

Doktori (PhD) értekezés

Huszár Zsolt Levente

- 2025 -

NEMZETI KÖZSZOLGÁLATI EGYETEM
HADTUDOMÁNYI ÉS HONVÉDTISZTKÉPZŐ KAR
KATONAI MŰSZAKI DOKTORI ISKOLA

Huszár Zsolt Levente

**Zsaluzati és állványzati rendszerek vizsgálata
katasztrófavédelem szempontból a rendszerek norma és
költséghatékonyságának függvényében**

Doktori (PhD) értekezés

Tudományos témavezető:



.....

Dr. Káta Urbán Lajos t. ezredes PhD



.....

Dr. Majorosné Dr. Lublóy Éva Eszter DSc

BUDAPEST, 2025.

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS.....	5
1. A KUTATÁSI TÉMA AKTUALITÁSA.....	5
2. A TUDOMÁNYOS PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA.....	7
3. KUTATÁSI HIPOTÉZISEK.....	8
4. KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK.....	9
5. KUTATÁSI MÓDSZEREK.....	10
6. RELEVÁNS SZAKIRODALOM ÁTTEKINTÉSE	10
7. AZ ÉRTEKEZÉS FELÉPÍTÉSE, ELHATÁROLÁSOK.....	19
1. A HOMLOKZATI ÁLLVÁNYZATTAL KAPCSOLATOS BALESETI ESEMÉNYEK DIGITÁLIS MŰSZAKI ELLENŐRZÉSI RENDSZER BEVEZETÉSÉVEL TÖRTÉNŐ MEGELŐZÉSÉNEK KUTATÁSA.....	21
1.1 Építőipari balesetek fogalmi értelmezése	21
1.1.1 A leeséses balesetek eredete	24
1.1.2 Ideiglenes szerkezetek összeomlása	26
1.1.3 Árkok, munkagödrök beomlása.....	27
1.2 Homlokzati állványok típusai, szerkezetei	46
1.2.1 Mobil és guruló állványok.....	46
1.2.2 Homlokzati állványok	49
1.3 Állványrendszerek szerelés technológiája.....	55
1.4 Homlokzati állványtüzek esetei, azok háttere	58
1.5 Homlokzati állványok összeomlásának okai, a balesetek elemzése	62
1.6 Javaslat a digitális műszaki ellenőrzési eljárás és módszertan kialakítására.....	66
1.7 Részkövetkeztetések az 1. fejezethez	69
2. ÉPÍTŐIPARI ZSALUZATOK ÉS TEHERHORDÓ ÁLLVÁNYZATOK BALESETEINEK SZERVEZÉSI INTÉZKEDÉSEKKEL TÖRTÉNŐ MEGELŐZÉSE	70

2.1. Zsaluzati rendszerek osztályozása funkciójuk és térbeli elhelyezkedésük alapján	70
2.1.1 A zsaluzatok rövid történelmi áttekintése	71
2.1.2 Függőleges zsaluzati rendszerek	73
2.1.3 Vízszintes zsaluzati rendszerek	80
2.1.4 Speciális zsaluzati rendszerek	85
2.2. Leggyakrabban előforduló balesetek típusai, azok ismertetése	97
2.3. Födémek korai kizsaluzásának vizsgálata	103
2.3.1. Az ejtőfej fogalma	103
2.3.2 A korai kizsaluzás fogalma födémzsaluzat esetén	104
2.3.3. A korai kizsaluzás veszélyei.....	105
2.4 Pillérzsaluzatok új norma rendszerének hatása a balesetek megelőzésére.....	109
2.5 Zsaluforgatás optimalizálásának baleseti rátákra gyakorolt hatása.....	115
2.6 Részkövetkeztetések a 2. fejezethez.....	120
3. A VASBETONSZERKEZETEK ÉPÍTÉSI FÁZISAI BALESETI KOCKÁZATELEMZÉSI RENDSZERÉNEK KUTATÁSA ÉS FEJLESZTÉSE....	122
3.1. A vasbetonszerkezetépítés történelmi áttekintése a világban.....	122
3.2 A vasbetonszerkezetépítés Magyarországon.....	125
3.3 Monolit vasbetonszerkezetek különböző típusai.....	127
3.3.1 Alépítményi szerkezetek	127
3.3.2 Magasépítési szerkezetek	129
3.4 A különböző vasbetonszerkezetek építéstechnológiája.....	131
3.4.1 Alépítményi monolit vasbetonszerkezetek építéstechnológiája.....	131
3.4.2 Magasépítési vasbetonszerkezetek építéstechnológiája	133
3.5 A szerkezetek vizsgálati módszertana	137
3.5.1 A vizsgálatba bevont épülettípusok.....	139
3.5.2 Számított mennyiségek definiálása	143

3.6 Vizsgálatok, mérések.....	144
3.6.1 A fajlagos zsaluzási költségek vizsgálata.....	144
3.6.2 A zsaluzás költségmegoszlásának vizsgálata épülettípusonként.....	146
3.6.3 A zsaluzás költségmegoszlás vizsgálata szerkezetípusonként	154
3.7 A zsaluzási munkabalesetek kockázata a tervezhető költségrendszerek függvényében	163
3.7.1 Az építőipari balesetek időbeni elemzése.....	163
3.7.2 Új módszertan a balesetek megelőzésére	166
3.8 Részkövetkeztetések 3. fejezet	169
ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK.....	171
ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	180
AZ ÉRTEKEZÉS AJÁNLÁSAI	181
A KUTATÁSI EREDMÉNYEK GYAKORLATI FELHASZNÁLHATÓSÁGA....	181
HIVATKOZOTT IRODALOM	183
A TÉMAKÖRÖBŐL KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓIM.....	192
MELLÉKLETEK	194
1. Fogalomjegyzék	195
2. Jogi szabályozás és szabványok jegyzéke	197
3. Ábrák, táblázatok és képek jegyzéke.....	200
4. Kohéziós táblázat: a hipotézisek, kutatási célkitűzések és a tudományos eredmények egymásra épülése	203

BEVEZETÉS

1. A KUTATÁSI TÉMA AKTUALITÁSA

A modern építőipar az elmúlt évtizedekben radikális technológiai és biztonsági változásokon ment keresztül, amelyek középpontjában a hatékonyság, a munkabiztonság és a katasztrófavédelmi megfelelés áll. A zsaluzati és állványzati rendszerek fejlődése jól tükrözi ezt a tendenciát, hiszen ezek az ideiglenes szerkezetek az építési folyamatok nélkülözhetetlen elemei, ugyanakkor potenciális baleseti és szerkezeti kockázatokat is hordoznak. A téma aktualitását egyrészt a folyamatosan szigorodó szabványi és biztonsági előírások, másrészt az anyag- és munkaerőköltségek drasztikus emelkedése adja, amely új kihívásokat jelent a kivitelezők, a tervezők és a katasztrófavédelmi hatóságok számára.

A katasztrófavédelem [1] szerepe az építőiparban az utóbbi években egyre hangsúlyosabbá vált. A zsaluzatok és állványzatok esetében nemcsak a szerkezetek statikai stabilitása és teherbírása kerül előtérbe, hanem az is, hogy azok rendkívüli helyzetekben – például tűzeset, földrengés, vihar, szerkezeti meghibásodás vagy emberi mulasztás esetén – milyen módon viselkednek, illetve mennyire veszélyeztetik az építkezésen dolgozók életét és a környezetet. Az építési katasztrófák jelentős részében ugyanis ideiglenes szerkezetek összeomlása, túlterhelése vagy nem megfelelő rögzítése játszik szerepet. Ezek megelőzése csak a normatív követelmények szigorú betartásával, valamint a rendszerek korszerűsítésével és költséghatékony, de biztonságos megoldások alkalmazásával lehetséges.

A zsaluzati rendszerek technológiai fejlődése különösen dinamikus: az acélszerkezetek mellett ma már alumínium, műanyag-kompozit [2], illetve kombinált rendszerek is elérhetők. Ezek könnyebb súlyúak, gyorsabban szerelhetők és kisebb munkaerő-ráfordítással üzemeltethetők, ami a kivitelezési határidők rövidülését és a költségek csökkenését eredményezi. Ugyanakkor az új anyagok és szerkezeti megoldások új kockázatokat is felvetnek, például tűzterhelés vagy deformációs viselkedés tekintetében. A katasztrófavédelmi szempontú vizsgálat ezért nem csupán statikai, hanem anyagtechnológiai és biztonságtechnikai értékelést is igényel.

Az állványzati rendszerek esetében az aktualitás még markánsabb. Az építési balesetek jelentős hányada állványrendszerekhez köthető, amelyek nem megfelelő telepítése, túlterhelése vagy hiányos rögzítése életveszélyes következményekkel járhat.

Az utóbbi években több, a médiában is megjelenő állvány-összeomlás történt Európában és Magyarországon is, ami ráirányította a figyelmet a megelőző ellenőrzések és a normatív megfelelés fontosságára. Az MSZ EN 12810 [3] és MSZ EN 12811 [4] szabványok, valamint az Országos Tűzvédelmi Szabályzat (OTSZ) [5] előírásai egyértelműen rögzítik az állványzatok szerkezeti, teherbírási és tűzvédelmi követelményeit. Ezek gyakorlati alkalmazása ugyanakkor még mindig nem egységes, és a költséghatékonysági szempontok gyakran előnyt élveznek a biztonság rovására. Ez a dilemma adja a téma egyik legfontosabb kutatási aktualitását.

A normák és költséghatékonyság közötti egyensúly kérdése mára az építőipari biztonságpolitika központi dilemmájává vált. A beruházók és kivitelezők nyomás alatt vannak, hogy a lehető legalacsonyabb költségen valósítsanak meg projekteket, miközben a hatósági és katasztrófavédelmi elvárások egyre szigorodnak. A megfelelő zsaluzati és állványzati rendszer kiválasztása tehát nem csupán műszaki, hanem gazdasági és kockázatkezelési döntés is. Egy korszerű, új generációs alumínium vagy moduláris rendszer kezdeti beruházási költsége magasabb lehet, ám hosszú távon időmegtakarítást, újrahasznosíthatóságot és kevesebb baleseti kockázatot eredményezhet. A kutatás tehát arra is választ keres, hogy miként érdemes értelmezni a „költséghatékonyságot” a biztonsági normák fényében – vajon a rövid távú pénzügyi megtakarítás vagy a hosszú távú katasztrófavédelmi kockázatminimalizálás jelenti a valódi hatékonyságot?

Az éghajlatváltozás és az ezzel összefüggő szélsőséges időjárási jelenségek szintén fokozzák a téma időszerűségét. Az erős szélterhelések, hirtelen jégverések vagy heves esőzések komoly hatást gyakorolhatnak az ideiglenes szerkezetek stabilitására. Az állványzatok és zsaluzatok tervezésekor ezért ma már nemcsak a statikai teherbírást, hanem a meteorológiai kockázatokat is figyelembe kell venni. A katasztrófavédelmi felkészültség ebben az összefüggésben kiterjed a megelőzés, védekezés és helyreállítás teljes folyamatára, amelyben az építési ideiglenes szerkezetek kulcsszerepet játszanak. A digitalizáció és a BIM-alapú (Building Information Modeling) [6] tervezés térnyerése új lehetőségeket nyitott a zsaluzati és állványzati rendszerek kockázatelemzésében is. A háromdimenziós modellezés, a szenzoros monitorozás és a mesterséges intelligencián alapuló szerkezeti előrejelzés ma már lehetővé teszi a megelőző biztonsági beavatkozásokat, illetve a valós idejű kockázatfigyelést. Ezek az eszközök azonban csak akkor használhatók hatékonyan, ha a normatív keretek és a katasztrófavédelmi protokollok is integrálódnak a technológiai rendszerekbe. A kutatás tehát nemcsak hagyományos biztonsági szempontból releváns, hanem a digitális átállás és az intelligens építési rendszerek fejlődésének irányából is.

Összességében elmondható, hogy a zsaluzati és állványzati rendszerek vizsgálata katasztrófavédelmi, normatív és költséghatékonysági szempontból komplex, multidiszciplináris kérdéskör, amely a mérnöki, gazdasági és biztonságpolitikai szinteket egyaránt érinti. A téma aktualitását nemcsak a technológiai újítások és a szabályozási környezet változása, hanem az emberi élet védelmének társadalmi elvárása is megerősíti. Egy ilyen kutatás eredményei hozzájárulhatnak ahhoz, hogy a jövőben az építési ideiglenes szerkezetek biztonságosabbak, szabványosabbak és gazdaságosabbak legyenek, és ezzel párhuzamosan csökkenjen az építőipari katasztrófák száma.

A téma tehát nemcsak elméleti, hanem gyakorlati jelentőséggel is bír: a kutatás eredményei közvetlenül alkalmazhatók az építési projektek előkészítése, tervezése és engedélyezése során, valamint a katasztrófavédelmi hatóságok döntéstámogatási rendszereiben. Mindez indokolttá és aktuálissá teszi a zsaluzati és állványzati rendszerek átfogó vizsgálatát a norma- és költséghatékonyság összefüggéseiben, hiszen e kettő együttes optimalizálása jelenti a jövő építőiparának kulcsát.

2. A TUDOMÁNYOS PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA

Az utóbbi évtizedben nagy mértékben megnőtt a magyarországi ipari beruházások száma, amik részben új beruházásokból, részben a régi ipartelepek felújításából, bővítéséből származik. Szerkezetépítés szempontjából az ipari épületek jellemzően acélszerkezetből, előregyártott vasbeton szerkezetből, illetve monolit vasbetonból épülnek. Hogy mikor melyik rendszer kerül előtérbe az építésnél az függ a beruházás méretétől, a funkciójától, valamint a környezet adottságaitól. Nagyléptékű ipari beruházások esetében általában a vegyes szerkezet a jellemző, tekintve, hogy többféle épületek és csarnokrendszerek kerülnek megépítésre [7].

A kutatási tevékenységem kifejezetten a monolit vasbetonszerkezetek építésére korlátozódik, mert itt található az a segéd szerkezet, nevezetesen a zsaluzat, amit a végtermék megjelenítésében már nem látunk, de mégis meghatározó szerepe van mind költség és építési idő tekintetében, illetve munka és balesetvédelem szempontjából [7].

A vasbeton szerkezet építés három fő fázisának a zsaluzás, vasszerelés, és a betonozás költségmegoszlásának arányait vizsgálva a korábbi felmérések azt mutatják, hogy a legnagyobb részt, közel 48 %-ot a zsaluzási munkák alkotják. Míg a vasszerelési illetve a betonozási munkák anyagigényei a végleges szerkezet részét képezik, ezek mennyiségi számításai egzakt módon kezelhetők a kiviteli illetve statikai tervek alapján.

Ezzel szemben a zsaluzási munkák mennyiségét tekintve csak a zsaluzandó felület számítható egzaktul, annak anyagigénye, vagyis az építés helyszínén valóságban felhasználandó zsalumennyiség a zsaluforgatás, illetve annak hatékonysága függvényében változó érték, amit optimalizálni lehet és kell is. A zsaluforgalmazó cégek ugyan adnak egy általuk megfogalmazott zsaluzási normaidőt, de az ugyanazon zsalutáblára vonatkozó forgatási mérőszám ebben nem tükröződik vissza, így nehezen definiálható az egy egységnyi beton felületre jutó zsalu anyagszükséglet meghatározásának módja. Hasonlóan a helyzet az itthoni költségvetési programok alkalmazásainál is.

A hazai normarendszer ezen felül nem ad lehetőséget az egyazon feladatkört ellátó tevékenységtípus, például vízszintes szerkezetek zsaluzásánál a zsalutípus megválasztására, ami viszont nagyban befolyásolhatja mind az építési időt, mind pedig az építési költséget. Az ilyen típusú, újszerű norma értékek meghatározásához, valamint az ezzel összefüggő zsaluforgatási mérőszámok, zsaluzási költségek, illetve a tényleges zsaluzási idő definiálásához a legmegbízhatóbb módszer a tényleges méréseken alapuló mutatók, mérőszámok meghatározása.

A felgyorsuló világunkban, ahol az idő, és a költségek válnak a legfontosabb gazdasági mutatókká egy beruházás sikerességét tekintve nem szabad megfeledkezni az ezzel járó kockázatvállalással sem. Ipari beruházások tekintetében az egyik legfontosabb az iparbiztonság fenntartása. A kérdés, hogy a zsaluzási munkáknál a kifizetett norma és a maximális költség hatékonyság hogyan hat az iparbiztonságra [8]. Vizsgálandó a fenti tényezőket befolyásoló mutatók és mérőszámok, mint a napi munkaidő, a munkaerő mennyisége, a ráfordítási érték, a tanulási idő, szakmunkás- segédmunkás aránymutató, mérnök – fizikai dolgozók aránymutató, műszak mutató, időjárás index, horizontális-vertikális mozgatási mutató, előszerelési együttható, daru támogatottsági tényező, téli-nyári munkavégzés arányszáma, szerkezeti mutatók, organizációs együttható stb.

3. KUTATÁSI HIPOTÉZISEK

Az értekezés kidolgozását megelőzően az alábbi hipotéziseket állítottam fel:

1. Feltételezem, hogy a homlokzati állványzatokkal kapcsolatos események kialakulása megelőzhető a baleseti okok és következmények rendszerelméleti kutatására alapozott új digitális műszaki ellenőrzési eljárás és módszertan felhasználásával, amellyel az eddigi szemrevételezési gyakorlathoz képest egy jóval hatékonyabb felmérőrendszer fejleszthető ki.

2. Véleményem szerint a vasbeton szerkezetépítés zsaluzási és teherhordó állvány szerelési munkálatainál esetlegesen bekövetkező munkabalesetek valószínűsége, munkaidő- és anyagnormarendszerek optimalizálásával kapcsolatos szervezési intézkedésekkel csökkenthető, amely hozzájárulhat a kivitelezési ütemek és a költségek realisabb tervezéséhez, illetve a baleseti események megelőzéséhez.

3. Feltételezem, hogy az egyes vasbetonszerkezeti elemek, mint alaptestek, födém szerkezetek, falak, pillérek és egyéb vasbeton elemek szerkezetépítési fázisainak költségarány függvénye függ az épületszerkezetek típusától. A beruházás kezdeti fázisában az így prognosztizált tudományosan becsült költségek hozzájárulhatnak a munkabalesetek időben történő megelőzéséhez.

4. KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK

1. Célkítűzésem az építőipari homlokzati állványzati események jellemző típusainak, azok gyakoriságának és kiváltó okainak elemzését követően javaslatot tenni a homlokzati állványzatok biztonsági ellenőrzésére szolgáló új és gyors felmérési döntéshozatalt elősegítő digitális műszaki ellenőrzési eljárásra és módszertanra.

2. Célkítűzésem a vasbetonszerkezetek zsaluzási és teherhordó állvány szerelési munkáit érintő konkrét esettanulmányra épülő helyszíni mérések segítségével vizsgálni az egyes szerkezetek építési idő- és anyagnorma értékeit, amelyekből számítható kivitelezési idők és költségek segítségével optimalizálható a zsalumennyiség, vagyis számítható a zsaluforgatási sebesség.

3. A kutatási célkitűzésem, hogy összefüggést találjak az egyes vasbetonszerkezeti elemek, mint az alaptestek, a födém szerkezetek, a falak, a pillérek és egyéb vasbeton elemek szerkezetépítési fázisainak költségarány függvényére, amely eredményekre építve létrehozni olyan baleseti kockázati indexrendszert, amely a prediktív munkavédelmi ráfordítás becsléséhez is alkalmazható.

5. KUTATÁSI MÓDSZEREK

A következő kutatási módszereket alkalmazom a hipotézisek igazolása céljára:

- Valós vasbetonszerkezeti kivitelezési munkákon helyszíni mérések végzése. Mérni szeretném a az egyes zsaluzási tevékenységek ráfordítási idejét az összeszerelt zsaluzási négyzetméterek függvényében, figyelembe véve a külső és belső tényezőket, mint az első fejezetben említett napi munkaidő, a munkaerő mennyisége, a ráfordítási érték, a tanulási idő, szakmunkás- segédmunkás aránymutató, mérnök – fizikai dolgozók aránymutató, műszak mutató, időjárási index, horizontális-vertikális mozgatási mutató, előszereltségi együttható, daru támogatottsági tényező, téli-nyári munkavégzés arányszáma, szerkezeti mutatók, organizációs együttható.
- Megépült, monolit vasbetonszerkezetes épületek utólagos költségelemzése a vasbeton szerkezetépítés három fő építési fázisára: a zsaluzás, betonacél szerelés és betonozás. Ezen belül az egyes szerkezeti elemek költséghányadának elemzése, felbontva alaptestekre, földemekre, falakra pillérekre, gerendákra, és vasbeton lépcsőszerkezetekre.
- Építési helyszínek organizációs elemzése, az alkalmazott zsaluzati rendszerek és állványzatok baleseti kockázatának függvényében.
- A hazai veszélyes üzemekben végzett vasbeton szerkezetépítési munkák utóelemzése iparbiztonsági szempontok figyelembevételével.
- Hazai és nemzetközi szakirodalom átfogó tanulmányozása vasbetonszerkezetek zsaluzási és állványozási munkáihoz kapcsolódó balesetek veszélyhelyzetek tekintetében, jogszabály kutatással egybekötve.

6. RELEVÁNS SZAKIRODALOM ÁTTEKINTÉSE

Nemzetközi és hazai jogi szabályozás

A vasbetonszerkezetek zsaluzataira vonatkozó szabványok és jogszabályok biztosítják, hogy az építési folyamat során a zsaluzatok megfelelően legyenek megtervezve, kivitelezve és használva, ezzel garantálva a biztonságot és a minőséget. Ezen felül a vasbetonszerkezetek építésével kapcsolatos iparbiztonságot számos hazai és nemzetközi szabvány és jogszabály szabályozza. Ezek az előírások biztosítják, hogy az építési munkák során a munkavállalók biztonsága és egészsége védve legyen, valamint a munkahelyi balesetek és veszélyek minimalizálójának.

A munkavédelem alapvető szabályait határozza meg Magyarországon a 1993. évi XCIII. törvény a munkavédelemről [9], beleértve a munkavállalók egészségének és biztonságának védelmét az építési tevékenységek során. A következő rendelet a: 4/2002. (II. 20.) SzCsM–EüM együttes rendelet a munkahelyek munkavédelmi követelményeinek minimális szintjéről [10] a munkahelyek munkavédelmi követelményeit szabályozza, amelyek az építési területekre is vonatkoznak. A 10/2016. (IV. 5.) NGM rendelet az építési területeken történő munkavégzés biztonsági követelményeiről [11] rendelet részletesen szabályozza az építési területeken történő munkavégzés biztonsági követelményeit, beleértve a vasbetonszerkezetek építését is. Az építőipari kivitelezési tevékenységek biztonsági és egészségvédelmi követelményeit a 191/2009. (IX. 15.) Korm. rendelet az építőipari kivitelezési tevékenységről [12] rendelet tartalmazza, különös tekintettel a munkavédelmi előírásokra.

Az MSZ EN 12811-1:2004 - *Ideiglenes szerkezetek a magasépítésben. Állványzatok. Teljesítménykövetelmények és általános tervezés* [13] szabvány az ideiglenes állványzatok biztonsági és tervezési követelményeit határozza meg, amelyek fontosok a vasbetonszerkezetek építése során.

A munkahelyi egészségvédelmi és biztonsági irányítási rendszerekre vonatkozik az ISO 45001:2018 - *Occupational health and safety management systems - Requirements with guidance for use* [14] nemzetközi szabvány globálisan alkalmazható az építőiparban, beleértve a vasbetonszerkezetek építését is. Az EN 12812:2008 - *Falsework - Performance requirements and general design* [15] európai szabvány a födémzsaluzatok és egyéb ideiglenes szerkezetek biztonsági és tervezési követelményeit határozza meg. Az ideiglenes élvédelmi rendszerekre vonatkozó EN 13374:2013 - *Temporary edge protection systems - Product specification - Test methods* szabványt [16] az építési munkák során a leesés elleni védelem biztosítására használják.

Az Egyesült Államokban OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*) standards [17] szabványok, különösen az 1926. széria, részletes előírásokat tartalmaznak az építőipari munkavédelemre vonatkozóan az Egyesült Államokban. Ezek az előírások különös figyelmet fordítanak a zsaluzatok, állványzatok és egyéb ideiglenes szerkezetek biztonságára.

Az Európai Unió ideiglenes vagy mozgó építési területekre vonatkozó irányelve a *Directive 92/57/EEC - Temporary or mobile construction sites* [18], amely meghatározza a munkavállalók egészségének és biztonságának védelmét szolgáló minimumkövetelményeket.

A hazai jogszabályokból, szabványokból a következőket kell megemlíteni:

Az MSZ EN 12812:2008 - Állványok. Teljesítménykövetelmények és általános tervezés [19] szabvány meghatározza a födémzsaluzatok és egyéb állványzatok teljesítménykövetelményeit és általános tervezési irányelveit. Biztonsági, stabilitási és tartóssági követelményeket tartalmaz. A betonra vonatkozó előírásokat, beleértve a keverék összetételét, a minőséget és a gyártási követelményeket az MSZ 4798:2004 - Beton. Előírások, tulajdonságok, gyártás és megfelelés [20] szabvány tartalmazza. Fontos szerepe van a vasbetonszerkezetek zsaluzatainak tervezésében és kivitelezésében. A zsaluzatokra vonatkozó specifikus előírásokat tartalmazza, beleértve a szabványos és különleges zsaluzatok tervezését és kivitelezését az *MSZ 15021:2009 - Zsaluzatok. Szabványos és különleges zsaluzatok szabvány* [21] szabályozza. Az építési termékek, köztük a zsaluzatok megfelelőségének igazolására vonatkozó előírásokat tartalmazza a 123/1997. (VII. 18.) Korm. rendelet az építési termékek megfelelőség igazolásáról [22] kormányrendelet. Az építőipari kivitelezési tevékenységekkel kapcsolatos előírásokat tartalmazza a 191/2009. (IX. 15.) Korm. rendelet az építőipari kivitelezési tevékenységről [23] kormányrendelet, beleértve a zsaluzatok kivitelezésére vonatkozó szabályokat is.

Nemzetközi mértékadó szakirodalom bemutatása

M.K. Hurd: "Formwork for Concrete" (7th Edition, 2005). M.K. Hurd könyvének hetedik kiadása egy átfogó és részletes útmutató a beton zsaluzási rendszereinek tervezéséhez és kivitelezéséhez. A könyv a zsaluzatok tervezőinek, mérnökeinek és kivitelezőinek nyújt értékes információkat, alapvető fogalmakat és gyakorlati tanácsokat.

A könyv elején a zsaluzat szerepét és fontosságát tárgyalja a betonépítésben, valamint bemutatja a zsaluzat történetét és fejlődését. Az alapfogalmak, definíciók és a zsaluzatok különböző típusai kerülnek bemutatásra. Hurd részletesen tárgyalja a különböző zsaluzati anyagokat, beleértve a fát, acélt, alumíniumot és műanyagokat. Kiemeli az anyagok előnyeit és hátrányait, valamint a különböző zsaluzási rendszerek alkalmazását és azok kiválasztási szempontjait. A könyv nagy hangsúlyt fektet a zsaluzatok tervezésére, beleértve a statikai számításokat, a terhelési és anyagkiválasztási szempontokat. Részletesen bemutatja a zsaluzatok tervezési folyamatait, figyelembe véve a biztonsági és gazdaságossági szempontokat. [24]

Patrick Powers - "Concrete Formwork" (2000). Patrick Powers "Concrete Formwork" című A könyv célja, hogy mind a kezdő, mind a tapasztalt szakemberek számára hasznos információkat és gyakorlati tanácsokat adjon a hatékony és biztonságos zsaluzási rendszerek kialakításához.

A könyv bevezető részében Powers ismerteti a zsaluzatok alapvető szerepét és jelentőségét a betonépítésben. Részletesen tárgyalja a zsaluzás fogalmát, típusait és alkalmazási területeit, valamint a beton és a zsaluzat közötti kölcsönhatást. Powers bemutatja a különböző zsaluzati anyagokat, beleértve a fát, acélt, alumíniumot és kompozit anyagokat. Részletezi az egyes anyagok előnyeit és hátrányait, valamint azok megfelelő alkalmazási módjait. Emellett a különféle zsaluzási rendszerek, mint például a hagyományos fa zsaluzatok, előregyártott zsaluzatok és csúszózsaluzatok is tárgyalásra kerülnek. A könyv központi része a zsaluzatok tervezési elveire és statikai számításaira fókuszál. Powers részletesen bemutatja a tervezési folyamatot, beleértve a terhelési és feszültségi számításokat, az anyagválasztást és a biztonsági tényezők figyelembevételét. Külön fejezetek foglalkoznak a zsaluzatok stabilitásának és tartósságának biztosításával. A könyv részletes útmutatást ad a zsaluzatok helyszíni kivitelezéséhez és szereléséhez. Powers lépésről lépésre bemutatja a zsaluzási folyamatot, beleértve a zsaluzatok összeállítását, rögzítését és bontását. Emellett a helyes betonozási technikákat és a zsaluzatok eltávolításának időzítését is tárgyalja. Powers hangsúlyozza a biztonságos munkavégzés fontosságát az építési területen. Részletesen tárgyalja a zsaluzatokkal kapcsolatos munkavédelmi előírásokat, valamint a minőségbiztosítási eljárásokat és ellenőrzési módszereket. Külön figyelmet fordít a zsaluzatok rendszeres karbantartására és ellenőrzésére.

[25]

"Concrete Construction Engineering Handbook" edited by Edward G. Nawy (2nd Edition, 2008). A "Concrete Construction Engineering Handbook" második kiadása, melyet Edward G. Nawy szerkesztett, egy átfogó kézikönyv, amely széles körű ismereteket nyújt a betonszerkezetek tervezésének és kivitelezésének minden aspektusáról. A könyv célja, hogy gyakorlati és elméleti útmutatást adjon mérnököknek, tervezőknek, kivitelezőknek és más építőipari szakembereknek. A könyv részletesen tárgyalja a beton összetevőit, mint például a cementet, az adalékanyagokat, a vizet és a különböző adalékszereket. Külön fejezetek foglalkoznak a beton tulajdonságaival, a friss és megszilárdult beton viselkedésével, valamint a keveréktervezés alapelveivel. A könyv gyakorlati útmutatást nyújt a betonszerkezetek kivitelezéséhez. Ez magában foglalja a zsaluzatok és állványzatok tervezését, a beton bedolgozásának és tömörítésének technikáit, valamint a beton utókezelésének módszereit. Külön fejezet foglalkozik a minőségbiztosítási eljárásokkal és a helyszíni ellenőrzési módszerekkel. Emellett ismerteti a legújabb technológiai fejlesztéseket és innovációkat, mint például a szelf-kompaktáló beton és a nanotechnológia alkalmazása a betoniparban [26].

Különös figyelmet fordít a szerkezeti károsodások diagnosztizálására és a megfelelő javítási technikák kiválasztására. A "Concrete Construction Engineering Handbook" második kiadása tehát egy átfogó, részletes és aktuális kézikönyv, amely minden fontosabb területet lefed a betonszerkezetek tervezése és kivitelezése kapcsán. A könyv gazdag tartalma és gyakorlati megközelítése miatt elengedhetetlen forrás a szakemberek számára az építőiparban.

David W. Johnston "Formwork for Concrete". David W. Johnston "Formwork for Concrete" című könyvének nyolcadik kiadása az egyik legátfogóbb és legelismertebb kézikönyv a betonszerkezetek zsaluzásáról. A könyv célja, hogy gyakorlati és elméleti tudást nyújtson az építészeti és mérnöki szakma számára a zsaluzatok tervezésében és kivitelezésében. Az 1940-es évek óta a könyv többszöri frissítése tükrözi az iparág fejlődését és az új technológiák megjelenését. Bevezetés a zsaluzatok világába: A könyv első része áttekintést nyújt a zsaluzatok alapvető szerepéről a betonszerkezetek kivitelezésében. Megismerteti az olvasót a zsaluzatok típusával, történetével és fontosságával az építőiparban.

Zsaluzati rendszerek és anyagok: Ez a szakasz részletesen tárgyalja a különböző zsaluzati rendszereket, beleértve a hagyományos fa zsaluzatokat, a modern fém- és műanyag rendszereket, valamint az előregyártott elemeket. A különböző anyagok előnyeit és hátrányait is elemzi, segítve az olvasót a megfelelő rendszer kiválasztásában. Tervezési elvek és módszerek: A könyv kimerítő részletekkel szolgál a zsaluzatok tervezési elveiről és módszereiről. Ez magában foglalja a terhelési és nyomásvizsgálatokat, a biztonsági tényezők figyelembevételét, valamint a gazdaságossági szempontokat. Külön fejezetek foglalkoznak a vízszintes és függőleges zsaluzatok tervezésével. Kivitelezési technikák és gyakorlatok: Johnston könyve részletes gyakorlati útmutatást nyújt a zsaluzatok helyszíni kivitelezéséhez. Ez magában foglalja a helyes összeszerelési, beállítási és bontási technikákat, valamint a biztonsági előírások betartását. Az olvasó megtanulhatja, hogyan lehet hatékonyan és biztonságosan dolgozni különböző zsaluzati rendszerekkel. Innovációk és új technológiák: A könyv egyik kiemelt része az innovációk és új technológiák bemutatása. Különös figyelmet fordít a modern anyagokra, mint például az önhelyreállító betonra és az új műanyag zsaluzati rendszerekre. Ezenkívül bemutatja az automatizált és félautomata zsaluzási megoldásokat, amelyek növelik a hatékonyságot és csökkentik a munkaerő igényét. Zsaluzati rendszerek karbantartása és ellenőrzése. [27]

Industrial Safety and Health Management" by C. Ray Asfahl and David W. Rieske (7th Edition, 2019)

Az "Industrial Safety and Health Management" hetedik kiadása C. Ray Asfahl és David W. Rieske tollából egy átfogó kézikönyv, amely az ipari biztonság és egészségvédelem alapvető

elveit és gyakorlati megközelítéseit tárgyalja. A könyv célja, hogy segítséget nyújtson a szakembereknek a munkahelyi biztonság és egészségvédelem hatékony kezelésében, kockázatok minimalizálásában, és a biztonsági kultúra fejlesztésében. A könyv különösen hasznos lehet a biztonsági szakemberek, mérnökök, menedzserek és egyetemi hallgatók számára. A könyv első fejezete bemutatja az iparbiztonság és egészségvédelem alapfogalmait, történeti háttérét és jelentőségét az iparban. Részletezi a munkavédelmi törvényeket, szabályozásokat és azok fejlődését az idők során. Biztonsági és egészségvédelmi programok kialakítása. Ez a rész a biztonsági és egészségvédelmi programok tervezését, fejlesztését és végrehajtását tárgyalja. Ismerteti a hatékony biztonsági programok összetevőit, beleértve a vezetői elkötelezettséget, a munkavállalói részvételt és a folyamatos fejlesztést. Veszélyazonosítás és kockázatértékelés. A fejezet részletesen bemutatja a veszélyazonosítás és kockázatértékelés folyamatát. Tartalmazza a különböző kockázatértékelési módszereket, mint például a Hazop (Hazard and Operability Study) és a FMEA (Failure Modes and Effects Analysis). Részletesen ismerteti a kockázatok csökkentésének és kezelésének stratégiáit. Munkahelyi veszélyek és kontroll intézkedések. Ez a rész a különböző munkahelyi veszélyeket és azok megelőzését tárgyalja. Külön fejezetek foglalkoznak a fizikai, kémiai, biológiai és ergonómikus veszélyekkel, valamint a megfelelő kontroll intézkedésekkel. Részletesen tárgyalja a személyi védőeszközök (PPE) használatát és a mérnöki kontrollok fontosságát. A könyv részletesen tárgyalja a biztonsági kultúra kialakításának és fenntartásának fontosságát. Ismerteti a biztonsági viselkedés és attitűdök fejlesztésének módszereit, valamint a biztonsági oktatás és képzés szerepét a munkahelyi biztonság növelésében. Jogi és etikai kérdések. A fejezet áttekinti a munkahelyi biztonsággal kapcsolatos jogi és etikai kérdéseket. Bemutatja a munkavédelmi törvények és szabályozások betartásának fontosságát, valamint a jogi felelősséget és etikai dilemmákat, amelyekkel a biztonsági szakemberek szembesülhetnek. Balesetvizsgálat és jelentéskészítés. [28]

Fundamentals of Occupational Safety and Health by Mark A. Friend and James P. Kohn
A "Fundamentals of Occupational Safety and Health" hetedik kiadása, melyet Mark A. Friend és James P. Kohn írt, egy átfogó kézikönyv, amely a munkahelyi biztonság és egészségvédelem alapvető ismereteit tárgyalja. A könyv célja, hogy gyakorlati és elméleti útmutatást nyújtson a biztonsági szakemberek, menedzserek, mérnökök és hallgatók számára a munkahelyi biztonsági programok fejlesztéséhez, kivitelezéséhez és fenntartásához.

A "Fundamentals of Occupational Safety and Health" hetedik kiadása egy átfogó, részletes és naprakész kézikönyv, amely széleskörű ismereteket nyújt a munkahelyi biztonság és egészségvédelem területén. A könyv gyakorlati megközelítése és részletes útmutatói

segítenek a szakembereknek a biztonsági programok hatékony kialakításában és fenntartásában. A veszélyazonosítástól és kockázatértékeléstől kezdve a biztonsági kultúra fejlesztéséig, a könyv minden fontos aspektust lefed, amelyek elengedhetetlenek a biztonságos és egészséges munkahelyek megteremtéséhez. A szerzők részletesen tárgyalják a jogi és szabályozási kereteket, a balesetmegelőzési technikákat, valamint a biztonsági képzések és oktatási programok jelentőségét, így értékes forrást biztosítanak mind a gyakorló szakemberek, mind a hallgatók számára. [29]

Hazai mértékadó szakirodalom bemutatása

Kapu László „Monolit vasbeton szerkezetek. Fortélyok és praktikák a tervezéstől a megvalósításig”. Kapu László könyve, a "Monolit vasbeton szerkezetek. Fortélyok és praktikák a tervezéstől a megvalósításig" egy átfogó útmutató, amely részletesen tárgyalja a monolit vasbeton szerkezetek tervezésének és kivitelezésének minden lépését. A könyv célja, hogy gyakorlati tanácsokkal és részletes magyarázatokkal segítse a mérnököket, tervezőket és kivitelezőket a monolit vasbeton szerkezetek hatékony és biztonságos megvalósításában. A könyv első fejezete áttekintést nyújt a monolit vasbeton szerkezetek alapvető tulajdonságairól, előnyeiről és alkalmazási területeiről. Bemutatja a monolit vasbeton technológia történetét és fejlődését, valamint a jelenlegi trendeket és innovációkat. A tervezési alapelvek és módszerek fejezet a monolit vasbeton szerkezetek tervezési alapelveit és módszereit tárgyalja. Bemutatja a tervezési folyamat lépéseit, beleértve az előzetes tervezést, a részletes tervezést és a végső tervek elkészítését. A szerző részletesen ismerteti a tervezés során figyelembe veendő szempontokat, mint például a teherbírás, a stabilitás és a tartósság. Az anyagok és technológiák fejezetben a könyv részletesen bemutatja a monolit vasbeton szerkezetek építéséhez használt anyagokat és technológiákat. Ismerteti a beton és az acél tulajdonságait, a különböző betonkeverékek jellemzőit és azok alkalmazási területeit. Részletesen tárgyalja a zsaluzási technikákat, a vasalási módszereket és a betonozási eljárásokat. A könyv végén a szerző gyakorlati példákat és esettanulmányokat mutat be, amelyek szemléltetik a monolit vasbeton szerkezetek tervezésének és kivitelezésének különböző aspektusait. Ezek az esettanulmányok konkrét projekteken keresztül mutatják be a sikeres megoldásokat és a tanulságokat. [30]

Farkas György - Huszár Zsolt - Kovács Tamás - Szalai Kálmán: „Betonszerkezetek méretezése az Eurocode alapján - Közúti hidak, épületek”. A "Betonszerkezetek méretezése az Eurocode alapján - Közúti hidak, épületek" című könyv egy részletes és átfogó útmutató a betonszerkezetek tervezéséhez és méretezéséhez az Eurocode szabványok alkalmazásával. A könyv célja, hogy gyakorlati és elméleti tudást nyújtson a mérnökök, tervezők és építészek számára, akik közúti hidak és épületek betonszerkezeteinek tervezésével foglalkoznak. A könyv nagy hangsúlyt fektet az Eurocode 2 előírásainak pontos alkalmazására és azok gyakorlati példákon keresztüli bemutatására. A szerzők hangsúlyozzák a megbízhatósági szintek fontosságát és a tervezési követelmények betartását a biztonságos és gazdaságos szerkezetek megvalósítása érdekében. A könyv részletesen tárgyalja a betonszerkezetek tervezéséhez használt anyagokat és azok tulajdonságait. Ismerteti a beton és az acél főbb jellemzőit, a különböző betonkeverékek és acélminőségek alkalmazását. A szerzők bemutatják a beton mechanikai és fizikai tulajdonságait, valamint a vasalás anyagainak jellemzőit és azok hatását a szerkezetek viselkedésére. A szerzők részletesen ismertetik a különböző méretezési módszereket, beleértve a hajlítást, nyírást, csavarodást és a nyomást. Közúti hidak tervezése. [31]

Horváth Gyula: "Munkavédelem: Elmélet és gyakorlat" (2020) Horváth Gyula "Munkavédelem: Elmélet és gyakorlat" című könyve átfogó képet nyújt a munkavédelem területéről, amely elméleti alapokat és gyakorlati megoldásokat kínál a munkahelyi egészségvédelem és biztonság biztosítására. A könyv tartalmát a következő főbb részekre bontva lehet összefoglalni: A munkavédelem jelentősége és történeti áttekintés: A könyv elején a szerző bemutatja a munkavédelem fontosságát, annak történeti fejlődését és a munkavédelem helyét a modern ipari társadalomban. Részletesen tárgyalja, hogyan alakultak ki a munkavédelmi jogszabályok és szabványok, valamint hogyan fejlődött a munkavédelem tudománya és gyakorlata. Jogi és szabályozási keretek: A munkavédelem jogi hátterét részletesen tárgyalja a könyv, bemutatva a vonatkozó magyar és európai uniós jogszabályokat. Ezenkívül ismerteti a munkavédelmi szabályozás különböző szintjeit és a szabályozási rendszer működését. Munkahelyi kockázatok azonosítása és értékelése: A szerző részletesen bemutatja a munkahelyi kockázatok típusait, azok azonosításának és értékelésének módszereit. A kockázatértékelés során alkalmazott technikákat és eszközöket is ismerteti, kiemelve a különböző iparágak sajátosságait. [32]

Káta Urbán Lajos "Ipari kockázatkezelés (elemzés) Magyarországon". Káta Urbán Lajos "Ipari kockázatkezelés (elemzés) Magyarországon" című könyve átfogóan tárgyalja az ipari kockázatok kezelésének elméleti és gyakorlati aspektusait Magyarországon. Az alábbiakban részletesen bemutatom a könyv főbb témáit és tartalmi elemeit összefoglalva. Bevezetés az ipari kockázatok világába: Káta Urbán Lajos könyvének első része az ipari kockázatok természetével és azok kezelésének szükségességével foglalkozik. A szerző bemutatja a kockázatok különböző típusait, beleértve a természeti, technológiai, gazdasági és emberi tényezőkből adódó kockázatokat. Kiemeli, hogy a kockázatkezelés célja nemcsak a veszélyek elkerülése, hanem a kockázatok tudatos vállalása és kezelése a fenntartható fejlődés érdekében. Kockázatkezelési elméletek és modellek: A könyv részletesen tárgyalja a kockázatkezelési elméleteket és modelleket, amelyek a kockázatok azonosítására, értékelésére és kezelésére szolgálnak. Káta ismerteti a legfontosabb kockázatkezelési modelleket, mint például a SWOT analízist, a PEST elemzést, valamint a különböző kvantitatív és kvalitatív értékelési módszereket.

Történeti áttekintés és jelenlegi helyzet: A szerző bemutatja az ipari kockázatkezelés történeti fejlődését Magyarországon, kiemelve a fontosabb ipari baleseteket és azok hatását a szabályozási környezetre. A könyv részletesen tárgyalja a hazai ipar fejlődését, valamint az ipari kockázatok alakulását a rendszerváltástól napjainkig. Szabályozási környezet: Egy külön fejezet foglalkozik a magyarországi szabályozási környezettel, bemutatva az ipari kockázatok kezelésére vonatkozó jogszabályokat és szabványokat. A szerző részletesen ismerteti a munkavédelmi törvényeket, a katasztrófavédelemre vonatkozó szabályozásokat, valamint az ipari biztonsági előírásokat. Külön hangsúlyt kap a hazai és az európai uniós szabályozások összehasonlítása és integrációja. A szerző számos esettanulmányon keresztül mutatja be a kockázatkezelés gyakorlati alkalmazását különböző ipari ágazatokban, mint például a vegyipar, az energetika, az építőipar és a logisztika. Ezek az esettanulmányok szemléltetik, hogyan alkalmazhatók a kockázatkezelési elméletek és eszközök a valós életben, és milyen eredményeket érhetnek el a vállalatok a kockázatok hatékony kezelésével. Innovációk és jövőbeni kihívások: A könyv zárófejezete az ipari kockázatkezelés jövőbeli kihívásaival és az innovációk szerepével foglalkozik. Káta bemutatja az új technológiák és módszerek alkalmazási lehetőségeit, valamint a kockázatkezelés fejlődésének irányait. Külön hangsúlyt kap az ipar 4.0 és a digitalizáció hatása a kockázatkezelésre, valamint a klímaváltozás és a fenntarthatósági szempontok integrálása a kockázatkezelési stratégiákba. [33]

7. AZ ÉRTEKEZÉS FELÉPÍTÉSE, ELHATÁROLÁSOK

Az első fejezetben áttekintem a magyarországi munkabalesetek előfordulását, leggyakoribb eseteit. A munkabalesetek alakulása fontos indikátora egy ország munkavédelmi helyzetének és munkahelyi biztonságának. Magyarországon az elmúlt évtizedben folyamatosan változó gazdasági, technológiai és jogszabályi környezetben kellett a vállalatoknak és a munkavállalóknak alkalmazkodniuk a biztonsági előírásokhoz. A statisztikai adatok elemzése alapján megfigyelhető, hogy bár a munkavédelmi intézkedések fejlődtek, a munkabalesetek száma továbbra is jelentős kihívást jelent. Ennek tükrében vizsgálom az építőipari baleseteket, és azon belül az állványtüzek és az állványösszeomlások eseteit. Ehhez természetesen elemezem részletesen az állványzatok szerkezeteit, azok építéstechnológiáját, hogy azután mérhető eredményekre jussak a balesetek tekintetében. Ezek ismeretében dolgozom ki azt az új módszert, amivel véleményem szerint valóban csökkenthetők lesznek az ilyen súlyos iparbiztonságot is veszélyeztető balesetek.

Az értekezés második fejezetében a fent említett építőipari baleseteken belül vizsgálom az építőipari ideiglenes szerkezetek másik nagy csoportjának, a vasbetonszerkezetek zsaluzatainak összeomlásos eseteit. Ehhez természetesen áttekintem a jellemző magas és mélyépítésben használt zsaluzati rendszereket, azok össze és szétszerelési technológiáját. Ezután feldolgozom a kivitelezési helyszíneken gyűjtött adataimat, amikkel véleményem szerint új normaszámokat tudok majd megfogalmazni, valamit a zsaluforgatás alkalmazásával új anyag és díjtételek állíthatók elő. Feltételezem, hogy vizsgálatokkal igazolható, hogy a normaértékek más rendszerrel történő meghatározásával és a zsaluforgatási mérőszámok alkalmazásával készített költségvetések pontosabbak és racionálisabbak a korábbiaknál. Ezzel módszerrel a korábbi, sokszor téves költségvetési számok kompenzálásra alkalmazott költségcsökkentés módszerek okozta balesetek száma jelentősen csökkenthető.

Az értekezés harmadik fejezetében célkitűzésem, hogy a megvizsgált 33 épület monolit vasbeton szerkezeti elemeinek vizsgálatával megállapítható legyen, hogy az egyes vasbetonszerkezeti elemek, úgy, mint alaptestek, földmszerkezetek, falak, pillérek és egyéb vasbeton elemek szerkezetépítési fázisainak költségarány függvényé függ az épületek típusától. Az első vizsgálattal a 33 épület egyenként, egy négyzetméterre kalkulált átlag zsaluzási költségét elemzem az évek függvényében. A zsaluzási munka átlagköltségébe beletartozik az anyag a munkadíj és a gépköltség, ami egy kétszlopos költségvetésből kiolvasható. A zsaluzási átlagköltségbe mind, a korábban említett szerkezetek zsaluzási költségei értendők az alapozástól a felmenő függőleges és vízszintes szerkezetekig.

Következő vizsgálat során összevettem az összes zsaluköltség arányát a teljes szerkezetépítéshez viszonyítva, a teljes mintára vetítve. A beruházás kezdeti fázisában az így prognosztizált tudományosan becsült költségek hozzájárulhatnak az ipari balesetek időben történő megelőzéséhez és ezzel az iparbiztonság ezen építőipari szegmensének stabilizálásához.

Jelen értekezésben végzett kutatásaim kapcsán elsősorban az alábbi elhatárolási szempontokat veszem figyelembe:

- A kutatási témám az állványzatokon belül kifejezetten a homlokzati állványokra szorítkozik, az egyéb állványszerkezeteket csak érintőlegesen elemzem.
- A vasbetonszerkezetek zsaluzatainak vizsgálatánál csak a monolit szerkezetekkel foglalkoztam., az előregyártott szerkezetekkel nem, tekintettel arra, hogy azok 90%-ban üzemi, gyári körülmények közt készülnek, és nem az építés helyszínén, ahová az én helyszíni méréseim kiterjedtek.
- A sok helyszíni mérés miatt ez egy hosszabb időintervallumot ölel át, de sosem a konkrét költség szám volt a meghatározó, hanem annak arányértéke a többi épülethez, vagy szerkezeti elemhez viszonyítva.
- Bár sok külföldi példát is megvizsgáltam, alapvetően a hazai építőipari piachoz alkalmazkodóan végeztem a méréseket.

