

KÉT STATIKAILAG EGYENÉRTÉKŰ VASBETON FÖDÉMSZERKEZET-KIALAKÍTÁS ÖSSZEHASONLÍTÁSA



Dr. Almási József - Jeszenszki István

DOI: 10.32969/VB.2019.3.2

Monolit vasbeton vázas épületek tervezése és kivitelezése kapcsán állandó jelleggel felmerülő kérdés, hogy a födém szerkezet síklemezes vagy gombafejes formával alakítható ki gazdaságosabban. Ezen kérdéskör tisztázása és megvitatása az érintett szereplők, azaz a beruházó, a tervező és a kivitelező közös feladata, lehetőleg már a tervezés korai fázisában, majd ideális esetben közös döntéshozatal, hogy minden fél számára a legelőnyösebb szerkezeti kialakítást alkalmazzák.

Cikkünkben ezen problémakörrel foglalkozunk, megvizsgáltuk mindkét födém típus statikailag egyenértékű változatát és elsősorban arról számolunk be, hogy az egyes szerkezeti változatok mekkora fajlagos anyag-, illetve költségárfordítással valósíthatók meg, mérlegelve az egyéb költségeket befolyásoló tényezőket, mint például az építési idő. Reméljük, hogy a cikk segíti a jövőbeni döntéseket ezen a területen

Kulcsszavak: síklemez födém, gombafejes födém, födém típusok összehasonlítása, fajlagos költségek, fajlagos mennyiségek

1. BEVEZETÉS

A mai tartószerkezeti rendszerek egyik gyakori megoldása a funkciókhoz jól igazodó 8,0 x 8,0 m-es raszter tengelyekre szerkesztett oszlop- és az azt alátámasztó födémrendszer.

Cikkünk tárgya a *monolit síkfödém* és a *monolit pamlaglemezes (gombafejes)* födém egyenértékű statikai kialakításának összehasonlítása. További szerkezeti változatokat – mint egy irányban futó bordás monolit lemez, vagy előregyártott fejjel és födémvastagságú gerendára helyezett kéregzsalu és helyszíni felbetonos megoldást, és egyéb megoldásokat (pl. öszvér födém szerkezetet) a jelen vizsgálatból kizártunk.

A témaválasztást az indokolta, hogy az említett két monolit födém kialakítás a leggyakrabban alkalmazott, és bizonyosra veheti a tervező, hogy az építő (vagy az építető) mindig a másik változatot szeretné megvalósítani abban a hitben, hogy az a másik megoldás biztosan gazdaságosabb. A szerzők azért is vállalkoztak ezen témakör feldolgozására, hogy jövőben az ilyen irányú döntések megalapozottabban születhessenek meg, csökkentve a döntésben rejlő bizonytalanságokat, melyek egy-egy gyors ajánlatadásnál nem mindig kerülnek a felszínre.

A két födém kialakítás egyik egyszerűsített összehasonlítása a felhasznált anyagmennyiségek oldalát jelenti. Mélyebben elemezve a két kialakítást - azt mondhatjuk -, hogy sok más szempont is (pl. gépészet, homlokzat, belmagasság, stb.) befolyásolhatja födém kialakítási választásunkat. Ma a „hatékonyság érdekében” nem csak az építési módszerek, hanem a szerkezet kialakítások is versenyben állnak egymással és céltudatos tervezésnél a szerkezet kialakítás és az építészeti gondolat (forma) egy adott funkció teljesítésekor egymásra hatnak és ezek együttes figyelembevételével kell a döntést meghozni. Elemzésünk azt mutatta, hogy nem lehet egyértelműen letenni a voksot egyik, vagy másik födém kialakítás mellett. A részleteket az alábbiak ismertetik.

2. A KÉT, STATIKAILAG EGYENÉRTÉKŰ KIALAKÍTÁS

Az alábbiakban ismertetjük a két kialakítás geometriáját, melyet statikailag egyenértékűnek tarthatunk. *Statikai egyenértékűségen azt értjük*, hogy a választott (vagy/illetve) meghatározott geometriájú födém a szabványi követelményeket, mint a teherbírást (benne az átszűrődést), alakváltozás- és repedéstágasság-korlátozást azonos színvonalon teljesíti.

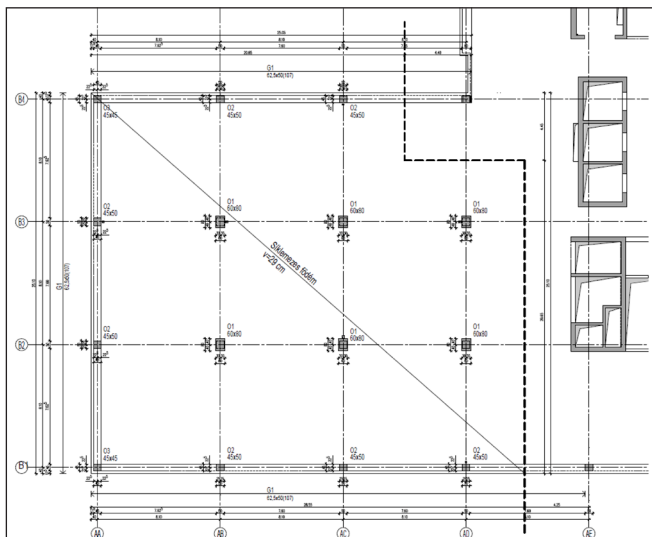
Az összehasonlításhoz szolgáló alaprajzi geometriákat az 1. és 2. ábrán mutatjuk be. Már a példaként választott esetek „sem tudnak teljes egészében azonos kialakítást” mutatni, így a gyakorlatban is minden összevetés eredménye mindig egy bizonyos távolságtartással értékelendő.

Az 1. ábra egy-egy olyan födém kialakítás jellemző alaprajzi részletét mutatja, ahol alapvetően a 8 x 8 m-es tengelytávolság érvényesül és a hasznos terhelés $p=5,0$ kN/m².

