



Magasépítési vasbetonszerkezetek

3. előadás

Feszített lemezek

Szabó Imre Gábor

Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar

Építőmérnök Tanszék



1. Feszített vasbeton födémek

A feszített födémek alkalmazását az alábbi előnyök indokolják

- a lemez vastagsága azonos teher és fesztáv esetén csökkenthető,
- a födém fesztávolsága nagyobb lehet,
- az alakváltozások a feszítéssel csökkenthetők,
- a födémeken nem, vagy csak kismértékben alakulnak ki repedések,
- a fáradással szembeni ellenállás nő.

A kisebb födémvastagság a függőleges teherviselő szerkezetek terheit is csökkenti, így ezek méretezését is kedvezően befolyásolja. Feszített födémeket 1955 óta alkalmaznak az Egyesült Államokban. Európában az 1960-as évektől kezdve terjedtek el. A napjainkban alkalmazott feszítési módszerek több éves kutatások eredményeként alakultak elsősorban Németországban, Svájcban, Franciaországban és Dániában.



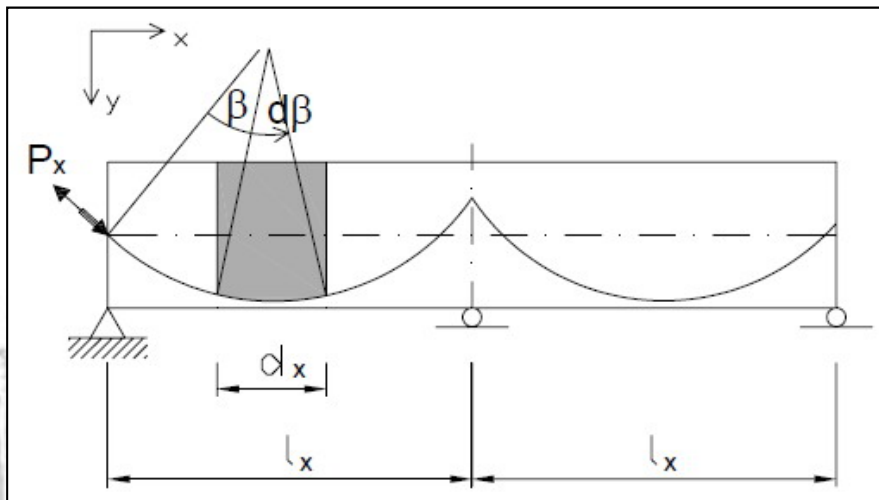
1.1 Tapadóbetétes feszítés alkalmazása

Feszítés helyettesítése külső egyenértékű teherrel

A feszítés hatása a sokszorosán statikailag határozatlan födém szerkezetek esetén az úgynevezett belső módszerrel csak nehezen vizsgálható, ezért ekkor a külső módszer alkalmazása, amikor a feszítést, mint külső egyenértékű terhet vesszük számításba, célravezetőbb.

A feszítésnek külső egyenértékű teherrel való helyettesítésén alapuló módszer alkalmazása, a kiegyensúlyozás elvével kiegészítve, rendkívül hasznos módszer, különösen a statikailag sokszorosán, határozottan feszített szerkezetek méretezésénél. A módszer lényege, hogy egy feszítőkábel hatását a szerkezetre működő egyenértékű erőrendszerrel, a lehorgonyzási pontokon alkalmazott és a kábel irányváltásából származó megoszló, vagy koncentrált erőkből álló erőrendszerrel helyettesítjük.

A feszítés hatására a kábelben és a betonszerkezetben egyensúlyban lévő, egymással egyenértékű, de ellenkező előjelű erőrendszer keletkezik.



