



Magasépítési vasbetonszerkezetek

4. előadás

Intermerekvítések, fallal merevített
(fallal együttműködő) vasbeton vázák,
vasbeton faltartók

Szabó Imre Gábor

Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar

Építőmérnök Tanszék



1. Intermerevítések

Az intermerekvítések két csoport sajátosságainak összekapcsolásával jönnek létre. A legelterjedtebb intermerekvítés a fal-keretszerkezet. Egyik típusa a vázkitöltő falak alkalmazása. Másik típusa a vasbeton falszerkezet és sarokmerekv váz együttes alkalmazása.

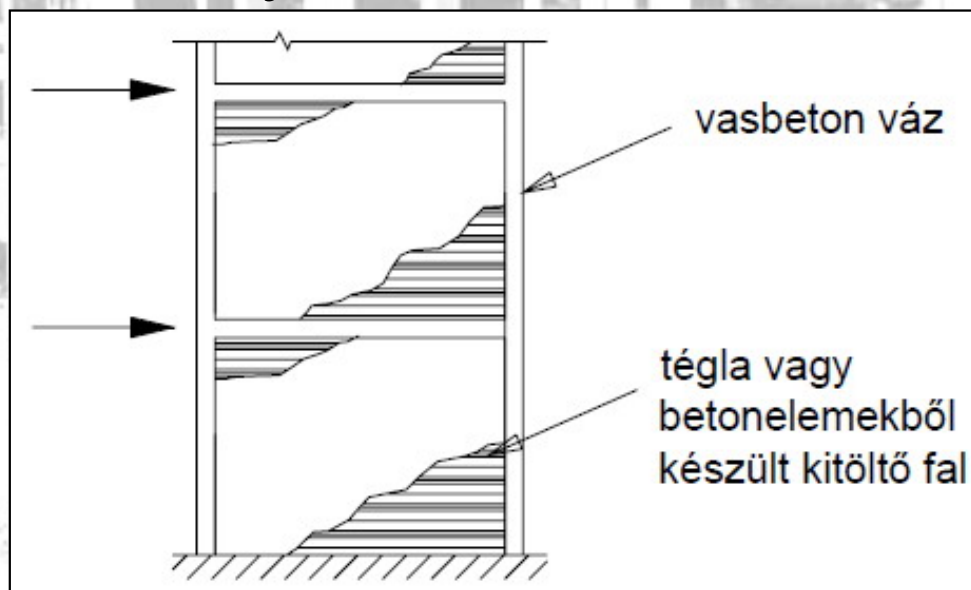
1.1 Vázkitöltő fallal merevített vasbeton vázak

A téglá vagy betonelemekből készült falakkal kitöltött vasbeton oszlop-gerenda vázkerkezet a többszintes épületek egyik legelterjedtebb szerkezetitípusa. A falak ekkor nem csak térelhatároló szerepet töltenek be, hanem biztosítják az épület vízszintes terhekek szembeni merevítését is. Nem földrengésveszélyes területeken és viszonylag kis szélterhekek esetén egyszerűsége és gazdaságossága miatt nagyon gyakran alkalmazzák.

Egyes szabályzatok a falak merevítő hatásának figyelembevételével az épület vízszintes terhekek szembeni viselkedésének számításánál erősen korlátozták.



Gyakran megkövetelik, hogy a teljes függőleges és vízszintes terhelést a vázszerkezettel kell felvenni és a falak hatását el kell hanyagolni. Az ilyen módon méretezett épületeknél a kitöltő falakon gyakran keletkeznek átlós irányú repedések. Ennek oka, hogy a falak jelentősen befolyásolják a teljes szerkezet viselkedését és a vázrendszer erőjátékát, ezért célszerű és indokolt a vízszintes terhelésekkel szembeni méretezésnél a kitöltő falak figyelembevételét. A méretezés a fal-vázszerkezet együttműködésére vonatkozó elméleti vizsgálatokon és kísérleti tapasztalatokon alapszik. A szerkezet általános kialakítását az *1. ábra* mutatja.



1. ábra. Kitöltő falakkal merevített sarokmerev keret [Kiss R. 2007]



A szerkezeti méretek megválasztásánál a váz keresztmetszeti méreteit általában a függőleges terhekből keletkező igénybevételek, míg a kitöltő falak vastagságát egyéb szempontok, pl. akusztikai szempontok, hőszigetelés, tűzvédelem, stb. befolyásolják.

A merevítés szempontjából hatékony kitöltő falakat általában a háromdimenziós szerkezetek merevítésére vonatkozó általános szabályok szerint kell elhelyezni. Egy szinten belül a falakkal biztosítani kell az épület kétirányú nyírási, valamint csavarási merevségét. Ez szintenként legalább három olyan kitöltő fal beépítését igényli, melyek közül legalább az egyik nem párhuzamos a többiekkel és amelyek tengelyvonalai nem metsződnek egyetlen pontban. A falaknak elegendő teherbírással kell rendelkezniük a vízszintes terhekből származó igénybevételek felvételére.

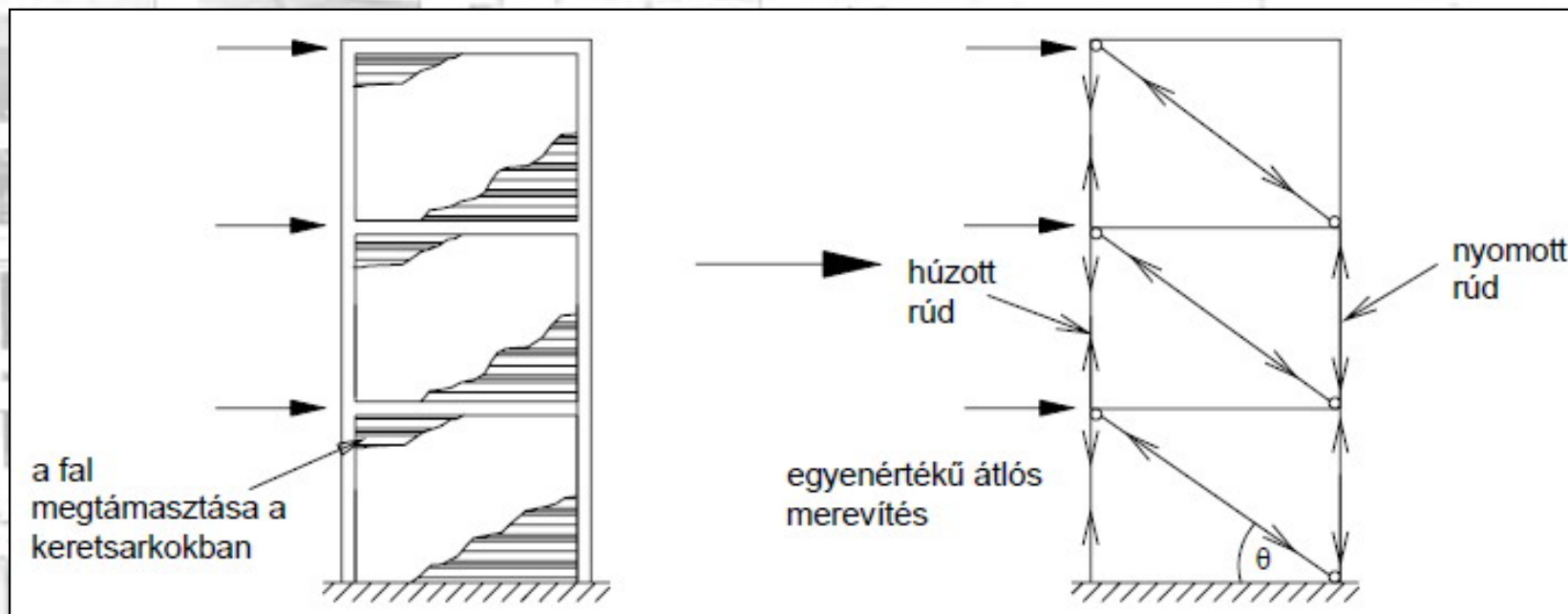
1.1.1 A kitöltő falakkal merevített vázak viselkedése

A vázkitöltő fal és a vasbeton váz együttdolgoztatása révén a kétféle szerkezettípus eltérő szerkezeti jellemzői jól kiegészítik egymást. A síkjában nagy merevségű fal jelentősen merevíti az egyébként viszonylag kis merevségű vázat, másrészt a duktilis



vázszerkezet megnöveli a rideg anyagú fal teherbírását és alakváltozáskéességét a repedések kialakulása után. A kölcsönhatás révén viszonylag merev és szívós szerkezet alakul ki.

A kitöltő fal az ábra szerint részben nyírási merevsége, részben pedig átlós merevítő rúd hatása révén merevíti a vázszerkezetet.



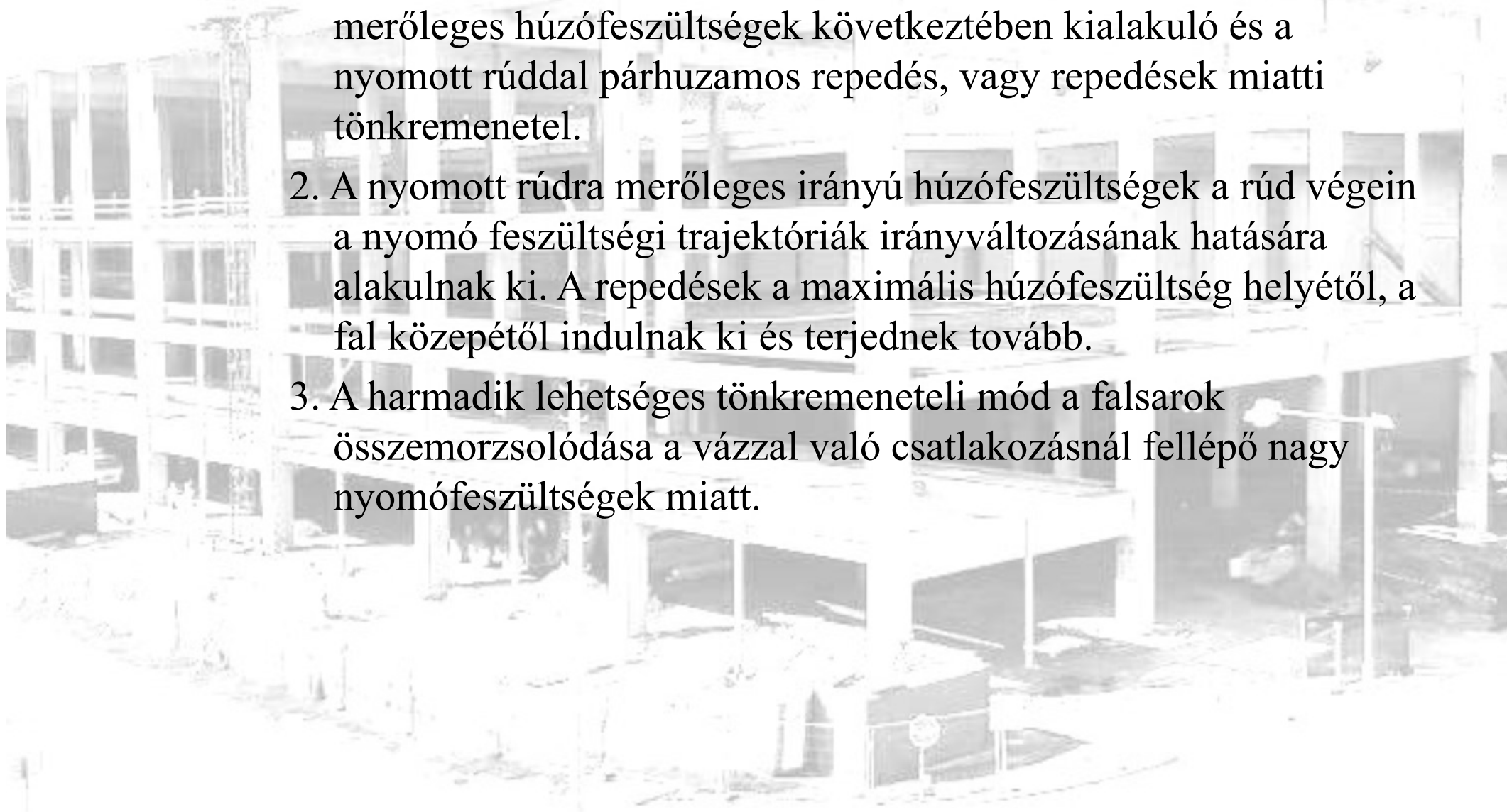
2. ábra. Közelítő számítás modellje [Kiss R. 2007]

