



RACIONÁLIS CEMENTFELHASZNÁLÁS

KIVONAT

Századunk felismerése az, hogy fenntartható fejlődés eszméinek szem előtt tartása nélkül fikarcnyi esély sincs élhető életteret hagyni az elkövetkező generációk számára.

A cementgyártás kirívóan nagy klimalábnyoma az eredményes beavatkozás lehetőségével kecsegtet, mely út több számba vehető csapás mentén is járhatónak tűnik. Egyrészt korszerűsíthető a gyártástechnológia, másrészt részben vagy teljesen helyettesíthető alacsony előállításkori károsanyag kibocsátású anyagokkal a cement, harmadrészt racionalizálható annak felhasználása. Az első folyamat tekintetében a XXI. század eltelt két évtizede jelentős előrelépést hozott, azonban az anyagtudományi fejlesztések még nem érték el a kívánt eredményt. A fenti két útkeresés számottevő finánciális és szellemi tőkét igényel, azonban Tanulmányunk rávilágít: a harmadik út „csupán” az építőipar szereplőinek szemléletváltását, valamint az abból fakadó elvek következetes betartását és betartatását követeli meg. Tekintettel arra, hogy a víz után legnagyobb mennyiségben használt anyagunk a beton, ezen belül is a vasbeton, a környezetünkért való küzdelem feltétlen részét kell képezze felhasználásának észszerűen alacsony szinten tartása.

A kor embere számára önmagában a környezettudatos gondolkodásmód nem vonzó. Az eredményesség érdekében azt anyagi köntösbe kell rejteni, sőt annak gazdasági előnyeit reflektornozni szükséges. A cement felhasználásának racionalizálása önmagában e tekintetben nem célravezető, hatékonyabb a beton-, és vasbeton tartószerkezeteink komplex vizsgálata, beleértve a betonacél felhasználást is, alkalmazva az alkotók költségaránya alapján kalkulált optimális ráfordítások elvét. Az előállításkor befektetett energiaigény szoros kapcsolatban áll a termék árával, így a gazdasági szempontból kedvező szerkezeti kialakítás bizonyos tekintetben közel áll az adott anyagokból kialakítható legalacsonyabb környezetterhelésű konstrukcióhoz.

A folyamatosan változó, tényleges vagy vélt igényeket kielégítve, a fogyasztói társadalomhoz hasonló, sok esetben pazarló anyagfelhasználás mellett valósítjuk meg szerkezeteinket. Ennek oka rendkívül összetett, jelentős részben azonban a hibásan felmért, vagy erősebb piaci szereplők igénye által diktált peremfeltételeknek köszönhető. Tanulmányunk célja ezen hatások feltárása és helyén való kezelésének elősegítése, biztosítva ezzel a gazdaságosság és környezettudatosság eszmerendszerének elmélyülését.

A kiadvány célközönsége széleskörű, javaslataink jelentős részét a beruházói oldal számára (építtetők, műszaki ellenőrök), illetve tervezők számára fogalmaztuk meg, de reményeink szerint egyes ajánlásaink az építési és beruházási folyamatokat szabályozó szerveknél is meghallgatásra találhatnak.

A kiadvány szerkesztője:
WAGNER ERNŐ
a Magyar Mérnöki Kamara elnöke

Készült a Magyar Mérnöki Kamara megbízásából, az Építési és Közlekedési Minisztérium EPAT/8491-4/2023/TTÉPHÁT számú Támogatói Okiratával a Magyar Mérnöki Kamara Szakmai programjában foglalt célok megvalósítása érdekében biztosított pénzügyi keretből.

A kiadvány a Magyar Mérnöki Kamara tulajdona. Másolása, teljes terjedelmében való közzététele csak a Kamara engedélyével lehetséges. Minden jog fenntartva.

RACIONÁLIS CEMENTFELHASZNÁLÁS

Búti Géza
okl. építőmérnök

Kovács József
okl. építőmérnök

Dr. techn. Liska András
okl. építőmérnök

Lektorok:
Dezső Zsigmond
okl. építőmérnök
Polgár László
okl. építőmérnök

Kézirat lezárva.

2024.07.14.

Debrecen

ELŐSZÓ

Napjaink egyik legégetőbb kérdése a fenntarthatóság, azaz a fenntartható fejlődés, mely minden ipari szektort és minden társadalmat, emberi közösséget testközelből érint, vagy érinteni fog. A fenntartható fejlődés a haladásnak azt a formáját jelöli, mely során a gyarapodás, azaz a változó – többnyire növekvő – igényeinket kielégítő változás úgy jön létre, hogy közben a természetes rendszerek, források összessége nem omlik össze, továbbra is képes marad a természetes körforgás fenntartására, megújulására. De, az egyre nagyobb fogyasztói igények, ehhez igazodó gazdasági növekedést követelnek, mely szükségképpen az azt biztosító erőforrások aránytalan kizsákmányolásával jár. Mára már oly mértékben, hogy ez által a normális természeti egyensúly felbomlott, és a rendelkezésünkre álló tartalékaink kimerülnek.

Adott hát a lecke: a környezet elhasználódása elleni küzdelem, de oly módon, hogy közben a gazdasági fejlődésről, a társadalmi egyenlőség és igazságosság elvárásairól se mondjunk le. Azaz szociális igényességünk, a gazdaság és a környezet szerves összhangban legyen, részben a kívánalmak, másrészt a lehetőségek oldaláról. Az utóbbiak oldaláról egyszerűnek tűnik a helyzet, amit a környezetbe kibocsátunk, vagy amit kitermelünk, az nem haladhatja meg a természet befogadó, illetve feldolgozó, vagy újratermelő képességét. Ami pedig igényességünket illeti, azt a természet ezen befogadó és újratermelő képességéhez kellene igazítani. No, ez itt a probléma.

A helyzet megítélését csak fokozza a mai közgazdasági értékítélet alaptézise, hogy csakis a gazdasági növekedésen alapul, mely azonban örökké ilyen ütemben nem növekedhet. Azaz a bővülő népesség növekvő anyagi jólétét úgy kellene biztosítani, hogy közben ehhez egyre kevesebb környezeti erőforrást használjunk fel. Ez az út, ökonómiai értelemben is erős szemléletváltozást igényel, ami nélkül a „növekvő igények / csökkenő felhasználás” elve a gyakorlatban nem valósulhat meg. Azonban az, hogy korunk közgazdaságtana a növekvő fogyasztás kielégítését tartja a gazdasági tevékenységek fokmérőjének, illetve fő céljának, hosszú távon tarthatatlannak tűnik. Sokkal inkább egy humán-ökonómiai megközelítésre van szükség, mely felváltja a mai szemléletet, s a fogyasztás optimális szinten tartását tűzi ki célul úgy, hogy közben az emberi és társadalmi igények kielégítése se sérüljön. Napjaink közgazdaságtani elvárásai viszont a fogyasztás minden határon túlmenő növelésére irányulnak, a termelés költségeinek minimalizálása mellett. Pedig a fő cél nem a minél nagyobb termelékenység, hanem a termelésben dolgozó emberek minél nagyobb fokú megelégedettsége lenne. Vagyis ma már nem lehet az a kérdés, hogy tisztán mennyiségi módszerekkel megállapítva egy ország bruttó nemzeti terméke hány százalékkal növekedett, hanem az igazi kérdés az, hogy: vajon ez jó vagy rossz nekünk?

Így, ha a fejlődés alatt nem az anyagi és a populáció számbeli növekedését értjük, hanem inkább az emberiség szellemi fejlődésére, vagy boldogság érzetére gondolunk, akkor már lenne remény arra is, hogy mindeközben a Föld élővilága, illetve a minket körülvevő természet állapota is sérülésmentesen megőrizhető.

A fenntarthatóság nem csak gazdaságról vagy fogyasztásról szól, hanem egy összefüggő társadalmi kérdés, ezért annak mai gyakorlata helytelen. Egy-egy kérdésben egymás kárára történő önálló változások, mint például ökológiai célt a szociális cél rovására, vagy gazdasági célt a természeti és társadalmi szektor rovására történő megoldás helyett, átfogó rendszerszemléletre lenne szükség, amelyben a környezeti, közösségi és gazdasági célok egyidejűleg képesek megvalósulni.

De, mit tehetünk mi? Először is magunk körül kell szétnézni és megkeresni azokat a lehetőségeket, hogy miként tudnánk mi hozzájárulni a fenntartható fejlődéshez.

Napjainkban még mindig élénk a vita abban a vonatkozásban, hogy vajon a széndioxid-e a bűnös. Kerülve ezt a zsákutcát, azért egyben biztosak lehetünk, hogy az ipari széndioxid kibocsátás szükségképpen az erőforrások felhasználásával jár. Ezek felhasználása pedig nyilvánvaló, hogy a környezet kihasználására irányul. Ezért a széndioxid kibocsátást – indikátorként – függetlenül mindenféle irányzattól figyelembe kell vennünk.

Sajnos átfogó, összefüggő kérdések megoldásában nemigen tudunk magunk megoldást találni, de ha figyelembe vesszük azt, hogy az építőipar – az épületüzemeltetéssel együtt – a globális széndioxidkibocsátás mintegy 40%-áért felelős, akkor beláthatjuk, hogy nem csupán kulcsfontosságú ezzel a témával foglalkoznunk, hanem mind sürgetőbb a fenntarthatóságért tett küzdelem ezen apró szegmensében konkrét javaslatokat tenni, mind beruházói, mind tervezői és kivitelezői oldalról egyaránt.

Megoldásra vár az a probléma is, hogy a fenti 40% $\frac{3}{4}$ -ét teszi ki az épületek fűtése, hűtése és világítása során keletkező misszió, mely kapcsán 2050-re a nulla kibocsátási igényt fogalmazták meg. Ennek elérése érdekében például több hőszigetelő anyagot, napelemet és egyéb új, - akár még nem is ismert – anyagokat, berendezéseket kell majd gyártani, melyek szükségképpen a másik oldalról a megvalósítás oldaláról eredményeznek többletkibocsátást. Tehát bizonyossággal mondható, hogy egy ideig, amit nyerünk a révén, elveszítünk a vámon.

De két részre bontanám a kérdést: az egyik a beruházói oldal, míg a másik a megvalósítási oldal, a tervezői és kivitelezői tevékenység. A beruházói vagy megrendelői oldal szemléletváltásával lehetne elérni a nagyobb hatékonyságot, de itt nem vagyunk döntési pozícióban, így lényegesen kisebb a befolyásoló erőnk arra vonatkozóan, hogy egy épületnél milyen igényeknek megfelelően kell építőanyagot és építési technológiát választanunk. Pedig szinte minden esetben felmerülhet a kérdés: vajon helyesek-e a megfogalmazott igények, biztos, hogy nem túlzók, illetve ár-érték arányos-e az elvárt minőség?

Gondoljunk csak bele, hogy mivel jár határtalan „igényességünk”? Nagyanyáink még seprűvel meszelték az ütött-kopott falazatot, s itt-ott repedezett betonpadlón dolgoztak a műhelyekben. Ma pedig csak a repedésmentes, tükörsimát fogadjuk el pusztán a „nekünk járó”, megkövetelt minőség, illetve az úgynevezett „igényesség” okán. A szabványos tartósságnak megfelelő, előírt méretű 0,3-0,4 mm vastag – igaz már jól látható – repedések, a beruházó „igényessége” miatt sok esetben elfogadhatatlanok. Kiküszöbölésük azonban komolyabb műszaki megoldást, felkészültebb háttérű, minőségibb, nehezebben előállítható, speciális anyagú, költségesebb kivitelezést igényelnek. Vajon milyen használati akadályt vagy különleges esztétikai kárt okoznak? Milyen ár-érték arányt képviselnek?

Bár tervezői és kivitelezői oldalon a fentebbi „igényekhez” kell igazodnunk, mégis marad lehetőségünk az anyag és technológiai választásban – még, ha ennek már kisebb is a hatása. A tervezés és kivitelezés során nagyobb szabadsággal rendelkezünk a döntéshozatalban, így legalább ezen a téren lehetőségünk nyílik a fenntarthatóbb anyag- és technológia megválasztásában.

Az építőanyagok és technológiák tekintetében folyamatosan bővül a „zöld” alternatívák száma, miközben „újkori szokásjog” alapján rég elfelejtett, illetve kevésbé használt klasszikus anyagok és megoldások ismételt alkalmazása is szaporíthatná választási lehetőségeinket. Ilyen például az előregyártott és moduláris elemek használata, mivel a hagyományos gyakorlatokkal szemben kisebb a költségvonzatuk, valamint kisebb a velük járó károsanyag-kibocsátás is. Nem beszélve arról, hogy alkalmazásuk jóval kisebb mértékű felfordulással, zajjal és még kevesebb hulladékkal is jár, mint a helyszínen szerelt vagy monolitikusan történő építés során.

Nagy lépés lehetne előre a túlzó igényektől mentes, racionális anyagfelhasználás felé irányuló törekvés, mely akár jelentős széndioxidkibocsátás csökkenést is eredményezhetne, a példaértékű iránymutatásáról már nem is szólva.

Ebben segít eligazodni és ad iránymutatást ez a Tanulmány, mely reményeink szerint nem csupán szélesebb körben nyer elfogadást, hanem szemléletváltásával ösztönző is lehet, hogy mind többen a jövő iránti nagyobb felelősséggel és átgondolással végezzük munkánkat, hogy egyre relevánsabb igények mentén, egyre racionálisabb anyagfelhasználású tervekből, egyre fenntarthatóbb épületek valósulhassanak meg.

Dezső Zsigmond

okl. építőmérnök

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés.....	1
1.1. Problémafelvetés	1
1.2. Anyaghasználat	1
2. A vasbetonépítés történeti áttekintése.....	3
2.1. Beton-, és vasbeton építés története	3
2.1.1. Ókori beton építmények – a római cement.....	3
2.1.2. Újkori beton-, és vasbeton építmények.....	4
2.2. Beton-, és vasbetonépítés Magyarországon.....	6
2.2.1. Zielinski Szilárd, a vasbetonépítés apostola.....	9
2.2.2. Mihailich Győző.....	12
2.2.3. Menyhárd István.....	13
2.2.4. Palotás László.....	14
2.2.5. Polónyi István.....	15
2.2.6. Magyarországon fennmaradt vasbeton műemlékek.....	16
3. Az alapanyagok gyártása.....	20
3.1. A cementgyártás.....	20
3.2. Az acél gyártás.....	20
4. A betontechnológia fejlődése.....	22
5. Az anyagfelhasználást befolyásoló tényezők.....	24
5.1. Szilárdság	24
5.2. Tartósság.....	24
5.3. Építészet	25
5.4. Helytelenül felmért megrendelői igények.....	25
5.5. Kivitelezői igények.....	26
5.6. Szabványkörnyezet.....	26
6. Tartósság.....	27
6.1. Tartósság fogalma	27
6.2. Használati élettartam szabvány.....	28
6.2.1. A használati élettartamra való tervezés lehetséges módszerei.....	28
7. Tartószerkezetek tartósságának vizsgálata konkrét példákon keresztül.....	34
7.1. 50 éve megvalósult társasházi lakóépület alapozása	34
7.2. Első vasbeton templom Magyarországon	37
7.3. Megvalósult épületek sorsa a használati élettartam végén	39
7.3.1. Váci Mihály kollégium	39
7.3.2. Kölcsey Ferenc Megyei és Városi Művelődési Központ és Ifjúsági Ház.....	40
7.3.3. Tokaj Hotel.....	41
8. Vasvezetés tervezése	43
8.1. Minden keresztmetszetében dolgozó betonacél	43
8.2. Integrált szegővas alkalmazása	43
8.3. Betonacélok toldási hossza	44
8.3.1. A toldási hossz számítása az EUROCODE alapján.....	45
8.3.2. Toldáshoz szükséges acélmennyiség	46
9. Többszintes lakó- és középületek szerkezeti koncepciói.....	49
9.1. Pillérvázás rendszerű épületek	49
9.1.1. Monolit vasbeton rendszerű pillérvázás konstrukciók	49
9.1.2. Részben monolit vasbeton, részben előregyártott rendszerű pillérvázás konstrukciók.....	51
9.1.3. Teljes egészében előregyártott rendszerű pillérvázás konstrukciók	53
9.2. Pamlaglemezes földem és pontonként megtámasztott síklemez földem összehasonlítása.....	55
9.3. Számítási alapelvek.....	58

9.4.	A számítás menete	61
9.5.	Számítási eredmények kiértékelése.....	62
9.6.	Megtakarítások a számítási eredmények alapján.....	64
10.	Koncepcionális tervezés.....	69
11.	Megállapítások, javaslatok	71
11.1.	Cement felhasználását racionalizáló megállapítások	71
11.1.1.	Szilárdság és tartósság.....	71
11.1.2.	Koncepcionális tervezés elősegítése.....	72
11.1.3.	Pamlaglemezes földém alkalmazásával elérhető beton megtakarítás	73
11.1.4.	Előregyártott szerkezetek alkalmazásának előtérbe helyezése.....	73
11.1.5.	Városi főmérnök, városi főmérnökség intézményének bevezetése	74
11.2.	Betonacél felhasználását racionalizáló megállapítások	74
11.2.1.	Vasvezetés tervezése	74
11.2.2.	Pamlaglemezes földém alkalmazásával elérhető betonacél megtakarítás	74
11.3.	Egyéb.....	75
11.3.1.	Tűzvédelem	75
12.	Zárszó	75
13.	Hivatkozások	76
FÜGGELÉK.....		80
FOGALOMMEGHATÁROZÁS		81
ÁBRA-, ÉS SZÁMÍTÁSI MELLÉKLETEK		83
Ábrák a 8.3.2 Toldáshoz szükséges acélmennyiség fejezethez		83
Vizsgált geometriai eseteket ismertető táblázat a 9.4 A számítás menete fejezethez		84
Ábrák a 9.4 A számítás menete fejezethez		85
ÁBRAJEGYZÉK.....		87
TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE.....		89

SZERKESZTÉSI SAJÁTOSSÁGOK

Tanulmányunkat beruházók, műszaki ellenőrök, valamint szakmagyakorló tervezőmérnökök számára fogalmaztuk meg, mely elsősorban nem műszaki segédlet vagy tudományos publikáció, inkább a célközönség széleskörű ismereteit biztosító mű, így a megállapítások megértéséhez tartozó számításokat csak a feltétlen szükséges mértékben ismerteti.

Tanulmányunk kiadáskori antikká válásának elkerülése érdekében a kimutatások során többletanyag-felhasználás, illetve megtakarítások százalékos értékeit adtuk meg, a forintra vetített megtakarítások közlését mellőztük.

Tekintettel arra, hogy az igen eltérő alapismeretekkel és érdeklődési körrel rendelkező Olvasótáborra számítunk, a szerkesztése során az alábbi gondolatok betartását tartottuk szem előtt:

A tématerületen kevésbé jártas, azonban érdeklődő Olvasók szakmai kifejezésekben történő eligazodását a Függelék „Fogalommeghatározás” fejezetével, valamint az ott szereplő fogalmak folyószövegben történő kiemelésével segítjük. Digitális megjelenés esetén a kiemelés aktív, Ctrl billentyűvel kombinálva az adott fogalomhoz navigál, pl.: „A *románcement* feltalálása után ...”

Megállapításaink megbízhatósága érdekében műszaki számításokat, vagy arra alapuló kimutatásokat végeztünk. A sokrétű publikum igényeit kielégítendő, ezen számításokat – amennyiben azok terjedelme ezt lehetővé teszi – az adott fejezethez tartozóan, „apró” betűvel szedve és keretezve közöljük. Példa a kiemelésre:

A próbatest tárolása és mérete:

- 1949 és 1982 között a próbatestek 200 mm élhosszúságú kockák voltak, melyeket vegyesen tároltak
- 1982 és 2002 között a próbatestek 150 mm átmérőjű és 300 mm magas henger, vagy 150 mm élhosszúságú kocka volt, melyeket vegyesen tároltak.
- 2002 és 2004 között az európai szabványoknak megfelelően a próbatesteket már törésig víz alatt tárolták.
- 2004-től a magyar nemzeti alkalmazási feltételek szabványa (MSZ 4798-1:2004) szerint a vegyes tárolás is megengedett.

Amennyiben a részletes számítások terjedelme számottevő, úgy azt a Függelékben jelenítjük meg.

A kereszthivatkozások (több hasonló ábra vagy hosszadalmas számítás függelékbe történő elhelyezése) alkalmazásakor ugyanezen módszert alkalmaztuk, tehát ez esetben is használható a Ctrl billentyűvel történő navigáció.

1. BEVEZETÉS

1.1. Problémafelvetés

Napjaink a *beton*-, és vasbetonszerkezet építés a folyamatosan változó, tényleges vagy vélt igényeket kielégítve, a fogyasztói társadalomhoz hasonló, sok esetben pazarló anyagfelhasználással valósítja meg szerkezeteinket. Ennek oka rendkívül összetett, azonban jelentős részben a hibásan felmért, esetleg erősebb piaci szereplők igénye által diktált peremfeltételek betartásának köszönhető, melyek részletes kibontása és helyénvaló kezelése a gazdasági megtakarítás mellett környezetvédelmi hasznot is hajt a társadalom malmára. A klímaváltozás folyamatát katalizáló szén-dioxid-kibocsátás (az épületüzemeltetéssel nem számolva) $\sim 7 \div 12$ %-ért az építőipar a felelős.

A betonnal szemben folyamatosan fokozódó elvárások jelentkeznek Magyarországon is. Ennek egyik fő iránya a szerkezeti vastagságok csökkentése, a környezeti osztályoknak történő megfelelés biztosítása miatt a szilárdság növelése, továbbá a bedolgozás megkönnyítése. Ezt jól példázza, hogy a II. világháború után az átlagszilárdság a mai C8/10-nek (akkori B140) felelt meg, míg 2010-ben Magyarországon a legnagyobb mennyiségben kiadott transzportbetonok szilárdsági osztálya C20/25, illetve C25/30 volt. Napjainkban inkább már a C25/30, illetve C30/37 a jellemző, és várhatóan tovább folytatódik ez a tendencia.

Tanulmányunk egyik célja feltárni, hogy a magyarországi vasbetonépítés történetének kezdete óta eltelt időszakban milyen változáson mentek át a felhasznált betonnal szemben támasztott követelmények, továbbá, hogy ezen változásokat milyen körülmények indukálták.

Tanulmányunk további célkitűzése megvizsgálni, hogy az MSZ 4798:2016 szabvány és nemzeti mellékletei által meghatározott környezeti kitéti osztályok milyen módon felelnek meg a hazai sajátosságoknak. Egyszerű esetekben (járda, csömöszölt beton alapok, talpgerendák stb.) bizonyára szükség van további, a Nemzeti Alkalmazási Dokumentumban rögzítendő számítási eljárásra, kiegészítésre, melyek a meglévő erőírásoknál jobban szolgálják a gazdaságossági szempontokat, így költség-optimumhoz vezetnek.

Vizsgálataink során elsősorban az alacsonyabb igény szintű, de a hazai beton-, és vasbetonépítésben elterjedt, egyszerű tartószerkezeti elemek anyagfelhasználására kívánunk koncentrálni, számításainkat elsősorban *pillérváz* lakó- és középületek esetére végeztük el.

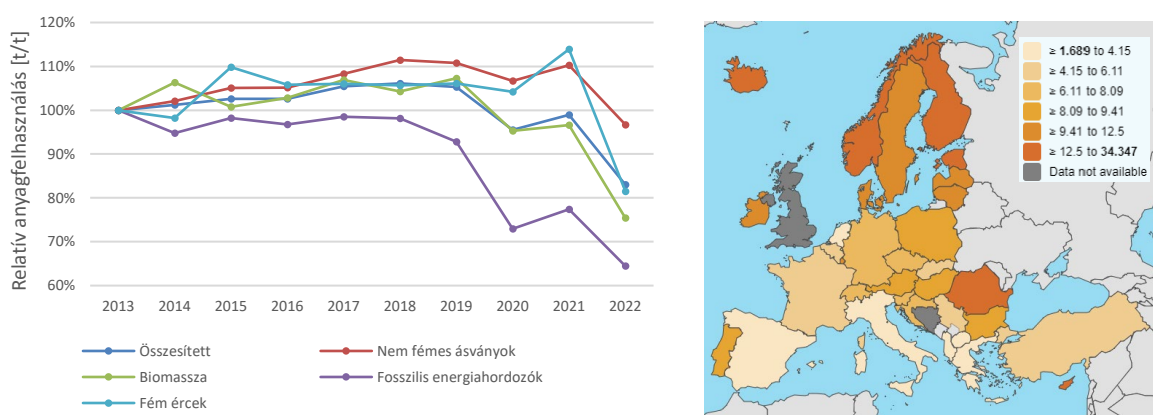
1.2. Anyaghasználat

Az elmúlt évtizedek gazdasági növekedése jelentős anyaghasználat-növekedést eredményezett. Az Organisation for Economic Co-operation and Development (Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet) előrejelzése szerint a világ anyagfelhasználása a 2021-es 79 milliárd tonnáról 2060-ra kétszeresére, 167 milliárd tonnára emelkedik. A folyamat előidézője a növekvő globális népesség, az iparosítás, a digitalizáció, a fejlődő országok növekvő kereslete, és az alacsony kibocsátású technológiákban és termékekben használt anyagokkal való éghajlat-semlegességre való áttérés [1].

Két alapvető mutató – az *egy főre jutó hazai anyagfelhasználás* (domestic material consumption – DMC) és az *erőforrás-termelékenység* (resource productivity) jellemzi egy társadalom és gazdaság fenntarthatóságát, a társadalom természeti erőforrásokat racionálisan felhasználó képességét [1].

Az egy főre jutó anyagfelhasználás tekintetében Európában kiugróan magas értékeket Írország és Dánia produkál, míg ezen érték az Egyesült Királyságban a legalacsonyabb. Magyarország a V4 országokon belül a 2010-es évek közepéig a leghatékonyabb volt, az utóbbi években ezen pozícióját Csehország vette át [1]. A mutató 2019 utáni tendenciája biztató: az uniós gazdaság belföldi anyagfelhasználása 2020-ban körülbelül 13,4 tonna /fő volt, mely a megelőző évhez képest (2019, 14,1 tonna/fő) csökkent [2] [3].

Fontos megjegyezni, hogy a hazai anyagfelhasználás közel *felét* (52%) a *nemfémes ásványok* (ilyen a cementgyártás *mészke* és *agyag* alapanyaga is) tették ki 2020-ban [2] [3].



1. ábra: Európai relatív anyagfelhasználás 2013 és 2022 közötti időszakban Európában, ill. annak területi megoszlása [2]

Az *erőforrás termelékenységben* az Egyesült Királyság és Hollandia jelentik az Európai Unió legmagasabb teljesítményét, a V4 országok a mezőny alján teljesítenek [1] [2] [3].

Ahogy manapság mondani szokás: „**Az a legzöldebb energia, amit nem használunk fel**”, tehát a mérnöki társadalom elsődleges feladata – az új, innovatív anyagok és technológiák alkalmazásán túl – a felhasznált anyagok mennyiségének reálisan alacsony szinten tartása, figyelemmel a közmegegyezéssel elfogadott biztonságra.

2. A VASBETONÉPÍTÉS TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉSE

Az agyagtégla felhasználása i.e. 10.000 évvel is ismert volt, melyet sajtolott formában első alkalommal Mezopotámiában kezdtek alkalmazni, majd i.e. 3000 évvel jelent meg az égetett *agyag* téglá. Az égetett téglá ellenállóbb, mely lehetővé tette tartós szerkezetek megépítését. A római kori építészet legnagyobb alkotásai is téglából készültek, majd Bizánc tovább finomított a római téglagyártáson. A kínaiak olyan gyártási eljárásokat dolgoztak ki, amelyek ellenállóbbá, tartósabbá, és magasabb szilárdságúvá tették a téglát. A XIII. századra a téglá az egész világon elterjedt építőanyag volt [4].

A római korban az épületek tégláihoz kiváló illesztő és ragasztó anyagot (habarcsot), valamint olyan betont készítettek, amely még ma is ellátja feladatát. A Római Birodalomban, a mediterrán térségben hosszú időre elterjedt a kezdetleges betont használó építési kultúra [4].

A „*cement*” szó is a római időkig nyúlik vissza, amikor az „*opus caementitium*” kifejezést az olyan falazott szerkezetekre használták, amelyek kőzúzalékból és az azt összetartó égetett mészből készültek [5].

2.1. Beton-, és vasbeton építés története

2.1.1. Ókori beton építmények – a római cement

Ma a betonépítmények élettartamát ötven - száz évben határozzák meg. A római Pantheon, vagy az ókori kikötői létesítmények (mólók, hullámtörők) ellenben már két évezrede dacolnak az elemekkel, látják el funkciójukat. A római beton összetételét ismerjük, köszönhetően Marcus Vitruvius Pollio – aki Augustus császár hadmérnöke - az építészetéről szóló híres tízkötetes munkájának [4] [6]. A birodalom építészei a betont égetett *mész* és vulkanikus kőzet, tufa keverékéből állították elő. A víz alatti építményekhez égetett meszet és vulkanikus hamut alkalmaztak, amelyekből habarcsot készítettek. Az így kapott péphez tufatörmelék (adalekanyagot) keverték, majd azt fából készült formákba öntötték és tengervízbe merítették, vegyi reakciót létrehozva a víz és a „*kötőanyag*” között [4].

A Lawrence Berkeley Nemzeti Laboratóriumban megállapították, hogy a mai cementfajtáktól eltérően az ókori *kötőanyag* kevesebb szilíciumot tartalmazott, amelyet alumínium pótol, szilárd, a természetben előforduló tobermorit ásványhoz hasonlatos vegyületet alkotva. A rómaiak kevesebb *mészkő* felhasználásával állították elő a cementet, így mindössze 900 fokra kellett hevíteni a kemencéket. A gyártás során kevesebb tüzelőanyagot használtak fel, kisebb volt az energiaigény és a szén-dioxid-kibocsátás is [4] [7].

A Római Birodalom egyik csodájának tartott Aranypalotát i. u. 64-ben Néró császár építtette a város egy részét elpusztító tűzvész után. A palota napjainkban is látogatható, a boltozat betona – melyen lévő freskók későbbi művészek mintájául szolgáltak – szabadon szemrevételezhető [4].

A Nyugat-Római Birodalom 476-ban bekövetkezett bukását követően kezdetét vette a középkor, melynek során a rómaiak által felismert tudás – mint sok minden más – feledésbe merült. A XVIII. század végén kezdtek el újra foglalkozni a francia és angol kutatók a hidraulikus *kötőanyagok* részletekbe menő tanulmányozásával, munkásságuknak köszönhetően kezdetét vette a beton újkori története [8].

A *románcement* feltalálása után - amely Smeaton angol mérnök nevéhez fűződik - nyílt lehetőség újra betont készíteni. Az első románcementgyárat J. Parker (Anglia) alapította 1796-ban [4].

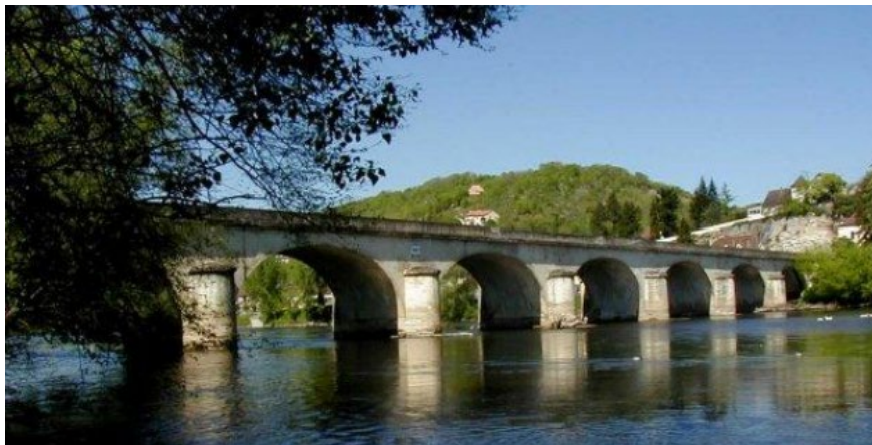
2.1.2. Újkori beton-, és vasbeton építmények

Az újkori beton alapanyagául szolgáló *portlandcement* feltalálásához vezető út 1779-ben Bryan Higgins szabadalmaztatta stukkó vakolattal kezdődött, mely hidratált cementből készült. Tapasztalatait az *Experiments and Observations Made With the View of Improving the Art of Composing and Applying Calcareous Cements and of Preparing Quicklime* című írásban dokumentálta [8] [9] [10].

1793-ban John Smeaton tanulmányozta a kiégetett *mész* víz alatti szilárdulását, illetve azt, hogy az más anyagokkal elegyítve (*adalékanyagot* alkalmazva) nagyobb szilárdságú építőanyagot eredményez. Megfigyeléseire alapozva újjáépítette a cornwalli világítótornyot [9].

1800-ban használtak először nagy mennyiségű betont a West Indian Dokk brit kikötő építésénél, melyet William Jessop tervezett [9].

1812 és 1816 között épült a franciaországi Souillacban az első betonszerkezetű híd, amely még nem tartalmazott vasalást [9].



Portlandcementhez hasonló anyag égetésével először Louis J. Vicat kísérletezett, akit a *franciák* a modern cementgyártás megalapozójának tartanak. A *portlandcement* feltalálójaként az *angol* Aspdint említik (1824) [4] [12]. A *portlandcement* alacsony *szórással* és jobb mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik, mint a természetes márgából készített *románcement*. A *portlandcement* feltalálásával az emberiség rendelkezésére áll az az anyag, amely szilárdságával, alakíthatóságával és tartósságával a legalkalmasabb mesterséges kő előállítására [4].

A vasbeton, vagyis a fémhuzallal fokozott húzószilárdságúvá tett kompozit feltalálásának elsősege nem egyértelmű. A *franciák* J. Monier *francia* kertésznek tulajdonítják az elsőséget, aki többek közt huzalokkal erősített beton virágcserepeket készített. A vasbeton tartószerkezetként történő felhasználása tulajdonképpen Lambot 1854. évi szabadalmával indult el, melyben már gerenda és oszlop is szerepelt. Ugyanebben az évben vasbeton hajót is épített, mely 1919-ben még úszóképes is

volt. Az *angolok* azt hangoztatják, hogy ezek az alkotások sem jöttek volna létre, ha 1824-ben J. Aspdin *angol* kőműves nem találja fel a *portlandcementet* [4] [12] [13].

Az egész világon történő elterjedését a kertész Monier 1867 – 1875 közötti szabadalmi biztosították. Eleinte különösebb számítás nélkül, érzésből építették a szerkezeteket, később a német és francia kutatók feltárták a vasbeton szerkezetek viselkedését. A ma is használt vasalási rendszerek alapjait Hennebique francia mérnök alkotta meg, a feszített vasbeton szerkezetek kutatásának kezdete Freyssinet nevéhez fűződik [13].



3. ábra: Louis Vicat [14], Joseph Aspdin [15], Joseph Monier [16], Joseph Lambot [17], Francois Hennebique [18], Eugene Freyssinet [19]

A XX. század első éveiben először a hídépítés területét hódította meg a beton, majd csak később terjedt el a vasbetonépítés. A századforduló után ipari- és középületek, lakóépületek, mérnöki műtárgyak, víztornyok létesültek monolit vasbeton szerkezettel. A sikeres konstrukciónak köszönhetően egyre szaporodva épületek a többemeletes, modern lakóépületek a II. világháború végéig. Ezek acélbetétei sima felületű lágyacélból készültek. Az új anyagból több, mint 100 féle födémkonstrukciót alakítottak ki. A cementgyártás fejlődésével a *románcementet* felváltotta a finom őrlésű, így nagyobb szilárdságú és egyenletesebb minőségű *portlandcement* [13].

Francia és német mérnököknek köszönhetően megszületett a vasbeton első elmélete, miszerint az acélbetétek a húzást, a beton pedig a nyomást veszi fel. A megbízható méretezési alapelvek, és ezáltal biztonságos konstrukciók létesítéséhez, további fejlődéséhez szükség volt a beton *nyomószilárdságának* előrebecslésére is. Erre vonatkozóan két módszer alakult ki. Az egyik az 1892-ben megalkotott geometriai modell, amely a francia René Feret nevéhez fűződik. Az elmélet a cementkő arányát viszonyítja a teljes térfogathoz, előrevetítve ezzel napjaink telített, telítetlen és túltelített betonjait, vagyis a beton *porozitásának* meghatározó szerepét a végtermék szilárdságának vonatkozásában. Tekintettel arra, hogy a betonban keletkező pórus egyfajta hibahely, folytonossági hiány, akkor érhetünk el jó szilárdságot, ha a légbuborékok számát minimális szintre csökkentjük.

Telítetlen beton esetén a cementpép nem tölti ki az adalékanyag-váz hézagait, így levegő marad a keverékben. Túltelített beton esetében a kavicshoz képest magasabb porozitású cementkő mennyisége több, mely szintén többlet porozitást eredményez, tehát kedvezőtlen.

A másik becslési eljárás szerint a *nyomószilárdság* a víz és a cement tömegarányától, így az elpárolgó vízmennyiség „helyén” kialakult pórusok mennyiségétől függ. A *víz-cement tényező* bevezetését a világ Duff A. Abrams-nak tulajdonítja, bár magyar kutatók és mérnökök szerint azt Zielinski Szilárd és Zhuk József 12 évvel korábban már publikálta [20], majd Palotás László továbbfejlesztette a cement granulometriai hatásainak figyelembevételével [21]. Minkét elmélet napjainkban is megállja a helyét, hiszen normálbetonok előállításakor telített. és alacsony víz-cement tényezőjű betonok készítését részesítjük előnyben.

Az újkori vasbeton építés megvalósult példákon keresztül történő bemutatása Asztalos István révén a Betonújságban megjelent publikáció sorozatában magyar nyelven is elérhető: [8] [12] [22] [23] [24] [20] [25] [26], melyet ajánlunk figyelmébe az érdeklődő Olvasónak.

2.2. Beton-, és vasbetonépítés Magyarországon

Magyarországon 1839-ben William T. Clark, a Lánchíd tervezője román cementet használt a híd alapozásának elkészítéséhez. A cement előállítása helyszíni üzemben történt, a hozzávaló alapanyagot a szlavóniai Beocsinból szállították [8] [27]. A láncok lehorgonyzó tömbjeinek alapozása, valamint a pillérek alaptestjei betonból készültek. Az alépítmény egyéb részei, pl. a hídfők és a pillérek felmenő falainak belső részei cementhabarcsba rakott kőfalazattal készültek [4].

Fontos megemlíteni, hogy az első magyar teljesen betonból épített műtárgy a Ferenc József-zsilip volt, amely a Ferenc-csatornán épült 1854-ben, annak dunai torkolatánál. Mivel cementgyár akkor még nem volt, a cementet kamenicai márgából a műtárgy építője, Minálik János miniszteri építészeti felügyelő saját maga égette [24].



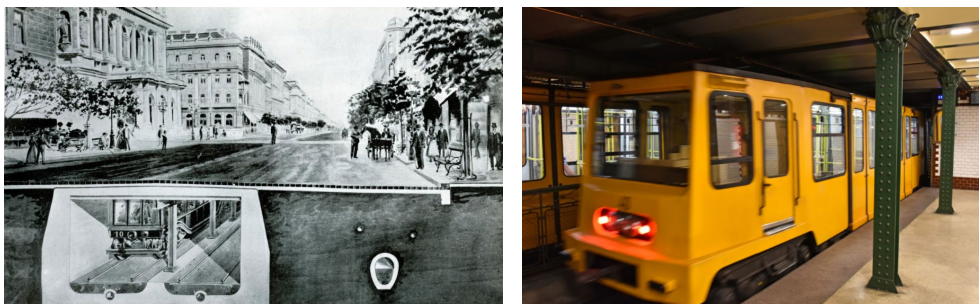
4. ábra: Ferenc József-zsilip egykoron és napjainkban [28]

Előnyös tulajdonságai miatt a vízépités területén Magyarországon és külföldön is sok műtárgynál részesítették előnyben a beton alkalmazását [24].

Az századfordulón beton-, és vasbeton szerkezetek építéséhez elsősorban Parker-féle római cementet használtak. Az a *kötőanyag*, amely az 1870-es években külföldről, Ausztriából, Sziléziából és Dalmáciából került Magyarországra, mind római cement volt. Ebből következően Parker-féle római

cementet használtak Budapesten a Nagykörúton belüli lakóépületek építéséhez, a csatornahálózat létesítéséhez, hídalapok készítéséhez. Magyarország területén a lábatlani és a beocsini cementgyárat 1869-ben, a nyergesújfalui cementgyárat 1870-ben, míg az Óbuda-újlaki cementgyárat 1880-ban alapították Parker-féle római cement előállítására céljából. A magyar cementipar beindulása kezdetben nehézségekbe ütközött a külföldön kialakult verseny miatt. A fogyasztók eleinte bizalmatlanok voltak a hazai cementekkel szemben és inkább az ismertebb külföldi termékeket vásárolták. A hazai fejlődés ennek ellenére szakadatlan volt, így a hazai gyárak fokozatosan kivívták az őket megillető helyet. A Magyar Mérnök- és Építész Egylet 1897-ben adott ki első ízben szabványelőírásokat, melyben a Parker-féle római cement 28 napos húzószilárdságára 1,0 MPa-t, 28 napos *nyomószilárdságára* 8,0 MPa-t írtak elő [8].

Wünsch Róbert magyar cementtechnikus és építési vállalkozó a Monier-rendszerrel egy időben szabadalmaztatta építési rendszerét. Wünsch merev vasvázat alkalmazott, a vasváz önmagában is teherhordó keretszerkezetként funkcionált. Ebből következően olcsóbb volt a szerkezet előállításának összköltsége, mert a keretszerkezeteknek köszönhetően a támaszerők felvételére szükségtelen volt erősebb alapozásra, falakra vagy hídfőre. Wünsch Róbert neve összeforrott a Millenniumi Földalatti vasút építésével, ugyanis annak kivitelezéskor megbízást kapott a föld-, illetve helyszíni betonmunka elvégzésére. A földemkonstrukció kialakításánál már Wünsch Róbert találmányát alkalmazták. Az építkezés 1894 augusztusában kezdődött el, az elkészült építményt 1896. május 2-án nyitotta meg Ferenc József osztrák császár és magyar király. A mai M1-es metróvonal a világ második föld alatt húzódó vasútvonala volt [24].



5. ábra: A kisérdalatti egykori ábrázolása és mai állapota [29]

Magyarországon az 1900-as évek elején, Franciaországban töltött útja és tervezői tapasztalatszerzése után Zielinski Szilárd honosította meg a vasbeton szerkezetek elméletét, elterjesztve így a Hennebique-féle rendszert [13].

