



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Építészmérnöki Kar
Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék
1111 Budapest, Mogyeytem rakpart 3. K.II.42.

Dr.Matuscsák Tamás

A tartószerkezet tervezés alapjai

Jegyzet építészmérnök hallgatók részére

2004.

Oktatási célra

Tartalom

A tartószerkezetek feladata	1
A tartószerkezet tervező szerepe	1
A tartószerkezet-tervezés lépései	3
A szerkezettervezés néhány elméleti kérdései:	
Az anyagválasztás	4
Az igénybevételek és a statikai modell összefüggése	4
A támaszköz szerepe	5
A tartószerkezetet érő hatások	6
Statikai modell felvétele	10
A leggyakoribb egyszerűsítő feltételezések	10
A terhek számításáról	11
Szám példa	11
A tartószerkezetek osztályozása:	
A tartószerkezet szerepe szerint	12
A tartószerkezetek anyaga szerint	13
Síkbeli és térbeli tartószerkezetek	13
A főtengelyről fellépő igénybevétel szerint	14
Statikailag határozott és határozatlan szerkezetek	14
Egy- és kétirányban teherhordó szerkezetek	15
A tartószerkezetek alakja alapján	16
A különböző osztályozások összevetése	17
Az épület állékonysága:	
A merev test állékonysága	18
A vízszintes erők hatása a merev vázra	19
A függőleges erők hatása a merev vázra	20
Szám példa	20
A függőleges és vízszintes erők együttes hatása	20
Az épület térbeli merevsége:	
Merevített tartóvázak kialakítása	21
Függőleges síkú merev tartószerkezetek	22
A merevítételek cél szerinti elhelyezése	23
A vízszintes erők elosztása a merevítő elemek között	24
Többszintes épülettípusok osztályozása:	
Az „alapvető” tartószerkezeti elemek	26
A tartószerkezeti rendszerek osztályozása	26
Keretvázak:	
Keretvázás épületek térbeli merevsége	28
Keretvázak szintmagasságú tartókkal	28
Emeletes keret közelfő számítása függőleges teherre	31
Szám példa	34
Emeletes keret közelfő számítása vízszintes teherre	32
A „portál-módszer”	33
Szám példa	34
Az „összekapcsolt falakonozolók” módszere	39
Szakirodalom	39

A tartószerkezetek feladata

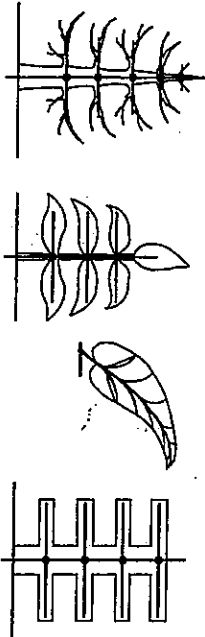
Az épületeinkre ható erőket a teherordó szerkezetek vagy más néven a tartószerkezetek veszik fel, illetve közvetítik a talajra. Célunk olyan épület létrehozása, amely egésze vagy egyes tartószerkezeti elemei a várható terhek hatására nem mozdulnak el, nem folódnak és nem fordulhatnak el, nem lép fel törés, jelentősebb alakváltozás, vagy repedés.

Az egész épület szempontjából alapvető követelmény, hogy megőrizze egyensúlyát.

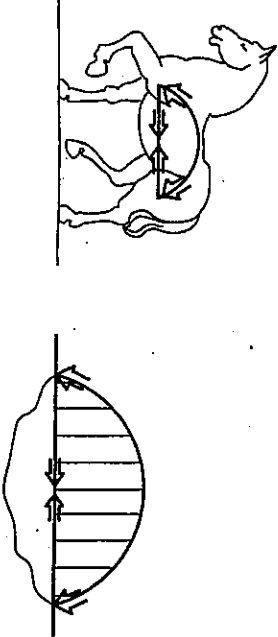
Minden épület célja valamilyen társadalmi vagy egyéni igény kielégítése és ez inspirálja mesterséges környezetünk létrehozását.

Az építési feladatban megfogalmazott igények sokféleképpen lehetnek: vonatkozhatnak helyszükségletre, forgalomra, épületfizikai követelményekre, költségekre stb. de szerepelhetnek számszerűen nem jellemezhető eszmei, esztétikai igények is.

A tartószerkezettel szemben támasztott igények általában csak burkoltan szerepelnek az építési feladat megfogalmazásában, pl. bizonyos feszítív vagy téri igény formájában. Külön kiemelés nélkül is minden épülettel szembeni természetes igény, hogy megfelelő tartószerkezetekkel rendelkezzen: az épület ne dőljön össze, ne változtassa alakját, ne repedezzen meg. Az építési tevékenység egyik alapvető feladata statikai: biztosítani a nehézségi erő és a meteorológia terhek (hó, szél) felvételét, a védett tér kialakítását. Nyilvánvaló, hogy bár más a tartószerkezet jelentősége egy családi ház és más egy magasház vagy nagyméretű csarnok esetén, az épület megjelölésében, használhatóságában mindenképpen meghatározó szerepe van.



A természetből vett analógia szerint az épület tartószerkezetének feladata az emberi csontváz vagy a növényi váz szerepével egyezik meg. [2]



ábra – Tartószerkezetek a természetben

Amint ezt az előzőekben is kiemeltük a tartószerkezetek feladata önsúlyának és valamilyen reá ható teher átadása a talajra. Az épület teljes felállása alatt el kell látnia feladatát és folyamatosan biztosítani kell a karbantartás, ál-

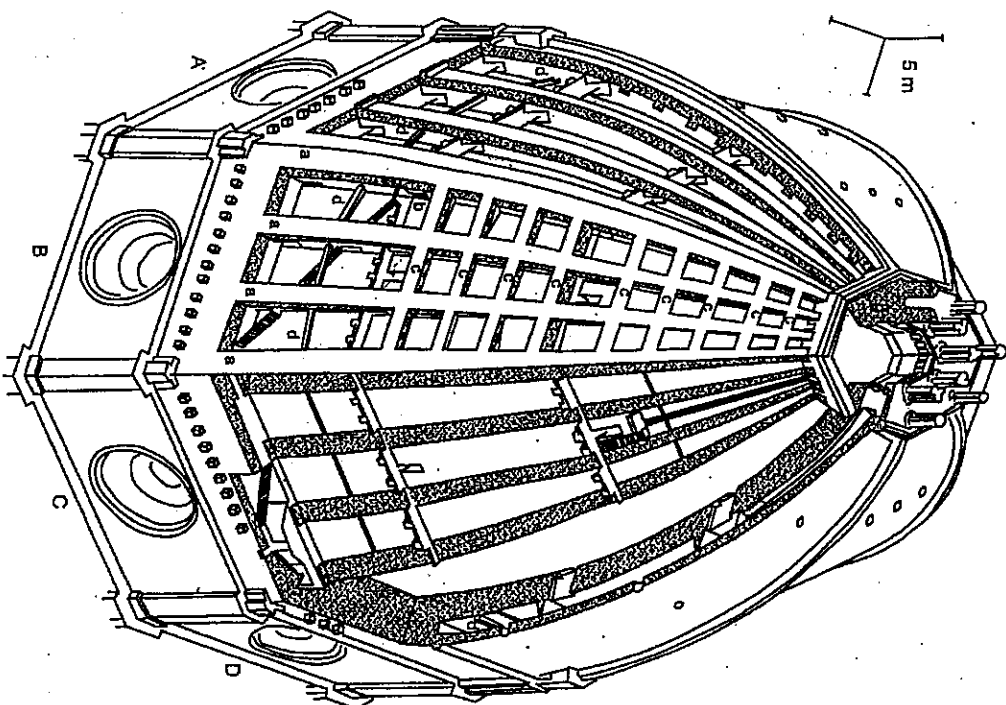
lagvédelem, valamint a felújítás és az esetleges átalakítások lehetőségét.

A legutóbbi évek tapasztalatai nyomakékosan felhívják a figyelmet arra, hogy az épület fennmaradásának idején bekövetkező változások miatt fokozott lehetőséget kell adni a tervezési és használati flexibilitásra.

A tartószerkezet tervező szerepe

Az építéstörténet során évszázadokon át egyetlen ember – az építész – kezében volt letéve az épületek tervezésének teljes feladata és legfőbbször a kivitelezés vezetése is.

Így az eltérő „szakágak” között eleve nem éleződhetnek ki súlyosabb ellentmondások



ábra – Firenze: St. Maria del Fiore

A növekvő tudásanyag a XIX. század végén kikényszerítette az egységes építő-mesterség több ágra bontását, a technikai fejlődés újabb és újabb specialisták bevonását kívánta meg.

A mai tervezési gyakorlatban a statikus tartószerkezet tervező a tartószerkezeti tervet készíti el.

A specialista, így a statikusok is általában a feladatot elsősorban saját szakterületük szempontjából nézik, esetenként elhanyagolva az épület egységét.

Ez a kényszerű feladatmegosztás rossz együttműködés esetén pusztán az építésztervező által megadott szerkezet keresztmetszeteinek „gépies” méretezését jelentheti, nem a szerkezet közös kialakítását.

Tartószerkezettervezés alatt a problémák eltérő szempontok alapján, de közösen történő megközelítést értjük, melynek eredménye az épület funkcióját, formáját tökéletesen szolgáló szerkezet.

Egyes esetekben pl. nagyszíriárvolságú csarnokok, magasházak esetén a tartószerkezet kialakítása meghatározó, más esetekben kisebb szerepe van.

Úgy fogalmazhatunk, hogy a szerkezettervezés feladata az építési programban megfogalmazott igényeket jól teljesítő, de a lehető legkisebb ráfordítással megvalósítható tartószerkezet meghatározása – a komplex optimalizáció alapján.

A fenti gondolatmenetből két fontos megállapítás szűrhető le:

- Az építésztervezéstől, a szerkezettervezés nem választható el, mert ez a tervezési folyamat egyik – az építési feladat jellegétől függően – többé vagy kevésbé hangsúlyos része,
- A tartószerkezet sem félhető meg elszigetelten csak statikai szempontok alapján.

Az épület létrehozatalának legfontosabb lépéseit a

Ebből kiemelendő, hogy a tartószerkezetek szempontjából az alapvető feladat: a szerkezet kiválasztása és anyagának, méreteinek közelebb meghatározása az engedélyezési terv szakaszában jelentkezik. A kivitelezési tervezés során is fontos feladatokat kell megoldani, de általában azok már a kiválasztásból következnek – a célunk nem megfelelő szerkezet pontos számítása és gondos részlelmegoldásai is csak felemás eredményhez vezethetnek.

Az erre irányuló tervezői munka nagyon széleskörű és alapos tárgyi ismereteket, ugyanakkor sok invenciót igényel. Joggal mondta E. Torroja: „A szerkezettervezés több mint tudomány és technika: sok köze van a művészethez, a józan gondolkodáshoz, az érzékhez, a teljességhez, a

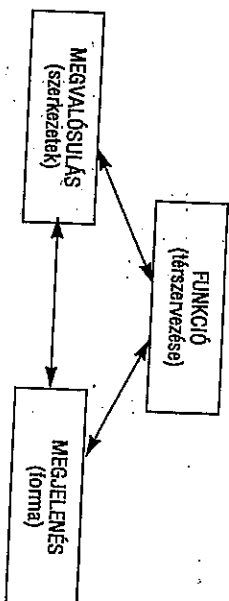
nagyvonalakban való alkotáshoz. A tudományos számítás csak a végső simítást adja, igazolva azt, hogy a szerkezet egészséges és a követelményeknek megfelelő erősségű.”* [7]

A tervezési folyamatban a szerkezet kiválasztás helye a vázlat, illetve engedélytervek készítésekor történik. Itt dől el a szerkezet alapvető rendszere és itt kell választ kapni arra a kérdésre, hogy a vázolt szerkezet gazdaságosan megoldható-e.

Ebben a munkában az építész és szerkezettervező összehangolt munkája elengedhetetlen.

Az épületeinket alapvetően meghatározó tényezőket három nagy területre sorolhatjuk:

- társadalmi igény: funkció
- megvalósulás: szerkezet
- megjelenés: forma



2. ábra – Az épület feladata

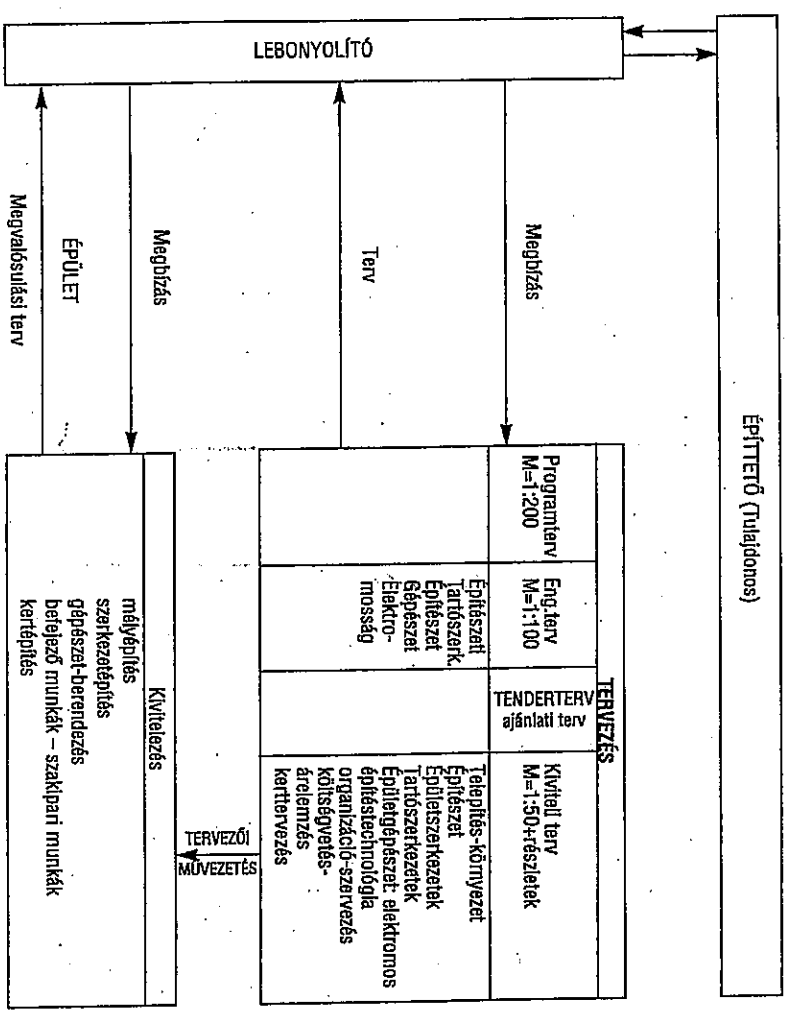
Bár ezek közül alapvető jelentőségű az első, a funkció (ami tágabban értelmezve nem más, mint az a cél, amiért az épületet létrehozzák), mindhárom tényező egymással a legszorosabb kölcsönhatásban van és igazán jó épületek csak a mindhárom szempontból egyaránt szilvonalas megoldás tekinthető.

* Az idézet dr. Peitkán József fordítása. [1]

A tartószerkezet-tervezés lépései

Az építési feladatok

I. táblázat



A tartószerkezet-tervezés lépései

II. táblázat

1.	A SZERKEZET KIVÁLÁSTÁSA	alak keresztmetszet anyag
2.	A STATIKAI MODELL FELVELE	a szerkezeti rendszer meghatározása elemekre bontás, kapcsolatok az elemek között számítása az elemek egymásra hatása
3.	HATÁSOK	állandó teher: önsúly, szerkezetsúly változó teher: hasznos teher, hó, szél technológiai teher rendkívüli teher éplés - szerelés - szállítás földrengés, robbanás hőhatás, egyenlőtlen süllyedés
4.	HATÁSOK KÖVETKEZMÉNYEI IGÉNYBEVÉTELI SZÁMÍTÁS	statikailag határozott szerkezetek esetén egyensúlyra egyenletekből statikailag határozatlan szerkezetek esetén rugalmas alapon (erő v. mozgásmód szer) képlekeny igénybevételei számítás igénybevételei ábrák
5.	KERESZTMETSZETEK TERVEZÉSE	hajlítás - nyírás - csavarás központos és külpontos nyomás szerkezeti szabályok
6.	ELLENŐRZÉS HASZNÁLATI ÁLLAPOTBAN	alakváltozás korlátozás repedéskorlátozás tűzállóság, korrozívvédelem
7.	STATIKUS TERVEK KÉSZÍTÉSE	szaluzási és vasalási tervek részlettervek, málérfások acél és idomacél kimutatások

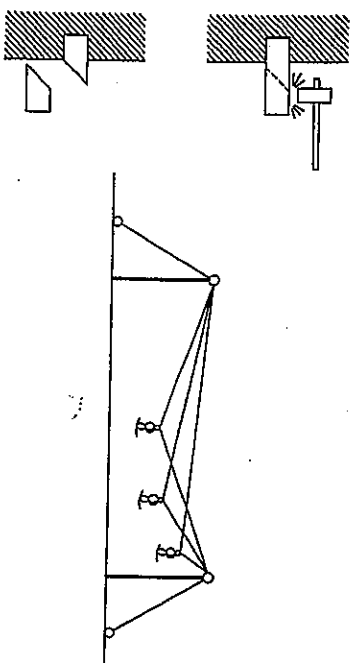
Az anyagválasztás

Minden szerkezettervezés a szerkezeti anyagának megválasztásával kezdődik. A döntés során egymásnak ellenmondó szempontokat kell mérlegelni, ezek közül emeljünk ki az alábbiakat:

- **szilárdság**, amelyet abszolút értéke mellett fajlagos értéke: az anyag egységnyi sílya által felvehető erő $\frac{F}{\lambda}$ értéke is jellemez.

Külön figyelmet kell fordítanunk az egyoszlártású anyagok alkalmazhatóságára.

A téglá és a kő, vagy a vasataltan beton lényegében csak nyomóerő felvételére alkalmas. A kőfél, ponyva vízszint nem alakítható, ezek csak húzóerőt tudnak felvenni.



Ábra - Húzó-, ill. nyomoszilárdság nélküli anyagok alkalmazása

- **szállítás**, az elkészítendő szerkezet teljes anyagát az építési helyére kell szállítani, az utak, esz-közök, a kontenerizálás lehetőségét is vizsgálni kell.
- **a kivitelező vállalat felkészültsége**, amely a rendelkezésre álló gépparkkal és a személyi képzettség szintjével együtt értéendő,
- **tűzállóság** - tűzvédelem, ez az igény különösen szorosan kötéződik az épület funkciójához,
- **karbantartás** - üzemeltetés lehet egy drágább szerkezet a kisebb karbantartási vagy üzemeltetési költségek miatt mégis gazdaságosabb.
- **átalakíthatóság** lehetősége, mely pl. meghatározó lehet egy technológiáját állandóan fejlesztő ipari üzemenél.

Az igénybevételek és a statikai modell összefüggés

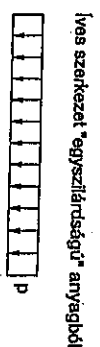
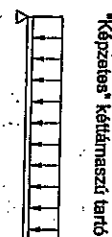
A tartószerkezetekben fellépő igénybevételek jellege és értéke alapvetően a terhektől és a statikai modellől függ.

A szerkezetre általában ható totális teher alapértékét „fő tehernek” (jellemező tehernek) tekintjük. Ezzel a teherrel terhelt különböző statikai modellel szerkezeteken eltérő jellegű igénybevételek lépnek fel. Ezt mutatja az ábra sor.

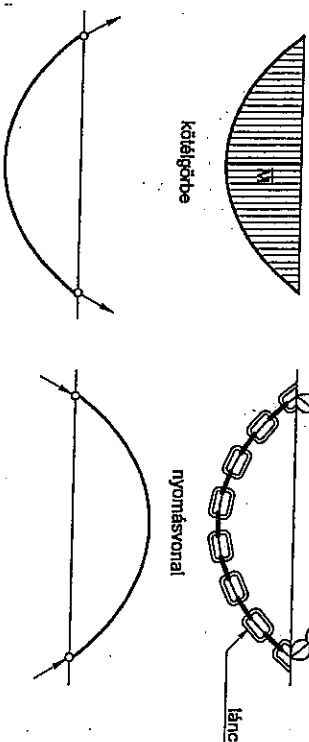
KÉTNYELVŰ TARTÓ	KERET	FÉLKÖRŰ	NYELVŰ TARTÓ	KÖTÉL
$A_y = \frac{pL}{2}; A_{y2} = 0$	$A_y = \frac{pL}{2}; A_{y2} = \frac{pL}{4}$	$A_y = \frac{pL}{2}; A_{y2} = \frac{pL}{4}$	$A_y = \frac{pL}{2}; A_{y2} = \frac{pL}{2} - \frac{pL}{4}$	$A_y = \frac{pL}{2}; A_{y2} = \frac{pL}{2}$

Ábra - Az igénybevételek alakulása különböző statikai modell esetén

Kiemelendő, hogy a „főteherre” nyomásvonal, illetve kötélgörbe alaktartó szerkezetekben csak nyomóerő, illetve húzóerő lép fel, azaz nyíróerő és hajlítónyomóerők nem.



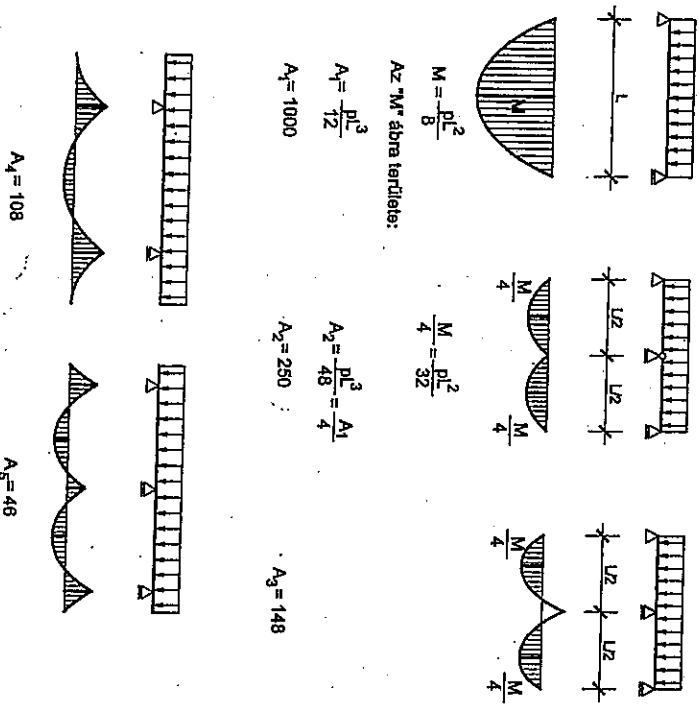
A statikai modell szempontjából lényeges még az egyes csomópontok csuklós vagy merev kialakítása, a kéttámaszú, vagy többtámaszú kialakítás, a konzolok alkalmazása, valamint az egy vagy kétfázisú teherhordás.



Ábra - Nyomásvonal, kötélgörbe

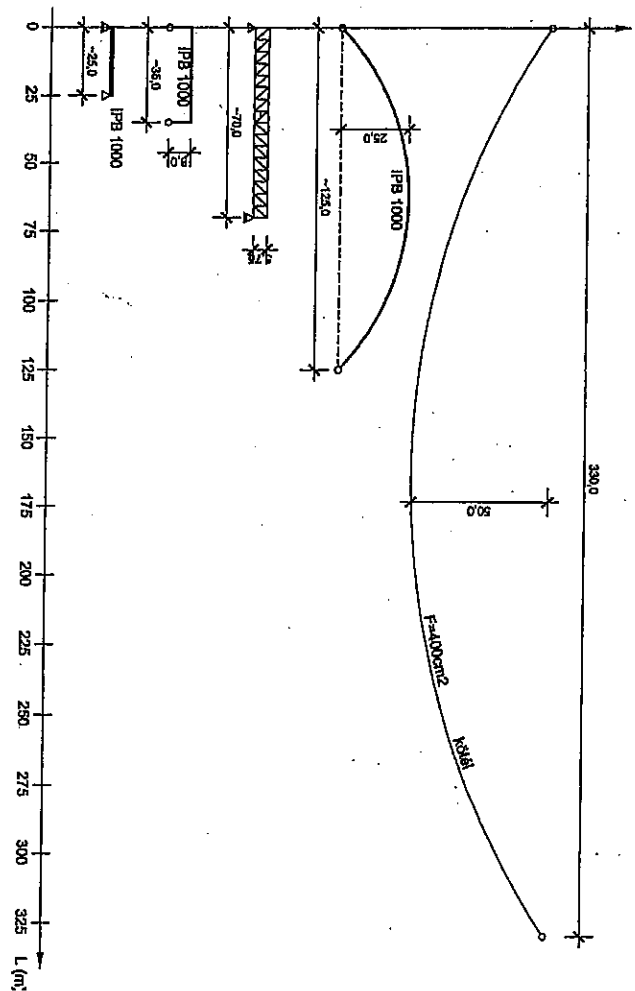
A támaszköz szerepe

Azonos statikai modellt és terhet feltételezve az igénybevételek a támaszköz növekedésével egyre nagyobb értéket vesznek fel pl. egyenletesen terhel, hajított szerkezeteknél a nyíróerő lineárisan, a nyomhatékkal négyzetesen növekednek:



ábra – Egyenesstengelyű tartók nyomhaték ábrájának területe a támaszköz függvényében

A statikai igénybevételek a statikai modellől függően változását és a támaszköz közötti összefüggést jól mutatja az ábra, ahol azonos anyagú, keresztmetszetű és terhelésű tartó különböző statikai modell alkalmazására vonatkozó vizsgálat eredményeit láthatjuk.



