

Ragasztott acéllemez megerősítések

VASBETON FÖDÉMSZERKEZETEK MEGERŐSÍTÉSE RAGASZTOTT - DÜBELEZETT ACÉLSZALAG SEGÍTSÉGÉVEL

A födémek, födém bordák teherbírásának növelésére ragasztással, dübeleléssel rögzített acélszalagok szerelhetők fel a szerkezet alsó, illetve felső felületére. Az acélszalag elsősorban a födémekben keletkező hajlítónyomatékokból származó húzóerők felvételére alkalmas, és így biztosíthatja a födém szerkezet megfelelő nyomatéki teherbírását.

A szakirodalomban található kutatási eredmények a ragasztott - dübelelézett acélszalagokkal megerősített vasbetonszerkezetek nyírási teherbírásának növelésére is [1], azonban a nyírás a vizsgálatunk többségét képező lemez-jellegű szerkezeteknél nem mértékadó, ezért e témakörrel itt nem foglalkozunk.

A megerősítés alapvetően három módon történhet:

- a) ragasztással felerősített acélszalaggal (szalagvég-- lehorgonyzás nélkül);
- b) ragasztással felerősített acélszalaggal szalagvég - lehorgonyzással (dübeleléssel, vagy ragasztott lehorgonyzó lemezzel);
- c) folyamatosan elhelyezett dübelekkel felerősített acélszalaggal. (Ebben az esetben a ragasztónak csak technológiai és nem erőtani szerepe van.)

A következőkben az említett acélszalagos megerősítések tervezéséhez adunk szempontokat.

1. Ragasztással rögzített acélszalaggal megerősített szerkezetek tervezése és kialakítása

1.1 Általános megjegyzések

Az acélszalagot a födém szerkezet húzott oldalán kell felragasztani a hajlításból származó húzóerő felvételére. A megfelelően kivitelezett ragasztás az acélszalag és a betonfelület között tapadásos kapcsolatot hoz létre, ezért a méretezésnél kezdetben a vasbeton keresztmetszetek vizsgálatánál ismert alapfeltevéseket alkalmazták. Ezek egy részét a kísérletek nem igazolták.

Vasbeton szerkezeti elemek ragasztott acéllemezzel történő megerősítésének különleges problémáit az 1. ábrán feltüntetett húzott rúd viselkedése mutatja szemléletesen.

-----1. ábra-----

Ennek alapján a tervezésnél az alábbi hatásokat kell számításba venni:

- I. a repedések környékén az acélszalag helyi hajlító igénybevétele;
- II. az alakváltozások megoszlása a bebetonozott betonacélok és a beton felületére felragasztott acélszalag között;
- III. az acélszalag végénél a ragasztás felhasadásának veszélye.

Ragasztással történő rögzítés esetén a következőkre kell tekintettel lenni:

Az LCPC francia laboratóriumban [7], valamint egyes japán kutatók által végzett [8] kísérletek szerint:

- a ragasztó rétegben keletkező csúsztató és normálfeszültségek a repedések szomszédságában maximálisak, a repedéstől távolodva pedig rohamosan csökkennek. A maximális feszültség értéke elsősorban a szerkezeti elemek geometriájától függ, de független a ragasztás L_r hosszától, feltéve, hogy az legalább a betonkeresztmetszet vastagságának kétszerese;
- a ragasztó réteg maximális feszültsége a betonkeresztmetszet vastagsági méretével és az acéllemez vastagságával arányosan növekszik, míg a ragasztóréteg vastagságának csökkenésekor csökken;
- az acélszalagban keletkező átlagos normálfeszültségnek a helyi hajlítás figyelembevételével kialakuló maximális húzófeszültséghez viszonyított aránya a lemez vastagságától függ. Értéke 3 mm vastag lemez esetén kb. 0,65, míg 6 mm vastag lemeznél kb. 0,75.

A ragasztott acél szalaggal megerősített hajlított vasbeton keresztmetszet alakváltozási ábráját a kísérletek alapján a 2. ábra mutatja.

-----2. ábra-----

Az ábrából kitűnik, hogy az acélszalag megnyúlása a ragasztóréteg nagymértékű deformációja miatt nem határozható meg a sík keresztmetszet elvének feltételével. Az acéllemez tényleges, átlagos (ϵ_m) alakváltozásának és a lineáris alakváltozási ábra feltételezésével meghatározható átlagos (ϵ_l) megnyúlásának aránya a terhelés intenzitásától függ. Kis terheknél az $n = \epsilon_m / \epsilon_l$ értéke ~ 2 , míg az acéllemez plasztifikálódásakor ez az arány 1-hez közelít. Viszonylag kis terheknél tehát az acéllemezben keletkező tényleges húzófeszültség nagyobb, mint a klasszikus vasbeton elmélet szerint meghatározható érték.

1.2 A ragasztott acélszalagos megerősítés méretezése

Az előző pontban ismertetett különleges problémák miatt a megerősítés tervezésénél a következőket kell elvégeznünk a használati és teherbírasi határállapotban:

- meg kell határozni az erősítő acélszalag szükséges keresztmetszetét, amelyet
- ellenőrizni kell a helyi hajlításból származó többletfeszültségekre is, továbbá
- ellenőrizni kell, hogy a ragasztás, felhasadhat-e.

1.2.1 Az acélszalag szükséges keresztmetszeti területének meghatározása

A szabványos terhekből számított igénybevételek alapján, a hajlított vasbeton keresztmetszet méretezésénél elfogadott általános alapelvek szerint lehet elvégezni az alábbi kiegészítésekkel:

Használati határállapotban történő vizsgálatnál a betonkeresztmetszetben levő hagyományos vasalás A_s , illetve a felragasztott acélszalag A_l , σ_{sH} , illetve σ_{lH} határszilárdságát az LCPC kísérletek figyelembevételével egy k_s illetve k_l szorzótényezővel csökkentve javasoljuk számításba venni, ahol $3\text{mm} \leq v_1 \leq 6\text{mm}$ lemezvastagságok alkalmazása esetén a k_s és k_l csökkentő tényezők értékei az alábbiak:

$$k_s = 1,2 - 0,08 \cdot v_1$$

$$k_l = 0,46 + 0,08 \cdot v_1$$

Teherbírasi határállapotban történő vizsgálat esetén sem a betonban meglévő vasalás, sem pedig a felragasztott acélszalag határszilárdságát nem kell redukálni. Az acélszalag határfeszültségét azonban a fellépő helyi hajlításokból származó többletfeszültség miatt a szabványban általában megadott értékhez képest csökkenteni kell. A csökkentés mértékét a

$$K_{l,h} = 0,65$$

szorzótényezővel javasoljuk figyelembe venni.

A megerősítéshez általában 6 mm-nél vastagabb acélszalagot nem célszerű alkalmazni. Ha ezzel a szükséges acélkeresztmetszet nem biztosítható, akkor több, egymásra ragasztott réteggel érhető el a szükséges, teherbírás, ezzel a megoldással a nyomatókok változása is kedvezőbben követhető. Több réteg alkalmazása esetén a közvetlenül a betonfelülettel érintkező acéllemezben keletkező F_1 húzóerőnek és a teljes húzóerőnek az aránya numerikus vizsgálatok [7] alapján:

- két réteg acélszalag esetén $F_1 = 0,66 F$
- három réteg acélszalag esetén $F_1 = 0,5 F$

értékkel vehető figyelembe. A vizsgálatok szerint a helyi hajlítás mértéke egymáshoz ragasztott lemezek esetén nem tér el jelentősen az azonos vastagságú egyetlen lemezzel történő megerősítésnél kialakuló helyi hajlítástól.

1.2.2 A ragasztás felhasadásának ellenőrzése

1.2.2.1 Törésmechanikai alapon történő ellenőrzés

Az acéllemez végénél a ragasztás felhasadása elméletileg törésmechanikai megfontolások alapján vizsgálható. A felhasadás elvileg nem következik be, ha a ragasztás végénél lévő keresztmetszet igénybevételéből az eredeti és a megerősített keresztmetszet alapján számítható W energiakülönbség nem nagyobb, mint a ragasztásban a repedés továbbterjedéséhez szükséges R energia. Kísérleti vizsgálatok [7] szerint, szokásos ragasztóanyagok alkalmazása esetén a repedés továbbterjedéséhez szükséges minimális fajlagos energia: $R = 50 \text{ J} / \text{m}^2$.

A ragasztás végénél lévő eredeti, illetve megerősített keresztmetszet alapján kialakuló fajlagos energiakülönbség elméleti értéke:

$$w = \frac{1}{2 \cdot h_r} \left[M_M^2 \left(\frac{1}{B_b} - \frac{1}{B_t} \right) + Q_M^2 \left(\frac{1}{H_b} - \frac{1}{H_t} \right) \right]$$

ahol M_M ill. Q_M a mértékadó hajlítónyomaték, ill. nyíróerő a ragasztott acélszalag végénél lévő keresztmetszetben;

$B_b = E_b I_b$ ill. $H_b = G_b A_b$ a megerősítetlen vasbeton keresztmetszet hajlítási, illetve nyírási merevsége;

$B_i = E_b I_i$, ill. $H_i = G_b A_i$ a megerősített, acélszalaggal együttdolgozó ideális vasbeton keresztmetszet hajlítási, illetve nyírási merevsége, az I. feszültségi állapotban;

b_r a ragasztás szélessége.

A kapcsolat a ragasztás felhasadása szempontjából megfelel, ha

$$W \leq 50 \text{ J/m}^2, \text{ azaz } = 50 \text{ N/m}$$

Más kutatók [2] által végzett kísérletekben meghatározták a megerősítendő vasbetonszerkezet azon nyomatékát, mely a ragasztó felhasadását okozza. Azt tapasztalták, hogy a tönkremenetel - megfelelő minőségű ragasztóanyag esetén (lásd később a 4. pontot) - általában a megerősítendő szerkezet alsó rétegében a ragasztás fölött következik be (3. ábra). A felhasadást okozó nyomaték határértékének meghatározására az alábbi kifejezést ajánlják:

$$M_{f,H} = \frac{E_b \cdot I_{II,m} \cdot \sigma_{hH}}{\gamma \cdot E_1 \cdot v_1}$$

ahol $E_b I_{II,m}$ az acéllemezzel megerősített (bepedrt) gerenda hajlítási merevsége a II. feszültségi állapotban,
 σ_{hH} a beton húzási határfeszültsége,
 E_1 a megerősítő acéllemez rugalmassági modulusa,
 v_1 a megerősítő acéllemez vastagsága, továbbá
 $g = 1,86$ használati, illetve
 $g = 0,901$ teherbírási határállapotban történő vizsgálatnál.

----- 3. ábra -----

A felhasadás nem következik be, ha

$$M_{f,H} > M_M$$

ahol M_m a megerősítő szalag végétől d távolságra (a tartó hasznos magassága.) lévő keresztmetszetben a megerősített gerendában fellépő mértékadó nyomaték (3. ábra).

E vizsgálatokból két fontos következtetést is levonhatunk: egyrészt, hogy ajánlatos az acélszalagos megerősítés végét minél közelebb vinni a gerenda megtámasztásához (kisebb az M_m), másrészt, hogy célszerű a megerősítő acélszalag vastagságát minél kisebbre választani (nagyobb az $M_{f,H}$).

