció összefüggése repedt magmintákban három hídra vizsgálva (Sagues, Kranc et al, 1994 adatai alapján)(0,83-0,45 inch mélységben) - Megjegyzés: a hidak jelölése az eredeti cikk szerint van megadva
 Fig. 7. Crack width and absolute chloride concentration in 3 bridges (based on Sagues, Kranc et al, 1994)(at 0.83-0.45 in depths) - Note: bridge identification according to the original paper

3.4 Schießl, Raupach (1997)

A szerzők vasbeton gerendákon hoztak létre repedéseket 0,1-0,5 mm repedéstágasság tartományban és a repedést és környezetét sós vizes fürdőnek tették ki. Tanulmányozták a repedéstávolság és repedéstágasság, valamint a betonfedés és a víz-cement tényező hatását. A korrózió mérőszámát a betonacél tömegveszteségeként határozták meg, melyet 24 hetes és 2 éves korban vizsgáltak. A kísérletek során megállapították, hogy a betonfedés vastagsága és minősége sokkal nagyobb mértékben befolyásolja a korrózió sebességét, mint a repedéstágasság, utóbbi hatása a kísérleti időtartam végére (2 év) lecsökkent (8. a és b ábra). Számításokkal kimutatták, hogy a felületi repedéstágasság korlátozása érdekében csökkentett betonacél átmérő nagyobb keresztmetszet veszteséghez vezet.



8. a) ábra Repedéstágasság és korrózió okozta tömegveszteség összefüggése különböző víz-cement tényező (w/c) és betonfedés (c) mellett 24 hetes korban (Schießl, Raupach, 1997 alapján)
 Fig. 8.a. Relationships between crack width and mass loss by corrosion at different water-to-cement ratios (w/c) and concrete covers (c) after 24 weeks of exposure (based on Schießl, Raupach, 1997)

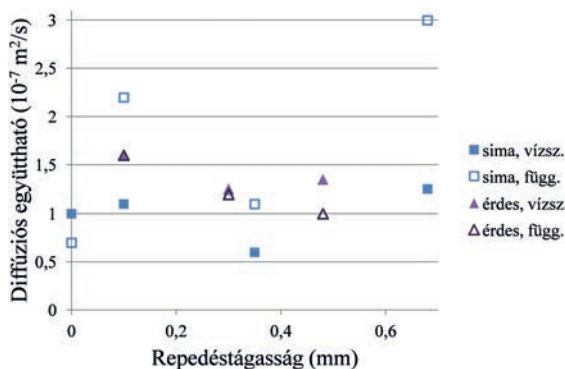


8. b) ábra Repedéstágasság és korrózió okozta tömegvesztés összefüggése különböző víz-cement tényező (v/c) és betonfedés (c) mellett 2 éves korban (Schießl, Raupach, 1997 alapján)

Fig. 8. b. Relationships between crack width and mass loss by corrosion at different water-to-cement ratios (w/c) an concrete covers (c) after 2 years of exposure (based on Schießl, Raupach, 1997)

3.5 Rodriguez, Hooton (2003)

Beton próbatesteken repesztéssel illetve fűrészeléssel állítottak elő érdes illetve sima felületű, 0,08-0,68 mm tágasságú repedéseket. Ezek után kloridion behatolás vizsgálatot végeztek 40 napon keresztül és a behatolási mélységekből diffúziós együtthatót számítottak a korrózió indikátoraként. A behatolást vízszintes és függőleges irányban is mérték mindkét típusú repedésen. Arra a következtetésre jutottak, hogy a diffúziós együttható értéke független a repedéstágasságtól és a felület érdességétől (9. ábra).



