



Várdai Attila - Madaras Botond

DOI: 10.32969/VB.2019.1.3

A szabadidős sporttevékenységek világszerte egyre inkább elterjedtek, a területen rohamos fejlődés tapasztalható. A közelmúltban Európa-szerte jelentek meg újabb, összetettebb mozgásformák kipróbálását/gyakorlását lehetővé tevő létesítmények.

Hazánkban eddig leginkább kalandparkok létesültek, Via Ferrata útvonalak (ún. „vasalt utak”) csak elvétve épültek hegységeinkben, azonban a közeljövőben egy pályázati program keretében országsszerte várható új útvonalak megjelenése.

A Via Ferrata-k létesítési követelményeit tartalmazó EN 16869 jelű szabvány MSZ EN változatát a Magyar Szabványügyi Testület 2018-ban adta ki, angol nyelven. Az előírások újszerűsége és a terület mérnöktársadalom előtti ismeretlensége szükségessé teszi a főbb követelmények összefoglalását. Fontos, hogy a jövőbeni létesítmények tervezésébe esetlegesen bevont mérnökkollégák megfelelő műszaki felkészültség mellett végezzék a tervezéssel kapcsolatos feladatokat.

Jelen cikkünk a témával kapcsolatos figyelemfelhívás mellett igyekszik a terület megismeréséhez gyakorlati segítséget nyújtani.

Kulcsszavak: Via Ferrata, vasalt utak, kötélrendszer, nyírócsap, kőzet

1. BEVEZETÉS

Jelen cikkünkben a Via Ferrata útvonalak műszaki kialakításának főbb követelményeit ismertetjük. A Via Ferrata kiépített hegyi út, ahol a mászó előrehaladását előzetesen beépített tereptárgyak (létrák, kábelhidak) segítik és az útvonal az egyéni védőeszközök (*Personal Protective Equipment- PPE*) kikötését, akasztását lehetővé tevő biztosítókábelvel felszerelt. A szó olasz eredetű, „vasalt út”-ként fordítható- a vonatkozó MSZ EN 16869 j. szabvány fordításába a kifejezés (talán kissé szerencsétlenül) „mászóösvény”-ként került be.

Európa-szerte nagy számban létesültek már vasalt utak, hazánkban a közelmúltban indult meg az ilyen jellegű létesítmények építése (Csesznek, Tatabányán és a Cuhavölgyben található több, már üzemelő útvonal). A fővárosban, a Gellért-hegyen a közeljövőben épülhet Via Ferrata, illetve egy pályázati program keretében várhatóan országsszerte is lehet számítani új útvonalak létesítésére az elkövetkező években.

A sportcélú szabadidős tevékenységek erőteljes fejlődése szükségszerűen igényli a létesítmény-specifikus termékszabványok megjelenését is, melyek az egyes kialakítások műszaki követelményrendszerét a tervezett felhasználási funkció és célközönség figyelembevételével meghatározzák. A játszótéri eszközök (MSZ EN 1176-os szabványsorozat), kültéri fitneszeszközök (MSZ EN 16630), kalandparkok/ magaslati kötélpályák (MSZ EN 15567-es szabványsorozat) és a mesterséges mászófalak (MSZ EN 12572-es szabványsorozat) után, 2018-ban a Via Ferrata-k termékszabványa is megjelent, MSZ EN 16869 számon.

A hazai szabványelőírások újdonsága és a terület speciális követelményeinek kvázi-ismeretlensége miatt szükségesnek érezzük, hogy a jelen cikk formájában tájékoztatást

adjunk a főbb műszaki követelményekkel kapcsolatban. A szabványkövetelmények egyszerű összefoglalásán túlmenően bemutatunk olyan gyakorlati módszereket, melyekkel a tervezés egyes (a hagyományos magasépítési gyakorlathoz képest különlegesnek tekinthető) területei szakmailag hitelesen kezelhetők.

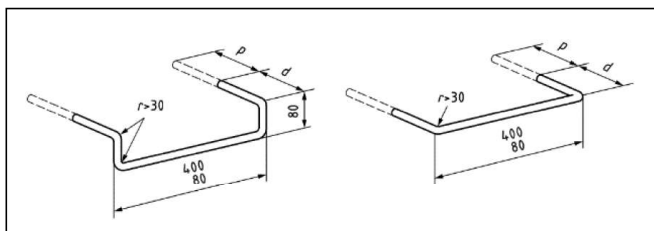
2. TARTÓSZERKEZETI KIALAKÍTÁS

A vasalt utak (*1. ábra*) kevés kivételtől eltekintve természetes kőzetekben kialakított létesítmények (találhatóak ugyan elhagyott ipari létesítményre szerelt utak is, de ezek speciális követelményei nem képezik a szabvány részét és jelen cikknek sem tárgyai).

A tartószerkezeti rendszerben megkülönböztetünk

1. ábra: Via Ferrata Kanadában (<http://pebbleshoo.com/squamish-via-ferrata/>)





2. ábra: Szabványos pályaelem kialakítása (mérték mm-ben)

pályaelemeket, melyek jellemzően az előrehaladást segítik, illetve biztosítóelemeket. A pályaelemek jellemzően kisebb létrák (itt a kalandparkok kötélhágcsóival szemben közvetlenül a kőzetbe rögzített acél létrafokok alkalmazása, vagy merev vázszerkezetű létrák használata általános), platformok vagy kötélhidak. Egyes elemek kialakítását az MSZ EN 16869 egyértelműen meghatározza, létrafokok esetén például (2. ábra) legalább 10 cm-es beragasztási mélység ($p > 100$ mm) és 8-20 cm közötti kinyúlás ($80 \text{ mm} < d < 200$ mm) engedhető meg.

A biztosítóelemek a speciálisan Via Ferratahoz javasolt (MSZ EN 958 j. szabvány szerint, energia-elnyelő rendszerrel – *Energy Absorbing System- EAS* – kialakított) egyéni védőeszközökön túlmenően az acélsodronyból kiépített biztosítókábelek (*safety line*, vagy *life line*), melyek a teljes pályahosszon lehetővé teszik a védőfelszerelések akasztását.

A pályarendszer erőtanilag kritikus része a pályaelem és biztosítóelemek (különösen a feszített kábelek végeinek) rögzítése. A természetes kőzetek fizikai paramétereinek jelentős szórása miatt a kapcsolatok ellenállása pontosan nem meghatározható, de a méretezéshez egyszerű, konzervatív elméletek rendelkezésre állnak és helyszíni próbaterhelésekkel az elvárt teherbírás megléte is ellenőrizhető. Szerkesztési szabály, hogy két rögzítőpont közti távolság függőlegesen vezetett szakaszokon maximum 3,0 m, vízszintes részekben legfeljebb 6,0 m lehet. (Az induló szakasz első rögzítésére vonatkozóan külön szabályok is vonatkoznak.)