A ragasztással rögzített acélszalag vastagságára több kutató [3], [4] az alábbi értéket ajánlja:

$$v_1 = (0,005 - 0,007)d$$

1.2.2.2 A rugalmas együttműködő rétegek elmélete alapján történő ellenőrzés

A ragasztás felhasadása, a ragasztó réteg tönkremenetele vizsgálható a rugalmas -együttműködő rétegek elmélete alapján [5] is. A [3], [5] kutatási eredmények szerint a ragasztott kapcsolat megfelelő, ha az acéllemez végén, a ragasztórétegben fellépő σ_m , ill. σ_m nyíró - ill. normálfeszültségek nem haladják meg az [5]-ben megadott σ_0 , τ_0 határértékeket, vagyis:

$$\sigma_M < \sigma_0 \text{ és}$$

$$\tau_M < \tau_0$$

A gyakorlati esetekben $\sigma_0 = 3 \sim 5 \text{ N/mm}^2$ és $\tau_0 = 1 \sim 2 \text{ N/mm}^2$, tényleges értékük a következőképpen számítható ki:

$$\tau_0 = \left[Q_M + \left(\frac{K_s}{E_l \cdot b_l \cdot v_l} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot M_M \right] \cdot \frac{b_l \cdot v_l}{I_{l,m} \cdot b_r} \cdot (h_l - x),$$

$$\sigma_0 = \tau_0 \cdot v_s \left(\frac{K_n}{4 \cdot E_l \cdot I_l} \right)^{\frac{1}{4}}$$

ahol $K_s = \frac{G_r \cdot b_r}{v_r}$ a ragasztás fajlagos nyírási merevsége

és $K_n = \frac{E_r \cdot b_r}{v_r}$ a ragasztás fajlagos húzási merevsége,

$$I_{l,m} = \frac{E_b \cdot b \cdot x^3}{3 \cdot E_l} + A_s (h - x)^2 + b_l \cdot v_l \cdot (h_l - x)^2 \quad \text{pedig a megerősített szerkezet}$$

teljes inercianyomatéka.

A fenti képletekben:

Q_M	a mértékadó nyíróerő az acélszalag végén,
M_M	a mértékadó hajlítónyomaték az acélszalag végétől $d/2$ távolságra (hasonló módon, mint a 3. ábrán)
E_l, E_r , ill. E_b	az célszalag, a ragasztó ill. a beton rugalmassági <i>modulusa</i> ,
G_r ,	a ragasztó nyírási rugalmassági modulusa.

A többi (geometriai jellegű) jelölés értelmezése a 4. ábrán látható.

Fontos szem előtt tartani, hogy a képletben a megerősítendő szerkezetben meglévő A_s acélbetét mennyiségébe csak azok a vasak számíthatók be, amelyeknek a berepedt (megerősítendő) keresztmetszettől mindkét irányban biztosított az együttlendőségük a betonnal (vagyis megvan a lehorgonyzási hosszuk).

----- 4. ábra -----

2. Véglehorgonyzással ellátott, ragasztott acélszalag tervezése és szerkezeti kialakítása

Az acélszalag végének felszakadása a ragasztott kapcsolat gyors tönkremenetelét okozhatja. Ezt a folyamatot késleltethetjük, ha a ragasztott acélszalag végét véglehorgonyzással látjuk el. A véglehorgonyzás készülhet:

- dübeleléssel, ill.
- ragasztott lehorgonyzott acélszerelvénnyel.

2.1 A dübeleléssel készített véglehorgonyzás

A dübeleléssel készített véglehorgonyzás vizsgálatával foglalkozó kutatások [5], [6] megállapítják, hogy a dübelelés csak igen csekély mértékben (5-10%) és csak vékony acélszalagok alkalmazása esetén növeli a ragasztott acéllemezzel készült megerősítés teherbírását. Vékony ragasztott acélszalagnál ugyanis a szalag nem fogja erősen a dübelt így határállapotban palástnyomásból eredő "kigombolódás" jellegű tönkremenetel következik be, miközben az acélszalag jelentős nyúlásokat szenved.

Vastag ragasztott acélszalag merevebben fogja a dübelt, így a szalagvégi lehorgonyzásban erős feszültségkoncentráció jöhet létre, amely korán nyírási jellegű helyi tönkremenetelt okozhat, még mielőtt a ragasztott kapcsolat hosszában felhasadna, tönkremenne.

Ebből is látható, hogy a ragasztott kapcsolattal történő erősítésnek felső korlátai vannak: vastag acéllemez (pl. túlméretezésből adódó) alkalmazása esetén a véglehorgonyzás egyáltalán nem hatásos, sőt, mint az 1.2.2.1 pontban láttuk, a felhasadás is kisebb igénybevételnél következik be. Ez a jelenség a több rétegű, vékonyabb acéllemezek alkalmazását indokolja az igénybevételi ábra lehetségszerinti követésével. A végdűbelezés elsődleges előnye abban van, hogy duktilisabbá teszi a ragasztott kapcsolatot [5]. A duktilitás jellemzésére szolgáló szívóssági modulus (az erő elmozdulás diagram tönkremenetelig tartó szakasza alatti terület) jelentősen megnövekszik, ezáltal tehát megbízhatóbb, tartósabb erősítő kapcsolat létesíthető a végdűbelezés alkalmazásával. Ezt főleg ismétlődő igénybevételekkel terhelt megerősítendő szerkezetek (pl. hidak) esetén célszerű szem előtt tartani.

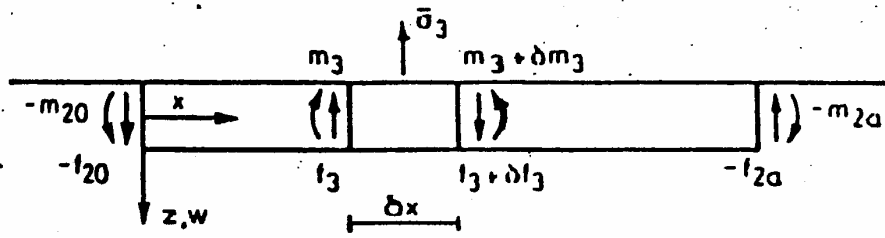
2.2 A ragasztott lehorgonyzó acélszerelvény

A ragasztott lehorgonyzó acélszerelvény alkalmazása éppen a dübel „feszültséggyűjtő” hatását küszöböli ki. Viszonylag kevesebb kutatás foglalkozott e véglehorgonyzással [6], bár ezek nagyon kedvező eredményeket mutatnak, különösen a földémbordák, gerendák megerősítése tekintetében, ahol lehetőség van az 5. ábra szerinti szerkezeti kialakításra.

-----5. ábra -----

Ilyen esetekben a ragasztott kapcsolat teherbírás-növekedése az 55-60%-ot is elérte, és a kapcsolat ugyanolyan duktilis tulajdonságokat mutatott, mint a végdűbelezéssel ellátott kísérleti elemeké.

A ragasztott véglehorgonyzó szerelvény alkalmazása tehát több tekintetben is előnyösnek látszik, azonban a kapcsolat megbízhatósága itt is elsődlegesen a ragasztási munka minőségétől függ.



$$K_n = E_a \frac{b_a}{d_a}$$

$$\bar{\sigma}_3 = K_n \cdot w$$

$$\frac{d^4 w}{dx^4} + 4\gamma^4 w = 0; \quad \gamma^4 = \frac{K_n}{4E_p I_p}$$

$$m_3 = -E_p I_p \frac{d^2 w}{dx^2} = -m_{20}$$

$$f_3 = -E_p I_p \frac{d^3 w}{dx^3} = -f_{20}$$

$$w = \frac{e^{-\gamma x}}{2E_p I_p \gamma^4} \left[(f_{20} \gamma + m_{20} \gamma^2) \cos \gamma x - m_{20} \gamma^2 \sin \gamma x \right]$$

$$\bar{\sigma}_3 = 2e^{-\gamma x} \left[(f_{20} \gamma + m_{20} \gamma^2) \cos \gamma x - m_{20} \gamma^2 \sin \gamma x \right]$$

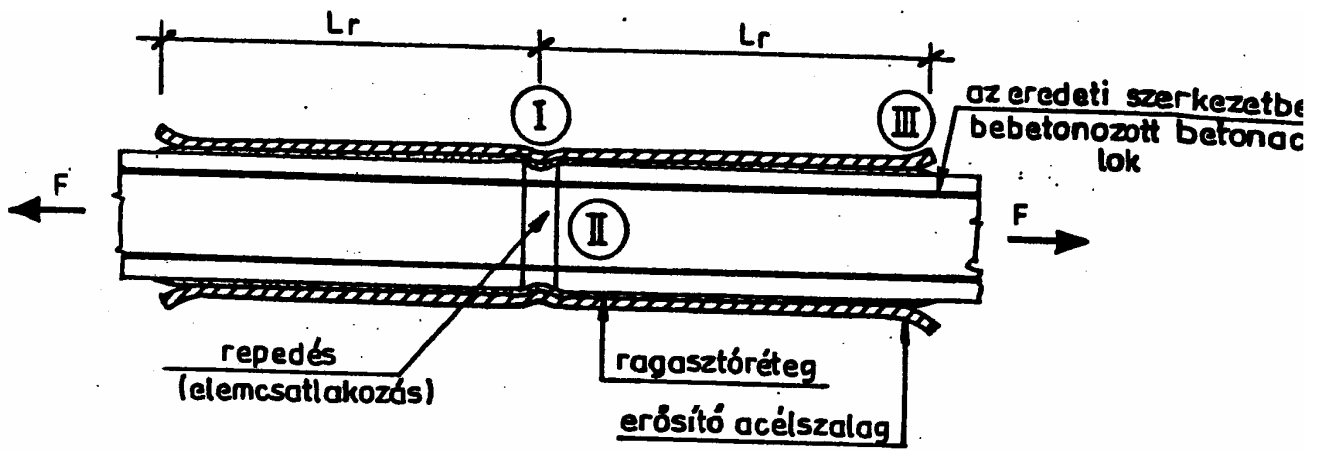
$$\bar{\tau} = \bar{\tau}_1 + \bar{\tau}_2$$