1. A HOMLOKZATI ÁLLVÁNYZATOKKAL KAPCSOLATOS BALESETI ESEMÉNYEK DIGITÁLIS MŰSZAKI ELLENŐRZÉSI RENDSZER BEVEZETÉSÉVEL TÖRTÉNŐ MEGELŐZÉSÉNEK KUTATÁSA

1.1 Építőipari balesetek fogalmi értelmezése

A munkabaleset megfogalmazására: „*Munkabaleset: az a baleset, amely a munkavállalót a szervezett munkavégzés során vagy azzal összefüggésben éri, annak helyétől, időpontjától és a sérült munkavállaló közrehatásának mértékétől függetlenül. A munkavégzéssel összefüggésben következik be a baleset, ha a munkavállalót a foglalkozás körében végzett munkához kapcsolódó közlekedés, anyagvételezés, anyagmozgatás, tisztálkodás, szervezett üzemi étkeztetés, foglalkozás-egészségügyi szolgáltatás és a munkáltató által nyújtott egyéb szolgáltatás igénybevétele során éri.*” Így fogalmaz a jog az 1993. évi XCIII. törvény a munkavédelemről. [34] A munkahelyi balesetek a munkavégzés során bekövetkező, nem kívánt események, amelyek sérülést, egészségkárosodást vagy halált okozhatnak. Ezek a balesetek nemcsak az érintett munkavállalókra és családjaikra vannak hatással, hanem jelentős gazdasági és társadalmi következményekkel is járnak. A biztonságos munkakörnyezet kialakítása és a megfelelő kockázatértékelési, valamint baleset-megelőzési intézkedések alkalmazása elengedhetetlen a munkahelyi balesetek csökkentése érdekében.



1. kép: Charles C. Ebbets: „Lunch atop a Skyscraper” [35]

A munkabalesetek alakulása fontos indikátora egy ország munkavédelmi helyzetének és munkahelyi biztonságának. Magyarországon az elmúlt évtizedben folyamatosan változó gazdasági, technológiai és jogszabályi környezetben kellett a vállalatoknak és a munkavállalóknak alkalmazkodniuk a biztonsági előírásokhoz.

A statisztikai adatok elemzése alapján megfigyelhető, hogy bár a munkavédelmi intézkedések fejlődtek, a munkabalesetek száma továbbra is jelentős kihívást jelent.

Az Országos Munkavédelmi és Munkaügyi Főfelügyelőség (OMMF) [36], valamint a Központi Statisztikai Hivatal (KSH) [37] adatai szerint az elmúlt tíz évben a munkabalesetek száma Magyarországon ingadozó tendenciát mutatott. 2013 és 2019 között a munkabalesetek száma folyamatos növekedést mutatott, ami részben a munkaerőpiac bővülésével és az ipari termelés növekedésével magyarázható.

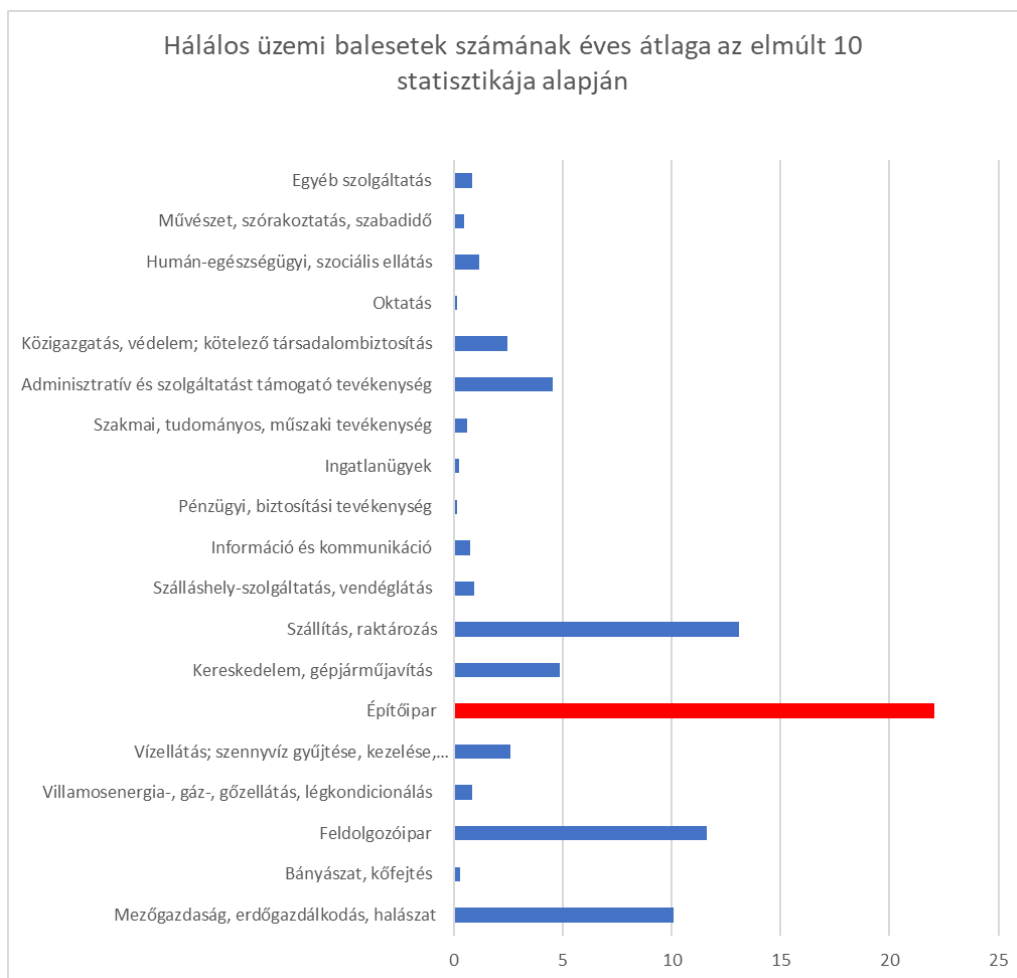
2020-ban a COVID-19 járvány hatására csökkent a bejelentett munkabalesetek száma, ami a gazdasági leállásokkal és az otthoni munkavégzés elterjedésével állt összefüggésben. 2021-től ismét növekedés volt tapasztalható, főként az építőipar és a feldolgozóipar területén. A halálos kimenetelű munkabalesetek száma évről évre ingadozott, de a tendencia azt mutatja, hogy az ipari és építőipari munkaterületeken kiemelten magas a halálesetek aránya.

A legsúlyosabb évek közé tartozott 2018 és 2019, amikor a halálos munkabalesetek száma meghaladta a 80 főt évente. 2020-ban a járvány miatt csökkent a halálos balesetek száma, de 2021-ben és 2022-ben ismét emelkedő tendencia volt megfigyelhető.

A munkabalesetek megoszlása ágazatonként eltérő, de az adatok alapján az alábbi szektorokban fordul elő a legtöbb munkabaleset:

- Építőipar: A magasból történő leesések, az építési területeken előforduló balesetek (például anyagmozgatás, földmunkák) gyakoriak.
- Feldolgozóipar: Gépi berendezésekkel kapcsolatos balesetek, vágások, törések és égési sérülések.
- Mezőgazdaság: Gépkészítési hibák, állatokkal kapcsolatos balesetek.
- Közlekedési és logisztikai szektor: Gépjárművezetők balesetei, rakodás közbeni sérülések.

A Központi Statisztikai Hivatal adatait tekintve (1. ábra) a halálos munkabalesetek ágazati megoszlásánál szintén első helyen szerepel az építőipar.



1. ábra: A munkabalesetek száma nemzetgazdasági ágak szerint. KSH 2024 [38]

Az építőipar világszerte az egyik legveszélyesebb iparág, amelyben a dolgozókat mindennap súlyos baleseti kockázatok fenyegetik. Ez az ágazat különböző munkafolyamatok és veszélyes környezetek miatt különösen hajlamos a munkahelyi balesetekre.

Az építőipari balesetek többféle formát ölthetnek. A leggyakoribb típusok:

1. a leesés a magasból;
2. ideiglenes szerkezetek összeomlása;
3. árkok, munkagödrök beomlása;
4. munkaeszközök, gépek okozta balesetek;
5. tárgyak leesése;
6. elektromos balesetek,
7. valamint a fizikai megterhelésből eredő balesetek.

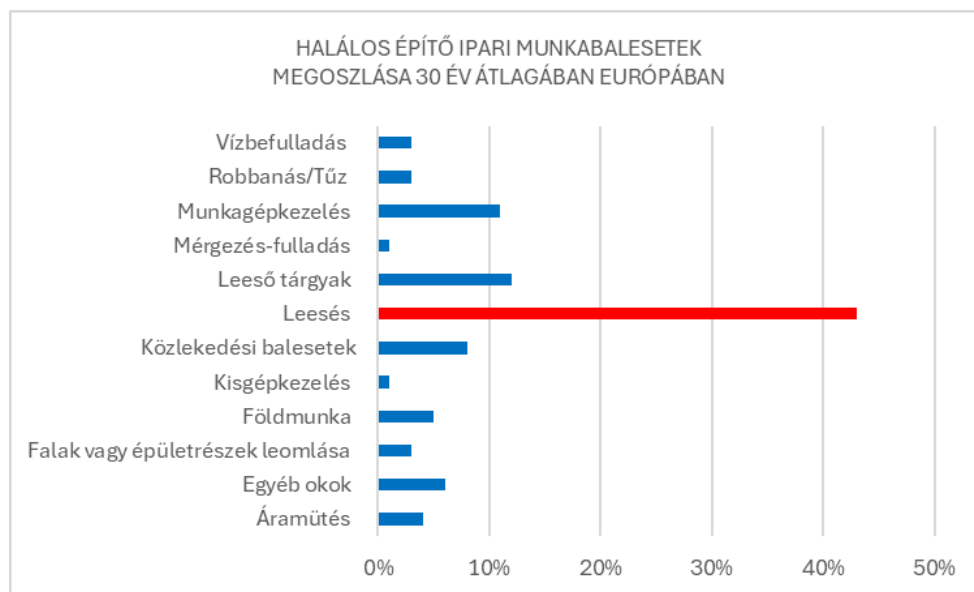
1.1.1 A leeséses balesetek eredete

A magasból történő lezuhanások előfordulása és jelentősége

A statisztikai adatok szerint az építőiparban bekövetkező halálos kimenetelű balesetek mintegy 30–40%-át a magasból való lezuhanások okozzák. Az ilyen típusú balesetek gyakran kapcsolódnak állványzathoz, létrákhoz, tetőszerkezetekhez, illetve nem megfelelően biztosított munkaállványokhoz. A veszély különösen magas azokban az esetekben, amikor a munkavégzés több méter magasságban történik, és a munkavállalók nincsenek megfelelően kiképezve vagy felszerelve az esések elleni védekezésre. A magasból való lezuhanás nemcsak egyéni tragédia, hanem súlyos gazdasági és társadalmi következményekkel is jár. A sérült munkavállaló hosszú távon kieshet a munkaerőpiacról, rehabilitációs ellátásra szorulhat, miközben a munkáltató számára komoly anyagi terhet jelenthet a baleset következményeinek kezelése. Emellett a vállalat hírneve is csorbát szenvedhet, amely hosszú távon hatással lehet üzleti lehetőségeire. A magasból való lezuhanások mögött több, egymással összefüggő ok húzódik meg, amelyek egyaránt magukban foglalják az emberi mulasztásokat, a technikai hiányosságokat és a szervezeti hibákat. A munkavállalói magatartás jelentős tényező: sok esetben a védőfelszerelések nem megfelelő vagy teljes hiánya játszik közre, amit a munkakultúra hiányosságai, a nem megfelelő oktatás vagy a túlzott időnyomás is súlyosbíthatnak.

Technikai oldalról az elavult vagy nem megfelelően karbantartott munkaeszközök, például létrák, állványzatok és emelőplatformok is gyakran okoznak balesetet. A biztonsági előírások betartása sokszor formális szinten marad, és a gyakorlatban nem történik meg a rendszeres ellenőrzés, amely megelőzhetné a problémák kialakulását. Szervezeti szinten a menedzsment felelőssége is megkérdőjelezhetetlen. A biztonsági kultúra hiánya, a nem megfelelő munkaszervezés és a biztonsági protokollok figyelmen kívül hagyása mind hozzájárulnak a baleseti kockázatok növekedéséhez. Különösen jellemző ez a kis- és középvállalkozásokra, ahol a források szűkössége miatt sok esetben háttérbe szorul a munkavédelem. A balesetek bekövetkezésében nemcsak fizikai és szervezeti tényezők játszanak szerepet, hanem a munkavállalók pszichológiai állapota és szociális helyzete is. A munkahelyi stressz, a túlóra, a fáradtság, illetve a bizonytalan foglalkoztatási helyzet mind növelik a figyelmetlenség és a hibázás kockázatát. Sok esetben a munkások úgy érzik, nem tehetik meg, hogy visszautasítsanak egy veszélyes feladatot, mivel attól tartanak, elveszítik állásukat. A külföldi munkavállalók, akik gyakran nyelvi akadályokkal küzdenek, különösen veszélyeztetettek, hiszen sokszor nem értik meg a biztonsági utasításokat, és a beilleszkedés érdekében hajlandóak vállalni a veszélyesebb munkákat is. Az ilyen társadalmi különbségek szintén erősítik a baleseti kockázatokat.

A magasból való lezuhanások súlyos következményekkel járnak az egyén, a munkáltató és a társadalom számára egyaránt. A sérült dolgozó esetében tartós egészségkárosodás, mozgáskorlátozottság, pszichés traumák és munkaképtelenség is felléphet. A család gazdasági helyzete megrendülhet, különösen, ha a munkavállaló volt az egyetlen kereső. A munkáltatót jelentős anyagi teher sújtja, beleértve a bírságokat, kártérítési kötelezettségeket, biztosítási díjakat és a kiesett termelékenységet. Társadalmi szinten az egészségügyi és szociális ellátórendszerre nehezedő nyomás nő, ami hosszú távon a közkiadások növekedéséhez vezet.



2. ábra: A halálos építőipari munkabalesetek megoszlása az elmúlt 30 év átlagában Európában [39]

Megelőzési lehetőségek és a jó gyakorlatok szerepe

A magasból való lezuhanások megelőzése komplex feladat, amely csak integrált megközelítéssel érhető el. Az első és legfontosabb lépés a munkavállalók megfelelő képzése, amelynek során nemcsak az eszközök helyes használatát kell megtanítani, hanem a biztonság tudatos gondolkodást is el kell sajátíttatni. A megfelelő kollektív védelmi intézkedések – például korlátok, hálók, biztonsági rendszerek – kiépítése szintén alapvető fontosságú. A technikai fejlődésnek köszönhetően ma már számos modern eszköz áll rendelkezésre, amelyek csökkentik az esés kockázatát, ugyanakkor ezek alkalmazása jelentős beruházást igényel, amelyet sok vállalat még mindig nem tekint prioritásnak. A szervezeti szintű intézkedések sem mellőzhetők: a vezetésnek példát kell mutatnia a biztonsági szabályok betartásában, és olyan munkakultúrát kell kialakítani, amely támogatja a biztonságos munkavégzést. A munkavédelem integrálása a vállalati stratégiai célok közé elősegítheti a hosszú távon fenntartható és biztonságos működést.

1.1.2 Ideiglenes szerkezetek összeomlása

Ideiglenes építőipari szerkezetek esetén legtöbbször a zsaluzat, valamint a homlokzati és teherbíró állványzat jut az emberek eszébe, holott nagyon sok egyéb, ideiglenes szerkezettel, mint veszélyforrással találkozunk az építőiparban. Ezek a szerkezetek a következők:

1. Ideiglenes födémek és munkaszintek,
2. Ideiglenes lépcsők és átjárók, áthidalók
3. Ideiglenes megtámasztások és alátámasztások

Az ideiglenes födémek és munkaszintek. Az ideiglenes födémek és munkaszintek nem keverhetők össze a födémzsaluzatok rendszerével. Az ideiglenes födémeket és munkaszinteket azért alkalmazzák, hogy a munkások könnyebben hozzáférjenek a magasabban elhelyezkedő szerkezeti elemekhez. Ha ezeket nem megfelelően erősítik meg, vagy túlterhelik, akkor beszakadhatnak, ami zuhanásos balesetekhez vezethet. Ezek okai lehetnek a gyenge alátámasztás, ami a nem megfelelő statikai méretezést is jelentheti, illetve a hibás anyagválasztás. Gyakori eset, hogy a méretezett ideiglenes szerkezetet túlterhelik, ami jellemzően a számolatlan agyagdepóniából ered. Ilyen például a téli építkezéseknél az előre bedepónált homok, aminek súlyával gyakran nem számol a kivitelező. Három köbméter homok tárolására kb. 5 m² terület kell, ami azt jelenti, hogy 1600kg/m³ súllyal számolva négyzetméterenként közel 1000 kg, azaz egy tonna terhelés jut. Ekkora teherbírással csak speciális ideiglenes támaszok bírnak. Az ideiglenes munkaszintek összeomlásának másik esete a vízszintes terhek felvételére nem alkalmas szerkezetek készítése, amikor a hordozó felület nincs kiékelve, vagy a függőleges tartószerkezet nincs andráskereszttel megfelelően ellátva.

Ideiglenes lépcsők és átjárók. Sokszor a zuhanásos, vagy leeséses balesetek helyszíne az ideiglenes lépcső, vagy átjáró szerkezete. Ezen balesetek legfőbb okai, a helyszínen, hulladék anyagból barkácsolt, méretezetlen szerkezetek, melyek előregyártott szerkezetekből kiválthatók lennének. Ilyenek a modul rendszerű, tűzihorganyzott acélszerkezetű lépcsők, vagy az állványzati rendszerek elemeihez tartozó kiváltó rendszerek, átkötő, gyalogos hídelemek. Jellemzően a rossz értelemben vett költséghatékonyság okán nem alkalmazzák a kész termékeket, melyek költségét teljes pontossággal lehet az ajánlati költségvetésben szerepeltetni. Ehhez persze szükséges a költségkiíró kiváló szakértelme is, aki nem csak a tervek alapján készíti a költségvetést, hanem átlátva az építés teljes folyamatát, az ideiglenes szerkezetek költségével is számol.

Az ideiglenes megtámasztások. Az ideiglenes megtámasztások és alátámasztások tekintetében a balesetek leggyakoribb formája, amikor a szerkezet összeomlik, és a rajta tartózkodó dolgozók a mélybe zuhannak. Ennek egyik oka, ha az ideiglenes hidat nem megfelelően méretezik, könnyen összeroskadhat, különösen, ha nehézgépek is áthaladnak rajta. Másik jellemző hiba, ha az áthidaló nincs megfelelően rögzítve, az használat közben elmozdulhat vagy meginoghat, ami zuhanásveszélyt jelent.

1.1.3 Árkok, munkagödrök beomlása

Árkok, munkagödrök beomlása sajnos szintén előkelő helyen szerepel a halálozási statisztikán ezért ezzel is kiemelten kell foglalkoznia a munka és balesetvédelemnek. A ritkábban előforduló, ám annál „látványosabb” baleset, amikor a munkagép zuhan a saját maga által ásott gödörbe. Ennek leggyakoribb oka a gépkezelő figyelmetlensége, gyakorlatlansága, vagy pusztán a vakmerősége, amik megfelelő képzéssel, gyakorlati oktatással elkerülhetők lennének. A másik oka sokszor a rossz organizáció, amikor a munkagödör körüli közlekedést nem teszik lehetővé, és az úgynevezett szakadó partfalon kell a gépnek közlekednie, ami a szakadólap megcsúszásával, a földtömeg elmozdulásával, illetve a gépnek a munkagödörbe való bezuhanásával jár. Ennek hatékony megelőzése az organizációs terv készítése már a földmunkák fázisára is. Itt ugyanis a tervlapon lehet jelölni a munkagödör rézsű koronájának a szélét, a szakadólap várható mélységét, és ezek alapján lehet az ideiglenes közlekedési utakat feltüntetni a fázisterveken. Az ideiglenes utak terhelhetősége is korlátozható a tervező által, aminek feltüntetett értékét a helyszíni irányítással megbízott építésvezetőnek, vagy művezetőnek kell ellenőriznie. A munkagépek bezuhanásánál sokkal gyakoribb esett a földpart omlása, amikor a lent dolgozó munkásokat sodorja el, illetve temeti be a lezúduló hatalmas földtömeg.



2. kép: A pincébe zuhant munkagép [40]

Az ilyen jellegű baleseteknél is megkülönböztetjük a munkagödör, illetve a munkaárok beomlását. Míg a munkagödör a nagy mélysége mellett hossz és kereszt irányban is nagy kiterjedésű, addig a munkaárok jellemzően vonalas kiterjedésű, keskeny keresztmetszetű, mély árok. A tapasztalatok azt mutatják, hogy a munkaárok beomlása sokkal nagyobb valószínűséggel okoz halálos balesetet, mintha csak a nagykiterjedésű munkagödör térfala szakad le. Egy 80-90 cm szélességű, 3-4 méter mély munkaárok beomlásánál a szerencsétlenül bent ragadó dolgozót csak ritkán lehet megmenteni a fulladásos haláltól.

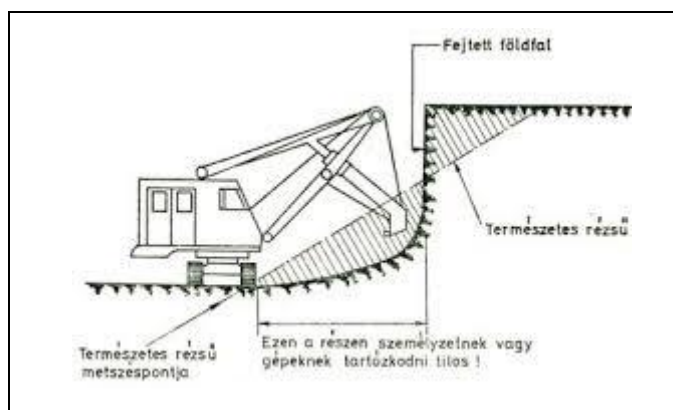
A munkagödrök védelme. A mélyépítési munkák során a földkiemelési munkálatok egyik legkritikusabb aspektusa a munkagödrök stabilitásának biztosítása. A megfelelő megtámasztás elmaradása földomláshoz, talajtöréshez, munkaterületi instabilitáshoz és baleseti kockázatokhoz vezethet, különösen laza szerkezetű vagy vízzel telített talajok esetében. A munkagödrök oldalstabilitásának biztosítása érdekében számos műszaki megoldás alkalmazható, amelyek kiválasztása a talajmechanikai adottságok, a geotechnikai paraméterek, a munkagödör mélysége és a környezeti tényezők függvényében történik. A munkagödör falainak stabilitását számos tényező befolyásolja, amelyeket a földmunkák tervezése során részletes talajmechanikai és geotechnikai vizsgálatokkal kell feltárni. A legfontosabb tényezők a következők:

- Talaj típusának hatása: Az egyes talajtípusok eltérő kohézióval (c), belső súrlódási szöggel (φ) és nyírószilárdsággal rendelkeznek, amelyek befolyásolják a rézsűképzési és dűcolási követelményeket.
- Talajvíz jelenléte: A magas talajvízszint jelentős hidrosztatikai nyomást eredményezhet, amely befolyásolja a rézsű stabilitását, és szükségessé teheti víztelenítési technológiák alkalmazását.
- Terhelési tényezők: A munkagödör közelében található terhelések (például épületek, közlekedési terhelés, munkagépek dinamikus hatásai) növelhetik a talajtörési kockázatot.

A munkagödör falaira ható földnyomást a Rankine- és Coulomb-féle földnyomáselméletek alapján lehet meghatározni. A földnyomás nagyságát befolyásoló tényezők közé tartozik:

- Aktív földnyomás (σ_a): Akkor alakul ki, ha a földtömeg szabadon kitágulhat, jellemzően a munkagödör oldalirányú elmozdulásakor.
- Passzív földnyomás (σ_p): Akkor lép fel, ha a földréteg összenyomódik, például dűcolás vagy megtámasztás következtében.

- Nyugalmi földnyomás (σ_0): Abban az esetben jelentkezik, ha a földtömeg nem mozdul el.



3. ábra: Rézsűs munkagödör kialakítása [41]

A stabilitás megőrzése érdekében a munkagödör kialakítása során olyan szerkezeti megoldásokat kell alkalmazni, amelyek megfelelően kezelik a fent említett földnyomásokat. Ennek legegyszerűbb és leggazdaságosabb módja a rézsűs munkagödör kialakítás a 3-as ábra szerint. A rézsű képzés a legegyszerűbb és legköltséghatékonyabb talajmegtámasztási módszer, amely a természetes állékonyság biztosítására épül. Az optimális rézsűszög meghatározása a talaj típusától és nyírószilárdsági paramétereitől függ. homokos talaj esetén: $\beta \approx 34-45^\circ$ (1:1,5 – 1:2 hajlásarány), agyagos talaj esetén: $\beta \approx 45-60^\circ$ (1:1 – 1:1,5 hajlásarány), kavicsos talaj esetén: $\beta \approx 50-70^\circ$ (1:0,75 – 1:1 hajlásarány).

A rézsűs munkagödör határolás hátránya, hogy jelentős területigényt támaszt, ezért szűk munkaterületeken nem, vagy csak korlátozottan alkalmazható. Amennyiben a rézsűs megtámasztás nem megvalósítható, úgy valamilyen dúcolási rendszerek alkalmazása szükséges. A fa dúcolás általában csak kis mélységű munkagödröknél alkalmazható, ideiglenes szerkezetként. Mélyebb vagy hosszabb ideig nyitott munkagödrök esetén acél szádfalak verésével vagy sajtolásával biztosítható az oldalfalak stabilitása. Magyarországon a legelterjedtebb a Larsen féle acélpallók használata. Ezek lehajtása dinamikus veréssel, vagy rezgéses sajtolással készülhet. Alapvetően befogott szerkezetként működik, de nagyobb mélységek esetén a szerkezet hátra horgonyzásával többtámaszú tartóként is tud működni. A drága acélszerkezete miatt csak ideiglenes megtámasztásként használják, a végleges műtárgy szerkezetek megépítése után ezek kihúzásra kerülnek a földből. Miután a szádfalak lehajtása és azok kiszedése ugyanazon technológiával készülnek, ez azt is jelenti, hogy a kiszedésükkor is hasonlóan nagy helyigény szükséges, mint az építésükkor. Emiatt városi foghíj beépítéseknél csak korlátozottan használhatók. Ilyen esetekben gyakran használják a zárt cölöpsor, vagy a résfaépítés technológiáját.

Résfalas munkagödör megtámasztás. A résfalas munkagödör megtámasztás egy korszerű, mélyépítési technológia, amelyet elsősorban városi környezetben, sűrűn beépített területeken alkalmaznak a mélyalapozási és mélyépítési munkák során keletkező munkagödrök oldalfalainak ideiglenes vagy tartós megtámasztására. Ez az eljárás különösen előnyös, amikor az építési terület szűkös, illetve, ha a szomszédos épületek, közművek, közlekedési létesítmények megóvása kiemelten fontos szempont. A résfalas megtámasztás lényege, hogy a munkagödör oldalfalait a talaj kitermelése előtt vagy azzal párhuzamosan, monolit vasbeton falakkal merevítik ki, melyek képesek felvenni a földnyomásból, talajvízből és esetleges dinamikus terhelésekből származó erőket. A résfalas megtámasztás technológiai folyamata a következő fő lépésekből áll: elsőként a réselőgép segítségével, speciális hidraulikus megmunkáló eszközökkel elkészítik a fal helyét, úgynevezett rést nyitnak a talajban, amelyet folyamatosan bentonitos vagy polimer alapú iszappal töltenek fel a falszakasz instabilitásának elkerülése végett. Ez az iszapréteg stabilizálja a nyitott rést, megakadályozza annak beomlását a falvasalás és a betonozás megkezdéséig. A kívánt résszakasz elérése után a résbe leengedik az előre gyártott armatúrakosarat, majd előkevert beton segítségével alulról felfelé történő módszerrel kiöntik a résfalat, miközben az iszapot egyre magasabban kiszorítja a beáramló beton, amelyet szivattyúzással folyamatosan eltávolítanak. A résfalak vastagsága általában 60–150 cm közötti, és mélységük akár 40–60 méter is lehet, attól függően, hogy milyen mély munkagödröt kell megtámasztani, illetve milyen a helyszíni geotechnikai adottság.

A résfal anyaga rendszerint monolit vasbeton, amely biztosítja a fal kellő teherbírását, hajlítási merevségét, illetve vízzáróságát is. A résfal képes önállóan, megtámasztó elemként funkcionálni, de gyakran kiegészítő szerkezetekkel együtt alkalmazzák, mint például horgonyzással, belső dúcolással vagy vízszintes födémek által biztosított keretszerű megtámasztással. Az alkalmazott megtámasztási rendszer kiválasztását döntően a munkagödör mélysége, a környező létesítmények védelmi igénye, a talajmechanikai adottságok, valamint a kivitelezés időbeli és pénzügyi lehetőségei határozzák meg. A résfalas megtámasztás tehát lehet ideiglenes, például csak a kivitelezés idejére szolgál a gödör megtámasztására, de gyakori az is, hogy a résfal a végleges szerkezet részévé válik, például mélygarázsok vagy metróállomások külső falaként.

A résfalas technológia alkalmazása során kiemelten fontos a pontos geodéziai és geotechnikai tervezés, amely magába foglalja a talajmechanikai vizsgálatok értékelését, a földnyomás számításokat, a süllyedés- és elmozdulási értékeket, valamint a szerkezeti méretezést.

A talaj típusának, rétegződésének, vízvezető képességének és víznyomásának ismerete alapvető fontosságú a résfal stabilitásának és vízzáróságának biztosításához. Az iszapkezelés szintén fontos technológiai elem, mivel a nem megfelelően kezelt vagy túl sokáig bent maradó iszap negatívan befolyásolhatja a beton és a vasalás közti tapadást, illetve a beton vízzáróságát. Emellett a kivitelezés során ügyelni kell a résfalak illesztésének technológiájára is. A résfalat jellemzően szakaszosan építik, váltott ütemű réseléssel, úgynevezett elsődleges és másodlagos rések váltakozásával, amely lehetővé teszi a beton megkötését, miközben a szomszédos faltest még nem készül el. Ez különös figyelmet igényel a rések geometriai pontossága, valamint a hézagok szigetelése és teherátadása szempontjából.

A résfalas megtámasztás egyik fő előnye a nagy merevség és vízzáróság, amely lehetővé teszi a mély munkagödör biztonságos kivitelezését víznyomásos, laza vagy réteges talajban is. Hátrányként említhető a magas költség és a speciális géppark igénye, továbbá az, hogy a technológia megvalósítása tapasztalt kivitelezői csapatot és szigorú minőség-ellenőrzést igényel. A módszer a kivitelezés során keletkező zavaró hatások – például rezgések, zaj vagy iszapkezelési problémák – miatt különösen érzékeny lehet városi környezetben, ezért egyre gyakrabban alkalmazzák hozzá környezetmonitoring rendszerek használatát, amelyek képesek valós időben nyomon követni a szomszédos építmények süllyedését, repedését vagy elmozdulását.

Jellemző balesetek a résfalas munkagödör megtámasztásnál. Már az előkészítő munkák során is előfordulnak balesetek, például a résvezető gerenda építésekor. Kevésbé állékony talaj esetén a résvezető gerendát vízszintes vállképzéssel kell építeni, különben a 3. képen látható módon beszakad a rés gödörbe.



3. kép: Résvezető gerenda beomlása [42]

Az egyik leggyakoribb és legsúlyosabb következményekkel járó balesettípus a résfalak stabilitásának megbomlása, amely gyakran a helytelen geotechnikai tervezésből vagy a nem megfelelően megválasztott résmélységből fakad. Ha a résfal nem éri el az alatta elhelyezkedő teherbíró réteget, vagy nem kellően mélyre nyúlik be ahhoz, hogy ellenálljon a víznyomásnak és földnyomásnak, az oldalfal megbillenhet vagy deformálódhat. Ennek következtében a munkagödör oldala beomolhat, ami nemcsak anyagi kárral, hanem a munkagödörben tartózkodó munkások életének veszélyeztetésével is járhat. A résfalas rendszerek gyakran alkalmaznak kiegészítő megtámasztási megoldásokat, például horgonyokat vagy dúcolást. Ezen elemek hibás tervezése, alul méretezése vagy kivitelezési hiányosságai – például a nem megfelelő horgonyhossz vagy a cementinjektálás elégtelensége – szintén a résfalak elmozdulásához vezethetnek. Amennyiben a megtámasztási rendszer túl nagy vízszintes mozgást enged meg, az a szomszédos épületek süllyedését, repedését vagy akár részleges összeomlását is kiválthatja, ami másodlagos balesetekhez, illetve lakossági evakuálásokhoz vezethet.

A kivitelezés során fellépő technológiai hibák szintén komoly baleseti forrást jelentenek. A résfal kialakítása során használt bentonitos iszap, amely a nyitott rést stabilizálja a betonozás előtt, ha nem megfelelő viszkozitású vagy túl szennyezett, akkor nem képes megtartani a rés oldalfalait, ami a falszakasz beomlásához vezethet. Az ilyen jellegű beomlások a munkaterületen tartózkodó dolgozók betemetését vagy súlyos sérülését eredményezhetik. Hasonlóképpen, a nem megfelelően kiemelt és megtisztított iszap akadályozhatja a beton és a vasalás közötti megfelelő kapcsolat kialakulását, ami a későbbiekben szerkezeti meghibásodáshoz és balesethez vezethet, (4. kép) például a fal átrepedéséhez vagy vízbetöréshez. A betonozás technológiájának hibái, különösen az alulról felfelé történő betonozás során, szintén kockázatosak. Ha a vízalatti betonozás nem folytonos, vagy az iszap nem megfelelően szorul ki, üregek, zárványok vagy réteghatárok keletkezhetnek a falban, amelyek később a fal vízzáróságát és teherbírását veszélyeztethetik. A szerkezeti meghibásodás akár hónapokkal a kivitelezés után is bekövetkezhet, például akkor, amikor a résfalra ráterhelődik a végleges földémszerkezet és ekkor válik nyilvánvalóvá az építés közbeni rejtett hiba. A munkagödör víztelenítésével kapcsolatos hibák is gyakori forrásai a résfalas munkagödörhöz kapcsolódó baleseteknek. Amennyiben nem történik meg a megfelelő víztelenítés, vagy a talajvíz áramlási viszonyait nem veszik kellőképpen figyelembe, a résfal külső oldalán nyomáskülönbség alakulhat ki, amely vízbetöréshez, talajkifolyáshoz, sőt akár a teljes munkagödör elárasztásához is vezethet.

Egy elárasztott munkagödörben nemcsak a munkavégzés válik lehetetlenné, hanem jelentős kockázatot jelent a bent tartózkodók testi épségére is. Az ilyen események gyakran gyors lefolyásúak, így az elhárításra vagy menekülésre szinte nincs idő, ezért különösen fontos a folyamatos talajvízmonitorozás és automatikus riasztórendszerek alkalmazása.



4. kép: Résfal beomlása [43]

A réselőgépek és az építkezéshez szükséges nehézgépek kezelése önmagában is komoly veszélyforrás, különösen szűk városi munkaterületeken, ahol a gépek mozgása korlátozott, a látási viszonyok kedvezőtlenek lehetnek, és a gyalogos vagy közúti forgalom is gyakran közvetlenül az építési terület szomszédságában zajlik. Az ilyen gépek ütközhetnek ideiglenes szerkezetekkel, meglévő épületek falszerkezeteivel vagy közművekkel, ami balesethez vagy anyagi kárhoz vezethet. Továbbá, ha a gépkezelő nem képzett, vagy a munkavégzést nem megfelelően koordinálják, akkor a nem megfelelő résszélesség, túlzott oldalirányú talajterhelés, illetve a vasalás sérülése is bekövetkezhet. A munkaterületen gyakoriak az esések, beszakadások és ütközések, különösen, ha a védőkorlátok, jelölések vagy világítás nem felel meg az előírásoknak. A mély munkagödrök szélén történő munkavégzés mindig fokozott kockázatot jelent, különösen, ha a résfal még nem ért el végső szilárdságot vagy nem támasztják meg megfelelően.

Nem szabad megfeledkezni a másodlagos kockázatokról sem, amelyek a környezeti hatásokból adódnak. Erős esőzés hatására a már kialakított, de még nem teljesen kiépített résfal szerkezeti sérüléseket szenvedhet, a bentonitos iszap felhígulhat, vagy az állékonyságát veszítheti el. A hőmérsékleti szélsőségek – például fagypont alatti hőmérséklet a betonozás során – szintén strukturális problémákat okozhatnak, amelyek balesetekhez vezethetnek a későbbi szakaszban. Az ilyen környezeti tényezők figyelmen kívül hagyása gyakran a kivitelezési ütemezés kényszerű szorításából fakad, amely szintén baleseti kockázatot növelő tényező.

Cölöpsörös munkagödör megtámasztás. A cölöpsoros munkagödör megtámasztás egy korszerű, gazdaságos és rugalmasan alkalmazható mélyépítési megoldás, amelyet különböző talajviszonyok mellett használnak a földkiemeléssel járó munkagödrök oldalainak ideiglenes vagy akár tartós megtámasztására. A technológia alapját különálló, egymás mellé telepített, fűrt vagy vet cölöpök sora adja, amelyek képesek a talajoldalirányú nyomásait felvenni és a mögöttes talajt megtámasztani. A cölöpök közé gyakran helyeznek vízszintes megtámasztó szerkezeteket, például dúcokat, horgonyokat vagy vasbeton gerendákat, amelyek a szerkezet stabilitását és teherbírását tovább növelik. A rendszer kiválasztásánál figyelembe kell venni a talaj geotechnikai paramétereit, a munkagödör mélységét, az oldalfelületre ható föld- és víznyomást, valamint a közvetlen környezetben lévő létesítmények állapotát és érzékenységét az esetleges elmozdulásokkal szemben.

A cölöpsoros megtámasztás kialakításának leggyakoribb módja az, hogy monolit vasbeton fűrt cölöpöket készítenek megfelelő osztásközzel, majd a cölöpök közötti hézagokat vagy szabadon hagyják, vagy különféle hézagkitöltő anyagokkal, például lőttbetonnal zárják. A cölöpök átmérője általában 40–120 cm között változik, és mélységük az adott feladat és alépítményi környezet függvényében akár a 30 métert is meghaladhatja. A megtámasztó rendszer hatékonysága nagymértékben függ attól, hogy a cölöpök milyen mélyen nyúlnak be az alsó, teherbíró talajrétegbe, hiszen ez határozza meg a vízszintes és függőleges erők biztonságos felvételét. A cölöpsor lehet önmagában is elegendő a munkagödör stabilizálására, de gyakori a vízszintes megtámasztások beépítése is, főként mélyebb munkagödrök vagy gyengébb talajviszonyok esetén. A vízszintes alátámasztás történhet acélgerendákkal, vasbeton födémeikkel, illetve horgonyokkal, amelyek segítségével a cölöpsort a mögöttes földtömeg ellen biztosítják.

A cölöpsoros rendszer különösen alkalmas olyan helyeken, ahol a munkagödör hosszanti irányú kiterjedése nagy, és a talaj oldalirányú megtámasztása a kivitelezés egyes szakaszaiban változó terhelésnek van kitéve. Ilyen eset például az aluljárók, metróalagutak vagy mélygarázsok építése, ahol a szerkezetet fázisokra bontva valósítják meg. A cölöpsorok nagy előnye a résfalas technológiához képest, hogy olcsóbb, kevésbé eszközigenyes, és a kivitelezés kevesebb iszapkezelést, vízzárási technológiát igényel. Azonban hátrányként említhető, hogy vízzárósága általában gyengébb, mint a résfalaké, hacsak nem egészítik ki külön vízszigetelő megoldásokkal.

A cölöpök kivitelezése során alkalmazott legelterjedtebb módszer az CFA cölöp, azaz a folyamatos spirálfúróval készített cölöp, amikor a fúrószárat fokozatosan emelik ki a földből a betonozással egy időben. Az armatúrakosár vagy armatúratartó rúd jellemzően a fúrást követően kerül a friss betonba, de léteznek olyan módszerek is, ahol a fúrófej és az armatúrakosár kombinált eszközként működik. A beton minősége és tömörsége alapvető szerepet játszik a cölöp teherbírásában. A betonozás folyamán ügyelni kell arra, hogy a beton folyamatossága ne szakadjon meg, valamint ne keveredjen a talajvízzel vagy iszapos rétegekkel, mivel ez jelentősen rontja a végső szilárdságot.

A kivitelezés során különösen fontos a cölöpsor osztásának pontossága, mivel a túl nagy távolság a cölöpök között lehetővé teszi a föld kifolyását a hézagokon, így a munkagödör oldalfala instabillá válhat. Ilyen esetekben akár az egész cölöpsor rendszer csődöt mondhat, ami beomláshoz vagy deformációhoz vezethet. Ennek elkerülésére alkalmaznak hézagkitöltő megoldásokat, például löttbeton felületképzést, amely a cölöpök közötti rések elzárásával növeli a fal vízzáróságát és oldalirányú teherbírását. A vasalás tervezése során figyelembe kell venni a hajlító- és nyíróerőket, amelyeket a földnyomás és esetleges kiegészítő terhek – például forgalom vagy közeli épületek alapozása – idéznek elő. Az ezekre ható kombinált igénybevételek különösen a földkiemelés egyes szakaszaiban jelentkeznek, amikor a munkagödör oldalfalaira ható nyomáseloszlás még nem kiegyenlített.

A cölöpsoros megtámasztás biztonságos működésének alapfeltétele a pontos talajmechanikai feltárás, amely meghatározza a talajrétegek vastagságát, teherbírását, vízáteresztő képességét és víznyomási viszonyait. A tervezési fázisban fontos a földnyomások számítása, beleértve az aktív, passzív és nyugalmi földnyomást, amelyek különféle állapotokban ébrednek a szerkezeten. A végelem-analízisek és numerikus modellezés manapság elengedhetetlen eszközök a várható elmozdulások, süllyedések és feszültségeloszlások előrejelzéséhez.

A kivitelezés alatt folyamatos monitoring szükséges, amely magában foglalja a cölöpfejek mozgásának, elhajlásának, valamint a munkagödör és a környező épületek süllyedésének mérését. A cölöpsoros megtámasztás végső felhasználása során – például, ha a megtámasztó szerkezet a végleges építmény része lesz – külön figyelmet kell fordítani a szerkezet és a tervezett épület együtt dolgozására. Ilyenkor a cölöpsor szerepe nemcsak megtámasztó fal, hanem például mélygarázs-falként vagy pince külső szerkezeteként is funkcionál. Ekkor a végleges vízszigetelés, a hőszigetelés, illetve az esetleges belső burkolatok integrálása szintén tervezési és kivitelezési szempontokat jelent.

Jellemző balesetek a cölöpsoros munkagödör megtámasztásnál. A cölöpsoros megtámasztásból eredő balesetek leggyakrabban a tervezési, kivitelezési, illetve ellenőrzési hiányosságokra vezethetők vissza, de emberi mulasztás, technológiai fegyelmezetlenség és nem várt talajmechanikai viselkedés is okozhat kritikus helyzeteket. E balesetek jellemzően a munkagödör instabilitásában, földomlásban, cölöpsor deformációjában, szerkezeti meghibásodásokban, illetve gépi és személyi sérülésekben nyilvánulnak meg, amelyek gyakran jelentős anyagi kárral és nem ritkán súlyos, akár halálos kimenetelű személyi sérüléssel járnak.



5. kép: Lőtt betonos cölöpfal beomlása [44]

Az egyik leggyakoribb és legsúlyosabb veszélyforrás a cölöpsor helytelen geotechnikai méretezéséből adódik. Ha a cölöpök nem megfelelő mélységig nyúlnak a teherbíró rétegekbe, vagy túl ritkán helyezik el őket, akkor a cölöpsor nem képes felvenni a rá ható föld- és víznyomást. (5. kép)

Ez különösen veszélyes laza, szemcsés vagy vízzel telített talajokban, ahol az oldalfalak stabilitása a megtámasztás elsődleges feladata. A nem kellően stabil cölöpsor először deformálódik, majd az oldalirányú mozgások hatására megnyílhatnak a cölöpök közötti hézagok, ami a mögöttes talaj kifolyását eredményezi. Ez a folyamat gyakran lassú, így nehezen észlelhető a kezdeti fázisban, de amikor a talajmozgás eléri a kritikus szintet, a munkagödör oldalfala hirtelen beomolhat. Egy ilyen instabilitás váratlan bekövetkezése a munkagödörben tartózkodó dolgozók betemetését, súlyos zúzódásos vagy fulladásos sérüléseit okozhatja, miközben a munkaterületen használt berendezések is tönkre mehetnek.

Egy másik gyakori baleseti forrás a cölöpözési technológia kivitelezési hibáihoz köthető. A cölöpök helyszíni kialakítása során, különösen fúrt cölöpök esetén, nagy figyelmet kell fordítani a furatok megfelelő megtámasztására, a fúrás közbeni stabilitásra és az azonnali betonozásra. Ha a betonozás túl későn történik meg, vagy a furat fala a fúrás után instabillá válik, akkor a furat részlegesen vagy teljesen beomolhat. Ez a cölöp átmérőjének csökkenését, vasalásának elmozdulását vagy torzulását, és ezáltal a cölöp szilárdsági és hajlítási jellemzőinek jelentős romlását okozza. A hibásan kivitelezett cölöpök önmagukban nem képesek a terhelést viselni, így később a földkiemelés előrehaladtával jelentős elmozdulásokhoz, süllyedéshez, illetve szerkezeti meghibásodásokhoz vezethetnek. A munkagödör stabilitásának ilyen típusú fokozatos romlása különösen veszélyes, mivel az észlelés gyakran késik, és a megelőző intézkedések elmaradása súlyos baleseti következményekkel járhat.

A kivitelezés során alkalmazott nehézgépek, például fúróberendezések, daruk, kotrógépek vagy dúcolási szerkezetek mozgatása szintén jelentős veszélyforrást jelent, különösen akkor, ha a munkagödör szűk, vagy a gépek mozgatása nem megfelelően koordinált. A gépek instabil alátámasztása, a túlságosan a gödör széléhez közel végzett manőverek vagy a cölöpözési munkák közben fellépő vibrációk megnövelhetik a föld instabilitásának kockázatát. Ha a gépek a cölöpsorhoz túl közel mozognak, a földnyomás ideiglenes túlnövekedése vagy a rezgések miatt akár oldalirányú elmozdulásokat is előidézhetnek, amelyek elősegítik a cölöpök közötti föld kifolyását, illetve a falak meggyengülését. Az ilyen események nemcsak szerkezeti problémákhoz vezethetnek, hanem közvetlen személyi baleseteket is okozhatnak, például, ha a gép felborul, beszakad, vagy mozgás közben eléri a közelben dolgozókat.

A vízkezelés és a talajvíz-szabályozás hiányosságai is jelentős kockázati tényezők. A talajvíz jelenléte nemcsak a földnyomást növeli meg, hanem befolyásolja a cölöpök teherbírását és stabilitását is.

Amennyiben a munkagödör víztelenítése nem megfelelő vagy hirtelen vízbetörés következik be, az a talaj fellazulását és a megtámasztás alatti talajrétegek „kimosódását” eredményezheti. Ez a folyamat akár pillanatok alatt bekövetkezhet, különösen rétegzett, gyengén kötött, vízzel telített üledékes talajokban, ahol a vízszivárgás sebessége gyors lehet. A hirtelen talajkifolyás következtében a munkagödörben dolgozók nem tudnak időben reagálni, és súlyos balesetek, elárasztásos események, illetve berendezéskárok következhetnek be.

A cölöpsoros megtámasztásból eredő másodlagos balesetek gyakran a környező épületek vagy infrastruktúra károsodásából származnak. Ha a megtámasztás nem elég merev, vagy a kivitelezés során nem megfelelő az alátámasztás, a talajmozgások áterjedhetnek a szomszédos építményekre is. Ilyenkor előfordulhat, hogy meglévő közművek – például gázvezetékek, csatornák, elektromos kábelek – sérülnek meg, ami tüzet, áramütést vagy mérgező gázkibocsátást eredményezhet. Emellett a meglévő épületek süllyedése, falrepedése, szerkezeti deformációja következhet be, amely közvetve újabb baleseti kockázatokat jelent a környezetre és a bent tartózkodókra nézve. A helyszíni biztonsági előírások be nem tartása – például védőkorlátok, személyi védőfelszerelések hiánya, vagy nem megfelelő jelölések – csak tovább fokozza az ilyen típusú kockázatokat.

A munkagödör szélén vagy benne végzett manuális munkák során gyakoriak az eséses balesetek. Különösen nagy veszélyt jelent, ha a dolgozók csúszós, laza vagy megcsúszott felületen dolgoznak, illetve, ha nem használnak leesés elleni védőeszközöket. A cölöpsor fejeinek kibetonozása vagy összekötése során fellépő anyagmozgatás szintén veszélyes lehet, különösen, ha az anyagokat nem megfelelő módon rögzítik, vagy a munkavégzés közben egyidejűleg több szinten történik a tevékenység, így nő a tárgyak lehullásának, ráesésének veszélye. A betonozási műveletek során előforduló technológiai hibák – például zsalu deformálódása, betonnyomás miatti szerkezetkifordulás – is közvetlen baleseti veszélyt jelentenek.

Acél szádpallós munkagödör megtámasztás. Az acél szádpallós munkagödör megtámasztás egy széles körben alkalmazott, hatékony és rugalmas mélyépítési technológia, amely különösen alkalmas ideiglenes vagy tartós munkagödör oldalfalainak megtámasztására, elsősorban magas talajvízállás esetén, illetve laza, szemcsés vagy rétegzett talajokban. Az eljárás lényege, hogy előregyártott, acélból készült, egymáshoz kapcsolódó pallóelemeket – úgynevezett szádpallókat – sajtolnak vagy vernek le a talajba, amelyek szoros zárású kapcsolódásuk révén képesek vízzáró és földnyomás-ellenálló falszerkezetként viselkedni.

A szádpallós falak ideiglenes vagy állandó megtámasztó funkciót látnak el, és különösen hasznosak olyan építési helyszíneken, ahol a munkagödör mélysége, a környezeti adottságok vagy a magas talajvízszint fokozott követelményeket támasztanak a rézsűstabilitással, vízszigeteléssel és építményszerkezeti védelmi megoldásokkal szemben.

