

## Vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek megerősítése utólagos feszítéssel

Dr. Dalmy Dénes<sup>\*</sup> – Dr. Farkas György<sup>\*\*</sup> – Szilágyi Éva<sup>\*\*\*</sup>

### 1. Bevezetés

Az utólagos feszítést már több mint fél évszázada alkalmazták meghibásodott vagy nem megfelelő teherbírású szerkezetek megerősítésére. Egy ismert példa a Le Havre-i kikötő épületének újjáépítése 1934-ben Eugène Freyssinet megerősítési tervei szerint és kivitelezésében.

A módszer alkalmazása külföldön a 70-es évektől kezdődően, a gyárilag korrózióvédett, zsírozott, kemény polietilén csőben vezetett feszítópásmák elterjedésével indult jelentős fejlődésnek. Magyarországon 1992 óta több vasbeton hidat és IMS rendszerű födém szerkezetet erősítettünk meg utólagos feszítéssel.

A tanulmányban ismertetjük a feszítéssel javítható meghibásodások típusait és a hibák kialakulásának okait, majd az utólagos feszítéssel végzett erősítés méretezésének általános elveivel és gyakorlati kialakításával foglalkozunk külföldi és hazai tapasztalatok felhasználásával.

### 2. Vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek tipikus meghibásodásai

Az utólagos feszítéssel javítható hibák általában a teherviselő szerkezetekben kialakuló, meg nem engedhető mértékű repedések formájában jelentkeznek.

Ilyenek lehetnek:

- A szerkezet húzott zónájában, a tartó tengelyére közel merőleges irányú, nyomatéki repedések,
- a gerendák gerincében kialakuló nyírási repedések,
- az erőátadás hatására elsősorban feszített tartóknál kialakuló repedések.

Gyakran tapasztalható, hogy az erőátadási problémák következtében kialakuló helyi repedések idővel továbbterjednek, és meglehetősen markáns nyírási-hajlítási repedésekké alakulnak át.

A túlzott mértékű repedések általában a szerkezet helytelen méretezése miatt következnek be, leggyakrabban a következő okok miatt:

- a hőmérsékleti hatások figyelmen kívül hagyása vagy helytelen becslése,
- az időben változó gátolt alakváltozások (pl. kúszás) hatására bekövetkező igénybevétel-átrendeződés figyelmen kívül hagyása,
- a szerkezetre működő terhek alulértékelése,
- feszített tartóknál a feszültségvesztések alábecslése.

A helyi hatások miatt bekövetkező repedések általában az erőátadás környezetében kialakuló feszültségek helytelen megítélésére vezethetők vissza.

\* Okl. építőmérnök, egyetemi adjunktus, BME Vasbetonszerkezetek Tsz.

\*\* Okl. építőmérnök, egyetemi docens, BME Vasbetonszerkezetek Tsz.

\*\*\* Okl. építőmérnök, tudományos ösztöndíjas, BME Vasbetonszerkezetek Tsz.

Az előző hiányosságokhoz gyakran a szerkezet kialakításánál elkövetett koncepcionális hibák is társulnak. Ilyenek lehetnek a hirtelen keresztmetszetváltás, egy keresztmetszetben túl sok lehorgonyzás, sűrű, bonyolult vasalás, ill. kábelrendezés, nem megfelelő feszítési eljárás stb. A fentieket súlyosbíthatják kivitelezési pontatlanságok, a tervektől eltérő vasalás, nem megfelelő tömörűségű beton, munkahézagok helytelen kialakítása stb.

A méretezési és kivitelezési hibák következtében a szerkezet kritikus állapotba kerülhet, s ekkor három megoldás közül kell választani;

- a további üzemeltetés csökkentett terhelés és állandó felügyelet mellett,
- lebontás (és esetleg újjáépítés),
- megerősítés, felújítás.

A döntést a funkcionális kényszerűségek és gazdaságossági megfontolások figyelembevételével kell meghozni. A szerkezet megerősítése esetén mérlegelni kell annak lehetséges változatait. Egyik lehetőség az utólagos feszítés alkalmazása. A továbbiakban ennek sajátosságával foglalkozunk.

### 3. Az utólagos feszítéssel való megerősítés alapelvei

Az utólagos feszítésből keletkező feszültségek megoszlása a lehető legkedvezőbb legyen a szerkezet károsodásainak csökkentése szempontjából.

A szerkezet eredeti kialakítása általában nem alkalmas módosítás nélkül a pótlólagos feszítőbetétek elhelyezésére és megfeszítésére. Ezért mindenképp a nagy koncentrált erők bevezetésére alkalmas lehorgonyzó tömbök és a feszítőbetétek esetleges iránytörését biztosító szerkezeti elemek, diafragmák kialakítását, elhelyezését és rögzítését kell megoldani. A pótlólagos feszítőbetétek átvezetéséhez vagy más szerkezeti elemek rögzítéséhez szükséges furatokat úgy kell kialakítani, hogy a fúrás során ne vágjuk el a megerősítendő szerkezet acél- vagy feszítőbetéteit.

A kivitelezés során a feszítőberendezés mozgásáról, felfogásáról is gondoskodni kell, ami a rendelkezésre álló tér korlátozott mérete miatt gyakran igen nehéz feladat. Sok esetben könnyebbé tehető a pásmák egyenkénti megfeszítésére szolgáló feszítősajtók alkalmazása, amelyek kis méretük és súlyuk következtében könnyen mozgathatók.