A XX. század elején a vasbeton szerkezetek alkalmazása teret hódított mind a magas-, mind a mélyépítésben. Különös figyelmet érdemelnek a hídpépítésben elért eredmények. Ezen a területen, kiváltképp a kis-, és közepes nyílású hidak építésénél a vasbeton majdnem teljesen kiszorította az acélszerkezeteket. Jól példázta a vasbeton szerkezetek elméletének fejlődését, hogy egyre nagyobb fesztávú hidak épültek. A vasbeton ívhidak különféle szerkezeti megoldásokkal már a 100 m körüli fesztávot is elérték. Magyarországon nagy nyílású vasúti vasbeton ívhidak első ízben a Fogaras és Brassó közötti szakaszon épültek 1908-ban 40, illetve 60 m-es fesztávval. A hidakat Zielinski Szilárd tervezte [24]. Sokat elárul, hogy Magyarországon az 1906-1914 közötti években 16 db 30 m és annál nagyobb nyílású vasbeton gerendahíd volt, addig Németországban 5, Franciaországban egy sem épült [30].

A II. világháború utáni időszak a mérnöki szemléletben változásokat hozott, bevezetésre került a rendszeres minőség-ellenőrzés, valamint a háború utáni nehéz gazdasági helyzet okozta cementtakarékoság. 1951 és 1957 között tilos volt vasbeton vázas épület építése, a pince feletti földemek vonatkozásában kötelezően téglá dongaboltzat alkalmazását írták elő. Ezen cement-takarékosági intézkedéseket az 56'-os forradalom épületkárosodásainak helyreállítása céljából szüntették csak be [13].

Közben az *adalékszerek* egyre bővülő választéka nagy mértékben járult hozzá a nagyobb szilárdságú betonok, valamint a környezeti hatásoknak is ellenálló (vízzáró, kopásálló, korrózió álló) betonok előállításához. A nagyobb szilárdságú beton kisebb szerkezeti vastagságot és tömeget jelentett, mely a hajlítási merevség csökkenésével, nagyobb lehajlással, valamint a kihajlás veszélyének növekedésével, továbbá a hanggátlás és hőtárolás csökkenésével jár [13].

Az 1960-as évekre gyakorivá vált az előregyártott szerkezetek alkalmazása, melyeket azonban a helyszínen kellett összekapcsolni, szűk helyi kibetonozással, és sokszor helyszíni keverésű, kisebb szilárdságú és egyenletlenebb minőségű betonnal. Ezen technológia kezdetben kivitelezési nehézségekbe ütközött, sok panelépület esetében a panel alatt 2-3 cm hézagot nem voltak képesek jól kibetonozni [13].

A rendszerváltás idején a panelt is a szocialista társadalmak egyik kidobandó termékének tekintették, a házgyárak termelése leállt. A monolitikus vasbetonépítés technológiai vívmányai, valamint a társadalmi elvárás az emberközpontú építészet iránt lehetővé tették, hogy a monolit vasbetonépítés újra felvesse a versenyt az előregyártással [31].

A hazai vasbetonépítés kiemelkedő alakjai meghatározó mértékben járultak hozzá az újszerű rendszerek, technológiák meghonosításához, elterjedéséhez. A teljesség igénye nélkül ezen előremutató alkotók közé tartozik a vasbetonépítés „apostola”, Zielinski Szilárd (1860-1924), Mihailich Győző (1877-1966), Menyhárd István (1902-1969), Palotás László (1905-1993), valamint Stefan Polonyi, azaz Polónyi István (1930-2021).



6. ábra: Zielinski Szilárd [32], Mihailich Győző [33], Menyhárd István [34], Palotás László [35], Polónyi István [36]

2.2.1. Zielinski Szilárd, a vasbetonépítés apostola

A magyarországi vasbetonépítés történetét feldolgozó bárminemű írás csak csonka próbálkozás lenne a Zielinski Szilárd életpályájának, személyiségének, és a mérnök társadalomért tett erőfeszítéseinek méltatása nélkül.

Édesapja, Zielinsky Szaniszló (az anyakönyvben apja nevét y-al írták, azonban Zielinszki Szilárd saját kezű aláírása 1907-ből: *dr. Zielinski*) lengyel nemesi családból származott, fiatalon Magyarországra emigrált, édesanyja Böhm Terézia. Zielinski Szilárd 1860. május 1-én született a Szatmár megyei Mátészalkán, ahol szülei épp átutazóban voltak. Testvérei, Erzsébet és Ferenc ikergyermekeként két évvel voltak idősebbek. Érdekességként említjük, hogy abban az időben Mátészalkán nem volt római katolikus anyakönyvezés, ezért a Mátészalka melletti nyírcsaholyi egyházi anyakönyvbe Constantinus keresztnévvel jegyezték be [32].

Gimnáziumi aít Gyöngyösön, majd Budapesten, a II. kerületi reáliskolában végezte, ahol egyelőre még nem tűnt ki társai közül. 1878-ban érettségi bizonyítványt szerzett, majd a Királyi József Műegyetemen tanult tovább, ahol szigorú következetességgel pótolta ismereteinek hiányát. A gyakorlati tudás megszerzése érdekében a tanulmányi szünetekben építkezéseken gyakornokoskodott. 1884. április 30-án kitűnő minősítésű oklevelet szerzett [32].

1882-1888 között a Műegyetem Út-, és Vasútépítéstani Tanszékén oktatott tanársegédként. i eredménye, tudása, rátermettsége alapján – az egyetemi tanács javaslatára – 1885-ben a Vallás- és Közoktatásügyi miniszter állami ösztöndíjjal kétéves külföldi útra küldte. A út alatt, Ausztriában, Bajorországban, Svájcban és Franciaországban megfigyelte a vasutak építését, az üzemi igényeknek megfelelő eszközöket, valamint a biztonsági berendezéseket. Több hónapon át dolgozott Gustave Eiffel tervezőirodájában és gyárában, ahol akkoriban készültek az Eiffel torony tervei. A torony tervezéséről, erőtani számításáról Zielinski számolt be először Magyarországon a Magyar Mérnök- és Építész Egylet Közlönyének 1888. évi 1., 2. és 3. számában [32].

Kőhidak építését oza Franciaországban, továbbá a városi vízellátás és csatornázás tervezését, építését, valamint a csatornavíz hasznosítására szolgáló berendezéseket Münchenben, Párizsban és Amszterdamban [32].

Zielinski a 1889-es párizsi világkiállításon ismerkedett meg a Hennebique szabadalommal, majd licenszjogot kapott a francia mérnökirodától vasbetonszerkezetek építésére. A szabadalom magyarországi képviselőjeként kezdetben francia tervek segítségével és francia szakmunkások közreműködésével dolgozott, rövidesen azonban függetleníteni tudta magát a Hennebique irodától. Tervezőirodáját kiváló mérnökökből szervezte meg, szegedi ácsokból pedig kitűnő munkásbrigádot állított össze, akik a francia szakmunkásoktól hamar eltanulták a vasbetonépítés minden fortélyát [32] [37].

Tisztelői a magyarországi vasbetonépítés meghonosítójaként **a vasbetonépítés apostolaként** tekintenek rá [37].



7. ábra: Zielinski Szilárd műszaki doktori oklevele [38]

1902-ben – **hazánkban elsőként** – megszerezte a műszaki doktori címet [37] [38].

Első elnökévé választotta az 1897-ben megalakult Magánmérnökök Országos Szövetsége, 1920-ban a Magyar Mérnök- és Építészegylet, 1921-ben a Közmunkások Tanácsa.

Zielinski Szilárd hosszú évtizedeken át küzdött a mérnöki kamara létrehozásáért. A Magyar Mérnök- és Építész Egylet 1900. június 7-i rendkívüli közgyűlésén ő adta elő a kamara létrehozásának törvénytervezetét. Célként a mérnöki kar jogainak és tekintélyének védelmét jelölte meg, beleértve a jogok gyakorlásához szükséges tagsági feltételek megszabását is [37].

1917. júniusában a Műszaki Egyetem főépületének aulájába a Mérnöki Kamara létrehozását szorgalmazó mérnökgyűlést hívtak össze. Az országos mérnökgyűlés védnöke a király megbízásából Miksa főherceg volt, a kormány képviselőiben pedig jelen voltak az érintett miniszterek. Zielinski Szilárd itt elhangzott beszédében mondta:

„mi vagyunk az a kar, amely a társadalom jólétéért, az ország felvirágzásáért (...) dolgozik. (...) más társadalmi karok rendezettségéhez hasonlóan mi is kérjük a mérnökök és építészek rendtartását és kérjük és javasoljuk, hogy ez kamarai szervezet alakjában törvény útján szabályoztassék”.

Az I. világháború eseményei kedvezőtlenül befolyásolták a folyamatot, a mérnöki kar fáradozásait csak 1923-ban koronázta siker: a mérnöki kamara megalapítását lehetővé tevő, a mérnöki rendtartásról szóló 1923. évi XVII. törvény végrehajtását a kereskedelmi miniszter 1923 július 13-án elrendelte, majd 1924. március 8-án a Budapesti Mérnöki Kamara megalakult [37].

A kamara alakuló ülésén – hálából és tiszteletből – a már megromlott egészségi állapotban lévő Zielinski Szilárdot választotta első elnökéül. Több mint egyórás elnöki beszéde egyben tudományos végrendelete is volt. 1924. április 28-án, szellemi erejének teljében távozott az élők sorából a magyar mérnöktársadalom egyik legkiválóbb alakja [32].

2004. szeptemberében a Magyar Örökség és Európa Egyesület a Magyar Tudományos Akadémia dísztermében méltatta munkásságát: **Zielinski Szilárdnak a vasbetonépítést meghonosító munkássága magyar örökség**, melyet bejegyezték a Magyar Szellem Láthatatlan Múzeumának a Magyar Nemzeti Múzeumban őrzött Aranykönyvébe. Az Aranykönyv a nemzet számára értékes szellemi és tárgyi alkotások létrehozóinak személyét őrzi, így Zielinski Szilárd professzorét is.

A fejezet első mondatában Zielinski Szilárd jellemének bemutatásával kecsegtettük az olvasót, mely ilyen időtávlatban csak egyes tetteinek és megnyilvánulásainak bemutatásával, valamint szaktársai véleményének ismertetésével kísérelhető meg, az Olvasóra bízva ebből a teljes kép kialakítását:

1894. december 1-jén vette feleségül Dabasi Halász Irmát. Felesége visszaemlékezéséből tudjuk, hogy az igényesség, a szépérzék volt jellemző Zielinskire, a magánemberre is. Megjelenésében pedáns, a társasági életben is kellemes, táncolni is szerető, a magyar zenét kedvelő társ volt. Felesége több konferenciára is elkísérte, sok barátjuk volt mind belföldön, mind külföldön. Házasságuk gyermektelen maradt, így tudását, emberszeretetét, emberi tartását ifjú tanítványaira hagyományozta [32].

„Élénk hanghordozása, széles gesztusai felkeltették hallgatóságának figyelmét, heve és lelkesedése pedig magával ragadta őket. Ez a nagyfokú tevékenység, az állandó szakadatlan munka azonban még ennek a végtelen akarátú és erejű embernek az energiáját és egészségét is aláásta.”

– írja Góg Imre (vízügyi történetkutató) [39].

„Ha valaki látta dr. Zielinski Szilárdot előadni, ha valaki látta azt a hevet, azt a lelkesedést, amellyel még a legszárazabb anyagba is lelket tudott önteni; ha valaki látta hallgatóinak arcán és szemein a megértést, a csillogást, a ragyogást, akkor az meggyőződhetett róla, hogy az a nagy lélek, az a nagy energia, akit dr. Zielinski Szilárdnak hívtunk, nem semmisült meg, hanem él tovább száz meg száz ifjú ember lelkében”

– elevenítette fel pályatársa, Maurer Gyula 1928-as megemlékezésében, a Magyar Mérnök- és Építész-Egylet Közlönyében [39].

Zielinski Szilárd születésének 160. évfordulóján a mérnöki szakma, az egész mérnöktársadalom joggal adózott méltó tisztelettel az előtt a mérnöktárs emléke előtt, aki évszázadokra jelölte ki a szakma követendő hitvallását és hirdette a mérnöki tudomány egyenlőségét a tudományágak sorában [32].

Végezetül Kausay Tibor 2004 évi, a Magyar Szellem Láthatatlan Múzeumának Aranykönyvébe történő elismerés bejegyzésekor elhangzott laudációjából:

„Nagy hangsúlyt fektetett a minőségre. Azt vallotta, hogy a beton felületén nem szabad borsónyinál nagyobb pórusnak lennie. A Zielinski családban apáról-fiúra örökített anekdota, hogy kiment a piacra, vett 1 kiló borsót, és a zsebében egy félmaroknyi borsóval járta az építkezéseket. Azóta a betontömörítési technika sokat fejlődött, s ma már mákszemekkel kellene a felület kifogástalanságát ellenőrizni.” [40] [41]

2.2.2. Mihailich Győző

1877. októberében született Temesváron. A középiskolát Kecskeméten végezte, 1899 szeptemberében a Királyi József Műegyetemen kitűnő minősítésű oklevelet szerzett. Kisfaludi Lipthay Sándor leköszönő rektor 1900 szeptemberi évnyitó ünnepségén kiemelte: Mihailich Győző kiérdemelte, hogy oklevelében a szigorú feltételekhez kötött kitűnő minősítés szerepeljen. 1899-től a Hídépítéstan Tanszék tanársegédévé nevezték ki, ahol a tanszék vezetője a nagynevű Kherndl Antal professzor volt. 1902-ben adjunktussá nevezték ki, 4 évvel később a Mérnöki Szakosztályra benyújtott „A csomópontok merev kötése okozta mellékfeszültségek grafikai meghatározása” című értekezésével doktori fokozatot szerzett. 1920 és 1957 között a II. sz. Hídépítéstan Tanszéket – 80 éves koráig – megszakítás nélkül vezette.

Az oktatási tevékenységéhez szorosan kapcsolódott tankönyvírói tevékenysége. 1922-ben jelent meg Vasbetonszerkezetek című könyve, mely negyed évszázadon át a hallgatók és a tervező mérnökök legfontosabb kézikönyve volt. 1946-ban alkotását az ipar fejlődéseinek megfelelően átdolgozta és újra kiadta. A könyv legújabb kiadását tanítványával és utódjával, Palotás Lászlóval készítette.

Nézetei szerint jó oktató csak az lehet, aki nem szakad el a gyakorlati élettől, aki előadásait, gyakorlatvezetését az iparból vett, lehetőleg saját példákkal támasztja alá. Tervezői hírnevét a temesvári Liget úti híd alapozta meg, mely építése idején a világ legnagyobb nyílású gerendahídja volt. A munkáját az 1910. évi párizsi világkiállításon dicsérő oklevéllel méltatták.



8. ábra: A temesvári Liget úti híd [42]

Mihailich Győző számos vasbeton szerkezetű épület és műtárgy tervezője volt, nevéhez fűződik többek közt az újpesti városi víztorony, a Ganz és Társa Danubius fiumei hajógyárának vasúti felüljárója, a berekböszörményi közúti Sebes-Körös-híd, a budapesti dominikánus-templom vasbeton kupolája, de ipari vasbeton létesítményei közül a leghíresebb a csepeli gabonatar. Acélszerkezetek terén is maradandót alkotott, az első szolnoki közúti Tisza-híd, a polgári Tisza-híd, valamint a szegedi Tisza-híd tervezésében is részt vett. Ipari acélszerkezetei közül kiemelkedik a Szabó József utcai autóbusz garázs nagycsarnoka. Tanácsadóként és szakértőként 1916-tól kezdve szinte minden nevezetes híd és csarnokszerkezet megvalósításában részt vett.

Közeleti tevékenysége is kiemelkedő volt, a Mérnök és Építészeti Osztály dékánja, később az egyetem rektora volt. Az MTA Műszaki Tudományok Osztályának első elnöke, és ezen belül az MTA Építéstudományi Főbizottságának elnöke volt 10 éven keresztül.

A Magyar Mérnök- és Építész Egylet Vasbeton Bizottságának elnökeként irányította az 1931-ben megjelent vasbeton szabályzat előkészítő bizottságának munkáját, melyet az egyesület aranyéremmel tüntetett ki.

Érdemeit számos további kitüntetéssel ismerték el: Magyar Érdemrend kiskereszt, Magyar Köztársasági Érdemrend középkeresztje, Kossuth nagydíj, a Magyar Népköztársaság Érdemrend III. fokozata. 60 éves mérnöki tevékenysége után megkapta a gyémántoklevelet, majd a műszaki doktori aranyoklevelet.

1966-ban hunyt el, az egyetem és az akadémia saját halottjának tekintette, emlékét az egyetem udvarán mellszobor őrzi [43] [44] [45].

2.2.3. Menyhárd István

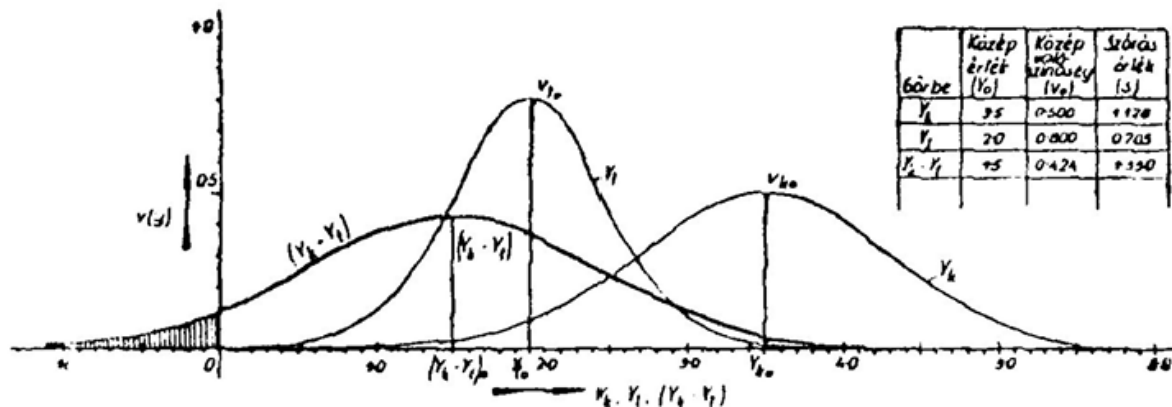
Menyhárd István (Vulkapordány, 1902. szeptember 21. – Budapest, 1969. augusztus 25.) mérnök, statikus, a műszaki tudományok doktora (1955), Ybl-díjas alkotó (1963). Mérnöki végzettséget a Királyi József Műegyetemen szerzett. Pályáját Enyedi Béla tervezőirodájában kezdte, 1933 – 1937 között az egyetem Mechanikai Tanszékén tanársegédként, majd adjunktusként oktatott. Kisebb megszakításokkal csaknem élete végéig – írásai nyomán még azon túl is – a jövő mérnökeit formálta. 1940-től magánmérnöki tervezőirodát nyitott. A Kereskedelem- és Közlekedésügyi Minisztérium Közúti Hídosztályán önálló tervezőként tevékenykedett. Ezen időszak alatt készült a Magyarországon újszerű vasvári vonórudas ívhíd (1935), valamint a szolnoki felüljáró, melyet Mistéth Endrével tervezett, ami az első hazai Langer-tartós vasbeton híd volt. Ekkor kezdett a vasbeton héjszerkezetek elméletével is foglalkozni, munkásságának egyik kimagasló eredménye az általa tervezett Budapest Székesfőváros Közlekedési Rt. (ma: Budapesti Közlekedési Vállalat, BKV) Hamzsabégi úti autóbusz kocsisínje és műhelycsarnokai (1945) [46] [47].

A II. világháború után részt vett több károsodott híd rekonstrukciójában. 1949-től az Állami Mélyépítési Tervező Intézetnél, az Építéstudományi Intézetben (ÉTI) és az Ipari és Mezőgazdasági Tervező Intézetben (később IPARTERV) tevékenykedett. 1962-től a Budapesti Városépítési Tervező Vállalat (BUVÁTI) tervezőmérnöke volt [46] [47].

Behatóan foglalkozott a törésméleten alapuló méretezéssel. A törési állapoton alapuló módszer és a Mayer-féle felfogás (osztott biztonsági tényezős eljárás) háborús viszonyokban történő alkalmazásának tapasztalataira támaszkodva 1949-re lényegében kialakult a határállapotokon alapuló új méretezési eljárás. Erről a körülményről Menyhárd így ír:

„A Szovjetunió magasépítési vasbetonszabályzatának 1950. évi tervezete elkészült. Irodalmi közleményekből ismerjük ennek részleteit. Az új szabványtervezet már e fejezetekben elmondott elvek teljes figyelembevételével készült.” [48] [49]

Bevezette a tönkremenetelt megelőző biztonsági tényezők méretezésének elvét, melyet az Eurocode csak az ezredforduló után kezdett alkalmazni. E munkásságának eredménye magasépítési és vasbeton szabványaink korszerűsítése. 1953-tól a Szabványügyi Hivatal Méretezési Szakbizottságának elnöke volt 1969-ben bekövetkezett haláláig [46].



9. ábra: A biztonság Menyhárd-féle értelmezése (eredeti ábra) [48]

Ő tervezte a Férihegyi repülőtérre vezető út vasbeton hídjait, a pozsonyi, eperjesi, marosvásárhelyi vasbeton ívhidakat, a székesfehérvári alumíniummű és a csepeli csőgyár héjfedésű csarnokait [46].



10. ábra: A Székesfehérvári Könnyűfémű alumíniumöntödéje és présműve építés közben [50]

2.2.4. Palotás László

Palotás László (Érsekújvár, 1905. január 26. – Budapest, 1993. szeptember 13.) Kossuth-díjas magyar építőmérnök, hídépítő mérnök, egyetemi tanár, a műszaki tudományok doktora, a Magyar Tudományos Akadémia tagja (levelező 1990. május 21., rendes 1991. május 09.) [51] [52].

1928-ban szerezte meg építészmérnöki oklevelét a budapesti Királyi József Műegyetemen. 1929 és 1936 között a műegyetem II. számú Hídépítéstani Tanszékén Mihailich Győző tanársegédje volt, majd 1935 – 1936 között a Berliini Műszaki Egyetemen állami ösztöndíjjal tanársegédként dolgozott. 1945 és 48 között a Közlekedési Minisztérium tervezői csoportjának vezető főmérnöke, majd műszaki tanácsosa, később miniszteri osztálytanácsosa volt. Szervezőmunkájának eredményeképp létrejött az Állami Mélyépítéstudományi és Tervező Intézet, melynek első igazgatója lett, majd az Építéstudományi Intézet igazgatóhelyettesi és laboratóriumvezetői posztját töltötte be. 1950-től a Földalatti Vasútépítő Vállalat vezérigazgató- helyettesi feladatait látta el [35].

A világháború utáni időszakban az egyetemi oktatásban teljesedett ki, 1949-ben helyettes tanári pozícióban bízták meg a hídépítéstani tanszék vezetésével. 1952-től a Közlekedési Műszaki Egyetem (Szolnok) Mechanika és Tartószerkezetek Tanszék tanszékvezető egyetemi tanáráként tevékenykedett. 1963-ban a Budapesti Műszaki Egyetem Építőanyagok Tanszék, valamint a tanszékhez tartozó Laboratórium vezetőjeként irányította az oktatási és tudományos munkát [35] [51].

A beton-, és vasbeton szerkezetek anyagtudományi, elméleti és tervezési kérdéseinek kutatója volt, emellett hozzájárult a tartószerkezetek műszaki mechanikai elméletének fejlesztéséhez. Nevéhez fűződik keretek, héjszerkezetek és rácsos tartók tervezésének elmélete. Részletesen foglalkozott az egyes betontípusok, valamint a portland- és bauxitcement fizikai tulajdonságaival, a beton összetételével, a pórusok (levegő) víz és cement arányával, az *adalékanyagok* szemeloszlásával és szemszerkezetével, valamint mindezek hatásával a friss- és megszilárdult beton tulajdonságokra. Kidolgozta a betontervezés alapösszefüggéseit (Bolomey – Palotás módszer) mellyel a betonösszetétel függvényében számítható és tervezhető a beton *nyomószilárdsága*, valamint kidolgozta a beton és vasbeton szerkezetek tartós alakváltozásának modelljét [35] [53].

1947-ben a Magyar Népköztársaság Érdemérem ezüst fokozatát, majd 1950-ben a Magyar Népköztársaság Érdemrend ötödik fokozatát kapta meg. 1962-ben a költséghatékony és anyagtakarékos betontechnológia tudományos alapjainak lefektetéseért megkapta a Kossuth-díj második fokozatát. 1963-ban és 1981-ben Jáky József-díjban, 1982-ben BME Emlékéremben részesült. 1983-ban Akadémiai Díjat kapott kimagasló oktatási és szakirodalmi tevékenységéért. [35] [53].

2.2.5. Polónyi István

Polónyi István – Németországban Stefan Polónyi – 1930. július 6-án, Gyulán született. Okleveles építőmérnök képesítését a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen szerezte. Az egyetemi évei alatt Kalinszky Sándor képlékenységtan és töréselmélet, illetve Menyhárd István héjszerkezetekről szóló előadásai voltak igazán meghatározók számára. Tanulmányai 3. szemeszterétől az Ábrázoló Geometria Tanszék demonstrátoraként, mint óraadó asszisztens végzett oktatássegítő tevékenységet.

Már egyetemi évei alatt részmunkaidős állást kapott az Ipartervben, ahol Gnädig Miklós vezetése alatt tanulhatta meg, mit jelent mérnöknek lenni. Az 50-es években elsősorban üzemi vasbeton csarnokokat tervezett az Iparterv ötös irodájában, ahol megtanulta a komplex látásmódot, miszerint a tervezőnek ismernie kell a tartószerkezet működését, statikáját, esztétikáját, és költségeit éppúgy, mint annak kiviteli technológiáját, szerelési módozatait.

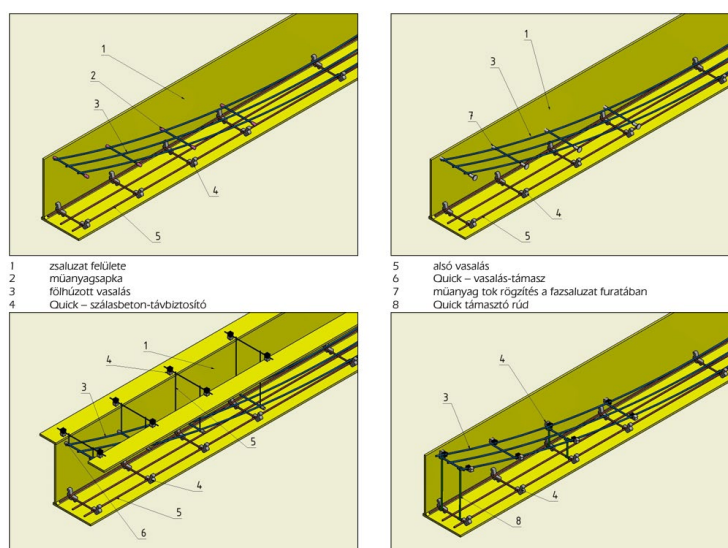
1956-ban korábbi elhatározásának megfelelően – bár a forradalom miatt a tervezettnél kalandosabb úton – Kölnbe került, majd merész hajtogatott lemezműveket és héjszerkezeteket tervezett. 10 hónap után érdemesnek látta elindítani magánpraxisát. Az építészek világát, sajátos problémáit első ízben építész bátyjától ismerte meg, 1959-ben egy hollandiai építész konferencián megismerhetett néhányat a világ vezető építészei közül.

1963-ban megtervezett egy 38 méter fesztávolságú, csupán 5 cm vastag templomfedést, melyet Essen-Überruhrban meg is valósítottak. Harmincöt évesen ezen mérnöki teljesítményének köszönhetően habilitáció és doktorátus nélkül a legfiatalabb mérnökprofesszor lett akkoriban. Az építész karon

tartószerkezetek tervezését oktatta, mind mérnöki-, mind oktatási tevékenysége során az alábbiakat tartotta szem előtt:

„A mérnöknek nem az a feladata, hogy világossá tegye az építész számára: valami nem megy. Azt kell megmutatnia, hogy miképpen menne.”

A dortmundi évek alatt kidolgozott munkatársaival egy új vasbeton vasalási koncepciót is: el lehet tekinteni a nyírási vasalástól, ha a hajlítási vasalást a hajlításból keletkező húzóerőket követve vezetik és a gerenda végén megfelelően lehorgonyozzák [54] [55]. Kísérletekkel bizonyították, hogy kéttámaszú tartóknál az ív- és a függőszerkezet-analógia szerint vezetett fővasalásnál a kengyelek elhagyhatók. Az ív- és függő szerkezet analógia számításba vételével nem kell kengyel, a vasalás vezetése követi a húzóerőt. Először meg kell határozni a vasalás geometriáját, és aztán meg kell győződni arról, hogy a várt használat során nem lép fel húzófeszültség, amit a beton nem tud felvenni. Ha vannak ilyen helyek, akkor a vasalás vezetését szükséges korrigálni [56].



11. ábra: Betonacélok rögzítése a zsaluzathoz nyomatéki ábrát követő vasalás esetén [56]

Ahogy az összes eddigiekben megemlített kiemelkedő munkásságú magyar mérnök esetében, úgy Polónyi Istvánnál is csak ízelítőt adtunk életéből, alkotásaiból, szellemi termékéből. A tématerület érdeklődőinek ajánljuk a Hajdú-Bihar Vármegyei Mérnöki Kamara honlapján elérhető Polónyi életművét bemutató, „A Polónyizmus Debrecenben” című kiadványt [55], mely méltó módon adózik Prof. Polónyi István emléke előtt.

2.2.6. Magyarországon fennmaradt vasbeton műemlékek

2.2.6.1. Magyarország első vasbeton hídszerkezete

A francia Monier 1892-ben szabadalmaztatta a róla elnevezett vasbeton rendszert, ami már a modern szerkezetek közvetlen elődjének tekinthető. Hazánkban 1889-ben Solt központjában készült el az első Monier-féle vasbeton híd [57].

Az 51-es úton, a Református Templom melletti híd Solt egyik nevezetessége, országos műszaki emlék. A történeti Magyarország első vasbeton hídja, a Budapest-zimonyi úton épült, 1889-ben. Az építkezés

kezdeményezője és az építési munkák vezetője Zoltán Győző királyi mérnök volt. A beton készítéséhez lábatlani *portlandcementet* és a szalkszentmártoni bányából származó homokot és kavicsot használtak. Az építési munkák mindössze négy hétig tartottak és 14 nappal a befejezésük után az egyik boltozatot 865 kg/m² teherrel terhelték anélkül, hogy a műszerekkel bemért boltívben a legcsekélyebb elváltozás is észlelhető lett volna. Az építési költség összesen 2.880 forint volt [58] [59].

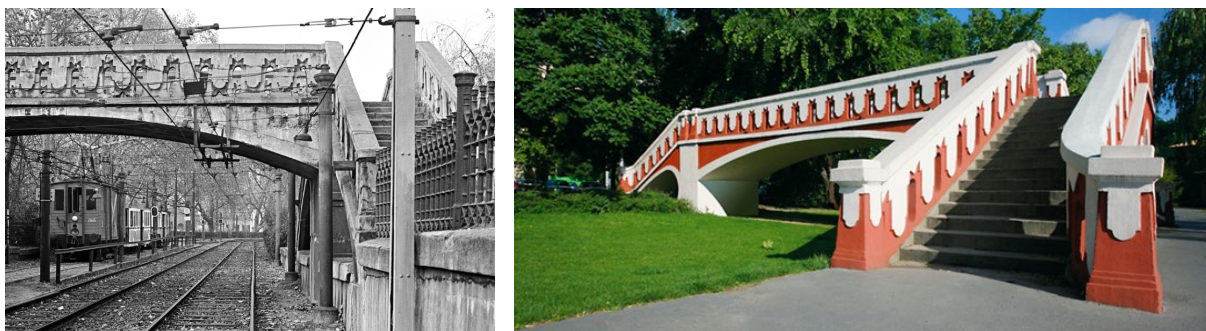


12. ábra: Első magyarországi vasbeton híd, Solt [59]

2.2.6.2. A Wunsch-féle vasbeton híd, városligeti gyalogoshíd

Wunsch-rendszerű hidak elsősorban a millennium idején épültek szerte az országban. Hazánk mai területén a Városligetben álló (1896) műemléki védetségű, ma funkció nélküli gyalogoshíd a legismertebb [59].

A Millenniumi Földalatti Vasút 1896-os megnyitásától egészen az 1973-as meghosszabbításig, a Szépművészeti Múzeumtól a Széchenyi fürdőnél lévő végállomásáig egy, a Városligeti-tavat megkerülő nagy hurkot leírva a felszínen, illetve egy kisebb bevágásban futott. A kis híd az Állatkert állomásnál a pálya feletti kapcsolatot biztosította, mivel a síneken keresztül tilos volt átmenni; így aki a belváros felé szeretett volna közlekedni, annak e hídon kellett az Állatkert felől átkelnie. Azért az Állatkert felől érkezőknek kellett átmenniük a hídon, mert a Földalatti 1973-ig megmarad bal járatúnak. Annak ellenére, hogy a híd aránylag kicsi, hiszen a nyílása 10,7 méter, szélessége a korlátokkal együtt 2,6 méter, az útpálya csak 2 méter, jelentős műszaki emlék egy olyan korból, amikor a magyar mérnökök is új anyagokkal, új technológiákkal kísérleteztek. A hídszerkezet tervezője, aki egyben a Földalatti Vasút vasbeton szerkezetét is építette, Wunsch Róbert cementtechnikus volt. [60]



13. ábra: A városligeti gyalogos híd [57] [59]

2.2.6.3. A balatonföldvári Zielinski-féle gyalogoshíd

Hennebique-rendszerrel, Zielinski Szilárd tervei szerint, 15-18 méteres nyílásokkal, több, mint 100 m összhosszal épült. Vasbeton hídjaink zöme gerendaszerkezet, e híd érdekessége, hogy egyfőtartós kialakítású. Igényes korláttal, eredeti formájában, jelentősebb javítások nélkül áll ez a becses műemlékünk [59].

A műtárgy építésének idejét a hídpálya friss betonburkolatába ágyazott mozaikköveken örökítették meg (1905). A hatnyílású szerkezet közbenső megtámasztásáról négyoszögkeresztmetszetű vasbeton oszlopok gondoskodnak. A műtárgy teljes hossza 102 méter, a támaszközök 15 + 18 + 18 + 18 + 18 + 15 métereseek. A támaszoknál egy méter magas vasbeton korlátbábok tartják az eredeti kovácsoltvas korlátot. A 105 éves híd állapota nagyon jó, a műemléki védelem pedig remélhetően hosszú életet biztosít a műtárgynak. Érdekesség, hogy **az eltelt több mint egy évszázad alatt nem volt szükség a híd szerkezetét érintő felújításra**. A műtárgy a vasútállomás mellett található kikötői bejárattól könnyen megközelíthető, ha a bejárat kaputól egyenesen haladunk a gyalogúton előre, a Balaton felé [61].



14. ábra: A balatonföldvári gyalogos híd [62]

2.2.6.4. Balatonföldvár, Balaton Club

A korai vasbeton építés ma már műemléki védeltséget élvező épülete a balatonföldvári kikötőben álló, az 1900-as évek elején (1906) épült kaszinó – átfogó, többéves felújítás után – 2021 nyarán nyitott újra. A 2012-ben műemlékké nyilvánított épületben, mely születése idején pezsgő, társasági színhely volt, ma ismét vendéglátó komplexum működik [63].

A balatonföldvári kikötőben álló Balaton Klub építészettörténeti kuriózum. Az 1900-as évek elején épült egy körülbelül 6-800 tagot számláló zárt egyesület tagjai számára. A Klub megalakulását követően már az első évben megbízást adtak Ray Rezső Vilmos építőművésznek és **Zielinski Szilárd** mérnöknek a klubház megtervezésére, a székház 1906-ra el is készült. Ez volt az első, nem ipari funkciójú vasbeton szerkezetű épület az országban, az építkezés költsége 50.000 koronába került. A ma már műemlék épület eredetileg a társasági élet színtere volt, a Balaton Club székházaként, jachtclubként, majd a harmincas években kaszinóként működött. 9 szobából álló kis szállója is volt, amelyet szintén csak a klub tagjai vehettek igénybe. Rangját jelzi, hogy a budapesti Gellért tértől hidroplánok szállították ide a kaszinó tagjait [63].



15. ábra: A Balaton Club egykori képeslapon, a felújítást megelőzően [63], és azt követően [57]

A magyarországi építőmérnökök nagy része hosszadalmasan tudná ismertetni az elmúlt közel 120 év vasbeton szerkezetű remekműveit, azonban félő, hogy a terjedelmes történeti áttekintés eltereli a Tisztelt Olvasó figyelmét a lényegi részektől. A témával kapcsolatban érdeklődők számára csokorba szedtük a legjelentősebb vasbeton építményeket, melyek a vasbetonépítés meghonosítása óta fennmaradtak az utókor számára:

- Somlyóbányai völgyhíd (1912),
- Káposztásmegyeri vízműtelep vasbeton kerítése [57],
- Kvassay-zsilip [57] [64] [65],
- a budapesti Gubacsi úton álló egykori sertésvágóhíd [57].

Egyébiránt ezen építmények bemutatása nem öncélú, az ismertetés indíttatása, hogy példákon keresztül tudatosítsa az Olvasóban azt, hogy a jól megkonstruált és karbantartott szerkezetek hosszú időn keresztül képesek szolgálni a társadalmat.

3. AZ ALAPANYAGOK GYÁRTÁSA

3.1. A cementgyártás

A napjainkban alkalmazott cementek összetételét kifejlesztett receptek szerint állítják elő, szemben az egykori cementekkel, melyek felépítését a márga struktúrája határozta meg. A cementet *mész* és *agyag* 2:1 arányú keverékéből, esetleg az ezeket hordozó márgából állítják elő. Az *agyagot* az aprított *mész*hez vagy márgához adagolják, keverés után kiszáritják és nyers porrá (nyersliszté) őrlik malomban. Az alapanyaghoz szükség szerinti mennyiségben korrigáló anyagokat adagolnak (homok, piritpörk). A nyersliszt a hőcserélő toronyban kiég, majd a cementégető kemencében (forgó, enyhén lejtő csőkemence) először zsugorodik, majd képlékeny, folyós állagúvá válik, melyet a lehűlés közbeni klinkergranulátummá történő alakulás követ. A lehűlt *klinkert* kiegészítő anyagokkal keverik (kohósalak, *mész*, kvarcliszt, gipszkő), majd golyós vagy görgős malomban őrlik [66] [67].



16. ábra: Cementégető kemence

A cementégető kemencében az égetés fázisában a kalcium-karbonát reakcióba lép a szilícium-dioxid tartalmú ásványokkal, így kalcium-szilikát keverékét hozva létre. A kemencék kapacitása általában meghatározza a cementgyár kapacitását is. Tekintettel arra, hogy a cementgyárak jelentős energiafogyasztók, valamint a cementgyártás során CO₂ keletkezik, a cementgyártó technológiák tervezőinek elsődleges feladata – a por kibocsájtás minimalizálása mellett – a gyártás hatékonyságának minél magasabb szintre történő emelése [66] [67].

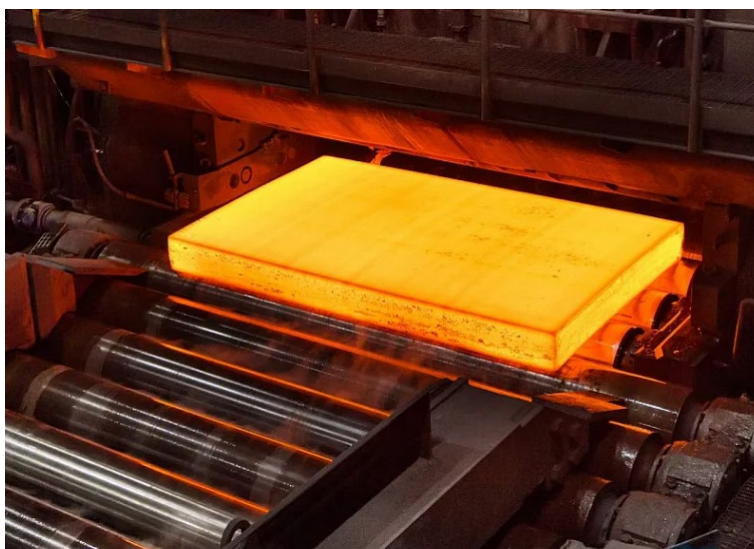
3.2. Az acél gyártás

Az acél a vas legfeljebb 2,06 % szénnel alkotott ötvözte, azonban ötvözőként számos más elem is alkalmazható: mangán, szilícium, molibdén, vanádium, nikkel, króm, volfrám stb. Képlékeny alakítással, kovácsolással, sajtolással és hengerléssel hidegen és melegen is megmunkálható, viselkedése hőkezeléssel befolyásolható.

A gyártás kiindulási anyaga a nyersvas, melyből a kísérőelemeket (szén, szilícium, mangán, foszfor, kén) el kell távolítani. Ezen kísérőelemeket a megolvadt fémből kiégetik, ötvözik azt hasznos elemekkel, majd a folyékony acélt „kokillába”, vagy a folyamatos öntőberendezésbe helyezik [67].

A nyersvas tisztítása tulajdonképpen a káros anyagok oxidációja útján történik. A Bessemer eljárás során a megolvasztott nyersvason levegőt áramoltatnak át. A vasban lévő szilícium és szén mennyisége ennek hatására néhány perc alatt a kívánt mértékre csökken, miközben az oxidáció során keletkező hő fűti a közeget. A kohók hőálló bélésének magnézit téglákra való cserélése tette lehetővé az egyidejű kén és foszformentesítést is (Thomas eljárás). Az ócskavas nagy tömegű megjelenése után vált a Siemens-Martin eljárás a legelterjedtebb acélgyártási móddá.

Manapság a tökéletesített Bessemer és Thomas eljárást alkalmazzák, melynek során a *mész* és nyersvas fölhevített keverékébe tiszta oxigént fújnak be. Így hatékonyan, jó minőségű acél gyártható [68] [67].



17. ábra: Melegen hengerlés [69]

A vasbeton szerkezetek alapanyagainak dióhéjban történő bemutatása után világos lehet a tény, miszerint az építőipar energiafelhasználásának és ezzel együtt az üvegház-hatású gázok kibocsájtásának jelentős részéért – többek között – a cement és az acélgyártás a felelős. Mind gazdasági, mind környezetvédelmi szempontokat is figyelembe véve igyekeznünk kell tehát ezen anyagok felhasználását fenntartható szinten tartani.

4. A BETONTECHNOLÓGIA FEJLŐDÉSE

A betontechnológia feladata mindig az volt, hogy a tervező által előírt betont minden tekintetben megfelelő paraméterekkel, egyenletes minőségben és nem utolsósorban *gazdaságosan* állítsa elő. A beton az anyag, a technológiai igények, valamint a betonismeret egymásra hatása révén állandóan fejlődött [70].

