



Gipszbeton szerkezet mai szemmel

Szerző:

Kiss Benedek György, építészmérnök hallgató

Konzulens:

Dr. Sajtos István egyetemi docens, tanszékvezető, BME Építészmérnöki Kar,
Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék

Absztrakt

A dolgozat célja a benntartó gipsz zsaluzatba öntött vékony betonszerkezet, az ún. gipszbeton vagy más néven dermesztett beton vizsgálata. A történeti áttekintést követően rámutatok arra, hogy az anyag, a technológia, és a szerkezeti működés megfelelő összehangolásával tudjuk csak jól kihasználni a gipszbetonban rejlő lehetőségeket. Összevetem, hogy a ma és a kezdeti időkben alkalmazott teherbírasi számítások, valamint a kísérletek során mért eredmények mennyiben térnek el, és azokat alternatív számítási lehetőségekkel is összehasonlítom. Végül megvizsgálom a szerkezet mai felhasználási lehetőségeit, mely során a környezettudatos tervezés szempontjait is figyelembe veszem.

Tartalom

1	Bevezetés	4
2	Technológia.....	4
2.1	Anyagok.....	4
2.2	Építés folyamata	5
2.2.1	Előregyártott gipsz zsalutáblák	5
2.2.2	Zsaluszerelés, vasszerelés	5
2.2.3	Betonozás	5
2.3	Dermesztés, beton anyaga	5
2.4	Szövetszerkezet	6
3	Történeti áttekintés.....	6
3.1	Kezdeti idők, Sámsondi Kiss Béla munkássága.....	6
3.2	Párkányi Mihály	7
3.3	ÉMI vizsgálatok, alkalmazástechnika	7
3.4	Mai alkalmazások	7
4	Számítás	8
4.1	30-as évek.....	8
4.2	Hagyományos vasbeton elmélet	8
4.3	Végeselem-módszer segítségével	8
4.4	Mérethatás	10
5	Mai használhatóság	11
5.1	Környezettudatosság.....	11
5.1.1	Ugyanolyan célú tartók összevetése primerenergia-tartalom szerint.....	12
5.1.2	Szerkezeti működés, mint környezeti tényező	16
5.2	Előnyök.....	16
5.3	Hátrányok	17
6	Összefoglalás.....	17
6.1	Fejlesztési lehetőségek	18
6.2	További kutatási irány	18
7	Köszönetnyilvánítás	19
8	Irodalomjegyzék.....	20

1 Bevezetés

A gipszbeton egy lassan 100 éves magyar találmány, ami annakidején forradalmi újításnak számított. A sokévi kísérletek, megépült épületek ellenére nem terjedt el igazán széles körben, azonban a ma is nagyjából ugyanazzal a technológiával alkalmazott anyag- és szerkezet típus még sok lehetőséget rejt magában. Fontosnak tartom megjegyezni, hogy az anyagot és a szerkezetet mindenképpen együtt kell vizsgálni, mert azok kiegészítik egymást, a benne rejlő lehetőségeket csak a kettő összehangolásával lehet kiaknázni. Erre már Sámsondi Kiss Béla, a technológia feltalálója is rámutatott^[1], ugyanis ő általánosságban indult ki egy szerkesztési elvből, melyhez a gipszbetont, mint eszközt használta fel. Dolgozatomban igyekszem én is általánosságban vizsgálni az anyagot/szerkezetet, és nem csupán a jelenleg elérhető méretek, szabályok alapján.

Elsősorban arra keresem a választ, hogy van-e létjogosultsága ennek a technológiának a mai igények, elvárások mellett, felveszi-e a versenyt a mai „korszerű” szerkezetekkel, tehát érdemes-e foglalkozni, kutatni, fejleszteni és támogatni. Ezért a rövid technológiai és történeti ismertető után kitérek a számítási eljárások új lehetőségeire, és megvizsgálom a gipszbeton környezeti hatásait is.

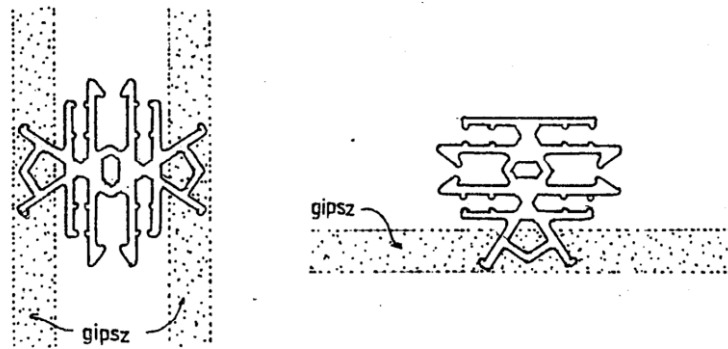
2 Technológia

A gipszbeton (vagy más néven dermesztett beton a szilárdulás folyamatára utalva – lásd 2.3 fejezet) vékony keresztmetszetű, bennmaradó gipsz zsaluzatba öntött monolit (vagy félmonolit) vasbeton szerkezet. Az előregyártott táblás gipsz zsaluzóelemek egyben felületképzők is. A gipsztáblákban előre elhelyezett távtartók biztosítják a szerkezet vastagságát, valamint a betonacélok pontos elhelyezkedését. A távtartó betétekkel felszerelt zsaluzóelemeket a rajtuk átfűződő vasalás térbeli (doboz-) szerkezetté egyesíti, így kialakul a jellemzően cellás (szövet-) vagy héjszerkezetű forma, melyet betonnal öntenek ki.^[2]

2.1 Anyagok

A technológiához alapvetően egyszerű, az építőiparban legáltalánosabb anyagok szükségesek, melyek ma is könnyen hozzáférhetők:

- Építési gipsz
- Távtartó betét Polietilénből fröccsöntéssel előállított többfunkciós betételem.
(1. ábra)
- Keverővíz Szennyeződésektől mentes, semleges kémhatású.
- Cement Javasolt az általános CEM I 42,5 cement, de megfelel a CEM II/A-S 32,5 vagy hasonló minőségű is.
- Adalékanyagok Maximális szemnagysága 4 mm lehet, első osztályú minőség.
- Betonacél Általános B 500 szilárdsági osztályú betonacél, csakis egyenes szálakban. Jellemző átmérők a Ø3 és a Ø5 mm.



1. ábra: A távtartó elemek forrás:[2]

2.2 Az építés folyamata

Az építési mód két részre osztható: előregyártásra, és helyszíni szerelésre, öntésre. Az előregyártás lehet kétlépcsős is. Először a gipsz zsalutáblákat készítik el öntéssel. Ezután lehetséges a gyárban nagyobb elemeket összeszerelni, és kiönteni, melyeket egyben szállítanak az építési helyszínre (és ott monolitizálják), vagy pedig a kész zsalutáblákat a helyszínen szerelik össze szerkezetté, és ott öntik ki betonnal.

2.2.1 Előregyártott gipsz zsalutáblák

A zsalutáblák kisméretűek a könnyű kezelhetőség és szállíthatóság érdekében, és alapvetően ezek határozzák meg a szerkezetek méretrendjét. Célszerű, és elsődlegesen alkalmazott modulméret a 60x60 cm-es. Vastagságuk 1-1,5 cm. A gipszbe kötés előtt elhelyezik a távtartókat. Függőleges szerkezeti részekhez kétkérgű, míg vízszintes és ferde részletekhez egykérgű elemet használnak.