A külsőkábeles feszítéssel való megerősítés tervezésekor és kivitelezésekor a következőkre kell tekintettel lenni:

- a feszítőbetétek vonalvezetésének megtervezése előtt fel kell mérni a megerősítendő szerkezet geometriai és anyagjellemzőit, a vasalás elrendezését,
- a feszítőkábel és a szerkezet önzregzésének periódusai lényegesen különböznek egymástól,
- teherbírási határállapotban a tapadásmentes kábeleknél a szerkezet alakváltozásából származó megnyúlásnövekménye a kábel teljes hosszán eloszlik,
- ha a külső feszítőbetéteket csak a lehorgonyzási pontoknál rögzítik a szerkezethez, akkor a megerősített szerkezetet stabilitásvesztés szempontjából is ellenőrizni kell,
- a megerősítéshez alkalmazott betétek kezdeti feszítési feszültségét célszerű az egyéb esetekben megengedettnél kisebbre választani,
- a feszítőbetétek terv szerinti elrendezését a kivitelezés során szigorúan ellenőrizni kell.
- a megerősítést úgy kell megtervezni, hogy a szerkezet állapota időszakonként ellenőrizhető legyen,
- a külső feszítőbetétek, lehorgonyzó és irányeltérítő szerkezetek korrózióvédelmére különös gondot kell fordítani.

#### 4. Elégtelen nyomatéki teherbírású szerkezetek megerősítése

A szerkezet megerősítésére igen gyakran a nyomatéki teherbírás növelése érdekében van szükség. Az alábbiakban ennek sajátosságait foglalkozunk.

##### 4.1. Az utólagos feszítőkábelek vonalvezetése

A pótlólagos feszítéssel végzett megerősítésnél a feszítőelemek vonalvezetése lehet a lehorgonyzási pontok között egyenes, törtvonalú vagy íves.

Az egyenestengelyű feszítőkábelek kialakítása egyszerű, irányeltérítő diafragmákra nincs szükség, a súrlódásból származó veszteség igen csekély, a hajlítási teherbírás növelése szempontjából azonban ezek hatékonysága kisebb, s hatásukra a betonkeresztmetszetre ható nyíróerő sem csökken.

A stabilitás érdekében esetenként gondoskodni kell a kábel közbenső szakaszának rögzítéséről a szerkezethez. Ezzel a terhelés hatására bekövetkező kedvezőtlen külpontoság-változást is megakadályozhatjuk (1. ábra).

Törtvonalban vezetett feszítőkábelekkel jól követhető a szerkezet nyomatéki ábrája, és ezzel a tartó nyírási teherbírása is növelhető. A megoldás hátránya, hogy irányeltérítő diafragmákat kell elhelyezni. Ez egyrészt költséges, másrészt a súrlódásból származó veszteség is nő (2. ábra).

Ívesen vezetett külső kábelek például halvas alakú tartók vagy hengeres tartályok megerősítéséhez alkalmazhatók. Ekkor irányeltérítő diafragmákra nincs szükség. A súrlódási veszteség az ív görbületi sugarának csökkenésével nő, azonban zsírral vagy viasszal kitöltött polietilén

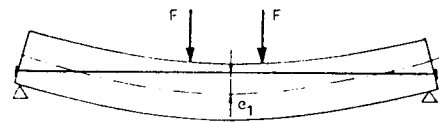
csőben vezetett feszítópázmák alkalmazásával a veszteség még kis sugarú ívek esetén sem jelentős.

##### 4.2. A feszítőkábelek lehorgonyzása

Ha a megerősítendő szerkezet teherbírása erre alkalmas, az utólagos feszítés kábeleit közvetlenül a meglévő szerkezethez (például hidaknál a végső vagy közbenső keresztartókhöz) lehet lehorgonyozni. A szerkezetet a lehorgonyzás helyén a feszítőbetétek átvezetése miatt ki kell fúrni, és az erőátadás acéllemez alátét közvetítésével érhető el.

Ha a szerkezet a lehorgonyzásnál fellépő koncentrált erő felvételére nem felel meg, a feszítőbetéteket a tartóhoz rögzített *kiegészítő szerkezeti elemekhez* kell lehorgonyozni. Ezek a következők lehetnek:

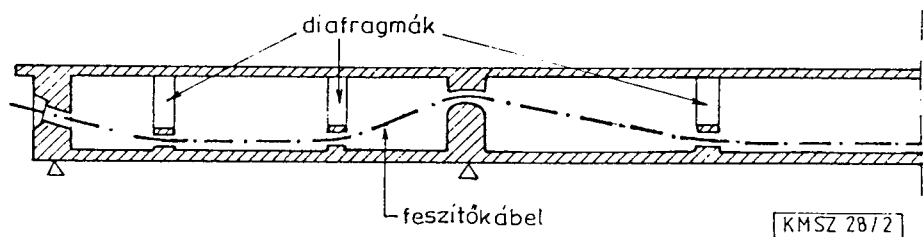
- A tartó végén, annak meghosszabbításában kialakított *teherelosztó lehorgonyzó tömb*, esetleg *feszített végkeresztartó* (3. ábra).