1. ábra. Helyettesítő teher számításának modellje [Kiss R. 2007]

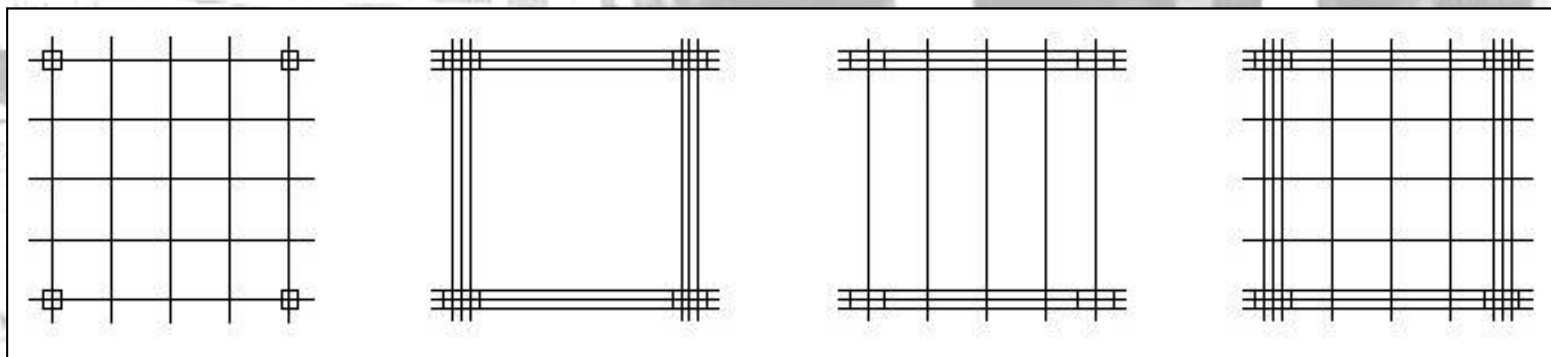
A helyettesítő teher alkalmazásával a kábelben keletkező erőket a feszítés hatásából egy olyan, egyszerű, koncentrált, és egyenletesen megoszló terhekből álló, önmagában egyensúlyban lévő, egyszerű erőrendszerrel helyettesítettük, amelynek ellentétjét, mint külső terhet működtetve a szerkezetre, a tartó igénybevételei a feszítésből könnyen meghatározhatók. A feszítés hatása tehát a kábelek lehorgonyzási és iránytörési pontjaiban beiktatott P és $P \operatorname{tg} \alpha$ koncentrált, és az íves kábelszakaszokon működtetett $u = P \cdot \frac{8f}{l^2}$ egyenletesen megoszló terhek alkalmazásával helyettesíthető.



A $P = const.$ feszítőerőt a vizsgált szakaszon, a veszteségek figyelembevételével megállapítható P_{max} maximális és P_{min} minimális feszítőerő átlagaként célszerű számításba venni. A vizsgált szakasz, ahol a feszítőerő állandónak tekinthető, a megkövetelt számítási pontosságtól függően esetenként egy, vagy több összevont nyílás hosszával lehet azonos.

Oszlopokkal közvetlenül megtámasztott feszített födémek kábelelrendezése

Alapvetően a födémlemez kábeleinek elrendezése a felület mentén szétszortott, vagy az alátámasztási tengelyek vonalában koncentrált lehet. Ennek megfelelően négy fontos csoport különböztethető meg.



2. ábra. Feszítőbetétek elhelyezése: Felületen egyenletesen szétszortott, oszlopok tengelyvonalába koncentrált, egyik irányban egyenletesen szétszortott, másik irányban oszlopok tengelyvonalába koncentrált, vegyes (mindkét irányban szétszort és tengelyvonalában koncentrált). [Kiss R. 2007]



