

FRP BETÉTEK ALKALMAZÁSA BETONSZERKEZETEKHEZ A VILÁGBAN

1. RÉSZ – FRANCIA MEGKÖZELÍTÉS



Somlai Bálint - Dr. Balázs L. György - Dr. Sólyom Sándor

<https://doi.org/10.32969/VB.2024.2.3>

A szálerősítésű polimerek (FRP – Fibre Reinforced Polymer) építőmérnöki használata, azok kedvező tulajdonságainak köszönhetően egyre elterjedtebb. Ezzel egy időben a használatukkal, viselkedésükkel és tulajdonságaikkal kapcsolatos kutatások eredményei egyre átfogóbb képet adnak róluk. Széleskörű tapasztalat hiányában azonban nehéz kiválasztani a tervezéshez szükséges információt. Ebben segítségül szolgálhatnak a különböző munkacsoportok által kiadott jelentések, ajánlások. Ezekre több példa létezik az FRP betétek felhasználásával (FRP erősített) szerkezetekre vonatkozóan, többek között francia, japán és kanadai kutatóktól. Jelen cikksorozat ilyen dokumentumokat hasonlít össze, azok tartalma és filozófiája szerint. Ezek a Francia Építőmérnök Egyesület (AFGC – Association Française de Génie Civil), a Japán Előfeszített Beton Intézet (JPCI – Japan Prestressed Concrete Institute) és a Kanadai Szabványügyi Testület (CSA – Canadian Standards Association). Az összehasonlítás célja, hogy összefoglalja és bemutassa a szakirodalomban elérhető méretezéssel kapcsolatos ajánlásokat, azok részleteit és vonatkozásait. Ezen cikk a kiadó szervezetek bemutatását, valamint az AFGC dokumentum leírását tartalmazza.

Kulcsszavak: FRP, használati hőmérséklet, környezeti osztály, kúszás, fáradás, tervezés, ULS, SLS

1. MŰSZAKI AJÁNLÁSOKAT, SZABVÁNYOKAT KIADÓ SZERVEZETEK

Az első bemutatott anyag a francia AFGC által 2023-ban kiadott (AFGC, 2023) FRP betétek vasbetonban történő alkalmazását áttekintő műszaki ajánlás. A mű kijelentett célja, hogy a francia mérnökök számára útmutatást adjon az FRP használatára és tervezésére. Az ajánlást kiadó testület egy Franciaországban és azon kívül élő építőmérnököket összefogó szervezet, amely jelenleg nyolc munkacsoportba szerveződve folytat kutatási tevékenységet. Ezek a csoportok, más szervezetekhez hasonló módon egy-egy témával kapcsolatban publikált tudományos eredmények alapján adnak ki műszaki ajánlásokat és tudományos munkákat. A tárgyalt mű, az FRP betétek (belső armatúraként) beton szerkezetekben való alkalmazását vizsgáló munkacsoport záró munkája volt, francia és angol nyelven is megjelent. A szervezet továbbá partnere több nemzetközi társaságnak, mint a *fib* (International Federation for Structural Concrete), a RILEM (International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures) vagy az ACI (American Concrete Institute).

A második ajánlás a japán JPCI által 2021-ben kiadott ajánlás (JPCI, 2021) – amely szintén megjelent angol nyelven is – FRP betét erősített vasbeton szerkezetek építéséhez és tervezéséhez. A mű célja, hogy frissítse a Japán Építőmérnöki Társaság (JSCE – Japan Society of Civil Engineers) által 1996-ban kiadott műszaki ajánlást, ami a tárgyalt mű kiadásáig használatban volt Japánban. A JPCI a Japánban széles körben

használt előfeszített beton szerkezetek biztonságával és fejlődésével foglalkozó testület. Munkájuk tudományos eredmények rendszerezésén és publikálásán kívül kiterjed, szabványosításra, konferenciák szervezésére és a japán „Prestressed Concrete Engineer” (feszített beton készítésével foglalkozó mérnök) és „Concrete Structure Diagnostician” (Beton szerkezet diagnosztika) képzések igazolásának folyamatában is részt vesznek. A szervezet továbbá tagja a *fib*-nek.

A harmadik bemutatott mű a kanadai CSA által kiadott szabvány (CSA, 2012), ami az FRP betétekkel készülő betonszerkezetek építését és tervezését szabályozza. A szabvány első verziója 2002-ben került kiadásra és azóta bővült későbbi kiadásokkal. A tárgyalt változat 2012 márciusában került kiadásra és a cikk írásakor a jelenlegi legfrissebb. A Kanadai Szabványügyi Testület egy nemzetközileg is tevékenykedő szervezet, ami szabványosítással, vizsgálatokkal és minősítéssel foglalkozik Kanadán kívül az Egyesült Államokban, Európában és Ázsiában. Alapításkor (1919) kiadott első szabványuk óta 3000 szabványt és ajánlást publikáltak számos területen.

2. FRANCIA MEGKÖZELÍTÉS: RECOMMENDATIONS FOR THE USE OF FRP REBARS FOR REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Az AFGC által kiadott műszaki ajánlást a legújabb a felsorolt dokumentumok közül, valamint a legrelevánsabb a magyar

építőmérnöki gyakorlat számára, mivel sok tekintetben támaszkodik az Eurocode szabványsorozatra. Ezen felül, mivel a jelenleg megújulás alatt álló Eurocode 2 egyik függeléke az FRP betétekkel készülő betonszerkezetekkel foglalkozni. Ezen ajánlás jelenleg az egyik legújabb és átfogóbb európai – FRP betétekkel foglalkozó – dokumentum, amely megközelítőleg 260 oldal terjedelmű, hat fejezetből és öt függelékkel áll.