- feszítőerő külpontosága kedvezőtlen
- középső keresztmetszetben<sup>1</sup>

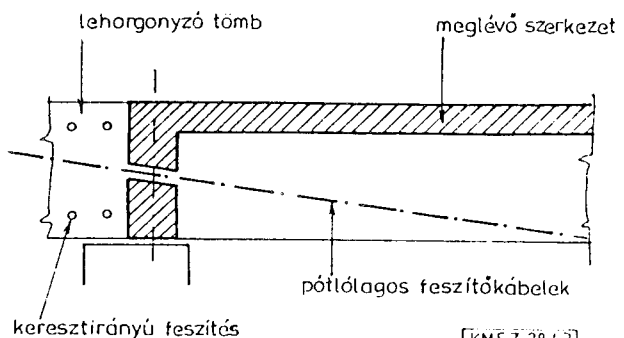
[KMSZ 28/1]

1. ábra



[KMSZ 28/2]

2. ábra



keresztirányú feszítés

[KMSZ 28/3]

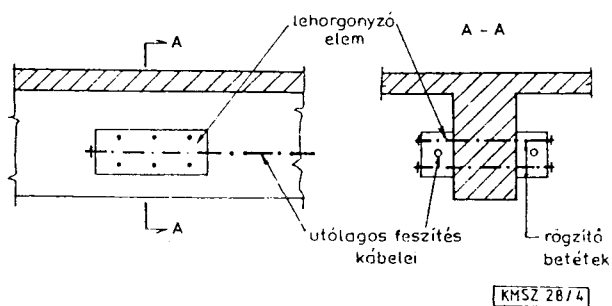
3. ábra

A megoldás csak akkor alkalmazható, ha a szerkezet mögött elegendő a hely, és esetenként a tartó mögött kialakított szerkezeti elemek megbontását és újrépítését igényli. Ekkor a feszítőbetéteket a szerkezet teljes hosszán, sőt azon túl is, a lehorgonyzó tömbön át végig kell vezetni.

Az ilyen lehorgonyzás előnye, hogy a megerősítendő szerkezetet számottevő koncentrált erő nem terheli, így kis keresztmetszetű, gyengén vasalt és viszonylag kis szilárdságú tartók megerősítéséhez is alkalmazható.

A lehorgonyzó tömb lehet előregyártott vagy monolit vasbeton. Az előbbinél a teherátadást megfelelő szilárdságú cement vagy műgyanta habarcs biztosíthatja. A helyszínen betonozott tömb zsaluzatát a megerősítendő szerkezethez kell rögzíteni, hogy kövesse annak mozgásait.

b) *A szerkezet falához, gerendák gerincéhez, alsó vagy felső övéhez rögzített lehorgonyzó elemek (4. ábra).*

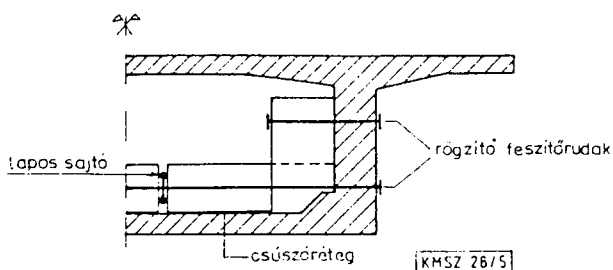


4. ábra

E megoldás akkor javasolható, ha a megerősítendő szakasz nem terjed ki a tartó teljes hosszára, ha a feszítőerő a szerkezet egyes szakaszain túlságosan nagy nyomófeszültséget okozna, vagy ha a tartó kialakítása (például kéttámaszú tartók sorozata) a kábelek szakaszonkénti lehorgonyzását igényli. Megfelelő kialakítás esetén a feszítőerő jól követheti az igénybevételek változását, viszont jelentős helyi igénybevételek léphetnek fel. Ezek hatásának csökkentésére a lehorgonyzó elemeket lehetőleg a nyomott tartószakaszokon kell elhelyezni.

c) *A meglévő szerkezethez rögzített új keresztartó vagy nagy méretű lehorgonyzó tömb.*

Ez a változat a leggyakrabban szekrényes keresztmetszetű hidak megerősítésénél kerül előtérbe, amikor a



5. ábra

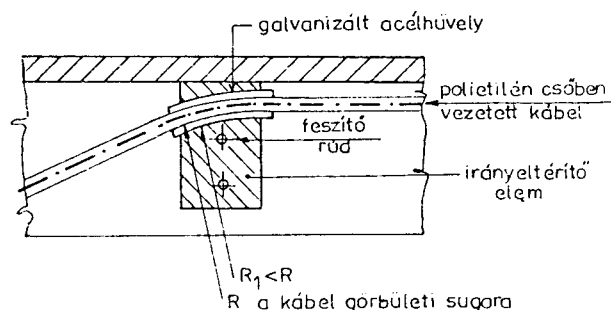
gerinchez erősített lehorgonyzó elem szükséges a nagy feszítőerő miatt már nem elegendő (5. ábra).

A tömb a szerkezethez az előző megoldáshoz hasonlóan feszítőrudakkal, esetleg furatba ragasztott acéltüskékkel rögzíthető. A zsugorodás hatásának csökkentésére a két részben betonozott tömböt, az ábra szerint, bennmaradó tányérsajtó segítségével a függőleges falhoz lehet préselni és ezután a hézagot ki kell tölteni.

Új keresztartó alkalmazása esetén a lehorgonyzási pontokat a keresztartó kerületének súlypontja körül egyenletesen célszerű kiosztani.

#### 4.3. A feszítőbetétek iránytörése

A feszítőkábelek iránytörése a szerkezet falához vagy a gerendák gerincéhez erősített monolit vagy előregyártott vasbeton, esetleg acélszerkezetű tömbökkel oldható meg. Kialakításuk hasonló a lehorgonyzó elemekéhez azzal az eltéréssel, hogy a feszítőkábel irányváltozását megfelelően meghajlított és az elembe betonozott, általában galvanizált acélszöből készült acélhüvely biztosítja. Az irányeltérítő elem hosszát úgy kell megválasztani, hogy a feszítőkábelnél megengedett legkisebb görbületi sugárral elérhető legyen a kívánt iránytörés (6. ábra).