2.2.2 Zsaluszerelés, vasszerelés

A távtartókkal ellátott zsalutáblákat a kívánt szerkezeti forma szerint összeillesztik, alátámasztják, majd befűzik/bepattintják az acélszalakat a távtartókba, amik így összetartják a kialakuló zsaluzatot. Hálós vas nem használható, a szálak pontos helyét a távtartó elem adja meg, és mivel a beton vékony, nem engedhető meg nagy oldalirányú vaselmozdulás. A kialakuló szerkezetek összvastagsága kb. 5 cm, melyből a beton nagyjából 2,5 cm. (Sámsondi Kiss Béla Dayka Gábor utcai házában ennél vékonyabb szerkezetek is előfordulnak).

2.2.3 Betonozás

A pontosan meghatározott összetevőkből híg, folyós betont kevernek, mellyel a kész (száraz) zsaluzatot kiöntik. A beton kezdeti szilárdsága a normál betonokénál magasabb^[3], így a szerkezet alátámasztása viszonylag hamar eltávolítható/ritkítható, a további terhek hamar felvihetőek.

2.3 Dermesztés, beton anyaga

A beton öntésekor jelentkezik a gipszzsaluzatnak a legjelentősebb hatása. A híg betonból a száraz gipsz hirtelen kiszívja a víztartalom egy részét, és így áll be a megfelelő beton konzisztencia valamint a víz-cement tényező, így a beton „rádermed” a gipszre, és hamar viszonylag magas kezdeti szilárdságot ér el^[3]. Fontos, hogy a cementadagolás magas, legalább 600 kg/m³ legyen^[2]. A gipsznek azonban nem csak a betonminőség javításában van

szerepe. A dermedés miatt a vékony szerkezetekben nem alakul ki nagy oldalnyomás, így nem kell a zsaluzatot sűrűn megtámasztani, és nem is kell, hogy nagy hajlítószilárdsággal bírjon. Ráadásul az egész kötési folyamat alatt nem kell utókezelní a betont, mert a gipsz fenntartja a folyamatos, kötéshez szükséges nedves állapotot. A gipsszel való érintkezés következtében a beton külső kérge egyenletesen jó minőségű lesz, ami hozzájárul a korrózióállósághoz is.

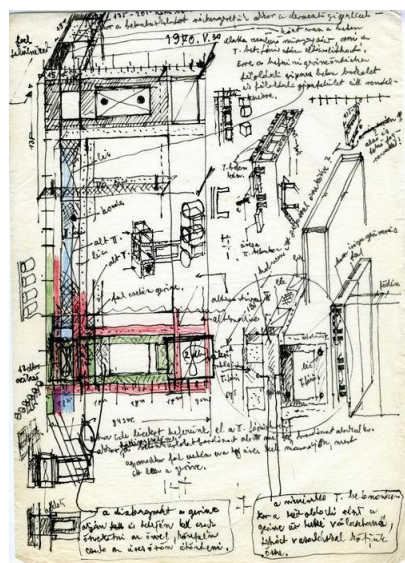
2.4 Szövetszerkezet

A fenti technológiával nagyon előnyösen alakíthatóak ki térbeli szerkezetek, dobozszerű gerendák, födémekek vagy oszlopok is, nyitott és zárt szelvényként is. Ez szabad formálást tesz lehetővé, valamint kis önsúlyt eredményez, és hatékonyabban használja ki a keresztmetszetet, mely fontos a gazdaságosság, környezettudatosság miatt is (lásd 5.1 fejezet). Az erőjátékát tekintve a hajtogatott szerkezet lemezműként modellezhető (4.3 fejezet).

3 Történeti áttekintés

3.1 A kezdeti idők, Sámsondi Kiss Béla munkássága

A szövetszerkezetes építési mód Sámsondi Kiss Béla (1899-1972) munkásságán alapszik, az elméletet az 1930-as években kezdte fejleszteni. (1. kép) Alapját a hagyományos hierarchikus szerkezetektől eltérő, cellás rendszerű építési mód adja. Ennek egyik eszköze a gipszbeton, melynek nagyon pontosan ki is fejleszti a technológiáját, anyagát. Ezt később több épületen is alkalmazza, munkájának egyik legszebb példája a szakirodalomból jól ismert saját háza. (Budapest XII. Dayka Gábor utca 83.) Munkáját 1965-ben „Szövetszerkezetes épületek” című könyvében^[1] foglalja össze. Említésre méltó, hogy az 1964-ben megjelent angol nyelvű cikkét később a lap kiemelkedő cikkeik tartalmazó kiadványba^[16] is beválogatták, olyan szerzők műveivel együtt, mint Pier Luigi Nervi, Felix Candela vagy Eduardo Torroja. Tehát már akkor is előremutatónak, publikációra érdemesnek tartották elméletét nemzetközi szinten is.



1. kép: Sámsondi Kiss Béla vázlatai a gipszbetonról, mint a szövetszerkezetes építés eszközéről forrás:[9]

3.2 Párkányi Mihály

1960-as évektől az Építéstudományi Intézet vizsgálatokat végzett a gipszbetonnal, majd 1969-től ezzel párhuzamosan Párkányi Mihály foglalkozott a cellarendszerű építési móddal. Alapvetően elméleti, filozófiai megfontolásokkal kiegészített munkát végzett, majd azt a „Nem tektonikus szerkezetek” című könyvében foglalta össze^[13].

3.3 ÉMI vizsgálatok, alkalmazástechnika

A 70-es évektől a Szövényi István, Czoch Andrea, Albert Tamás, Ónodi Szabó Lajos építész négyes foglalkozott a szerkezettel, az ő megbízásukból készültek kísérletek, majd 1990-ben a gipszbetonhoz megszerzik az Építőipari alkalmassági bizonyítványt. Ezzel párhuzamosan Kászonyi Gábor anyagtechnológiai kísérleteket végzett, elsősorban a betonszilárdsággal foglalkozott. 1991-ben elkészül az Alkalmazástechnikai kézikönyv a Szövényi – Czoch – Albert - Ónodi Szabó licenz kidolgozásával, melyben a tartószerkezeti részt Kászonyi Gábor segítségével készítették el.

3.4 Mai alkalmazások

Szövényiék azóta jó néhány épületben alkalmazták a technológiát, Ónodi Szabó Lajosnak pedig jelenleg is épülnek épületei, szerkezetei gipszbetonból, melyeket rutinos szakemberekkel kivitelez, így jó pár megépült példa bizonyítja a szerkezet alkalmasságát. Eközben Kászonyi Gábor tovább foglalkozik a betonszilárdság vizsgálati módszereivel^{[13][14]}.



2. kép: A Nemzeti Múzeum tetőterében kialakított raktár gipszbeton szerkezete forrás: [9]

Elsősorban meglévő épületek felújításában, kiváltásokhoz, megerősítésekhez és lépcsők építéséhez használják. Épültek azonban komolyabb szerkezetek is ebből. Ennek két remek példája a Nemzeti Múzeum tetőterének beépítése^[9] (2. kép), valamint a pécsi Dóm kőtár, melynek szerkezete teljes egészében gipszbetonból készült. Mindkét esetben nagy teret határoló, nagy teherrel terhelt szerkezetekről van szó, amelyek ma is kiválóan szolgálnak. Ezek az épületek is bizonyítják a szerkezet mai alkalmasságát, melyre később az 5. fejezetben is kitérek.