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}_3$$

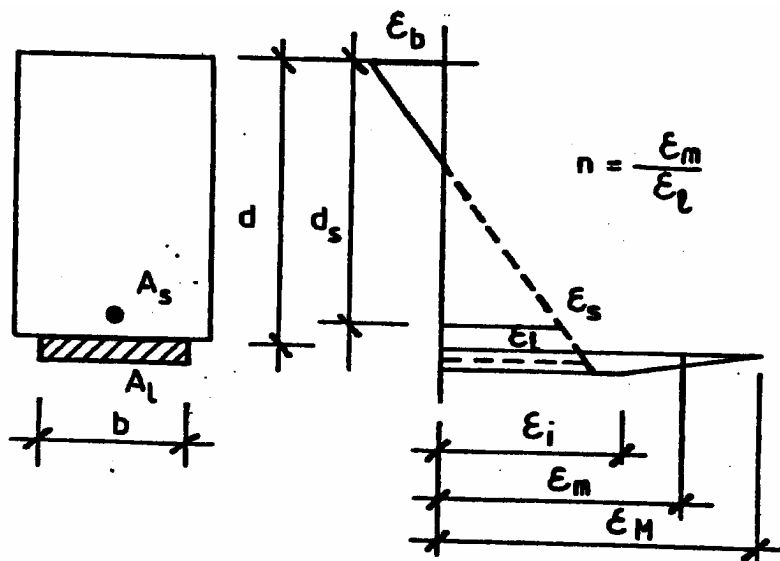
$$\tau = \frac{\bar{\tau}}{b_a}; \quad \sigma = \frac{\bar{\sigma}}{b_a}$$

$$\tau_0 = \left(F_0 + \left[\frac{K_s}{E_p b_p d_p} \right]^{\frac{1}{2}} M_0 \right) \frac{b_p d_p}{I \cdot b_a} (h_p - h)$$

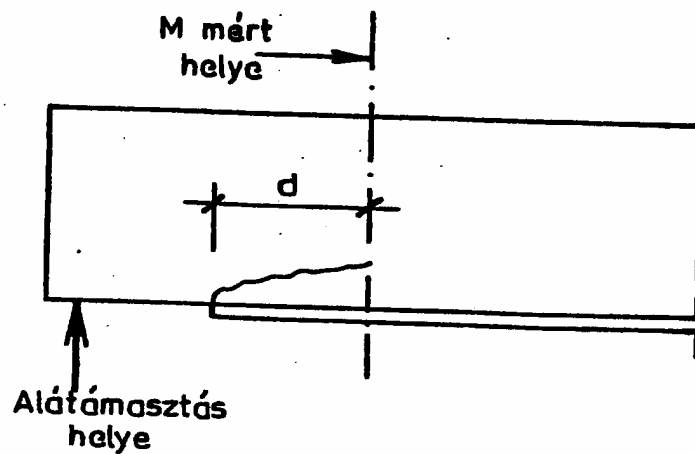
$$\sigma_0 = \tau_0 d_p \left(\frac{K_n}{4E_p I_p} \right)^{\frac{1}{4}}$$