Az acél szádpallók profilját úgy alakítják ki, hogy geometriai formájuk – például Z-, U- vagy hattyúnyak alakú keresztmetszet – lehetővé tegye a pallóelemek egymáshoz történő szoros, hornyolt kapcsolódását, így biztosítva a vízzáróságot és a szerkezeti folytonosságot. A pallókat általában vibrációs vagy ütve verő gépekkel süllyeszti a talajba, vagy alternatív módon statikus sajtolással juttatják le, amely különösen hasznos városi környezetben, mivel minimális zaj- és rezgéskeltéssel jár. A szádpallók mélysége a talajrétegződéstől, a munkagödör mélységétől és a rájuk ható föld- és víznyomás mértékétől függően változik, de gyakori az akár 10–15 méteres mélység is. A megtámasztó falat gyakran vízszintes dúcolással, acél gerendákkal vagy horgonyrendszerrel egészítik ki, melyek segítik a fal vízszintes elmozdulásainak korlátozását és az oldalsó nyomások részleges tehermentesítését.

A technológia alkalmazásának egyik legnagyobb előnye a szerkezet gyors kivitelezhetősége, a magas szintű vízzáróság, valamint az, hogy az acél szádpallók szükség esetén visszanyerhetők, így az eljárás környezetvédelmi és gazdasági szempontból is kedvező lehet. A visszanyerhetőség azonban a környező építmények, közművek és a talaj jellemzőinek függvénye, mivel a pallók kihúzása során fellépő talajmozgások káros hatással lehetnek a közvetlen környezetre. A szádpallók teherbírasi és hajlítószilárdsági értékei jól ismertek és szabványosítottak, így a szerkezet statikai viselkedése jól számítható. A falak vízzárósága függ a profilkapcsolatok tömörségétől, valamint attól, hogy a hornyokat szükség esetén bitumenes vagy polimer alapú tömítőanyaggal látják-e el. A szerkezetek külső víznyomásra történő viselkedése szigorúan tervezési kérdés, hiszen a víz behatolása nemcsak a kivitelezést akadályozza, hanem az alépítményi szerkezetek korrózióját és süllyedését is okozhatja.

Az acél szádpallós megtámasztás szerkezeti viselkedése a földnyomás különböző állapotain keresztül írható le, így a tervezés során figyelembe kell venni az aktív és passzív földnyomás eloszlását, valamint a víznyomást és a szerkezet mögötti töltés hatását. [45] A szerkezet méretezése során hajlító igénybevételre, kihajlásra és kapcsolati csúszásra is számolni kell. A falakat rendszerint statikailag határozatlan rendszerként vizsgálják, figyelembe véve a megtámasztások helyét és merevségét. A megtámasztás nélküli, befogott kialakítás kisebb munkagödrök esetén alkalmazható, míg mélyebb gödröknél a falakat vízszintes dúcolással vagy horgonyzással támasztják meg.

A horgonyzott megoldások különösen előnyösek, mivel nagyobb szabadságot biztosítanak a munkagödör kihasználásában, hiszen nem szükséges belső dúcoló szerkezeteket beépíteni, amelyek zavarnák a munkafolyamatokat.

A szádpallós falak kivitelezése során különös figyelmet kell fordítani a szerkezeti elemek pontos illesztésére, a vezetőgerendák megfelelő pozícionálására, valamint a süllyesztési technológia helyes megválasztására. A vibrációs technika előnye a gyorsaság, de nem minden talajtípusban alkalmazható, különösen nem kötött, kavicsos vagy kemény talajok esetén, ahol az ütve verő vagy statikus sajtolás hatékonyabb lehet. A kivitelezés során figyelni kell a pályaegyenésre, a függőleges beállításra, illetve a torzulások és oldalirányú elmozdulások elkerülésére. A kivitelezés közbeni hibák, például elhajlott vagy sérült pallók, nemcsak a vízzáróságot veszélyeztetik, hanem jelentős szerkezeti kockázatokat is hordoznak, különösen hosszabb megtámasztott szakaszoknál, ahol az egyenetlen elmozdulásokból adódó feszültségnövekedés a fal lokális meghibásodásához vezethet.

A szádpallós megtámasztás akkor is előnyös lehet, ha a munkagödör víz alatti kialakításra szorul, például mederkotrás, csatornázási vagy kikötői létesítmények építése során. Ilyen esetekben a szádpallófal képes ideiglenes zárófalként funkcionálni, amelyen belül víztelenítés vagy bűvármunka végezhető. A szádpallók hosszú távú alkalmazása során a tartósság és újrahasznosíthatóság fontos tényezők. Az acél szádpallókat visszanyerés után más munkaterületen újra felhasználhatják, ha az állapotuk megfelelő. Ugyanakkor a visszanyerés folyamata során különleges óvintézkedéseket kell tenni, mivel a kihúzás okozta talajlazulás a szomszédos létesítmények stabilitását befolyásolhatja. A technológia hátrányai közé sorolható a zaj- és rezgéskeltés, különösen sűrűn beépített városi környezetben, ahol az épületek rezgésérzékenysége, illetve a közművek közelsége korlátozhatja a vibrációs vagy ütve verő eljárás alkalmazását. Ilyen esetekben a statikus sajtolás költségesebb, de elkerülhetetlen megoldást jelent. A tervezés során elengedhetetlen a részletes geotechnikai feltárás, amely a talajrétegek vastagságára, vízáteresztő képességére, valamint a rétegek közötti kohézióra és súrlódási szögére is kiterjed. A földnyomás számításoknál figyelembe kell venni az időfüggő tényezőket, mint például a konszolidációs hatásokat vagy a csapadékból, felszínről szivárgó víz okozta átmeneti terhelésváltozásokat.

Jellemző balesetek az acél szádpallós munkagödör megtámasztásnál. A technológia ugyanakkor sajátos kockázatokkal is jár, amelyek – ha nem kezelik megfelelő módon – különböző súlyosságú építési balesetekhez vezethetnek.

Az ilyen jellegű balesetek a tervezési és kivitelezési hibákból, technológiai figyelmetlenségből, gépkezelési hiányosságokból vagy emberi mulasztásból eredhetnek, és gyakran személyi sérüléssel, anyagi kárral, sőt halálessel is járhatnak. Az acél szádpallós megtámasztásból eredő tipikus baleseti scénáriók között megtalálhatóak a munkagödör beomlása, a falstabilitás elvesztése, a horgony- vagy dúcolási rendszer meghibásodása, gépi berendezések borulása, illetve a vibrációs beverés okozta környezeti károsodások, amelyek közvetett módon válhatnak balesetforrássá.

Az egyik leggyakoribb és legsúlyosabb balesettípus a munkagödör oldalfalának váratlan beomlása, amely általában a szádpallós szerkezet nem megfelelő stabilitásából, alul méretezéséből vagy hibás kivitelezéséből ered. Ha a szádpallók nem kerülnek kellően mélyen beverésre, nem érik el a passzív földnyomás kialakulásához szükséges rétegeket, vagy nem támasztják meg őket megfelelő vízszintes alátámasztással - horgonyokkal, dúcokkal - akkor a fal nem képes ellenállni a rá ható föld- és víznyomásnak. Ez különösen veszélyes a földkiemelés előrehaladtával, amikor a talaj oldalirányú megtámasztása részben vagy teljesen megszűnik, és a szerkezet hajlító- és nyíróterhelése eléri a kritikus szintet. Az ilyen falösszeomlások gyakran hirtelen következnek be, előzetes észlelhető figyelmeztető jelek nélkül, és ha a munkagödörben éppen munkavégzés folyik, a dolgozók súlyos sérüléseket – zúzódásokat, csonttöréseket, fulladásos traumát – szenvedhetnek, vagy halálos áldozatokkal is járhat az eset. (6. kép)



6. kép: Vízáró szádfalas munkatér beomlása [46]

A beomlásos balesetek gyakran kapcsolódnak a horgonyzási rendszer hibáihoz is. A horgonyok nem megfelelő méretezése, rövid horgonyhossz, elégtelen injektálás, illetve a feszítés hiánya vagy hibája oda vezethet, hogy a megtámasztó erő nem éri el a tervezett értéket, és a szádpallófal fokozatosan elmozdul, majd instabillá válik. A horgonyok idő előtti kihúzódása, elcsúszása vagy korróziós meghibásodása szintén olyan váratlan szerkezeti instabilitást eredményezhet, amely kockázatot jelent az építkezés egészére nézve. Az ilyen hibák gyakran abból adódnak, hogy a kivitelezés során nem történik meg a horgonyerők rendszeres ellenőrzése vagy mérési dokumentációja, illetve, ha nem veszik figyelembe a geotechnikai viszonyokat a tervezés során.

Egy másik tipikus baleseti forrás a szádpallók vibrációs vagy ütve veréses lehelyezése során keletkező zaj- és rezgéshatás. Ezek a környezeti hatások egyrészt zajterhelést és egészségügyi kockázatot jelentenek a dolgozók számára, másrészt az erős vibráció káros hatással lehet a környező épületek, közművek vagy régebbi alapozások stabilitására. Az ilyen másodlagos mozgások gyakran vezetnek repedésekhez, szerkezeti károsodáshoz, ami közvetve újabb baleseteket okozhat, például gázvezetékek szivárgása, elektromos hálózatok megsérülése, vagy közlekedési infrastruktúrák elmozdulása révén. Ha a kivitelezés előtt nem történik meg a környezeti érzékenység megfelelő vizsgálata, illetve nem alkalmaznak rezgéscsillapító módszereket vagy alternatív – például sajtolásos - technológiát, a fellépő káros hatások emberi sérülésekhez vagy kártérítési perekhez vezethetnek.

Az acél szádpallók beverését végző gépek – vibrátorok, cölöpverők, daruk – működése során szintén gyakoriak az olyan balesetek, amelyek a gépek borulásából, instabil alátámasztásából, kezelői hibákból vagy nem megfelelő munkaterületi koordinációból fakadnak. Ezek a balesetek nemcsak az adott gépkezelőt veszélyeztetik, hanem a környezetben dolgozó többi munkavállalót is. A szádpallók mozgatása, emelése, daruzása során a nem megfelelő rögzítés, a szélhatások figyelmen kívül hagyása vagy az emelési útvonalon tartózkodó személyek hiányos biztosítása súlyos balesetet, például ráesést, zúzódást, amputációt vagy halálos kimenetelt is eredményezhet. A munkahelyi balesetek kockázata különösen magas a szűk munkaterületeken, ahol többféle tevékenység párhuzamosan zajlik, és a szervezési hiányosságok összehangolatlansághoz, balesetveszélyes szituációkhoz vezethetnek.

A víznyomás figyelmen kívül hagyása, illetve a fal mögötti talajvíz feltorlódása egy másik gyakori baleseti forrás. Ha nem történik meg a megfelelő víztelenítés, vagy a szádpallók közötti kapcsolatok nem vízzárók, akkor a munkagödörbe víz betörhet.

A hirtelen vízbetörés átvágja a talajt, fellazítja az alsó rétegeket, és ezáltal csúszásokhoz, üregek kialakulásához, a munkagödör aljának felúszásához vezethet. Ezek az események nehezen előre jelezhetők, különösen, ha nem áll rendelkezésre folyamatos vízszint-monitoring. Az ilyen események akár a teljes szerkezet instabilitását is előidézhetik, a munkagödör használhatatlanná válhat, és a benne tartózkodók életveszélybe kerülhetnek.

A munkaterületi biztonsági előírások be nem tartása, mint például a leesés elleni védelem hiánya, a szabálytalan megközelítés a gödör széléhez, vagy a védőkorlátok és világítás hiánya szintén gyakori kiváltó okai az acél szádpallós megtámasztáshoz kapcsolódó munkahelyi baleseteknek. A munkagödör szélének megközelítése nagy kockázatot jelent, különösen akkor, ha a szádpallófal még nem teljesen megtámasztott, vagy ha a visszatöltés még nem történt meg. Az instabil partfalak beomlása és a nagy magasságból történő esések súlyos, maradandó sérüléseket vagy azonnali halált okozhatnak. Emellett a korlátozott látási viszonyok, a csúszós, sáros talaj, illetve a helytelenül elhelyezett anyagok további eséses és elcsúszásos baleseti források.

Új javaslatok megfogalmazása az építési munkagödrök beomlás elleni védelméhez:

- A munkagödör-megtámasztásokba integrált intelligens monitoring rendszerek alkalmazása lehetővé teszi a talajnyomás, szerkezeti deformáció és talajnedvesség valós idejű nyomon követését, ami megelőzi a beomlásokat és növeli a biztonságos munkavégzés lehetőségét. A beomlások gyakran hirtelen, előzetes jelek nélkül következnek be. A szenzorhálózatok révén gyűjtött valós idejű adatok előre jelezhetik a veszélyt, így a kivitelezők időben intézkedhetnek. Az IoT és a prediktív karbantartás építőipari alkalmazásai már más területeken bizonyították hatékonyságukat.
- Az adaptív, önszabályozó megtámasztó szerkezetek (például hidraulikus vagy pneumatikus rendszerek) képesek a talajnyomás változásaira automatikusan reagálni, ezáltal a statikus rendszereknél hatékonyabb védelmet nyújtanak a munkagödör állékonyságának fenntartásában. A talajnyomás időben és térben is változik (csapadék, talajvízszint, rezgések miatt). Az önszabályozó rendszerek lehetővé teszik a terhelések dinamikus kiegyenlítését, csökkentve a túl- vagy alul méretezésből fakadó kockázatokat.
- A könnyű, nagy szilárdságú és korrózióálló kompozit anyagok alkalmazása a hagyományos fa- és acél dúcolások mellett fenntarthatóbb, hosszabb élettartamú és gazdaságosabb megoldást kínál az ideiglenes munkagödör-biztosításban.

A kompozit anyagok kedvező szilárdság-tömeg aránnyal és jó ellenálló képességgel rendelkeznek agresszív talajvízi környezetben. Emellett könnyebb mozgatusuk csökkenti a kivitelezési időt és munkaerő-ráfordítást, valamint újra hasznosításuk környezetvédelmi előnyöket nyújt.

- A geotechnikai kockázatértékelésbe bevezetett mesterséges intelligencia alapú előre jelző modellek képesek a nagy adathalmazokon alapuló predikciók révén pontosabb veszélyértékelést adni, mint a kizárólag hagyományos talajmechanikai számítások. A klasszikus geotechnikai számítások determinisztikus megközelítése gyakran nem tudja kezelni a talaj heterogenitását és a környezeti hatások komplexitását. Az MI-alapú rendszerek képesek mintázatok felismerésére, és a nagy adatbázisok felhasználásával valószínűségi előrejelzéseket adhatnak.
- Az integrált víztelenítési és megtámasztási rendszerek együttes alkalmazása a talaj stabilizációját és a munkavégzés biztonságát is növeli, miközben a kivitelezési folyamatot egyszerűsíti. A beomlások egyik fő oka a talajvíz jelenléte és a hidrosztatikai nyomás. Ha a víztelenítést és a megtámasztást külön kezelik, az költségesebb és kevésbé hatékony. Az integrált megoldás biztosítja a talajnedvesség és a nyomás folyamatos kontrollját, növelve a biztonságot.
- A munkavállalók biztonságát és reagálási képességét jelentősen fokozza a virtuális valóság alapú munkavédelmi tréning, amely lehetőséget biztosít veszélyhelyzetek szimulált megtapasztalására és a megfelelő beavatkozási módok gyakorlására. A munkagödörben dolgozók gyakran nincsenek felkészülve a gyors beavatkozást igénylő helyzetekre. A VR-alapú szimulációk kockázatmentes környezetben biztosítják a tapasztalati tanulást, amely hatékonyabb, mint a hagyományos elméleti oktatás. [47]
- A munkagödrök megtámasztásának hatékonyságát nem kizárólag a gödör mélysége és talajtípusa határozza meg, hanem a környezeti tényezők (rezgések, építmények terhei, közműhálózatok) integrált figyelembevétele is. A jövő munkagödör-biztosításának ezért környezetérzékeny, adaptív rendszerekben kell megvalósulnia. A beomlások gyakran nem a talaj belső jellemzői, hanem külső terhelések miatt következnek be (például közeli forgalom, építkezés vagy földrengés). A környezetérzékeny rendszerek az összes releváns tényezőt egyidejűleg kezelik, így realisabb és biztonságosabb megoldást nyújtanak.

A fenti fejezetek összefoglaló táblázata (1. táblázat)

1. táblázat: Építőipari balesetek összefoglalója, készítette a szerző, forrás: saját munka.

Baleset típusa	Jellemző okok	Megelőzés javasolt módjai
Leesés a magasból	Hiányos vagy hibás kollektív leesés elleni védelem (korlát, háló) Egyéni védőeszköz hiánya vagy nem megfelelő használata Csúszós, rendezetlen munkafelület	Korlátok, védőhálók, leesésgátlók kötelező alkalmazása Megfelelő EVE (pl. zuhanásgátló, biztonsági heveder) Munkafelületek rendszeres karbantartása és takarítása
Ideiglenes szerkezetek összeomlása	Hibás tervezés vagy méretezés Nem megfelelő anyaghasználat Szerelési hibák Túlterhelés	Állványok, dúcolatok, zsaluzatok szabvány szerinti kialakítása Szakképzett szerelők és ellenőrzés Rendszeres statikai és vizuális ellenőrzés Túlterhelés tilalma
Árok- és munkagödör-beomlás	Nem megfelelő megtámasztás vagy rézsűzés Talajvíz, csapadék okozta állékonyság-vesztés Perem túlterhelése (anyag, gépek)	Talajmechanikai vizsgálat előzetesen Rézsűzés vagy dúcolás szabvány szerint Víz elleni védelem (szivattyúzás, szivárgóárkok) Peremvédelem és teherkorlátozás
Munkaeszközök, gépek okozta balesetek	Hibás vagy rosszul karbantartott eszközök Nem megfelelő képzés, kezelési hibák Gép és dolgozó veszélyes közelsége	Gépek időszakos karbantartása Képzett gépkezelők alkalmazása Munkaterületek elhatárolása és jelölése Védőburkolatok, biztonsági berendezések
Tárgyak leesése	Anyagok és szerszámok szabálytalan tárolása Eszközök biztosításának hiánya Nem megfelelő rakodás	Magasban végzett munkánál szerszámrögzítők használata Anyagok rögzített tárolása Munkaterület körbekerítése, védősisak használata
Elektromos balesetek	Feszültség alatti vezetékekkel való érintkezés Szakszerűtlen csatlakoztatás, hibás szigetelés Földelés hiánya	Áramtalanítás a munka megkezdése előtt Szakképzett villanyszerelők bevonása Rendszeres érintésvédelmi felülvizsgálat Szabványos kábelek, szigetelések alkalmazása
Fizikai megterhelésből eredő balesetek	Túlzott emelés Hosszan tartó kényszersertartások	Emelőeszközök és gépesítés alkalmazása Ergonomikus munkaszervezés Munkavállalók képzése helyes emelési technikákra Pihenőidők és rotációs munkarend

1.2 Homlokzati állványok típusai, szerkezetei

Állványzatok rendszere, típusai

Az állványzatokat felhasználásuk alapján a következők szerint csoportosítom:

- mobil, gördülő állvány
- homlokzati állványok
 - keretes állvány
 - csőállvány
 - moduláris állvány
 - nehézállvány
 - létraállvány

A disszertáció az állványzatok terén a homlokzati állványok vizsgálatára terjed ki széles körben, így a többi állványszerkezet csak a megkülönböztetés szintjén szerepel a dolgozatban.

1.2.1 Mobil és guruló állványok

A guruló állványok – más néven mozgatható vagy mobil állványok – az építőipar és karbantartási munkák egyik legsokoldalúbb ideiglenes munkafelületei. Előnyük az egyszerű mozgathatóság, gyors szerelhetőség és a kisebb helyigény. Különösen alkalmasak beltéri festési, szerelési, karbantartási vagy könnyű építési munkákhoz, ahol gyakran szükséges a munkaterület változtatása. A mobil állványok jellemzője, hogy a teljes szerkezet összeszerelt állapotban mozgatható, állítható, illetve fékezhető kerekkel. A homlokzati állványoktól eltérően csak egy munkaszinttel rendelkezik, még hozzá a szerkezet legtetején. Szerkezete általában alumínium, így keretszerkezete, merevítése könnyen kezelhető, gyors össze és szétszerelést biztosít. Nincs rögzített kikötési pontja, szélesített indítókeretén vannak csak külső merevítők, amik a stabilitását biztosítják. Mobilitásuknak és a kihorgonyzásuk hiányának köszönhetően csak korlátozott magasságig használhatóak, általában maximum 13-15 méteres magasságig. Ezek az állványrendszerek az MSZ EN 1004-1:2021 szabvány alapján készülnek, amely a gurulóállványok előre gyártott elemekből történő gyártására vonatkozik, meghatározva azok anyag-, méret-, tervezési terhelési-, biztonsági és teljesítménykövetelményeit.

A guruló állvány fő elemei:

- Alváz vagy keret – amely tartalmazza a kerékszerkezetet (fékezhető kerekkel).
- Függőleges oldalkeretek – rendszerint előre gyártott elemek, melyek csatlakozási pontokat tartalmaznak.

- Vízszintes és átlós merevítők – biztosítják a szerkezet stabilitását.
- Munkaszintek – palló vagy alumínium járófelületek, gyakran csúszásgátló bevonattal.
- Leesés elleni védelem – korlátok, lábdeszkák, kihajlás elleni védelem.

Ezek az állványok modulárisan összeállítható könnyűszerkezetes elemekből – jellemzően alumíniumból vagy acélból – épülnek fel, és kerekre szerelve lehetővé teszik a szerkezet vízszintes irányú mozgását anélkül, hogy azt el kellene bontani. A mobilitásukból fakadó előnyök közé tartozik a gyors telepíthetőség, a rugalmas munkavégzés, valamint az, hogy egyetlen szerkezet több munkaterületen is használható. A guruló állványokat különösen festési, szerelési, gépészeti, villanszerelési és homlokzatkarbantartási munkák során használják, gyakran ipari csarnokokban, középületekben, sportlétesítményekben vagy akár kültéri homlokzatokon is.

A mobil állványrendszerek kiválasztásakor a legfontosabb tervezési szempont a szerkezet stabilitása. A szerkezet saját súlyából, a munkaterhelésből, valamint a fellépő dinamikus hatásokból - emberi mozgás, szerszámhasználat - származó erőhatásokat figyelembe kell venni. A guruló állványrendszerek jellemzően 2–12 méteres munkamagasságig alkalmazhatók, bár egyes gyártók speciális kivitelű rendszerei ennél magasabb szintekre is képesek. A túl magasra épített, nem megfelelően merevített állványok veszélyesen instabillá válhatnak, különösen kültéri használat során, amikor a szélterhelés oldalirányú billenést okozhat.



7. kép: Guruló állvány borulása a rossz altalaj miatt [48]

A szerkezeti stabilitás szempontjából kritikus elem a talaj és a kerék kapcsolatának megfelelősége. A görgők alatt gyakran talpaló lapokat, ékeket vagy önkiegyenlítő talpakat alkalmaznak, különösen kültéren, ahol a felület nem teljesen vízszintes. A szereléskor figyelni kell a keretállások függőlegességére, az elemek szimmetrikus összeállítására, valamint a platform pontos vízszintbe helyezésére. A járófelületnek megfelelő teherbírással kell rendelkeznie: az egy munkaszintre engedélyezett maximális terhelés általában $1,5\text{--}2,0\text{ kN/m}^2$, beleértve a munkavégző személyeket és az általuk használt szerszámokat. A teherbírást meghaladó túlterhelés esetén a platform behajolhat, a keretszerkezet eldeformálódhat, és az állvány összeroskadhat, ami súlyos balesethez vezethet.

A guruló állványok mozgatását kizárólag üres állapotban, tehermentesítve szabad végezni. Szigorúan tilos, hogy az állványt úgy tolják arrébb, hogy azon személy tartózkodik, mivel a görgők megakadhatnak, vagy az állvány megbillenhet, különösen egyenetlen padlón, küszöbön vagy lejtőn.

A szerkezet elmozdulása közbeni instabilitás egyik leggyakoribb baleseti forrás. Ezért minden mozgatás előtt el kell távolítani a mozgó alkatrészeket, rögzíteni kell a laza szerszámokat, és biztosítani kell, hogy a platformon senki ne tartózkodjon. A guruló állványok legnagyobb előnye, hogy egyszeri felállítást követően több helyszínen is felhasználhatók, gyors áthelyezéssel, így csökkentik az élőmunkaidőt és növelik a termelékenységet.

A biztonságos munkavégzéshez elengedhetetlen a védőkorlát, amelynek legalább $1,0\text{ m}$ magasnak kell lennie, és rendelkeznie kell közép- és lábdeszkával is. Ezek megakadályozzák, hogy a dolgozó véletlenül leessen, illetve, hogy szerszám vagy egyéb eszköz lehulljon a platformról. A mobil állványok gyakran rendelkeznek beépített létrával vagy szerelhető feljáróelemmel, amely a biztonságos fel- és lejutást teszi lehetővé. A platform megközelítésekor fontos, hogy ne oldalról, hanem kizárólag a kijelölt, rögzített feljárón keresztül történjen a mozgás. A leesés elleni védelem, különösen nagyobb magasságban, egyéni védőfelszerelések alkalmazását is szükségessé teheti, például testheveder és rögzítési pont alkalmazásával, amennyiben ezt a munkabiztonsági szabályok előírják.

A mobil állványok rendszeres karbantartása szintén kiemelt jelentőségű. A mozgó alkatrészek – csatlakozók, bilincsek, kerekek – kopása vagy meghibásodása instabilitáshoz vezethet. A fém alkatrészeket korrózió ellen védeni kell, különösen kültéri használat után. A fa- vagy kompozit járófelületek állapotát szintén rendszeresen ellenőrizni kell, mivel repedések, elgörbülés vagy víz okozta deformáció esetén a teherbírás csökkenhet. A mobil állványrendszerek összeszerelését, ellenőrzését és használatát kizárólag arra képzett személyzet végezheti, a gyártói utasítások betartásával.

1.2.2 Homlokzati állványok

A homlokzati állvány egy ideiglenes, általában moduláris vagy keretes felépítésű térbeli szerkezet, amelyet épületek külső homlokzatán végzett építési, felújítási, karbantartási vagy szerelési munkák biztonságos elvégzésére használnak. Feladata, hogy teherbíró munkafelületet és közlekedési útvonalat biztosítson a munkavállalók, szerszámok és kisebb építőanyagok számára a homlokzat teljes magasságában. A homlokzati állvány szilárd alátámasztással, megfelelő merevítéssel, járófelülettel, leesés elleni védelemmel (korlát, lábdeszka, háló) és biztonságos feljáróval rendelkezik, és kialakítása megfelel az érvényes műszaki előírásoknak és munkavédelmi szabályoknak.

Típusai:

- nehézállvány,
- létraállvány,
- csőállvány,
- moduláris állvány,
- keretes állvány.

Nehézállványok. A homlokzati állványrendszerek közül a nehéz állványzatok általában fából készülnek, és nagy teherbírásúak. Ezeket elsősorban természetes kövek, illetve nehéz építőelemek ideiglenes tárolására és beépítésére használják. Teherbírásuk jellemzően 300 kg/m^2 , azonban mivel ezek egyedi tervezésű szerkezetek, ennél jóval nagyobb terhek elbírására is alkalmasak lehetnek. A nehéz állványzat egyik jellegzetes típusa az árbocállvány, amely vázas szerkezetű, árbocokból, illetve azokhoz székekkel vagy anélkül kapcsolódó munkaszintekből áll. Az árbocok 18–25 cm középméretű, 10–20 méter magas, sudarasodó, hengeres faoszlopok, amelyeket egymástól 2,5–3,0 méter távolságra, 1,5 méter mélyen a földbe ásott gödrökbe helyeznek el. Az emeleti szinteknél az árbocokat andráskereszt formájú merevítéssel stabilizálják.

Az árbocállvány székes változatánál a munkaszinteket az árbocok mellé rögzített oszlopok tartják, ezekre kerülnek a hosszanti süveggerendák. A süveggerendákra merőlegesen helyezkednek el a munkaszinteket alkotó fiókgerendák (ászkosgerendák), amelyeken pallók biztosítják a járófelületet. Ha az állvány az épülethez csatlakozik (egy árbocsoros kivitel), a fiókgerendák közvetlenül a falazatra támaszkodnak. Az épülettől független állványok esetén a fal mentén is oszlopsor fut, amelyre a süveggerenda kerül. A főállványok lehetnek egy- vagy kétmenetese, menetük szélessége 2,2–3,0 méter. Olyan kialakítás is előfordul, ahol a földszint egymentes, a felsőbb szintek pedig kétmentesek.

Az állványzatok másik típusa az elemekből összeállítható főállványos rendszer. Ennél a kialakításnál a főállvány oszlopai 2 darab 8/12 cm-es faelemből állnak, míg a betétfák és merevítők 5/12 cm-es, a földémpallók pedig 5/20 cm-es keresztmetszetűek. Az elemeket csavaros kötésekkel kapcsolják egymáshoz. Természetesen a nehéz homlokzati állványok ma már acél szerkezetből is készülnek, méretezett teherbírással. Ezek jellemzően moduláris állványszerkezetek, amik elsősorban tér és teherbíró állványként működnek, de nagy teherbírású homlokzati munkáknál, mint például kőburkolatok cseréje, renoválása elterjedt az alkalmazási köre.

Létraállványok. A létraállvány még ma is használatos homlokzati állványrendszer, bár jellemzően már csak a kisipari kivitelezéstechnológiánál alkalmazzák. Anyagát tekintve fa szerkezetű, fő eleme, az állványlétra. Korábban ezeket 5 és 12 méteres hosszban gyártották, ma már ezek szabványosított jelleggel 4, 5 és 6 méteres hosszúságúak.

A létra két gerinctartója, vagyis a szárai 50 cm távolságban helyezkednek el egymástól, ezeket fél méteres magasságokban 24/48-as fokok kötik össze, illetve bizonyos távolságonként 8 mm-es összekötővasakkal van merevítve. Az állványlétrákat egymástól 2, maximum 3,5 méter távolságra lehet felállítani, és 2 méteres magasságokba kerülnek be a fa járópallók. A lábdeszka és a korlát colos deszkából készül. Vízszintes terhek felvételére a létraállásokat andráskereszt merevítőkkel kell ellátni. Az állványzat épülethez való kikötése kikötőkarokkal történik, amelyek kampócsavaron keresztül rögzülnek a homlokzatba dűbelezett szemes csavarhoz.

A fa létraállványon történő munkavégzés sajátos munkavédelmi kockázatokkal jár. A leggyakoribb baleseti típus a leesés, amely az instabil járófelület, a korlát nélküli munkaszint, valamint a hirtelen elmozduló vagy megrepedő deszka miatt következhet be. A rendszer nem rendelkezik beépített védőkorláttal, lábdeszkával vagy hálóval, amelyek megakadályoznák a személy vagy tárgyak leesését. (8. kép) További veszélyforrás a csúszás és elbotlás, különösen, ha a járófelület nedves vagy szennyezett. A rendszer gyakran nem biztosít megfelelő feljárót: a munkások oldalról, vagy a létrafokokon keresztül jutnak fel, ami szintén nem felel meg a korszerű ergonómiai és munkavédelmi követelményeknek. A faanyag sajátos kockázatokat is rejt: a hosszan tartó kültéri használat során nedvesség, UV-sugárzás és mechanikai igénybevétel miatt a fa anyagszerkezete meggyengülhet, vetemedhet, megrepedezhet vagy korhadásnak indulhat. A szerkezet rendszeres vizsgálata ezért elengedhetetlen: minden használat előtt ellenőrizni kell a repedéseket, vetemedést, a csomók körüli gyengeségeket, valamint a deszkák szilárdságát.

A rögzítések megléte és szorossága szintén kulcsfontosságú: a kilazult vagy hiányzó kötéseket azonnal pótolni kell. A munka befejeztével az állvány elemeit javasolt fedett, száraz helyen tárolni, hogy a nedvesség ne csökkentse az anyag élettartamát és teherbírását.



8. kép: Állványszerkezet fa ácsolatból. Saját forrás

Annak ellenére, hogy a fa létraállvány egyszerű és olcsó megoldás, korszerű építkezéseken való alkalmazása erősen korlátozott. A jelenleg hatályos munkavédelmi szabályozások, mint például a 4/2002. (II. 20.) SzCsM–EüM [49] együttes rendelet a munkahelyek munkavédelmi követelményeinek minimális szintjéről; rendelet Magyarországon, megkövetelik a stabil, tanúsított, műszaki dokumentációval rendelkező állványrendszerek alkalmazását, amelyek megfelelő védelmi elemekkel és feljárókkal rendelkeznek. A fa létraállvány e feltételeknek általában nem tud megfelelni, így használata legfeljebb kisebb magasságban - 2–3 méterig -, rövid idejű, felügyelet alatt végzett munkákra engedélyezhető, külön kockázatértékelés alapján.

A homlokzati csőállványok. A homlokzati csőállványok elsődleges tartóelemei a függőleges állványcsövek, amelyek az állvány súlyát és a rajta keletkező terheket viselik. Ezekhez csatlakoznak a vízszintes járószint-tartó csövek, a keresztirányú merevítő rudak és az átlós merevítők, amelyek együttesen biztosítják a szerkezet térbeli merevségét és stabilitását. A csőállványok tipikusan 48,3 mm átmérőjű acélcsővekből készülnek, falvastagságuk rendszerint 3,2–4,0 mm. A szerkezeti elemek összekapcsolása történhet klasszikus csavarbilincses rendszerrel, úgy, mint rögzítőbilincs, forgóbilincs, keresztbilincs, vagy korszerűbb, gyári rendszerkapcsolókkal, amelyek gyorsabb és biztonságosabb szerelést tesznek lehetővé. Az állványt a talajhoz állítható magasságú talpcsavarokon keresztül csatlakoztatják, amelyek lehetővé teszik az egyenetlenségek kiegyenlítését és a pontos vízszintbe állítást.

A csőállványokon kialakított járószintek rendszerint fa, fém vagy alumínium járólapokkal burkoltak. A padlók tervezett teherbírása $150\text{--}300\text{ kg/m}^2$, munkavégzés típusától és a teherbírasi osztálytól függően. A járófelületeket csúszásmentesítéssel látják el, és jellemzően $2,5$ vagy $3,0$ méteres hosszmodulokban helyezik el. A munkavédelmi szempontból előírt biztonsági elemek – mint a védőkorlát, középdeszka és lábdeszka – minden munkaszinten kötelezőek. Emellett az állvány gyakran építési védőhálóval van körbevéve, amely a leeső tárgyak ellen nyújt védelmet, valamint csökkenti a környezeti por elszóródását. A csőállványok szerkezeti viselkedését a terhelések komplex rendszere határozza meg. Függőleges irányban a saját tömeg, a személyi és anyagterhelés, vízszintes irányban pedig a szélteher, a munkavégzésből eredő oldalirányú hatások és a szerkezeti torzulás ellen ható reakciók befolyásolják a kialakítást. A statikai méretezés során a stabilitás, a teherbírás, a lehajlás ellenőrzése egyaránt szükséges. A szabványosított rendszerek megfelelnek az EN 12811 szabványnak [50], amely meghatározza az állványzatok terhelési osztályait, szerkezeti követelményeit és biztonságtechnikai előírásait.

Az állványrendszer horgonyzása az épület szerkezetéhez történik: az állványt jellemzően $4,0\text{--}6,0\text{ m}^2$ -enként mechanikus rögzítéssel falkapocccsal vagy dübelezett acélhorgonyzással csatlakoztatják a homlokzathoz. A horgonyzási pontok elhelyezése elengedhetetlen az oldalirányú stabilitás szempontjából, különösen nagy magasság esetén vagy szeles környezetben.

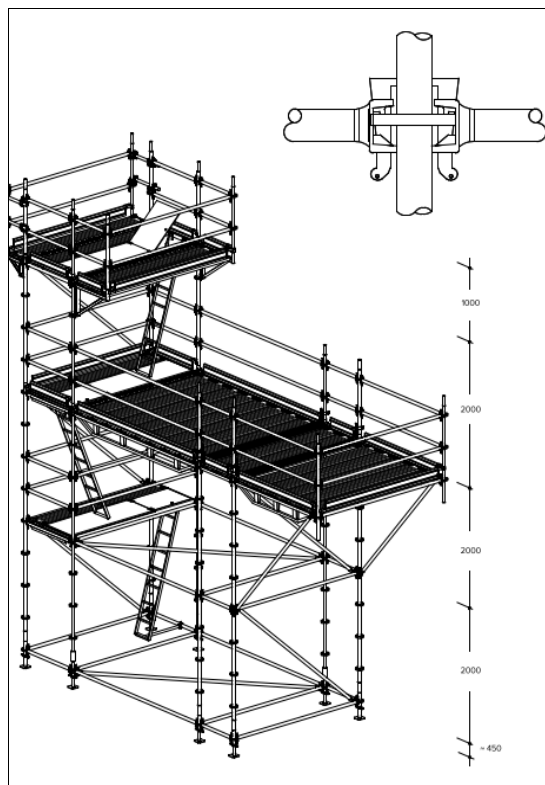
A homlokzati csőállványok összeépítése szigorúan szabályozott technológiai utasítás alapján történik, amelyet a gyártó, illetve a kivitelező állványtechnológus mérnök határoz meg. Az állvány minden felépítése előtt statikai tervet kell készíteni, amely tartalmazza az állvány kiosztását, merevítési rendszerét, horgonyzását, a munkaszintek számát, a teherbírasi osztályt, valamint a várható környezeti hatásokat. Az állvány építését kizárólag megfelelő képesítéssel rendelkező szakemberek végezhetik, a szerelést követően pedig vizsgálattal kell igazolni a rendszer stabilitását. Az állvány használata közben napi ellenőrzés szükséges, valamint rendkívüli időjárási események – például erős szél, vihar vagy jégeső – után újra meg kell vizsgálni a szerkezet épségét. A leggyakoribb használati hibák közé tartozik a nem megfelelő rögzítés, a hiányos korlát- és padlókialakítás, valamint a túlterhelés, amelyek súlyos balesetekhez vezethetnek.

A csőállvány egyik legnagyobb előnye a rendkívüli geometriai rugalmasság. A bilincses kötésrendszernek köszönhetően az állvány bonyolult homlokzati síkokhoz, kiugrásokhoz, oszlopokhoz, boltívekhez, párkányokhoz is jól illeszthető.

Ezzel szemben hátrányként említhető a hosszabb szerelési idő a rendszermoduláris állványokhoz képest, valamint az, hogy a bilincses kötéseket rendszeresen ellenőrizni kell, mivel a kilazulás veszélye fennáll. A csőállvány ugyanakkor extrém terhelésekre, például nehézgépek telepítésére vagy konzolos szerkezetek megtámasztására is alkalmas, így nagy teherbírású munkaállványként is funkcionálhat. A karbantartási szempontból a csőállvány megbízható és hosszú élettartamú szerkezet, amennyiben megfelelő korrózióvédelemmel látják el. Az alumínium változatok könnyebbek, kevésbé korrodálnak, de hajlamosabbak a lokális deformációra és drágábbak az acélnál. A szerkezet elbontása után minden elem állapotát ellenőrizni kell: görbült, repedt, korrodált elemeket ki kell vonni a forgalomból.

A moduláris állványrendszer. A moduláris állványrendszer egy munkavégzést, védelmet és megtámasztást szolgáló állványzat, amely sokoldalúan felhasználható, moduláris csomóponti állványrendszerként. A teherhordó függőleges állványcsövek Ø 48,3 mm átmérőjű acélcsövekből készülnek, melyeken 50 cm-enként hegesztett rozetta elemek találhatók.

Ezek a rozetta elemek lehetővé teszik akár nyolc csatlakozás létrehozását, vízszintes vagy átlós irányban egyaránt. A vízszintes merevítők hossza változó, így az állványzat alapterülete derékszögű vagy ferde szögű lehet. A vízszintes merevítők szabványos hosszmeretei a következők: 0,74 m, 0,82 m, 0,90 m, 1,01 m, 1,13 m, 1,25 m, 1,50 m, 1,80 m, 2,00 m, 2,50 m, 3,00 m, 4,00 m. Ezek a szabványos méretek elősegítik a munkavégzést, védelmet, zsaluzati vagy madárkalitka típusú állványzatok gyors és optimális térbeli kialakítását. A moduláris koncepció különösen ideális lépcsőháztornyok, pódiumok, lelátók stb. kialakításához. (4. ábra) A vízszintes és átlós merevítők mindkét vége speciális csatlakozókkal és beépített ékkel van ellátva, amelyek lehetővé teszik a gyors és biztonságos rögzítést a függőleges rozetta elemekhez. A rögzítéshez egy 500 grammos kalapács szükséges, amellyel az ékeket addig kell beütni, amíg visszapattanást nem érzünk. Ez merev csomóponti kapcsolatot hoz létre. A csatlakozó felső része nem feltétlenül a csőoszlophoz kell, hogy kerüljön. Minden Andráskereszt merevítőt 1,00 m, 1,50 m és 2,00 m emeletmagassághoz terveztek, ezek minden szabványos hosszban elérhetők. A szükséges munkaszintek kialakításához használhatók standard állványpallók vagy kereskedelmi forgalomban kapható fa pallók. Az állványrendszer minden acél eleme horganyzott, míg a faelemek vízálló kivitelűek. Ezáltal az állvány karbantartási igénye minimális, és az alkatrészek szinte teljesen karbantartásmentesek.



4. ábra: A moduláris állványrendszer a jellemző csomóponttal [51]

Keretes homlokzati állványok. A homlokzati keretes állványrendszerek az építőiparban alkalmazott állványtípusok közül az egyik legelterjedtebb és leggyakrabban használt megoldást jelentik a függőleges, külső síkon végzett építési és felújítási munkák biztonságos kiszolgálására. Ez a típusú állványrendszer elsősorban vakolási, hőszigetelési, festési, nyílászárócseréhez kapcsolódó munkálatok, valamint tetőszegélyhez vagy homlokzati elemekhez történő hozzáférés céljából kerül telepítésre. A keretes állványokat jellemzően épületek homlokzatánál állítják fel, tehát a sík mentén követik a fal kontúrját, és keretes rendszerük révén gyorsan, szabályozott módon szerelhetők össze. Legnagyobb előnyük az egyszerű, előre gyártott, szabványosított elemekből való összeállíthatóság, ami nemcsak felgyorsítja a kivitelezést, hanem a munkavégzés biztonságát is nagymértékben növeli.

A keretes állványrendszer fő tartóeleme a nevében is megjelenő, oldalnézetből kapuként értelmezhető előregyártott acél keret. Ezek a keretek függőleges oszlopokat és azokat összekötő vízszintes keresztgerendát tartalmaznak, merev, hegesztett szerkezeti egységként. A két keret között vízszintes padlótartók, átlós merevítők és járófelületek találhatók. A járófelületet acélrács, alumíniumlemez vagy rétegelt falap alkothatja, amelyek csúszásgátló réteggel vannak ellátva. A járószintek kiosztása általában 2,0–2,5 méterenként történik függőleges irányban, míg vízszintes irányban a keretek közötti távolság 2,5–3,0 méter.

A rendszer alsó részét állítható acéltalpak képezik, amelyek lehetővé teszik az egyenetlenségek kiegyenlítését és a teljes szerkezet szintezését. A keretes állványrendszer biztonságát az átlós merevítők, a homlokzathoz való mechanikus rögzítések, valamint az állvány teljes geometriájának stabilitása biztosítja. Az állványt rendszerint az épülethez kell rögzíteni acél kötőelemekkel, amelyeket falkapcsok vagy dübelezett rögzítőhorgonyok közvetítenek. Ezek a horgonyzások meghatározott vízszintes és függőleges osztásban helyezkednek el, figyelembe véve a szélterhelést, az állvány magasságát és a várható terhelést. Az ilyen típusú állványok jellemzően 20–40 méter magasságig alkalmazhatók gazdaságosan, de speciális kialakítással akár 60 métert is elérhetnek. A keretes rendszer teherbírása függvényként általában 150–300 kg/m² közötti, így elegendő 2–3 dolgozó, valamint a munkához szükséges anyagok és szerszámok biztonságos elhelyezésére.

A keretes állványrendszerek építése és használata során kiemelten fontos a már korábban is említett ide vonatkozó európai és nemzeti szabványok betartása. A szabványok alapján az állvány építését, ellenőrzését és dokumentálását csak arra jogosult, képzett szakemberek végezhetik, és a használatba vétel előtt minden esetben el kell végezni az állványzat szerkezeti és biztonsági ellenőrzését.

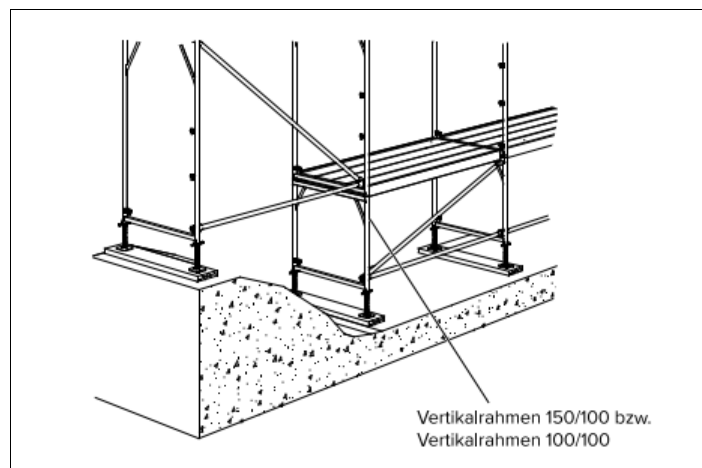
A keretes állvány egyik kiemelkedő előnye az egyszerű, gyors szerelhetőség. Az előregyártott elemek szerszám nélkül illeszthetők egymásba, csap-horony vagy retesz rendszerrel, így rövid idő alatt nagy felületű állványzat építhető. Ez különösen előnyös többszintes lakóépületek vagy ipari létesítmények homlokzati munkálatainál, ahol az állvány gyors mozgatása és szakaszolása szükséges. A rendszer felépítése általában a következő sorrendet követi: talpak elhelyezése és szintezése, keretek felállítása, vízszintes összekötések és padlók elhelyezése, merevítők és védelmi elemek beépítése, majd a horgonyzási pontok kialakítása. A feljáró szinteket általában létrás átjárókkal vagy integrált feljárókkal biztosítják, amelyek elhelyezése a járófelületen belül történik. A leesés elleni védelem minden szinten elengedhetetlen: védőkorlát, és lábdeszka biztosítja, hogy a munkavégzés a magasban is biztonságos környezetben történjen.

1.3 Állványrendszerek szerelés technológiája

Az állványt csak megfelelő teherbírású aljzatra szabad felállítani. Ellenkező esetben teherelosztó alépítményeket, például pallókat kell alkalmazni. Az összeszerelés az elhelyezési szint legmagasabb pontján kezdődik.

Minden állványoszlop alatt a függőleges keretnél egy orsós lábat vagy egy merev talpat kell elhelyezni. Lejtős felületeken, magasságkülönbségeknél, valamint bizonyos emeletmagasságok eléréséhez 100-as vagy 150-es függőleges kiegyenlítő keretek építhetők be.

5. ábra



5. ábra: *Altalaj egyenletlenség beállítása keretes rendszereknél [52]*

A kisebb talajszint eltérései és egyenletlenségei kiegyenlítő állványlábakkal is áthidalhatók. Ezek a függőleges keret oszlopához egy beépített fix kuplunggal csatlakoznak.

Az illesztőcső furatsora révén történik a hozzávetőleges szintkiegyenlítés. A behelyezett orsós láb lehetővé teszi a finombeállítást. Az orsós lábak behelyezés után a keretek függőlegesen kell felállítani talpcsavarok vagy alaplemezek segítségével, miközben meg kell tartani a megfelelő távolságot az épület falától. A függőleges kereteket egymáshoz a járódeszkázattal és a védőkorlátok segítségével csatlakoztatják, amelyeket a gravitációs csapokba illesztenek be. Az alsó keretállások összerelésénél az alsó védőkorlát csak az első szakasz szerelése közben szolgál segédeszközként. A z andráskeresztek és a pallók felszerelése után eltávolítható. Fontos, hogy a gravitációs csapokkal rendelkező elemeknél, amelyek védő oldalelemek rögzítésére szolgálnak, ezeknek a csapoknak mindig függőleges helyzetben kell lenniük.

Az átlós merevítőket az állvány külső oldalára kell rögzíteni, hosszanti merevítőként szolgálnak. Az átlós merevítő kampóját az U-profil felső kivágásába kell beakasztani, az alsó részt pedig a másik függőleges keret gravitációs csapjához kell csatlakoztatni. Az átlós merevítőket és pallókat az állvány építésével egyidejűleg, folyamatosan kell felszerelni. A járópallók, acél és fa pallók, valamint alumínium pallók a függőleges keret U-alakú szelvényének tetejére kerülnek, úgy, hogy az U-profil szárai szorosan illeszkedjenek a pallótartó gyöngyeibe.

A pallók merevítő elemekként működnek, és az állvány teljes szélességét át kell hidalniuk. Továbbá a vízszintes keretet úgy kell elhelyezni, hogy a tartókarmai a függőleges keret U-alakú keresztmetszetén nyugodjanak, és az U-profil szárai pozitív záródást hozzanak létre a pallótartó gyöngyeivel. Ezután a vízszintes keret pallóit ebbe kell behelyezni. A pallók kiemelkedésének megakadályozására ezeket szorosan rögzíteni kell a pallórögzítőkkal. Az elkészült állványmezőt most függőlegesen és vízszintesen is ki kell igazítani a talpcsavarokkal. folyamatosan kell ellenőrizni az állvány és az épület fala közötti távolságot. A járólapokat a járószinttartókra (padlótartókra) kell helyezni, és biztosítani kell, hogy azok teljes felületükön feküdjenek fel, mindkét végükön stabilan rögzüljenek. A járólapokat úgy kell elhelyezni, hogy azok elmozdulás ellen biztosítva legyenek, például rögzítőmechanizmussal vagy reteszes megoldással. Csak gyártó által jóváhagyott, típusazonos járólapokat szabad alkalmazni, amelyek az adott állványelemhez lettek méretezve. A sérült, vetemedett vagy nem megfelelően csatlakozó járólapokat tilos beépíteni. Minden járószint csak akkor tekinthető használatra alkalmasnak, ha annak minden eleme megfelelően rögzítve van, a járólapok illeszkednek, és a padlózat nem hajlik meg a megengedett mértéken túl.

A leesés elleni védelem érdekében minden munkaszintet a használat megkezdése előtt háromoldali védőkorláttal kell ellátni. Ez magában foglalja a felső korlátot, a közbenső korlátot, valamint a lábdeszkát, amely megakadályozza, hogy tárgyak leessenek a szintről.