Hasonlóan a kalandparkok kötélpályáihoz, a tervezés során a biztosítókábelek terhelésének meghatározása és a kötelek/kötélvégek rögzítése jelenthet a hagyományos tervezési feladatokhoz képest komolyabb eltérést. A biztosítókábel célszerűen a pályaelemektől független rendszer, de adott esetben az előrehaladás segítésére (*progression aid*) is

közvetlenül használható. Előbbi esetben a biztosítókábel javasolt átmérője 10-16 mm közötti, utóbbi esetben minimálisan $\phi 12$ -es acélsodrony alkalmazható, illetve itt a sodrony nem érintkezhet a kőzettel.

Természetesen a szerkezeti elemek és kapcsolatok igénybevételei nagymértékben függenek a tartószerkezeti rendszertől. Az építési gyakorlat a biztosító acélsodrony rögzítési rendszerének koncepcióját tekintve jellemzően kétféle megoldást alkalmaz (Simmel, Hellberg 2008), alapvetően ezek jelennek meg az MSZ EN 16869 jelű termékszabványban is.

A Francia-Alpokban jellemzően alkalmazott eljárás (az ún. francia-rendszer; *french system*) előfeszítés nélküli acélsodronyt alkalmaz, melyet a rögzítőelemekhez hurkolt és kötélbilinccsel rögzített kapcsolattal csatlakoztatnak (3.a. ábra).

A hazánkban eddig kisszámú épített útvonalon azonban a Kelet-Alpokban is alkalmazott rendszer (ún. *eastern alps system*) szerint oldották meg az előfeszítés nélküli biztosítókötél rögzítését (3.b. ábra). Ebben az esetben a biztosítókötélet speciális acélszerelvényekhez kapcsolják (jellemzően a szerelvény lapított végébe épített, U-alakú kötélbilincsek alkalmazásával).

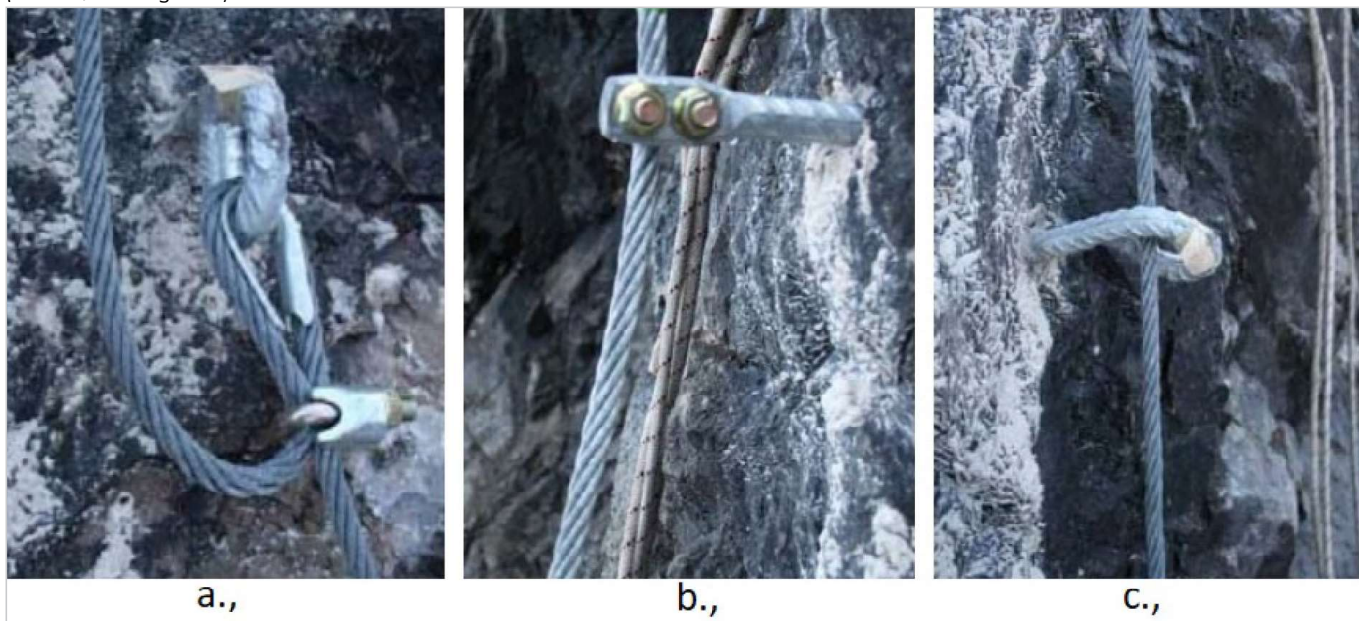
Ezt a rendszert előfeszített kötéllal is alkalmazzák (3.c. ábra), ebben az esetben a kötélhossz mentén elhelyezett (jellemzően visszazárt hurokkal, vagy szemmel ellátott) rögzítőelemek a biztosítókábelt csak megvezetik és azok elsősorban a mászó zuhanásának közvetlen megtartásában vesznek részt, a kötélterő lehorgonyzásában nem. A hazai viszonyokra általánosan jellemző szűk esési terek miatt kismértékű előfeszítés alkalmazása alapvetően javasolható. Német és osztrák ajánlások (Simmel, Hellberg 2008) az előfeszítés mértékét 4,0 kN-ban maximálják.

3. TERHEK ÉS HATÁSOK

Jelen fejezetben az MSZ EN 16869 j. szabványban előírt főbb terheléseket ismertetjük (a bemutatás nem teljeskörű). A számítás során alapvetően az EUROCODE előírásokat kell alkalmazni, szükség esetén meteorológiai terheléseket is figyelembe véve.

A kalandparkok kötélpályáihoz hasonlóan a Via Ferrata

3. ábra: Rögzítési módszerek: a., francia-rendszer b., Kelet-Alpok-rendszer, előfeszítés nélkül c., Kelet-Alpok- rendszer, előfeszített biztosítókötéllal (Simmel, Hellberg 2008)



kötélszerkezeteinek mértékadó terhelése is a biztosítókötél által rögzített felhasználó eséséből származó dinamikus hatás. Ezt vízszintes elrendezésű biztosítókábel esetén két rögzítési pont között, mezőközépen, függőleges kábel esetén az adott szakasz alsó rögzítőelemén működő koncentrált erővel lehet modellezni. A szabvány függőlegesnek értelmez egy adott pályaszakaszt, ha két rögzítési pontot összekötő egyenes a vízszintessel 25°-nál nagyobb szöget zár be.

Mind függőleges, mind vízszintes értelemű vezetés esetén megkülönböztet a szabvány a normális használatból származó hasznos terhet (*traffic load*) és a felhasználó zuhanásából származtatott rendkívüli terhelést (*exceptional load*).

Az esésből származó terhelés értékét az előírások jellemzően az esési tényező (definíció szerint: az esési hosszak és a zuhanást megtartó – függőleges irányú - biztosító rendszer hosszának hányadosa) függvénye. Érzékeltetésképpen, a kalandparkok kötélpályái esetén az MSZ EN 15567 j. szabvány alapján 0,5-ös esési tényező felett 6,0 kN értékű koncentrált felhasználói terhelést kell figyelembe venni (ami számszakilag egyezik az MSZ EN 1991-1-6 j. szabvány zuhanásból származó értékével). A Via Ferrata útvonalak függőleges szakaszain akár 5 (!) körüli esési tényező is kialakulhat.