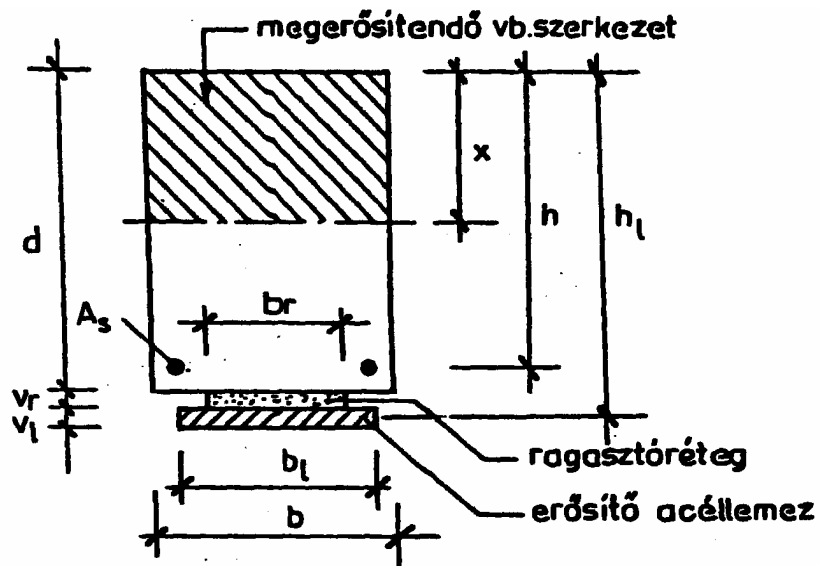
1. ábra



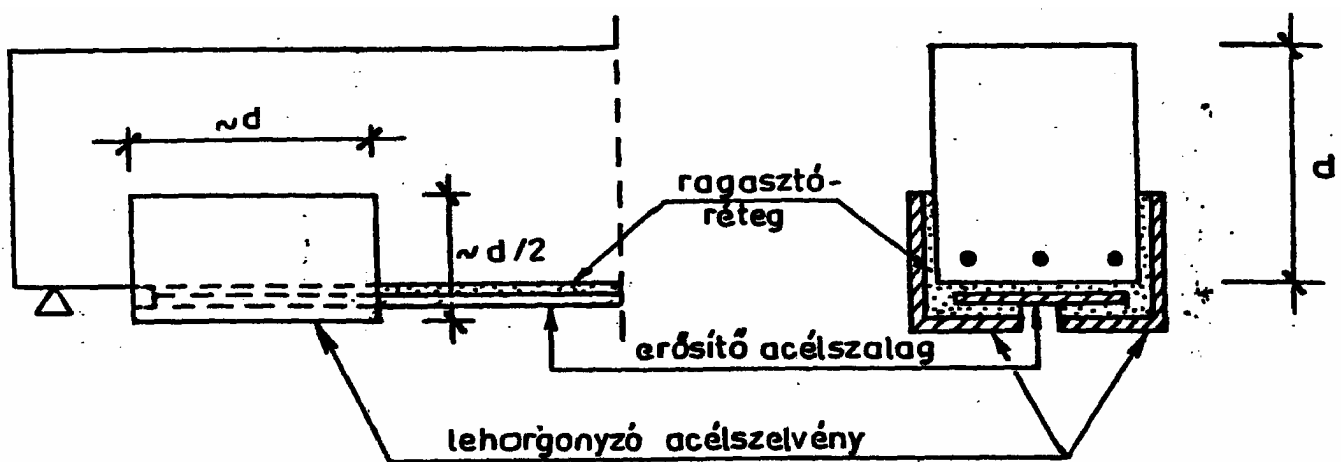
2. ábra



3. ábra

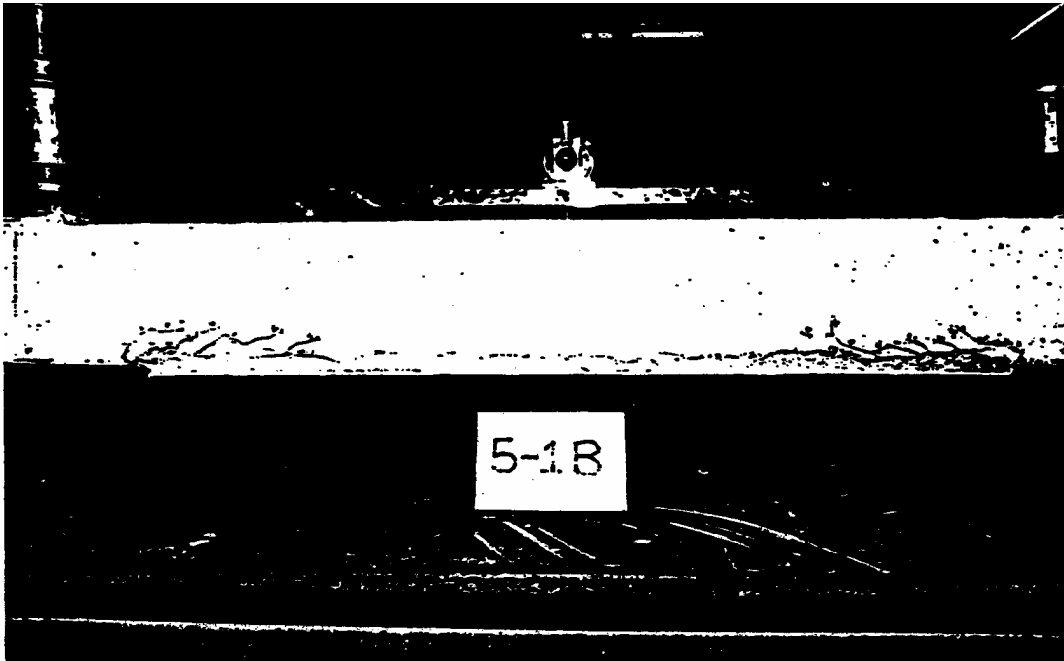


4. ábra

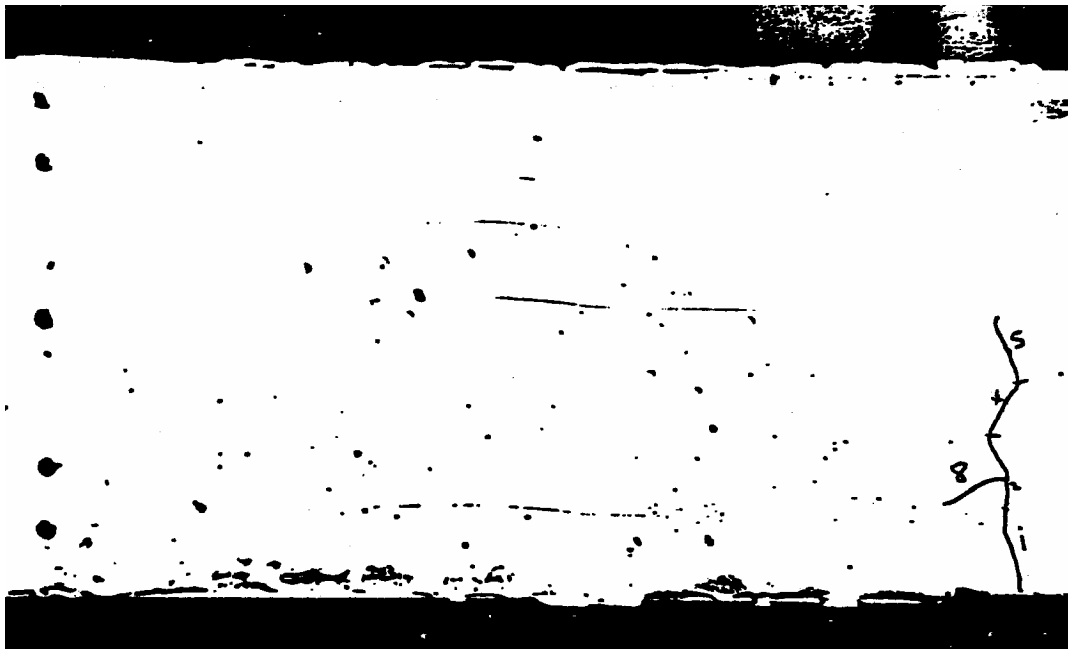


5. ábra

Nyírásból származó felhasadás
7. ábra



Hajlításból származó felhasadás
8. ábra



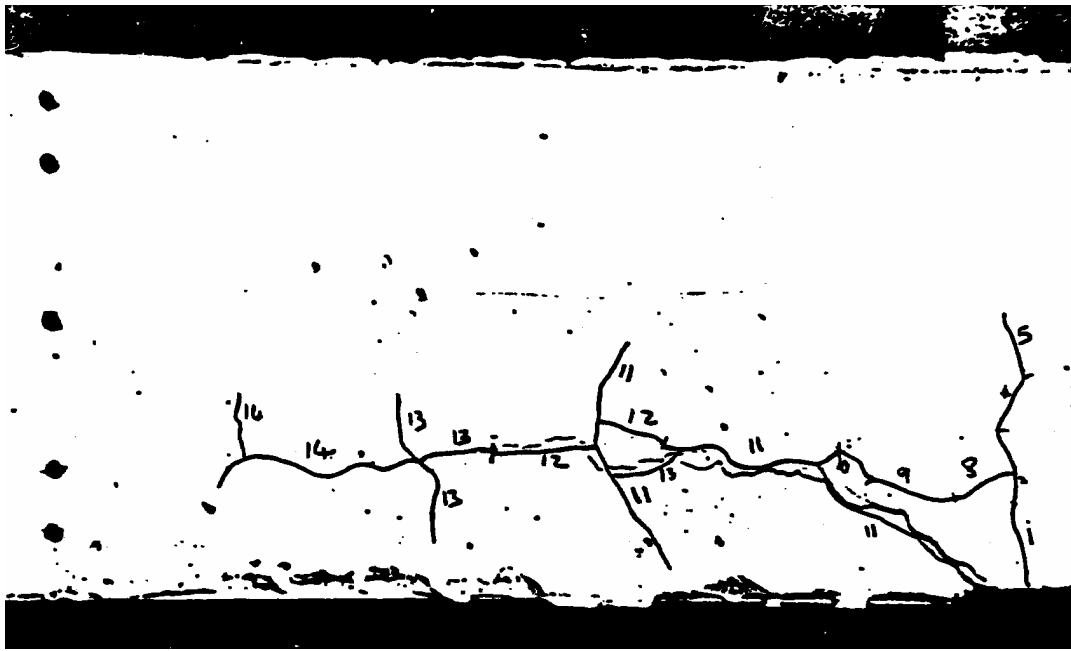
Első hajlítási és leválási repedések

9. ábra

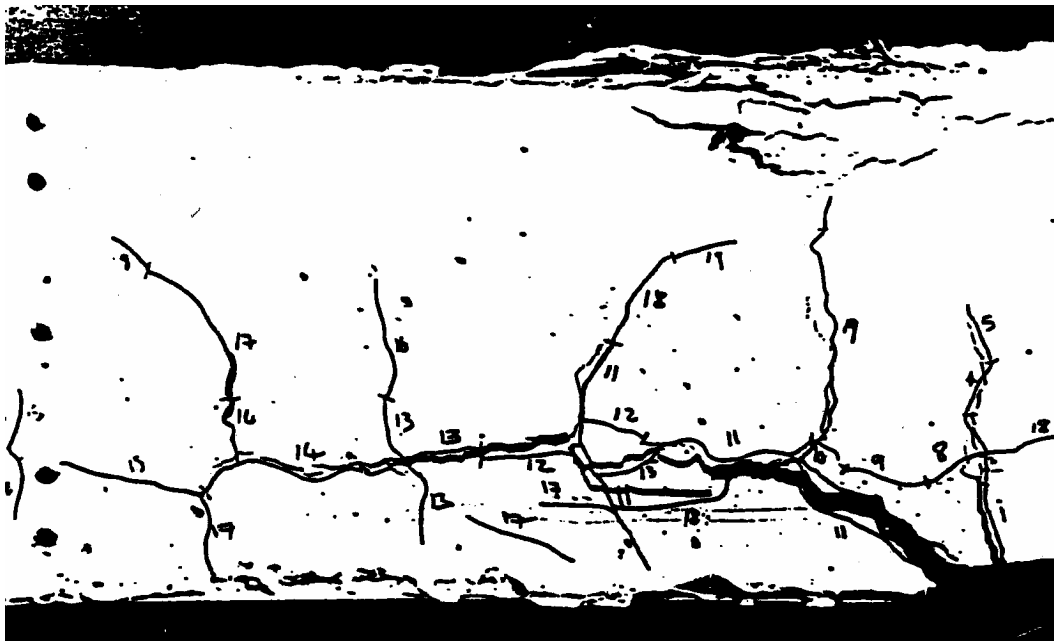


Leválási tönkremenetel előtti utolsó repedéskép

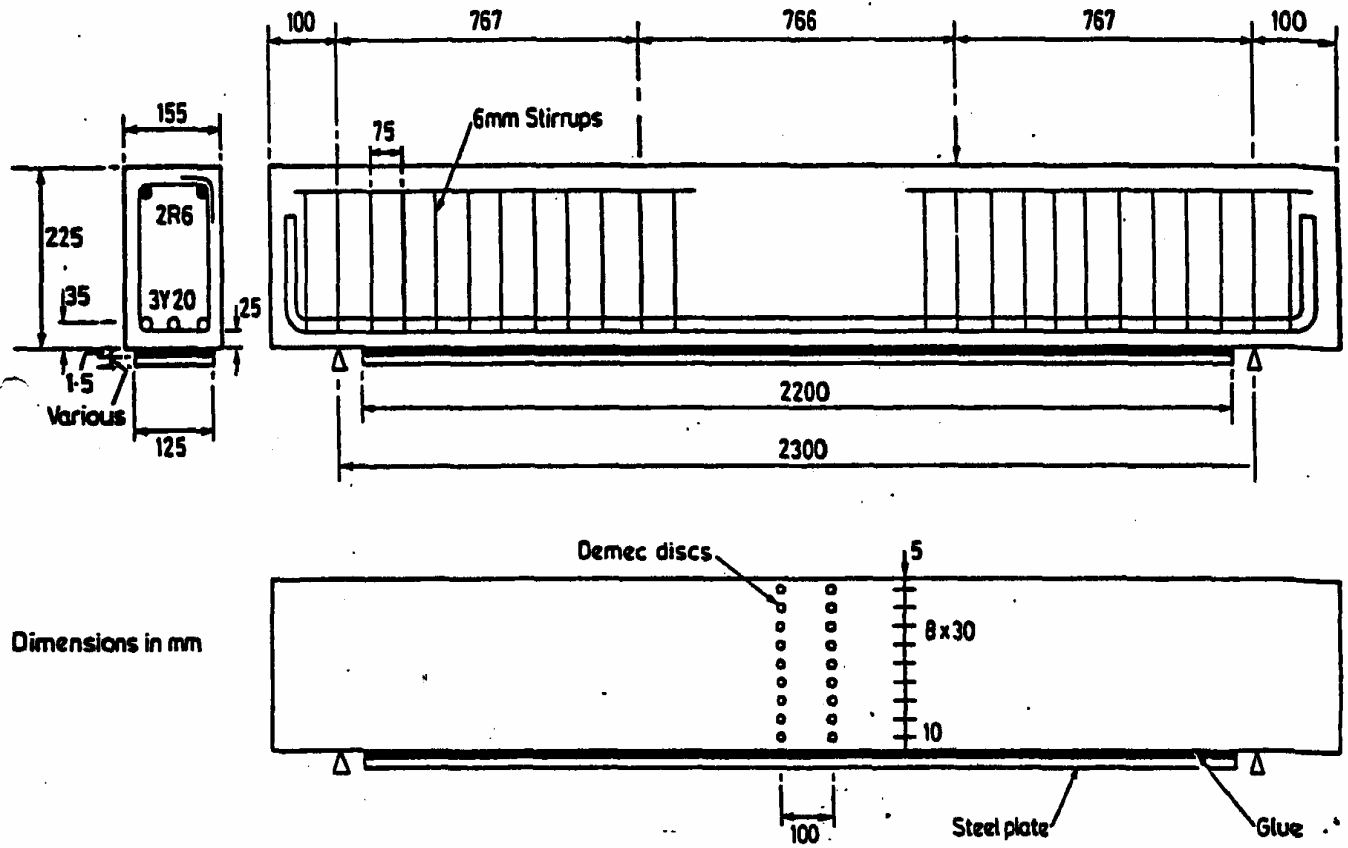
10. ábra



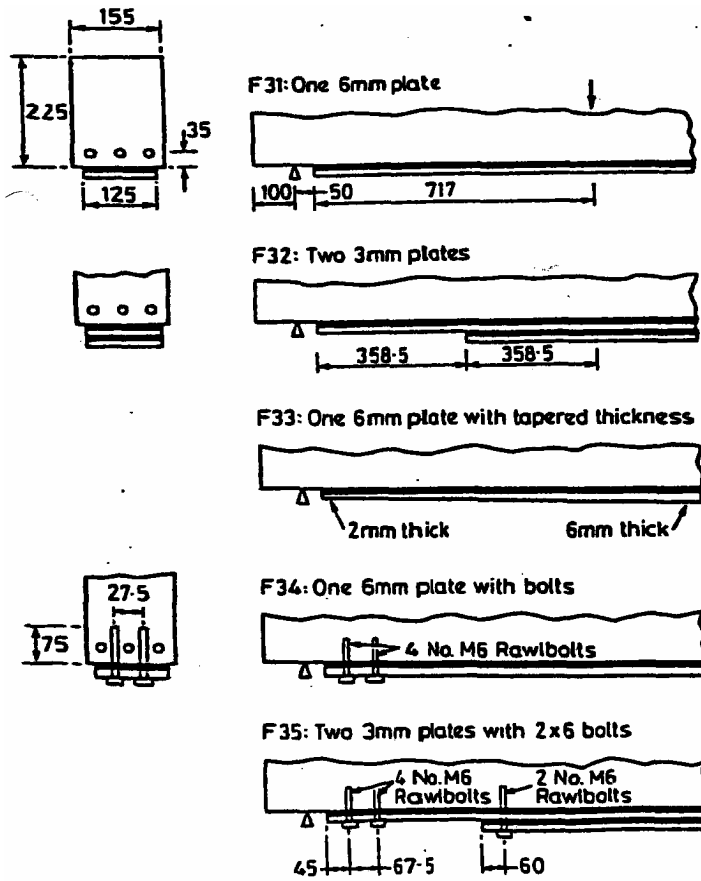
Repedéskép a leválási tönkremenetel után
11. ábra