A védőkorlát elemeit - felső- és középkorlát, lábdeszka - szilárdan kell rögzíteni az állványkeretekhez vagy külön erre a célra kialakított tartóelemekhez. A korlátokat úgy kell beépíteni, hogy azok ne tudjanak elmozdulni vagy kiesni. A védőelemek megléte kötelező már a szerelés során is, amikor a járószintek felett munkát végeznek. A leesés elleni védelem eltávolítása csak az állvány elbontásakor, fokozatosan, szintről szintre megengedett. A védőkorlát hiánya munkavédelmi szabályt sért, és életveszélyt jelent. Az állványon való közlekedést belső átjárós padlóelemekkel kell biztosítani, amelyek csapóajtóval vagy zárható fedéllel rendelkeznek. Ezeken keresztül lehet biztonságosan eljutni az egyes szintek között. Az átjáróelemek alatt rögzített függőleges létrák vagy lépcsőmodulok szolgálnak feljutásra.

A létrák rögzítését minden esetben gyártói előírás szerint kell végezni, és meg kell győződni arról, hogy azok stabilan, elmozdulás mentesen helyezkednek el. Az átjárós padlóelemek csapóajtóját mindig zárva kell tartani, ha nem történik éppen közlekedés. A feljárók nem terhelhetők építőanyaggal vagy szerszámmal, kizárólag a személyek mozgását szolgálják. A nem megfelelően kialakított vagy hiányos feljárók fokozott balesetveszélyt jelentenek, ezért azok használatát tilos megkezdni az előírások betartása nélkül.

Az építési állványzatot, különösen közterületen vagy szeles környezetben, védőhálószerűen kell ellátni. A háló célja, hogy megakadályozza a szerszámok, törmelék vagy egyéb tárgyak lezuhanását, valamint csökkentse a szél által keltett oldalirányú erőhatásokat. A hálót a gyártó által megadott rögzítési pontokon kell feszíteni, és gondoskodni kell arról, hogy az ne lazuljon meg, ne lobogjon szabadon. Amennyiben az állvány közvetlenül közlekedési útvonal vagy gyalogosforgalom fölé épül, úgy védőtetőt kell kialakítani, amely megvédi az arra haladó személyeket a leeső tárgyak ellen. A védőtetőt megfelelő teherbírású szerkezettel kell alátámasztani, és úgy kell kialakítani, hogy az ne gyengítse az állvány statikai rendszerét. Minden ilyen kiegészítő elemet az állványtervben előre rögzíteni kell, és azokat a használat során rendszeresen ellenőrizni kell.

1.4 Homlokzati állványtüzek esetei, azok háttere

Az építés közben fellépő tüzesetek sajnálatos módon nem számítanak kivételes eseménynek, különösen a felújítási projektek esetén, de új építkezéseknél is előfordult már komoly tűzkár. Ezen belül viszont meglehetősen kevés figyelem irányul az olyan ideiglenes segédszerkezetekre, mint a homlokzati állványzat, különösen akkor, ha a tűz maga az állványzatról indul ki, vagy az állvány működik a tűz továbbterjesztett közegeként – például a gyúlékony ponyvák vagy fa szerkezeti elemek révén. [53]

A statisztikai és gyakorlati tapasztalatok alapján a villámcsapás okozta tüzek számítanak a legritkábban előforduló esetek közé, míg az emberi mulasztásból eredő tüzesetek (például tiltott dohányzás, nem megfelelő földelésű elektromos rendszer, illetve a szabálytalanul tárolt gyúlékony anyagok) tartoznak a leggyakoribb kiváltó tényezők közé.



9. kép: A Notre-Dame székesegyház állványzatának égése [54]

A homlokzati állványzaton bekövetkező tüzesetek rendszerezésére az alábbi csoportosítást készítettem, amely három fő szempont alapján különíti el a tűz típusait: keletkezési ok, éghető anyagok jellege, valamint a tűz terjedésének iránya.

A tűz keletkezésének feltételezett oka szerint

- Elektromos eredetű tűz: Az ilyen típusú tüzesetek megelőzéséhez alapvető feltétel, hogy a vonatkozó villamos szabvány, mint például az MSZ HD 60364-4-41 415.2 [55] által előírt kiegészítő védő-equipotenciális összekötések kivitelezése időben és szakszerűen megtörténjen. Ez különösen fontos az építkezés során kialakuló kiterjedt fémes rendszerek között, valamint ezek és a védővezetők közötti kapcsolat biztosításában.
- Villámcsapás által kiváltott tűz (TvMI 12.3 – 2019.06.12) [56]: Fa állványrendszerek esetében közvetlen villámcsapás komoly gyújtóforrás lehet. Amennyiben az állvány 15 méternél alacsonyabb, nem szükséges külön villámvédelmet kiépíteni. A magasabb állványoknál azonban kockázatelemzés alapján kell meghatározni a villámvédelmi szükségleteket. A védelem akkor tekinthető megfelelőnek, ha az alkalmazott LPS (villámvédelmi rendszer) kizárólag az állványzatra koncentrálódik, és adott esetben össze van kötve az épület már meglévő villámvédelmi rendszerével.
Fémszerkezetű állványok esetében a szabványos földelés és a megfelelő fémes összeköttetés szintén alapfeltétel.
- Dohányzás következtében fellépő tűz: Bár az építési területen való dohányzás hazai szabályozás szerint tilos – beleértve az állványzatokat is –, a gyakorlatban mégis gyakori forrása a tüzeseteknek. A tűz gyakran a ponyvázat gyújtja meg, amely gyorsan tovább terjedhet az egész állványzatra és a mögöttes homlokzati felületre is.
- Az épületből kiinduló tűz áttérjedése: Talán a leggyakrabban bekövetkező tűzfajta. A homlokzati állványzatra való tűzterjedés jellemző iránya felfelé mutat, különösen akkor, ha a nyílászárók még nincsenek beépítve, és a nyílásokon keresztül akadálytalanul tovább terjedhetnek a lángok.
- Technológiai eredetű tűz: Olyan esetekről van szó, amikor az állványzaton végzett munkafolyamat – például hegesztés, forró munkavégzés – gyújtóforrást jelent. Ezek az események könnyen megelőzhetők lennének alapvető munkavédelmi szabályok betartásával, mint például tűzoltó készülék (porral oltó) rendelkezésre állása minden érintett munkaszinten.

Az égésben részt vevő anyagok szerint

- **Állványszerkezeti anyagok:** A klasszikus, fából készült nehézállványok anyaguk révén fokozottan tűzveszélyesek. De a fémvázás állványok is tartalmazhatnak éghető elemeket, mint például fa járópallók vagy lábdeszkák, amelyek különösen fa munkaszintek esetén fokozzák a kockázatot. A tűzterjedés szempontjából a ponyvázott állványzatok a legveszélyesebbek, hiszen a teljes homlokzati sík összefüggő gyújtófelületként viselkedhet. [57]
- **Az állványzaton tárolt anyagok és segédanyagok:** Kiemelt kockázatot jelent, ha az állványról történik például a tetőszerkezet építése, különösen, ha az ereszburkolatok, lécezések, faanyagok hosszabb ideig maradnak ott. A megelőzés legegyszerűbb módja a szigorú anyagtárolási rend betartása: a faanyagot csak közvetlen beépítés előtt, ideiglenesen szabad az állványzaton elhelyezni.

A tűz terjedési iránya alapján

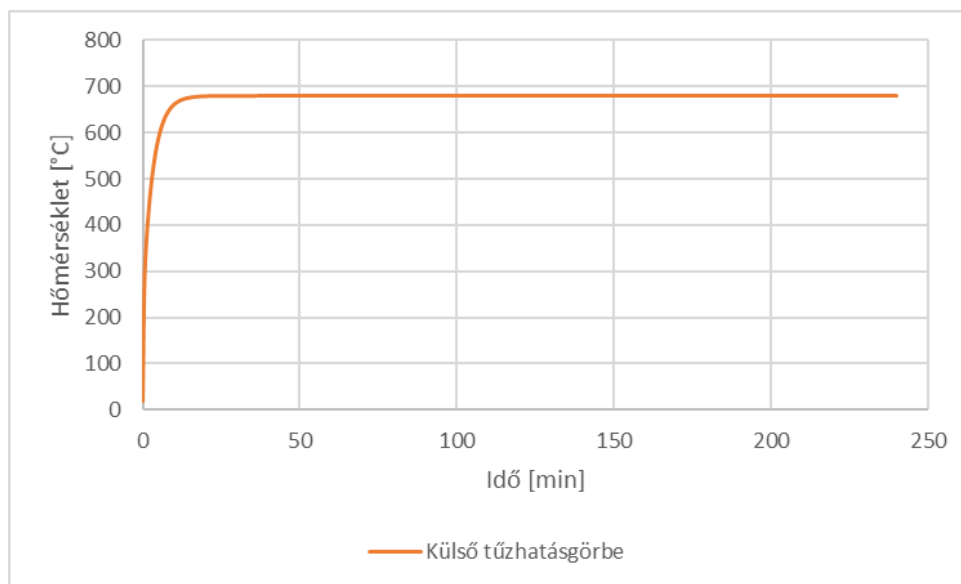
- **Vízszintes (horizontális) terjedés:** a tűz oldalirányban halad végig az állványon.
- **Függőleges (vertikális) terjedés:** a lángok a homlokzat mentén, szintenként haladnak felfelé.
- **Teljes kiterjedésű állványtűz:** az egész állványzati felület ég, beleértve a burkolatokat, járószinteket és a tárolt anyagokat is.



10. kép: Hongkongi korhástűztűzeste [58]

A homlokzati állványrendszerek használata során számottevő mennyiségű éghető anyag halmozódhat fel, amely két fő forrásból származik: egyrészt magából az állványszerkezetből – mint a fa járófelületek vagy ponyvaborítások –, másrészt az ideiglenesen ott tárolt építőanyagokból.

Tűzeset bekövetkezésekor a lángok főként felfelé terjednek, hasonlóan ahhoz, ahogy a tűz viselkedik a homlokzati szerkezeteknél. [59] Emiatt a tűzhatás vizsgálatánál célszerű az úgynevezett „külső tűzhatásgörbe” alkalmazása, (6. ábra) mivel az égés a szabad térben zajlik, és így a keletkező hő közvetlenül befolyásolhatja az épület homlokzati elemeinek hőterhelését, sőt meggyulladását is okozhatja.



6. ábra: A külső tűzhatásgörbe (TvMi 11.2:2019.01.22) [60]

A külső tűzhatásgörbe – szemben az ISO szabványos belső tűzgörbéjével – figyelembe veszi a környezeti levegő hűtő hatását, és ezáltal alacsonyabb hőmérsékleti maximumot mutat. A hőmérséklet időbeli változása az alábbi empirikus képlettel (1. képlet) írható le

$$\Theta_g = 20 + 660 \times (1 - 0,687 \times e^{-0,32 \times t} - 0,313 \times e^{-3,80 \times t}) \quad (1)$$

ahol:

Θ_g : a gázhőmérséklet [°C],

t: az eltelt idő [perc].

Az állványtüzek megelőzése két fő stratégiai megközelítéssel történhet: aktív és passzív tűzvédelmi intézkedésekkel.

- Aktív védekezés alatt olyan preventív intézkedéseket értünk, amelyek a tűz keletkezésének közvetlen okait szüntetik meg vagy csökkentik. Ide tartozik a munkavédelmi előírások szigorú betartatása, a rendszeres munkaterületi ellenőrzések, valamint a tűzveszélyes tevékenységek (például hegesztés) során alkalmazott előzetes biztonsági intézkedések.

- Passzív tűzvédelem körébe tartozik az éghető állványzati anyagok alkalmazásának kerülése. A fa járófelületek és fa tartószerkezeti elemek helyett célszerű nem éghető, vagy legalábbis csökkentett éghetőségű anyagokat alkalmazni. Kiemelten ajánlott olyan ponyvaborítások használata, amelyek lángterjedésre nem hajlamos anyagból készülnek.

Véleményem szerint a homlokzati állványzatok esetében is indokolt lehet a tűzterjedési folyamatok számításának elvégzése, valamint szükség esetén aktív tűzvédelmi rendszerek alkalmazása. [61]

A gyakorlat azt mutatja, hogy az ilyen jellegű megelőző intézkedések jelentős mértékben csökkenthetik az esetleges károk súlyosságát. Elegendő csak a Notre-Dame székesegyház esetét említeni, ahol egy állványzatról induló tűz okozott visszafordíthatatlan pusztítást egy kiemelt jelentőségű műemlékben – megfelelő védelemmel a tragédia akár megelőzhető lett volna.

1.5 Homlokzati állványok összeomlásának okai, a balesetek elemzése

Homlokzati állványok összeomlásának okai, a balesetek elemzése. A homlokzati állványok statikai és biztonságtechnikai rendszerek, amelyeknek célja a magasban történő munkavégzéshez szükséges biztonságos munkafelület és közlekedési út biztosítása. Mivel ezek az állványrendszerek ideiglenes szerkezetek, a statikai kapacitásuk korlátozott, és érzékenyek a kivitelezési hibákra, karbantartási hiányosságokra és külső hatásokra.

Az állványrendszer összeomlása nem csupán szerkezeti károkat, hanem személyi sérüléseket vagy halált is okozhat. A szerkezetek összeomlásának okai a következők:

a; Nem megfelelő statikai tervezés. Az egyik leggyakoribb strukturális ok a hiányos vagy hibás statikai számítás. A homlokzati állványoknak meg kell felelniük az MSZ EN 12810 és EN 12811 szabványok előírásainak, amelyek meghatározzák a szerkezeti elemek teherbírását, lehajlási határokat, stabilitási kritériumokat és csatlakozási követelményeket.

Ha az állvány méretezése nem veszi figyelembe a tényleges terheléseket (például: szélteher, hóteher, anyaghalmozás), (11. kép) akkor a szerkezet nem lesz képes a biztonságos teherviselésre.



11. kép: Horgonyhiba miatti állványösszeomlás [62]

Megelőzés:

- Statikai méretezés minden konkrét helyszínre és felhasználási célra.
- A gyártói rendszerengedélyek és rendszerleírások pontos követése.
- Helyszínspecifikus szélteher és geotechnikai adottságok figyelembevétele.
- Szakértői tervek jóváhagyása és dokumentálása.

b; Helytelen vagy hiányos kivitelezés. Az állvány összeomlásához vezethet a szerelés során elkövetett hibás gyakorlat, például hiányzó merevítők, túl kevés vagy rosszul rögzített horgonyzás, nem rendszerazonos elemek alkalmazása, vagy a járófelületek nem megfelelő rögzítése. A kivitelezési hibák következtében az állvány elveszti globális merevségét vagy lokális stabilitását, ami oldalirányú vagy torziós instabilitáshoz vezethet.

Megelőzés:

- A szerelést kizárólag képzett állványozó szakemberek végezhetik.
- A gyártó által előírt szerelési utasítások betartása kötelező.
- Minden építési fázisban műszaki ellenőrzés szükséges.
- Dokumentált átadás-átvételi eljárás az állvány használatba vétele előtt.

c; Nem megfelelő alátámasztás és alapozás. Az állvány összeomlásának gyakori oka az egyenetlen vagy puha talajon történő hibás teherátadás. Az állítható, menetorsós lábak nem megfelelő szintezése, elcsúszó fapallók, vagy csapadékos időszakban megcsúszó alátámasztás következtében az állvány lábai közül az egyik megsüllyedhet, és az egész rendszer megbillenhet.

Megelőzés:

- A talaj előzetes vizsgálata és szükség esetén teherbíró felület kialakítása (például betonlapok, acélgerendák).

- Az állítható, menetorsós lábak precíz beállítása, vízszintezése, műszerrel
- Lejtős terepen megfelelő alátámasztó szerkezetek (ékek, támgerendák) beépítése.
- Rendszeres talajellenőrzés különösen csapadékos időszak után.

d; Túlterhelés. A padlószintek túlterhelése – például építőanyag, zsákos ragasztó, kőburkolatok, eszközök halmozott elhelyezése – meghaladja az állványtervben megengedett felületterhelést. Ez a járófelületek deformációjához vagy beszakadásához, hosszabb távon pedig a függőleges szerkezeti elemek túlterheléséhez vezet.

Megelőzés:

- Terhelési korlátok szigorú betartása (például 150–300 kg/m², a tervezési osztály szerint).
- Külön anyagfelhúzó platformok vagy emelőkosarak alkalmazása.
- A munkavezető feladata a rendszeres tehereloszlás-ellenőrzés.
- A padlók vizuális ellenőrzése minden munkanap elején.

e; Időjárási hatások (szél, csapadék, hó, fagy)

Különösen veszélyes tényező a védőhálóval borított állvány, amely vitorlaszerű felületként működik nagy szélben. (12. kép) Az ilyen jellegű szélteher kritikus horgonyzási pontokat képes kiszakítani a falazatból, és az állvány billenéséhez vagy borulásához vezethet. A hó- és jégteher is túlterhelheti a szinteket, míg az eső csúszóssá teheti a járófelületeket.



12. kép: Szélteher okozta állványösszeomlás [63]

Megelőzés:

- Statikailag méretezett, rögzített védőháló használata.
- A szélterhelési zóna figyelembevétele a tervezés során.

- Munkamegszakítás előírása viharjelzés vagy széllelkések esetén (> 50–60 km/h).
- Időjárási körülmények követése és napi előrejelzés beépítése a munkaszervezésbe.

f; Karbantartási és ellenőrzési hiányosságok. Az állványrendszerek használat közbeni elhasználódása, kopása vagy sérülése meggyengíti a szerkezeti integritást. Ha a rendszeres vizsgálat és karbantartás elmarad, a meglazult csatlakozások, sérült bilincsek, repedezett padlólapok és rozsdás elemek nem kerülnek időben cserére, ami váratlan szerkezeti hibákhoz vezethet.

Megelőzés:

- Napi szemrevételezéses ellenőrzés minden munkanap előtt.
- Sérült elemek azonnali kivonása a forgalomból.
- Havi részletes műszaki felülvizsgálat dokumentálása.
- Az állvány teljes vizsgálata rendkívüli időjárás vagy túlterhelés után.

g; Emberi tényező – hibás használat, szabályszegés. A nem megfelelő oktatás, munkafegyelem hiánya és a szabályok szándékos megszegése (például védőkorlát eltávolítása, szintek önkényes módosítása, idegen elemek beépítése) fokozott balesetveszéllyel jár. A szervezetlen anyagmozgatás, rendezetlen közlekedés, nem kijelölt feljárók használata, vagy a nem engedélyezett eszközök (például: létra az állványon belül) alkalmazása közvetlen baleseti kockázat.

Megelőzés:

1. Állványhasználati oktatás minden dolgozó számára.
2. Írásos munkavédelmi szabályzat a helyszínen.
3. Heti munkavédelmi bejárás és jegyzőkönyvezett ellenőrzés.
4. Felelős állványbiztonsági személy kijelölése.

A balesetmegelőzés új módszere. A homlokzati állványok összeomlása ritkán egyetlen hiba következménye, sokkal inkább a tervezés, kivitelezés, használat és fenntartás során egymásra épülő hiányosságok eredője. A rendszer biztonságos működése csakis akkor garantálható, ha minden szakaszban – a tervezéstől az elbontásig – szabványosított és dokumentált folyamatok mentén történik a munkavégzés. Az állvány nem csupán ideiglenes munkafelület, hanem komplex, önálló statikai rendszer, amely ugyanolyan figyelmet és szakértelmet igényel, mint az épület, amelyen dolgoznak. A megfelelő tudás, képzés, anyaghasználat, valamint a szakszerű ellenőrzés és karbantartás kulcsszerepet játszik abban, hogy az állvány ne veszélyforrás, hanem biztonságos munkakörnyezet legyen.



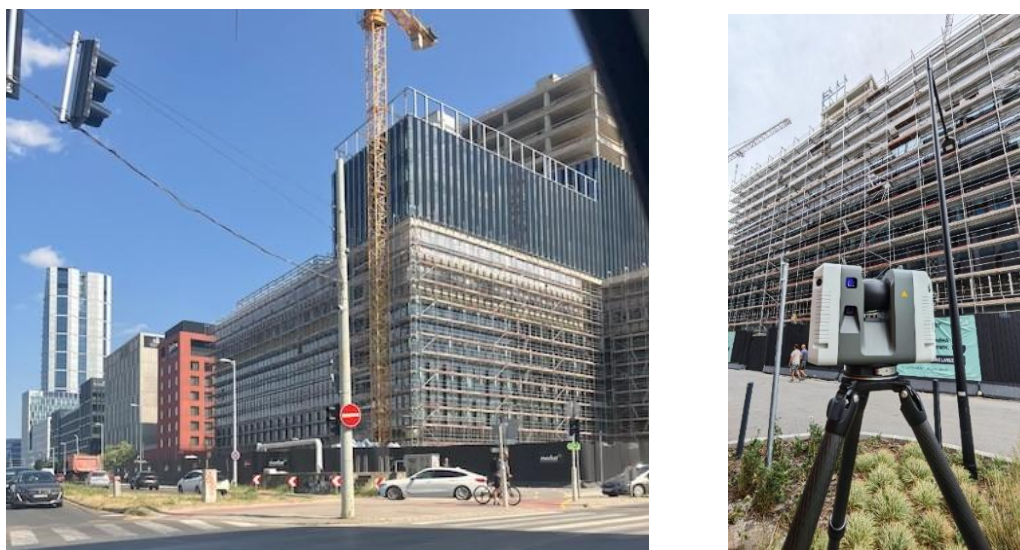
7. ábra: Az állványok összeomlásának okai. Forrás: [64]

Elemezve az állvány katasztrófák okait (7. ábra), egyértelmű, hogy a vezető tényező a helytelen vagy hiányos kivitelezés 32,8%-kal. Amennyiben ehhez még hozzáadjuk az alapozási hibákat, valamint az ellenőrzés hiányosságainak hibáit, összességében az állvány átadásakor, vagyis a műszaki átadáskor ez az arány már 62,1%.

A statisztikák, illetve a kivitelezői tapasztalat azt mutatja, hogy bármilyen gondossággal jár is el a kivitelező, nagyon gyakori a fenti hibaforrás. Ezért fogalmazódott meg bennem a nagy kérdés, hogy milyen módon lehetne ezeket a hibákat, ha nem is előre kiküszöbölni, hanem az átadás előtt 100 %-os pontossággal megtalálni, és utána javítani.

1.6 Javaslat a digitális műszaki ellenőrzési eljárás és módszertan kialakítására

Az állvány katasztrófák megelőzésére a következő módszert dolgoztam ki, amit a gyakorlatban egy budapesti építkezésen alkalmaztam először. (8. ábra)



8. ábra: A 3D-s szkennelés az állványról. Forrás: a szerző munkája

Első lépésként az elkészült állványzatot egy Lidar szenzoros lézer szkennerral felmértük, aminek eredményeként a térben pontok összetett halmazát, úgynevezett 3D pontfelhőt kaptunk. (9. ábra)



9. ábra: A 3D-s pontfelhő az állványról. Forrás: a szerző készítette

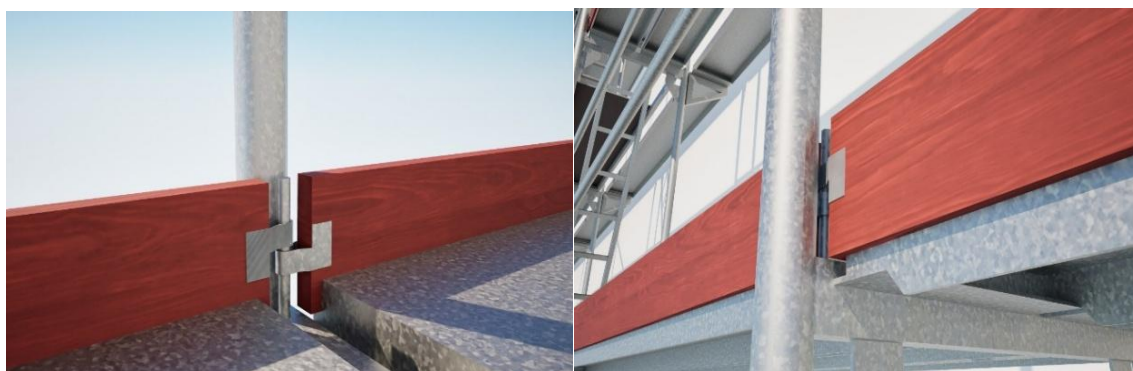
A pontfelhőből az Archicad építész tervező program segítségével egy 3 dimenziós modellt készítettünk, amivel a teljes állványzat térben végig járható. (10 ábra). A kapott 3D modell segítségével létrejött egy olyan térbeli megvalósulási terv, ami minden részletében a valóságban megépített állványzatot ábrázolja, bármilyen nézetben, bármilyen járófelületi szinten, a legrészletesebb csomópontok megmutatásával. Az 10-es ábrán a teljes állványfelületet mutatom meg axonometrikusan, míg az 11-es ábrán egy lábdeszka rögzítését lehet elemezni, ahol jól láthatók az illesztések, az elemek kapcsolatai. Ezután két elemzőmódszer jöhet számításba a hibák feltárására. Az egyik, hogy manuálisan egy műszaki ellenőr „bejárja” az állványzatot a monitor előtt ülve a 3D modell segítségével, és megkeresi a hibákat, vagy használva a mesterséges intelligencia programozható lehetőségét egy erre kifejlesztett hibakereső szoftverrel megkeresteti azokat. Csak ezen hibák kijavítása és vissza ellenőrzése után kaphatná meg a Kivitelező az állvány műszaki használhatóságának jogosítványát.

A 3D-s fotószkenner alkalmazása forradalmi előrelépést jelenthet a homlokzati állványok biztonsági ellenőrzésében. Az objektív és pontos mérési adatok alapján a rendszer lehetőséget biztosít a gyors döntéshozatalra, amely jelentősen csökkentheti a szerkezeti hibákból adódó balesetek kockázatát.

Bár a technológia bevezetése kezdeti beruházást és speciális szaktudást igényel, hosszú távon az építőipari munkavégzés biztonságának növeléséhez és a munkabalesetek megelőzéséhez járulhat hozzá. Az automatizált ellenőrzési rendszerek alkalmazása így nemcsak a munkavédelmi előírásoknak való megfelelést segíti, hanem egy hatékonyabb és megbízhatóbb munkafolyamatot is eredményezhet



10. ábra: A 3D-s megvalósulási terv az állványról. Forrás: a szerző készítette



11. ábra: A 3D-s megvalósulási részletterv az állványról. Forrás: a szerző készítette

1.7 Részkövetkeztetések az 1. fejezethez

Az építőipari segédszerkezetek közül a legismertebb és legtöbbet alkalmazott két típusának, a vasbeton szerkezetek építésénél használt zsaluzatok és a szakipari munkáknál alkalmazott homlokzati állványok által okozott balesetek elemzésével azok megelőzésével foglalkoztam.

A zsaluzatok építésekor, alkalmazásakor előforduló balesetek - amik jellemzően a zsaluzat összeomlását jelentik – elemzése nagyon heterogén munka. A monolit vasbeton szerkezetek összes fajtáját még felsorolni is hosszú lenne, - kezdve a lakó és középületektől az ipari, közlekedési, vagy éppen a vízügyi létesítményekig -, nemhogy azok építéstechnológiáját elemezni a zsaluzatokon keresztül. Éppen ezért ezen szerkezetek által okozott balesetek is végtelen hosszú lajstromot alkotnak, sok-sok tényezővel számítva. Ezzel szemben a homlokzati állványok sokkal szűkebb műszaki tartalommal és jóval kevesebb alternatív lehetőségekkel bírnak, természetesen azért itt is találunk kivételeket, de a paletta sokkal kevésbé színes, mint a zsalutaoké. Ez elmondható az általuk okozott balesetekre is. Talán pont ezért a balesetek megelőzésének módszerére két különböző úton indultunk el a két szerkezet típusnál. A zsaluzatok esetében egy szakaszolt, megelőző módszertan alkalmazását javasoltuk, öt alappillérre támaszkodva, aminek szigorú betartása mellett várhatóan csökkenne a zsalu összeomlásos balesetek száma.

Ezzel szemben az állványzatok esetén egy utólagos, nem folyamatos ellenőrzési módszertant fogalmaztam meg. Az újszerűsége a megvalósulási terv elemzésén alapul. A hagyományos értelemben vett megvalósulási tervet egy szerkezet, egy objektum elkészülte után rajzolnak meg, aminek a célja, hogy mindennemű változás, ami az eredeti tervhez képest máshogy épült meg az dokumentálva legyen.

A mi esetünkben az állványzat megvalósulási tervét nem „valaki” tervezi, vagy készíti el, hanem a fent említett pontfelhős mérés, illetve az abból alkotott 3D-s modellből épül fel a valóság alapján. Ennek hibaelemzése, és azok korrigálása után lenne csak kiadható az állvány használatbavételi műszaki engedélye. Természetesen a két módszer kombinálva a leghatékonyabb, ami persze a zsaluzatok esetében az e fajta utólagos ellenőrzés módszeréhez még sok kérdést fog feltenni a mérnök társadalom.

2. ÉPÍTŐIPARI ZSALUZATOK ÉS TEHERHORDÓ ÁLLVÁNYZATOK BALESETEINEK SZERVEZÉSI INTÉZKEDÉSEKKEL TÖRTÉNŐ MEGELŐZÉSE

2.1. Zsaluzati rendszerek osztályozása funkciójuk és térbeli elhelyezkedésük alapján

A zsaluzatok típusait sok féleképp lehet csoportosítani [65], úgy, mint függőleges vagy vízszintes szerkezetek zsaluzatai, méretük, vagy anyagjellemzőjük alapján. Jelen tanulmány esetében a zsaluzatok költségvizsgálata a fő irányvonal, ezért igazodva a jellemző költségvetési fő sorokhoz a következő zsaluzati típusokat vizsgálom:

- *alépítményi munkák zsaluzatai,*
- *felmenő szerkezetek zsaluzatai,*
 - *falzsaluzatok,*
 - *pillérzsaluzatok,*
 - *gerenda és pillér zsaluzatok,*
 - *födém zsaluzatok,*
 - *lépcső zsaluzatok.*

Az alépítményi munkák zsaluzatai általában könnyű, acél keretvázas falzsaluzati rendszert alkalmaznak, rétegelt lemez héjszerkezettel, viszonylag kevés számú elemszélességgel, melyek daru nélkül, kézi erővel áthelyezhetők. [66] A vizsgált épületeknél jellemzően ilyen szerkezetekkel készültek az alapozási zsaluzási munkák, kivételt képezve néhány családi ház, ahol hagyományos, hevederekkel erősített deszka oldalfal zsaluzatot alkalmaztak.

Felmenő szerkezetek zsaluzatai a falzsaluzatok, a pillérzsaluzatok, a gerendazsaluzatok, a födémzsaluzatok és a lépcsőzsaluzatok.

A falzsaluzatok a korszerű zsaluzati rendszerben gondolkodva két fő csoportra oszthatók a falzsaluzatok szerkezetük alapján: fatartós rendszerű nagytáblás zsaluzatok és keretes zsalurendszerek.

- fatartós nagytáblás falzsaluzatok: szerkezeti elvét tekintve inkább a múltat idézi, modern köntösben. Ez azt jelenti, hogy a klasszikus faltartók helyett, modern, ragasztott I szelvényű fatartók veszik fel a terhet és adják át a korszerű dupla U profilú keresztartókra. Héjazata ragasztott rétegeltlemez tábla, fenolbevonattal, de szabad éllel.

- keretes zsalurendszerek: jellemzően acél tartókeretbe foglalat rétegelt lemez zsaluhéjjal. A legkülönbözőbb tábla szélességektől (általában 10-15 cm-es raszterugrásokban), szintmagas (270-300-330 cm) illetve fél elem magasságú (120-150 cm) elemekig, gyorsrögzítő kapcsokkal illeszthető rendszerek. Daruval, illetve kézi erővel (szintmagas táblák esetében ezek alumínium keretesek) mozgatható szerkezetek.

A pillérzsaluzatok hasonlóan a falzsaluzatokhoz itt is két nagy csoportra oszthatók a pillérzsaluzatok szerkezetük alapján: fatartós rendszerű és keretes szerkezetűekre. A keretes rendszerűeknél a táblák speciális átkötéssel rendelkeznek. Ez azt jelenti, hogy nem csak a széleken van átkötési lehetőség, hanem 5 cm-es osztásokkal egymás után vannak perforálva a táblák. Így pillangó kötéssel egyazon, például 75 cm széles táblával lehet 30x30 cm-es vagy akár 60x60 cm-es pillért előállítani. Természetesen ezek a speciális táblák ledugózva, normál falzsalu elemként is használhatók.

A födémzsaluzatok közül Magyarországon a legelterjedtebb zsaluzati rendszer a fatartós födémrendszer. Szerkezete egyszerű, fő és fioktartós rendszeren alapul, ahol a végső teherátadás az acél támaszokon keresztül történik az alsó födémre. Általában a fő és fioktartók azonos keresztmetszetű ragasztott fatartók, „I” profilú kialakítással. A zsaluzat beton felőli felületét a fa zsalutáblák alkotják, háromrétegű ragasztott fenyő kialakítással, de gyakori a fenolbevonatos rétegelt lemez használata is. Miután a fatartók egymáshoz való illesztése, kapcsolata nem fix kötésű, csak fektetett, illetve átlapolt kialakítású, ezért nagyon jól követhető vele a változatos geometriájú alaprajzú szerkezetek zsaluzása.

Természetesen használatos az alumíniumkeretes födémzsalurendszer is, valamint annak ejtőfejes változata, de keretrendszere miatt kötöttebb a geometriai lehetőségei. A lépcsőzsaluzatok az alapváz megegyezik a fatartós rendszerrel, de borítása vagy vágott zsalutábla, vagy húzott karú lépcsők esetén deszka borítás. [67]

2.1.1 A zsaluzatok rövid történelmi áttekintése

A zsaluzat már az ókorban is ismert segédeszköz volt, a boltövek készítéséhez, illetve azok alátámasztásához. A Római Birodalomban a fa zsaluzatot a római mérnökök zsaluzatként használták betonboltozatok és ívek építéséhez. A reneszánsz időszakban a zsaluzatot egyre inkább használták betonépületek építéséhez. A kőből falazott épületekhez képest sokkal kevesebb emberi erőre volt szükség a betonépületek építéséhez, valamint az építési idő is jelentősen lerövidült. A beton épületek megépítéséhez azonban szükség volt a zsaluzatra, így azok fejlődése is törvényszerű folyamattá vált. A zsaluzási munka igazi nagy előrelépés a vasbeton feltalálásával, a múlt század közepén indult meg.

A vasbeton kifejlesztésével a zsaluzatnak az eddigi formázó illetve alátámasztó feladaton kívül fontos szerep jutott a felület képzésben is. A századforduló tájékán már megkezdődött a zsaluzat tudatos fejlesztése, mert egyértelművé vált, hogy a vasbeton készítésének munkafolyamatai közül a zsaluzás igényli a legtöbb élő munkát megelőzve a sorban a vasszerelést és a betonozást.

A következő nagy fejlődés a II. világháború befejezésével indult meg, elsősorban az előregyártott vasbetonszerkezetek megnövekedett zsaluigénye révén. Megszületik a csúszózsálas, a térzsálas majd a kúszó-zsaluzat, és a hatvanas évek végén elterjed a nagytáblás zsaluzati rendszer.

A jelenkor építőiparában azonban ismét szemléletváltozás történt, és a világháború utáni mennyiségi szemléletet felváltotta az egyedi igényeket kielégítő építés. Az egyes meghatározott jellegű kiviteli munkákra specializálódott vállalatok átalakultak, a piachoz igazodva szélesebb skálát lefedő tevékenységet folytatnak, s ez a változás a zsaluiparban is nagy fejlődést hozott. Létrejöttek az úgynevezett sokk célú zsaluzati rendszerek melyeknél az alapvető változás a korábbiakkal szemben, hogy ezek a zsaluzatok már univerzálisak, felhasználhatósági területük nagyon kiterjedt. Egyazon zsalutípussal lehet lakóházat vagy akár vízerőművet is zsaluzni. Ezek a zsaluzatok ötvözik a kistáblás és a nagytáblás zsaluzatot hisz a kézzel kezelhető táblákból pillanatok alatt a gyorskapcsok segítségével akár 30 - 40 m²-es daruval mozgatható nagytáblák szerelhetők. Így a vállalatok és vállalkozók számára lehetőség nyílik a piac szélesebb palettáján történő mozgásra, kiegyensúlyozottabb erőviszonyok között. Ehhez azonban meg kell a szakembereknek ismerniük az új műszaki megoldásokat, és a tág felhasználási lehetőségeket. Nagy segítséget nyújt mindezekhez a számítástechnika is, melynek használatával kitért a zsalutervezés világa. A mai világ műszaki szakemberének azonban már a technikai részeken jóval távolabb kell látnia, és nagy hangsúlyt kell fektetnie a zsaluzat gazdasági mutatóira is. Számszerűleg ki kell tudni mutatni, hogy mikor érdemes zsalut venni, vagy mikor érdemes csak bérelni, hogy egy adott építkezésen milyen arányban legyenek a különböző típusú zsaluzatok, hogy hány naponta és milyen mennyiséget célszerű forgatni.

Magyarországon a monolit vasbetonszerkezetek áttörő fejlődése a 70-es évek elejére tehető, amikor nagy állami építőipari vállalatok Németországból és az akkori Jugoszláviából elkezdtek a korszerű zsaluzati rendszerek importálását. Ezek a zsaluzati rendszerek megjelentek mind a mélyépítés, mind pedig a magasépítés területén. Jelentős mennyiségű falzsálasat érkezett például a 3-as metró állomás építéseihez. Jellemzően ezek a falzsálasatok még keret nélküli, ácsos faltartós rendszerek volta, hasonlóképp a földmzsálasatokhoz.

Nagy változást hozott a rendszerváltozás utáni évtized, amikor a korábbi import engedélyhez kötött zsaluzati rendszerek már szabadkereskedelmi termékként jelentek meg az építőipar piacán. Sorra alakultak a nagy nyugateurópai zsalugyártóknak leányvállalatai Magyarországon, és már lehetőség nyílt a zsaluzatok bérbeadására is.

2.1.2 Függőleges zsaluzati rendszerek

A fatartós nagytáblás falzsaluzatok. A korszerű monolit vasbeton szerkezetépítés egyik kulcsfontosságú technológiai megoldásai, amelyek alkalmazása jelentősen hozzájárul a kivitelezési idő és munkaerőráfordítás csökkentéséhez, valamint a betonfelület minőségének javításához. Ezen rendszerek alapját előregyártott, integrált falzsaluzó táblák képezik, amelyek teherhordó szerkezetüket tekintve jellemzően H20 vagy H16 típusú I-keresztmetszetű fatartókra épülnek. A fatartók főként több rétegben ragasztott, iparilag kalibrált és felületkezelt lucfenyőből készülnek, amelyek keresztmetszeti méretei – például $80 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ – garantálják a kellő hajlítószilárdságot és keresztirányú merevséget a frissbeton nyomásának felvételéhez.

A táblák frontoldali felületét általában 18–21 mm vastagságú, filmbevonatos, vízálló rétegelt lemez borítja, amely nemcsak a betonfelület minőségét határozza meg, hanem a zsaluzat újrahasználatosságának is egyik meghatározó tényezője. [68] A fatartók és zsaluhéjak egymáshoz rögzítését szegecselt vagy csavarozott kapcsolatokkal oldják meg, figyelembe véve a lokális nyíróerők és nyomatékok egyenletes eloszlását. A táblák mögötti másodlagos merevítést rendszerint acélkeretek, támasztógerendák, illetve különböző átkötő rendszerek biztosítják, amelyek többnyire szimmetrikusan helyezkednek el a betonfal két oldalán, így statikailag kiegyensúlyozott tehereloszlás valósul meg.

A vízszintes és függőleges illesztések mentén speciális tömítések vagy hézagkitöltők alkalmazása is szükséges lehet, különösen magas esztétikai vagy vízzárósági követelmények esetén. A falzsaluzat kialakítása során a legfontosabb méretezési paraméterek közé tartozik a várható frissbeton nyomás, amelyet a DIN 18218 szabvány alapján [69], a beton szilárdulási idejét, hőmérsékletét és konzisztenciáját figyelembe véve kell meghatározni. A teherbírási határértékek szabványos H20 fatartók esetén jellemzően $50\text{--}60 \text{ kN/m}^2$ tartományban mozognak, a betonozási sebesség és a zsalufelület magasságának függvényében. A zsalutáblák rendszerint daruzható méretű egységek, általános geometriai méretük 2,70–3,30 méter magas és 1,20–2,40 méter széles, de a gyártók egyedi táblaméreteket is biztosítanak nagy fesztávú falak, liftaknak vagy ipari létesítmények zsaluzásához.

A falzsaluzat támasztását helyszíni acél dúcoló rendszerrel vagy homlokzati támaszokkal oldják meg, amelyek gyakran állítható hosszúságú teleszkópos kivitelben készülnek, hogy biztosítsák a pontos függőleges beállítást és a betonozási pozíció stabil rögzítését. A rendszer működéséhez szükséges az átkötő elemek - zsaluhéjakon keresztül vezetett zsalucsavarok, kúpos távtartók, műanyag vagy acél perselyek - megfelelő elhelyezése, amelyek biztosítják a falvastagságot és a párhuzamos táblák egymáshoz viszonyított távolságát a betonozás során. A rendszeres karbantartás, például a zsaluhéjak olajozása, a táblák mechanikai sérüléseinek javítása, valamint a faanyag nedvességtartalmának ellenőrzése elengedhetetlen a hosszú élettartam és a megfelelő újrahasználatosági ciklusszám eléréséhez.

Egy átlagos fatartós nagytáblás falzsaluzat – helyes használat mellett – akár 60–80 ciklust is elvisel anélkül, hogy funkcionális vagy geometriai deformáció lépne fel. A rendszer jelentős előnye a moduláris felépítés, amely lehetővé teszi a szabványos és egyedi formák gyors összeállítását, legyen szó párhuzamos vagy akár ívelt falak zsaluzásáról, valamint a különböző nyílások, falszegmensek vagy kiegészítő szerkezetek, például pillérek, sarkok, csatlakozások integrálásáról. Műszaki szempontból fontos megjegyezni, hogy a rendszer független a zsaluzandó falszerkezet armatúrájától, így a vasszerelés után, illetve vele párhuzamosan is elhelyezhető. A zsalutáblák tervezése során számításba kell venni a vízszintes és függőleges táblakapcsolatok révén kialakuló nyíróerők átvitelét, a zsaluhéj és fatartók közötti kapcsolatok rugalmas deformációját, valamint a szerkezeti egység egészének globális merevségét. A hatékonyság növelése érdekében a rendszerek gyakran kombinálhatók előregyártott betonelemekkel vagy csúszó zsalus technológiákkal.

Keretes falzsaluzati rendszerek. A korszerű falzsaluzati rendszerek fejlődése szoros kapcsolatban áll a monolit vasbeton szerkezetépítés gyorsaságát, hatékonyságát és geometriai pontosságát célzó építéstechnológiai törekvésekkel. Az acél- és alumíniumkeretes falzsaluzatok alkalmazása különösen indokolt ott, ahol nagy igénybevétel, intenzív használat, magas szintű formai követelmények vagy korlátozott szerelési idő áll fenn. A rendszerek legfőbb sajátossága a nagyszilárdságú, hegesztett vagy szegecselt peremkeret, amelynek szerepe a zsalutábla geometriájának megtartása, a frissbeton oldalterheinek felvétele, illetve a panelek közötti kapcsolat stabilizálása. A keretek anyaga lehet hengerelt, hidegen hajlított vagy extrudált acél, illetve alumínium profil, amelyek szelvénymérete és keresztmetszeti jellemzői – például tehetetlenségi nyomaték, hajlítósilárdság, keresztirányú merevség – a rendszer alkalmazhatóságát és teherbírását alapvetően meghatározzák.

Az acélkeretes rendszerek előnye a nagyobb statikai kapacitás, amely lehetővé teszi akár 80–100 kN/m² frissbeton nyomás felvételét is [70], így nagyobb betonozási sebesség és szerkezeti magasság esetén is megbízhatóan működtethetők. Ezzel szemben az alumíniumkeretes rendszerek elsősorban könnyű szerelhetőségük és kisebb önsúlyuk révén előnyösek, különösen olyan építkezéseken, ahol a daruzási kapacitás korlátozott vagy kézi mozgatás szükséges.

A panelek központi eleme továbbra is a zsaluháj, amely a betonfelülettel érintkező síkot képezi. Ez lehet beépített vízálló rétegelt lemez, kompozit műanyag, mint például a polipropilén, GFRP vagy cserélhető acéllemez, attól függően, hogy milyen gyakorisággal és milyen minőségű betonfelületet kívánnak előállítani. A panelek zsaluháját a keretszerkezet pereméhez szegecselve vagy csavarozva rögzítik, biztosítva a hézagmentes, sík felületképzést. A rendszer moduláris kialakítású: a panelméretek széles tartományban állnak rendelkezésre, általában 0,30–2,40 m szélesség és 1,20–3,30 m magasság között, és szigorú illesztési tűrésekkel készülnek, hogy a függőleges és vízszintes kapcsolatok hézagmentesek és mechanikusan stabilak legyenek. A táblák egymáshoz történő csatlakoztatása történhet beakasztható bilincsekkel, gyorszorítókkal vagy csavaros szorítókegyekkel. A rendszerben a sarkok, töréspontok, nyílások és csatlakozások megoldására külön elemváltozatok állnak rendelkezésre (belső és külső sarkok, záróelemek, oszlopzsaluk), így komplex szerkezeti geometriák is megvalósíthatók.

A merevséget és helyszíni stabilitást különböző típusú átkötő- és rögzítőelemek biztosítják. Ezek között megtalálhatók a műanyag vagy acél hüvellyel szerelt átkötő rudak, kúpos távtartók, vízzáró perselyek, valamint a falvastagság pontos beállítását és megtartását lehetővé tevő beállító- és tartókonzolok. A rendszerhez kapcsolódó segédelemek közé tartoznak a daruzáshoz szükséges emelési pontok, kihajtható munkajárdák, lépcsőmodulok, támaszbakok és biztonságtechnikai kiegészítők, amelyek az építkezés üzembiztonságát garantálják. A szerkezeti kialakítás során kulcsfontosságú szempont a betonozási nyomás figyelembevétele, amelyet az adott betonkeverék konzisztenciája, hőmérséklete, a zsalufelület magassága és a betonozás üteme határoz meg.

A DIN 18218 szerinti nyomásmodellek alapján a panelek kiosztása, rögzítése, alátámasztása, valamint a zsaluháj vastagsága és támaszkiosztása meghatározható és optimalizálható.

Az alumíniumkeretes rendszerek [71] jellemzően 20–30 kg/m² önsúllyal rendelkeznek, ami lehetővé teszi kézi szerelésüket is, míg az acélkeretes rendszerek súlya 35–60 kg/m² között változhat, ez esetben a daruzás, illetve előre összeállított táblaegységek mozgatása jellemző. Mindkét típusnál alapkövetelmény a korrózió elleni védelem, amely galvanizált, porfestett vagy eloxált felületkezeléssel biztosítható. A használat során elkerülhetetlen a kopás és felületi sérülés, így a zsaluhéj cserélhetősége és a keretelemek könnyű karbantarthatósága alapvető rendszerkövetelmény. A rendszerek újrahasználatosági ciklusszáma a gyártói adatok szerint acélkeretes rendszereknél 150–200 között, alumíniumkeretes rendszereknél 100–150 között alakul, feltéve, hogy a táblák sérülésmentes szállítása, szakszerű bontása és megfelelő tárolása biztosított. A rendszer illeszthető egyéb zsaluzási technológiákhoz, mint például az önjáró kúszózsaluk, egymásra építhető emeletenkénti modulok. Műszaki optimalizálásuk, az elemek szigorú tűrései és a szerszámmentes csatlakozási technológiák a digitalizált építési logisztika és BIM-alapú folyamatirányítás korszakában is kiemelt jelentőséget adnak e zsaluzattípusnak, különösen olyan létesítményeknél, ahol ismétlődő szerkezeti egységek, gyors ciklusidő és alacsony hibalehetőség elérése a cél.

Egyoldali falzsaluzatok alkalmazása. Az egyoldali falzsaluzatok alkalmazása olyan speciális építési helyzetekben válik szükségessé, amikor a vasbeton falszerkezet egyik oldalán nincs lehetőség ellenoldali zsaluzat vagy átkötő elem elhelyezésére. Ezen esetek elsősorban alépitmények, támfalak, pincefalak, medencék, víztározók, alagutak, illetve olyan határoló szerkezetek kivitelezésekor fordulnak elő, ahol a külső tér, szomszédos építmény vagy talajviszonyok nem teszik lehetővé a hagyományos kétoldali falzsaluzat kialakítását. 13. kép.



13. kép: Egyoldali falzsaluzat [72]

Az egyoldali zsaluzás technológiai sajátossága, hogy a frissbeton teljes oldalnyomása kizárólag a zsaluzat támaszrendszerére és annak alaptesthez való lehorgonyzására hat, így a rendszert minden elemében statikailag zárt, önmagában stabil szerkezetként kell kezelni. Az ilyen típusú zsaluzatok kialakításának kiindulópontja a beton nyomáseloszlásának pontos meghatározása, amely a betonkeverék konzisztenciájától, hőmérsékletétől, zsalumagasságtól és betonozási sebességtől függően változik. Az egyoldali falzsaluzat rendszere jellemzően egy függőleges zsalutáblából áll, amelyet masszív acélkeretes vagy fatartós kivitelben alakítanak ki, a belső betonfelülethez illesztve. A rendszer kulcseleme a térbeli megtámasztás, amelyet háromszögű acél dúcrendszer vagy előregyártott konzolos támaszkeret biztosít. A támaszok általában 45–60 fokos dőlésszögben csatlakoznak a zsaluhéj hátoldalához, és alsó végükön lehorgonyzott acéllemezen keresztül kapcsolódnak az alaptesthez vagy az előző szint kész vasbeton lemezéhez. A lehorgonyzás döntő fontosságú a rendszer stabilitása szempontjából, mivel a betonozás során jelentkező normál erők és nyomatékok kizárólag e kapcsolatokon keresztül vezethetők le. A lehorgonyzáshoz nagy átmérőjű menetbordás betonacél tőcsavarokat vagy vegyi dübellel beágyazott menetes szárazakat alkalmaznak, a rögzítőelemek húzó- és nyíróerejét a teljes betonnyomás és zsalufelület szorzataként kell méretezni. A konzolos tartószerkezet felépítése során figyelembe kell venni a helyszíni szélterhelést, dinamikus hatásokat, valamint az esetleges vibrálásból származó többletterhelést is, amely különösen öntömörödő beton alkalmazása esetén jelentkezhet.