A terhelés számszaki értéke függőleges- és vízszintes szakaszon is azonos. A vonatkozó termékszabvány 80 kg testtömegű felhasználókat vesz alapul, egy pályaszakaszon egyszerre két felhasználó terhelését kell figyelembe venni. A koncentrált hasznos teher alap- és rendkívüli értéke ennek megfelelően, rendre $F_{\text{traf}} = 1,6$ kN, illetve $F_{\text{exc}} = 9,2$ kN.

A rendkívüli terhelés egy zuhanó- és egy, a biztosítórendszeren lógó felhasználó terhelését jelenti (egyszerre két felhasználó zuhanásának mértékadó terhelését nem kell egyidejűnek tekinteni), tehát a zuhanás dinamikus tehernövekményét (*shock load*) a megadott érték tartalmazza.

Megjegyezzük, hogy a korábbi előszabvány a felhasználó névleges testtömegét még 100 kg-ban határozta meg. Az előírt speciális energiaelnyelő rendszerrel ellátott védőeszközök azonban a biztosítórendszerre jutó terheléseket egy zuhanás esetén jól kontrollálják, tehát megfelelő védőeszköz használata mellett nagyobb testtömegű felhasználó sem okoz az előírtnál nagyobb erőhatást.

Az EUROCODE hasznos terhelésekre jellemzően meghatározott teheroldali parciális tényezőjét ($\gamma_0 = 1,5$) szükséges jelen esetben is alkalmazni. A tervezett használati terhelés tervezési értéke ($1,5 \times F_{\text{traf}}$) alatt maradó alakváltozás a tartószerkezeti elemekben nem alakulhat ki, a kellő teherbírást a rendkívüli terhelés tervezési értékére ($1,5 \times F_{\text{exc}}$) szükséges igazolni.

Az MSZ EN 16869 az erőtani számítások alternatívájaként, vagy azokat kiegészítve lehetővé teszi a megfelelőség helyszíni próbaterhelés útján történő igazolását. Legalább kisszámú helyszíni vizsgálat előírását a tervezési dokumentációban feltétlenül javasoljuk, hogy a kivitelezés szakszerűsége is indirekt módon ellenőrzött legyen.

A rögzítőelemeket úgy kell megválasztani, hogy azok axiális teherbírása minimálisan 15 kN legyen. A biztosítórendszer kihorgonyzásait 25 kN-t meghaladó terhelés felvételére alkalmasan kell kialakítani.

4. A BIZTOSÍTÓKÖTÉL ERŐJÁTÉKA

A kötélszerkezetek sok szempontból a legegyszerűbb szerkezettypusnak tekinthetők, kötélikirányú terhelés esetén a kötélterő is triviálisan adott. Keresztirányú terhelés esetén azonban a kötéll erőjátéka jól ismert módon csak a nagy alakváltozások hatását is figyelembe vevő másod-, vagy

harmadrendű elméletek segítségével határozható meg kielégítő mértékben, hiszen a terhelés hatására a kötéll alakját változtatja, oly módon, hogy a terheket kizárólag húzóerővel tudja ellensúlyozni. A hagyományos mérnöki feladatokhoz képest ezért a kötelek vizsgálata ilyen esetben komplexebb megközelítést kíván.

4.1 Számítási eljárások

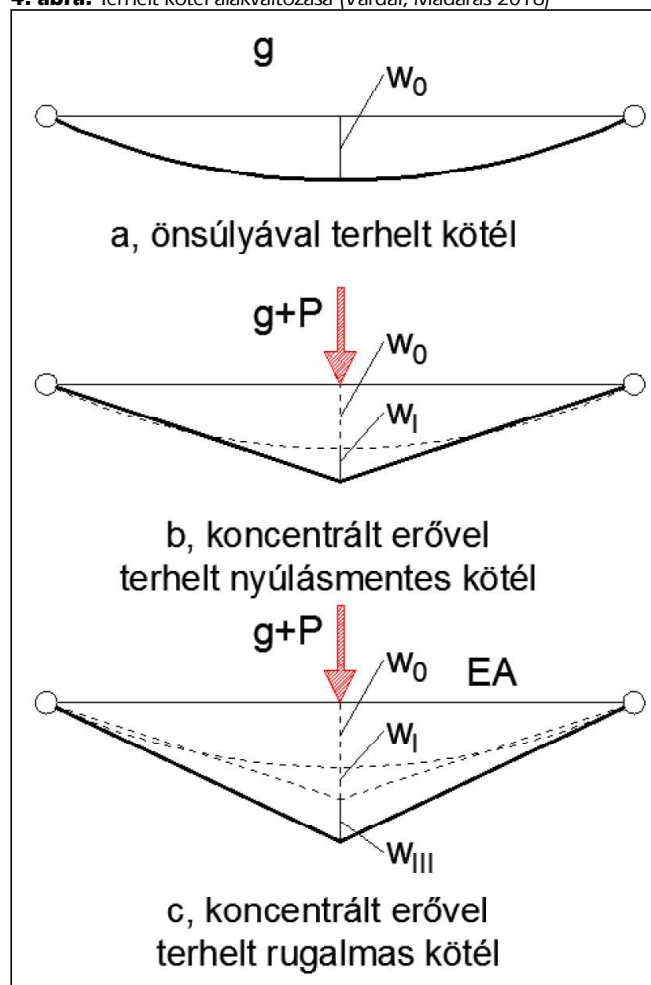
Szerzők a kalandparkok kötélszerkezeteivel kapcsolatban szerzett tapasztalatuk alapján a közelmúltban összehasonlító számításokat végeztek az egyes számítási elméletek szolgáltatata eredmények értékeléséhez (Várdai, Madaras 2016).

A gyakorlatban is sokszor alkalmazott egyszerűsítés a kötélnyúlások elhanyagolása, ami azonban nagyon durva közelítésnek tekintendő és jellemzően nem teszi lehetővé a szabadidős tevékenységek céljára használt kötélszerkezetek vonatkozó szabványokban meghatározott terheléseinek igazolását. A kötélnyúlások ismeretében az igazolás nem okoz problémát, ugyanis a nyúlás hatására a geometria megváltozik (a belógás megnő) és ez a kötélterő hatékony csökkenéséhez vezet (4. ábra).

A kötélnyúlások számításához azonban meg kell ismerni a kötéll normál- (húzó-) merevségét, amihez az MSZ EN 1993-1-11 jelű szabvány ad előírásokat. Az acélsodronyok effektív keresztmetszeti területe a névleges átmérőből közvetlenül nem származtatható, a sodrony kialakításától függően a kitöltöttséget (*fill factor*) is figyelembe kell venni.