3.1. FRP betétek alapvető tulajdonságai

Az első fejezet az FRP armatúrák általános tulajdonságait, az alkotó anyagokat, felületi kialakítást és gyártástechnológiát, valamint a fizikai tulajdonságait írja le. A fizikai tulajdonságok között a sűrűség, mikrostruktúra és a hőmérsékletfüggő tulajdonságok kerülnek ismertetésre. A mechanikai tulajdonságok a húzott, nyomott betétek tulajdonságai, szilárdsági paraméterek, rugalmassági modulus és tönkremenetelhez tartozó alakváltozás. Ezek mellett a keresztirányú és interlamináris nyírószilárdság, valamint a hajlított viselkedést is elemzi. A beton és FRP betétek együttműködése, mind pedig a hajlított elemek teherbírása is itt kerülnek említésre. Ezek a betonban való tapadás, a toldási és lehorgonyzási kialakítások teherbírása és a hajlított betétek tulajdonságai. A felsoroltak egy része az acélbetétekénél is jellemző tulajdonság, mások az anyagi különbségből és a felépítésük (polimerbe ágyazott szálak – homogén elem) különbségből adódóan eltérőek. A legtöbb felsorolt tulajdonság mellett táblázat mutatja a jellemző szálanyagokra (GFRP – üvegszál erősített polimer, BFRP - bazaltszál erősített polimer, AFRP - aramiduszál erősített polimer és CFRP - szénuszál erősített polimer) és átmérőkre megadott értékeket, mint az alább látható táblázatban (1. táblázat) felsorolt szilárdsági értékek, valamint javasolt szabványos mérési eljárásokat.

Ezek egy része – mint a hajlított betétek szilárdságának a mérése – nem jellemző acélbetétek esetén. Ezen mérési eljárások nagyrészt ISO (International Organization for Standards) és ASTM (American Society for Testing and Materials) szabványokból származnak. A tesztek elvégzéséhez ajánlott beállításokat is tartalmaz az dokumentum.

3.2. FRP betétek tartóssága és tűzállósága

A második fejezet a tartósságot és a hőmérsékletváltozások hatását tárgyalja. Az FRP betétek tartóssága fontos kérdés, amit

1. táblázat: A különböző átmérőjű és szálanyagú FRP betétek ajánlott minimálisan figyelembe vehető szilárdsága (AFGC, 2023)

Névleges átmérő ØFRP [mm]	Névleges keresztmetszeti terület AFRP [mm ²]	Minimális szakítószilárdság		
		GFRP/BFRP	AFRP	CFRP
6	28,3	900	1400	1700
8	50,3	850	1400	1700
10	78,5	850	1400	1700
12	113	800	1100	1500
13*	132	800	1100	1500
14	154	800	1100	1500
15*	176	800	1100	1500
16	201	800	1100	1500

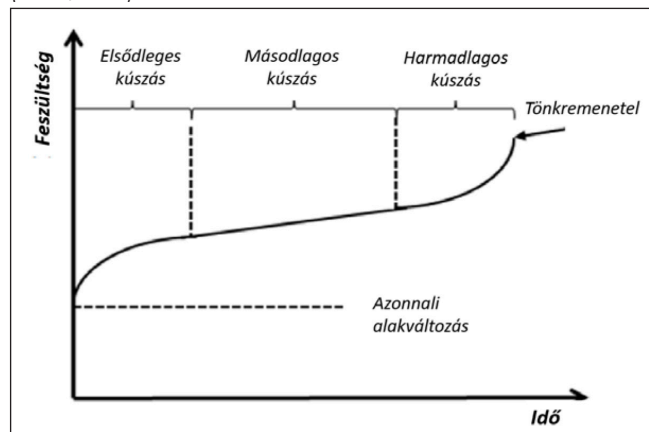
*: Névleges átmérő Amerikai szabványok alapján

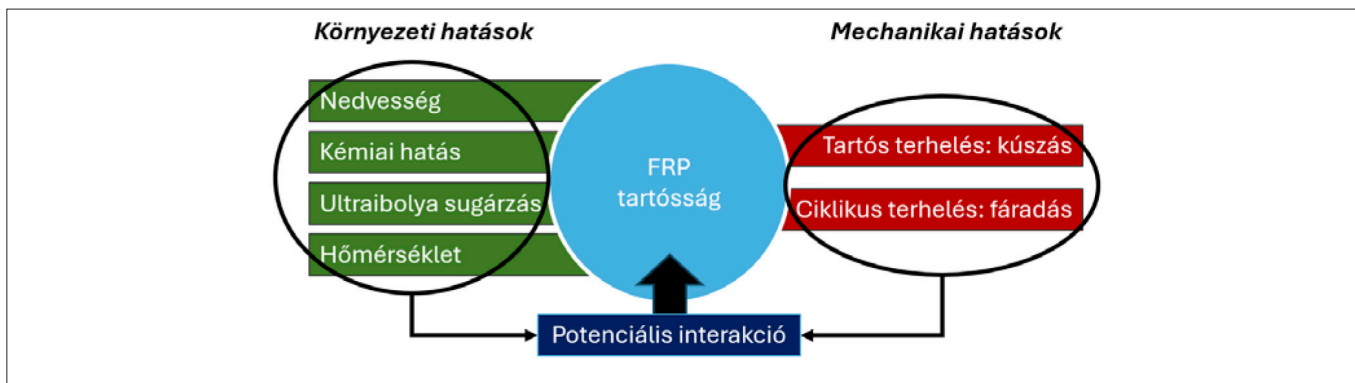
a tervezés során szükséges figyelembe venni. Több olyan hatás is van, ami a tartósságot befolyásolja, így figyelmet igényelnek. A fejezet első része felsorolja a legfontosabb hatásokat, amelyek az FRP betétek tartósságát befolyásolhatják. Ezek közül az első a nedves közeg hatása, amely az FRP betét anyagainak függvényében különböző mértékben lehet károsító hatással a befoglaló ágyazóanyag vagy a szálakra. A hatások a mátrix repedezteté válásával vagy szilárdságcsökkenéssel járhatnak. Ezen folyamatokat, valamint azok kémiai hátterét írja le az ajánlás és figyelmeztet, hogy a hatások esetekben a nedves környezetbe kerülés után több hónappal is jelentkezhetnek. A második tárgyalt hatás az alkáli környezetek károsító hatása egyes polimer mátrixokra. A beton lúgos környezetében így egyes polimereket használata nem javasolt. A pontos kémiai folyamat és az érintett polimer típusok leírásra kerülnek. Ezek mellett az ajánlás leírja az egyes üvegszálak (pl. E-Glass) leromlását ilyen környezetben továbbá, hogy az milyen körülmények között jelent problémát. A harmadik hatás állandó terhelés hatására kialakuló kúszás, ami a polimerek viskoelasztikus természetéből adódik és az ebből következő kúszási szakadási tönkremenetel lehetősége. Ennek időbeni alakulását az alábbi ábra (1. ábra) szemlélteti.