6. ábra

Szekrényes keresztmetszetű híd-felszerkezetek megerősítésénél a feszítőkábelek iránytörése a meglévő vagy utólag beépített, helyszínen betonozott vagy acélszerkezetű keresztartók felhasználásával is kialakítható. Ennek előnye, hogy a kábelek a tartó keresztmetszete mentén egyenletesebben oszthatók el, ezáltal a helyi igénybevételek hatása csökken. A helyszínen betonozott keresztartók alkalmazásának hátránya, hogy a betonozhatóság érdekében a keresztmetszet felső övében betonozónyílást kell kialakítani, amit a szerkezet elkészítése után helyre kell állítani.

#### 4.4. A nyomatéki megerősítés számításának elvei

##### 4.4.1. A szükséges feszítőerő meghatározása

A megerősítéshez szükséges pótlólagos feszítőerő meghatározása szempontjából alapvetően három eset különböztethető meg.

a) *Repedésmentes* szerkezet megerősítésére általában a megváltozott követelmények miatt van szükség, a teherbírás növelése céljából. A szükséges feszítőerő hasonló elvek szerint határozható meg, mint új feszített szerkezetek tervezésekor.

b) *Gyengén repedezett szerkezetnél* a megerősítéshez szükséges feszítőerő meghatározásának alapja az lehet, hogy a feszítésből keletkező igénybevételek lehetőleg semlegesítsék a hasznos teherből és egyéb hatásokból, pl. hőmérsékletváltozásból származó igénybevételt.

Ha az erősítést célzó feszítést a repedések injektálása nélkül végzik, akkor az először megfeszített kábelek hatására keletkező nyomófeszültségek a repedések záródásáig csak a szerkezet nyomott zónájában terjednek szét, és így csak a repedések záródása után megfeszített betétek tekinthetők ténylegesen hatékonyak. A feszítést tehát túl kell méretezni. Ezért ez a megoldás egyrészt helyi feszültségváltozások kialakulásának forrása lehet, másrészt gazdaságtalan.

Előnyösebb a szerkezet lehetőség szerinti folytonossága érdekében a látható repedéseket a feszítés megkezdése előtt injektálni. Ez klordímentes injektáló anyaggal, általában epoxigyantával végezhető.

Ismeretes, hogy a műgyanta alapú injektáló anyag rugalmassági modulusa csak mintegy tized része a betonénak. Ez azonban a két anyag együttdolgozása szempontjából nem okoz problémát, mivel a repedésekbe injektált vékony műgyanta réteg harántirányú alakváltozása gátolt, tehát  $E'$  fiktív rugalmassági modulusa az

$$\frac{E}{E'} = 1 - \frac{2\nu^2}{1 - \nu} \quad (1)$$

összefüggésből határozható meg, melyből  $E'$ , a műgyanta  $\nu \approx 0,48$  Poisson-tényezőjének figyelembevételével, az  $E$  tényleges rugalmassági modulusnak mintegy tízszeresére, tehát a beton rugalmassági tényezőjével közel azonos értékre adódik.

A gyakorlat azt mutatja, hogy a repedések injektálásának ellenére a bevitt feszítőerőnek mintegy 5–20%-a hatástalan marad, így a feszítést ebben az esetben is célszerű némileg túlméretezni.

Ha a repedések injektálására nincs lehetőség és zárásuk sem oldható meg, célszerű a szükséges feszítőerőt a repedezett tartó tényleges merevségeinek figyelembevételével számított szerkezeten meghatározni. Ekkor azt is meg kell vizsgálni, hogy a repedések milyen mértékben veszélyeztetik a szerkezet tartósságát a meglévő vasalás korróziója, illetve a fáradás miatt.

c) *Erősen repedezett szerkezetnél* lehetőleg próbaterheléssel kell megvizsgálni, hogy a tervezetthez képest jelentősen megváltozott merevségi viszonyok miatt az igénybevételek milyen mértékben rendeződtek át. Ennek hiányában előfordulhat, hogy a megerősítés tervezéséhez alkalmazott számítási modell és a szer-

kezet tényleges viselkedése között jelentős lesz az eltérés.

Az igénybevételek jelentős átrendeződése esetén célszerű a repedések injektálása és a feszítés megkezdése előtt a tervezett igénybevételi arányokat valamilyen módszerrel, például többtámaszú tartóknál a támaszok szintjének beszabályozásával helyreállítani.

#### 4.4.2. A szerkezet és a kábel önrezgése

Az önrezgés vizsgálatára elsősorban hídszerkezetek és más dinamikus igénybevételeknek kitett szerkezetek megerősítésénél van szükség.

Egy  $\rho$  térfogatsúlyú,  $\sigma$  húzófeszültséggel terhelt és a rögzítési pontok között  $l$  szabad hosszúságú egyenes kábelszakasz önrezgésének  $T_k$  [s] alapperiódusa, a kábel inerciáját elhanyagolva, a

$$T_k = 2l \sqrt{\frac{\rho}{\sigma}} \quad (2)$$

összefüggéssel számítható.

Az  $l$  támaszközű,  $I$  állandó inerciájú,  $E$  rugalmassági modulusú és folyóméterenként  $m$  tömegű kéttámaszú gerenda önrezgésének  $T_g$  alapperiódusa a

$$T_g = \frac{\pi}{5} \sqrt{\frac{m \cdot l^4}{EI}} \quad (3)$$

képlettel határozható meg.

Folytatólagos többtámaszú gerenda esetén az  $l$  támaszköz olyan  $l'$  fiktív értékkel helyettesíthető, amely annak a hasonló keresztmetszetű, kéttámaszú gerendának a támaszköze, melyen azonos terhelés hatására a folytatólagos tartó megfelelő nyílásának lehajlásával megegyező lehajlás jön létre.