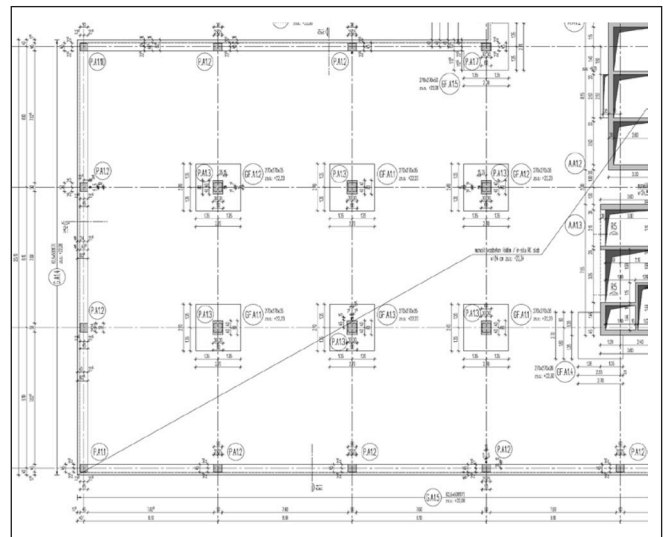
2.1. A födémvastagság megválasztása

A síklemezes megoldásnál a gyakorlatban jól bevált 1/28,5 értékből számítottuk a lemezvastagságot. A födémvastagság megválasztásakor vonalmenti terheléseknél (pl. lakásválasztó vastag falak mező közepén való elhelyezkedésénél) ettől szigorúbb kritériumot szükséges alkalmazni a lehajlás okozta fal-nyírási repedések és padlózat károsodás elkerülése érdekében.

A gombafejes kialakítás geometriájának megválasztásánál többféle megfontolást tehetünk a fej alaprajzi méretére és a köztes terület lemezvastagságára. A szabályos kialakítású rendszereknél az oszlopfej körüli nyomatóki zéruspontok sugara elméletileg 0,22 l távolságra adódik ($l=8,0$ m esetén 1,75 m), tehát az átszűrődásmentes vonal a $D=3,5$ m sugarú



1. ábra: Síklemezes kialakítás



2. ábra: Gombafejes kialakítás

körön fekszik, amelybe írt négyszög oldala $a=2,46$ m és ez a várható lemezvastagsággal növelve kerekén 2,70 m-t jelent. Ez a méret általános esetben a fejen kívüli átszűrődés elleni vasalás alkalmazásának a szükségességét is kizárja.

A fejek közötti köztes lemezvastagság megválasztásánál a lemez peremek rugalmas megtámasztásának (a fejek alakváltozásának) figyelembevételével szigorúbb kritériumot célszerű alkalmazni ($v > \frac{l_0}{24}$), ahol l_0 a fejek szélei közötti távolság.

A gyakorlat számára a fenti megfontolások kellően biztonságos kiindulást jelentenek, amit különböző kialakításoknál szükség szerint módosítani lehet (illetve kell), és a földem vastagsági méretét egy algoritmus segítségével optimalizálni lehet, ennek részleteit jelen elemzésünk nem tartalmazza.

2.2. A gombafejes kialakítás állványozása és zsaluzása

Mivel a gombafejes földem állványozása és zsaluzása a síklemezes földem esetétől számottevően különbözik, ezért az egyik lehetséges megoldást az alábbi fényképek segítségével a 3. ábra szemlélteti.

A gombafej kialakítása egy az általános állvány- és zsalurendszerrel elkülönülő „asztal” segítségével történhet, így az asztalt megtámasztó oszlopok külön merevítése szükséges (4. és 5. ábrák).

A 6. ábra a kialakuló vasalási képre mutat példát.

2.3. A földémszerkezet költségeit befolyásoló anyagmennyiségek

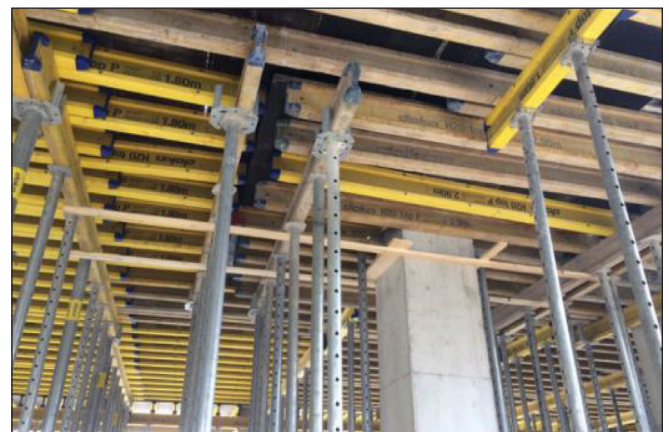
A földémszerkezet költségeit jelentősen befolyásoló anyagmennyiségek: a felhasznált beton, az acél- és szerelvények mennyisége. Ezek a mennyiségek a geometria és statikai számítás eredményeinek ismeretében viszonylag pontosan meghatározhatóak.

A fejmagasításhoz szükséges állvány és zsaluzás befolyással van a költségekre. A célszerű kialakítása (mérete) is vizsgálható a zsaluzáshoz szükséges segédgerendázat piacon kapható magasságától függően, ami gondos tervezés esetén mélyebb ismereteket feltételez az állványozási és zsaluzási rendszerekről, illetve konzultációt ezen eszközök forgalmazóival.

Az átszűrődés ellen szükséges szerelvények:



3. ábra: A fej külön álló állványa és zsaluja



4. ábra: A fejszalu kapcsolódása a földem további részeihez



5. ábra: A fej kialakítás alulról



6. ábra: A fej vasalása



Tervezői szemmel nézve ezen a területen igen kedvező a műszaki fejlődés és annak kivitelezési alkalmazása. Manapság már ritka fehér holló az, aki nem üzemben gyártott, megfelelő minőségi bizonylattal rendelkező szerelvényt tervez be és a kivitelezők is belátták, hogy az építés kockázatai csökkentésének egyik jelentős eleme az ilyen típusú födémeknél az átszűrődés biztonságos elhárítása.