A sodronyok rugalmassági modulusa sem egyezik a szerkezeti acél Young-modulusával, jellemzően annak mindössze kétharmada-fele. Acélhuzalokból készült pászmák esetén az MSZ EN 1993-1-11 3.1.-es táblázata (hasznos

4. ábra: Terhelt kötéll alakváltozása (Várdai, Madaras 2016)



terhelés esetén) $E_0=150\pm 10$ GPa értéket ajánl, illetve zárt képletet is közöl a kihasználtságtól függő, effektív rugalmassági modulus meghatározására a nemlineáris számításokhoz. Az acélsodronyok esetén mindenképpen javasolt a gyártói adatok bekérése a számítások pontosítása végett.

A húzómerevség ismeretében a kötél szerkezet alakváltozása és a kötélen ébredő húzóerő a terhelés, előfeszítés és a kötélen kezdeti belógása alapján számítható, a hazai forgalomban lévő méretező szoftverek összetettebb kialakítások modellezésére is alkalmasak, illetve egyszerű, parametrizált, iteratív eljárások is gyorsan írhatóak a probléma adekvát megoldására (Várdai, Madaras 2016).

Lapos (elhanyagolható kezdeti belógással rendelkező), koncentrált erővel terhelt kötélszerkezetek esetén jól használható Kollár Lajos közelítése (Kollár 2000) is a terhelés hatására kialakuló belógás (w) meghatározására:

$$w = \frac{\sqrt[3]{F \times l^3}}{\sqrt[3]{8 \times EA}} \quad (1)$$

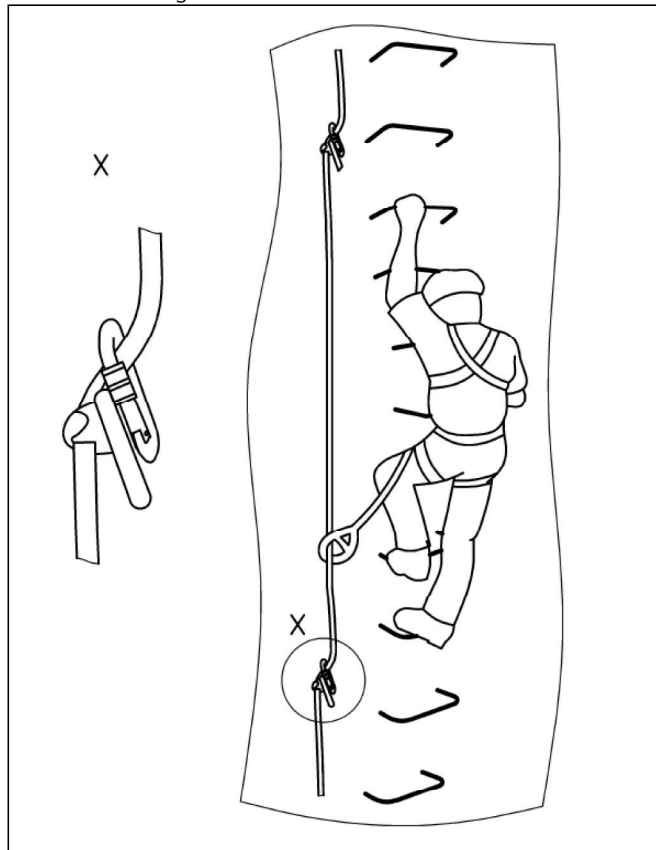
ahol F - a koncentrált terhelés, l - a kötélszakasz fesztávolsága, EA - a kötélszerkezet (effektív) húzómerevsége. A lehajlás ismeretében a kötélerő elemi egyensúlyi (illetve koncentrált erő esetén közönséges trigonometriai) összefüggések alapján számítható.

Az MSZ EN 16869 j. szabvány a kötélszerkezet ellenállásoldali biztonsági tényezőjét nem definiálja. Ezt a hasonló funkció miatt javasoljuk az MSZ EN 15567 alapján $\gamma_R^M=3,0$ értékre felvenni.

4.2 Kialakítási részletek

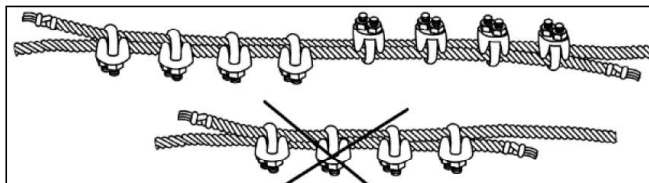
A kötélen erőtérképet a lokális hatások nagymértékben befolyásolhatják. Az MSZ EN 16869 j. szabvány A-jelű melléklete külön fel is hívja a figyelmet a kötélen megtörésének

5. ábra: Kötél megtörése



1. táblázat: U-alakú szorítókegyelek követelményei

A szorítókegyel névleges mérete	Meghúzási nyomaték Nm	A szorítókegyelek száma
10	9	4
12	20	4
14	33	4
16	49	4



6. ábra: Párhuzamos kötelek toldása

lehetőségére (5. ábra) és tájékoztat is praktikus módszerekről a hatás csökkentésére (pl. védőelemek elhelyezése az esésgátló rögzítőelem fölé). Az acélsodronyok toldását és a kötélvégek rögzítését az EN 13411 j. szabványsorozat alapján kell kialakítani. A sportcélú kötélszerkezetek rögzítésére hazánkban általánosan alkalmazott U-alakú szorítókegyelek követelményeit az MSZ EN 13411-5 j. szabványkötet ismerteti. A kegyelek darabszámát (és a kegyelt rögzítő csavarok meghúzási nyomatékát) a szabvány pontosan meghatározza, a Via Ferrata-k esetén javasolt átmérőkhöz tartozó értékeket feltüntetettük (1. táblázat).

A kegyel feltüntetett névleges mérete az alkalmazható legnagyobb kötélmérvővel azonos. A gyakorlat jellemzően három szorítókegyelt alkalmaz a kötélvég biztosítására (erre az MSZ EN 16869 deklaráltan - de véleményünk szerint helytelenül - lehetőséget teremt), azonban jól látható, hogy a kötélvég biztosításához alapvetően négy darab szorítókegyel szükséges. A kegyelek közti (szabad) távolság a szorítópofa szélességének 1,5-3,0 szorosa között legyen. A javasolt kegyelelrendezést a 6. ábra mutatja be.