A zsalutáblák anyaga és mérete hasonló a kétoldali rendszerekhez: általában 18–21 mm vastag filmbevonatos rétegelt lemez vagy kompozit héj alkalmazásával, 2,70–3,30 méter magas, 1,20–2,40 méter széles táblákkal. A megtámasztó szerkezet típusa szerint beszélhetünk fix háromszögű rácsos támaszokról állítható teleszkópos acél bakokról, vagy külön szerelhető térbeli acélkonzolokról. A zsaluzat magasságától függően szükség lehet több szintű vízszintes merevítés beépítésére, illetve keresztirányú kihajlás elleni biztosításra is. A támaszrendszerek gyakran modulárisan összeépíthetők, így 3,00–6,00 m magasságig szabadon bővíthetők, de nagyobb falak esetén külső támaszkoszorúk vagy ideiglenes állványzat alkalmazása is indokolt lehet. A rendszer telepítése során kiemelt figyelmet kell fordítani az alsó lehorgonyzási pontok pontos kiosztására és teherbírására, amelyhez jellemzően statikai számítás készül. A csavarok lehorgonyzási mélysége, betonminőség, valamint a lehorgonyzási hossz mind meghatározza a maximálisan engedhető zsalumagasságot és betonozási ütemet. A kivitelezés során előnyös, ha a zsalurendszerhez járulékos biztonságtechnikai felszerelések – például munkahidak, leesésgátló korlátok, kapaszkodók – integrálhatók, mivel ezek jelenléte különösen fontos a belső falsík irányából történő betonozáskor.

Az egyoldali falzsaluzat alkalmazásához speciális betonozási technológia is társul: mivel az oldalnyomás minden esetben egyoldalúan hat, így a betonozási sebességet csökkenteni szükséges, jellemzően 1,0–1,5 m/h értékre. Ennek célja a beton saját tömegéből származó nyomás fokozatos növelése, elkerülve az elmozdulásokat és a zsalufelület kihajlását. A beton bejuttatása jellemzően betonszivattyúval, magasított csővezetéken vagy kónuszos tölcseren keresztül történik, egyenletes elosztásban, rétegenkénti vibrálással.

A kizsaluzás tekintetében az egyoldali rendszerek mechanikailag hasonló módon bonthatók, mint a kétoldali zsaluzatok, de a támaszrendszerek kiegészítő kezelése és daruzása indokolt, különösen nagyobb súly és nehéz hozzáférés esetén. A korszerű egyoldali zsaluzati rendszerek újrahasználatossága gyártótól és típustól függően 50–100 ciklus között változik, amennyiben a lehorgonyzási pontokat nem sértik meg, illetve a csuklók és támaszpontok épségét karbantartják. A technológia előnye, hogy lehetővé teszi monolit vasbeton falszerkezetek kivitelezését olyan helyszíneken is, ahol a kétoldali zsaluzás fizikailag lehetetlen vagy költséges lenne. E megoldás különösen hatékony szűk munkatereknél, szomszédos épületek mellett, vasúti és közúti alépítményeknél, ahol idő- és térkorlátok jellemzik a kivitelezést. Az egyoldali falzsaluzat alkalmazástechnológiája ugyanakkor fokozott műszaki előkészítést, pontos statikai méretezést és körültekintő kivitelezést igényel, mivel a zsalurendszer instabilitása vagy lehorgonyzási hiba súlyos deformációt vagy balesetet eredményezhet.

Pillérzsaluzatok. A korszerű pillérzsaluzatok rendszereit a monolit vasbeton oszlopszerkezetek gazdaságos, gyors és pontos kivitelezésére fejlesztették ki, figyelembe véve a kivitelezési ciklusok ismétlődését, a geometriai pontosság iránti elvárásokat, valamint a betonszerkezetek esztétikai és statikai követelményeit. A modern pillérzsaluzatok előregyártott, rendszerbe szervezett, többször felhasználható zsalutáblákból, kapcsoló- és merevítőelemekből, illetve emelési és biztonsági kiegészítőkből épülnek fel. A rendszer középpontjában zárt, térbeli zsaluzási egységek állnak, amelyek egy vagy több elem összeillesztésével alakítják ki a betonozandó pillér keresztmetszetét, jellemzően négyoldalú integrált megoldásként.

A zsalutáblák alapvetően acél- vagy alumíniumkeretes szerkezetek, amelyek közé zsaluhéjként rétegelt lemez, kompozit műanyag, vagy különösen nagy ciklusszám esetén hegesztett vagy csavarozott acéllemez kerül. Az acélkeretes típusok magasabb frissbeton nyomásnak (akár 80–100 kN/m²) is ellenállnak, míg az alumínium változatok kedvező önsúlyuk miatt elsősorban kézi szerelésre, daruzás nélküli felhasználásra alkalmasak.

A panelek sarkainál kialakított peremmerevítések, hegesztett profilok vagy csavarozható sarokelemek gondoskodnak a szöghelyesség és a keresztmetszeti geometria megtartásáról, míg a zsaluhéj belső felülete folyamatos síkot biztosít a beton megtámasztásához és esztétikus felületképzéséhez. A keresztmetszet mérete általában 200×200 mm-től 1200×1200 mm-ig terjed, de sok rendszer állítható szélességű vagy betétekkel bővíthető kivitelben készül, így a nem szabványos pillérméretetek is könnyen kialakíthatók. (14. kép)



14. kép Pillér zsalu rendszerelemekből [73]

A korszerű rendszerek előre beépített záró- és nyitószervezettel rendelkeznek, így a zsaluzat gyorsan szerelhető, pozícionálható és daruzható, akár egy egységként is. A gyorszorítók, bilincsek és csapok segítségével a zsalutáblák szerszámmentesen összefoghatók, a panelillesztések hézagmentesen záródnak, és a rendszer az előírt geometriai tűrésen belül tartja a keresztmetszetet. A zsaluzat alsó síkja az alaptestbe illeszthető beállító tüskék, betonba helyezett vezetőprofilok vagy talpszerkezetek révén rögzíthető, míg a függőleges síkállítást csuklós alátámasztások, állítható támaszrudak, vagy a keretbe integrált excenteres szintezőcsavarok biztosítják.

A betonozás során a legnagyobb igénybevétel a sarkokban jelentkezik, ezért a zsaluzat tervezésekor kiemelt figyelmet kell fordítani a sarkok húzó- és nyíróerőinek rögzítésére. A belső tér teljesen akadálymentes, nincs átkötés vagy keresztirányú megtámasztás, így a beton szabadon folyhat a teljes keresztmetszetben. A pillérzsaluzatokat jellemzően fentről töltik meg, kézi vezetősű betoncsúszdával vagy pumpás adagolással, és tömörítő tűvibrátorral tömörítik. Karcsú keresztmetszet vagy magas oszlopmagasság esetén a betonozási sebességet és rétegenkénti eloszlást szabályozni kell, hogy elkerülhető legyen a zsaluhéj kidudorodása vagy a geometriai torzulás. Az optimális betonozási sebesség rendszerint 1,0–1,5 m/h, de ez a beton konzisztenciájától és a zsalurendszer merevségétől is függ.

A zsaluzat magassága rendszerint 2,70–3,60 m között változik, de toldóelemekkel emeletenként bővíthető, így 4,50–5,40 m magas pillérek is egy öntéssel betonozhatók. A rendszer emelésére és szállítására daruval integrált emelőfülek, függesztőkeretek, vagy csatlakoztatható emelési pontok szolgálnak. A biztonságos munkavégzést járófelületek, leesésgátló korlátok, felső karimák és kapaszkodók segítik, különösen magas oszlopok zsaluzásánál. A korszerű pillérzsaluzatok kompatibilisek más zsaluzati rendszerekkel – például falzsaluzatokkal vagy födémzsalu modulokkal –, így komplex szerkezeti csomópontok is könnyen kialakíthatók.

A bontás során a zsaluzat oldható kötése gyorsan oldhatók, a zsalutest visszahajtható vagy félrecsúsztható, így a frissen elkészült oszlopról sérülésmentesen távolítható el. A zsaluhéj tisztítása, felületkezelése (például zsaluleválasztó olaj), valamint a keretelemek mechanikai épsége meghatározza a következő ciklusban biztosítható geometriai pontosságot és felületi minőséget. A rendszer élettartama gyártótól és felhasználási gyakoriságtól függően 80–150 ciklus, feltéve, hogy a keret deformációmentes, a zsaluhéj nem vetemedett, és a zárómechanizmus nem sérült. A digitális építési technológiákhoz igazodva a korszerű rendszerek BIM-kompatibilis modellekkel is rendelkeznek, így a pillérzsaluzatok pozíciója, daruzási útvonala, ütemezése és bontási sorrendje is előre szimulálható és logisztikailag optimalizálható. A korszerű pillérzsaluzatok tehát lehetőséget nyújtanak a monolit pillérek nagy pontosságú, gazdaságos és biztonságos kivitelezésére, akár változatos keresztmetszetekkel, emeletenként ismétlődő ciklusidővel, magas szintű újrahasználatossággal. [74] Statikai és kivitelezéstechnikai szempontból is megbízható rendszerek, amelyek pontos illeszkedést, nagy betonfelületi minőséget és integrálhatóságot kínálnak az építési folyamat egészébe. Alkalmazásuk különösen előnyös nagy alapterületű, sokpillérű alaprajzú szerkezeteknél, illetve azon épületeknél, ahol az oszlopok elsődleges teherhordó szerepet töltenek be.

2.1.3 Vízszintes zsaluzati rendszerek

A fatartós födémzsaluzatok. A fatartós födémzsaluzatok a monolit vasbeton födém szerkezetek kivitelezésének egyik legelterjedtebb és leghatékonyabb technológiai megoldását jelentik, különösen változatos geometriájú és szabadon méretezett födémek esetén. E rendszerek rugalmasságuk, moduláris szerkezetük, gazdaságos újrahasználatosságuk és nagyfokú alkalmazkodóképességük miatt széles körben elterjedtek a lakó-, középület- és ipari építkezések során egyaránt.

A rendszer működési elve azon alapul, hogy az alulról megtámasztott tartóbordákra (általában H20 típusú I keresztmetszetű fatartókra) elhelyezett zsaluhéj – tipikusan vízálló rétegelt lemez vagy kompozit panel – képezi a födém alsó síkját, amely megtartja a friss beton önsúlyát, a beépített armatúra terhét, valamint az esetleges kivitelezési terheket. A fatartók a födémzsaluzat fő teherviselő elemei, amelyek a vízszintes terheket koncentráltan vezetnek le a támasztórendszer felé. A rendszer a statikai elvet tekintve egy kettős rácsszerkezetként működik, ahol az elsődleges fatartókra merőlegesen fektetett másodlagos gerendák vagy közvetlenül a zsaluhéj fekszik, míg a teljes szerkezet függőleges megtámasztását állítható magasságú acél födém támaszok vagy rendszertámaszok biztosítják. (15. kép)

A födém támaszok rendszerint 20–30 kN teherbírású teleszkópos csőelemek, amelyek alsó végén talplemezzel, felső végén villa-, csésze- vagy háromágú fejjel csatlakoznak a tartógerendákhoz.



15. kép: Fatartós födémzsalu rendszer [75]

A H20 fatartók jellemzően 20 cm magas, 8 cm széles, ragasztott fenyőelemekből álló I szelvények, amelyek hossza 1,80 m-től akár 5,90 m-ig terjedhet. A szelvényméretek és az anyagminőség révén ezek a tartók képesek nagyobb fesztáv áthidalására is, 1,50–2,00 m körüli alátámasztási raszter esetén. (15. kép) A szerkezet alsó síkját képező zsaluhéj leggyakrabban 21 mm vastag, filmbevonatos rétegelt lemez (például nyír vagy fenyő alapanyagból), amely víz- és kopásálló felületével akár 50–70 ciklusig is alkalmazható, megfelelő karbantartás mellett. A zsaluhéjat a tartógerendákhoz szegezéssel, csavarozással vagy szorító bilincsekkel rögzítik, ügyelve a síkfelület folytonosságára és az egyes panelek közötti hézagok zárására.

A teljes födémzsaluzati rendszer támaszkiosztása és szerkezeti kiosztása minden esetben a födémlemez vastagságához, betonöntési technológiájához, a beton friss állapotban ébredő nyomásához és a várható kivitelezési terhelésekhez igazodik. A méretezés során számításba kell venni a födém támaszok stabilitását, kihajlását, a fatartók lehajlását (megengedett: $1/500$ – $1/300$), valamint a zsaluhéj lokális benyomódási határértékeit. A zsaluzat építése alulról felfelé történik, elsőként a támaszok pozicionálásával, majd a fatartók fektetésével, végül a zsaluhéj rögzítésével. A támaszok kiosztása jellemzően 80–120 cm, a fatartók tengelytávolsága 40–70 cm, a zsaluhéj alátámasztási rasztere pedig a szabványos panelmérethez igazodik. A rendszer lehetőséget biztosít konzolos kinyúlások, födémáttörések, gerendás födém elemek vagy változó vastagságú lemezek zsaluzására is, amelyeket speciális élszegélyelemek, toldók, állítható tartók vagy kiegészítő alátámasztások révén alakítanak ki.

A födémzsaluzat állékonyságát vízszintes irányban acél keresztartók, vázrendszerek vagy hézagmentes csatlakozók biztosítják. A kivitelezés során a munkabiztonság érdekében leesésgátló peremek, konzolos munkahidak, kapaszkodók és födém támasz-lezuhanás elleni biztosítóelemek is alkalmazandók. A betonozás során keletkező terhelés időben nem egyenletes: a frissbeton saját tömege a zsalu megöntését követően fokozatosan nehezedik a szerkezetre, és a legtöbb igénybevétel a betonozás végeztével, a maximális nedves önsúly elérésekor jelentkezik. A beton megszilárdulása után a födémzsaluzat fokozatosan tehermentesíthető: először a zsaluhéj bontható a megfelelő szilárdság elérésekor, majd késleltetve a főartók és végül a támaszok, szükség szerint visszahagyott alátámasztással.

A rendszer újrahasználatossága a tartóelemek állapotától, a faanyag mechanikai sérüléseitől, valamint a zsaluhéj felületi minőségétől függően 40–80 ciklus lehet. A rendszer egyik legnagyobb előnye az adaptivitás, vagyis, hogy a födém geometriája és teherbírási igényei szerint rugalmasan méretezhető, bővíthető vagy módosítható, szemben a merev, fix méretű panelekből álló födémzsaluzatokkal. A rendszer másik előnye a kedvező súly: a faalapú tartók és a vékony rétegelt lemez alacsony önsúlyt eredményez, ami megkönnyíti a kézi szerelést, így kisebb daruzási kapacitású építkezéseken is gazdaságosan alkalmazható. A modern építési logisztikában a fatartós födémzsaluzatok digitálisan modellezhetők, szerelési tervként BIM-modellbe integrálhatók, és előzetes ütemezési szimulációval hatékonyan beilleszthetők az építési munkafolyamatba. A zsaluzás sebessége, az ismétlődő moduláris szerkezetek, valamint a különböző födém típusok – síklemezes, gerendás, bordás vagy vasalt zsalus – kiszolgálásának képessége mind hozzájárulnak ahhoz, hogy a fatartós födémzsaluzatok a korszerű monolit vasbeton szerkezetépítés megkerülhetetlen eszközeivé váljanak.

Paneles, vagy másnéven keretes födémzsaluzati rendszerek. A korszerű építőipari technológiák fejlődése során a monolit vasbeton födémek kivitelezéséhez alkalmazott zsaluzatok tekintetében jelentős változások figyelhetők meg, különös tekintettel a paneles vagy keretes födémzsaluzati rendszerekre, amelyek napjainkban az egyik legelterjedtebb megoldásnak számítanak a magasépítésben. Ezen rendszerek alumíniumszerkezetének, moduláris kialakításának és gazdaságos működtetésének köszönhetően új szintre emelte a födémszerkezetek zsaluzásának hatékonyságát és biztonságát. A keretes födém és fal zsaluzatok közt az alapvető különbség, hogy a födém táblák mindig alumínium kerettel készülnek, míg a falszerkezeteknél ez igen ritka, hisz az alumíniumnak nagyobb a rugalmassági modulusa, így nagyobb alakváltozások történhetnek nagy betonnyomás esetén. A táblák természetesen sokkal kisebbek a falzsalunál megszokott nagy méreteknél, hisz ezeket kézzel kell felemelni. Az eddigi legnagyobb födémpanel, mit forgalomba hoztak az a 180 x 180 cm-es méret, melynek súlya közel 40 kg.

A födémpaneleket vagy közvetlen a támaszokon lévő, speciális fejekre akasztják rá, vagy a panelek közt elhelyezkedő rendszer elemekből készült gerendákra helyezik fel. A támaszok korszerű, ma már általában külső, trapézmenetes tűzi horganyzott dúcok, melyeket az egyszerű és gyors kizsaluzás érdekében különböző ejtőcsapokkal látnak el a fejlesztők. A rendszerek nyilván annál praktikusabbak, minél kevesebb alkatrészből lehet azokat összeszerelni, ami természetesen a ki és bezsaluzás idejét meghatározóan tudja befolyásolni.

A hagyományos fatartós födémzsaluzatokhoz képest ezek a modern rendszerek nemcsak a kivitelezési idő jelentős csökkentésére, hanem a munkaerőigény és az állványzati segéd szerkezetek minimalizálására is képesek, miközben megfelelnek a legszigorúbb munkavédelmi és teherbírási előírásoknak. A keretes rendszerek legfőbb jellemzője az előregyártott, nagy méretpontosságú és könnyű alumíniumpanelek alkalmazása, amelyek gyorsan és kevés elemmel szerelhetők össze, és gyakran szerkezetkész betonozás után néhány nappal visszabonthatók, így a zsaluzatok újra használati ciklusa rendkívül rövid. (16. kép)

A rendszer központi eleme a panelek és a fő- illetve keresztirányú tartók által alkotott, rászteres szerkezet, amely lehetővé teszi a különböző födémvastagságokhoz és geometriákhoz való gyors és rugalmas alkalmazkodást.



16. kép: Keretes födémzsalu rendszer [76]

A zsalutartó állványok, ún. támaszok sűrűségét minimalizálni lehet a rendszer teherelosztási tulajdonságainak köszönhetően, így nagyobb munkaterületek szabadon hagyhatók, ami megkönnyíti a logisztikai folyamatokat és a zsaluzat alatti munkavégzést is. A rendszer jellegzetesen kétféle zsaluzási technológiát tesz lehetővé: a "drophead" módszert, amelynél a főtartók és támaszok helyben maradhatnak, míg a panelek már visszabonthatók, illetve a teljes felületi bontásos megoldást. Ez előbbi rendszert nevezik korai kizsaluzásnak. (16. kép)

Az alumínium használata jelentősen csökkenti az elemek tömegét, így a rendszer gépesítés nélkül, kézi erővel szerelhető, ezáltal kisebb építési helyszíneken, belvárosi környezetben vagy akár állványokon is biztonságosan és gyorsan alkalmazható. Az elemek standardizált mérete lehetővé teszi a gyors logisztikai előkészítést és az anyagkészletek pontos meghatározását, valamint az anyagvesztés minimalizálását. A rendszer minden elemét – támaszokat, tartókat, paneleket – pontos statikai számítások alapján méretezik, így biztosított a teherbírás a különböző betonozási fázisokban, beleértve a friss beton súlyát, a bedolgozás dinamikus terheléseit és az esetleges járulékos terheket. A panelek zártszelvény keretei és az azokba illesztett fenéklemezek (általában rétegelt lemez vagy kompozit borítás) biztosítják a szükséges felületi minőséget és tömörséget, miközben a zsaluzati hézagokat minimálisra csökkentik, ezáltal a födém alsó felületének utólagos simítása gyakran teljes mértékben elhagyható. A Skydeck-hez hasonló rendszerek a szélelemek, szegélycsatlakozások, nyíláskiváltások és lépcsős födémek esetén is biztosítanak kiegészítő megoldásokat, mint például teleszkópos peremelemek, állítható fejek vagy sarokpanelek, amelyek mind az épületgeometria változatosságához való alkalmazkodást szolgálják.

A zsaluzási ciklusok optimalizálása érdekében sok rendszer bevezetett már integrált leesés elleni védelmi elemeket, valamint színkódolással és mechanikus biztosítással rendelkező gyorscsatlakozó elemeket, amelyek minimalizálják a hibalehetőséget a szerelés és a bontás során. Ezek a korszerű rendszerek nem csupán technológiai előnyt jelentenek, hanem gazdasági és környezeti szempontból is előnyösek: az újra felhasználási ciklusok magas száma, az alacsony anyagveszteség és a hosszú élettartam révén csökken az ökológiai lábnyom, míg a gyorsabb kivitelezési idő és a kisebb munkaerőigény csökkenti a projektköltségeket. A rendszerek kiválasztása során természetesen figyelembe kell venni a földem szerkezeti kialakítását, tervezett vastagságát, a terhek nagyságát és eloszlását, valamint az építési helyszín sajátosságait.

2.1.4 Speciális zsaluzati rendszerek

2.1.4.1 Kúszó zsaluzatok

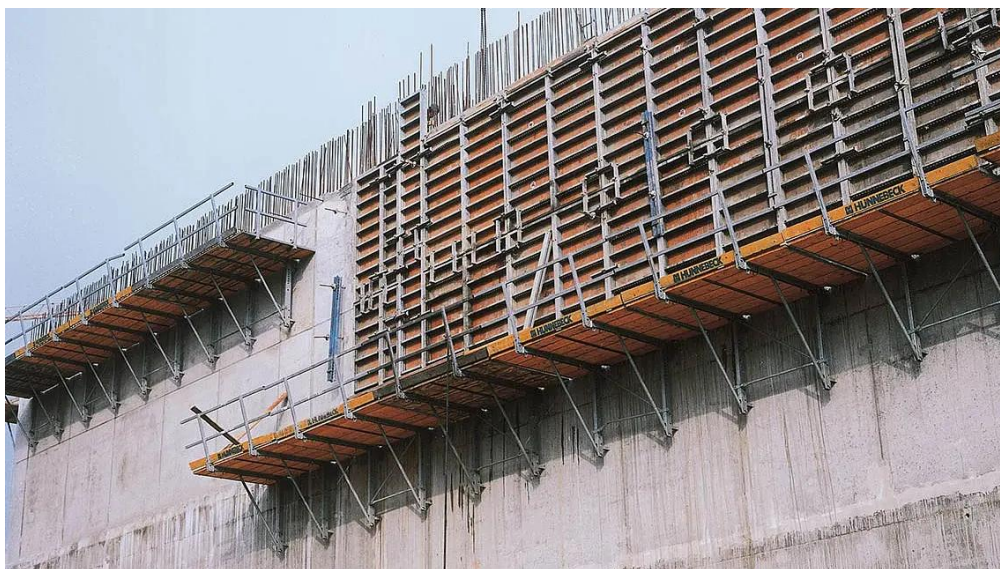
Az építőiparban a zsaluzatok és állványrendszerek kulcsszerepet játszanak a betonépítési folyamatokban, különösen a magasépítésben. Az egyik speciális állványtípus a függesztett állványrendszer, amelyet homlokzati falzsaluzatok támasztására használnak. Ezek az állványok lehetővé teszik a falzsaluzatok megfelelő alátámasztását anélkül, hogy nagy magasságú tartószerkezeteket kelljen építeni a terepszinten, így ideálisak nagy magasságú szerkezetek, például toronyházak, híd pilonok, víztározók építéséhez. A függesztett állványrendszerek olyan szerkezetek, amelyek nem a talajon állnak, hanem a már elkészült épületrészhez vagy egy másik tartószerkezethez rögzítik őket. Ezek az állványok lehetővé teszik:

- A homlokzati falzsaluzat stabil alátámasztását akár nagy magasságban is.
- A munka gyorsítását azáltal, hogy nincs szükség hagyományos állványok felépítésére és bontására.
- A földszinti munkaterület szabadon hagyását, ami különösen fontos zsúfolt építési területeken az organizáció szempontjából.

A függesztett állványokat általában az épület korábban elkészült szintjeire vagy a teherhordó szerkezethez rögzítik. (17. kép) A leggyakoribb megoldások:

- Beépített horgonyok és konzolok – Az előre kialakított rögzítési pontok biztosítják az állvány megtartását.
- Acélsodronyos függesztés – Acélkábelekkel függesztik fel az állványt egy felső tartószerkezethez.

- Konzolos tartószerkezetek – Az állvány egy konzolkarokon nyugszik, amelyeket az épület falába vagy födémébe ágyazott elemekhez csatlakoztatnak.

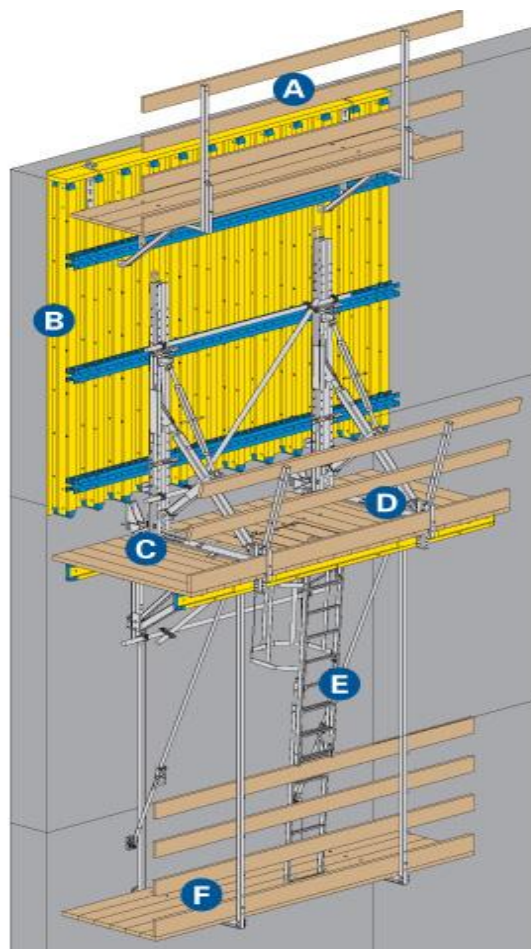


17. kép: Homlokzati falzsaluzat függesztett állványon [77]

A függesztett állványok váza általában acélból készül, amely biztosítja a terhelhetőséget és a hosszú élettartamot. A vázszerkezet főbb részei:

- Független és vízszintes gerendák, amelyek a zsaluzat rögzítését és az állvány stabilitását biztosítják.
- Platformok a munkavégzéshez és a zsaluzati elemek mozgathatóságához. (17. kép)
- Állítható rögzítési pontok, amelyek lehetővé teszik a pontos illeszkedést a különböző építési igényekhez.

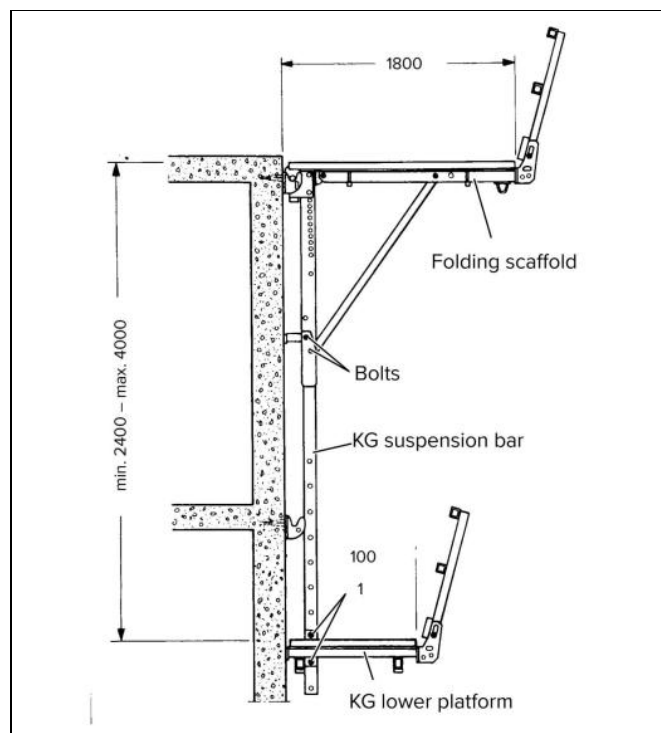
A függesztett állványok korszerű változatai összecusukható rendszerűek, teljesen felszerelt állapotúak, az építkezésen azonnal használatra készek. A 1,80 m széles zsaluzati egységek munkavégzési és védelmi zsaluzatként alkalmazhatók. A rendszer 3,0 m és 4,5 m hosszúságú szakaszokat tartalmaz, valamint a sarokelemekhez használható sarok-összecusukható állványokat. Ezen felül széles körű kiegészítők is rendelkezésre állnak, például az alsó platformok, kitámasztók és korláthosszabbítók. Az összecusukható állvány összehajtható szakaszokból, azok beépített merevítéseiből és felfüggesztéseiből, valamint az oldalsó védőelemekkel ellátott járófelületből áll. A járófelület 5 cm vastag, élekkel védett pallókból készül. A korláttartó oszlopok és rudak zártszelvényekből készülnek, melyeket egy lábdeszka egészít ki. Minden acél alkatrész horganyzott, a fa pedig a szabványnak megfelelően speciálisan kezelt. Ez hosszú élettartamot és magas szintű biztonságot garantál.



12. ábra: Kúszó zsaluzati rendszer működési elve [78]

A teljesen összeszerelt állványegységek, amelyek két összecsukható konzolból, azok merevítéseiből, az impregnált és élvédelemmel ellátott palló járófelületből, valamint négyzetes csőprofilból készült korlátokból állnak, amelyekhez fa lábdeszka tartozik. (12. ábra) A korlát két ponton rögzíthető, és szállítás céljából összecsukható. Az összecsukható állvány leengedhető darufülekkel van felszerelve. Az alsó munkaszint segítségével az összecsukható állvány egy kiegészítő munkaszinttel egészül ki.

A homlokzaton végzett utómunkák erről a platformról is elvégezhetők. A járófelület és a korlátok kialakítása megegyezik az összecsukható állvány elemeivel. A konzolok tengelyében elhelyezett tartóbakok lehetővé teszik a felfüggesztőrúdhoz való csatlakozást 4 darab 105-ös csappal + rugós biztosítócsappal. Az M24/DW15 típusú rögzítőkúp elől M24-es menettel van ellátva a konzoltartó rögzítéséhez. A „veszendő” rögzítőelemek a másik oldalon, a DW15-ös menetben kerülnek rögzítésre. (13. ábra)



13. ábra: Függesztett állványrendszer rögzítése [79]

A kúpot a betonból speciális hatlapkulccsal lehet eltávolítani. Az alsó platformok alkalmazása egy kiegészítő, alacsonyabban elhelyezkedő munkaszintet hoz létre. (13. ábra) Az alsó platform és a felső állványszint közötti távolság állítható 20 cm-es lépésekben, és maximálisan 400 cm lehet. Az alsó platformról – különösen zsaluzat használata esetén – különböző munkák végezhetők, például:

- függesztőelemek bontása,
- szükséges szélvédelem felszerelése,
- homlokzati utómunkák elvégzése.

A függesztett állványrendszereket többféleképpen lehet mozgatni az építés előrehaladtával:

- Darus mozgatás – Az állványt a zsaluzati munkák befejezése után daruval emelik feljebb.
- Hidraulikus emelőmechanizmus – Egyes rendszerek hidraulikus hengerekkel emelhetők a következő szintre. Ezt nevezik önmászó technológiának.

A daruval történő mozgatás során általában toronydarukat vagy mobil darukat alkalmaznak, amelyek emelési kapacitása, gémhossza és pozicionálási pontossága biztosítja az állvány biztonságos áthelyezését.

A daruval történő művelet különösen előnyös magas, többszintes épületeknél, ahol a hagyományos talajra telepített állványrendszerek kialakítása korlátozott vagy nem gazdaságos. A daruval történő mozgatás lehetővé teszi a munkafelület gyors újra pozicionálását, csökkenti a szerelési időt, és növeli az építkezés hatékonyságát.

A daruval történő mozgatás technológiai menete a következőképp történik. Elsőként meg kell határozni az állvány önsúlyát, a rajta elhelyezett teher tömegét, valamint az emelés során fellépő dinamikus terheléseket, indítási gyorsulás, lengés, szélteher stb. Ezek figyelembevételével statikailag méretezni kell az emelőköteleket, függesztési pontokat, rögzítéseket. A függesztési pontoknak szimmetrikusan elrendezettnek kell lenniük, és biztosítaniuk kell a stabil tömegközéppont körüli emelést, ellenkező esetben az állvány megbillenhet, oldalirányban megdőlhét, vagy aszimmetrikusan lenghet, ami rendkívül balesetveszélyes helyzetet eredményezhet. A daru kezelőjének és az emelést irányító személyzetnek folyamatos vizuális és rádiós kapcsolatban kell lennie, a manőverezést pedig kizárólag megfelelő képesítéssel rendelkező szakemberek végezhetik. Az emelés során tilos a függesztett állványon személy tartózkodása, kivéve, ha az állványt a használatra jóváhagyott személyemelő berendezésként tervezték és engedélyezték, ebben az esetben pedig külön védelmi intézkedések szükségesek, például biztosítókötelek, karabinerek, zuhanásgátlók használata. A mozgatás során fellépő szélteher különösen kritikus tényező, mivel a magasban lévő függesztett állványok könnyen lengésbe jöhetnek, ha a szélsébség meghalad egy biztonságos küszöbértéket. Általánosan elfogadott, hogy 7 m/s - kb. 25 km/h - feletti szélsébségnél daruval történő emelést tilos végrehajtani. A szélterhelés hatására az állvány nemcsak függőleges irányban lenghet, hanem csavarodhat is, amely extrém terhelést ró a rögzítésekre és az emelőeszközökre. A nem megfelelő szélvédelmi intézkedések például ideiglenes merevítések, szélfogó hálók eltávolítása emelés előtt közvetlenül vezethetnek szerkezeti meghibásodáshoz vagy személyi sérüléshez. A daruval történő emelés előkészítésekor ezért minden esetben kötelező időjárás-előrejelzést és helyszíni szélmérést alkalmazni, valamint rögzíteni az emelési tervben a szélviszonyokhoz kapcsolódó leállítási protokollokat. Az emelési művelet részeként gyakran előfordul, hogy az állványok új pozícióba történő beillesztése nagy pontosságot igényel, különösen, ha a homlokzaton való elhelyezés geometriája meghatározott, például nyílásokhoz, erkélyekhez vagy konzolos szerkezetekhez való illeszkedés miatt. Ilyen esetekben elengedhetetlen az állvány súlypontjának megfelelő megközelítése, az emelési műveletek lassú és precíz végrehajtása, valamint a segítő személyzet megfelelő pozicionálása és biztosítása. A pozicionálási hibák az állvány mechanikai sérülését, ütközéssel járó eseményt vagy akár leesést is okozhatnak.

A szűk helyen történő emelés – például belső udvarban vagy városi beépítésű környezetben – fokozott koordinációt igényel más gépekkel, építési elemekkel és meglévő épületszerkezetekkel való ütközés elkerülése érdekében. A védőtávolságok, darugém alatti munkavégzés tiltása, valamint a környező területek biztonsági kizárása alapvető munkavédelmi követelmény.

A daruval történő mozgatás egyik speciális esete, amikor a homlokzati állványt több alkalommal is új pozícióba kell emelni a kivitelezés előrehaladtával. Ilyenkor a csatlakozási pontokat és rögzítőelemeket úgy kell kialakítani, hogy azokat gyorsan, biztonságosan és ismételhető módon lehessen oldani, majd újra rögzíteni. Ez különösen fontos olyan építési projekteknél, ahol a homlokzat fokozatosan épül, például panelek, üvegfelületek vagy előregyártott elemek szerelése során. A gyakori mozgatás megnöveli a kopás, anyagfáradás és kötéselemek deformációjának esélyét, ezért az állvány minden mozgatása előtt és után kötelező szerkezeti szemrevételezést, illetve rögzítési pontellenőrzést kell végezni. A rendszeres ellenőrzés elmulasztása komoly statikai kockázatot jelenthet, különösen, ha a korábban használt függesztési pontok lazulnak, korrodálnak vagy deformálódnak.

Végül, de nem utolsósorban, a daruval történő homlokzati állványmozgatás során kiemelt figyelmet kell fordítani a dokumentációs és engedélyezési eljárásokra. Az emelési tervnek tartalmaznia kell az állvány műszaki leírását, teheradatait, a daru típusát és emelési kapacitását, a függesztési pontok helyét, a szükséges munkavédelmi intézkedéseket, a várható szélviszonyokra vonatkozó előírásokat, valamint az emelésért felelős személyek nevét és képesítését. A hiányos dokumentáció vagy az előírt protokollok figyelmen kívül hagyása súlyos következményekkel járhat, amelyek jogi felelősségre vonást és munkabiztonsági bírságot is eredményezhetnek.

Önjáró függesztett állványrendszerek. A zsaluzati rendszerek fejlesztő mérnökei már régóta foglalkoztatta a kérdés, miként is lehetne az átlagosnál magasabb, toronyszerű épületeket, pilléreket bezsaluzni úgy, hogy az daru alkalmazása nélkül legyen megoldható, ugyanakkor bármely korszerű zsalu rendszer felhasználható legyen alacsony anyag és élőmunka igénnyel. A megoldás egy úgynevezett önjáró függesztőállvány lett, melyet egy speciális hidraulika mozgat. Az egész szerkezet egyszerre mozog, amely áll: a zsaluzatból, a zsaluzat betonozó állványából, a munka állványból, amelyen a zsaluzat támaszkodik, egy kétszintes függesztő állványból, amiről az átállásokhoz szükséges kúszó papucsok kezelhetők, valamint a függőleges acél sínekből melyen az egész rendszer “mászik” felfelé illetve lefelé.

Az eljárás alapelve megegyezik a fent említett függesztő állvány alapterminológiájával [80], ami a következő: Az induló szint bezsaluzásakor úgynevezett visszanyerhető kónuszokat kötnek be a vasaltba, melynek külső síkja megegyezik a zsaluzat síkjával. Betonozás, illetve kizsaluzás után ezekre a bebetonozott kónuszos anyákra speciális papucsokat csavaroznak fel, melyekre daru segítségével felakasztják a munkaállványt, és erre helyezik a zsaluzatot. Ezután az egész folyamat kezdődik előről, vagyis egyik oldali zsalu beállítása, vasszerelés, kónuszok behelyezése, másik oldali zsaluzat bezárása, betonozás. Egyszerűbb kúszó zsaluzati rendszerek átállítása három daruzási fázisban oldható meg. Először a kizsaluzott zsalutáblákat emelik le a munkaállványról, és teszik le valamelyik földémszintre, vagy a talajra ideiglenesen, majd a munkaállványt emelik egy szinttel feljebb, az előző ciklusban bebetonozott kónuszokra, és harmadik ütemként a zsaluzatot visszaemelik a munkaszintre. Korszerű kúszózsaluzatok esetén a zsaluzat együtt daruzható a munkaállványzattal, csökkentve így a daruzás idejét. Az önjáró függőállvány forradalmasított változása, hogy a kónuszos papucsokra függőleges acél sínek vannak rögzítve, és az egész állványzat átálláskor hidraulika segítségével ezeken a sínekén mászik egy szinttel feljebb. (14. ábra) A következő szint bebetonozása után először a sín mászik föl az újabb bebetonozott kónuszra, majd az egész folyamat kezdődik előről. Még 100 m magasság felett is lényegesen alacsonyabb az anyag és munkaerő felhasználás, mint a hagyományos építési móddal.



14. ábra: Önjáró függesztett állványrendszerek zsaluzattal [81]

Az állványzat 12 m/h sebességgel, rázkódásmentesen emelkedik, és ugyanolyan simán, ahogyan felfelé, a rendszer lefelé is zökkenőmentesen halad. Nagy magasságból is képes daru segítségével "lemászni" és így szétszerelése a talajszinten történhet, ezzel időt és ráfordítást lehet megtakarítani. Emelkedés közben minden munka és járószint vízszintes helyzetben marad, mert az állványzat hidraulikus rendszere a hengerek lökethosszáinak maximum 1%-ig terjedő magasság tűréssel működik, még 16 konzol egyidejű működtetése esetén is. A működtetést egyetlen személy végzi. A rendszer üzembiztonságát a mászófej csuklós csapágyszáma biztosítja. Az önjáró állványzat konzolonként 150 kN vertikális terhelésig minden fellépő erőt képes felvenni, illetve levezetni. A konzolonkénti 8,50 m-es szélesség 5,50 m magasságú és 17 m szélességű zsaluzást tesz lehetővé. Ennek eredményeként minimális lesz a konzol felhasználás illetve kevesebb anyag kell a felfüggesztési pontokhoz.

A rendszer nemcsak függőleges síkon tud mozogni, hanem 25 °-os pozitív és negatív dőléshez és maximum 15 cm-es eltolódáshoz, úgynevezett léptetéshez is képes illeszkedni. Ez különösen fontos az útépítésben, ahol a hidak, viaduktok pillérjei sokszor ferde illetve tört alakzatúak. A konzoloknak a zsalufelülethez viszonyított számát pontosan a műtárgy alakzatához lehet igazítani. Fontos, hogy a hidraulikus önjáró függőállvány rendszer független a vele együtt dolgozó zsaluzat típusától, vagyis maga a felületet adó zsaluzat lehet keretes fém zsaluzat, de lehet fatartós rendszerű nagytáblás zsalu is, amit leginkább az épület geometriája határoz meg. Mindkét esetben igaz, hogy a zsaluzat kizsaluzáskor 90 cm-t hátra húzható a munkaállványon, ami elősegíti a zsalufelület letakarítását, előkészítését a következő betonozáshoz, valamint az átállás után helyet biztosít a vasszereléshez. A hagyományos, kúszórendszerekkel szemben - ahol kizsaluzáskor csak a táblák hátra döntése megoldható - itt a hátra húzásból adódó 90 cm-es szabad sávon magas zsaluzatok esetén könnyűszerkezetű állvány is felállítható, a vasalás megkönnyítése, valamint a biztonságos munkavégzés végett.

Függesztett állványok baleseti forrásai. Az egyik leggyakoribb és legsúlyosabb baleseti ok az állványrendszer stabilitásának hiánya, amely rendszerint a felfüggesztő mechanizmus hibájára vezethető vissza. A felfüggesztés történhet acélsodronyokon, láncokon vagy sínes vezetősíneken keresztül, amelyeket az épület tetején elhelyezett konzolokra, ellensúlyozott darukarra vagy fix rögzítési pontokra szerelnek. Ha ezek a pontok nem megfelelően méretezettek, nem felelnek meg a vonatkozó szabványoknak, mint például az EN 1808:2015 (Safety requirements for suspended access equipment) [82] vagy ha a rögzítés nem megfelelő minőségű anyagból készült, akkor az állvány függesztése megsérülhet vagy kiszakadhat. (8. kép)

Ilyen esetekben a platform a magasság miatt kontrollálatlanul leszakadhat, amely szinte mindig halálos kimenetelű balesetet eredményez a rajta tartózkodók számára. Különösen veszélyes, ha a felfüggesztési pontokat ideiglenes vagy nem erre a célra tervezett szerkezeti elemekre – például kéményekre, falpárkányokra – rögzítik, amelyek nem bírják el az állvány teljes terhelését.



18. kép: Függesztett állvány leszakadása a rossz rögzítés miatt [83]

Hasonlóképpen gyakoriak a felfüggesztő kötelek, sodronyok vagy láncok anyagfáradásából eredő balesetek. A hosszú időn keresztül használt acélsodronyok hajlamosak mikró repedések kialakulására, korrózióra vagy mechanikai sérülésekre, amelyek a szakítószilárdság jelentős csökkenéséhez vezethetnek. Ha az üzemeltető nem végzi el a rendszeres vizuális és műszeres ellenőrzéseket, előfordulhat, hogy az anyaghiba a működés közben okoz hirtelen szerkezeti meghibásodást. Ilyen esemény során az állvány részben vagy teljesen leszakadhat, és akár többszörösen is visszacsapódhat az épület homlokzatának. Az ilyen balesetek nemcsak az állványon dolgozó munkásokra, hanem az épület alatt közlekedő gyalogosokra is életvesélyt jelentenek.

A homlokzati függesztő állványok mozgatásához gyakran elektromos csörlőket, hidraulikus emelőrendszereket vagy kézi hajtókart használnak. Ezek meghibásodása, például fékrendszer hibája, feszültségingadozásból eredő vezérlési hiba vagy a működtető mechanika elakadásából származó blokkolás baleseti kockázatot jelent.

Ha az emelőmotorok aszinkron működnek – vagyis az állvány két oldalát különböző sebességgel emelik –, akkor az állványplatform megdőlhét. A megdőlt platformon dolgozók könnyen elveszíthetik egyensúlyukat, és ha nem rendelkeznek zuhanásgátló rendszerrel – testheveder, energiaelnyelő, karabiner –, akkor a magasból leeshetnek.

Az aszimmetrikus emelés további veszélye, hogy az állvány rögzítésein túlzott húzó- vagy nyíróerők léphetnek fel, amelyek következtében a csatlakozási pontok vagy a keretszerkezet megsérülhet.

A platformon végzett munka során további baleseti kockázatot jelentenek a nem megfelelő védelmi intézkedések. Az oldalkorlátok, lábdeszkák és kihajolás gátlók hiánya gyakran vezet tárgyak leejtéséhez vagy személyek leeséséhez. Az állványon dolgozó munkások gyakran mozognak, hajolnak vagy nehéz szerszámokat kezelnek, így a védőkorlátok nélküli platformon történő munka életveszélyes. A platform túlterhelése szintén komoly problémát jelent: az állványokat jellemzően 250–1000 kg terhelésre méretezik, és ha ezt túllépik – például építőanyag vagy szerszámok halmozása miatt –, akkor a szerkezeti elemek túlfeszülnek, és bekövetkezhet a statikai meghibásodás. Különösen veszélyes, ha a túlterhelés egyoldalú, mivel ez a platform kibillenéséhez vezethet. A környezeti hatások, különösen a szél és az eső, gyakori kiváltói a függesztett állványos baleseteknek. A platform nagy felületű, így szél hatására jelentős oldalirányú lengéseket végezhet. Erős szél esetén az állvány kilengése akár több méteres is lehet, amely során a platform nekicsapódhat a homlokzathoz, és súlyos sérüléseket okozhat az ott dolgozóknak, vagy ledobhat tárgyakat a mélybe. Az ilyen jelenségek megelőzésére a munkát bizonyos szélsébség felett meg kell tiltani - általában 7–10 m/s felett - és az állványt rögzíteni kell a homlokzathoz vezetőhuzalokkal vagy támasztórudakkal. Az eső és a jegesedés csúszós felületeket eredményez, növelve az elcsúszásos balesetek kockázatát.

A csúszásgátló járófelületek, a megfelelő lábbeli és az állandó vízelvezetés ezért elengedhetetlen. Nem elhanyagolható baleseti tényező a munkaterület alatti gyalogosforgalom és közlekedés. Ha az állványon végzett munka alatt nem történik meg a munkaterület fizikai kizárása – például védőtetővel, kordonokkal, figyelmeztető táblákkal – akkor az alatta haladó járókelők is sérülhetnek leeső tárgyak, törmelék vagy szerkezeti elemek miatt. Ezen felül az elektromos meghajtású állványoknál a villamos érintés elleni védelem is kiemelten fontos: sérült kábelezés, helytelen földelés vagy zárlat áramütéses balesethez vezethet, különösen nedves környezetben.

2.1.4.2 Csúszó zsaluzatok

A csúszó zsaluzat általánosan alkalmazott területe a viszonylag magas falu építmények, silók, hűtőtornyok, gyárkémenyek, ahol a fal teljes magasságában munkahézag nélkül készítik el a monolit beton illetve vasbeton szerkezetet. A rendszer működési elve mindenki előtt ismert, hisz ezzel a technológiával már a század elején, az első világháború előtt készítettek szerkezeteket Amerikában. [84]

A csúszó zsaluzat használata során az építendő műtárgy alaprajzi elrendezésének megfelelő, 1,0-2,0 m magas zsaluzat készül. A zsaluzat anyagát tekintve megegyezik az általános felhasználású falzsaluk anyagával. A kis magasság miatt nem jellemző a robusztus keretes zsaluk használata, sokkal inkább a fatartós rendszerű zsaluké. A zsaluzat beton felőli felületét a fa zsalutáblák alkotják, háromrétegű ragasztott fenyő kialakítással, de gyakori a fenolbevonatos rétegelt lemez használata is. A háromrétegű fenyő táblák olcsóbbak a rétegelt lemeznél, ám élettartalmuk rövidebb. Felületük hamarabb sérül, nem javíthatók, nedvességre érzékenyebb, így 15-20 felhasználás után és már nem adnak vakolatmentes felületet. Ezzel szemben a rétegelt lemez táblák fenol bevonata védi a lemezt az erős napsütéstől, fagytól, meggátolja a víz bejutását a farétegekbe, sérülés esetén jól glettelhető. A zsaluhéj merevségét egyenes falak esetén hátoldalon megjelenő fatartók biztosítják. A fatartók általánosan a gyártó cégektől függetlenül 16 vagy 20 cm magas ragasztott I tartók, 8 cm-es öv szélességgel, vagy 24 cm magas rácsos gerincű fatartók. A gerinckialakítás korábban csak ragasztott fenyőből volt elképzelhető, ma már azonban nem ritka a préselt gerincű fatartó, vagy a dupla gerincű kialakítás a teleszkópos toldás érdekében. A csúszó zsalus technológiával készülő épületek, mint a silók, hűtőtornyok alaprajzi geometriája általában íves kialakítású. Ilyen esetekben a modul fatartók helyett az adott geometriához igazított, üzemben legyártott íves fapallók alkotják a tartóvázat.

