

RÉSPILLÉREKKEL GYÁMOLÍTOTT ALAPLEMEZEK ERŐJÁTÉKA, ÁTSZÚRÓDÁSA ÉS A TÓRUSZ VASALÁS ALKALMAZÁSA – 1. RÉSZ



Dr. Orosz Árpád – Nagy János

DOI: 10.32969/VB.2018.3.1

A dolgozat röviden ismerteti a réspillérekkel gyámoltott alaplemezek igénybevételei számításának egyszerűsített módszerét, részletesen tárgyalja az átszúródási teherbírás meghatározására szolgáló nyomott és nyírt kúp modell alapján elvégzett vizsgálatok eredményeit. Bemutatja, hogy ez a modell lehetővé teszi a gyűrűirányú vasalás kedvező hatásának figyelembevételét. Ismerteti az átszúródásra alkalmazott tórusz vasalás kialakítását és alkalmazásának előnyeit. Rámutat arra, hogy mindezek együttesen egy alapozási rendszert alkotnak.

Kulcsszavak: réspillér, gyámoltott alaplemez, átszúródás, nyomott kúp, nyírt kúp, gyűrűirányú vasalás, átkötő vas, tórusz

1. BEVEZETÉS, ELŐZMÉNYEK

A réspillérekkel gyámoltott alaplemez alkalmazása arra a gondolatra épül, hogy a mélyalap és az alaplemez együttesen viselik a terheket. A tehermegosztás módszerét a továbbiak részletesen ismertetik, ennek működését a próbaterhelések igazolták.

Az építési rendszer fejlesztése során az igénybevételek, hajlítónyomatékok, átszúródás vizsgálata mellett alapvető szempont volt a vasalási rendszer megvalósításának, kivitelezésének optimalizálása, a helyszíni élőmunka csökkentése. A számítási módszerek kidolgozása során a biztonság megőrzése mellett, az egyszerűsítésre és az áttekinthetőségre törekedtünk. A gyakorlati alkalmazást a megépült létesítményeken tapasztalt pozitív jelenségek igazolták. A legnagyobb süllyedés és süllyedéskülönbség 1 cm alatt volt, a repedéstágasságok sem haladták meg az előírt értékeket. Természetesen tudjuk, hogy lehetnek nyitott kérdések, amelyek a továbbfejlesztés során megoldhatóak lesznek.

2. AZ ALAPLEMEZ IGÉNYBEVÉTELEINEK MEGHATÁROZÁSA

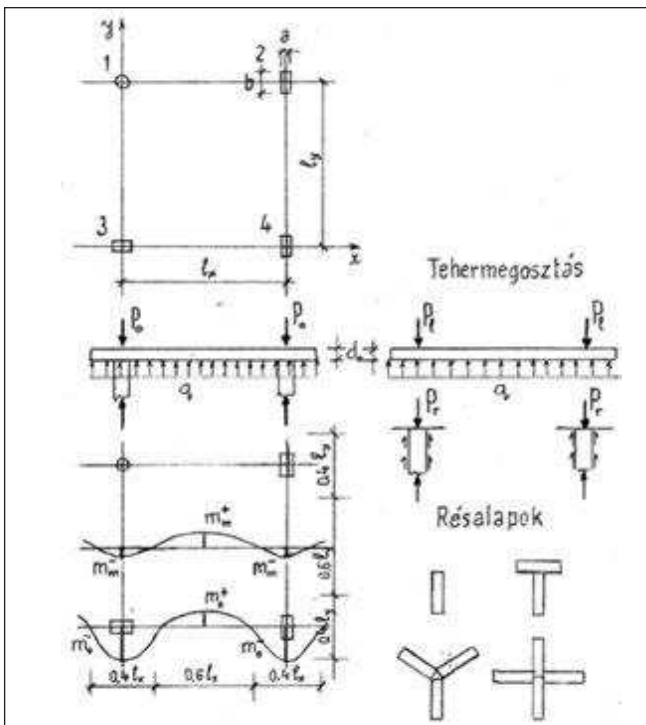
2.1. A számítási módszer fejlődése

Az építmények alapozására általában a síklemezt vagy a mélyalapokat, cölöpöket, réspilléreket alkalmazták. Jelen dolgozat olyan alapozási rendszerrel foglalkozik, ahol a síklemez és a réspillérek együtt viselik a terhet. Az alap gondolat Kézdi Árpádtól (Kézdi, 1963) származik, aki a cölöp alapozással készült kaposvári gabonasílo süllyedésének csökkentésére az utólag beépített lemez alapozást sikeresen alkalmazta. Ezt a tehermegosztásra vonatkozó alapelvet

Nagy János a Vízépnél tovább fejlesztette és két épületben próbaterhelést végeztek, ami a tehermegosztást igazolta. (Nagy 2016) Az alaplemez igénybevételeit kezdetben a gomba-, illetve síklemez födémekre kidolgozott módszerekkel határozták meg. Ezek a rugalmasságtani alapelvekre épülő számítások a repedésmentes állapotban érvényesek. A megrepedt állapotban a merevségi viszonyok megváltozása miatt az erőjáték jelentősen módosul. Az 1980-as években Juhász Bertalan az alaplemez méretezésére kidolgozta a képlékenységtani alapokra épülő, törésvonal elmélet szerinti számítási módszert (Juhász, 1992). A rugalmassági és törésvonal elmélet szerinti számítások eredményeinek összehasonlítása jelentős segítséget adott a megrepedt állapotra jellemző igénybevételek átrendeződés irányaira és mértékére, valamint a sugárirányú repedésre merőleges gyűrűirányú vasalás hatékonyságára. Az alaplemezre ható talajfeszültségek kezdetben az oszlop alatt nagyobbak, mint a lemezmezőben, azonban a konszolidáció következtében a csúcsok leépülnek, a talajfeszültségek az egyenes eloszlás irányába változnak. Mind a megrepedt állapotbeli merevség csökkenés, mind a talajfeszültség változásai a rugalmas állapotban számított oszlopok alatti nyomatékok csökkenését, illetve a mezőnyomatékok növekedését idézik elő. Az oszlopok alatti nyomatéki csúcsok lekerekítésére a szakirodalomban található módszerekkel 30-40 %-os csökkenés is kimutatható. Ha a nyomatéki ábra alatti terület állandónak tekintjük, akkor a lekerekítés után az ábra oldalirányban kiszélesedik, azaz az acélbetétek hosszát meg kell növelni.