4 Számítás

4.1 30-as évek

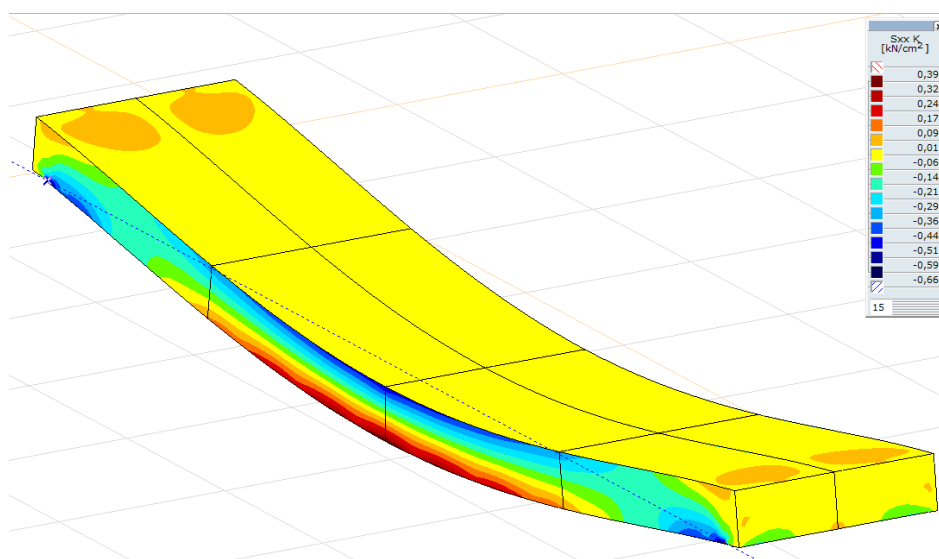
A kezdeti időkben még nem terjedt el a szabványosítás a tartószerkezeti tervezésben, így a tervező mérnöki megfontolásai, tapasztalata elegendő volt a méretezéshez, és ő maga volt felelős a szerkezet megfelelő teherbírásáért. Sámsondi Kiss Béla sok tapasztalata, szerteágazó tudása, szerkezeti és konstrukciós készsége tette lehetővé a gipszbeton szerkezetek kreatív alkalmazását. (Könyvében a tervezőt inkább mint „konstruktor” definiálja.^[1]) Nagyobb szabadság, de nagy felelősség is hárult a tervezőre, azonban ő annyira bízott ebben a szerkezetben, hogy saját, Dayka Gábor utcai házában a mai alkalmazásoknál még vékonyabb szerkezeteket is megépített. 1946-ban írt levelében^[10] már javaslatot tett arra, hogy meghatározott feltételek mellett adaptálják a vasbeton szabályzat elveit a méretezéshez.

4.2 Hagyományos vasbeton elmélet

A későbbi méretezési elveket, melyek a ma is használatos alkalmazástechnikai kézikönyvben^[2] is szerepelnek, Kászonyi Gábor dolgozta ki. Ő a Sámsondi fenti levelében foglaltakat veszi alapul, és a szabályzatnak megfelelően, attól korlátozott eltérésekkel méretezi a gipszbeton elemeket. Alapvetően hierarchikus felépítésűnek kezeli a szerkezeteket, a bordák közötti részt vékony lemezként, a bordákat pedig karcú gerendaként értelmezi. Ez lehetővé teszi a hagyományos vasbeton elmélet felhasználását eltekintve a szemcseméretre, a betonfedésre, a minimális vashányadra, valamint a szerkesztési szabályok egy részére vonatkozó részekről.

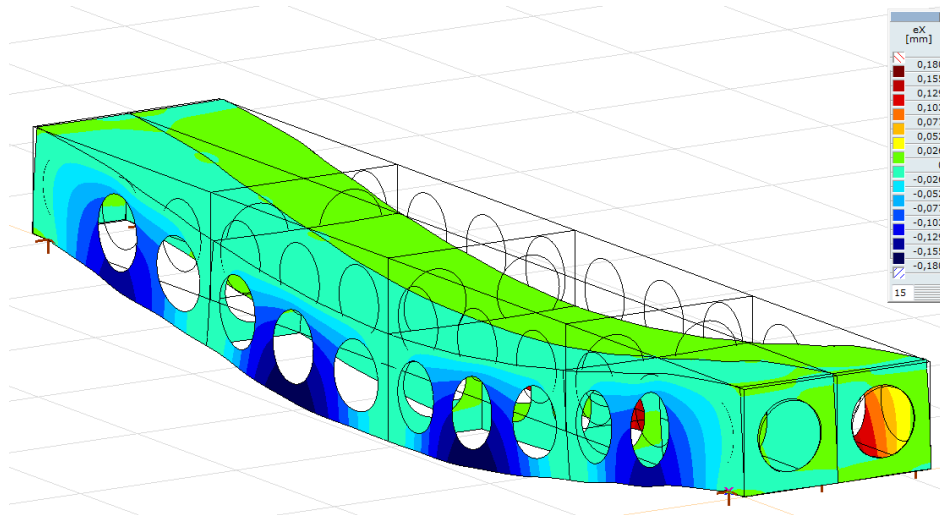
4.3 Végeelem-módszer segítségével

A fenti módszer azonban nem veszi figyelembe a térbeli hatásokat és a keresztirányú, alapvetően csak stabilizáló szerepű diafragmák szerepét az erőjátékban. A számítógépek segítségével igénybe véve, a végeelem-módszer lehetővé teszi, hogy a szerkezetet ne csak kis elemeiben, hanem globálisan vizsgáljuk. (2. ábra)



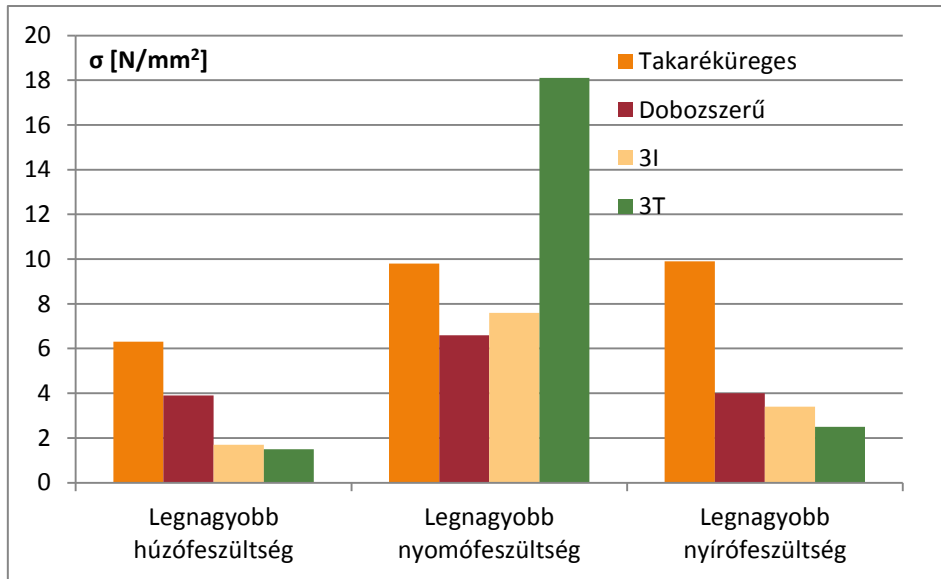
2. ábra: A dobozserű födémlemez hosszirányú normál feszültségei az elmozdult alakon ábrázolva

Megfigyelhetőek a diafragmák erőjátékban/erőelosztásban játszott szerepe, mely a nagyobb oldalirányú elmozdulásoknak köszönhető. A vékony szerkezeti elemek miatt fontos a lokális stabilitásvesztés veszélyét is vizsgálni, hasonlóan a vékonyfalú acél keresztmetszetekhez. Az elmozdulásokból következtetni lehet a feszültségekre, a kialakuló feszültségcsúcsoknál pedig feltételezhetően létrejön a törés vagy repedés. Berepedt állapotban pedig módosul a modell, de vannak eljárások, amik ezt is számításba tudják venni. Így a térbeli szerkezet pontosabban, összefüggéseiben, egészében vizsgálható, globális elmozdulások figyelhetők meg az egész szerkezetre nézve (hajlításból, nyírásból származó, az adott ponttól akár távolabb eső helyen is). Az 3. ábra mutatja például, hogy a gerenda alsó, húzott öve hullámosan horpad.