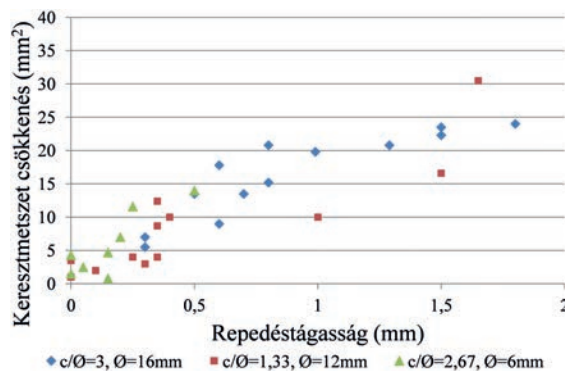
9. ábra Repedéstágasság és kloridion diffúziós együttható összefüggése sima és érdes repedések esetén, vízszintes és függőleges irányban (Rodriguez, Hooton, 2003 alapján)

Fig. 9. Chloride diffusion coefficient and crack width in case of smooth and rough surfaced cracks, chloride penetration measured in horizontal and vertical direction (based on Rodriguez and Hooton, 2003)

3.6 Vidal, Castel, Francois (2004)

Sópárás környezetben terhelés alatt tartottak vasbeton gerendákat 14 illetve 17 éves korig. A sókoncentrációt (3,5% NaCl) úgy választották meg, hogy az körülbelül a tengervíz hatásának feleljen meg és száraz-nedves ciklusokat is alkalmaztak. A kísérleti időszak végén megmérték a korróziós repedések tágasságait, a betonacélokat megtisztították a korróziós terméktől és az eredeti tömeghez képest az egységnyi hosszra jutó tömegvesztéséből keresztmetszet csökkenést számoltak. A 10. ábrán a repedéstágasság és a keresztmetszet csökkenés között markáns trend figyelhető meg, azonban fontos kihangsúlyozni, hogy ez esetben a repedések oka, nem pedig következménye volt a korrózió, ugyanis a hajlításból származó repedéseket nem vették figyelembe. Azt is megfigyelték, hogy a repedések

megjelenését elsősorban a betonfedés és a betonacél átmérő hányadosa befolyásolta.



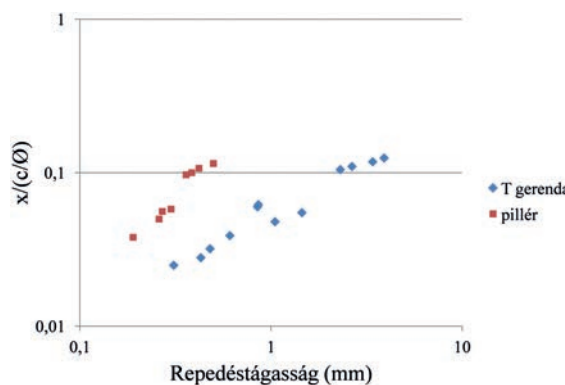
10. ábra Repedéstágasság és betonacél keresztmetszet csökkenése (Vidal et al, 2004 alapján)
Fig. 10. Cross section loss related to crack width (based on Vidal et al, 2004)

3.7 Otieno, Alexander, Beushausen (2009)

Vasbeton próbatesteket vizsgáltak repedés nélkül, kezdeti repedéssel, valamint 0,4 és 0,7 mm repedéstágasság esetén. A vizsgálatok során a gerendákat 16 héten keresztül, hetente 3 napig 5%-os NaCl oldattal elárasztva tartották, majd 4 napig száradni hagyták. Általánosságban megfigyelték, hogy a repedések jelenléte felgyorsítja a korrózió folyamatát: azonos cement típus és víz-cement tényező mellett nagyobb repedéstágasság előrehaladottabb korróziót eredményez. Adataik alapján megállapítható, hogy a víz-cement tényező vagy a kiegészítő-anyag tartalom változtatása nem befolyásolja a korrózió sebességét olyan mértékben, mint a repedések jelenléte. Tehát a korróziós jelenség meghatározó paramétere nem a beton áteresztőképessége, hanem a repedéstágasság.

3.8 Andrade, Muñoz, Torres-Acosta (2010)

14 évvel korábban készített vasbeton gerendákon tanulmányozták a repedéstágasság és korrózió hatását. A betonkeverékhez CaCl₂ kötőgyorsítót adagoltak, a korróziós folyamat azonban természetes környezetben zajlott le. A szerzők mérték a betonacélban a korrózió behatolásának mélységét, melyet a 11. ábrán a betonfedéssel és betonacél átmérővel normált módon láthatunk a repedéstágasság függvényében. Ebben az ábrázolási módban határozott trend figyelhető meg: nagyobb repedéstágasság mellett nagyobb a korróziós behatolás mélysége.