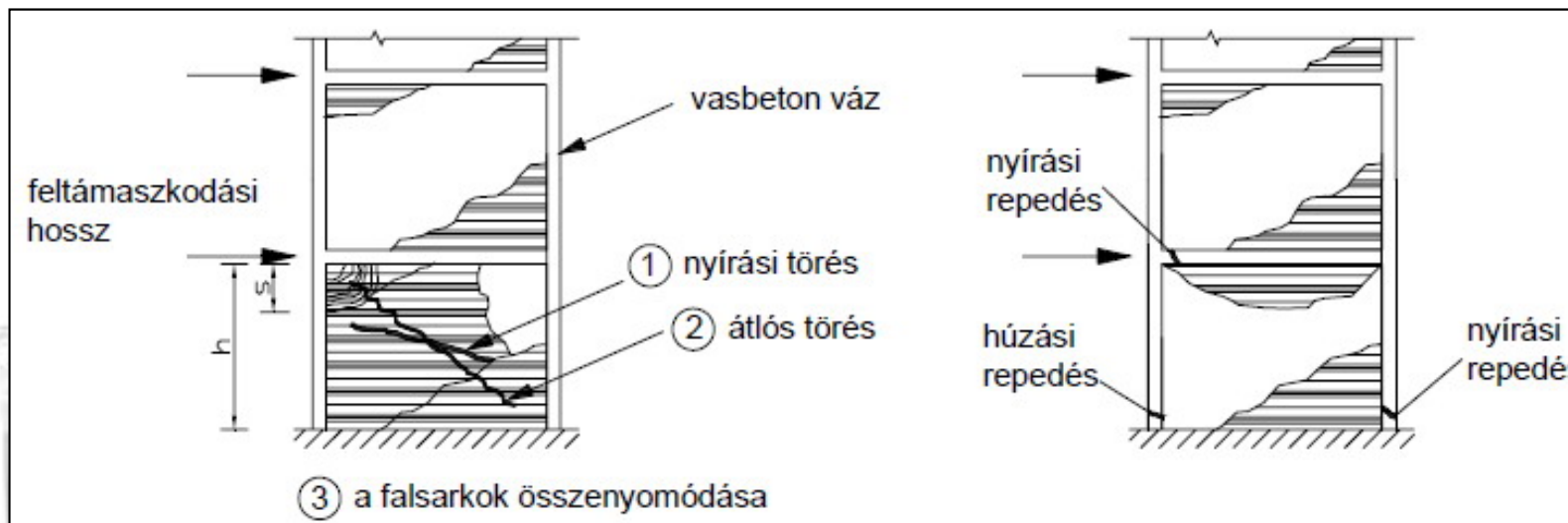
A vízszintes terhek hatására az oszlopok és gerendák kettős görbületű hajlítási alakváltozást szenvednek. Ennek következtében a keretsaroknál a váz nekifeszül a falnak és kialakul az átlós nyomott rúd.



A váz és a fal együttdolgozásának eredményeképpen a fal tönkremenetele három különböző módon következhet be:

1. Az első a falazóelemek közötti kötőréteg (habarcs) nyírási tönkremenetele. A második az átlós nyomott rúd tengelyére merőleges húzófeszültségek következtében kialakuló és a nyomott rúddal párhuzamos repedés, vagy repedések miatti tönkremenetel.
2. A nyomott rúdra merőleges irányú húzófeszültségek a rúd végein a nyomó feszültségi trajektóriák irányváltásának hatására alakulnak ki. A repedések a maximális húzófeszültség helyétől, a fal közepétől indulnak ki és terjednek tovább.
3. A harmadik lehetséges tönkremeneteli mód a falsarok összemorzsolódása a vázzal való csatlakozásnál fellépő nagy nyomófeszültségek miatt.





3. ábra. Törésképek [Kiss R. 2007]

A váz tönkremeneteli módjai:

1. A keretsaroknál a fal feltámaszkodásából keletkező reakció következtében a keretsarokhoz csatlakozó oszlop és gerendavég elsősorban nyírásra van igénybe véve viszonylag kis hajlítás mellett. Itt nyírási repedések alakulnak ki.
2. A szél támadta oldalon az oszlopok húzóttak, az alsó keresztmetszetben húzási repedések keletkezhetnek.



1.1.2 A kitöltő falakban és a vázakban keletkező erők

A kitöltő falakkal merevített vázak erőjátékának vizsgálata kísérleti eredményekre, közelítő számítási módszerekre és végeselemes számítások eredményeire alapozható. Az ilyen szerkezetek viselkedésének pontosabb leírásához még további kutatásokra, elsősorban nagyléptékű modellkísérletekre van szükség. A méretezési eljárások alapvetően rugalmas vagy képlékeny elméletek szerint végezhetők. A továbbiakban ismertetendő módszer kísérleti eredményekre és elméleti vizsgálatokra támaszkodik, lényegében a rugalmas elméleten alapszik, kivéve a kitöltő fal tönkremenetelének feltételét, amelyet a képlékeny teherbírás alapján definiálja.

A kitöltő fal feszültségei:

1. Nyírási teherbírás ellenőrzése

A kitöltő fal nyírási tönkremenetele a vízszintes terhekből keletkező nyíró és normálfeszültségek együttes hatására jön létre. Síkbeli feszültségi állapotban lévő membrán elemek felhasználásával végzett végeselemes számítások sorozatának



eredményeiből, a fal középső, kritikus keresztmetszete feszültségi állapotának jellemzésére az alábbi empirikus összefüggések írhatók fel:

$$\tau_{xy} = 1,43 \frac{Q}{Lt}$$

$$\sigma_y = \left(\frac{0,8h}{L-0,2} \right) \frac{Q}{Lt}$$

ahol Q az L hosszúságú, h magasságú és t vastagságú kitöltő falra a váz által közvetített nyíróerő.

2. Az átlóra merőleges irányú húzófeszültség ellenőrzése
szempontjából A nyomott átlóra merőleges irányú maximális húzófeszültségek ugyancsak a falmező középső szakaszán alakulnak ki. A végeelemes analízis alapján a húzófeszültség maximális értéke:

$$\sigma_d = 0,58 \frac{Q}{Lt}$$

Az előzőek szerint meghatározott feszültségek elsősorban a kitöltő fal méreteinek arányától függenek. A váz merevségének




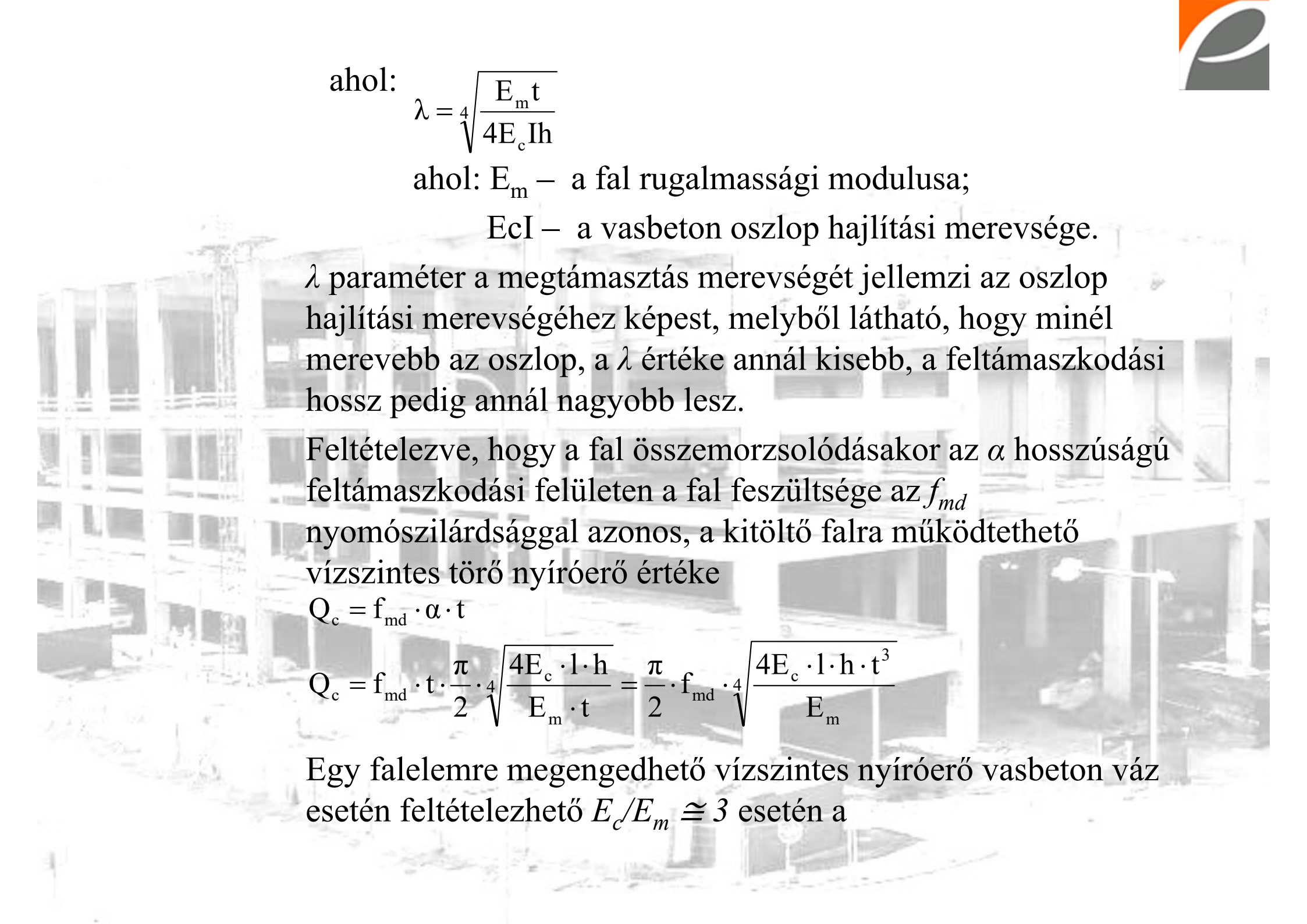
hatása ezekre a feszültségekre kicsi, mivel azok a falsáv közepén, a váztól távol alakulnak ki.