3. ábra: A takaréküreges födémelem elmozdult alakja, színessel jelölve az oldalirányú elmozdulás, látható, hogy a diafragmák között mindenhol horpadás keletkezik

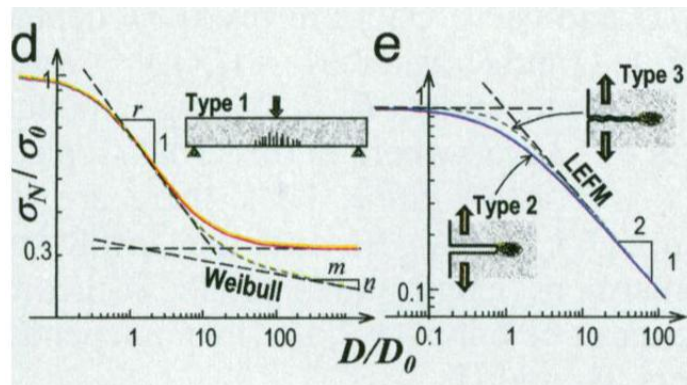
Az 1. diagramon látható, hogy az egyes gerendák húzó- nyíró- és nyomófeszültségei viszonylag nagy szórást mutatnak, de hihető értékek közé esnek. A szilárdsági vizsgálatok eredményeit tekintve a gipszbeton hajlító-húzó szilárdsága kb. 4 N/mm^2 , a nyomószilárdsága pedig akár 40 N/mm^2 . Ez azt jelenti, hogy a véges elemes (rugalmas) számításból nyert feszültségértékek nagyjából a kísérlet során mért érték közelében vannak. Ez nem tekinthető rossz eredménynek, mivel számos elhanyagolással éltünk a modellezés során, és egyáltalán nem vettük figyelembe a repedések következtében történő feszültség-átrendeződést.



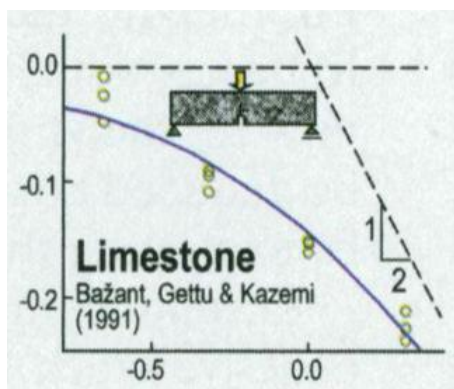
1. diagram: A véges elemes modellből nyert feszültségek értékei az egyes szerkezeteknél a kísérlet szerinti törőteher működtetésekor

4.4 Mérethatás

Az közelmúltban arra vonatkozólag is készültek kutatások, hogy a szerkezeti méret hogyan befolyásolja az anyag szilárdságát^[11]. Mivel az anyag szilárdsága valójában egy fiktív dolog, amit a törési kísérletekből származtatnak a keresztmetszet segítségével, az jól alkalmazható a kísérlettel összemérhető szerkezetekkel. (4. ábra, d diagram) Azonban jóval nagyobb, vagy kisebb szerkezetekre azonban nem alkalmazható, ahhoz annak megfelelő kísérletre lenne szükség (determinisztikus mérethatás). Az anyag molekuláris, és szemcseméretének aránya a keresztmetszethez illetve a szerkezethez képest változik a szerkezeti elem arányos felnagyításával. Ebből következően az esetleges hibák mérete (4. ábra e diagram), és előfordulási aránya is változik, amiből a törés során a szilárdságra is következtetünk (statisztikai mérethatás). Ezen kívül a nagyítás során a keresztmetszetek az oldalhosszhoz képest négyzetes arányban nőnek, a tömeg (és ebből következően az önsúly) pedig harmadik hatványon növekszik, így a pontos arányban felnagyított szerkezet nem felel meg az arányosan felnagyított hasznos teherre. (5. ábra)



4. ábra: A mérethatás jellemző diagramjai, d.: hajlítószilárdság változása, e.: repedésekből származó szilárdságcsökkenés (a tengelyek skálázása logaritmikus), a nagyobb mérethez kisebb szilárdság tartozik forrás: [11]



5. ábra: A mérethatás elméleti és mért görbéi forrás: [11]

Ezekből a hatásokból következik tehát, hogy a vékony, karcsú szerkezetek nagy valószínűséggel jobban működnek, fajlagos anyagfelhasználásuk kisebb. Az eltérő szerkezeti működést a kísérletek is igazolják, a vékony keresztmetszetű betonszerkezetek például jóval duktilisabban viselkednek, mint a normál méretűek.

A mérethatás építéstudomány más területein is megjelenik, például az energetikában, ahol az épületek felület-térfogat aránya meghatározó az hőveszteségek (és így az energiaveszteségek) minimalizálásában. Ugyanolyan arányú, de nagyobb szerkezetnek kisebb a felület-térfogat aránya^[12], tehát ez itt sem elhanyagolható szempont.

5 Mai használhatóság

A dolgozat egyik célkitűzése megvizsgálni, hogy a gipszbeton alkalmas-e napjaink igényeinek kielégítésére, és ha igen, milyen mértékben. Ezért megvizsgálom a szerkezet környezeti hatását, előnyeit, hátrányait, majd arra is választ próbálok találni, hogy miért nem terjedt el széles körben a már a maga idejében is nagyon előremutató technológia.

5.1 Környezettudatosság

Mai tendenciák szerint korunk egyik legmeghatározóbb irányvonala a környezettudatos szemlélet alkalmazása az élet minden területén^[3]. Ez természetesen az építőipart is komolyan érinti. Meg kell vizsgálni minden technológiát és anyagot, és azok környezeti hatását figyelembe véve kell dönteni mellettük vagy ellenük.

Ez azonban nagyon komplex szemléletet követel meg, sokkal több szempont, hatás figyelembe vételét igényli, ezért néhány alapvető elv segíti a szakmát a környezettudatos tervezésben. Ilyen például az életciklus-elemzés, vagy a „Cradle-to-cradle”^[5] elv alkalmazása az építőanyagokra. Ezek teljes egészében szemlélik az anyagok „életét”, a keletkezéstől, gyártáson, felhasználáson és elbontáson keresztül az újrafelhasználásig, elbomlásig, vagy újrahasznosításig. A cél annak elérése, hogy a teljes életciklus után az eredeti állapot állhasson vissza, tehát az anyag környezeti hatása összességében nulla legyen, így fenntartható marad az adott környezet.

Egy másik, kvantitatív összehasonlítást lehetővé tevő eljárás az anyag/szerkezet életciklusa során kibocsátott üvegházhatású gázok (elsősorban széndioxid) mennyiségét számítja ki.

Ezzel párhuzamosan vizsgálható a primerenergia-tartalom, ami az életciklus alatt felhasznált elsődleges energiaforrásokból felvett összenergia mennyisége. Ez még árnyalható az energia megújuló és nem megújuló részének szétválasztásával. Az energia a mai korban egyre jobban előtérbe kerül, mivel egyre többet használunk fel, és egyre drágább is, így az anyagok energiafelhasználása releváns adatot szolgáltat gazdasági szempontból is.