2.2. A számítás módszere

Az említettek alapján kidolgozott, egyszerűsített számítási módszer a 1. ábrán látható. Az alkalmazott tényezők megválasztása során a szakirodalom adatait is figyelembe vettük. (Pfaffinger, 1967; Eisenbiegler, 1979, CEB Manual, 1985). A számítási módszerrel kapcsolatos további részletesebb



1. ábra: Réspillérekkel gyámoltott alaplemez számítási elvei

ismertetést a szakirodalom, továbbá a számpélda tartalmazza, ahol a számítási módszerek összehasonlítása is szerepel.

Alapfeltételek

$$\frac{l_x}{l_y} = 0,8 - 1,25 \text{ között, } d_0 = \frac{l}{10} - \frac{l}{20} \text{ között, } d_0 > 40 \text{ cm } a_{min} = 0,4l$$

A teljes oszlopteher: P_0

A részekre hat: $P_r = \alpha P_0$

A lemezre hat: $P_l = (1 - \alpha)P_0$ $\alpha = 0,3 - 0,7$ között javasolt $\alpha \approx 0,5$

A talajreakció: $q = \frac{P_l}{l_x l_y}$

A nyomaték: $m = c q l_x l_y = c P_l$

Oszlopsáv: $m_0^- = -0,15 P_l$ $m_0^+ = 0,05 P_l$

Mezősáv: $m_m^- = -0,04 P_l$ $m_m^+ = 0,05 P_l$

A számítás lépései:

- alaplemez felvétele, igénybevételei, vasalása
- tehermegosztás meghatározása,
- átszúródás és
- repedéskorlátozás vizsgálata.

A rásalapok elrendezése az 1. ábrán látható, méretezésükre geotechnikai módszereket kell alkalmazni, ezeket itt nem ismertetjük.

2.3. A hajlító nyomatékok számítása

Természetesen az alaplemez, mint fordított, pontokon támaszkodó síklemez működik, így a számítógépes programok is használhatóak. A megrepedt állapot miatt ezeket az eredményeket az előzőekben említettek figyelembevételével felül kell vizsgálni. Az egyszerűsített számítási módszert az 1. ábra tartalmazza, mely figyelembe veszi a megrepedt állapot merevségváltozásainak hatását, továbbá a talajfeszültségek időbeli változását. A hajlító nyomatékok az oszlopok alatt minden irányban közel azonosak. Ez a körszimmetrikus erőjátéknak megfelel, így a vasalást is két irányban azonos hálószerűen kell kialakítani. A kétirányú hálós vasalás előnye, hogy a négy szomszédos pillér egyenlőtlen süllyedéseiből származó hatásokra tartalékot képez. Ugyanis, ha feltételezzük, hogy a kétirányú nyomatékok különbözőek, akkor ezekből főnyomatéki irányok számíthatók. Az egyenlőtlen süllyedések

ezeket módosítják és a főirányok is megváltoznak. Abban az esetben, ha mindkét irányban a nagyobbak megfelelő vasalást alkalmazunk, akkor bármilyen irányú főnyomatékokra van elegendő acélbetét. Az oszlopok alatti hajlítónyomatékokra a $\rho \approx 1\%$ -os fajlagos vasalás gazdaságosan alkalmazható. A mezőnyomatékok felvételére is a két irányban azonos alsó-felső alapháló alkalmazása javasolt. Ennek fajlagos mennyiségeit $\rho \approx 0,3\%$ -ra célszerű választani, ami a hajlítónyomatékok 1:3 arányának is megfelel. A tapasztalat szerint ez a repedéskorlátozási követelmények teljesítését is biztosítja. A vasalás kialakításának részleteit az ötödik fejezet tartalmazza.

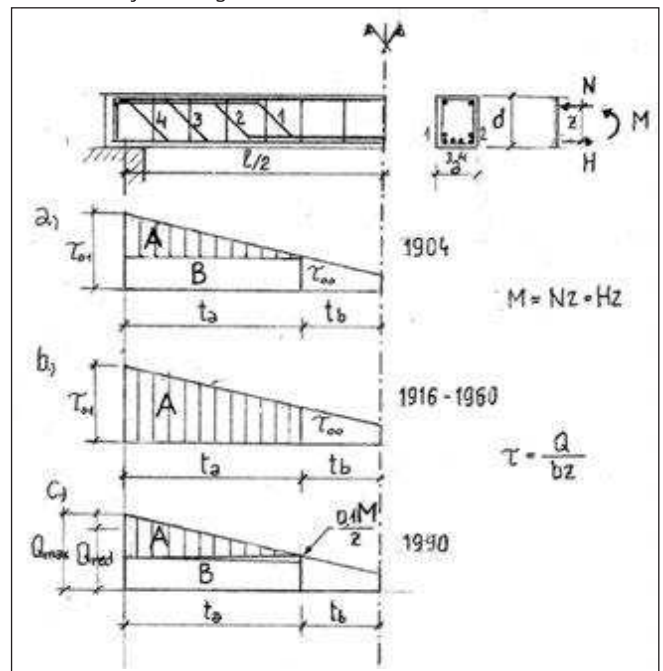
3. AZ ÁTSZÚRÓDÁS VIZSGÁLATA

3.1. A nyírési vizsgálati módszerek változásai

Jelen dolgozatnak nem célja a fejlődés részletes bemutatása, csupán néhány olyan alapvető szempontot emelünk ki, amelyek az átszúródási vizsgálatoknál is felmerülnek, mivel az átszúródás lényegében nyírési jelenség.