3. A falsarok összemorzsolódásának ellenőrzése szempontjából

A kitöltő falakkal merevített vázakon végzett modellkísérletek szerint a falnak a keretoszlopra való feltámaszkodási hossza az oszlop hajlítási merevségének és a fal megtámasztási merevségének arányától függ. Nagyobb oszlopmerevség következtében nagyobb lesz a feltámaszkodási hossz és kisebb lesz a feltámaszkodási felületen kialakuló nyomófeszültség. A kísérletek szerint az oszlopmerevség növelésével növekszik a fal teherbírása a nyomófeszültség hatására keletkező tönkremenetellel szemben. A fal összemorzsolódása megközelítően a feltámaszkodási felületen következik be.

Durva közelítéssel a probléma egy rugalmas ágyazású gerenda vizsgálatára vezethető vissza, melynek alkalmazásával a feltámaszkodási hossz (α).

$$\alpha = \frac{\pi}{2\lambda}$$



ahol:

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{E_m t}{4E_c I_h}}$$

ahol: E_m – a fal rugalmassági modulusa;

$E_c I$ – a vasbeton oszlop hajlítási merevsége.

λ paraméter a megtámasztás merevségét jellemzi az oszlop hajlítási merevségéhez képest, melyből látható, hogy minél merevebb az oszlop, a λ értéke annál kisebb, a feltámaszkodási hossz pedig annál nagyobb lesz.

Feltételezve, hogy a fal összemorzsolódásakor az α hosszúságú feltámaszkodási felületen a fal feszültsége az f_{md} nyomószilárdsággal azonos, a kitöltő falra működtethető vízszintes törő nyíróerő értéke

$$Q_c = f_{md} \cdot \alpha \cdot t$$

$$Q_c = f_{md} \cdot t \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt[4]{\frac{4E_c \cdot l \cdot h}{E_m \cdot t}} = \frac{\pi}{2} \cdot f_{md} \cdot \sqrt[4]{\frac{4E_c \cdot l \cdot h \cdot t^3}{E_m}}$$

Egy falelemre megengedhető vízszintes nyíróerő vasbeton váz esetén feltételezhető $E_c/E_m \cong 3$ esetén a



$$Q_c = 2,9 \cdot f_{md} \cdot \sqrt[4]{l \cdot h \cdot t^3}$$

összefüggéssel számítható.

Az előző félig empirikus összefüggések tartalmazzák azokat a fontosabb paramétereket, amelyek befolyásolják falelem vízszintes terhekkel szembeni teherbírását a falnak a keretsarkok környezetében bekövetkező összemorzsolódása esetén. A teherbírást döntően a fal nyomószilárdsága és vastagsága határozza meg, míg a falelem magasságának és az oszlop inerciájának a hatása csak negyedik gyök alatt szerepel. A Q_c összefüggés meglehetősen közelítő és a kísérleti eredményekkel összevetve általában túlbecsüli a fal tényleges teherbírását, ezért a szerkezet méretezéséhez korrekcióra szorul.



Vázban keletkező erők

A vízszintes terhekkel igénybevett kitöltő falakkal együttműködő vázszerkezetekkel végzett kísérletek és végeselemes számítások szerint a váz gerendáiban és oszlopaiban keletkező normálerők jó közelítéssel a helyettesítő átlós, két végükön csuklós rudakkal merevített keretszerkezeti modellen határozhatók meg. Az oszlopokban keletkező nyíróerő az átlós rúd normál erejének vízszintes, a gerenda nyíróereje pedig a rúd normál erejének függőleges komponensével becsülhető. A numerikus vizsgálatok alapján az oszlopokban és a gerendákban keletkező hajlítónyomaték a hasonló kialakítású, de vázkitöltő fal nélkül készült sarokmerev keretek nyomatékaihoz képest jóval kisebbek. A vázszerkezet rúdjaiban keletkező nyomatékok maximális értéke a biztonság javára szolgáló közelítéssel az

$$M_{\max} = Q \cdot h/20$$

összefüggéssel becsülhető.



1.1.3 A szerkezet méretezése

A szerkezet méretezését a következők figyelembevételével kell elvégezni:

- a.) A kitöltő fal három lehetséges tönkremeneteli módja alapján számítható ellenállások legkisebbike is elegendő kell legyen, a vízszintes terhelésből a váz közvetítésével, a falban keletkező igénybevételek megfelelő biztonsággal való viselésére.
- b.) A váz legyen alkalmas a vízszintes terheknek a falakra történő átadására, ugyanakkor viselje biztonsággal a fal és a váz csatlakozásánál keletkező reakciókat.

A következő méretezési eljárás feltételezi, hogy a kitöltő falak vízszintes merevsége lényegesen nagyobb, mint a vázé, vagyis a falak hordják a teljes nyíróerőt.



A kitöltő falak méretezése

1. Méretezés nyírásra

A nyírási tönkremenetel a falazó elemek közötti kötőrétegben, a maximális nyírófeszültségek helyén, a falmező középső szakaszán jöhet létre. A falazat nyírási teherbírása a nyomófeszültség figyelembevételével egy

$$f_s = f_{bs} + \mu\sigma_y$$

alakú összefüggéssel számítható, ahol f_{bs} a tiszta nyírásra igénybevett falazat nyírási ellenállása, μ a belső súrlódási tényező és σ_y a függőleges nyomófeszültség a vízszintes kötőrétegben (fugában). A tiszta nyírási ellenállás és a súrlódási tényező a falazat típusától és a biztonsági tényezőtől függ. A falszakasz közepén működő nyíró és normálfeszültségeknek az előző pontokban meghatározott értékeit a fenti összefüggésbe behelyettesítve

$$Q_s = \frac{f_{bs} L t}{1,43 - \mu \left(\frac{0,8h}{L} - 0,2 \right)}$$

kifejezéseket kapjuk, ahol Q_s az épület bármely szintjén megengedhető nyíróerőt jelenti.



2. Méretezés keresztirányú húzásra

A falazatnak az átlóra merőleges irányú húzással szembeni ellenállása meglehetősen bizonytalan. Kísérletek szerint a kötőréteg nyomószilárdságának mintegy tizedére becsülhető. A különböző szabályzatok szerint a falazat hajlításból származó megengedett húzófeszültsége a megengedett nyomófeszültségnek mintegy egy tizennegyede. A keresztirányú húzással szembeni méretezésnél is ezt a megengedett feszültséget célszerű számításba venni. A keresztirányú húzással szembeni ellenállás alapján a falra megengedhető maximális nyíróerő a

$$Q_d = 1,7Ltf_t$$

ahol f_t a fal keresztirányú megengedett húzófeszültsége.

A nyírás, illetve a húzás alapján meghatározható maximális nyíróerőt összehasonlítva, meg nem erősített téglafalazatok esetén, az utóbbi mindig nagyobb értéket ad, tehát a méretezésnél nem kell vizsgálni. Következésképpen a fal nyírási teherbírása az egyik alapvető szempont a kitöltő falazat méretezésénél.



3. Méretezés a falsarok összemorzsolódása szempontjából

Az előzőekben láttuk, hogy a kitöltő fal és az oszlop merevségének aránya hogyan befolyásolja a fallal felvehető vízszintes erő nagyságát a falsarok összemorzsolódása szempontjából. Mainstone (1974) kísérletei szerint a falsarok törése alapján meghatározható nyíróerő az előző modellnél pontosabban írható le a

$$Q_c = 1,12(\lambda h)^{-0,88} f_m h t \cos^2 \Theta$$


összefüggéssel, ahol θ a falmező átlójának a vízszintessel bezárt szöge.

A λ értékét az előző képletbe behelyettesítve a

$$Q_c = 1,12 \left(\frac{4E_c I}{E_m t h^3} \right)^{0,22} f_m h t \cos^2 \Theta$$

kifejezést kapjuk. Feltételezve, hogy téglafallal kitöltött vasbeton váz esetén $E_c/E_m = 3$, a fal megengedett nyomófeszültsége f_m , a falelemre hárítható megengedett vízszintes nyíróerő közelítő értéke

$$Q_c = 1,9 f_m \cos^2 \Theta \sqrt[4]{l h t^3}$$



A falak méretezésénél a biztonság javára szolgáló közelítésként a fenti összefüggést használhatjuk.

4. A váz méretezése

A kitöltő fallal merevített keretek közelítően az átlós csuklós rudakkal merevített vázakhoz hasonlóan viselkednek a vízszintes terhelések hatására, a váz elemei közvetlenül méretezhetők az állandó és hasznos terhekre, valamint a szélteherre.

Az oszlopok méretezésénél a mértékadó normálerő az átlós rudakkal merevített analóg váz vizsgálata alapján a függőleges és vízszintes terhek legkedvezőtlenebb kombinációjából számítható normálerő lesz. A normálerővel egyidejűleg működő hajlítónyomaték, a biztonság javára, az

$$M = Qh/20$$

összefüggéssel becsülhető. Az oszlop-gerenda csatlakozásánál az oszlopra működő nyíróerő a vizsgált szinten a kitöltő fal által felvett Q vízszintes nyíróerővel azonos.

A gerendákban keletkező normálerő ugyancsak az analóg vázon keletkező igénybevételekből határozható meg.



