

Elméleti és gyakorlati kutatások előregyártott vasbeton szerkezetek technológiai igénybevételénél

Dr. Mihalik András
Nagyvárad Egyetem

Abstract

The paper presents conception and calculation possibilities for manipulation devices of flat pre-manufactured ferro-concrete elements under industrial technological conditions.

1. Bevezetés

Az előregyártás várható fejlődését, jövőjét tekintve elmondható, hogy mindaddig, amíg az egyéb építési célokra figyelembe vehető anyagok ára jelentősen nem csökken, az előregyártás további fejlődése várható. E fejlődés ma még távolról sem lezárt sem a termékek, sem a gyártási eljárások tekintetében. Ennek ellenére ma az előregyártás szűkebb értelemben használatos, s az építőipari tevékenység egy meghatározott részét jelenti. Monolit szerkezetek tervezésekor általában elegendő a végleges szerkezeti váz statikai vizsgálatának elvégzése. Előregyártott szerkezeteknél azonban ez nem elegendő, hanem meg kell vizsgálni az elemek gyártásakor, mozgatásakor és a szerelés egyes fázisaiban keletkező igénybevételeket is.

Figyelemmel kell lenni tehát azokra az igénybevételekre is, amelyek az elemekben a formából történt kiemeléskor, a szállító eszközre helyezésekor, szállítás közben, tároláskor, az eszmélés ideje alatt és az ideiglenes kikötéskor keletkeznek. Ha monolit részei is vannak a szerkezetnek, akkor meg kell vizsgálni a beépítésük előtt fellépő erőhatásokat is. Meg kell adni az elemek mozgatásához a szükséges megfogási helyeket, a tároláshoz az alátámasztás módját, valamint az elemek emeléséhez szükséges szerkezeteket. Legcélszerűbb a megfogási pontot úgy elhelyezni, hogy mind a pozitív, mind a negatív nyomaték nagysága egyforma legyen.

Mindezekből látható, hogy az előregyártott szerkezetek erőtani számításai sokkal nagyobb körültekintést és szakértelmet igényelnek, mint a monolit szerkezetek esetében.

Ezért is szükséges a kutatás területén a korszerű méretezési előírásokat alátámasztó kísérletek elvégzése, a figyelembe veendő terhek és hatások korszerű, reális értékeinek ellenőrzése, megállapítása, az előregyártott elemek kapcsolatainak (mind a merev, mind a mozgó kapcsolatoknak) vizsgálata, megfelelő minőségi és minősítő előírások összeállítása.

Jelen tanulmányban kutatásaink eredményeképpen egy emelőszerkezet erőtani és egyensúlyi helyzetét vizsgáltuk, ahol az emelés hat pontos megfogással, csigán vagy kampón elmozdulható folytatólagos kötélhimbával, optimális körülmények között biztosítja az önsúly felvételét az igénybevételeknek megfelelően.

2. Az emelőszerkezettel kapcsolatos elméleti és gyakorlati vizsgálatok

Vasbeton elemek sablonról való leválasztására kötélhimbával kialakított emelőszerkezetet alakítottunk ki, amely az emelőfülekhez, valamint az emelő daru kampójához csatlakozik.

A kötelek szükséges keresztmetszetének megállapítása a feszültség kiszámítását igényelte minden egyes kötélben, az előzetesen megállapított egyensúlyi helyzetnek megfelelően.

A probléma mechanikai része egyszerűen megoldható, az egyensúlyi helyzet megoldása viszont összetett, bonyolult problémaként jelentkezett, amelyet egyszerű, elementáris módszerrel már nem lehetett megoldani. Éppen ezért röviden bemutatjuk a megoldás módját.

2.1. Az emelőszerkezet vizsgálata

A téglalap alakú betonelem a betonozás után hat, szimmetrikusan elhelyezett emelőfüllettel rendelkezik a hosszanti (Ox) tengelyhez viszonyítva, vagyis a következő pontokban:

A, A', C, C' sarokpontok

B, B' a hosszanti oldalakon az A és C valamint az A' és C' között

Ismertek a távolságok: $AB=b$, $AC=c$, $BC=c-b$ és $AA'=2a$.