Bonyolultabb szerkezeteknél az önrezgés periódusát célszerű részletes dinamikai vizsgálattal megbecsülni. Az alapperiódus ismeretében a harmonikusok a

$$T_i = \frac{T}{n} \quad (n = 1, 2, 3, 4, \dots) \quad (4)$$

összefüggéssel számíthatók.

A feszítőkábelek rögzítési pontjait, a lehorgonyzások és diafragmák helyét úgy kell megválasztani, hogy a dinamikus terhekből keletkező rezgések hatására a kábelek és a szerkezet ne kerüljenek rezonanciába. Ennek érdekében a tapasztalatok szerint például hidak szabad kábeleit 15–20 m-enként rögzíteni kell.

#### 4.4.3. A lehorgonyzó és irányeltérítő elemek rögzítésének méretezése

Az előregyártott vagy helyszínen betonozott lehorgonyzó, ill. irányeltérítő elemek és a meglévő szerkezet közötti erőátadást általában az elemek rögzítéséhez alkalmazott rövid feszítőrudak által kifejtett feszítőerő hatására ébredő felületi kapcsolat biztosítja. Az ilyen jellegű kapcsolatok teherbírásának vizsgálatára sok kísérletet végeztek (LCPC, FREYSSINET laboratórium, Dulácska [3] [6]). A kísérleti eredmények azt igazolják, hogy a két szerkezet közötti  $\phi$  súrlódási tényező becslésénél, különösen előregyártott lehorgonyzó elemek alkalmazása

esetén, óvatosnak kell lenni. Ekkor ugyanis az elem és a szerkezet közé a megfelelő felfekvés érdekében cement- vagy műgyantahabarc réteg is kerül. Tapasztalatok hiányában a súrlódási tényező várható értékének meghatározására célszerű kísérleteket végezni.

A rövid feszítőrudak feszítésére, Chabert [5] kísérletei azt mutatják, hogy a számításba vehető feszítőerő meghatározásakor a menetialakítás pontatlanságai, a lehorgonyzó lemez és az ágyazóhabarc alakváltozásai és egyéb bizonytalanságok következtében egy  $\gamma_p < 1$  csökkentő tényezőt kell alkalmazni.

A CEB-ajánlásokat is figyelembe véve a méretezés a következők szerint végezhető.

a) *A lehorgonyzó tömbök méretezése*

A kivitelezési nehézségeket és a kapcsolat tönkremenetelének következményeit is figyelembe véve a méretezésnél célszerű a  $\phi$  súrlódási tényezőt a belső súrlódás figyelmen kívül hagyásával, sík érintkező felületek feltételezésével, a megcsúszás kezdetének pillanata előtt fellépő értékkel számításba venni.

A kapcsolat vizsgálatát el kell végezni:

- a rögzítő feszítőrudak megfeszítésekor,
- a megerősítő feszítőkábelek megfeszítésekor a rögzítő rudakban a feszítés időpontjáig bekövetkező feszültségvesztések figyelembevételével,
- mindkét típusú feszítőelemben a teljes veszteségek lejátszódása után.

Az elemek szerkezethez való rögzítését biztosító feszítőerőből a csatlakozási felület méreteit úgy célszerű megválasztani, hogy a nyomófeszültség ne haladja meg a gyengébbik anyag határfeszültségének 75%-át.

Az elem bekötésének méretezése szempontjából alapvetően két esetet különböztethetünk meg.

a1) *Ha a lehorgonyzó elem és a szerkezet közötti kapcsolatot csak a feszítőrudak szorító hatása biztosítja, akkor az elembe lehorgonyzott feszítőerőt növelt, a súrlódási tényezőt pedig csökkentett értékkel figyelembe véve a kapcsolat teherbírásának feltétele*

$$0,85N_p \cdot \varphi_d \geq 1,35P_m, \quad (6)$$

ahol

$N_p$  az elemet rögzítő feszítőrúdban lévő feszítőerő és  $P_m$  az elembe lehorgonyzott feszítőerő átlagos értéke.

A  $\varphi_d$  súrlódási tényezőnek az LCPC kísérletei alapján [2] javasolható szélső értékeit figyelembe véve (érsített felületre helyszínen betonozott tömb esetén  $\varphi_d = 0,8$  és előregyártott tömb esetén  $\varphi_d = 0,4$ ) a szükséges rögzítőerő és az elembe lehorgonyzott feszítőerő  $K$  arányára az alábbi értékek adódnak:

$$K = \frac{N_p}{P_m} \approx 2 \text{ helyszínen betonozott elemnél,}$$

$$K = \frac{N_p}{P_m} \approx 4 \text{ előregyártott lehorgonyzó elemnél.}$$

a2) *Ha a lehorgonyzó elem fűrt-ragasztott acéltüskékkel és feszítőrudakkal kapcsolódik a szerkezethez, a kapcsolat teherbírása a*

$$(0,85N_p + A_s\sigma_{sH}) \varphi_d \geq 1,35P_m \quad (7)$$

összefüggéssel igazolható, ahol  $A_s$  az érintkezési felületet keresztező fűrt ragasztott tüskék összes keresztmetszeti területe,  $\sigma_{sH}$  az acéltüske határfeszültsége.