A normálerő értéke elméletileg az adott szinten működő nyíróerővel azonos húzó vagy nyomóerő, ez azonban a tényleges normálerőnél nagyobb, mivel a nyíróerő egy részét a födém veszi fel.

Ha egy gerenda alatt és fölött is fal van, akkor a hajlítási alakváltozása a függőleges síkban gátolt. Ha azonban a gerenda fölött vagy alatt nincs fal, akkor a fal feltámaszkodása miatt a gerendában is nyomaték ébred. Ennek értéke, az oszlop nyomatékához hasonlóan a biztonság javára az

$$M_b = Qh/20$$


összefüggéssel becsülhető.

A gerendának az oszlophoz való csatlakozásánál lévő keresztmetszetében a nyíróerő az átlós nyomóerő függőleges komponensével, vagyis

$$T = Qh/L$$

értékkel egyezik meg.

Az előzőekben a fal és a váz kapcsolatából származó igénybevételeket határoztuk meg. Ezekhez természetesen hozzá kell adni a vázban a függőleges állandó és hasznos terhekből



származó igénybevételeket is, amennyiben a gerenda alatt nincs vázkitöltő fal.

Az oszlopok és gerendák csatlakozásánál kialakuló csomópontok kapcsolatait a becsatlakozó rúdelemek normál és nyíróereje alapján kell méretezni. A kapcsolat nyomatéki teherbírásának hatása nem jelentős a teljes szerkezet viselkedése szempontjából, ezért nem feltétlenül szükséges nyomatékbíró csomópontokat kialakítani.

Vízszintes alakváltozások

A sarokmerev, kitöltő fal nélküli vázakkal ellentétben, a kitöltő fallal merevített vázak a vízszintes terhekből hajlítási alakváltozást szenvednek, mivel a falak a nyírési alakváltozásokat jelentősen csökkentik. Az alakváltozások számításához a falat helyettesítő átlós merevítő rudak merevsége egy egyenértékű rúd merevséggel vehető figyelembe. A helyettesítő rúd szélessége egyes javaslatok szerint az átló hosszának, mások szerint az oszlopok merevségének függvényében vehető fel.



A számítási modellek alapján meghatározott elmozdulások eredményei jelentősen eltértek a kísérleti értékektől.

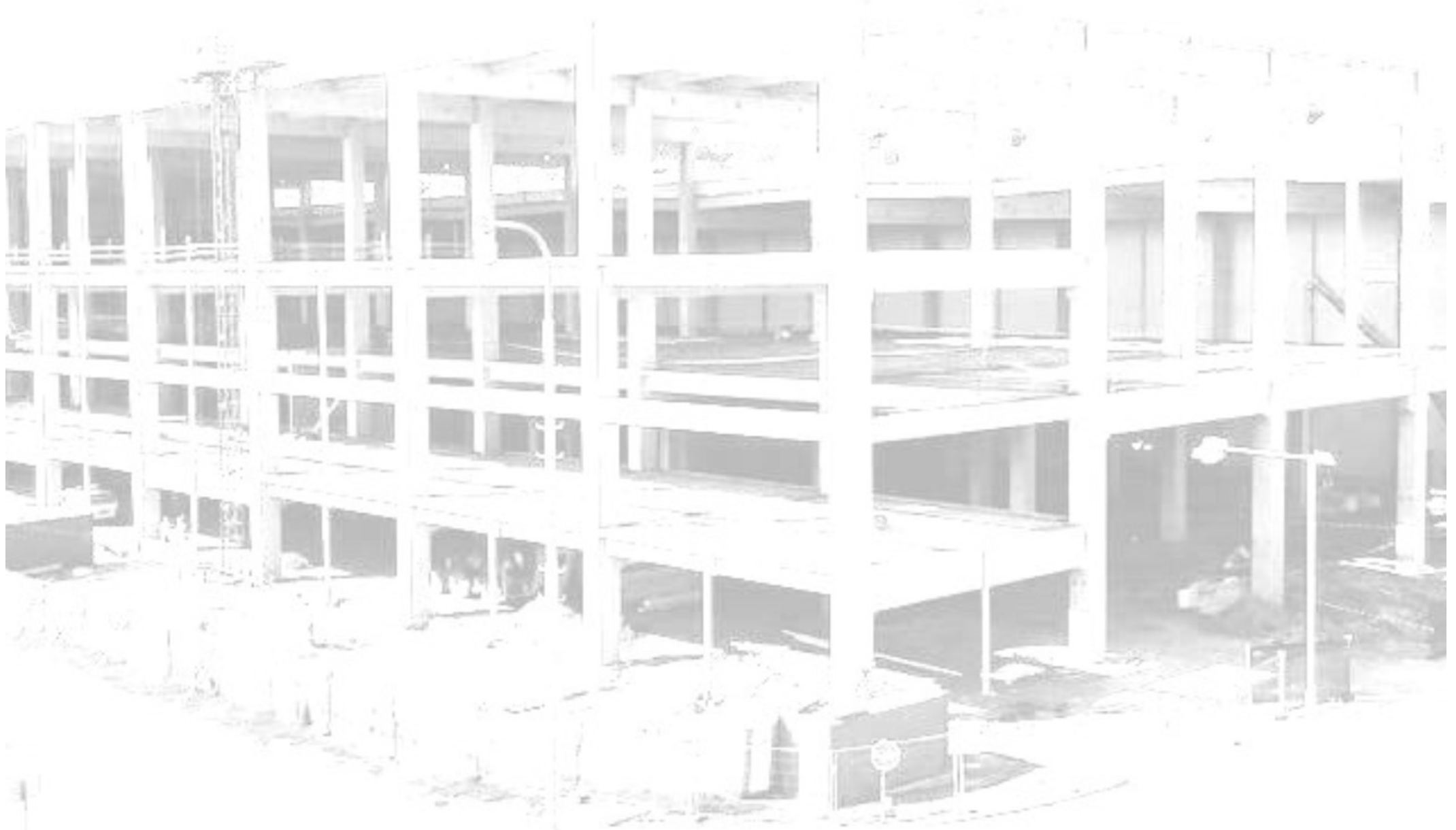
A tapasztalatok alapján a szerkezet eltolódásai egy olyan, átlós rudakkal merevített helyettesítő kereten számíthatók, ahol az átlós rúd keresztmetszete a fal vastagságával és a falmező átlója hosszának egy tizedével azonos méretű téglalap. Az átlós rúd rugalmassági modulusát 7000 N/mm^2 -re becsülve a biztonság javára szolgáló közelítéssel kaphatók a vízszintes eltolódások.

Méretezési tanácsok

- A váz tengelye a kitöltő fal belső harmadába essen, hogy a tényleges kapcsolat kialakulhasson a két szerkezeti elem között,
- egy falmező magasság/szélesség aránya 0,3 és 3 között legyen,
- az építésnél ügyelni kell a váz és a keret közötti kapcsolat kialakítására,
- a fal karcsúsága ne legyen nagyobb a szabályzatokban megengedett értéknél, feltételezve, hogy a kihajlási hossz a fal magasságával egyezik meg,



- a fal szélességének belső harmadában ne legyenek nyílások, a nyílás mérete ne legyen nagyobb sem a fal magasságának, sem pedig szélességének egy tizedénél.

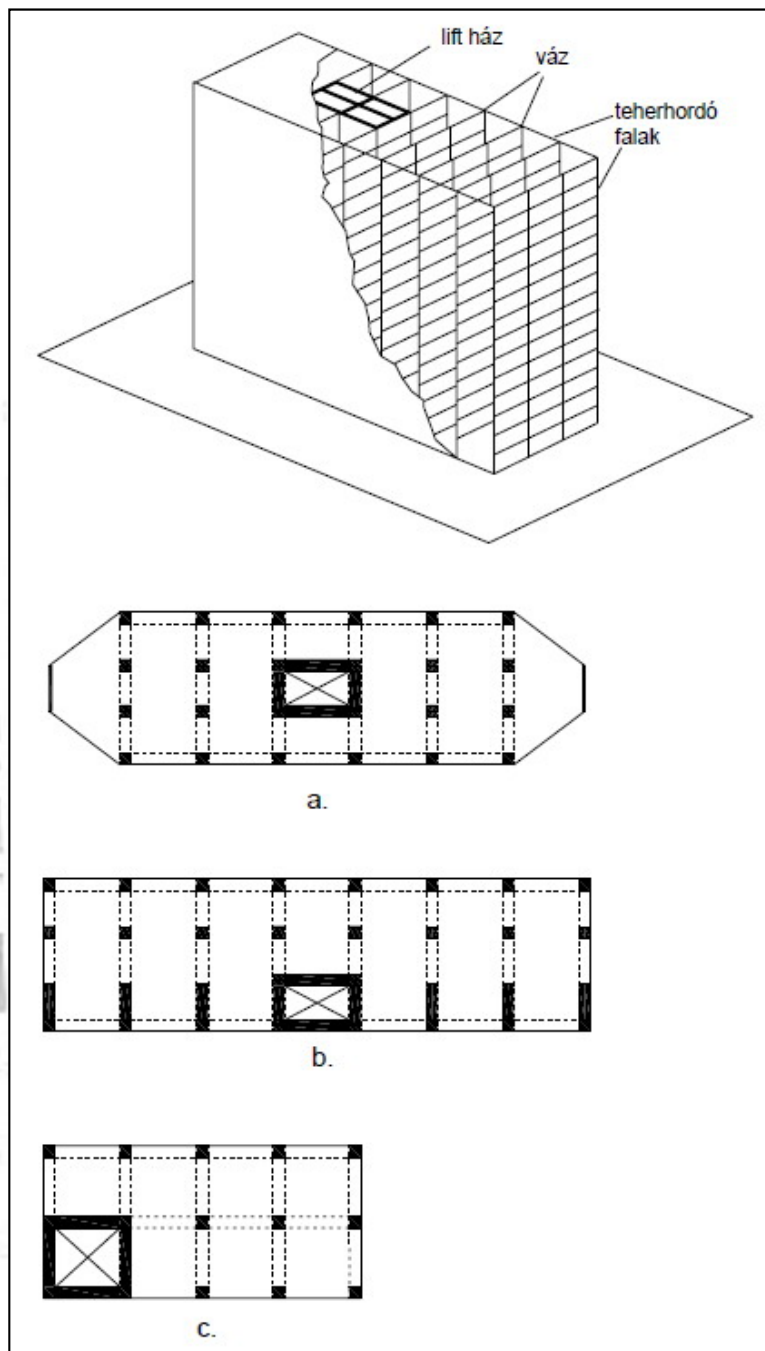




2. Fallal merevített (fallal együttműködő) vasbeton vázák

A magasépületekre működő vízszintes terheket igen gyakran a sarokmerev vázszerkezet és a merevítő falszerkezet együttesen veszik fel. A falaknak általában teherviselő és funkcionális szerepük is van, a váz leggyakrabban síkbeli keretelemekből áll.