ábra – Azonos méretű, anyagú és terhelésű tartóól, vagy azzal azonos súlyú szelvényekből megépíthető szerkezetek támaszközének összehasonlítható statikai modell esetén

A vizsgálatban szereplő 1000 mm magasságú, az USA-ban szabványos melegen hengerelt acélszelvény 6,0 méterenkénti terőrtartóként való használhatóságát négyzetméterenkénti 3,0 kN/m² teher és 2,0 kN/m főrtató önsúly esetén számítható: $p=6 \cdot 3+2=20$ kN/m főteherre vizsgálták. [4]

A vizsgálat legfontosabb eredménye, hogy a nyírási és hajlítási szerkezetek sokkal kisebb mértékben érzékenyek a támaszközre, ezért alkalmazásuk az igénybevételek szempontjából lényegesen kedvezőbb, sokkal nagyobb támaszköz építhető ezekből a tartószerkezetekből.

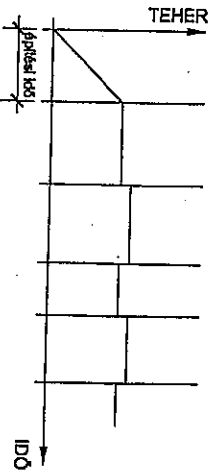
A tartószerkezeteket érő hatások

A hatások időbeli lefolyása

A tartószerkezeteket úgy kell megterveznünk, hogy azok kellő biztonsággal rendelkezzenek a rájuk ható terhekkel és hatásokkal szemben.

$k_{s,t} \cdot k_t$

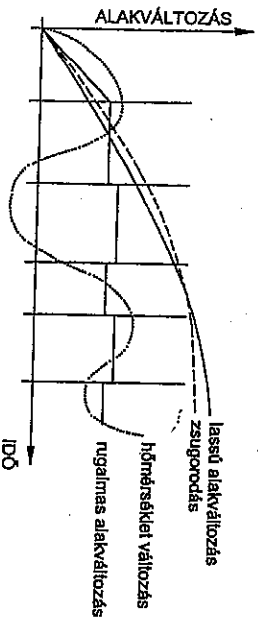
A terhelésszámításával a fejezet foglalkozik részletesen. E helyen azt szükséges aláhúzni, hogy a megfelelő teherbírási szerkezet nem az előírások gépies alkalmazását jelenti, hanem számos tényező figyelembevételével végezhető, rendkívül felelős szellemi munka. Így a tervezés során figyelmet kell fordítani a terhelésvárható alakulására, a szerkezet teljes élettartama alatt: a megvalósulástól az esetleges átalakításig, majd bontásig.



1. ábra - A terhelésváltozása az időben

A terhek mellett a legfontosabb hatás a hőmérsékletváltozás és az egyenlőtlen süllyedés. Ezek a hatások a szerkezet geometriáját változtatják meg, illetve azok meggyőződése esetén az egyes elemekben igénybevételek lépnek fel.

A szerkezettervezés során állandóan szem előtt kell tartanunk, hogy a tartószerkezetek a rájuk ható terhekkel és hatásokkal csak alakváltozások felleptével képesek hordani.

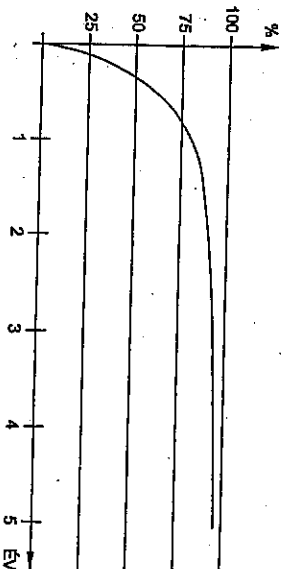


ábra - Az alakváltozások változása az időben

- a lassú alakváltozás jelentős része az építési idő után jelentkezik, de néhány év alatt eléri a teljes értékét, s utána már praktikusán állandónak tekinthető;
- legtöbb probléma a hőmérsékletváltozás hatásával lehet, mert ez állandóan újra és újra, teljes intenzitással jelentkezhet.

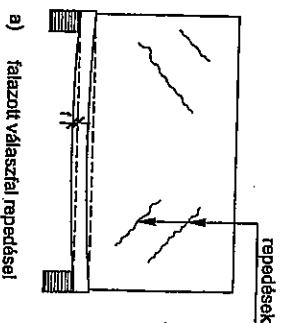
Lassú alakváltozás

A lassú alakváltozás legtöbb építőanyagunk jellegzetes tulajdonsága. Ez azt jelenti, hogy pl. minden beton, vasbeton és fa tartószerkezet alakváltozásai állandó terhelés mellett is egy ideig tovább nőnek. Egy átlagos minőségű és terhelésű betonhasáb lassú alakváltozásának változásait mutatja az ábra:

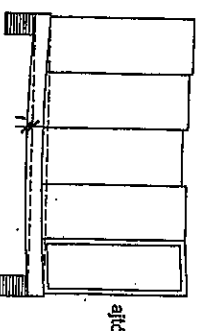


ábra - A betonhasáb lassú alakváltozásának időbeli lefolyása

Mivel a lassú alakváltozás ugyan arányosnak vehető a gyors, rugalmas alakváltozással, de végetérke annak többszöröse is lehet, már a szerkezettervezés koncepcionális részénél gondolni kell rá. Például ha egy vasbeton födémre válaszfalakat építünk, a födém rugalmas alakváltozása az építés ideje alatt lefájdósodik és így kevés gondot okozhat, de a lassú alakváltozás miatt - ami még évekig eltarthat - a falazott válaszfalakon később is repedés, a szerelt válaszfalakon torzulás léphet fel.



a) talajozott válaszfal repedései

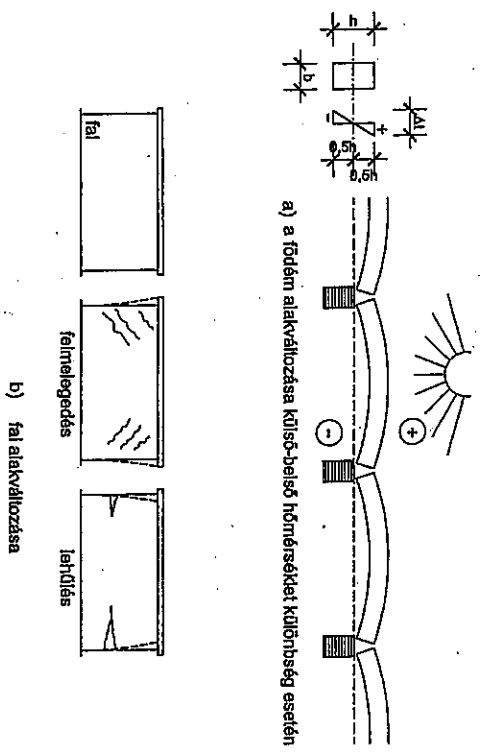


b) szerelt válaszfal torzulása

ábra - Lassú alakváltozás okozta károsodások

A hőmérsékletváltozás hatása

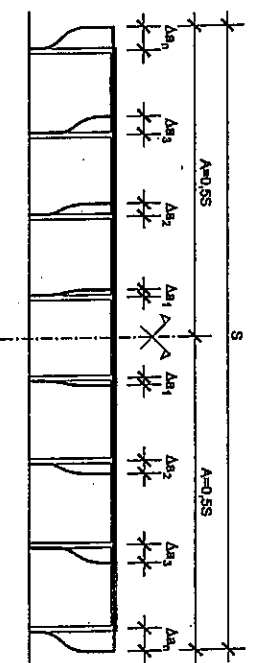
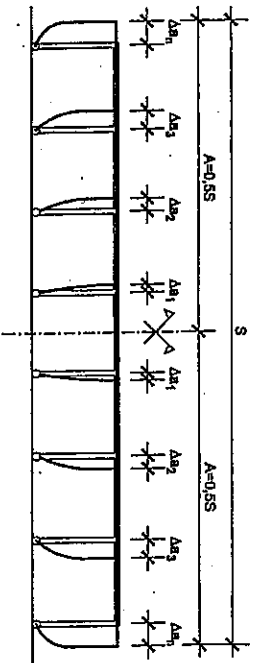
A hőmérsékletváltozás hatása függ a pillanatnyi külső és belső hőmérséklet-től és - döntő módon az építéskori hőmérséklettől. Hatására meggörbülhet a homlokzati fal, [a) ábra] vagy a tetőelemek. Hőmérsékletváltozás következtében létrejövő mozgás repedéseket okozhat az alátámasztó falakban is [b) ábra].



ábra - A hőmérsékletváltozás hatása

Hazánkban általában $\Delta t = 30^\circ\text{C}$ hőmérsékletváltozás vagy hőmérsékletkülönbség tételezhető fel. Ez $+10^\circ\text{C}$ építéskori hőmérséklet és nyáron $+40^\circ\text{C}$, télen -20°C hőmérséklet esetén lép fel. Ezt természetesen minden feladattól felül kell vizsgálnunk.

A szerkezet külső és belső oldala közötti hőmérsékletkülönbség következtében bekövetkező szögforgás: $\Delta\phi = \Delta t \cdot \gamma_{\max} \cdot \alpha$
 ahol γ_{\max} - a szélső szál ívolsága a súlyvonalatól; vasbeton esetén: $\alpha = 10^{-5}$



ábra - A függőleges oszlop eltolódása hőmérséklet hatására

A szerkezeten fellépő igénybevételek pl. Cross-módszerrel számíthatók. A számítás kiindulását jelentő kezdeti nyomatok csak az oszlopokon lépnek fel. A Δ_{at} elmozdulásból:

$$M_{ki} = \Delta a_i \cdot \mu_i$$

ahol μ_i az elmozdulás elleni merevség, amelynek értéke:

$$\text{egyik végén csuklós oszlop } \frac{6EI}{L^3}; \text{ mindkét végén befogott oszlop } \frac{12EI}{L^3}$$

A hőmérsékletváltozás hatására bekövetkező Δa_i hosszváltozást ($\Delta a_i = A \cdot \alpha \cdot \Delta t$) figyelembe kell vennünk pl. egy földszintes csarnok hosszirányú merevségét biztosító falának elhelyezésétől is.

Hőmérsékletváltozás legjellemzőbb hatása a csarnokszerkezetek tetőszerkezete vagy többszintes épületek tetőfödéménél tapasztalható, ahol a vízszintes elemek hosszváltozása $\Delta_{at} = \Delta t \cdot A \cdot \alpha$ a függőleges oszlopok, falak alakváltozását - vízszintes elmozdulását kivánja meg-

Ha a merevítés a csarnok egyik szélső hajójában kerül elhelyezésre! a) ábrán, akkor a szélső oszlopnál a fődémszerkezet elmozdulása praktikusán kétszerese lesz a közepen merevített csarnoknál (b) ábrán). A két szélen elhelyezett merevítés nem engedi létrejönni az elmozdulást, ekkor belső kényszer-erők lépnek fel. Ezeket a méretezésnél figyelembe kell venni.

Meg kell jegyezni, hogy a „c” megoldás, mely a hőmérsékletváltozás

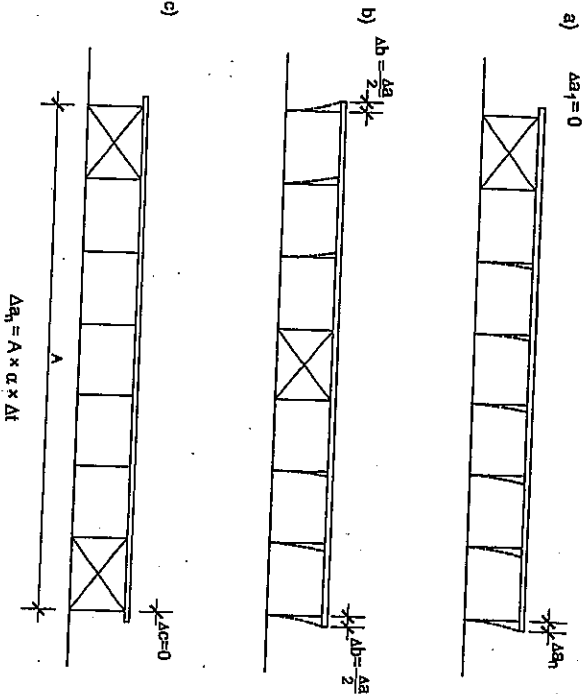
hatása szempontjából a leggyengébb, más szempontból – pl. szerelés – a legkedvezőbb. Ez is jelzi, hogy mi minden tervezésnél itt is a különböző igények ütközése és mérlegelése után kell kiválasztani az adott feladat esetében legjobb megoldást.

A bemutatott néhány példa mutatja, hogy milyen fontos a tartószerkezetek szempontjából is az épület hőszigetelésének gondos megoldása. Bár ennek megvalósítása csak a részlet-tervek készítésénél válik konkrét feladattá, a szigetelés elhelyezésének lehetőségére és a tartószerkezet hőszigetelésére, valamint az esetleges dilatációk helyének kijelölésére már a szerkezettervezés-kor gondolnunk kell.

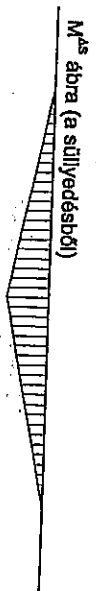
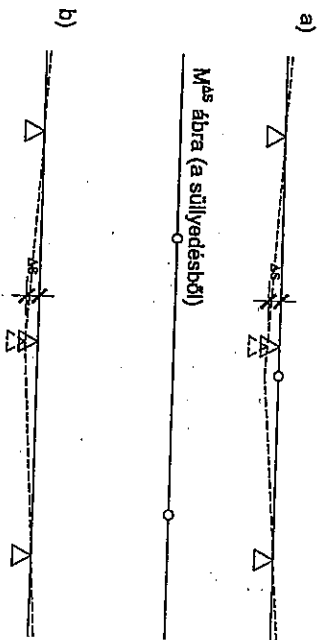
Egyenlőten süllyedés hatása

Közismert tapasztalat, hogy minden talajra helyezett építmény megsüllyed és ennek mértéke a talaj összennyomódásától függ. Ez a talajminőségtől, az alapra ható erőtől és a választott alapotól függ, méretétől függ.

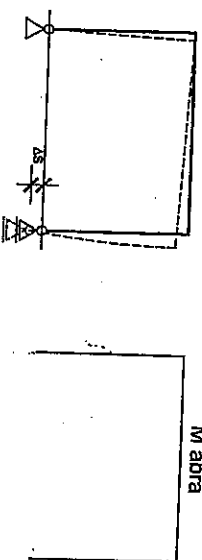
Ez a süllyedés lehet merevített szerű, egyenletes. Ekkor semmilyen igénybevétel nem keletkezik a tartószerkezetben.



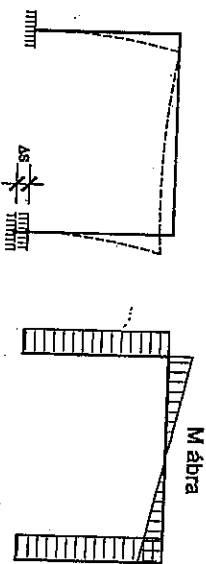
ábra - A merevítés helyének szerepe a csarnokszerkezet hőmérsékletváltozásakor



c)



d)



ábra - Az egyenlőten süllyedés által okozott igénybevételek

fognak süllyedni is, a dilatáció kialakítása után azonban már csak egy-egy épületrészen belülről létrejött süllyedés különbségek fognak a tartószerkezetben igénybevételek okozni.

Egyenlőten süllyedés esetén két eset lehetséges: - ha a szerkezet statikailag határozott elemekből áll, akkor az egyenlőten süllyedésből nem keletkezik igénybevétel (a) és c) ábrán); - ha a szerkezet statikailag határozatlan, akkor az egyenlőten süllyedésből többlet-igénybevételek keletkeznek a tartószerkezetben (b) és d) ábrán).

Az előzőekből következik, hogy ha egyenlőten kell építenünk, és így nagy süllyedés-különbségek várhatóak, akkor meg kell fontolnunk statikailag határozott tartószerkezeti rendszer alkalmazását. Ugyancsak a nagy süllyedéskülönbségek elkerülése céljából célszerű az eltérő magasságú épületrészeket táglási hézaggal (dilatációval) szakaszokra bontani. Ugyanis a változó magasságú – tehát eltérő terhelést adó – épületrészek várhatóan eltérően süllyednek, így a dilatációval a süllyedések közötti különbségek elkerülhetők.

Az alakváltozásokból keletkező károk elkerülése, illetve csökkentése

Mint látnuk a tartószerkezeteken a terhek és hatások fellépje mindig alakváltozásokkal jár. Ezek nemcsak esztétikai szempontból lehetnek kedvezőtlenek, hanem a csatlakozó szerkezetek (válaszfalak, homlokzatok, nyílászárók stb.) károsodását is okozhatják.

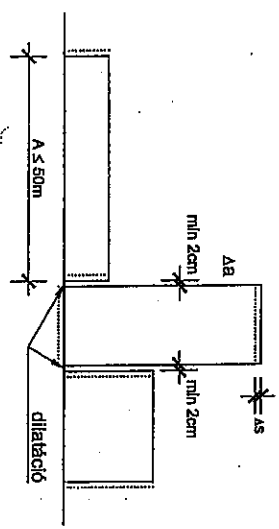
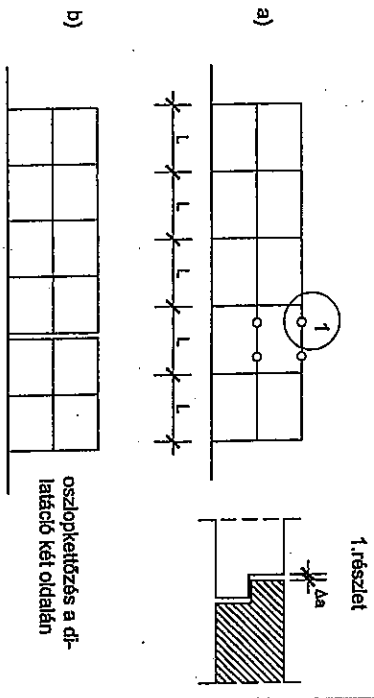
A mozgásokból keletkező esetleges károk elkerülése, illetve csökkentése érdekében javasolható megoldások:

- a) úgy alakítjuk ki a tartószerkezeteket, hogy a mozgások lejátszódhassanak, ennek fontos esz- köze a dilatáció;
- b) a szerkezet megfelelő kialakításával – pl. feszítés, merev kapcsolatok – megakadályozzuk a mozgások létrejöttét, de ekkor gondoskodunk kell az ebből keletkező belső erők felvételé- ről;
- c) a szerkezet megfelelő merevségével olyan korlátok között tartjuk az alakváltozásokat, amely- sem szerkezeti károkat, sem esztétikai változást nem okoznak.
- d) a földemlemezeket, gerendákat „tálemeléssel” készítjük – amelynek mértéke az önsúly teher- re számított lehajlásuk vagy annak meghatározó részével egyezik meg;
- e) a csatlakozó szerkezeteket csúsztató vagy összenyomódó rugalmas kapcsolatokkal építjük;
- f) a válaszfalakat és más csatlakozó szerkezeteket lehetőleg felülről lefelé építjük, mert több- szintes épületeknél az alulról felfelé történő kivételzés esetén a földének lehajlása és a füg- gőleges teherhordó szerkezetek összenyomódása miatt az alsó szintek válaszfalai már jelen- tős mértékben összenyomódhatnak és repedések, kihajlások léphetnek fel. Felülről lefelé végzett építésnél a szintek alakváltozása már döntő mértékben lejátszódik.

A dilatáció a hőmérsék- lekváltozás miatt bekövet- kező alakváltozások kor- látozása szempontjából is szükséges.

Vasbetonszerkezetnél 30,0-50,0 m; acélszerke- zeteknél 75,0-125,0 mé- terenkénti távolsági hézag- esetén általában nem kell külön vizsgálni a hőhatás okozta igénybevételeket.

Kiemelendő, hogy a füg- gőleges és különösen vízszintes irányban füg- getlenül alakváltozó, ön- álló épületszerek mereví- tését külön-külön biztosí- tani kell.



ábra - A dilatáció helyének cél szerű felvétele és kialakítása

Statikai modell felvétele

Az épület és a számítási modell

A gyakorlatban fontos problémával találkozunk akkor, mikor arról kell döntenünk, hogy a valóságban rendelkezvül bonyolult épületeket milyen, a biztonság javáért szolgáló egyszerűsítésekkel vizsgáljuk.

Az első alapvető lépés, hogy a terehjáról és egyéb szerkezetektől elválasztva, meghatározzuk a teherhordásban részvevő tartószerkezeteket.

A statikai számítás feladata:

az egyes szerkezeti elemekben a terhek és hatások okozta igénybevételek meghatározása, valamint ezek felvételére alkalmas anyagok és méretek megtervezése.

A modell alkotás lépései:

- milyen terhek lépnek fel?
- hogyan működik a szerkezet?
- mi az egyes elemek szerepe a mechanizmusban?
- hogyan kapcsolódnak egymáshoz a tartószerkezeti elemek?
- milyen hierarchia alakul ki a terhelés átadásában?

A tartószerkezetek számítására az elméleti kutatómunka, a kísérletek eredményeinek értékelése és az építési gyakorlati műtibi tapasztalatainak összegezése alapján ma már széleskörű ismeretekkel rendelkezünk. Az épület teljes összefüggő rendszerét különböző mélységű közelítésekkel vehetjük figyelembe.

A teljesen átfogó pontos számítási eljárások alkalmazása jelentős elméleti felkészültséget, elméleti absztrakt gondolkozást, a tudományos módszerek ismeretét kívánja meg. Ebben a munkában ma már jelentős segítséget adnak a tervezőknek a számítógépek.

A számítógépi számításokhoz a tervezési adatok előkészítése még fontosabb, mint a kézi számítás idején volt. Ezért feltétlenül szükséges a feltételezett statikai modell írásban és rajzban való rögzítése, a szerkezetektől elrendezési terv és a statikai modellt ábrázoló metszetek, részletek készítése.

A számítógép a gondolkodó ember utasításait hajja végre, az eredményeket mindig ellenőrizni kell. Ezt segíti elő a munka minél teljesebb dokumentálása, ezen belül az alkalmazott program kiindulási feltételeinek ismertetése is.

A feladat teljesítéséhez elvezendő számítási munka mennyisége, esetenként sikere vagy sikertelensége függ a statikai modell felvételétől.

A tartószerkezettervezés legfontosabb lépésének hatékony megoldásához széleskörű ismeretek és gyakorlat mellett egyéni intuíció is szükséges.

A statikai modell megalkotásában a legnagyobb gondot a meghatározó jellemvonások, a szerkezet működését alapvetően létrehozó hatások kiemelése, illetve a kevésbé fontos hatások a biztonság csökkentése nélküli elhanyagolása jelenti.

Egyes, bonyolultabb esetekben a rutinos tervező is több modell alapján végzi el a számítási és választja ki a célszerű megoldást.

Különösen nehéz feladat az építési gyakorlatban szokásos megoldásoknál a csuklós vagy befogott, illetve sarokmerev csomópont feltételezése, az esetleg fellépő nyomatók biztonság javára történő elhanyagolása.

Sokszor a kevésbé áttekinthető, bonyolult „pontos” modelleknél jobban használható eredményeket kapunk a lényegesen egyszerűbb, de feltétlenül a biztonság javára közelítő feltételezésekben kiindulva.