Az A és A' pontokban rögzítjük az első kötelet, amelynek a hossza $2l_1$, aminek a közepén, a D pontban az emelő kampó csatlakozik.

A B és C valamint a B' és C' pontokban még két hasonló, egyenlő hosszúságú l_2 kötelet rögzítünk, amely az E és E'-ben a csigákon halad át. Az E és E' csigák egy negyedik kötélhez EDE vannak rögzítve,

Az 1. ábrából következik:

$$OD' = l_0 \cos \Psi, \quad DD' = l_0 \sin \Psi, \quad \operatorname{tg} \Theta = \frac{l_0}{a} \sin \Psi$$

jelöljük: $BE = x_1$ és $CE = x_2$, azzal a feltétellel, hogy $x_1 + x_2 = l_2$

A BEC háromszögből adódik, hogy:

$$x_1 = l_2 \frac{\sin \alpha_C}{\sin \alpha_B + \sin \alpha_C}, \quad x_2 = l_2 \frac{\sin \alpha_B}{\sin \alpha_B + \sin \alpha_C}$$

A szögfelező BEF, két egyenlő részre osztja a $\hat{B}EC$ szöget, azaz

$$90^\circ - \frac{\alpha_B + \alpha_C}{2}$$

és az $E_1\hat{E}F$ szög egyenlő

$$D_1\hat{D}F = E_1\hat{E}F = \frac{\alpha_B + \alpha_C}{2}.$$

Legyen még E_2 az E pont vetülete a DD_1 egyenesre. Szem előtt tartva, hogy a $DE = l_3$, következik:

$$DD_1 = \sqrt{a^2 + l_0^2 \sin^2 \Psi}$$

$$E_2D_1 = EE_1 = x_1 \sin \alpha_B = l_2 \frac{\sin \alpha_B \sin \alpha_C}{\sin \alpha_B + \sin \alpha_C}$$

$$DE_2 = DD_1 - E_2D_1 = \sqrt{a^2 + l_0^2 \sin^2 \Psi} - l_2 \frac{\sin \alpha_B \sin \alpha_C}{\sin \alpha_B + \sin \alpha_C}$$

$$E_2E = D_1E_1 = AB + BE_1 - AD_1 = b + x_1 \cos \alpha_B - l_0 \cos \Psi = b + l_2 \frac{\cos \alpha_B \sin \alpha_C}{\sin \alpha_B + \sin \alpha_C} - l_0 \cos \Psi$$

Ahhoz, hogy a DE egyenes szögfelezője legyen a $\hat{B}EC$ -nek és hogy a DE egyenlő legyen l_3 -al, a következő két feltételnek kell teljesülnie: (2. ábra)

$$DE_2 = l_3 \cos \frac{\alpha_B - \alpha_C}{2}$$

$$E_2E = l_3 \sin \frac{\alpha_B - \alpha_C}{2}$$

Elvégezve a behelyettesítéseket az előző kifejezésekbe, következik:

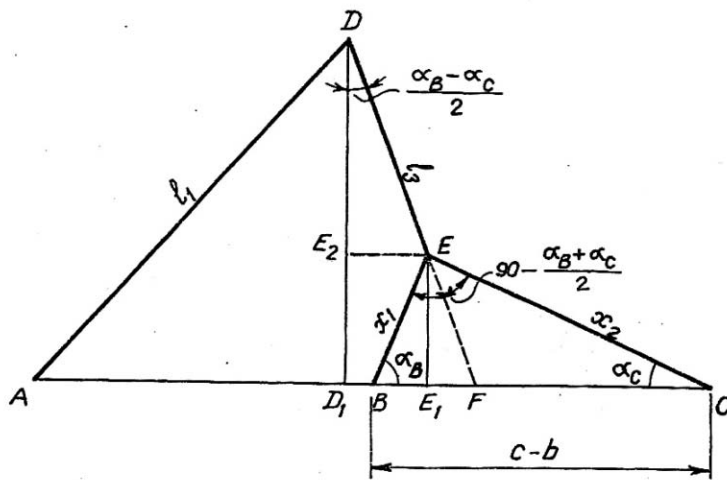
$$l_0 \cos \Psi = b + l_2 \frac{\cos \alpha_B \sin \alpha_C}{\sin \alpha_B + \sin \alpha_C} - l_3 \sin \frac{\alpha_B - \alpha_C}{2} \quad (1)$$

$$\sqrt{a^2 + l_0^2 \sin^2 \Psi} = l_2 \frac{\sin \alpha_B \sin \alpha_C}{\sin \alpha_B + \sin \alpha_C} + l_3 \cos \frac{\alpha_B - \alpha_C}{2} \quad (2)$$