2.4. A födém igénybevételek és a meghatározott anyagmennyiségek összehasonlítása

Az előbbi pontban említett anyagmennyiségek meghatározásához statikai számítások szükségesek.

A számítások a födém nyomatók, reakció erők, vasalások, átszűrődési vasalások, födém alakváltozások, repedéstágasságok meghatározására terjedtek ki.

Az alábbiakban összefoglaljuk az igénybevételi számítások és ellenőrzések eredményeit, ezek részleteit terjedelmi okok miatt nem közöljük.

2.4.1. Síklemezes és gombafejes födém statikai összehasonlítása

Az alábbiakban a részletes számítások alapján nyert geometriai és statikai jellemzőket hasonlítjuk össze (1. táblázat).

2.4.2. A két födém típusnál felhasznált anyagmennyiségek

2.4.3.1. Betonacél mennyiségek (B 500B)

Az egyes födém szerkezetek alkalmazott vas mennyiségeit a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat: Födém szerkezetek vas mennyiségei

Födém szerkezetek vas mennyiségei		
	Gombafejes	Síklemez
	[kg]	[kg]
Alsó vasalás	9415,7	11557,3
Felső vasalás	9033,5	9664,1
Gombafej	530,4	-
Gerenda	4394,3	4394,3
Összes vas mennyiség	23373,9	25615,7

2.4.3.2. Beton mennyiségek (C30/37)

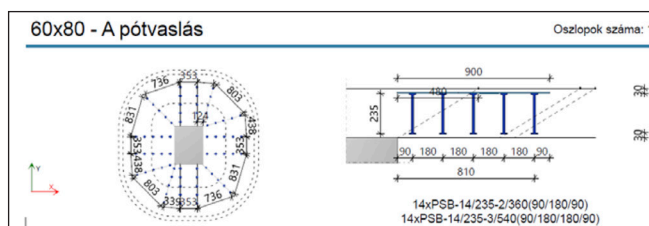
Az egyes födém szerkezetek alkalmazott beton mennyiségeit a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat: Födém szerkezetek beton mennyiségei

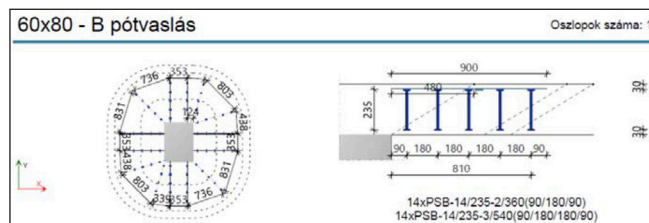
Födém szerkezetek beton mennyiségei		
	Gombafejes	Síklemez
	[m ³]	[m ³]
Lemez	152,5	196,9
Gombafej	15,3	-
Gerenda	18,8	18,8
Összes beton mennyiség	186,6	215,8

2.4.3.3. Átszűrődési vasalások mennyiségei

Síklemez födém esete:

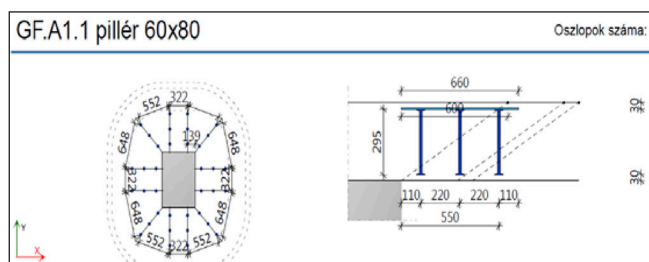


Csapok mérete: Ø14/235, oszloponként 14 x 5 = 70 db, készül 2 helyen, az összes átszűrődési csap 2 x 70 = 140 db



Az átszűrődési csapok mérete: Ø14/235, oszloponként 14 x 5 = 70 db, készül 4 helyen, az összes átszűrődési csap 4 x 70 = 280 db.

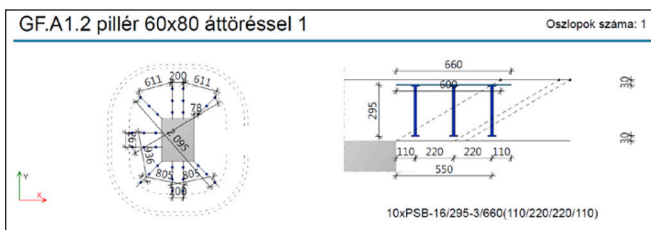
Gombafejes födém esete:



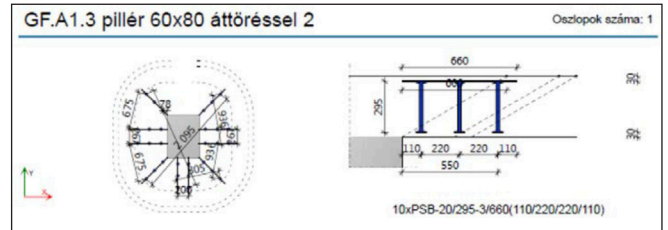
Átszűrődési csap mérete: Ø16/295, oszloponként 12 x 3 = 36 db van, készül 3 oszlopnál, az összes átszűrődési csap 3 x 36 = 108 db.