A beton legfontosabb alapanyaga a cement. Míg a XIX. század közepén Clark Ádám a Lánchíd építéséhez, valamint Mihalik János a Ferenc József zsilip építéséhez a román cementet az építés helyén égette, a Látatlan Cementgyár (1862) építésével megkezdődött a *portlandcement* gyártása. Az ipar rohamosan fejlődött. Cementgyáraink építése - a Dunai Cement és Mészmű kivételével - 1910-ig befejeződött. A forgókemence jelentette a múlt század legelején a mai értelemben vett *portlandcement* gyártás kezdetét. A fejlődést a speciális igények kielégítése [fehér cement (1930), szulfátálló cement (1937), heterogén cement (1952), nagy kezdőszilárdságú (alit) cement (1951) és más, kis mennyiségben igényelt különleges cementek], az energiatakarékosság (száraz őrlésű nyersliszt), a zsákolt helyett az ömlesztve szállított, és a programvezérlésű gyártás jelentette [67] [70].

A másik fő alkotó az *adalékanyag*. Hazánkban ez elsősorban a folyami és bányakavics, amelyet idővel mosással, osztályozással kezeltek. Az útbetonokhoz már a múlt század 20-as éveiben is bazaltzúzalékot használtak adalékanyagként. A homokoskavics *adalékanyag* rendelkezésre álló mennyiségének csökkenésével az andezit és *mészkeő* zúzalékok is előtérbe kerültek [68] [70].

A betontechnológia elsődleges eleme a betontervezés. Már a múlt század elején módszert dolgoztak ki a betontervezésre. Annyi cementet tettek a betonba, hogy a cementpép az adalékváz hézagait - hézagosságát – kitöltse. Ezt ma péptelített betonnak nevezzük. Szilárdságra tervezés csak azóta valósulhatott meg, amióta a *víz-cement tényező* betonszilárdságra gyakorolt hatását felismerték. Az 1906-ban publikált módszer azt állapította meg, hogy a *nyomószilárdság* a víz és a cement tömegarányától függ, amelyet a magyar Zielinski Szilárd és Zhuk József tett közzé. Ugyanerre a megállapításra jutott az amerikai Duff A. Abrams is 1918-ban, és mivel ő angol nyelven publikált, ezt a felismerést a világ neki tulajdonítja. Hazánkban Palotás László a betontervezést kiterjesztette a víz-levegő-cement tényező törvényére. Végül Ujhelyi János (1988) a péptelítettségre alapozott (de már magasabb szinten), mely alapján a betonstruktúrát figyelembe vevő betontervezést dolgozott ki [70] [12].

A kezdetektől törekedtek az egyenletesebb minőségű betont eredményező és termelékenyebb gépi keverésre. Az építéshelyeken a kerekeken mozgó, billenődobos rendszerű, Jager típusú, szabadon ejtő keverőgép terjedt el. Betonútépítéshez használták a Vögele rendszerű keverőgépet. Betonkeverő telepeken kényszerkeverő berendezéseket használtak, amelyek rendszerint függőleges tengelyűek voltak. Ilyen volt a Uvater-vben tervezett UVAMIX nevű, Southofen típusú keverőgép is [70].

A beton munkahelyi szállítására kezdettől használták a kubikus talicskát, a csillét, a japánert, és a szállító tartályt. Ezek könnyen csatlakoztathatók voltak a függőleges szállító eszközökhöz (lift, daru, toronydaru). Kézi döngöléssel földnedves betont lehetett csak tömöríteni, ami sűrű vasszerelés esetén bizonytalan volt. Ez vezetett a múlt század húszas éveiben a folyós betont szállító öntőtoronyhoz. Az öntött beton hátrányai miatt kezdték alkalmazni a szállító szalagot és a betonszivattyút [70].

A 30-as években elterjedt a vibrálás, amellyel jól lehetett tömöríteni a földnedves és a gyengén képlékeny betonokat. A mennyiségi és minőségi igény növekedésével minőségi változásra volt szükség. Ezt biztosította a készre kevert betonkeverő telepeken előállított, majd a teljesen automatikus ellenőrző rendszerrel vezérelt betongyárban készülő frissbeton. Kezdetét vette a megfelelő eszközzel szállított transzportbeton [70].

1950 után lényeges fejlődést hoztak az *adalékszerek*, amelyekkel a friss és a megszilárdult beton tulajdonságai szinte tetszés szerint változtathatóak [70] [71]. Az *adalékszerek* fejlődése napjainkban is töretlen, igazodva az újonnan felmerülő igényekhez. Láthatjuk tehát, hogy az elmúlt 50 évben jelentős változás a betonszivattyúk bevezetése és elterjedése volt, mely azonban a szivattyúzható beton igényének kielégítését követelte meg. Ezt magasabb finomrész tartalmú, tehát több cementet vagy *kiegészítő finomrészt* tartalmazó, magasabb konzisztenciájú betonok alkalmazásának szükségességét hozta.

Tekintettel arra, hogy a XXI. század zászlajára tűzte a fenntartható fejlődést, ezzel együtt a karbonsemleges technológiák alkalmazásának szorgalmazását, napjaink betontechnológiája is folyamatos változásokon megy keresztül. Számos, a károsanyag kibocsátást csökkentő intézkedések kerültek bevezetésre, például a 2010-es években a Váci Cementgyár fejlesztését, modernizációját hajtották végre, alternatív energiahordozókat keresve a csökkenések fűtésére, valamint a szállópor kibocsátás csökkentésére.

Ugyanezen elvek mentén nemcsak a gyártástechnológia fejlődik, de az alternatív anyagok (polimerbeton), valamint az újrahasznosított anyagok alkalmazását elősegítő kutatások és konferenciák zajlanak napjainkban is. Számos kutatás foglalkozik például a klinker / cement arány csökkentését eredményező másodlagos cementtartalmú anyagok (kohósalak, pernye és természetes puccolánok) alkalmazásával. Kifejlesztésre került a CUBE System, mely elősegíti a csökkentett karbonlábnyomú cementtel, illetve bontási és építési törmelékből újrahasznosított adalékanyaggal készült betonok alkalmazását.

Belátható tehát, hogy a technológia fejlődése igyekszik szolgálni napjaink felismerését, miszerint az alacsony kibocsátású anyagok alkalmazása az újítások helyes iránya. Mindez azonban csak anyagtudományi oldalról történő megközelítése a problémának, mely önmagában nem nyújthat hatékony és teljes megoldást, ehhez az építési folyamatok résztvevőinek szemléletváltása szükséges. Fel kell ismernünk a tényt, miszerint akármilyen innovatív, alacsony kibocsátású építőanyagot is használunk, törekvéseink nem érik el céljukat, ha közben nem fordítunk kellő figyelmet a felhasználás racionálisan alacsony szinten tartására.

Tanulmányunk további fejezetei a szükséges mértékben alacsony szintű anyagfelhasználást korlátozó behatásokat elemzik, igyekezve iránymutatást adni a restriktív feloldásának mikéntjére. A legtöbb esetben ez nem követel nagy horderejű erőfeszítéseket, csupán kis mértékű gondolkodásmód váltást, továbbá az abból következők elvek következetes betartását és betartatását.

5. AZ ANYAGFELHASZNÁLÁST BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

Jelen fejezetben a beton-, és vasbeton szerkezetek anyagfelhasználását jelentősen befolyásoló paramétereket szedtük csokorba. Az egyes pontok között természetesen egymásra hatás is felfedezhető, emiatt a helyes sorrendiség is nehezen alakítható ki. Bizonyos alpontokat jelen fejezetben csak megemlítünk, mint problémafelvetésünk része, azonban azokat Tanulmányunk későbbi fejezetében részletesen tárgyaljuk lehetséges megoldást keresve a kialakult helyzetre.

5.1. Szilárdság

Ahogy azt korábbi fejezetekben ismertettük, a betontechnológia fejlődésével egyre nagyobb szilárdságú és megbízható, egyenletes minőségű betonok készítése vált lehetségessé. Ennek mentén egyrészt cementtakarékosági okokból, másrészt építészeti igényekből fakadóan filigrán szerkezetek készültek, melyek azonban nagyobb alakváltozásokat, magasabb kihajlással szembeni kockázatot eredményeztek [13].

II. világháború után az átlagszilárdság a mai C8/10-nek (akkori B140) felelt meg, míg 2010-ben Magyarországon a legnagyobb mennyiségben kiadott transzportbetonok szilárdsági osztálya C20/25, illetve C25/30 volt. Napjainkban inkább már a C25/30, illetve C30/37 a jellemző, és várhatóan tovább folytatódik ez a tendencia.

A szocializmus idején a mennyiségi szemlélet érvényesült, csak azzal törődtünk, hogy minél olcsóbban, minél többet építsünk. Így a megváltozott külső körülmények miatt lényegesen megnőtt a fenntartás, felújítás költsége [70].

Az utóbbi időben monolit és előregyártott szerkezetek szilárdsági osztályának növekedése nem feltétlenül a tényleges szilárdsági igény növekedésével magyarázható, annak oka manapság inkább a tartóssági követelmények teljesítésében rejlik. A kisebb *víz-cement tényezőjű* beton *porozitása* általában alacsonyabb, mely jobb szilárdságot eredményez, ezért is írják elő a legújabb betonszabványok az egyes környezeti hatásokkal terhelt beton-, és vasbeton szerkezetek minimális szilárdságát.

5.2. Tartósság

Az iparosodással megnőtt a levegő szennyezettsége (SO_2 NO -tartalma, savas eső esik). a közutakon a forgalmat csak úgy tudják fenntartani, ha télen szózzák azokat. A nagy és igen nagy szilárdságú. valamint nagyobb alakváltozási képességű (acél- és műszálerősítésű) beton követelménye mellett a tartósság követelménye jelent meg új elvárásként. Ez új szemléletet igényel, mert a tartósság követelménye a szilárdsági és alakváltozási követelményekkel egyenértékű követelmény. Az új Közúti Hídszabályzatban csak azért írnak elő minimum C30/37 jelű betont és 3,5 cm-es beton fedést, hogy a szerkezet szükséges tartóssága biztosított legyen. A nieder-aussemer 200 m magas hűtő tornyot szilárdsági követelmény alapján B30 jelű betonból elég lett volna megépíteni, de B85 jelű nagy *tömörségű*, sav- és szulfátálló betont alkalmaztak a tartóssági követelmények teljesítése miatt. Ebben már fellelhető a szemlélet, miszerint a betonszerkezetek építési és fenntartási költsége együtt legyen minimális [70].

A tartós beton készítése az MSZ EN 1992-1-1:2005 (Eurocode 2) szabvány bevezetésével napjaink elsőrendű betontechnológiai feladatává vált. A tartós beton teljesítőképességét megtartva, biztonsággal, károsodás nélkül szolgálja a kellőképpen karbantartott, rendeltetésszerűen használt szerkezetet a tervezett használati élettartam alatt, amely épületek és egyéb szokásos építmények esetében 50 év, a monumentális épületek, hidak, más építőmérnöki szerkezetek esetén 100 év [72]. A tartóssággal kapcsolatos kérdéskört részletesen a *6. Tartósság* fejezetben tárgyaljuk.

5.3.Építészet

Napjaink építészeti irányzatai nem alkalmazzák a korábbi építészeti stílusok tagozatokkal történő homlokzatdíszítését, sőt, régiókban a legolcsóbb, és így igen gyakran alkalmazott homlokzati textúra a fehér színű nemesvakolat. Ennek köszönhetően az építészeti alkotás művészi megjelenítése tulajdonképpen csak a tömegformálással biztosítható, ami egyre bonyolultabb, a funkciót kiszolgáló racionális geometriától egyre jobban elrugaszkodik. Azóta, hogy az építész és a mérnök személye és egyben feladatköre kettévált, a mérnök főleg a tartósságért és állékonyságért, az építész pedig a szépségért és esztétikáért lett felelős. A funkcióért próbál mindkét fél küzdeni, de csak úgy, hogy a saját cél rovására ne menjen. Napjaink megbízásainak hierarchikus rendszerében (generál tervező – szakági tervező) az is gyakran előfordul, hogy a **szerkezet – funkció – esztétika** hármasból az építész kihasználva helyzeti előnyét a számára fontos két szempontot helyezi előtérbe. Ez gyakran irracionális geometriához vezet, mint például az egymás feletti pillértengelyek eltolása, függőlegestől való eltérése, vagy a jellegénél fogva szimmetrikus terhekre aszimmetrikus geometria kialakítása. Az ebből fakadó többletköltségek nem arányosak az elért funkcionális eredményekkel és esztétikai élménnyel, inkább **exponenciálisan növelik az épület bekerülési költségeit**.

A tartószerkezetet – ahogy azt a *10. Koncepcionális tervezés* fejezetben részletesen kifejtjük – reálisan alacsony költség szinten tartani úgy lehet, hogy a szerkezet – funkció – esztétika hármas által felállított szempontrendszert közel egyenrangúnak tekintve, **optimális, kompromisszumokon alapuló** mérnöki alkotást hozunk létre.

5.4.Helytelenül felmért megrendelői igények

A manapság élő társadalom gazdasági jóléte egyre jobban sodorja abba az irányba a fogyasztót, ahol önértékelése és társadalmi megbecsülése nagyban függ fogyasztásának a társadalom más tagjaihoz viszonyított mértékétől. Ez épületeinken is megjelenik, és itt nem csak a megalomán, túlzó építményekre kell gondolni, hanem az épületekkel szemben támasztott követelményekre. Tény, hogy a társadalom önkifejezését a korszakban felépített épületek és építmények őrzik, melyek valóban szükségesek kultúránk továbbadásához, de itt nem erre kell gondolni. Sokkal inkább arra, hogy a megbízó igény szintjébe nem fér bele, ha **ki lehet mérni** (de látni nem!), hogy egy falsarok eltér a derékszögtől, vagy hogy egy vasbeton szerkezeten – egyébként a szakmai szabályoknak megfelelő, sőt, a beton jellegéből fakadó – $0,2 \div 0,4$ mm repedéstágasságú repedés jelenik meg. Amennyiben a beruházó ilyen túlzó elvárásokat támaszt az építménnyel szemben, úgy ismételtelen számolni kell a megnövekedett és egyébként véleményünk szerint teljesen felesleges költségekkel.

5.5. Kivitelezői igények

Napjaink felgyorsult építőiparában a kivitelezői igény tömören megfogalmazva: gyorsan és egyszerűen, mert az olcsó! **Neki.** A technológia hiába gyors, egy átlagos kivitelező nem kedveli az innovatív, előregyártott szerkezetek alkalmazását, mert azzal az organizációs és eszközbeszerzési, fenntartási problémákon túl a beépítési és szerelési munkákhoz szükséges szakértelemmel rendelkező személyzet fenntartása is elengedhetetlen. Mind a legolcsóbban beszerezhető és fenntartható eszközpark, mind a legolcsóbban biztosítható személyi feltételek csak egyszerű, komplikációktól mentes, de viszonylag gyorsan épülő szerkezetek elterjedését eredményezte. Így lett gazdaságtalan kialakítása ellenére napjaink legelterjedtebb hazai konstrukciója a *pontonként megtámasztott monolit vasbeton síklemez földémmel* és monolit vasbeton pillérekkel, merevítőfallal készülő szerkezet. Ezen technológia elengedhetetlen része a betonszivattyú, mely azonban könnyen szivattyúzható, magas finomrésztartalmú és magas konzisztenciájú, tehát drágább betont igényel. 9. *Többszintes lakó- és középületek szerkezeti koncepciói* fejezetben részletesen tárgyaljuk a lehetséges szerkezeti kialakításokat, majd rávilágítunk a fent említett kivitelezői igényeknek megfelelő *pontonként megtámasztott síklemez földém*, valamint a *pamlaglemezes földémként* készülő szerkezeti kialakítás közötti anyagigények alakulására.

5.6. Szabványkörnyezet

Ugyan jelen Tanulmányunk nem tűzte ki célul a szabványkörnyezet részletes áttekintését, de mégsem mehetünk el szó nélkül a 2010-es években bevezetésre került Eurocode szabványsorozat hozta változások mellett. Az új szabványsorozat az MSZ 15000-es nemzeti szabványokat váltotta fel. Az európai tartószerkezeti tervezési szabványokat összesen tíz kötetben foglalták össze (ECO ÷ EC9). A szabványokat honosító országok a nemzeti jogkörben megválasztható tervezési paramétereket Nemzeti Mellékletben foglalták össze [73].

A EC szabványsorozat bevezetésekor 42 szerkesztőmérnök, mintaszámítások kidolgozói mindössze 3 hónap alatt hozták létre könyvüket, melyből tájékozódni lehet, hogy új, magasabb biztonsági szintű épületeink mennyi többletanyag-felhasználást igényelnek [74].

A szabványok közötti anyagfelhasználás különbség javarészt az alábbiakra vezethető vissza:

- megnövekedett biztonsági tényezők,
- tartósság,
- szeizmikus igénybevételekre történő méretezés,
- tűzhatással szembeni ellenállóképesség biztosítása.

A fentiek következtében néhány „kiragadott”, a nemzetgazdaságra káros következmény:

- A földrengés okozta nagy vízszintes terhek miatt a merevítő falak elhagyása, helytelen elhelyezése, az egymás feletti oszlopok, falak eltolása súlyos anyagi többletköltséget okoz.
- A vasbeton lemezek vasalásának tömege 5-15 %-kal növekszik.
- Acélszerkezetű csarnokoknál a szerkezeti acél tömegnövekménye 5-20 % között lehet.
- Vasbeton függőleges teherviselő elemeknél a földrengéshatás miatti acéltöbblet ~ 40-60%.
- Összetett szerkezetű (acél, vasbeton, fa) épületeknél a szerkezetek ára mintegy 10%-kal emelkedik.

A fenti megállapítások ízelítőként szolgálnak, érdeklődés esetén javasoljuk áttekinteni a következő publikációkat: [73], [75], [76], [77], [78].

6. TARTÓSSÁG

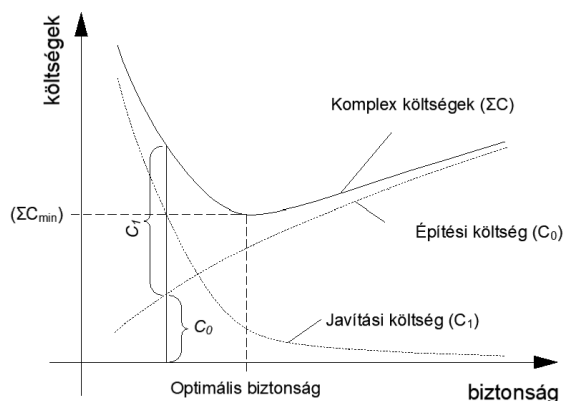
6.1. Tartósság fogalma

Jelen fejezetben foglaltak megértésének érdekében első lépésben a használati élettartam fogalmával szükséges megismerkedni:

A beton-, vasbeton-, és feszített vasbeton szerkezetek, valamint a készítéshez használt beton akkor tartós, ha a terhelő erőkből és a terhelő mozgásokból adódó igénybevételeket, valamint a környezeti hatásokat – üzemszerű használat és megfelelő karbantartás mellett, de jelentős javítási munkák nélkül – a tervezési élettartam alatt károsodás nélkül elviseli [79] [80].

Beton-, és vasbeton szerkezetek tervezési szabványai közvetlen előírásokat tartalmaznak a teherbírási és használhatósági határállapotok ellenőrzésére vonatkozóan. A tartószerkezetek teljes élettartama során megkívánt megbízhatóságát, integritását, tehát a társadalom által elfogadható kockázati szintet akkor tudjuk biztosítani, ha a fentieken túl követjük a rendszerbe beépített anyagok méretezés szempontjából meghatározó tulajdonságainak változását. Amennyiben azok kedvezőtlen változása okán a vállalt kockázat elfogadhatatlan szintet ér el, úgy a szerkezet karbantartása, esetleg megerősítése szükséges. A tartóssági követelmények kielégítésével azt kívánjuk elérni, hogy a szerkezet használati élettartama során ne igényeljen jelentős beavatkozást, ezzel együtt ne jelentkezzenek magas fenntartási költségek, elfogadhatatlan szintre emelve az összköltségeket [81] [82].

Könnyen belátható, hogy a tartóssági követelmények helyes megválasztása – mint sok egyéb tervezést befolyásoló paraméter – meghatározza az építmény teljes élettartama során szükséges ráfordításokat, melynek azonban van egy optimuma.



18. ábra: Költségek a biztonság függvényében [48]

Amennyiben például a tartóssági követelmények teljesítése során alacsony igényszint kielégítéssel élünk, az építési költségek ugyan mérsékeltebbek lesznek, de a fenntartás során szükségszerűvé váló költségekkel együtt számolt komplex költségek már jelentősek. Fordított esetben is hasonló a helyzet: ha a fenntartási költségeket akarjuk minimalizálni, a magasabb igényszint miatt a megnövekedett építési költségek emelik a komplex költségeket.

Vasbeton szerkezetek teherbírásra történő méretezési szabályozása 1909-ig vezethető vissza, tehát a napjainkban alkalmazott eljárásokat immár több, mint 100 éves szakmai tapasztalat gyarapítja. Eleinte elsősorban építési tapasztalatokra támaszkodva, számítás nélkül vagy egészen kezdetleges számításokkal határozták meg az építmények geometriai méreteit. Az elemi szilárdságtan fejlődése, az erőtan és építési tapasztalatok bővülése, továbbá az egyre magasabb szintű minőségellenőrzéssel a szerkezetek teherbírásának egyre megbízhatóbb meghatározása vált lehetővé. Kialakult a képlékenységtan, elterjedt a törési biztonságon alapuló eljárás, valamint a napjainkban alkalmazott határállapotok módszere [48].

Beton-, és vasbeton szerkezetek tartósságra történő megfelelőségének igazolása, valamint annak szabályozása ezzel szemben mindösszesen az elmúlt 20 évben terjedt el.

A napjainkban érvényes szabványokban ezt környezeti (kitéti) osztályba sorolással és az adott környezeti osztályhoz tartozó határértékek (minimális szilárdsági osztály, megengedett legnagyobb *víz-cement tényező*, megengedett legkisebb cementtartalom és megengedett legkisebb sűrűség) betartásával, végsősoron a *porozitás* még elfogadható szinten tartásával biztosítjuk.

Belátható tehát, hogy a teherbírasi és használhatósági határállapotok szemléletének kialakulásához képest a tartósság megfelelőségének szabályozása jelentős „lemaradásban” van, hiszen a szabványok a kiadásukat megelőző szakmai és tudományos tapasztalatok gyűjteményéből kialakult szabályozások.

Használata ugyan még nem terjedt el, de bemutatjuk a Nemzetközi Betonszövetség (*fib*) által kidolgozott Mintaszabványt (Model Code for Service Life Design). Ennek kidolgozása során arra törekedtek, hogy olyan tervezési eljárást hozzanak létre a környezeti hatások okozta leromlásra elkerülésére vonatkozóan (karbonátosodás okozta korrózió, klorid korrózió, fagyás-olvadás okozta leromlás jégmentesítő sózással vagy anélkül), mint amilyen jellegű tervezési módszereket használunk teherbírasi és használhatósági határállapotok ellenőrzésére [82].

6.2. Használati élettartam szabvány

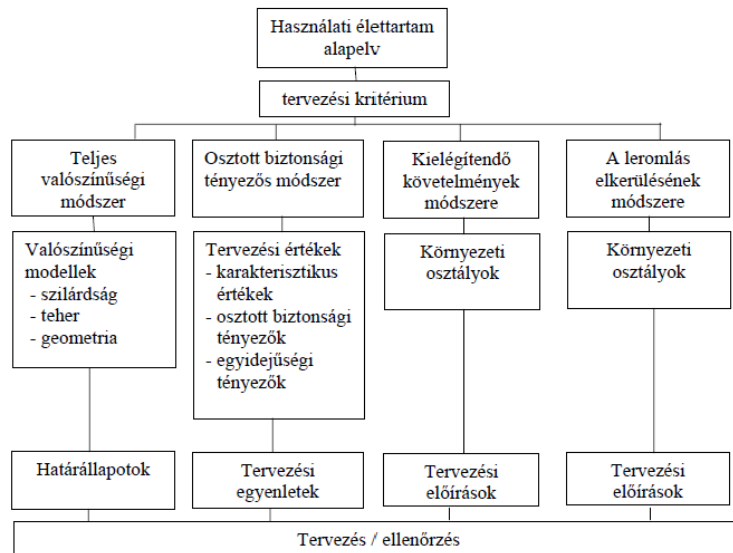
A használati élettartam alapú tervezés a korábban alkalmazott – döntően tapasztalati alapú, gyakorlatilag „szerkesztési szabályokat” alkalmazó – tartóssági tervezési módszerek kibővítésének, továbbfejlesztésének tekinthető. A cél olyan eljárás kidolgozása, ahol a beton-, és vasbeton szerkezeteket érő környezeti hatásokat, valamint a beton ezekkel szembeni ellenállóképességét befolyásoló tényezőket számszerűsíthető összefüggésekkel írjuk le. Egyelőre ilyen modellek azon környezeti folyamatokról készültek, melyek jelentős szerepet játszanak beton-, és vasbeton szerkezeteink tönkremenetelében, leromlásában. A paraméterek sztochasztikus viselkedése miatt azokat valószínűségi változóként kezelve, azokhoz célzott kísérletek és megfigyelések alapján eloszlástípust rendelve, majd osztott biztonsági tényezők meghatározásával a határállapotok módszere alkalmazható [82] [83].

6.2.1. A használati élettartamra való tervezés lehetséges módszerei

A mintaelőírás négy lehetséges eljárást különböztet meg:

- teljes valószínűségi módszer

- osztott biztonsági tényezős módszer
- kielégítendő követelmények módszere
- a leromlás elkerülésének módszere [82].



19. ábra: A használati élettartam szabvány által javasolt eljárások [82]

A Mintaelőírás a használati élettartam igazolását a következő négy leromlási folyamat esetében adja meg, amelyekre elfogadott leromlási modellek állnak rendelkezésre:

- karbonátosodás okozta korrózió
- klorid korrózió
- fagyás-olvadás okozta leromlás jégmentesítő sózás nélkül
- fagyás-olvadás okozta leromlás jégmentesítő sózással [82] [84] [85].

Ezen leromlási folyamatok során bekövetkezik, ill. bekövetkezhethet az acélbetét depassziválása, repedések képződése, a *betonfedés* leválása vagy a felületi rétegek lehámlása fagyás-olvadás miatt. Más leromlási folyamatokat (mint például alkáli-adalék reakció, szulfát hatás) illetően úgy ítélték meg, hogy nem rendelkezünk eléggé széleskörűen elfogadott modellekkel, ezért ezek nem kerültek be a Mintaelőírásba [82].

6.2.1.1. Teljes valószínűségi módszer

Ezen eljárás a szerkezet megbízhatóságát valószínűségi alapon értékeli a kockázat „p” becslésével vagy a „β” megbízhatósági indexszel. A módszer alapelve, hogy a tönkremenetel kockázatát közvetlenül annak optimális értékével hasonlítják össze, melynek összefüggéseiből a szerkezet szükséges teherbírása közvetlenül meghatározható [48]. Tekintettel arra, hogy tartószerkezetek teherbírási és használhatósági méretezése esetén is igen ritka ezen módszer alkalmazása, teljes valószínűségi módszer alkalmazása használati élettartam esetén egyelőre erősen korlátozott.

6.2.1.2. Az osztott biztonsági tényezős módszer

Fél-valószínűségi tervezési eljárásnak is nevezett módszer, mely a határállapot egyenletben a hatások és ellenállások befolyásoló tényezőinek *szórását* parciális (osztott) biztonsági tényezőkkel vesszük figyelembe. Tekintettel arra, hogy a biztonsági tényezők értéke mindig nagyobb, mint 1, a hatások értékeit szorozni, az ellenállások értékeit osztani kell azzal. Ezen módszer matematikailag egyszerűbb, a tervezési folyamat gyorsabb, ezért a gyakorlatban széleskörben elterjedt, az Eurocode is ezt alkalmazza tartószerkezetek teherbírasi és használhatósági vizsgálata esetén [48] [83].

6.2.1.3. Kielégítendő követelmények módszere

A kielégítendő követelmények módszere általában néhány követelményt jelent a geometriai méretek, az anyag-, és termék, valamint a kivitelezési módszer kiválasztásához [82]. Gyakorlatilag a jelenleg érvényben lévő szabványok ezen módszer alkalmazását írják elő a beton-, és vasbeton szerkezetek tartóssága szempontjából.

6.2.1.4. A leromlás elkerülésének módszere

A leromlás elkerülésének módszere olyan intézkedések alkalmazását jelenti, amelyek használata esetén a leromlási folyamat nem következik be, ami lehet például:

- a környezeti hatás elkülönítése a szerkezettől, mint például teremgarázs födémszerkezetén műgyanta burkolat alkalmazása, mely megvédi a vasbeton szerkezetet az olvasztósó okozta korróziótól,
- nem reagáló anyagok használata, mint a rozsdamentes acél vagy a nem alkáli-adalék reakció érzékeny *adalékanyag*,
- reagáló anyagok távoltartása, például a szerkezet víztartalmának alacsony szinten tartása [82].

Láthatjuk tehát, hogy még a tartószerkezetek teherbírasi és használhatósági határállapotainak ellenőrzése gyakorlatban az osztott biztonsági tényezős eljárással, esetenként már teljes valószínűségi módszerrel is megbízhatóan végezhető, addig a tartóssági szempontból történő megfelelés igazolására a jelenleg előírás szerint alkalmazható legjobb módszer a kielégítendő követelmények módszere.

6.2.1.5. Példa egy beltéri monolit vasbeton szerkezet szükséges betonfedésének meghatározására osztott biztonsági tényezős eljárással

A betonfedés megválasztása több szempontból is fontos kérdés (tartósság, korrózióvédelem, tűzvédelem, kapcsolati erők) vasbeton szerkezetek esetében. Egyrészt láthatjuk, hogy a nem teherjellegű környezeti hatásokkal szembeni védekezésben vastagsága kulcsfontosságú szerepet tölt be, továbbá a tűzzel szembeni védekezés (betonacél védelme) esetén is fontos paraméter. Másrészt túlzott mértékű betonfedés esetén a szerkezeti vastagságok nőnek, a repedéstágassági követelmények betartása többletvas beépítésével jár, továbbá az alapozásra jutó terhek, így az alapozás költségei is emelkednek.

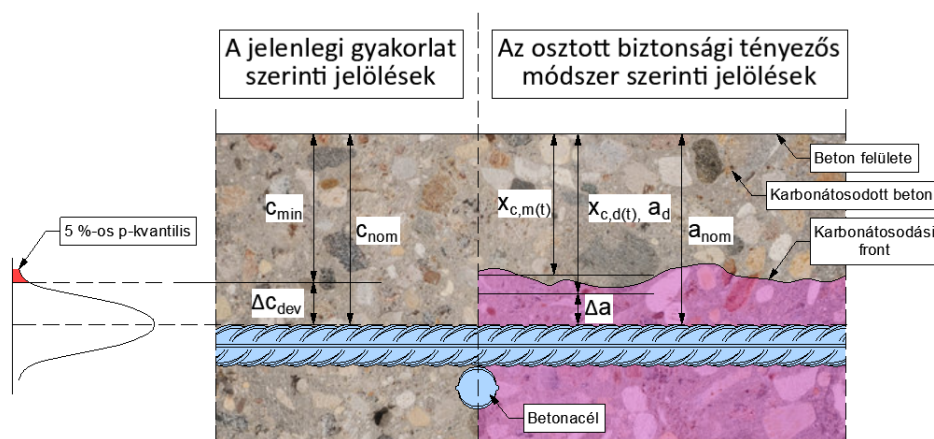
A tárgyalt kérdéskör jelentőségét jól szemlélteti, hogy napjaink tartóssági szabványának betartása ellehetetleníti olyan szerkezetek megvalósíthatóságát, mint például Menyhárd István Hamzsabégi úti

autóbuszgarázsának héjszerkezete, vagy Polónyi István Essen-Überruhrban megvalósult templomépületének fedése. A napjainkban megkövetelt betonfedés olyan többletterhet eredményez, minek köszönhetően ezen szerkezetek héjszerkezetként történő kialakítása gazdaságosan már nem lehetséges.

Jelen pontban megvizsgáljuk, hogy az osztott biztonsági tényezős eljárással általános szerkezetek esetén milyen betonfedés szükséges, szemben a kielégítendő követelmények módszerével meghatározható betonfedéssel.

Minden cementkő tartalmaz szabad kalcium-hidroxidot. A beton felszíne érintkezik a légkörrel, így a felszín közelében a cementkő szabad kalcium-hidroxid tartalma a levegő szén-dioxid tartalmával először kalcium hidrokarbonáttá, majd víz felszabadulása közben semleges kémhatású kalcium-karbonáttá alakul [86]. A folyamat közben a beton PH értéke a levegővel érintkező felület mentén lecsökken, mellyel megszűnik a betonacél korrózióvédelme, a betonacél rozsdásodni kezd. Ennek megfelelően karbonátosodás esetén vizsgált határállapot a betonacélok depassziválódása.

A karbonátosodás osztott biztonsági tényezős eljárással történő vizsgálata az alábbi ábra és számítás szerint végezhető el:



20. ábra: A számítás során alkalmazott jelölések értelmezése

A 20. ábra jelöléseinek értelmezése a jelenlegi gyakorlat szerint:

- c_{min} : előírt *legkisebb betonfedés* (acélbetét tapadása miatt szükséges legkisebb betonfedés, környezeti hatás miatt szükséges betonfedés és 10 mm közül a legnagyobb érték),
- Δc_{dev} : kötelező ráhagyás,
- c_{nom} : *névleges betonfedés* (terveken szerepeltetendő).

Az osztott biztonsági tényezős módszer szerint:

- $x_{c,m}(t)$: a karbonátosodás behatolási mélységének átlagértéke,
- $x_{c,d}(t)=a_d$: a karbonátosodás behatolási mélységének tervezési értéke, vagyis a betonfedés tervezési értéke,
- Δa : a betonfedés megengedett eltérése,
- a_{nom} : *névleges* (terveken szerepeltetendő) betonfedés.

A SZÁMÍTÁS MENETE:

Az alapegyenlet:

$$a_d - x_{c,d}(t_{SL}) \geq 0 \quad 1$$

, ahol

- a_d a betonfedés tervezési értéke [mm]
- $x_{c,d}(t_{SL})$ a karbonátosodás behatolási mélységének tervezési értéke a t_{SL} időpontban [mm]

A betonfedés tervezési értéke:

$$a_d = a_k - \Delta a \quad 2$$

, ahol

- a_k a betonfedés karakterisztikus értéke [mm]
- Δa a betonfedés megengedett eltérése [mm]

A karbonátosodás behatolási mélységének tervezési értéke a t_{SL} időpillanatban:

$$x_{c,d}(t_{SL}) = x_{c,c}(t_{SL}) \cdot \gamma_f \quad 3$$

, ahol

- $x_{c,c}(t_{SL})$ a karbonátosodás behatolási mélységének karakterisztikus értéke; a karbonátosodás behatolási mélységének várható értékével vehető figyelembe [mm]
- γ_f a karbonátosodáshoz tartozó parciális biztonsági tényező értéke [-]

, melynek meghatározása a gyakorlatban az alábbi összefüggéssel történik:

$$x_{c,d}(t_{SL}) = \sqrt{2 \cdot k_{e,d} \cdot k_{c,d} \cdot (k_{t,d} \cdot R_{ACC,0,k}^{-1} \cdot \gamma_R + \varepsilon_{t,d}) \cdot C_{s,d} \cdot \sqrt{t_{SL}} \cdot W(t_{SL})} \quad 4$$

, ahol

- a_d a betonfedés tervezési értéke [mm]
- t_{SL} tervezett használati élettartam [év]
- $x_{c,d}(t_{SL})$ a karbonátosodás behatolási mélységének tervezési értéke a t_{SL} időpontban [mm]
- $k_{e,d}$ a környezeti függvény tervezési értéke [-], meghatározása a következő összefüggés szerinti:

$$k_{e,d} = \left(\frac{1 - \left(\frac{RH_{real,k}}{\gamma_{RH} \cdot 100} \right)^{f_e}}{1 - \left(\frac{RH_{ref}}{100} \right)^{f_e}} \right)^{g_e} \quad 5$$

, ahol

- $RH_{real,k}$ a karbonátosodott réteg relatív nedvességtartalmának karakterisztikus értéke [%]
- RH_{ref} a relatív nedvességtartalom referencia értéke [%]
- f_e kitevő, értéke: 5,0
- g_e kitevő, értéke: 2,5
- γ_{RH} a karbonátosodott réteg relatív nedvességtartalmához tartozó parciális biztonsági tényező, értéke: 1,3
- $k_{c,d}$ a kivitelezési folyamatot jellemző tényező tervezési értéke

1. táblázat: $k_{c,d}$ értékek az utókezelés függvényében

utókezelés ideje [nap]	1	2	3	4	5	6	7
$k_{c,d}$	3.00	2.03	1.61	1.37	1.20	1.09	1.00

- $k_{t,d}$ a regressziós paraméter tervezési értéke, melynek átlagértéke: 1,25
- $R_{ACC,0,k}^{-1}$ a beton effektív karbonátosodási ellenállása inverzének karakterisztikus értéke [(mm²/év)/(kg/m³)]
- γ_R az inverz karbonátosodási ellenálláshoz tartozó parciális biztonsági tényező, melynek értéke: 1,5
- $\varepsilon_{t,d}$ a hiba-tag tervezési értéke, melynek átlagértéke: 315,5
- $C_{s,d}$ a CO₂-koncentráció tervezési értéke [kg/m³], átlagértéke: 0,00082
- $W(t)$ időjárás függvény, melynek számítása:

$$W = \left(\frac{t_0}{t} \right)^{\frac{(p_{SR} \cdot ToW)^{b_{w,d}}}{2}} \quad 6$$

, ahol,

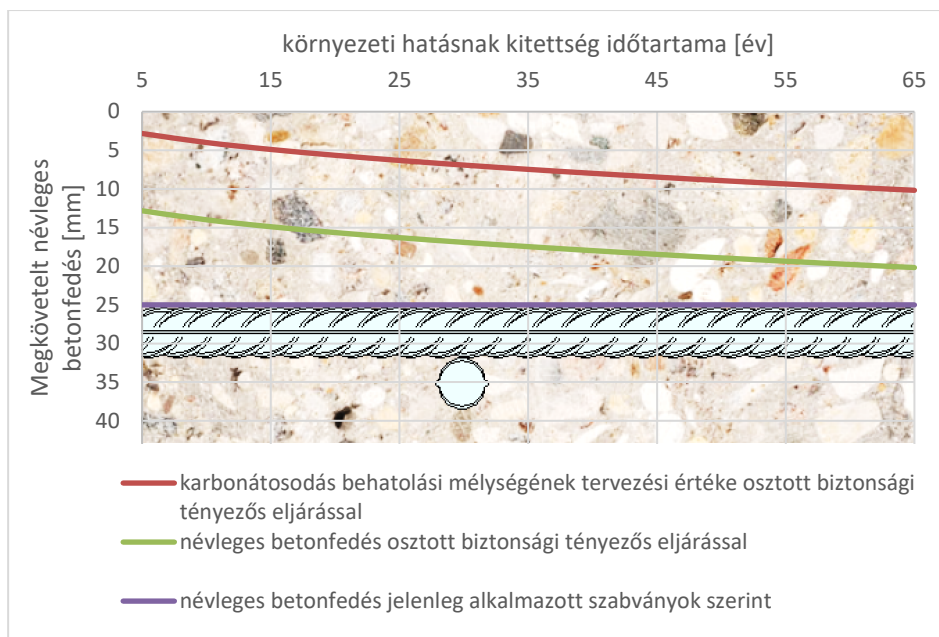
- t_0 referencia időszak, értéke: 0,0767 év
- ToW a nedves időszak [év]
- p_{SR} a zuhogó eső bekövetkezési valószínűsége [-]
- $b_{w,d}$ a regressziós kitevő tervezési értéke, átlagértéke: 0,446

A fenti számításokat a [82] [83] [84] [85] publikációkban foglaltaknak megfelelően elvégeztük egy beltérben funkcionáló, C30/37 szilárdsági osztályú (*pillérváz*as, többszintes lakó-, és középület esetén leggyakoribb födémszerkezeti betonminőség) betonra vonatkoztatva. Ezen beton MSZ 4798 szerinti jele:

C30/37-XC1-16-F3-MSZ 4798-1:2016/2M 2018

A vonatkozó előírások szerint ez esetben alkalmazandó c_{nom} *névleges betonfedés* értéke **25 mm**.

Az elvégzett számítások eredményét az alábbi ábrán ismertetjük, melyen feltűntettük a jelenleg érvényben lévő szabvány szerinti betonfedés értékét is.



21. ábra: Megkövetelt névleges betonfedések az idő függvényében

A fenti ábra alapján megállapítható, hogy a használati élettartam mintaszabvány szerint leggyakrabban lemezszerkezetek készítéséhez használt betonminőség esetén tekintettel a magas szilárdsági osztályra, az ezzel járó alacsony *víz-cement tényezőre*, valamint az alacsony *porozitásra* kellő biztonsággal alkalmazható 20 mm betonfedés.

Megjegyezzük, hogy teljes valószínűségi módszer alkalmazása esetén a szakirodalomban fellelhető számítási eredmények a fentieknél is kedvezőbbek.

Megállapítható tehát, hogy a jelenleg alkalmazott kielégítendő követelmények módszere tartóssági tervezés szempontjából túlzó, mellyel a szakmagyakorlók is tisztában vannak, ugyanis Kausay Tibor számos olyan publikációt jelentetett meg [87], melyekben a *környezeti (kitéti) osztály* által megkövetelt szilárdsági osztálynál legalább két osztállyal nagyobb szilárdsági osztályú betonok esetén **javasolja a betonfedés csökkentését**. Ebből a jelenleg érvényes szabványokba egyelőre semmi sem került be, így azok felülvizsgálata indokolt.

Ugyanezen gondolatmenet mentén érdemes a vasalt sávalapok (sávalap és talpkoszorú funkciót is ellátó szerkezet) esetén a szakmai gyakorlat szerint alkalmazott, a megszokottnál és megköveteltnél lényegesen nagyobb betonfedés alkalmazása mellett a beton szilárdsági osztályának csökkentése, továbbá a csömöszölt beton sávalapoknál alkalmazandó beton szilárdsági osztályának csökkentése.

A beton-, és vasbeton szerkezetek osztott biztonsági tényezős eljárással történő vizsgálata egyelőre csak néhány környezeti hatásra van kidolgozva, ott is úgy, hogy a kísérletekből származó paraméterek csak korlátozott betonösszetételekre érhetők el. Amennyiben Tanulmányunkat olyan döntési pozícióban lévő személy tartja kezében, akinek lehetősége van az építőipar fejlődését támogatni, úgy megfontolandó egy, a témában jártas személyekből összeállított kutatócsoport támogatása.