A zsaluzat a betonozással és vasszereléssel egy időben, folyamatosan függőleges irányban halad felfelé. A szerkezet olyan sebességgel mozog, hogy a zsaluzatból kikerülő beton már kellő szilárdságú legyen ahhoz, hogy zsaluzat nélkül is megálljon. A zsaluzatot és a kapcsolódó munka szintek terheit a betonba ágyazott tám rúd, és a rajta mozgó emelőgép hordja, illetve mozgatja. (19. kép) A leginkább szembeűnő újítás a betonozás folyamatossága volt, ami azt jelenti, hogy a zsaluzat óránként 15-20 cm emelkedik, és így napi átlagot tekintve 3,00 m-es emelés érhető el. A zsaluzat folyamatos, azonos irányú mozgása jól gépesíthető. Kezdetben az első csavarorsós emelőszerkezeteket még kézi erővel hajtották, majd ezeket fokozatosan fölváltották a pneumatikus illetve a hidraulikus emelőszerkezetek. szinte kényszerítően hat, hogy hosszabb ideig mozdulatlan zsaluzat esetén a szerkezet beragad.

A méretezés egyik fontos szempontja, hogy a zsaluzat által elhagyott beton oldalnyomása megszűnjék, ugyanakkor a betonnal érintkező nagyon sima zsaluköpeny felülete (magassága ne legyen nagy, mert akkor a mozgatáshoz igen nagy erő szükséges. (19. kép)



19. kép: Csúszó zsaluzati rendszer [85]

A csúszó zsaluzat előnye általában a magas, közbenső födémekekkel, más szerkezetekkel meg nem szakított, leginkább állandó keresztmetszetű falak építésekor jelentkezik. Miután a zsaluzat magassága 1,0 és 2,00 m között mozog, így az anyagigénye kicsi, ugyanakkor ez a kevés anyag nagy magasságok építéséhez elegendő. Elmarad a zsaluzat építésével, bontásával, valamint az átállásával járó tetemes munka. Elmarad a mintadeszkázatot alátámasztó állványzat, sőt még betonozó állványra sincs szükség. A zsaluzatból kikerülő beton általában jó minőségű, ugyanis a betonból a felette levő teher miatt a felesleges víz kinyomódik, a nyomó igénybevétel miatt a szilárdulási viszonyok is kedvezőbbek. A beton utókezelése a csúszó zsaluzathoz kapcsolt külső-belső felület mentén körbemenő perforált csőbe vezetett vízzel elvégezhető. [86] A zsaluzatból kikerülő felület sima, tetszetős, vakolatmentes, az esetleges helyenként jelentkező felületi egyenlőtlenségek pedig a csúszó zsaluzatra felfüggesztett, és azzal együtt mozgó alsó munkapadozatról javíthatók.

Hátránya, hogy a zsaluzat összeszereléséhez, üzemeltetéséhez jól begyakorlott, széleskörű tapasztalatokkal rendelkező személyzet szükséges. A zsaluzat állandó ellenőrzést igényel, ha például a zsaluzat helyzetének a függőleges síktól való eltérését későn veszik észre, az az egész építmény elferdülését okozhatja. A zsaluzat előrehaladási sebességének nem megfelelő beállítása, vagy a hosszabb ideig tartó üzemszünet a műtárgy betonjának megrepedését vonhatja maga után. Munkabiztonsági szempontból az a zsaluzati rendszer az egyik legbiztonságosabb szerkezeti rendszer.

Köszönhető annak, hogy a teljes munkaállványt a földszinten szerelik össze, és utána a csúszás teljes folyamatában már a zsalu védelme alatt a belső zárt gyűrűben dolgoznak az emberek. Az elkészült alsó munkaszintek teljes felületi védelmét

2.2. Leggyakrabban előforduló balesetek típusai, azok ismertetése

A segédszerkezetek összeomlásának leggyakoribb esete, a vasbeton szerkezetek építésénél használatos zsaluzati rendszerek katasztrófái. A zsaluzatokkal kapcsolatos baleseteket általában két nagy csoportra lehet osztani:

- vízszintes szerkezetek összeomlása,
- függőleges zsaluszerkezetek tönkremenetele, szétszakadása.

Vízszintes zsaluzatok alatt általában a földem és konzolos lemez zsalukat, a gerenda zsalukat, illetve a lépcső zsaluzatát értjük. A földemzsaluzatok közül Magyarországon a legelterjedtebb zsaluzati rendszer a fatartós földemrendszer. Szerkezete egyszerű, fő és fióktartós rendszeren alapul, ahol a végső teherátadás az acél támaszokon keresztül történik az alsó földemre. Általában a fő és fióktartók azonos keresztmetszetű ragasztott fatartók, „I” profilú kialakítással. A főtartók általában a nyírást tönkremenetel, míg a fióktartókra a hajlítást tönkremenetel a jellemző túlterhelés esetén. [87]

A zsaluzat beton felőli felületét a fa zsalutáblák alkotják, háromrétegű ragasztott fenyő kialakítással, de gyakori a fenolbevonatos rétegelt lemez használata is. Miután a fatartók egymáshoz való illesztése, kapcsolata nem fix kötésű, csak fektetett, illetve átlapolat kialakítású, ezért nagyon jól követhető vele a változatos geometriájú alaprajzú szerkezetek zsaluzása. Természetesen használatos az alumíniumkeretes földemzsalurendszer is, valamint annak ejtőfejes változata, de keretrendszere miatt kötöttebb a geometriai lehetőségei.

Függőleges zsaluzatok csoportjába a fal és pillér zsaluzatok tartoznak. A falzsaluzatok a korszerű zsaluzati rendszerben gondolkodva két fő csoportra oszthatók a falzsaluzatok szerkezetük alapján: fatartós rendszerű nagytáblás zsaluzatok és keretes zsalurendszerek:

- fatartós nagytáblás falzsaluzatok: szerkezeti elvét tekintve inkább a múltat idézi, modern köntösben.

Ez azt jelenti, hogy a klasszikus faltartók helyett, modern, ragasztott I szelvényű fatartók veszik fel a terhet és adják át a korszerű dupla U profilú keresztartókra. Héjazata ragasztott rétegeltlemez tábla, fenolbevonattal, de szabad éllel.

- keretes zsalurendszerek: jellemzően acél tartókeretbe foglalat rétegelt lemez zsaluhéjjal. A legkülönbözőbb tábla szélességektől (általában 10-15 cm-es raszterugrásokban), szintmagas (270-300-330 cm) illetve fél elem magasságú (120-150 cm) elemekig, gyorsrögzítő kapcsokkal illeszthető rendszerek. Daruval, illetve kézi erővel (szintmagas táblák esetében ezek alumínium keretesek) mozgatható szerkezetek.

Födémzsaluzatok összeomlás. A legtöbb födembaleset a szerkezet betonozásakor következik be. Az egyik ok a már többször említett vízszintes terhek nem megfelelő felvétele. Ilyenkor az ékelés vagy az andráskeresztek hiányában a zsaluzat vízszintesen, oldalirányba kimozdul, és összeomlik. A másik oka a hirtelen túlterhelés lehet, ami sűrű konzisztenciájú beton esetén előfordulhat, ha valamilyen oknál fogva a betonszivattyú nincs folyamatos mozgásban, és egy helyre, akár fél vagy egy köbméter betont is kinyomhat, ami 3-4 szerez túlterhelést okozhat a födémnek. Ilyen esetekben leggyakrabban a fatartók teherbírása merül ki és egyszerűen eltörik, magával húzva a zsalutáblákat a betonacéllal és a betonnal együtt. (20. kép) Hasonló baleset történhet, ha nem a statikai tervek alapján történik a zsaluzat helyszíni szerelése, a tartók kiosztása, túlterhelés jön létre és leszakad a födém.



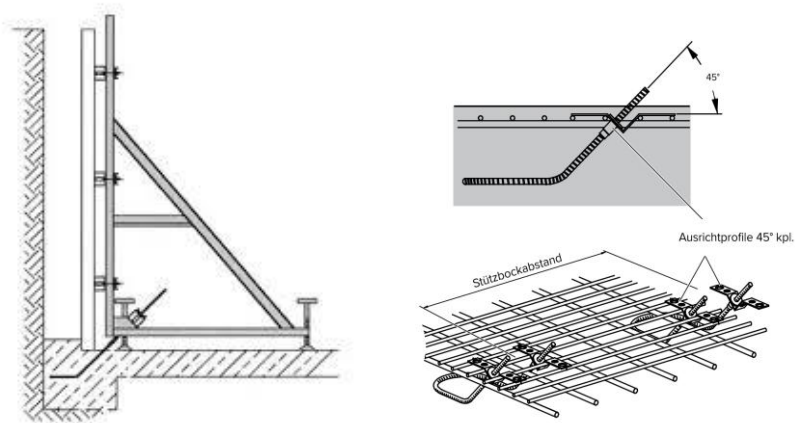
20. kép: Födémösszeomlás a XIII. kerületben, készítette a szerző, forrás: saját munka

Gyakori eset a konzolos erkélylemezek leszakadása a zsaluzat vízszintes kihorgonyzásának hiánya miatt. Konzolok esetében a zsaluzatot nem lehet a síkban két irányban kiékelni, csak András keresztekkel, vagy földszint feletti lemez esetén ferde kitámasztásokkal lehet a szerkezetet stabilizálni.

Sokszor a kivitelező azt feltételezi, hogy a konzol negatív nyomatékú vasai, amik vissza vannak kötve a födémbe, a zsaluzat vízszintes terheit felvevő, horgonyként működhetnek. A betonacél szerelést szigorúan tilos az építés alatt bármilyen terhek felvételére használni. Különösen veszélyesek azok a konzolos megoldások, ahol hőhídmegszakító elemek vannak beépítve a lemez és a födém közé. Itt ugyanis minimális a konzolba illetve a lemezbe benyúló toldás nélküli vashossz, vagyis azok a betonozás előtt és alatt semmiképp nem tudnak horgonyként működni.

Kétoldali falzsaluzat szétszakadása. A korszerű keretes falzsalut összekötő elemek, az úgynevezett gyorskapcsok feladata összekapcsolni a táblákat, és biztosítani a zsaluzat síktartását. Robosztus erős kapcsok ezek, de tévhit, hogy a beton nyomásának felvételére is alkalmas lenne, mivel ezeknek a kapcsoknak a teherbírása nem több mint 8,00 kN. Az acélkereten keresztül átadott betonnyomást, az átkötési csavarszáraknak, vagyis a menetbordás betonacéloknak kell felvennie, ami elérheti a 90 kN/m² is. Amennyiben ezek a csavarszárak nincsenek minden táblacsatlakozásnál befűzve, akkor a betonnyomást a kapcsoknak kellene felvennie, amire nincsenek méretezve. Ilyen esetekben egy bizonyos betonmagasság felett a kapcsok eltörnek, szétszakadnak és a zsaluzat kinyílik. Azon túl, hogy a készülő vasbeton szerkezet tönkre megy, a nagynyomással kiömlő beton elsodorja az ott tartózkodókat. Amennyiben ez több emeletmagasban lévő függesztő állványon van, akkor a beton mindent letaszít a mélybe.

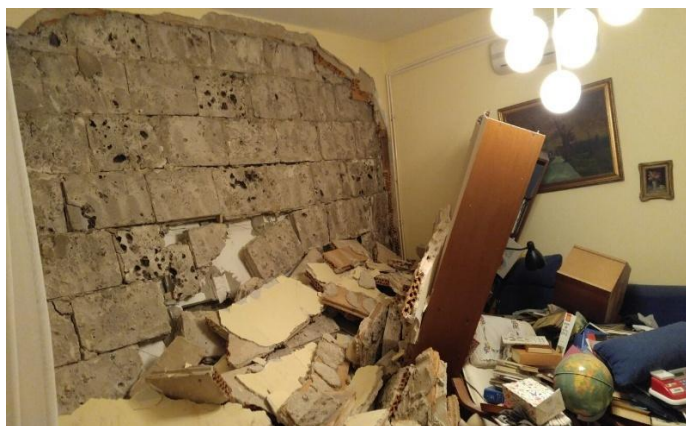
Egyoldalú falzsaluzat káresetei. Egyoldalú falzsaluzatok jellemző kialakítása, amikor a készülő vasbeton falszerkezet egyik oldalán már egy meglévő szerkezet van, például résfal, vagy cölöpfal. Ilyenkor az építendő falnak csak az egyik oldalát zsaluzzuk be. A kétoldalú falzsalunál, a betonnyomást az egymással szemben lévő zsalutáblák közti menetbordás betonacél veszi fel, de ez a módszer az egyoldalú zsaluk esetén nem alkalmazható. Ilyen esetekben a zsaluzatot nagy teherbírású támasztó bakokkal kell gyámolítani, amik a betonnyomást az alaplemezbe bebetonozott horgonyokon keresztül tudják felvenni.



15. ábra. Egyoldalú falzsalu kitámasztása, horgonyzása [88]

Gyakori baleseti forrás, amikor az előre bebetonozandó menetbordás betonacél horgonyokat rossz magasságra kötik be az alaplemez vasalásába a betonozása előtt. Amennyiben a felső hálózathoz betonozzák be, akkor a fellépő 80-100 kN-os erők hatására az alaplemez felső öve felszakad, és a robosztus bakokkal együtt szétszakad a zsaluzat. [89]

Másik jellemző hibaforrás, amikor a nem használják az alaplemezbe elhelyezendő horgonyokat, hanem csak hagyományos ferde támasszal próbálják felvenni a betonnyomást. Ilyen esetekben a beton nyomásából kialakuló rúdírányú erő függőleges komponense miatt a zsaluzat felemelkedik és alul nagy nyomással kiömlik a beton. A leggyakoribb sérülés ilyenkor a dolgozók lábtörése. Súlyos balesetet és anyagi kárt okozhat, ha foghíjbeépítés esetén a szomszéd épület tűzfala - ami jelen esetben zsaluként működni – nem elég stabil, vagy gyenge minőségi, régi falazat.



*21. kép: Egyoldali fal átszakadása a Mamut mögött, készítette a szerző,
forrás: saját munka*

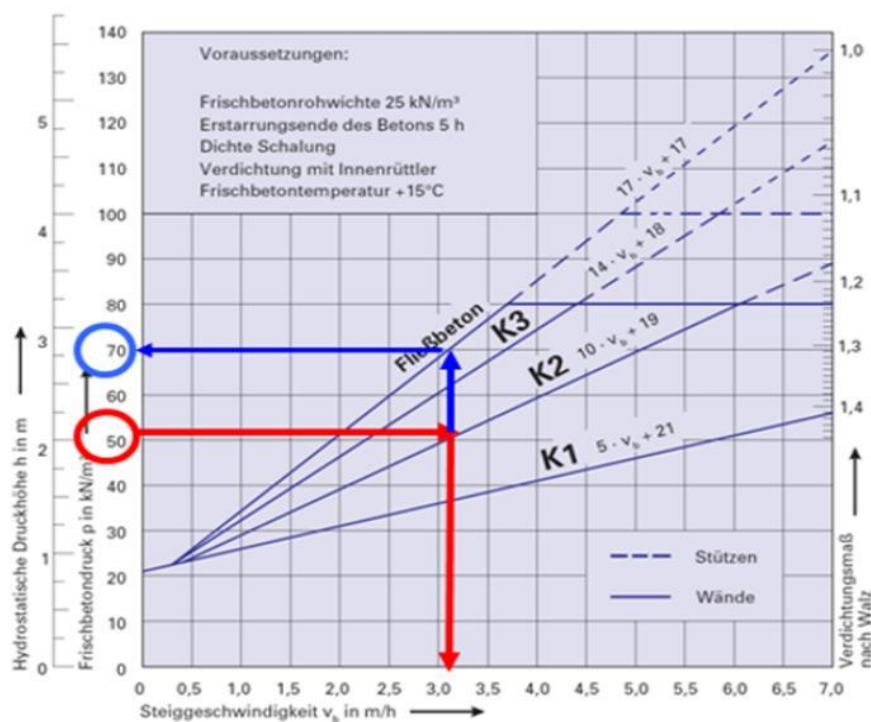
A 21. képen látható, hogy a szomszédos épület tűzfala, egy vékony, kétrétegű fal, ami nem bírta a betonnyomást.

Ezt csak úgy lehet megakadályozni, ha ütemezve történik a betonozás, és a terített betonrétegeket pihentetik, amíg legalább 25-40 %-kal lecsökken a hidrosztatikai nyomás

Statikai vizsgálatok figyelembevétele. Födémzsaluzatok esetén általában a balesetek nem a tervezett betonnyomás hirtelen megnövekedésétől következnek be. A födém betonozásakor a folyós beton területe miatt a zsaluzatot nem igazán lehet túlterhelni, még a figyelmetlen szivattyú kezelő vagy hibás betonpumpa esetén sem. Ez azt jelenti, hogy egy átlagos 20-25 cm vastag födémlemez esetén ez a hirtelen bekövetkező lemezvastagság maximum másfél kétszerese lehet a tervezetnél. Figyelembe véve az átlagos 2300 kg/m³-es beton testsűrűségét, ez a többlet teher maximum 450-500 kg/m² zsalu extra terhet jelent a zsaluzatra. Ez a biztonsági tényezők figyelembevételével nem jelent túl nagy kockázatot.

Ezzel ellentétben a falzsaluzatoknál komoly veszélyt jelent a nem tervezett betonnyomás. [90] Egy átlag, korszerű keretes falzsaluzat teherbírása 60 kN/m².

Ez a vibrált beton esetén a hidrosztatikai beton nyomását figyelembevéve azt jelenti, hogy betonozási sebesség korlátozás nélkül két-két és fél méter magas zsaluzatot lehet bebetonozni biztonsággal. Ennél magasabb vasbetonfalak építése esetén alkalmazni kell a betonozási sebesség korlátozást. Ezt szemlélteti a 16. ábra.



Függőleges ordináta: betonnyomás értékek kN/m²-ben
 hidrosztatikus nyomásmagasság m-ben
 Vízszintes ordináta: betonozási szint emelkedés m/órán
 K2 konzisztencia – kissé képlékeny
 Fließbeton – folyós konzisztencia

Alapadatok: Frischbeton sűrűsége: 25 kN/m³
 Megszilárdulás vége: 5 óra
 Frischbeton hőmérséklete: +15°C
 Tömörítés belső vibrátorral

16. ábra. Betonnyomás alakulása a hidrosztatikus nyomásmagasság függvényében [91]

Elemzés. A fentiek alapján elmondható, hogy a zsalubalesetek nagy része emberi mulasztás miatt következik be, ami megelőzhető lenne. A zsaluzatok összeszerelésénél a legnagyobb probléma a művezetés hiánya, illetve a végeredmény szakszerű ellenőrzése. Korábban, a 60-70-es években is történtek balesetek, de akkoriban inkább a gyenge emelőszerkezetek, és a munkavédelem hiánya okozta ezeket. A mai korszerű építéstechnika ellenére a szakértés hiánya okozza a legtöbb balesetet [92].

Míg korábban a zsaluzási munkát ács brigádok végezték szakképzett munkavezetőkkel, addig ma a Lego jellegű elemes rendszereket már betanított munkások végzik, sokszor hiányos műszaki ismeretekkel. Nem tudják felmérni a baleset veszélyét, mert nincsenek tisztában a beton nyomásával, súlyával, nem ismerik a zsalu szerkezetek teherbírását, statikai terhelhetőségüket. Nagyobb műszaki fegyelemmel a balesetek elkerülhetőek lennének. A balesetek elkerülésének módszerére a következő, szakaszbiztonsági modellt dolgoztam ki.

A szakaszbiztonsági modell egy öt lépésből álló, szakaszalapú megelőző módszertan, amely a zsaluzási munkák minden fázisát külön kockázati egységként kezeli. A modell célja, hogy a leggyakoribb összeomlási okokat a kivitelezés logikájába beépítve semlegesítse, nem utólagos ellenőrzéssel, hanem előzetes biztonsági tervezéssel.

- Stabilitási előfeltételezés (alapszintű biztosítás). Minden zsaluzási munka kizárólag akkor kezdhető meg, ha az alátámasztást biztosító felület geotechnikailag és statikailag igazoltan teherbíró. Alapelv, hogy semmilyen zsaluzati elem nem építhető „később biztosítjuk” alapon.
- Szakaszolt szerelési-teherbírási összerendelés. Minden szerelési fázishoz meg kell határozni a maximális ideiglenesen megengedett terhelést, és ezt a dolgozók felé jelöléssel és oktatással is közölni kell. Például: az 1. szakaszban teheranyag nem helyezhető el, vagy csak 3-5 fő tartózkodhat a szerkezeten.
- Helyszíni terhelés-figyelési protokoll. A kivitelezés során mobil mérőeszközökkel (például lehajlásmérő, betonnyomás érzékelő stb.) kell követni a zsaluzat állapotváltozásait (süllyedés, kilengés, tehereloszlás változás). Riasztási küszöbök állíthatók be kritikus értékekhez).
- Dinamikus betonozási algoritmus. A betonozás során nem szabad szakaszfüggetlenül vagy irányítás nélkül haladni, hanem a szerkezeti viselkedés szerint kell haladni (például belső zónák előbb, peremrészek utána). A betonszivattyú kezelője statikai utasítás alapján dolgozik, nem rutinból.
- Tudásalapú jogosultsági rendszer A zsaluzási munkákhoz szerepkör-alapú jogosultság szükséges:
 - csak képzett személy állíthat össze támaszrendszert,
 - csak jogosult kezelő helyezhet el betonacélt vagy betont,
 - minden fázis végén kijelölt szakértői ellenőrzés
 - Nem elég az általános munkavédelmi oktatás, konkrét zsaluzási jogosultság kell.

Módszertani előnyök

- Rendszerszintű: nem a végső ellenőrzésre épít, hanem a folyamatba ágyazott biztonságra.
- Szakaszos és rugalmas: minden zsaluegység külön értékelhető.
- Technológiai nyitottság: beépíthető digitális érzékelés vagy BIM-alapú figyelés.
- Tudásorientált: a legnagyobb kockázati tényezőt – az emberi hibát – képzéssel és szerepkiosztással szorítja vissza.

2.3. Födémek korai kizsaluzásának vizsgálata

2.3.1. Az ejtőfej fogalma

Az alábbiakban az ejtőfej fogalmát ismertetem:

- Hagyományos fatartós zsaluzatnál alkalmazott ejtőfej, ami csak a kizsaluzás technikáját segíti, gyorsítja meg.
- A korai kizsaluzást elősegítő ejtőfej, aminek segítségével a 24-48 órán belül kizsaluzható a szerkezet.
 - Fatartós födémzsaluzatok esetén.
 - Keretes födémzsaluzatok esetén.

Hagyományos fatartós zsaluzatnál alkalmazott klasszikus ejtőfej egy olyan speciális villásfej, ami egy ék segítségével gyorsítja a kizsaluzás folyamatát. Fatartós rendszereknél a kizsaluzás folyamata a födém támaszok tehermentesítésével kezdődik. Ezután a menet orsós födém támaszokat olyan mértékben kell leengedni, hogy a fiók tartókat le lehessen borogatni. Ahhoz, hogy a 8 cm széles és 20 cm magas fatartókat le lehessen dönteni a támaszokat minimum 3-4 centivel le kell engedni. Ejtőfej nélkül ez azt jelenti, hogy a trapézmeneteket kell a rajtuk lévő zsalu teherrel együtt manuálisan letekerni. Ez komoly fizikai megterhelés a dolgozók számára és időigényes folyamat, ami azt jelenti, hogy támaszonként 3-5 perc az orsó letekerése. Ez egy 500 m²-es födém esetén közel 300 támaszt jelent, aminek csak a fenti munkafolyamat összes időigénye körülbelül 1200 perc, vagyis 20 munkaóra.

Ezt az időt lehet a tizedére csökkenteni az ejtőfejjel, aminek alkalmazása esetén a beépített ék rendszerrel egy kalapács ütéssel a fő tartók 4 cm-esnek le és így már a fiókok tartók letölthetők. A fiók tartók ledöntése után lehet a zsalutáblákat eltávolítani.

A korai kizsaluzáshoz alkalmazott ejtőfej a fatartós zsaluzatok esetén egy olyan speciális fej, aminek a középső magja megtámasztja a közvetlen felette lévő zsaluhéjat, és a fej két oldalán lévő villás részbe ülnek be a fatartók.

Kizsaluzáskor az ejtőfej ékrendszerét kiütve a főtatók 3-4 cm-t leesnek, de a tengelyben lévő zsaluhéj felszorítva marad a frissbeton alatt. (22. kép) Alumínium keretes zsaluzati rendszereknél a megoldási mód, hogy egy ejtőfeles gerendasor van beépítve a zsaluzatba, általában a nyomatéki maximumok környezetében. Korai kizsaluzás esetén ezek a gerendák továbbra is támasztják a friss beton felületet, míg a gerendára akasztott zsalutáblák az ejtőfel segítségével leemelhetők.

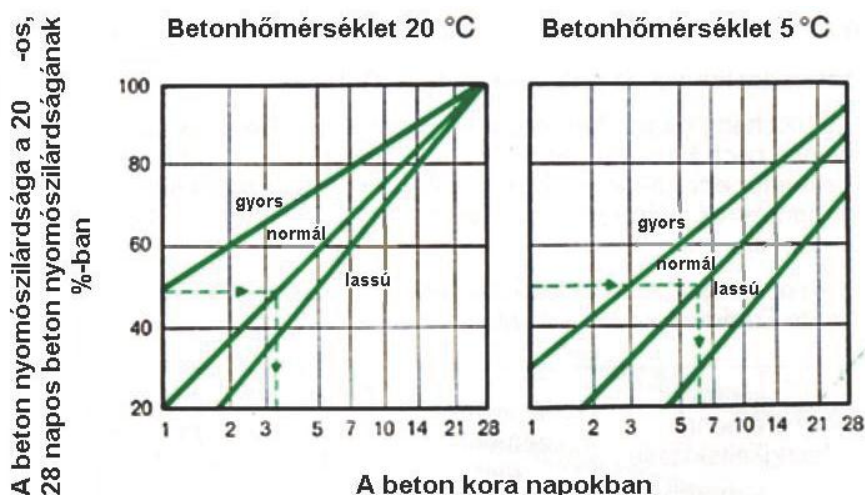


22. kép: Ejtőfejes födémzsaluzat [93]

2.3.2 A korai kizsaluzás fogalma födémzsaluzat esetén

Jelenleg nincs arra szabvány, hogy mikor lehet egy monolit vasbetonfödém zsaluzatát eltávolítani. Az elvárás a kizsaluzott födémszerkezettől, hogy a saját tömegét elbírja, káros lehajlások nélkül. A megrendelői körben elterjedt vélekedéssel ellentétben a 3-5 naptól kezdődő zsalu eltávolítás nem a zsaluzó rendszer fajtájától függ, hanem a beton minőségétől, az időjárástól, vagyis a hőmérséklettől, valamint a beton utókezelésétől.

Általában elmondható, hogy 15 °C átlagos napi hőmérséklet esetén a betonozási zsalu minőségromlási veszély nélkül már 3-5 nap múlva eltávolítható. Erre az időre a hagyományos minőségű betonból készült nyers födém eléri nyomószilárdságának 50%-át, húzószilárdságának pedig 70%-át (17. ábra). Természetesen az utólagos alátámasztások szükségesek lehetnek, amennyiben az önsúlyon felül egyéb terhek is kerülnek a födémre.



17. ábra: A betonszilárdság és a hőmérséklet összefüggése [94]

Az ennél korábbi, a betonozást követő 24-48 órában történő kizsaluzást nevezzük korai kizsaluzásnak, ami ejtőfejes zsaluzó rendszerek esetén lehetséges. Természetesen a kizsaluzás itt is csak részleges, mert a zsaluszerkezet egy része kerül kizsaluzásra, a támaszok 50% bent marad egyedi, pontszerű támaszként, vagy vonalmenti támaszként gerendázattal a tetején. A korai kizsaluzás megteremtésének a fő motivációja az építési idő lerövidítése, amivel jelentős költségmegtakarítás érhető el. Ez azt jelenti, hogy kevesebb lesz az élőmunka ráfordítása, csökkennek az organizációs költségek, lerövidül a daruzási időigény, és még sorolni lehetne a gazdaságilag kimutatható előnyöket. Kérdés, hogy milyen negatív következményei lehetnek a korai kizsaluzásnak?

2.3.3. A korai kizsaluzás veszélyei

A korai kizsaluzás veszélyeit három nagy csoportba oszthatjuk. A legfontosabb, és elsődleges kérdés a munka és balesetvédelmi kérdések, vagyis a dolgozók biztonsága. A második nagy csoport a veszélyforrások tekintetében a készítendő vasbeton födémszerkezet lehetséges károsodásai. A harmadik vizsgálati veszélyforrás a zsaluzat esetleges károsodásai. Mielőtt a korai kizsaluzás veszélyforrásait elemeznénk vizsgáljuk meg a ki és bezsaluzás folyamatát annak általános baleseti forrásait. A fent leírt födémrendszerek tipizálása alapján fontos külön kezelni a fatartós rendszereket a keretes, táblás födémrendszerektől. Az alapvető különbség a zsaluzat építésében, hogy míg a fatartós rendszer borítása fentről történik a gerendák síkjában, addig a keretes födémzsalu rendszer letről, az alsó födémről épül.

Balesetvédelmi kérdések. A fa tartós födém zsaluzat építése a főtartó felállításával kezdődik azt hogy én támaszokat még a földön nagyjából a kívánt méretre kell állítani és a ráerősített villás fejekkel együtt a főtartó végéhez kell helyezni végül a támaszok stabilizálásához kitámasztó háromlábú bakokat kell alkalmazni ezután lehet a fa tartókat a villás fejek villái közé helyezni a statikai követelményeknek megfelelően kell elhelyezni a közbenső födém támaszokat a fiók tartók kiosztása ezután következik fentről a tartókra keresztül. (23. kép: 23) A fiókok tartók egymástól való távolságát a födém lemez vastagsága, valamint a rákerülő zsalut táblák mérete határozza meg nagyon fontos a precíz tartó kiosztása, zsalu táblák szélei csak 4-4 centiméter fekszenek föl a fiók tartók ennek legnagyobb veszélyforrása, hogy amikor föntről ráhelyezzük a zsalut táblákat ezután már nem lehet látni a táblák felfekvési távolságát. A legtöbb építés közbeni baleset ekkor következik be, amikor a táblák nem fekszenek föl a fiók tartóra és fölülőről azokra rá lépve lezuhan a dolgozó. Ezért fontos az elő tábla sor pontos lefektetése, ami csak helyszíni művezetés ellenőrzéssel történhet meg a jól lefektetett induló zsalu tábla sort szeggel rögzíteni kell ez már biztosítja a többi tábla pontos elhelyezését.



23. kép: Fatartós födémzsaluzat bezsaluzása [95]

A táblás, keretes födémzsalu rendszer építése alulról fölfele történik. Első lépésként egy dúc párt kell összeépíteni egy induló tartószerkezet segítségével. Ezután a speciális támaszfejekre kell lentől felakasztani az alumínium táblákat és egy villás rúd segítségével vízszintes pozícióba emelni. Az ideiglenes villás rúd biztonsága mellett kell ezután aláhelyezni a másik két támasz a még szabad tábla sarkokba.

Így már egy stabil négy támaszon nyugvó zsalutáblánk van, amire sorba, mindkét irányba haladva akasztják rá és emelik fel az újabb zsalutáblákat. A legnagyobb hibaforrás, ha kimarad egy támasz. Ez azt eredményezi, hogy a zsalutábla négy sarka közül csak három van megtámasztva. Ettől a zsaluzat még stabilnak tűnik, de ahogy fentről rálép a dolgozó, a támasz nélküli sarok kibillen és a mélybe rántja a dolgozót. Ezért a zsaluzat teljes összeszerelését követően mielőtt még bárki felmenne a tetetejére alulról az összes tábla csatlakozó sarkot ellenőrizni kell, hogy nincs e támasz hiány. Amennyiben az építésvezető ezt a vizsgálatot jóváhagyta akkor mehetnek fel a zsaluzatra a következő munkafázis dolgozói, a vasszerelők.

Kizsaluzás esetében nem különböztetjük meg hogy a zsalu szerkezet fatartós e vagy táblás szerkezetű, mert értelemszerűen mindkettőnek a kizsaluzása alulról történik. A legnagyobb veszély mindkét esetben a zsaluzat teljes összeomlása lehet. [96] Ez akkor következhet be, ha a bezsaluzáskor alkalmazott ideiglenes háromlábú bakok, amik a dúcukat tartják meg az építés alatt a kizsaluzás előtt, vagy a kizsaluzás folyamatában eltávolításra kerül. Előbbi eset olyankor fordul elő, amikor a kivitelező spórolás okán kevesebb kitámasztó bakot használ a tervezett mennyiségnél, és azokat folyamatosan áthelyezi a zsaluzat kiékelése után. Egyéb veszélyforrás természetesen a táblák, fatartók egyenként-i leesése, ami emberi figyelmetlenség okán következhet be. Ezért is kötelező zsaluzat bontásakor a védősisak és az acél orrbetétes munkacipő használata. A korai kizsaluzás esetében is mindezek a veszélyek fennállnak, tetőzve még a legsúlyosabb eset lehetőségével, amikor is a vasbeton födémlemez is leszakad a zsaluzattal. Ez sajnos azért fordulhat elő, mert a korai kizsaluzás lényege, hogy még a beton elvárt minimális nyomó (50%), illetve húzó (70%) szilárdságának elérése előtt már megkezdődik a zsaluzat ritkítása. Amennyiben ezt nem előzi meg komoly statikai vizsgálat és egyidejű helyszíni ellenőrzés, szilárdságmérés akkor ez a baleseti forma bekövetkezhet.

A födémszerkezet lehetséges károsodásai a korai kizsaluzás következményeképp. Statikai szempontból a korai kizsaluzáskor a teherátadó zsalutáblák, zsalupanelek a frissbeton terhét átadják a pontszerű alátámasztásként bent maradó födém lábakra, aminek felülete csak néhány négyzetcentiméter, ami jelentős teherátrendezést okozhat. A födém csak a támasztó sorok között képes meghajolni, így a födém saját teherhordó tulajdonságainak kialakulására nincs mód. Ezért a támaszok felett negatív nyomaték alakul ki. A nyomó igénybevétel húzó igénybevétellé alakulása nem tervezhető be és a födém erre nincs is méretezve. Ennek következtében a bennmaradó ejtőfejes támaszok környékén a födém felső részén ellenőrizhetetlen repedések keletkeznek és a beton is tartós károsodásokat szenvedhet. Ennek elkerülése érdekében kiegészítő felső vasalást lehetne betervezni.

Azonban a statikai tervezés fázisában még aligha lehet előre megfogalmazni, hogy milyen zsaluzati rendszert fog használni a jövőbeni kivitelező, azt meg végképp nem lehet meghatározni, hogy hol lesznek ezek a túlterhelt felső zónák. A frissen betonozott födémek zsalubontási határidőinek meghatározásakor fontos a szerkezet megfelelő állékonyságának igazolása a zsalubontás időpontjában. Az esetek többségében a magasépítésnél abból kell kiindulni, hogy ez a kritérium 3-4 nap alatt teljesül. A méretezési terhelés és a szerkezet önsúlyának egyszerű összehasonlítása egyrészt, másrészt az időfüggő szilárdság megfelelő eredményt szolgáltat.

A zsaluzat károsodása a korai kizsaluzáskor. A másik, szintén statikai jellegű problémakör, hogy az ejtőfejes rendszerekkel végzett korai kizsaluzás terhelés halmozódáshoz vezet, melyek felvételére a támaszok nem biztos, hogy alkalmasak. Gazdaságos födémzsaluzat kiosztása esetén a támaszok terhelése a maximális teherbírásuk 50 % körül kell, hogy legyen. Minden további többlet födémteher a támasz biztonságos használatát kockáztatja. A kérdések megválaszolása érdekében korábban már végeztem ejtőfejes födémrendszerrel egy mérési vizsgálatot az Építésügyi Minőségellenőrző Innovációs Rt.-vel (ÉMI) közreműködésével. 97 Egy négyszintes társasház 18 cm -se vasbeton födémait zsaluztuk be egy ejtőfejes paneles szerkezetű födémzsaluval úgy, hogy az ejtőfejek segítségével átlag 3 naponta a betonozás után megtörtént a kizsaluzás. A legalsó szint, a pince fölötti födém bezsaluzáskor 3 födém támasz alá erőmérő cellákat helyeztünk, melyek össze voltak kötve egy kilenccsatornás méréstároló műszerrel, amin digitális kijelző segítségével 0,05 kN pontossággal leolvasható volt a dúcban keletkezett nyomóerő. A mérés során minden födém alatt bent maradtak az ejtőfej alatti támaszok, így végig kísérhető volt a betonozások során a legalsó szint támaszában ébredő erők változása. A kizsaluzás utáni legnagyobb járulékos támaszerő növekedést az 1. födém szintnél (pince feletti födém) tapasztaltuk, ami azt mutatta, hogy 3 nap után a bent maradó támaszokra eső többlet betonfelület még csak 30 % -a dolgozik. Közel hasonló nagyságú oszloperő növekedést mértünk a 2. födémlemez elkészítése után is. Ami itt érdekes, hogy ekkor az első födém szint már 33 napos volt, azaz túl volt a 28 napos kor után, de még nem vett részt az erőjátékban, szinte a teljes felette lévő födém terhét átadta a bent maradó lábakra. A harmadik és negyedik födémlemez betonozásakor már lényegesen kisebb volt az támaszerő növekedése. A 2. és 3. födémlemez kizsaluzását követő időszakban elvégzett ellenőrző mérések során az oszloperők kismértékű (1-2 kN) csökkenését észleltük, ami a vb. lemez szilárdságnövekedésével magyarázható.

Végeredményként megállapítható volt, hogy az ejtőfejes rendszer esetén az egymás feletti földemek terhei egy csökkenő tendenciát mutatva ugyan, de összeadódnak, így az alátámasztó rendszert is megkárosíthatják, ha a támaszerő kimeríti a rendszer teherbírását. Hogyan lehet ez ellen védekezni. Ejtőfejes rendszer esetén a 3-5. nap tájékán a bent maradó dúcokat meg kell lazítani, hogy a kúszási folyamatok megindulhassanak. Korszerű földem támaszok esetén elég csak a kizsaluzást segítő hornyos csapokat megütni, ezáltal a dúc 2-3 mm-t leenged, ami elég ahhoz, hogy aktiválódhasson a földem.

2.4 Pillérzsaluzatok új norma rendszerének hatása a balesetek megelőzésére

Normarendszerek rövid áttekintése. Az építőiparban az anyag-, munka- és gépnorma alapvető szerepet játszik a kivitelezési folyamatok tervezésében, költségbecslésében és elszámolásában. Ezek a normák egységes, mérhető keretet biztosítanak a felhasznált erőforrások mennyiségi és időbeli meghatározására, ezáltal lehetővé teszik a gazdaságos, átlátható és összehasonlítható kivitelezést. Az anyagnorma megadja az adott építési-szerelési munkafolyamat elvégzéséhez szükséges építőanyagok fajtáját és mennyiségét szabványos körülmények között. Segítségével meghatározható, hogy az egyes szerkezetekhez vagy munkanemekhez mekkora anyagszükséglet tartozik, így pontosan tervezhetők a beszerzési igények, csökkenthetők a veszteségek, és ellenőrizhető a felhasználás hatékonysága. A munkanorma az adott építési folyamat elvégzéséhez szükséges élőmunka-ráfordítást fejezi ki, általában munkaóraban. Ez tartalmazza azokat az időszükségleteket, amelyek a tevékenység szakszerű, biztonságos és minőségi elvégzéséhez kellenek, figyelembe véve a technológiai előírásokat és az átlagos munkafeltételeket. A munkanormák alapján tervezhető a munkaerő-szükséglet, ütemezhető a kivitelezés, és ellenőrizhető a teljesítmény. A gépnorma az építőipari gépek és berendezések szükséges ráfordítását adja meg, rendszerint gépóraban vagy műszakóraban kifejezve. Meghatározza, hogy egy adott munkafolyamat során mekkora gépi teljesítményre van szükség az optimális munkavégzéshez. Ennek alapján tervezhetők a gépi kapacitások, az üzemanyag- és karbantartási költségek, valamint az egyes technológiai megoldások gazdaságossága.

E három norma együttes alkalmazása teszi lehetővé a kivitelezés műszaki és pénzügyi tervezését, az ajánlatkészítést, valamint a költségek és erőforrások átlátható és ellenőrizhető kezelését az építőiparban.

A Fenntartási Építőipari Iránynormák (FÉMIR) 1987-ben, az Építésügyi és Városfejlesztési Minisztérium (ÉVM) megbízásából készültek el, szerkezeti felépítésükben pedig – az ÉVM kérésének megfelelően – a lehetőségekhez mérten követték a korábban kidolgozott, új munkákra vonatkozó Építőipari Műszaki Iránynormák (ÉMIR) struktúráját. A FÉMIR továbbfejlesztett változatát a TERC Kereskedelmi és Szolgáltató Kft., mint a FÜTI szakmai jogutódja, 1994-ben jelentette meg Egységes Építőipari Normarendszer (ÉN) néven, valamint ennek Kisüzemi változatát (ÉNK), amelyek már nemcsak felújítási munkákhoz, hanem új épületek és építmények kivitelezéséhez is tartalmazták az erőforrásértékeket, sőt a közlekedési és vízügyi létesítmények építése során végzett gyakori szerelési munkákra is kiterjedtek. Az építési technológiák folyamatos fejlődése, a hazai piacon megjelenő számtalan új építőanyag, valamint Magyarország 2004-es európai uniós csatlakozása szükségessé tette a normagyűjtemények további korszerűsítését, az uniós irányelveknek megfelelő új normarendszer kidolgozását. Már 2002 második felében meghatározásra kerültek azok az alapelvek, amelyek figyelembe vették az európai uniós tagországok és a magyar építőipar költségvetés-készítési gyakorlatát.

A rendszerváltást követő vállalkezési struktúraváltozások és az építőipari szereplők igényei miatt szükségtelenné vált a különböző vállalkezési körülményekhez igazított, eltérő erőforrásértékeket tartalmazó normagyűjtemények fenntartása, ezért a kisüzemi normagyűjtemény (ÉNK) fejlesztése és kiadása megszűnt. Az új rendszer az Összevont Építőipari Normarendszer (ÖN) [98] nevet kapta, amely számos újdonságot vezetett be: megváltozott a kötetek és munkanemek számozása, folyamatosan bővülő új munkanemekkel; a tételek kódszerkezete és a tételszámok karakterszáma a növekvő anyagfajták és bővítési igények miatt módosult; a versenysemlegesség érdekében megszűntek a termék- és gyártónevek a tétel megnevezésekben, ezek csak a tételváltozatoknál szerepelnek; a műszaki leírások terjedelme több mint háromszorosára nőtt, lehetővé téve a részletesebb információközlést; új, egysoros rövidített tételszövegek segítik a költségvetési kiírások áttekinthetőségét; megjelent az egyedülálló lehetőség, hogy a tételek műszaki paraméterei közvetlenül a szöveg után szerepeljenek; a gépköltségek mértékegysége a felhasználói igényeknek megfelelően kWh-ról műszakórára változott; a gyártóra utaló tételváltozatok további műszaki paramétereket is tartalmaznak, megkönnyítve a szakmailag megalapozott döntéseket.

Az ÖN célja, hogy egységes és szakszerű módon szolgáltatson alapot az új és meglévő épületek, valamint közlekedési és vízügyi építmények helyszíni építési-szerelési munkáinak kiírásához és a megvalósításukhoz szükséges közvetlen erőforrások meghatározásához.

A karbantartási munkák kivételével minden építés-szerelési tevékenységre alkalmazható, és lehetőséget nyújt a ráfordítások elemzésére ajánlattételkor, a műszaki tartalom pontos meghatározására, az erőforrások ütemezésére, valamint a teljesítés elszámolására, továbbá elősegíti a vállalati normák kialakítását és a komplex, összevont normák létrehozását.

Az új normarendszer. A monolit vasbetonpillérek zsaluzati rendszerének anyag és díjnorma egysége a négyzetméter, ahogy az a jelenleg használatos normarendszerekben az összes zsaluzatra érvényes. A korábbi részfejezetben ismertetett korszerű pillérzsaluzat egyazon táblaeleme többféle keresztmetszetű pillér elkészítésére alkalmas. [99] A keretes rendszerűeknél a táblák speciális átkötéssel rendelkeznek. Ez azt jelenti, hogy nem csak a széleken van átkötési lehetőség, hanem 5 cm-es osztásokkal egymás után vannak perforálva a táblák. Így pillangó kötéssel egyazon, például 75 cm széles táblával lehet 20x20 cm-es vagy akár 60x60 cm-es pillért előállítani. Ez négyzetméterre vetítve azt jelenti, hogy ugyanannyi munka és anyaghasználat szükséges egységnyi magas pillér zsaluzatának elkészítésére, ha annak felülete 0,80 négyzetméter, vagy ha 2,40 négyzetméter.

Ez 300%-os eltérést jelent. Ennek ismeretében kezdtem több építkezésen mérni az egyes szinteken készülő pillérek elkészítéséhez szükséges munkaidőt a dolgozói létszám függvényében.

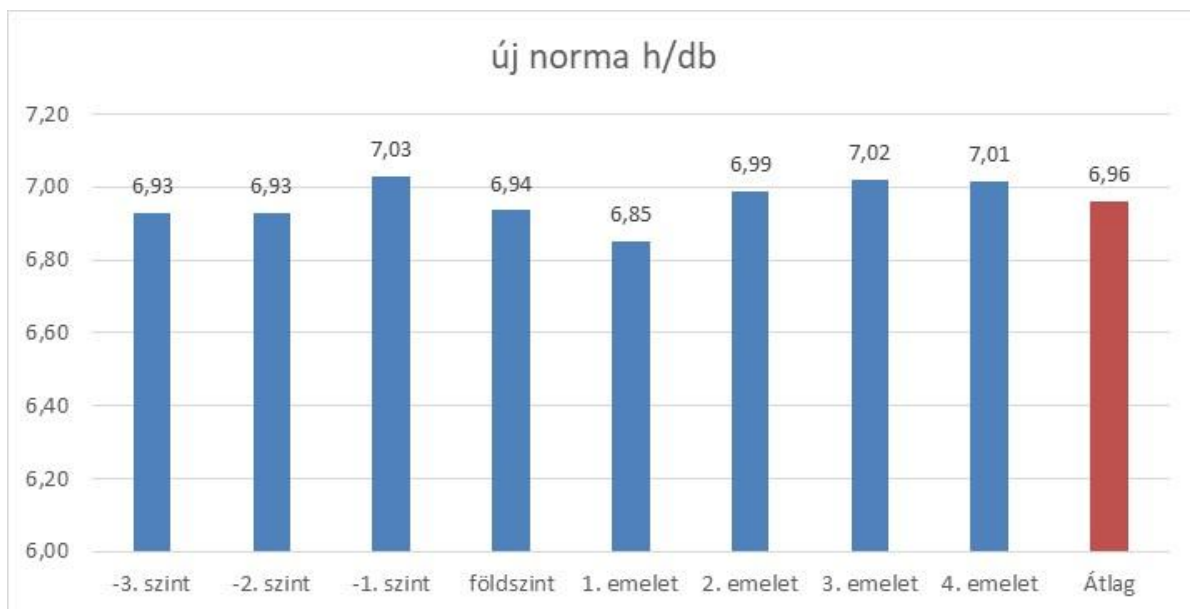
A vizsgálataim során 5 darab pillérvázás épület kivitelezési munkái követtem nyomon helyszíni mérésekkel, elemzésekkel. Az épületek közt volt, ami háromszint mélygarázzsal rendelkezett, míg a legmagasabb az földszint + négy emelet volt. Összesen 2232 darab monolit vasbeton pillér készítési ütemét vizsgáltam, melyek mérettartománya a 30x30-as keresztmetszettől a 75x75-ös keresztmetszetig terjedt. Ez az a kritikus mérettartomány, amit egy típus zsaluzattal meg lehet építeni, ugyanazon anyaghasználat, elemszám mellett. A földszinti vizsgálatkor néztem az aktuális napi ács létszámot, akik a pillér zsaluzásával foglalkoztak, a napi ráfordított munkaórát és a bezsaluzott darab számot, illetve a statikai terv szerinti négyzetmétert.

Ezekből a mért adatokból számoltam ki az egyes szintenkénti mért hagyományos négyzetméterre vetített normaértéket, illetve az általam bevezetendő pillér darabszámra vetítendő normaértéket. Ezeket Excel táblázatba megjelenítve jól látható a mérési eredmények. (2. táblázat)

2. táblázat: A vizsgált pillérek mérési adatai, készítette a szerző, forrás: saját munka.

Zsaluzási szint	Pillér m2/m	-3. szint	-2. szint	-1. szint	földszint	1. emelet	2. emelet	3. emelet	4. emelet
új norma h/db		6,93	6,93	7,03	6,94	6,85	6,99	7,02	7,01
mért norma h/m2		1,07	1,07	1,19	1,22	1,86	1,86	1,96	1,93
napi idő/nap		8	8	8	8	8	8	8	8
dolgozó (fő)		7	7	7	7	7	7	7	7
munkanap		24	24	31	40,5	40	40,8	41	36,2
összes óra		1344	1344	1736	2268	2240	2284,8	2296	2027,2
jellemző km (cm): 75x75	3,00	43	43	43	0	0	0	0	0
jellemző km (cm): 60x60	2,40	82	82	38	128	0	0	0	0
jellemző km (cm): 60x50	2,20	0	0	44	17	0	0	0	0
jellemző km (cm): 50x50	2,00	69	69	69	135	37	37	0	0
jellemző km (cm): 40x40	1,60	0	0	53	47	63	63	84	84
jellemző km (cm): 30x40	1,40	0	0	0	0	0	44	44	44
jellemző km (cm): 30x30	1,20	0	0	0	0	227	183	199	161
pillér/szint (db)		194	194	247	327	327	327	327	289
összes m2		1252,26	1252,26	1457,46	1862,46	1207,44	1231,2	1173,96	1050,84

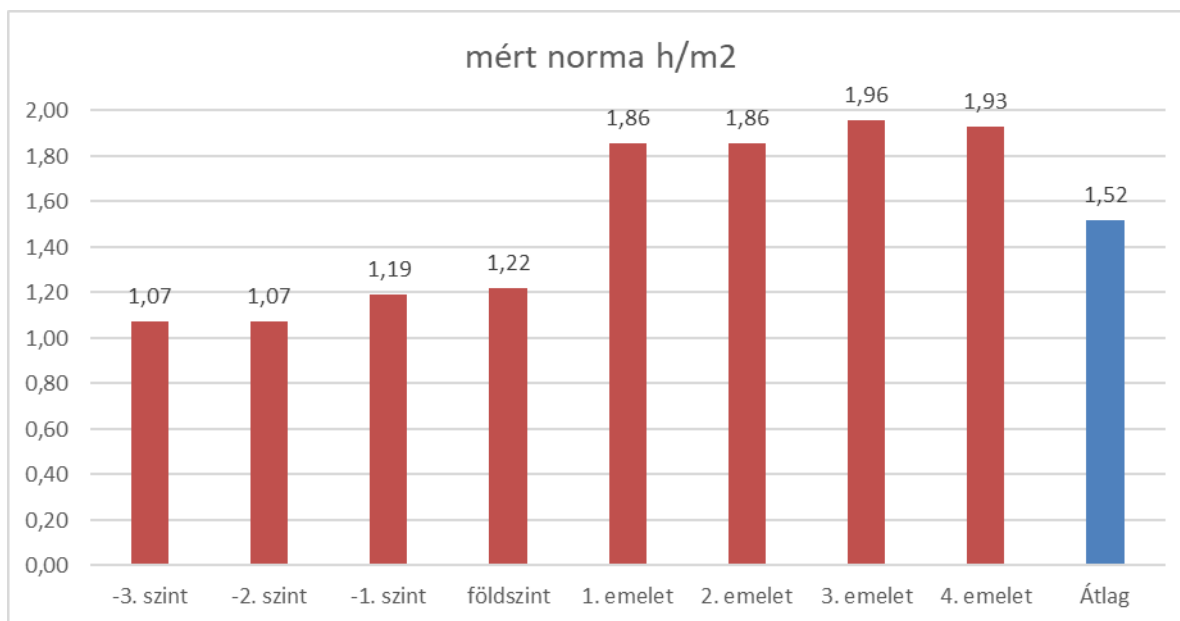
A pontos elemzés céljából külön grafikonon vizsgáltam az új, általam javasolt pillér darabszámra vetített norma adatokat és a jelenleg is használatos négyzetméterre vetített normaértékeket [100]. Míg a 18. ábrán a darabszámos norma adatok hasonló értékeket mutatnak, 5 %-os eltérésen belül, addig a 19. ábrán jelölt négyzetméteralapú norma értékek jelentős, több mint 80%-os kilengést mutatnak.