1. táblázat: Geometriai és statikai jellemzők összehasonlítása

Megnevezés	Síkmező	Gombafejes
„Geometria” Raszter Lemezvastagság Fejméret Fejvastagság Perem	8,1 x 8,1 m v=29 cm - - gerendával merevített 50/50	8,1 x 8,1 m v=24 cm 2,70 m/2,70 m v _h =24+11=35 cm gerendával merevített 50/50
„Igénybevételek” ULS Belső mezőnyomaték Szélső mezőnyomaték Belső támasznyomaték Átszűrődési reakcióerő	$m_x^+/m_y^+ = 60/60$ kNm/m $m_x^+/m_y^+ = 80/80$ kNm/m $m_x^-/m_y^- = 150(200) / 150(200)$ kNm/m max V _{Bd} /min V _{Bd} = Mező: 1270/1089 kN Perem: 786/655 kN	$m_x^+/m_y^+ = 40(50) / 40(50)$ kNm/m $m_x^+/m_y^+ = 70/70(60)$ kNm/m $m_x^-/m_y^- = 150(200) / 200(250)$ kNm/m max V _{Bd} /min V _{Bd} = =1240(570) / 1202(561) kN Perem 731/383 kN
„Vasalások” Számított hajlítási vas belső mezőben/ Számított hajlítási vas szélső mezőben Alkalmazott vas belső mezőben Alkalmazott vas szélső mezőben Számított támasz feletti vas Alkalmazott támasz feletti vas	min A _{as} / max A _{as} 452/767 mm ² /m Ø14/250(612) + Ø8/250(200) mm ² /m Ø14/250(612) + Ø10/250(312) mm ² /m max A _{fs} /min A _{fs} 2061/1710 mm ² /m Ø12/250(453) + 2xØ20/25(2512) mm ² /m	min A _{as} / max A _{as} 452/767 452/906 mm ² /m Ø12/225(502) + 10/225(347) mm ² /m Ø12/225(502) + 12/225(503) mm ² /m max A _{fs} /min A _{fs} 2061/1710 mm ² /m Ø10/225(347) + Ø20/225(1396) + Ø16/225(888) mm ² /m fej kontúrvas: Ø12/225(502) mm ² /m
„Használati követelmény” (SLS) lehajlás repedéstágasság	f = 24 mm <l/250 = 32,4 mm alsó oldali húzott vasalásnál w = 0,23 mm <0,3 mm felső oldali húzott vasalásnál w = 0,18 mm <0,3 mm	f = 30 mm <l/250 = 32,4 mm alsó oldali húzott vasalásnál w = 0,25 mm <0,3 mm felső oldali húzott vasalásnál w = 0,25 mm <0,3 mm
„Jellemző mennyiségek” Vizsgált terület Peremgerenda kerülete Alsó vasmennyiség Felső vasmennyiség Gombafej vasalások Átszűrődési csap menny. Gerenda vasmennyiség Beton mennyiség: lemez + gerenda	679 m ² 74,3 fm 11557 kg 9664 kg 0,0 kg 70 db csap (Ø14/235) oszlop (60/80) 4394 kg 215,8 m ³	635,3 m ² 74,3 fm 9415,7 kg 9033,5 kg 530,4 kg 36 db csap. (Ø16/295) oszlop (60/80) +fej (v=35cm) 4394 kg 186,6 m ³



Átszűrődési csap mérete: Ø16/295, oszloponként 10 x 3 = 30 db van, készül 2 oszlopnál, az összes átszűrődési csap 2 x 30 = 60 db.



Az átszűrődési csapok mérete: Ø20/295, oszloponként 10 x 3 = 30 db, készül 1 db oszlopnál, az összes átszűrődési csap 1 x 30 = 30 db.

A számítások eredményeit összegezve a vizsgált födém területekre az alábbiakat kapjuk:

Síklemes födémnél: Ø14/235 csap 420 db.

Gombafejes födémnél: Ø16/295 csap 168 db, és Ø20/295 csap 30 db

2.4.3.4. A beton és acél anyagmennyiségek összehasonlítása

Az előbbieken megadott anyagmennyiségekből az alábbi összehasonlítást tehetjük a két födém típusnál:

A $v=29$ cm vastag és 679 m² területű peremgerendával merevített síklemes födém beton mennyisége: $V_{\text{sík}} = 216$ m³ és ennek fajlagos értéke: $v_{\text{sík}} = 216 \text{ m}^3 / 679 \text{ m}^2 = 0,318 \text{ m}^3/\text{m}^2$.

A 635 m² területű peremgerendával merevített gombafejes kialakításnál ($24 + 11$) a beton mennyisége: $V_{\text{fej}} = 187$ m³, ahol a fajlagos érték: $v_{\text{fej}} = 187 \text{ m}^3 / 635 \text{ m}^2 = 0,295 \text{ m}^3/\text{m}^2$.

A többlet betonmennyiség fajlagos értéke:

$$\Delta v = v_{\text{sík}} - v_{\text{fej}} = 0,318 - 0,295 = 0,023 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Egy szintről a többlet betonmennyiség térfogata, belső oszlopnál ($8,1\text{m} \times 8,1\text{m}$ raszter esetén) számítva:

$$\Delta V = 8,1\text{m} \times 8,1\text{m} \times 0,023 \text{ m}^3/\text{m}^2 = 1,51 \text{ m}^3/\text{szint}$$

A 679 m² területű síklemes födémnél a teljes vas mennyiség 25616 kg, ami $37,73$ kg/m² fajlagos értéket mutat. A 635 m² területű gombafejes födémnél a teljes vas mennyiség 23374 kg, ami $36,81$ kg/m² fajlagos értéket mutat. A vas mennyiség csökkenése $0,92$ kg/m².

A fenti értékek alapján megállapítható, hogy abszolút értékben a gombafejes kialakításnál a felhasznált anyag mennyiségek kisebbek,

- a beton esetében a vizsgált 679 m² területen a csökkenés $215,8 - 186,6 = 29,2$ m³, ez fajlagosan $0,0430$ m³/m² értéket jelent és
- az acél esetében a csökkenés $25615,7 - 23373,9 = 2241,8$ kg, ami fajlagosan $3,30$ kg/m² értéket jelent.