7. TARTÓSZERKEZETEK TARTÓSSÁGÁNAK VIZSGÁLATA KONKRÉT PÉLDÁKON KERESZTÜL

7.1. 50 éve megvalósult társasházi lakóépület alapozása

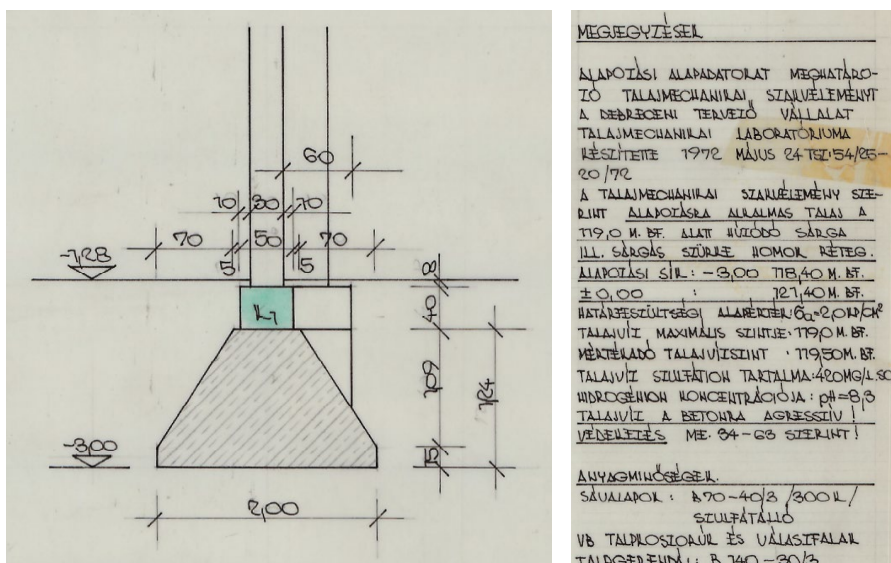
A Debreceni Tervezővállalat tervezését követően a debreceni Hámán Kató utcán (napjainkban Debrecen, Füredi út 1-7., hrsz.: 21073) 60 lakásos társasházat létesítettek a tervdokumentáció tanúsága szerint 1972-ben megkezdett kivitelezéssel. A tárgyi épület jelenleg ~ 50 éves, tehát használati élettartama végén jár.



22. ábra: Az épület és a bejárat előtti beton lépcső napjainkban

Az épület alapozása sávalapokkal, terepsíkú talpkoszorúval, felmenő szerkezete nagyblokkos (kohóhabsalak) falazóelemekkel, közbenső és zárófödémei előregyártott körüreges pallókkal készültek 4,20 m és 2,40 m fesztávval. Az épületek alagsor + földszint + 4 emelet szintszámmal létesültek.

Az épület állapota jelenleg korának megfelelő, tartószerkezeti rendszerét tekintve kifogástalan. Az épület alapozási terve szerint az alapozás B70 betonminőségű, csömöszölt beton, trapéz keresztmetszetű sávalappal készült. A terepsíkon vasbeton talpkoszorú készült B140 betonminőséggel.



23. ábra: Sávalap keresztmetszet, alapozásra vonatkozó megjegyzés

Annak érdekében, hogy az épület egyes tartószerkezeteinek összehasonlítása elvégezhető legyen a napjainkban érvényben lévő szabványok által megkövetelt szerkezetekkel, első lépésben a B70 és B140 betonminőséget kell értelmeznünk a ma érvényes jelölésrendszer szerint.

A beton *nyomószilárdsági* osztályát meghatározó szabványok 1972 óta számos alkalommal és számos paraméter tekintetében változtak a napjainkban értelmezett szilárdsági osztályokhoz képest:

A próbatest tárolása és mérete:	
- 1949 és 1982 között a próbatestek 200 mm élhosszúságú kockák voltak, melyeket vegyesen tároltak [88] [89] [90].	
- 1982 és 2002 között a próbatestek 150 mm átmérőjű és 300 mm magas hengerek, vagy 150 mm élhosszúságú kockák voltak, melyeket vegyesen tárolta [89] [90] [91].	
- 2002 és 2004 között az európai szabványoknak megfelelően a próbatesteket már törésig víz alatt tárolták [92] [89] [90]	
- 2004-től a magyar nemzeti alkalmazási feltételek szabványa (MSZ 4798-1:2004) szerint a vegyes tárolás is megengedett [93] [89] [90].	
A minősítés alapja, jele:	
- 1949 és 1977 között a betont a nyomószilárdságának átlag értékével kellett minősíteni és jelölni kp/cm ² mértékegységben. Példa a beton jelölésére: B28. [88] [89] [90].	
- 1977 és 1982 között a betont már a nyomószilárdság jellemző értékével kellett minősíteni, de a beton jelében továbbra is a nyomószilárdság átlagértékét kellett szerepeltetni. Példa a beton jelölésére: B280 [89] [90] [94].	
- 1982 és 2002 között a beton nyomószilárdságát vegyesen tárol 150 mm átmérőjű, 300 mm magas henger nyomószilárdságának jellemző értékével kellett minősíteni és jelölni N/mm ² mértékegységben. Példa a beton jelölésére: C 25 [89] [90] [91].	
- 2002 óta az európai szabványoknak megfelelően a beton nyomószilárdságát végig víz alatt tárolt, 150 mm átmérőjű, 300 mm magas hengeren, vagy 150 mm élhosszúságú kockán mért nyomószilárdságának jellemző értékével kell minősíteni. A jelölés ezen értékek tört vonallal történő elválasztásával történnek N/mm ² mértékegységben. Példa a beton jelölésére: C 25/30 [89] [90] [92].	
Jellemző érték meghatározása:	
- 1977 és 1980 között a beton jellemző értékét az	
$R_{k,200,vegyes} = 0,7 \cdot R_{m,200,vegyes}$	7
összefüggéssel határozták meg [88] [89] [90].	
- 1980 és 1982 között a beton jellemző értékét az	
$R_{k,200,vegyes} = 0,75 \cdot R_{m,200,vegyes}$	8
összefüggéssel határozták meg [89] [90] [95].	
- 1982 és 2002 között a beton jellemző értékét az	
$R_{k,vegyes} = R_{m,vegyes} - k \cdot t \cdot s$	9
összefüggéssel határozták meg [89] [90] [91].	
- 2002 óta az európai szabványokban a beton nyomószilárdság jellemző értékének és átlag értékének kapcsolatát többféle, egymástól különböző módon fejezik ki:	
o Az EUROCODE 2 érvényes változata (MSZ EN 1992-1-1:2010) szerint [96]:	
$f_{ck,cyl} = f_{cm,cyl} - 8$	10
o A betonszabvány érvényes változata (MSZ EN 206-1:2002/A2:2005) szerint folyamatos gyártás esetén [97]:	
$f_{ck} = f_{cm} - \lambda \cdot s$	11

Tekintettel arra, hogy a fenti száraz okfejtésen már átrágtam magát a nyájas Olvasó, tehát világos számára a jelentős mennyiségű szabvány módosításnak köszönhető szilárdsági jelek közötti „átváltás” bonyolultsága, így annak részleteivel, valamint az alulmaradási tényező és a biztonsági tényező változásainak bemutatásával már nem hizlaljuk sorainkat.

A fentieket összefoglalva 1971 és 1977 közötti időszakban a próbatesteket 200 mm élhosszúságú vegyes tárolású kockán, azok átlagos *nyomószilárdsági* értékével kellett minősíteni és jelölni. A meg nem felelő tételek elfogadási valószínűsége 50 %, az alulmaradási hányad 2,25 %, alulmaradási tényező értéke 2,0, a biztonsági tényező értéke (értve ezalatt a kockaszilárdság átlagértékének és a határfeszültség értékének hányadosát) 2,0 volt [89] [90].

2010 óta az elfogadási valószínűség 70 %, az alulmaradási hányad 5,0 %, az alulmaradási tényező értéke (minimum 15 db próbatest esetén) 1,48. A tartós szilárdság figyelembevétele nélkül a biztonsági

tényező értéke (értve ezalatt a hengerszilárdság küszöbértékének és a *nyomószilárdság* tervezési értékének hányadosát) általában 1,5 [89] [90].

A korábbi, 1972-ben érvényben lévő szabvány Eurocode 2 szerint megfelelő szilárdsági osztálya tehát:

1951-1982		1982-2002		2002 óta					
$R_{m,cube,H}/1,06=R_{m,cube,200,H}$	Osztály	$R_{m,cube,H} \cdot k \cdot t \cdot s = R_{k,cube,H}$	Osztály	$f_{cm,cyl} \cdot 8 = f_{ck,cyl}$	Osztály	$0,92 \cdot (f_{m,cube,H} \cdot 4) = f_{ck,cube}$	Osztály	$0,92 \cdot (f_{m,cube,H} \cdot \lambda \cdot s) = f_{ck,cube}$	Osztály
10-2,8/1,06 = 26 < 50	-	2/0,72-3,0 < 5	-	2-8 < 8	-	0,92-(2,8-4) = 16,7 < 10	-	0,92-(2,8-4,4) < 10	-
10-5,6/1,06 = 53 > 50	B 50	4/0,72-3,6 = 2,0 < 5	-	4-8 < 8	-	0,92-(5,6-4) = 1,5 < 10	-	0,92-(5,6-4,4) = 1,1 < 10	-
10-11,1/1,06 = 105 > 100	B 100	8/0,72-6,4 = 4,7 < 5	-	8-8 < 8	-	0,92-(11,1-4) = 6,5 < 10	-	0,92-(11,1-4,4) = 6,2 < 10	-
10-16,7/1,06 = 158 > 140	B 140	12/0,72-10,0 = 6,7 > 5,0	C 4	12-8 = 4 < 8	-	0,92-(16,7-4) = 11,7 > 10	C8/10	0,92-(16,7-4,4) = 11,3 > 10	C8/10
10-22,2/1,06 = 209 > 200	B 200	16/0,72-13,1 = 9,1 > 7,5	C 6	16-8 = 8	C8/10	0,92-(22,2-4) = 16,7 > 15	C12/15	0,92-(22,2-4,4) = 16,4 > 15	C12/15
10-27,8/1,06 = 262 > 200	B 200	20/0,72-13,8 = 14,0 > 12,5	C 10	20-8 = 12	C12/15	0,92-(27,8-4) = 21,9 > 20	C16/20	0,92-(27,8-4,4) = 21,5 > 20	C16/20
10-33,3/1,06 = 314 > 280	B 280	24/0,72-14,5 = 18,8 > 15	C 12	24-8 = 16	C16/20	0,92-(33,3-4) = 27,0 > 25	C20/25	0,92-(33,3-4,4) = 26,6 > 25	C20/25
10-38,9/1,06 = 367 > 350	B 350*	28/0,72-15,1 = 23,8 > 20	C 16	28-8 = 20	C20/25	0,92-(38,9-4) = 32,1 > 30	C25/30	0,92-(38,9-4,4) = 31,7 > 30	C25/30
10-45,8/1,06 = 432 > 400	B 400	33/0,72-15,8 = 30,0 > 25	C 25	33-8 = 25	C25/30	0,92-(45,8-4) = 38,5 > 37	C30/37	0,92-(45,8-4,4) = 38,1 > 37	C30/37
10-52,8/1,06 = 498 ~ 500	B 500*	38/0,72-16,5 = 36,3 > 35	C 30	38-8 = 30	C30/37	0,92-(52,8-4) = 44,9 ~ 45	C35/45	0,92-(52,8-4,4) = 44,5 > 37	C30/37
10-59,7/1,06 = 563 > 560	B 560	43/0,72-17,1 = 42,6 > 40	C 35	43-8 = 35	C35/45	0,92-(59,7-4) = 51,2 > 50	C40/50	0,92-(59,7-4,4) = 50,9 > 50	C40/50
-	-	48/0,72-17,6 = 49,1 > 45	C 40	48-8 = 40	C40/50	0,92-(66,7-4) = 57,7 > 55	C45/55	0,92-(66,7-4,4) = 57,3 > 55	C45/55
-	-	53/0,72-18,2 = 55,4 > 55	C 50	53-8 = 45	C45/55	0,92-(73,6-4) = 64,0 > 60	C50/60	0,92-(73,6-4,4) = 63,7 > 60	C50/60
-	-	58/0,72-18,7 = 61,4 > 60	C 55	58-8 = 50	C50/60	0,92-(80,1-4) = 70,0 > 67	C55/67	0,92-(80,1-4,4) = 69,6 > 67	C55/67
* A B 350 és B 500 jelű nyomószilárdsági osztály az 1982 előtti Vasúti Hídszabályzatban szerepelt		Ha $n = 5$; $t = 2,132$ és a szórás ismeretlen. Lásd: MSZ 4720-2:1980		Lásd: Eurocode 2, ma érvényes változata: MSZ EN 1992-1-1:2010		Kezdeti gyártás		Folyamatos gyártás Ha $n = 15$; $\lambda = 1,48$; $s_{min} = 3,0 \text{ N/mm}^2$	
						Lásd: MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004		Elfogadási valószínűség: 70 %	
		Elfogadási valószínűség: 50 %							

24. ábra: Egymásnak megfelelő átlagos nyomószilárdságú betonok szabványos nyomószilárdsági osztálya az Eurocode 2 (MSZ EN 1992-1-1:2021) szerinti átlagos nyomószilárdságokhoz viszonyítva, B70 és B140 szilárdsági osztályok kifejezése mai beton szilárdsági osztály jelekkel [89] [90]

A fenti ábra alapján a 60 lakásos társasház sávalapozásához használt **B70** betonminőség sem az Eurocode 2 szabvány, sem a betonszabvány követelményrendszerébe nem illeszthető, gyakorlatilag napjainkban már szilárdsági osztály szempontjából **be nem sorolható** betonnak felel meg. A **B140** betonminőség a betonszabvány szerint **C8/10** szilárdsági osztálynak feleltethető meg.

Az épület tervdokumentációjának alapozási tervén szereplő, a talajvíz agresszivitását reprezentáló mutatók a következők:

- szulfátion tartalom: 420 mg/l,
- pH = 8,3.

A napjainkban érvényes MSZ EN 196-2:2013 szabvány szerint amennyiben a szulfátion tartalom nagyobb, mint 200 mg/l, de kisebb, mint 600 mg/l, a talajvíz betonra agresszív, melynek *környezeti (kitéti) osztály* **XA1**.

A tervlapon szereplő 8,3 pH érték az ISO 4316 szerint betonra nem agresszív.

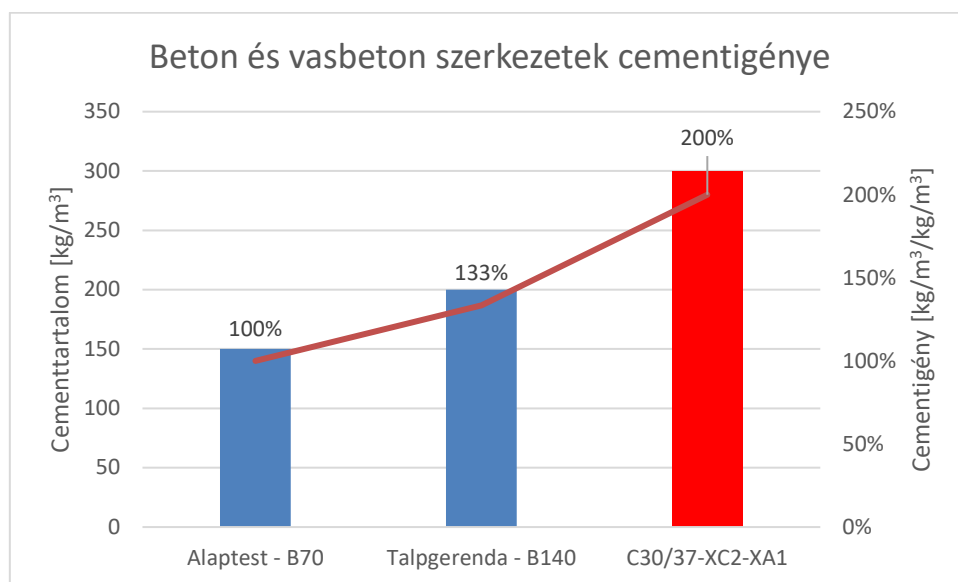
A tervdokumentáción jelölt magassági adatok, valamint a megjegyzésben megadott talajvízszintek alapján (alapozási sík: 118,40 mBf, mértékadó talajvízszint 119,50 mBf) megállapítható, hogy az alaptestek legalább alsó negyede a talajvíz ingadozás szintjén található.

Napjainkban ilyen esetben az XA1 környezeti hatás okozta betonkorrozó elkerülése érdekében a talpgerenda betonanaga

C30/37-XC2-XA1-32-F2-MSZ 4798-1:2016/2M 2018

betonminőséggel kerülne kiírásra, melynek minimális szilárdsági osztálya C30/37, megengedett legkisebb cementtartalma 300 kg/m^3 , megengedett legnagyobb *víz-cement tényezője* 0,55.

Az alábbiakban összehasonlító ábrát mutatunk be a tervdokumentációban szereplő betonminőségek elkészítéséhez szükséges cementmennyiség, valamint a napjainkban a mértékadó *környezeti (kitéti) osztály* miatt szükséges minimálisan alkalmazandó cementmennyiségekről. Az építéskori szokásos cementmennyiségeket Seidl Ambrus Betonmunkák könyve [98] alapján, a jelenleg minimális cementmennyiséget 4798-1:2016/2M 2018 alapján határoztuk meg.



25. ábra: Építéskori és napjaink megkövetelt beton szilárdsági osztályaihoz tartozó cementadagolás

A fentiek alapján megállapítható tehát, hogy a jelenleg be sem sorolható betonminőségű sávalap, valamint a C8/10 betonminőségű talpkoszorú és talpgerenda elegendő volt az 50 éves tartóssághoz még betonra agresszív környezetben is. A talpgerenda vonatkozásában 5 (!) szilárdsági osztállyal magasabb szilárdsági osztályú beton válna szükségessé napjaink szabvány előírásainak betartása esetén. Mindez azt támasztja alá, hogy **a környezeti hatásokra történő megfelelés egyes szerkezetek esetében túlzó, azok felülvizsgálata indokolt.**

7.2. Első vasbeton templom Magyarországon

Dr. Arany Piroska és Dr. Lichter Tamás Vasbetonépítés című folyóiratban (2016/2) megjelent publikációja nyomán a több, mint 100 éves, deszkaszaluzatba csömöszölt, 10 cm vastag, kültéri hatásoknak is kitett vasbeton kupolájával és annak állapotával is megismerkedhet az Olvasó. Az első vasbeton szerkezetű templom Magyarországon a székesfehérvári Jézus Szíve templom, melyet Bory Jenő (1879-1959) építész – szobrászművész tervezett 1909-ben. A környezeti hatásoknak kitett vasbeton kupola napjainkban is állja az idők megpróbáltatásait, mely elsősorban annak köszönhető, hogy Bory Jenő – ahogy Palotás László is – a megfelelően kidolgozott szemszerkezetet tartotta szem előtt a tervezés során [99].

Az épület először az Aggintézet és az Árvaház kápolnája volt, majd 1923-ban önálló lelkeszség lett, 1928-tól már plébánia. A templom kivitelezésében maga Bory Jenő is tevékenyen részt vett 1909-ben [99].

A templom betonból épült, leglátványosabb része a kupola és a két torony sisakja, amelyek héjalás nélküli, mai szóhasználattal „látszó” betonból készültek. A nyolcszögletű bordákkal megerősített kupola lanternás kiképzésű, anyaga Bory Jenő szavaival „quarzbeton”. A héj 10 cm vastag deszkaszaluzatba csömöszölt beton *adalékanyaga* homokos kavics és *mészke* zúzalék vegyesen. A második világháborúban kapott három sérülését kijavították, a felületet egyszer kezelték [99].



26. ábra: A Jézus Szíve templom építés közben [100], és kész állapotában [101]

Bory Jenő így ír 1955-ben önéletrajzában: „Megépült itt Fehérváron a Jézus Szíve templom, amelyet évekkel előbb terveztem. Ennek fő szenciációja a vasbeton kupolája volt, ahol a héjazatot is beton képezte, nem cserép vagy bádóg. A kupola most is áll, 40 év óta semmi javítást nem igényelt és nem igényel újabb 40 évig, 100 évig sem” [99].

Sokoldalú, kísérletező építő művész és szobrász volt Bory Jenő. A Technika, a Magyar Mérnökök 1931. január-februári számában „A beton a művészet szolgálatában” című írásában előre vetítette a betonról: „Ez az anyag, amely vassal kombinálva a mérnökök kezében soha nem álmodott műszaki problémák megoldására alkalmasnak bizonyult, tehát szilárdság tekintetében a múltban alkalmazott építőanyagokkal győzedelmesen versenyez, - elképzelhetetlen, hogy alkalmazása művészi feladatok megoldásában is kielégítő, sőt meglepő eredményekre is vezetne” [99].



27. ábra: A vasbeton kupola állapota napjainkban [99]

A 2009. novemberében, Székesfehérváron rendezett Bory Jenő-konferencián is megállapítást nyert a kupola betonjának igen jó állapota, mely a kritikus helyeken történő bádogozás alkalmazása esetén károsodásmentes is lehetne. Ha ma kellene meghatároznunk a kupola betonjának *környezeti (kitéti) osztályait*, akkor legalább fagyállóságot, valamint karbonátosodás által károsító környezeti hatásokat kellene figyelembe vennünk, mely betonminősége:

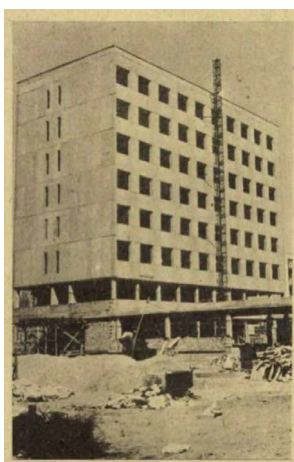
Ennek minimális szilárdsági osztálya C30/37, megengedett legkisebb cementtartalma 300 kg/m^3 , megengedett legnagyobb víz-cement tényezője 0,50.

7.3. Megvalósult épületek sorsa a használati élettartam végén

Napjainkban számos példát találunk arra, hogy használati élettartam végén – vagy még jóval azelőtt – építményeinket, épületeinket **műszaki szempontok háttérbe szorítása következtében** meghozott, erkölcsi avulásra hivatkozó döntések alapján elbontják, helyet adva megújult igényeket kielégítő épületeknek. Jelen fejezetben 3 épületet mutatunk be, melyből kettő esetén az eredeti épület használati élettartama végén hozott, az építmény sorsát meghatározó döntés gazdaságossági szempontból megkérdőjelezhető.

7.3.1. Váci Mihály kollégium

A Hajdú-Bihari Napló 1972. április 9-én adott hírt arról, hogy nyolcszintes diákszálló épül a debreceni Apafi utcai lakótelepen. Az építkezést a Hajdú-Bihar Megyei Állami Építőipari Vállalat végezte, és az volt a terv, hogy az új létesítményt az 1972/73-as tanév kezdetére már át is adják a rendeltetésének.



28. ábra: Váci Mihály Kollégium [102] [103]

Az Apafi utcai intézmény az átadásakor még nem viselte a fiatalon (45 éves korában) elhunyt költő nevét. A Napló korabeli beszámolója szerint 1976. április 30-án vette föl Váci Mihály nevét a középiskolai kollégium.

2009 júliusában három diákszálló értékesítését határozta el Debrecen Város vezetősége arra hivatkozva, hogy gazdaságtalan a fenntartásuk, és alig haladta meg a kihasználtságuk az előző évben a 70 százalékot. A Váci Mihály Kollégiumot 2021 szeptemberében sikerült értékesíteni a városnak, a kollégium helyére a tervek szerint társasházi lakópark kialakítását tervezik.

Az épület tartószerkezeti rendszerének állapota a bontást nem indokolta. Az épület bontását 2022 évben elvégezték, melynek oka a tervezett új funkciónak és a megváltozott gépészeti igényeknek történő megfelelés „egyszerűbb” biztosítása volt.

7.3.2. Kölcsey Ferenc Megyei és Városi Művelődési Központ és Ifjúsági Ház

Az egyik oldalról panelsorral, a másik oldalról régi cívisházakkal szegélyezett debreceni Darabos utcához többek között Ady Endre és Csokonai Vitéz Mihály is kötődik. Előbbi itt lakott albérletben kollégiumi diákévei alatt, utóbbi pedig a Darabos és Hunyadi utcák sarkán ma is álló épületben hunyt el. A Hotel Lycium és a Református Kollégium között húzódó Fűvészkert utcában pedig a már említett Kölcsey Ferenc élt a XVIII. század végén, a XIX. század elején, de itt állt Szabó Magda egyik gyerekkori otthona is, ami elmondása szerint élete legboldogabb helyszíne volt [104].



29. ábra: Kölcsey Ferenc Megyei és Városi Művelődési Központ és Ifjúsági Ház [104]

A Kölcsey-ház 1973-ig állt, akkor a debreceni tanács városrendezési terveire hivatkozva lebontották, pedig olyan neves személyek tiltakoztak a bontás ellen, mint Szabó Magda és Illyés Gyula. Szabó Magda Fűvészkert utca 18. szám alatti családi háza szintén az átépítések áldozatává vált, melynek eredményeként nemcsak a régi épületek tűntek el a helyükről, hanem 1978-ban felépült a Kölcsey Művelődési Központ, vele együtt pedig az egykori Kölcsey-ház helyén egy hatalmas Lenin-szobor (itt ma egy virágóra áll ma) [104].

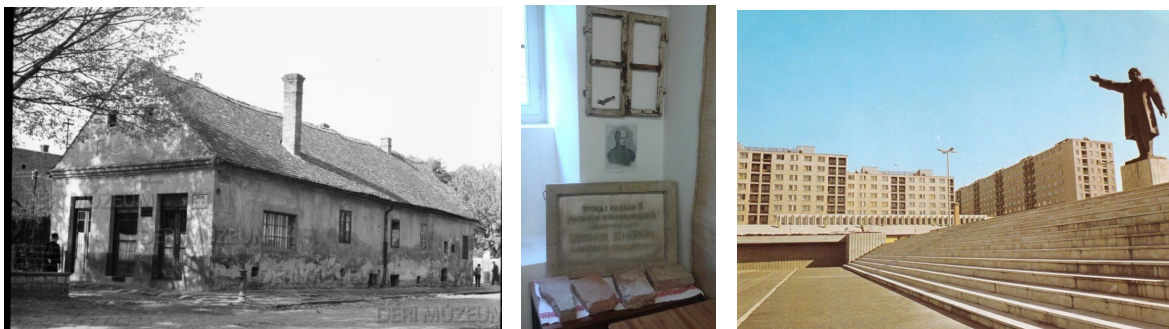
A Mikolás Tibor (1924–2014) által tervezett Kölcsey Ferenc Megyei és Városi Művelődési Központ és Ifjúsági Ház építése 1978-ban fejeződött be, azt november 5-én adták át [105]. Az, hogy a komplexumot nem valamely „Szovjetunió Hőséről” (pl.: Ivan Alekszandrovics Szerov vagy Ramón Mercader) nevezték el, nagyban köszönhető Mikolás munkatársának, Arató Andrásnak, ugyanis számos tervlapra „*már a kezdetekkor felírta*”: **Kölcsey Ferenc** Megyei és Városi Művelődési Központ és Ifjúsági Ház.”

A névadó költő, Kölcsey szobra, ami ma a Péterfia utcán található, akkor még a Bethlen utcai lépcsőn állt. A komplexum rendelkezett számos közösségi, rendezvény- és próbateremmel, ahol a csillagászoktól a néptáncosokon át a rockzenekarokig számos helyi közösség próbált és lépett fel. Itt működött egykor a Vojtina Bábszínház és a Művész Mozi is, színháztermében pedig a színházi előadások és koncertek voltak. Az épület hatalmas parkolójában zajlott hosszú éveken át a virágkarneváli sörfesztivál, a Debreceni Jazznapok és az adventi vásár [104].

Debrecenben a kultúra, a kikapcsolódás, a tanulás és a tartalmas együttlétnek is igazi, megfizethető otthona volt ez a nagyszerű intézmény. A pezsgő közösségi és kulturális élet ellenére a városvezetés 25 év után mégis úgy döntött, hogy az épületet lebontja. Helyén 2005-ben nyitott meg a ma is álló épületkomplexum, ami helyet ad az ország legnagyobb vidéki konferenciaközpontjának, egy négycsillagos üzleti és konferenciaszállodának, valamint Kelet-Közép-Európa egyik legjobb adottságokkal bíró, legnagyobb egybefüggő kiállítóterével rendelkező modern és kortárs művészeti központnak. A Kölcsey Ferenc Megyei és Városi Művelődési Központot és Ifjúsági Házat 2003 július végén kezdték bontani, s a helyére épített Kölcsey Központ (az új létesítményegyüttes egyik eleme) 2006. február 24-én nyílt meg [104] [105].

Az épületkomplexum bontását tartószerkezeti okokra visszavezetni ezesetben sem lehet, az indok itt azonban összetett:

- a megépítéshez szükséges Kölcsey-ház bontása okozta ellenérzés a lakosság körében
- a szocializmust idéző, szimbolizáló épület „törlése” a városképből
- korszerű gépészeti rendszerek helyigénye és utólagos áttörésigénye.



30. ábra: A méltatlan állapotú Kölcsey-ház a fűvészkert utcában és ami „maradt” belőle [105] [106]

Láthatjuk tehát, hogy meglévő épületeink jelentős hányadát lényegében úgy ítéljük bontásra, hogy annak tartószerkezeti rendszerét sok esetben nem is értékeli. Gyakorlatilag döntéshozatal-támogató mérnöki tevékenység igénye nélkül, pusztán építészeti-, gazdasági-, politikai- és érzelmi okokból meghozott döntések befolyásolják meglévő épületeink sorsát.

7.3.3. Tokaj Hotel

Ellenpéldaként a fentiekre a „Tokaj Hotel” épületének átalakulását mutatjuk be. A meglévő épület a Bodrog Tiszába torkolásának közvetlen szomszédságában, a Tokaj – Rakamaz közúti Tisza-híd mellett, a Rákóczi út és a Mosolygó József utca között helyezkedik el. A Mosolygó József utca felől árvízvédelmi töltés védi az épületet. Az 1977-ben épült, alagútszalus épület függőleges teherhordó szerkezetet jellemzően 3,75 m tengelytávolságú, 3,60 m nyílásközű, 15 cm vastag monolit vasbeton harántfalak alkotják. A harántfalak a középső traktusban a szobák megközelítését biztosító 2,50 m széles közlekedővel vannak megszakítva. A szintközi födémegek egységesen 15cm vastagsággal készültek. A vertikális közlekedést az épület súlypontjában elhelyezett vendéglépcső, felvonó és személyzeti lépcső biztosítja. Az épület 6 szinttel valósult meg: alagsor, földszint, magASFöldszint, továbbá 3 emelet. A zárószint felett a lépcsőházi traktusban a felvonó gépészet, valamint egyéb gépészeti berendezések számára helyet biztosító felépítmények kerültek elhelyezésre. A Rákóczi utca és a Mosolygó József utca

közötti szintkülönbség leküzdését a korábbi tervező az alagsor – földszint – magasföldszint szintek fél szint eltolásával oldotta meg. A Mosolygó József utca felőli észak-keleti homlokzaton az alagsor – magasföldszint, valamint a magasföldszint – 1. emelet között visszaugratott harántfalak létesültek. A dél-nyugati homlokzaton a lépcsőházi traktusban az 1., 2., és 3. emeleten a homlokzatból egyre kintebb nyúló konzolok létesültek.

A projektre 2020 áprilisában a tervezett átalakítás megvalósíthatóságát vizsgáló geotechnikai és tartószerkezeti szakértői vélemény készült, mely feltárta az átalakítás – bővítés lehetőségeit és korlátait.



31. ábra: Tokaj Hotel eredeti [saját fotó] és megvalósult [107] állapota

A BORD Építész Stúdió, az országosan is ismert tervező iroda neve nem ismeretlen a régióban sem, számos borral kapcsolatos épület született a kezük alatt, mint például az Etyeki Kúria, Holdvölgy borászat, Lajvér Borház, de szintén az ő terveik alapján épült a nemrég bemutatott Sauska Borászat különleges épülete Rátkán.

Országos referenciái között olyan projektek szerepelnek, mint a Debreceni Nagyerdei Stadion, Aquaticum Strandfürdő, Hidegkuti Nándor Stadion, Nemzeti Korcsolyázó Központ, a lakóépületek között a debreceni Dóczy lakópark, vagy akár a budapesti Allure Residence.

Részben köszönhetően a körültekintő szakértői és mérnöki munkának a projekt 2022 évi átadással sikeresen lezajlott.

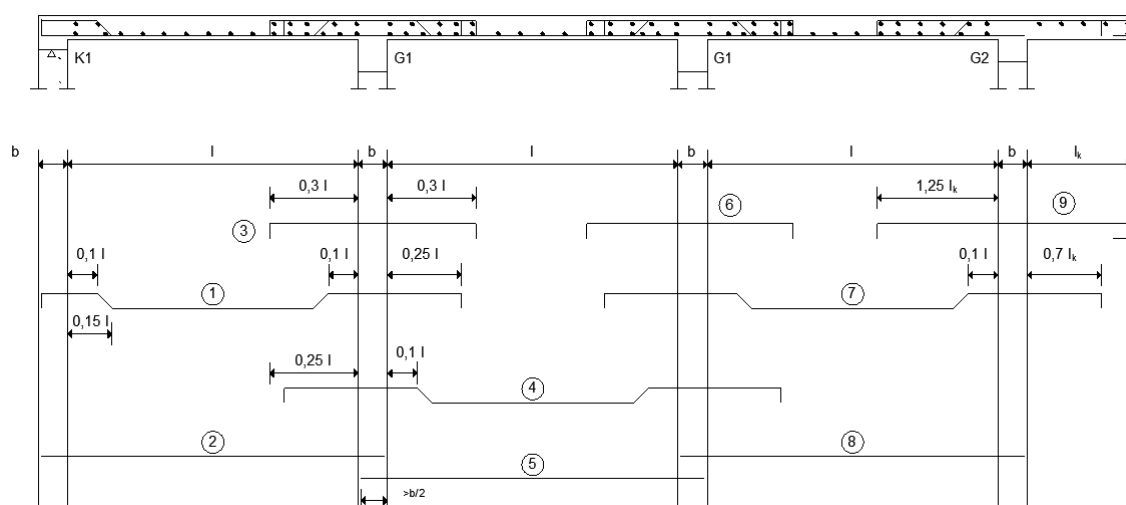
A fenti példákön keresztül bemutatott folyamat tehát akkor lehet alaposan átgondolt, vagyis gazdaságos, ha az adott építményhez történő drasztikus „hozzányúlás” elhatározását megelőzi legalább egy – jól felkészült – döntéstámogató mérnök bevonása, majd az általa meghatározott szempontrendszer beépítése a döntéshozatalba. Épületek tartószerkezeti rendszerének költsége a teljes beruházási költséghez viszonyítva 15÷25 %, tehát felvállalva a kööttségeket (melyek közel azonos funkció megtartása mellett nem is hűsbavágóak) a megtakarítás lehetősége nem csekély.

8. VASVEZETÉS TERVEZÉSE

Az 5. fejezet problémafelvetései között ugyan nem tárgyaltuk, de jelentős megtakarítási lehetőségek rejlenek olyan egyszerűnek tűnő dolgokban is, mint például a vasvezetés tervezése és a tervek részletezettsége.

8.1. Minden keresztmetszetében dolgozó betonacél

A minden keresztmetszetében dolgozó vasalás annyit tesz, hogy a szerkezetben ébredő, hajlítónyomatékból származó húzóerőt egyik vasalási síkból a másik vasalási síkba történő átvezetéssel követjük le. Monolit vasbeton lemezszerkezetei esetén, korábban bevett szokás volt az alsó fővasalás felét a támaszok környezetében ébredő befogási nyomaték felvételére felhajtani.



32. ábra: Folytatólagos többtámaszú monolit vasbeton lemez vasalása felhajlított vasakkal

Folytatólagos többtámaszú monolit vasbeton gerendák esetében a vasak felhajlítása több szempontból is előnyös: egyrészt a vízszintes szakaszok a különböző keresztmetszetekben kialakuló különböző előjelű és értékű nyomatékok felvételében, másrészt a **ferde szakaszok** a támaszok környezetében kialakuló **nyíróerő felvételében** és a repedéstágasság csökkentésében vesznek részt hatékonyan.

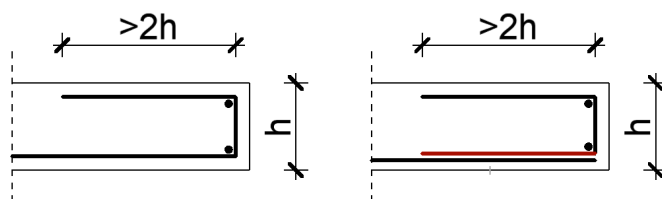
A fenti vasvezetési eljárások napjaink szakmai gyakorlatából „kihaltak”, ugyanis az ipar által megkövetelt gyors tervezés, valamint a felkészültebb vasszerelők igénye kedvezőtlen a rendszer alkalmazása szempontjából.

Ugyanezen elv mentén indult el Polónyi István is, amikor kidolgozta a kéttámaszú tartók nyomatéki ábrát követő vasalási rendszerét (lásd: 2.2.5 Polónyi István).

8.2. Integrált szegővas alkalmazása

A monolit vasbeton lemezszerkezetek peremén „szegővas” kialakítása szükséges, melynek geometriai paramétereit az Eurocode 2 előírásai határozzák meg: Szabad lemezszélek mentén szegő vasalást kell

kialakítani, amely a fővasalás visszagörbítésével vagy kiegészítő U alakú vasalás elhelyezésével történhet az ábra szerint.



33. ábra: Bal oldalon a fővasra „integrált”, felhajlított vasvég, jobb oldalon az „U” alakú szegő, pirossal jelölve a megtakarítható vashossz

A fővas felhajtása, vagyis az integrált szegő alkalmazása a lemezvastagság kétszeresének megfelelő hosszúságú vasalást képes megtakarítani minden vasbetéten. Ez persze bonyolultabb vasalást eredményez, ami magával hozza a felkészültebb vasszerelő alkalmazásának szükségességét.

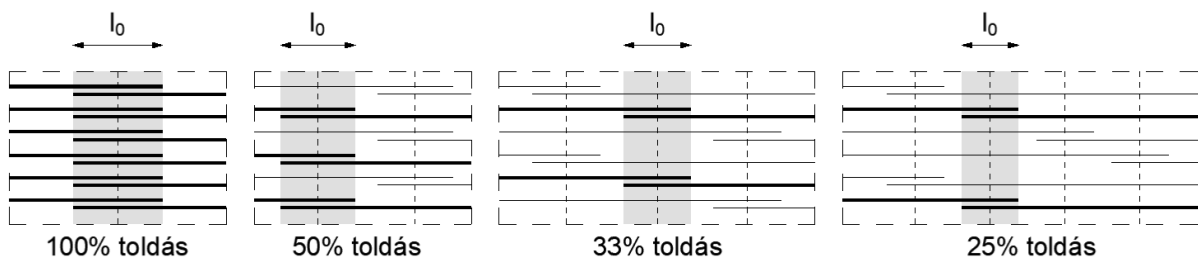
8.3. Betonacélok toldási hossza

A monolit vasbeton lemezszerkezeteknél napjainkban bevett szokás, hogy mind a szerkezet alsó, mind a szerkezet felső síkján alaphálót, majd pótvast szerelnek. Az alsó és felső alapháló esetében a gyakorló mérnökök jelentős része csak folyóméterben (vagy kilométerben...) adja meg a hálós vasaláshoz szükséges vashosszakat, valamint megjeleníti a toldásra vonatkozó szabályokat. Ez általában tartalmazza az egy keresztmetszetben toldható vasak számát, átmérőként a toldási hosszakat, valamint a toldási sávok egymáshoz viszonyított pozícióját, de a toldások pontos helyét általában nem, pedig ez tervezői kompetencia.

A lemez vízszintes síkú méreteiből számítható – toldási hosszakkal növelt – vasmennyiséget a vaskimutatásban jóindulatúan **10 ÷ 15 %** többlet elszámolásával növeli a tervező, különben a kivitelező azt „kevesli”.

A toldási hosszak a 8.3.1 fejezetben ismertetettektől függenek, azonban azt legnagyobb mértékben az egy keresztmetszetben toldott vasak száma befolyásolja, ami a következők szerint alakulhat:

- minden vas toldva
- minden második vas, tehát a vasak 50 %-a toldott,
- minden harmadik vas, tehát a vasak 33 %-a toldott
- minden negyedik vas, tehát a vasak 25%-a toldott.



34. ábra: Betonacélok toldása (100 %, 50 %, 33 %, 25 %)

8.3.1. A toldási hossz számítása az EUROCODE alapján

A betonacélok toldási hosszának meghatározását napjainkban a MSZ EN 1992-1-1:2010 8-as fejezet szabályozza. Tekintettel arra, hogy az alapháló szerelt vasként történő kiosztásával kapcsolatos megtakarítási lehetőséget vizsgálunk, az alábbi számításokat kizárólag „jó tapadású” körülményeket, 32 mm átmérőnél kisebb vasátmérővel készült szerkezetet, valamint teljesen kihasznált betonacélt feltételezve végeztük.

A tapadási feszültség tervezési értéke:

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} \quad 12$$

, ahol:

- f_{ctd} a beton húzószilárdságának tervezési értéke,
- η_1 a tapadási tulajdonságokat és az acélbetét betonozás során elfoglalt helyzetét figyelembe vevő tényező, jó tapadási körülmények között értéke **1,0**,
- η_2 az acélbetét átmérőjét figyelembe vevő tényező, 32 mm betonacél átmérő alatt értéke **1,0**.

A lehorgonyzási hossz alapértéke:

$$l_{b,qrd} = \frac{\varphi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} \quad 13$$

, ahol:

- σ_{sd} az acélbetétben működő húzófeszültség tervezési értéke abban a pontban, ahonnan kezdve a lehorgonyzási hosszát mérik,
- φ a betonacél átmérője.

A számítások az egyszerűsített eljárás szerint [108]:

$$l_b = \frac{\varphi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = c \cdot \varphi \quad 14$$

, ahol c értéke az alábbi táblázat szerint vehető fel:

2. táblázat „c” értékei a lehorgonyzási hossz alapértékének számításához

f_{ck}	C12/25	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/67
500	66	54	47	40	36	32	30	27	25
400	53	43	37	32	29	26	24	22	20
240	32	26	22	19	17	15	14	13	12

A lehorgonyzási hossz tervezési értéke:

$$l_{bd} = \max \left\{ l_{b,eq} \cdot \frac{A_{s,requ}}{A_{s,prov}}, l_{b,min} \right\} \quad 15$$

, ahol:

- $l_{b,eq} = \alpha_a \cdot l_b$ a húzásra kihasznált betonacél lehorgonyzási hossza,
- α_a a lehorgonyzás módját figyelembe vevő szorzó, egyenes vas esetén értéke **1,0**,
- $A_{s,requ}$ illetve $A_{s,prov}$ a lehorgonyzandó szükséges, illetve tényleges vaskeresztmetszeti terület (a törttel az acél kihasználtságát vesszük figyelembe, mivel az acélban ébredő feszültség $\sigma_s \approx f_{yd} \cdot A_{s,requ}/A_{s,prov}$),
- $l_{b,min} = \max \{10 \cdot \varphi, 100mm\}$, a minimális lehorgonyzási hossz,
- l_b a lehorgonyzási hossz alapértéke.