A kúszási tönkremenetel az FRP betétek kvázi állandó teher szinten – amely a statikus szakítószilárdság mértékénél kisebb igénybevételt vált ki – való tönkremenetelét jelenti, így kifejezetten nagy figyelmet kell rá fordítani. Az ajánlás leírja az FRP betétek kúszási viselkedését és a szakadást is, azonban az ezt figyelembe vevő szorzó tényezők későbbi fejezetekben találhatóak. Következő a fáradási viselkedés, amelynek rövid leírásán után, részletesebben később foglalkozik az ajánlás. Felhívja azonban a figyelmet, hogy míg húzott ciklikus terhelés esetén az FRP betétekre nem jellemző a fáradás, nyomott ciklikus terhelésre érzékenyebbek, mint az acél. Ezek után az ajánlás felhívja a figyelmet a különböző hatások lehetséges interakciójára (szinergia), amit az alábbi ábra (2. ábra) mutat be, de ezek számszerűsítését nem teszi.

A fejezet második része az FRP betétek tartósságának kísérleti vizsgálatát mutatja be a kúszást, fáradást, alkáli környezetet és ezek kölcsönhatásait figyelembe véve. A bemutatott vizsgálati eljárások az ACI, fib, ISO és CSA szabványokra támaszkodnak. A húzási fáradás vizsgálatot az ajánlás az acélok esetén is használt S-N görbék alapján javasolja végezni, definiálja a görbék előállításának módját. Összehasonlításra kerül az ISO és CSA szabványok ajánlása a fáradás vizsgálatok elvégzésére, majd az ajánlás is meghatároz javasolt vizsgálati beállítás értékeket, valamint fáradási ellenállás

1. ábra: Az FRP betétek kúszási szakadás jelenségének időbeli lezajlása (AFGC, 2023)





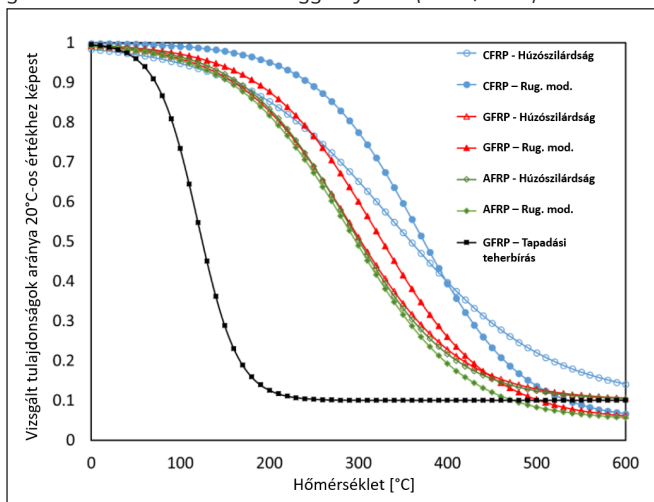
2. ábra: Az FRP elemek tartósságát befolyásoló környezeti és mechanikai hatások (AFGC, 2023)

értékeket javasol egyes száltípusokra. A kúszási viselkedés vizsgálata a fáradáshoz hasonlóan leírásra kerül. Az ISO és CSA szabványok összehasonlítása után javasolt vizsgálat beállítási értékek találhatóak, majd az ajánlott kúszás ellenállás húzószilárdság függvényében. Az alkáli környezet hatásának vizsgálatát két részre osztja az ajánlás, az első részben a terhelés nélküli, majd a mechanikai terheléssel egyidejű végzett vizsgálatot írja le az ajánlás. Az vizsgálatok két szakaszból állnak. Az elő szakaszban az betétek alkáli környezetbe kerülnek elhelyezésre, majd a második szakaszban mechanikai vizsgálatok következnek. történnek. Itt az ISO, CSA és ASTM (ACI) szabványok kerülnek összehasonlításra, majd javasolt értékek olvashatóak a bázikus környezet kialakításához, mint a pH javasolt szintjének beállítása, oldat összetétel vagy alkalmazandó próbatestek. Ezután a terheléssel egyidejű alkáli terhelés vizsgálat kerül bemutatásra, aminek esetén az ajánlás kizárólag a CSA szabványra (CSA S807-19, CSA S806-12) (CSA, 2012; CSA, 2019) támaszkodik, annak ajánlott értékeit és elvárt kimeneteli értékét veszi át.

A fejezet harmadik része a használati hőmérséklet tartománnyal, valamint a tüzeseti viselkedéssel foglalkozik. A használati hőmérséklet tartományra rövid leírás után meghatározott anyagfüggő maximális határértékek találhatóak. Az ajánlás 27°C fölötti várható éves átlag hőmérséklet esetén javasolja az FRP betétek mechanikai és fáradási felülvizsgálatát. Az FRP betétek viselkedése az acélhoz hasonlóan nagyban függ a betonfedéstől. Az ajánlás ábrán (3. ábra) mutatja be a különböző anyagú FRP betétek szakítószilárdságának és rugalmassági modulusának változását hőmérséklet függvényében.