Amennyiben a fajlagos acél felhasználást a beton mennyiségekre vetítjük, akkor az alábbi értékeket kapjuk:

Síklemes födémnél a fajlagos érték: $25615,7 \text{ kg} / 215,8 \text{ m}^3 = 118,70 \text{ kg}/\text{m}^3$

Gombafejes födémnél a fajlagos érték: $23373,9 \text{ kg} / 186,6 \text{ m}^3 = 125,26 \text{ kg}/\text{m}^3$

A fajlagos m³-es és a fajlagos m²-es értékekből a fajlagos vas mennyiség ellentétes tendenciákat mutat, a helyes megítéléshez (összehasonlításhoz) a födém 1 m²-re vetített érték ad reális képet.

2.5. Építési segédszerkezetek: állványozás, zsaluzás

Az építéshez szükséges segédszerkezetek (állványozás – zsaluzás) és mindezek építéséhez szükséges idő és szakmunka igény.

A választott 13 cm-es fejevastagítás esetén a felhasznált anyag többlet mintegy 20% -ra tehető és a munkadíj $30-50\%$ -os növekedést is mutathat a nagyobb szakmai tudás, a külön álló fej állvány és zsaluzat beillesztése a teljes rendszerbe, az egység kiszérelése és tárolási, organizációs költségei miatt.

Kedvezőbb lehetne az anyag felhasználási többlet, ha a fejevastagítás éppen egy járatos tartó magasságnak (20 cm) megfelelő lenne.

2.6. Az alapozásra jutó többlet terhelés és költség kihatása

A síklemes kialakításnál az alapozásra többletterhelés hárul.

A $v=29$ cm vastag és 679 m² területű födém beton mennyisége $V_{\text{sík}} = 216$ m³ és ennek fajlagos értéke $0,318$ m³/m².

A 635 m² területű gombafejes kialakításnál ($24 + 11$) a beton mennyisége $V_{\text{fej}} = 187$ m³, ahol a fajlagos érték $0,295$ m³/m².

A többlet beton mennyiség fajlagos értéke:

$$\Delta v = v_{\text{sík}} - v_{\text{fej}} = 0,318 - 0,295 = 0,023 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Egy szintről a többlet betonmennyiség egy belső oszlopnál:

$$\Delta V = 8,1\text{m} \times 8,1\text{m} \times 0,023 \text{ m}^3/\text{m}^2 = 1,51 \text{ m}^3/\text{szint}$$

Oszlopra jutó többlet terhelés szintenként:

$$\Delta G = 1,51 \text{ m}^3/\text{szint} \times 25 \text{ kN}/\text{m}^3 = \sim 40 \text{ kN}/\text{szint}/\text{oszlop}$$

Egy szokásos irodaépületnél 10 szint esetében ez 400 kN teljes többlet terhelés jelent az alapozásra, ami a szokásos budapesti talajviszonyok esetében 1 db 6 m hosszú és 60 cm átmérőjű cölöp többlet alkalmazását teszi szükségessé. Amennyiben ezt a növekedést 1 m² födémre vetítjük $80\,000$ Ft/m cölöppár esetén, akkor 750 Ft/m² értékű növekedést kapunk.

3. A KIVITELEZÉSI KÖLTSÉGEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

3.1. Az anyagköltségek összehasonlításánál figyelembe vett árak

Külső szakemberekkel folytatott megbeszélések alapján 2018 -as árszinten az alábbi két árváltozat valószínűsíthető, amelyek az anyag- és szerelés díját foglalják magukba. Az egyes födém típusoknál felmerülő, az összehasonlítás alapjául szolgáló költségeket a *4. táblázat* tartalmazza.

4. táblázat: Anyagárak összehasonlítása

Anyagárak összehasonlítása		
	1. változat K + R	2. változat Web
Betonacél B500 B	360 Ft/kg	420 Ft/kg
Átszűrődási vas:	370 Ft/db	430 Ft/db
Beton C30/37:	35 500 Ft/m ³	46 750 Ft/m ³
Zsaluzás és állványozás árai		
Síkfödém	7 000 Ft/m ²	9 400 Ft/m ²
Gombafejes födém	8 500 Ft/m ²	13 150 Ft/m ²
Cölöpözés ára		
Ø60 cm és h = 10 fm esetén	80 000 Ft/m	

3.2. Költségeket összehasonlító táblázat és értékelése

A födém szerkezetet alkotó fő anyagok költségeit az *5. táblázatban* hasonlítjuk össze az előző pontokban meghatározott mennyiségek és egységárak segítségével.

Az alábbiakban felsorolt paramétereknél egyenként is elemezzük a két födém típus költségeit egy m² födémterületre vetítve. Az áraknál az anyag- (A) és munkadíjak (D) együttes értéke szerepel.

Az adott geometriai kialakítású és terhelésű, azonos anyagminőségek esetén az összehasonlítást egyrészt a számszerűsíthető (számítható) mennyiségek és másrészt a minőségi (nehezen számszerűsíthető) paraméterek segítségével végezhetjük. A következő táblázatban a födém építési költségeinek számszerűsíthető paraméterei szerepelnek.

5. táblázat: Anyagköltségek összehasonlítása

Jellemző	Síkfejtő födém	Gombafejtő födém
Terület	679 m ²	635 m ²
V _{beton}	216 m ³	187 m ³
Fajlagos beton	0,318 m ³ /m ²	0,295 m ³ /m ²
Beton ára	35500-46750 Ft/m ³	
Fajlagos betonár	min. 11 289 Ft/m ² max. 14 867 Ft/m ²	min. 10 473 Ft/m ² max. 13 791 Ft/m ²
G _{vas}	25 616 kg	23 374 kg
Vas ára	360 – 420 Ft/kg	
Fajlagos vasmenyiség ára	min. 13 581 Ft/m ² max. 15 845 Ft/m ²	min. 13251 Ft/m ² max. 15 460 Ft/m ²
Átszűrődési csap teljes ára	312 749 Ft	187 712 Ft
Átszűrődési csap fajlagos ára	461 Ft/m ²	296 Ft/m ²
Zsaluzás, állvány	min. 7 000 Ft/m ² max. 9 400 Ft/m ²	min. 8 500 Ft/m ² max. 13 150 Ft/m ²
Alapozásra jutó többlet	750 Ft/m ²	0,00
Betonszivattyúzási többlet	70 Ft/m ²	0,00
Daruzási többlet zsalu miatt	0,00	900 Ft/m ²
Munkahézagképzés többlet	40 Ft/m ²	0,00
Építési organizációs többlet	0,00	400 Ft/m ²
Szerkezet összegzett fajlagos ára	min. 33 511 Ft/m ² max. 41 753 Ft/m ²	min. 33 820 Ft/m ² max. 43 997 Ft/m ²

A táblázatban szereplő árak a 2018-as árszínvonalon értendőek.