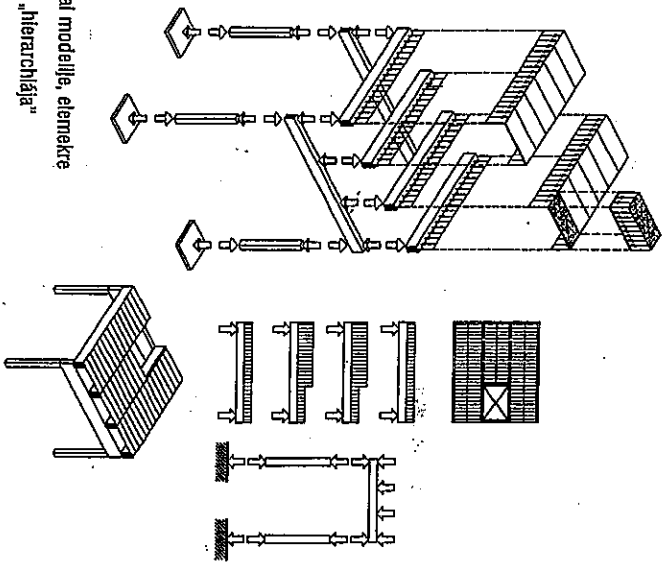
Ezeket az esetleg 10-20% eltéréssel közelítő számításokat célszerűen használhatjuk a „pontos” számítógépi programoknál is:

- a kiindulási adatok: geometriai méretek, anyagminőségek, stb. felvételéhez,
- a számítási eredmények ellenőrzéséhez.

A leggyakoribb egyszerűsítő feltételezések

- a) A valóságban valamilyen mértékben mindig térbeli működésű épületeinket a gyakorlatban általában síkbeli szerkezetekkel helyettesíthetjük és külön vizsgáljuk a merőleges síkokban levő szerkezeteket.
- b) Épületeinkre általában jellemzőek a derékszögű tartószerkezetek: a függőleges síkú falak és falpillérek, valamint a vízszintes síkú földemek alkalmazása, amelyeket saját síkjukban tökéletesen merevnek tekintünk.
- c) A terhelés átadását felhívó lefelé célszerű követünk. Először a vízszintes szerkezet elemek feltételezése, teherátadási lehetőségét kell vizsgálnunk. Ezután határozhatjuk meg a vízszintes teherhordó szerkezetektől a függőleges teherhordó szerkezeti elemekre átvitt terhelést.
- d) A kapcsolatoktól általában feltételezzük, hogy sírföldámentes erőátadást tesznek lehetővé, azaz kivétel esetektől eltekintve a sírföldást erőátadásra nem vesszük figyelembe.
- e) A más elemekkel terhelt szerkezetek esetén a terhelés meghatározása már az erőátadás feltételezését is megköveteli, alapvető a szerkezetek „hierarchiája”, a terhelés átadás folyamatában betöltött szerepe.

Földszintes csarnok elemre ható erők számítása



ábra – A tartószerkezet statikai modellje, elemekre bontás, a terhelésadás „hierarchiája”

A terhek számításáról

A számítást az ún. „súlyelemzés”-sel kezdjük, majd ezek figyelembevételével határozzuk meg az egyes elemekre jutó terhet értékét.

A súlyelemzés feladatai:

– Az állandó terhek: a tartószerkezetek önsúlyának és más szerkezetek súlyának meghatározását jelenti.

Lemezek, felületek esetén a m^2 -re jutó súlyt, vonalszerű elemek pl. gerendák esetén a folyóméterre jutó súlyt számítjuk, pontszerű hatásoknál koncentrált erőt veszünk figyelembe.

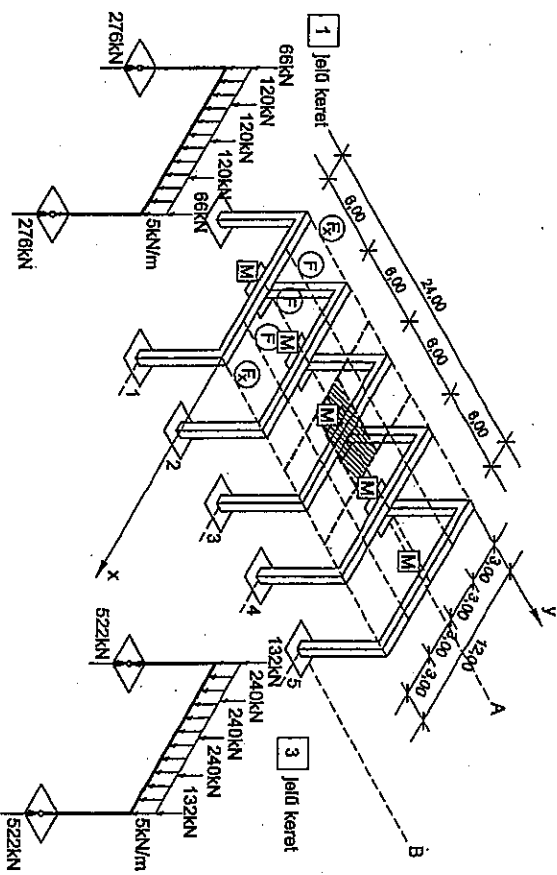
– Az állandó terhek meghatározása után számítjuk a változó: hasznos és meteorológiai terhek, illetve esetleg fellejő járulékos terheket, hatásokkal.

– A különböző terheket megfelelő biztonsági tényezőkkel növelve kapjuk a terhek szélisé, mértékadó értékét.

– A közelítő számítás első ütemében a terheket jól közelíthetjük az alábbi értékekkel:

- közmű (fa v. fém) tartószerkezet $3,0 \text{ kN/m}^2$
- közbeneső födém lakás $10,0 \text{ kN/m}^2$
- középlület $12,0 \text{ kN/m}^2$
- szélteher (nyomás és szívás) 20 m magasságig $1,0 \text{ kN/m}^2$

A terhek átadási folyamatának követése megkívánja a kapcsolatok, az egész szerkezet és az egyes elemek statikai modelljének felvételét. Ezt mutatjuk be az alábbi szám példaiban.



ábra – A terhelésadás folyamata az elemek között

Feltelezéseink szerint az ábrán vázolt csarnokszerkezet „x” irányban dolgozó kétfázisú terhelései az ugyancsak kétfázisú, „y” irányú, „F” jelfű főgerendákra egyenletesen fekszenek fel. [5]

A főgerendák a terheket a kétfázisú „M” jelfű mestergerendák harmadponjaira adják át, amelyek a pillérekre közvetítik a terheket.

Az elvégzett súlyelemzés szerint az ábrán megadott szerkezettel a tetőfödém mértékadó terhe $12,0 \text{ kN/m}^2$, a főgerendák önsúlya $4,0 \text{ kN/m}$, a mestergerenda össz súlya $5,0 \text{ kN/m}$.

Ezekből az adatokból a $6,0$ méter támaszközt áthidaló $3,0$ méterenként elhelyezett „F” jelfű főgerendára számítható terhelő erő: $P_p = 3 \cdot 12 + 4 = 40 \text{ kN/m}$.

A főgerendák két végükön a mestergerendára támaszkodnak, az átvadódó erő:

– a belső főgerendákról $Q_1 = 40 \cdot 3 = 120 \text{ kN}$,

– a szélső főgerendákról $Q_2 = (1,5 \cdot 12 + 4) \cdot 3 = 66 \text{ kN}$

A közbeneső M_2 jelfű mestergerendákról a „A” és „B” oldali pillérekre átvadódó terhek:

$P_2 = 2 \cdot (66 + 120 + 60) + 6 \cdot 5 = 522 \text{ kN}$

A szélső M_1 jelfű mestergerendát is szimmetrikus szerkezetnek tekinthetjük fel. Így a szélső pillérekre átvadódó erő:

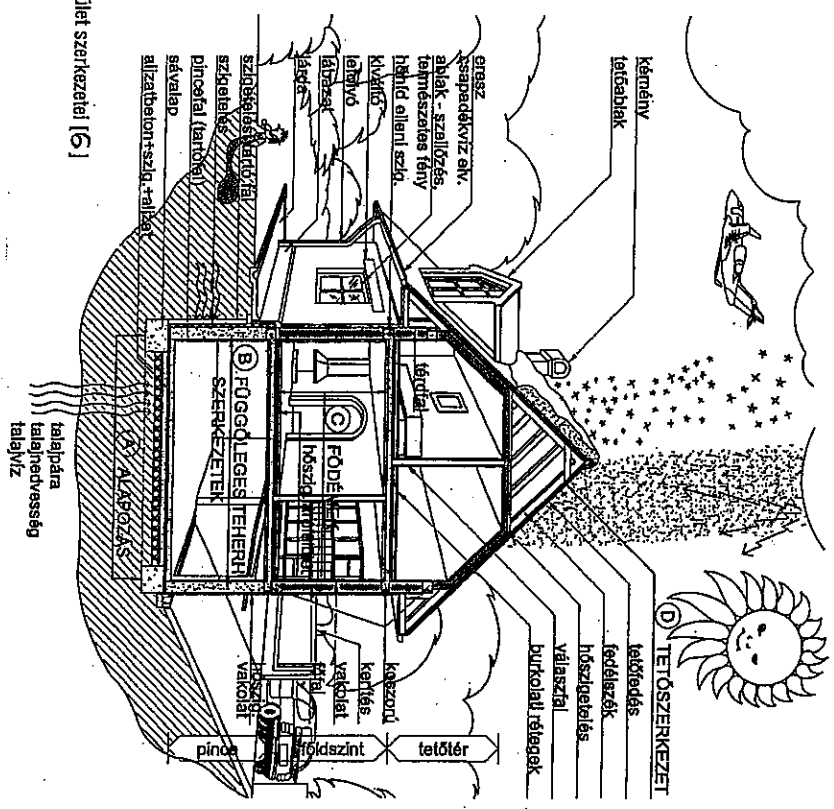
$P_1 = 66 + 120 + 60 + 6 \cdot 5 = 276 \text{ kN}$

A tartószerkezetek osztályozása

A további tárgyalás során, pl. egy-egy feladat megoldására számfűzésbe vehető szerkezetek áttekintése vagy az alkalmazandó módszerek kiválasztása érdekében hasznos lehet a tartószerkezetek, vagy a tartószerkezeti elemek különböző szempontok alapján történő osztályozása.

A tartószerkezetek számos megkülönböztetési szempontja közül az alábbiakat emeljük ki:

- a tartószerkezet funkciója
- anyaga
- az erőtérket síkban vagy térben tételezzük fel
- a kényszererők és igénybevételek meghatározására szolgáló egyenletek
- a főteherből fellépő igénybevételek jellege
- a teherhordás iránya
- a tartószerkezetek alakja.



ábra - Az épület szerkezeti [6]

A tartószerkezetek szerepük szerinti megkülönböztetése

- Az épületek alapvető célja: a külső hatásoktól, elsősorban a természeti erőktől: szél, eső, hó, hőmérsékletváltozás, stb. végett belső terek kialakítása.

- A szerkezetek egyrésze: a teherhordó szerkezetek elsődleges feladata az épületek ható terének átadása a talajra, oly módon, hogy az épület megőrizze egészének, valamint valamennyi részének egyensúlyi helyzetét, állékonyágát és jelentősebb mozgás, alakváltozás vagy repedés ne következzen be.

A nagyobb lehajlások, elfordulások nemcsak esztétikailag kedvezőtlenek és nemcsak ezért kell korlátozunk őket, hanem mert a csatlakozó szerkezetek (válszfal, ajtók, ablakok stb.) tönkremenetelét okozhatják.

- Az épület teherhordó szerkezetei feladatai szerint az alábbiakat kell megkülönböztetnünk:
- A. a terheket a talajra átadó alapozás,
 - B. a függőleges teherhordó szerkezetek: pillérek, oszlopok, falak,
 - C. a vízszintes teherhordó szerkezetek: a födémek, kiváltó és áthidaló gerendák,
 - D. a tetőszerkezet,
 - E. lépcsők, felvonóknak.

Az egyes tartószerkezetek szerepe az épület építészeti funkciójától és méretétől is függ, eltérő lehet pl.

- csarnokszerkezetek: ipari csarnok, sportcélú épületek stb.
- többzetes épületek: lakóházak, irodaházak, iskolák, szállodák, társasházak, vagy családi házak esetén.

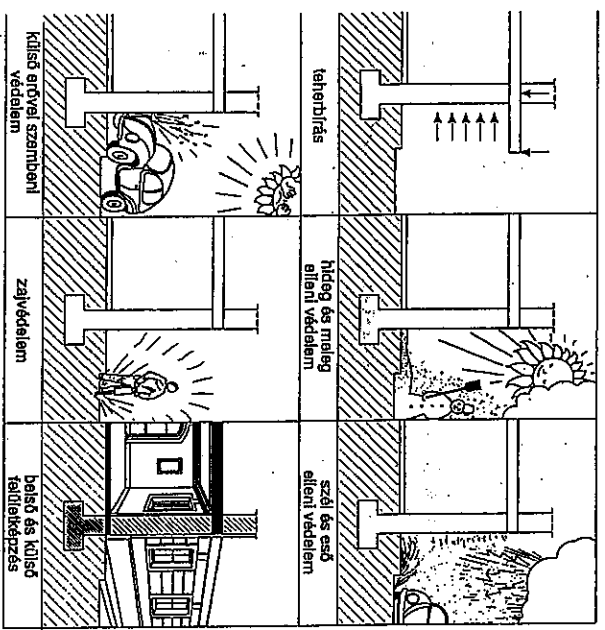
Fontos, hogy a teherhordó szerkezetek kiválasztásánál és teherbírásnak meghatározásánál a gazdaságosság mellett a flexibilitás, az indokolt átalakíthatóság lehetőségét is biztosítsunk: pl. a tetőtér későbbi beépítése, válszfalak áthelyezése, burkolatcsere (padlófűtés) stb.

Az egész épület tartószerkezeti vázát nemcsak a függőleges, hanem a vízszintes erők felvételére alkalmasan kell kialakítani - biztosítani kell az épület térbeli merevségét, együttdolgozását is.

Ebből a szempontból kiemelendő a koszorúk szerepe, amelyek teherelosztó, összefogó szerepe rendkívül fontos.

A tartószerkezetek egyrésze valóban csak a terheket adja át; másik része emellett részt vesz a tételhatárolás, hővédelem sítb. feladatában is.

Ezt jól mutatja az ábra a falak összetett szerepének bemutatásával. Itt megjegyezzük, hogy a szint alatt építendő falak teherhordó szerepe kivülhet még a földnyomás és a talajviznyomás felvételeivel is.



Ábra - A falak teherhordás mellett funkciói [1:1]

A tartószerkezetek anyaguk szerinti megkülönböztetése

A további csoportosítások mellett számos szempontból döntő a tartószerkezetek anyagának kiválasztása, a beépített anyag tulajdonságai és építési módja.

A tartószerkezetek anyaga lehet:

- vályog, kő, téglala,
- fa, ragasztott fa,
- öntött vas, acél, alumínium, különböző fémtüvezetek,
- beton, acélhajbeton, fabeton,
- vasbeton: monolit vagy előregyártott,
- kompozit anyagok, üveg.

Az anyagválasztásban az elmúlt évszázadokkal szemben ma sokkal kedvezőbb helyzetben vagyunk, széles és változatos a rendelkezésünkre álló anyagválaszték.

A legutolsó évtizedekben alapevő jelentőségű változást jelent az anyagok vegyes alkalmazásának egyre szélesebb elterjedése: egy épületen belül is nemcsak különböző rendeltetésű elemek készülnek eltérő anyagokból, hanem egy-egy szerkezetnél is különböző anyagok együtt kerülnek alkalmazásra: pl. előregyártott vasbeton; monolit vasbeton és idomacél.

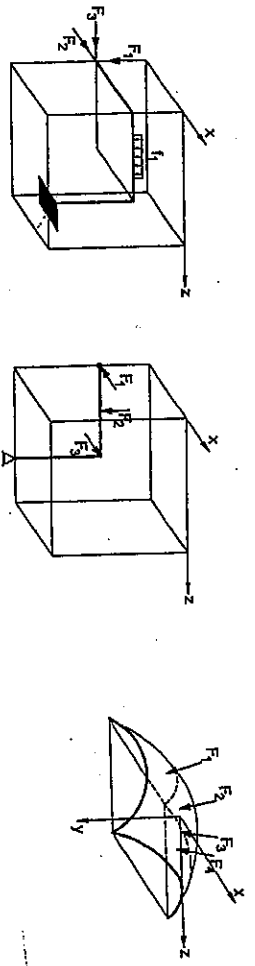
Síkbeli és térbeli erőjátékú szerkezetek

Térbeli erőjátékú tartószerkezetek

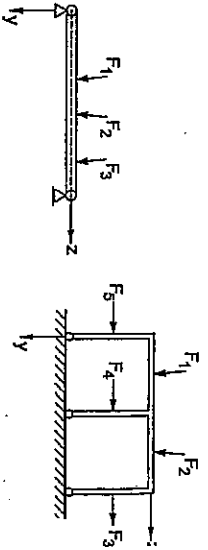
A térbeli erőjátékú szerkezet tengelyvonala vagy középfelülete általában nem helyezhető el egy síkban.

Az erőjáték szempontjából térbeli szerkezetnek tekintjük azokat a síkban elhelyezhető szerkezeteket is, amelyekre ható külső erők (terhek és támaszerők) nemcsak ebben a síkban működnek.

Az általában térbeli szerkezetet alkotó tartószerkezeteket a gyakorlatban igen gyakran síkbeli elemekre bontjuk és az azokból összeépített rendszert vizsgáljuk.



Térbeli szerkezetek



Síkbeli szerkezetek

Síkbeli erőjátékú tartószerkezetek

A gyakorlati cél szolgáló, meghatározott alakú szerkezet rúdengelye vagy középfelülete egyetlen síkban elhelyezhető és erre merőleges (általában szimmetrikus) keresztmetszeti métei az erőjátékot nem befolyásolják.

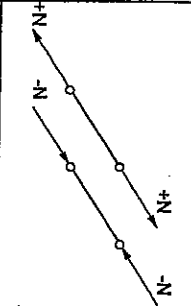
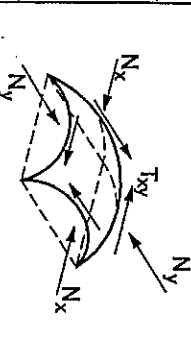
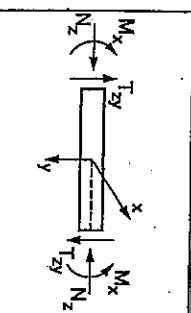
Síkbeli szerkezetek erőjátéka is síkbeli: a tartószerkezetre ható külső terhelő aktív erők és megtámasztó reakcióerők is az adott függőleges („yz”) síkban működnek, az erőknek csak és F_z összetevőjük van.

A tartószerkezetek osztályozása a főteherből fellépő igénybevételek szerint

A tartószerkezetek vagy tartószerkezeti elemek egyik meghatározó jellemzője a fellépő igénybevétel fajtája.

Egy-egy szerkezetben különböző terhek esetén eltérő igénybevételek léphetnek fel, így az osztályozás alapja a jellemző, „főteherből” származó igénybevételek szerint történhet. [1]

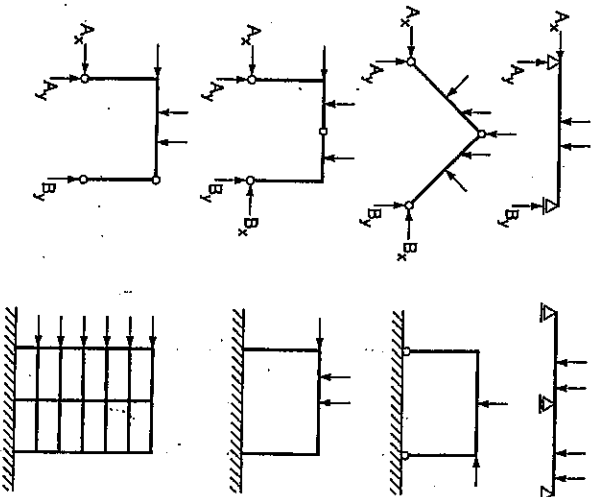
Az osztályokat a szerkezetben fellépő belső erők száma alapján különböztetjük meg.

1	2	3
NY/BÁSMENTES SZERKEZETEK	HALLTASMENTES SZERKEZETEK	HALLTOTT SZERKEZETEK
csak derékerő lép fel, nyíró és hajlítás nem	csak a fellület síkjában lép fel erő; derékerő és a síkban ható nyírás	általános igénybevétel
		
N	N_x, N_y, T_{xy}	N, T_{xy}, M_x, M_y síkban térben N, T_{xy}, M_x, M_y T_{xy}, M_x, M_y $M_x = M_{cs}$

ábra – Szerkezeti osztályok az igénybevételek szerint

Statikailag határozott és határozatlan szerkezetek

– A tartószerkezetek számítását ma már igen gyakran különböző „általános szerkezeti megoldó” számítógépi programmal végezzük. A szerkezet geometriája, teherelése és a csomópontok tulajdonságainak megadásával lényegében tetszőleges alakú és bonyolultságu szerkezet számítása elvégezhető.



1. ábra – Statikailag határozott és határozatlan szerkezetek

Az alkalmazható módszerek eldöntése érdekében, gépi számítás esetén is célszerű a statikailag határozott és a statikailag határozatlan szerkezetek megkülönböztetése, ahol a kényszererők és igénybevételek meghatározására szolgáló egyenletek különbözöek.

– A szerkezetek egy részének igénybevételeit az egyensúlyi (statikai) egyenletek alapján számíthatjuk – ezeket statikailag határozott szerkezeteknek nevezzük.

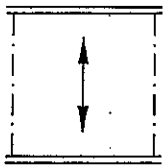
– A szerkezetek másik csoportja nem kezelhető csak statikai egyenletekkel, továbbá egyenletek is szükségesek, ezeket ezért statikailag határozatlan szerkezeteknek nevezzük. Ez esetben a tartószerkezetekre ható kényszererők meghatározása csak más – pl. alakváltozási feltételek vizsgálata alapján történhet. A vizsgálat nem végezhető el „merve tesz” feltételével, olyan „szilárd testet” kell figyelembe vennünk, amely kis alakváltozásokat végezhet, és amelyeket a szilárdságtan módosított, rugalmas állapotban, erő vagy mozgásmódszerrel vizsgálhatunk. Az utóbbi évtizedekben egyre elterjedtebben alkalmazzák az igénybevételek meghatározására a képlékeny számításokat is.

Egy- és kétirányban teherhordó szerkezetek

A teherhordás működési iránya szempontjából két eset lehetséges:

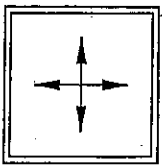
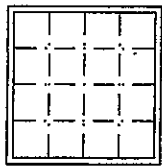


$\frac{1}{1}$ Egyirányú szerkezetek



$\frac{1}{2}$ Kétirányú szerkezetek

a) Egyirányú szerkezetek



b) Kétirányú szerkezetek

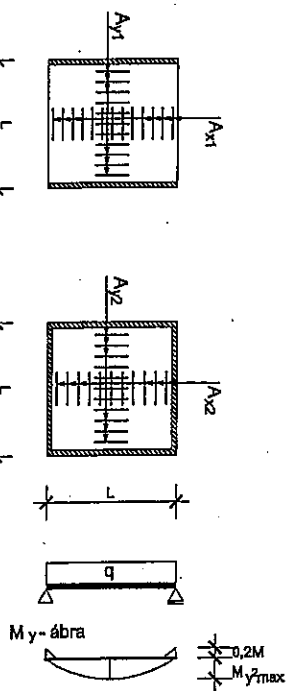
ábra - Egy- és kétirányú tartószerkezetek

A kétirányú szerkezetek közül a gyakorlatban leggyakrabban a kétirányban teherhordó vasbeton lemezt alkalmazzuk.

Hasonlítsuk össze az egyirányban és kétirányban teherhordó négyzetes vasbetonlemez vasalását az egyenletesen megoszló „q” teher esetén.

A szerkezet teherbírása, illetve költsége szempontjából a kétirányú megoldás a kedvezőbb:

- a legnagyobb igénybevételek abszolút értéke kisebb,
- a támasztószervezetre a terhek kedvezőbben oszlanak meg,
- a szerkezet síkjában merev szerkezet.