A falelemek a vázszerkezettel együttműködnek. A vízszintes terhek hatására egy önálló falelem és egy keret alakváltozásai nagyon eltérőek lennének, ezért a két szerkezeti elem közti kapcsolatot biztosító födémszerkezet miatt, az egymásrahatás következtében, a kapcsolt rendszer elemeinek igénybevételei az épület egészére ható igénybevételektől jelentősen különböznek. A következőkben olyan, el nem csavarodó fal-vázszerkezetekkel foglalkozunk, amelyek egyenértékű síkbeli modellel vizsgálhatók. Ilyenek a szimmetrikus teherrel terhelt szimmetrikus szerkezetek. Az elcsavarodó szerkezetek általános elemzése nagyon bonyolult, mivel a falak és keretelemek egymásra hatása nagymértékben függ a keretállások relatív helyzetétől.



4. ábra. Vasbeton fallal együttműködő vasbetonvázak [Kiss R. 2007]






Az a.) ábrán párhuzamos síkú keretállások és falak viselik a vízszintes terheket és a merev födémhárcsa szintenként azonos alakváltozásra kényszeríti az összes függőleges teherviselő elemet.

A b.) ábrán minden keretállás egy vázból és egy azonos síkú kapcsolt falelemből áll. Ebben az esetben a váz és az azonos síkú fal együttműködését a kötőgerendák, vagy a födémlemez biztosítja. Az ilyen szerkezetek hatékonysága a váz és a falelemek egymásra hatásának mértékétől függ. Az egymásra hatás annál nagyobb mértékű, minél magasabb az épület, minél arányosabb a szerkezet és minél merevebb a váz.

Hajlékony váz esetén feltételezhető, hogy a teljes vízszintes terhelést az épület falai és belső magjai hordják és a vázat csak a függőleges terhekből származó igénybevételekre kell méretezni. Merev váz esetén ajánlatos a két szerkezeti elem egymásrahatását figyelembe venni. Előnye:

- a hajlításból származó alakváltozás jelentősen kisebb lesz, mint abban az esetben, ha azt feltételezzük, hogy a falak egyedül viselik a vízszintes terheket,
- a falakban és magokban számítható hajlítónyomaték is csökken,
- a váz oszlopai tökéletesen befogottnak tekinthetők,

- 
- a vázban keletkező nyíróerő a magasságtól közelítően független, tehát a vízszintes szerkezeti elemek méretezése, kialakítása az épület teljes magasságán azonos lehet.

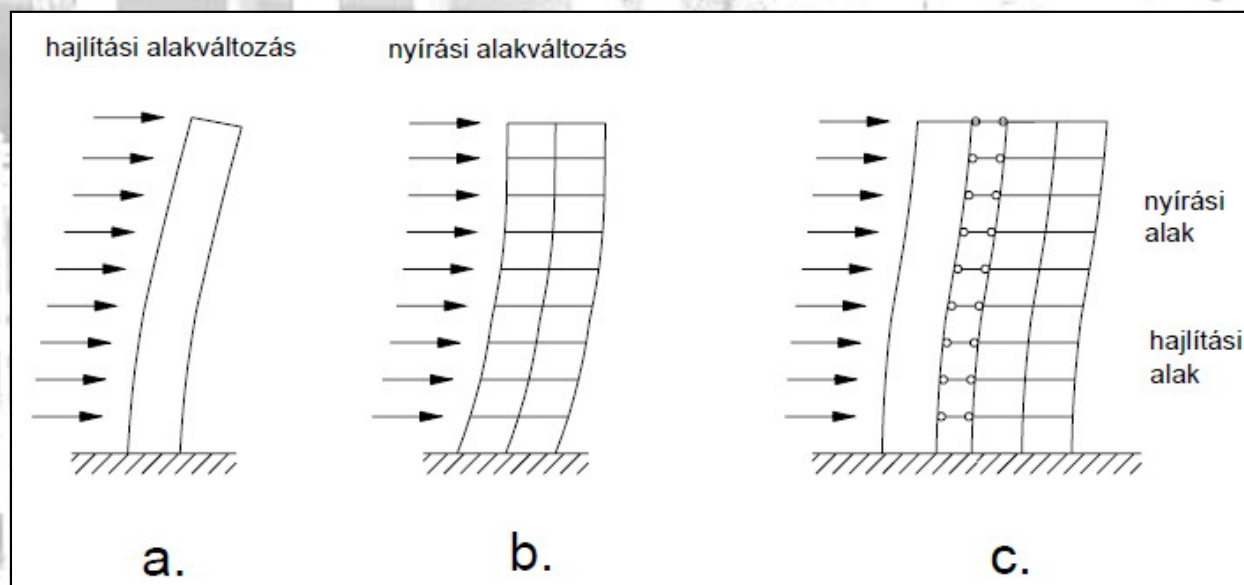
2.1 Szimmetrikus váz-falszerkezet viselkedése

Egy tízsintes épületnél a lépcsőházi, vagy liftházi mag merevsége a vázszerkezet merevségének mintegy tízszerese 20 szint esetén az arány körülbelül három, míg 50 szint esetén a mag merevsége a vázénak mintegy a fele. A merevségek arányának változása az épület magasságának függvényében abból adódik, hogy a lényegében hajlított konzolnak tekinthető mag hajlékonysága a magasság köbével, míg az alapvetően nyírt konzolként működő váz hajlékonysága a magassággal lineárisan változik.

Az épület magassága tehát jelentősen befolyásolja a két szerkezeti elem egymáshatásának mértékét. A vízszintes terhelésből az egyedi fal hajlítási és az önálló váz nyírási alakváltozását mutatja az 5. ábra a.) és b.) része. Ha a két szerkezeti elemet normálerő átadására képes csuklós rudakkal kapcsoljuk össze, akkor a teljes szerkezet alsó szakaszán a hajlítási, míg felső részén a nyírási alakváltozások dominálnak.



A kapcsoló rudakban keletkező normálerők csökkentik a váz eltolódásait az alsó és a fal eltolódásait a felső szakaszon. Az egymásra hatás következtében kialakuló jellegzetes igénybevételi és eltolódási diagramokat mutatja az ábra. A fal eltolódási ábrája a görbület az inflexiós pont felett a konzol görbületével ellentétesre vált és a nyomaték is ellentétes a konzol nyomatékához képest.



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

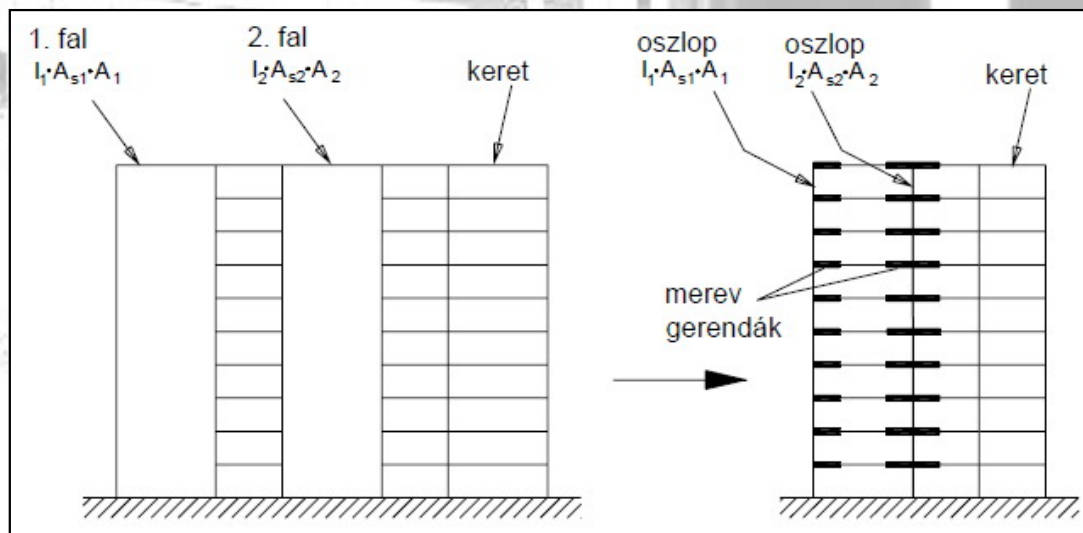
A c.) ábra szerint a vázban keletkező nyíróerő közel állandó, az alsó szakaszt kivéve, ahol jelentősen lecsökken. A tetőponton, ahol a külső nyíróerő eltűnik, a vázban és a falban is jelentős nagyságú egymással ellentétes nyíróerő keletkezik, aminek következtében itt jelentős



mértékű, koncentrált kapcsolati erőnek kell fellépnie a két szerkezeti elem között. A kapcsolatot biztosító födémlemez, vagy gerenda méretezésénél erre különösen tekintettel kell lenni.

2.2 Váz - falszerkezet közelítő méretezésének elmélete

Falak és keretek esetén a falak nagy merevségű oszlopokkal helyettesíthetők. A fal inerciájával és keresztmetszeti területével azonos keresztmetszetű oszlop tengelye a fal tengelyével azonos, a falak, illetve a fal és a többi szerkezet közötti kapcsolat modellezésére szintenként merev rudakat kell beiktatni. Ez biztosítja a fal szélein keletkező függőleges elmozdulások a tényleges szerkezeten és a modellen hasonlóak legyenek.