3.3. Számszerűsíthető mennyiségi paraméterek összevetése

A 3.2 pontban szereplő 5 táblázat adatait az alábbiakban értékeljük:

3.3.1. A beton költsége

A síkfejtő födémnél ez a költség max. 14 867 Ft/m², s a gombafejtő födémnél max. 13 791 Ft/m², ami azt jelenti, hogy a síkfejtő födém betonjának ára 29,8%-kal magasabb.

3.3.2. A betonacél költségei

A teherbírási (ULS) és alakváltozási (SLS) követelményeket teljesítő kialakításnál síkfejtő födémnél max. 15 845 Ft/m² és gombafejtő födémnél max. 15 460 Ft/m² a költség, ami azt jelenti, hogy a két födém típusnál azonos költséget jelent a betonacél.

3.3.3. Átszűrődési csap (szerelvény) költségei

Síkfejtő kialakításnál az átszűrődési csapok költsége 461 Ft/m² és gombafejtő födémnél 296 Ft/m², ami azt jelenti, hogy a síkfejtő födém átszűrődési vasalása 36%-kal drágább.

3.3.4. A zsaluzás és állványozás költségei

Ha síkfejtő födémnél a zsaluzás mennyisége 100 %, akkor gombafejtő kialakításnál ez 8-12 %-kal több (108-112 %).

Abszolút értékben max. 9 400 Ft/m² a zsaluzás és állványozás költsége a síkfejtő födémnél. A gombafejtő födémnél ez max. 13 150 Ft/m², ami azt jelenti, hogy a síkfejtő födémhez képest 40%-kal drágább.

3.3.5. Az alapozásra jutó többlet terhelés költsége

A nagyobb terhelés az alapozásra a síkfejtő födémnél adódik és az alapozás költségét a gombafejtő födémhez képest 750 Ft/m² értékkel növeli.

3.3.6. A betonszivattyúzás költsége

A síkfejtő födémnél 2,8 m³ többlet beton beszállítása szükséges, ami 70 Ft/m²-rel növeli annak költségét.

3.3.7. A daruzás

Az építési anyagok (beton és acél) mozgatásához szükséges daruzás költségei feltételezhetően a két födém típusnál azonos értéket mutatnak, azonban a gombafejtő kialakításnál a segédstruktúra kialakításához többlet daruzási költségek párosulnak, és kedvezőtlen a szükséges daruzási idő növekedése, ami a telepítendő daruk számára is kihatással lehet.

A gombafejtő födémnél merül fel daruzási többlet, ennek költsége 900 Ft/m²-ben adható meg.

3.3.8. A munkahézag képzés költsége

Az építéshez szükséges munkahézagok képzése azonos időtartamúnak vehető, de az ahhoz felhasznált anyagmennyiség - az eltérő lemezvastagság miatt - más.

Ez a költség a födémvastagság arányában (29/24 = 1,20) növekszik és a síkfejtő födémnél ez 40 Ft/m² értékű növekedést jelent.

3.3.9. Az építési organizáció költségei

Az építés szervezése (állvány-zsaluzat tárolása és építése, vasalás tárolása és szerelési sorrendje, a kizsaluzás módja, a munkahézagok lehetséges helyei stb.) a gombafejtő kialakításnál körültekintőbb eljárást kíván és bonyolultabb, ezért valamivel költségesebb is. A költség egy munkahelyi mérnök béréből számítható, ami 400 Ft/m² értéket ad.

3.3.10. Az anyagok beépítésének költségei

Ezeket (beton bedolgozás, betonacél beszerelés, zsaluzás) nem kell külön számba vennünk, mert ezek díjai az anyagáron kívül a munkadíjat is tartalmazza, amint azt korábban jeleztük. Azonban az tény, hogy a gombafejtő kialakításnál az anyagok beépítése, ahogy ezt az alábbiakban leírjuk, „drágítja” kivitelezést.

Az anyagok beépítésénél használt technológiai lépések, mint a betonacél beépítése és a beton beldolgozása a két földmennél csak a vasszerelésben mutat eltérést. A gombafej kialakítás megköti a vasalás sorrendjét és az általános (ortogonális) vasalás kialakíthatóságát. Azaz gombafejes kialakításnál csak szálvasakból szerelt vasalás alkalmazása a célszerű, míg síklemezes kialakításnál az előszerelt vasalások (hegesztett háló, BAMTEC szőnyeg, táblás vasalás) alkalmazása is szóba jöhet, ami a vasszerelési időben jelentősen eltérhet.

A betonozási idő a két megoldásnál jelentősebben eltérhet egymástól az eltérő mennyiségek folytán. Így a betonozó csapat ideje, díja is más, továbbá a szükséges betonszállítás és annak szervezése, de a betonozáshoz használt daruzási idő, mely ezen túlmenően az egyéb irányú munkálatokhoz szükséges daruzási időt befolyásolja.

A gombafej megépítéséhez többlet zsaluzási anyagra van szükség, ami fej méretének az általános állvány és zsaluzási rendszer „zavarásából”, a fej alatti állvány külön merevítéséből és az oldalzsaluzatból és annak megtámasztásából adódik.