A BEC háromszögből megkapjuk:

$$BE_1 = x_1 \cos \alpha_B, \quad E_1C = x_2 \cos \alpha_C, \quad BE_1 + EC_1 = BC = c - b$$

vagy $x_1 \cos \alpha_B + x_2 \cos \alpha_C = c - b$.



2. ábra

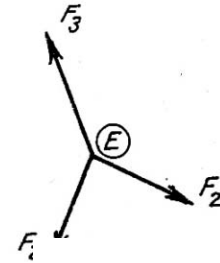


Fig. 4

Szem előtt tartva, hogy x_1 -t és x_2 -t már meghatároztuk az l_2 , α_B valamint α_C függvényében, az előző kifejezés felírható, tehát:

$$l_2 \frac{\cos \alpha_B \sin \alpha_C}{\sin \alpha_B + \sin \alpha_C} + l_2 \frac{\sin \alpha_B \cos \alpha_C}{\sin \alpha_B + \sin \alpha_C} = c - b$$

A megfelelő átalakítások után felírható az összefüggés végleges kifejezése:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha_B}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha_C}{2} = \frac{l_2 - c + b}{l_2 + c - b} \quad (3)$$

Az (1), (2), (3) egyenletek az ismeretlen ψ , α_B , α_C szögekkel a probléma megoldásához vezetnek.

2.3. Az ismeretlenek meghatározása

A megoldás érdekében egyszerűbb lesz, ha a ψ szöget az (1) és (2) egyenletekből kiküszöböljük. Ez megoldható a tagonkénti négyzetre emeléssel, majd a kapott összefüggések összeadásával.

A kiküszöbölés eredményét így írhatjuk:

$$F(\alpha_B, \alpha_C) = \left(\frac{\sin \alpha_C}{\sin \alpha_B + \sin \alpha_C} \right)^2 + \frac{2b}{l_2} \cos \alpha_B \frac{\sin \alpha_C}{\sin \alpha_B + \sin \alpha_C} - \frac{2bl_3}{l_2} \sin \frac{\alpha_B - \alpha_C}{2} + \frac{l_3}{l_2} \frac{\sin \alpha_C}{\cos \frac{\alpha_B - \alpha_C}{2}} - l_1^2 + b^2 + l_3^2 = 0 \quad (4)$$

A (3) és (4) összefüggések meghatározzák az α_B , α_C szöveget, míg a ψ szög az (1) és (2) valamelyikéből következik.

A megoldás próbálgatásokkal történik a (3) összefüggést felhasználásával. Különböző értékeket adva α_B -nek, megkapjuk α_C -t. Az így kapott páros eredményt a (4) összefüggésbe helyettesítjük, egészen addig, míg az eredmény nem lesz $F(\alpha_B, \alpha_C)=0$, ami már tulajdonképpen a keresett megoldás.

Egy konkrét gyakorlati problémánál a következő szám adatok álltak rendelkezésünkre:

$$2a=2,65 \text{ m} ; b=2,15 \text{ m} ; c=4,30 \text{ m} ; l_1=3,0 \text{ m} ; l_2=2,87 \text{ m} ; l_3=1,48 \text{ m} .$$

Felhasználva ezeket az adatokat, következnek:

$$l_0 = \sqrt{l_1^2 - a^2} = \sqrt{3,00^2 - 1,35^2} = \sqrt{7,244375} = 2,691537664 \text{ m}$$

$$\frac{l_2 - c + b}{l_2 + c - b} = \frac{2,87 - 4,30 + 2,15}{2,87 + 4,30 - 2,15} = \frac{0,72}{5,02} = 0,143426294$$