A hajlított vasbeton gerendák nyírési vizsgálatának módszere az 1900-as évek elején alakult ki (2.a ábra). A betonra hárítható τ_{00} nyírőfeszültség alapján meghatározták a t_a nyírt szakaszt, ahol a nyírőfeszültséget részben a beton, részben az acélbetétek veszik fel, elsősorban felhajlított acélbetétek alkalmazásával. Később az 1916-os évektől a beton által felvehető nyírőerőt figyelmen kívül hagyva, a nyírt szakaszon a teljes nyírőerőt acélbetétekkel, felhajlított vasakkal, illetve kengyelekkel vették fel. A felhajlított vasak darabszámát a húzott vasalás 2/3 részére választották, ami a húzott vasalás darabszámának növelésére, illetve vékonyabb acélbetétek alkalmazására ösztönzött és ez

2. ábra: A nyírési vizsgálati modellek változásai



A 2. ábra jelölései:

- Q - a nyírőerő
- τ_{00} - a betonra hárítható nyírőfeszültség
- τ_{01} - a legnagyobb nyírőfeszültség
- t_a - a nyírt szakasz
- t_b - a szerkezeti vasalás
- A - az acélbetétekkel felvett nyírőfeszültség, illetve nyírőerő
- B - a beton által felvett nyírőfeszültség, illetve nyírőerő.

a vasbeton gerendák repedezettségére kedvezően hatott (2.b ábra). Az 1960-as években elsősorban az acélbetétekkel való takarékosság érdekében, illetve a felhajtott acélbetétek helyett a kengyelek alkalmazásának elterjedése miatt, megkezdődött a nyíróerő ábra úgynevezett hámozása. Figyelembe vették a beton által felvehető nyíróerőt, a támaszoknál a nyíróerő csökkentését, továbbá a hajlító nyomatékokból származó nyomóerőből számítható súrlódási nyíróerőt. Ez jelentős acélbetét csökkentést tett lehetővé (2.c ábra).

Természetesen a szakirodalomban nagyon sok nyírási vizsgálati módszer található, az alapvető kérdés viszont az, hogy

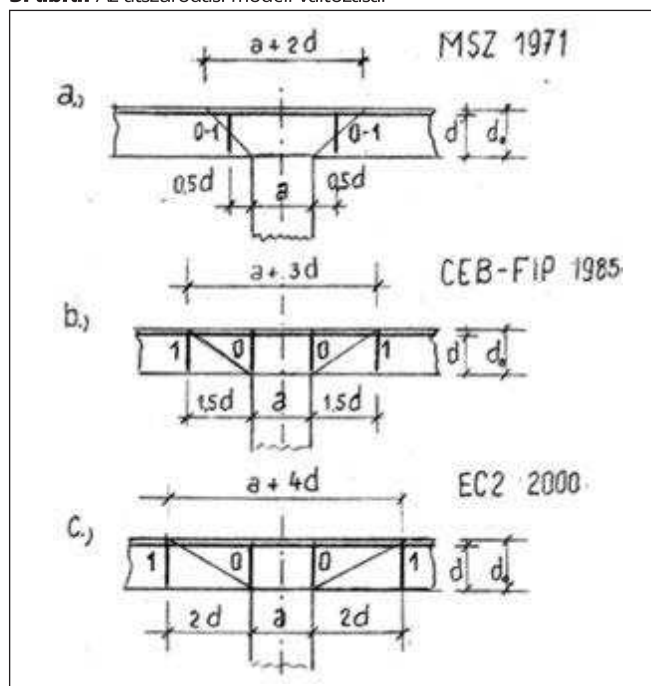
- figyelembe vesszük-e a beton által felvehető nyíróerőt, vagy
- az acélbetéteket a teljes nyíróerőre méretezzük.

A probléma természetesen az, hogyan képes-e a megrepedt beton a nyíróerő felvételére? Hajlított gerendák esetében Koenen (1885) javaslata alapján a repedt beton húzóerőre nem dolgozik, a teljes erő az acélbetétekre hárul. A beton jelenléte a húzott zónában a repedés tágasságának csökkentését segíti. A nyírási repedések tágasságának meghatározására ma még nincsenek megbízható módszerek. A szerzőknek az a határozott álláspontja, hogy a nyírási vizsgálatoknál a betonra háruló nyíróerőt csak repedésmentesség esetén lehet figyelembe venni.

Felhívjuk azonban a figyelmet a hajlítási vasalásnak a nyíróerő felvételében jelentkező hatására. Draskóczy (2009) kísérletekkel igazolta, hogy hajlított gerendák alsó húzott acélbetéteinek a támaszig való kivezetése és lehorgonyozása esetében a kengyelek mennyisége csökkenthető. Ez tehát azt is jelenti, hogy a hajlítási vasalás a nyírási teherbírás növelésébe bekapcsolható. A nyírási vizsgálatokat a lemez karcsúsága is befolyásolja. Megemlítjük továbbá, hogy a nyírási tönkremenetel rideg töréshez hasonló, a törés hirtelen, előrejelzés nélkül is bekövetkezhet. A nyírási meghibásodások nehezen javíthatóak, költségesek. Ezért a szerzőknek az a véleménye, hogy a nyírási törés elkerülésére a nagyobb biztonság, illetve tartalékok képzése indokolt.