11. ábra Repedéstágasság és korróziós behatolás mélysége (betonfedéssel és betonacél átmérővel normálva) (Andrade et al, 2010 alapján)

Fig. 11. Corrosion penetration depth (normalised with concrete cover and reinforcement diameter) related to crack width (based on Andrade et al, 2010)

Szerző	Rehm, Nürnberger, Neubert (1988)	Berke, Dellaire, Hicks, Hoopes (1993)	Sagues, Kranc et al (1994)	Schießl, Raupach (1997)	Rodriguez, Hooton (2003)	Vidal, Castel, Francois (2004)	Otieno, Alexander, Beus-hausen (2009)	Andrade, Muñoz, Torres-Acosta (2010)
időtartam	30 év	16 hónap	évek	2 év	40 nap	14/17 év	16 hét	14 év
Cl	tenger	NaCl	tenger	sós víz	klorid	sópára	NaCl	CaCl ₂
w _{min} (mm)	0,1	0,25	0,08	0,1	0,1	0,05	0,08	0,19
w _{max} (mm)	2	0,51	0,42	0,5	0,68	1,8	0,68	3,9
c (mm)	35+	43	vált.	15 ill. 35	-	10 ill. 40	40	30
v/c	0,5	0,5	vált.	0,5 ill. 0,6	0,4	0,5	0,4 ill. 0,55	0,7
φ (mm)	20 (16)	13	vált.	14	-	12 ill. 16	10	12
vizsgált jellemző	felület	felület	Cl koncentráció	tömeg-veszteség	diffúziós együttható	km csökkenés	korróziós ráta	korróziós behatolás mélysége
összefüggés	van	nincs	nincs	idővel csökken	nincs	evidens	van	van
				Jelmagyarázat:				
	w _{min}	legkisebb mért repedéstágasság		v/c	víz-cement tényező			
	w _{max}	legnagyobb mért repedéstágasság		φ	betonacél átmérő			
	c	betonfedés						

1. táblázat Szakirodalmi adatok összehasonlítása
Table 1. Comparison of the literature review observations

3.9 Az eredmények értékelése

A bemutatott kísérletek eltérő környezetben, különböző méretű és betonösszetételű próbatesteken történtek, a megfigyelt paraméterek (keresztmetszet csökkenés, kloridion behatolás, diffúziós együttható, elektromos ellenállás) is különböztek (1. táblázat). A megfigyelések alapján nem mutatható ki egyértelmű összefüggés a felületi repedéstágasság és a korrózió között, azonban ez nem is cáfolható.

4. Repedéstágasság változása betonfedésen belül – szakirodalmi áttekintés

Szakirodalmi és saját megfigyelések támasztják alá, hogy a betonacél felületén eltér a repedéstágasság a beton felszínén mérthez képest, azaz a repedéstágasság változik a betonfedésen belül. Ez – többek közt – magyarázatul szolgálhat az előző fejezetben bemutatott ellentmondásokra.

4.1 Broms (1965)

A témában elsőként Broms végzett laboratóriumi kísérleteket. A húzott vasbeton próbatestek hosszát úgy választotta meg (20 cm), hogy csak egy repedés tudjon kialakulni, így a próbatestek végein a keresztmetszet mentén mért alakváltozások a repedéstágassággal hozhatók összefüggésbe. Hogy a nem átmenő repedések ne befolyásolják az eredményeket, a terhelés alatt lévő próbatestekben műgyantával kiinjektálta ezeket.