Bizonyos esetekben a lehorgonyzó elem rögzítése feszítőrudak által kifejtett szorítóerő nélkül is lehetséges. Ekkor az előző feltétel az alábbiak szerint módosul:

$$A_s\sigma_{sH} \varphi_d \geq 1,35P_m.$$

b) *A feszítőerő iránytörését biztosító szerkezeti elemek bekötését az előbbiekhöz hasonló elven és biztonsági tényezők figyelembevételével kell méretezni.*

Ha az iránytörésből származó és az érintkezési felületre merőleges irányú  $N$  húzóerőt csak a kapcsoló feszítőrudak által kifejtett  $N_p$  szorítóerő veszi fel, akkor a kapcsolat teherbírása megfelel, amennyiben

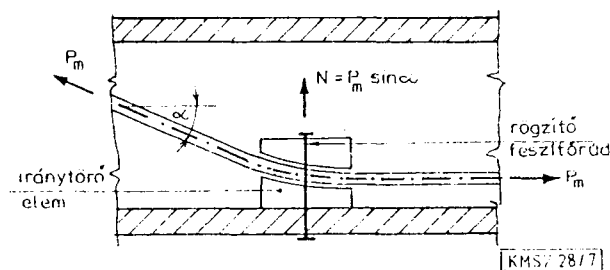
$$0,85N_p \geq 1,35N.$$

Fűrt-ragasztott acéltüskék és feszítőrudak együttes alkalmazásakor a kapcsolat teherbírása megfelelő, a

$$0,85N_p + A_s\sigma_{sH} \geq 1,35N \quad (8)$$

feltétel teljesülése esetén.

Az  $N$  húzóerő értelmezését a 7. ábra mutatja.



7. ábra

Ha az irányeltérítésből az elem és a szerkezet kapcsolatánál  $Q$  csúszatóerő is keletkezik, például a 6. ábra szerinti megoldásnál, akkor a kapcsolat méretezéséhez a (5), (6) összefüggések alkalmazhatók azzal a különbséggel, hogy a feszítőrudakban lévő erőt az  $N$  húzóerővel csökkenteni kell.

5. Elégtelen nyírási teherbírású szerkezetek megerősítése

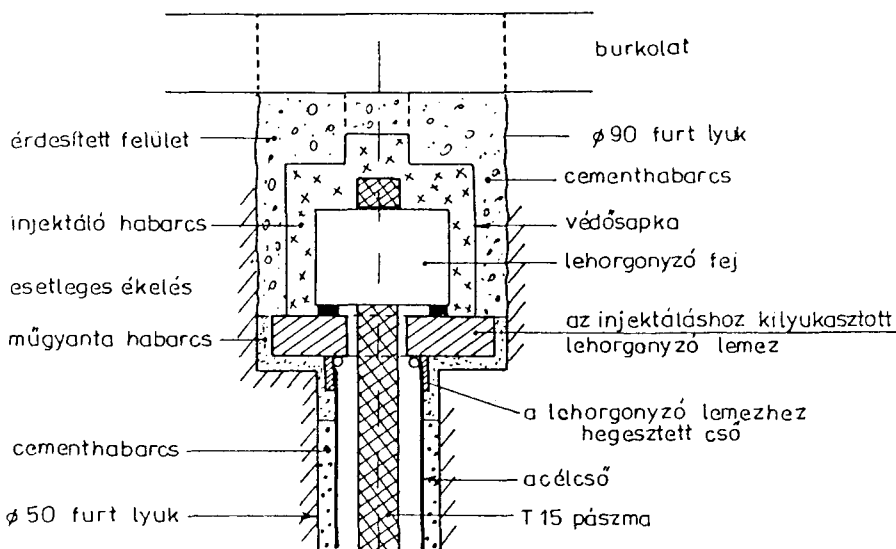
Utólagos feszítéssel a szerkezetek nyírási teherbírása feszített kengyelek beépítésével, törtvonalban vezetett hosszanti feszítőelemekkel vagy e két módszer együttes alkalmazásával növelhető.

5.1. Megerősítés feszített kengyelek alkalmazásával

Feszített kengyelezés elegendően magas gerincű gerendák esetén alapvetően feszítőhuzalok, feszítőrudak vagy egyedi pászmák alkalmazásával alakítható ki. A feszítőbetéteket a tartó gerincében fűrt lyukakban vagy a gerinc közvetlen szomszédságában lehet vezetni, és a gerenda alsó, illetve felső övében kell lehorgonyozni.

E megoldás eredményessége nagymértékben függ a kivitelezés gondosságától, elsősorban a rövid feszítőbetétek megfeszítésének bizonytalanságai, valamint a ká-

belek lehorgonyzásának korrózióérzékenysége miatt. A lehorgonyzó fejek korrózióvédelmét ezért rendkívüli alaposítással kell megtervezni és kivitelezni, mert a megerősítés megfelelő élettartama csak így érhető el. Egyedi pászmákkal kialakított feszített kengyel lehorgonyzásának egy lehetséges megoldását mutatja a 8. ábra.



8. ábra

A gerinc teljes magasságának átfúrásával és a furaton átvezetett feszítőbetéttel végzett megerősítés elméletileg igen kedvező megoldást eredményez, azonban a furatok kialakítását rendkívüli gondossággal és csak állandó ellenőrzéssel lehet végezni. Ha a tartó gerincében eredetileg is feszítőkábelek vannak, furat nem készíthető.

A gerincek közvetlen szomszédságában, de a betonon kívül vezetett, a gerenda alsó, illetve felső öveiben lehorgonyzott feszített kengyelek alkalmazása a gerinc átfúrásából származó problémák jelentős részét megoldja. Ha azonban a feszítőbetéteket a gerinc két oldalán nem szimmetrikusan helyezik el, a gerincben zavaró hajlítónyomatékok keletkeznek. Ez a megoldás nem javasolható azokon a szakaszokon, ahol a tartón jelentős mértékű nyírási repedések vannak.