*18. ábra: A pillérek darabszámra vetített normaértékei,
készítette a szerző, forrás: saját munka.*

Mi ennek az oka? A normarendszerek történelmét vizsgálva látható, hogy a még a 90-es évek elején is a pillérek zsaluzatára fa zsaluzati normát alkalmaztak, ami deszkából, pallókból helyszínen, valós, klasszikus ácsmunkával készített pillérekre vonatkozott, ahol a felhasznált anyag valóban megegyezett a tervezett keresztmetszeti mérettel, természetesen leeső hulladékkal számolva.

A keretes zsalurendszerek elterjedésével a normaadatok természetesen adaptálódtak a korszerű, elemes zsaluzatok valós össze és szétszerelési idejéhez, de már az egy elemből történő különböző keresztmetszeti méretek építését már nem vették figyelembe.



19. ábra: A pillérek négyzetméterre vetített normaértékei,
készítette a szerző, forrás: saját munka.

Amennyiben a 19-es ábra grafikonját összevetjük a fenti Excel táblában összesített mért adatokkal látható, hogy egyazon nagyméretű zsalutáblával készített pince vagy mélygarázs szinti nagy keresztmetszetű pillérek négyzetméterre vetített normaértékei valóban megközelítik az ÖN rendszer normaértékét, hisz itt ki van használva a zsalutábla teljes felülete. Ezzel ellentétben ahogy haladunk felefelé az épületen, és csökkennek a vasbeton pillérek keresztmetszetei ezzel párhuzamosan nőnek meg a normaértékek a tervezetthez képest, ugyanis itt már jellemzően csak a fél zsalufelület a dolgozó rész, de az építési időben a teljes felület jelentkezik. Ahhoz, hogy eljussunk a normarendszer, illetve azon változtatásának lehetősége és a baleseti kockázatok kapcsolatához még egy közbenső kitekintést kell végezzünk. E nem más, mint a normarendszeren alapuló költségvetés. Magyarországon jellemzően a kétoszlopos költségvetést használja az építőipar, ami azt jelenti, hogy az anyagköltség és a munkadíj külön oszlopban jelentkezik. Mindkét költségnem az egységár, a norma és a mennyiség szorzatából jön létre. A fentiekben vizsgált öt épület költségvetéseiből kiemelttem az elemzés tárgyát képező pillérzsalukat és azokat egy soron összesítve jelenítettem meg a 3. táblázatban.

3. táblázat: A vizsgált pillérek költség adatai, készítette a szerző, forrás: saját munka.

Tétel szöveges kiírása	Összes m2	Összes db	Norma h/m2		Norma h/db	Munkadíj (Ft)		
			ÖN	Mért adat	Mért adat	h/m2 ÖN alapján	h/m2 mérés alapján	h/db mérés alapján
Oszlopzsaluzás állandó négyszögkeresztmetszettel, szerelt táblás, oldalméret <80 cm; H<3 m	10 488	2232	1	1,52	6,96	89 146 980	135 405 223	132 076 041

Az eredmény a következő. Az ÖN rendszerben számolt munkadíj a valós, mért normaeredményeknél 52 %-kal kevesebb. Ez azt eredményezi, hogy a vállalt kiviteli költség munkadíja nem teljesíthető, mert a valós ráfordításhoz több mint 50%-kal több munkaóra szükséges. A 3. táblázat alapján jól látható, hogy az alsó szinteken, vagyis a kiviteli munka első felében még közel hasonlóak a mért normaértékek az ÖN szerinti értékekkel, ami azt jelenti, hogy még kigazdálkodható a tervezett költségvetés. De ahogy halad felfelé az épület, csökken a pillérkeresztmetszet, nő a tervezetthez képesti normaidő, vagyis a ráfordításra szükséges összes idő. Ez növeli a kivitelező költségeit és ollóként nyílik szét a vállalási ár és a megvalósulási ár értéke. Ez csak úgy fordítható vissza, ha a kivitelező megpróbálja növelni a teljesítményt, túlórával, időigényes biztonsági technológiák elhagyásával, valamint különböző költségcsökkentő módszereket alkalmaz, ami a tipikus munkahelyi balesetek egyik fő forrása lehet.

Az eddig használt statikus normaidők ugyanis nem tükrözték a valós körülményeket: figyelmen kívül hagyták a környezeti hatásokat, a munkaerő terhelésének ingadozását, a helyszíni sajátosságokat és a szervezés hatékonyságát. Ennek következtében a kivitelezési ütemtervek rendszerint túlzottan optimisták voltak, ami a gyakorlatban kapkodást, szabályszegést, és a segédszerkezetek indokolatlan túlterhelését eredményezte. A helyszíni mérések rávilágítottak arra, hogy a munkavédelmi kockázatok egy része közvetlenül abból fakad, hogy a munkásoknak irreálisan rövid idő alatt kell végrehajtaniuk kritikus műveleteket, például a zsaluzat kitámasztását, a friss beton oldalnyomásának felvételére szolgáló elemek rögzítését, vagy a bontást a teherviselő-képesség elégtelen ellenőrzése mellett. A valós adatok alapján kidolgozott új időnormák ezzel szemben olyan ütemezést tesznek lehetővé, amely mind a technológiai, mind a munkavédelmi követelményekhez jobban igazodik. A biztonság így nem kényszerkapkodásból, hanem tudatos időgazdálkodásból ered, a munkaterhelés kiegyenlítettebbé válik, csökken a fizikai és mentális túlterhelés, mérséklődik a figyelmetlenség, és minimalizálódnak a siettetésből fakadó hibák.

2.5 Zsaluforgatás optimalizálásának baleseti rátákra gyakorolt hatása

Az előző vizsgálatnál a fókuszpont a munkanormák javítására vonatkozott, aminek egyenes következménye lehet az építési balesetek, munkahelyi anomáliák csökkenése, a biztonságosabb, kiszámítható munkavégzés feltételeinek a megteremtése. A munkanormákon túl a vizsgálatom kiterjedt az anyagnormák, a felhasználandó anyagok mennyiségére is.

Ahogy ezt már korábban írtam a vasbeton szerkezet építés három fő fázisának a zsaluzás, vasszerelés, és a betonozás költségmegoszlásának arányait vizsgálva a korábbi felmérések azt mutatják, hogy a legnagyobb részt, közel 48 %-ot a zsaluzási munkák alkotják. [101]

Míg a vasszerelési illetve a betonozási munkák anyagigényei a végleges szerkezet részét képezik, ezek mennyiségi számításai egzakt módon kezelhetők a kiviteli illetve statikai tervek alapján. Ezzel szemben a zsaluzási munkák mennyiségét tekintve csak a zsaluzandó felület számítható egzaktul, annak anyagigénye, vagyis az építés helyszínén valóságban felhasználandó zsalumennyiség a zsaluforgatás illetve annak hatékonysága függvényében változó érték, amit optimalizálni lehet és kell is. A zsaluforgalmazó cégek ugyan adnak egy általuk megfogalmazott zsaluzási normaidőt, de az ugyanazon zsalutáblára vonatkozó forgatási mérőszám ebben nem tükröződik vissza, így nehezen definiálható az egy egységnyi beton felületre jutó zsalu anyagszükséglet meghatározásának módja. A hagyományos normarendszerek nem foglalkoznak az építési területen felhasznált zsalu mennyiséggel és azzal elhanyagolják azt a tényt, hogy a korszerű zsalurendszerek forgathatók. Ennek a lehetőségnek a kezelése további problémákat vett fel, általában nem egyezik meg az idomtervből kalkulált valós bezsaluzandó felület a felhasznált és forgatott zsalumennyiséggel. A forgatás mértékének megállapításához először az optimális zsalumennyiséget, kell meghatározni és utána számítható a forgatási érték.

Az optimális zsalumennyiség meghatározása nagyon sok tényezőtől függ, de a legfontosabb tényező, hogy az adott födémszerkezet bebetonozásától számítva hány nap szükséges a függőleges szerkezeteket bezsaluzására. Ha egy garnitúra födémzsaluzat rendelkezünk, akkor azt kell szintenként forgatnunk. Ebben az esetben a függőleges szerkezetet a födém kiszaluzásáig szükséges idő alatt kell elkészíteni (nyári időszak esetén 6-8 nap). Ha a függőleges szerkezetek elkészítési ideje (zsaluzás, vasszerelés, betonozás, kiszaluzás) 2 nap, akkor 3-4 ciklusban lehet az egy szintre eső összes függőleges szerkezetet optimálisan elkészíteni. Az optimális zsalumennyiség már számolható, mert például szintenkénti 30 pillér esetén 4 ciklust számolva 7-8 pillér zsalugarnitúra szükséges.

Az optimalizálás tovább finomítható újabb mutatók figyelembevételével, mint például kötésgyorsítók használata, több födémzsalu garnitúra használata. Ezeket az adatokat felhasználva a 4. táblázatban bemutatom az általam javasolt zsaluzási költségeket különböző zsalutípusok esetén, amely jól összevethetők a zsaluk havi bérleti díjaival.

4. táblázat: Zsaluforgatás figyelembevételével előállított költségek,
készítette a szerző, forrás: saját munka.

Tétel szöveges kiírása	Havonta elérhető forgatási szám (db)	Havi bérleti díj (Ft)	Egységnyi vasbeton felületre eső zsaluköltség (Ft/m ²)
Csak daruvak mozgatható falzsalu	9	5 600	622
Kézzel és daruval kezelhető falzsaluzat	9	4 500	500
Kistáblás falzsaluzat	7	3 500	500
Szerelt fatartós falzsaluzat	9	7 000	778
Egyoldalú keretes falzsaluzat bakkal	6	11 000	1 833
Pillér zsaluzat	15	9 000	600
Fatartós födém zsaluzat	2	2 300	1 150
Asztal zsaluzat	2	2 000	1 000
Keretes födém zsaluzat	3	4 200	1 400
Ejtőfejes födémzsaluta	4	5 000	1 250
Grenenda zsaluzat	2	4 600	2 300

Az ÖN rendszert táblázatosan sem a korábbi ÉN rendszerrel, sem az optimális zsaluforgatással számolt rendszerrel nem hasonlítható össze. Az ÖN a zsaluzatok anyagáráként csak egy minimális elvesző, vissza nem nyerhető anyagköltséget számol (30-50 Ft/m²), ami valamilyen zsalu leválasztó olaj, de tételként megjeleníti a zsaluzatok bérleti díját. Ez a felfogás a mai építőipari piaci rendszernek teljesen megfelel, mert a kivitelező a zsaluzatot gyakran bérlik, a nagyvállalatok általában alapkészlettel ugyan rendelkeznek, de a csúcsokat, a speciális szerkezeteket a bérletekkel egészítik ki. Ha a vállalat saját zsaluzati rendszerrel rendelkezik, csak akkor működhet gazdaságosan, ha bérelt zsaluzat működési rendjét követi, mert a vállalkozáson belül mindegyik projekt önálló divízióként kell, hogy működjön a jobb használati mutató elérése miatt.

A saját tulajdonú zsalu vételi árát is bizonyos időfutam alatt ki kell termelni, ami a hatékony zsaluforgatás illetve optimalizált zsalumennyiség számítását és használatát teszi szükségessé. Az ÖN-ben használt zsaluzati „bérleti díja” tételsor használatának a nehézsége, hogy a kiírás megadja a zsaluzat havi bérleti díját, ami átírható, de a zsaluzat mennyisége a beviteli adat. Ebben az esetben nem a zsaluzandó felületet kell megadni, hanem a kiírás előtt az optimalizálást el kell végezni, és csak a forgatandó zsalumennyiséget kell beírni, de a bérleti idő tartama már nem adható meg.

Két vagy adott esetben több költségvetést összehasonlításakor ez nehézséget okoz, mert becsléseket tudok csak összehasonlítani. Ez a probléma akkor orvosolható, ha az ÖN rendszert is optimalizált zsalumennyiségekből és forgatási ütemekből kalkulált díjakkal és anyagárakkal lehetne feltölteni.

Természetesen mérlegelni kell az épületek méretét és típusát is. Általában elmondható, hogy az érvényes jogszabály szerinti 300 négyzetméter alatti épületeknél a fenti zsaluforgatás nem alkalmazható, ott a javasolt anyagköltség az aktuális piaci egy havi bérleti díj számítása minden szintre vetítve, mind a földem mind pedig és függőleges zsaluzatokra. Ezen felül a három szint feletti, szintenként minimum 500 négyzetméteres pillérvázaz épületeknél a 4-es számú táblázat alapján kellene a zsaluzatok anyagdíját kalkulálni. Ipari létesítményeknél adott esetekben az épülettípusoktól függően kell a táblázatban megadott forgatási számot egy korrekciós tényezővel felszorozni, ami egynél kisebb érték kell, hogy legyen. Ez a korrekciós szorzó

Az adott projekt zsaluzási munkáinak anyagdíja a fentiek alapján a fenti módszertanom alapján így számítható (2. képlet):

$$D_a = A \times E \times (a_f \times F) \quad (2)$$

ahol:

D_a : összes anyagdíj (Ft)

A : összes betonnal érintkező zsalufelület (m^2)

E : aktuális, átlag havi zsalu bérleti díj (Ft/ m^2)

a_f : zsaluforgatási korrekciós tényező (<1,00)

F : zsalu forgatási szám (db/hó)

A fenti két alfejezet, vagyis a szerkezetépítés zsaluzási munkáinak költségvetésében szereplő anyag és díj értékek pontosabb számítási lehetőségének egyenes hozama a zsaluzási munkák során előforduló balesetek előfordulási valószínűségének a csökkenése. A téves költségvetési számok következménye a kivitelezési munkák során történő költségcsökkentési folyamatok lavinaként megindulása. Óvatos statisztikai becslések azt mutatják, hogy az építőipari balesetek 22%-a visszavezethető a költségcsökkentés mechanizmusához. A költségcsökkentés által bekövetkező balesetek rendszerét a 5-ös számú táblázatba foglaltam össze.

5. táblázat: Költségcsökkentés által bekövetkező balesetek rendszere, készítette a szerző, forrás: saját munka.

Költségcsökkentés módszere	Miért alkalmazzák	Baleseti kockázat
Olcsóbb, elhasznált vagy nem megfelelő minőségű zsalutáblák használata	A fa- és fém zsaluelemek élettartama véges. Új táblák, elemek helyett sokszor a már megpededett, sérült, deformált elemek használata	A sérült tábla vagy tartóelem törhet, meghajolhat, ami a friss beton nyomása alatt beomlást, leszakadást okozhat → súlyos sérülés, halálos zsaluomlás.
Zsaluzat szerkezetei, teherbíró elemeinek nem a statikai terv szerinti kiosztása.	Kevesebb alátámasztó elem = gyorsabb szerelés, alacsonyabb bérleti vagy anyagköltség.	A betonozás közben túlterhelés keletkezik → a zsaluzat vagy a födém megrogyhat, összeomolhat. Ez a legsúlyosabb építőipari balesetek egyike.
Kiviteli szintű tervek és statikai számítás elhagyása	A mérnöki tervezés, 3D modellezés, zsaluzási terv készítése költséges és időigényes. Sokszor a kivitelező zsalukiosztási és technológiai terv nélkül szereli össze a zsalut.	A betonnyomás és a munkaterhelés rosszul kalkulált → a szerkezet instabil, ami összeomláshoz, bedőléshez vezethet.
Nem megfelelő rögzítő és kapcsoló elemek használata	Eredeti gyári csavarok, ékek, bilincsek helyett „háziagos” kötözés, drótozás.	A kapcsolatok kilazulhatnak, szétcsúszhatnak, a falzsaluzat megnyílhat → zsalu összeomlás, munkásokat maga alá temető baleset.
Hiányos vagy nem bevizsgált munkavédelmi felszerelések használata	Nincs elegendő védősisak, leesés elleni heveder, peremkorlát, biztonsági háló.	Zsaluzás szerelése közben: leesés magasból. Betonozáskor: fejsérülés tárgy leesése miatt. Sérülés a munkaterületen való közlekedés közben.
Elmaradt vagy rövidített, formális jellegű munkavédelmi oktatás	Rövidebb betanítás, vagy teljes oktatás kihagyása, hogy a dolgozók azonnal munkába álljanak.	Dolgozó nem tudja, hogyan kell biztonságosan mozgatni a nehéz táblákat → darubaleset, beszorulás. Nem ismeri a betonozás közbeni teendőket → rossz sorrend, túlterhelés, szerkezet omlása.
Gyorsított ütemű, a technológiai fegyelem be nem tartásával történő betonozás	Időt nyernek, ha a beton nagy sebességgel, több pontról ömlik a zsaluba, túlóra, hosszított műszak elkerülése.	Hirtelen nyomásnövekedés → a zsaluzat túlterhelése, összeomlása, súlyos sérülések.
Szakképzetlen alvállalkozók túlzott bevonása, a felelősség áthárítása.	Olcsóbb, kisebb cégek vagy képzetlen brigádok bevonása a specializált zsaluzási szakcégek helyett.	Hiányos koordináció, kommunikáció → összehangolatlanság, összeomlások, nagyobb esély halálos kimenetelű balesetre.

A hagyományos gyakorlat a betonozási és kötési folyamatokat fix időintervallumokkal kezeli, figyelmen kívül hagyva a hőmérsékletet, az anyagminőséget, a tényleges kapacitást vagy a munkavégzés sebességét. Ezzel szemben az új modell folyamatosan frissülő adatokra épít, és képes meghatározni, hogy adott időpillanatban mikor biztonságos a zsalubontás, mikor szükséges további tehermentesítés, illetve a ciklus mely pontján áll fenn túlterhelési vagy stabilitási kockázat. A zsaluzat így nem csupán egy segédszerkezet, hanem a kivitelezés „érzékeny visszacsatolási eszköze” lesz: olyan rendszer, amely valós időben jelzi, ha a folyamat eltér az optimális ütemtől. A modell gyakorlati alkalmazása nemcsak a bontás túl korai megkezdését akadályozza meg — ami az egyik vezető oka a zsaluzati meghibásodásoknak —, hanem lehetővé teszi a munkaerő és eszközök rugalmasabb beosztását is. A kivitelezés ezáltal nem lassul, hanem egyenletesebbé válik; a munkavédelmi kockázatok pedig nem elszigetelt pontokon, hanem a folyamat egészében csökkennek.

2.6 Részkövetkeztetések a 2. fejezethez

Az építési projektek során alkalmazott ideiglenes segédszerkezetek – mindenekelőtt a zsaluzatok és a nagy teherbírású állványrendszerek – alapvető szerepet töltenek be, ugyanakkor jelentős kockázatot is hordoznak. A kutatás célja az volt, hogy valós mérések alapján feltárja az ezekhez kötődő balesetek gyakoriságát, jellegét és kiváltó tényezőit, majd ezekre építve olyan új módszert alakítson ki, amely az egész kivitelezési folyamat biztonságát képes növelni.

Az első vizsgálatok középpontjában a pillérzsaluzatok álltak, mivel ezek a szerkezetek különösen nagy terheléseknek és változó dinamikus hatásoknak vannak kitéve. A tapasztalatokból levont következtetések egyaránt támogatják a munkafolyamatok hatékonyságának emelését és a munkahelyi biztonság színvonalának javítását.

A kutatás első fázisa a pillérzsaluzatokkal kapcsolatos időráfordítások pontos feltérképezésére irányult. A helyszíni megfigyelések célja az volt, hogy valós, mérhető adatokat kapjanak a szerelési, betonozási és bontási szakaszok tényleges időigényéről, illetve a különféle zsalurendszerek teljesítményéről. A vizsgálatok rávilágítottak arra, hogy a korábban alkalmazott, statikus normaidők nem tükrözik megfelelően a valós munkafolyamatokat. A munkaterhelés változása, a környezeti feltételek és a szervezés hatékonysága olyan tényezők, amelyeket a hagyományos normák nem kezeltek megfelelően. Ennek eredményeként gyakran irreálisan optimista ütemtervek készültek, ami hozzájárult a biztonsági szabályok megsértéséhez, a folyamatok siettetéséhez és a segédszerkezetek túlterheléséhez.

A gyűjtött adatok alapján sikerült olyan új időnormákat kialakítani, amelyek jobban illeszkednek a tényleges körülményekhez, figyelembe véve a pillérzsaluzatok összetettségét, méretét, felületi jellemzőit és az anyagminőséget. Ezek az újonnan meghatározott értékek lehetővé teszik a kivitelezési ütem pontosabb tervezését, ami közvetlenül javítja a munkavédelmi szintet. A realisztikus időkeretek csökkentik a túlzott kapkodásból fakadó hibákat, amelyek gyakran fáradtsághoz, figyelmetlenséghez vagy túlterheléshez köthetők. Így a pontos időtervezés nemcsak biztonságosabb, hanem hatékonyabb és átláthatóbb munkaszervezést is eredményez.

A kutatás második fő eleme egy újfajta, „dinamikus zsaluforgatási optimalizálási modell” kidolgozása volt. Ez a modell valós idejű adatok felhasználásával szabályozza a zsalukörforgási ciklusokat, a kapacitás megfelelő kihasználását és az újra felhasználás ütemét. Az új modell ezzel szemben a mért adatok alapján képes meghatározni a zsaluforgatás optimális ütemét, folyamatosan igazodva a kivitelezés előrehaladásához és a beton aktuális állapotához. Ennek köszönhetően elkerülhetővé válik a túl korai bontás, illetve a zsalurendszerek túlterhelése.

Az optimalizációs modell gyakorlati bevezetése rugalmasabb munkaerő- és eszközbeosztást tesz lehetővé, ami gazdasági és szervezési szempontból is előnyös. Mindezek mellett egy valóban adaptív, visszacsatoláson alapuló biztonsági kontrollrendszerként is működik, amely képes azonnal reagálni az építkezés során fellépő változásokra.

A kutatás harmadik iránya a munkavédelem fejlesztését célozta, amely szorosan kapcsolódik az új időnormákhoz és az optimalizált zsaluforgatási modell alkalmazásához. A terepi adatokból egyértelműen kirajzolódott, hogy a legtöbb baleset a rosszul időzített, túl gyorsan végzett munkálatokhoz köthető. Az új normarendszer és a dinamikus modell viszont egy előre jelezhető, folyamatosan kontrollált munkafolyamatot biztosít, amelyben a kockázatok még a balesetek előtt felismerhetők és kezelhetők. Hosszabb távon ez a megközelítés új alapokra helyezheti az építőipari biztonságirányítást. Az adat vezérelt, digitális felügyeleti rendszerek révén a biztonság nem utólagos ellenőrzésként jelenik meg, hanem a munkavégzés folyamatosan integrált részévé válik. Ez nem csupán a baleseti arányok csökkenéséhez vezethet, hanem pozitívan befolyásolja a szervezeti kultúrát, a felelősségvállalást és a fegyelmezett munkavégzést is. Az ilyen jellegű biztonságirányítás tehát nem pusztán technológiai fejlesztés, hanem a szervezet egészét érintő szemléletváltás.

3. A VASBETONSZERKEZETEK ÉPÍTÉSI FÁZISAI BALESETI KOCKÁZATELEMZÉSI RENDSZERÉNEK KUTATÁSA ÉS FEJLESZTÉSE

3.1. A vasbetonszerkezetépítés történelmi áttekintése a világban

A beton előfutárát az időszámítás előtt 1300 körül találták fel, amikor a közel-keleti építők rájöttek, hogy amikor agyagerődjeik és otthoni falaik külsőjét vékony, nedves égetett mészkő bevonattal vonták be, az kémiai reakcióba lépett a levegőben lévő gázokkal, hogy kemény, védőfelületet képezzen. Ez nem volt beton, de ez volt a cement fejlesztésének kezdete. A korai cementes kompozit anyagok összetevői jellemzően a zúzott, égetett mészkő, homok és víz voltak, amelyeket kővel való építéshez használtak, szemben az anyag öntőformába történő öntésével, ami lényegében a modern beton felhasználása volt

A modern beton egyik legfontosabb alkotóelemeként a cement már régóta létezik. Körülbelül 12 millió évvel ezelőtt a mai Izrael területén természetes lerakódások alakultak ki a mészkő és az olajpala közötti reakciókból, amelyek spontán égéssel jöttek létre. Az első betonszerű építményeket a nabateai kereskedők vagy beduinok építették, akik elfoglaltak és ellenőriztek egy sor oázist, és egy kis birodalmat fejlesztettek ki Dél-Szíria és Észak-Jordánia régióiban Kr. E. 6500 körül. [102] Később felfedezték a hidraulikus mész előnyeit - vagyis a víz alatt megkeményedő cementet -, és Kr. E. 700-ra kemencéket építettek habarcs ellátására törmelékfalú házak, betonpadlók és föld alatti vízálló tartályok építéséhez. A ciszternákat titokban tartották, és ez volt az egyik oka annak, hogy a Nabataea képes volt boldogulni a sivatagban. Kr. E. 600-ra a görögök felfedeztek egy természetes pozzolan anyagot [103], ami nem más, mint vulkáni hamu. Ezt mésszel keverve már egy hidraulikus tulajdonságokkal rendelkező anyag jött létre. Mindezek ellenére a görögök közel sem voltak olyan termékenyek a betonnal való építésben, mint a rómaiak. Kr.e. 200-ra a rómaiak nagyon sikeresen építettek betonnal, de ez nem volt olyan, mint amit ma használnak. Nem volt plasztikus az anyag, amit formákba önthettek volna, hanem inkább cementált törmelék. A rómaiak a legtöbb szerkezetüket különböző méretű kövek egymásra rakásával építették, és a kövek közötti tereket habarccsal kézzel töltötték ki. A föld felett a falakat kívül-belül agyagtéglával burkolták, amelyek a beton formáiként is szolgáltak. A téglának kevés vagy semmilyen szerkezeti értéke nem volt, és használatuk főként kozmetikai volt.

A rómaiak grandiózusabb és művészebb szerkezeteihez, valamint a nagyobb tartósságot igénylő szárazföldi infrastruktúrájukhoz cementet készítettek egy természetesen reaktív vulkáni homokból, amelyet harena fossicia névvel illettek. A tengeri építményekhez és az édesvíznek kitett szerkezetekhez, például hidakhoz, dokkokhoz, viharcsatornákhoz és vízvezetékekhez pozzolant használtak. A pozzuolan és a harena fossicia kémiaiilag reagál a mésszel és a vízzel, hidratálja, ezáltal egy megszilárdult, közetszerű tömeg alakult ki, amely víz alatt is használható volt. A rómaiak ezeket az anyagokat nagy építmények építésére is használták, mint például a római fürdők, a Pantheon és a Colosseum, és ezek a szerkezetek ma is állnak.

A középkorban a betontechnológia fejlődése megtorpanni látszott. A Római Birodalom 476-os bukása után a pozzolán cement készítésének technikái elvesztek, majd 1414-ben az ezeket a technikákat leíró kéziratok felfedezése újra felkeltette az érdeklődést a betonnal történő építés iránt. A technológia csak 1793-ban tett nagy előrelépést, amikor John Smeaton [104] felfedezett egy modernebb módszert a cementhez használt hidraulikus mészs előállítására. Agyagot tartalmazó mészkövet használt, amelyet addig égettek, amíg klinkerré nem alakult, amelyet aztán porrá őröltek. Ezt az anyagot használta fel az angliai Cornwallban található Eddystone világítótorony történelmi újjáépítéséhez.

A vasbeton fejlődésének első nagy lépése a portlandcement feltalálása volt, amit Joseph Aspdin angol kőműves nevéhez köthető, aki 1824-ben szabadalmaztatta ezt a cementfajtát. Ezután ismét több évtizedet kellett várni az igazi áttörésre, amikor a már acéllal erősített betonszerkezetekből valóban elkészült az első vasbetonszerkezet. Franciaországban 1855-ben épült meg Francois Coignet tervei alapján az első két vasbeton épület. Egy vasúti őrház, és egy háromszintes lakóépület, ami a mai napig megtekinthető. Hivatalossá, vagyis szabadalmaztatott terméké 1892-ben lett Franciaországban egy bizonyos Francios Hennebique mérnök [105] munkásságának köszönhetően. A vasbeton másik fontos alkotójáról a betonacélról sem szabad megfeledkezni. A beton anizotrop, ami azt jelenti, hogy fizikai, mechanikai tulajdonságai térbeli iránytól függő. Amíg alapvetően a beton a nagy nyomószilárdsága miatt volt a korai időszak kedvelt építőanyaga, addig a húzófeszültség felvételére a nyomószilárdságának csak a 10%-át tudja felvenni. Ahhoz, hogy a betonszerkezet a húzó és nyírófeszültségek felvételére is alkalmas legyen, vasalással kell ellátni azt. A kezdeti időszakban a 18. század közepén egy francia kertész, Joseph Monier kis fémrudakat használt kerti kádak és edények megerősítéseként. Más rendszereket, mint például a Melan és Hennebique rendszereket az 1890-es évek elején fejlesztették ki, és a beton acéllal történő megerősítése a gyorsan elterjedt az egész világon. A vasbeton hőskorában először sima kerek vagy négyzet alakú acélrudakat használtak.

Tipikus keresztmetszeti mérete a 6,35 mm-től a 39, 68 mm-i terjedt, vagyis a az angolszász mértékegységben az 1/4 hüvelyktől az egy és negyed hüvelykig. Ez a mai értelmezésbe lefordítva azt jelenti, hogy a F6-os betonacéltól kezdve a F40-es betonacélig bezárólag használták ezeket. A korai betonacélok folyási határának karakterisztikus értékei a múlt század elején még csak 230 MPa körüli értékek voltak, addig a mai betonacélok elérik az 500 MPa-os értéket. Természetesen ez a nagyarányú változás a kohászat és a korszerű gyártástechnika fejlődésének volt köszönhető.

Észak Amerikában a vasbetonszerkezetek kifejlesztése Ernest Leslie Ransome nevéhez köthető, aki 1870-ben költözött az USA-ba Angliából, ahol előtte apja gyárában tanult mérnökként. A Pacific Stone Company felügyelője volt San Franciscóban. és 1884-ben szabadalmaztatott egy vasbeton rendszert, amelyben a betonacélt megcsavarták a kötés javítása érdekében. Kifejlesztett, majd szabadalmaztatott egy Ransome rendszert a praktikus vasbeton építéshez. 1886-ban Ransome két kis aluljáró hidat épített a San Francisco-i Golden Gate Parkban, amelyek ma is fennmaradtak, és amelyek az első vasbeton hidak Észak-Amerikában, és az első négy között a világon. Az eredmények hosszú sora ellenére Ransome továbbra is szkepticizmussal és ellenállással találkozott. Technikái akkor igazolódtak, amikor 1902-ben, a Bayonne-i bórax finomítóban pusztító tűz keletkezett, ami csak kismértékben károsította az általa tervezett vasbeton vázat. A tűz erejét mutatta, hogy az ott tárolt sárgaréz is megolvadt. A vasbetonszerkezet tűzzel szembeni ellenállás kulcsfontosságú eredmény volt az ipari építészetben a konkurens acél- és vasvázás szerkezetekkel szemben. Az óceáni parti bórax tűz Ransome szakmai életének diadala és igazolása volt. A vállalat 1897-ben épült bayonne-i épülete volt az első munkája a keleti parton, és az első olyan gyár, ami teljes egészében vasbetonból készült. A tűz és Ransome hírneve feltalálóként és kivitelezőként együttesen egyfajta karizmát adott a vasbetonnak, mint az új ipari kor anyagának.

Hasonlóképpen áttörő eredményként lehetett értékelni a vasbetonszerkezetet, mint földrengésbiztos építményt az 1906-os an Franciscó-i földrengés után. Ransome két kísérleti egyetemi épülete a Stanfordon lényegében károsodás nélkül túlélte a földrengést, miközben az egyetem hagyományos téglaszerkezetű épületei szó szerint összeomlottak körülöttük. New York főként felhőkarcolóiról híres, mégsem itt épült meg az első vasbeton szerkezetű felhőkarcoló. Ezt az elsőséget Cincinnati mondhatja magáénak, amely az Amerikai Egyesült Államok 65. legnépesebb városa és Ohio államban, az Ohio-folyó partján fekszik. Itt épült meg az első vasbeton felhőkarcoló 1903-ban, név szerint az Ingalls épület. A 16 emeletes tornyot a cincinnati Elzner & Anderson építészeti iroda tervezte, és elsődleges pénzügyi befektetőjéről, Melville E. Ingallsról nevezték el [106].

Az épület akkoriban merész mérnöki bravúrnak számított, és sikere nagyban hozzájárult ahhoz, hogy az Egyesült Államokban elfogadják a betonépítést a sokemeletes épületekben. 1902 előtt a világ legmagasabb vasbeton szerkezete mindössze hat emelet magas volt. Ekkor még sokan nem bíztak ebben az építőanyagban. Amikor az épület elkészült és a támasztékokat eltávolították, az egyik riporter állítólag egész éjjel ébren maradt, hogy elsőként számoljon be az épület összeomlásával kapcsolatban. Ransome vasbetonszerkezete azonban ismét igazolást nyert, és új utat indított a felhőkarcolók megteremtésében [106].

Az első és a második világháború közötti időszakban az építészek megragadták az új anyag izgalmas szabadságát és tervezési lehetőségeit, beleértve az íveket, spirális formákat és ívelt formákat. [107] A második világháborúban a vasbetont széles körben használták védelmi struktúrák építésére. Ilyenek voltak a légvédelmi és páncéltörő védelmi vonalai, a repülőtérei kifutópályák és hangárok, vagy például a hatalmas előre gyártott mobil "Mulberry Harbours" - ok, amelyeket Franciaországban használtak a tengerparton az ellátmány gyors kirakodására a D-napi partraszállás során. Ez a rendkívüli anyag hozta létre a világ legnagyobb építészeteti csodáit, beleértve a Sydney-i Operaházát, vagy a Fallingwater házat Pennsylvániában. De folytathatom olyan látványos építményekkel, mint a Panama-csatorna vagy a kolosszális Megváltó Krisztus szobor Rio de Janeiroban. Végül, de nem utolsó sorban ne szabad megfeledkezni meg a világ legmagasabb vasbeton szerkezetű épültéről sem, a Burzsi Kalifáról Dubaiban, az Egyesült Arab Emírségekben, ami 828 méter magas.

3.2 A vasbetonszerkezetépítés Magyarországon

A magyarországi vasbeton szerkezetek építésének kezdete egészen a XIX. század végéig nyúlik vissza, mikor is 1889-ben Solton megépült az első vasbeton közúti híd. [108] A híd a Sákör-csatorna fölött ível át, amely a környező mezőgazdasági területek vízelvezetését és öntözését szolgálja. A híd a mai napig kulcsszerepet játszik a térség közlekedésében, biztosítva az átkelést a csatorna felett, különösen a mezőgazdasági járművek és a helyi közúti forgalom számára. E kor vasbetonszerkezetépítésének egyik legjelentősebb személye Wunsch Róbert volt, aki már az 1884-ben alapította cégével számos gátat, zsilipet, vasúti átereszt, csatornát épített vasbetonból. Az általa épített hidak közé sorolható a városligeti Millenniumi híd, (24. kép) vagy például a Nyitra híd.



24. kép: A városligeti Millenniumi híd [109]

Tervezőként meg kell említeni Dr. Zielinski Szilárd műegyetemi tanárt, aki számos vasbetonszerkezetet tervezett, többek közt a már említett városligeti hidat is. A Vasvázás Betonépítmények Tervező Irodája néven ismert tervező irodája méltán volt a kor úttörő irodája, ahol a híres statikus keze alatt számos fiatal mérnök tanulta meg a vasbeton tervezés fortéját. A magyarországi vasbetonszerkezetépítés alig maradt le az európai, illetve az észak amerikai vasbeton építés kezdetétől, hisz az 1900-as évek elejétől már számos építmény szerkezete vasbetonból készült. Ide sorolható az 1906-ban átadott Balaton Klub székháza Balatonföldváron, amit Ray Rezső Vilmos építész és Zielinski Szilárd statikus mérnök tervezett. A ma már joggal műemlék épület az első olyan épület volt hazánkban, ami nem ipari funkciójú vasbeton szerkezetű. Az remekre sikerült épület rangját is jelezte, hogy a 30-as évektől kaszinóként működő Klubházhoz a vendégeket hidroplánnal szállították ide a Gellért térről.

Ipari épületek tekintetében az egyik legimpozánsabb épületünk a mai napig megtekinthető Sertésvásárcsarnok, ami 1932-ben nyílt meg Budapesten. A Gubacsi úti csarnokot Münnich Aladár tervezte, a statikája pedig Folly Róbert mérnök nevéhez fűződik. Az egylégterű csarnok a kor egyik legmodernebb csarnokának számított, ahol a főhajó mérete 25x130 méter, magassága pedig 13 méter. A háromhajós vasbetonszerkezetű csarnok teljes alapterülete közel 7.000 négyzetméter. Szintén Folly Róbert nevéhez köthető Magyarország első ívszerkezetű vasbeton völgyhídja a Szent István völgyhíd, amit 1937-ben adtak át a forgalomnak Veszprémben. A híd 185 méter hosszú, legnagyobb magassága pedig 37 méter.

Magyarország mai napig legnagyobb támaszközü vasbeton ív hídja a Varasdi völgyhíd, amit 1953-ban adtak át Mecseknádasdon. A hídpályaszint a völgy keresztmetszvény legmélyebb pontja felett mintegy 30 m magasságban van, a támaszköze 98 méter. És végül nem feledkezhetünk meg az ország leghosszabb monolit vasbeton szerkezetű hidjáról a Köröshegyi völgyhídról sem. Az 1872 méter hosszú hidat tizenhat darab pilon tartja, amelyek közül a legmagasabb 79,7 méter magas. A viadukt pilléréi közti legnagyobb távolság 120 méter.



25. kép: A Köröshegyi völgyhíd [110]

3.3 Monolit vasbetonszerkezetek különböző típusai

3.3.1 Alépítményi szerkezetek

Vasbetonszerkezeteket többféleképp lehet csoportosítani, az építményben való elhelyezkedése szerint, építéstechnológiai sorrendje szerint, vagy akár a geometriai kialakítása szerint. Alépítményi szerkezeteket tekintve megkülönböztetünk sákalapokat, illetve átmeneti és mély alapokat. Sokszor a műszaki szakirodalom is tévesen definiálja az alapozási típusokat, ugyanis nem a mélységük alapján, hanem a szerkezet vastagsága, illetve a vertikális kiterjedése alapján. Sákalapnak nevezzük a 2 méternél nem nagyobb vertikális kiterjedésű alaptesteket, míg mélyalapnak a 7-8 méternél nagyobb kiterjedésű alaptesteket [111].

Sákalapokat alkalmaznak, felszínközeli, kellő vastagságú teherbíró talajrétegek esetén. Kisebb teherbírású talajok esetén is alkalmazható a sákalapozás, amennyiben az építmény süllyedésre nem érzékeny, illetve, ha a mélyített sákalapozással elkerülhetjük a talajvízsüllyesztést, valamint a mélyalapozást. Ez esetben a leggyakoribb a lemezalap alkalmazása, ahol az építmény terhei nagy felületre osztható el. Mélyalapok alkalmazása elengedhetetlen azokban az esetekben, ha a terepszint közelében nincs kellő teherbírású talaj, ha sákalapozás nem megfelelő a talaj elégtelen teherbírása miatt, ha nagy az elcsúszás veszélye, vagy ha magas a talajvíz mértékadó szintje.

A disszertáció során csak olyan alépítményi szerkezetekkel foglalkozom, amelyek zsaluzati segéd szerkezeteket igényelnek a megépítésükhöz. Síkalapok közül ebbe a kategóriába sorolható a gerenda, illetve gerendarács, a vasbeton pont vagy szoliter alap, valamint a vasbeton lemezalap. Mindegyik szerkezet építéstechnológiájánál elvárt követelmény, hogy a szerkezet még ha földpartok között is van nem érintkezhet a környezet termett talajával. Ez azt jelenti, hogy míg a szerkezet alsó része a szerelő betonon fekszik, addig az oldalfalát zsalutáblákkal kell biztosítani a betonozás alatt, illetve a beton szilárdulásának első fázisáig, amíg a szerkezete kiszaluzható nem lesz. (26. kép)



26. kép: Talpgerendával erősített alaplemez zsaluzása, készítette a szerző, forrás: saját munka.

Mélyalapok tekintetében a cölöpalapok, illetve a résfalas munkagödörmegtámasztás esetén csak a szerkezeteket összefogó monolit vasbeton fejgerendával foglalkozom, ami vasbetonszerkezet, illetve zsaluzás technika szempontjából megegyezik a síkalapoknál alkalmazott talpgerenda építéstechnológiájával. Ennek oka, hogy míg a monolit vasbeton cölöpök, valamint vasbeton résfalak alapvetően földpartok között kibetonozott alapszerkezetek, addig mind a cölöpöket, mind pedig a réstáblákat fejgerendákkal kell összefogni a lavírsík felett. Fontos szempont, hogy a miért nem szerepel az épületszerkezet típusoknál sem a cölöpalapozás, sem pedig a résfal. Egyik oka a fent említett, földpartok közötti építés technológia, a másik, hogy midként technológia nagyon költséges alapozási módszer, ugyanakkor a betöltött szerepük alapján ezek a szerkezetek többfunkciós elemei az alapozásnak.

Általában elmondható a résfalról, hogy akkor gazdaságos, ha egyszerre tud alaptestként működni, ha magas talajvízszint esetén vízzáró szerkezetként is funkcionál, valamint, ha a munkagödör megtámasztását is szolgálja.

3.3.2 Magasépítési szerkezetek

A magasépítési monolit vasbetonszerkezeteit alapvetően két nagy csoportra lehet osztani a függőleges és a vízszintes szerkezetekre. Függőleges monolit vasbetonszerkezetekbe soroljuk a vasbeton falakat, támfalakat és a pilléreket. Vízszintes monolit vasbetonszerkezetek csoportjába soroljuk a födémeket, a gerendákat, lépcsőszerkezeteket [112].

Vasbeton falak funkciójuk szempontjából lehetnek tartószerkezeti falak, térelhatároló szerkezetek, illetve merevítő falak. Tartószerkezeti falak esetén általában azt értjük, amikor jellemzően az egész épület vasbetonból készül, beleértve a homlokzati falakat is. Merevítő falakat általában pillérvázak szerkezeteknél alkalmaznak, ahol merevítő falak a nagy síkbeli merevségük miatt képesek a vízszintes terhek felvételére hossz és haránt irányban. Térelhatároló falként való alkalmazásukkor hanggátló, illetve tűzállósági tulajdonságaik miatt alkalmazott szerkezet. Vasbeton támfalak alkalmazása általában vonalas létesítmények építésénél jellemző, de természetesen a magasépítési létesítmények alépítményi munkáinál is előfordulhat. Két alaptípust különböztetünk meg a szögtámfalat és a súlytámfalat. A vasbeton szögtámfal geometriai kialakításából adódóan a statikai modelljében a háttöltés is szerepet játszik az erőátvitelben, míg a súlytámfalak esetében az elcsúszás, illetve a kiborulás ellen a támfal geometriája és a tömege a mértékadó.

Vasbeton pillérek alapvetően egy funkciósok, csak és kizárólag teherviselő szerepük van. Geometriájukat tekintve jellemzően kör vagy négyszög keresztmetszetűek, a bennük lévő betonacél armatúrától hajlító és nyíróerő felvételére is alkalmasak. Magasépítésben a leginkább alkalmazott területe a monolit pillérvázak vasbetonszerkezet [113], ahol a rászterben megjelenő pillérváz alkotja a függőleges teherviselés gerincét.

Az Eurocode hazai bevezetés óta a családi házas építkezéseknél is kötelező elem lett a földrengések által keletkezett káros erők felvételére, annak ellenére, hogy általában ezeknél az épületeknél a falazott téglaszerkezet a fő teherhordó szerkezet. Fontos megjegyezni, hogy például a csarnokszerkezetek építésénél gyakori elem az előregyártott vasbeton pillér, de ahogy ezt a korábbi fejezetekben is jeleztem, jelen tanulmány csak a helyszínen készített monolit vasbetonszerkezetek építéstechnológiájával foglalkozik.

Vízszintes szerkezetek egyik legnagyobb csoportja a monolit vasbeton födém szerkezetek. A vasbeton födémek viszonylag vékony, lapos, szerkezeti elemek, amelyek fő funkciója a terhelésből adódó normál erők továbbítása a síkjukban, illetve azok átadása az alátámasztó szerkezetekre. E terhelés mellett azonban a tervezési eljárásoknak figyelembe kell venniük a környezeti hatásokat, például a hőmérsékletet és a födémek azon képességét, hogy ellenálljanak a síkjukkal párhuzamosan ható, vízszintes terheknek, és ezzel tárcsaként merevítsék az épületet. A födémeket épületek padlójaként és tetőjeként, tartályok és épületek falaiként, valamint hidakként használják viszonylag nagy koncentrált terhelés továbbítására. A födémek sokféle módon készülnek, előregyártott, monolitikus vagy kompozit, azaz előregyártott elemek kiegészülnek az építés helyszínén monolit vasbeton szerkezetekkel. Szerkezeti formáik is igen változatosak, készülhetnek tömör síkfelületekkel, lehet alul vagy akár felül bordázott, vagy akár üreges, kikönnnyített szerkezetű. Ezenkívül mindegyik típus megerősíthető vagy előfeszíthető. Egy másik fontos tényező, hogy milyen módon adja át a födém a rá eső terhet. Az épületfödémek terheit átadhatja gerendákon, pilléreken, monolit vasbeton falakon vagy éppen falazott szerkezeteken keresztül is. Építéstechnológia szempontjából a födém szerkezeteknél is csak a helyszínen készült monolit vasbetonszerkezetekkel foglalkozunk azokból is a klasszikus födém szerkezetekkel. A klasszikus alatt az alulról fölfelé haladó építési sorrendet értjük, szemben a födémemelési eljárásokkal, vagy akár a Milánói módszerrel szemben. Födémemelési rendszerek közül Magyarországon a legelterjedtebb módszer a bolgár, illetve az amerikai födémemelési mód volt. Hangsúlyozni kell, hogy mindkét eljárás esetében a vasbeton födém szerkezet a helyszínen készül, csak a zsaluzata és az építési sorrendje tér el a klasszikus, jelen disszertációban vizsgált rendszerektől. A födémemelési rendszerek zsaluzataival a 2. fejezetben foglalkozom részletesen.

A milánói módszer [114] a feltételezett 0,00 padlószinttől, vagyis a földszinttől lefele menő, pinceszinti födém szerkezetek speciális kivitelezési technológiája. A födém szerkezet ebben az esetben is a helyszínen betonozott szerkezet, csak az utóélete más a többi rendszerhez képest. A módszer lényege, hogy a földszinti padozaton elkészült födémlemez alól bányásszák ki a földet, és így haladnak lefelé. Ennek előfeltétele, hogy először az jövőbeli vasbeton pilléreket kiváltó acél pilléreket sajtolják le a talajba.

A monolit vasbeton gerenda készülhet önálló teherviselő szerkezetként, amire közvetlen kerül a kiváltandó teher pontszerű, vagy vonalmenti eloszlásban, vagy gyámolító szerkezetként monolit födém szerkezetekkel egybedolgozó szerkezetként.

Teherbírás szempontjából jellemzően két vagy többtámaszú tartóként működik és fő feladata a terhek kiváltása, valamint azok átadása a függőleges teherhordó szerkezetekre. Monolit vasbeton lemezekkel kombinálva működhet alul bordaként, sűrűbordás alátámasztásként, illetve felülbordaként. Közös alkalmazásuk esetén csökkenteni lehet a vasbeton lemez vastagságát, valamint növelni lehet a lemez alátámasztási fesztávját, amivel nagyobb szabad terek tervezése jöhet létre. Üzemben készült, előregyártott vasbetongerendákkal jelen dolgozat nem foglalkozik.

Lépcsőszerkezetek általános definíciója, hogy magasság különbségből adódó szintkülönbségek összekötésére szolgáló szerkezet. Léteznek épületen kívüli terep és egyéb lépcsők, valamint épületen belüli, illetve szorosan az épülethez köthető lépcsőszerkezetek. Anyagukat tekintve lehet kő, téglá, műkő, beton, vasbeton, fa vagy acél szerkezetű. Jelen dolgozat csak a vasbeton szerkezetű lépcsőkkel foglalkozik, melyek szorosan köthetők valamely épület vagy épület típushoz. A vizsgálat épületszerkezet szempontjából nem tesz különbséget, hogy íves, törtvonalú, egyenes, illetve, hogy karok és funkciók szerint egykarú, kétkarú, többkarú, vagy hogy előlépcső, fölépcső vagy esetleg menekülő lépcsőről van e szó.