5. RÖGZÍTÉSEK

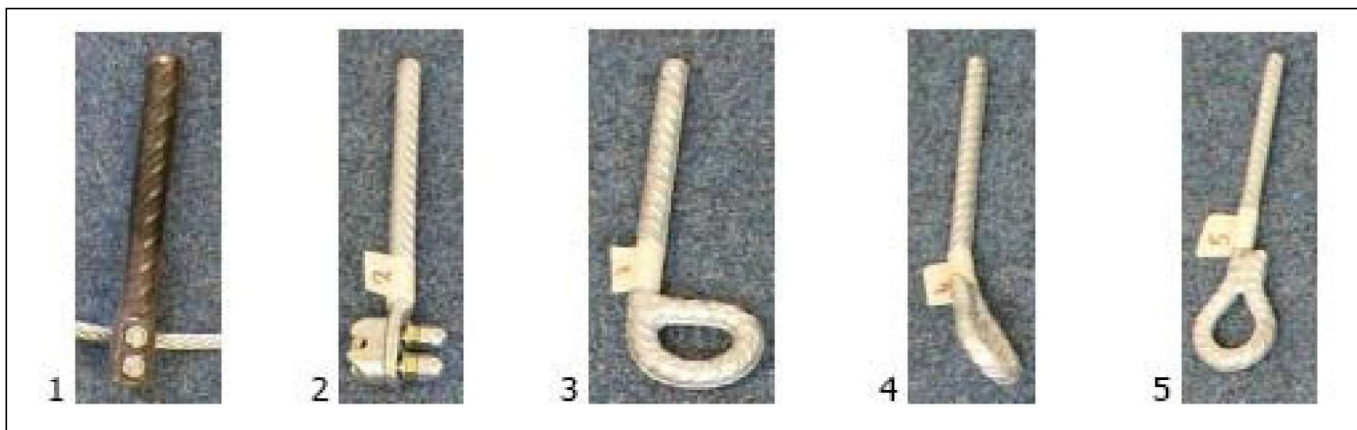
A Via Ferrata-kon tipikusan alkalmazott rögzítőelemeket a 7. ábra szemlélteti (Simmel, Hellberg 2008 alapján).

Az utólagosan beragasztott rögzítések a biztosítókötélben lévő erőt-, illetve közvetlenül a felhasználó előrehaladásából, vagy éppen zuhanásából származó erőhatásokat továbbítják a kőzetre. Az erő irányultságától függően a rögzítőelemek teoretikus esetben nyírt-, hajlított-nyírt-, húzott elemek, illetve ezen igénybevételek valamilyen kombinációjával terheltek. (Tisztán nyírt kapcsolat a valóságban nem alakul ki, a húzó igénybevételeket – különösen a tartós jellegű húzóerőket - pedig lehetőség szerint el kell kerülni.) A tönkremenetel tehát több módon következhet be.

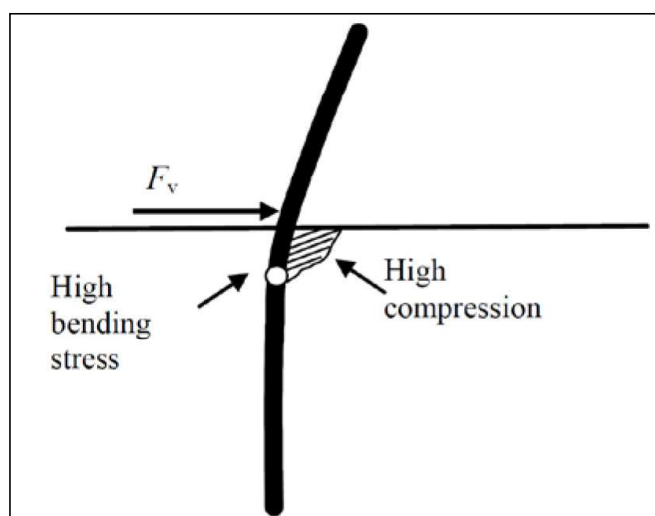
A kialakítások során arra kell törekedni, hogy a lehető leginkább nyírás terhelje a beragasztott rögzítőelemet. A húzóigénybevétel mértékét az erő ferdesége, a járulékos hajlítónyomaték nagyságát pedig az erő külpontossága befolyásolja.

5.1 Nyírócsapok méretezése

Idén januárban jelent meg az MSZ EN 1992-4:2019 j. méretezési szabvány a betonban használt rögzítések tervezéséhez. Ez a szabvány javarészt a korábbi CEB (CEB Bulletin 206 és 207) és fib (fib Bulletin 58) segédanyagok alapján készült és részletesen ismerteti nyírt-, húzott és igénybevételei interakcióval terhelt



7. ábra: Rögzítőelemek kialakítása: 1., Ø32 mm-es rögzítőelem, U-alakú kengyellel; 2., Ø20 mm-es rögzítőelem, U-alakú szorító kengyellel; 3., Ø20 mm-es, zárt rögzítőelem; 4., Ø16 mm-es, ferdevégű, zárt rögzítőelem; 5., Ø16 mm-es, zárt rögzítőelem



8. ábra: Nyírócsap feltételezett tönkremenetele (fib Bulletin 43)

elemek várható tönkremeneteli módjait és az ezekhez figyelembe vehető teherbírás korlátokat. A nyírócsapok vizsgálatát jelen cikkben annak klasszikus elmélete alapján mutatjuk be.

A nyírócsapok méretezésével kapcsolatos elméletek régóta fejlődnek, a módszerek elméletét (Dulácskáné 1971; Dulácska, Dulácskáné 1972) és kialakulását (Randl 2007; Várdai, Bódi 2015) több szakcikk is ismerteti. A beragasztott nyírócsapok méretezése alapvetően a bebetonozott nyírószerelvényekhez hasonlóan történhet meg. Ennek módszertana a *fib Bulletin 43*-ban részletesen bemutatott, a következőkben a jelen probléma szempontjából nélkülözhetetlen részeket ismertetjük.

Amennyiben a nyírócsap (rögzítőelem) nem aránytalanul gyenge, úgy a beágyazó közeg (beton, vagy közettest) szélén lokális túlterhelés (károsodás, morzsolódás) jön létre, a nyírócsap elhajlik és a tönkremeneteli állapotot a csapban kialakuló képlékeny csukló jelenti. A közetanyag szélső zónájának helyi károsodása miatt ez a tönkremeneteli forma a terhelő erő jelentős külpontossága nélkül is jellemző lehet (8. ábra).

A nyírócsap alatti, erősen igénybevett zóna a terhelés hatására (közbeneső pozíciókban, kellő megtámasztó közeg esetén) térbeli feszültségi állapotba kerül, ezáltal szilárdsága jelentősen (3-5× értékűre) növekszik. A szilárdságnövekményt tervezéshez javasolt $\beta=3,0$ értékben figyelembe venni (*fib Bulletin 43*). Megjegyezzük, hogy a túlzott furatmérettel készített kapcsolat természetesen vastag ragasztóréteget igényel, ami a nyírócsap körüli feszültségviszonyokat jelentősen befolyásolhatja (közetek esetén a figyelembe vehető

szilárdságot jellemzően csökkentheti), ezért egyértelműen meg kell határozni a furatkialakítás szakszerűségére vonatkozó előírásokat/ utasításokat. A nyírócsap képlékeny nyomatóki teherbírása és a közet térbeli feszültségi állapotra értelmezett szilárdsági jellemzői alapján a következő összefüggés vezethető le a nyírócsap által felvehető erőre vonatkozóan:

$$F_{V,Rd} = \alpha_0 \times \alpha_e \times \phi^2 \times \sqrt{f_{cd}^{uniax} \times f_{yd}} \quad (2)$$

ahol $F_{V,Rd}$ - a beragasztott nyírócsap névleges teherbírása; α_0 - a beágyazás térbeli feszültségállapotát figyelembe vevő tényező (tervezéshez javasoltan 1,0); α_e - a teher külpontosságát figyelembe vevő tényező; ϕ - a nyírócsap átmérője; f_{cd}^{uniax} - a beágyazó közeg (közet, vagy beton) egytengelyű nyomószilárdsága; f_{yd} - a nyírócsap szilárdságának tervezési értéke (acél esetén a folyáshatárhoz tartozó tervezési érték).