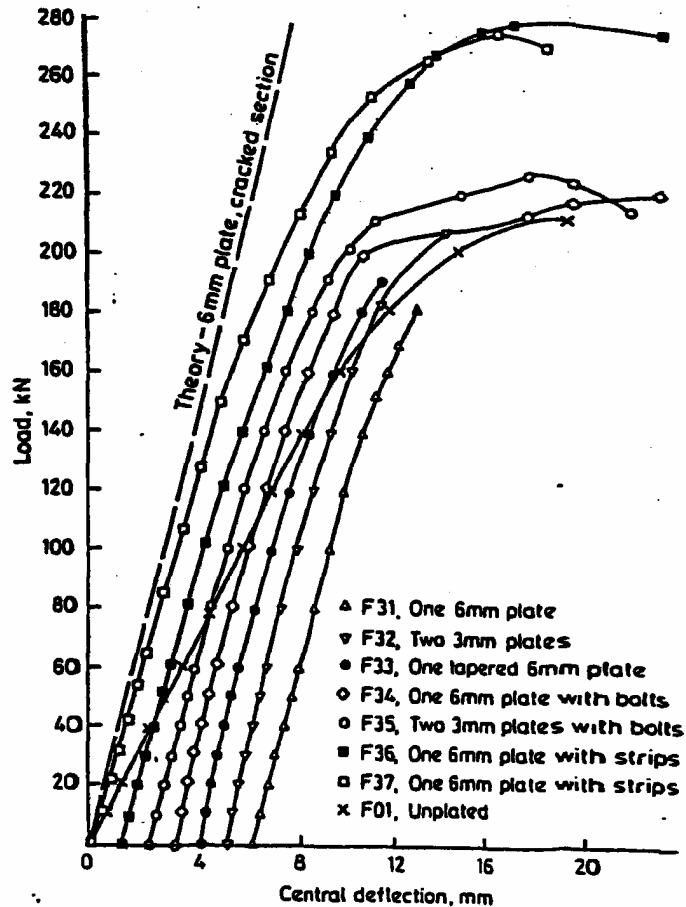
Hajlítási tönkremenetel
12. ábra



Dimensions in mm



Glue thickness - 1.5mm in all cases
 Dimensions in mm



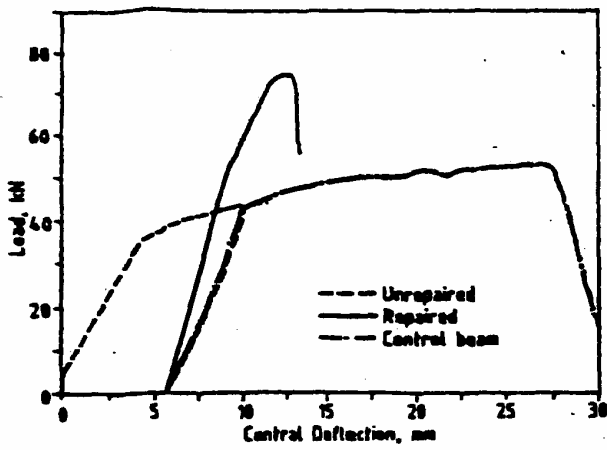


Fig. 6—Load-deflection curve of Beam FRB3, strengthened with 1.5-mm-thick steel plate without end anchorage

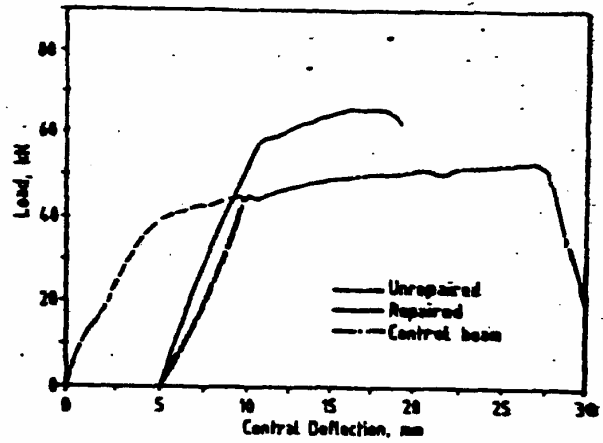


Fig. 9—Load-deflection curve of Beam FRB6, strengthened with 2.00-mm-thick steel plate with end anchorage

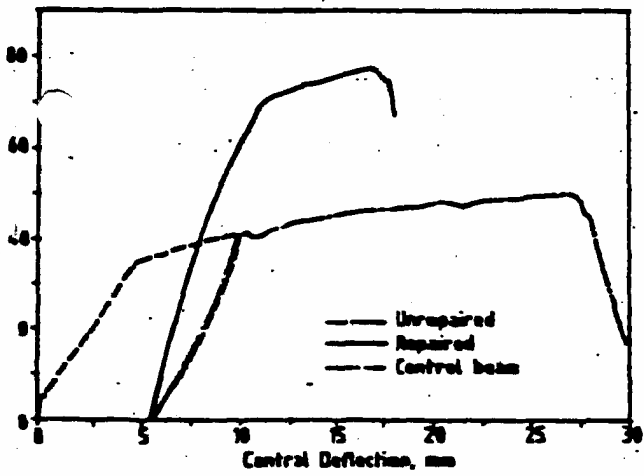


Fig. 7—Load-deflection curve of Beam FRB4, strengthened with 1.5-mm-thick steel plate with end anchorage

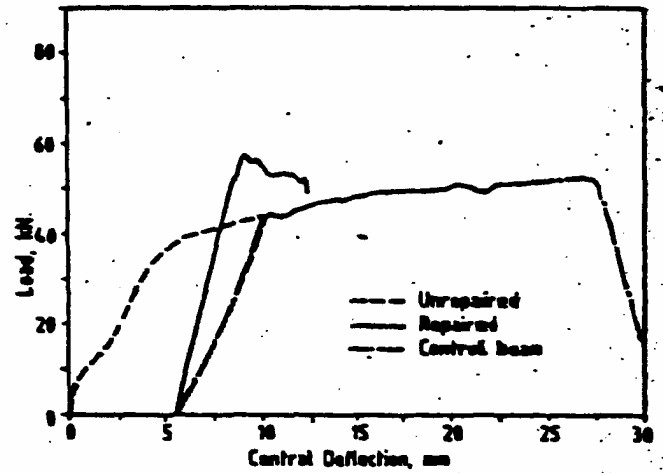


Fig. 10—Load-deflection curve of Beam FRB7, strengthened with 3.00-mm-thick steel plate without end anchorage

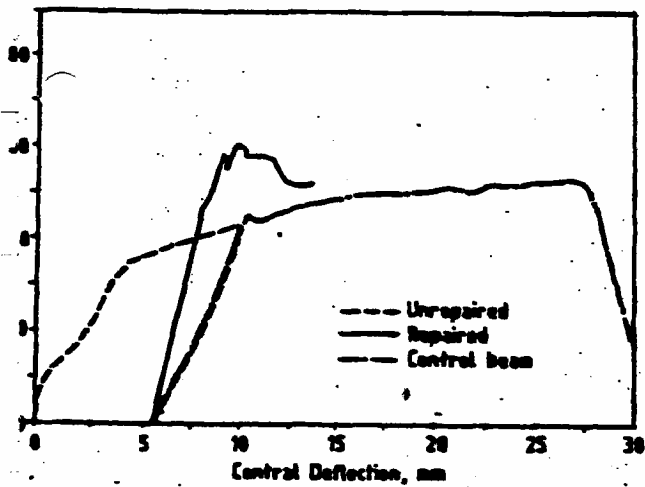


Fig. 8—Load-deflection curve of Beam FRB5, strengthened with 2.00-mm-thick steel plate without end anchorage

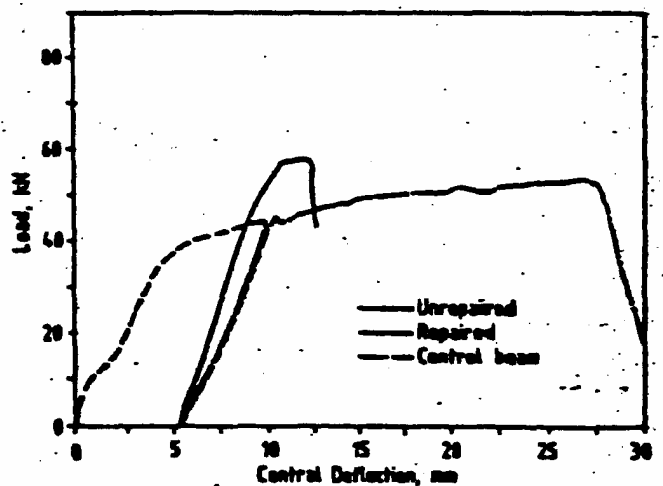
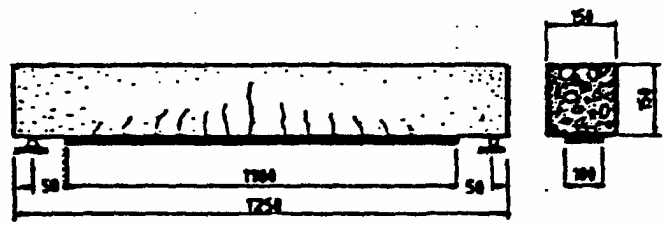
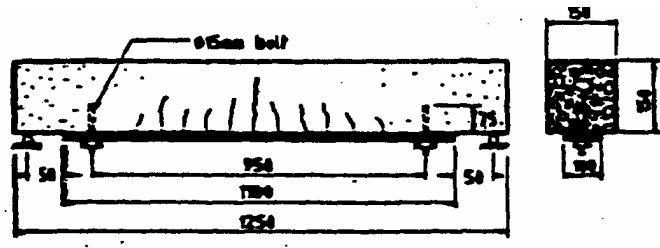


Fig. 11—Load-deflection curve of Beam FRB8, strengthened with 3.00-mm-thick steel plate with end anchorage



(a) Typical beam with unanchored plate.



(b) Typical beam with anchored plate.

Fig. 3—Strengthening detail of two typical beams, one with anchored plate and another with unanchored plate

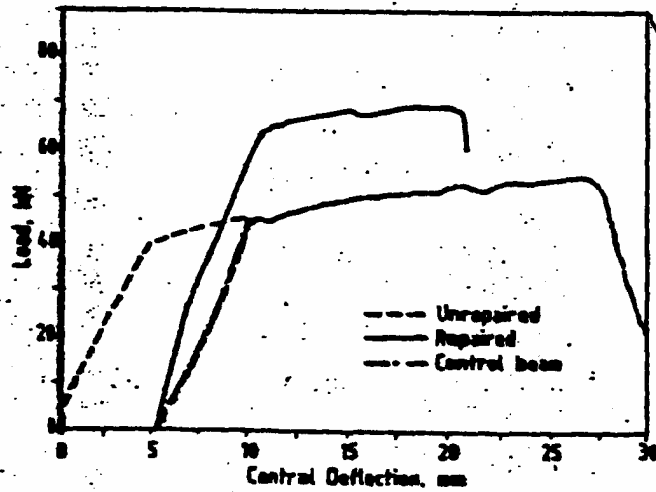


Fig. 5—Load-deflection curve of Beam FRB2, strengthened with 1.00-mm-thick plate without end anchorage

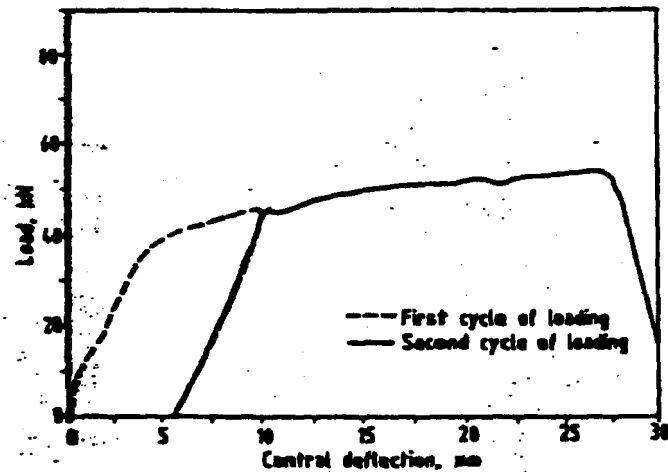


Fig. 4—Load-deflection curve of Beam FRB1 (control beam), reloaded without repair