Az összehasonlítás végeredményeként kapott m^2 -es födém szerkezeti árak igen közel esnek egymáshoz, így csak felhasznált anyagmennyiségek alapján nem lehet egyértelmű döntést hozni. Ezért célszerű a kivitelezési költségeket befolyásoló egyéb tényezőket is vizsgálni. A döntésnél tekintettel kell lenni a világgpiac árakra gyakorolt hatásaira is, melyek a kereslettől és kínálattól függően erős változásokat mutathatnak.

3.4. A kivitelezési költségeket befolyásoló egyéb tényezők

A költségek ingadozását az előbbi számszerűsíthető értékeken túlmenően a minőségi paraméterek is befolyásolják a gombafejes kialakítást. Ide sorolhatjuk

- az építési időt,
- a gépészeti rendszerek kialakításának kötöttebb formáját,
- az épülettípus befolyását,
- az épület megvalósításához szükséges szakmai tudást (beruházó, tervező, kivitelező, műszaki ellenőr),
- a tervezett építészeti formát, különösen a homlokzati rendszer hatását,
- a statikus tervező tapasztalatát az ilyen típusú épületeknél,
- a beruházói gárda tudását, tapasztalatát.

Úgy véljük, hogy a felsoroltak mind néhány százalékkal és elsősorban a gombafejes kialakításnál növelik a megvalósítás költségét, amit a végső ár kialakításánál célszerű figyelembe venni.

3.4.1. Az építési idő

A két földméntípus kialakítása szempontjából a síklemezes földém kedvezőbb, átlagos képzettségű kivitelezői gárda esetén bizonyára gyorsabban tudja az építéshez szükséges munkálatokat (zsaluzás, vasszerelés stb.) elvégezni, tehát a gombafejes kialakítású földémet tartalmazó szerkezet építési ideje hosszabb lesz. Ez a ma rendelkezésre álló építési időre jelentős befolyással lehet és így szerkezetválasztási döntésünkre is.

3.4.2. Gépészeti rendszerek hatása a költségekre

Az épület működéséhez szükségesek gépészeti rendszerek (hűtés, fűtés, villamos rendszerek stb.). Mindkét típusnál az elmaradt oszlop közeli nyílások utólagos készítése jelentősen ronszolja és gyengíti a földém szerkezetét.

Nagyobb fej magasságnál korlátozza a gépészeti rendszerek szabad kialakítását, kötöttséget jelenthet, ami többlet anyagfelhasználáshoz vezethet.

3.4.3. Az épülettípus hatása a költségekre

Az épület típusa is hatással van a szerkezet árára.

Iroda - ahol a bevezetőben említett geometriájú elrendezés funkcionálisan használható. Viszonylag szabályos rendszer, könnyű válaszfallal, mozgásra nem kényes padlókkal. Leginkább ezen épület típusnál merül fel a szerkezeti rendszer (sík- és gombafejes) kialakítása.

Lakóépület Esztétikailag zavaró megoldás a gombafej. (szabálytalan alaprajz és földémmegtámasztás, nehéz válaszfalakkal, mozgásra kényes padlókkal, hőszigetelt erkélyekkel). Kiegészítő álmennyezet alkalmazása válhat szükségessé.

Iskolák jellemzője az egyenlőtlen nyílás kialakítás és a földémekre működő dinamikus terhelés.

Középületek jellemzői megegyeznek az irodáknál írtakkal.

Általánosságban megállapítható, hogy az esztétikailag egyenértékű megoldáshoz a fejes kialakításnál álmennyezet alkalmazása szükséges.

3.4.4. Az építés megvalósításához szükséges szakmai tudás

A gombafejes kialakítás bonyolultabbnak tekinthető, mint a síklemezes kialakítás. Ennek következtében nagyobb tervezői és kivitelezői felkészültséget, szakmai tudást kíván. Gondolunk itt elsősorban a kivitelezésre, ahol a szakképzett munkaerő állomány ma szűkös, az ellenőrzéshez szükséges kapacitás nem, vagy csak részben biztosított, így a hibázás lehetősége nagyobb. Hasonlóan a tervezésnél, a gombafejes megoldás ritkábban alkalmazott és ezáltal kevésbé ismert, összetettebb terveket kíván meg.

3.4.5. Az építészeti formálás mai trendjei

A ferde oszlopok megjelenése, a homlokzatok változatosságának elérése, a homlokzati oszlopok kiosztási rendje és egymás feletti rendszerének eltérése és alaprajzi elhelyezkedése stb. jellemzi a mai építészeti elképzelést. Szerencsés esetben a raszter tengelytávolságok szabályosságot mutatnak.

A beépítési magasságok korlátja és a gombafej magassítás esetleges kihatásai a szint magasságra, az álmennyezeti magasságra, mind befolyásoló paraméter a síklemezes és gombafejes földém kialakításánál.

A szerkezeti megoldás kiválasztásánál még figyelembe veendő a földém perem kialakítása, annak merevítése és tűzgátló szerepe, valamint a parapettek által előálló oszlop „rövidülések” elkerülése (lásd rövid oszlop kedvezőtlen nyírási viselkedését földrengésnél).

3.4.6. A tervezők tapasztalata a szerkezettervezés területén

A statikus tervezői tapasztalat arra int, hogy mind a tervező partnerekkel az „együttműködés”, mind a kivitelezővel az együttműködés fontos a szerkezet kialakításánál.

Amennyiben lehetőségünk van (pl. a tervezés a koncepciótervezéssel kezdődik, szorgalmazzuk ezt, úgy a tapasztalt statikus tervező együttműködésre törekszik a többi tervezőpartnerrel és befolyással, véleményével él az építészeti gondolat (megoldás) fejlesztésénél, nem szem elől tévesztve az építhetőség kérdését is. Sajnálatos, hogy a Közbeszerzési Törvény nem enged teret a kivitelezői

vélemény, együttműködés bekapcsolásának, de nem kell ezt mellőzni privát beruházó esetén, ahol erőltetés nélkül, rövid átfutási idővel és objektív módon végezhető a tervezés a Build and Design szellemiségében. A teljes életciklus: előkészítés, tervezés, építés és működtetés, pl. hosszútávon belső átalakítások az épületben komplex figyelembevétele célszerű.