A külpontosságot figyelembe vevő tag az alábbi módon számítható:

$$\alpha_e = \sqrt{1 + (\varepsilon \times \alpha_0)^2} - \varepsilon \times \alpha_0 \quad (3)$$

ahol az ε segédtényező az erő (beágyazó felület szélétől mért) külpontossága (e), a nyírócsap geometriája és az anyagjellemzők alapján az alábbi módon származtatható:

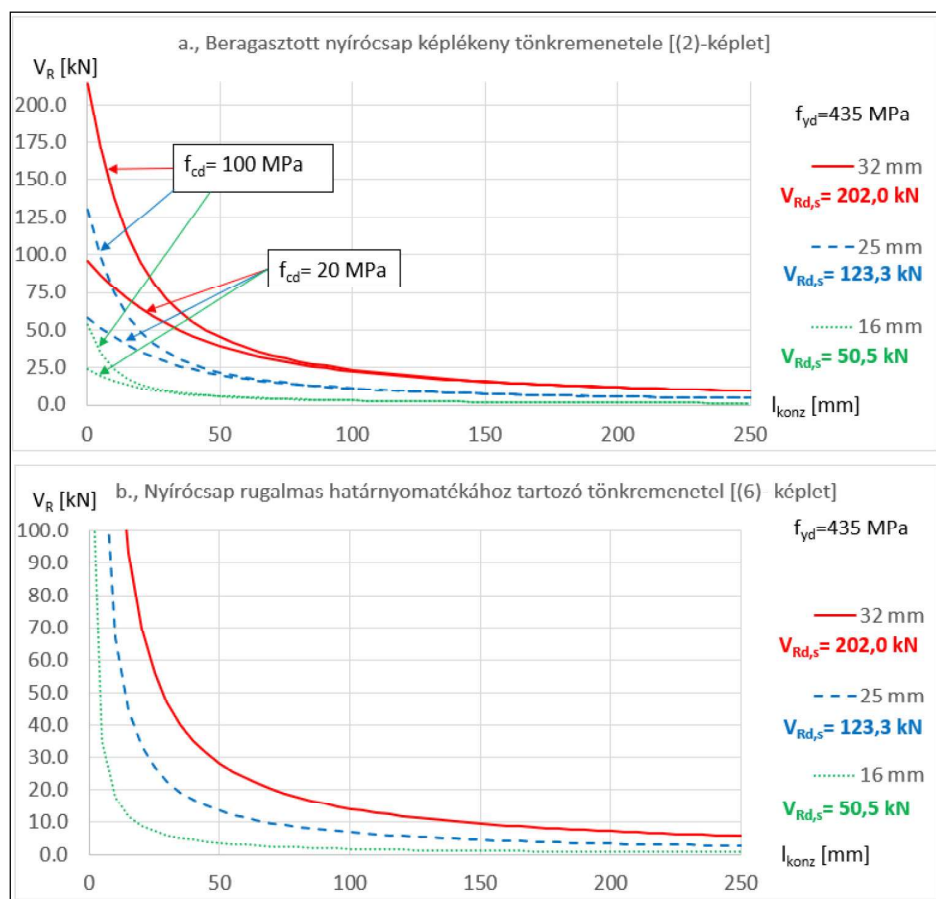
$$\varepsilon = 3 \times \frac{e}{\phi} \times \sqrt{\frac{f_{cd}^{uniax}}{f_{yd}}} \quad (4)$$

A képletek alapján jól látszik, hogy az eljárás a külpontosság nélküli (közvetlenül a nyírócsap befogási keresztmetszetében működő) terhelés teoretikus esetét is kezeli (ebben az esetben $e=0$, így $\alpha_e=1,0$ értékre adódik).

Természetesen a nyírócsap nyírási ellenállása ($V_{Rd,s}$) is ellenőrzendő (igaz, a gyakorlatban jellemző esetekben ennek értéke nem mértékadó):

$$V_{Rd,s} = \frac{f_{yd} \times A_s}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

Német és osztrák javaslatok a nyírócsap képlékeny teherbírását az ellenőrzés során elhanyagolják és a nyírócsap nyomatóki teherbírását annak rugalmas keresztmetszeti



9. ábra: Határerő a külpontosság függvényében: a., (2) képlet szerinti ellenállás; b., (6) képlet szerinti rugalmas határerő

modulusa alapján határozzák meg (Simmel, Hellberg 2008 alapján):

$$F_{V,Rd}^{My} = f_{yd} \times \frac{\pi \times \phi^3}{32} \times \frac{1}{e} \quad (6)$$

Az elvégzett számítások alapján cm nagyságrendű külpontosságok esetén természetesen a (6) képlet szerinti, rugalmas nyomatóki ellenállás lesz meghatározó, elhanyagolható külpontosság mellett azonban a beágyazás hatását is figyelembe vevő (2) formula szolgáltat konzervatív eredményt. A (2) képlet a nyírócsap rugalmas ellenállása alapján is levezethető (Várdai, Bódi 2015) és az így összevont formula szükség esetén mindkét hatást egyszerre képes figyelembe venni.

A (2) és (6) képlet felhasználásával számításokat végeztünk a járatos nyírócsap-átmérők figyelembevételével. A 16 mm, 25 mm és 32 mm átmérőjű nyírócsapok által felvehető terhelést határoztuk meg az erő külpontosságának függvényében (0-25 cm között- 9. ábra). S 500 szilárdsági osztályú betonacélnak megfelelő anyagminőséggel számoltunk.

A 9.a ábrán a (6) képlet alapján meghatározott, képlékeny tönkremenetelhez tartozó teherbírást tüntettük fel gyenge minőségű (20 MPa tervezési értékű egyirányú nyomószilárdsággal rendelkező) és alapvetően jó minőségű (100 MPa tervezési értékű egyirányú nyomószilárdságú) közet figyelembevételével, míg a 9.b ábrán a nyírócsap rugalmas határnyomatókához tartozó határterhelést szemlélteti. Utóbbi eljárás az erő csekély excentricitása mellett megtévesztő eredményre vezet, hiszen a (6) képlet törőfüggvény, ezért zérus külpontosság mellett végtelen teherbírást volna meghatározható.

Az ábrák jelmagyarázatánál feltüntettük továbbá a nyírócsap tiszta nyírással szembeni ellenállását ($V_{Rd,s}$) is, jól látható, hogy ez az érték csak nagyon jó minőségű közetben, külpontosság

nélküli erőhatásnál (elméleti esetben) jelent valós teherbírási korlátot, az erő racionális külpontosság mellett már a járulékos hajlítónyomaték hatása okoz tönkremenetelt.