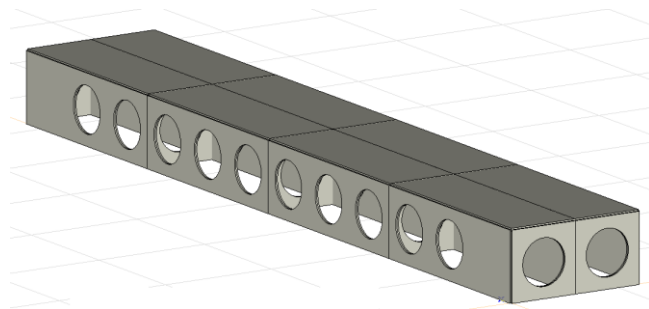
A következőkben csak ezt az utóbbi két szempontot vizsgálom (primerenergia-tartalom és üvegházhatású gázkibocsátás) a gipszbeton esetében.

5.1.1 Ugyanolyan célú tartók összevetése primerenergia-tartalom szerint

Az összehasonlítás alapja a megegyező rendeltetés és képesség, jelen esetben a szerkezeti elem, és teherbírás. Azonos támaszközt áthidaló, azonos törőteherrel rendelkező gerendákat és lemezeket hasonlítottam össze a primerenergia-felhasználás szempontjából. A gipszbetonhoz nincs széleskörűen elterjedt és sok méréssel alátámasztott számítási eljárás, a vasbeton szakirodalom és szabvány (EC) közvetlenül nem alkalmazható. Ezért a rendelkezésre álló kísérletek eredményeit vettem alapul. Így az ott felhasznált szerkezetek meghatározták a támaszközt, és a törőterhet, és hozzájuk megfelelő további szerkezeteket kerestem, melyek törőterhét azonban számítással határoztam meg.

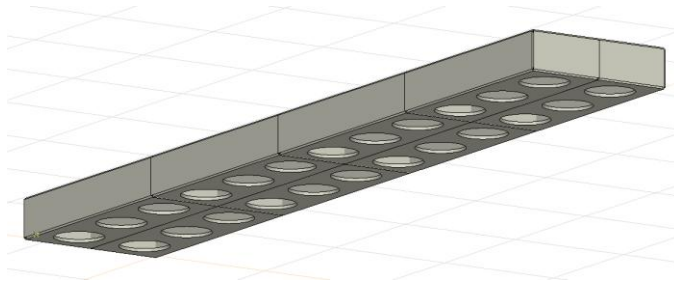
A kísérletekben alkalmazott gipszbeton szerkezetek:

- **Takaréküreges gerendarács-födémzakasz**, melyet a BME Építőmérnöki karán vizsgáltak 1984-ben^[6]. Hossza 7,2 m, szélessége 1,35 m, magassága 60 cm. A gerendákban a 60 cm-es modul gipszsaluzatnak megfelelően Ø40 cm-es lyukak voltak az önsúly csökkentésének érdekében, kivéve a feltámaszkodásnál 1-1 60 cm-es osztásban. A lyukak nyírási teherbírást csökkentő hatását ferde kengyelek alkalmazásával kívánták ellensúlyozni. A húzott vasalás az alsó övben található. (6. ábra) A szerkezet törőterhe $4,97 \text{ kN/m}^2$ volt.



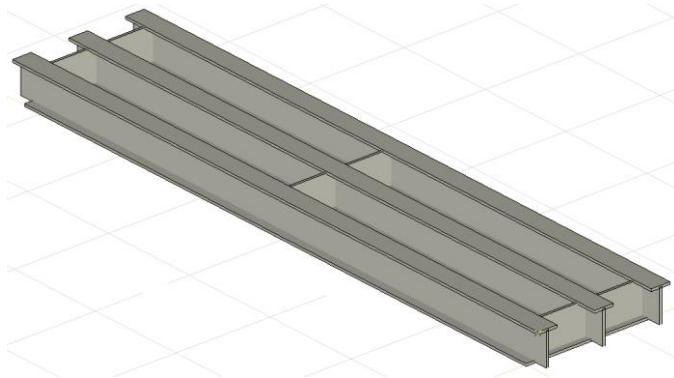
6. ábra: Takaréköreges födémelem

- **Dobozszerkezetű födémzakasz**, ugyanott vizsgálták, mint az előző szerkezetet. A 7,2 m hosszú, 1,35 m széles alul-felül síklemezzel záródó kettőshéjú dobozszerkezetű tartó 30 cm-es gerendamagassággal készült. Ennél a kialakításnál az alsó öv húzott vasalása a fenéklemezen valamelyest szét van osztva. Az alsó öv könnyített (lukas) kivitelben készült. (7. ábra) A törőteher $6,93 \text{ kN/m}^2$ volt.



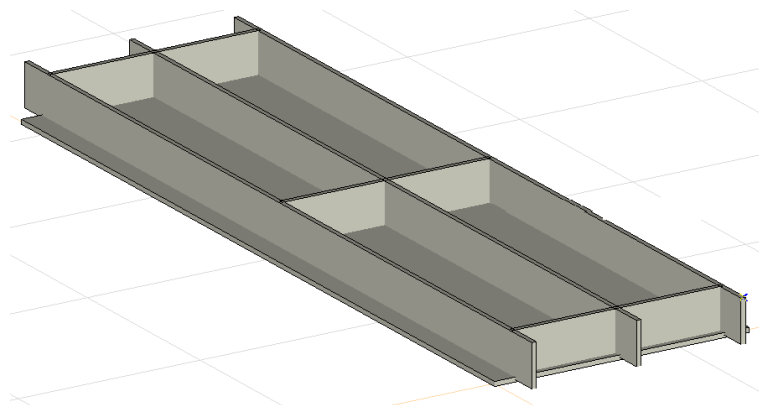
7. ábra: Dobozszerű födémelem

- **Három I keresztmetszetű bordából álló födémelem**, melyet az Építésügyi Minőségellenőrző Intézet vizsgált 1987-ben^[7]. A szerkezet magassága 34 cm volt, felül nyitott volt, és bordánként 7 db Ø5-ös húzott acélbetétet helyeztek el benne. A bordák között 2 méterenként diafragmákat helyeztek el. (8. ábra) A szerkezet fesztávja 6 m, törőterhe 9 kN/m² volt.



8. ábra: 3I keresztmetszetből előállított födémelem

- **Három fordított T keresztmetszetű bordából álló födémelem**, melyet az előzővel együtt vizsgáltak. Fesztávolsága 4 m, magassága 23,5 cm volt, bordánként 5 db Ø5-ös húzott acélbetéttel rendelkezett. (9. ábra) Törőterhe 7,25 kN/m² volt.