Ennek fényében a ma divatosan hangoztatott B and D eljárás csak részben nyújt segítséget, mert ehhez a beruházó és a nemzeti érdekeket előíró szabványok betartását biztosító minőségellenőrzés, tervellenőrzés szükséges, ami a legtöbb esetben hiányzik.

3.4.7. A beruházó szerepe a szerkezet választásnál

A beruházó szerepét egyrészt aszerint ítélni meg a szerkezet kialakítás során, hogy céljai: rövid távúak (építés + eladás), vagy hosszú távúak (fenntarthatóság + alacsony üzemeltetési költség).

Másrészt, hogy a beruházó „tudása” az építésről milyen: *ha van* (akkor kellemes az együttműködés), *ha „nincs”*, vagy csak kevés, akkor hagyja magát „félrevezetni” (pl. nem kellően gondos project manager által elhiszi, hogy az alacsony költség nagy hasznot hoz és ugyan olyan minőségű épületet kap).

Továbbá fontos, hogy mennyi a Beruházó tapasztalata az építésről: *ha van* akkor ismeri az elvárt minőség és ár kapcsolatát és a szükséges építési időt, *vagy ha nincs tapasztalata*, akkor irreális építési időt képzel el és a cél, hogy „olcsó” legyen.

Fontos számba venni a projekt menedzser ismereteit is: kedvező, *ha tapasztalt* (pozitív, problémamegoldó tudással és képességgel, felelősségvállalással), és kedvezőtlen *ha tapasztalatlan* (csak vezetői ambíciókkal, hiányos szakmai ismeretekkel, felelősséget elhárító szemlélettel) és úgy gondolja, minden kockázata a tervezőé, vagy kivitelezőé.

4. AZ ÖSSZEHASONLÍTÁS EREDMÉNYEINEK ÖSSZEFOGLALÁSA, KÖVETKEZTETÉSEK

Az elvégzett elemzések alapján az alábbi következtetések vonhatók le.

- 4.1. A költségeket összehasonlító, a 3.2 pont alatt közölt táblázat alapján (a két födém típus építéséhez felhasznált anyag mennyiségek alapján) nem állapítható meg egyértelműen a gombafejes kialakítás előnye a síklemezes kialakításhoz képest. A szerkezetválasztási döntésnél nem hagyhatjuk figyelmen kívül a 3.4 pont alatt felsorolt egyéb tényezőket sem.
- 4.2. A két födém típus közötti választáshoz igen összetett és sok szempontot figyelembe vevő elemzés szükséges, hogy viszonylag objektív döntés születhessen, ami arra hívja fel a figyelmet, hogy az egyik vagy másik födém típus kerül-e alkalmazásra, az nagyban függ a tervezői és kivitelezői tapasztalatoktól. A síklemezes födém „egyszerűsége” folytán többlet anyagot használ,

míg a gombafejes födém anyagtakarékosabb, melynek előnyét a tervezés és kivitelezés bonyolultabb volta könnyen elemésztheti.

- 4.3. Az elemzés arra is rámutat, hogy egy tenderezés során az odavezető tervezési folyamat ismerete nélkül a korábban megtervezett födém típus megváltoztatása nem biztos, hogy előnnyel jár, ha figyelembe vesszük az átervezéshez szükséges költségeket és időtartamot, valamint az építési időt.
- 4.4. Az elemzés segítséget adhat a tervezés kezdeti szakaszában (előtervezés, koncepciótervezés) a födém típus megválasztásához, a cikkben tárgyalt szempontok együttes figyelembevétele. Az elemzés rámutat arra is, hogy a döntéshez a beruházói, a kivitelezői véleményeket figyelembe kell venni.
- 4.5. Az elemzésünk ugyan külön nem tér ki „a környezet védelmi” szempontokra és a „munkaerő költségeinek” napjainkban végbe menő jelentős változására, amit a födém típus kiválasztásnál figyelembe kell venni

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk indításkor kivitelező kollégákat kerestünk meg és előzetes véleményüket kértük a statikailag egyenértékű két födém típus kialakítás költségeinek meghatározására. Ezúton mondunk köszönetet Weber Lászlónak, Lachmann Botondnak, Kalkopulosz Attilának és Richter Ádámnak, akik számos gondolattal és tényszerű adattal segítettek, hogy minél realisabb legyen összehasonlító elemzésünk. A cikk írása során egy korábbi projekt számítási adatait is felhasználtuk, ennek engedélyezését köszönjük az EXON2000 Kft-nek (Szántó László és Nagy Ábel).

Dr. Almási József (1940) okl. építőmérnök (1964), műszaki doktor (1972), 29 évi kutatás a BME Vasbetonszerkezetek Tanszékén, több mint 200 szakvélemény készítője, 1995 óta a CAEC Kft, 2002 óta az APSE Kft. ügyvezetője. 2002-ben Palotás-díjat kapott. A BME címzetes egyetemi docense. A *fiB* Magyar Tagozat tagja.

Jeszenszki István (1990) okl. építőmérnök (2016), 2016 óta statikus tervező a CAEC Kft-nél.

COMPARISON OF TWO STATICALLY EQUIVALENT REINFORCED CONCRETE SLAB TYPES

József Almási - István Jeszenszki

Design and construction of a building with in-situ reinforced concrete structure always comes with a hard question, whether the flat slab or the mushroom slab is more economical? To answer this question is the best if the investor, the designer and the contractor make the decision together, because this is the only way to choose the best agreed solution for everyone.

In our article we examine of both slab types which are the same from static point of view. We compare the slab types from different aspects, but especially from the specific costs and quantities. In the end, this article summarize the results of the examinations and comparison of the slab types, to help the reader to make the decision easier in the future.