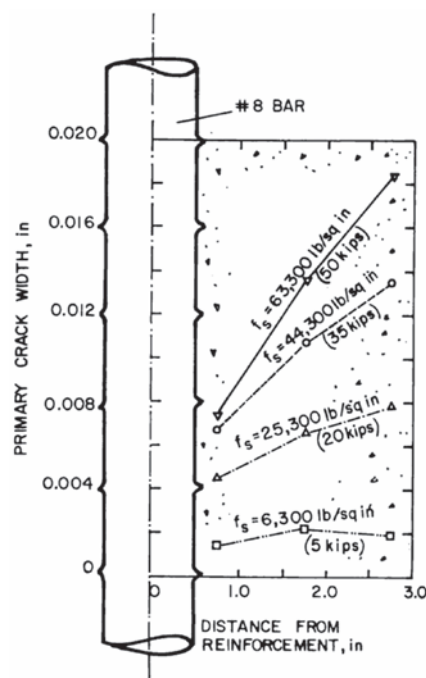
A kísérlet eredményeiből arra következtetett, hogy a betonfedésen belül változik a repedéstágasság: a betonacélhoz közel kisebb, mint a beton felszínén. Minél nagyobb a húzófeszültség a betonacélban, annál dominánsabb ez a különbség (12. ábra).

4.2 Husain, Ferguson (1968)

Hajlított vasbeton gerendákon különböző betonfedések mellett vizsgálták a repedéstágasságot a beton illetve a betonacél

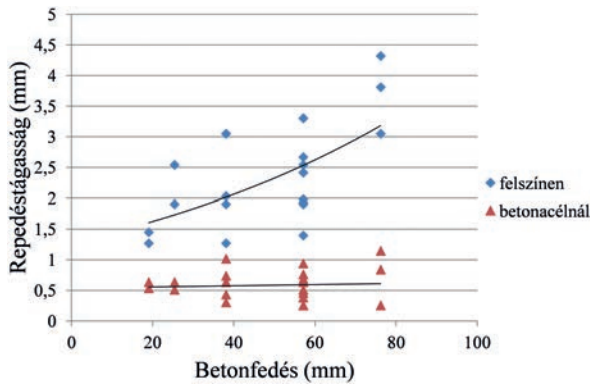
felületén. A repedéseket epoxigyantával injektálták, majd a betonacél tengelyével párhuzamosan felválták a próbatesteket.

Megállapították, hogy a betonacél felülete mellett mért repedéstágasságok közel állandóak, nem függenek a betonfedés mértékétől (azonos betonacél húzófeszültség esetén). A beton felületén mért repedéstágasságok a betonfedés növelésével nagyobb értéket mutatnak, azonban a kettő közötti összefüggés nem lineáris (13. ábra).



12. ábra Repedéstágasság betonfedésen belül különböző feszültségszinteken; #8=25,4 mm átmérőjű betonacél; 1 in=25,4 mm; 1000lb/sqin=6.89 MPa (Broms, 1965)

Fig. 12. Crack width related to the distance from reinforcement at different stress (Broms, 1965) (#8 bar=25.4 mm diameter bar; 1 in=25.4 mm; 1000 lb/sqin=1 kips=6.89 MPa).



13. ábra Repedéstágasság a betonacél mellett, illetve beton külső felületén (Husain, Ferguson, 1968 alapján)

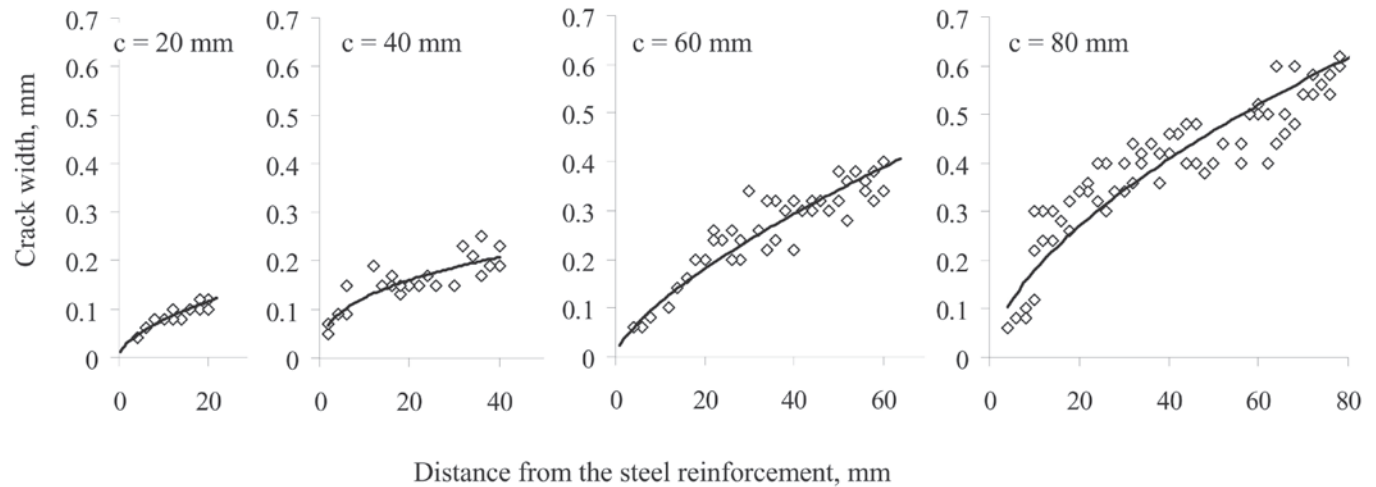
Fig. 13. Crack width at concrete surface and at reinforcement related to the concrete cover (based on Husain, Ferguson, 1968)