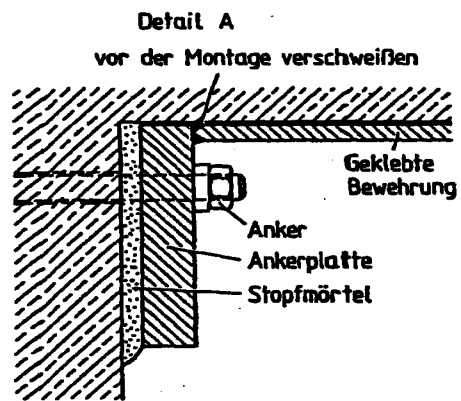
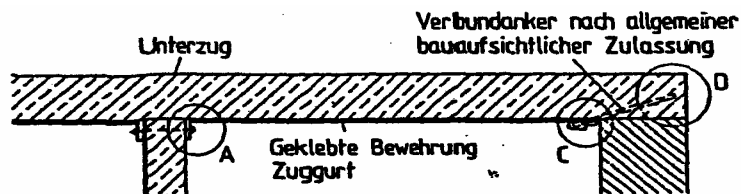


Bild 2. Endverankerung von Zuglaschen
Fig. 2. End anchoring of the tension plate strips

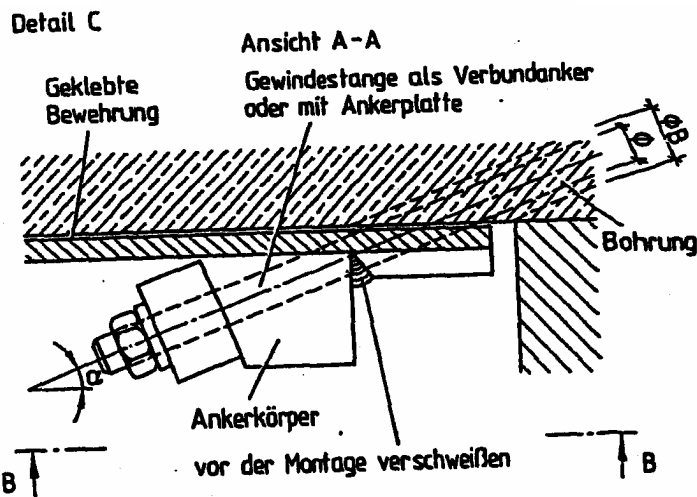
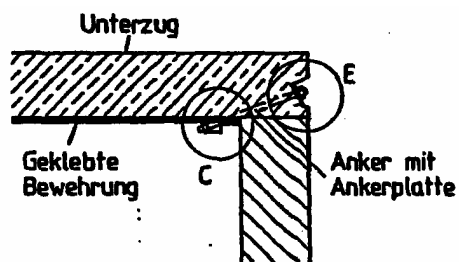


Bild 3. Endverankerung von Zuglaschen, Details
Fig. 3. End anchoring of the tension plate strips details

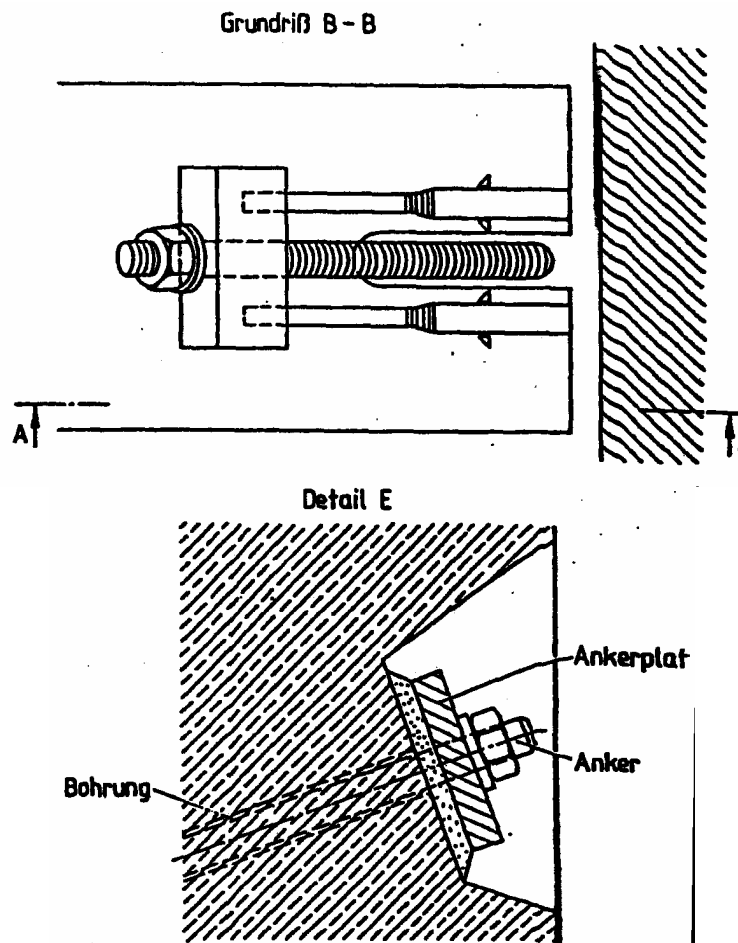


Bild 4. Verankerungsdetails
Fig. 4. Anchoring details

3. A MEGERŐSÍTÉSEK KIVITELEZÉSÉNEK ÁLTALÁNOS SZABÁLYAI

Az acéllemez felragasztásakor a beton felületének egyenetlensége ne legyen több 5 mm-nél 2,0 m hosszon, illetve 2 mm-nél 0,2 m hosszon. A beton felületét az acélszalag felragasztása előtt száraz, vagy nedves homokszórással, vagy nagynyomású vízszugárral megfelelően elő kell készíteni. Nedves előkészítés esetén megfelelő száradási időt kell biztosítani a lemez felragasztása előtt.

Az egy rétegben felragasztandó acélszalag vastagsága $v = (0,005 - 0,007)d$, lehetőleg 3-5 mm legyen. Ragasztott, acéllemezzel való megerősítéshez elsősorban A24 jelű hegeszthető acél alkalmazható. Az acéllemez megfelelő méretre vágása után annak felületét zsírtalanítani, majd homokfúvással érdesíteni kell. A lemezeket védett helyen kell tárolni, és felragasztás után azonnal korrózióvédelemmel kell ellátni.

A ragasztóanyag felhasználásánál a gyári előírásokat szigorúan be kell tartani. A ragasztáshoz olyan epoxi műgyanta alapanyagú ragasztó javasolható (pl. TIPOX IHS), melynek nyírószilárdsága megszilárdulás után a beton húzószilárdságának legalább kétszerese. Az epoxi műgyanta komponenseinek javasolt keverési aránya 1:2 (lassú : gyors), az így elérhető rugalmassági modulus (E) kb.: 300 N/mm² a nyírási rugalmassági modulus (G) pedig kb.: 120 N/mm² lesz.

Az átlagos (javasolt) ragasztási vastagság 2-3 mm, de mindenképpen kisebb, mint az acélszalag vastagságának a fele.

A ragasztóanyag kötéseinek ideje alatt az acélszalag felületét egyenletes, 15-40 kN/m² nyomás alatt kell tartani, ennek biztosításra a kötésidő alatt megfelelő módon (pl. kitámasztás) gondoskodni kell.

A munkafolyamatok elvégzése után a ragasztás minőségét ellenőrizni kell és a tapasztalt hibákat ki kell javítani.

Vasbeton födém szerkezetek megerősítése ragasztott – dübelezzett acélszalag

segítségével

Az

Dr. Bódi István* - Dr. Farkas György**

A födémek, födém bordák teherbírásának növelésére ragasztással, dübelezzéssel rögzített acélszalagok szerelhető fel a szerkezet alsó, illetve felső felületére. Az acélszalag elsősorban a födémekben keletkező hajlítónyomatékokból származó húzóerők felvételére alkalmas, és így biztosíthatja a födém szerkezet megfelelő nyomatéki teherbírását.

A szakirodalomban található kutatási eredmények a ragasztott –dübelezzett acélszalagokkal megerősített vasbetonszerkezetek nyírási teherbírásának növelésére is [1], azonban a nyírás a vizsgálataink többségét képező lemez-jellegű szerkezeteknél nem mértékadó, ezért e témakörrel itt nem foglalkozunk.

A megerősítés alapvetően három módon történhet:

- a) Ragasztással felerősített acélszalaggal (szalagvég-lehorgonyzás nélkül);
- b) Ragasztással felerősített acélszalaggal szalagvég-lehorgonyzással (dübelezzéssel, vagy ragasztott lehorgonyzó lemezzel);
- c) Folyamatosan elhelyezett dübelekkel felerősített acélszalaggal. (Ebben az esetben a ragasztónak csak technológiai és nem erőtani szerepe van.)

A következőkben az említett acélszalagos megerősítések tervezéséhez adunk szempontokat.

1. Ragasztással rögzített acélszalaggal megerősített szerkezetek tervezése és kialakítása

1.1 Általános megjegyzések

Az acélszalagot a födém szerkezet húzott oldalán kell felragasztani a hajlításból származó húzóerő felvételére. A megfelelően kivitelezett ragasztás az acélszalag és a betonfelület között tapadásos kapcsolatot hoz létre, ezért a méretezésnél kezdetben a vasbeton keresztmetszetek vizsgálatánál ismert alapfeltevéseket alkalmazták. Ezek egy részét a kísérletek nem igazolták.

Vasbeton szerkezeti elemek ragasztott acélszalaggal történő megerősítésének különleges problémáit az 1. ábrán feltüntetett húzott rúd viselkedése mutatja szemléletesen.

Ennek alapján a tervezésnél az alábbi hatásokat kell számításba venni:

- I. a repedések környékén az acélszalag helyi hajlítói igénybevétele;
- II. az alakváltozások megoszlása a betonozott betonacélok és a beton felületére felragasztott acélszalag között;
- III. az acélszalag végénél a ragasztás felhasadásának veszélye.

Ragasztással történő rögzítés esetén a következőkre kell tekintettel lenni:

Az LCPC francia laboratóriumban [7], valamint egyes japán kutatók által végzett [8] kísérletek szerint:

- a ragasztó rétegben keletkező csúsztató és normálfeszültségek a repedések szomszédságában maximálisak, a repedéstől távolodva pedig rohamosan csökkennek. A maximális feszültség értéke elsősorban a szerkezeti elemek geometriájától függ, de független a ragasztás L_r hosszától feltéve, hogy az legalább a betonkeresztmetszet vastagságának kétszerese;
- a ragasztó réteg maximális feszültsége a betonkeresztmetszet vastagsági méretével és az acéllemez vastagságával arányosan növekszik, míg a ragasztóréteg vastagságának csökkenésekor csökken;
- az acélszalagban keletkező átlagos normálfeszültségnek a helyi hajítás figyelembevételével kialakuló maximális húzófeszültséghez viszonyított aránya a lemez vastagságától függ. Értéke 3 mm vastag lemez esetén kb. 0,65 míg 6 mm vastag lemeznél kb. 0,75.

A ragasztott acélszalaggal megerősített hajlított vasbeton keresztmetszet alakváltozási ábráját a kísérletek alapján a 2. ábra mutatja.