9. ábra: 3T keresztmetszetből előállított födémelem

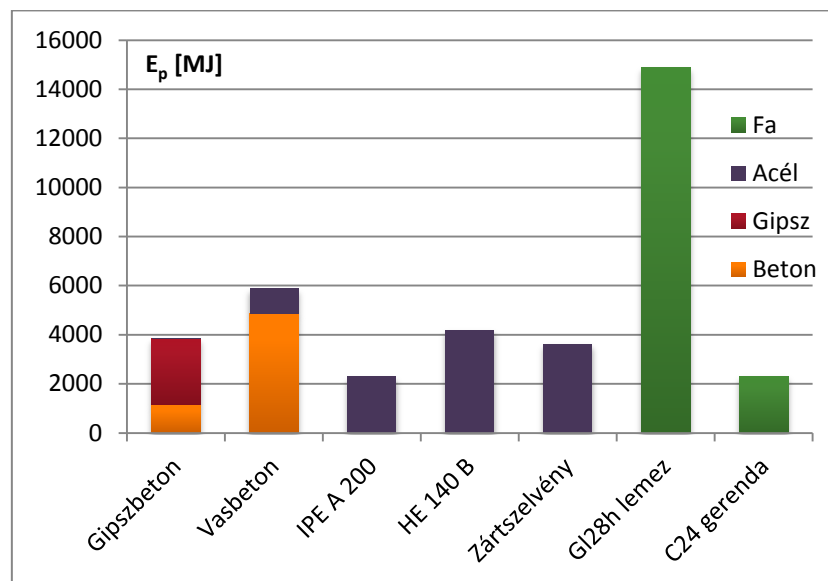
Az összehasonlított szerkezetek a következők:

- **Vasbeton lemez**, melynek szélességét a gipszbeton szerkezettel azonosra vettem fel, magasságát pedig az L/25-ös ökölszabálynak megfelelően határoztam meg. A jobb

közelítés érdekében a beton (C20/25 minőség) nyomószilárdságának átlagos értékével számoltam, azonban a betonacél (B 500) esetében karakterisztikus szilárdságot használtam. Ezekből számítottam a hosszvasak szükséges mennyiségét, valamint a szerkezeti szabályoknak megfelelő minimális keresztirányú vasakat.

- **Acél gerenda**, ahol a gipszbeton elem szélességét mint terhelő mezőt vettem figyelembe. A teher egy gerendára kerül, azonban a teherelosztó elemet elhanyagoltam a számításban. Minden esetben egy-egy IPE, HE és zártszelvényt is választottam az adott körülményekhez, hogy bővebb összehasonlítást kapjunk. A szerkezeti acél (S 235) karakterisztikus szilárdságát használtam, és képlékeny teherbírási állapotot feltételeztem.
- **Fa gerenda és lemez**, ahol a lemez esetében rétegelt ragasztott fát választottam, melyben rugalmas számítás szerint feltételeztem a feszültségeloszlást (pl. éldeszkatábla), a szélességét pedig ugyancsak a gipszbeton elemhez igazítottam. A gerendánál a szélességet a kifordulás elkerülése végett a $\frac{l \cdot h}{b^2} \leq 140$ arány adta meg. A magasságot a lemez és a gerenda esetén is a megfelelő teherbírás határozta meg, és a hajlítószilárdságok karakterisztikus értékével számoltam.

Az egyes anyagok térfogatát kiszámolva, majd abból az átlagos testsűrűséggel a tömegüket, és azt beszorozva a fajlagos primerenergia-tartalommal megkapjuk az egyes szerkezetek energiamennyiségét. Az anyagokra vonatkozó adatok svájci termékekre vonatkoznak¹.

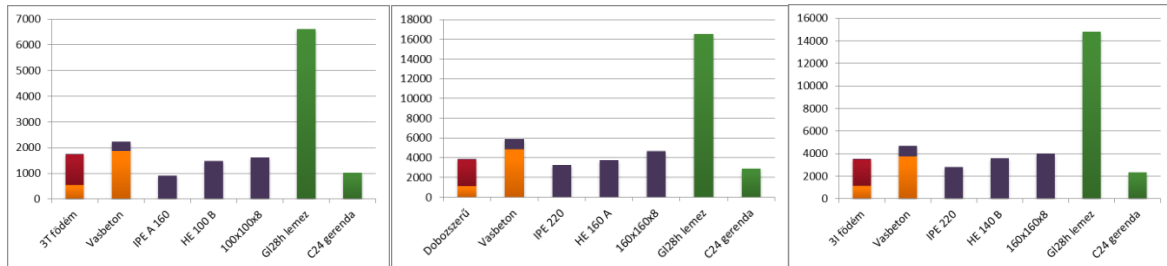


2. diagram: A takaréküreges födemelem primerenergia-tartalmának összehasonlítása néhány vele megegyező rendeltetésű szerkezettel, az egyes anyagok szerint

Az 2. diagramon látható, hogy a gipszbeton energiatartalma nagyjából 2/3-a a normál vasbeton födémnek, és összemérhető az acélszerkezetekkel, ahol azonban nem vettük figyelembe a teherelosztó szerkezeteket. A ragasztott fa kiugró értéke a nagymennyiségű ragasztó felhasználásának köszönhető. Fontos megjegyezni, hogy míg a normál vasbetonnál a

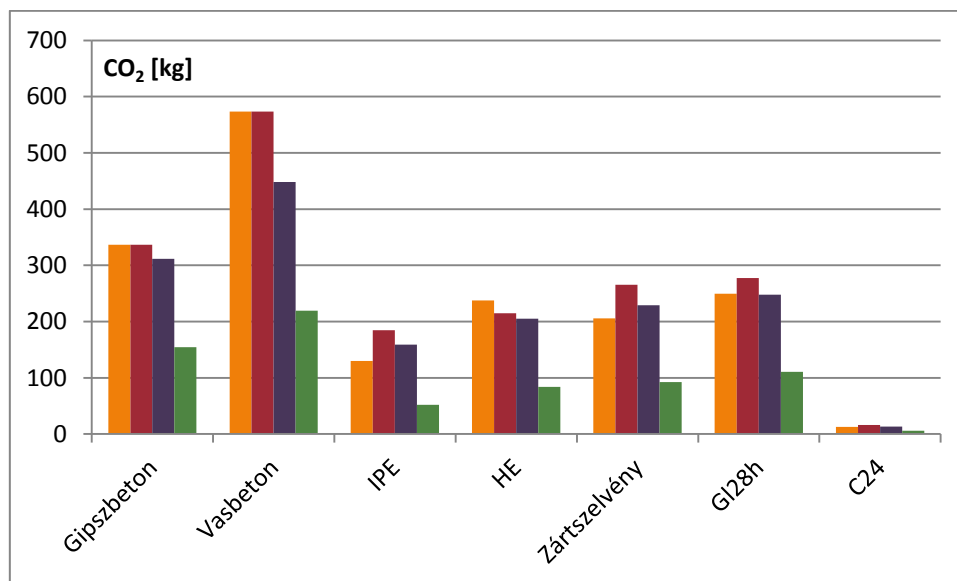
¹ Az adatokat Christoph Osplet, az Universitát Liechtenstein építészkarának meghívott előadója bocsátotta rendelkezésemre

beton energiafelhasználása dominál, addig a gipszbetonnál a gipsz dominál, az acél energiafelhasználása pedig gyakorlatilag elhanyagolható (a diagramon olyan vékony, hogy szinte nem is látható). A 3-4-5. diagramon látható, hogy nagyon hasonlóan alakul az energiafelhasználás a másik három födémszerkezet esetén is.



3-4-5. diagram: a dobozszerű, a három I bordából álló és a három T bordából álló födém elem összehasonlítása

Az 6. diagramon látható az egyes szerkezetek üvegházhatású gáz-kibocsátása. A primerenergia-tartalomhoz hasonlóan a gipszbeton itt is alacsonyabb értéket ér el, mint a vasbeton, azonban az összes többi szerkezetnek alacsonyabb a kibocsátási értéke. Természetesen a fűrészelt fa jóval alacsonyabb károsanyag-kibocsátással jár, mivel az növekedése során sokat megköt belőle.