Betonacélok átfedéses toldása esetén a toldási hosszat α_6 szorzóval növelni kell:

$$l_0 = \max \left\{ \alpha_6 \cdot l_{bd}, l_{0,min} \right\} \quad 16$$

, ahol

- α_6 értéke az átfogásos toldás tengelyétől $0,65 \cdot l_0$ távolságon belül toldott acélok arányától függ az alábbi táblázat szerint:

3. táblázat: Az α_6 tényező értékei

Az átfedéssel toldott acélbetétek százalékos aránya az összes acélbetét keresztmetszeti területére vonatkoztatva	< 25 %	33 %	> 50 %
α_6	1	1,15	1,5

$$l_{0,min} = \max \left\{ 15 \cdot \varphi, 200mm \right\} \quad 17$$

A fentiek alapján a betonacélok toldási hossza az alábbiaktól függ:

- Beton szilárdsági osztálya,
- az egy keresztmetszetben toldott vasak aránya (50% - minden második vas; 33% - minden harmadik vas, 25% - minden negyedik vas) [108].

8.3.2. Toldáshoz szükséges acélmennyiség

A fent ismertetett számítási eljárás szerint napjainkban monolit vasbeton szerkezetek építéséhez leggyakrabban használt beton szilárdsági osztályok esetén a 4. táblázat szerint alakulnak a toldási hosszak.

4. táblázat: Toldási hosszak különböző átmérőjű betonacélok esetén [mm]

vasátmérő [mm]	toldott vasak	10	12	14	16	20
folyómétersúly [kg/fm]	aránya*	0,62	0,89	1,21	1,58	2,47
C20/25	50 %	705	846	987	1128	1410
	33 %	546	655	764	873	1091
	25 %	470	564	658	752	940
C25/30	50 %	600	720	840	960	1200
	33 %	464	557	650	743	928
	25 %	400	480	560	640	800
C30/37	50 %	540	648	756	864	1080
	33 %	418	502	585	669	836
	25 %	360	432	504	576	720

* 50%: minden második vas, 33%: minden harmadik vas, 25%: minden negyedik vas toldott

A toldási hosszak csökkentésével elérhető megtakarítás általában a 12,00 m-nél nagyobb vízszintes kiterjedésű szerkezeteknél releváns, ugyanis ezen hossz méret felett betonacél jellemzően nehézkesen beszerezhető. Ennek megfelelően a 12,00 m-nél hosszabb födémek esetén legalább 1 db, ~24,00 métertől legalább 2 db toldási sáv szükséges. Az átfedéssel kialakítására használt vasmennyiség a teljes vasmennyiséghez viszonyított értéke (**toldási vastöbbslet**) tehát 12,01 m széles szerkezetnél a legtöbb (5. táblázat „max” oszlopok), még 2×12,00 – „toldási hossz” lemez szélességénél a legkedvezőbb (5. táblázat „min” oszlopok). Mindennek megfelelően a toldási hosszal megnövel fajlagos vastöbbslet meghatározásánál minimum és maximum értékeket is feltűntettünk.

$$a_{max} = \frac{l_{bd}}{12000} \quad 18$$

$$a_{min} = \frac{l_{bd}}{2 \cdot 12000 - l_{bd}} \quad 19$$

5. táblázat: Toldási vastöbbslet különböző betonminőségű, átmérőjű és toldási arányú esetekben

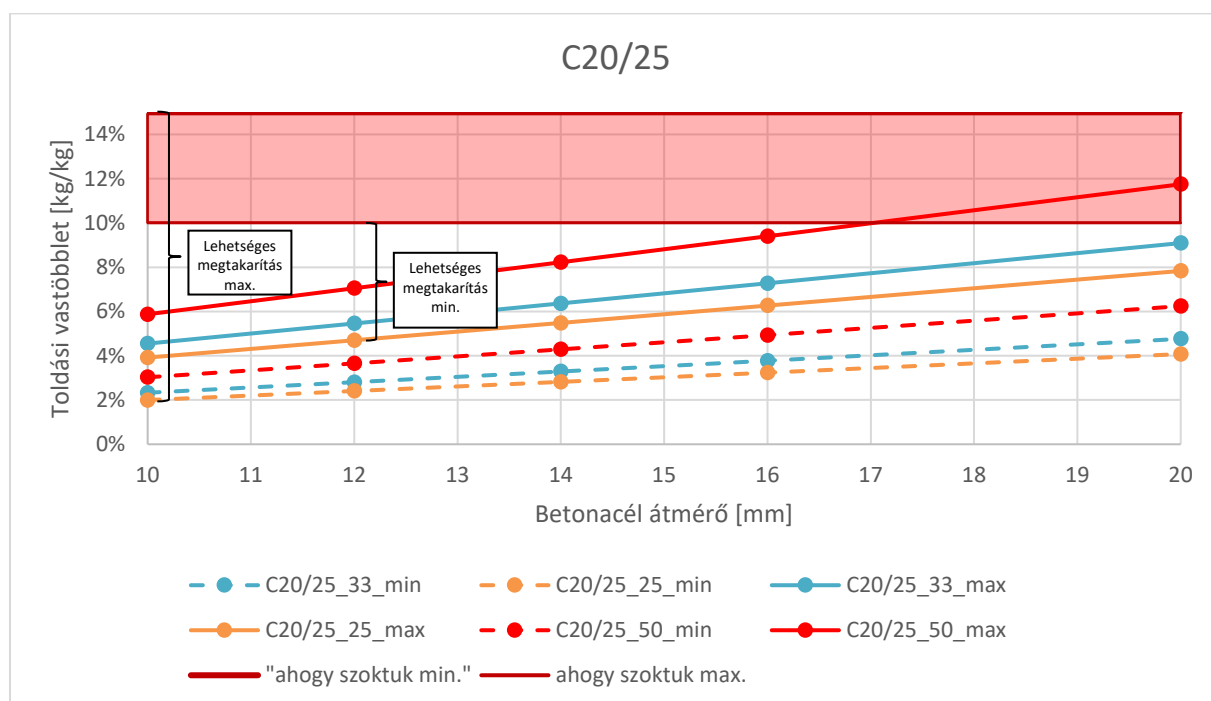
Beton	arány	10		12		14		16		20	
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
C20/25	50%	3,03%	5,87%	3,65%	7,05%	4,29%	8,22%	4,93%	9,40%	6,24%	11,75%
	33%	2,33%	4,55%	2,81%	5,46%	3,29%	6,37%	3,77%	7,27%	4,76%	9,09%
	25%	2,00%	3,92%	2,41%	4,70%	2,82%	5,48%	3,23%	6,27%	4,08%	7,83%
C25/30	50%	2,56%	5,00%	3,09%	6,00%	3,63%	7,00%	4,17%	8,00%	5,26%	10,00%
	33%	1,97%	3,87%	2,38%	4,64%	2,78%	5,42%	3,19%	6,19%	4,02%	7,73%
	25%	1,69%	3,33%	2,04%	4,00%	2,39%	4,67%	2,74%	5,33%	3,45%	6,67%
C30/37	50%	2,30%	4,50%	2,77%	5,40%	3,25%	6,30%	3,73%	7,20%	4,71%	9,00%
	33%	1,77%	3,48%	2,14%	4,18%	2,50%	4,87%	2,87%	5,57%	3,61%	6,97%
	25%	1,52%	3,00%	1,83%	3,60%	2,15%	4,20%	2,46%	4,80%	3,09%	6,00%

A szürke színnel jelölt cellák nem járatos beton szilárdság és acél átmérő kombinációt ismertetnek. A táblázatban szereplő értékek dimenziója m/m.

A fenti táblázat alapján megállapítható, hogy a szakmagyakorlók által legtöbbször alkalmazott $10 \div 15$ % többletvas elszámolás a legtöbb esetben túlzó. A fenti táblázatban szereplő számítási eredményeket diagrammokon is szemléltetjük, melyek a következő ábrán tekinthetők meg.

Az ábrákon $10 \div 15$ % vashossz növekménynél piros sávval jelöltük „ahogy szoktuk” becsülni a *toldási vastöbbletet*. A piros (50%), kék (33%) és zöld (25%) vonalak a különböző toldási elrendezéshez tartozó toldási hosszakat jelöli. A folytonos vonal a maximum, a szaggatott vonal a minimum szükséges fajlagos toldási hosszakat jelölik. Az 50 %, 33 % és 25 %-hoz tartozó vastoldási szükségletek tehát egy adott színnel jelölt két vonal közötti sávba sorolhatók. A lehetséges megtakarítás a pirossal jelölt sáv és az adott kiosztási rendszert (toldási hányad), a betonminőséget, és geometriai paramétert képviselő vonal közötti különbség.

Alul becslésről kizárólag a C20/25 szilárdsági osztály, 50 %-os toldási vashányad és 20 mm átmérőjű betonacél esetén beszélhetünk.



35. ábra: Betonacélok szükséges toldási hossza a geometriából származó hosszakhoz viszonyítva C20/25 betonszilárdság esetén

A fenti ábrát C25/30 és C30/37 szilárdsági osztály esetére is elkészítettük, mely a Függelékben (83. oldal) tekinthető meg.

Tény, hogy a túlbecsült vastoldás esetén a teljes leszállított vastoldási mennyiség általában ténylegesen nem is kerül beépítésre a szerkezetbe, azt, mint hulladék kezelik, jobb esetben a méhtelepre szállítják. Az ilyen mértékű túlbecslés gyakorlatilag azért szükséges, mert alaphálóról készült kiosztási terv nélkül a helyszíni vágásból származó káló mennyisége jelentős. A kivitelezési munkálatok alulbecsült vasmennyiségéből származó időbeni akadályoztatását mindenki kerüli, így érthető, hogy a szakmagyakorlók az ismertettekhez hasonló mértékű becslésekkel élnek.

A fenti lehetőség akkor realizálható, ha a tartószerkezet tervező – akár különszolgáltatásként – kiosztási tervet (minden vas konszignálva) készít az alaphálóról. Ennek megléte a vasszerelő munkáját részben megkönnyíti, mert helyszíni vágást nem kell eszközölnie, a vasszerelés különösebb gondolkodás nélküli, ipari „szerelési” munkára egyszerűsödik. Szem előtt kell azonban tartanunk, hogy napjaink szakmunkásainak és segédmunkásainak összetétele sajnos megváltozott, így az ilyen jellegű tervdokumentációból történő szerelést csak jól felkészült kivitelezőre bízhatjuk!

Ezen a ponton ki kell térnünk a tervezői felelősségre is, ugyanis ahogy egyik kivitelezőn szokta mondani, miközben hiányolja az alapháló konszignációs terveit:

„Azt biztos nem akarjátok, hogy a 6 általánossal rendelkező segédmunkásaim osszák ki a földém alapháló toldási helyeit vagy a talpgerenda hosszvasának toldási helyeit, ugye?”

Lehet töprengeni azon, hogy ez egy felkészületlen, helyszíni vezetőkkel nem rendelkező kivitelező, de a fenti mondat akkor is egy lényegre törő tény. Ahogy az is tény: a műszaki ellenőri tevékenység felelőssége a terv szerinti kivitelezés megvalósulására terjed ki. Ha a tervező helyett, mindenféle terv nélkül a „6 általánossal rendelkező segédmunkás” határozza meg a toldási helyeket, akkor nem beszélhetünk terv szerinti megvalósulásról. Ha a műszaki ellenőr mégis megfelelőnek nyilvánítja az így elkészült armatúrát, a teljes felelősség reá száll. Ebből fakadó károsodás esetén a felelősség megoszlik a tervező, a kivitelező és a műszaki ellenőr között, azonban megszűnik a tervezői felelősség akkor, ha a tervező részletes és konszignált vasvezetési tervet ad ki.

9. TÖBBSZINTES LAKÓ- ÉS KÖZÉPÜLETEK SZERKEZETI KONCEPCIÓI

Napjainkban magánberuházásként leggyakrabban többszintes lakó- és irodaépületek létesülnek. Tekintettel a magasabb teherszintre, valamint az eltérő funkciójú szintek különféle alaprajzi igényére, ezen épületek esetén igen gyakori, hogy a tartószerkezeti rendszer vasbeton anyagú és *pillérváz* rendszerű. Az alábbiakban vázoljuk azon lehetséges tartószerkezeti rendszereket, melyek alkalmazása napjainkban elterjedt.

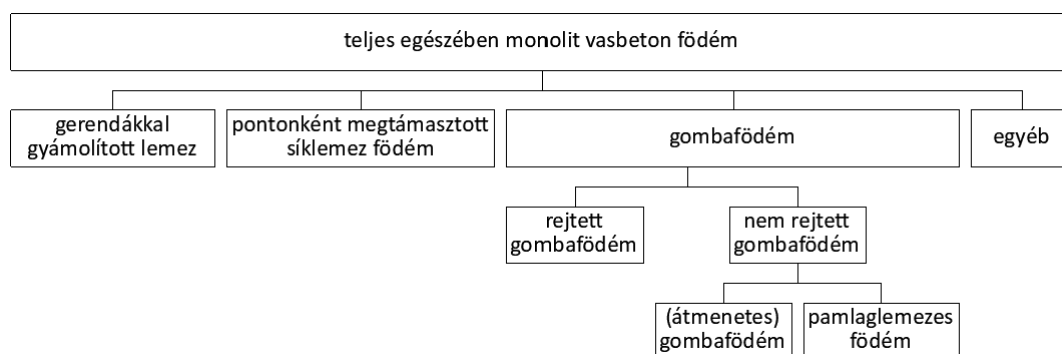
9.1. Pillérváz rendszerű épületek

A mai gyakorlatnak megfelelően a többszintes lakó- és középületek szerkezeti kialakításában legelterjedtebb megoldásként a monolit vasbeton, *pontonként megtámasztott síklemez födém* szerkezetet alkalmazzuk, azonban számos más rendszerű konstrukció alakult ki. Ezen alternatívákat csokorba szedve igyekszünk bemutatni a lehetséges megoldások előnyeit, hátrányait és sajátosságait.

9.1.1. Monolit vasbeton rendszerű pillérváz konstrukciók

Monolit vasbeton szerkezettel létesült konstrukciók esetében az alábbi lehetséges kialakítások terjedtek el. A következő, szerkezeti konstrukciókat bemutató robbantott ábrákon szürke színnel a monolit vasbeton szerkezeteket, kék színnel az acél armatúrákat, még zöld színnel az előregyártott vasbeton szerkezeteket jelöltük.

Az szakkifejezésekben történő eligazodás segítő a monolit vasbeton rendszerű födémekre az alábbi összefoglaló ábrát közöljük:



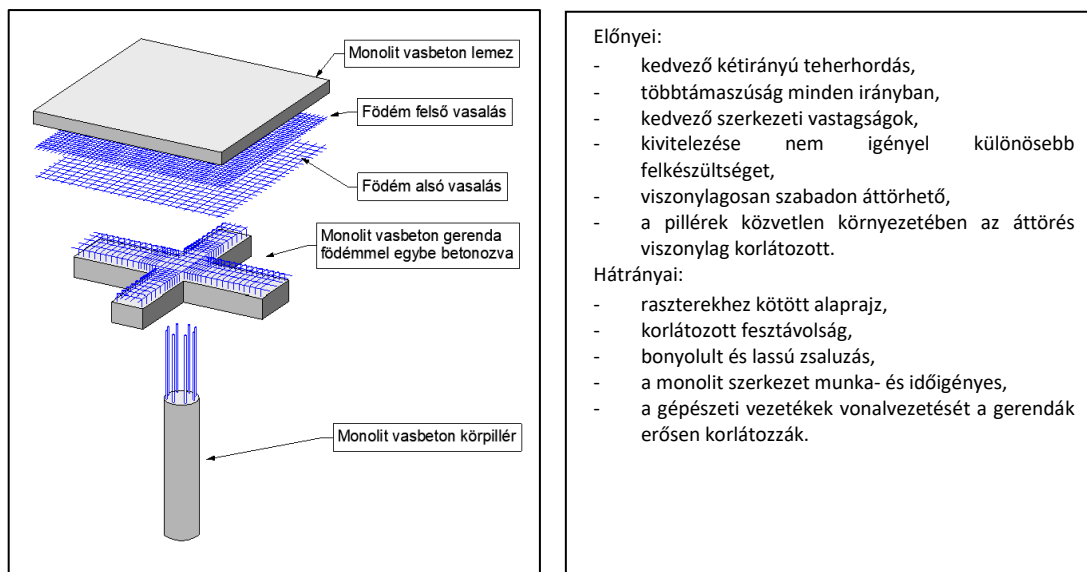
36. ábra: Monolit vasbeton lemezszerkezetek

A *FOGALOMMEGHATÁROZÁS* a fentiekhez kapcsolódó szöveges és képi magyarázatot is tartalmaz.

9.1.1.1. Monolit vasbeton gerendákkal gyámoltott lemez

A *gerendákkal gyámoltott*, monolit vasbeton pillérekkel és falakkal megtámasztott lemezszerkezet napjainkra a megnövekedett gépészeti igények, valamint a gerendák zsaluzásából származó jelentős kivitelezési idő növekménynek köszönhetően már nem „divatos” szerkezeti konstrukció. Alkalmazásuk mind az építés- és gépész szakági tervezőtől, mind a kivitelezőtől kompromisszumot igényel, ugyanis a födém alatti gerendák befolyásolják a belső terek megjelenését, korlátozzák az alkalmazható

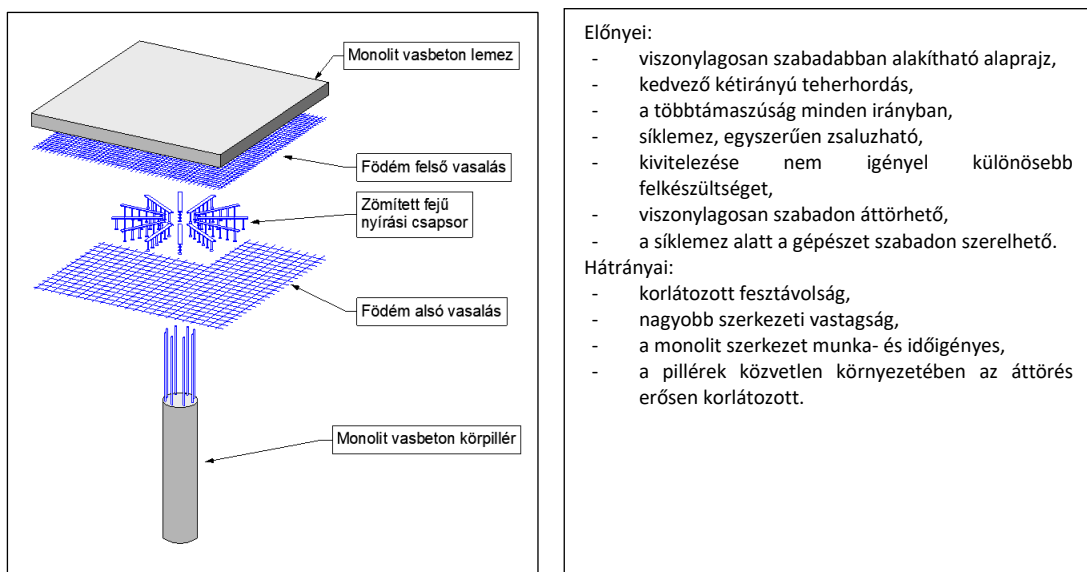
gépészeti vezetékek keresztmetszeti méretét, valamint zsaluzásuk jelentősen megnehezíti és lelassítja a kivitelezési munkálatokat.



37. ábra: Monolit vasbeton gerendákkal gyámolt lemez robbantott ábra, előnyei / hátrányai

9.1.1.2. Pontonként megtámasztott síklemez földém

A *pontonként megtámasztott síklemez földém* gyakorlatilag a ma leggyakrabban alkalmazott szerkezeti kialakítás. Itt a monolit vasbeton pillérekre monolit vasbeton síklemez készül. A viszonylagosan nagyobb fesztávolság miatt a földém szerkezeti vastagsága is nagyobb. A pillérek fölötti lemez átszűrődés megakadályozására speciális vasalás elhelyezése indokolt. Bár áttörések igen rugalmasan elhelyezhetők, de a pillérek és peremek környezetében esetlegesen kialakítandó nyílásnál monolit gerenda beiktatása válik szükségessé, mely zsaluzása megnehezíti és jelentősen lelassítja a kivitelezési munkálatokat.



38. ábra: Pontonként megtámasztott síklemez földém robbantott ábra, előnyei / hátrányai

9.1.1.3. Rejtett gombafejes födém

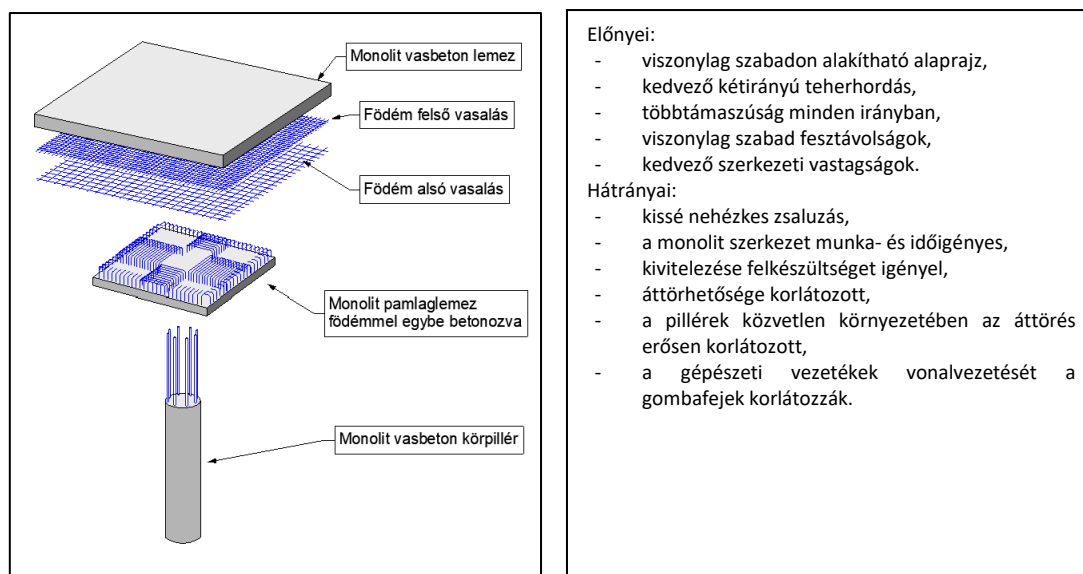
A *rejtett gombafödém* esetén a *pontonként megtámasztott síklemez födémhez* képest változás, hogy ezesetben a merevségi „átmenetet”, valamint a nyírási teherbírást melegen hengerelt merev idomacélból készült, a vasalási síkok közé elhelyezett szerkezet biztosítja. Tekintettel arra, hogy a gyakorlatban ezen kialakítás manapság már nem járatos, további tárgyalását mellőzzük.

9.1.1.4. Gombafejes födém

A *gombafejes födém* esetén a *rejtett gombafödémhez* képest változás, hogy ezesetben a merevségi átmenetet biztosítandó, pillér és a lemez közzé egy fejjel lefelé fordított csonkakúp vagy csonka gúla alakú kiszélesedés, „gombafej” készül. A gombafej zsaluzása a gerendák zsaluzásához hasonló hátrányokkal terheli a konstrukciót, csökkenti a pillérek környezetében kialakítható áttörések lehetőségét, nehezíti a gépészet kialakítását. Tekintettel arra, hogy a gyakorlatban ezen kialakítás manapság már nem járatos, további tárgyalását mellőzzük.

9.1.1.5. Pamlaglemezes födém

A *pamlaglemezes födém* esetében a *gombafejes födémhez* képest változás, hogy ezesetben a merevségi átmenetet biztosító pillérfej kiszélesítés itt egy „lemezszerű” kapcsolati elem vízszintes és függőleges határolósíkokkal. Előnyei és hátrányai hasonlóak a gombafejes födémhez, azonban zsaluzása a függőleges és vízszintes síkok miatt könnyebben kialakítható.



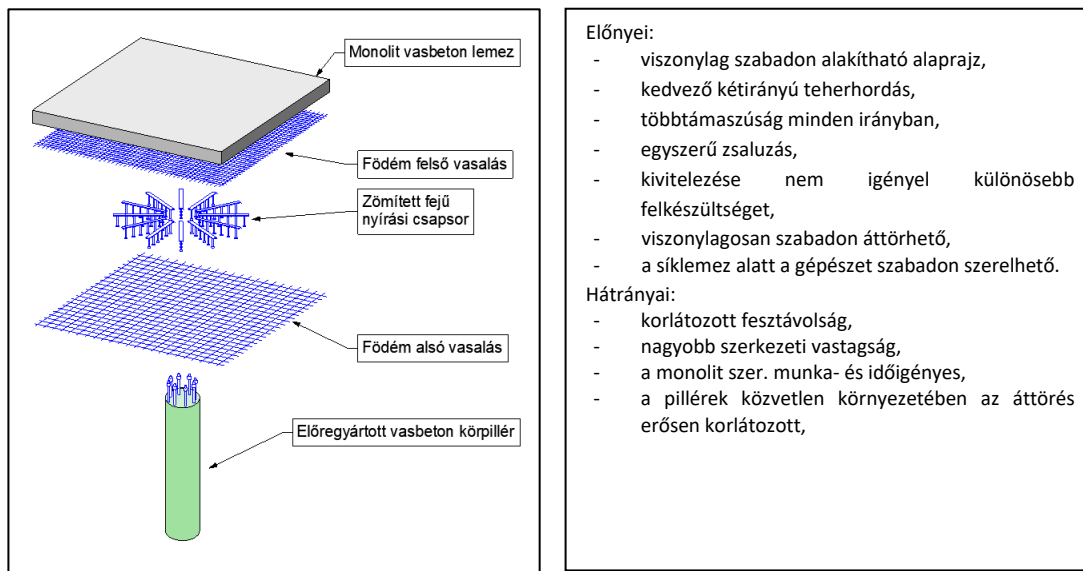
39. ábra: Pamlaglemezes födém robbantott ábra, előnyei / hátrányai

9.1.2. Részben monolit vasbeton, részben előregyártott rendszerű pillérvázak konstrukciók

A megnövekedett számú építési megbízások, a szigorodó előírások és a komplex gazdaságosságra való törekvés új, gyorsabban és pontosabban kivitelezhető szerkezeti rendszerek kidolgozását teszik szükségessé. Ennek megfelelően kell áttekinteni a szerkezeti kialakításokat és a mindnagyobb mérvű előregyártás lehetőségeit.

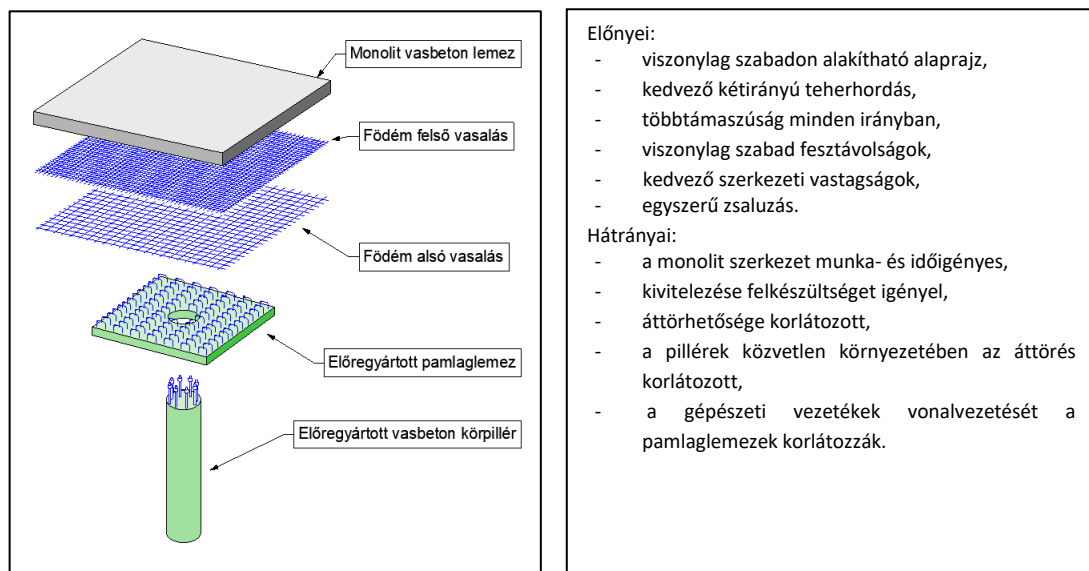
9.1.2.1. Előregyártott függőleges teherhordó szerkezettel készült pillérvázak konstrukció

A tisztán monolitikus pillérekkel megtámasztott *pontonként megtámasztott síklemez födém* szerkezeti kialakításhoz hasonló azzal, hogy szintenként toldott előregyártott pillérekkel és esetleg kéregfal elemekkel készül. A pilléreknél az üzemi előregyártással magasabb szilárdsági osztályú beton alkalmazható, ezzel a pillérméretek csökkenthetők.



40. ábra: Pontonként megtámasztott síklemez födém előregyártott függőleges szerkezettel robbantott ábra, előnyei / hátrányai

9.1.2.2. Előregyártott függőleges teherhordó szerkezetekkel és előregyártott pamlaglemezzel készülő konstrukció



41. ábra: Előregyártott pillérekkel és pamlaglemezzel készülő monolit födém robbantott ábra, előnyei / hátrányai

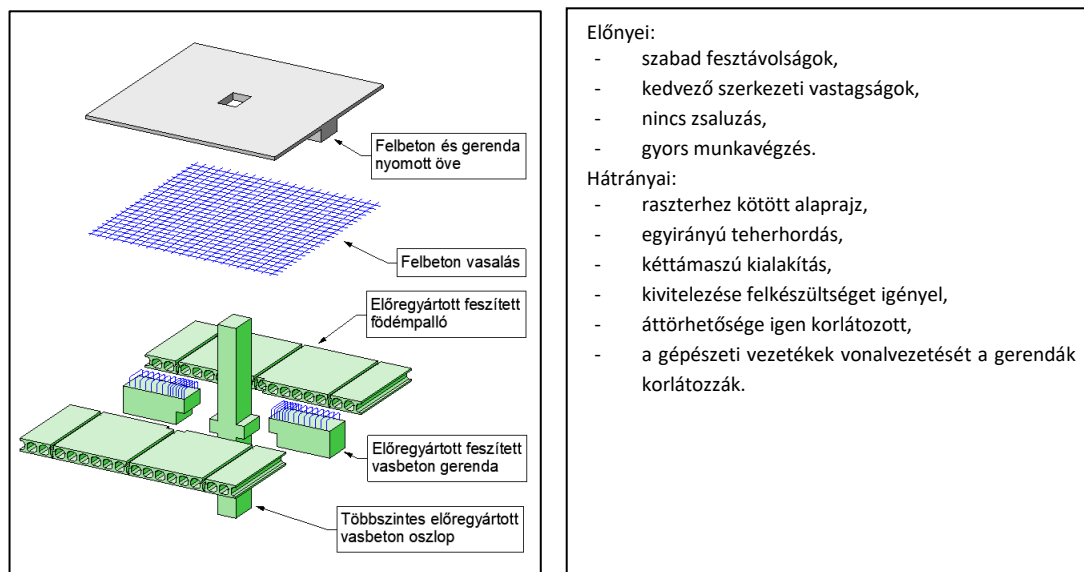
Ez a konstrukció tulajdonképpen a *pamlaglemezes födém* összes előnyét magába foglalja azzal, hogy a *pamlaglemez* előregyártott vasbeton kéreggel kerül kialakításra. A pillér és a pillérfej kéreg előregyártása jelentősen növeli a kivitelezés gyorsaságát, és csökkenti a szerkezeti méreteket. A pilléreknél az üzemi előregyártással magasabb szilárdsági osztályú beton alkalmazható, míg a *pamlaglemez* által csökkentett fesztáv teszi lehetővé a kedvezőbb szerkezeti vastagság megválasztását.

9.1.3. Teljes egészében előregyártott rendszerű pillérvázás konstrukciók

Ennek kialakítása a „süllyesztett, vagy lapos gerendákkal” tulajdonképpen a *pontonként megtámasztott síklemez födémek* előnyeit igyekezik kielégíteni, de a különböző kialakításoknak megfelelő geometriai kötöttséggel, szerkezeti lefoglalásokkal. Igazi előnyük a rendkívül gyors kivitelezés és a teljes előregyártás okozta kisebb szerkezeti méretek, a kedvező terhelési és alakváltozási viselkedés, továbbá az anyagtakarékosság.

9.1.3.1. Előregyártott feszített vasbeton gerenda és körüreges födempalló

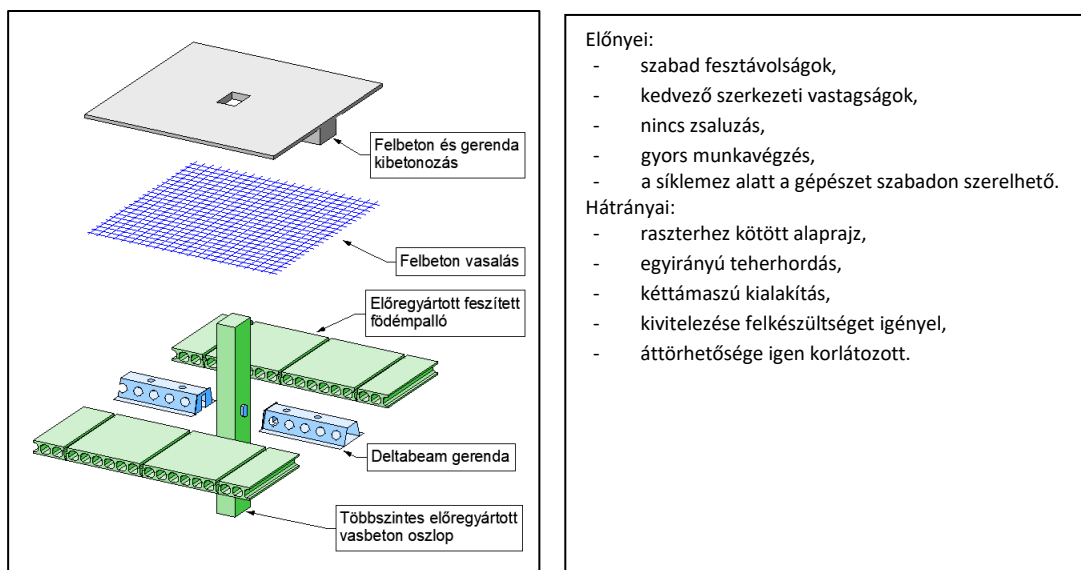
Ebben az esetben a gerendák nyomott övei a födém síkba süllyesztettek és csupán azok födémpanelt tartó „konzoljai” nyúlnak a födém sík alá. A gerendák pillércsatlakozásánál a teherátadást a pillérekre épített rövidkonzolos gallérok biztosítják. Ebben a formában a pillérek akár többszintes kialakítással is egyben gyárthatóak, meggyorsítva a beállítást és helyszíni szerelést. Igazi korlátja a körüreges pallók rendkívül korlátozott áttörési lehetősége, valamint, hogy gerendalefoglalással is számolni kell.



42. ábra: Előregyártott pillérekkel, feszített vasbeton gerendával és körüreges födempallóval készülő konstrukció robbantott ábra, előnyei / hátrányai

9.1.3.2. Acél (deltabeam) gerenda és körüreges födempalló

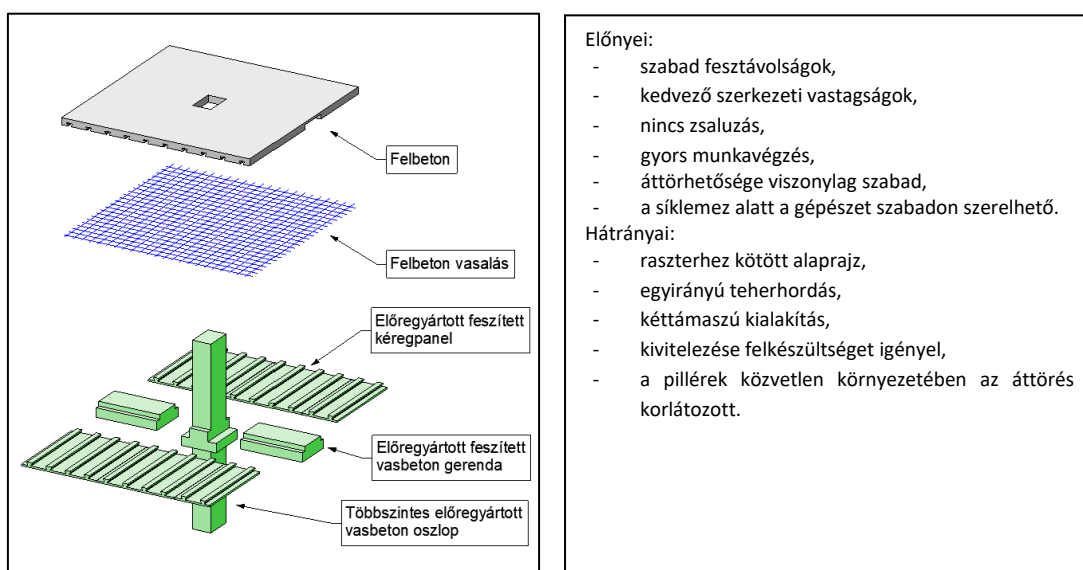
Az előbbivel közel azonos, de a gerendalefoglalással nem kell számolni, az csak az acélgerenda alsóövének vastagsága.



43. ábra: Előregyártott pillérekkel, acél gerendával és körüreges földempallóval készülő konstrukció robbantott ábra, előnyei / hátrányai

9.1.3.3. Előregyártott feszített vasbeton sávos gerendával, feszített bordás kéregpanelekkal

Ebben az esetben a *pamlaglemezes födémhez* hasonló a kialakítás, de pillérsávokban a pillérfejekre ültetett előfeszített sávos gerendákra fekszenek a feszített kéregpanelek. A födémáttörések csak kisebb mértékben korlátozottak és csupán csekély gerendalelógással kell számolni.



44. ábra: Előregyártott feszített vasbeton sávos gerendával, feszített bordás kéregpanelekkal készülő konstrukció robbantott ábra, előnyei / hátrányai

Természetesen számos egyéb korszerű technológiát dolgoztak még ki födém szerkezetek kialakítására, azonban területi okokból kizárólag a hazánkban elterjedt konstrukciók bemutatására szorítkoztunk.

9.2. Pamlaglemezés földem és pontonként megtámasztott síklemez földem összehasonlítása

A fenti földemkonstrukciókból véleményünk szerint a teljes egészében monolit *pamlaglemezés földem*, vagy az előregyártott *pamlaglemezzel* megtámasztott monolit vasbeton lemez konstrukciót előnyeihez képest kevésbé alkalmazzák. Ennek oka, hogy a magyarországi kivitelezők jelentős része „leragadt” a monolit vasbeton szerkezetek készítésénél, előregyártott szerkezetek alkalmazásával szembeni ellenállásuk nagy. Amennyiben monolit vasbeton szerkezetet készítenek, a gerendák, gombafejek és *pamlaglemezek* zsaluzásának sokszor csak vélt nehézségeit igyekeznek elkerülni. Megjegyezzük, hogy monolit *pamlaglemez* esetén annak zsaluzása – főleg, ha a *pamlaglemez* vastagsága 20 cm-es méretlépcső szerinti – lényegesen egyszerűbb, mint gerendák és gombafejek zsaluzása, sőt, előregyártott szerkezetek alkalmazásához szükséges felkészültség megszerzése esetén teljesen kiküszöbölhető.

A fentieknek megfelelően a leggyakrabban alkalmazott, *pontonként megtámasztott síklemez földem*, valamint a *pamlaglemezés földem* anyagigényének összehasonlítását végeztük el.

A témában számos publikáció született, melyek igyekeznek megtalálni a kivitelezési és gazdaságossági szempontokat is figyelembe vevő optimális kialakítást. Dr. Almási József és Jeszenszki István a Vasbetonépítés című folyóirat 2019/3. lapszámában részletesen foglalkozik egy irodaház közbelső földemszerkezetének vizsgálatával az alábbiak betartása mellett:

- A cikk témája a monolit vasbeton *pontonként megtámasztott síklemez földem* és a monolit vasbeton *pamlaglemezés földem* egyenértékű statikai kialakításának vizsgálata.
- Dr. Almási József és Jeszenszki István cikke egyéb lehetőségekkel (egyirányba futó bordás monolit vasbeton lemez, előregyártott fejjel megtámasztott monolit vasbeton földem, öszvérföldem) nem foglalkozik.
- A vizsgálat alapjául egy 8×8 m rasztertávolsággal kialakított, *pillérváz* épületet választottak.
- Az összehasonlítás alapjául szolgáló egyenértékűséget a szabványos követelmények, mint a teherbírás (beleértve az átszűrődást), alakváltozás- és repedéstágasság-korlátozás azonos színvonalon történő teljesítése képezi.
- A *pontonként megtámasztott síklemez földem* lemezvastagságának felvételére a jól bevált 1/28,5 közelítő számításból indultak ki.
- A *pamlaglemez* méretét az oszlopfej körüli nyomatéki nullpontok által meghatározott átszűrődási területbe rajzolt négyzet lemezvastagsággal növelt méreteként rögzítették, mely a fej körüli átszűrődási vasalás szükségességét is kizárja. A közbelső lemez vastagság meghatározását – tekintettel a fej alakváltozására – szigorúbb, 1/24 közelítéssel határozták meg.

A fenti paraméterekből kiindulva azonos alaprajzi elrendezés esetén megvizsgálták a két eltérő kialakítású szerkezeti konstrukció költségeit az alábbi költségtényezőket figyelembe véve:

- beton, acél, átszűrődási csap anyag- és munkadíja,
- zsaluzás és állványozás, betonszivattyú, daruzás, munkahézag képzés és organizációs

többletmunka díja, valamint

- a *pontonként megtámasztott síklemez födém* többlet önsúlyterhéből származtatható alapozási többletköltségek.

A fenti körütekintő számítások alapján a *pontonként megtámasztott síklemez födém* 2018 évi árkalkuláció alapján 33 511 HUF/m² és 41 753 HUF/m² közzé, míg a *pamlaglemezes födém* költsége 33 820 HUF/m² és 43 997 HUF/m² közzé tehető.

Az összehasonlítás végeredményeként kapott HUF/m² árak igen közel esnek egymáshoz, így csak a felhasznált anyagmennyiségek alapján nem lehet egyértelmű döntést hozni, így a szerzők a kivitelezési költségeket befolyásoló egyéb tényezőket is megvizsgálták, melyek az alábbiak voltak:

- építési idő,
- a gépészeti rendszerek kialakításának kötöttebb formája,
- az épület megvalósításához szükséges szakmai tudást
- a tervezett építészeti formát, különösen a homlokzati rendszerhatását
- a statikus tervező tapasztalatát az ilyen típusú épületeknél
- a beruházói gárda tudását és tapasztalatát.