Az ábrából kitűnik, hogy az acélszalag megnyúlása a ragasztóréteg nagymértékű deformációja miatt nem határozható meg a sík keresztmetszet elvének feltételezésével. Az acéllemez tényleges, átlagos (ε_m) alakváltozásának és a lineáris alakváltozási ábra feltételezésével meghatározható átlagos (ε_l) megnyúlásának aránya a terhelés intenzitásától függ. Kis terheknél az $n = \varepsilon_m/\varepsilon_l$ értéke ~ 2 , míg az acéllemez plasztifikálódásakor ez az arány 1-hez közelít. Viszonylag kis terheknél tehát az acéllemezben keletkező tényleges húzófeszültség nagyobb, mint a klasszikus vasbeton elmélet szerint meghatározható érték.

1.2 A ragasztott acélszalagos megerősítés méretezése

Az előző pontban ismertetett különleges problémák miatt a megerősítés tervezésénél a következőket kell elvégeznünk a használati és teherbírási határállapotban:

- meg kell határozni az erősítő acélszalag szükséges keresztmetszetét, amely
- ellenőrizni kell a helyi hajlításból származó többletfeszültségekre is, továbbá
- ellenőrizni kell, hogy a ragasztás felhasadhat-e.

1.2.1 Az acélszalag szükséges keresztmetszeti területének meghatározása

Ez a feladat a szabványos terhekből számított igénybevételek alapján, a hajlított vasbeton keresztmetszet méretezésénél elfogadott általános alapelvek szerint lehet elvégezni az alábbi kiegészítésekkel:

Használati állapotban történő vizsgálatnál a betonkeresztmetszetben lévő A_s , hagyományos vasalás illetve az A_l felragasztott acélszalag σ_{aH} , illetve σ_{lH} *határ szilárdságát az LCPC kísérletek figyelembevételével egy k_s , illetve k_l , szorzótényezővel csökkentve javasoljuk számításba venni, ahol $3 \text{ mm} \leq v_l \leq 6 \text{ mm}$ lemezvastagságok alkalmazása esetén a k_s és k_l csökkentő tényezők értékei az alábbiak:*

$$k_s = 1,2 - 0,08 \cdot v_l$$
$$k_l = 0,46 + 0,08 \cdot v_l$$

Teherbírási határállapotban történő vizsgálat esetén sem a betonban meglévő vasalás, sem pedig a felragasztott acélszalag határzilárdságát nem kell redukálni. Az acélszalag határfeszültségét azonban a fellépő helyi hajlításból származó többletfeszültség miatt a szabványban általában megadott értékhez képest csökkenteni kell. A csökkentés mértékét a

$$k_l = 0,65$$

szorzótényezővel figyelembe kell venni.

A megerősítéshez általában 6 mm-nél vastagabb acélszalagot nem célszerű alkalmazni. Ha ezzel a szükséges acélkeresztmetszet nem biztosítható, akkor több, egymásra ragasztott réteggel érhető el a szükséges teherbírás, ezzel a megoldással a nyomatók változása is kedvezőbben követhető. Több réteg alkalmazása esetén a közvetlenül a betonfelülettel érintkező acéllemezben keletkező F_I húzóerőnek és a teljes húzóerőnek az aránya numerikus vizsgálatok [7] alapján:

- két réteg acélszalag esetén $F_I = 0,66 F$
- három réteg acélszalag esetén $F_I = 0,5 F$

értékkel vehető figyelembe. A vizsgálatok szerint a helyi hajlítás mértéke egymáshoz ragasztott lemezek esetén nem tér el jelentősen az azonos vastagságú egyetlen lemezzel történő megerősítésnél kialakuló helyi hajlítástól.

1.2.2 A ragasztás felhasadásának ellenőrzése

1.2.2.1 Törésmechanikai alapon történő ellenőrzés

Az acéllemez végénél a ragasztás felhasadása elméletileg *törésmechanikai megfontolások* alapján vizsgálható. A felhasadás elvileg nem következik be, ha a ragasztás végénél lévő keresztmetszet igénybevételeiből az eredeti és a megerősített keresztmetszet alapján számítható W energiakülönbség nem nagyobb, mint a ragasztásban a repedés továbbterjedéséhez szükséges R energia. Kísérleti vizsgálatok [7] szerint, szokásos ragasztóanyagok alkalmazása esetén a repedés továbbterjedéséhez szükséges minimális fajlagos energia $R = 50 \text{ J/m}^2$.

A ragasztás végénél lévő eredeti, illetve megerősített keresztmetszet alapján kialakuló fajlagos energiakülönbség elméleti értéke:

$$W = \frac{1}{2b_r} \left[M^2_M \left(\frac{1}{B_b} - \frac{1}{B_i} \right) + Q^2_M \left(\frac{1}{H_b} - \frac{1}{H_i} \right) \right]$$

ahol

M_M ill. Q_M a mértékadó hajlítónyomaték, ill. nyíróerő a ragasztott acélszalag végénél lévő keresztmetszetben;

$B_b = E_b I_b$ ill. $H_b = G_b A_b$ a megerősített vasbeton keresztmetszet hajlítási illetve nyírási merevsége;

$B_i = E_b I_b$ ill. $H_b = G_b A_b$ a megerősített, acélszalaggal együttműködő ideális vasbeton keresztmetszet hajlítási illetve nyírási merevsége az I. feszültségi állapotban;

B_r a ragasztási szélessége.

A kapcsolat a ragasztás felhasadása szempontjából megfelel, ha

$$W \leq 50 \text{ J/m}^2, \text{ azaz } = 50 \text{ N/m.}$$

Más kutatók [2] által végzett kísérletekben meghatározták a megerősítendő vasbetonszerkezet azon nyomatékát, mely a ragasztó felhasadását okozza. Azt tapasztalták, hogy a tönkremenetel –megfelelő minőségű ragasztóanyag esetén (lásd később a 4. pontot)– általában a megerősítendő szerkezet alsó rétegében a ragasztás fölött következik be (3. ábra). A felhasadást okozó nyomaték határértékének meghatározására az alábbi kifejezést ajánlják:

$$M_{f_r H} = \frac{E_b I_{II, m} \cdot \sigma_h H}{\gamma \cdot E_l \cdot v_l}$$

ahol

$E_b I_{II,m}$	az acéllemezzel megerősített (bepedrt) gerenda hajlítási merevsége a II. feszültségi állapotban,
σ_{hH}	a beton húzási határfeszültsége,
E_l	a megerősítő acéllemez rugalmassági modulusa,
v_l	a megerősítő acéllemez vastagsága, továbbá
$\gamma = 1,86$	használati, illetve
$\gamma = 0,901$	teherbírési határállapotban történő vizsgálatnál.

A felhasadás nem következik be, ha

$$M_{frH} > M_M$$

ahol M megerősített szalag végétől d távolságra (a tartó hasznos magassága.) lévő keresztmetszetben a megerősített gerendában fellépő mértékadó nyomaték (3. ábra).

E vizsgálatokból két fontos következtetést is levonhatunk: egyrészt, hogy ajánlatos az acélszalagos megerősítés végét minél közelebb vinni a gerenda megtámasztásához (kisebb az M_M), másrészt, hogy célszerű a megerősítendő acélszalag vastagságát minél kisebbre választani (nagyobb az M_{frH}).

A ragasztással rögzített acélszalag vastagságára több kutató [3], [4] az alábbi értéket ajánlja.

$$V_l = (0,005 + 0,007) d$$

1.2.2.2 A rugalmas együttműködő rétegek elmélete alapján történő ellenőrzés

A ragasztás felhasadása, a ragasztó réteg tönkremenetele vizsgálható a rugalmas együttműködő rétegek elmélete alapján [5] is. A [3], [5] kutatási eredmények szerint a ragasztott kapcsolat megfelelő, ha az acéllemez végén, a ragasztórétegben fellépő τ_M , ill. σ_M nyíró –ill. normálfeszültségek nem haladják meg az [5]-ben megadott τ_0 , σ_0 határértéket, vagyis:

$$\tau_M \leq \tau_0 \text{ és}$$

$$\sigma_M \leq \sigma_0$$

A gyakorlati esetekben $\tau_0 = 3 + 5 \text{ N/mm}^2$ és $\sigma_0 = 1 + 2 \text{ N/mm}^2$, tényleges értékük a következőképpen számítható ki:

$$\tau_0 = \left[Q_M + \left(\frac{K_s}{E_l b_l v_l} \right)^{1/2} \cdot M^*_M \right] \frac{b_l v_l}{I_{lrm} \cdot b_r} (h_l - x),$$

$$\sigma_0 = \tau_0 v_s \left(\frac{K_n}{4 E_l I_l} \right)^{1/4},$$

ahol

$$K_s = \frac{G_r \cdot b_r}{v_r}, \text{ a ragasztás fajlagos nyírási merevsége}$$

$$K_n = \frac{E_r \cdot b_r}{v_r}, \text{ a ragasztás fajlagos húzási merevsége,}$$

és

$$I_{l,m} = \frac{E_b b x^3}{3} E_l + A_s (h - x)^2, \text{ a megerősített szerkezet teljes inercianyomatéka.}$$

A fenti képletekben:

Q_M a mértékadó nyíróerő az acélszalag végén,

M_M a mértékadó hajlítónyomaték az acélszalag végétől $d/2$ távolságra (hasonló módon, mint a 3. ábrán),

E_l E_r ill. E_b az acélszalag, a ragasztó, ill. a beton rugalmassági modulusa,

G_r a ragasztó nyírási rugalmassági modulusa.

A többi (geometriai jellegű) jelölés értelmezése a 4. ábrán látható.

Fontos szem előtt tartani, hogy a képletben a megerősítendő szerkezetben meglévő A_s acélbetét mennyiségén csak azok a vasak számíthatók be, amelyeknek a berepedt (megerősítendő) keresztmetszettől mindkét irányban biztosított az együttdolgozásuk a betonnal (vagyis megvan a lehorgonyzási hosszuk).

2. Véglehorgonyzással ellátott, ragasztott acélszalag tervezése és szerkezeti kialakítása

Az acélszalag végének felszakadása a ragasztott kapcsolat gyors tönkremenetelét okozhatja. Ezt a folyamatot késleltethetjük, ha a ragasztott acélszalag végét véglehorgonyzással látjuk el. A véglehorgonyzás készülhet:

- dübelelések. ill.
- ragasztott lehorgonyzott acélszerelvénnyel.

2.1 A dübeleléssel készített véglehorgonyzás

A dübeleléssel készített véglehorgonyzás vizsgálatával foglalkozó kutatások [5], [6] megállapítják, hogy a dübelelés csak igen csekély mértékben (5-10 %) és csak vékony acélszalagok alkalmazása esetén növeli a ragasztott acéllemezrel készült megerősítés teherbírását. Vékony ragasztott acélszalagnál ugyanis a szalag nem fogja erősen a dübelt, így határállapotban palástnyomásból eredő, „kigombolódás” jellegű tönkremenetel következik be, miközben az acélszalag jelentős nyúlásokat szenved.

Vastag ragasztott acélszalag merevebben fogja a dübelt, így a szalagvégi lehorgonyzásban erős feszültségkoncentráció jöhet létre, amely korán nyírási jellegű helyi tönkremenetelt okozhat, még mielőtt a ragasztott kapcsolat hosszan felhasadna, tönkremenne.