6. ábra. Kerettel közelített számítás modellje
[Kiss R. 2007]

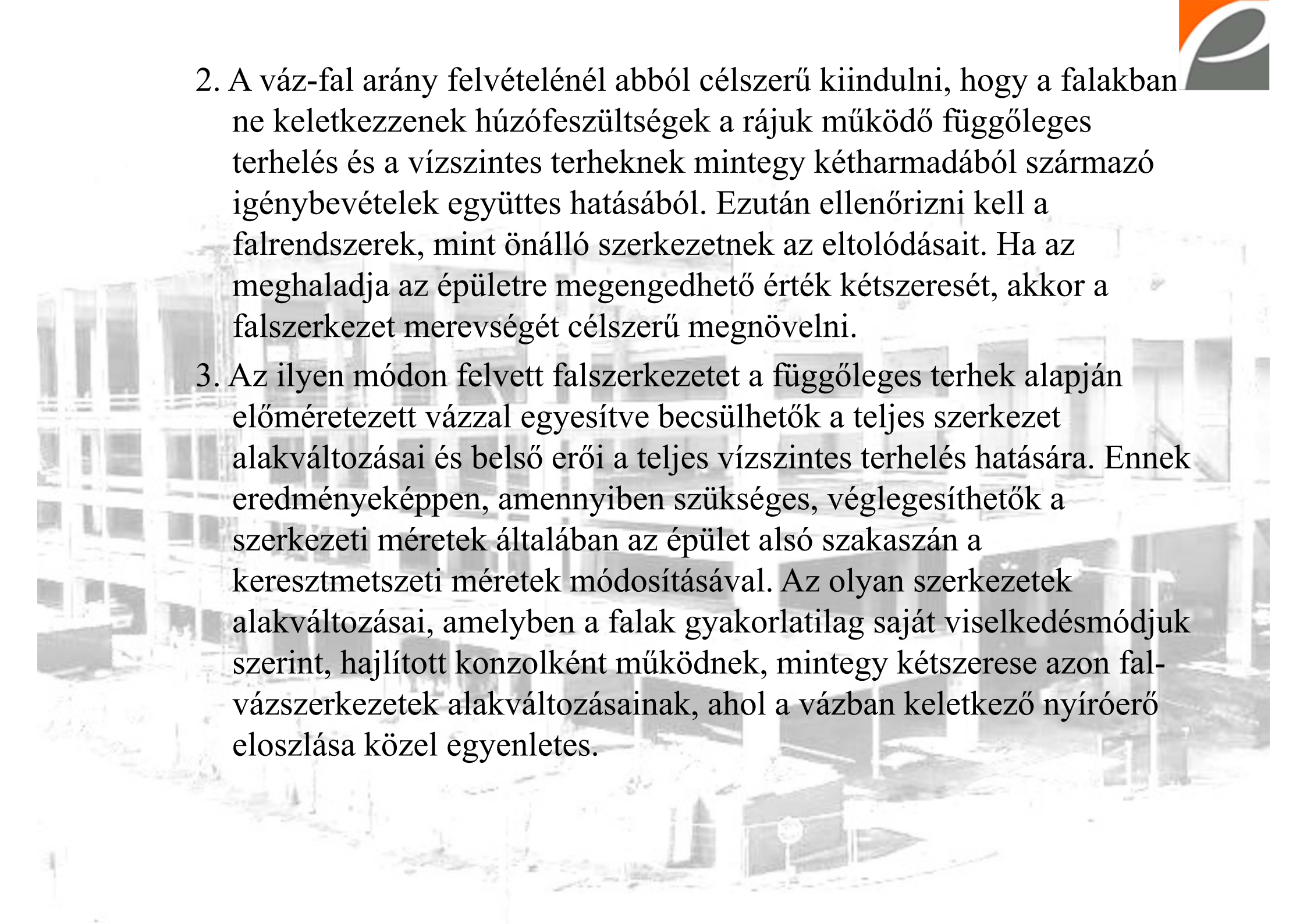

2.3 Váz és falszerkezet pontos számítása

A fallal együttműködő vázszerkezetek pontos számítására a végeelem módszerek a legalkalmasabbak. A falakat héj vagy membrán elemmel, a keretet rúdelemekkel célszerű méretezni.

Az el nem csavarodó váz-falszerkezetek analitikus vizsgálata, amellyel a keletkező igénybevételek megfelelő pontossággal meghatározhatók, egyre ritkábban kerülnek alkalmazásra.

Néhány megjegyzés a váz-falszerkezetek méretezésével kapcsolatban:

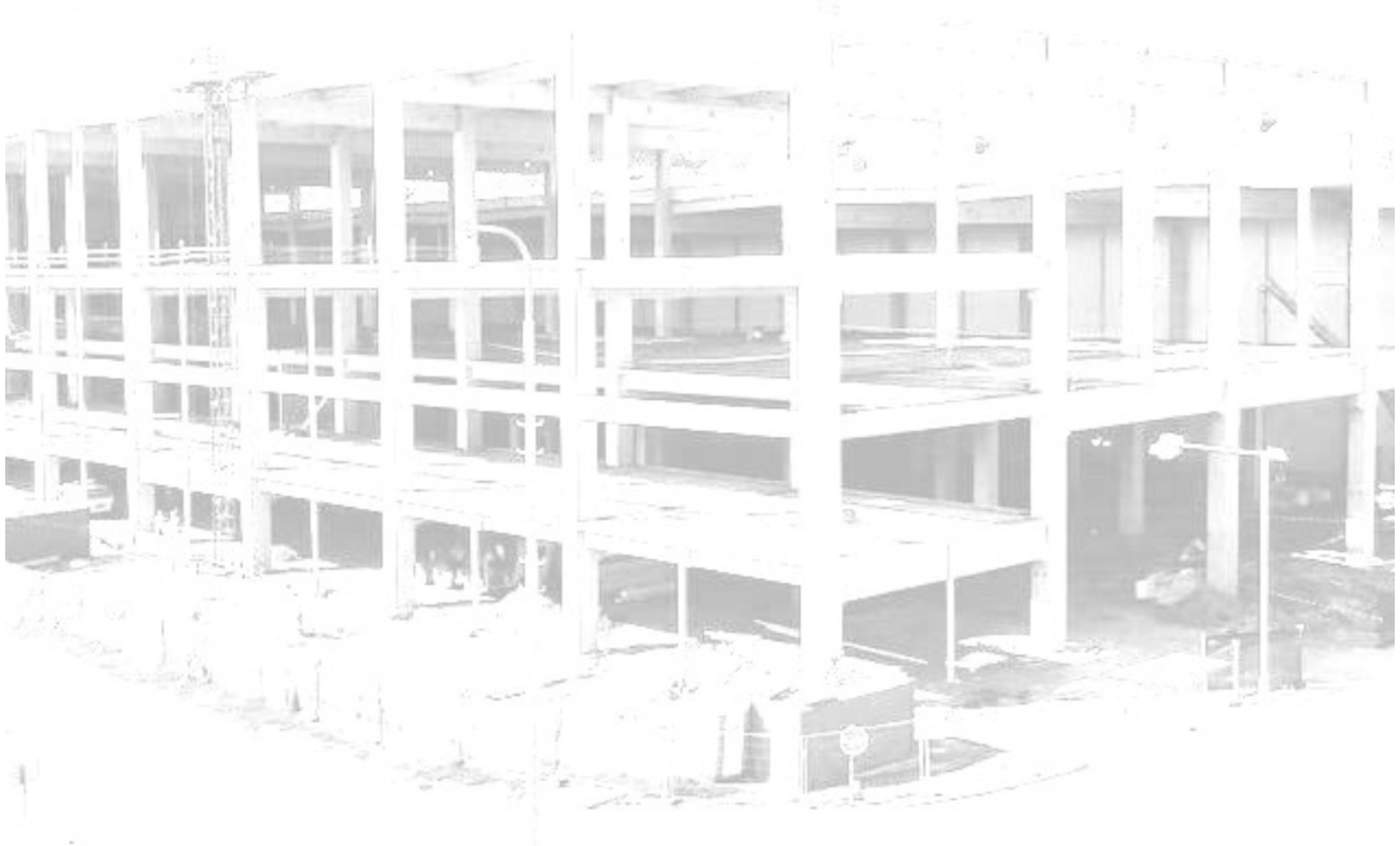
1. Egy adott épületen belül a fal, illetve vázszerkezet arányát úgy célszerű megválasztani, hogy a kétféle szerkezeti elem egymásra hatása optimális legyen. Nem csak az a cél, hogy a szerkezet eltolódásai és a fal nyomatékai minél kisebbek legyenek, hanem az is, hogy a nyíróerő eloszlása a vázban legyen lehetőleg egyenletes. Ekkor a vízszintes szerkezeti elemek méretezése és kialakítása a teljes épületen közel azonos lehet.

- 
- 
2. A váz-fal arány felvételénél abból célszerű kiindulni, hogy a falakban ne keletkezzenek húzófeszültségek a rájuk működő függőleges terhelés és a vízszintes terheknek mintegy kétharmadából származó igénybevételek együttes hatásából. Ezután ellenőrizni kell a falrendszerek, mint önálló szerkezetnek az eltolódásait. Ha az meghaladja az épületre megengedhető érték kétszeresét, akkor a falszerkezet merevségét célszerű megnövelni.
 3. Az ilyen módon felvett falszerkezetet a függőleges terhek alapján előméretezett vázzal egyesítve becsülhetők a teljes szerkezet alakváltozásai és belső erői a teljes vízszintes terhelés hatására. Ennek eredményeképpen, amennyiben szükséges, véglegesíthetők a szerkezeti méretek általában az épület alsó szakaszán a keresztmetszeti méretek módosításával. Az olyan szerkezetek alakváltozásai, amelyben a falak gyakorlatilag saját viselkedés módjuk szerint, hajlított konzolként működnek, mintegy kétszerese azon fal-vázszerkezetek alakváltozásainak, ahol a vázban keletkező nyíróerő eloszlása közel egyenletes.



4. Egy bizonyos magasság fölött gyakran célszerű lehet egyes falak keresztmetszetét csökkenteni, vagy teljesen elhagyni. Az állandó keresztmetszetű váz-falszerkezet viselkedésének elemzése alapján belátható, ha a fal keresztmetszetét a deformációs vonal inflexiós pontja fölött csökkentjük, akkor a váz nyomatéka csökken, ha pedig a csökkentést a $d^3y/dz^3=0$ pont fölött hajtjuk végre, akkor a vázban egyidejűleg a nyíróerő is csökken. Következésképpen az ilyen módon végrehajtott keresztmetszet csökkentésnek a szerkezet alakváltozásaira nincs jelentős hatása, sőt esetenként a maximális eltolódás kismértékű csökkenését is eredményezheti.
5. A tetőszinten a fal és a váz között keletkező QH kapcsolati erő növelésével a szerkezet tetőponti eltolódása, azonos vízszintes terhek hatására, jelentősen, akár 30%-kal is csökkenthető. A QH koncentrált kapcsolati erő a szerkezet (GA) nyírési merevségétől és a $z=H$ helyen keletkező dy/dz hajlítástól függ. A kapcsolati erő igen egyszerűen növelhető a váz nyírési merevségének növelésével az épület tetőpontjához közeli szinteken. Ez vagy a váz felső szintjein lévő gerendák és oszlopok inerciáinak növelésével, vagy az épület felső szintjén alkalmazott vasbeton diafragmákkal érhető el.

A helyi nagy koncentrált igénybevételek miatt igen nagy gondot kell fordítani a tetőszint közelében a váz elemeinek és a kapcsoló szerkezetek méretezésére.