Az alaplemez átszűrődési teherbírásának felülvizsgálatát az is szükségessé tette, hogy a hajlítási határteherbíráshoz

3. ábra: Az átszűrődési modell változásai



tartozó átszűrődő erőre, a hagyományos módszerekkel nem lehetett igazolni a megfelelő átszűrődési teherbírás. E miatt a lemezvastagságot növelni kellett. A szerzők keresték azt a lehetőséget, hogyan lehetne elérni és igazolni a hajlítási és átszűrődési teherbírás egyidejűségét, összhangját. Ehhez segítséget nyújtottak a gyűrűirányú és a hajlítási vasalás figyelembevételére vonatkozó kutatási, kísérleti eredmények (Dalmy, 1977; Draskóczy, 2009).

3.2. Az átszűrődési modell változásai

Az átszűrődési számítási modellek jelentős mértékben változtak, és még ma is újabb javaslatok születnek. A változások a számítás alapjául szolgáló úgynevezett átszűrődési ellenőrzési kerületek, illetve felületek meghatározásában jelentkeznek (3. ábra). Ezek az 0 és 1 jelű függőleges felületek számítási segédmenyiségek és semmilyen összefüggésben nincsenek a tönkremenetelre jellemző törési repedésekkel (3. ábrák). Jellemző, hogy az erőteljes repedések a $2d$ távolságon belül jelentkeznek, de repedések ezen túl is előfordulnak. A fiktív ellenőrzési kerületet (kritikus felületek) a korai vizsgálatokban az oszlop mellett $0.5d$ távolságban vették fel és mind nyomásra, mind húzásra ezt alkalmazták (3.a ábra). Később a CEB-FIP az átszűrődési zónára az $1,5d$ értéket javasolta, különválasztva a nyomási (0 jelű) és a húzási (1 jelű) felületeket (3.b ábra). Az EC2 a $2d$ távolságot javasolta, különválasztva a nyomás és húzás esetét (3.c ábra). Újabb ismét a kezdeti $0.5d$ értékre vonatkozó javaslatok is megjelentek (Almási- Völgyi 2018). A kutatások, vizsgálatok jelenleg is folynak, így újabb eredmények, változások várhatók. Megemlítjük, hogy függőleges oszloperő és hajlítónyomaték együttes működése esetében az átlukadás, míg abban az esetben, ha csak függőleges erő és elhanyagolható nyomaték működik, akkor az átszűrődés elnevezést használjuk. Jelen dolgozatban csak az átszűrődéssel foglalkozunk.

3.3. A javasolt átszűrődési modell

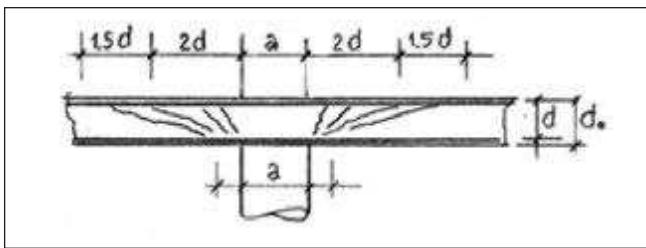
3.3.1. Általános megjegyzések

Az előző fejezetekben vázlatosan bemutattuk, hogy a nyírási és az átszűrődés vizsgálatához használt számítási modellek sokfélék és folyamatosan változnak. A mérnöki számítások pontosságát alapvetően befolyásolja az, hogy a modell mennyire követi a valóságot. Egy jó modellen végzett közelítő számítás eredménye megbízhatóbb, mint egy hiányos modellen, bonyolult, pontosnak tekintett vizsgálaté. Az újszerű modell alkalmazásával arra törekedtünk, hogy a valóságos törési jelenséget figyelembe véve, olyan módszert alakítsunk ki, amely egyszerű képletekkel a gyakorlat számára megbízható eredményt szolgáltat. A kézi számításra alkalmas módszer lehetővé teszi, az előtervezés során a változatok közül az optimális megoldás kiválasztását. A javasolt változat egy a sok közül, tudjuk, hogy ez sem tökéletes, korlátai vannak, de úgy gondoljuk, az eddigiekhez viszonyítva szemléletváltozást jelent, és ösztönzést adhat a további vizsgálatokhoz, fejlesztésekhez.

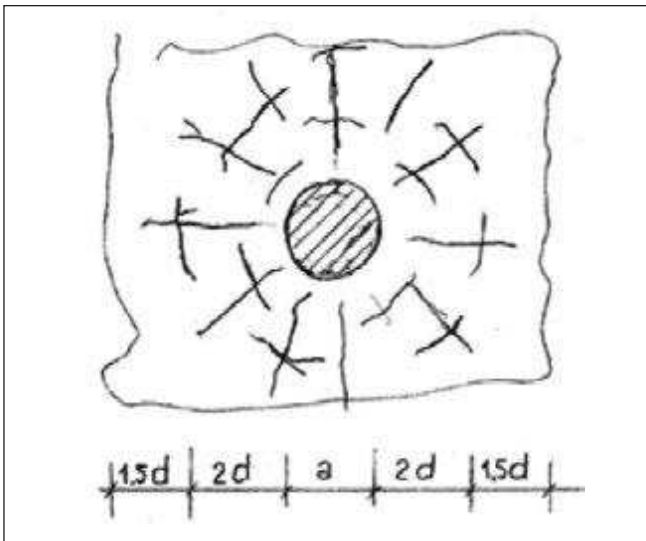
3.3.2. Átszűrődési repedések

A födémlemezekkel kapcsolatos átszűrődési kísérletekben és a megépült szerkezetekben megjelent repedéseket röviden az alábbiakban mutatjuk be.