ábra - A négyzetalaprajzú lemez nyomatlékai

A szükséges acélkeresztmetszetek alapján számított nyomatlékok: Egyirányú lemez esetén a szerelvényeket $0,2 M_x \text{ max}$ -ból számítjuk:

$$M^1 = M_x^1 \text{max} + 0,2 M_x^1 \text{max} = \frac{q \cdot L^2}{8} + \frac{q \cdot L^2}{8 \cdot 5} = (5 + 1) \cdot \frac{q \cdot L^2}{40} = \frac{6q \cdot L^2}{40}$$

Kétirányú lemez esetén

$$M^2 = M_x^2 \text{max} + M_y^2 \text{max} = 2 \cdot \frac{q \cdot L^2}{24} = \frac{q \cdot L^2}{12} = \frac{3,25q \cdot L^2}{40}$$

A közelebb számítás azt mutatja, hogy a belső kar kisebb különbözősége ($\alpha_1 < \alpha_2$), valamint az acélvezetés eltérése elhanyagolással, csak a nyomatléki maximumok alapján számított vasalás igény egyirányú elemnél $\frac{6}{3,25} = 1,84$ -szerese a kétirányú lemezénél. Így megállapítható, hogy a szükséges vasalás ára kétirányú megoldás esetén közel a felére csökkenthető.

Ez természetesen nem jelenti a teljes költség azonos mértékű elérését, mert a zsaluzás költsége lényegében azonos és a lemezvastagság, így ezzel a betonmennyiség is csak 10-20% körüli mértékben csökkenthető.

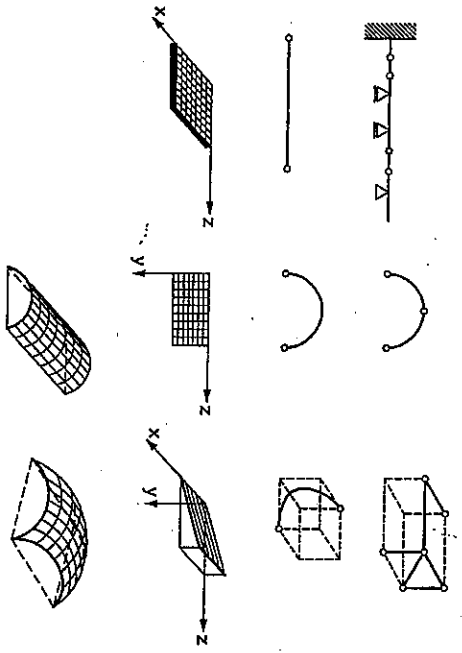
A tartószerkezetek osztályozása alakjuk alapján

A tartószerkezetek és tartószerkezeti elemek áttekintését, kezelését megkönnyítheti egy jól választott rendszer, amelyben a szerkezetek jól besorolhatók.
 Az építészeti alkalmazás szempontjából célszerű az alak szerinti megkülönböztetés.
 A Pelikán [1] által felállított összetett osztályozási rendszer egyik elemeként (d, e) javasolt paramétert továbbfejlesztve az alábbi alak szerinti osztályozást javasoljuk:
 - a szerkezetek alakját meghatározó geometriai jellemzésre alkalmazott első szám a szerkezet tengelyét vagy középfelületét leíró dimenzió száma legyen.

- 1. Vonal
- 2. Felület

- A második szám annak a jelzése, hogy a szerkezet hány dimenzióban helyezkedik el, ezek szerint

- 1.1. Egyenes vonal
- 1.2. Síkbeli vonal
- 1.3. Térbeli vonal
- 2.2. Síkbeli felület
- 2.3. Térbeli felület



1. ábra - A tartószerkezetek különböző alakjai

- A felületszerkezetek esetén harmadik számjellel is alkalmazunk. A síkbeli felületeknél azok helyzetére, térbeli felületszerkezeteknél, azok görbületére utalva.
 - A szerkezet működése szempontjából célszerű az egy darabból, folytonosan kialakított c (continuos) és a több elemekből álló hálózatok n (network) esetét is megkülönböztetnünk.

Alak paraméterük (geometriai jellegzetességük) alapján a leggyakrabban alkalmazott tartószerkezeteket a táblázatban és a 2. és 3. ábránkon foglaltuk össze.

Tartószerkezetek osztályozása alakjuk szerint 1. táblázat

1. Vonal-szerkezetek	1.1. Egyenes tengelyű rudak	álló szerkezetek	egyetlen elemből álló szerkezetek	több elemből összerakított szerkezetek
		oszlopok	konzolk	csuklós többtámaszú tartók („GERBER” tartók)
1.2. Síkbeli (íves vagy írt) tengelyű rudak	1.2. Síkbeli (íves vagy írt) tengelyű rudak	többtámaszú tartók	egyenes kötélek	háromcsuklós tartó
		írtengelyű tartók	bolthévek	csuklós rúdharmas csuklós rudazatok
1.3. Térbeli vonalszerkezetek	1.3. Térbeli vonalszerkezetek	írtartók	térbeli gerendák és ívek	térbeli csuklós rudazatok
		térbeli gerendák és ívek	térbeli kötél	hálózat „n” rudazatok
2. Felület-szerkezetek	2.2. Síkbeli felület szerkezetek	2.20. Vízszintes síkban	foltyonos „c”	gerendatárcsók
		2.21. Függőleges síkban	egyirányú és kétrányú, két és többtámaszú lemezek	térbeli rácsartók
2.3. Térbeli felület-szerkezetek	2.32. Kétszer görbült	2.22. Ferde síkban	falartók	Vierendeel tartók
		2.31. Egyszer görbült	ferde lemezek	síkbeli rácsos tartók
2.33. Kétszer görbült	2.33. Kétszer görbült	lépcsők	transzlációs héjak	„V” támaszok
		görbe falak	forgás héjak	andráskereszt merevítések keretek, csuklós láncok
2.33. Kétszer görbült	2.33. Kétszer görbült	döngaboltzatok	lépőszék	ferdesíkfű rácsok
		donghéjak	lépőszék	ívrácsok
2.33. Kétszer görbült	2.33. Kétszer görbült	héjgerendák	lépőszék	rácsos kupolák
		lemezűgerendák	lépőszék	kétlábúak

A tartószerkezetek különböző osztályozásának

összevétele

- Az előzőek szerinti többféle csoportosítás közül valamennyi ismerete hasznos, eltérő feladatokra lehet célszerű alkalmazásunk:
- A terhek és különösen a változó terhek felvételét az 1. (funkció szerinti) osztályozás alapján végezzük.
 - A számítási módszerek alkalmazásának kiválasztásában a 2. (síkbeli vagy térbeli), 3. (statikailag határozott vagy határozatlan) és az 5. (egy- vagy kétfáznyú) osztályozás ad segítséget.
 - A tartószerkezetek gazdaságosságával összefüggő célszerűségére, a tisztán statikai célú költések összevetésére PHLJKÁN [1] három paraméter:
 - 4. (Génybevételek), 5. (Egy- vagy kétfáznyú) és 6. (A tartószerkezetek alakja) együttes alkalmazására adott javaslatot.
- A három paraméter

<input type="checkbox"/> a	Génybevételek	<input type="checkbox"/> $\frac{1}{b}$	Teljes terhelés	<input type="checkbox"/> d, e	Alak
----------------------------	---------------	--	-----------------	-------------------------------	------

Az alkalmazott „osztályozó jelek” alkotta számok nagysága egyértelműen utal a szükséges anyagmennyiségre. Néhány példa a szerkezetek besorolására:

nyomásvonal alakú ívartó	1	$\frac{1}{1}$	1,2
kétfáznyú gerenda	3	$\frac{1}{3}$	1,1
kétfáznyú vasbeton lemez	3	$\frac{1}{2}$	2,20 c

- Az épület vagy annak egyes részleteinek kialakítása, az építészeti és tástervezők közötti közös munka szempontjából az alak szerinti osztályozás a meghatározó — ezért az összefoglaló áttekinthető felületen célszerű egy-egy épület tervezése során átgondolni.
- A tartószerkezeti elemek építészeti funkciója szerinti osztályozása (1) alapján való tárgyalás teszi lehetővé elsősorban a tartószerkezeti és a többi szerkezeti elem közötti kapcsolatot és megkülönböztetést.

2. Vonalszerkezetek

3. Felületszerkezetek

EGYENES VONAL		SÍKBELI VONAL		TÉRBELI VONAL	
1,1c	HÜROKKÖTVELEK	1,1c	GERENDÁK	1,1n	GERBER-TARTÓK
1,2c	ÍVEK	1,2c	TÖRTTENGELTŐ ÍVÁROK	1,2c	KERETEK
1,2n	parabola HOMORVU ÍVEK	1,2n	HÁROMCSUKLÓS ÍVÁROK	1,2n	CSUKLÓS RÜDZSÁRÓK
1,3c	TÉRBELI ÍVEK	1,3c	TÉRBELI RÜD	1,3n	TÉRBELI RÜDZSÁRÓK
2,20c	KÉTFÁZNASZÚ LEMEZ	2,20c	ROVID DORGÁHÉJ	2,20c	TRANSZLACIONS HÉJ
2,20b	TÖBBSZÁZASZÚ LEMEZ	2,31c	HOSSZÚ DORGÁHÉJ (HÉJGERENDA)	2,32c	FESZLITETT SÁTOR
2,20n	TÉRBELI RÁCSOS TARTÓ	2,31n	ÍVRÁCS	2,32n	RÁCSOS KÚPOLA
2,21c	YB FAL, FALTARTÓ	2,21c	KERETEK		
2,21n	RÁCSOS TARTÓ KÖZELTARTÓ				

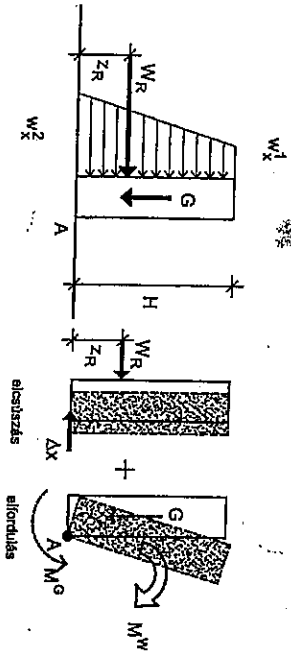
A merev test állékonysága

A tartószerkezetek tervezésének célja az épületre ható erőhatások felvétele. A legutóbbi években egyre nagyobb jelentőségűvé vált a vízszintes erők felvétele, elsősorban az épületek magasságának növekedése és az építésszerkezetek súlyának csökkenése következtében.

A szerkezettervezés egyik fő feladatává vált az épületelemek vízszintes erők felvétele alkalmas kialakítása, és a merevség, az esetleg szükséges merevítőelemek behatárolásának számításával történő igazolása.

A teljes épület viselkedése szempontjából az első feladat, hogy a vízszintes erő felhajtás hatásával szemben az összekapcsolt épületrész merev testként állékony legyen.

Ezt az egyes földemek síkjában végzett egyensúlyi vizsgálataival tudjuk igazolni. Általában is, de különösen lábakra állított épületek esetén a vizsgálatot elsősorban a földszinti padló síkjában kell elvégezni.



Ábra — A merev test állékonysága

A vízszintes erőhatásokkal szemben az egyensúlyi állapot csak a vizsgált síkon fellépő nyomások vagy legalább is függőleges húzóerők (feszültségek) fellépése esetén biztosítható.

A szerkezetek egy része egymásra vagy az alaptestekre, illetve maga az alaptest a talajra kapcsolatok nélkül fekszik fel. A kapcsolót biztosító kötések nélkül az egyik elemről a másik elemre csak nyomóerő és az érdes támaszfelületen fellépő súrlódási erő adható át - húzóerő nem.

A statikai számítás során általában az egyensúlyi biztosításhoz szükséges támaszterhelést pl. az alaptest és a talaj közötti erőátadást és az egyes elemek közötti, a kapcsolóhelyeken fellépő erőket, valamint a szerkezeti elemek egyes keresztmetszetein fellépő belső erőket számoljuk. A szerkezeti elemek anyagának és méretének meghatározása a feladatunk.

Amikor azonban feltételezésünk szerint kapcsolat nélkül kell az egyensúlyi biztosítanunk, azt vizsgáljuk, hogy létrejöhet-e egyensúlyi állapot, állékony-e a szerkezet.

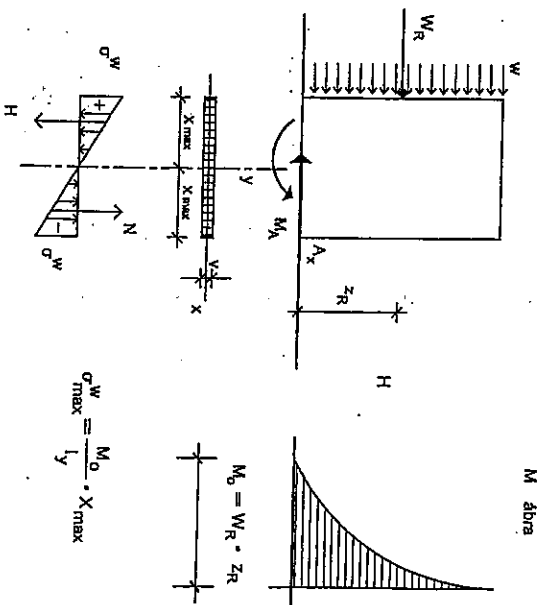
A helyzeti állékonyság vizsgálata azt jelenti, hogy igazolni tudjuk, hogy a feltételezett terhek fellépésekor a merev szerkezet nem csúszik el és nem borul fel, illetve eltolódás vagy elfordulás nem jön létre.

Számításainkban az egyes terheket a biztonság tényezővel kell figyelembe venniük. Azokat a terheket, amelyek az elcsúszás, illetve feldőlés ellen hatnak: a várható legkisebb, az elcsúszási, illetve feldőlési veszélyt jelentő terheket a legnagyobb biztonsági tényezővel kell számítanunk.

Alapvető, hogy minden esetben, így a maximális vízszintes és minimális függőleges erők egyidejű fellépése esetén is biztosítva legyen az egész épület állékonysága.

Kedvezőtlen esetben, ha a szerkezeti helyzeti állékonyságot nem tudjuk számítással igazolni, akkor - meglévő szerkezet esetén, annak megerősítése vagy bontása,

- új tartószerkezet tervezése esetén a méretek változtatása szükséges. Az egyes elemek vizsgálata mellett biztosítani kell azt is, hogy az épület kihajlása se következzen be.



Ábra — A merev test állékonysága

$$\sigma^w_{max} = \frac{M_0}{I_y} \cdot x_{max}$$

A vízszintes erők hatása a merev vázra

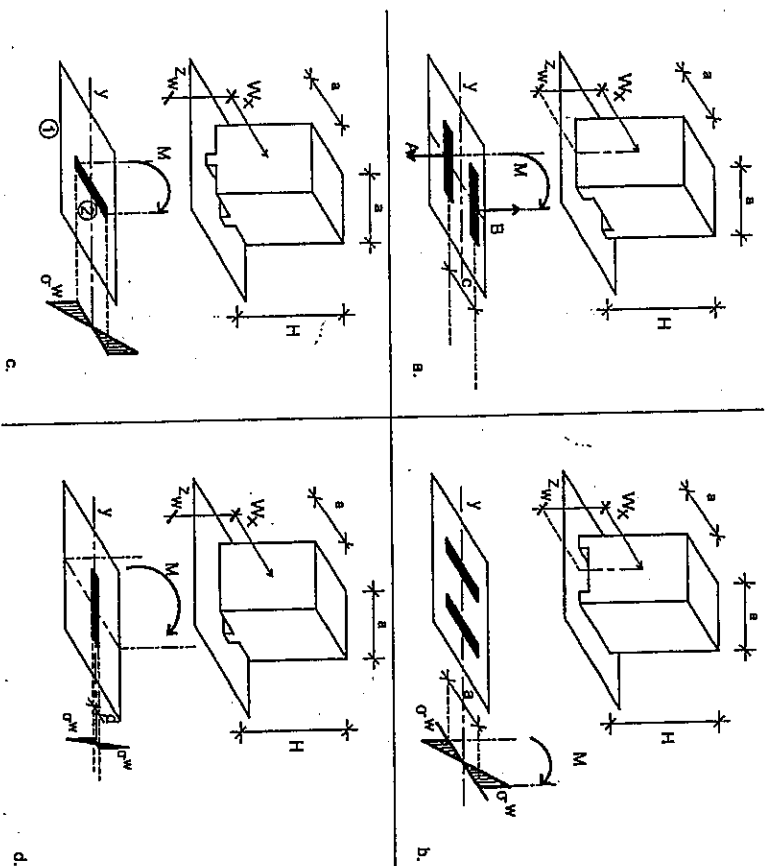
A síkbeli merevítő elemek (pl. fal) alkalmazásának hatékonyságát jól mutatja az 1. ábra, ahol azonos négyzetalaprájú (a x a), azonosan tehelt (W_x) épületeknél a vízszintes síkban felleléző feszültségektől számítható egyensúlyozó nyomaték legnagyobb értéke jelentősen változik a merevítőelem helyzetétől függően.

Az a.) jelt ábrából jól látható, hogy az elrendezés akkor a leghatékonyabb, amikor a vízszintes erőre merőleges síkban elhelyezett két fal - (a falak síkjaira merőleges hajlítás elhanyagolható) - a két derékerő által alkotott erőpár biztosítja az egyensúlyt.

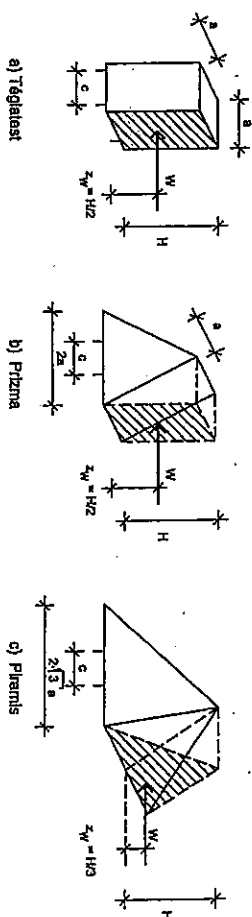
$$\bar{M}_0 = W_x \cdot z_W$$

és

$$\bar{M}_0 = A \cdot c = a \cdot d \cdot f \cdot c$$



Ábra — A vízszintes fal hatékonysága



Ábra — A felhajtó nyomaték számítása a különböző alakú épületeknél

Az épület alakjától is függ a felhajtó nyomaték értéke: mert azonos kubaturájú épületek esetén is mind a szétáramadta felület, mind az erő karja változhat.

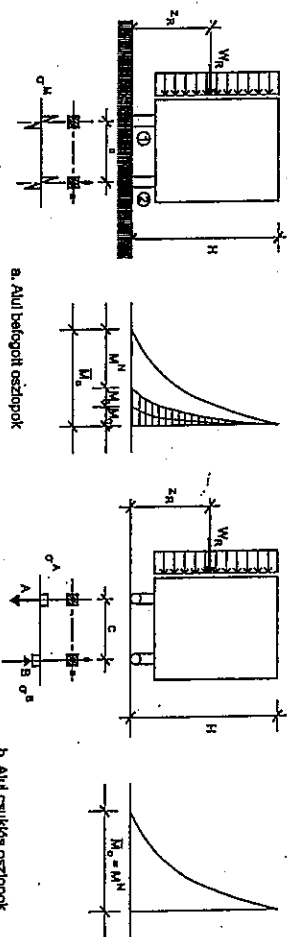
Lábakra állított épületeknél az alul befogott oszlopvegeken felleléző nyomatékok is részt vesznek a felbillenés elleni egyensúly biztosításában.

$$\bar{M}_0 = W_R \cdot z_R$$

$$\bar{M}_0 = M_{01} + M_{02} + M^N$$

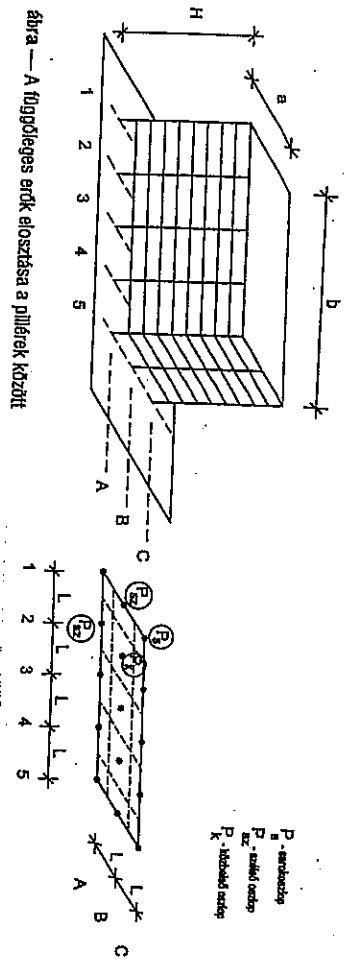
Általában az oszlopok kis merevségük miatt számítható nyomatékhátása kicsi, és ezért a biztonság javára szolgáló közelítéseknél elhanyagoljuk az oszlopokat, alul csuklós kapcsolatot feltételezünk fel és a felbillenés elleni egyensúlyozó nyomatékokot csak a derékerők erőpárja biztosítja.

$$\bar{M}_0 = M^N = A \cdot c$$



Ábra — Lábakra állított merev test

A függőleges erők hatása a merev vázra



ábra — A függőleges erők elosztása a pillérek között

A függőleges támaszerők közelítő számítására nagyon jó közelítést jelent a teljes teher arányos elosztása a pillérek között. [3]

Kétármazú födém erőjéteket feltételezve az arányt kifejező tényezők:

- a sarokoszlopokra $P_s \quad \alpha_s = 1$
- a szélő oszlopokra $P_{sz} \quad \alpha_{sz} = 2$
- a közbenő oszlopokra $P_k \quad \alpha_k = 4$

Többármazú födémek esetén a biztonság javára történő közelítést jelent, ha a középső oszlopokra a tetelközmezőt követően (L^2) helyett $(0,5+0,625)^2 \cdot L^2 = 1,265 L^2$ "4" értékű arányosító tényező helyett 5 értéket tételezünk fel.

Szám példa:

A javasolt közelítő számítással határozzunk meg az egyes többszintű pillérekre ható függőleges erőit a 12 emeletes $b = 4 \cdot 6 = 24,0$ m, $a = 2 \cdot 6 = 12,0$ m alaprajzi méretű épületnél.

A függőleges terheket $10,0 \text{ kN/m}^2$ értékben tételezzük fel.
Az összes erő: $G = 12 \cdot 24 \cdot 12 \cdot 16 = 55\,296 \text{ kN}$

A 15 pillérek arányosító számának összege: $\alpha = 4 \cdot 1 + 8 \cdot 2 + 3 \cdot 5 = 35$

Igy egy egységre, a sarokoszlopokra ható teher $P_s = \frac{55296}{35} = 1580 \text{ kN}$ $P_{sz} = 3160 \text{ kN}$
 $P_k = 7900 \text{ kN}$

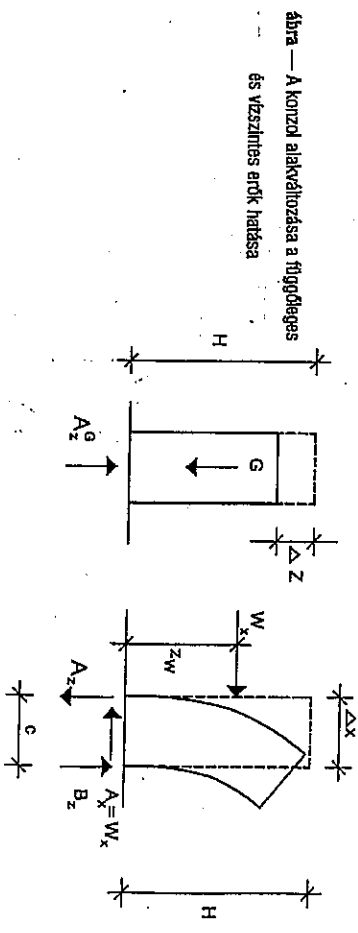
A függőleges és vízszintes erők együttes hatása

A függőleges erőkből egyértelmű, hogy csak nyomóerő lép fel az oszlopokban és ez nem túl magas épületeknél általában nagyobb a vízszintes erők által előidéztet húzóerőknél.