4.4 Az eredmények értékelése

A bemutatott szakirodalmi megfigyelésekből megállapítható, hogy a betonacél felületén és a beton külső felszínén mért repedéstágasságok között, ha van összefüggés, az nem lineáris. Ez magyarázattal szolgálhat a felületi repedéstágasság és a korrózió közti egzakt összefüggés hiányára.

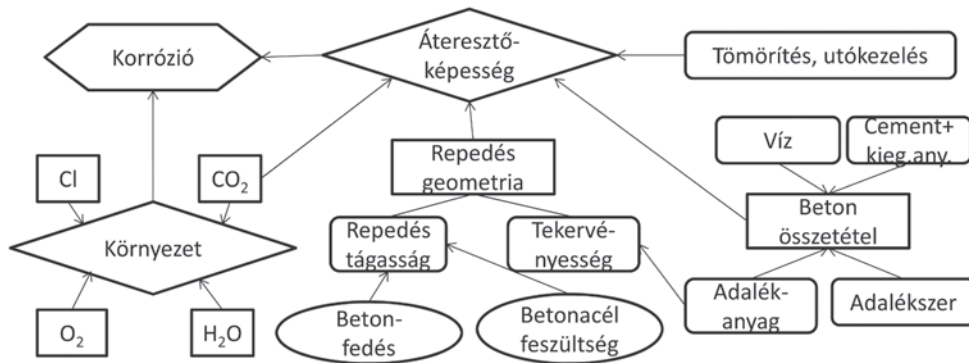
A bemutatott szakirodalmi adatok alapján megállapítható, hogy a betonacél korrózió egy összetett folyamat, melyet számos tényező befolyásol (15. ábra). Ezek egyike a környezetben található, a korróziót elősegítő anyagok (oxigén, víz, klórion és széndioxid) koncentrációja, melyek az egyensúly elérése érdekében a beton belseje felé vándorolnak a cementkő kapillaris pórusain keresztül. Másik fontos tényező a beton átteresztőképessége, mely döntően befolyásolja, hogy előbbi anyagok mennyi idő alatt érik el a betonacélt. Az átteresztőképesség függ a beton összetételétől, a tömörítéstől, az utókezeléstől, a beton korától valamint a repedések jelenlététől és geometriájától.

Korlátozott számú tanulmány áll rendelkezésre a repedés geometriáról és ennek az átteresztőképességre és korrózióra gyakorolt hatásáról. Akhavan et al (2012) habarcs próbatestek vízátteresztő képességét tanulmányozták repedések jelenlétében. Vizsgálták a repedéstágasság, tekervényesség és repedés érdesség hatását és úgy találták, hogy ezen paraméterek mindegyikének ismerete szükséges a megszilárdult habarcs átteresztőképességének meghatározásához. Feltételezhető tehát, hogy



14. ábra Repedéstágasság változása betonfedésen belül, különböző betonfedések mellett (Borosnyói, Snóbli, 2010)

Fig. 14. Crack width variation within concrete cover, 20, 40, 60 and 80 mm covers (Borosnyói, Snóbli, 2010)