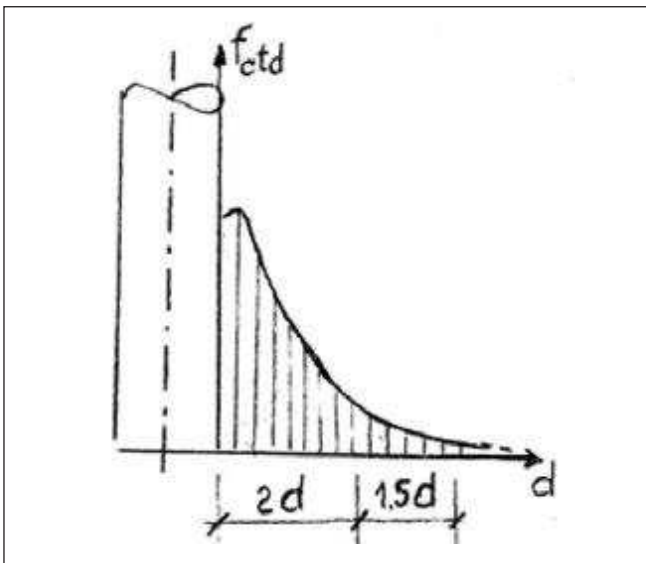
A lemez keresztmetszetében a 4. ábrán látható repedések alakultak ki, amelyek lényegében a $2d$ szakaszon jelentősek, de



4. ábra: Átszűrődási repedések



5. ábra: Húzott oldali felületi repedések



6. ábra: A nyírófeszültségek megoszlása

ezen az átszűrődási zónán kívül is megjelentek. Ezek a repedések először az oszloptőhöz közel keletkeznek és fokozatosan terjednek kifelé. A lemez húzott felületén, az átszűrődási zónában az 5. ábra szerinti sugár- és gyűrűirányú repedések azt jelzik, hogy itt közel körszimmetrikus erőjáték alakul ki. A felületi repedések keletkezéséhez a hajlítónyomatékok jelentős mértékben hozzájárulnak. Ismételten hangsúlyozzuk, hogy a képlékenységtani törésvonal-elmélet is igazolja a sugárirányú repedésekre merőleges gyűrűirányú vasalás kedvező hatását. Az átszűrődás bonyolult jelenség, mivel ott jelentkezik, ahol egyidejűleg legnagyobb a hajlítónyomaték és a nyíróerő. Itt említjük meg, hogy a szerzők által javasolt és alkalmazott tórusz olyan vasalási rendszer, amelynek a szerkezeti kialakítása minden előforduló repedésre közel merőleges acélbetéteket tartalmaz, ezért az átszűrődási ellenállás hatékonyságát jelentősen növeli. A nyírófeszültségek megoszlását a 6. ábrán

mutatjuk be, a tóruszvasalási rendszerben a kengyelek és átkötő vasak (fajlagos) eloszlása az oszloptól kifelé gyakorlatilag lineárisan csökken, azaz jól követi a valóságot.

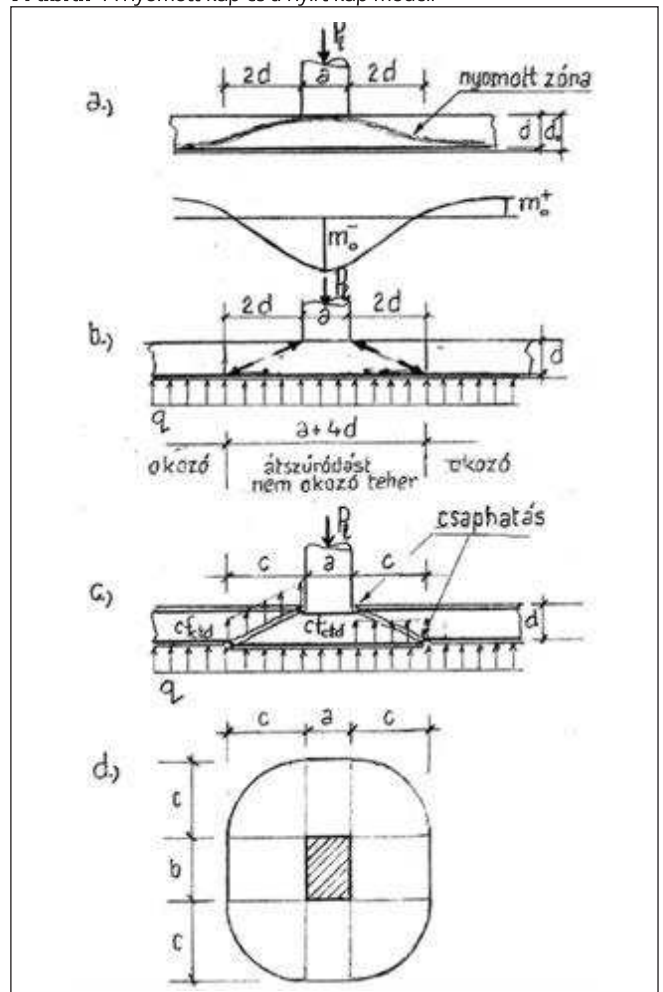
3.3.3. A törési kísérletek tanulságai

Az átszűrődási teherbírás kimerülését általában a beton húzószilárdsága határozza meg. A nyomott beton tönkremenetele az oszloptónél a beton nyomószilárdságának elégtelensége miatt csak ritkán fordult elő. Ez nyilvánvalóan azt jelzi, hogy a számítási modellnek olyannak kell lennie, amelynél a beton nyomószilárdságával számított átszűrődási teherbírás nagyobb, mint a húzószilárdsággal számított érték. A kísérletek során a tönkremenetel az első repedések megjelenése után, viszonylag rövid idő alatt bekövetkezett, a rideg töréshez hasonló módon. Ez a teherbírás kimerülésére utaló, rövid ideig tartó előrejelzés a biztonság szempontjából figyelmet érdemel.

3.3.4. A lemezkarcsúság hatása

A jelen dolgozatban az átszűrődási modell kialakítása során alapvetően a kísérleti eredményeket vettük figyelembe. A törési kísérleteket viszonylag karcsú lemezeken végezték el, ahol az a „l” fesztávolság és a „d” födémvastagság aránya a $k=l/d_0$ karcsúság nagyobb, mint 20. A $k=5\sim 15$ közötti karcsúságú, viszonylag vastagabb alaplemezeken kísérleteket még nem végeztek. A gyámoltott alaplemezek esetében a karcsúság $k=10\sim 20$, így a födémlemezekkel végzett kísérleti eredmények még elfogadhatóak. A szerzők véleménye szerint a lemezvastagság növekedésével az átszűrődási zóna a CEB-FIP által javasolt 1,5d értékhez közeledik. A karcsúság hatásának részleges vizsgálata a jövő feladata.