Az így kapott szám adatokkal a (4) és (3) a következőképpen írható:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha_B}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha_C}{2} = 0,143426294 \quad (5)$$

$$F(\alpha_B, \alpha_C) = \left(\frac{\sin \alpha_C}{\sin \alpha_B + \sin \alpha_C} \right)^2 + 1,498257833 \cos \alpha_B \frac{\sin \alpha_C}{\sin \alpha_B + \sin \alpha_C} - 0,772620764 \sin \frac{\alpha_B - \alpha_C}{2} + 0,515679442 \frac{\sin \alpha_C}{\cos \frac{\alpha_B - \alpha_C}{2}} - 0,265524651 = 0$$

Próbálgatásokkal a következő megoldást kapjuk:

$$\alpha_B = 65,515^\circ \quad , \quad \alpha_C = 25,13348^\circ$$

Ezek után az (1)-ből adódik:

$$\psi = 41,4415^\circ \quad (\sin \psi = 0,66185043 \quad , \quad \cos \psi = 0,749635881)$$

Ellenőrzésképpen az összes szám adatot a (2)-be helyettesítjük, és következnek:

- a bal oldali tag 2,220134
- a jobb oldali tag 2,22150

Az eltérés 0,00072%, amely nagyon jó eredmény.

Marad még a Θ szög kiszámítása:

$$\operatorname{tg} \Theta = \frac{l_0}{a} \sin \Psi = \frac{z_0}{a} = \frac{1,78139536}{1,325} = 1,344449228$$

$$\Theta = 53,35817^\circ \quad (\sin \Theta = 0,80238197 \quad ; \quad \cos \Theta = 0,59681083)$$

A hosszúságok:

$$x_1 = 0,913224718 \text{ m} ; x_2 = 1,956775282 \text{ m}$$

A mért értékek a következők voltak:

$$x_1 = 0,92 \text{ m} ; x_2 = 1,95 \text{ m}$$

Ez kitűnő összhangban van a számításokkal.

A tengelyekkel az O-ból kiindulva, megkapjuk:

- OD' egyenest, mint az Ox tengelyt
- OA' egyenest, mint Oy tengelyt
- a merőlegest O-ban, az xOy síkban, mint Oz tengelyt

A D és E pontoknak a koordinátái a következők:

$$x_D = OD' = l_0 \cos \psi = 2,017673207 \text{ m}; y_D = 0$$

$$z_D = DD' = l_0 \sin \psi = 1,78139536 \text{ m}; x_E = b + x_1 \cos \alpha_B = b + l_2 \frac{\cos \alpha_B \sin \alpha_C}{\sin \alpha_B + \sin \alpha_C} = 2,58849055 \text{ m}$$

$$y_E = a - x_1 \sin \alpha_B \cos \Theta = a - l_2 \frac{\sin \alpha_B \sin \alpha_C}{\sin \alpha_B + \sin \alpha_C} = 0,828991567 \text{ m}$$

$$z_E = EE' = x_1 \sin \alpha_B \sin \Theta = l_2 \frac{\sin \alpha_B \sin \alpha_C}{\sin \alpha_B + \sin \alpha_C} \sin \Theta = 0,666858247 \text{ m}$$

Kiszámítjuk még az AD és DE –re vonatkozó koszinusz szögfüggvényeket.

α -val jelöljük egy egyenes és az Ox közötti szöveget, valamint ugyanazon az egyenes és az Oz közötti szöveget, és megkapjuk:

$$\cos \alpha_A = \frac{l_0}{l_1} \cos \Psi = 0,672557735$$

$$\cos \gamma_A = \frac{l_0}{l_1} \sin \Psi = 0,593798453$$

$$\cos \alpha_D = \frac{c - l_0 \cos \Psi - x_2 \cos \alpha_C}{l_3} = 0,983490195$$

$$\cos \gamma_D = \frac{l_0 \sin \Psi - x_1 \sin \alpha_B \sin \Theta}{l_3} = 0,753065616$$

2.4. A feszültségek értékei

A következő jelöléseket alkalmazzuk:

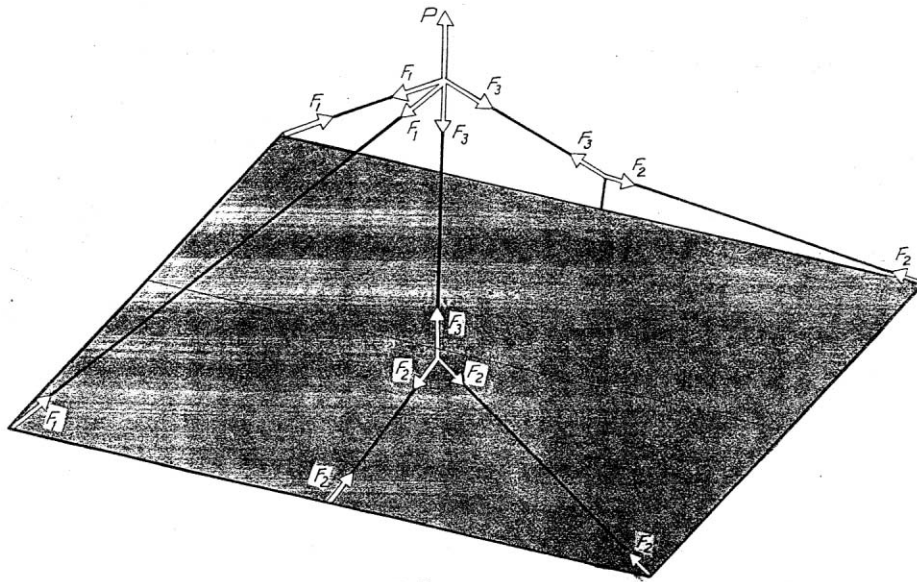
F_1 – a feszültség az ADA' kötélben

F_2 – a feszültségek a BEC valamint a B'E'C' kötelekben

F_3 – a feszültség az EDE' kötélben

Az E csomópontban, a BCDE síkban csak egy egyenletnek a vetületét írhatjuk le (a DE irányban). (3. ábra).

$$F_3 = 2F_2 \cos \left(90^\circ - \frac{\alpha_B + \alpha_C}{2} \right) = 2F_2 \sin \frac{\alpha_B + \alpha_C}{2} \quad (7)$$



3. ábra

A D csomópontra felírhatjuk:

- az egyenlet vetülete az Ox tengelyre

$$-F_1 \cos \alpha_A + F_3 \cos \alpha_D = 0 \quad (8)$$

- az egyenlet vetülete az Oz tengelyre

$$2(F_1 \cos \gamma_A + F_3 \cos \gamma_D) = P \quad (9)$$

a (7), (8), (9)-ből következik (4. ábra.):

$$F_1 = \frac{P}{2} \frac{\cos \alpha_D}{\cos \alpha_A \cos \gamma_D + \cos \alpha_D \cos \gamma_A}, \quad F_3 = \frac{P}{2} \frac{\cos \alpha_A}{\cos \alpha_A \cos \gamma_D + \cos \alpha_D \cos \gamma_A}, \quad F_2 = \frac{F_3}{2 \sin \frac{\alpha_B + \alpha_C}{2}}$$

Az előbbi számértéket behelyettesítve, megkapjuk:

$$F_1 = 0,451P, \quad F_2 = 0,217P, \quad F_3 = 0,308P$$

Egy maximális 5 tonna emelősúlyra a végeredmény:

$$F_1 = 2,255 \text{ tona}, \quad F_2 = 1,084 \text{ tona}, \quad F_3 = 1,542 \text{ tona}$$

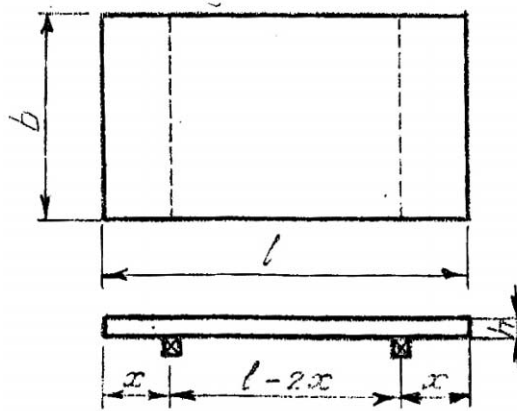
A szabványok a reális, minimális szakító terhelésre előírják:

- egyszerű kötelek 1x19 12.916 t
- egyszerű kötelek 1x37 12.414 t
- egyszerű kötelek 1x61 11.124 t

A minimális értékeket véve figyelembe, a biztonsági tényező:

$$C = \frac{11.124}{2.255} = 4,933$$

ami tökéletesen megfelelő értéket jelent.