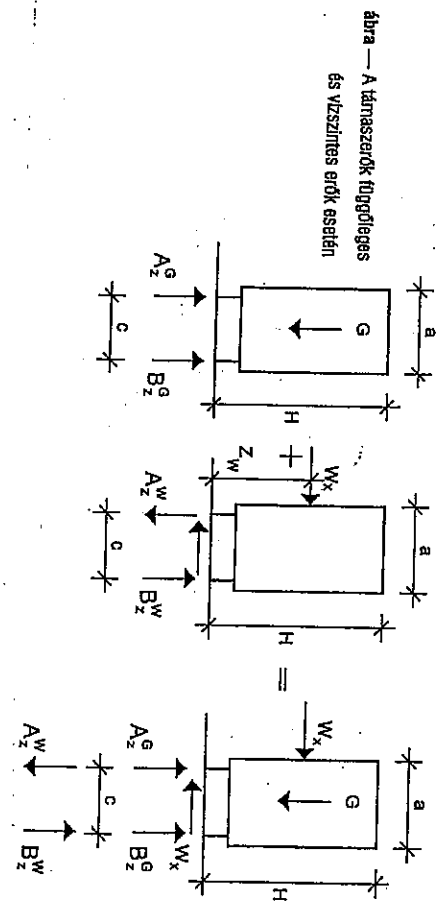
$$A_z = +A_z^o - A_z^w ; B_z = B_z^o + B_z^w$$

Jól látható, hogy a vízszintes erőből nem lép fel húzóerő és nincs szükség külön lehoronyzásra sem, ha

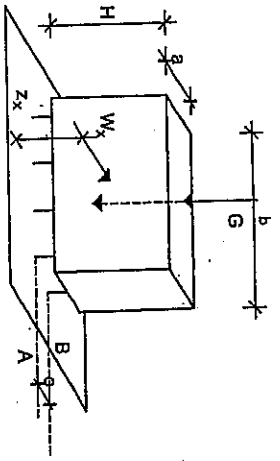
$$A_z^o \geq A_z^w$$



ábra — A konzol alakváltozása a függőleges és vízszintes erők hatása

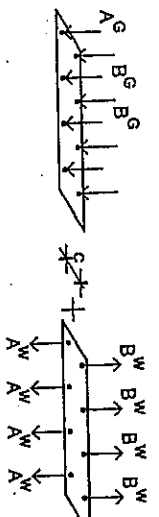


ábra — A támaszerők függőleges és vízszintes erők esetén



$$A = \overset{G}{A} \cdot \overset{H}{A} \cdot \overset{B}{A}$$

$$B + \overset{G}{B} + \overset{H}{B}$$



ábra — A függőleges támaszerők alakulása a vízszintes és függőleges erők együttes hatására

- a) ha $\overset{G}{A} > \overset{H}{A} \cdot \overset{B}{A}$ (NYOMÁS)
- b) ha $\overset{G}{A} = \overset{H}{A} \cdot \overset{B}{A}$ $A = 0$
- c) ha $\overset{G}{A} < \overset{H}{A} \cdot \overset{B}{A}$ (HÚZÁS)

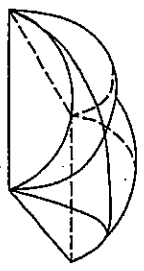
Az épület térbeli merevsége A két alapvető megoldás

A vízszintes erőkkel szembeni stabilitás szempontjából a szerkezetek két csoportját célszerű megkülönböztetnünk:

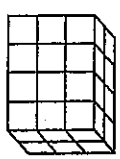
1. Merev tartóváz

Amikor a függőleges erők felvételére alkalmazott tartószerkezet önmagában képes a vízszintes erők felvételére és az alapokra való átvadására is.

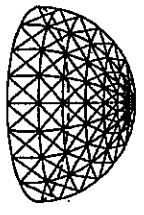
Ezt a térbeli szerkezetek (térbeli felületszerkezetek) képesek biztosítani pl.: légiak, térbeli keretek, térbeli falvázak, doboz szerkezetek, kupolák, kétirányban befogott konzol, kétélhálók, fel-fíji szerkezetek stb.



a) Transzaksziós hál



b) Térhál keretváz



c) Rácsos kupola

ábra — Merev tartóvázak

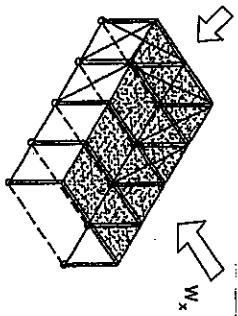
Kiemelendő, hogy a merev tartószerkezet nemcsak a vízszintes erők felvétele szempontjából fontos.

A tartószerkezet stabilitása a csatlakozó épületszerkezetek kapcsolatainak megőrzése a tiltott alakváltozásának elkerülése érdekében is alapvető fontosságú.

2. Merevített tartóvázak

Az épületek teherhorodó vázát alkotó tartószerkezeteket igen gyakran egymástól bizonyos távolságban párhuzamosan elhelyezett síkbeli szerkezetekkel alakítják ki.

Ezek általában a saját síkjukban működő függőleges és vízszintes erők felvételére is alkalmasak, de a síkjaikra merőleges vízszintes erőkkel szemben nem ellenállók, az egyensúlyt biztosítani nem tudják, ebben a síkban külön merevítés szükséges.

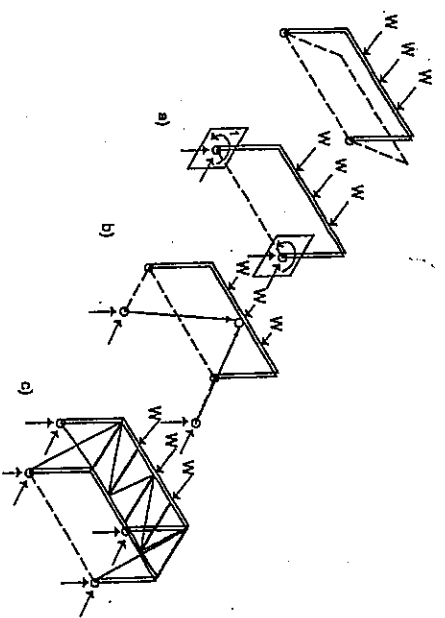


Merevített tartóváz

Merevített tartóvázak kialakítása

a) Ideiglenes állapot

A függőleges síkú tartószerkezet csak saját síkjában képes erők felvételére.



ábra — Egyetlen függőleges sík ideiglenes magánmáskása

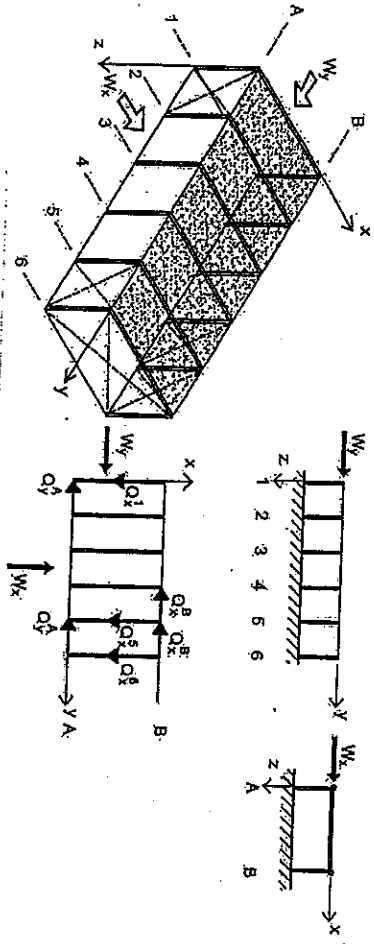
Ezért már építés közben is gondoskodnunk kell a síkbeli szerkezetek síkra merőleges megtámasztásáról, amelyet a kivitelezés I. ütemében kell elkészíteni. Erre leggyakrabban alkalmazott megoldások:

- a.) síkra merőleges irányú befogás a támaszpontokban,
- b.) síkra merőleges irányú erő felvételére is alkalmas "A" vagy "V" alakú ferde megtámasztás,
- c.) két párhuzamos síkú elem összekapcsolása ideiglenes vagy végleges módon ferde rácsrudakkal.

Az ideiglenes merevítés elkészítése után a merev részhez kapcsolódóan kell a munkát folytatni, az újabb részek vízszintes megtámasztásával.

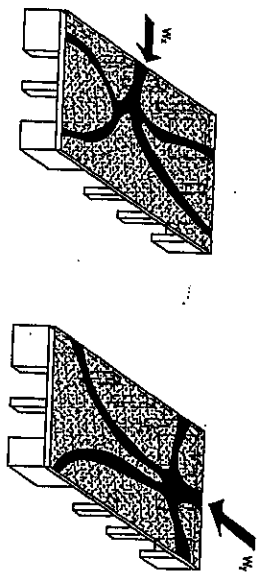
b) Végleges állapot

Síkbeli tartószerkezetekből kialakított épületek térbeli merevítése megkívánja, hogy a függőleges terhek mellett a tetszőleges irányú, vízszintes "W_y", "W_x" és "W_x" erők felvételét is biztosítsuk.



ábra — Síkbeli támaszokból álló épület

Ez a két függőleges "xz" és "yz" síkban is legalább 2-2, egymástól független sík kialakítását igényli, annak érdekében, hogy az épületre ható vízszintes erőkkel szemben a váz valóban merev testként (vagy ahhoz közelálló módon) álljon ellen. A vízszintes erőknél a merevítő elemekre történő átadása érdekében a fentiekon kívül feltétlenül szükséges az "xy" vízszintes sík vagy síkok merev kialakítása is.



ábra — A vízszintes erők átadása

Függőleges síkú merev tartószerkezetek

- A függőleges síkban merev, a vízszintes erők felvételére alkalmas tartószerkezetek alapípusai és azok erőfajtaikat az ábrán tintettük fel.

Minden esetben alapvető, hogy a síkra ható vízszintes erők merev test szerű egyensúlyiábról származtató vízszintes és függőleges erőkkel, valamint a "felbillenés" elleni nyomatékokat is a szerkezetnek fel kell vennie.

$$\overline{M}_0 = W_x \cdot H$$

- A konzolos oszlop és fal az 1. és 2. esetben a teljes vízszintes terhet és a felbillentő nyomatékokat is a befogási keresztmetszetében veszi fel. $A_x = W_x$

$$M_A^N = \overline{M}_0 = M_0 = W_x \cdot H$$

- A 3. eset a különböző síkbeli rácsos tartók között a leggyakoribb megoldást: az "Andráskő-reszt" merevítés erőfajtaikat mutatja be. Itt az oszlopokon nyomaték nem lép fel.

A vízszintes erők teljes nyomatékát (\overline{M}_0) a függőleges erők erőfajta (M_x^N) egyensúlyozza:

$$\overline{M}_0 = W_x \cdot H = M_x^N = A_x \cdot L$$

- A 4. esetként vizsgált vízszintes gerendával csuklósan összekapcsolva alul befogott két oszlop esetén a vízszintes erőt és azok nyomatékát a két oszlop vég veszi fel. A két (vagy esetleg több) oszlop között a vízszintes erőt azok merevségének arányában kell elosztani.

- Az 5. esetben alul két csuklóval kapcsolódik a főállás az alapálláshoz, így itt nyomaték nem adódik, csak függőleges és vízszintes erők. A vízszintes támaszerők az oszlopok arányában oszlanak meg:

$$A_x = \beta_1 \cdot W_x; B_x = \beta_2 \cdot W_x; A_x + B_x = W_x;$$

A függőleges támaszerők erőpárt alkotnak, amelyek a vízszintes terhet teljes nyomatékát ki-egyensúlyozzák:

$$\overline{M}_0 = M_0^N$$

Ugyanakkor a vízszintes támaszerőkből az oszlopokon is fellép nyomaték, de az előző esettel ellentétesen most a felső sarokponton lép fel azonos nagyságú nyomaték. A felső sarokpontok egyensúlyát a gerendavégekhez lévő nyomatékok biztosítják.

A merevítőelemek célszerű elhelyezése

A vízszintes erők felvétele szempontjából egy épület meghatározó adottsága két jellemző pontja és az azon átmenő tengelyek helyzete.

Az egyik pont a vízszintes szélterők eredőjének támadáspontja "S": az épület kontúrja meghatározott irányú szélterők metszéspontja.

Felvételezéseink szerint a szélterők az egyes homlokzati síkok középpontjában hatnak. Földengés esetén a vízszintes erők eredőjét az épület "tömegközéppontjában" tételezzük fel.

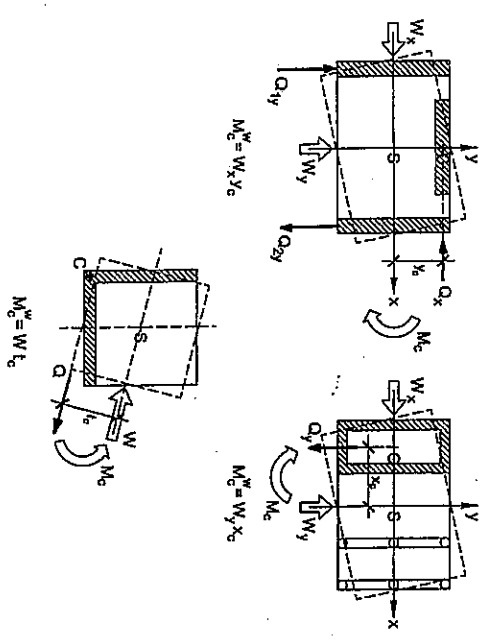
A merevítőelemekből álló szerkezeti rendszer másik meghatározó pontja a merevítőerők eredője által meghatározott "C" pont: a merevségi (csavarási) középpont.

E pont jellemzője, hogy:

- az ebben a pontban ható főtengeleyirányú erő hatására a rendszer csak az erő irányában végez eltolódást és elfordulás nem lép fel
- a "C" ponton átmenő tengely körüli nyomaték csak elfordulást okoz, eltolódás nem következik be.

Minden esetben kerüljünk el a csak párhuzamos vagy egyetlen ponton átmenő síkban elhelyezett merevítőelemek alkalmazását.

A merevítőelemekből álló szerkezeti rendszer tervezésénél a csavarási nyomaték elkerülésére vagy legalábbis csökkentésére, illetve kedvező felvételére kell törekednünk.



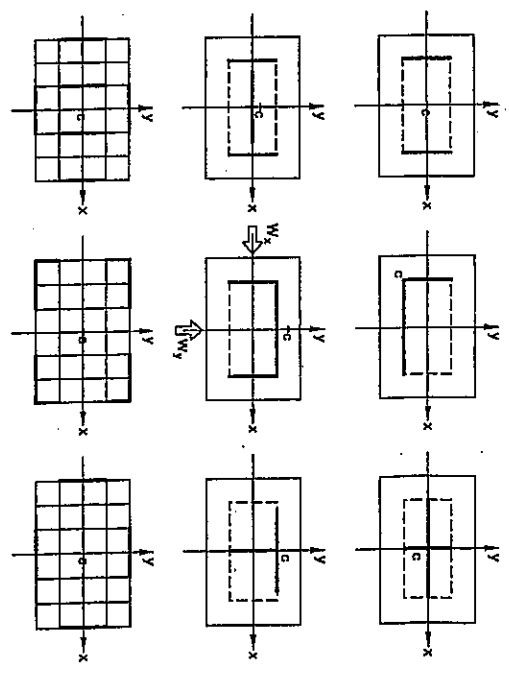
Ábra — Csavarási veszélyt jelentő elrendezések

-Zárt mag vagy doboszerkezet alkalmazása esetén is a minél nagyobb méretre cél szerű törekednünk.

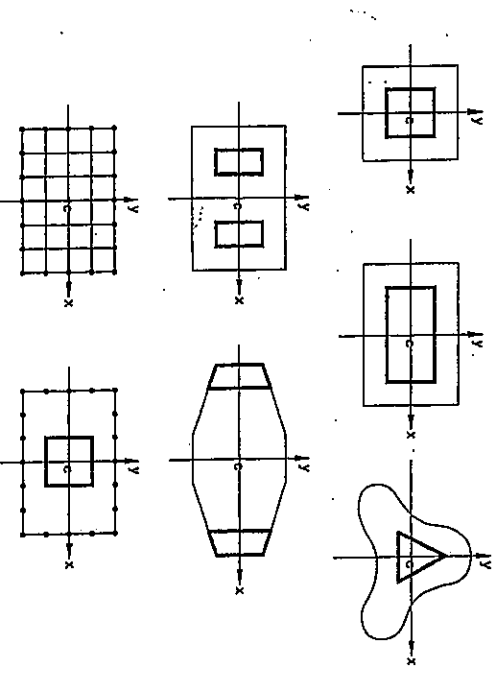
Ennek statikailag legkedvezőbb szélső esete az egész épületet átfogó doboszerkezet alkalmazása.

- A kisméretű belső merevítés vagy mag szerkezet nemcsak a kisebb csavarási ellenállás, hanem az alapozásra ható nagyobb derekterő miatt is kedvezőtlen.

- A nyitott [X, Z, stb.] keresztmetszeti mag szerkezetek hatékonysága lényegesen kisebb, ezért lehetőleg a zárt magok, dobosok alkalmazása javasolható.



2. ábra — Síkbeli merevítőelemek elrendezési lehetősége



Ábra — Mag szerkezetek célszerű elhelyezése

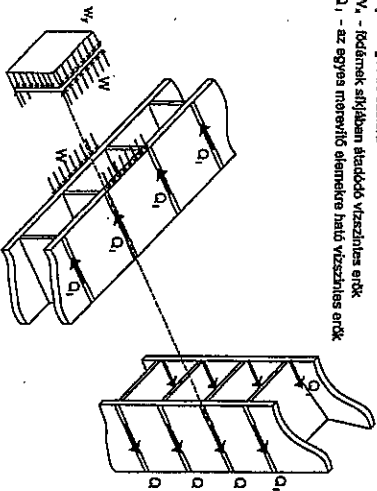
Ennek érdekében a síkbeli merevítőelemek elhelyezésénél javasolható alapelvek:

- Szimmetrikus elrendezés, amelynél nem lép fel csavaró igénybevétel.
- Merevítőelemek egymástól minél nagyobb távolságra történő elhelyezésével a csavarási nyomaték kedvező felvételét biztosíthatjuk. Ez az egyen súlyozó erők közötti legnagyobb kar a homlokzati síkban kialakított merevítőelemek esetén érhető el.

A vízszintes erők elosztása a merevítő elemek között

A közelítő számítás feltételei

W_y - megrészlő szelvény
 W_x - födémek síkjában átrendező vízszintes erők
 Q_1 - ez egyes merevítő elemekre ható vízszintes erők



ábra — A vízszintes erők átadása

Az egyes merevítőelemek vizsgálatára szempontjából alapvető kérdés annak eldöntése, hogy milyen arányban vesznek részt a teljes épületre ható vízszintes erők felvételében.

Általában nem indulhatunk ki az alaprajzi méretekben meghatározható valamilyen "terhelőmező" felvételeiből. Még a közelítő számítás céljára is ennél pontosabb kiindulási feltételre van szükségünk, amely figyelembe veszi a teljes épületváz együttlételezését, az épület alakváltozását is.

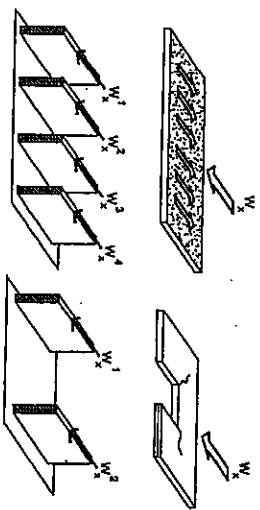
Az épület erőátvitelét jól közelítő számítás az alábbi egyszerűsítő feltételekre épül.

1. Födémek

- A födémek saját síkjukban végtelenül merev, összefüggő tárcsának tekintendők - így a síkjukban bekövetkező alakváltozásokat elhanyagoljuk.

("Hajlékony" födém esetében, pl. pontosabb számítással kell figyelembe venni a födém saját síkjában fellépő alakváltozásokat).

ábra — A síkjukban végtelen merev födémek szerepe



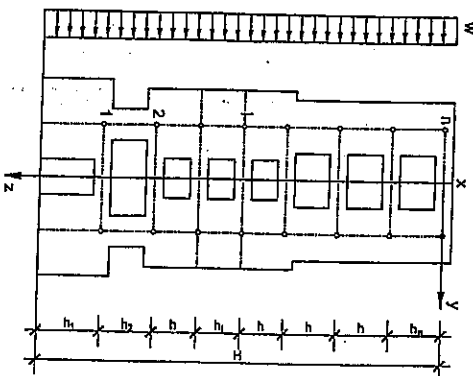
- A síkjukra merőlegesen teljesen hajlékonynak tekinthető födémek a merevítő függőleges sík elfordulását nem akadályozzák.
 - A födémek és merevítőelemek kapcsolata biztosítja az együttlételezést. Ez a kapcsolat csuklósnak tekinthető, amely a vízszintes erők hatására csak vízszintes erőfő ad át.

2. Merevítőelemek

- A merevítőelemekről feltételezzük, hogy szabályosak, azaz alaprajzi elrendezésük, valamint a keresztmetszetük inerciák aránya is a teljes magasságban állandó (pl. a "v" falvastagság változása esetén) és valamennyi elem magassága azonos ($h_1 = \text{konstans}$). Egyébként valamennyi merevítőelem kialakításánál jellemős szabadságunk van, amint ez a ábrán látható.
- A merevítőelemek függőleges helyzetű, alul befogott, állandó keresztmetszetű konzolnak tekinthetők.
- A merevítőelem összerakott keresztmetszetei is kialakítható, ha a függőleges élük mentén biztosítjuk a nyíróerők felvételét.
- A számítás ténör merevítőelemeket tételez fel, a nyíróerők és esetleg egyéb részletek módosító hatását helyettesítő inerciával vesszük figyelembe.
- A számításban a merevítőelemek csavarási merevségét elhanyagoljuk.
- Függőleges síkú (légalap keresztmetszetű merevítőelemek, merevítőfalak esetén feltételezzük, hogy az egyik oldal a másiknál lényegesen nagyobb és a síkjára merőleges merevsége (inerciánomátéka) általában elhanyagolható, $I_2 = 0$.

3. Terhek

- A vízszintes erőkről feltételezzük, hogy azok az épület magassága mentén azonos elrendezésűek és irányúak.
- A vízszintes erők nagyságának esetleges változása arányos, nem befolyásolja az eredő helyét és irányát.
- A "szabályos", 10-15 szintű nem magasabb épületek esetén a szélterhet a homlokzatra ható egyenletesen megoszló terheknek tekinthetjük, amelyet a födémek szintenként koncentrált erőként adják át a merevítőelemekre.



ábra — A függőleges síkú szabályos merevítőelem

A számítási módszere

1. Az egyensúlyi egyenletek

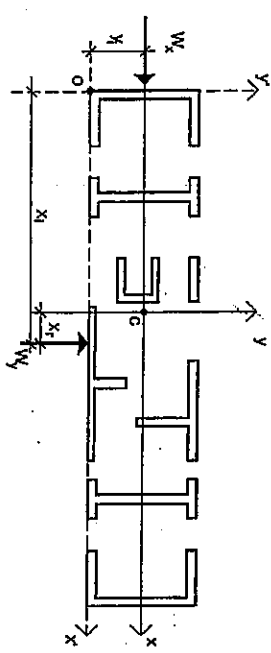
Az egyes merevítőelemekben fellépő erők eredője $Q_R \left[\sum_1^m Q_i \cdot y_i - \sum_1^m Q_i \cdot x_i \right]$ egyensúlyi tart az egész épületre ható vízszintes eredőjével $W_R [W_x; W_y]$

Az egyensúlyi egyenletek:

$$\sum X = 0 \quad W_x - \sum_1^m Q_i \cdot x_i = 0$$

$$\sum Y = 0 \quad W_y - \sum_1^m Q_i \cdot y_i = 0$$

$$\sum M_0 = 0 \quad M_0^* - \sum_1^m M_0^i = 0$$



Ábra — A vízszintes erővel terhelt épületváz

A nyomatéki egyenletet a sík egy tetszőlegesen felvett pontjára írjuk fel, így pl. a "0" pontra számított nyomaték a szélerőkötől, illetve a merevítőelemekben fellépő vízszintes erőktől:

$$M_0^* = W_x \cdot y_1 - W_y \cdot x_1; \quad \sum_1^m M_0^i = \sum_1^m (Q_i \cdot y_i - Q_i \cdot x_i)$$

A számítás célja az egyes merevítőelemekben fellépő vízszintes erők meghatározása. Három (nem párhuzamos) elem esetén statikailag határozott a feladat, háromnál több merevítőelem esetén a feladat statikailag határozatlan.

2. A merevítők statikailag határozott elrendezése

Statikailag határozott elrendezéssel elsőfokú kapcsolatú pillérvázak merevítőfalainak vizsgálataánál találkozhatunk. Az épületre ható vízszintes erők felvételeiben az egyes merevítőelemek olymértékben vesznek részt, hogy a vízszintes síkban ható erők egyensúlyi biztosítva legyen.