15. ábra Betonacél korrózióját befolyásoló tényezők

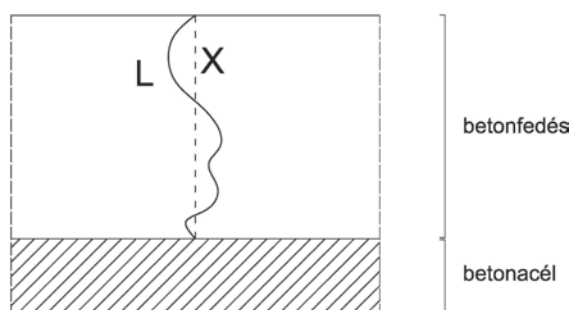
Fig. 15. Influencing factors of corrosion of embedded steel

a repedés geometriájának tanulmányozása közelebb vezet a korróziós folyamatok megértéséhez, mint pusztán a felületi repedéstágasság mérése.

5. Repedés geometria

Egy repedés tekervényessége azt fejezi ki, hogy a repedés mentén kijelölt kezdőpontot és végpontot összekötő egyenes (X) és a repedés tényleges hossza (L) hogyan aránylik egymáshoz (16. ábra). A tekervényesség számításához a szakirodalom nem ad meg egyetlen pontos képletet, ezért általában úgy választják meg, hogy a vizsgált tulajdonsághoz illeszkedjen. Akhavan et al (2012) a húr-ív hányados négyzetét használták (6), mely az általuk vizsgált vízáteresztő képesség kísérleti eredményekkel jól összefüggésbe hozható volt.

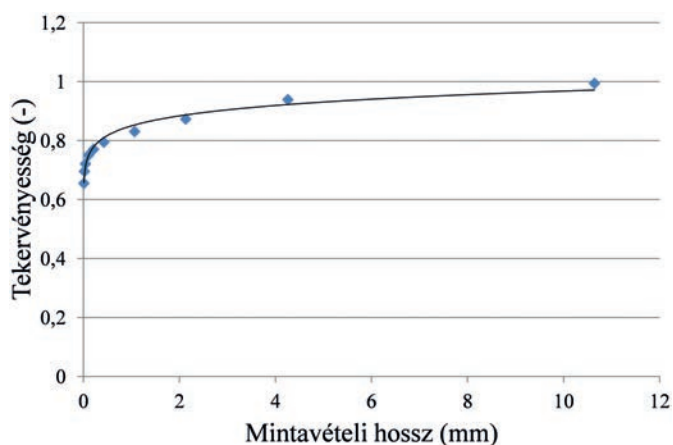
$$\tau = \left(\frac{X}{L}\right)^2 \quad (6)$$



16. ábra Repedés tekervényességének elvi ábrája
Fig. 16. Schematic image of crack tortuosity

Célszerű lehet a korrózióra gyakorolt hatás vizsgálatához a felületi repedéstágasság mellett a tekervényességhez hasonló geometriai paramétereket is bevezetni, azonban egy repedés tekervényessége különbözhet betonban és habarcsban. Betonokban a nagyobb adalékanyag szem nagyság tekervényesebb repedéseket eredményezhet a habarcsban megfigyelhetőhöz képest. A 17. ábra egy húzott vasbeton elem képét mutatja (a kísérlet részletei: Nagy, 2013), melyen jól látható a nagyobb méretű adalékanyag szemek hatása a repedés geometriájára.

A tekervényesség mérőszáma függ a mintavételi hosszától, melynek segítségével a görbét szakaszokra osztjuk és a görbe hosszát az egyenes szakaszok hosszának összegeként határozzuk meg. A 18. ábrán egy húzott vasbeton próbatest repedésének tekervényessége látható (6) szerint számolva, különböző mintavételi hosszak függvényében. Megfigyelhető, hogy kis mintavételi hosszak esetében az eltérés jelentős lehet.



18. ábra Mintavételi hossz hatása a tekervényesség értékére
Fig. 18. Effect of sampling length on tortuosity

Célunk a repedés geometriájának további tanulmányozása és a korrózióval való összefüggés felderítése. További vizsgálatok szükségesek az optimális mintavételi hossz meghatározására a tekervényesség számszerűsítéséhez és az adalékanyag szem nagyság hatásának figyelembevételére.