Említés esik az szál-mátrix kapcsolat viselkedéséről, ami a szilárdságnál sokkal alacsonyabb hőmérsékleten károsodik.

3. ábra: Különböző száanyagú FRP betétek mechanikai tulajdonságainak leromlása hőmérséklet függvényében (AFGC, 2023)



Ezután bemutatásra kerülnek a létező tervezési metodikák, majd a javaslatok, amik az acéllal erősített beton szerkezetek tüzeseti tervezésének adaptációi. Azonban fontos módon megjegyzésre kerül, hogy a szerzők szerint további kutatásra van szükség a területen. A fejezet egy irodalom összefoglalással és egy összefoglaló táblázattal zárul.

3.3. FRP betéteket alkalmazó beton szerkezetek tervezése

A harmadik fejezet az FRP betéttel erősített beton szerkezetek tervezéséről szól. A fejezet tizenegy alfejezetből áll, amelyek a tervezés fontosabb kategóriáival foglalkoznak. Az első tárgyalt téma a betonfedés, amelynek meghatározását az Eurocode (AFNOR, 2005; AFNOR 2006) szabványokra alapozzák, de figyelembe veszik, hogy az FRP betétek kevésbé érzékenyek a környezeti hatásokra. Így egy egyszerűsített eljárást javasol az ajánlás. Az ehhez tartozó szilárdsági szorzók táblázata az 2. táblázatban látható.

A második téma az FRP betétek tulajdonságainak tervezési értékei húzó igénybevételek esetén. A tervezési húzószilárdságot annak karakterisztikus értékéből parciális biztonsági tényezővel, valamint környezeti tényezővel javasolja számítani az ajánlás. A tényezők értékeit itt olvashatjuk, a környezeti tényező esetében száltípusok és környezeti kitéti osztályok függvényében. Itt említésre kerül, a 100 éves szilárdsági érték, ami kísérletek alapján extrapolált érték és a feltételezett környezet károsító hatását veszi figyelembe.

A harmadik téma a hajlított keresztmetszet teherbírási vizsgálata. Ebben az ajánlás szintén az Eurocode 2-re (NF EN 1992) támaszkodik, abból veszi át az alap feltételezéseit, így a keresztmetszet egyensúlyának, a betétek arányának és a semleges tengely helyének számítása megegyezik az acélbetéttel erősített (vasalt) keresztmetszetével. Így kiszámolható az húzott zónában tönkremenetelt szenvedő és a nyomott zónában tönkremenetelt szenvedő esetekben a keresztmetszet ellenállásának tervezési értéke. Meghatározásra kerül a betétek minimális részaránya, aminek szerepe, hogy elkerüljük a rideg tönkremenetelt berepedéskor.

A negyedik téma hajlított keresztmetszet használhatósági határállapotban való vizsgálata. Az Eurocode alapján az ajánlás három kritériumot határoz meg, amelyek a feszültségek, illetve alakváltozások korlátozása és a repedések limitálása. Az ajánlás felhívja a figyelmet, hogy a feszültség kritérium általában a mértékadó. A használhatósági határállapot ellenőrzését lineárisan elasztikus állapotban kell ellenőrizni, mivel az FER elemek viselkedése lineárisan-elasztikus, rideg tönkremenetellel. A feszültségek ellenőrzését kváziállandó és karakterisztikus teherkombinációkra írja elő az ajánlás, majd bemutatja más

Környezeti osztály	Szál típus	α .FRP
X0	Szén	1
	Aramid	0,9
	Üveg	0,9
	Bazalt	0,9
XC, XD, XS, XF, XA	Szén	0,9
	Aramid	0,8
	Üveg	0,8
	Bazalt	0,8

2. táblázat: A környezeti kitéti osztályokhoz tartozó szilárdsági szorzók szálananyaganként (AFGC, 2023)

szabványok javaslatait. A többi szabvány feszültség korlátozási tényezői után a szerzők által javasolt értékek láthatóak, (4. ábra) teheresetekre és szál típusokra külön.

Megjegyzésre kerül, hogy a betonban fellépő feszültségeket az Eurocode által meghatározott mértékben kell limitálni. Ezek után egy téglalap keresztmetszetű, hajlított, axiális tehermentes gerenda esetére le van vezetve a feszültségek számítása. A lehajlások korlátozására az Eurocode-ból adoptált, olasz CNR-DT 203/2006 (CNR, 2006) ajánlásra támaszkodnak a szerzők, a lehajlás számítására képlet, valamint annak korlátozása támaszköz/250-ben olvasható. A repedések megnyílásának korlátozására, az FRP betétek korróziómentességére hivatkozva X0 kitéti osztály esetén 0,7 mm-t, minden más kitéti osztály esetén 0,5 mm-t ír elő. Az ellenőrzést magaspíntési szerkezetekre (lakóépületek, parkolók, stb.) kváziállandó, míg építőmérnöki műtárgyakra (hidak, támfalak, stb.) gyakori teherkombinációval kell ellenőrizni. A repedéstágasság számítására itt található útmutatás. Itt kerül leírásra a betétek minimális és maximális aránya és az FRP betétek közötti minimális és maximális távolság. Az ajánlás FRP betétek csoportjának alkalmazását itt három darabban maximalizálja. Alább látható a hajlított keresztmetszet ULS (Teherbírási határállapot) és SLS (használhatósági határállapot) határállapotok tervezési folyamatábrája (5. ábra).