6. diagram: A szerkezetek üvegházhatású gáz kibocsátása. Az azonos szín azonos feszítáv-törőteher körülményt jelöl.

Tehát a gipszbeton az azonos rendeltetésű vasbeton szerkezetnél primerenergia és CO₂ szempontjából jobban teljesít, azonban az acél és fa szerkezeteknél nem. Ha viszont összevetnénk még a bekerülési költségét az egyes szerkezeteknek, akkor nagy valószínűséggel a gipszbeton előnyösen szerepelne, ugyanis kevés az acélfelhasználása, ami igen drága anyag.

5.1.2 Szerkezeti működés, mint környezeti tényező

Nem elhanyagolható szempont az sem, hogy maga a szerkezeti működés hogyan befolyásolja a környezetbarát voltát az egyes elemeknek. Ludevít Végh² a Vasbetonépítés folyóiratban megjelent cikkében^[8] kijelenti, hogy a környezetbarát szerkezetek tervezésének egyik alapelve az elsődleges energia-felhasználás csökkentése, melyet a tartószerkezet tömegének minimalizálásával lehet elérni. Ennek pedig egyik eszköze, hogy csökkentsük a tartószerkezetnek azon részeit, amelyek a teherviselésben csak kis mértékben vagy egyáltalán nem vesznek részt. Ez elsősorban csak normálerővel terhelt szerkezeteknél érhető el, de egy hajlított szerkezet keresztmetszetében, ha csökkentjük a belső részeket (ahol kisebb feszültség lép föl, és ezért nincs teljesen kihasználva az anyag), akkor a dobozszerű keresztmetszetekhez jutunk, melyeket kiválóan lehet gipszbetonból is megvalósítani. Természetesen további cél lenne a nyomatékok teljes kizárása, a membránállapot elérése, de ez a gipszbeton derékszögű rendszerében nem lehet tökéletes. Ugyanakkor a vékony szerkezetnek köszönhetően a teherátadás elsősorban a lapok síkjában történik. A síkra merőleges irányban a lapok teherbírása kicsi, ami jobb kihasználtsághoz vezet.

5.2 Előnyök

Ennek a technológiának mai szemszögből nézve is számos előnye van, melyek igazolhatják a létjogosultságát.

- Fontos, hogy a gipszbeton szerkezeteket kis elemekből fel lehet építeni, a zsaluzat szárazon szerelhető, és nem kell benedvesíteni. Ez lehetővé teszi, hogy beltérben – elsősorban felújításnál – a korábbi szerkezet nagymértékű megbontása nélkül lehessen azt megerősíteni, kiváltani. Nem kell például megbontani a tetőt a kiváltó gerendák beemeléséhez, ha vendégfödémeket építenek a padlásfödém fölé, és nem ázik el az alatta lévő szerkezet. Ezt az előnyt használták ki a Nemzeti Múzeum tetőterének felújításakor^[9].
- További lényeges előny, hogy a beton megbízhatóan jó minőségű lesz, a dermesztés a szilárdulás folyamatában segít és a végső szilárdságot is növeli. Ugyanakkor lehetővé is teszi, hogy híg betont alkalmazzanak, ami könnyen bedolgozható, nincs szükség tömörítésre, a vékony szerkezeteket is mindenhol kitölti a beton.
- A dermesztésnek köszönhetően a kezdeti szilárdság nagy, emiatt gyorsan építhető, az alátámasztás hamar eltávolítható. A bennmaradó zsaluzat miatt nem kell teljes felületű alátámasztás, és szilárdulás után már végleges felületet kapunk, ami glettelhető, festhető.
- A szerkezetek súlya kicsi, a könnyűszerkezetes technológiákkal összemérhető. A zsaluzatot nem kell eltávolítani, a kirekesztések együtt tudnak működni a szerkezettel, így meglévő födémekre akár közvetlenül is helyezhető, mert a szilárdulásig nem nagy a többletter, utána pedig a dobozszerű vagy alulbordás kialakításnak köszönhetően viszonylag merev szerkezetet kapunk, ami kiváltja az alatta lévőket.
- A hajtogatott héj jellegű szerkezetnek köszönhetően nagy tervezői szabadságot biztosít, izgalmas formákat lehet kialakítani. A köztes terek jól kihasználhatók akár

² Ludevít Végh az IASS WG18 környezetbarát szerkezetekkel foglalkozó elnöke, dolgozott a FIP ill. fib és más nemzetközi szervezetekben, sok előadást tart világszerte ebben a témában.

beépített bútorok számára^[1], akár a gépészeti berendezések elhelyezésére. Nem utolsósorban a kialakult vékony elemek szép karcsú megjelenést kölcsönöznek a szerkezetnek, ami építészeti szempontból is izgalmassá teszi a gipszbetont.

- Nagy előnye továbbá, hogy a technológia egyszerű, az anyagok ma is könnyen beszerezhetők, nincs szükség speciális és drága technológiai folyamatokra. A gipsztáblák könnyen alakíthatók, a beton pedig akár kézzel is keverhető és önthető. Ez is hozzájárul a beltéri hasznosítás lehetőségéhez.
- Akusztikailag és tűzvédelmileg is megfelelő szerkezet^[2].

5.3 Hátrányok

Természetesen hátrányokkal is küzd a szerkezet, nem minden esetben jelent tökéletes megoldást.

- A helyszíni szerelésnek élőmunka-igénye van, nem gépesíthető, a bonyolult geometriai formákat átlátva kell fölépíteni a zsaluzatot. Ez természetesen időigényes folyamat, és a szakembertől komoly technológiai ismeretet és tapasztalatot követel meg. A betonkeverés bár kézzel is elvégezhető, de nagyon ügyelni kell a pontos keverékre, mert csak a megfelelő arányú és konzisztenciájú beton alkalmas az öntésre, dermesztésre.
- A megépült szerkezetek a vékonyságból fakadóan nem megbonthatóak, utólagos átvágásuk, kilukasztásuk stabilitásvesztéssel járhat. Így a szerkezeti elemek kevésbé alakíthatóak át, a felxibilitást már a tervezéskor biztosítani kell. Egy téglafallal ellentétben ebbe semmilyen utólag bevésett cső, kábel nem helyezhető el, azok helyéről a geometriai kialakítással kell gondoskodni.
- Így a szerkezetek gondos előtervezést igényelnek, mely magában foglalja az összes megépülés utáni állapot lehetséges igényét. Mivel a szerkezetépítés az első egy építkezés során, így az építés közbeni tervmódosításokat korlátozza a már megépült szerkezet, valamint a sokévi használat közben felmerülő változtatások sem mindig alkalmazhatók. Elsősorban a könnyűszerkezetes, illetve az előregyártott könnyűszerkezetes technológiákhoz hasonló gondolkodásmódot igényel.
- A megépült épületek, szerkezetek, és a közel 100 éves technológia ellenére a szakmában továbbra is nagy a bizalmatlanság ez iránt a szerkezet iránt. A nagyon vékony szerkezetek működéséről nincs olyan kifinomult elméleti háttér, és általános gyakorlat, mint például a hagyományos vasbeton szerkezetek esetében. Mivel a megépült példák száma is korlátozott, bizonyára még van olyan szempont, ami nem került elő és befolyásolhatja az alkalmazhatóságot.