A 9.a ábráról az is leolvasható, hogy a közetanyag minősége szintén csekély külpontosság mellett befolyásolja csak érdemben a teherbírást. Általánosságban elmondható, hogy az excentricitás növelésével a felvehető erő drasztikusan csökken, 25 kN erőt a $\phi 32$ -es nyírócsap is ~ 8 cm-es; ~ 15 kN erőt pedig ~ 15 cm-es külpontosság mellett tart meg kellő biztonsággal. 25 cm-es excentricitás mellett a $\phi 32$ -es nyírócsap $\sim 9,5$ kN, a $\phi 16$ -os nyírócsap mindössze $\sim 1,2$ kN erővel terhelhető.

A 9.b ábra jól mutatja, hogy a nyírócsap képlékeny teherbírási tartálékának elhanyagolása a reális külpontossági értékek tartományában jelentős korlátozást jelent, azonban ezen a teherszinten érdemi deformációkra nem kell számítani.

Ismét megjegyezzük, hogy az MSZ EN 16869 j. szabvány a maradó alakváltozások kialakulását a használati terhelés szintjén ($1,5 \times F^{traf}$) tiltja, a rendkívüli terhelés szintjén a tönkremenetel elkerülését kell tudni igazolni.

Jó összehasonlítás lehetséges továbbá a rögzítőelemek forgalmazóinak (pl. HILTI, Fischer) rögzítéstechnikai előírásainak felhasználásával, illetve a forgalmazók (jellemzően az ETAG 001 j. irányelv alapján kidolgozott) méretezési célszoftvereivel is. A számítások ilyen értelmű önellenőrzését szerzők alapvetően javasolják a tervezők számára.

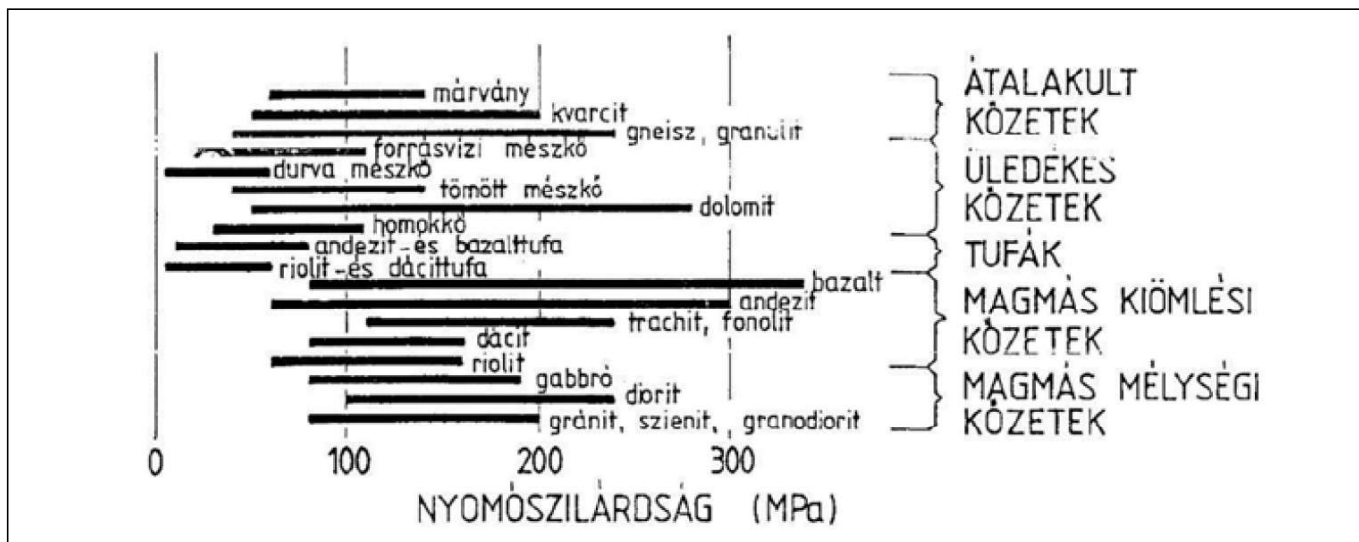
A Via Ferratahoz alkalmazott rögzítőelemek beragasztási mélysége a gyártói adatok (pl. Raumer) alapján jellemzően 15-20 cm, ami a járatos átmérők mellett a nyíróerő és hajlítónyomaték esetén elégséges (a húzott betonacélok lehorgonyzására vonatkozó szerkezetszabályok betartása ez esetben nem kötelező és gyakran nem is lehetséges).

5.2 Húzott rögzítőelemek méretezése

A húzott rögzítőelemek alkalmazását lehetőség szerint kerülni kell. A rögzített kötelet úgy kell vezetni, hogy az húzóerővel a rögzítéseket ne (illetve csak elhanyagolható mértékben) terhelje.

Húzott rögzítőelemek esetén megnő mind a lehorgonyzási hossz, mind a bizonytalan fizikai paraméterekkel rendelkező közet szerepe, illetve hangsúlyosabbá válik a kivitelezés szakszerűsége is (nem megfelelő furattisztítás például jelentősen csökkenti a beragasztás megbízhatóságát, ami húzással terhelt rögzítés esetén idő előtti tönkremenetelhez vezethet).

Húzás és összetett igénybevételek esetén a tönkremenetel jellege a fent vázolttól nagymértékben eltérő lehet. Ezek figyelembevételéhez az MSZ EN 1992-4 méretezési eljárásai alkalmazandók.



10. ábra: Hazai kőzetek jellemző nyomószilárdság (Vásárhelyi 2016)

5.3 A kőzetkörnyezet hatása

A Via Ferrata-k létesítését csak részletes geológiai vizsgálatokat követően szabad megkezdeni. A kőzetkörnyezetet mind a rögzítőelemek elhelyezhetősége szempontjából, mind a felhasználók közvetlen biztonságára tekintettel értékelni és minősíteni kell.

Repedezett, illetve porózus kőzetekbe megbízható rögzítések nem létesíthetők, a hazai tufák és durva mészkövek jellemzően nem megfelelők Via Ferrata-k létesítésére. Az útvonalat úgy kell megválasztani, hogy omlásveszély a felhasználók biztonságát ne csökkentse és a menthetőség is biztosított legyen.

A geológiai vizsgálatok során meg kell határozni a méretezés során biztonsággal figyelembe vehető közetszilárdságot (a kőzetanyag egyirányú nyomószilárdságának karakterisztikus- és tervezési értékét). A hazai viszonyok között előforduló kőzetek jellemző nyomószilárdságait a 10. ábrán mutatjuk be.

6. TERVEZÉSI DOKUMENTÁCIÓ

A szabadidős létesítmények tervezési dokumentációja minimálisan eltérhet a hagyományos épület- és tartószerkezetek kiviteli tervdokumentációjától.

A Via Ferrata útvonal pályavezetése előzetesen csak koncepcionálisan tervezhető meg. A tényleges rögzítési pontokat az építő a kőzet helyi sajátosságai alapján határozza meg, ezért megnő a megvalósulási terv készítésének szerepe. Ezen a rögzítési pontokat egyértelműen jelölni kell, megadva azok alaprajzi elrendezését és a két pont közti magassági változásokat. A fontosabb, erőjátékot befolyásoló részeket részletterveken is ki kell dolgozni.