Az ötödik téma a nyírási teherbírás ellenőrzése. Az általános eljárás az Eurocode-ban alkalmazott eljárással azonos, attól az egyes esetek számításában tér el. Az első bemutatott eset, a nyírási betét hiánya. Az ellenállás számítására különféle szabványok által alkalmazott empirikus képletek bemutatása után olvasható az ajánlás által javasolt képlet. Ez az Eurocode-ban is alkalmazott, hagyományos tervezési képlet, FRP betétekkel való alkalmazásra adaptálva. A nyírószilárdság minimum értékének meghatározására az Eurocode 1992-1-1 francia függelékére (AFNOR, 2007; AFNOR, 2016) és a kanadai CSA S806-12 (CSA, 2012) szabványra hivatkozik. Annak értékét csak gerendák méretezésére javasolja, lemezek esetére

4. ábra: Az egyes használhatósági határállapotokban megengedett feszültségekhez tartozó szorzók (AFGC, 2023)

A kvázi-állandó SLS határállapot esetén ajánlott értékek:

- GFRP és BFRP betétek esetén: $k_{FRP,1}$: 0,25
- AFRP betétek esetén: $k_{FRP,1}$: 0,40
- CFRP betétek esetén: $k_{FRP,1}$: 0,60

A karakterisztikus SLS határállapot esetén ajánlott értékek:

- GFRP és BFRP betétek esetén: $k_{FRP,1}$: 0,55
- AFRP betétek esetén: $k_{FRP,1}$: 0,55
- CFRP betétek esetén: $k_{FRP,1}$: 0,70

tapasztalatok hiánya miatt nem ad utasítást. Abban az esetben, amennyiben nyírási betétek szükségesek, az ajánlás hajlított felkötő betéteket javasol alkalmazásra. Ezek felhajtási szögét a francia Eurocode 1992-1-1-el (AFNOR, 2005) megegyezően javasolják felvenni (6. ábra).

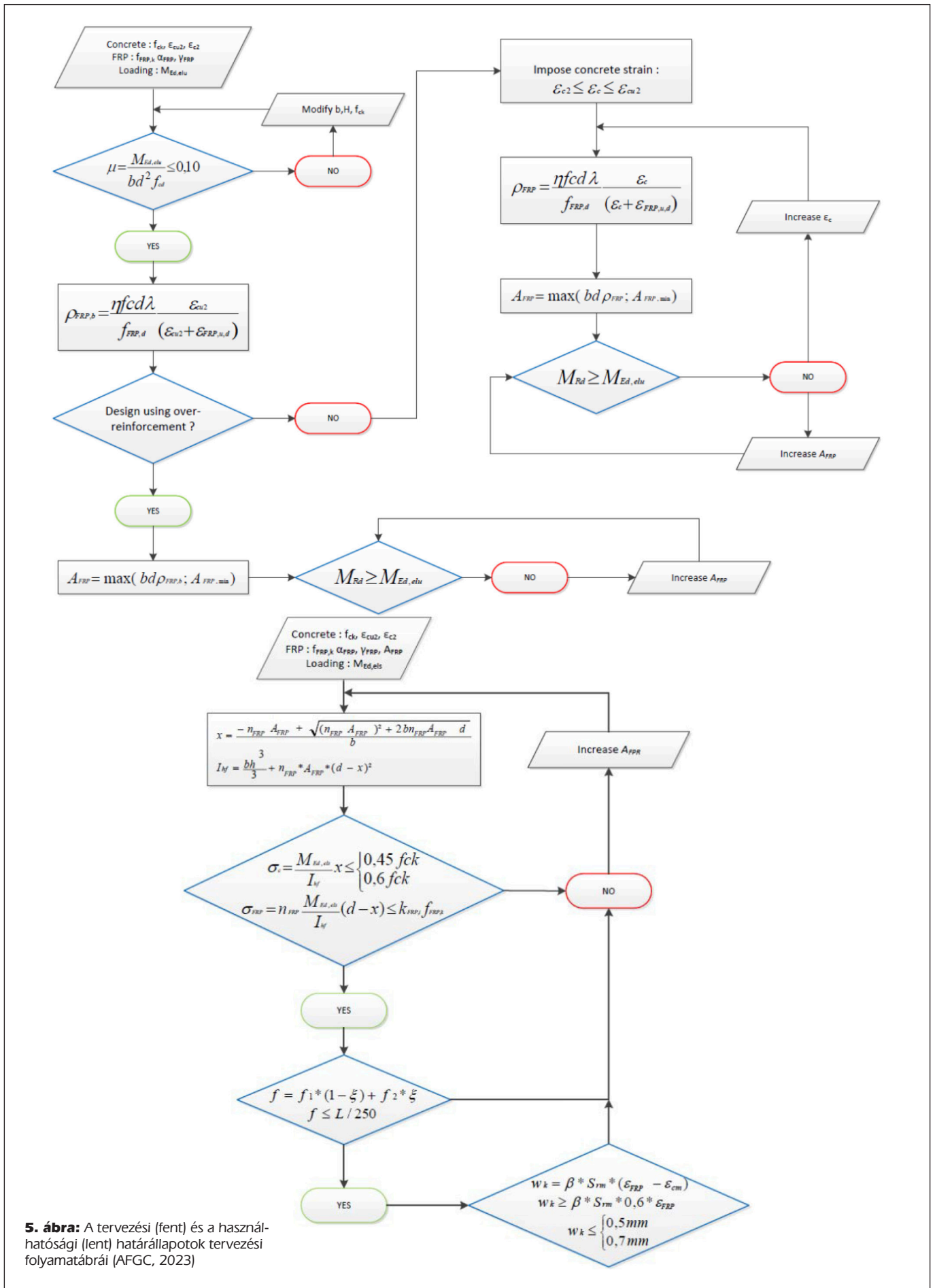
A nyírási betét által felvett nyíróerő számítására több, más ajánlások által javasolt képlet bemutatása után a szerzők által javasolt módszer látható. Ebben a hajlított betétek csökkentett szilárdságát, a rideg tönkrementelt, valamint a nagy alakváltozások miatti berepedés lehetőségét is figyelembe veszik. A nyomott beton övek maximális terhelhetőségére ajánlott képlet az Eurocode-dal megegyező. Mind a nyírási betét mennyiségének minimuma, mind azok kiosztásának maximuma meghatározásra kerülnek, az acél armatúrák esetével megegyezően. Az ajánlás kitér az eltérő időpontokban öntött betonok közti munkahézagnál jelentkező nyíróerőre. Az itt keletkező nyírófeszültség számításában az Eurocode képletét javasolja, az ajánlás itt tér ki a T keresztmetszetű keresztmetszetek esetén fellépő nyírásra (7. ábra), ami az övek és a gerinc csatlakozásánál alakul ki.