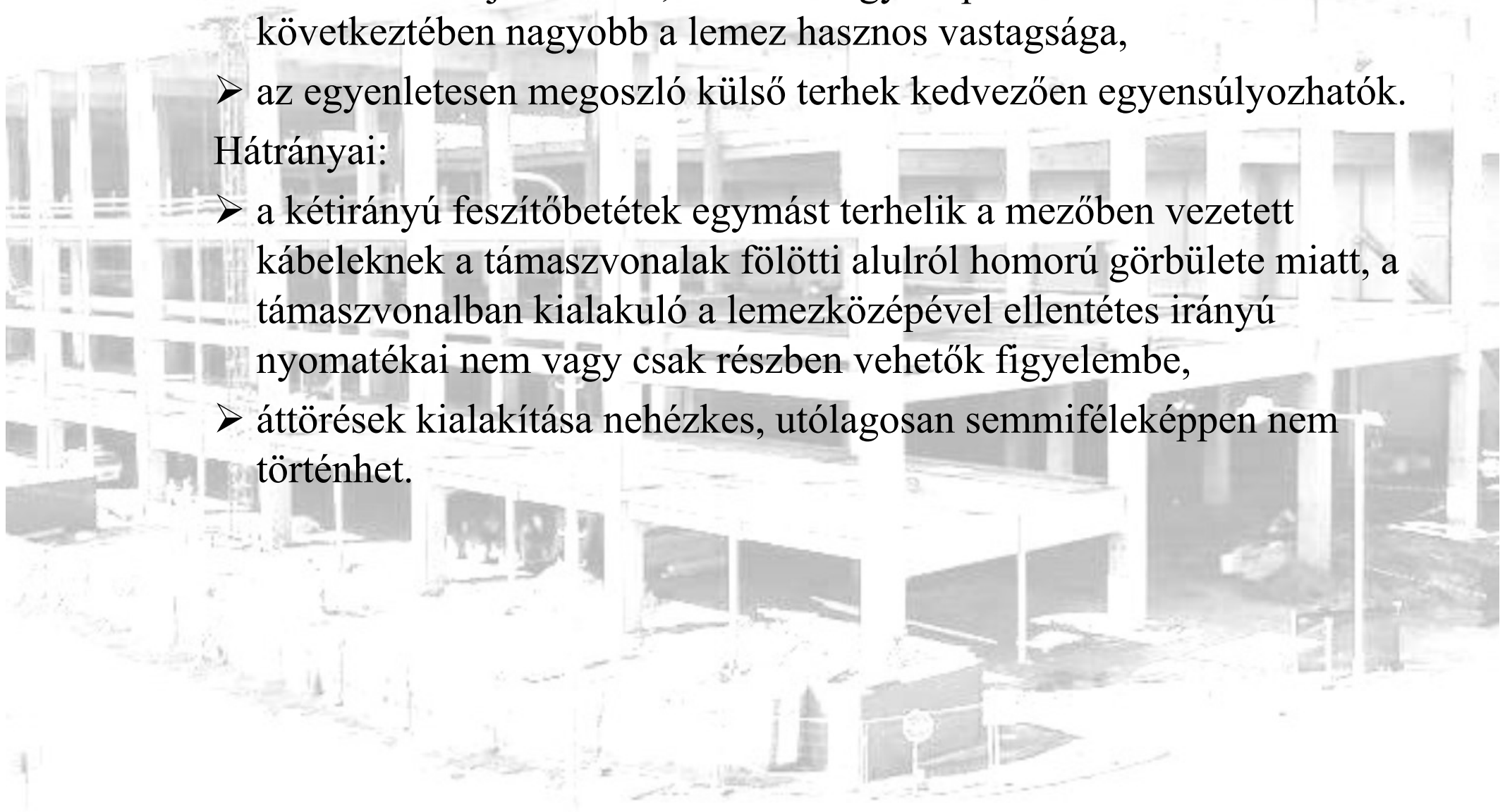
A lemez felületén szétszított kábelvezetés az egyik legegyszerűbb kábelvezetési mód.

Előnyei:

- kisebb átmérőjű kábelek, általában egyedi pászák alkalmazása következtében nagyobb a lemez hasznos vastagsága,
- az egyenletesen megoszló külső terhek kedvezően egyensúlyozhatók.

Hátrányai:

- a kétirányú feszítőbetétek egymást terhelik a mezőben vezetett kábeleknek a támaszvonalak fölötti alulról homorú görbülete miatt, a támaszvonalba kialakuló a lemezközépével ellentétes irányú nyomatékok nem vagy csak részben vehetők figyelembe,
- áttörések kialakítása nehézkes, utólagosan semmiféleképpen nem történhet.





A másik egyszerű kábelvezetési mód, az oszlopok tengelyvonalaiban koncentrált kábelvezetés.