7. ábra: A nyomott kúp és a nyírt kúp modell



3.3.5. A nyomott kúp és a nyírt kúp modell

Az alaplemez, mint hajlított tartó nyomatékainak megoszlását a 7.a ábrán mutatjuk be, ahol feltüntettük a nyomott zóna kialakulását. Látható, hogy a hajlításból az oszlop közelében kúp alakú nyomott zóna alakul ki. Ebből adódik, hogy az átszűrődés egy nyomott kúp, illetve, egy nyírt kúp modellel vizsgálható (7.b-c ábra). A nyomott kúp teherbírását a beton nyomószilárdsága, míg a nyírt kúpét a beton húzószilárdsága határozza meg.

A réspillérekkel gyámoltított alaplemezek esetében az átszűrődés vizsgálatát az indokolta, hogy egy adott P_0 oszlopteher esetében a hajlítási és a hagyományos módszerekkel számított átszűrődési teherbírás között lényeges különbség adódott ez utóbbi alacsonyabb volt. A réspillérel gyámoltított alaplemezeknél alkalmazott tórusz vasalásban jelentős gyűrűirányú acélbetéteknek, továbbá az egész átszűrődési zónában az alsó-felső hajlítási vasalást összefogó átkötő vasalásnak a számításba vételével a hajlítási és átszűrődési teherbírás közötti különbség csökkenthető.

3.3.6. Az átszűrődést okozó teher

A 7. b ábrarészen látható, hogy az átszűrődési zónába eső q lemezteher átszűrődést nem okoz, így ezzel a P_l lemezteher csökkenthető. A csökkentés mértékét legegyszerűbben a teljes lemezterület $A_m = l_x l_y$ és a nyírt kúp A_k alaprajzi vetületének aránya alapján határozhatjuk meg:

$$T_a = P_l \left(1 - \frac{A_k}{A_m} \right)$$

A csökkenés mértéke általában 10-15%-os nagyságrendű, így a teljes P_l lemezteher figyelembevétele a biztonságot szolgálja.

3.4. A számítás módszere

3.4.1. A nyomott kúp határeijének számítása

Adatok: $c=2d$

Az oszlop kerülete: $U_0=2(a+b)$

Az átszűrődési ellenőrzési felület: $A_0=dU_0$

A nyomott kúp vastagságát $0,25d$ értékre becsülve, továbbá a ferde és függőleges nyomott felületeket azonosnak tekintve, a számításba vett átszűrődési felület

$$A_{k0}=0,25A_0$$

A nyomott kúp határeijét a beton f_{cd} nyomószilárdsága és az oszloptőnél az U_0 oszlopkerület és a $0,25d$ vastagságúra felvett nyomott zóna határozza meg (7. ábra).

A nyomott kúp átszűrődési teherbírása:

$$T_{k0}=A_{k0}f_{cd}=0,25A_0f_{cd}$$

Megjegyezzük, hogy a függőleges nyomott felület magassága és a nyomott kúp vastagsága közötti eltérés mintegy 10%, ez még elfogadható közelítés.

3.4.2. A nyírt kúp határeijének számítása

Adatok:

Az átszűrődési ellenőrzési felület a nyírt kúp alaprajzi vetülete (7. ábra):

$$A_k=4d(a+b+d\pi)$$

A nyírt kúp átszűrődési teherbírása, a nyíró szilárdság figyelembevételével:

$$\tau_{Rd}=c f_{ctd}$$

$$T_k=c f_{ctd} A_k=\tau_{Rd} A_k$$

A valóságos nyírt kúpfelület helyett ennek alaprajzi vetületével számolunk az egyszerűbb képletek miatt. Az eltérés kb. 10% és a közelítés a biztonságot szolgálja. Természetesen a beton húzószilárdságával, de az EC2 szerinti „c” módosító tényezővel számolunk, amely többek között a vasalás hatását is figyelembe veszi. A nyírt kúp átszűrődési teherbírását a T_k képlettel számítjuk. A „c” tényező megválasztását a tórusz vasalás alkalmazása esetére a későbbiekben mutatjuk be. Az ennél a vasalási rendszernél alkalmazott gyűrűirányú acélbetéteknek az átszűrődési teherbírásra való hatása ugyanis jelentős, és ezt a tényezőben figyelembe lehet venni.

3.4.3. A beton által felvehető átszűrődési erő

Az átszűrődési zónában a repedésmentes beton nyíróerő felvételére alkalmas, ezt a következő módon lehet figyelembe venni, $\tau_{Rd}=c f_{ctd}$, Az EC2 szerint C30/37-es beton esetében $c_{min}=0,25$ azaz

$$\tau_{Rd}=0,25 \times 0,14=0,035 \text{ kN/cm}^2$$

így a beton által felvehető átszűrődési erő az A_k nyírt kúp alaprajzi vetületével

$$T_c=A_k \tau_{Rd}$$

Ez általában jóval kisebb, mint a lemezre ható P_l átszűrődési erő, ezért vasalást kell alkalmazni. A szerzők véleménye szerint megrepedt állapotban az erők beton általi felvétele már bizonytalan, ezért az átszűrődési zónában a vasalást a teljes átszűrődési erőre kell meghatározni, A $2d$ -vel meghatározott átszűrődési zónán kívüli $3d$, esetleg $4d$ átmeneti zónában, a repedés kialakulása, megjelenése lényegesen kisebb mértékű. Ezért itt a beton által felvehető nyírás figyelembevétele indokolt. A vizsgálathoz az alábbi egyszerű módszert javasoljuk. Meghatározzuk a $3d$ alapulvételével a leszakadó kúp A_{k3} alaprajzi vetületével a beton által felvehető átszűrődési erőt:

$$T_{c3}=A_{k3} \tau_{Rd}$$

A megnövekedett átszűrődési zóna miatt a csökkentett átszűrődési erő

$$T_{a3}=P_l \left(1 - \frac{A_{k3}}{A_m} \right)$$

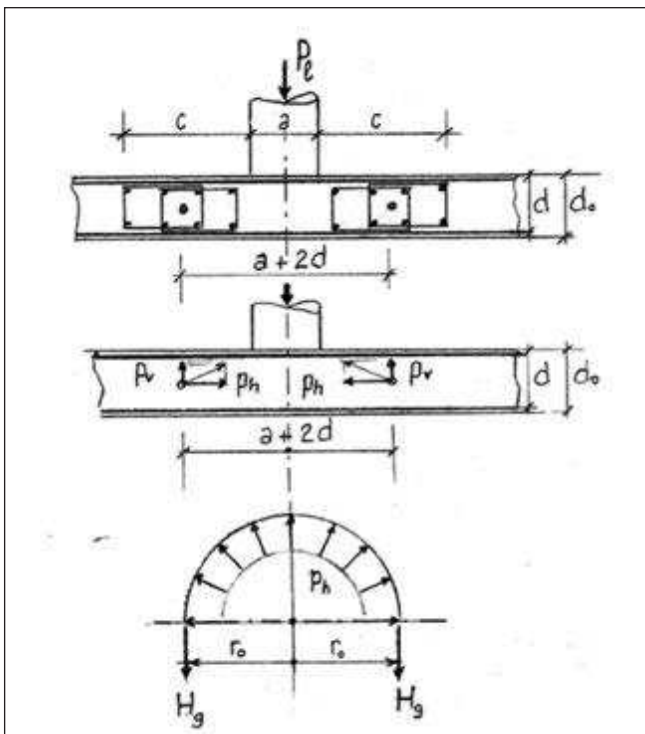
ha ez kisebb, mint T_{c3} akkor a beton felveszi az átszűrődési terhet, ha nagyobb, akkor a

$$\Delta T_3=T_{a3}-T_{c3}$$

különbségre, ebben a zónában célszerűen átkötő vasalást kell alkalmazni.

3.4.4. A gyűrűirányú vasalás szerepe és hatása

Az átszűrődési törési kísérletek és a gyakorlati tapasztalatok szerint az átszűrődési zóna húzott oldalán sugárirányú



8. ábra: A gyűrűirányú vasalás hatása

repedések jelennek meg (7. ábra). Az ezekre merőleges gyűrűirányú vasalás hatékonyságát kísérleti úton először Dalmy D. (1977) igazolta doktori disszertációjában. A kísérletek szerint a nyomott kúp talpának gyűrűirányú acélbetétekkel való megtámasztása mintegy 20-25%-kal megnövelte az átszűrődési teherbírást. Erre vonatkozó egyszerűsített számítást az alábbiakban ismertetünk. A 8. ábra szerinti vasalás esetében az acélbetétek összterületét az r_0 sugarú központba tömörítve, az alább vázolt számítással a függőleges irányú teherbírás a gyűrűirányú erőnek mintegy háromszorosa. Ez a kúp leszakadása ellen működik, azaz megnöveli a nyírt kúp teherbírását.

A gyűrűirányú határerő az A_{sg} vasalás esetén

$$H_g = A_{sg} \cdot f_{yd}$$

A vízszintes nyomás:

$$p_h = \frac{H_g}{r_0}$$

mivel

$$p_v = \frac{p_h}{2}$$

a teljes $2r_0 \pi$ kerületen működő függőleges erő:

$$V_g = \frac{H_g}{2r_0} 2r_0 \pi = H_g \pi \cong 3A_{sg} f_{yd}$$

A gyakorlatban alkalmazott tóruszok esetében ez a növekedés a 20-30%-ot is elérheti. A teherbírás növekedés csak a nyírt kúpnál jelenik meg, ugyanis a nyomott kúp teherbírását a beton nyomószilárdsága, az oszlopfőnél jelentkező beton törése határozza meg. Ezt az egyszerűsített számítást Orosz (2004) már korábban ismertette. A nyírt kúp modell előnye, hogy lehetővé teszi a gyűrűirányú vasalás kedvező hatásának számítással való figyelembevételét, azaz a kísérleti eredmények igazolását. A gyűrűirányú vasak megakadályozzák a nyomott kúp szétnyílását, ami megnöveli a nyírt kúp átszűrődési ellenállását.

3.4.5. A hajlítási vasalás figyelembevétele

A hajlítási vasalásnak a nyíróerő felvételébe való bekapcsolására az utóbbi években számos javaslat született. Ez tulajdonképpen a csapathasznak az egész átszűrődési zónára való kiterjesztését jelenti. Az 1986-os MSZ szerint a csapathaszt csak közvetlen az oszlopfőnél lehetett figyelembe venni. Az alsó-felső hajlítási vasalásnak a nyíróerők felvételébe való bekapcsolásának alapvető feltétele, hogy az összekötés megbízhatóan lehorgonyozott, erőtanilag kengyelszárként működő acélbetétekkel valósuljon meg. Lemezeknél a kétirányú vasalás miatt az összefogás hatékonyságát lényegesen befolyásolja, hogy csak a belső hálókát, vagy a külsőket is összekötik. A hajlítási vasalásnak a nyíróerők felvételében való jelentős szerepét Draskóczy (2009) igazolta, mint arra már korábban is utaltunk. A kísérletek szerint a hajlítási vasalás összekötése mintegy 25%-kal megnöveli a nyírási teherbírást. Az alsó-felső hajlítási vasalás teljes értékű lehorgonyzási acélbetétekkel, átkötő vasakkal való összefogása esetében, ezek a nyíróerők felvételében is részt vesznek, kengyelszárként működnek. A tóruszvasalás alkalmazásánál ezért az átszűrődési teherbírást egyrészt a tórusz kengyelei, másrészt az átkötő vasak határozzák meg. Célszerű az 50-50%-os arány betartása.