A szerzők úgy vélik, a felsoroltak mindegyike néhány százalékkal befolyásolja az építési költségeket, melyek elsősorban a *pamlaglemezes* kialakításnál növelik a ráfordításokat [109].

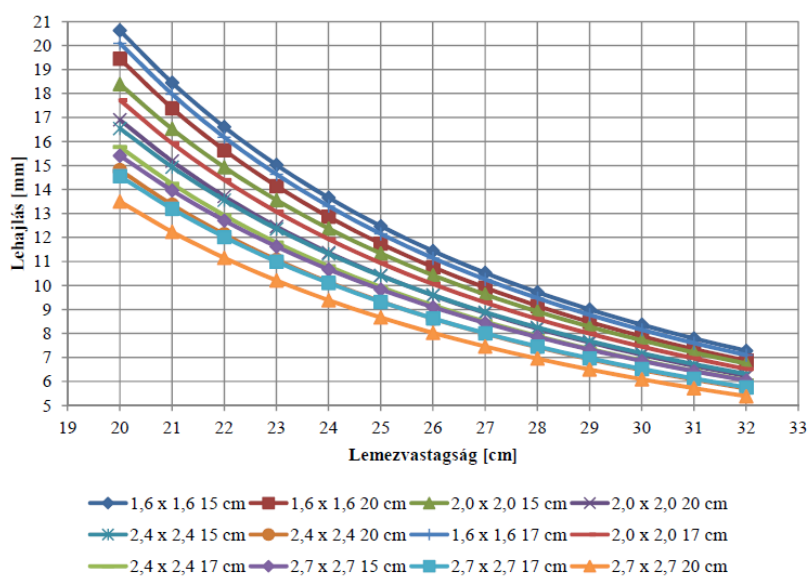
Hasonló témakört feldolgozva, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen Acsády Zsófia készített MSc diplomamunkát, mely kidolgozásában Dr. Koris Kálmán és Polgár László, mint konzulensek segédkeztek. A vizsgálatok során Dr. Almási József és Jeszenszki István publikációjához hasonlóan 8×8 m rasztértávolságú *pillérváz* épületet vettek alapul, változóként az alábbi paramétereket alkalmazták:

- a *pamlaglemez* mérete 1,6×1,6 m, 2×2 m, 2,4×2,4 m és 2,7×2,7 m alaprajzi méretben határozták meg,
- a lemezzavastagságot 20 és 32 cm között vizsgálták 1 cm-es méretlépcsőben

A betonminőség C35/45 szilárdsági osztályt, még az acélminőség B500B anyagminőséget képviselt, a zsaluzási költségek csökkentése érdekében a födémek *pamlaglemezét* előregyártott kivitellel kívánták megvalósítani.

A diplomamunkában elvégzett számítások alapján az alábbi lehajlás - lemezzavastagság diagramot vették fel:

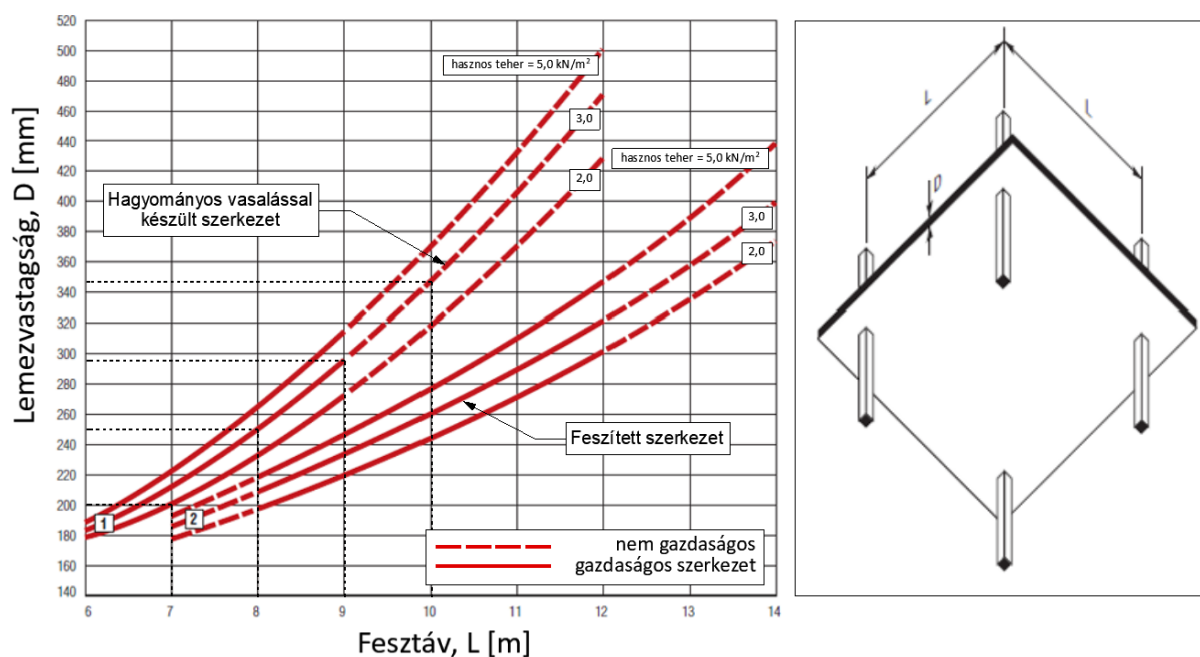
Végeselemes futtatás eredményei: gombafödémek
Lehajlás - Lemezvastagság diagram



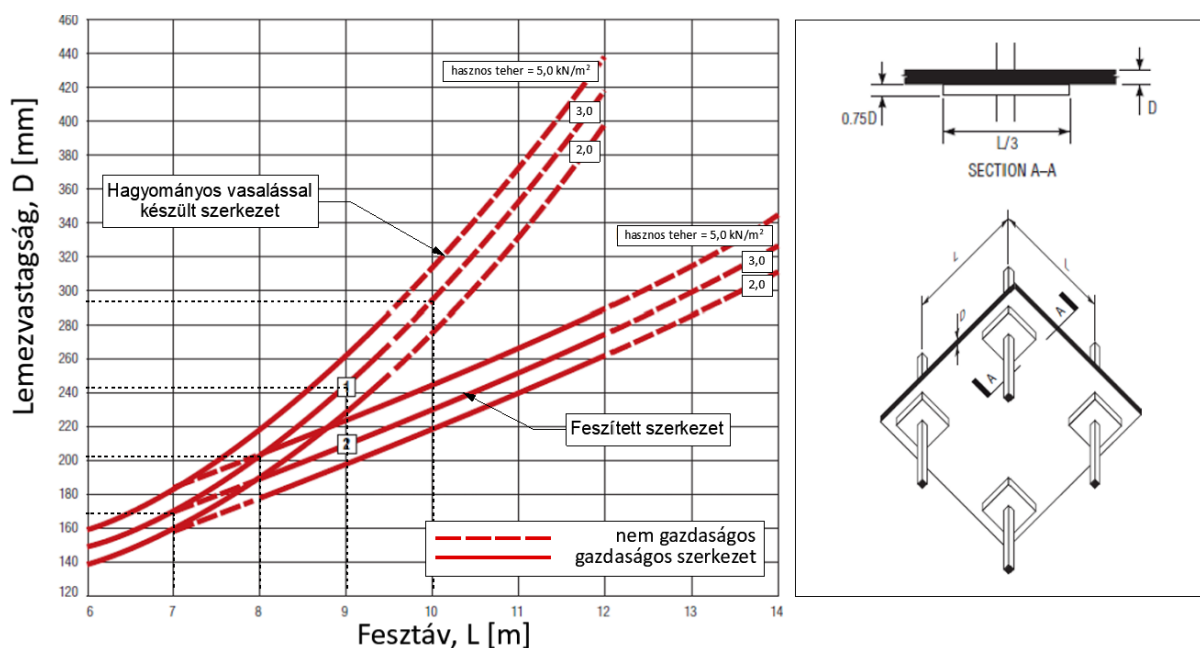
Jelmagyarázat: első két szám a pamlaglemez vízszintes mérete m-ben, harmadik szám a pamlaglemez vastagsága cm-ben.

45. ábra: Lehajlás - lemezvastagság számítások eredményei [110]

A téma területén közelítő számítások elvégzéséhez nyújt segítséget az FDA, Inc. által kiadott Guide to Long-Span Concrete Floors című segédlet [111]. A következő ábrákon ismertetjük a *pontonként megtámasztott síklemez födémek*, valamint a *pamlaglemez födémek* lemezvastagságának közelítő méretfelvételét a fesztáv és a hasznos teher szint függvényében. Az ábrán két görbecsoport került ismertetésre: 1. csoport – hagyományos monolit vasbeton szerkezet, 2. csoport – feszített monolit vasbeton szerkezet.



46. ábra: Pontonként megtámasztott síklemez födém közelítő méretfelvétel [111]



47. ábra: Pamlaglemezes födém közelítő méretfelvétel [111]

Kivitelezőkkel folytatott egyeztetések alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a fenti publikációkban tett kiindulási alapgondolatokon változtatva a számításokat kiegészítjük egy, a kivitelezés szempontjából kedvezőbb konstrukcióból kiindulva. Ennek alapját a kivitelezéskor monolit vasbeton szerkezetként készülő *pamlaglemez* geometriájának 20 cm vastagságban történő rögzítése biztosítja, mely megegyezik a zsaluzat kialakítása során használt H tartó magasságával. Ennek következménye, hogy a *pamlaglemez* zsaluzatának H tartói a födémlemez főtartóiként funkcionálnak, lényegesen csökkentve ezzel a zsaluzási munkák élőmunka igényét.

9.3.Számítási alapelvek

A szakirodalom gondolatmenetét tovább görgetve, kiegészítve azt, az alábbi szempontok alapján meghatározott számítások elvégzésére vállalkoztunk:

Számítási paraméterek:

- anyagminőségek:
 - beton:C30/37 (napjainkban pontonként megtámasztott lemezszerkezetek esetében ezen betonminőséget alkalmazzuk leggyakrabban),
 - betonacél: B500B (a piacon elérhető betonacélok leggyakoribb anyagminősége).
- terhek:
 - burkolat önsúlyterhe: $2,0 \text{ kN/m}^2$ (általános, 15 cm vastag rétegrend lépéshanggátlással, esztrich betonnal és kerámia burkolattal,
 - hasznos teher: $3,0 \text{ kN/m}^2$, parciális teherosztás nélkül, csak totális terhet vizsgálva (irodaépületek esetében rendszeresen alkalmazott teherszint),
 - válaszfalteher $1,4 \text{ kN/m}^2$ (szakmai tapasztalatok alapján általános válaszfal teher

felületen „szétkent” értéke),

- gépészeti terhekkel, lakáselválasztó falak vonalmenti terheivel nem számoltunk.
- geometria:
 - lemezzvastagságok 13 cm lemezzvastagság felett vizsgálva 1 cm méretlépcsővel, a közelítő méretfelvétel szerinti optimális lemezzvastagságok körüli értékekkel számolva. (Az EUROCODE előírásai 20 cm alatti lemezzvastagság esetén nem engednek átszűrődési vasalást alkalmazni, így *pontonként megtámasztott síklemez födémek* esetében a 20 cm lemezzvastagság alatti lemezeket nem megvalósíthatónak tekintjük, de kiértékelésünkben figyelembe vesszük. EUROCODE előírásai 16 cm-nél vékonyabb lemezek esetén négyesű vasalást nem enged, így a *pamlaglemezzel* megtámasztott, 16 cm mezőben értendő lemezzvastagság alatti eseteket nem megvalósíthatónak tekintjük, de kiértékelésünkben figyelembe vesszük.),
 - fesztávok $6 \div 10$ m között változnak 1,0 m méretlépcsővel,
 - az alátámasztást biztosító pillérek kör keresztmetszetűek, átmérőjük általában 60 cm, azonban 10 m fesztávnál már az inkább szükséges 80 cm átmérővel számoltunk,
 - a monolit vasbeton fej magassága egységesen 20 cm, mivel a zsaluzásnál így a *pamlaglemez* fióktartója a lemezmező főtartójaként funkcionál,
 - a fej mérete $1 \div 2$ és $1 \div 3$ arányú, továbbá [109] ajánlása szerint fesztávfüggő (6 m fesztáv esetén 2,1 m, 7 m fesztáv esetén 2,4 m, 8 m fesztáv esetén 2,8 m, 9 m fesztáv esetén 3,1 m, valamint 10 m fesztáv esetén 3,4 m. Megjegyezzük, hogy ez igen közel van [111] ajánlásához, ami a fesztáv harmada).
- modell:
 - a modellezéshez használt háló mérete nem haladja meg a lemezzvastagságból $\phi 12$ fővasat feltételezve számítható „d” (dolgozó magasság) értékét, valamint a 20 cm-t,
 - a szerkezet szimmetriáját kihasználva a pilléreket, és azok fél raszter távolságra eső lemezzszakaszait modellezzük,
 - a lemezzszakaszok peremlein hajlítónyomaték felvételére alkalmas támaszt definiáltunk,
- számítás:
 - a számításokat Axis Vm X7 programmal végeztük el,
 - a födémek modellezésére lemezzmodellt alkalmaztunk,
 - a szükséges vasmenyiségeket teherbírasi határállapotban ULS, használhatósági határállapotban (repedéstágasság) SLS teherkombinációból határoztuk meg,
 - a repedéstágasságokat a beton szélső szálára vonatkoztatva 0,4 mm-ben korlátoztuk,
 - a lehajlásokat a kúszás és zsugorodás hatásának figyelembevételével, nem lineáris számítással, a számított vasmenyiségeket alapul véve, de a beton húzószilárdságát elhanyagolva határoztuk meg.

A fentieknek megfelelően elvégzett számítások eredményeiből azon eredményeket, melyek nem teljesítik a statikai egyenértékűség feltételeit, nem releváns eredményként tüntetjük fel és kizárjuk az összehasonlításból:

- a lemez nyírásra nem bevasalható
- a lehajlás meghaladja az $L/250$ korlátot ($L/250$ túlemelés feltételezésével)
- a lemez hajlításra nem vasalható be
- a pillér vagy a *pamlaglemez* környezetében nyomott vas kell

További megjegyzések a számításokhoz:

Tekintettel arra, hogy számításaink összehasonlító számítások, az alábbi közelítéseket tettük, továbbá a szakmagyakorlás során alkalmazható „fogásokkal” nem élünk:

- Az átszűrődési ellenállás a pillér feletti felső vasalás vasmennyiségének növelésével fokozható, így kisebb lemezvastagsággal is megfeleltethető a *pontonként megtámasztott síklemez földém*, azonban ennek alkalmazása torzítaná a felső vasalási többletet.
- A *pamlaglemez* vízszintes kiterjedésének optimális mérete a pillértávolságoktól függ, azonban a kisebb és nagyobb *pamlaglemez* összehasonlíthatósága érdekében egyes számításainknál 1:2 és 1:3 arányban kötöttük azt meg.
- Az 1:2 és 1:3 *pamlaglemez* arányok $\sim 8\text{m}$ fesztáv esetén optimálisak, nagyobb fesztáv esetén nagyobb kiterjedésű és vastagabb *pamlaglemez* alkalmazása javasolt.
- A számított lehajlások belső mezőközépi lehajlásokat takarnak, a szélső mezőkben, valamint a lemezperemen ébredő nagyobb lehajlásokkal nem számoltunk. Ezen feltevés akkor helytálló, ha az egyenletes raszterkiosztás helyett a szélső mezők rasztertávolsága a közbelső mezők $75 \div 81\%$ -a, vagy a szélső mezőkön kívül eső részen a lehajlásokat és hajlítónyomatékokat kiegyenlítő konzolok készülnek.

9.4.A számítás menete

Az alapszámításokat 5 különböző fesztáv, $4 \div 6$ különböző lemezvastagság és 4 különböző *pamlaglemez* geometria figyelembevételével végeztük, tehát összesen 110 különböző alapesetet vizsgáltunk. A számítási esetek jelében első helyen a fesztávot ($6 \div 10$ m), második helyen a lemezvastagságot ($13 \div 32$ cm), harmadik helyen a *pamlaglemez* magasságának és pillér szélétől mért fél szélességének arányát tüntettük fel (**0** – *pontoként megtámasztott síklemez*, **1:2** arányú *pamlaglemez*, **1:3** arányú *pamlaglemez*, **f(L)** – fesztávkövető *pamlaglemez*), tehát a

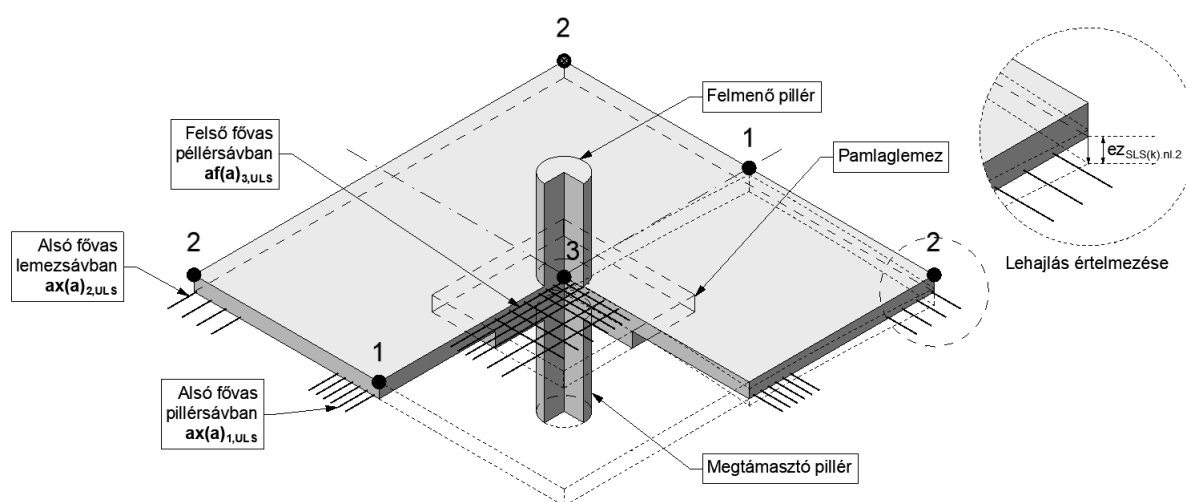
7 | 20 | 1:2

jel a 7m fesztávolságú, 20 cm vastag lemez, 1:2 arányú *pamlaglemezzel* növelt geometriát jelenti.

A „Számítási alapelvek” fejezetnek megfelelően elvégzett számítások a Függelékben (85. oldal) ismertetett folyamat szerint készültek.

Dokumentált számítási eredmények:

- számított vasmennyiség támasz feletti nyomatékból pillérsávban, lineáris számításból
- számított vasmennyiség mezőközépi nyomatékból pillérsávban, lineáris számításból
- számított vasmennyiség mezőközépi nyomatékból lemezsávban, lineáris számításból
- lehajlás számított vasalás, kúszás és zsugorodás figyelembevételével nemlineáris számításból
- átszűrődási vasalás mennyisége
- nyomott vasalás támasz felett



48. ábra: Definiált pontok és számítási eredmények

Az a vizsgált geometriai eseteket és azok jelölését a függelékben ismertetjük

9.5.Számítási eredmények kiértékelése

A megfogalmazott megfeleléségi kritériumok szerint értékelt számítási eredmények összefoglaló táblázatát (6. táblázat) az alábbiakban közöljük. A táblázat értelmezését segítő megjegyzések:

- A piros színnel jelölt cellák tartószerkezeti szempontból nem megfeleltethető, nem releváns számítási eredmények.
- A zöld színnel jelölt cellák az ismertetett terhelésre minimálisan alkalmazandó lemeztavastagságú konstrukciókat tartalmaznak.
- A sárga színnel jelölt cellák „túlméretezett” lemeztavastagságú eseteket tartalmaznak.
- A szerkesztési szabályok miatt nem megfelelő (minimális lemeztavastagság átszűrődési vasalás alkalmazásakor, minimális lemeztavastagság négysíkú vasalás alkalmazásakor) esetek a piros vastag vonal felett helyezkednek el.
- A piros vonal feletti zöld színű cellák ugyan szerkesztési szabály miatt nem megfelelő geometriájú konstrukciókat takarnak, de elméletileg bevasalhatók, kellő merevséggel rendelkeznek, így a mennyiségek összehasonlító számításai során figyelembe vettük azokat.
- A statikailag egyenértékű, összetartozó eseteket kék nyíllal jelöltük.

6. táblázat: Tartószerkezeti egyenértékű esetek, lehajlások [cm]

V	síklemez					1:2 arányú fej					1:3 arányú fej					Fesztáv függő fej				
	0	0	0	0	0	1:2	1:2	1:2	1:2	1:2	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3	f(L)	f(L)	f(L)	f(L)	f(L)
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
13											7					6,2				
14						6,8					6					5,4				
15						6					5,3					4,8				
16						5,3	8,8				4,7	8				4,3				
17	6					4,7	7,9				4,3	7,2					6,2			
18	5,4					4,3	7,1				3,8	6,4					5,6			
19	4,8					3,9	6,4					5,9					5,1			
20	4,4	6,9					5,8					5,3					4,7	6,9		
21	4	6,3					5,3	6,1				4,9	7,6				5,6	6,3		
22	3,6	5,7						7,5					7					5,9		
23						5,3		6,9					6,5					5,5		
24						4,8	7,1						6						7,3	
25						4,5	6,6						5,6	8,1					6,8	
26							6,2	8,6					5,2	7,6					6,4	
27							5,8	8,1						7,2					6	8,1
28							5,4	7,6						6,7	9					7,7
29								7,1	9,4					6,3	8,5					7,3
30								6,7	8,9					6						6,9
31								6,3	8,4						7,6					
32									8						7,4					
33									7,6						6,6					
34									7,2											

JELMAGYARÁZAT		
	Nem bevasalható, vagy nyomott vasat igénylő, vagy túlzott lehajlású geometria	nem felel meg
	Legkisebb lemeztavastagság, mely minden tekintetben megfelel	megfelel
	Minden tekintetben megfelelő geometria	megfelel
6,2	Kúszás és zsugorodás figyelembevételével, nemlineáris számítással meghatározott lehajlás megfelel az L/250 lehajlási korlátnak L/250 túlemelés alkalmazása mellett [cm]	megfelel
8,6	Kúszás és zsugorodás figyelembevételével, nemlineáris számítással meghatározott lehajlás nem felel meg az L/250 lehajlási korlátnak L/250 túlemelés alkalmazása mellett sem [cm]	nem felel meg
→	Tartószerkezeti egyenértékűnek tekintett esetek	
—	Szerkesztési szabályoknak meg nem felelő esetek határvonala	

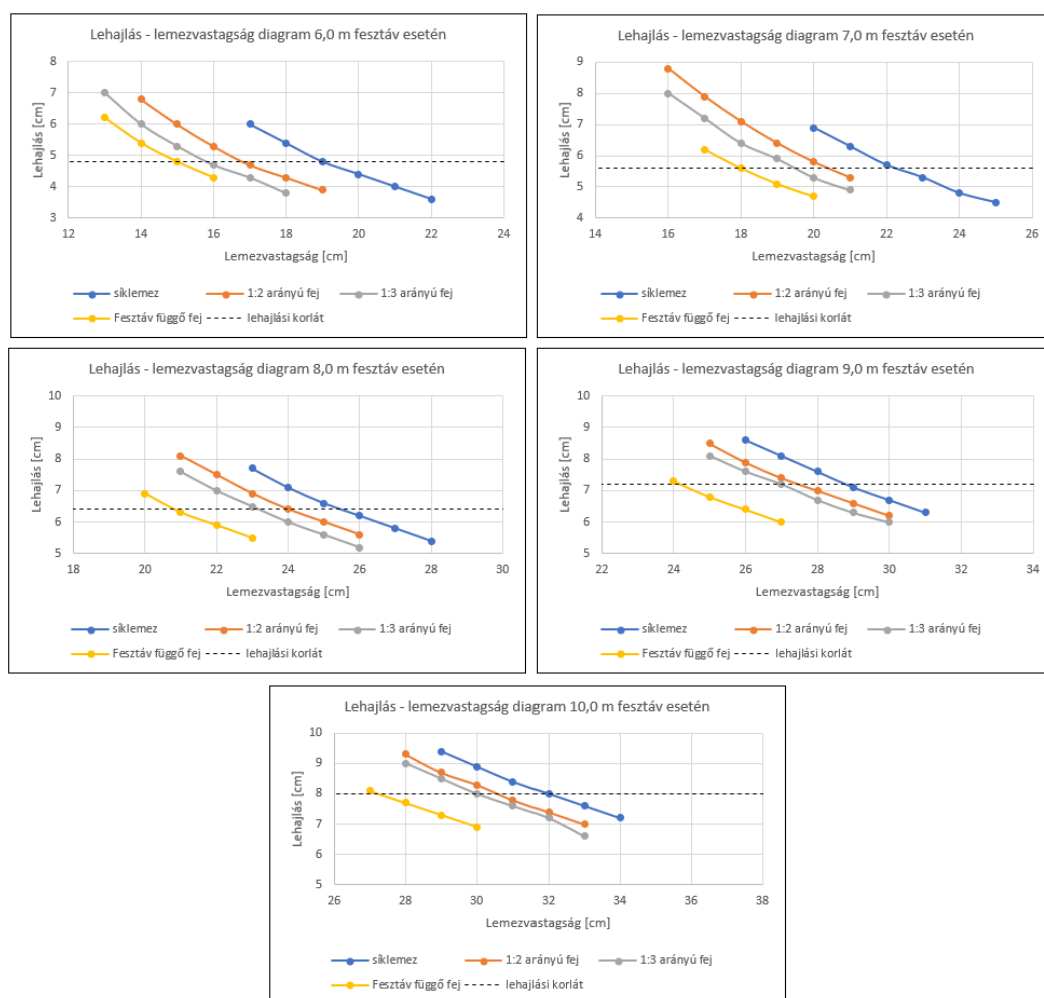
Tekintettel arra, hogy a vasmennyiség számítások az ULS teherkombinációban számított, valamint az SLS kombinációban repedéstágassági korlátok betartása mellett számított értékén alapulnak, a tartószerkezeti egyenértékűség definiálása értelemszerűen az azonos lehajlást jelenti.

Ennek megfelelően az összehasonlítás alapjául első lépésben meghatároztuk a legkisebb lemezvastagságot, ami az alapkritériumok betartása mellett első esetben megfelel sík lemez födém esetén. Ezen lemezvastagságból számolt lehajlások értékeit alapul véve megkerestük a közel azonos lehajlást produkáló 1:2 és 1:3 arányú, valamint fesztávfüggő *pamlaglemez* födémekhez tartozó eseteket.

Megjegyezzük, hogy a lehajlási korlátok diszkrét mivolta, valamint a lemezvastagságok cm-re történő kerekítése miatt a következő diagramok némelyike a várakozásokkal ellentétes eredményre vezetett, melynek oka: 8 m fesztáv esetén az L/250 (L/250 túlemelést is figyelembe véve) lehajlási korlát 6,4 cm, mely épp a 24 cm lemezvastagságú, 1:2 *pamlaglemez* arányú konstrukció lehajlási értékével egyezik meg, tehát az megfelel. Az 1:3 arányú, 23 cm lemezvastagságú konstrukció lehajlása 6,5 cm, tehát éppen nem felel meg, így az összehasonlítások során ez esetben is a 24 cm vastag lemezkonstrukciót vagyunk kénytelenek számításba venni.

Ebből kifolyólag például a szükséges betonmennyiségek összehasonlításakor 8 m fesztáv és 1:3 *pamlaglemez* esetén kisebb megtakarítás mutatható ki, mint 1:2 *pamlaglemez* esetén, ami a kerekítések nélkül ellenkező eredményre vezetne.

A számítási eredményekből képzett lehajlás – lemezvastagság diagramokat a 49. ábra szemlélteti:



49. ábra: Összes lehajlás – lemezvastagság diagram

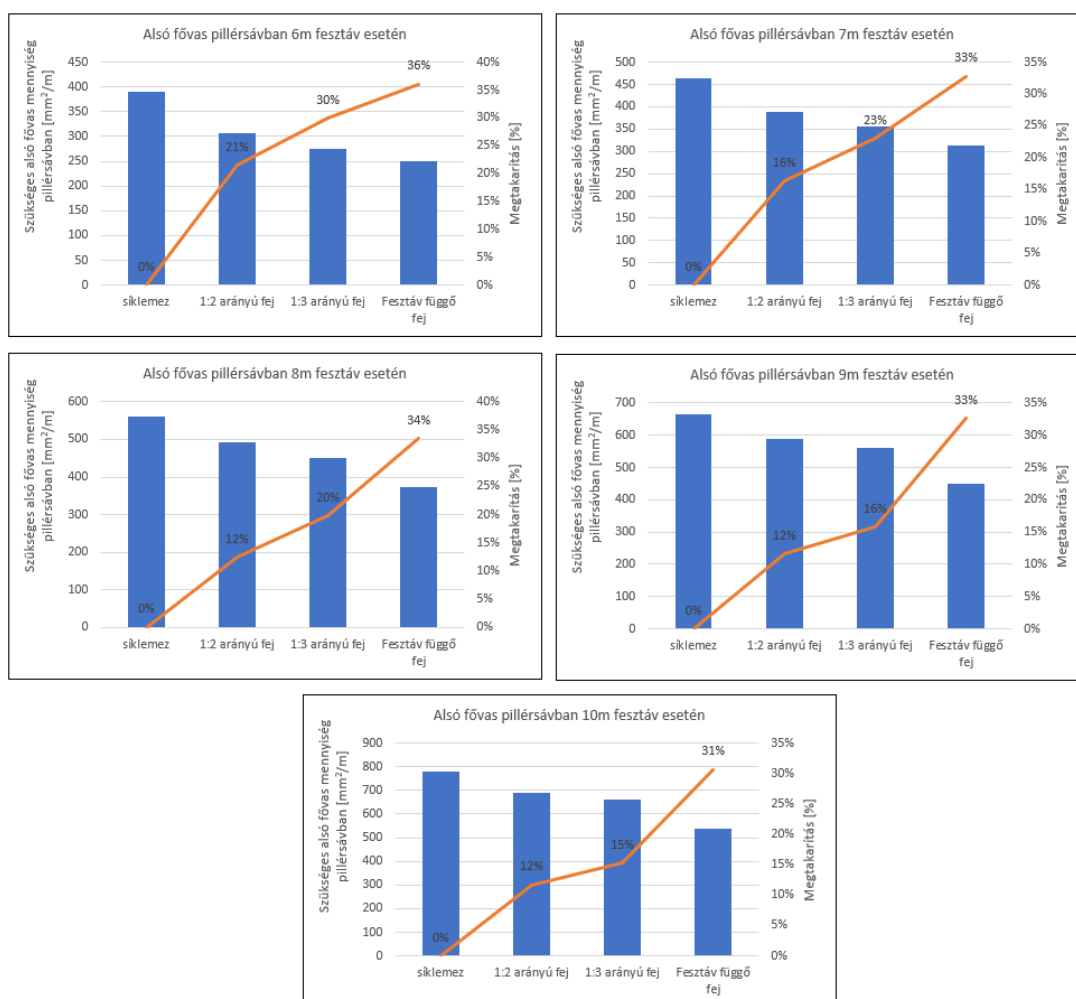
A fenti ábrákon fekete szaggatott vonallal jelöltük az adott fesztávhoz tartozó (túlemelés figyelembevétele melletti) lehajlási korlátot. Tartószerkezetileg egyenértékű eseteknek a lehajlási korlátot alulról közelítő geometriákat tekintettük, így rendre

- 6 m fesztáv esetén 19, 17, 16, és 15 cm lemeztavastagságok,
- 7 m esetén 23, 21, 20, és 18 cm lemeztavastagságok,
- 8 m esetén 26, 24, 24 és 21 cm lemeztavastagságok,
- 9 m esetén 29, 28, 27 és 25 cm lemeztavastagságok,
- míg 10 m esetén 32, 31, 30 és 28 cm lemeztavastagságok bizonyultak egyenértékűnek.

9.6. Megtakarítások a számítási eredmények alapján

Az elvégzett számítási eredményeket összefoglalandó előállítottuk az 1:2, 1:3 és fesztávfüggő méretű *pamlaglemezes födémek* alkalmazásával elérhető vasmennyiség szükségleteket és megtakarításokat, valamint a szükséges beton mennyiségét ismertető diagramokat a vizsgált fesztáv tartományon.

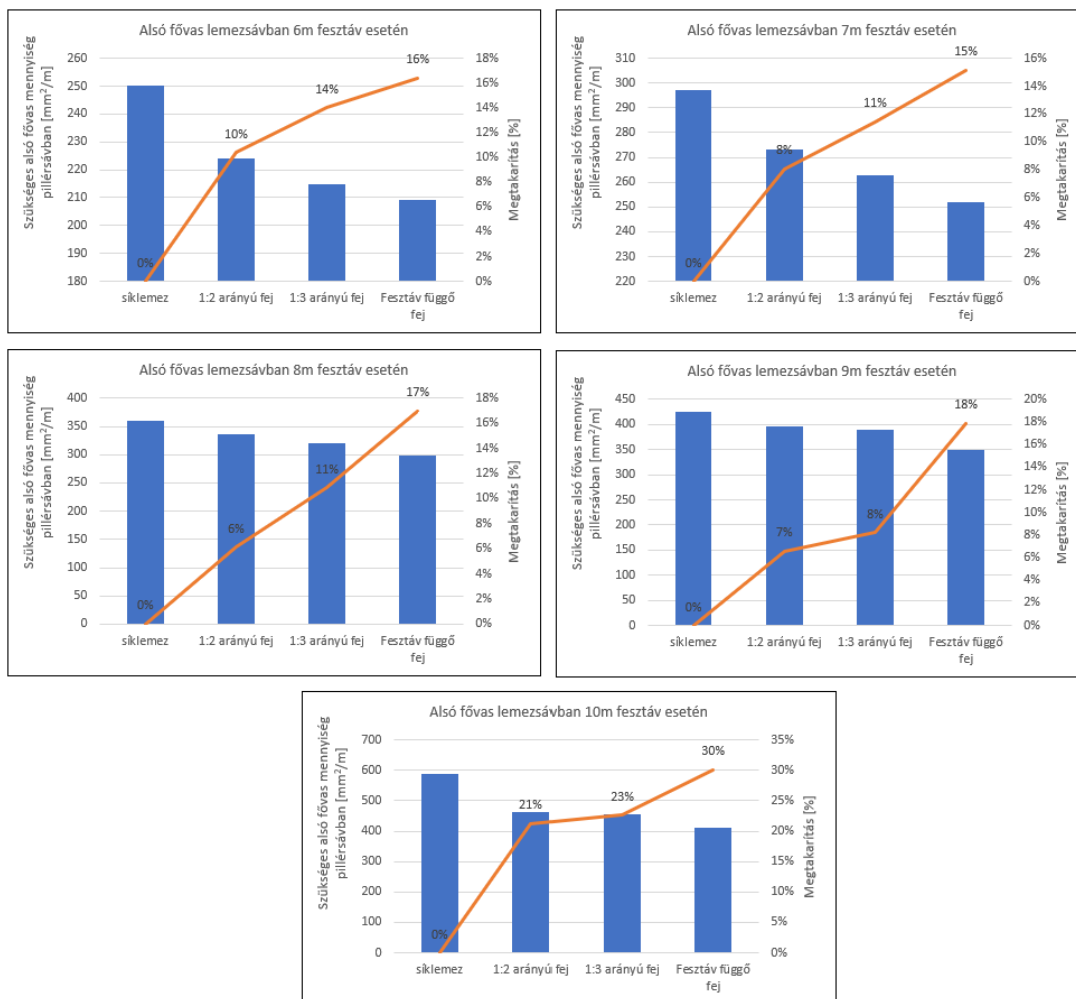
Az 50. ábra az egyes geometriákhoz tartozó alsó szükséges vasmennyiséget ismerteti pillérsávban (48. ábra, 1. jelű pont), fesztávonként bontva.



50. ábra: Szükséges alsó fővas mennyiség pillérsávban és megtakarítás

A fenti ábra alapján megállapítható, hogy a *pamlaglemez* merevségnövelő, ezzel alakváltozás csökkentő hatásának köszönhetően 1:2 arányú fej esetén minimum 12 ÷ 21 %, 1:3 arányú fej esetén 15 ÷ 30 %, fesztávkövető fej alkalmazása esetén közel az alsó vasalás harmada takarítható meg. Megállapítható továbbá, hogy nagyobb fesztávok esetén a kötött 1:2 és 1:3 arányú *pamlaglemez* már nem csökkenti hatékonyan az alsó fővas mennyiséget pillérsávban, célszerűbb a fesztávfüggő fejméret alkalmazása.

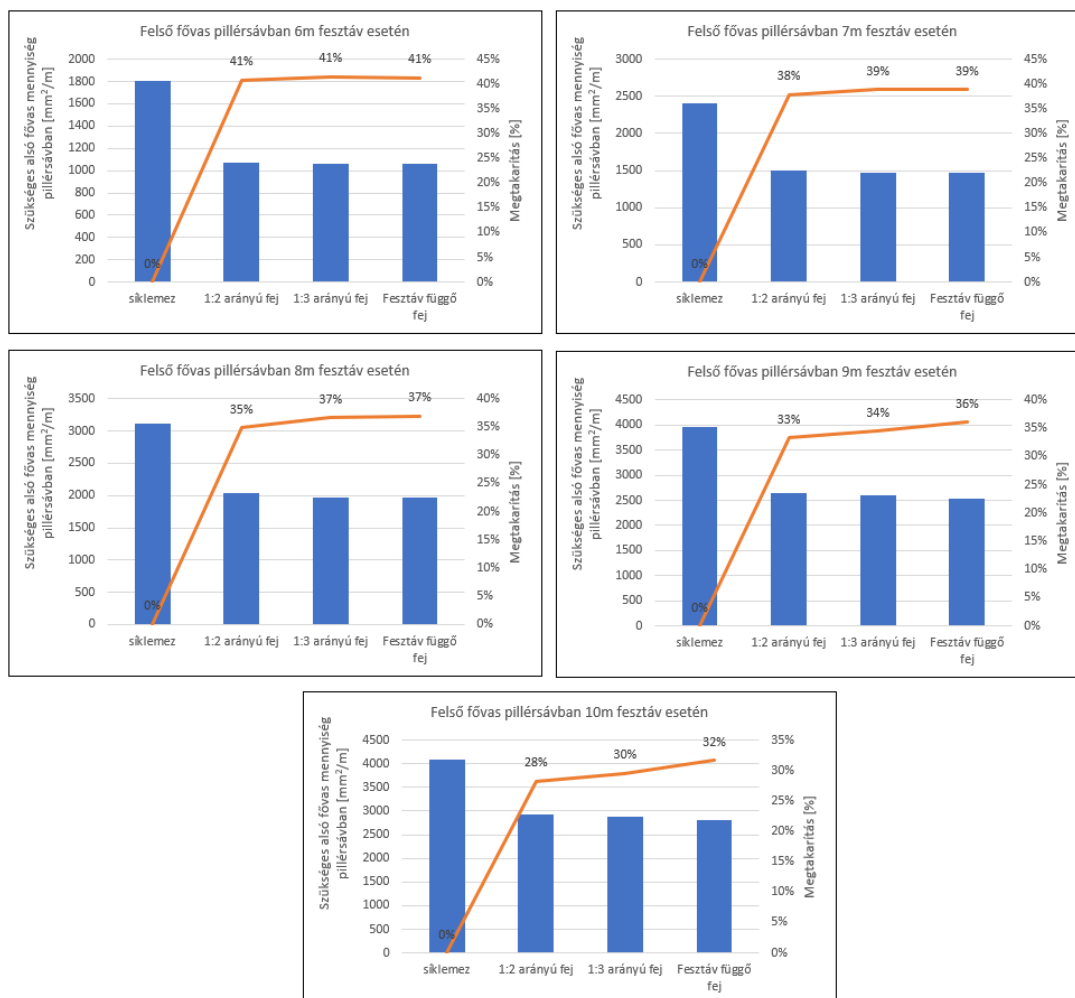
Az 51. ábra az egyes geometriákhoz tartozó alsó szükséges vasmennyiséget ismerteti lemezsávban (48. ábra, 2. jelű pont), fesztávonként bontva.



51. ábra: Szükséges alsó fővas mennyiség lemezsávban és megtakarítás

A fenti ábra alapján megállapítható, hogy a *pamlaglemez* merevségnövelő, ezzel alakváltozás csökkentő hatásának köszönhetően 1:2 és 1:3 arányú fej esetén minimum 6 %, maximum 23 %, fesztávkövető fej alkalmazása esetén 16 ÷ 30 % közötti megtakarítás érhető el első lemezsáv vasalása tekintetében. Az előző ponthoz képesti kisebb megtakarítások a *pamlaglemez* és a 2. jelű pont közötti nagyobb távolságnak köszönhetők. Megállapítható továbbá, hogy nagyobb fesztávok esetén a kötött 1:2 és 1:3 arányú *pamlaglemez* már nem csökkenti hatékonyan az alsó fővas mennyiséget lemezsávban, célszerűbb a fesztávfüggő fejméret alkalmazása.