Az ábrán a legegyszerűbben előforduló két esetet mutatjuk be.

Párhuzamos merevítőelemek esetén a tengelyükre merőleges irányú vetületi egyenlet nem használható és így csak két ismeretlen merevítő esetén lesz a rendszer statikailag határozott.

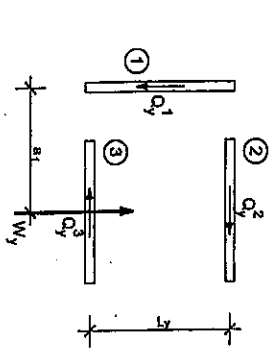
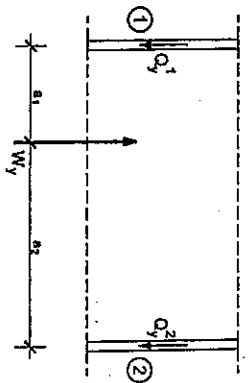
3. Statikailag határozatlan épületvázak

Háromnál több merevítőelem esetén ($m > 3$) az m-számú ismeretlen erő meghatározására nem elegendő a három egyensúlyi egyenlet – a feladat statikailag határozatlan és alakváltozási feltételek figyelembevétele szükséges.

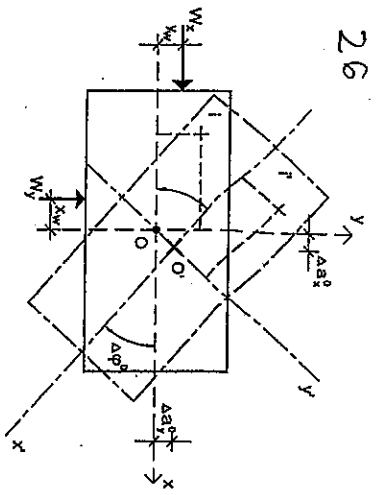
Szabályos vagy közelíthetőként annak tekinthető elemekből álló épületvázak esetén a gyakorlat számára megfelelő eredményt nyerünk, ha csak egyetlen síkban – általában a legfelső földem síkjában – vizsgáljuk a szerkezetet. Ekkor a mozgásmódszer elvének alkalmazásával egyszeri számítási módszer építhető fel.

Ismeretlenek tekintjük a legfelső szint egy pontja alakváltozásának három összetevőjét, amelyeket a három egyensúlyi egyenletről határozzunk meg.

Számítási feltételezéseink szerint a földnek és így a legfelső földem alakváltozása is "nerevesszerű" lesz, elhanyagolható és elfordulhat, de nem torzul el. Így a merevítőelemek és a földnek közötti kapcsolatot következtében az egyes merevítőelemek alakváltozása követi a földnek közötti kapcsolatot és az egyes merevítőelemek alakváltozása a földem változatlán geometriájából kiszámítható, ha ismerjük egy pontjának eltolódását és az elfordulást ebben a pontban.



Ábra — Statikailag határozott merevítőrendszer
a.) két párhuzamos merevítőelem
b.) három függőleges síki merevítőelem



Ábra — A legfelső szint alakváltozása

ből számítható ki, ahol az ismeretlen alakváltozások és a merevítőelemek merevségének segítségével határozzuk meg a fellépő egyensúlyozó erőket.

Az egyenletek azt fejezik ki, hogy a térbeli épületvázra vízszintes síkban ható kiliúsó erőkkel az egyes merevítőelemekben fellépő vízszintes síkú erők egyensúlyt tartanak.

A számítási feltételeknek megfelelő "szabályos" merevítőelemek esetén a vízszintes erő az épület egész magasságában ható egyenletesen megoszló teher.

$$Q_x = q_x \cdot H; \quad Q_y = q_y \cdot H$$

Többszintes épületvázak osztályozása

Az „alapvető” tartószerkezeti elemek

A többszintes épületeknél a függőleges terhek mellett a magassággal arányosan nő a vízszintes erők szerepe is.

Ezért azokat a szerkezeti elemeket, amelyek a függőleges és a vízszintes erők felvételére is alkalmasak „alapvető” tartószerkezeti elemeknek nevezzük:

Így a legfelső földem egy tetszőleges "0" pontja Δx^0 ; Δy^0 ; Δx^0 alakváltozási komponenseinek ismeretében valamennyi merevítőelem legfelső szintű alakváltozása meghatározható. Az egyes elemekre ható erők az egységnyi alakváltozáshoz tartozó erők, a merevségek ismeretében már kiszámíthatók.

A feladat a legfelső földem egy tetszőleges "0" pontjának Δx^0 ; Δy^0 alakváltozási összetevőinek meghatározására vezethető vissza. A három ismeretlen alakváltozási összetevő a három egyensúlyi egyenlet-

1. Vonalszerkezetek

Ahol befogott oszlopok, legfeljebb 2-4 szint esetén

2. Síkbeli szerkezetek

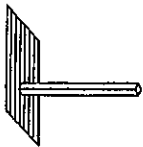
A tömör vagy nyílásokkal, nyílássalal áttört folytonos falakon kívül a síkbeli hálózatok: keretek vagy rácsostartók

3. Térbeli szerkezetek

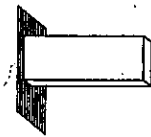
A sarokmereven összekapcsolt, falakból álló dobozszerkezet általában függőleges síkú falai a síkbeli szerkezetekkel azonos kialakítástak lehetnek.

A FÜGGŐLEGES ÉS VÍZSZINTES ERŐK FELVÉTELÉNE ALKALMAS TARTÓSZERKEZETEK

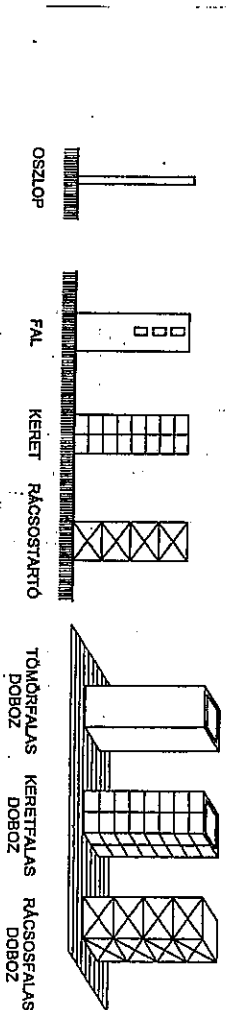
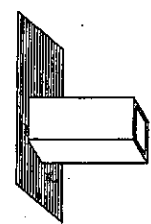
1. VONALSZERKEZETEK



2. SÍKBELI SZERKEZETEK



3. TÉRBELI SZERKEZETEK



Ábra — Az „alapvető” tartószerkezeti elemek

A tartószerkezeti rendszerek osztályozása

Egyszerű megkülönböztetésre ad lehetőséget, hogy az épületvázat azonos vagy eltérő „alapvető” tartószerkezeti elemek alkotják.

Tiszta rendszernek tekintjük, ha csak egy típusú elemeket alkalmazunk.

Vegyes rendszerűnek tekintjük azokat az épületvázat, ahol különböző „alapvető” tartószerkezeti elemek vesznek részt az erőátvitelben.

Hatékony és célszerű lehet pl. keretvázak merevségének falakkal, rácsostartókkal vagy doboz-szerkezetekkel való növelése, vagy éppen ellenkezően, a teherhordó falas épületvázak („lemezvázak”) flexibilitásának növelése érdekében egyes elemeknek keretekkel való helyettesítése.

Az ábrán bemutatott osztályozás segítséget adhat egy-egy építészeti feladat esetén célszerű tartószerkezeti rendszer kiválasztására.

TÖBBSZINTES ÉPÜLETEK TARTÓSZERKEZETI RENDSZEREI			
TISZTA TARTÓSZERKEZETI RENDSZEREK			
"K" KERETVÁZAK			
"KH" HOSSZIRÁNYÚ KERETVÁZ 	"KK" KERESZTIRÁNYÚ KERETVÁZ 	"KT" KÉTIRÁNYÚ KERETVÁZ 	VK (1.) KERETVÁZAK SÍKBELI MEREVTŐKKEL FALAKKAL VAGY RÁCSOSTARTÓKKAL
"L" LEMEZVÁZAK (TEHERHORDÓFALAS ÉPÜLETVÁZAK)			
"LH" HOSSZIRÁNYÚ FALVÁZ 	"LK" KERESZTIRÁNYÚ FALVÁZ 	"LT" KÉTIRÁNYÚ FALVÁZ 	VL (II.) LEMEZVÁZAK KERETVÁZAS SZAKASZOKKAL
"M" MAGSZERKEZETEK			
"MK" KÜLSŐ DOBOZ-SZERKEZETEK 	"MB" BELSŐ DOBOZ-SZERKEZETEK 	"MÖ" ÖSSZETETT DOBOZ-SZERKEZETEK 	VM MAGGAL EGYÜTTDOLGOZÓ ÉPÜLETVÁZAK VM₁ EGY MAGGAL EGYÜTTDOLGOZÓ ÉPÜLETVÁZAK
VM₂ TÖBB MAGGAL EGYÜTTDOLGOZÓ ÉPÜLETVÁZAK 			VM₁ EGY MAGGAL EGYÜTTDOLGOZÓ ÉPÜLETVÁZAK

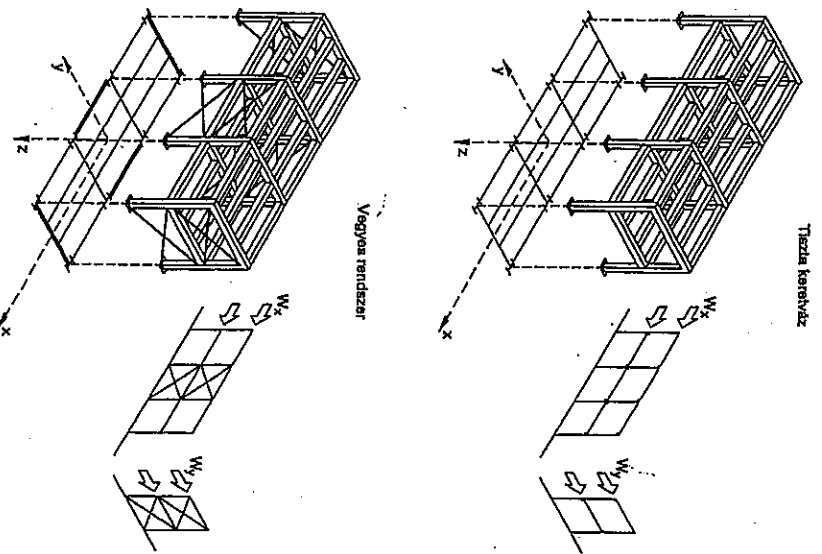
Keretvázás épületek térbeli merevsége

Az épületek térbeli merevségével az 5. fejezet foglalkozik részletesebben. E helyen csak annak biztosítására szolgáló két alapvető rendszer megkülönböztetésére hívjuk fel a figyelmet.

Az ún. „tiszta rendszerű” merevítetlen keretváz esetén a teljes függőleges és vízszintes terhelést a keretek veszik fel.

A vízszintes erők felvételére a síkbeli falak és rácsostartók vagy a térbeli dobozszerkezetek a kereteknél lényegesen hatékonyabb megoldást jelentenek. Ezért ahol ezek alkalmazása más szempontból is szükséges, azokkal célszerű a vízszintes erők felvételére is figyelembe venni.

Hazai viszonyok között 8-10 szintnél magasabb épületek esetén feltétlenül javasolandó „vegyes rendszerű”, merevített keretszerkezetek alkalmazása.



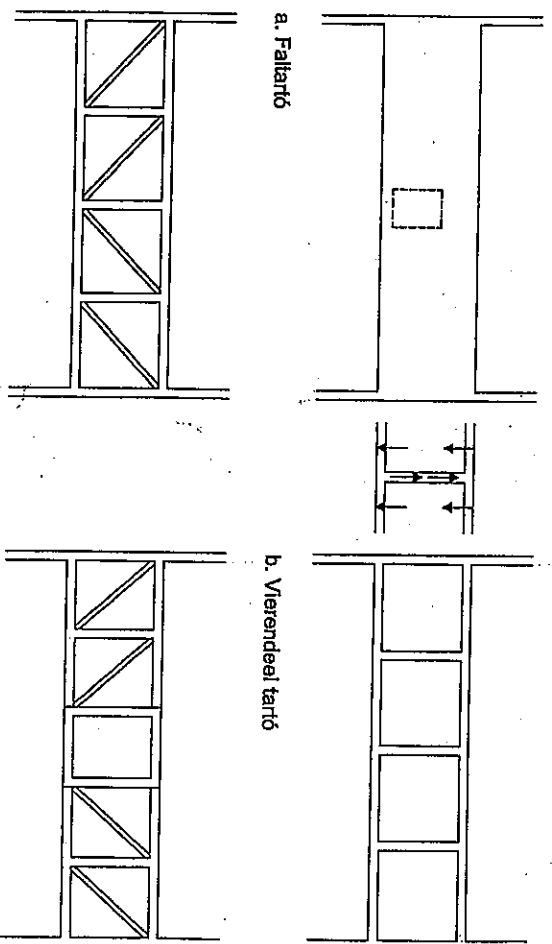
ábra – Keretvázás épületek térbeli merevítése

Keretvázak szintmagasságú tartókkal

A rendkívül kedvező statikai tulajdonságú szintmagasságú tartók alkalmazásával a szokásos szerkezeteknél kisebb anyagfelhasználással is nagyobb alátámasztás nélküli terekből álló épületek hozhatók létre.

Ezre ad lehetőséget, ha a hardtípusú keretek pilléreit (falpilléreit) szintmagasságú keretge-
rendekkel építjük meg.

Szintmagasságú tartóként alkalmazható: faltartó, VIERENDEEL-tartó, rácsostartó vagy ezek kombinációja is.



a. Faltartó

b. Vierendeel tartó

c. Rácsos tartó

d. Vegyes hálózati tartó

ábra – Szintmagasságú tartók

A szintmagasságú tartók általában két földem terhet hordják, a felső földem erre felekszlik, az alsó földem felhíggesztett.

A tartók szintjén az átközelkedés VIERENDEEL-tartó vagy sarokmerő oszlop és gerenda szakaszokat is tartalmazó vegyes megoldás esetén lényegében szabadon oldható meg. Faltartóknál az „ívtartó-szerű” erőjátéknak megfelelően nyílások célszerűen a támaszköz közepe táján helyezhetők el.

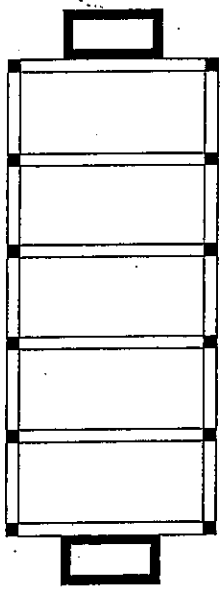
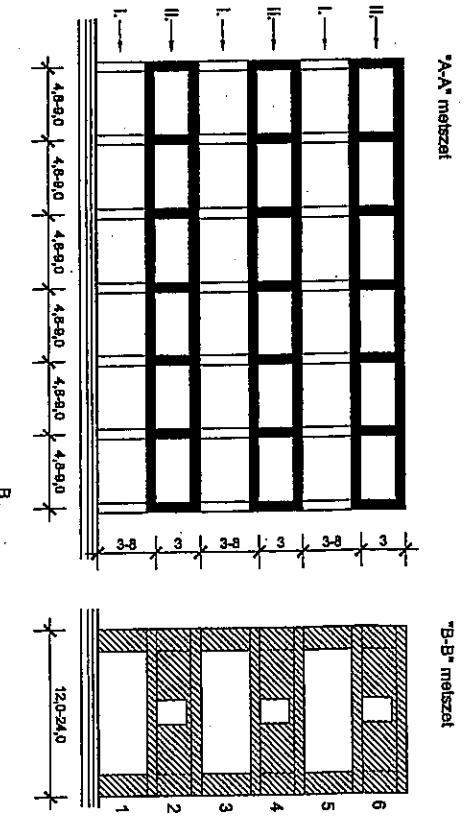
– A szintmagasságú tartókkal kialakított síkbeli keretszerkezetektől álló épületek térbeli merevsége a keretszerkezeteknél általában szokásos két megoldással biztosítható:

- a) „tisztá” rendszerű, merevítetlen keretváz – ahol a sarokmerőv csomóponti szerkezetek mindkét irányban hordják a vízszintes erőket; külön merevítéseket nem alkalmazunk.
- b) „vegyes” rendszerű, merevített keretváz – amikor egy vagy mindkét irányban a vízszintes erőket merevítő falak, függőleges rácsostartók vagy doboz szerkezetek veszik fel.

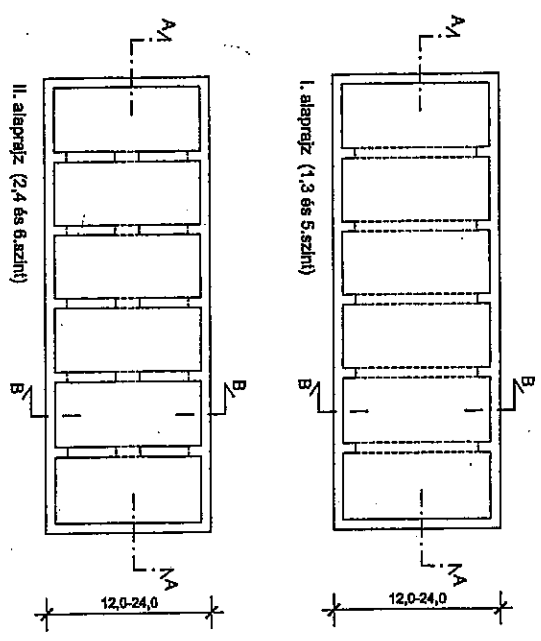
– Ha a szintmagasságú tartókat minden második szinten (2, 4 stb.) valamennyi keretállásban kialakítjuk, az alattuk lévő szinten (1, 3, stb.) nagyobb, 12,0-24,0 m feszítávolságú, alátámasztás nélküli, teljesen szabadon formálható belső tér alakítható ki.

A tartók szintjei viszont bizonyos lengélytávolságban a szintmagasságú keretgerendákkal 4,8-9,0 méterenként elhatárolt szakaszokból állnak. Ezért itt elsősorban kiszolgáló helyiségek: raktárak, irodák, öltözők helyezhetőek el, ahol a szokásos emeletmagasság elegendő.

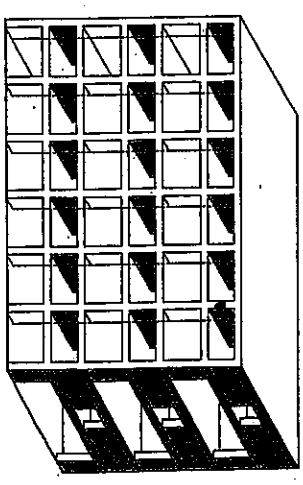
A belső alátámasztás nélküli szintek alátámasztás nélküli terei eladótérként vagy tornateremként is alkalmazhatók, amelyeknél a belmagasság is magasabb lehet.



ábra – „Vegyes” rendszerű keretváz szintmagasságú tartókkal – külön merevítő elemekkel



ábra – „Tisztá” rendszerű tartókkal kialakított keretváz

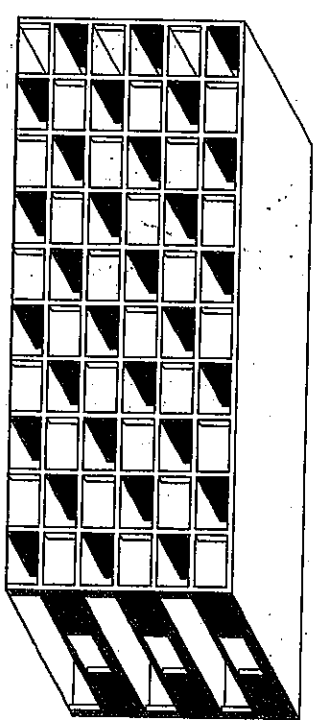
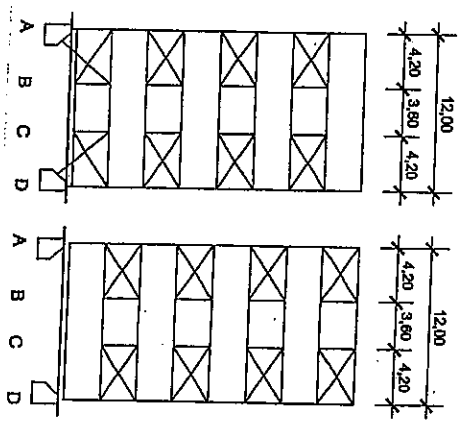
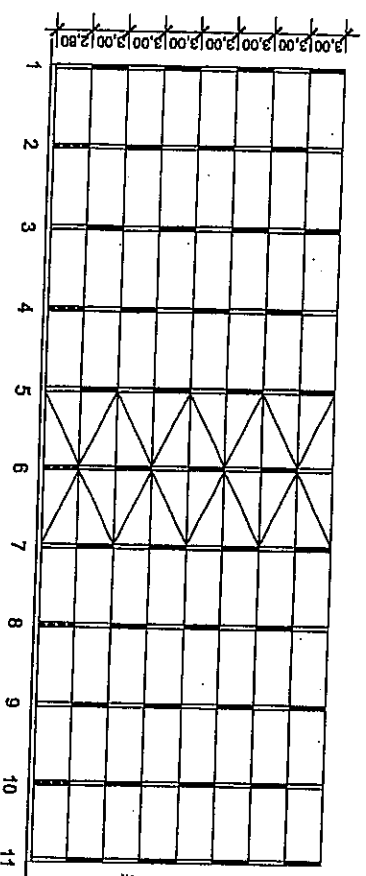
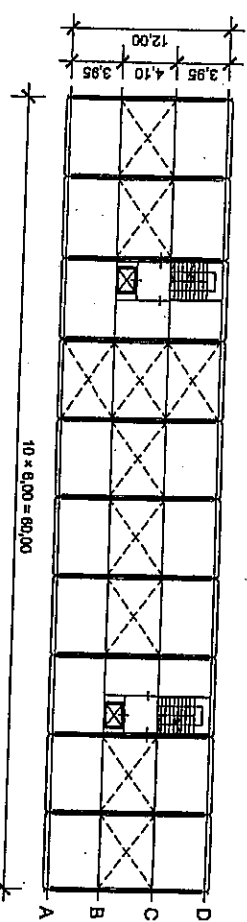


ábra – Szintmagasságú tartókkal kialakított keretváz

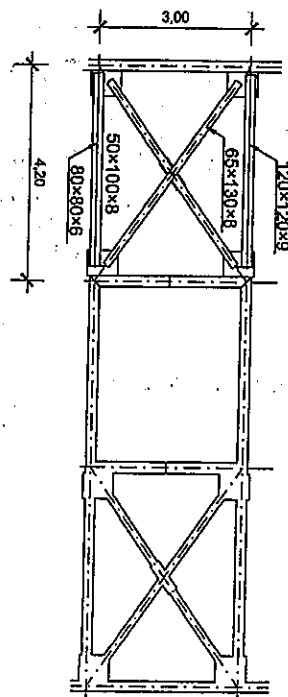
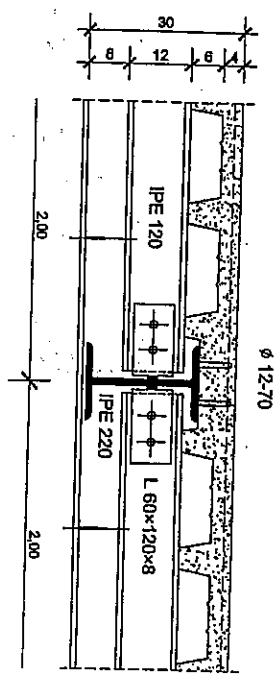
- Ha a szintmagasságú tartókat sakkábla-szerűen, a szomszédos keretállásokban elérő szinteken alakítjuk ki, az egyes szintek azonosan alakíthatók ki, nagyfeszítávolságú, belső alátámasztás nélküli szakaszokkal.

A szintmagasságú tartó esetén a nagy belső kar a támaszköz áthidalására gazdaságos megoldást jelent, az anyagfelhasználás nem több, hanem kevesebb a szokásos támaszközű ke-retszerkezetekkel szemben.