A műszaki leírás és a részletes erőtani igazoló számítás dokumentációjának elkészítése mellett a tervező a Via Ferrata kockázatelemzésében is részt kell, hogy vegyen, hogy a tartószerkezetekkel kapcsolatos veszélyforrások azonosítása egyértelmű és teljesskörű lehessen.

A jövőbeni üzemeltetést a kockázatelemzés alapján kell megszervezni, biztosítva a bajba jutott mászók mentését (így például a pálya közbeni pontjainak megközelíthetőségét) és a pályaelemek ellenőrizhetőségét, karbantarthatóságát.

7. MEGÁLLAPÍTÁSOK

Cikkünkben röviden bemutattuk a Via Ferrata-k létesítésével kapcsolatban a közelmúltban megjelent MSZ EN 16869 jelű szabvány tervezésre vonatkozó főbb követelményeit. A szabványkövetelmények ismertetésén túlmenően bemutattunk olyan módszereket, számítási eljárásokat, melyeket hatékonyan fel lehet használni a terület speciális műszaki kérdéseinek vizsgálatához. Utaltunk azon hazai szakirodalmakra, melyek további segítséget jelenthetnek a méretezésméleti kérdések megválaszolásában.

Összehasonlítottuk a beragasztott rögzítőelemek méretezéséhez ajánlott módszereket és vizsgáltuk a terhelés külpontosságának hatását a rögzítőelemek terhelhetősége szempontjából.

Mivel sportcélú szórakoztatóipari létesítmények egyre nagyobb számban létesülnek hazánkban is, ezért a terület műszaki követelményrendszerének szélesebb körű megismerése a mérnöktársadalomban szükségszerű. Jelen cikkünkkel a megismerés folyamatának kezdetéhez kívántunk hozzájárulni.

8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szerzők köszönik Gaál Péter, ipari alpintechnikai szakértő és a Magyar Ipari Alpintechnikát Oktatók Érdekvédelmi Egyesülete (MIAOE) elnökségi tagja hasznos tanácsait és a szabadidős kötél szerkezetek felülvizsgálatával kapcsolatban nyújtott sokéves együttműködését.

9. HIVATKOZÁSOK

- CEB Bulletin 206 (1991), „Fastenings to reinforced concrete and masonry structures- Part I”, CEB, Lausanne
- CEB Bulletin 207 (1991), „Fastenings to reinforced concrete and masonry structures- Part II”, CEB, Lausanne
- Dulácskáné Sz. I. (1971), „A vasbeton repedéseire áthaladó acélbetétek ékhatása” Építés- építészettudomány, III. Évf. 1. szám, pp. 115-127.
- Dulácska E., Dulácskáné Sz. I. (1972), „Az előregyártott és a helyszíni beton csatlakozási felületének nyíróteherbírása” Közlekedéscsillag- és Mélyépítéstudományi Szemle, XXII. Évf. 8. szám, pp. 375-377.
- fib Bulletin 43 (2008), „Structural connections for precast concrete buildings”, fib- Task Group 6.2, Lausanne
- fib Bulletin 58 (2011), „Design of anchorages in concrete”, fib- SAG 4, Lausanne
- Kollár L. (2000), „Mérnöki építmények és szerkezetek tervezése”, Akadémiai Kiadó, Budapest
- MSZ EN 1992-4- „EUROCODE 2- Betonszerkezetek tervezése- 4. rész: Betonban használt rögzítések tervezése”
- MSZ EN 15567-1- „Sport- és szabadidős létesítmények. Kötélpályák; 1. rész: Szerkezeti és biztonsági követelmények”

- MSZ EN 16869- „Via Ferrata-k (mászóösvények) tervezése és kivitelezése
 Randl N. (2007), „Load Bearing Behaviour of Cast-in Shear Dowels”, *Beton und Stahlbetonbau*, 102, pp. 466-474.
- Semmel S., Hellberg F. (2008), „Recommendation for the construction of Klettersteigs (also known as Via Ferrate) and Wire Cable Belay Systems”, *German Alpine Club Safety Analysis Unit, München*
- Várdai A., Bódi I. (2015), „Pillérköpenyezések egyúttalozottató nyírócsapozásának méretezése”, *Magyar Építőipar*, 2015/1. szám, pp. 14-18.
- Várdai A., Madaras B. (2016), „Kötélpályák erőtani vizsgálata”, *Magyar Építőipar*, 2016/3. szám, pp. 95-101.
- Vásárhelyi B. (2016), „Az alkalmazott közetmechanika alapjai”, Hantken Kiadó, Budapest

DESIGN REQUIREMENTS OF VIA FERRATAS

There is a continuously growing need today for sport- and recreational facilities. Recently the possibility for the users to practice more complex sport activities is significantly increased, all over Europe.

In Hungary, usually ropes courses (“adventure parks”) were established, only a few Via Ferratas have been built so far; however, a new government program will be launched in the near future to construct more of these spectacular routes. The Hungarian standard for the design and construction of Via Ferratas (MSZ EN 16869) has been released only in 2018, in English language. The majority of practicing Engineers is not yet familiar with this special field and its governing

criteria. However, it is extremely important, that the future designers of the new Via Ferratas understand the technical requirements of this specific field. This paper intends to draw the attention to this unique section of structural engineering and to assist the future designers with practical considerations.

Várdai Attila (1985) okleveles szerkezet-építőmérnök, az ÉMI-TÜV SÜD Kft. Építőipari Szolgáltatások Osztályának vezetője, műszaki szakértő; doktorjelölt a BME Hidak és Szerkezetek Tanszékén. *A fib* Magyar Tagozatának és a *fib* Nemzetközi Szervezetének tagja. Munkabizottsági tag a *fib* COM 3.2 és COM 3.4 jelű munkacsoportokban. Érdeklődési területei: vasbetonszerkezetek tervezése/ felülvizsgálata; meglévő tartószerkezetek diagnosztikai és szakértői vizsgálata; szerkezet-megerősítések tervezése és modellezése; szabadidős létesítmények független ellenőrzése, terv-felülvizsgálata és tanúsítása; kötél szerkezetek erőtékának elméleti vizsgálata.

Madaras Botond (1976) okleveles építőmérnök (BME Építőmérnöki Kar, 1999); 1999 – 2001: Mélyépterv Komplex Mérnöki Zrt. – szerkezettervező mérnök; 2001 – 2013: Terraplan’97 Mérnökiroda Kft – szerkezettervező mérnök; 2013 – 2015: ÉMI-TÜV SÜD Kft. Építőipari Szolgáltatások Osztály – osztályvezető, 2015 – 2019: ügyvezető. 2019 - : *mhrs2 Mérnöki Szolgáltató Kft.* – ügyvezető. 2000 – 2013: óraadó gyakorlatvezető (BME, Építőmérnöki Kar, Hidak és Szerkezetek Tanszék). 2017 - A Magyar Mérnöki Kamara alelnöke.