Előnyei:

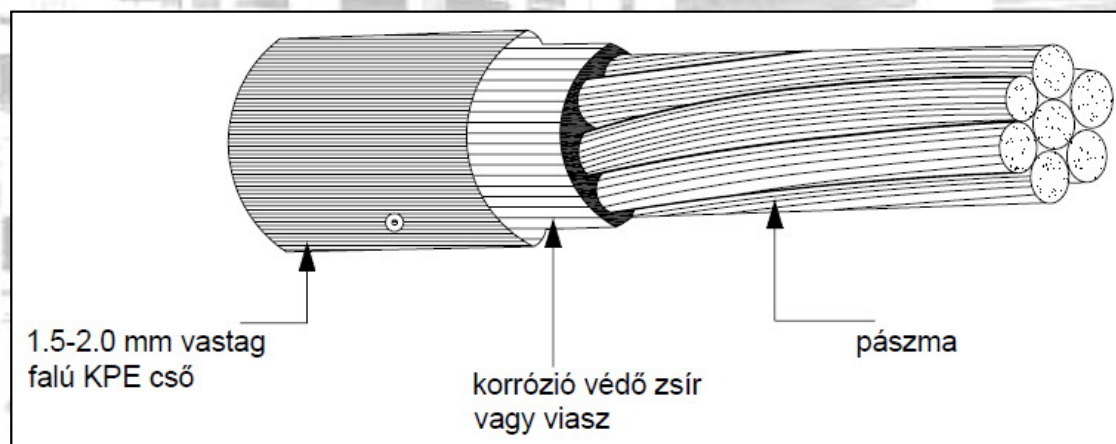
- a feszítőbetétek a kiegyensúlyozott terheket közvetlenül az oszlopokra adják át, ezért kevesebb kábelt kell alkalmazni,
- a födémén esetlegesen szükségessé váló áttöréseket könnyebb kialakítani.

A gyakorlatban az előző két megoldás kombinációját is alkalmazzák: egyik megoldás, mikor az egyik irányban szétosztott kábelek a másik irányban az oszlopok vonalában koncentrált feszítőkábelekre vannak felfűzve. A másik megoldás a lemez felületén szétosztott kábelvezetésnél az oszlopok tengelyvonalaiban általában besűrítik a feszítőkábeleket mindkét irányban.

1.2 Csúszókábeles feszítés alkalmazása

Az épületek födémlemezeinek kis vastagsága miatt, a feszítés kialakításánál előnyös a nagyszámú, egyedi feszítőbetétek alkalmazása. Ezek hagyományos, utólag kiinjektált gégecsőben való elhelyezése főképpen az injektálás nehézkes és bizonytalan kivitelezhetősége miatt, nem kedvező.

A gyárilag korrózióvédelemmel ellátott és kemény polietilén csővel burkolt feszítőpászmák elterjedésével ezért egyre inkább a csúszóbetétes feszített födémek építése kerül előtérbe. Az ilyen pászmák jellegzetes keresztmetszetét mutatja a 3. ábra.



3. ábra. Csúszóbetétes pászma [Kiss R. 2007]