Ebből is látható, hogy a ragasztott kapcsolattal történő erősítésnek felső korlátai vannak: vastag acéllemez (pl. „túlméretezésből” adódó) alkalmazása esetén a véglehorgonyzás egyáltalán nem hatásos, sőt, mint az 1.2.2.1. pontban láttuk, a felhasadás is kisebb igénybevételnél következik be. Ez a jelenség a több rétegű, vékonyabb acéllemezek alkalmazását indokolja az igénybevételi ábra lehetőség szerinti követésével. A végdübelelés elsődleges előnye abban van, hogy *duktilisabbá* teszi a ragasztott kapcsolatot [5]. A duktilitás jellemzésére szolgáló szívóssági modulus (az erő – elmozdulás diagram tönkremenetelig tartó szakasza alatti terület) jelentősen megnövekszi, ezáltal tehát megbízhatóbb, tartósabb erősítő kapcsolat létesíthető a végdübelelés alkalmazásával. Ezt főleg ismétlődő igénybevételekkel terhelt megerősítendő szerkezetek (pl. hidak) esetén célszerű szem előtt tartani.

2.2 A ragasztott lehorgonyzó acélszerelvény alkalmazása

A ragasztott lehorgonyzó acélszerelvény alkalmazása éppen a dübel „feszültséggyűjtő” hatását küszöböli ki. Viszonylag kevesebb kutatás foglalkozott e véglehorgonyzással [6], bár ezek nagyon kedvező eredményeket mutatnak, különösen a földémbordák, gerendák megerősítése tekintetében, ahol lehetőség van az 5. ábra szerinti szerkezeti kialakításra.

Ilyen esetekben a ragasztott kapcsolat teherbírás-növekedése az 55-60 %-ot is elérte, és a kapcsolat ugyanolyan duktilis tulajdonságokat mutatott, mint a végdübeleléssel ellátott kísérleti elemeké.

A ragasztott véglehorgonyzó szerelvény alkalmazása tehát több tekintetben is előnyösnek látszik, azonban a kapcsolat megbízhatósága itt is elsődlegesen a ragasztási munka minőségétől függ.

3. Folyamatosan elhelyezett dübelekkel felerősített acélszalag méretezése

A hajlított vasbetonszerkezet megerősítésére a szerkezet húzott oldalán folyamatosan elhelyezett, dübeleléssel felerősített acélszalag is alkalmazható [12]. A hajlításból származó húzóerőt ekkor is az acélszalag veszi fel.

A BME Vasbetonszerkezetek Tanszékén végzett kísérletek szerint a vasbeton gerendák hossz tengelye mentén kellő sűrűséggel kiosztott dübelelézés esetén az acélszalagban keletkező húzóerő a vasbeton keresztmetszetek méretezésénél alkalmazott alapelvek szerint határozható meg a

$$H_l = \frac{M_M}{z}$$

összefüggés szerint, ahol z a belső erők karja.

Az acélszalag hasznos keresztmetszeti területének meghatározásánál a dübelek elhelyezésére szolgáló furatokat nem szabad figyelembe venni.

Az acélszalagnak a betonfelülethez való rögzítéséhez katalógusból ismert határterhelési adatú dübeleket, csavarokat javasolunk alkalmazni. A rögzítő elemeket a borda hossz tengelye mentén a mértékadó nyíróerő ábra változása szerint célszerű kiosztani.

Az alkalmazott csavarok, illetve dübelek számát (6. ábra) úgy kell meghatározni, hogy az egy csavarra jutó csúsztatóerő nagysága a vizsgált keresztmetszetre mértékadó nyíróerő alapján az alábbi képlet szerint legyen:

$$K = \frac{1}{n} \frac{Q_M}{z} s,$$

ahol

Q_M a mértékadó nyíróerő;

z a belső erők karja, (a számításban $z = 0,8 h$ értékekkel szabad számításba venni, ahol h a borda magassága);

s a csavarok, illetve a dübelek távolsága a lemez hossz tengelyének irányában mérve;

n az egy sorban elhelyezett csavarok száma, (feltételezve, hogy azonos átmérőjű dübeleket alkalmazunk.)

A K csúsztatóerő értéke csökkenthető a vizsgált keresztmetszetben az acélszalag által felvett H_l húzóerő és az M_M mértékadó nyomatéből számított és az acélszalag és a bordában meglévő húzott vasalás által együttesen felvett H húzóerő arányának megfelelően, ha a betonban lévő vasalás lehorgonyzása a vizsgált keresztmetszettől számítva biztosított. Így egy rögzítő elemre redukált mértékadó csúsztatóerő a

$$K_{red} = \frac{H_l}{H} K$$

értékkel vehető figyelembe.

1. táblázat

A HILTI csavar jelei	Határerő (kN)	Furatmélység (mm)
HSA M 8 x 75	8,9	55
HSA M 10 x 90	15,4	60
HSA M 12 x 110	22,7	80
HSA M 16 x 145	41,4	100

A dübelek, csavarok teherbírásával foglalkozó szakirodalomra itt csupán [9], [10] hivatkozunk, azonban tájékoztatásul az 1. táblázatban megadjuk egy csavar határerejét a HILTI katalógus alapján szabványosított HSA HILTI alapcsavarokat figyelembe véve, a szabványban rögzített furatmélységek esetén. A csavarokat a terhek alapértékére kell ellenőrizni.

Megjegyzések:

1. A táblázat értékek akkor használhatók, ha a beton minimálisan C 20-as szilárdsági jelűnek számítható.
2. Ha a furat mélysége nem éri el a táblázatban szereplő értéket, akkor a határerőt lineárisan csökkenteni kell úgy, hogy kétszeres furatátmérőnek megfelelő furatmélység esetén a határerő zérus legyen.

4. A megerősítések kivitelezésének általános szabályai

Az acéllemez felragasztásakor a beton felületének egyenetlensége ne legyen több 5 mm-nél 2,0 m hosszon, illetve 2 mm-nél 0,2 m hosszon. A beton felületét az acélszalag felragasztása előtt száraz, vagy nedves homokszórással, vagy nagynyomású vízszugárral megfelelően elő kell készíteni. Nedves előkészítés esetén megfelelő száradási időt kell biztosítani a lemez felragasztása előtt.

Az egy rétegben felragasztandó acélszalag vastagsága $v = (0,005 + 0,007) d$, lehetőleg 3-5 mm legyen. Ragasztott acéllemezrel való megerősítéshez elsősorban A24 jelű hegeszthető acél alkalmazható. Az acéllemez megfelelő méretre vágása után annak felületét zsirtalanítani, majd homokfúvással érdesíteni kell. A lemezeket védett helyen kell tárolni, és felragasztás után azonnal korrózióvédelemmel kell ellátni.

A ragasztóanyag felhasználásánál a gyári előírásokat szigorúan be kell tartani. A ragasztáshoz olyan epoxi műgyanta alapanyagú ragasztó javasolható (pl. TIPOX IHS), melynek nyírószilárdsága megszilárdulás után a beton húzószilárdságának legalább kétszerese. Az epoxi műgyanta komponenseinek javasolt keverési aránya 1:2 (lassú : gyors), az így elérhető rugalmassági modulus (E) kb.: 300 N/mm², a nyírási rugalmassági modulus (G) pedig kb.: 120 N/mm² lesz.

Az átlagos (javasolt) ragasztási vastagság 2-3 mm, de mindenképpen kisebb, mint az acélszalag vastagságának a fele.

A ragasztóanyag költésének ideje alatt az acélszalag felületét egyenletes, 15-40 kN/m² nyomás alatt kell tartani, ennek biztosítására a kötési idő alatt megfelelő módon (pl. kitámasztás) gondoskodni kell.

A munkafolyamatok elvégzése után a ragasztás minőségét ellenőrizni kell, és a tapasztalt hibákat ki kell javítani.

5. Összefoglalás

A cikk a vasbeton födémszerkezetek a ragasztott – dübelezett acélszalagok alkalmazásával történő megerősítési lehetőségeivel foglalkozik. Az eljárás nagy előnye, hogy a megerősítés kis szerkezeti magassággal kivitelezhető, vagyis az épület helyiségeinek hasznos belmagasságából keveset vesz el, továbbá, hogy a tárgyalt megerősítési módok viszonylag egyszerűen kivitelezhetők.

A BME Vasbetonszerkezetek Tanszéken végzett kísérletek és a szakirodalomban található kutatások eredményei alapján összefoglaltuk a csupán felületén ragasztott, a véglehorgonyzással ellátott, ragasztott, ill. a folyamatosan elhelyezett dübelezéssel felerősített acélszalagos megerősítési módok méretezésének és kivitelezésének leglényegesebb szabályait, ajánlásait.

6. Hivatkozások

- [1] *Sepp.-R. Speidel*: Verstärken von Betonbauteilen durch Aufkleben von Stahllaschen
Bautechnik 69 (1992) 8., 402-408. old.
- [2] *D. Ochlers*: Reinforced concrete beams with steel plate glued to their soffits: prevention of plate separation induced by flexural peeling Report No. R80 (1988)
The University of Adelaide
- [3] *M. Hussain et al*: Flexural behavior of beams with external steel plates
ACI Structural Journal Vol. 92. No. 1. (1995) 14-22. old.
- [4] *R. N. Swamy et al*: Structural behavior of reinforced concrete beams strengthened by epoxy-bonded steel plates
The Structural Engineer Vol. 65. A. No. 2. (1987) 59-68. old.
- [5] *T. M. Roberts*: Approximate analysis of shear and normal stress concentrations in the adhesive layer of plated RC beams
The Structural Engineer Vol. 67. No. 12. (1989) 229-233. old.
- [6] *R. Jones-R. N. Swamy-A.Charif*: Plate separation and anchorage of reinforced concrete beams strengthened by epoxy-bonded steel plates
The Structural Engineer Vol. 66. No. 5. (1988) 85-94. old.
- [7] *J. Theillout*: Renforcement des structures en béton par la technique des toles colleés,
Annalas de l'I. T.B.T.P. No. 501, février (1992) 24-28. old.
- [8] *M. Fujii-S. Inoue-S Utoh-Y. Setoguchi*: Steel plate bonding technique for strengthening damaged prestressed concrete beams,
FIP XI. th. Congress Proceedings, Hamburg, June (1990)
- [9] *W. Fuchs-R. eligehausen-J.E. Breen*: Concrete capacity Design (CCD) Approach for Fastening to Concrete
ACI Structural Journal Vol. 92. No. 1. (1995) 73-94. old.
- [10] *M. Fohren*: Dübel-Allgemeine Einführung in die Befestigungstechnik
Bauplanung – Bautechnik 44. Jg., Heft 7., (1990)
- [11] *J. M. Delbecq-G. Sacchi*: Restauration des Ouvrages et des Structures,
Presses de l'E. N. P.C. (1984) 487-500) old.
- [12] *Szalai K. (Szerk.)*: Ajánlások az IMS szerkezetű épületek megerősítéséhez BME Vasbetonszerkezetek Tanszéke (1991)