### 5.2. Megerősítés törtvonalban vezetett hosszirányú kábelekkel

A támaszok környékén ferdén felvezetett hosszirányú feszítőkábelek egyes esetekben kielégítő megoldást eredményezhetnek a nyírásból származó repedések zárására és a tartó nyírási teherbírásának növelésére. A feszített kengyelekkel végzett megerősítésnél tapasztalható hátrányok jelentős része ezzel a megoldással kiküszöbölhető. A módszer alkalmazásának műszaki korlátai az alábbiak:

– a túlzott mértékű iránytörés jelentős súrlódási veszteséggel jár,

– a feszítőerő nem fokozható mindig a nyírás szempontjából elegendő mértékig, mert ez esetenként bizonyos keresztmetszetekben túlzottan nagy nyomófeszültség kialakulásához vezet,

– az irányeltérítő diafragmák elhelyezését is figyelembe véve, a ferde feszítőerőnek a nyírás szempontjából kedvező hatása csak a tartó gerincének középső, korlátozott magasságú szakaszán érvényesül teljes egészében. A feszítőkábelek tengelye ugyanis általában csak a gerenda felső öve alatt, illetve alsó öve felett mintegy 10–20 cm-re vezethető.

### 5.3. A nyírási megerősítés méretezésének alapelvei

A tisztán nyírási repedések jelentkezése igen ritka. A tartók károsodásainál a leggyakrabban vegyes, hajlításból és helyi, erőátadási problémákból származó repedések kialakulása tapasztalható.

A megerősítés méretezése a szerkezet repedezettségi állapotától függ.

- Repedésmentes tartók* megerősítése utólagosan beépített kengyelekkel vagy ferde feszítőbetétekkel oldható meg, melynek szükséges mennyiségét az új szerkezetek méretezésének alapelvei szerint lehet meghatározni. Ha a pótlólag beépített feszítőbetétek a tartó tengelyére nézve nem szimmetrikusak, akkor a szerkezetet keresztirányú hajlításra is ellenőrizni kell. A feszített kengyeleket elegendő sűrűséggel kell elhelyezni ahhoz, hogy a tartó gerincében egyenletes nyomófeszültség alakuljon ki.
- Gyengén repedezett szerkezetek megerősítésekor* ha a nyírási repedések tágassága nem nagyobb 0,2–0,3 mm-nél, melynek alapján valószínűsíthető, hogy a tartóban meglévő nyírási vasalás még nem folyt meg, a megerősítéshez szükséges pótlólagos feszítőbetétek mennyisége a repedésmentes szerkezetekhez hasonló módon határozható meg. A számítást a látható repedések tényleges irányainak alapulvételel kell elvégezni. A tapasztalatok szerint ugyanis a nyírási vagy nyírási-hajlítási repedések tényleges hajlásszöge a tartó tengelyéhez képest nagyobb, mint az elméletileg számítható érték.
- Erősen repedezett szerkezetek* nagy tágasságú repedései általában a nyíróerő és a hajlítónyomaték együttes hatására alakulnak ki. Ekkor a tartóban meglévő kengyeleket a szerkezet nyírási teherbírása szempontjából indokolt figyelmen kívül hagyni, mivel azok nagy valószínűséggel már képlékeny alak-

változásokat szenvedtek. Az utólagos feszítéssel végzett megerősítés feszítőelemeit ekkor a teljes nyíróerő felvételére kell méretezni. Ezen túlmenően a feszítőelemeket úgy kell elhelyezni, hogy az utólagos feszítésből származó nyomóerő lehetőleg a repedések irányára merőleges legyen.

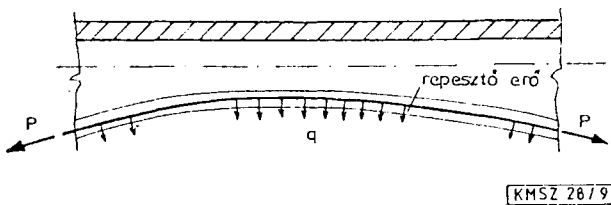
**6. Feszített tartók erőátadási problémáira visszavezethető meghibásodások**

A feszített tartók erőátadási problémáira visszavezethető károsodások igen sokrétűek lehetnek. Itt elsősorban a feszített tartóknál tapasztalható jellegzetes repedésekkel foglalkozunk. Ezek csaknem minden esetben – a szerkezet hajlító és nyíró igénybevételei következtében létrejövő repedések továbbterjedése miatt – halmozottan jelentkeznek.

A tartó megerősítésének elvi kialakítását néhány tipikus esetre mutatjuk be.

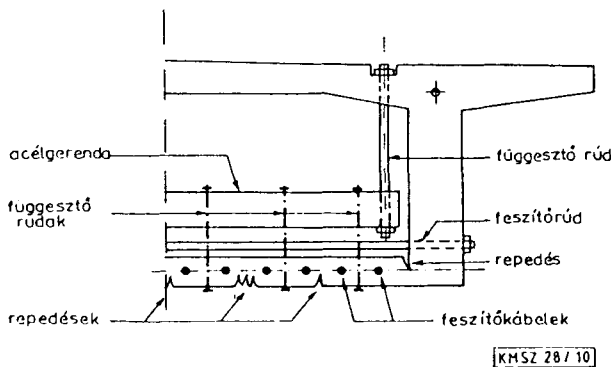
**6.1. A feszítőerő irányváltozásából származó meghibásodások**

Íves alsó övű gerendák talplemezében vezetett feszítőerő irányváltozásából származó, az ív görbületi középpontja irányába mutató erő hatására a tartó alsó övében vagy a gerinc és a talplemez csatlakozásánál repedések keletkezhetnek (9. ábra).