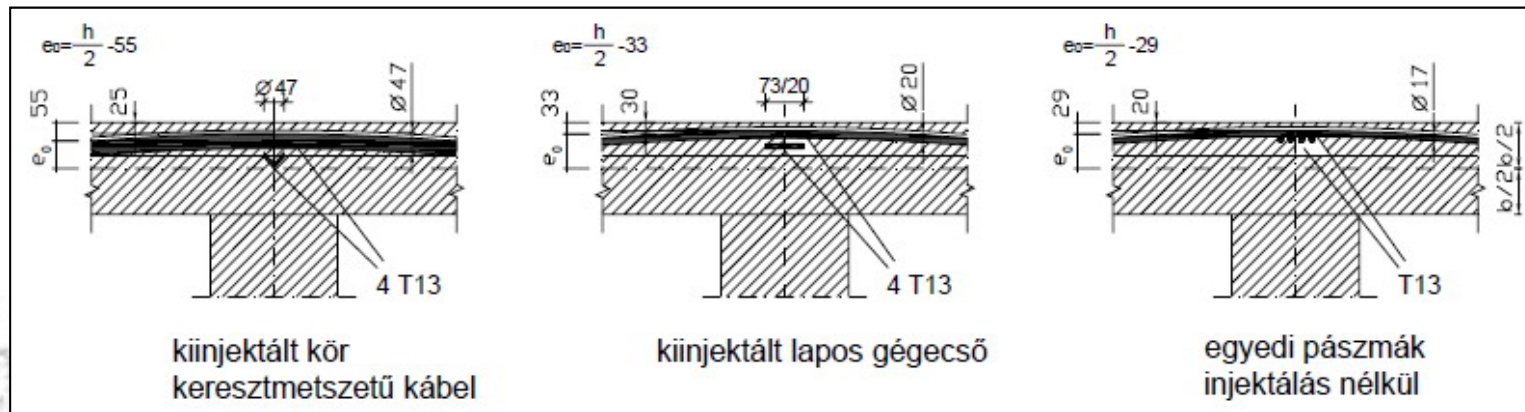


A különböző típusú feszítőkábelek alkalmazása esetén a feszítőerő külpontosságának maximális értékét a következő ábrán illusztráltuk. A korrózió ellen a polietilén csővel és zsírral, vagy viasszal kétszeresen védett egyedi pászmák alkalmazásának legfontosabb előnyei:

- gyárilag korrózióvédett feszítőbetét,
- nagyobb feszítőerő külpontosság,
- kis súrlódási veszteség,
- injektálás nem szükséges.

A csúszóbetétes feszítőkábelek alkalmazásának hátrányai:

- a lemez törési határállapotánál a feszítőbetétekben kialakuló feszültség jóval a folyási határ alatt van általában,
- egy feszítőbetét helyi szakadása következtében, a kábel és a beton közötti tapadás hiánya miatt, a szakadt betét a teljes hosszán hatástalanná válik a teherviselés szempontjából.



4. ábra. Csúszóbetétes kábelek elhelyezkedése [Kiss R. 2007]

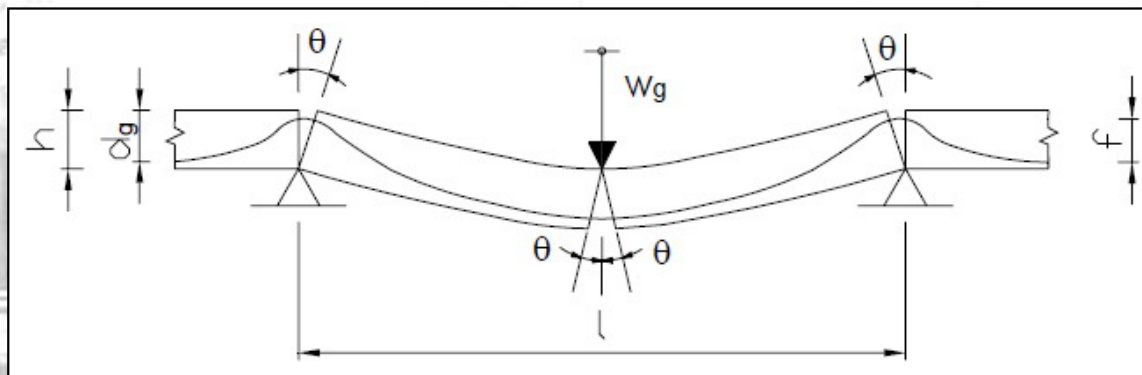
Ez utóbbi különösen a tűzzel szembeni védelemnél lényeges, mert egy esetleges helyi tűz hatása a kábel teljes hosszára kiterjed. A hatás a lehorgonyzási pontok közti távolság csökkentésével, vagyis egy feszítőbetét szakaszolásával csökkenthető. A szerkezet tartóssága szempontjából nagyon fontos a lehorgonyzó fejek megfelelő korrózióvédelme.

A csúszóbetétes kábelekkel feszített födémek teherbírása

A csúszóbetétes kábelekben keletkező feszültség a födémlemez törési állapotában a folyási határnál kisebb, mivel a képlékeny csuklósorokban (törésvonalakban) keletkező alakváltozások a feszítőbetét hossza mentén megoszlanak.