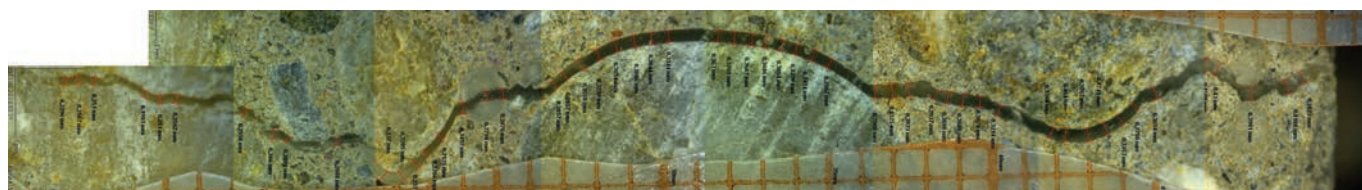
6. Következtetések

Szakirodalmi megfigyelések alapján a következő megfigyelések tehetőek:

- nincs határozott összefüggés a betonacél korrózió és a beton külső felületén mért repedéstágasság között;
- a betonfedésben a kloridion koncentráció nem minden esetben nő a felületi repedéstágassággal;
- a beton külső felületén és a betonacél közvetlen közelében mért repedéstágasságok különböznek; a kapcsolat köztük a betonfedés függvényében nem lineáris;
- további paraméterek szükségesek a repedéstágasság korrózióra gyakorolt hatásának leírásához;
- javasolt a repedés geometriának részletes tanulmányozása, befolyásoló tényezőinek és a beton áteresztőképességére gyakorolt hatásának felderítésére.

7. Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA K 109233 nyilvántartási számú „Durability and performance characteristics of concretes with novel type supplementary materials” című kutatás támogatásáért.



17. ábra Digitális felvétel betonfedésen belüli repedésről
Fig. 17. Scanned image of a crack within concrete

Hivatkozások

- [1] Andrade, C., Muñoz, A., Torres-Acosta, A. (2010) Relation between crack width and corrosion degree in corroding elements exposed to the natural atmosphere, *Korea Concrete Institute*
- [2] Akhavan, A. – Shafaatian, S. – Rajabipour, F. (2012): Quantifying the effects of crack width, tortuosity, and roughness on water permeability of cracked mortars, *Cement and Concrete Research*, Vol. 42, pp. 313-320. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.10.002>
- [3] Berke, N. S. – Dellaire, M. P. – Hicks, M. C. – Hoopes, R. J. (1993): Corrosion of Steel in Cracked Concrete. *Corrosion*, Vol. 49, No. 11, pp. 934-943. <http://dx.doi.org/10.5006/1.3316020>
- [4] Borosnyói, A. – Snóbli, I. (2010): Crack width variation within the concrete cover of reinforced concrete members, *Építőanyag-JSBCM*, 2010, Vol. 62, No. 3, pp. 70-74. <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2010.14>
- [5] Broms, B. (1965): Crack width and crack spacing in reinforced concrete members, *ACI Journal*, 1965, Vol. 62, No. 10, pp. 1237-1256. <http://dx.doi.org/10.14359/7742>
- [6] Djerbi, A. – Bonnet, S. 2 Khelidj, A. – Baroghel-Bouny, B. (2008): Influence of traversing crack on chloride diffusion into concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 38, pp. 877-883. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.10.007>
- [7] Husain, S. I. – Ferguson, P. M. (1968): Flexural Crack Widths at the Bars in Reinforced Concrete Beams. *Center for Highway Research*, The University of Texas at Austin, Research Report No. 102,1F
- [8] Nagy, R. (2013): Structural cracking of reinforced concrete members, *Second Conference of Junior Researchers in Civil Engineering*, 17-18 June 2013, Budapest, Hungary, pp. 136-141.
- [9] Otieno, M. B. – Alexander, M. G. – Beushausen H. D. (2009): Corrosion propagation in cracked and uncracked concrete, *2nd International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting*, Taylor & Francis Group, London
- [10] Rehm, G. – Nuernberger, U. – Neubert, B. (1988): Chloridkorrosion von Stahl in gerissenem Beton – Untersuchungen an der 30 Jahre alten Westmole in Helgoland, *Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton*, Beuth, Berlin, 1988, 390, pp. 43-144
- [11] Rodriguez, O. G. 2 Hooten, R. D. (2003): Influence of Cracks on Chloride Ingress into Concrete, *ACI Materials Journal*, Vol. 100, No. 2, p. 120-126. <http://dx.doi.org/10.14359/12551>
- [12] Sagiús, A. A. – Kranc, S. C. – Presuel-Moreno, F. – Rey, D. – Torres-Acosta, A. – Yao, L. (2001): Corrosion Forecasting for 75-Year Durability Design of Reinforced Concrete, *Final Report No. BA502* submitted to Florida Department of Transportation by University of South Florida, December 31, 2001.
- [13] Jang, S. Y. – Kim, B. S. – Oh, B. H. (2011): Effect of crack width on chloride diffusion coefficients of concrete by steady-state migration tests, *Cement and Concrete Research*, Vol. 44, pp. 9-19. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.08.018>
- [14] Schießl, P. – Raupach, M. (1997): Laboratory studies and calculations on the influence of crack width on chloride-induced corrosion in concrete, *ACI Materials Journal*, Vol. 94, No. 1, pp. 56-61. <http://dx.doi.org/10.14359/285>
- [15] Vidal, T. – Castel, A. – Francois, R. (2004): Analyzing crack width to predict corrosion in reinforced concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, pp. 165-174. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00246-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00246-1)