A hatodik tárgyalta téma az oszlopok ellenőrzése. A fejezet az oszlopok tervezésének és annak módszereinek rövid bemutatásával kezdődik. Itt egy általános, másodrendű hatásokat figyelembe vevő, és három egyszerűsített módszer mellett egy az Eurocode francia kiadásában található (AFNOR, 2005) egyszerűsített módszer is felsorolásra kerül. Az ajánlás egy nominális görbültre épülő módszert javasol FRP betétekkel erősített oszlopok ellenőrzésére, csak ez a módszer kerül bemutatásra később. Felsorolásra kerülnek a módszer alkalmazásának feltételei, majd az oszlop normálteher kapacitásának számítási képlete. A módszer csak tisztán nyomott, mindkét végén csuklós oszlopok esetén alkalmazható, a nyomott-hajlított oszlopok ellenőrzésére külön módszer kerül bemutatásra. A módszer menete folyamatábrán is látható (8. ábra).

A nyomott-hajlított oszlopok ellenőrzését részletező alfejezet, rövid irodalmi ismertetéssel kezdődik. A módszer az M-N interakciós görbe meghatározása, erre a lehetséges tönkrementeli módokhoz tartozó N és M értékek meghatározását javasolja az ajánlás, aminek használatát feltételekhez köti. Ezen feltételek az FRP betétekkel való számítás megfelelő adaptációjához szükségesek. Így a vizsgált oszlopon belül öt lehetséges állapot alakulhat ki a keresztmetszetekben, amelyekhez alakváltozási érték korlátok vannak rendelve mind a beton mind az FRP esetén. Ez után a normálerő és hajlítási teherbírási értékek számítása van leírva. Az ajánlás a használhatósági határállapot esetével egyező módszert javasol, az ahhoz tartozó alakváltozási korlátok figyelembe vételével. Az alfejezet tartalmaz egy kidolgozott példát, amiben egy négyszög keresztmetszeten van bemutatva a számítás. A fejezet végén egy alfejezetben láthatunk részlet rajzokat. Itt vannak ajánlások minimális betétmennyiség alkalmazására, a betétek kiosztására és a kialakítás részleteire.

A fejezet hetedik témája az átszűrődással foglalkozik. A leírt folyamat nagyban egyezik az Eurocode szabványsorozat releváns előírásaival, a nyírásra vonatkozó fejezethez hasonlóan az FRP betétek alacsony nyírási ellenállását figyelembe véve. A fejezet az ellenőrzési számítások leírásán kívül tartalmaz javaslatokat a betétek kialakítására és elrendezésére is.

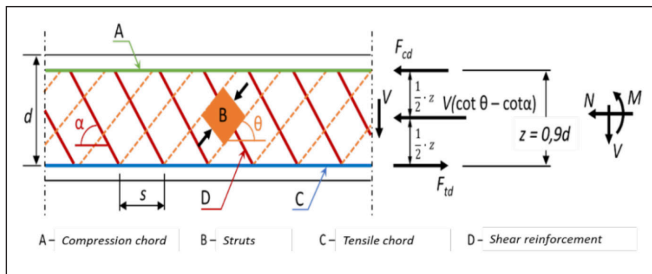
A nyolcadik téma a fáradási tervezéssel foglalkozik bővebben. A fejezet eleje a fáradásra vizsgálandó szerkezeti betétek leírásával kezdődik. Ehhez az Eurocode valamint annak francia függelékei által ellenőrzés alól felmenthetőnek ítélt szerkezeti



5. ábra: A tervezési (fent) és a használhatósági (lent) határállapotok tervezési folyamatábrái (AFGC, 2023)

elemeit listázza. A fáradás vizsgálatához az esetenként rendelkezésre nem álló Wöhler görbékre tekintettel egy egyszerűsített módszert is tartalmaz az ajánlás. Az általános módszer az acél

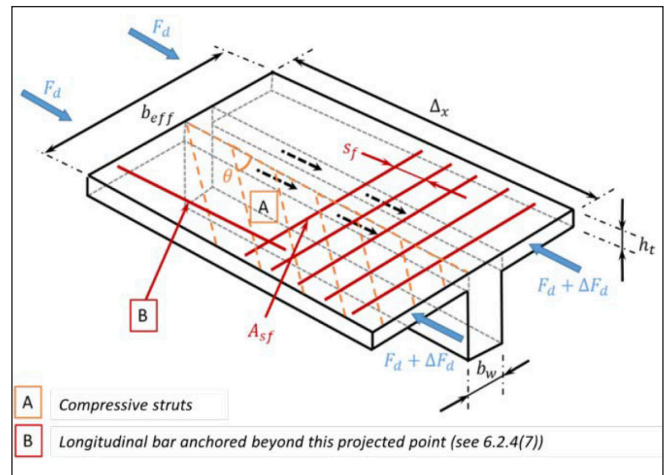
szerkezetek esetén is alkalmazottra épül, annak adaptációjával az FRP betétekre tekintettel. Az ehhez szükséges Wöhler görbék előállításához, szabványos görbék, és megfelelő kísérleti



6. ábra: A nyíróerő felvételének modellje az Eurocode 1992-1-1 alapján (AFGC, 2023)

adatok hiányában minden esetben laboratóriumi vizsgálatokat javasol az ajánlás. Az egyszerűsített módszer az elérhető legnagyobb feszültséget korlátozza használhatósági határállapotban, karakterisztikus teheresetben. Ezt egy száltípusonként megadott szorzóval teszi.