A törési állapotban a feszítőkábelekben számításba vehető feszültségnövekmény geometriai megfontolások alapján becsülhető, a lemez maximális lehajlásainak és a feszítőbetét hosszának függvényében, a következő modell szerint.



5. ábra. Számítási modell [Kiss R. 2007]

Feltételezve, hogy a vizsgált lemezszakasz oldalirányú elmozdulása a támaszok felett gátolt, például belső lemezmező esetén, és hogy a kábelvezetés másodfokú parabola alakú, a párhuzamosan kialakuló törésvonalak hatására a feszítőbetét megnyúlása, a középső keresztmetszet w_u lehajlásának függvényében, a következők szerint határozható meg.



Az f nyílmagasságú másodfokú parabola ívhossza a lemez alakváltozása előtt

$$L_1 = \left(1 + \frac{8f^2}{3l^2} - \frac{32f^4}{5l^4} + \dots \right) \cong l \cdot \left(1 + \frac{8f^2}{3l^2} \right)$$

a sorbafejtés után a sor első két tagjával közelítve. A törésvonalak között merev testszerű alakváltozást feltételezve w_u lehajlás esetén az előző kábel ívhossza

$$L_2 \cong l \cdot \left[1 + \frac{(f + w_u)^2}{3l^2} \right]$$

növekszik és ezzel a feszítőbetét megnyúlása

$$L_2 - L_1 = \Delta L \cong \frac{8(f + w_u)^2}{3l} - \frac{8f^2}{3l} = \frac{16f \cdot w_u}{3l} + \frac{8w_u^2}{3l}$$

alakban, míg fajlagos alakváltozása

$$\Delta \varepsilon = \frac{\Delta L}{l} = \frac{16}{3} \cdot \frac{f}{l} \cdot \frac{w_u}{l} + \frac{8}{3} \cdot \left(\frac{w_u}{l} \right)^2$$

alakban írható.



Ezzel a kábelben keletkező egyenletes feszültségnövekmény a w_u maximális lehajlás hatására a

$$\Delta\sigma = \Delta\varepsilon E_p$$

összefüggés alapján számítható.

Fel kell hívni a figyelmet arra, hogy mivel a földem tönkremenetele egyetlen mezőben kialakuló törési mechanizmus esetén is bekövetkezik, a kábel megnyúlásának meghatározásánál az l hosszúság mindig a feszítőbetét lehorgonyzási pontjai közötti távolságot jelenti.

Oldalirányban meg nem támasztott lemezmező esetén, például szélső földem sávban, a támaszponti elfordulással együtt az ott lehorgonyzott kábelvég is elfordul, ezért ekkor a feszítőbetét megnyúlása a törési mechanizmus kialakulásának hatására az előzőnél kisebb lesz. Tökéletesen merev oldalirányú megtámasztás nem létezik a gyakorlatban, ezért a valóságban a belső lemezmezőkben kialakuló törési mechanizmus hatására is kisebb lesz a feszítőpászma megnyúlása, mint az előzőekben meghatározott elméleti érték.



A FIP ajánlása szerint, a fentiek figyelembe vételével és $I \sim 3/4 d_p$ feszítőbetét nyílmagasság feltételezésével a lemezmezőben kialakuló törésvonal hatására keletkező kábelnyílás a

$$\Delta L_m = 3,0d \frac{w_u}{1}$$

míg a támaszvonalknál kialakuló törésvonal hatására keletkező kábelnyílás a

$$\Delta L_t = 1,5d_p \frac{w_u}{1}$$

összefüggéssel határozható meg. A kábel teljes megnyúlása ezzel a

$$\sum \Delta L_t + \Delta L_m$$

összegzéssel számítható.

A maximális lehajlás w_u értéke, amelyhez a feszített födémlemez teherbírasi határállapotát rendelhetjük, a feszítávolság ötvenedére vehető fel.



A feszítési feszültség és a lemez alakváltozásának hatására keletkező feszültségnövekmény összege természetesen nem lehet nagyobb, mint az alkalmazott feszítőbetét határfeszültsége.