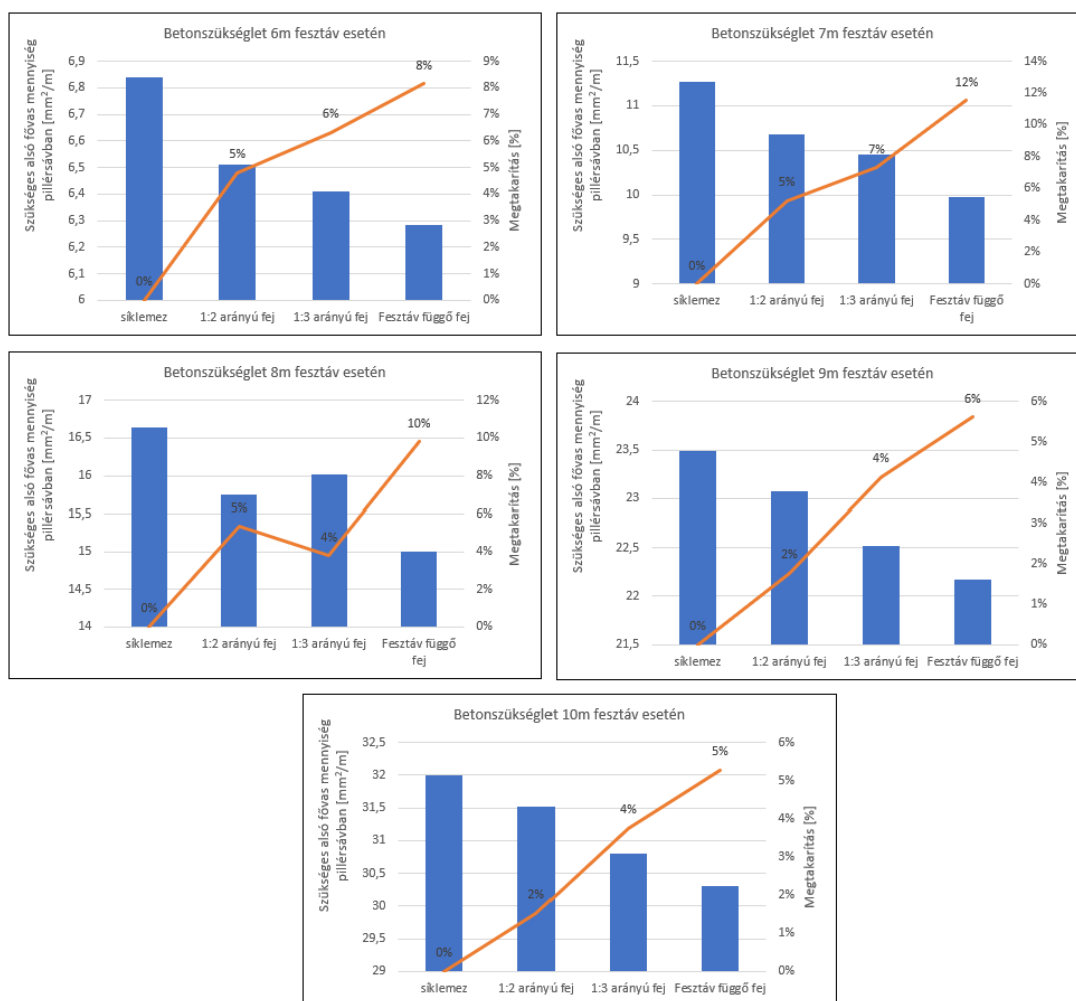
Az 52. ábra az egyes geometriákhoz tartozó felső szükséges vasmennyiséget ismerteti a pillér felett (48. ábra, 3. jelű pont), fesztávonként bontva.



52. ábra: Szükséges felső fõvas mennyiség pillér felett és megtakarítás

A fenti ábra alapján megállapítható, hogy a *pamlaglemez* vizsgált helyen lemezvastagság (ezzel belsõ erõ kar) növelõ hatásának köszönhetõen *pamlaglemez* alkalmazásával minimum 28 %, maximum 41% megtakarítás érhetõ el a vizsgált fesztáv tartományon. Megállapítható továbbá, hogy ezen megtakarítás mértéke jelentõsen nem függ a *pamlaglemez* vízszintes geometriai kiterjedésétõl.

Az 53. ábra az egyes geometriákhoz tartozó szükséges betonmennyiségeket ismerteti.



53. ábra: Szükséges betonmennyiség és megtakarítás

A fenti ábra alapján megállapítható, hogy a *pamlaglemez* merevségnövelő, ezzel alakváltozás csökkentő hatásának köszönhetően 1:2 és 1:3 arányú fej esetén minimum 2 %, maximum 6 %, fesztávkövető fej alkalmazása esetén 5 ÷ 12 % közötti megtakarítás érhető el a vizsgált fesztáv tartományon. Fontosnak tartjuk megjegyezni, hogy ezen anyagmegtakarítás több szempontból is előnyös, hiszen a beton anyag-, és bedolgozási költségén felül a megtakarítással arányosan az alapozási költségek is csökkennek.

Jelen Tanulmánynak ugyan nem tárgya, de a jövőben tervezzük számításainkat kiterjeszteni különböző *pamlaglemez* vastagságok esetére is. Későbbi munkánk során összefüggéseket kívánunk meghatározni a gazdaságos *pamlaglemez* geometria felvételére, mely a geometrián túl figyelembe veszi a szaluzási többletet, valamint a szalu – beton – betonacél anyag és munkadíj arányát.

Ahogy azt Dr. Almási József és Jeszenszki István a Vasbetonépítés című folyóirat 2019/3. lapszámában is kiemeli, a két konstrukció közötti gazdasági eltérés pusztán a felhasználandó anyagmennyiségek közötti különbséggel nem deklarálnak. Ugyanakkor az egyéb, nehezen számszerűsíthető befolyásoló tényező számbavételénél szem előtt kell tartani, hogy a monolit vasbeton *pamlaglemez* esetében

kialakuló zsaluzási többletköltség a *pamlaglemez* geometriájának kivitelezési szempontokat is figyelembe vevő megválasztásával jelentős mértékben csökkenthető.

A *pontonként megtámasztott síklemez födém* konstrukció ellen szól az ilyen jellegű épületek csökkent merevsége, melynek hátrányairól és veszélyeiről a szeizmikus hatásokra történő viselkedést tárgyaló „Effects of slab types on the seismic behavior and construction cost of RC buildings” című cikk részletesen értekezik [112].

Ahogy azt a számítási eredmények is reprezentálják, a nagyobb merevségű *pamlaglemez* esetén jelentősebb anyagmegtakarítás érhető el. Ebből következik, hogy a pillérfej környezetének merevségét valamilyen módon megnövelve ugyanazon hatás érhető el, mint monolit vasbeton *pamlaglemez* esetén. Ez kis hatékonysággal elérhető a monolit vasbeton szerkezetbe ágyazott merev idomacél betétek elhelyezésével, de biztosítható előregyártott *pamlaglemezzel* is. Itt említendő meg **Polgár László** a területen végzett munkássága, mely kimerítően foglalkozik az előregyártott vasbeton *pamlaglemezek* kialakításainak lehetőségeivel [31] [113].

Az átszűrődési vasalás napjainkban legelterjedtebb kialakítása kovácsolt, zömített fejű nyírócsapokkal történik, melynek gyártástechnológiája megdrágítja a végterméket, ugyanakkor az csak az átszűrődési erő pillérre közvetítésében segédkezik, a *pamlaglemezhez* hasonló merevség növelő – és ezáltal vasmennyiség csökkentő, valamint ridegtörést kiküszöbölő – hatása nincs.

A fentiek tükrében új kutatási területként rajzolódik ki a nehezen mozgatható, nagy szállítási és daruzási költségű előregyártott vasbeton-, vagy megnövekedett zsaluzási költségű monolit vasbeton *pamlaglemez* helyett előregyártott acél együttdolgozó – öszvér – *pamlaglemez* alkalmazásának lehetősége.

10. KONCEPCIONÁLIS TERVEZÉS

A koncepcionális tervezés a tervezési folyamat első lépcsője, mely az egész mérnöki alkotásra meghatározó kihatással van.

A témával kapcsolatban Dezső Zsigmond XXXVII. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia – ÉPKO konferenciakiadványban terjedelmes publikáción keresztül [114] mutatja be magát a koncepcionális tervezést, annak helyzetét napjainkban, végül iránymutatást ad a fiatal generációnak a konstrukciós tervezés által képviselt értékek megtartására. Jelen Tanulmányban meg sem próbáljuk összefoglalni a szerteágazó gondolatmenetet, pusztán kiragadjuk abból Tanulmányunk mondanivalójához kapcsolódó elveket, ezért buzdítjuk az érdeklődő Olvasót a teljes publikáció megismerésére.

A szerkeszettervezés ideális folyamata az építészeti alapgondolatok mentén, az építésszel közös munka során egy a végleges formához folyamatosan közelítő iterációs folyamat, melynek főbb állomásai:

- program: a projekt célkitűzéseinek, az épület jellemzőinek és a tervezési célok meghatározása.
- elképzelés: **a meghatározó szerkezeti koncepció kidolgozása**
- modellezés: a statikai váz felvétele, a tervezett valóság absztrakciója, modellek felépítése az erők elemzéséhez és számításához
- méretezés: a keresztmetszeti méretek meghatározása az anyagok választásától és kombinációjától függően
- részletezés: feldolgozás, a csomópontok és csatlakozások végleges részletezése, beleértve a szerkezeti rajzokat is

A koncepcionális tervezési szakasz az elképzelés vagy létrehozás szakasza, mely az útkeresésről szól, mikor is meghatározásra kerül az épület alapformája és kiválasztódnak a főbb épületrendszerek. Az ekkor hozott döntések az épület egészére nézve meghatározó jellegűek, és **sokkal nagyobb mértékben érintik az épület költségét**, mint bármi más, vagy akár a részletes tervben meghozott döntések többsége [114].

A koncepcionális tervezés szellemisége – köszönhetően többek közt a rendszerváltás környékén széthullott nagy tervezővállalatok eltűnésének, valamint napjaink oktatási rendszerének – kihalni látszik, a tartószerkezeti rendszerek konstruálását kevesen végzik. Leggyakrabban az építész geometria „tartószerkezeti ellenőrzése, méretezése” zajlik szolgai módon a konstruktóri munka előnyeinek ignorálásával.

Napjainkban leggyakrabban a fentebb felsorolt 5 fázisból gyakorlatilag 2 – 2,5 lépést végez a tartószerkeszettervező, igen ritka eset az, amikor a tervezési célok meghatározásába, valamint a tartószerkezeti rendszer alapjainak determinálásába (anyaghasználat, rendszer optimális felépítése) egyáltalán bevonják a tartószerkezet tervezőt.

Tekintettel arra, hogy a fentieken túl az építész tervező és a szakági tervező közötti kommunikáció minimális szinten tartása is felelős a kialakult helyzetért, beruházói és műszaki ellenőri szempontból előremutató intézkedés már a tervezési fázis elejétől (előkészítő szakasz és nem engedélyezési szakasz!) rendszeres kooperáció előírnyása.

Ez természetesen nem nyújt azonnali megoldást a problémára, hiszen szakterületek szétválásán és viszonylagos elszigetelődésén túl a koncepcionális tervezés elsorvadásának további előidézője az oktatási rendszerben keresendő, a mester – tanítvány viszony eltűnése a szakmából, és sok egyéb tényező, melyre a beruházói oldal nincs ráhatással. A beruházó egyet tehet: a koncepcionális tervezési feladat végrehajtására alkalmas, kellő szakmai tapasztalattal rendelkező konstruktort bíz meg, ügyelve arra, hogy a kivitelező – beruházó – építész tervező – szakági tervező „csapatban” a konstruktőr egyenrangú félként, szakmai és gazdasági szempontokat is figyelembe véve alapozza meg a projekttel kapcsolatos műszaki döntéseket, hozzájárulva ezzel a kompromisszumokon alapuló optimális produktumhoz.

A szerkezeti koncepció kidolgozásának olyan együttműködési folyamatnak kellene lennie, amelynek során a szerkezeti szükséglet, az esztétika és a funkcionális hasznosság ellentétes követelményeit működőképes és lenyűgöző egésszé szintetizálják.

Tanulmányunk *5.3 Építészeti* fejezetében tárgyalta teljes egészében, *5.4 Helytelenül felmért megrendelői igények*, valamint *5.5 Kivitelezői igények* fejezetében tárgyalta részben a koncepcionális tervezés nyújt megoldást, vagy biztosít iránymutatási lehetőséget a tervezési és kivitelezési folyamatok egyéb résztvevői számára.

Az optimális eredményt megközelítő alkotás létrejöttének további feltétele, hogy mind a beruházó, mind a műszaki ellenőr kerüljön bevonásra a tervezési folyamat kezdetétől, ismerje meg az egyes lehetőségek részleteit, véleményezze azokat, és az összes releváns információ ismeretében hozza meg a projekt kimenetelét befolyásoló döntéseit.

11. MEGÁLLAPÍTÁSOK, JAVASLATOK

A cementgyártás kirívóan nagy klímalábnyoma az eredményes beavatkozás lehetőségével kecsegtet, mely út több számba vehető csapás mentén is járhatónak tűnik. Egyrészt korszerűsíthető a gyártástechnológia, másrészt részben vagy teljesen helyettesíthető alacsony előállításkori károsanyag kibocsátású anyagokkal a cement, harmadrészt racionalizálható annak felhasználása. Az első folyamat tekintetében a XXI. század eltelt két évtizede jelentős előrelépést hozott, azonban az anyagtudományi fejlesztések még nem érték el a kívánt eredményt. A fenti két útkeresés számottevő pénzügyi és szellemi tőkét igényel, azonban Tanulmányunk rávilágít: a harmadik út „csupán” az építőipar szereplőinek szemléletváltását, valamint az abból fakadó elvek következetes betartását és betartatását követeli meg. Tekintettel arra, hogy a víz után legnagyobb mennyiségben használt anyagunk a beton, ezen belül is a vasbeton, a környezetünkért való küzdelem feltétlen részét kell képezze felhasználásának észszerűen alacsony szinten tartása. Tanulmányunk megállapításai tehát ezen gondolatmenet mentén olyan javaslatokat adnak, melyek jelentős egyéb ráfordítások igénye nélkül mérséklik a beépíteni szükséges anyagok és az élőmunka mennyiségét.

A betontechnológia fejlődésének rövid ismertetését követően, az 5. fejezetben igyekeztük csokorba szedni azon befolyásoló tényezőket, melyek szakmai tapasztalataink alapján jelentős pazarlást eredményeznek a beton-, és vasbeton szerkezetek létesítése során, tehát irracionális cementfelhasználást indukálnak. Ezek a következők:

- szilárdság és tartósság,
- építésszervezés - koncepció,
- megrendelői igények,
- kivitelezői igények,
- szabványkörnyezet,
- vasvezetés tervezés.

Ezt követő fejezeteink a fenti felsorolás egyes pontjait részletesen tárgyalva széleskörű ismeretekkel ruházzák fel az Olvasót, elősegítve azt, hogy tisztán átlássa az egyes befolyásoló tényezők jelentőségét, a probléma felismerésével formálva önmaga és környezete szemléletét.

11.1. Cement felhasználását racionalizáló megállapítások

11.1.1. Szilárdság és tartósság

A korábbiakból világos, hogy ezen két fogalmat kézenfekvő együtt kezelni, ugyanis a szilárdság – részben – befolyásolja a tartósságot, másik szempontból megközelítve: a vasbeton szerkezet megkövetelt tartóssága a szilárdság növelésével biztosítható. A 6. *Tartósság* fejezetben ismertettük a használati élettartam mintaszabvány lehetőségeit. A tartószerkezetek teherbírási és használhatósági határállapotban történő ellenőrzése esetén már bevezetésre került a félvalószínűségi, más néven osztott biztonsági tényező eljárás. Ezen eljárás a napjainkban alkalmazott tartóssági követelmények teljesítését biztosító előírások használatához képest részletesebb, a valóságot kisebb bizonytalansággal lekövető, így „megengedőbb” szemlélete alapján az alábbi javaslatokat tesszük:

1. ***Javasoljuk az osztott biztonsági tényező eljárás bevezetését beton-, és vasbeton szerkezetek tartóssági követelményekre történő megfelelésének vizsgálatára kiterjeszteni, alapul véve a Használati élettartam mintaszabványt.***
2. ***Javasoljuk a teherbírási okokból a környezeti (kitéti) osztályok által megkövetelt minimális szilárdsági osztálynál legalább 2 osztállyal magasabb szilárdsági osztályú betonból készülő vasbeton szerkezetek esetében a betonfedés mérséklését akár a Használati élettartam mintaszabványban foglaltak, akár egyéb kidolgozott táblázatok Nemzeti Alkalmazási Dokumentumban történő bevezetésével.***
3. ***Azon vasbeton szerkezeteknél, ahol az alkalmazott betonfedés lényegesen meghaladja a környezeti (kitéti) osztályok által megkövetelt betonfedést, javasoljuk a felhasznált beton minimális szilárdságának csökkentését akár a Használati élettartam mintaszabványban foglaltak, akár egyéb kidolgozott táblázatok Nemzeti Alkalmazási Dokumentumban történő bevezetésével.***

Tanulmányunk 7. Tartószerkezetek tartósságának vizsgálata konkrét példákon keresztül fejezetében az előzőekben indított gondolatmenetet tovább fűzve ismertettünk néhány megvalósult szerkezetet. Ezen építmények a tervezett használati élettartamon túl, különösebb javítási költség és károsodás nélkül látták el funkciójukat, ezzel is alátámasztva fenti megállapításainkat.

Bemutatásra kerültek olyan szerkezetek is, melyek esetében a használati élettartam lejárása előtti, tartószerkezeti szempontból kifogásolhatatlan épületek bontása mellett döntött a beruházó. Ezen épületek esetében az alábbi javaslatot tesszük:

4. ***Javasoljuk a meglévő – és kielégítő állapotú – szerkezetek bontása előtt azok hasznosíthatóságát célzó hatások készítését, különös tekintettel az állami- vagy önkormányzati tulajdonú és üzemeltetésű épületek és építmények esetén.***

11.1.2. Konceptcionális tervezés elősegítése

Ahogy azt az 5.3. *Építész*, valamint a 10. *Konceptcionális tervezés* fejezetben részletesen kifejtettük, a tartószerkezetekhez kapcsolódó ráfordítások mértéke jelentős részben a tartószerkezet tervező és az építész tervező közös munkájának függvénye. Javasatainkat kizárólag beruházói oldalról megközelítve fogalmaztuk meg. Nyomatékosítjuk azonban, hogy a konceptcionális tervezésre alkalmas mérnöki szemlélet kialakítása és megtartása érdekében egyéb, a következőkben felsoroltaktól lényegesen messzebbre mutató, oktatási módszerek foganasítása is szükséges.

5. ***Javasoljuk, hogy a beruházó és a műszaki ellenőr a tervezési fázisok kezdetétől, tehát már a projekt célkitűzéseinek, az épület jellemzőinek meghatározásakor, valamint a tervezési célok rögzítésekor vonja be a tervezési folyamatba a tartószerkezet tervezőt. Írjon elő rendszeres kooperációt az építész, statikus és gépész tervezők részvételével, számon kérve a tervezési célok szakágankénti és együttes teljesülését.***

Az 5.3. *Építész* fejezethez kapcsolódóan az alábbi, tartószerkezeti rendszerek ráfordításigényét jelentősen megnövelő elgondolásokat igyekeztünk csokorba szedni:

6. ***Javasoljuk az alábbi építészeti megoldásokat kerülni a koncepció kialakításakor:***
 - a. ***egymás feletti pillérek és falak tengelyének eltolása,***

- b. ferde tengelyű pillérek és falak kialakítása,*
- c. eltérő merevségű szintek kialakítása jellemzően az alsó szinteken a merevítőfalak elhagyásával, merevítőkeretre történő cseréjével,*
- d. túlzott méretű konzolok alkalmazása,*
- e. jellegéből fakadóan szimmetrikus teherre aszimmetrikus geometria alkalmazása.*

Szakterületünk annyiban tér el a matematikától, hogy nálunk elképzelhetetlen: „az egyenletnek nincs megoldása”. Nálunk mindenre van megoldás, **nade milyen áron?** Ezek általában költséges, legtöbbször a funkcionális igények betartására tett kísérletek eredményezte kényszermegoldások. A konstruktóri munka során kellő energiabefektetéssel, valamint egy felkészült és együttműködő tervezőcsapat munkájával ezek kigyomlálhatók. Kellő információval szükséges ellátni a beruházót a döntési fa minden egyes ágának megismerése érdekében, elősegítve az optimális döntés létrejöttét.

7. Javasoljuk továbbá törekedni az alábbiak betartására:

- a. rasztermérek tartószerkezeti rendszerhez történő optimalizálása, vagyis a szélső raszterek méreteinek csökkentése, vagy szélső mezőn túli konzolok alkalmazása,*
- b. merevítőfalak olyan kiosztása, hogy a tömegközéppont és merevítőrendszer súlypontja (merevségi súlypont) közötti távolság minimalizálása.*

Ha a beruházói igények helyes felvételénél, valamint a koncepció meghatározása során már figyelembe vesszük ajánlásainkat, optimális tartószerkezeti rendszer valósítható meg.

11.1.3. Pamlaglemezes födém alkalmazásával elérhető beton megtakarítás

A 9.2 Pamlaglemezes födém és pontonként megtámasztott síklemez födém összehasonlítása fejezetben ismertetett számítási eredményekkel a pamlaglemezes födém gazdaságosságát alátámasztva az alábbi, cementfelhasználásra vonatkozó megállapításokat és javaslatokat tesszük:

- 8. Megállapítjuk, hogy a pamlaglemez merevségnövelő, ezzel alakváltozás csökkentő hatásának köszönhetően 1:2 és 1:3 arányú fej esetén minimum 2 %, maximum 6 %, fesztávkövető fej alkalmazása esetén 5÷ 12 % közötti beton megtakarítás érhető el a vizsgált fesztávtartományon.**
- 9. Javasoljuk, hogy olyan pillérvázis szerkezeteknél, ahol a funkció és a szintmagasság azt lehetővé teszi (álmennyezet vagy garázsszint esetén) a pontonként megtámasztott síklemez födémek helyett akár előregyártott, akár monolit pamlaglemezes födém kerüljön alkalmazásra.**

11.1.4. Előregyártott szerkezetek alkalmazásának előtérbe helyezése

Tanulmányunk részletes kalkulációkat az előregyártott szerkezetek alkalmazásának gazdaságosságára vonatkozásában ugyan nem tartalmaz, azonban ahogy az a szakirodalomban is fellelhető, a komplex költségek tekintetében a minél nagyobb számban alkalmazott előregyártott szerkezeti elem alkalmazása célravezető. Ez igaz még arra az esetre is, ha a technológia alkalmazása érdekében egy látszólag magasabb árszintet, de ezzel együtt kellő felkészültségű kivitelezőt kell választani. A helyes döntést egy komplex, minden felmerülő költséget figyelembe vevő kalkuláció igazolhatja. Ennek

tükrében bátorítjuk a beruházót legalább a szükséges költségkalkulációk elvégzésére az előregyártott – monolit technológia alkalmazásának kiválasztásánál.

11.1.5. Városi főmérnök, városi főmérnökség intézményének bevezetése

A 4. számú javaslat kellő szintű körüljárása és betartatása érdekében – a városi főépítési és tervtanácsi szervezetekhez hasonlóan – megfontolandó a városi főmérnök vagy városi főmérnökség intézményének bevezetése a városi főépítész mintájára.

10. Javasoljuk a városi főmérnök vagy városi főmérnökség intézményének bevezetését.

Javaslatunk nemcsak a fent említett problémára nyújt megoldást, ilyen jellegű szervezet tevékenysége számos tekintetben javítaná az esetenként kellő információ ismeretét és megfelelő szintű szakmai előkészítést nélkülöző döntések meghozatalából fakadóan szakmai szemmel átgondolatlanok tűnő, gyakran a szükségesnél magasabb költségeket igénylő projekteket.

11.2. Betonacél felhasználását racionalizáló megállapítások

11.2.1. Vasvezetés tervezése

A 8. *Vasvezetés tervezése* című fejezetben ismertettünk néhány, napjainkra már részben kikopott, takarékos vasvezetést, melyek beruházói, esetleg műszaki ellenőri indíttatásra képesek jelentősen mérsékelni tartószerkezeteink acélbetét igényét. Ezzel kapcsolatban az alábbi javaslatokat fogalmazzuk meg:

11. Ahol az lehetséges, szorgalmazzuk az igénybevételeket követő (felhajlított) vasalás alkalmazását.

12. Megállapítjuk, hogy a szakmagyakorlók körében alaphálós toldási többletvasalás becslésére használt 10 ÷ 15 %-os becslés a geometriailag ténylegesen szükséges vastöbbletkezeléshez képest esetenként erősen túlzó.

13. Megállapítjuk továbbá, hogy a ténylegesen szükséges vasmennyiség általában 3 ÷ 10 % körüli.

14. Javasoljuk, hogy akár tartószerkezet tervezői alap-, vagy különszolgáltatásként, akár kivitelezői - tervező által jóváhagyott - műhelytervként, de minden esetben álljon rendelkezésre födém szerkezetek esetében vasbetétenként konszignált alaphálós kiosztás, gerendák esetében vasbetétenként konszignált vasalási terv.

11.2.2. Pamlaglemezes födém alkalmazásával elérhető betonacél megtakarítás

A 9.2 *Pamlaglemezes födém és pontonként megtámasztott síklemez* födém összehasonlítása fejezetben ismertetett számítási eredményekkel annak gazdaságosságát alátámasztva az alábbi betonacél felhasználásra vonatkozó megállapításokat és javaslatokat tesszük:

15. Megállapítjuk, hogy a pamlaglemez merevségnövelő, ezzel alakváltozás csökkentő hatásának köszönhetően 1:2 arányú fej esetén minimum 12 ÷ 21 %, 1:3 arányú fej esetén 15 ÷ 30 %, feszítávkövető fej alkalmazása esetén közel az alsó pillérsáv vasalás harmada takarítható meg a vizsgált feszítáv tartományon.

16. Megállapítjuk továbbá, hogy a pamlaglemez merevségnövelő, ezzel alakváltozás csökkentő hatásának köszönhetően 1:2 és 1:3 arányú fej esetén minimum 6 %, maximum 23 %, feszítávkövető fej alkalmazása esetén 16 ÷ 30 % közötti megtakarítás érhető el alsó mezővasalás tekintetében a vizsgált feszítávtartományon.

17. Megállapítjuk továbbá, hogy pillérek feletti felső vasalás tekintetében a pamlaglemez lemezvastagság növekményének (ezzel nagyobb belső erőkarnak) köszönhetően minimum 28 %, maximum 41% megtakarítás érhető el a vizsgált feszítávtartományon.

11.3. Egyéb

11.3.1. Tűzvédelem

Tanulmányunk ugyan nem tér ki tűzvédelmi kérdések részletes tárgyalására, azonban a tartóssági kérdések tárgyalásánál tapasztalt, a gazdaságossági érdekeket nem optimálisan szolgáló szemlélet a szakmai tapasztalataink szerint a tűzvédelem területén is jelen van, melynek jelen Tanulmányhoz hasonló Tanulmányban javasoljuk felülvizsgálatát.

12. ZÁRSZÓ

A kor embere számára önmagában a környezettudatos gondolkodásmód nem vonzó. Az eredményesség érdekében azt anyagi köntösbe kell rejteni, sőt annak gazdasági előnyeit reflektorozni szükséges. A cement felhasználásának racionalizálása önmagában e tekintetben nem célravezető, hatékonyabb a beton-, és vasbeton tartószerkezeteink komplex vizsgálata, beleértve a betonacél felhasználást is, alkalmazva az alkotók költségaránya alapján kalkulált optimális ráfordítások elvét. Az előállításkor befektetett energiaigény szoros kapcsolatban áll a termék árával, így a gazdasági szempontból kedvező szerkezeti kialakítás bizonyos tekintetben közel áll az adott anyagokból kialakítható legalacsonyabb környezetterhelésű konstrukcióhoz. Tanulmányunk több fejezetet tartalmaz, mely a fentiekben rejlő lehetőségek részleteit vizsgálva iránymutatást ad a rosszul beidegződött szokások okozta pazarlás megszüntetésére.

Az anyagok racionális szinten történő alkalmazásához hozzátartozik azonban az is, hogy a már megalkotott épületeink helyét megtaláljuk napjaink társadalmában, így csökkentve az anyagfelhasználást.

„Az a feladatunk, hogy lehetőleg minden, már megépített elemnek találjuk meg a helyét, így őrizzük meg a beléjük fektetett energiákat, ez a klímalábnyom-számítás egyik alapja [115].”

Belátható tehát, az építési folyamatok résztvevőinek szemléletváltása szükséges. Fel kell ismernünk a tényt, miszerint akármilyen innovatív, alacsony kibocsátású építőanyagot is használunk, törekvéseink nem érik el céljukat, ha közben nem fordítunk kellő figyelmet a felhasználás racionálisan alacsony szinten tartására, valamint a már befektetett energia, tehát a meglévő épületeink védelmére. ■

13. HIVATKOZÁSOK

- [1] É. Beleznay, „Szakértői tanulmány az építési ágazat karbon lábnyom csökkentsére,” Nemzeti Fenntartható Fejlődési Tanács, Budapest, 2021.
- [2] Eurostat, „Az EU anyagfelhasználása 2020-ra személyenként 13,4 tonnára csökken,” Eurostat, 13 06 2021. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20210713-2>. [Hozzáférés dátuma: 13 05 2024].
- [3] Eurostat, „Material flow accounts,” Eurostat, 26 09 2023. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_AC_MFA_custom_665836/bookmark/table?lang=en&bookmarkId=0fdd419f-f70d-4a62-9b0b-88ef8e96ea09&page=time:2020. [Hozzáférés dátuma: 13 05 2024].
- [4] A. Szilvási, „A mesterséges kő,” *Betonújság*, pp. 4-6, XXIII. évf. 1-2 szám.
- [5] D. Chandler, „Riddle solved: Why was Roman concrete so durable?,” *MIT News*, 6 01 2023.
- [6] J. O'Connor és E. Robertson, „Marcus Vitruvius Pollio,” Matematikai és Statisztikai Iskola, St. Andrews Egyetem, Skócia, július 2008. [Online]. Available: <https://mathhistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Vitruvius/>. [Hozzáférés dátuma: 15 04 2024].
- [7] M. D. Jackson, J. Moon, E. Gotti, R. Taylor és S. R. Chae, „Material and Elastic Properties of Al-Tobermorite in Ancient Roman Seawater Concrete,” *The American Ceramic Society*, 28 05 2013.
- [8] I. Asztalos, „A beton története III. rész - A római cement újragondolása, a portlandcement és a vasbeton feltalálása,” *Beton*, pp. 18-19, április 2021.
- [9] ismeretlen szerző, „Útépítés Akadémia,” 29 04 2019. [Online]. Available: <https://utepitesakademia.hu/a-beton-tortenete/>. [Hozzáférés dátuma: 15 04 2024].
- [10] B. Higgins, *Experiments and Observations Made With the View of Improving the Art of Composing and Applying Calcareous Cements and of Preparing Quicklime*, London: T. Called, 1779.
- [11] J. Radic és A. Kindij, „HISTORY OF CONCRETE APPLICATION IN DEVELOPMENT OF CONCRETE AND HYBRID ARCH BRIDGES,” 07 2008. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Souillac-bridge-on-Dordogne-river-Midi-Pyrenees-France-1816_fig7_273455117. [Hozzáférés dátuma: 13 05 2024].
- [12] I. Asztalos, „A beton története VII. rész - A portlandcement elterjedése a világban – Európa, Észak-Amerika és Törökország,” *Beton*, 2021 XXIX. évfolyam VI. szám.
- [13] E. Dulácska, Dr., „Mi lesz veled vasbeton?,” *Vasbetonépítés*, p. 66, 2000/3.
- [14] ismeretlen szerző, „The history of Louis Vicat,” The Vicat Group, [Online]. Available: <https://www.vicat.com/about-us/vision/history-of-louis-vicat>. [Hozzáférés dátuma: 16 04 2024].
- [15] M. u. i. Britain, „Portland cement,” 10 08 2023. [Online]. Available: https://madeupinbritain.uk/Portland_Cement. [Hozzáférés dátuma: 15 04 2024].
- [16] ismeretlen szerző, „World Creativity Science Academy,” 16 07 2018. [Online]. Available: <https://wcsa.world/news/world-almanac-event-academy/wcsa-on-this-day-july-16-2018-joseph-monier-patents-reinforced-concrete-in-1867>. [Hozzáférés dátuma: 16 04 2024].
- [17] ismeretlen szerző, „Joseph Lambot,” Wikipédia, [Online]. Available: https://hu.wikipedia.org/wiki/Joseph_Lambot. [Hozzáférés dátuma: 16 04 2024].
- [18] ismeretlen szerző, „François Hennebique – A pioneer of reinforced concrete,” *Concrete*, JP, 26 11 2019. [Online]. Available: <https://www.jpconcrete.co.uk/francois-hennebique-a-pioneer-of-reinforced-concrete/>. [Hozzáférés dátuma: 16 04 2024].
- [19] ismeretlen szerző, „Eugène Freyssinet,” *Structurae*, 22 07 2019. [Online]. Available: <https://structurae.net/en/persons/eugene-freyssinet>. [Hozzáférés dátuma: 16 04 2024].
- [20] I. Asztalos, „A beton története VI. rész - A korszerű betonszerkezetek kialakulása,” *Beton*, pp. 18-19, október 2021.
- [21] J. Újhelyi és A. Armuth, *A beton*, Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1967.
- [22] I. Asztalos, „A beton története I. rész,” *Beton*, pp. 18-19, december 2020.
- [23] I. Asztalos, „A beton története II. rész,” *Beton*, pp. 18-19, február 2021.
- [24] I. Asztalos, „A beton története V. rész - A portlandcement alapú vasbeton szerkezetek megjelenése,” *Beton*, pp. 18-19, augusztus 2021.
- [25] I. Asztalos, „A beton története VIII. rész - A portlandcement elterjedése a világban,” *Beton*, pp. 20-22, február 2022.
- [26] I. Asztalos, „A beton története IX. rész: A portlandcement elterjedése a világban - Közép- és Dél-Amerika, Afrika és Ausztrália,” *Beton*, pp. 20-22, április 2022.
- [27] F. Zoltán, „A budai vár,” Magyar Tudományos Akadémia, [Online]. Available: <https://budavar.abtk.hu/hu/utcak-terek-epuletek/lanchid.html>. [Hozzáférés dátuma: 15 04 2024].
- [28] T. Kalinka, „A királyok zsilipje, a zsilipek királya: A Ferenc József-zsilip,” 02 02 2019. [Online]. Available: https://szemelyemblogja.blog.hu/2019/02/02/a_ferenc_jozsef-zsilip. [Hozzáférés dátuma: 14 05 2024].
- [29] ismeretlen szerző, „Turizmus online,” 12 01 2024. [Online]. Available: <https://turizmusonline.hu/cikkek/belfold/osszeomlas-szenen-a-budapesti-kisfoldalatti-repedeznek-az-m1-es-vonal-szerelvényei.html>. [Hozzáférés dátuma: 12 06 2024].
- [30] Á. Antal, Z. Fazakas, F. Szilvási, S. Szűcs és A. Tápai, *Tartószerkezetek I. - Vasbetonszerkezetek*, Budapest: Ybl Miklós Műszaki Főiskola, 1995.
- [31] L. Polgár, „Vasbeton előregyártás a harmadik évezred küszöbén,” *Vasbetonépítés*, p. 2, 2022.

- [32] ismeretlen szerző, „160 éve született dr. Zielinski Szilárd,” mernokvagysok.hu, 16 05 2020. [Online]. Available: <https://mernokvagysok.hu/blog/2020/05/16/160-eve-szulett-dr-zielinski-szilard/>. [Hozzáférés dátuma: 16 04 2024].
- [33] G. Balázs, Dr., „Dr. Mihailich Győző,” in *B. A. Z. megyei Állami Közútkezelő Kht.*, Sárospatak, 2004.
- [34] ismeretlen szerző, „Menyhárd István 120,” sztwp.szt.bme.hu/, 21 09 2022. [Online]. Available: <https://sztwp.szt.bme.hu/hirtartalmak/menyhard-istvan-120/>. [Hozzáférés dátuma: 01 05 2024].
- [35] G. Balázs, Dr., Dr. Palotás László élete és munkássága, Budapest: Műegyetemi Kiadó, 2004.
- [36] ismeretlen szerző, „90 éve született Polónyi István,” mernokvagysok.hu, 14 09 2020. [Online]. Available: <https://mernokvagysok.hu/blog/2020/09/14/90-eve-szulett-polonyi-istvan/>. [Hozzáférés dátuma: 01 05 2024].
- [37] T. Kausay, Dr., „Az első,” *Mérnök újság*, pp. 53-55, 2024/4.
- [38] Magyar Mérnöki Kamara, „A 100 éve elhunyt Zielinski Szilárd emlékezünk,” 09 05 2024. [Online]. Available: <https://www.mmk.hu/informaciok/hirek/zielinszky-100-ev-szoboravatas?nyomtatas=>. [Hozzáférés dátuma: 14 05 2024].
- [39] L. Tibor, „A vasbeton atyja. 100 éve hunyt el Zielinski Szilárd,” 01 02 2024. [Online]. Available: <https://www.vasutasmagazin.hu/anno/vasbeton-atyja-100-eve-hunyt-el-zielinski-szilard>. [Hozzáférés dátuma: 16 04 2024].
- [40] T. Kausay, Dr., „Zielinski Szilárd mérnöki alkotó munkássága a magyar örökség része,” *Vasbetonépítés*, pp. 66-71, 2004/3.
- [41] T. Kausay, Dr., „Magyar Örökség, Laudációk könyve II.,” Budapest, Magyar Örökség és Európa Egyesülete, 2009, pp. 389-403.
- [42] ismeretlen szerző, „Temesvár,” [Online]. Available: <https://www.explorecarpathia.eu/hu/romania/temesvar-timisoara>. [Hozzáférés dátuma: 03 06 2024].
- [43] G. Balázs, Dr., „Dr. Mihailich Győző az oktató, a tervező, a kutató és közéleti ember,” in *B.A.Z. egyei Állami Közútkezelő Kft.*, 2004.
- [44] ismeretlen szerző, „Kézikönyvtár - Magyar életrajzi lexikon - Mihailich Győző,” arcanum.com, [Online]. Available: <https://www.arcanum.com/hu/online-kiadvanyok/Lexikonok-magyar-eletrajzi-lexikon-7428D/m-76AF9/mihailich-gyozo-76DDF/>. [Hozzáférés dátuma: 03 06 2024].
- [45] ismeretlen szerző, „Michailich Győző (1877-1966),” Szórvány Alapítvány, [Online]. Available: <https://banaticum.ro/mihailich-gyozo-1877-1966/>. [Hozzáférés dátuma: 03 06 2024].
- [46] ismeretlen szerző, „Kézikönyvtár - Magyar életrajzi lexikon - Menyhárd István,” arcanum.com, [Online]. Available: <https://www.arcanum.com/hu/online-kiadvanyok/Lexikonok-magyar-eletrajzi-lexikon-7428D/m-76AF9/menyhard-istvan-76D67/>. [Hozzáférés dátuma: 13 05 2024].
- [47] ismeretlen szerző, „Menyhárd István,” BME - Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék, [Online]. Available: <https://sztwp.szt.bme.hu/menyhard-istvan/>. [Hozzáférés dátuma: 13 05 2024].
- [48] G. Farkas, T. Kovács és K. Szalai, „Valószínűségi elven történő méretezés történeti előzményei hazánkban,” *Vasbetonépítés*, pp. 96-104, 2005/3.
- [49] I. D. Menyhárd, P. Gábor és M. Rózsa, Vasbetonszerkezetek új méretezési módja, Budapest: Építőipari Könyv- és Lapkiadó Vállalat, 1951.
- [50] ismeretlen szerző, „IPARTERV70: MESE, avagy a Menyhárd-Semsey csoport története – I. rész,” Építészfórum, 27 12 2020. [Online]. Available: <https://epiteszforum.hu/iparterv70-mese-avagy-a-menyhard-semsey-csoport-tortenete-i-resz>. [Hozzáférés dátuma: 13 05 2024].
- [51] Z. Kun, „Akadémikusok - A Magyar Tudományos Akadémia tagjai,” Magyar Tudományos Akadémia, 01 06 2023. [Online]. Available: <https://akademikus.mtak.hu/adatlap/palotas-laszlo/>. [Hozzáférés dátuma: 13 05 2024].
- [52] L. Markó, K. Burucs, M. Balogh és D. Hay, A Magyar Tudományos Akadémia tagjai 1825 - 2002, Budapest: MTA Társadalomkutató Központ - Tudománytár, 2003.
- [53] J. Bogárdi és J. Szabó, „Palotás László,” in *Akadémiai Tagajánlások - 1990*, Budapest, Magyar Tudományos Akadémia, 1990.
- [54] M. Dubniczky, „90 éve született Polónyi István,” mernokvagysok.hu, 14 09 2020. [Online]. Available: <https://mernokvagysok.hu/blog/2020/09/14/90-eve-szulett-polonyi-istvan/>. [Hozzáférés dátuma: 03 06 2024].
- [55] A. Liska és E. Koroknai, „A Polónyizmus Debrecenben,” in *Hajdú-Bihar Megyei Mérnöki Kamara*, Debrecen, 2016.
- [56] I. Polónyi, prof. Dr. h.c. mult., „A beton és a célszerűen alkalmazott betonacél,” *Vasbetonépítés*, pp. 66-70, 2017/4.
- [57] ismeretlen szerző, „Klubbelépő: száz év – a legrégebbi vasbeton műemlékeink,” Építészfórum, 28 01 2023. [Online]. Available: <https://epiteszforum.hu/-klubbelepo-110-ev--a-legregibb-vasbeton-muemlekeink>. [Hozzáférés dátuma: 23 04 2024].
- [58] ismeretlen szerző, „Magyarország első vasbeton hídja,” solt.hu, [Online]. Available: <https://www.solt.hu/pages/0202.html>. [Hozzáférés dátuma: 23 04 2024].
- [59] E. Tóth, „Hazai vasbeton hídjaink 100 évének (1990-ig) esztétikai áttekintése,” *Vasbetonépítés*, pp. 95-98, 2020/4.
- [60] C. Domonkos, „Ismeri a Városliget különös hídját?,” PestBuda, 20 03 2018. [Online]. Available: https://pestbuda.hu/cikk/20180320_kulonos_hid_a_varosligetben. [Hozzáférés dátuma: 23 04 2024].
- [61] B. Lorászko, Gyalogos Hidak Magyarországon, Biri: Első Lánchíd Bt., 2011. augusztus.
- [62] ismeretlen szerző, „Balatonföldvár - kikötő - gyaloghíd,” Wikimapia, [Online]. Available: <https://wikimapia.org/11945141/hu/Balatonf%C3%B6ldv%C3%A1r-kik%C3%B6t%C5%91-gyalogh%C3%ADd>. [Hozzáférés dátuma: 25 06 2024].
- [63] A. Zöld, „Oczogon,” 14 04 2022. [Online]. Available: <https://www.octogon.hu/epiteszet/kaszino-vasbetonbol/>. [Hozzáférés dátuma: 23 04 2024].
- [64] N. Kalácska-Nagy, „Vizet a folyóba: így halad a Kvassay-szivattyútelep fejlesztése,” Magyar Építők, 06 01 2023. [Online]. Available: <https://magyarepitok.hu/vizgazdalkodas/2023/01/vizet-a-folyoba-igy-halad-a-kvassay-szivattyutelep-fejlesztese->. [Hozzáférés dátuma: 29 04 2024].