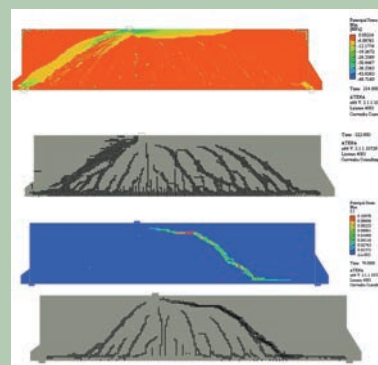
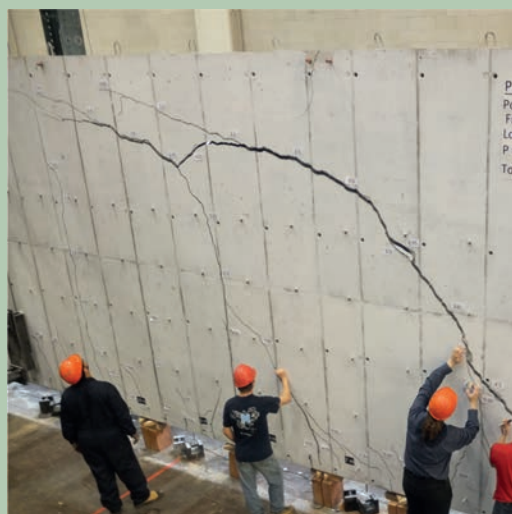
Ref.:

Nagy, Réka Anna – Dr. Borosnyói, Adorján: *Beton repedéstágassága és a betonacél korrózió összefüggése*
Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials, Vol. 68, No. 1 (2016), 6–13. p.
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2016.2>

SHORT NOTE

Predicting the Shear Strength of Very Thick Slabs: ATENA Software of Červenka Consulting was the winner of the contest among 66 participants from several continents

University of Toronto team headed by Prof. Michael Collins and Prof. Evan Bentz engaged at an experiment investigation of a large slab element. With dimensions of the specimen, 4 m deep and 21 m span, it is the largest shear test ever done. Before testing, the data were distributed worldwide, and more than sixty participants submitted their predictions. Vladimír Červenka and his team predicted the failure loads with less than 10% error. With respect to location of failure, Červenka and his team submitted the most accurate prediction. Červenka Consulting was declared as the winner of the contest among 66 participants from several continents. Considering the uncertainties involved in a brittle type of concrete failure the results are very satisfying.



More information:

Collins, M. P., Bentz, E. C., Quach, P. T., Proestos, G. T. (2015) The Challenge of Predicting the Shear Strength of Very Thick Slabs. *Concrete International*, Vol. 37, No. 11, pp. 29-37.



**ČERVENKA
CONSULTING**
www.cervenka.cz