A feszítőbetétben számításba vehető feszültség meghatározása után a lemez teherbírási határállapota legegyszerűbben a törésvonal elmélet alkalmazásával vizsgálható az oszlopokkal közvetlenül megtámasztott vasbeton lemezekhez hasonlóan. A törésvonalak mentén számításba vehető határnyomatékok a feszített és nem feszített vasalás figyelembe vételével az ábra jelöléseivel a következő képlettel határozhatók meg.

$$m_u = H_s \left(d_s - \frac{x_b}{2} \right) + H_p \left(d_p - \frac{x_b}{2} \right)$$

$$H_s = A_s \cdot f_{yd}$$

$$H_p = A_p \cdot f_{dp}$$

$$x_b = \frac{H_s + H_p}{b \cdot f_{cd}}$$


ahol A_s és A_p a b szélességű lemezsávban lévő nem feszített és feszített betétek keresztmetszeti területei.

A minimálisan szükséges nem feszített tapadásos vasalás

A lemez repedezettségi állapota alapvetően a szerkezetben alkalmazott tapadásos, feszített vagy nem feszített acélbetétek mennyiségétől függ. A repedések helyén keletkező húzóerőt a repedést keresztező acélbetétek veszik fel és a tapadás révén folyamatosan hárítják át a betonra. Amint a beton húzószilárdsága az áthárított húzóerő következtében kimerül, egy újabb repedés alakul ki a szerkezeten.

A csúszóbetétes kábeleknél a feszítőbetét csak a lehorgonyzási pontokban képes az erőt a betonra közvetíteni a tapadás hiánya miatt. Az ilyen szerkezeteknél a repedezettség kialakulásának vizsgálatára az eddigiekhez képest eltérő modellt kell alkalmazni, és a repedezettség vizsgálatánál a feszítőbetétek hatására keletkező normálerőt is figyelembe kell venni.

A minimális tapadásos acélbetét mennyiségét úgy kell megállapítani, hogy az képes legyen a repedések helyén kialakuló húzóerő felvételére. A vizsgálat az ábrán vázolt modell segítségével két szomszédos, egy berepedt és egy be nem repedt keresztmetszet egyensúlyának felírásával végezhető.



A FIP javaslata szerint a tapadásmentes feszítéssel készült vasbeton lemezek minimális nem feszített, tapadásos acélbetét mennyisége az

$$A_{\text{smin}} = k \cdot f_{\text{ct}} \cdot k_c \cdot \frac{A_{\text{ct}}}{\sigma_s}$$

összefüggéssel állapítható meg.

ahol: A_{ct} – a keresztmetszet húzott zónájának területe;

σ_s – a tapadásos acélbetétekben megengedhető feszültség a repedések kialakulásának pillanatában a megengedhető repedés tágasság figyelembe vételével;

f_{ct} – a beton tényleges repesztőfeszültsége;

k – nem egyenletes feszültségeloszlás figyelembevételére szolgáló tényező $k = 0,8$ általában, de $0,5 \leq k < 0,8$ 30 cm-nél vastagabb lemez esetén;

k_c – a repedés kialakulása előtt közvetlenül keletkező feszültségi állapot figyelembevételére szolgáló tényező, melynek értéke 1,0 tiszta húzás esetén, 0,4 tiszta hajlításnál és a következő ábra szerint határozható meg a feszítésből származó normálerő esetén;

δ_{cp} – a feszítésből keletkező átlagos normálfeszültség.



Alakváltozások

A feszítés a lemez alakváltozásait kedvezően befolyásolja. A feszítésnek egyenértékű külső teherrel való helyettesítése az alakváltozások számítását is leegyszerűsíti. Az állandó terhek nagy részét a feszítéssel kiegyensúlyozva a repedésmentesség feltételezésével számíthatók a lehajlások.