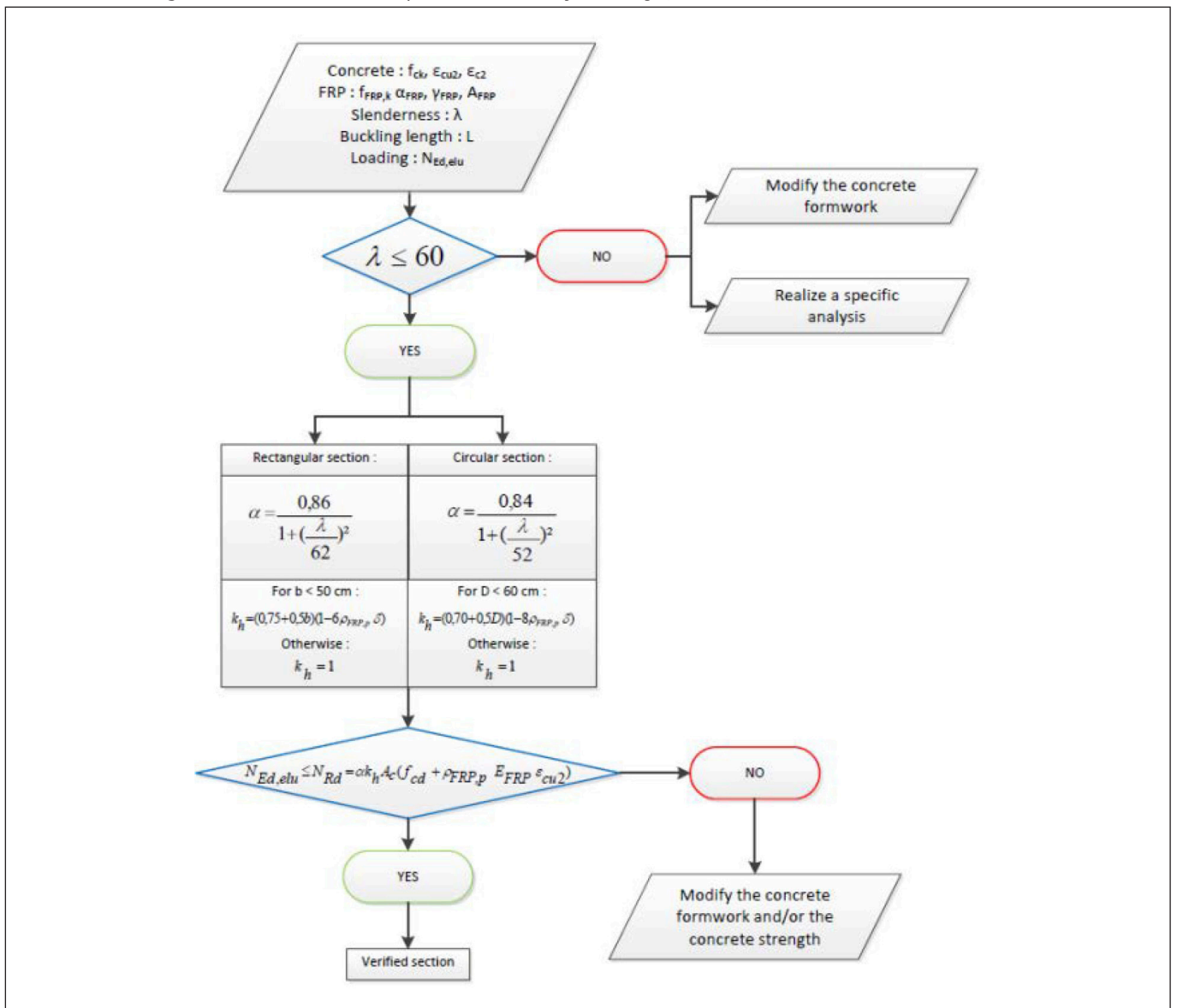
Az utolsó téma a szerkesztési szabályokkal foglalkozik. A lehorgonyzási hossz meghatározásához az ajánlás bemutatja az olasz CNR, a kanadai CSA és az amerikai AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) szabványokat és ajánlásokat. Ezekből a CSA ajánlást javasolják a szerzők, ami figyelembe vesz több változót, mint az FRP felületi kialakítása, annak száltípusa vagy a beton nyomószilárdsága. Ezt kiegészítve a hajlított betétek lehor-



7. ábra: Lemezzel együttdolgozó borda T keresztmetszetének ábrája EN 1992-1-1 alapján (AFGC, 2023)

gonyzásának tervezésére az ACI ajánlását fogadják el. A toldási hosszat az ajánlás a lehorgonyzási hossz és az betétek átmérője függvényében adja meg. Kikötés, hogy a toldások nem lehetnek olyan keresztmetszetben, ahol az betétben ébredő feszültség ULS határállapotban a szakítószilárdság karakterisztikus értékének 80%-át eléri. További javaslat, hogy CFRP betétek ne érintkezzenek acél betétekkel. Ennek oka, hogy elkerülhető

8. ábra: Mindkét végükön csuklós kialakítású oszlopok tervezésének folyamatábrája (AFGC, 2023)



legyen az elektrolitikus korrózió. Továbbá az AFRP betéteket védeni kell vizes környezetekben.