- [65] ismeretlen szerző, „Kavassay-zsilip építése,” egykor.hu, 19 06 2012. [Online]. Available: <https://egykor.hu/budapest-ix--kerulet/kvassay-zsilip-epitese/3166>. [Hozzáférés dátuma: 29 04 2024].
- [66] E. Bereczky, Dr. és E. Reichard, Dr., A magyar cementipar története, Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1970.
- [67] G. Balázs, Dr., Építőanyagok és kémia, Budapest: Műegyetemi Kiadó, 2002.
- [68] K. D. Pankhardt és J. Kovács, Építőanyagok, Debrecen: Terc Kft., 2013.
- [69] ismeretlen szerző, „Együtt zöldül a jármű- és az acélgépjármű,” autopro.hu, 25 11 2021. [Online]. Available: <https://autopro.hu/trend/egyutt-zoldul-a-jarmu-es-az-acelgyarat/588079>. [Hozzáférés dátuma: 15 05 2024].
- [70] G. Balázs, Dr., „Merre tart a betontechnológia?,” *Vasbetonépítés*, p. 98, 2000/4.
- [71] I. Asztalos, „A beton története XI. rész - Az adalékszerek története,” *Betonújság*, 2022.
- [72] A. Borosnyói, Dr., T. Kausay, Dr., I. Szabó, A. Tápai és A. Liptay, Dr., „A betonipar, technológia és tudomány fejlődése 1999 - 2008 között,” *Építőanyag*, pp. 67-71, 2009/3.
- [73] D. Dalmy, Dr., „Összefoglaló az Eurocode-okról és a magasépítési szerkezetek összehasonlító számításairól,” *Vasbetonépítés*, pp. 67-69, 2010/3.
- [74] E. Barsiné Pataki, „Bevezető a Vasbetonépítés c. folyóirat 2010/3 lapszámahoz,” *Vasbetonépítés*, p. 66, 2010/3.
- [75] B. Balogh, „Monolit vasbeton szerkezetű síklemez földem irodaház méretezésének összehasonlítása az Msz és az Eurocode szabványok alapján,” *Vasbetonépítés*, pp. 70-73, 2010/3.
- [76] F. Gonda, D. Lukács, K. Varga, C. Horváth és I. Tajta, „Kétszintes, falazott tartófalas, monolit vasbeton földemű épület tervezése az Msz EN szabványok szerint,” *Vasbetonépítés*, pp. 74-79, 2010/3.
- [77] Z. Dezső, L. Szabó és E. Zámbo, „Faszerkezetű csarnok összehasonlító erőtanai számítása Msz EN szabvány szerint,” *Vasbetonépítés*, pp. 80-83, 2010/3.
- [78] F. Metzger Dr. és L. Tornai, „Hegesztett "I" tartós acél csarnok,” *Vasbetonépítés*, pp. 84-90, 2010/03.
- [79] T. Kausay, Dr., „Száz év tervezési élettartamú beton,” 2023.
- [80] T. Kausay, Dr., Betonos e könyv, I. kötet, magánkiadás, 2020.
- [81] L. D. D. Tóth, Biztonság - Megbízhatóság - Kockázat, Debrecen: Debreceni Egyetem Műszaki Kar, 2021.
- [82] G. Balázs, Dr. és L. G. Balázs, Dr., Betonszerkezetek tartóssága, Budapest: Műegyetemi Kiadó, 2008.
- [83] E. Szathmári, *Betonszerkezetek használati élettartam alapú tervezésének tartóssági szempontjai - TDK Dolgozat*, 2012.
- [84] F. Papworth és S. Matthews, „fib Model Code 2020 – Durability Design and Through Life Management of New and Existing Structures,” in *University of Leeds*, Leeds, West Yorkshire, United Kingdom, 2018.
- [85] fib bulletin 34, „Model Code for Service Life Design,” fib, Sprint-Druck Stuttgart, 2006.
- [86] T. Kausay, Dr., „Betonkorrozio,” [Online]. Available: <https://www.betonopus.hu/szakmernoki/183-betonkorrozio.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 15 05 2024].
- [87] T. Kausay, Dr., „betonopus.hu, vasbeton építmények szerkezeti osztálya és betonfedés,” [Online]. Available: www.betonopus.hu/szakmernoki/161-szerkezeti-osztaly.pdf. [Hozzáférés dátuma: 17 05 2024].
- [88] MNOSZ 934:1994, *Beton és alapanyagainak vizsgálata*, Budapest: Magyar Szabványügyi Testület, 1949.
- [89] T. Kausay, Dr., „A beton nyomószilárdsági osztályának értelmezése és változása 1949-től napjainkig,” [Online]. Available: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcjpcjclclefindmkaj/https://www.betonopus.hu/notesz/nyomoszilardsagi-osztalyok-valtozasa.pdf](https://efaidnbmnnnibpcjpcjclclefindmkaj/https://www.betonopus.hu/notesz/nyomoszilardsagi-osztalyok-valtozasa.pdf). [Hozzáférés dátuma: 22 04 2024].
- [90] T. Kausay, Dr., „A beton nyomószilárdsági osztályának értelmezése és változása 1949-től napjainkig,” in *ÉPKO - Nemzetközi Építéstudományi Konferencia*, Csíksomlyó, 2011.
- [91] MSZ 4719:1982, *Betonok*, Budapest: Magyar Szabványügyi Testület, 1982.
- [92] MSZ EN 12390-2:2002, *A megszilárdult beton vizsgálata. 2. rész: Szilárdságvizsgálati próbatestek készítése és tárolása*, Budapest: Magyar Szabványügyi Testület, 2002.
- [93] MSZ 4798-1:2004, *Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelés, valamint az MSZ EN 206-1 alkalmazási feltételei Magyarországon*, Budapest: Magyar Szabványügyi Testület, 2004.
- [94] MSZ 4719:1977, *A betonok fajtái, jelölésük és minőségi követelményeik*, Budapest: Magyar Szabványügyi Testület, 1977.
- [95] MSZ 4720-2:1980, *A beton minőségének ellenőrzése. Általános tulajdonságok ellenőrzése*, Budapest: Magyar Szabványügyi Testület, 1980.
- [96] MSZ EN 1992-1-1:2021, *Eurocode 2: Betonszerkezetek tervezése. 1-1. rész: Általános, az épületekre vonatkozó szabályok*, Budapest: Magyar Szabványügyi testület, 2010.
- [97] MSZ EN 206-1:2002, *Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelés*, Budapest: Magyar Szabványügyi Testület, 2002.
- [98] A. Seidl, Betonmunkák, Budapest: Táncsis Könyvkiadó, 1963.
- [99] P. Arany, Dr. és T. Lichter, Dr., „Az első vasbeton szerkezetű templom Magyarországon,” *Vasbetonépítés*, pp. 26-27, 2016/2.
- [100] szekesfehervar.hu, „110 éves a Jézus Szíve templom,” szekesfehervar.hu, 15 09 2021. [Online]. Available: <https://www.szekesfehervar.hu/110-eves-a-jezus-szive-templom-puspoki-szentmisevel-unnepeknek>. [Hozzáférés dátuma: 23 04 2024].
- [101] ismeretlen szerző, „Száz éve szentelték fel a Jézus Szíve templomot,” szekesfehervar.hu, 11 09 2011. [Online]. Available: <https://www.szekesfehervar.hu/szaz-eve-szenteltek-fel-a-jezus-szive-templomot>. [Hozzáférés dátuma: 23 04 2024].

- [102] ismeretlen szerző, „Ötvenéves lenne a most lebontott Váci Mihály Kollégium,” HAON, 19 07 2022. [Online]. Available: <https://www.haon.hu/helyi-kozelet/2022/07/otveneves-lenne-a-most-lebontott-vaci-mihaly-kollegium>. [Hozzáférés dátuma: 19 04 2024].
- [103] ismeretlen szerző, „Mi van most a lebontott Váci Mihály Kollégium helyén?,” Debreceni Képeslapok, 09 06 2023. [Online]. Available: <https://debrecenikepeslapok.blogspot.com/2023/06/mi-van-most-lebontott-vaci-mihaly.html>. [Hozzáférés dátuma: 13 05 2024].
- [104] ismeretlen szerző, „Fedezd fel Debrecen utcáit!,” Demedia.hu, 07 06 2022. [Online]. Available: <https://www.demia.hu/en/egyetemilelet/2022/06/07/fedezd-fel-debrecen-utcait>. [Hozzáférés dátuma: 19 04 2024].
- [105] ismeretlen szerző, „Volt egyszer egy Kölcsey-művház,” Debreceni képeslapok, 12 03 2024. [Online]. Available: <https://debrecenikepeslapok.blogspot.com/2015/05/volt-egyszer-egy-kolcsey-muvhaz.html>. [Hozzáférés dátuma: 19 04 2024].
- [106] A. Béres, „Képtörténetek a fotótárból – Nyilas Misi sétája a Holnemvárosban,” Déri Múzeum Régészeti Tár, [Online]. Available: <https://www.derimuzeum.hu/muzeumblog.php?id=167&nyelv=en>. [Hozzáférés dátuma: 22 05 2024].
- [107] ismeretlen szerző, „Mercure Tokaj Center,” BORD Építész Stúdió Kft., [Online]. Available: <https://bordstudio.hu/projektek/mercure-tokaj-center/>. [Hozzáférés dátuma: 22 04 2024].
- [108] G. Deák, A. Draskóczy, E. Dulácska, L. Kollár és G. Visnovitz, Vasbeton szerkezetek, Tervezés az Eurocode alapján, Budapest: Springer Média Magyarország Kft. Szakkiadó Divízió, 2007.
- [109] J. Almási, Dr. és I. Jeszenszki, „Két statikailag egyenértékű vasbeton födém szerkezet-kialakítás összehasonlítása,” *Vasbetonépítés*, pp. 70-77, 2019.
- [110] Z. Acsády, „Korszerű gombafödémek statikai és gazdaságossági vizsgálata,” 2017.
- [111] ismeretlen szerző, Guide to Long-Span Concrete Floors - 6, FDA, Inc..
- [112] G. Tunc, A. B. Azizi és T. Tanfener, „Effects of slab types on the seismic behavior and construction cost of RC buildings,” *Journal of polytechnic*, pp. 553-567, 2023.
- [113] L. Polgár, „Vasbeton födémek a 21. században,” *Beton*, 06 2018.
- [114] Z. Dezső, „Konceptcionális tervezés az építőmérnöki gyakorlatban,” in *Az Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság Építéstudományi Szakosztálya*, Csíksomlyó, 2023.
- [115] G. Alföldi, „Fenntartható jövő: építés helyett felújítás,” *Mérnökújítás*, pp. 20-22, július 2024.

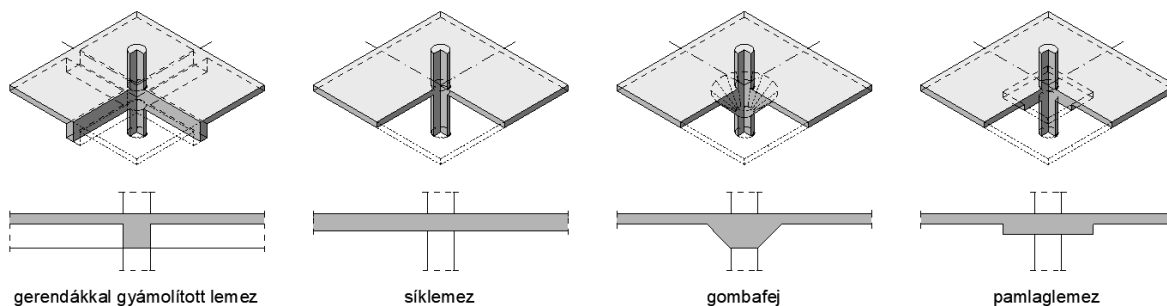
FÜGGELÉK

FOGALOMMEGHATÁROZÁS

fogalom	fogalommeghatározás	fejezet sorszáma
anyag **		
adalékanyag	Tömör vagy porózus szerkezetű természetes, mesterséges vagy bontási, építési, építőanyag-gyártási hulladékból újrahasznosított szemhalmaz, amelyet a betonban a cementkötő köt össze.	2.1.1; 2.1.2; 2.2.4; 4; 6.2.1.4; 7.2
kötőanyag	Kötőanyagnak nevezzük azokat az anyagokat, amelyek kémiai vagy fizikai folyamatok hatására képesek folyékony vagy pépszerű állapotból szilárd állapotba átalakulni, szilárdságukat általában fokozni és a hozzájuk kevert szilárd anyagokat (adalékanyagokat) összeragasztani.	2.1.1; 2.2
mész	Égetett darabos CaO, melynek CaO tartalma legalább 92%. Vízben exoterm folyamatok kíséretében feloldódik. Forgalomba kerülhet őrölve és oltva.	2.1.1; 2.1.2
mészke	A mészke jellemzően egyásványos üledékes kőzet, aminek legalább 90%-a kalcium-karbonát (CaCO ₃), azaz kalcit vagy aragonit. A fennmaradó rész főleg más karbonátásvány, kvarc vagy kova, agyag és szerves anyag.	1.2; 2.1.1; 3.1; 3.2; 4; 7.2
agyag	A cementgyártás alapanyaga, 0,02 mm alatti szemcseméretű, finomszemcsés üledék. Az agyagásványokon (kaolinit, montmorillonit, filloszilikátok) kívül tartalmaznak kvarcsemmeket, szerves szennyeződések, meszes vagy kovasavas kötőanyagokat.	1.2; 2; 3.1
klinker	A cementgyártás nyersanyaga, mészke és agyag csökemencében zsugorodásig égetésével előállítható granulátum.	3.1
románcement	Előállítható 40 ÷ 60% CaCO ₃ -at tartalmazó természetes mészmárgából frittellel (porított anyagok elegyét hevítve tömörítik). Őrlés nélkül vízzel nem oldódik. Megőrölve gyorsan köt.	2.1.1; 2.1.2
portlandcement	Mészkeből és agyagból előállítható 75÷78% CaCO ₃ tartalmú nyersliszt zsugorodásig való égetésével előállított klinkerből és kötőanyagkeverék céljából adagolt gipszből készített, finomra őrölt szerves anyag, amely vízzel megkeverve pépet képez, majd hidratációs reakció és folyamat következtében víz alatt is megköt és szilárdul, megszilárdulása után szilárdságát és állékonyságát még víz alatt is megtartja.	2.1.2; 2.2.6.1; 4;
adalékszer	A friss vagy a megszilárdult beton tulajdonságainak módosítása céljából a betonkeverés alatt, vagy közvetlenül az átadás előtti átkeverés során a betonhoz adott, a cement tömegéhez képest kis mennyiségű, folyékony vagy por alakú, ritkán pépszerű vegyi anyag.	2.2; 4
kiegészítő finomrész	A kiegészítő anyagok finom szemű szerves anyagok, amelyek a beton egyes tulajdonságainak javítására vagy különleges tulajdonságok kialakítására szokás alkalmazni.	4
beton	Cementből, durva és finom adalékanyagból, valamint vízből készített anyag, amely adalékszerkeket és kiegészítőanyagokat tartalmaz vagy nem tartalmaz, s amelynek tulajdonságai a cement hidratációja révén – a betonösszetételétől, a bedolgozástól és az utókezeléstől függően – fejlődnek ki.	1; TART.*
anyagjellemző **		
porozitás	Természetes állapotú kiszáritott anyagban a pórusok részaránya. $P = 1 - S$ A porozitás jele P, nevezetlen szám, gyakran %-ban fejezzük ki.	2.1.2; 5.1; 6.1; 6.2.1.5
tömörség	Természetes állapotú kiszáritott anyag, ill. halmaz térfogategységben lévő szilárd anyag részaránya. $S = \frac{\rho_b}{\rho_r}$ A tömörség jele S, nevezetlen szám.	5.2
víz-cement tényező	1 m ³ betonban a víz és a cement tömegének hányadosa. A víz-cement tényező jele x, nevezetlen szám.	2.1.2; 4; 5.1; 6.1; 6.2.1.5; 7.1; 7.2
konzisztencia	A friss megkevert, bedolgozatlan beton formálhatóságát, bedolgozhatóságát befolyásoló állaga, a frissbeton viszkozitásának kifejezője.	
környezeti (kitéti) osztály	A beton-, vasbeton-, és feszített vasbeton szerkezeteket érő környezeti hatások osztálya, amely hatását a tartós szerkezetnek az üzemszerű használat és megfelelő karbantartás mellett, de jelentős javítási munkák nélkül a tervezési élettartam alatt károsodás nélkül kell viselnie.	6.2.1.5; 7.1; 7.2; 11.1
szórás	A szórás egy valószínűségi változó értékeinek a várható értéktől való eltéréseinek a mértéke. $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (a_i - a_m)^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum a_i^2 - n \cdot a_m^2}{n}}$	2.1.2; 6.2.1.2

nyomószilárdság	Az anyag központos nyomásból származó normál feszültségekkel szembeni ellenállóképessége. A nyomószilárdság jele f_c , SI mértékegysége Pa (pascal), szakterületünkön általában kPa, N/mm ² .	2.1.2; 2.2; 2.2.4; 4; 7.1
betonfedés **	Vasbeton vagy feszített vasbeton esetén az acélbetét vagy a feszítőbetét (beleértve a szerelőbetéteket és a kengyeleket is) szélső pontja és a szerkezeti elem felülete közötti legkisebb távolság. Jele: C	6.2.1; TART.*
legkisebb betonfedés	Vasbeton vagy feszített vasbeton esetén az acélbetét vagy a feszítőbetét (beleértve a szerelőbetéteket és a kengyeleket is) szélső pontja és a szerkezeti elem felülete közötti legkisebb távolság előírt értéke. Alkalmazásának célja, hogy az acélbetét révén az erőátadás megfelelő legyen; kellően védje az acélbetétet a korróziótól a tartósság érdekében; megfelelő tűzbiztonságot eredményezzen. Jele: c_{min} [mm]. Az előírt legkisebb betonfedés (c_{min}) alapértékének jele: $c_{min, dur}$.	20. ábra
névleges betonfedés	A névleges betonfedés (c_{nom} [mm]) az előírt legkisebb betonfedésnek (c_{min} [mm]) a Δc_{dev} [mm] kötelező ráhagyással megnövelt, előírt értéke ($c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$), amelyet a statikai számításokban alkalmaznak. A névleges betonfedést a tervező adja meg azért, hogy a tényleges betonfedés ne legyen kisebb, mint az előírt legkisebb betonfedés. A szerkezeti terveken a névleges betonfedés c_{nom} értékeit jelölik. A Δc_{dev} értéke a beton környezeti osztályától és a gyártás színvonalától függően jellegzetesen 5-15 mm, általában 10 mm. (A ráhagyás akkor eshet 5-10 mm közé, ha a minőségbiztosítási rendszerben szerepel a betonfedés folyamatos ellenőrzése pl. betonelem előregyártás során).	20. ábra
pillérvázazás épület **	Pillérvázazás épületek esetében a függőleges teherviselő szerkezet javarészt pillérekből és helyenként a kellő merevséget biztosító merevítőfalakból áll. A térelhatároló szerkezetek vázkitöltő (tehát nem teherviselő) falazatként készülnek.	1; 6.2.1.5; 9; 9.2
gerendákkal gyámolt lemez.	Falakkal és pillérekkel megtámasztott lemezszerkezet a pillérek és falak vonalában bordákkal merevítve.	9.1.1.1
pontonként megtámasztott síklemez földem	Pillérekre támaszkodó síklemez földem merevségi átmenet nélkül. Az átszűrődési vasalás a síklemezben kerül elhelyezésre.	5.5; 9.1; 9.1.1.2; 9.1.1.3; 9.1.2.1; 9.1.3; 9.2; 9.3; 9.5; 9.6; 11.3
rejtett gombaföldem	Pillérekre támaszkodó síklemez földem. A merevségi átmenetet biztosító merevbetétes szerelvény a síklemezben kerül elhelyezésre.	9.1.1.3; 9.1.1.4
gombafejes földem	Pillérekre támaszkodó síklemez földem, ahol a merevségi átmenetet biztosító pillérfej kiszélesítés készül.	9.1.1.4; 9.1.1.5; 9.1.2.2; 9.2
pamlaglemez	Különböző merevségű szerkezeti elemek összekötését szolgáló „lemezszerű” kapcsolati elem. Például hidaknál keresztartó és főtartó kapcsolatát biztosító lemez (erőjáték szerint tárcsa), míg Tanulmányunkban a síklemez földem és a pillérfej közötti merevségi átmenetet biztosító, a síklemez alatti, kiékelés nélküli lemezszerkezet.	9.1.2.2; 9.2; 9.3; 9.4; 9.5; 11.3
pamlaglemezes földem	Pillérekre támaszkodó síklemez földem, ahol a merevségi átmenetet biztosító pamlaglemez készül.	5.5; 9.1.1.5; 9.1.3.3; 9.5; 11.3

ábragyűjtemény a különböző lemezgeometriákhoz **



Megjegyzések:

Fogalom meghatározásunk a téma terület alapszintű ismeretét feltételezi, kizárólag a Tanulmány megértése szempontjából elengedhetetlen fogalmakat tárgyalja.

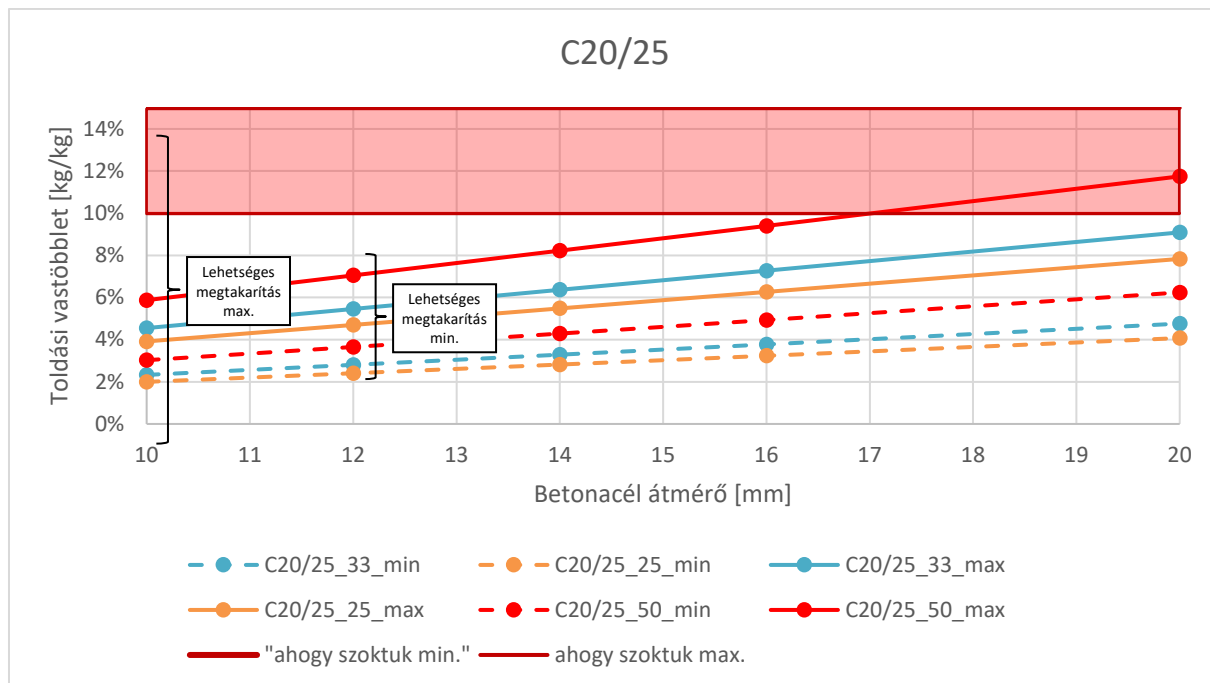
* A találatok számossága miatt a „vissza” funkció kizárólag az első találathoz, valamint a tartalomjegyzékhez navigál.

** Több, egymáshoz kapcsolódó fogalom esetében azokat egy csoportba foglalva közöljük.

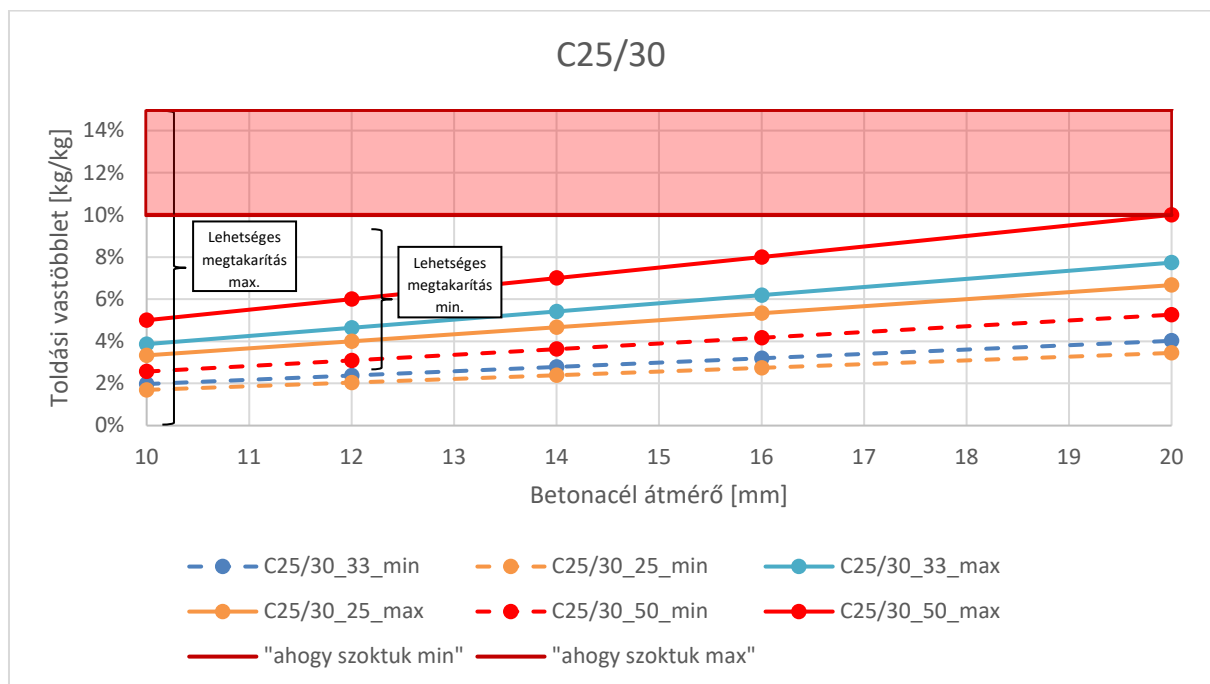
ÁBRA-, ÉS SZÁMÍTÁSI MELLÉKLETEK

Ábrák a 8.3.2 Toldáshoz szükséges acélmennyiség fejezethez

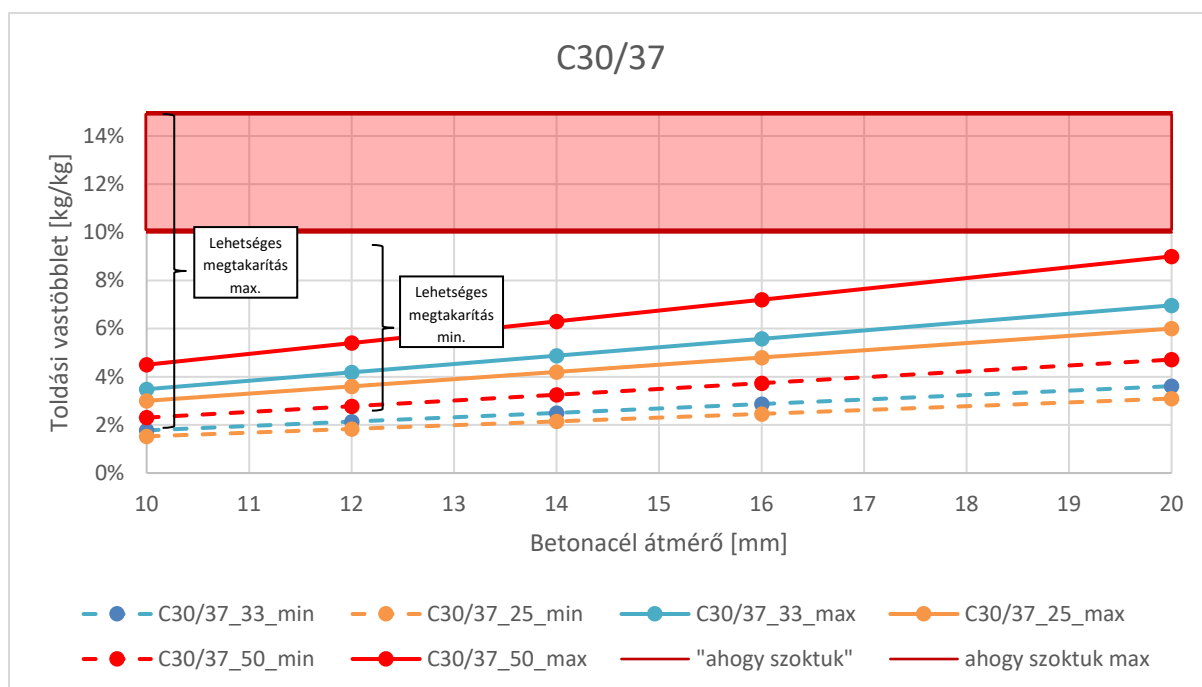
Kapcsolódó ábra, táblázat vagy fejezet: (35. ábra, 47. oldal)



1. Függelék ábra: Betonacélok szükséges toldási hossza a geometriából származó hosszakhoz viszonyítva C20/25 betonszilárdság esetén



2. Függelék ábra: Betonacélok szükséges toldási hossza a geometriából származó hosszakhoz viszonyítva C25/30 betonszilárdság esetén



3. Függelék ábra: Betonacélok szükséges toldási hossza a geometriából származó hosszakhoz viszonyítva C30/37 betonszilárdság esetén

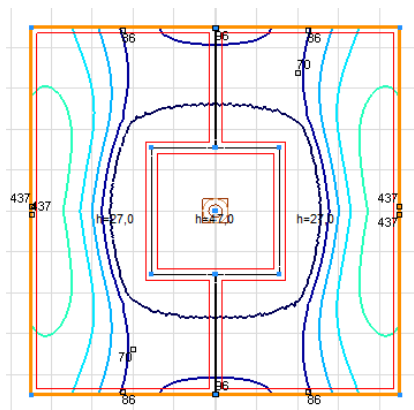
Vizsgált geometriai eseteket ismertető táblázat a 9.4 A számítás menete fejezethez

1. Függelék táblázat: Vizsgált geometriai esetek

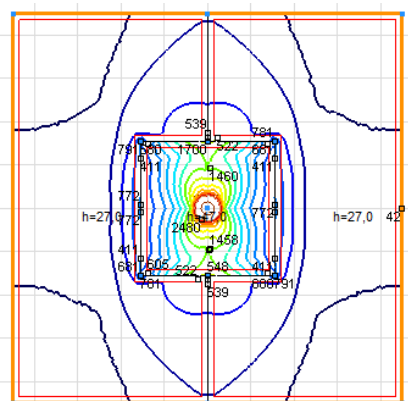
V	Elvégzett számítások										Feszítív függő fej									
	síklemez					1:2 arányú fej					1:3 arányú fej					Feszítív függő fej				
	0	0	0	0	0	1:2	1:2	1:2	1:2	1:2	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3	f(L)	f(L)	f(L)	f(L)	f(L)
	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
13											6 13 1:3					6 13 1:3				
14						6 14 1:2					6 14 1:3					6 14 1:3				
15						6 15 1:2					6 15 1:3					6 15 1:3				
16						6 16 1:2	7 16 1:2				6 16 1:3	7 16 1:3				6 16 1:3				
17	6 17 0					6 17 1:2	7 17 1:2				6 17 1:3	7 17 1:3				6 17 1:3				
18	6 18 0					6 18 1:2	7 18 1:2				6 18 1:3	7 18 1:3				6 18 1:3				
19	6 19 0					6 19 1:2	7 19 1:2				6 19 1:3	7 19 1:3				6 19 1:3				
20	6 20 0	7 20 0				7 20 1:2					7 20 1:3					7 20 1:3				
21	6 21 0	7 21 0				7 21 1:2	8 21 1:2				7 21 1:3	8 21 1:3				7 21 1:3				
22	6 22 0	7 22 0					8 22 1:2					8 22 1:3					8 22 1:3			
23		7 23 0	8 23 0				8 23 1:2					8 23 1:3					8 23 1:3			
24		7 24 0	8 24 0				8 24 1:2					8 24 1:3					8 24 1:3			
25		7 25 0	8 25 0				8 25 1:2	9 25 1:2				8 25 1:3	9 25 1:3				8 25 1:3			
26			8 26 0	9 26 0			8 26 1:2	9 26 1:2				8 26 1:3	9 26 1:3				8 26 1:3			
27			8 27 0	9 27 0			8 27 1:2	9 27 1:2				8 27 1:3	9 27 1:3				8 27 1:3			
28			8 28 0	9 28 0			8 28 1:2	9 28 1:2	10 28 1:2			8 28 1:3	9 28 1:3	10 28 1:3			8 28 1:3			
29				9 29 0	10 29 0		9 29 1:2	10 29 1:2				9 29 1:3	10 29 1:3				9 29 1:3			
30				9 30 0	10 30 0		9 30 1:2	10 30 1:2				9 30 1:3	10 30 1:3				9 30 1:3			
31				9 31 0	10 31 0			10 31 1:2					10 31 1:3				10 31 1:3			
32					10 32 0			10 32 1:2					10 32 1:3				10 32 1:3			
33					10 33 0			10 33 1:2					10 33 1:3				10 33 1:3			
34					10 34 0															

Ábrák a 9.4 A számítás menete fejezethez

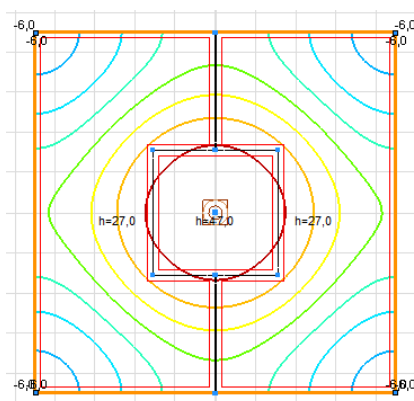
Kapcsolódó ábra, táblázat vagy fejezet: (61. oldal)



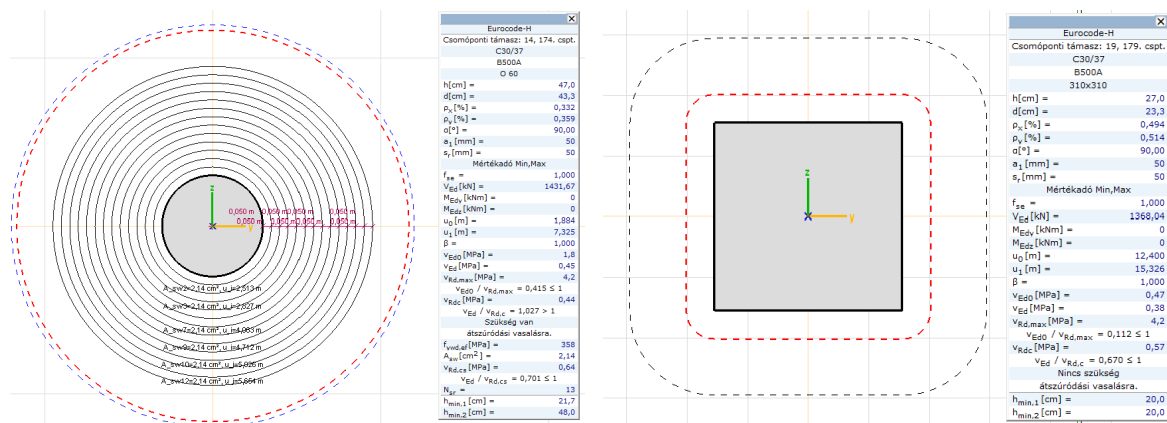
4. Függelék ábra: Szükséges alsó vasalás keresztmetszeti területe főirányban 9 | 27 | $f(L)$ esetben
1. jelű és 2. jelű pontban [mm^2/m]



5. Függelék ábra: Szükséges felső vasalás keresztmetszeti területe főirányban 9 | 27 | $f(L)$
3. jelű pontban [mm^2/m]



6. Függelék ábra: hosszútávú (kúszás és zsugorodás figyelembevételével meghatározott) lehajlás
mezőközépen 9 | 27 | $f(L)$ esetben [cm]



7. Függelék ábra: szükséges átszűrődési vasalás mennyisége a pamlaglemezben és a pamlaglemezen kívül 9 | 27 | $f(L)$ esetben [mm²]

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: Európai relatív anyagfelhasználás 2013 és 2022 közötti időszakban Európában, ill. annak területi megoszlása [2]	2
2. ábra: Első újkori beton híd, Souillac, Franciaország [11]	4
3. ábra: Louis Vicat [14], Joseph Aspdin [15], Joseph Monier [16], Joseph Lambot [17], Francois Hennebique [18], Eugene Freyssinet [19]	5
4. ábra: Ferenc József-zsilip egykoron és napjainkban [28]	6
5. ábra: A kisérdalatti egykori ábrázolása és mai állapota [29]	7
6. ábra: Zielinski Szilárd [32], Mihailich Győző [33], Menyhárd István [34], Palotás László [35], Polónyi István [36]	8
7. ábra: Zielinski Szilárd műszaki doktori oklevele [38]	10
8. ábra: A temesvári Liget úti híd [42]	12
9. ábra: A biztonság Menyhárd-féle értelmezése (eredeti ábra) [48]	14
10. ábra: A Székesfehérvári Könnyűfémmű alumíniumöntődéje és présműve építés közben [50]	14
11. ábra: Betonacélok rögzítése a zsaluzathoz nyomatéki ábrát követő vasalás esetén [56]	16
12. ábra: Első magyarországi vasbeton híd, Solt [59]	17
13. ábra: A városligeti gyalogos híd [57] [59]	18
14. ábra: A balatonföldvári gyalogos híd [62]	18
15. ábra: A Balaton Club egykori képeslapon, a felújítást megelőzően [63], és azt követően [57]	19
16. ábra: Cementégető kemence	20
17. ábra: Melegen hengerlés [69]	21
18. ábra: Költségek a biztonság függvényében [48]	27
19. ábra: A használati élettartam szabvány által javasolt eljárások [82]	29
20. ábra: A számítás során alkalmazott jelölések értelmezése	31
21. ábra: Megkövetelt névleges betonfedések az idő függvényében	33
22. ábra: Az épület és a bejárat előtti beton lépcső napjainkban	34
23. ábra: Sávalap keresztmetszet, alapozásra vonatkozó megjegyzés	34
24. ábra: Egymásnak megfelelő átlagos nyomószilárdságú betonok szabványos nyomószilárdsági osztálya az Eurocode 2 (MSZ EN 1992-1-1:2021) szerinti átlagos nyomószilárdságokhoz viszonyítva, B70 és B140 szilárdsági osztályok kifejezése mai beton szilárdsági osztály jelekkel [89] [90]	36
25. ábra: Építéskori és napjaink megkövetelt beton szilárdsági osztályaihoz tartozó cementadagolás	37
26. ábra: A Jézus Szíve templom építés közben [100], és kész állapotában [101]	38
27. ábra: A vasbeton kupola állapota napjainkban [99]	38
28. ábra: Váci Mihály Kollégium [102] [103]	39
29. ábra: Kölcsey Ferenc Megyei és Városi Művelődési Központ és Ifjúsági Ház [104]	40
30. ábra: A méltatlan állapotú Kölcsey-ház a fűvészkert utcában és ami „maradt” belőle [105] [106]	41
31. ábra: Tokaj Hotel eredeti [saját fotó] és megvalósult [107] állapota	42
32. ábra: Folytatólagos többlettámaszú monolit vasbeton lemez vasalása felhajlított vasakkal	43
33. ábra: Bal oldalon a fővasra „integrált”, felhajlított vasvég, jobb oldalon az „U” alakú szegő, pirossal jelölve a megtakarítható vashossz	44
34. ábra: Betonacélok toldása (100 %, 50 %, 33 %, 25 %)	44
35. ábra: Betonacélok szükséges toldási hossza a geometriából származó hosszakhoz viszonyítva C20/25 betonszilárdság esetén	47
36. ábra: Monolit vasbeton lemezszerkezetek	49
37. ábra: Monolit vasbeton gerendákkal gyámoltított lemez robbantott ábra, előnyei / hátrányai	50
38. ábra: Pontonként megtámasztott síklemez földem robbantott ábra, előnyei / hátrányai	50
39. ábra: Pamplaglemezes földem robbantott ábra, előnyei / hátrányai	51

40. ábra: Pontonként megtámasztott síklemez földem előregyártott függőleges szerkezettel robbantott ábra, előnyei / hátrányai	52
41. ábra: Előregyártott pillérekkel és pamlaglemezzel készülő monolit földem robbantott ábra, előnyei / hátrányai	52
42. ábra: Előregyártott pillérekkel, feszített vasbeton gerendával és körüreges földempallóval készülő konstrukció robbantott ábra, előnyei / hátrányai	53
43. ábra: Előregyártott pillérekkel, acél gerendával és körüreges földempallóval készülő konstrukció robbantott ábra, előnyei / hátrányai	54
44. ábra: Előregyártott feszített vasbeton sávós gerendával, feszített bordás kéregpanelekkal készülő konstrukció robbantott ábra, előnyei / hátrányai	54
45. ábra: Lehajlás - lemezzvastagság számítások eredményei [110]	57
46. ábra: Pontonként megtámasztott síklemez földem közelítő méretfelvétel [111]	57
47. ábra: Pamlaglemezes földem közelítő méretfelvétel [111]	58
48. ábra: Definiált pontok és számítási eredmények	61
49. ábra: Összes lehajlás – lemezzvastagság diagram	63
50. ábra: Szükséges alsó fővas mennyiség pillérsávban és megtakarítás	64
51. ábra: Szükséges alsó fővas mennyiség lemezsávban és megtakarítás	65
52. ábra: Szükséges felső fővas mennyiség pillér felett és megtakarítás	66
53. ábra: Szükséges betonmennyiség és megtakarítás	67
1. Függelék ábra: Betonacélok szükséges toldási hossza a geometriából származó hosszakhoz viszonyítva C20/25 betonszilárdság esetén	83
2. Függelék ábra: Betonacélok szükséges toldási hossza a geometriából származó hosszakhoz viszonyítva C25/30 betonszilárdság esetén	83
3. Függelék ábra: Betonacélok szükséges toldási hossza a geometriából származó hosszakhoz viszonyítva C30/37 betonszilárdság esetén	84
4. Függelék ábra: Szükséges alsó vasalás keresztmetszeti területe főirányban 9 27 f(L) esetben 1. jelű és 2. jelű pontban [mm ² /m]	85
5. Függelék ábra: Szükséges felső vasalás keresztmetszeti területe főirányban 9 27 f(L) 3. jelű pontban [mm ² /m]	85
6. Függelék ábra: hosszútávú (kúszás és zsugorodás figyelembevételével meghatározott) lehajlás mezőközépen 9 27 f(L) esetben [cm]	85
7. Függelék ábra: szükséges átszúródási vasalás mennyisége a pamlaglemezben és a pamlaglemezen kívül 9 27 f(L) esetben [mm ²]	86

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. táblázat: k_c, d értékek az utókezelés függvényében	32
2. táblázat: „c” értékei a lehorgonyzási hossz alapértékének számításához	45
3. táblázat: Az α_a tényező értékei	45
4. táblázat: Toldási hosszak különböző átmérőjű betonacélok esetén [mm]	46
5. táblázat: Toldási vastöbbslet különböző betonminőségű, átmérőjű és toldási arányú esetekben	46
6. táblázat: Tartószerkezetileg egyenértékű esetek, lehajlások [cm]	62
1. Függelék táblázat: Vizsgált geometriai esetek	84