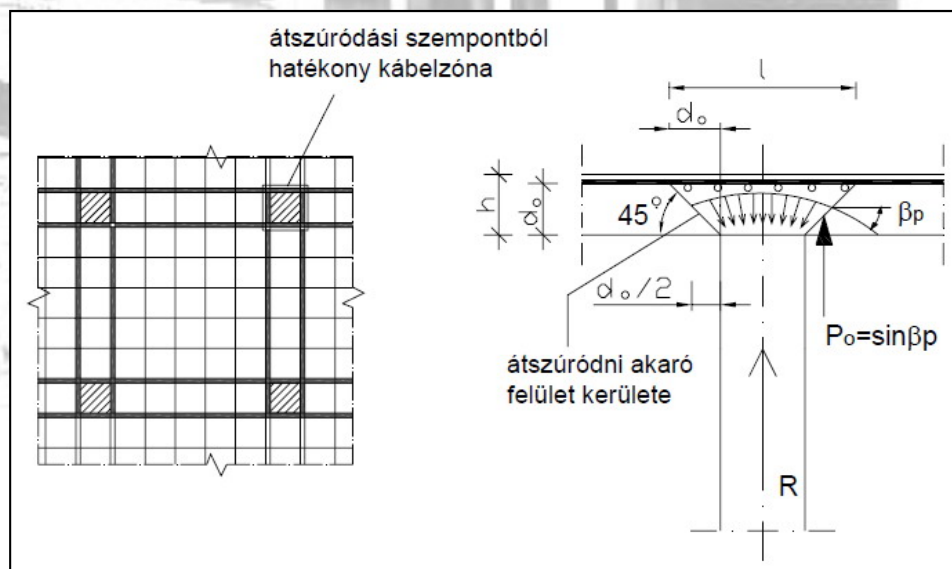
A használati terhek hatására célszerű a kvázi statikus terhelésből (feszítést, mint külső terhet figyelembe véve) homogén keresztmetszet alapján meghatározni az alakváltozásokat úgy, hogy a repedezettség hatását a beton rugalmassági modulusának csökkentésével veszik számításba. Általában $Eb' = Eb/3$ rugalmassági modulussal szabad számolni.

A használati terhekből megengedett maximális lehajlás értéke általában a fesztávolság 250-ed része, vagy 500-ad része. Az alakváltozások korlátozása a lemez vastagságának megfelelő megválasztásával biztosítható.

1.3 Oszlopokkal megtámasztott feszített lemezek átszűrődása

Az elméleti vizsgálatoknál a jelenség modellezése az alapvető probléma elsősorban a beton repedezettsége miatt. A laboratóriumi kísérletek és valós szerkezetek tönkremenetelei azt mutatják, hogy az átszűrődás hirtelen, különösebb előrejelzés nélkül következik be. Az átszűrődással szemben a szerkezetnek nincsenek képlékeny tartalékai.

A fentiek következtében a repedések kialakulása után az igénybevételek átrendeződésére nem lehet számítani, ezért a támaszok felett a rugalmas igénybevételeknek megfelelő vasalást célszerű alkalmazni. Az átszűrődási teherbírás növelésére szolgáló nyírási vasakat a nyomatéki vasakon a tökéletes lehorgonyzás biztosítása érdekében át kell hurkolni.



6. ábra. Számítási modell [Kiss R. 2007]



Az átszűrődési kúpon belül átvezetett, alulról homorú feszítőkábelek az átszűrődési teherbírás szempontjából rendkívül kedvezőek. Oka, hogy az irányváltásból származó erő közvetlenül az oszlopfekre adódik át. Az ilyen módon az oszlopra átadódó erővel az átszűrődést előidéző erő csökkenthető, mivel ez az erő az átszűrődési teherbírás szempontjából kedvező, ezért célszerű egy $\gamma_R=0,8-0,9$ csökkentő tényezővel számításba venni. A feszítés hatását az átszűrődés ellenőrzésénél úgy lehet figyelembe venni, hogy a lemez feszítés nélkül számítható átszűrődési teherbírását egy

$$\Delta Q_R = \gamma_R \sum P_\infty \sin \beta_p$$

értékkel megnövelve vesszük számításba, ahol P_∞ a feszítőkábelekben maradó feszítőerő a veszteségek után és β_p a kábel vízszintessel bezárt hajlásszöge az átszűrődési kúppal való metszéspontjában.



Felhasznált irodalom

DR. KISS RITA M.: *Magasépítési vasbetonszerkezetek.* Elektronikus jegyzet, Pécs, 2007