Az ajánlás egy kidolgozott példasorral folytatódik, amiben az előző részben tárgyalt tervezési elvek vannak bemutatva, három példán. Ezek egy T szelvényű tartó, egy támfal és egy garázs oszlopa. Ezt egy a minőségbiztosításról és kivitelezésről szóló rész követ, amit – mivel a tervezési témakörön kívül esik – csak megemlítünk. Végezetül az ajánlás egy rövid környezeti hatás vizsgálattal és konklúzióval zárul.

3. MEGÁLLÍPÍTÁSOK

Az FRP betétek alkalmazásának szabványosításával világszerte számos országban foglalkoznak szervezetek. Ezek közül vannak megjelent és kidolgozás alatt lévő szabványok és műszaki ajánlások. A Francia Építőmérnöki Egyesület által kiadott ajánlás:

- széles körben tárgyalja az FRP betéteket, a mechanikai tulajdonságoktól és a gyártástechnológiától kezdve a tervezésen és kidolgozott példákon át a minőségbiztosítás és környezeti hatásokig
- részletesen tárgyalja a tervezés lépéseit ULS és SLS határállapotokban is
- tárgyalt pontok hátterére is kitér, valamint összehasonlít egyéb szabványokat és ajánlásokat
- legfőképp az Eurocode, CSA és ISO szabványokra támaszkodik
- ahol nincsen megalapozott háttere, ott a biztonság javára konzervatív értékeket javasol
- közvetlenül támaszkodik tudományos eredményekre is
- tartalmaz kidolgozott mintaszámításokat, esettanulmányokat és összehasonlító tanulmányokat is

4. HIVATKOZÁSOK

AFGC (2023) *Recommendations for the use of FRP (Fibre Reinforced Polymer) rebars for reinforced concrete structures*. Párizs, Francia Építőmérnökök Egyesülete

AFNOR (2005) NF EN 1992-1-1, *Design of concrete structures - Part 1-1 General rules for buildings*. Párizs, Francia Szabványügyi Testület

AFNOR (2006) NF EN 1992-2, *Design of concrete structures - Part 2 : Concrete bridges Design and detailing rules*. Párizs, Francia Szabványügyi Testület

AFNOR (2007) NF EN 1992-2/NA, *Design of concrete structures - Part 2 : Concrete bridges Design and detailing rules - National annex to NF EN 1992-2:2006*. Párizs, Francia Szabványügyi Testület

AFNOR (2016) NF EN 1992-1-1/NA, *Design of concrete structures - Part 1-1 General rules for buildings - National annex to NF EN 1992-1-1:2005*. Párizs, Francia Szabványügyi Testület

CNR (2006). CNR-DT 203, *Guide for the design and construction of Concrete Structures Reinforced with Fibre-Reinforced Polymer Bars*. Róma, Nemzeti Kutatási Tanács

CSA (2012). CSA S806-12, *Design and construction of building structures with fibrereinforced polymers*. Toronto, Kanadai Szabvány Egyesület

CSA (2019). CSA S807-19, *Specification for fibre reinforced polymers*. Toronto, Kanadai Szabvány Egyesület

JPCI (2021) *Recommendation for Design and Construction of Concrete Structures Using Fibre Reinforced Polymer (FRP)* Tokió, Japán Feszítettbeton Intézet

Somlai Bálint okleveles építőmérnök, hídtervezőmérnök, PhD hallgató, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék. Fő érdeklődési területek: szálerősítésű polimerek szerkezeti alkalmazása, szerkezeti elemek teherbírásának növelése, numerikus modellezés, betonok kémiai ellenálló képessége. **fib** (Nemzetközi Betonszövetség) Ifjúsági Tagozatának tagja.

Dr. Balázs L. György (1958) okl. építőmérnök, mérnöki matematikai szakmérnök PhD, Dr. habil., egyetemi tanár, a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék. MTA műszaki tud. kandidátusa. Fő kutatási területei: beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek, roncslámentes vizsgálatok. Speciális betonok és betétek: szálerősítésű betonok (FRC), nem acélanyagú (FRP) betétek, megerősítések anyagai és módjai, HPC, UHPC, LWC. Tűzállóságra való tervezés, tűzállóság fokozása. Fagyállóság fokozása. Kémiai ellenállóképesség fokozása. Tartósság. Használati élettartam. Fenntartható építés. Erőátadás betonban, vasbeton tartók repedezettségi állapota. Fáradás. Lökésszerű terhelés. Nukleáris létesítmények. A fib (Nemzetközi Betonszövetség) elnöke (2011-2012), jelenleg tiszteletbeli elnöke. A fib Magyar Tagozat elnöke. Az Int. PhD Symp. in Civil Engineering alapítója. A **fib** Com 9 „Dissemination of knowledge” elnöke.

Dr. Súlyom Sándor okleveles építőmérnök, betontechnológus szakmérnök, PhD, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék. Fő érdeklődési területei: szálerősítésű polimer betétek alkalmazása, tapadása és lehorgonyzása betonban; szálak alkalmazása betonban, 3D betonnyomtatás, tartósság, fenntarthatóság. **fib** (Nemzetközi Betonszövetség) Magyar Tagozatának alelnöke, **fib** TG5.1 munkacsoport tagja, COM9 titkára.

FRP REINFORCEMENT TO CONCRETE STRUCTURES IN WORLDWIDE EXPERIENCES 1. – FRENCH APPROACH

Bálint Somlai - György L. Balázs - Sándor Súlyom

The use of fibre reinforced polymer continues to increase in popularity, as many organisations produce recommendations and standards regarding its use worldwide in many countries. It is of interest to study these, compare their contents and discuss what may be adopted to regulations in Hungary and, more broadly, in the European Union. Some of the relevant documents have been produced by the French Association of Civil Engineering (AFGC), the American Concrete Institute (ACI), the Canadian Standards Association (CSA) or the Japanese Prestressed Concrete Institute (JPCI). This series of articles presents these recommendations and standards as well as compares their contents.

Keywords: FRP, service temperature, environmental class, creep, fatigue, ULS, SLS