3.4.6. A „c” tényező meghatározása

Az EC2 előírásainak alkalmazására törekedtünk. Az átszűrődési teherbírás kimerülése lényegében nyírási törés, ahol a beton húzószilárdsága a meghatározó. Az EC2 a nyírási tervezési feszültségre a τ_{Rd} figyelembevételét javasolja, ami a beton húzószilárdságából határozható meg egy csökkentő „c” tényező segítségével, azaz $\tau_{Rd} = c f_{ctd}$ ennek alapértéke $c_0 = 0,25$. Az EC2 szerint ezt a c_0 tényezőt meg kell növelni a beton szilárdságának, a tartó d magasságának és a húzott vasalási százalék „ ρ ” figyelembevételével, erre táblázatos összeállítást is megad (Deák és társai 2016). Jelen esetben az alaplemezeknél általánosan alkalmazott C30/37 betonszilárdsághoz, a $d = 50 \text{ cm}$ tartómagassághoz, valamint a $\rho = 1\%$ -os vashányadhoz tartozó $c = 0,45$ értéket választottuk. Korábban rámutattunk, hogy a gyűrűirányú vasalás mintegy 20%-os növekedést jelent, továbbá az alsó-felső vasalás átkötő vasakkal való összefogása is kb. 20%-os növekedést biztosít. E két hatást együttesen a biztonságos 25%-ra felvéve, a $c = 0,55$ értéket kapjuk. Ezzel a „c” tényezővel számítva a nyírt kúp átszűrődési teherbírása már elegendő ahhoz, hogy az adott vastagságú lemez hajlítási teherbírásával lényegében azonos szinten legyen, azaz a két határérték egyidejűleg is biztosítható, a lemez jól kihasználható.

3.4.7. Az átszűrődési teherbírás meghatározásának áttekin-tése

A réspillérekkel gyámoltított alaplemezekre kidolgozott átszűrődési vizsgálat szerint 50 cm lemezvastagság és C30/37 beton esetében a nyomott kúp határereje

$$T_0 = 0,25 A_0 f_{ctd} \geq T_a$$

$$A_0 = U_0 d$$

d lemezvastagság,

U_0 – az oszlop kerülete.

A nyírt kúp határereje:

$$T_k = c f_{ctd} A_k \geq T_a$$

A_k a nyírt kúp alaprajzi vetülete,
 f_{ctd} a beton húzószilárdsága,
 $c=0,55$ a betonszilárdságot, lemezvastagságot és a vashányadot figyelembe vevő tényező.
 T_a a lemezre ható átszűrődő teher, az átszűrődési zónába eső teherrel csökkentett lemezteher (lásd 3.3.6).

4. A TÓRUSZ VASALÁS ALKALMAZÁSA

A gyámolított alaplemez átszűrődési vasalását kezdetben a hagyományos rendszerekkel, felhajlított acélbetétekkel alakították ki. A rögzítési, szerelési nehézségek, a kellő merevség hiánya, a távolságtartó vasalásnak az erőjátékba való bekapcsolására irányuló kísérletek eredménytelensége, továbbá a szerelési idő megnövekedése új megoldás keresését tette szükségessé. A különböző alaprajzi elrendezésű réspillérekre való megbízható erőátadáshoz egy sűrű vasalással átszőtt, rejtett fejlemezre van szükség, de ennek a fejlemeznek kell viselnie a lemezre ható teher átszűrődési hatásából eredő igénybevételeket is. Nyilvánvalóvá vált, hogy ezt a kettős feladatot csak egy egységes zárt vasalási rendszerrel lehet megoldani. Így jutott el a Vízép vállalat főmérnöke, Nagy J. a tórusz vasalási rendszer alkalmazásához, amihez Juhász B. is hozzájárult. A tórusz egy közel kör alakú, gyűrűirányú hosszvasalással és zárt kengyelezéssel kialakított vasalási

rendszer, lényegében gerendaszerű megoldással. A gyűrűirányú vasalás hajlítónyomaték, a zárt kengyelezés pedig nyíróerő felvételét biztosítja. A különböző alaprajzi elrendezésű réspillérek miatt gyűrűirányú zavaró hajlítónyomatékok, míg az átszűrődő erőből nyírófeszültségek keletkeznek. A tórusz vasalási rendszer olyan, hogy minden kialakuló repedésre közel merőleges acélbetét jelenléte a repedéskorlátozást segíti. A tóruszvasalás megfelel annak a követelménynek, hogy az oszlopok melletti d távolságú átszűrődési zónában lévő kengyelek és átkötő vasak az átszűrődő erő 60%-át fel tudják venni, a nyírófeszültségek megoszlásának megfelelően (3.5. ábra).

Kivitelezési előnyt jelent, hogy a tórusz előszerelhető, szállítható, beemelhető és kellően merev, megbízhatóan távolságtartó. A tórusz vasalását célszerű Ø12-es acélbetétekből összeállítani, nagyobb erők esetében Ø14-es acélbetétek is alkalmazhatóak, de ennél nagyobb átmérő nem javasolt. A kengyelek és átkötő vasak aránya legalább 50-50% legyen. Az átkötő vasak darabszáma, átmérője lehet nagyobb, mint a kengyeleké, annak érdekében, hogy nagyobb erőt tudjanak felvenni. A tórusz kengyeleit szimmetrikusan kell kiosztani az egyszerű összeszerelés érdekében.

(Jelen cikk folytatódik. A 2. rész tartalmazza a Hivatkozások listáját és a szerzők adatait.)