4. ábra

3. Az elemek raktározása

Az előregyártott vasbeton szerkezeteknél a nyomott zóna repedéseinek a kiküszöbölése megköveteli az alátétlécek elhelyezkedésének a megvizsgálását.

Egy téglalap alakú $l = b$ ($l > b$) elemet vizsgálunk meg, amelynek a magassága h , az alátámasztás szimmetrikus, és a b oldallal párhuzamos.

Mivel egy speciális alátámasztásról van szó, az illető elemet összehasonlítjuk egy gerendával, amelynek a hossza l és a szélessége b , két konzollal a végeken.

A konzol nyílása x , az alátámasztási pontok közötti távolság pedig $l - 2x$.

Az előírt terhelés $g_n = \gamma hb$, ahol $\gamma = 2500 \frac{daN}{m^3}$, a számítási teher pedig $g_c = 1,1\gamma b$

Az elemek mozgatásánál számíthatunk egy dinamikus tényezőre is, amelynek az értéke $\Psi = 1,5$.

Ahogy a gyakorlat is mutatja, a nyomaték abszolút értéke az alátámasztáson meghatározott:

$$M_{\max} = \Psi \frac{g_c x^2}{2} \quad (10)$$

A keresztmetszet nyomaték kapacitását egy egyszerű összefüggéssel számoljuk:

$$M_r = \frac{bh^2}{6} R_t \quad (11)$$

ahol az R_t a beton minőségétől (márkájától) függ, és amelyik kisebb értékű a repedéseket okozó nyomatéknál, az alábbi összefüggés szerint:

$$M_t = 0,25(1 - 0,007h)bh^2 R_t \geq 0,17bh^2 R_t$$

Egyenlővé téve az (10) és (11) kifejezéseket, következik:

$$\frac{bh^2}{6} R_t = \Psi \frac{g_c x^2}{2} = \frac{\Psi 1,1\gamma b}{2} x^2$$

ahonnan kiszámítható a konzol maximális hossza:

$$x_{\max} = \sqrt{\frac{hR_t}{3,3\Psi\gamma}} \quad (12)$$

Például egy B250-es betonnál, ahol az $R_t = 9 \text{ daN/cm}^2$, $h = 13 \text{ cm}$, $\psi = 1,5$ és a $\gamma = 2500 \text{ daN/m}^3 = 0,0025 \text{ daN/cm}^3$, a maximális konzol:

$$x_{\max} = \sqrt{\frac{13 \times 9}{3,3 \times 1,5 \times 0,0025}} = 97,2 \text{ cm}$$

A maximális nyomaték problémája az alátámasztások között nem merülhet fel, ugyanis a vasalás méretezése az önsúlyra, valamint a hasznos terhelésre is vonatkozik.

Általános eredményként megállapítható: a konzol hossza ne haladjon meg a 95 cm-t.

Szakirodalom

- [1.] D.V.Koroteev, A.P.Novak: Prevenirea avariilor caracteristice și a accidentelor în construcții. Stroiizdot, Moskva, 1974. (oroszul)
- [2.] V.Vâlcovici, St. Bălan, R.Voina: Mecanica teoretică. Ed. Tehnică, București, 1959.
- [3.] I.Terțea, Tr. Oneț, M. Beuran, V.Păcurar: Proiectarea Betonului Armat. Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1978.
- [4.] M.Soare: Rezistența Materialelor. Institutul de Construcții, București, 1978.
- [5.] M.Soare, A.Mihalik: Studii și cercetări tehnologice, I.M.C. Oradea. Săptămâna Universitară. Secția Construcții, Oradea, 1983.