9. ábra

A kialakuló repedések lehetnek helyi jellegűek, de gyakran előfordulnak az íves szakasz teljes hosszán látható repedések is. A meghibásodás kijavításának egyik lehetséges módja a gerenda alsó övének vagy az alsó övben vezetett feszítőkábeleknek a felkötése. Szekrényes keresztmetszetű, széles alsó övű tartóknál ezt a megol-

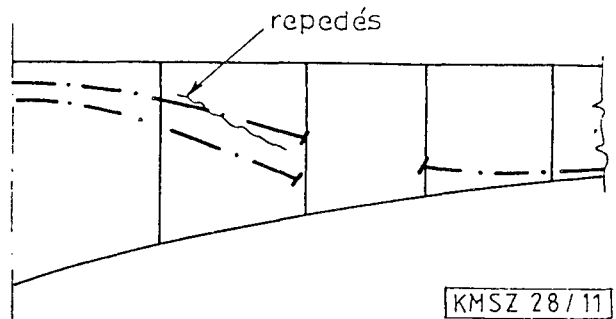


10. ábra

dást általában a talplemez keresztirányú feszítésével együtt célszerű alkalmazni. Egy lehetséges megoldást mutat a 10. ábra.

**6.2. A feszítőerő lehorgonyzására visszavezethető meghibásodások**

A feszítésből származó nyomóerőnek a betonban való szétterjedése következtében a lehorgonyzások közelében gyakran alakulnak ki a feszítőkábelek vonalvezetésével közel párhuzamos repedések (11. ábra).



11. ábra

Ha az ilyen repedések iránya jelentősen eltér a nyírásból származó repedések szokásos irányától, akkor nem veszélyeztetik a szerkezet teherbírását. Ezek a repedések felgyorsítják a szerkezetben lévő vasalás korróziójának folyamatát, ezért célszerű azokat rugalmas anyagú injektálással vagy felületbevonattal kijavítani.

Ha a repedések iránya közel párhuzamos a tartó igénybevételeiből származó repedések irányával, a szerkezetet meg kell erősíteni. Erre a leghatékonyabb megoldás a repedéseket átmetsző utólagos feszítés, melyre a nyírási teherbírás növelésénél láttunk példákat. Tartótengely irányú vagy törtvonalban vezetett utólagosan beépített feszítőkábelekkel is biztosítható a szerkezet megerősítése, ezek hatékonysága a repedések irányával bezárt szögüktől függ.

Ha a feszítőbetétekkel közel párhuzamos irányú repedések a tartó alsó vagy felső övében alakulnak ki, a megoldás a keresztirányú feszítés lehet.

**6.3. A méretezés összetett igénybevételek esetén**

Ha a tartóra hajlító, nyíró és csavaró igénybevételek hatnak, és a feszítőerő átadódásából származó meghibásodások utáni megerősítés méretezése a feladat, akkor – annak komplexitása következtében – meglehetősen nehéz általános alapelveket megfogalmazni. Az alábbiakat kell szem előtt tartani.

A vegyes okokra visszavezethető meghibásodásoknál a tartó tényleges feszültségi állapotának meghatározása rendkívül nehézkes, és a szerkezet repedezettségi állapotától függően meglehetősen bizonytalan. Ezért tanácsos a megerősítést a teljes kombinált igénybevételek alapulvételével megtervezni, hacsak nem lehet egyértelmű bizonyossággal valószínűsíteni, hogy a szerkezet nem feszí-

tett vasalása még nem szenvedett képlékeny alakváltozásokat.

Szekrényes keresztmetszetű tartók alsó vagy felső öveinek keresztirányú megfeszítésénél a lemez stabilitásvizsgálatát is el kell végezni.

Az utólagosan elhelyezett kábelek vonalvezetésének tervezésekor ügyelni kell arra, hogy a tartó meglévő szerkezeti elemei (keresztartók stb.) akadályozhatják a tervezett legkedvezőbb vonalvezetés kialakítását.

## 7. Összefoglalás

A tanulmány a meghibásodott vagy nem elegendő teherbírású vasbeton és feszített vasbeton tartószerkezetek megerősítésének lehetőségeit foglalja össze utólagosan kialakított feszítés alkalmazásával. A módszert elsősorban a nyugat-európai országokban széles körben alkalmazták, de az utóbbi években Magyarországon is elterjedőben van. Mivel szélesebb körű bevezetésére napjainkban kerül sor, a szerzők összefoglalják azokat a főbb

ismereteket, amelyek az eddigi alkalmazások tapasztalataiból leszűrhetők. Ezek felhasználásával különböző típusú meghibásodások, illetve teherbírasi elégtelenségek esetére ismertetik az utólagos feszítéssel végzett szerkezetmegerősítés elvi alapjait, lehetséges szerkezeti kialakítását és méretezésének alapelveit.

## Irodalom

- [1] *M. Virlogeux*: La précontrainte extérieure, Annales ITBTP, dec. 1983.
- [2] Rapport OCDE sur la réparation des ouvrages d'art, 1983.
- [3] Freyssinet magazine spécial réparation, 1985.
- [4] Document du CEB sur le renforcement des structures existantes 1991.
- [5] *D. D. Poineau*: La précontrainte dans les travaux de réparation et de renforcement des Ponts, Annales ITBTP no 501 fév. 1992.
- [6] *Dulácska E.-Szederjei J.*: Az előregyártott és helyszíni beton csatlakozási felületének nyíróteherbírása. Mélyépítéstudományi Szemle, XXII. évf. 1972. 8. sz.