A tartókra merőleges irányban a minden második támasznál felékvó és minden közötté lévő támasznál a szintmagasságú tartóra felüligesztett födémlemezeket az igénybevételek számításánál figyelembe vett ($L=4,8-9,0$ m) támaszköz kétszeresének megfelelő alátámasztás nélkül belső teret alakíthatunk ki. ($2L=9,6-18,0$ m).



ábra - A „sakkábla-szerűen” elhelyezett szintmagasságú tartókkal kialakított keretváz [8]



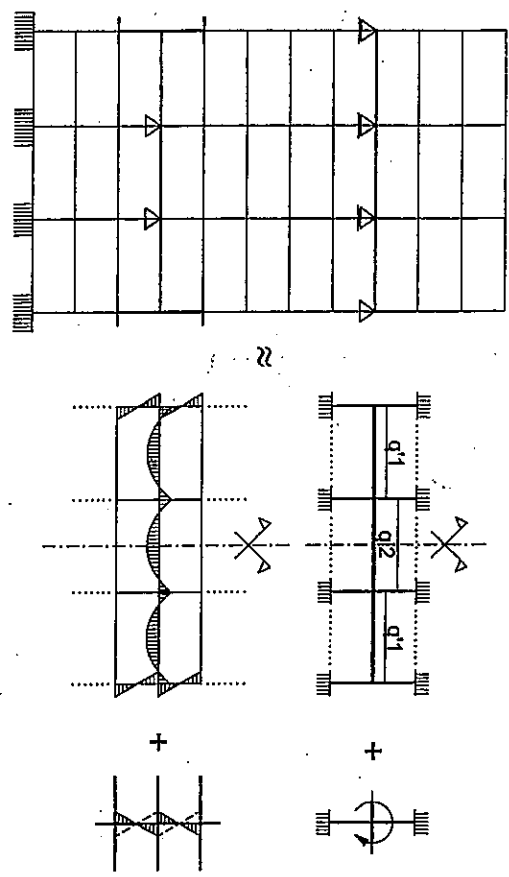
ø 12-70

Emeletes keret közelítő számítása függőleges teherre

A számítás módszerei

– A közelítő számítás során „a vízszintes és függőleges rudakból merev csomópontokkal, keretszerűen összerésztett” el nem mozduló csomópontú (fix) szerkezetet tételezünk fel. Többemeletes keretek függőleges terhelése esetén a meg nem támasztott csomópontok általában vízszintes síkban elmozdulhatnak és ezért a fenti feltételezés csak akkor engedhető meg, ha az merevítfalakkal, függőleges síkú ráccsostartóval vagy doborszerkezettel megfémasztott, meghatározott kialakítású és terhelésű (pl. szimmetrikus kialakítású és szimmetrikusan terhel).

A közelítő számítás alkalmazásánál minden esetben mérlegelni kell a feltételezés indokoltságát, az elhanyagolt kilendülés hatását.



ábra – Függőleges teherrel terhelt emeletes keret közelítő számítása

– Alkalmában a közelítő számítás a statikailag sokszorososan határozatlan sokemeletes keret egyetlen, esetleg néhány, jelentősen eltérő terhelésű szintjét vizsgálja. A közelítő statikai modeltre több egyszerűsítés is elfogadható:

– A legegyszerűbb közelítés a keretgerendákat folyatódhagos többtámaszú tartóként veszi figyelembe, a gerenda és az oszlopok között csuklós kapcsolatot feltételezve. A szélső osz-

lopokhoz való merev kapcsolat elhanyagolása különösen a pozitív nyomatéknál okoz a biztonság javára szolgáló jelentősebb pontatlanságot.

Pontosabb közelítő számítás statikai modellje a vízszintes gerenda és a szélső oszlopok között sarokmereg, a gerenda és a közbelső oszlopok között csuklós kapcsolatot tételez fel.

A szélső oszlopok másikkal végeit a tényleges megfémasztási módjuknak megfelelően vesszük figyelembe.

A közbelső oszlopra ható nyomatékokat a gerenda számításától függetlenül, a csomópontokra ható kezdeti nyomatékokból származó kiegyensúlyozatlan nyomaték egyensúlyozásával határozzuk meg.

A közelítő igénybevétele számításánál általában nem látjuk indokoltnak az esetleges teher átrendeződései lehetőségének megfelelő különböző terhelési sémák munkaigénes számítása.

A parciális terhelésből számítható oszlopnnyomatékok meghatározásával általában azonban azonos cél-szerű az előzőek szerinti közelítő számítás kiegészítése.

Szimmetrikus keretszerkezetek toális terhelése esetén a központi oszlopokban nyomaték nincs. Ezért a központi oszlopokban fellepő nyomaték közelítő értékét csak az egyik oldalán ható változó teherre számíthatjuk. A csomópontba befutó négy rúd egyenlő merevségének feltételezésével, egy-egy rúdvégre a kezdeti nyomaték egynegyede hat:

$$M^P_0 = \frac{q \cdot L^2}{12} \cdot \frac{1}{4} = \frac{q \cdot L^2}{48}$$

Vízszintes erővel terhelt emeletes keret közelfűő számítása

Számítási feltételek

- A vízszintes terhekből fellépő igénybevételek közelfűő számításánál az alábbiakat tételezzük fel:

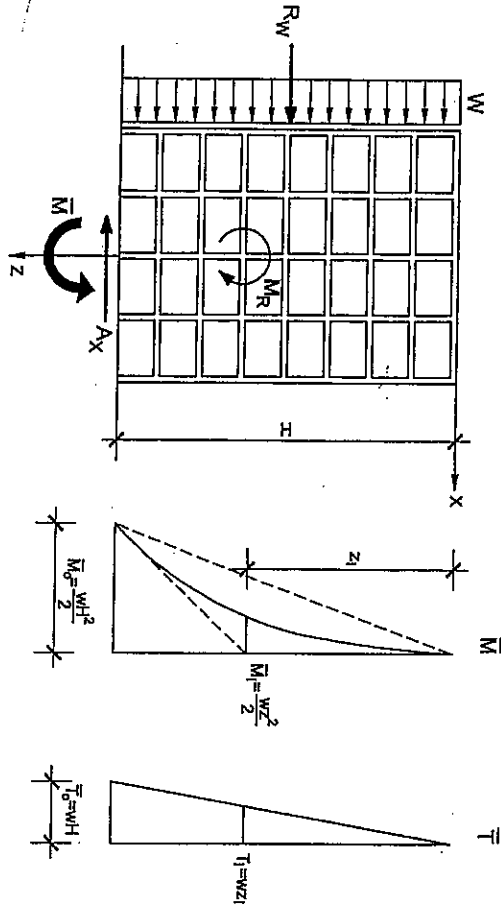
- a) A függőleges és a vízszintes teher hatását külön vizsgáljuk.
- b) Az épületre alulról felfelé növekvő nagyságú megoszoló szélnyomást és szivást egyenletesen megoszolónak tekintjük és feltételezzük, hogy szintenként a födémek közvetlű a keretre:

$$W_i = w \cdot h_i$$

- c) A keretszerkezet szabályos: az egymás feletti gerendák és oszlopok keresztmetszete, anyaga és hossza is azonos.
- d) A végtelen meretnek feltételezett földemlű a gerendák hosszirányú alakváltozása elhanyagolható, és így feltételezhető, hogy a keret minden szintjén valamennyi oszlop elmozdulása azonos.

Megjegyzés: Amennyiben az emeletes keretszerkezet nem felel meg az előzőek szerinti feltételeknek, a közelfűő pontossága csökken. Az eltérések figyelembe vételétől függően kell mértéglekni a módszerek alkalmazhatóságát, illetve az eredmények közelfűősként való elfogadhatóságát.

- A síkbeli többszintes keretszerkezet állékonyságát meret tesként is vizsgálhatunk kell és a konzolként feltételezett teljes szerkezet egyensúlyát minden esetben biztosítani kell. (5.2. fejezet)

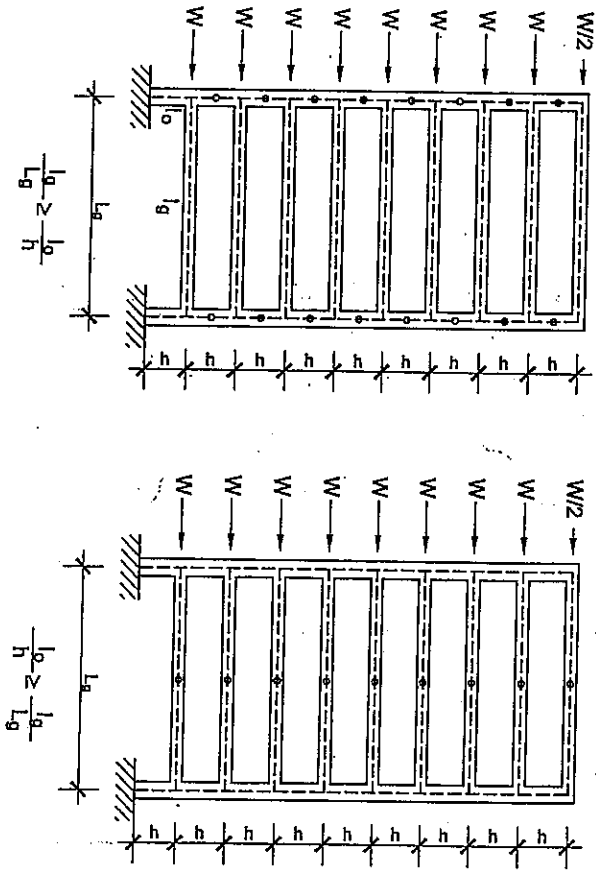


ábra - A helyettesítű keret és a helyettesítű fal konzol statikai modellje

- A közelfűő számítás egyszerűsítése érdekében a statikailag sokszorososan határozatlan emeletes keret statikai modelljét belsű csuklók feltételezésével egyszerűsítjük. A két szerkezeti elem: a gerenda és az oszlop közlű a hajlékonyabb inflexiójában tételezzük fel csuklót.

A szokásos arányok esetén az inflexió pontot az elemek középpontjában tételezzük fel.

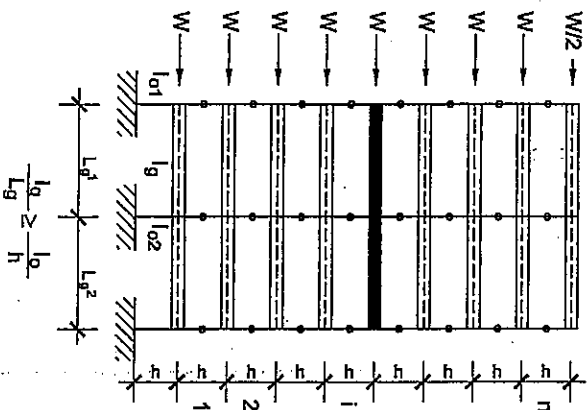
- a) $\frac{I_g}{L_g} \geq \frac{I_0}{h}$ A gerendák merevbbek, ezért a csuklókat az oszlopok középpontjában tételezzük fel és a csuklók közlű az egyes szinteket, mint „helyettesítű portál-kereteket” egymástól függetlenül számíthatjuk.
- b) $\frac{I_g}{L_g} < \frac{I_0}{h}$ Az oszlopok merevbbek, ezért a csuklókat a gerendák középpontjában tételezzük fel és a csuklóknál szűrválasztott fal konzolokat (falávokát) vizsgáljuk.



ábra - A keret „merevtesti”-szerű erűjűtűka

A „portál-módszer”

A statikai modell felvétele



A számítási módszer akkor alkalmazható megfelelő pontossággal, ha a gerendák merevsége az oszlopokénál nagyobb és ezért a keret erőjátéka a végételen merev gerendájú szerkezethez hasonlóan alakul.

A kinudulási feltételezésünk szerint a végételen merev gerenda hajlítási alakváltozása is elhanyagolható, a keretszerkezetek csomópontjai nem fordulhatnak el, és csak a csomópontoknak a hajlékony oszlopok alakváltozása miatt elmozdulása jön létre.

A számítási lépései:

1. lépés A keretszerkezet felbontása

Az ekeletes keretszerkezetet az oszlopok középpontjában, feltételezett csuklókkal egymás fölé állított egy szintes (portál) keretekre bontjuk.

A „portálkeretek” a függőleges és vízszintes erőket a csuklókon adják át az alattuk lévő keretekre.

2. lépés A képzetes csuklók közötti „portálkeret” terhei

A nyomatékai zérusponton képzelt csuklókon adódik át a felette ható vízszintes erők eredője:

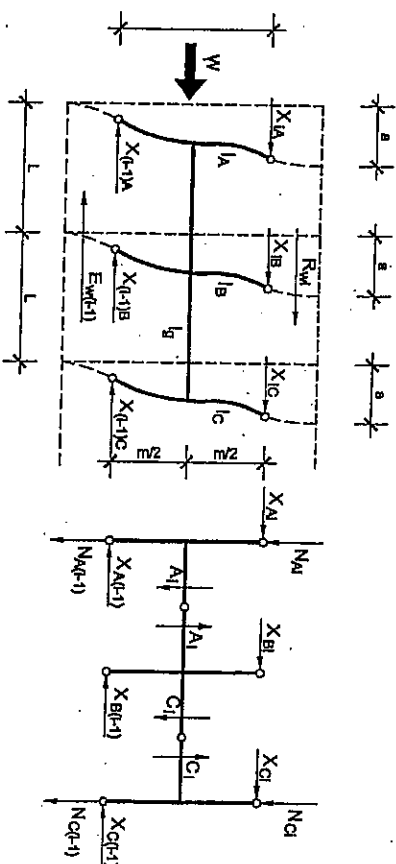
$$R_{wi} = \sum_{m=1}^i W_i; \quad \text{és az alatta lévő szinten:} \quad R_{wi+1} = \sum_{m=1}^{i+1} W_i = R_{wi} + W_i$$

Az egyes szintek feltételezett azonos elmozdulása miatt a vízszintes erők minden szinten az oszlopok között azok eltolódási merevségének arányában oszlanak meg:

$$\text{ahol} \quad X_{Ai} = \beta_A \cdot R_{wi}; \quad X_{Bi} = \beta_B \cdot R_{wi}; \quad X_{Ci} = \beta_C \cdot R_{wi}$$

Szabályos keretekenél egy-egy szinten az emelkedésség és a betonminőség is azonos, így a merevségek aránya csak az inerciák arányától függ. Így az egyes oszlopok között a vízszintes erők oszto tényezői:

$$\beta_A = \frac{I_A}{\sum I}; \quad \beta_B = \frac{I_B}{\sum I}; \quad \beta_C = \frac{I_C}{\sum I}; \quad \sum I = I_A + I_B + I_C$$



Ábra - A „portálkeret” statikai modellje az i-edik szinten

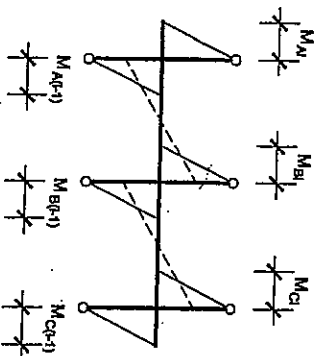
3. lépés Az oszlopvégek nyomatékainak meghatározása az i-edik szinten

A csomópont felett:

$$M_{Ai} = X_{Ai} \cdot \frac{h}{2}; \quad M_{Bi} = X_{Bi} \cdot \frac{h}{2}; \quad M_{Ci} = X_{Ci} \cdot \frac{h}{2}$$

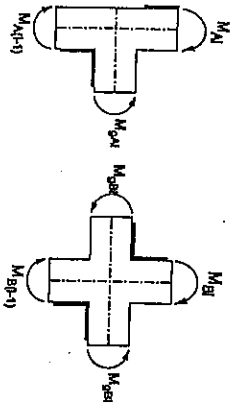
A csomópont alatt:

$$M_{A(i-1)} = X_{A(i-1)} \cdot \frac{h}{2}; \quad M_{B(i-1)} = X_{B(i-1)} \cdot \frac{h}{2}; \quad M_{C(i-1)} = X_{C(i-1)} \cdot \frac{h}{2}$$



Ábra - A függőleges oszlopok nyomatékai

4. lépés A gerendák igénybevételei

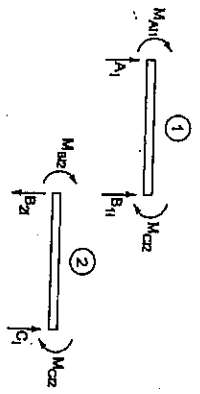


A csomópontok egyensúlyához a gerendavégeken is nyomatok lépnek fel, amelyet a csomópontok egyensúlyából számíthatunk.

Az i-edik szinten:

$$M_{Ai}^E = M_{Bi}^E = M_{Ai}^0 + M_{Bi}^0$$

Az ① rúdra ható hatónyomatok azonos irányban forgának és a fémcszerők erőfárga biztosítja az egyensúlyt: $A_1 = -B_1$



A „portálkeret” csomópontjainak egyensúlya és a gerendák támaszerői

Az oszlopoknál vízszintes erők is hatnak a gerendákra, így azokban tengelyirányú nyomóerő is fellép. $N_{ji}^E = R_j - X_{Ai}$; $N_{ji}^E = N_{ji}^E - X_{ji}$

5. lépés Az oszlopok igénybevételei

A szélérők és a csuklóban fellépő vízszintes erők az oszlopokban nyíróerőt okoznak:

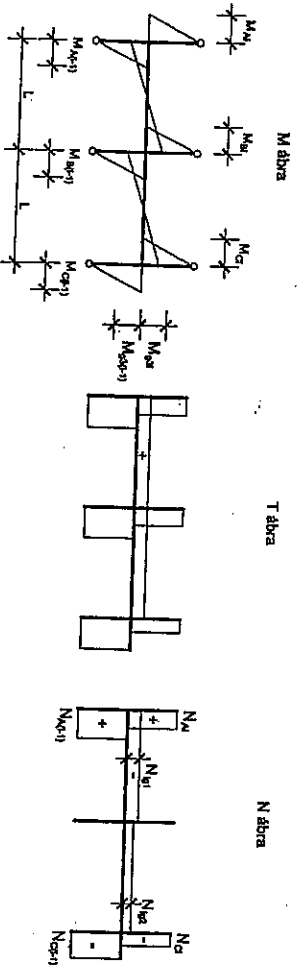
$$T_{0A} = X_{Ai}$$

$$N_{0A}^i = A_{gi}^i \text{ (húzás);}$$

$$N_{0B}^i = B_{gi}^i - B_{gi}^i;$$

$$N_{0C}^i = C A_{gi}^i \text{ (nyomás)}$$

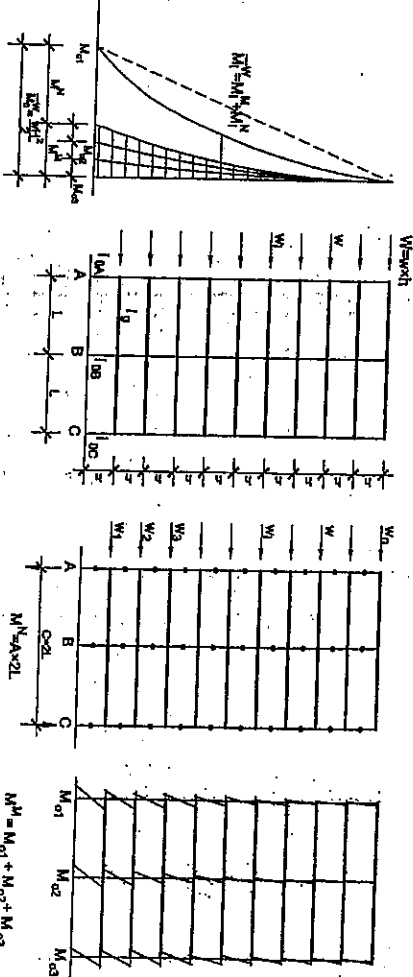
6. lépés A „portálkeret” igénybevétel ábrái az i-edik szinten



ábra – Az i-edik szintű „portálkeret” igénybevétel ábrái

7. lépés Az emeletes keret igénybevételei ábrái
Valamennyi szinten a számítást elvégezve a teljes keretszerkezet igénybevételeit közelítően meghatározhatjuk és elkészíthetjük az N, T, M ábrákat.

A közelítő számítás céljából ritkán van szükség a teljes szerkezet számítására és belső erő ábrára, általában a legnagyobb igénybevételei alsó szintek és esetleg további jellemző szint számítása elegendő. A módszer előnye, hogy az egyes elemek, szintek igénybevételei külön-külön is meghatározhatók.



ábra – Az emeletes keret nyomatai ábrája

A számítások eredményeiből jól látható, hogy a síkbeli emeletes keretszerkezetre ható vízszintes erők nyomataikat csak részben az oszlopok nyomataik, jelentős részben az oszlopokban fellépő derékerők erőfárga (erőfárgái) egyensúlyozzák.

$$M_i = M_{oi} + M_i^N$$

$$M_{oi} = \sum M_{oi}$$

és

$$M_i^N = N_i \cdot L = \sum A_{gi} \cdot L$$

Szám példa

A 7. ábrán megadott ütszintes keret szabályos elrendezésű vázas épületben, 6 méterenként áll.

A földén többtámaszú lemez. A számítási feltételezések szerint külön vizsgáljuk a keretre ható függőleges és vízszintes erők hatását.

a) Függőleges erővel terhelt keret közelítő számítása

A földön által átadott teher maximális értékét $q_{M} = 16 \text{ kN/m}^2$ -re vesszük, a zárófódiémet $q_{M} = 8 \text{ kN/m}^2$ -re. A keretgerendára jutó terhet közelítően a 6 m széles terhelési mezővel számítjuk.

Ekkor a gerendára ható függőleges teher:

$$q_{1,4} = 6 \cdot 16 = 96 \text{ kN/m, ill. } q_5 = 48 \text{ kN/m.}$$

Alkalmazzuk a 11.10. és a 11.11. fejezet szerinti közelítő feltételeket.

A közelítő számítás során a keret egy-egy gerendáját a kapcsolódó oszlopokkal együtt kiemeljük.

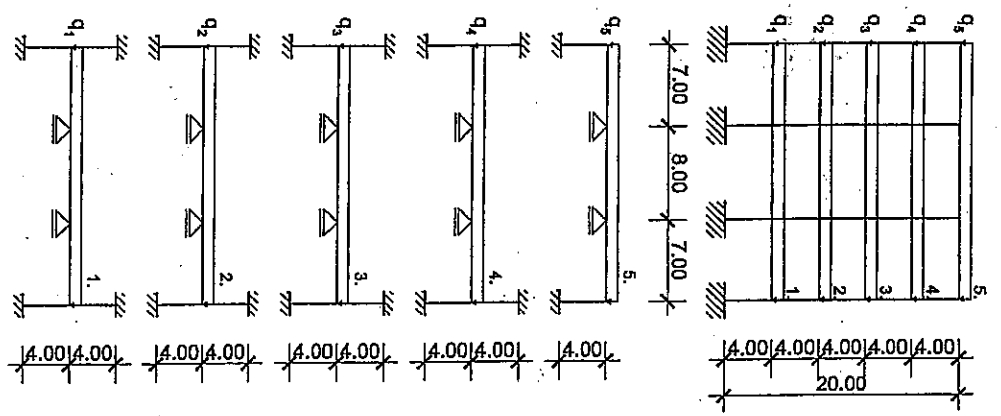
A kapcsolódó oszlopok másik végét a tényleges megáramlási módjuknak megfelelően vesszük figyelembe. A közbülső oszlopokat támasszal helyettesítjük. Az így kapott „helyettesítő keretek” külön-külön vizsgálhatók.

A helyettesítő keretet szétbontjuk rudakra, majd a gerendák végét befogottuk tekintve kiszámítjuk a végnyomatékokat, ha egy közbülső támasszal nincs egyensúly, a különbséget egyenlően szétoszthatjuk a két gerendára. (Az ebből származó másik végi nyomaték és nyíróerő kicsi, figyelmen kívül hagyható.) A szélső csomópontokban a kapcsolódó oszlopok végnyomatéka biztosítja az egyensúlyt.

A szélső oszlopok másik végén keletkező végnyomaték a csomóponti egyensúlyi összetevője. Számpéldánkban a helyettesítő keretekben a főtűs oszlopok helyett csak az oszlopokból kapott erőhatást vesszük a csomópontokra.