6 Összefoglalás

A dolgozatban tehát megvizsgáltuk a gipszbeton szerkezetet, annak technológiai és történelmi vonatkozásaiban, majd megpróbáltuk mai alkalmazhatóságát igazolni olyan szempontok figyelembe vételével, melyekről eddig nem esett szó. Ezek a környezetre gyakorolt hatás (ezen belül is a primerenergia-tartalom, és a károsanyag-kibocsátás), az energia mint gazdaságossági tényező jelenléte, valamint a szerkezeti működés. A számításokból kiderül,

hogy a gipszbetonnak a normál vasbeton szerkezeteknél alacsonyabb az energiafelhasználása, és ebből is következően a károsanyag-kibocsátása is, azonban az acél szerkezeteknél még nem. Ez azonban a gipsz energiatartalmának csökkentésével lényegesen befolyásolható, és ha a piaci árat is figyelembe vesszük, a gipszbeton versenyképes marad a többi szerkezettel szemben.

A mai új szempontok (környezetterhelés, energia) figyelembevétele még sok esetben nem gazdasági kérdés az egyén, vagy vállalkozás szintjén, de nemzeti vagy globális szinten nézve igen fontos, így a – megújuló energiákhoz hasonlóan – a hosszabb távú megtérülés érdekében (aminek oka például a drasztikus energiaár-növekedés lehet) támogatásra érdemes.

6.1 Fejlesztési lehetőségek

Az energiamérleg kapcsán láthattuk, hogy a gipszbeton esetén az elsődleges energiatartalmú anyag a gipsz és az acél gyakorlatilag elhanyagolható, ellenben a vasbetonnal, ahol a beton energiafelhasználása dominál és jelentős az acél is. Ha csökkenteni szeretnénk tehát az energiafelhasználást, akkor míg a vasbetonnál a betonnal érdemes foglalkozni, a gipszbetonnál célszerű a gipsz technológiáján, esetleg anyagán változtatni. Beton esetében vannak erre törekvések, mint például a zöldbeton^[15]. Egyik fejlesztési irány tehát a gipsz előállításának vizsgálata, vagy alternatív anyag keresése („zöldgipsz”), mely ellátja ugyanazokat a feladatokat, és kisebb energiaigénnyel rendelkezik.

A mai építészeti irányoknak kedvez a szerkezet, mert lehetővé teszi a szabad formálást, izgalmas téralakítást. Ehhez azonban a szerkezeti működés pontosabb megértése kell. Így egy további fejlesztési lehetőség a számítógép adta modellezési lehetőségek további kiaknázása, melynek segítségével egész szerkezetek működését érthetjük meg. Ennek kapcsán az íves szerkezetek is előtérbe kerülnek, mert azok esetén optimálisabb alakot találhatunk a szerkezeti működés szempontjából.

6.2 További kutatási irány

Az épületek energiafelhasználását már hőtechnika, fűtés, gépészet szemszögéből mindennapos szinten vizsgálják, azonban a teljes energiafelhasználás (építéssel, bontással, karbantartással stb.) még nem került előtérbe. Ha az épület komplex energiaszükségletét nézzük, akkor abban fontos szerepet játszik a tartószerkezet^[3], így érdemes munkát fektetni az alacsony energiafelhasználású szerkezeti anyagok vizsgálatába.

Érdemes lenne azt is megvizsgálni, hogy a manapság egyre szélesebb körben terjedő mikor és makro szálerősítés használható-e a gipszbetonnál, befolyásolja-e a szilárdságát, szerkezeti működését, technológiáját.

A szabadonformált szerkezetek kapcsán, illetve a szerkezeti működés környezeti hatásainak vizsgálatával előtérbe kerülnek a kétszergőbűlt felületek (csak normálfeszültséggel terhelt szerkezet, izgalmas térformákkal). A gipszbeton elveinek alkalmazása itt is lehetséges, például a textilzsaluzatú betonok esetében a zsaluzat formájának megőrzésére azt gipszbe lehet mártani, ami később a dermesző hatással segíthet a beton szilárdulásában.

Látható tehát, hogy a gipszbeton nem csupán egy régi találmány, hanem egy ma is sok érdekességet, fejlesztési és kutatási lehetőséget rejtő anyag/technológia, tehát érdemes vele foglalkozni.

7 Köszönetnyilvánítás

Köszönöm **dr. Salát Gézának**, hogy felvetette számomra a témát, **Ónodi Szabó Lajosnak** a gipszbeton történetének, és lényegének ismertetését, és a vizsgálati jegyzőkönyvek, és további anyagok rendelkezésemre bocsátását valamint **dr. Kászony Gábornak** az anyagtudományi ismereteinek, és a hozzá kapcsolódó irodalmak megosztásáért. Továbbá köszönöm **dr. Sajtos Istvánnak**, aki konzulensként szakmai segítséget és biztatást is nyújtott.

8 Irodalomjegyzék

- [1] Sámsondi Kiss Béla: Szövetszerkezetes épületek, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1965
- [2] Szövényi I. – Czoch A. – Albert T. – Ónodi Sz. L. – Dr. Kászonyi Gábor: Gipszbeton szerkezetek (alkalmazástechnikai kézikönyv), 26. sz. Állami Építőiprai Vállalat, 1991
- [3] Leczovics Péter: Gipszbeton szilárdsági tulajdonságainak vizsgálata, Magyar Építőipar 2010. 5. szám pp187-189 HU ISSN 0025-0074
- [4] L. Végh – P. Végh: Concept of the theory of environmentally compatible structures and structural materials (ECS), Czech Technical University in Prague, Prága, 2011
- [5] W. McDonough – M. Braungart – P. T. Anastas – J. B. Zimmerman: Applying the Principles of Green Engineering to Cradle-to-Cradle Design, Environmental Science & Technology 2003. december 1. szám pp435-441A ISSN 0013-936X
- [6] Dr. Orosz Á. – Dr. Tassi G. – Ódor P.: Vizsgálati jegyzőkönyv gipszsalutatban dermesztett vasalt betonfödém-szerkezet laboratóriumi vizsgálatáról, BME Vasbetonszerkezetek Tanszéke, Budapest, 1984
- [7] Dr. Gilyén Nándor – Dr. Szilassy Kálmán: Vizsgálati jegyzőkönyv a 26. sz. Állami Építőipari Vállalat „Vékony keresztmetszetű vasbeton” szerkezeteinek tartószerkezeti vizsgálatáról, ÉMI Tartószerkezeti osztály, Budapest, 1987
- [8] Ludevít Végh: Környezetbarát szerkezetek néhány sajátos szempontja, Vasbetonépítés 2012. 2. szám pp42-44 ISSN 1419-6441
- [9] http://www.rendszerek.org.hu/?m=7&almenu_id=125&nyelv=magyar&oldal_id=&menu=m2 (2013. 10. 25.)
- [10] Sámsondi Kiss Béla 1946. március 19-én kelt levele
- [11] Zdeněk P. Bažant: Scaling theory for quasibrittle structural failure, PNAS vol. 101 no. 37 pp13400-13407, USA, 2004.09.14.
- [12] Áts Á., Áts-Leskó Zs., Pataky R.: Könnyűszerkezetes épület komplex szemléletű műszaki megoldásai. Magyar Építőipar 2013. 4. szám pp147-152 HU ISSN 0025-0074
- [13] Gábor L. – Párkányi M.: A nemtektonikus építés alapvető szerkezetelméleti kérdései, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1985
- [14] Dr. Kászonyi G. – Leczovics P.: Betonok roncsolásmentes vizsgálata, Műszaki Szemle 2012 58. szám pp3-10 ISSN 1454-0746
- [15] Andrea J. Schokker: The Sustainable Concrete Guide, US Green Concrete Council, Farmington Hills, USA, 2010
- [16] Robert E. Fischer: New Structures (Architectural Record), McGraw-Hill Book Company, New York, 1964