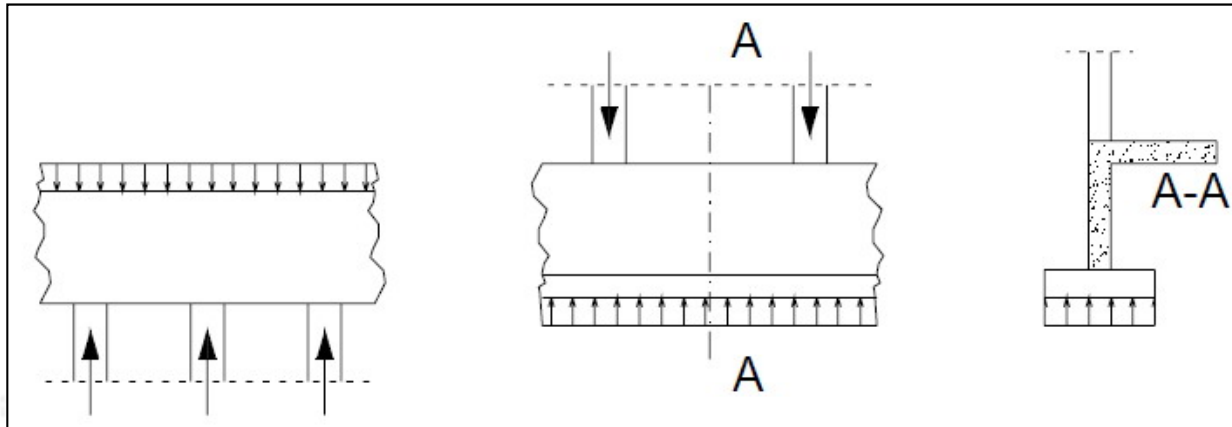


3. Vasbeton faltartók

A középfelületük síkjában terhelt lemezeket faltartóknak nevezzük. Gyakorlatilag az ilyen szerkezet a gerendákhoz hasonló funkciót töltenek be abban az értelemben, hogy a terheiket diszkrét támaszokra közvetítik. A gerendák viselkedésétől alapvetően abban különböznek, hogy a faltartók magasság-fesztávolság aránya nagy. Faltartónak általában azokat a szerkezeteket nevezik, ahol a h/l arány 0,5-nél nagyobb. A magasság mentén lineáris feszültségeloszlás (Bernoulli-Navier hipotézis) szigorúan véve $h/l > 1$ érték fölött nem érvényes, ezért a faltartók méretezését a gerendáktól eltérő módon kell elvégezni.

Faltartókat a leggyakrabban a következő esetekben alkalmaznak:

- a teherviselő rendszer függőleges értelmű megváltozásakor, pl. oszlopokra támaszkodó falak, vagy fordítva, alagsori falra támaszkodó oszlopok esetén,
- silók, bunkerek falainál,
- vízszintes erőkkel terhelt épület merevítő falak esetén.

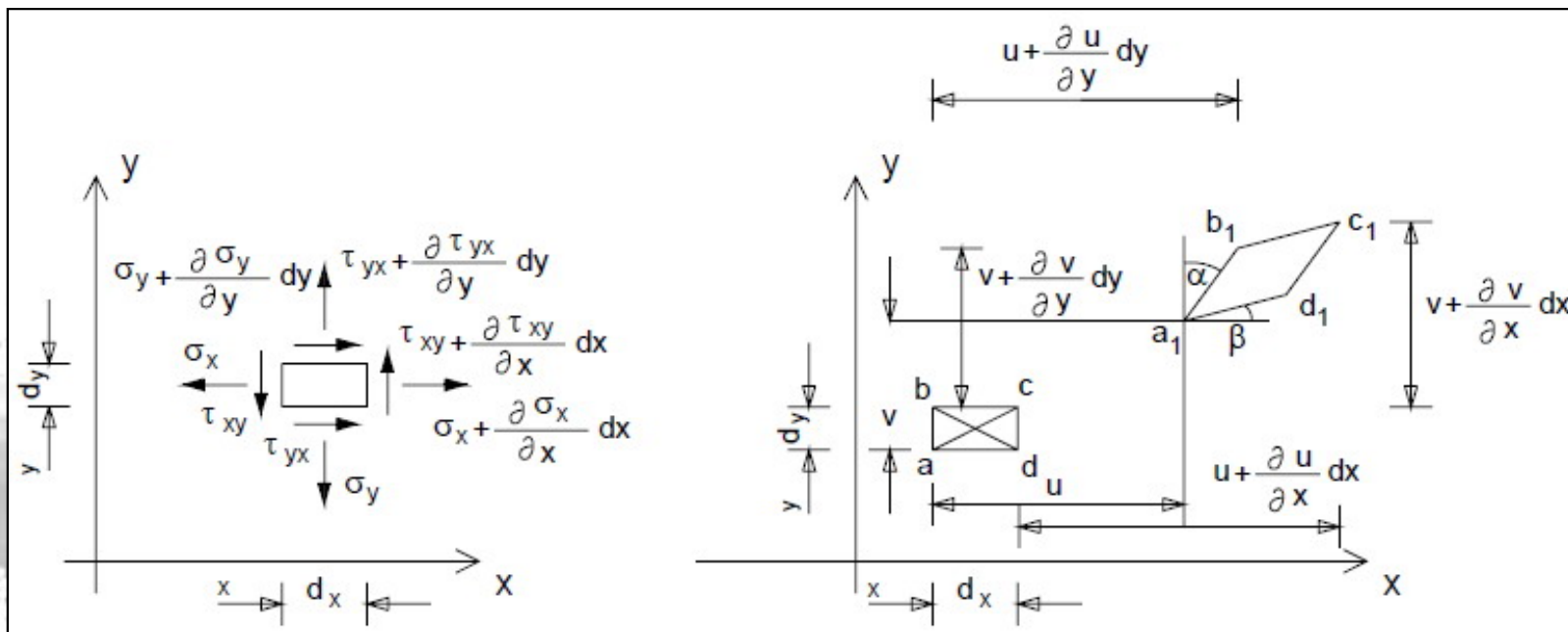


7. ábra. Faltartók kialakítása [Kiss R. 2007]

A vasbeton faltartók méretezése rugalmas, vagy képlékeny számítási módszerekkel végezhető.

3.1 A rugalmas méretezés alapjai

A vasbeton faltartók rugalmasságtan szerinti méretezését a rugalmas tárcsaelmélet alapján lehet elvégezni. Ez szigorúan véve csak repedésmentes szerkezetek esetében érvényes.



8. ábra. Rugalmas méretezés [Kiss R. 2007]

A rugalmas elmélet egyenletei:

Fizikai egyenletek:

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x - \mu \sigma_y}{E}$$

$$\varepsilon_y = \frac{\sigma_y - \mu \sigma_x}{E}$$

$$\gamma_{xy} = \gamma_{yx} = \frac{\tau_{xy}}{G}$$



Geometriai egyenletek:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}$$

$$\varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}$$

$$\gamma_{xy} = \gamma_{yx} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}$$

Összeférhetőségi feltétel:

$$\frac{\partial \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial \varepsilon_y}{\partial x^2} = \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial x \partial y}$$

Egyensúlyi egyenlet (x és y irányú vetületi egyensúlyból):

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} = q$$



Feszültségfüggvény bevezetése:

Az összeférhetőségi feltételbe a fizikai egyenleteket behelyettesítve

$$\frac{\partial^2(\sigma_x - \mu\sigma_y)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2(\sigma_y - \mu\sigma_x)}{\partial x^2} = 1(1 + \mu) \frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial x \partial y}$$

Az egyensúlyi egyenletek x , illetve y szerint deriválva és összeadva

$$\frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial y^2} = 0$$

A $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ Laplace operátorral a Lévy-féle egyenletet kapjuk

$$\Delta(\sigma_x + \sigma_y) = 0$$

Az $F(x,y)$ feszültség függvény definíciója

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 F}{\partial y^2}$$

$$\sigma_y = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2}$$

$$\tau_{xy} = \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y}$$



A Lévy-féle egyenlet az alábbi alakban írható fel:

$$\frac{\partial^4 F}{\partial y^4} + 2 \frac{\partial^4 F}{\partial x^2 + \partial y^2} + \frac{\partial^4 F}{\partial x^4} = 0$$

A negyedrendű homogén parciális differenciálegyenlet megoldása, a feladatnak megfelelő kerületi feltételek mellett, az $F(x,y)$ Airy-féle feszültségfüggvényt adja, melyből az előzőek szerint a feszültségek meghatározhatók.

A kerületi feltételek a t vastagságú tárcsa peremén ható X és Y terhekből $p_x = X/t$ és $p_y = Y/t$ alapján

$$p_x = \sigma_x \cos\alpha + \tau_{xy} \sin\alpha$$

$$p_y = \sigma_y \sin\alpha + \tau_{xy} \cos\alpha$$

ahol:

$$\cos\alpha = \frac{dy}{ds}$$

$$\sin\alpha = \frac{dx}{ds}$$

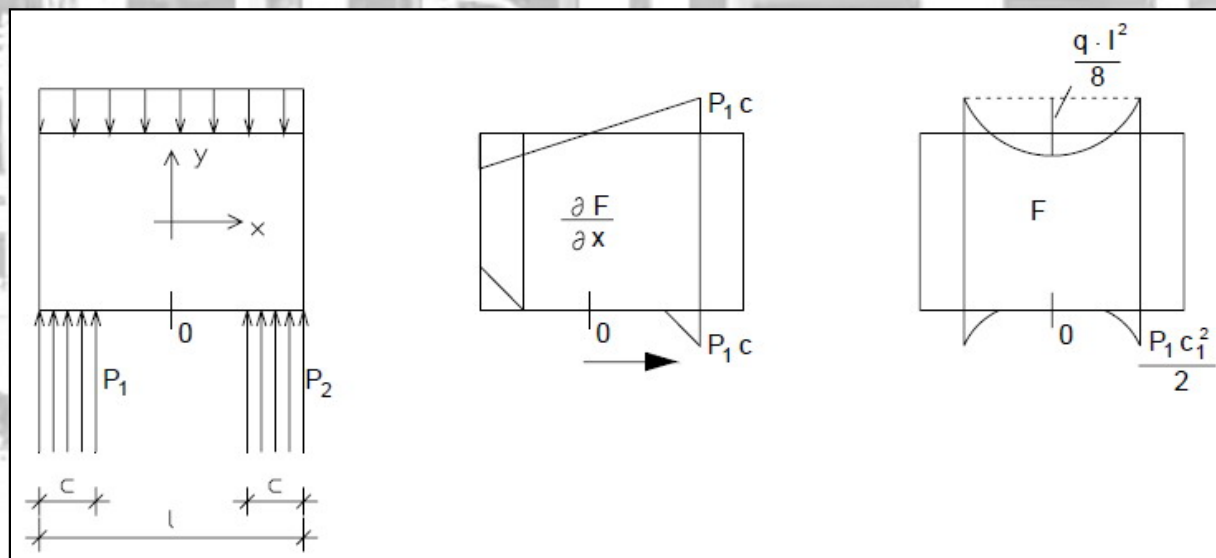


A feszültségfüggvényre felírva a kerületi feltételek

$$\frac{\partial F}{\partial n} = \frac{Qt}{t}$$

$$F = \frac{M_s}{t}$$

alakban írhatók, ahol Q_l a koordináta-rendszer 0 kezdőpontjától a peremen lévő erők t irányú vetületösszege M_s pedig az s pontra vonatkozó nyomatéka, például a következő ábra szerint