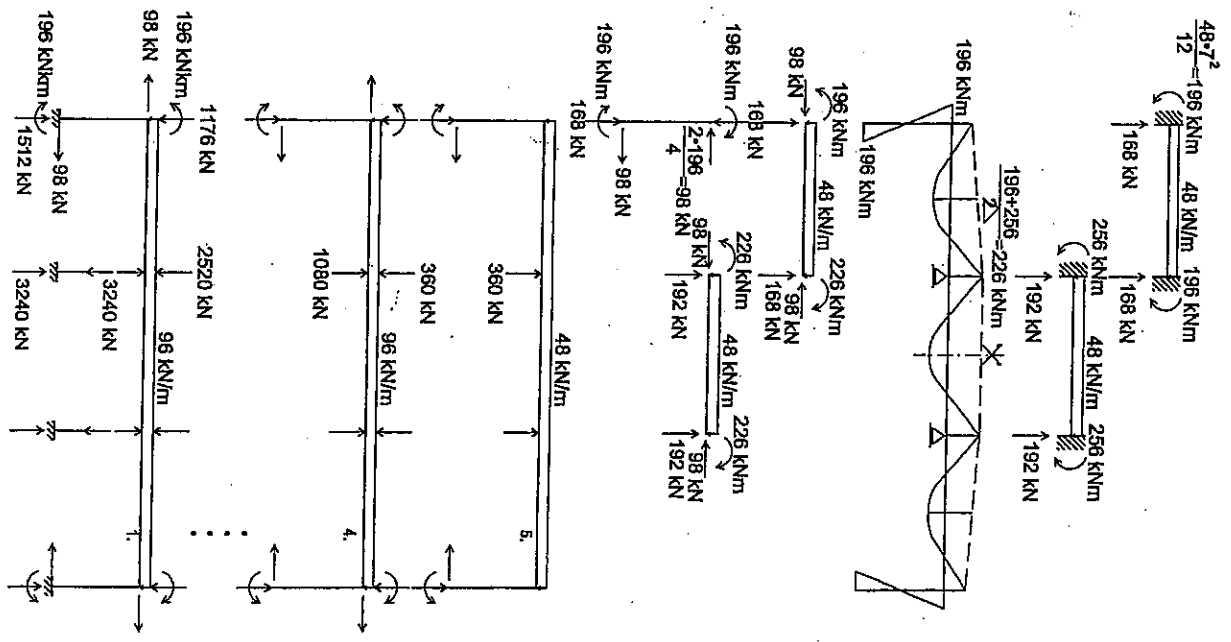
A gerendák egyensúlyához függőleges támaszerő szükséges, ami a gerendán nyíróerőt, az oszlopon derékerőt jelent. Az oszlop derékerők természetesen lefelé összegződnek.

Az oszlopok végnyomatékainak egyensúlyához szükséges vízszintes erőpár az oszlopon nyíróerőt, a gerendán derékerőt jelent.



7. ábra - A függőleges terhekkel terhelt keret

A legfelső szint vizsgálata:



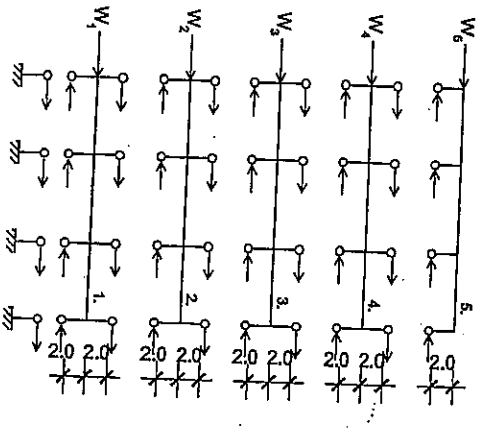
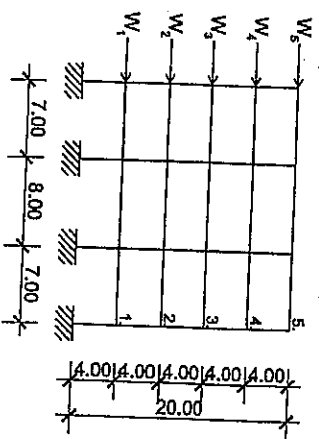
8. ábra - Igénybevétel a függőleges teher hatására

A számítás rendkívül egyszerű, szinte „fejen” elvégezhető. Többszintes keret esetén a legalsó szint igénybevételei és a támaszok a közbilités szintek vizsgálata nélkül is kiszámíthatók. A legfelső szint vizsgálatát az előzőekben részletesen is bemutattuk.

[Sose felejtsük el – egy-egy kézi vagy gépi számítási szakasz után – az egyes részek és az egész szerkezet egyensúlyát ellenőrizni. Pl. szemmel látható, hogy az egész szerkezetre $\sum M = 0$ és $\sum F_H = 0$, továbbá, hogy $\sum F_V = 22 \cdot (48+4 \cdot 96) - 2 \cdot (1512 + 3240) = 0$]

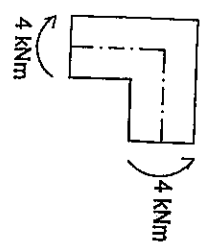
b) Vízszintes erővel terhelt keret közelítő számítása

Az előzőekben vizsgált ötszintes keret szabályos elrendezését vázas épületben, 6 méterenként áll. A homlokzatra ható szélterhet közelítően $w_M = 1,0 \text{ kN/m}^2$ értékre vehetjük. Ekkor – a homlokzatok és a földnek közvértésével – a keret egy szintjére jutó vízszintes terhet: $W_{1,4} = 6 \cdot 4 \cdot 1,0 = 24 \text{ kN}$, III. $W_5 = 12 \text{ kN}$.



Ábra – Vízszintes terheléssel terhelt keret

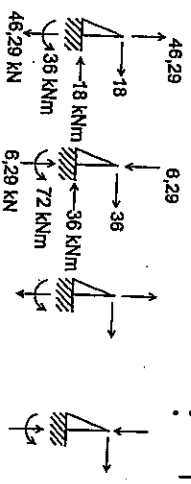
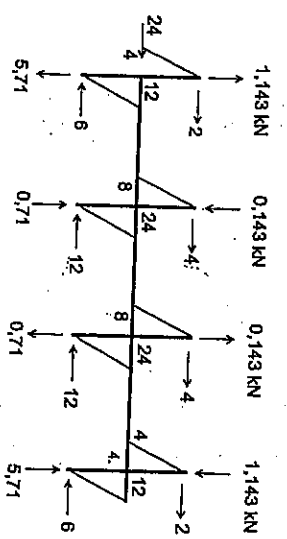
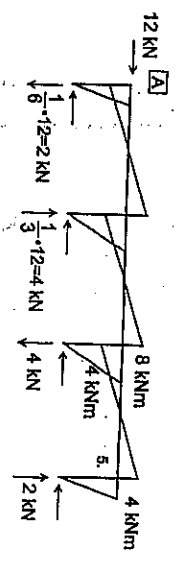
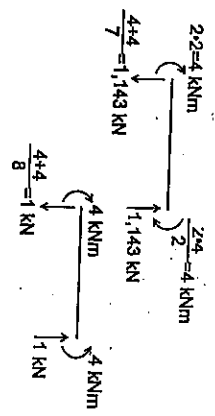
A) SAROKPONT



A számítás most is rendkívül egyszerű, szinte „fejen” elvégezhető. A felső szint vizsgálatát részletesebben is bemutattuk.

Itt se felejtsük el az egyes részek és az egész szerkezet egyensúlyát ellenőrizni!

Pl. látható, hogy a felső szintre $\sum F_V = 0$ és $\sum F_H = 0$, továbbá, hogy $\sum M = 12,0 \cdot 2,0 - 1,143 \cdot 22,0 + 0,143 \cdot 8,0 = 0$



Ábra – Igénybevételek a vízszintes terheléssel

Alkalmazzuk a fejezet szerinti közelítő feltevéseket! Feltejezzük, hogy a gerendák merevsége azonos, ezért az oszlopok közepén csuklót képzelünk, és – az ábra szerint – szintenként szétválasszunk a szerkezetet „helyettesítő portálkeretekre”.

Feltejezzük, hogy a szélső oszlopok merevsége fele akkora, mint a közbilitők, így az egyes oszlopok között a vízszintes erők osztó tényezői a merevségek arányában:

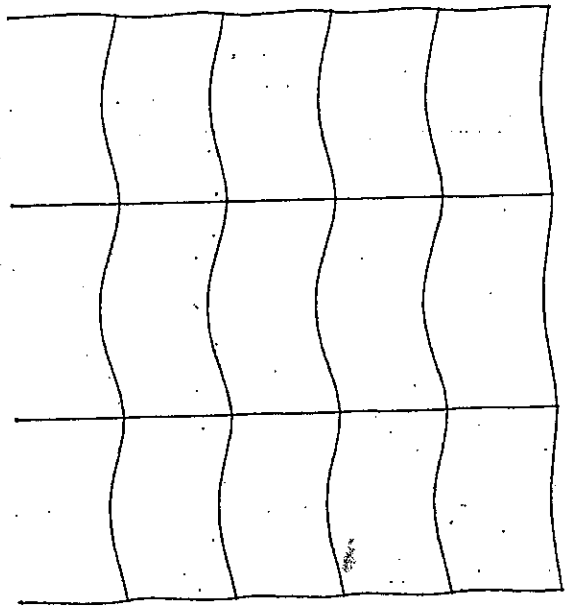
$$\beta_{közbités} = \frac{1}{3} \quad \text{és} \quad \beta_{szélső} = \frac{1}{6}$$

Ezután a helyettesítő keretet is szétbontjuk rudakra, és ezek egyensúlyát vizsgáljuk. Az oszlopok vékonyomatéka a vízszintes csuklóerőből adódik.

A csomópontba befogott oszlopok vékonyomatékát a gerendák vékonyomatéka egyensúlyozza. A közbilités csomópontoknál a kiegyensúlyozatlan nyomatékon a gerendák fele-fele arányban osztoznak.

Végül a gerendák egyensúlyához szükséges erő-pár számítjuk, ami a gerendán nyíróerőt, az oszlopokon normálterőt okoz.

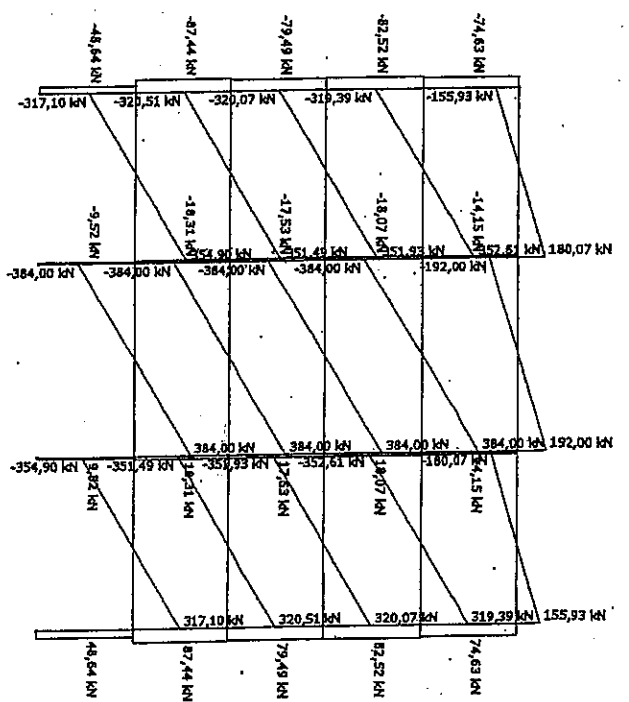
A 11. ábrákon a függőleges terhek, a 12. ábrákon a vízszintes terhek hatására keletkező igénybevételek AXIS számítógépi programmal meghatározott értékeit ábrázoltuk.



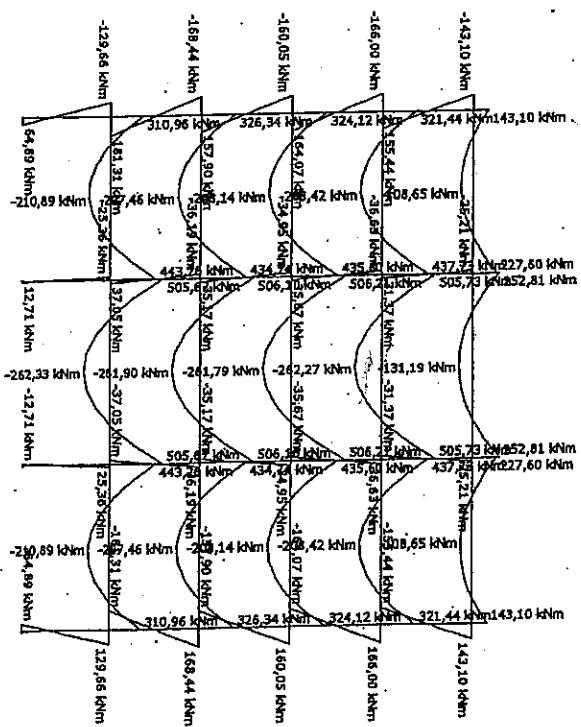
11. ábra – A függőleges erők hatása (gépi számítási eredmények)
a) Alakváltozások

-155,93 kN	-74,63 kN	-372,07 kN	-88,78 kN	-372,07 kN	-155,93 kN
-475,31 kN	3,03 kN	-1108,69 kN	3,58 kN	-1108,69 kN	-475,31 kN
-795,39 kN		-1844,61 kN		-1844,61 kN	-795,39 kN
-1115,90 kN	38,80 kN	-2580,10 kN	47,59 kN	-2580,10 kN	-1115,90 kN
-1433,00 kN		-3319,00 kN		-3319,00 kN	-1433,00 kN

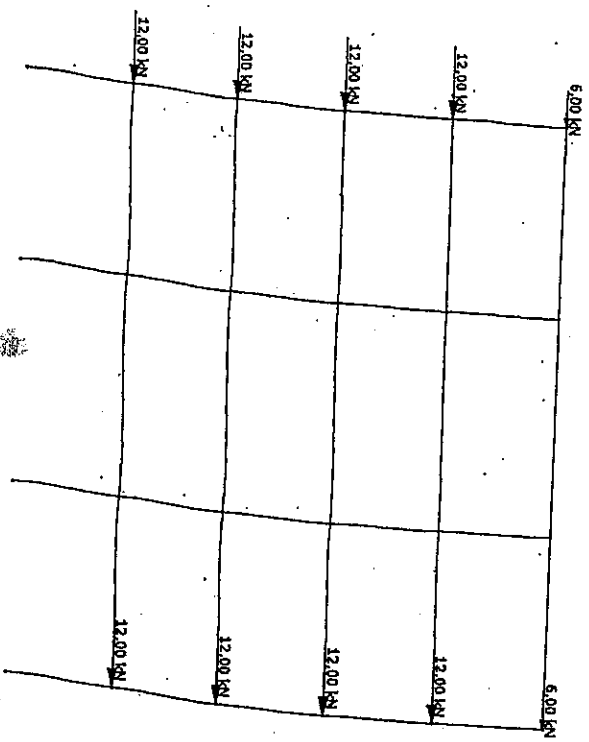
11. ábra – A függőleges erők hatása (gépi számítási eredmények)
b) NY ábra



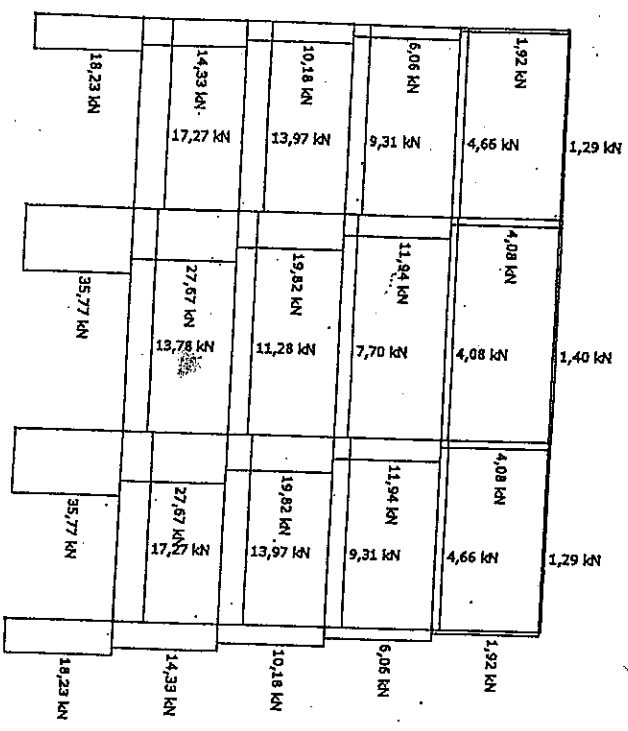
11. ábra – A függőleges erők hatása (gépi számítási eredmények) c) Tz ábra



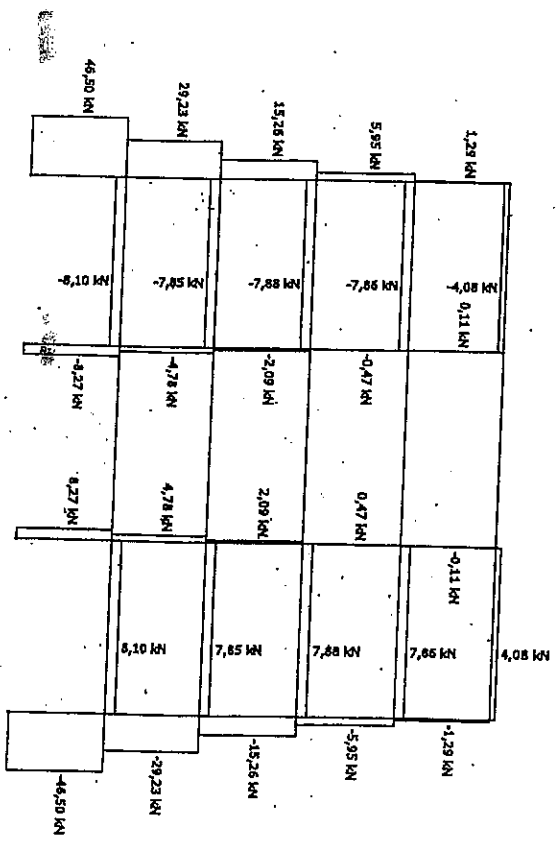
11. ábra – A függőleges erők hatása (gépi számítási eredmények) d) NY ábra



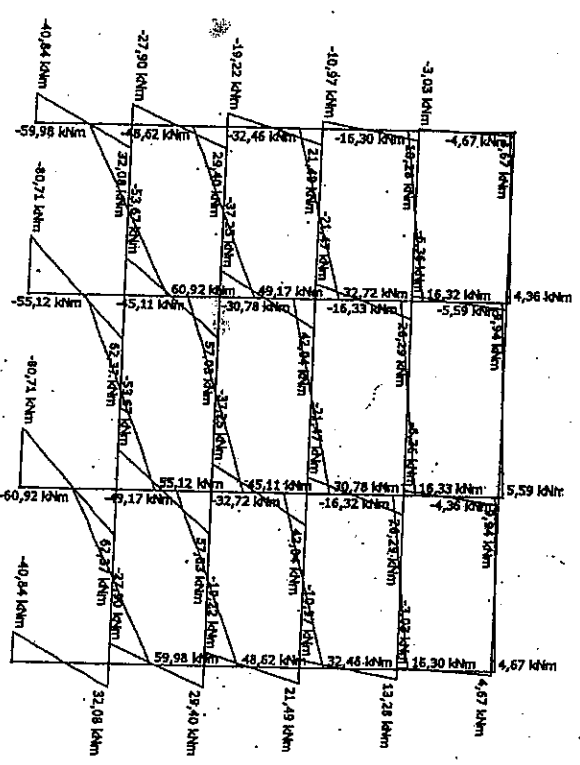
12. ábra – A vízszintes erők hatása (gépi számítási eredmények)a) Alakváltozások



12. ábra – A vízszintes erők hatása (gépi számítási eredmények) b) Nr ábra



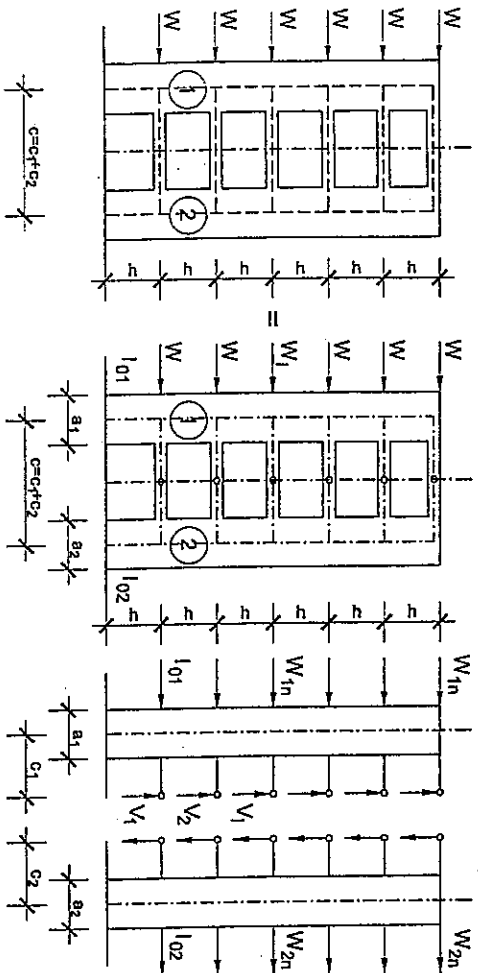
12. ábra – A vízszintes erők hatása (gépi számítási eredmények) c) Tr ábra



12. ábra – A vízszintes erők hatása (gépi számítási eredmények) d) Nr ábra

Az „összekapcsolt falkonzolók” módszere „Szélestalpu keretek” közelítő számítása

Az emeletes keretek számítására a „portálmódszer” pontatlansága az oszlopok merevségével arányosan növekszik. Különösen az alsó szintek igénybevételeire ad rossz eredményeket. Ezért a „szélestalpu keretek” (vagy nyílássalal átírt falak) közelítő számítására azt a 11.12.1. fejezetben javasolt statikai modellt célszerű alkalmaznunk, amikor a kevésbé merev elemek, a gerendák középpontjában képezzük el a csuklókat. Itt a nyomtatók zérus, a derekerő hatása elhanyagolható – csak nyíróerő lép fel.



1. ábra – A helyettesítő falkonzolók

A gerendák inflexiós pontjában feltételezett csuklókkal a keret statikai határozatlanságának fő oka jelentősen csökken, és a csuklóban fellépő nyíróerők ismeretében a statikailag határozott konzolok igénybevételei a statika eszközeivel egyszerűen és gyorsan kiszámíthatók.

A modell alkalmazásánál a gondot az okozza, hogy az „n” szintes keretszerkezelnél „n” számú ismeretlen nyíróerő lép fel, így „n” ismeretlenes egyenletrendszer megoldású szükseges.

A szétvágtott keretszerkezet folytonosságát kifejező egyenletekkel a szerkezet jól kezelhető, de még a közelítő számítás is hosszabb munkát igényel.

- [1] Pelikán J.: Szerkezettervezés
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1970.
- [2] Büttner, O. – Hampe, E.: Bauwerk, Tragwerk, Tragstruktur – Band 1, 2.
VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 1977.
- [3] Lin, T. Y. – Stotesbury, S. D.: Structural Concepts and Systems for Architects and
Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1988. Engineers
- [4] Becker S. – Matuscsák T.: A tartószerkezet tervezés
BME, Budapest, 1993.
- [5] Schodek, D. L.: Structures
Practise-Hall, Englewood Cliffs, New York, 1980.
- [6] Bánlaci Zs. – Faragó M. – Matuscsák T.: Ha már egyszer építkeznek...
Bramac, Budapest, 1993.
- [7] Torroja, E.: The Structures of Eduardo Torroja
F. W. Dodge Corporation, New York, 1958.
- [8] Matuscsák T.: Statika építészeknek
Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000.
- [9] Howard, H. S.: Structure an Architect's Approach
McGraw-Hill, New York, 1964.
- [10] Siegel, C.: A modern építészeti szerkezetformái
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1969.
- [11] Taraneh, B. S.: Structural Analysis and Design of Tall Buildings
McGraw-Hill, New York, 1988.
- [12] Csonka P.: Egyszerűsített eljárás szélerőkkel terhelt emeletes keretek számítására
MTA VI. Osztály közleményei 35/1965.
- [11] Diver, M.: Calcul pratique des tours en beton armé
DUNOD, Paris, 1972.
- [12] Hart, F. – Henn, W. – Sontag, H.: Multi-Storey Buildings in Steel
Crosby Lockwood Staples, London, 1978.
- [12] Femezelvi S. – Matuscsák T.: Épületek teherhordó szerkezetei
Verlag Dashöfer, Budapest, 2003.