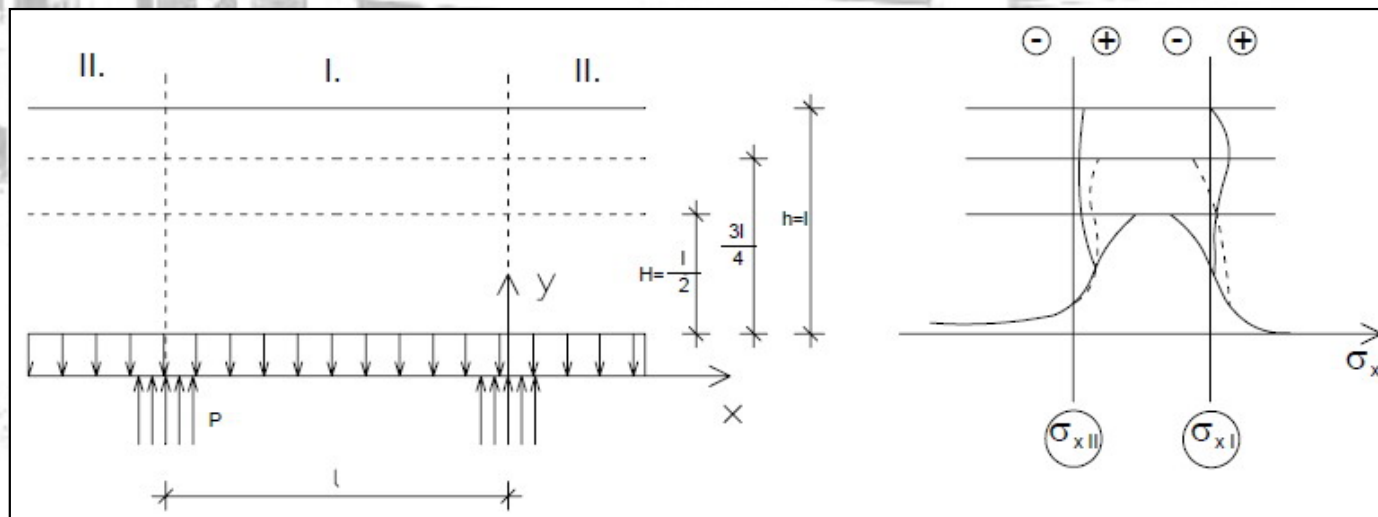


9. ábra. Faltartók igénybevételei [Kiss R. 2007]

A differenciálegyenlet megoldása zárt alakban csak néhány speciális esetben állítható elő. Leggyakrabban végtelen sor alakjában írható fel. Például végtelen hosszú faltartó esetén a feszültségek változása a terhek sorbafejtése után,

$$p(x) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos \frac{n\pi}{l} x \quad n = 1, 2, 3$$

felhasználásával az $F(x, y)$ feszültségfüggvény, majd ennek deriválása után a σ_x , σ_y és τ_{xy} feszültségek sor alakban előállíthatók. Különböző h/L arányok esetén a σ_x normálfeszültségek változását mutatja az ábra. Látható, hogy a lineáris feszültségeloszlás már $h/L = 0,5$ esetén sem igazolódik a támaszok felett.



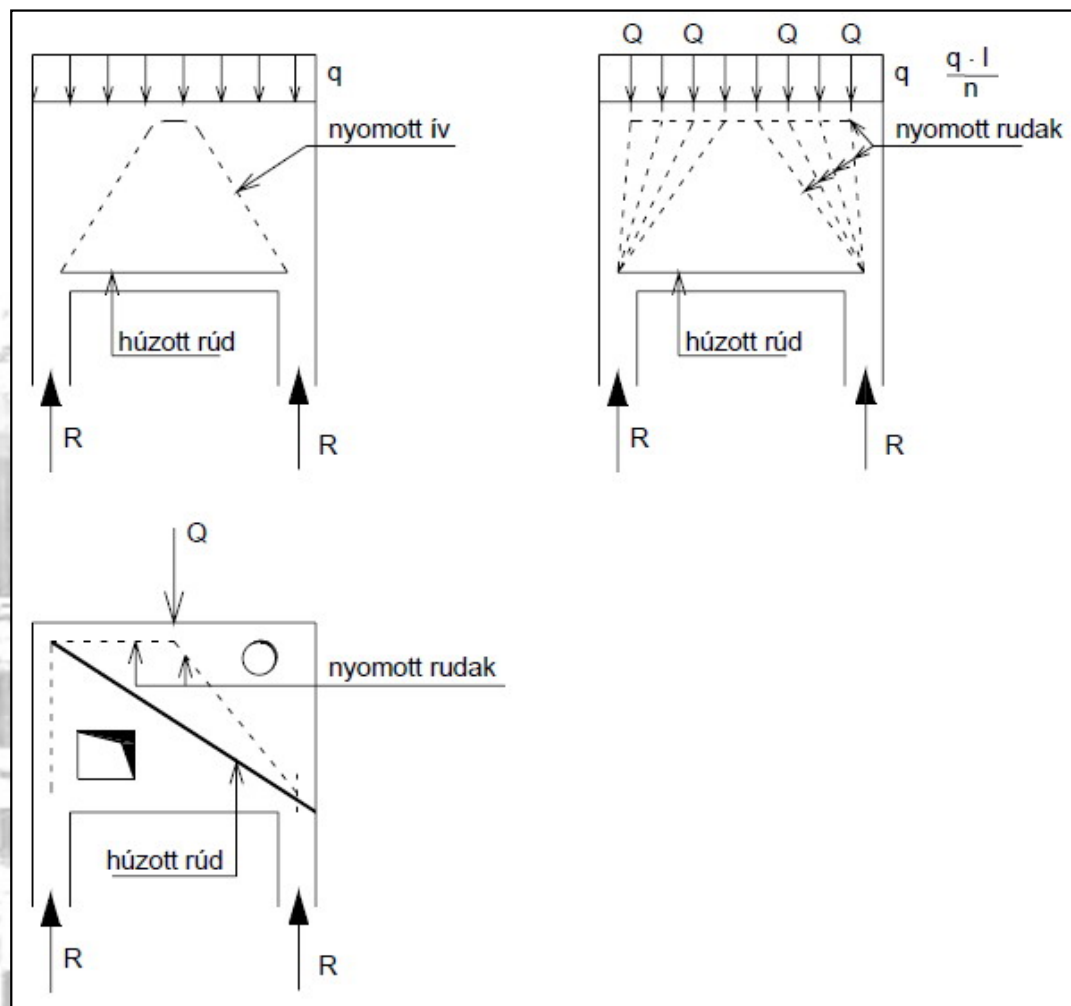
10. ábra. Feszültség eloszlás a magasság mentén [Kiss R. 2007]



A feszültségi ábrák eredőjéből a betonban keletkező húzóerő és ennek alapján a szükséges vasalás megállapítható. Ez a módszer elsősorban repedésmentes faltartók esetén alkalmazható. A feszültségek eloszlásának és a betonban keletkező húzóerőknek a meghatározására táblázatokat dolgoztak ki.


3.2 Képlékeny méretezés

A faltartók képlékeny méretezését a gyakorlatban igen gyakran alkalmazzák. Ennek oka, hogy még bonyolult kialakítású szerkezetek esetén is egyszerűen és gyorsan eredményre vezet. A faltartók képlékeny vizsgálata a statikai módszerrel végezhető előnyösen. Ennek alapelve, hogy olyan belső erőrendszerrel kell egyensúlyozni a külső terheket, amely kielégíti az egyensúlyi és a kerületi feltételeket. Egy ilyen erőrendszer meghatározása a szerkezet nyomott és húzott rúdelemekkel való helyettesítésével végezhető az alábbi példák szerint.



11. ábra. Képlékeny méretezés [Kiss R. 2007]

A modellt lehetőleg minél merevebbre kell választani, egyrészt a gazdaságosabb vasalás, másrészt használati állapotban a megfelelő viselkedés biztosítására. A modell segítségével a faltartóban szükséges húzott vasalás nagyon egyszerűen meghatározható a húzott rudakban keletkező húzóerő alapján,


$$A_{s,\text{szüks}} = \frac{H_{\text{Ed}}}{f_{\text{yd}}}$$

ahol: H_{Ed} – a húzott rúdban keletkező mértékadó húzóerő;
 f_{yd} – az acél határszilárdságának tervezési értéke.

A nyomott betonrudakban keletkező normálerő ellenőrzése jóval bizonytalanabb feladat és csak megfelelő óvatossággal végezhető. A nyomott rudakban keletkező nyomófeszültség megfelel, ha a

$$f_{\text{c}} = \frac{N_{\text{Ed}}}{bt} \leq f_{\text{c max}}$$


összefüggés teljesül.

ahol: N_{Ed} – a nyomott rúdban keletkező mértékadó normálerő;

t – a faltartó vastagsága;

b – a nyomott rúd szélessége;

$f_{\text{c max}} = f_{\text{cd}}$ – ha keresztirányú húzás nincs, vagy ha megfelelő keresztirányú vasalás (abroncs hatás) van a faltartóban;



$f_{c \max} = 0,5 f_{cd}$, – ha keresztirányú húzás van és a faltartó nincs ellátva megfelelő abroncsolással (ez az általános eset).

A faltartó alsó szakaszán működő erő esetén gondoskodni kell annak felkötéséről. Az acélbetéteket megfelelően le kell horgonyozni. Az erőbevezetési helyek és támaszok vasalását különös gondossággal kell kialakítani (szerkesztési szabályok).

A túlzott mértékű repedések elkerülése érdekében célszerű a húzott vasakat a rugalmas elmélet szerint meghatározható húzott zónában szétosztani. A kevésbé igénybevett szakaszon egyenletesen elosztott minimális vasalást kell alkalmazni, amely alkalmas a húzott beton által felvehető húzóerő egyensúlyozására. A faltartók vastagsága a megfelelő betonozhatóság érdekében ne legyen 150 mm-nél kisebb.



Felhasznált irodalom

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