3.4 A különböző vasbetonszerkezetek építéstechnológiája

3.4.1 Alépítményi monolit vasbetonszerkezetek építéstechnológiája

Ahogy ez már korábban is említésre került, a monolit vasbetonszerkezetek építéstechnológiája három fő pillérre támaszkodik, a betonacél szerelésre, a zsaluzásra és a betonozásra. Természetesen léteznek még megelőző, úgynevezett előkészítő tevékenységek a három fő fázis előtt, ahogyan a betonozás befejezést követően sem ér véget a folyamat, ekkor kezdődnek az utómunkálatok.

A vizsgálatom során alépítményi munkákat tekintve csak a gerendákkal, gerendaráccsal, vasalt pontalappal, valamint a vasbeton lemezalappal foglalkozom. Monolit vasbeton gerenda építésénél három alapvető technológiát különböztetünk meg [115]. Az első eset amikor a gerenda a termett talajra kerül. Ahogy ezt már korábban is leírtam a vasbetonépítés íratlan alapszabálya, hogy a méretezett vasbeton nem érintkezhet a termett talajjal, mint például ahogyan egy klasszikus sávalapnál ez természetesen megengedett. Így a talajon fekvő gerendánál első lépés egy szerelőbeton készítése, C12/15, vagy C16/20 betonminőséggel 8,00 és 10,00 cm rétegvastagságban. Szélességét tekintve mindig szélesebb kell, hogy legyen a terv szerinti gerendaszélességnél, hogy a kétoldali zsaluzat szilárd síkfelületre tudjon elhelyezkedni.

Ennek minimális szélessége a zsaluszerkezet táblakeresztmetszeti szélességének a kétszerese kell, hogy legyen. Ez rendszerzsalu típusának függvénye, általában 2x15 cm többlet szélességet jelent. A szerelő beton szilárdságát illetően ezért javasolt az nagyobb végszilárdságú beton alkalmazása, mert az hamarabb eléri azt a terhelhetőségi állapotot, amin már betonacélt lehet szerelni. Ez C16/20-as szilárdságú beton esetén egy azt jelenti, hogy már a betonozást követő második nap lehet rajta dolgozni, ugyanis ismerve a beton szilárdulási időbeni grafikonját, egy ilyen típusú beton már eléri a végszilárdságának 25%-át. [116] A betonacél szerelés nagyban függ a beruházás léptékétől, illetve a szerkezetépítő kivitelező erőforrásától. Jellemzően a mai korszerű építéskivitelezési rendszerben a betonacélt a statikai tervek alapján betonacélhajlító üzemekben készítik elő, a tervezői konszignációban szereplő számozott rendszerben, pontos méretre vágva és a tervezett geometriára lehajtva számítógép által vezérelt gépsorokon. Ennek nem csak az a nagy előnye, hogy valóban a geometria pontos méreteit tartva készülnek el, például a gerenda kengyelei, hanem számozott, kötegelt rendszerben érkeznek a helyszínre, ahogy az a statikai terveken szerepel. Másik nagyon fontos tényező a költség oldal. Nem csak azért lesz olcsóbb az üzemben lehajlított betonacél, mert gépi módon történik az előkészítés, hanem mert nincs benne veszteség. A betonacélt általában 6 és 12 méteres szálakban lehet kapni, ez az acélkohóból kijövő szabványosított méret. Amennyiben ezt a szál vasat az építés helyszínén vágják és hajlítják le átlagosan 10 és 15 % közötti hulladék vas, azaz káló keletkezik, amit ott, azon a beruházáson már nem tudnak felhasználni a méretei miatt, így jóesetben a méhtelepre kerül ez a hulladék mennyiség. Ez azt jelenti, hogyha egy köbméter vasbetonhoz számított átlag betonacélt 130 kg/m³-nek vesszük, akkor ez egy 210 lakásos társasház esetén 1000 m³ beton felhasználása mellett 15 tonna betonacél hulladékot jelent, ami mai áron körülbelül 6 millió forint. Ugyanezt a betonacél gyártó üzemben 0,00 százalék hulladékkal tudják előállítani, ugyanis a gyár minden leeső darabot félre tesz, raktároz, és amikor eljön az a megrendelő, akinek megfelel az elraktározott méret, azt ott értékesíteni tudja.

A betonacél üzemben lehajlított és vágott betonacélt a kivitelező vagy a helyszínen szereli össze, mint gerenda, vagy a saját üzemében. Ez általában akkor történik meg, ha egy azon méretű gerendából szignifikánsan sok folyóméter készül, például nagy több 10 ezer négyzetméteres ipari csarnok alapozásánál. Másik jellemző körülmény lehet az időjárás. Télen, vagy a vártnál csapadékosabb időszakban is a kivitelező, ha teheti ezeket a gerendákat már csarnokban előre szerelt állapotban viszi ki az építés helyszínére, és ott már csak a csomópontokat kell helyszíni szereléssel rögzítenie. A betonacél szerelése után következik a gerenda kétoldali zsaluzatának összeszerelése.

Korszerű keretes zsaluzati rendszereknél a betonnyomást [117] az átkötési menetes betonacél száruk veszik fel. A szerkezet betonozásának technológiája a helyszíni adottságoktól függ, alaptestek esetén három jellemző módon lehet a betont a zsaluzatok közé juttatni. A legegyszerűbb, ha olyan a gerenda elhelyezkedése, hogy a betonszállító mixerkocsi az alaptest hossza mentén tud közlekedni a gerenda mellett, akkor közvetlen a mixerből a kocsi csúszdáján keresztül jut be a beton a zsaluzatba. Konténeres betonozásnak a feltétele, hogy daru álljon a kivitelező rendelkezésére, ami leggyakoribb esetben a magasépítésben a toronydaru. Jól szervezett és gazdaságos kivitelezés esetén azonban a toronydaru jellemzően az alapozásnál még nincs telepítve, hisz annak több millió forint a havi költsége. Harmadik megoldás a szivattyús betontechnológia, aminek nagy előnye, hogy gyorsan és viszonylag kis élőmunka igényrel lehet az alaptesteket betonozni.

Vasbeton alaplemez esetén hasonlóak a munkafolyamatok, csak az arányok merőben eltérőek. A legkisebb hányad itt mind az élőmunkát, mind pedig a felhasznált anyagokat tekintve a zsaluzási munka, ahogyan azt a következő fejezetekben a számolások is igazolják. A lemezalapoknak csak a széleit kell a kontúr mentén bezsaluzni, ami folyóméterben akár száz méter is lehet, de miután a lemezvastagság általában 20-50 cm közötti érték, itt a betonnyomás, amire a zsaluzatot méretezni kellene nem szignifikáns. Legnagyobb emberi munkaigénye a betonacél szerelésnek van a lemezalap nagy horizontális kiterjedése miatt. A betonozás ebben az esetben szinte kizárólag betonszivattyúval történik jellemzően a nagy betonmennyiség miatt.

3.4.2 Magasépítési vasbetonszerkezetek építéstechnológiája

Ebben a fejezetrészben azok a fent említett vasbetonszerkezetek építéstechnológiáját ismertetem röviden, amiket a figyelembe vettem a különböző épülettípusok elemzésénél, vizsgálatánál. A vasbetonszerkezetek időbeni kiszaluzhatóságát, mint fő szempontot figyelembe véve a szerkezetek sokféle csoportosítási lehetőségei közül a függőleges és vízszintes megkülönböztetést választom, erre majd a következő fejezetekben térek ki részletesen.

Függőleges monolit vasbetonszerkezetek nagy csoportjába a falakat és pilléreket soroljuk. A magasépítési monolit vasbetonszerkezetek az alépitményekhez hasonlóan itt három nagy építési fázisra bontható, a zsaluzásra, vasszerelésre és a betonozásra.

A falak esetén tankönyv szerint először a készülő fal egyik oldalát zsaluzzák be, annak ideiglenes megtámasztása után kezdik meg a betonacél szerelést. A magyarázat, hogy így a már elkészült egyoldali zsaluzatnak lehet hozzászerezni az armatúrákat.

A gyakorlat alapján ma már ez a fajta eljárás csak az 6 méter feletti falszerkezetekre érvényes, ahol valóban nem tud önállóan megállni a kétsoros betonacélváz. Korszerű vázas építéstechnológiánál a 6 méternél nem magasabb falszerkezetek esetén első fázisban megszerelik a teljes betonacél armatúrát és csak ezután kezdődik a zsaluzási folyamat. Ez azért tehető meg, mert az alaplemezbe befogott szerkezeti kapcsolattal rendelkező öntött falnál az alaplemezbe már előre bebetonozott túske vasakhoz kell rögzíteni a vasalatot, ami önhordó, nem kell külön támaszrendszer hozzá. Ezzel a technológiával nagyon meg lehet gyorsítani a folyamatot, ugyanis ilyen módon a zsaluzás és vasszerelés időben függetlenné válik egymástól, és így nagyon meg tud gyorsulni a folyamat. A betonacél szerelők előre tudnak dolgozni, és nem befolyásolják a zsaluforgatás ritmikus ütemét. Korszerű zsaluzati rendszereknél már nem szerelik meg előre az egyik oldali zsaluzatot a betonozandó fal teljes hosszában, hanem táblánként, elemenként haladva párba szerelik a kétoldali zsalutáblákat. Így az átkötések, amiről majd a következő fejezetben lesz szó, sokkal gyorsabban elkészíthetők, melyek alapvetően a teljes betonnyomás felvételét szolgálják.

A kész zsaluzatba a betont konténeres betonozási technológiával, vagy betonpumpa segítségével tudják bejuttatni. [118]

Jellemzően vasbeton szerkezetet vibrálás, vagyis a beton tömörítése nélkül nem lehet készíteni. A vibrálással elérhető, hogy a betonozáskor a betonba jutó levegő a felszínre juttasson, ami azért fontos mert a bent maradó levegő következményeképp lesz a betonozott felület zárványos, darázs-fészkes. A másik oka a vibrálásnak, hogy a rázás okán a finoman mozgásban lévő, a beton kötőanyagát képező cementtej körül tudja zárni a betonban lévő betonacélt, biztosítva ezzel a húzóerő felvételét, amiért a betonacél eredendően bekerült a betonba. Falzsaluzat esetén a beton vibrálása kétféleképpen történhet, tűvibrátor segítségével, vagy a zsaluzatra kívülről felszerelt rázó vibrátorral. Gyakorlatban a tűvibrátor használata jobban elterjedt módszer, mint a zsalura szerelt rázófej, ugyanis tűvibrátor független a zsaluzat szerkezetétől, így egyaránt használható falak, pillérek födémek, valamint gerendák betonjainak megvibrálására.

A falzsaluzatra szerelt vibrátor nem alkalmazható minden típusú zsaluzatnál, mert egyes zsaluzati rendszerek táblakapcsolata ékes rendszerű, ahol a vibrátor az éket ki tudja rázni és a zsalutábla szétnyílásához vezethet.

Monolit vasbeton pillérek építéstechnológiája nagyon hasonlít a fent említett öntött falas rendszerhez. Ugyanolyan ütemezéssel készül, mint a falszerkezet, épület szintekre bontva párhuzamosan, egyidőben történik mindkét szerkezet típus betonacél szerelése, zsaluzása és betonozása. A pillér betonozás igazi veszélye a betonozási sebességben lakozik.

Az úgynevezett korszerű keretes zsaluzatok megjelenése előtt deszkából és fa gerendából ácsolt zsaluszerkezetek teherbírása a beton nyomással szemben sokkal kisebb volt, mint a mai zsaluzatoké, de a betonozás technológiai is jóval fejletlenebb volt, betonszivattyúk és toronydaruk nélkül. A keretes zsalurendszerek általában úgy vannak statikailag méretezve, hogy a betonnyomást a betonozás sebességétől függetlenül szintmagas zsaluzat esetén, ami egy átlagos 2,5-3 méteres födém magasságot jelent, korlátozás nélkül fel tudják venni. Ez azt jelenti, hogy ezek a táblák $60-80 \text{ kN/m}^2$ teherbírásúak.

A gyakorlat azonban azt mutatja, hogy az optimális igénybevételek megtartásához még szintmagas betonozások esetén is ez magassági szakaszolással történik. Ez azt jelenti, hogy az egy ütemben bezsaluzott falszakaszt 60-80 centiméteres magasságokban terítik betonnal a hossz mentén folyamatosan, és mire a falszakasz végére érnek, ami átlag 15-20 méteres már kezdik is előről a második sor terítéséve. Jellemzően ez az egyik oka, amiért a függőleges szerkezeteket jellemzően nem betonszivattyúval, [119] hanem konténeres, darus technológiával betonozzák. ami azt jelenti, hogy ugyan valamivel lassabb ez a betonozási mód a szivattyúnál, de csak pont annyival, ami idő szükséges arra, hogy a terített rétegek alatt csökkenjen a betonnyomás.

A vibrált betont függőleges szerkezetek esetén hidrosztatikai nyomással kell számolni, de az időt figyelembe véve, ezt rétegenként lehet értelmezni. A másik ok, amiért nem feltétlen kell a betonpumpás technológiát alkalmazni a függőleges szerkezetek betonozásánál az az, hogy az egyes zsaluzási ütemekhez viszonylag kis beton mennyiség járul, ami azt jelenti, hogy egy átlagos 15-20 méteres falszakaszra jut $10-15 \text{ m}^3$ beton. Ez konténeres betonozás esetén 15-20 karolás, ami pont annyi időt vesz igénybe, ami az egyes területi szintek közt szükséges, hogy az alsóbb rétegekbe már megszűnjen a hidrosztatikai nyomás.

De mi a helyzet a pilléreknél. A problémát az okozza, hogy kicsi a pillér relatív űrtartalma. Ez azt jelenti, hogy egy átlag keresztmetszetű, 30×30 centiméteres, átlag magasságú, például 3 méter magas pillérbe nem több, mint $0,27 \text{ m}^3$ beton jut. Egy átlagos beton szivattyú teljesítménye $140-150 \text{ m}^3$ beton óránként, ami azt jelenti, hogy percenként kb. $2,5 \text{ m}^3$ betont tud kipumpálni magából. A helyszíni mérések alapján ezeknek a szivattyúknak a szívás és lökés periódus ideje 3, 75 másodperc, vagyis egy lökésre egy átlagos típusú, magyarországi viszonylatban elterjedt betonpumpánál $0,15 \text{ m}^3$ beton jut.

Így praktikusán egy átlag méretű pillér két lökésből, nem egész 7 másodperc alatt megtelik, és 3 méteres magasság esetén közel 70kN/m^2 -es, azaz 7 tonnás beton nyomással a zsaluzat alsó felében. Ez sokszor zsaluösszeomláshoz vezet, amiről a 3. fejezetben írok részletesen.

A vízszintes vasbetonszerkezetek építéstechnológiájának hasonlóan a fent említett monolit falakhoz, pillérekhez három fő eleme van, a vasszerelés, a zsaluzás és a betonozás. A sorrend a vízszintes szerkezeteknél megcserélődik, hisz itt bármelyik szerkezeti rendszer esetén is, legyen az födém, gerenda, vagy lépcsőszerkezet az első lépés a zsaluzat elkészítése. Ennek a részletes technológiai folyamatát a következő fejezetben ismertetem. A vízszintes szerkezetek mennyiségi ütemezése is nagyban eltér a függőleges szerkezetek építésétől, mert amíg a falak, pillérek zsaluzatait napi szinten lehet forgatni, addig a vízszintes szerkezetek zsaluzatát jóval hosszabb ideig kell be alatta tartani, hisz a szerkezeteknek önhordóknak kell lenniük. Ez azt jelenti, hogy egy átlagos vízszintes monolit vasbetonszerkezete zsaluzata 5-7 napig gyámolítja ideiglenesen a szerkezetet, ezért ezek volumene is jóval nagyobb, mint a napi forgatást kielégítő függőleges zsaluzatoké. Ipari léptékben ezek összefüggően $500\text{-}1000\text{ m}^2$ felületek, aminek elkészülte után kezdhető meg a betonacél szerelése.

Ez azt is mutatja, míg a falak, pillérek esetén a három vezértevékenység, a zsaluzás, vasszerelés és a betonozás napi ciklikussággal követheti egymást, addig a födém szerkezeteknek nem lineáris és nem dinamikus e három fázis ciklusa.

A betonacélszerelés befejezésével kezdődik a födém betonozása, ami ellentétben az ezt megelőző két tevékenységgel a zsaluzással és a vasszereléssel már csak egy napos tevékenység, amit egy ütemben kell végrehajtani. Jellemzően ezt már betonszivattyús technológiával készítik, mert itt már egy 500 m^2 -es födémbe is nagyságrendben 125 m^3 betont kell bedolgozni. A monolit vasbetongerendák készítésének üteme és technológiája közel megegyezik a födémrendszer építéstechnológiájával, azzal a különbséggel, hogy itt a gerenda oldalzsaluzata már jóval nagyobb betonnyomásnak lehet kitéve, így azok már más támaszrendszerben működnek. Jellemzően a gerendák 90%-ban a födémrendszerekkel együtt készülnek, akár mint alul-vagy felül bordás vasbeton födémek, akár mint egy kiváltó, nyílászáró rendszer a födém szerkezetének. A monolit vasbeton lépcsőszerkezete építése általában időben eltér a hozzá tartozó födém szerkezet építésétől, jellemzően ez jóval később, a födém kiszaluzása után készül, független technológiával. Az építési sorrend ugyan az, mint a födémeknél, illetve a gerendáknál, annyi kiegészítéssel, hogy itt a zsaluzás két ütemben zajlik.

Először a fenéklemez készül el, majd ezt követi a betonacél szerelés, majd ismét a zsaluzók feladata következik a lépcsők zsalukkal történő fokolása. Ennek befejeztével kezdődhet meg a betonozás, amit már nem csak szivattyús technológiával, hanem daru rendelkezése állása esetén konténeres technológiával is elvégezhető.

3.5 A szerkezetek vizsgálati módszertana

Harmadik hipotézisemre alapuló vizsgálat alapja 33 darab már elkészült épület utókalkulációjának költségelemzése. Az épületek lakó és középületek. Az ipari épületek vizsgálata nem volt tárgy a kutatásomnak. Az oka, hogy az ipari vasbetonszerkezetek túlnyomó többsége előregyártott vasbetonszerkezetű, ami azt jelenti, a három fő vizsgálat technológia közül a zsaluzás technológiája egészen más a monolit szerkezetépítés technológiájánál, így az összehasonlítás nem lenne irányadó.

A vizsgálat alapvetően két fő ágon folytattam. Ez egyik, ahol az egyes épület típusok alapján elemzem a monolit vasbetonépítés három fő fázisának a zsaluzásnak, a vasszerelésnek és a betonozásnak a költségarány alakulását. [120]

A másik kutatási fővonal, amikor az egyes épülettípusokon belül az egyes szerkezeti elemeket vizsgálom a költségoldalról a fent említett három fő technológia függvényében.

A felhasznált adatok alapja az egyes épületekre vonatkozó konkrét kivitelezői költségvetés, melyek mennyiségi adataimra tervezői árazatlan költségvetésből lett kinyerve. Az adatok a részletes kivitelezői költségvetésből vett költségek, amik vonatkoznak az anyag, és a munkadíj költségére is.

Az egyes épületeknél a teljes, rendelkezésemre álló költségvetésből kigyűjtöttem a zsaluzási, a betonacélszerelési és a betonozási költségeket, ezek összegzése alkotja a teljes szerkezetépítés költségét. Minden épület egy külön adatbázisban szerepel az ide vonatkozó szerkezetépítési költség táblákkal.

A 6. táblázatban a 33 épület közül a 4-es számú iroda épületnek mutatom be mintajelleggel a költség tábláját.

6. táblázat: 4-es számú irodaépület költségtáblája, készítette a szerző, forrás: saját munka.

Tétel szövege	Egység	Mennyiség	Anyag egységár Ft	Díj egységre Ft	Anyag összesen Ft	Díj összesen Ft	A+D összesen Ft	Zsaluzott m2	Beton m3
Zsaluzási munkák alapozás							952 293	232	
Egyoldali alaplemez szél zsalu készítése egyenes kivitelben	m ²	176	2 421	1 691	426 114	297 563	723 677		
Süllyesztékek zsaluzata	m ³	38	2 421	1 691	92 002	64 247	156 248		
Egyoldali szerelőbeton szél zsalu készítése egyenes kivitelben	m ²	18	2 421	1 691	42 611	29 756	72 368		
Zsaluzási munkák felmenő szerkezet							180 719 551	41 476	
Egyoldali falzsalu készítése függ. sík felülettel bélésfal	m ²	669	2 302	1 701	1 539 962	1 137 497	2 677 460		
Kétoldali falzsalu készítése függ. íves felülettel	m ²	354	2 637	1 891	934 631	670 267	1 604 898		
Kétoldali falzsalu készítése függ. sík felülettel külső falhoz	m ²	9 952	2 131	1 652	21 205 579	16 443 355	37 648 934		
Kétoldali falzsalu készítése függ. sík felülettel mellvéd	m ²	3 889	2 131	1 652	8 285 866	6 425 075	14 710 942		
Födénzsalu készítése ferde sík felületen, alátámasztó állvánnyal, 4 m – ig	m ²	570	2 790	2 732	1 590 825	1 558 206	3 149 031		
Födénzsalu készítése lépcsőzetes kivitelben rámpa fölött	m ²	131	2 790	2 732	365 326	357 835	723 161		
Födénzsalu készítése vízszintes sík felületen, alátámasztó állvánnyal, 4 m – ig	m ²	19 533	2 570	1 939	50 192 562	37 880 774	88 073 336		
Födénzsalu készítése vízszintes sík felületen, alátámasztó állvánnyal, 6 m felett	m ²	99	5 139	3 879	509 911	384 835	894 746		
Egyoldali koszorú zsalu készítése egyenes kivitelben	m ²	590	2 531	1 911	1 494 235	1 127 982	2 622 217		
Gerendazsalu készítése, alátámasztó állvánnyal	m ²	1 644	2 684	2 082	4 412 201	3 423 072	7 835 273		
Lépcsőpihenők zsaluzása alátámasztó állvánnyal	m ²	117	4 413	2 943	515 903	343 978	859 881		
Oszlopzsalu készítése kör keresztmetszettel	m ²	479	3 124	2 341	1 497 739	1 122 250	2 619 989		
Oszlopzsalu készítése kör keresztmetszettel 4 m felett	m ²	35	4 690	3 516	165 008	123 679	288 687		
Oszlopzsalu készítése kör keresztmetszettel 6 m felett	m ²	16	6 247	4 681	102 137	76 526	178 663		
Pillérzsalu készítése négyszög keresztmetszettel	m ²	3 395	2 847	2 111	9 665 427	7 166 907	16 832 333		
Alapozási vasbeton munkák							72 004 383		1 995
Betonacél szerelése B 60.50 min. acélból	to.	150	150 236	57 316	22 475 276	8 574 399	31 049 674		
Szerelőbeton készítése C16/20-XC2-32-F2 min. betonból lemezalap alatt	m3	235	15 750	4 510	3 696 793	1 058 587	4 755 380		
Vb. lemezalap készítése C30/37-XC3-XD2-XA1-XV2(H)-16-F4 min. betonból 60 cm vastagságban	m3	1 760	16 850	3 718	29 655 648	6 543 680	36 199 328		
Felmenő szerkezetek vasbeton munkák							385 538 437		7 356
Betonacél szerelése B 60.50 min. acélból	to.	1 121	150 236	57 316	168 475 928	64 274 175	232 750 103		
Vb. fal készítése C30-16/KK min. betonból, 20 cm vtg.-ban	m ³	1 172	16 850	3 916	19 742 574	4 588 299	24 330 873		
Vb. fal készítése C30-16/KK Vz4 min. betonból, 30 cm vtg.-ban, bélésfal	m ³	343	17 290	3 916	5 935 415	1 344 324	7 279 739		
Vb. gerenda C30-16/KK min. betonból	m ³	136	16 850	3 916	2 297 807	534 025	2 831 832		
Vb. fejgerenda feletti gerenda C30-16/KK Vz4 min. betonból	m ³	108	17 290	3 916	1 870 929	423 750	2 294 680		
Vb. ferde födém (rámpa) készítése C30-16/KK min. betonból 26 cm vtg.-ban	m ³	148	16 850	3 869	2 485 346	570 633	3 055 979		
Vb. födém készítése C30-16/KK min. betonból 28 cm vtg.	m ³	5 026	16 850	3 869	84 685 747	19 443 777	104 129 524		
Vb. lépcső pihenő készítése C30-16/KK min. betonból	m ³	19	16 850	5 847	314 080	108 979	423 059		
Vb. pillér készítése C30-16/KK min. betonból	m ³	405	16 850	4 012	6 819 114	1 623 535	8 442 649		
Teljes szerkezet építés							639 214 664	41 707	9 351

Az összesítő munkalapon (7-es táblázat) a sorok tartalmazzák az egyes vizsgált épületeket, szám szerint 33-at, az oszlopok pedig a különböző vizsgálati elemekhez tartozó számított mennyiségeket, szerkezeti típusokra és zsaluzási szerkezetekre bontva, a hozzá tartozó anyag mennyiségekkel és költség (forint) adatokkal.

7. táblázat: a vizsgált épületek összesítő táblázata, készítette a szerző, forrás: saját munka.

Épület kategória	Épület típusa	Építés éve	Összes zsaluzási munkák		Összes vasbeton munkák		Teljes szerkezetépítés (vasbeton + zsalu)
			A + D összesen (Ft)	Zsaluzott m ²	A + D összesen (Ft)	Betonozott m ³	A + D összesen (Ft)
Lakóépület	Családi ház	2017	1 327 858	219,09	3 957 959	103,55	5 285 817
Lakóépület	Családi ház	2017	1 138 479	290,45	6 092 196	100,24	7 230 675
Lakóépület	Családi ház	2016	2 803 757	527,28	6 820 738	134,12	9 624 495
Lakóépület	Családi ház	2019	4 386 318	357,17	9 777 135	163,07	14 163 453
Lakóépület	Családi ház	2015	4 371 070	928,10	12 255 225	276,15	16 626 295
Lakóépület	Családi ház	2017	6 318 574	1 110,24	19 787 162	375,84	26 105 736
Lakóépület	Családi ház	2011	4 046 767	883,57	13 005 070	171,44	17 051 837
Lakóépület	Családi ház	2011	3 975 066	878,98	12 385 525	193,20	16 360 591
Lakóépület	Társasház	2017	68 310 440	8 621,00	187 651 110	2 220,00	255 961 550
Lakóépület	Társasház	2017	67 190 619	8 856,00	180 672 756	2 027,80	247 863 375
Lakóépület	Társasház	2017	213 048 091	28 829,18	413 580 194	5 828,86	626 628 284
Lakóépület	Társasház	2020	25 436 332	2 797,53	57 182 113	709,17	82 618 445
Lakóépület	Társasház	2021	19 421 339	2 390,35	55 800 173	473,20	75 221 512
Középület	Irodaház	2017	25 474 066	4 386,67	60 528 545	796,82	86 002 611
Középület	Irodaház	2017	38 988 203	6 939,20	100 125 401	1 568,22	139 113 604
Középület	Irodaház	2008	84 444 263	20 525,51	225 906 666	5 039,62	310 350 929
Középület	Irodaház	2009	181 671 844	41 707,11	457 542 820	9 351,03	639 214 664
Középület	Irodaház	2020	713 324 848	75 354,45	2 189 863 347	22 508,11	2 903 188 195
Középület	Irodaház	2020	122 307 646	10 292,03	154 965 081	1 825,40	277 272 727
Középület	Szálloda	2020	45 082 336	2 801,20	58 424 610	559,00	103 506 946
Középület	Szálloda	2020	222 693 120	8 327,20	325 697 558	2 959,43	548 390 678
Középület	Szálloda	2020	295 090 960	28 589,47	772 150 622	8 065,85	1 067 241 583
Középület	Kórház	2007	32 523 386	5 267,01	90 800 349	1 261,23	123 323 736
Középület	Kórház	2009	11 536 402	2 410,72	41 451 513	576,93	52 987 915
Középület	Rehab	2015	21 664 251	5 089,00	47 335 984	965,90	69 000 235
Középület	Oktatás	2014	47 524 659	8 175,88	161 670 681	2 002,89	209 195 340
Középület	Oktatás	2016	259 231 329	38 465,20	505 703 019	6 737,50	764 934 348
Középület	Gyógyfürdő	2019	65 381 902	5 159,80	126 882 723	1 606,90	192 264 625
Középület	Nyomda	2018	3 849 739	608,16	12 450 870	232,90	16 300 609
Középület	Kiállítóház	2019	67 319 678	2 243,50	63 980 085	489,50	131 299 763
Középület	Óvoda	2016	3 537 326	460,80	5 168 619	99,65	8 705 945
Középület	Templom	2010	4 776 458	1 101,96	16 120 501	338,68	20 896 959
Középület	Jógaház	2017	2 648 052	857,39	8 305 264	121,51	10 953 316

3.5.1 A vizsgálatba bevont épülettípusok

A vizsgált épületkategóriák, épület típusok:

- Lakóépület:
 - családi ház,
 - társasház,

- Középület:
 - irodaház,
 - kórház
 - oktatási épület
 - egyéb:
 - gyógyfürdő
 - nyomda
 - kiállítóház
 - óvoda
 - templom
 - közösségi ház.

A lakóépületre nincsen egzakt definíció. Általánosságban elmondható, hogy azt az építmény típust nevezik lakóépületnek, melynek legalább 50%-át lakás céljára használják. A lakást az új, már érvényben lévő TÉKA [121] nevesíti a 105.§ (1) alapján:

„126. § (1) A lakás olyan huzamos tartózkodás céljára szolgáló önálló rendeltetési egység, melynek helyiségeit úgy kell kialakítani, hogy azok együttesen tegyék lehetővé

a) a pihenést, az alvást és az otthoni tevékenységek folytatását,

b) a főzést, étkezést és mosogatást,

c) a tisztálkodást, a mosást, az illemhelyhasználatot,

d) az életvitelhez szükséges anyagok és tárgyak tárolását,

e) szükség esetén az otthoni, irodai jellegű munkavégzést.

(2) A lakásnak fűthetőnek kell lennie, a rendeltetésének megfelelő szellőzést, megvilágítást minden helyiségben biztosítani kell.

(3) A lakószoba a lakás minden olyan közvetlen természetes megvilágítású és szellőzésű, fűthető, huzamos tartózkodás céljára szolgáló helyisége, amely lehetővé teszi az (1) bekezdés a) és e) pontja szerinti tevékenységek folytatását és az azokhoz kapcsolódó berendezések elhelyezését.

(4) A (3) bekezdés szerinti lakószoba hasznos alapterülete legalább 10 m² a legalább hét lakást tartalmazó lakóépületben.

(5) A 30 m²-t meghaladó hasznos alapterületű lakás legalább egy lakószobájának legalább 18 m² hasznos alapterületűnek kell lennie. Ebbe az alapterületbe nem számítható be a főző és az étkező funkció céljára is szolgáló helyiség, helyiségrész hasznos alapterülete, amennyiben az a lakószoba légterével közös.

(6) A 30 m²-t meghaladó, de legfeljebb 80 m² hasznos alapterületű lakásban egy legalább 2 m² hasznos alapterületű tároló helyiséget kell létesíteni, amely a lakáson kívül is elhelyezhető, ha a lakás bejáratától közös használatú közlekedőn 10 méteren belül elérhető a tároló helyiség.

(7) A 80 m²-t meghaladó hasznos alapterületű lakásban egy legalább 5 m² hasznos alapterületű háztartási helyiséget kell kialakítani.

(8) A legfeljebb 30 m² hasznos alapterületű lakás lakószobájának legalább 16 m² hasznos alapterületűnek kell lennie. Amennyiben a lakószoba főzés céljára is szolgál, a szoba hasznos alapterülete legalább 20 m².

(9) A (8) bekezdés szerinti lakásban olyan előteret vagy előszobát kell kialakítani, amelyben egy legalább 1,20 × 0,60 méter alaprajzi méretű, 2,40 méter magas szekrény elhelyezhető. A lakószobával közös légtérben lévő előtér nem csökkentheti a lakószoba minimális alapterületét.

(10) Az ötven vagy több lakást tartalmazó lakóépületben minden megkezdett ötven lakásból legalább egy lakást adaptálható lakásként kell kialakítani.” [121]

Ezen belül a társasház a közös tulajdon speciális formája, amelyben a tulajdonostársakat az épület meghatározott önálló részei (lakások) tekintetében külön, míg az ingatlan egyéb részei (lépcsőház stb.) tekintetében együttesen illeti meg a tulajdonjog. Azokat az ingatlanokat, amelyeket egy vagy több család használ otthonaként, általában családi háznak nevezik. A családi ház rendszerint 1 vagy 2 lakószinttel, saját kerttel rendelkezik. A középület olyan épület, amely közösségi célra szolgál, például oktatási, kulturális, egészségügyi vagy kormányzati tevékenységhez kapcsolódó funkciókat lát el [121].

A vizsgált épületek általános jellemzői:

- Családi ház: a klasszikus értelemben vett, egy lakásos lakóépület, jellemzően tetőtér beépítéssel, általában egy, maximum két szint monolit vasbeton födémmel, alapincézettségtől függően. Jellemző alapozás a gerendával erősített sávalap, egy viszonylag vékony, de méretezett vasalt aljzatlemezzel, ami a vasalt talpgerendákkal együtt dolgozó szerkezetként jelentkezik. Felmenő teherhordó szerkezete falazott szerkezet, az új, MSZ EN (Eurocode) [122] szerinti méretezésből adódóan erősítő vasbeton falpillérekkel. Vasbeton koszorúja önálló (nem födémmel egybe épített) szerkezetként jelenik meg, jellemzően a tetőtéri szerkezeteknél.
- Lakóház: a klasszikus családi házhoz képest jellemzően nagyobb, emeletes, egy vagy kétlakásos, 2-3 monolit vasbeton födémmel, de még mindig teherhordó falazattal, kevés számú vasbeton pillérrel. Alapozásra jellemzően lemezalap.

- Társasház: vasbeton pillérvázás épületek, 3-6 szint monolit vasbeton födémekkel, vasbeton lépcsőházi, liftakna, illetve merevítő falakkal, jellemzően alaplemez alapozással készültek.
- Középületek: ebből a kategóriából elemzésre került négy épület van köztük oktatási épület, új kórházzárny, valamint rehabilitációs és korai fejlesztő központ is. Szerkezetük is ennek megfelelően elég vegyes, alapvetően pillérvázás épületek, de némelyiknél domináns a monolit vasbeton homlokzati falrendszer, természetesen mindegyik monolit vasbeton födémmel készült, és különböző vastagságú lemezalapokkal.
- Irodaházak: a mai értelemben a kornak megfelelő, pillérvázás épületek, monolit vasbeton födémekkel, merevítő vasbeton falakkal, kitöltő kerámia falazattal. Alapjuk lemezalap, némelyik mélyalappal (cölöp) gyámolítva.
- Egyéb épületek: ebben a csoportban szerepel egy óvoda új szárnyának építése, új templom szerkezetépítése, valamint egy kisebb társasház méretű jogház. Jellemzően falazott szerkezetűek, monolit vasbeton födémmel, vasalt sáv, illetve vékony vasbeton lemezalappal.

Az általam vizsgált épületek kivitelezésének időszaka a 2007 és 2021 közötti évek, ami 15 évet fog át. Ebbe természetesen beletartozik a magyar építőipar válságos időszaka is, valamint az elmúlt 3-5 év virágzó időintervalluma is. Fontos, hogy jelen vizsgálat esetében a szerkezetépítés értelmezése a monolit vasbeton szerkezet építésre vonatkozik, vagyis a betonnal, illetve a vasbetonnal kapcsolatos munkákra. Ezek a következők:

- síkalapozás: sávalapok, gerendarács, lemezalap, fejgerenda, sávalap koszorúja, méretezett vasalt aljzatbeton (vékony lemezalap),
- felmenő függőleges szerkezetek: beton, illetve vasbeton falak, pengefalak, és vasbeton pillérek,
- felmenő vízszintes szerkezetek: vasbeton födémek, koporsó födémek, vasbeton gerendák, koszorúk, illetve lépcső szerkezetek.

A fenti hármas tagolás tartószerkezeti oldalról is helytálló, azonban a mi vizsgálatunknál a zsalu használat szempontjából tesszük ezt a hármas csoportosítást a következő megfontolásból. Az alapvető különbség a függőleges és vízszintes szerkezetek zsaluzásánál a kiszaluzhatóság ideje, vagyis a zsaluforgatás üteme. Függőleges szerkezetek esetén napi, 24 órás ciklusokkal számolva forgatható, azaz újra betonozható ugyanazon szerkezet, míg vízszintes szerkezeteknél ez általában 5-7 nap a zsaluforgatási idő. [123]

Természetesen ezt nagyban befolyásolja a szerkezet típusa, szerkezeti vastagsága, a beton minősége, az időjárás és sok más egyéb tényezők. Jelen esetben nem foglalkozunk a speciális, ejtőfejes födémzsalu rendszerekkel, ahol ez a kizsaluzási idő akár 48 órára is lecsökkenhet. A síkalapozást ennek ellenére nem a kizsaluzási idő miatt vesszük külön kategóriába, hanem a zsalu, és a bedolgozott beton mennyiségi aránya miatt. Ezeknek a szerkezeteknek három fő költségeleme van: a zsaluzás, a betonacélszerelés és a betonozás.

A vizsgálatot három lépcsőben végeztem el:

1. Elemeztem mind a 33 épület egy négyzetméterre kalkulált átlag zsaluzási költségét az évek függvényében.
2. Vizsgáltam az összes zsaluköltség arányát a teljes szerkezetépítéshez viszonyítva, a teljes mintára (33 épület) vetítve.
3. Elemeztem az összes zsaluköltség arányát a teljes szerkezetépítéshez épülettípusokra szétbontva.

A részletes összegző táblázatban épületenként gyűjtöttem a jellemző zsaluzati típusokhoz tartozó mennyiségeket, illetve a hozzá rendelt anyag és munkadíjakat. A vizsgált 33 épület költségvetését, illetve a valóságban is elkészült épületek építéstechnológiáját elemezve megállapítható, hogy mindegyik épület úgynevezett korszerű zsaluzati rendszerrel épült, tehát az eredmények relevánsan összehasonlíthatók.

3.5.2 Számított mennyiségek definiálása

Bármelyik, akár korábbi, magyarországi normarendszert figyelembevéve elmondható, hogy a zsalufelület mennyiségi meghatározásának alapja a beton- és vasbetonszerkezeteknél a betonnal érintkező zsaluzatfelület tényleges mérete szerint számított mennyiség. A felmérési szabály szerint a zsaluzatban kihagyott $1,0 \text{ m}^2$ -nél nagyobb nyílások felületét le kell vonni, viszont az ilyen nyílások keretzsaluzatát a területhez hozzá kell számítani. Ezek a méretek a statikai tervekből számíthatók. Az első fontos kérdés, amit meg kell válaszolni: Mit is tartalmaznak valójában a zsaluzási költségek?

A magyarországi elterjedt gyakorlat a kétszlopos költségvetés, anyag és munkadíj tételre osztva, az erőforrások szükséglete alapján. Az általam vizsgált 33 épület költségvetése is kétszlopos költségvetés. A három erőforrás szükséglet a következő:

- Munkaidő-szükséglet: az országos és ágazati szabványokban, műszaki irányelvekben vagy szabályzatokban előírt követelményeket kielégítő kivitelezéshez szükséges műveletek - előkészítés, anyagmozgatás, kiszolgálás, bedolgozás, utókezelés stb. - időszükséglete, szakmánként bontásban.

- Gépi munkaszükséglet: a tételekben meghatározott műveletek elvégzésére célszerűen alkalmas és a hazai viszonyok között legjellemzőbb - teljesítmény-arányosan előírányzott - építőipari gép munkaszükséglete, gépfajtánkként részletezve és műszakórában kifejezve.
- Anyagszükséglet: a szerkezet egységnyi mennyiségének előállításához műszakilag indokolt és anyagfajtánkként részletezett anyagnorma [124].

Munkaidő szükséglet és gépi munkaszükséglet. A munkadíj a munkaidő szükséglet, vagyis a normaidő, a rezsioradíj [124] és a számított mennyiség (zsaluzási felület) szorzatából pontosan számított érték. Általában a gépi munkaszükséglet értéke a munkadíjban nyilvánul meg, a zsaluzat esetében ez leginkább a daruzási gépköltségre vonatkozik.

Anyagköltség. Az anyag költség számítása azonban már nem ilyen egyszerű feladat. Míg a vasszerelési illetve a betonozási munkák anyagigényei a végleges szerkezet részét képezik, ezek mennyiségi számításai egzakt módon kezelhetők a kiviteli illetve statikai tervek alapján. Ezzel szemben a zsaluzási munkák mennyiségét tekintve csak a zsaluzandó felület számítható pontosan, a fentiekben leírt szabályok alapján, annak valós anyagigénye, vagyis az építés helyszínén valóságban felhasználandó zsalumennyiség a zsaluforgatás, illetve annak hatékonyságának függvényében változó érték, amit optimalizálni kellene. Ezért a zsaluzási anyag egy négyzetméterre vetített fajlagos költsége, nem a zsalubérlet ára, vagy a beszerzési ár százalékos mutatója, hanem egy ütemezett, tervezett zsaluforgatási terv eredményéből kalkulált szám.

3.6 Vizsgálatok, mérések

3.6.1 A fajlagos zsaluzási költségek vizsgálata

Az első vizsgálat a 33 épület egyenként, egy négyzetméterre kalkulált átlag zsaluzási költségét elemzi az évek függvényében. A zsaluzási munka átlagköltségébe beletartozik az anyag a munkadíj és a gépköltség, ami egy kétszlopos költségvetésből kiolvasható. A zsaluzási átlagköltségbe mind, a korábban említett szerkezetek zsaluzási költségei értendők az alapozástól a felmenő függőleges és vízszintes szerkezetekig. Ezek a tételes zsaluzási költségek láthatóak a feldolgozott adatbázis táblában. (8. táblázat)

8. táblázat: zsaluzási költségek az összes épületre vonatkozóan,

készítette a szerző, forrás: saját munka.

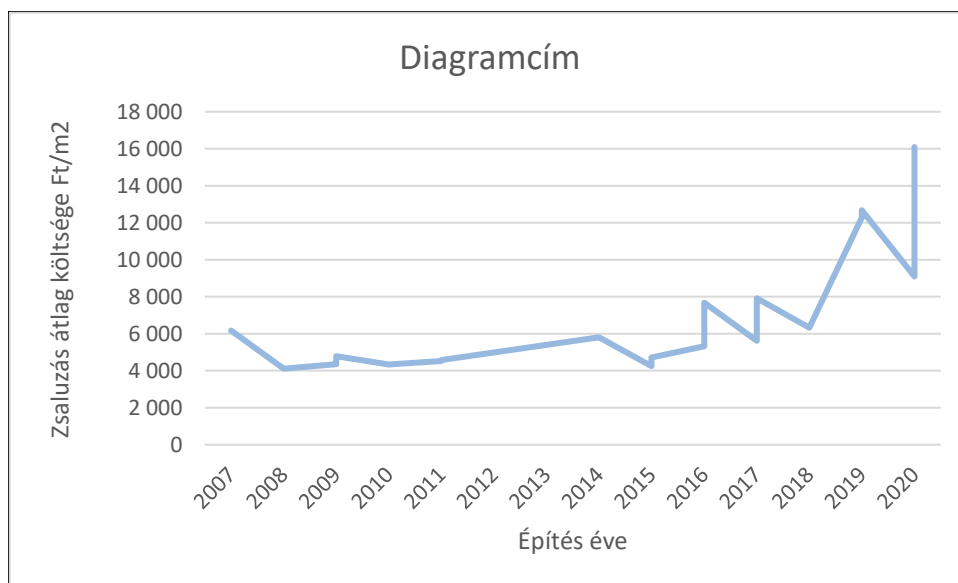
9.

Épület kategória	Épület típusa	Építés éve	Zsaluzási munkák alapozás		Zsaluzási munkák pillérek		Zsaluzási munkák falak		Zsaluzási munkák gerendák, koszorúk		Zsaluzási munkák födémek		Zsaluzási munkák lépcsők		Zsaluzási munkák felmenő szerkezet (alapozás nélkül)		Összes zsaluzási munkák	
			A + D összesen (Ft)	Zsaluzott m2	A + D összesen (Ft)	Zsaluzott m2	A + D összesen (Ft)	Zsaluzott m2	A + D összesen (Ft)	Zsaluzott m2	A + D összesen (Ft)	Zsaluzott m2	A + D összesen (Ft)	Zsaluzott m2	A + D összesen (Ft)	Zsaluzott m2	A + D összesen (Ft)	Zsaluzott m2
Lakóépület	Családi ház	2017	127 950	18,00	146 408	24,10	-	-	539 605	89,90	513 895	87,09	-	-	1 199 908	201,09	1 327 858	219,09
Lakóépület	Családi ház	2017	146 781	19,06	28 741	6,44	-	-	269 064	64,75	693 893	200,20	-	-	991 698	271,39	1 138 479	290,45
Lakóépület	Családi ház	2016	176 561	63,18	87 777	16,23	132 709	48,97	163 299	46,93	1 789 988	269,58	89 736	12,19	2 627 197	464,10	2 803 757	527,28
Lakóépület	Családi ház	2019	336 994	37,57	200 889	15,30	-	-	461 286	34,45	2 502 750	213,00	355 500	15,00	4 049 324	319,60	4 386 318	357,17
Lakóépület	Családi ház	2015	60 000	30,00	325 500	105,00	1 192 520	233,40	1 104 400	256,00	1 555 200	288,00	133 450	15,70	4 311 070	898,10	4 371 070	928,10
Lakóépület	Családi ház	2017	463 729	80,93	162 771	22,53	3 288 114	597,13	592 128	95,25	1 639 616	299,20	172 216	15,20	5 854 845	1 029,31	6 318 574	1 110,24
Lakóépület	Családi ház	2011	77 550	23,50	-	-	1 915 896	445,35	142 426	22,81	1 743 585	358,91	167 310	33,00	3 969 217	860,07	4 046 767	883,57
Lakóépület	Családi ház	2011	125 885	37,60	174 588	31,22	1 379 251	302,60	83 808	17,38	2 069 314	464,18	142 220	26,00	3 849 181	841,38	3 975 066	878,98
Lakóépület	Társasház	2017	2 386 790	245,00	5 959 500	685,00	25 147 480	3 127,00	8 738 720	980,00	23 611 950	3 447,00	2 466 000	137,00	65 923 650	8 376,00	68 310 440	8 621,00
Lakóépület	Társasház	2017	1 556 657	199,00	4 955 580	644,00	22 248 962	2 979,00	10 534 696	1 130,00	24 503 724	3 654,00	3 391 000	250,00	65 633 962	8 657,00	67 190 619	8 856,00
Lakóépület	Társasház	2017	1 284 888	204,60	3 649 482	406,72	120 017 199	17 071,07	9 663 441	897,65	71 848 680	9 970,14	6 584 400	279,00	211 763 203	28 624,58	213 048 091	28 829,18
Lakóépület	Társasház	2020	317 144	39,64	1 304 843	148,70	11 746 479	1 211,80	2 165 985	228,60	9 041 578	1 119,70	860 303	49,09	25 119 188	2 757,89	25 436 332	2 797,53
Lakóépület	Társasház	2021	489 555	47,30	133 453	11,30	12 646 467	1 456,70	286 945	21,35	5 864 919	853,70	-	-	18 931 784	2 343,05	19 421 339	2 390,35
Középület	Irodaház	2017	1 520 399	334,77	1 126 106	181,63	13 864 428	2 267,65	-	-	8 428 695	1 532,49	534 438	65,98	23 953 667	4 051,90	25 474 066	4 386,67
Középület	Irodaház	2017	841 868	156,24	774 184	133	18 878 606	3 710,29	3 048 544	540,04	12 226 537	2 308,93	1 854 024	172,95	38 146 335	6 782,96	38 988 203	6 939,20
Középület	Irodaház	2008	573 655	155,00	4 989 452	1 041,45	29 801 050	8 352,00	4 611 064	968,30	22 706 288	5 539,47	386 509	57,80	83 870 608	20 370,51	84 444 263	20 525,51
Középület	Irodaház	2009	952 293	231,60	19 919 673	3 926,15	56 642 234	14 864,55	7 835 273	1 643,89	92 840 274	20 333,67	859 881	116,90	180 719 551	41 475,51	181 671 844	41 707,11
Középület	Irodaház	2020	8 171 860	696,79	67 731 074	6 178,66	244 060 228	23 498,92	79 782 603	6 566,78	303 376 711	36 819,89	10 202 371	562,30	705 152 988	74 657,66	713 324 848	75 354,45
Középület	Irodaház	2020	15 607 494	1 538,55	9 423 357	707,33	8 112 058	665,45	9 978 633	712,07	67 692 556	6 033,50	8 039 676	377,82	106 700 152	8 753,48	122 307 646	10 292,03
Középület	Szálloda	2020	3 651 757	327,60	2 568 443	141,10	12 198 550	617,00	6 345 602	271,90	18 963 180	1 399,60	1 354 804	44,00	41 430 579	2 473,60	45 082 336	2 801,20
Középület	Szálloda	2020	11 480 838	841,00	42 315 256	811,00	22 297 854	542,20	17 746 730	521,00	119 231 726	5 451,00	9 620 716	161,00	211 212 282	7 486,20	222 693 120	8 327,20
Középület	Szálloda	2020	1 788 539	135,85	12 137 820	1 063,69	121 664 650	11 055,21	15 965 419	1 257,90	141 293 689	14 957,73	2 240 842	119,09	293 302 421	28 453,62	295 090 960	28 589,47
Középület	Kórház	2007	909 423	140,17	1 660 274	217,60	20 383 862	3 300,36	1 032 367	108,26	2 692 437	514,02	288 875	39,26	31 613 963	5 126,84	32 523 386	5 267,01
Középület	Kórház	2009	234 787	87,12	2 183 512	305,60	3 592 704	695,60	146 227	22,40	5 197 228	1 282,00	181 944	18,00	11 301 615	2 323,60	11 536 402	2 410,72
Középület	Rehab	2015	2 054 250	498,00	2 410 250	310,00	6 806 250	1 650,00	3 913 238	1 094,00	5 495 804	1 426,00	984 459	111,00	19 610 001	4 591,00	21 664 251	5 089,00
Középület	Oktatás	2014	677 522	135,63	4 960 914	859,18	7 625 965	947,48	7 869 051	1 437,33	24 804 147	4 623,20	1 587 060	173,06	46 847 137	8 040,25	47 524 659	8 175,88
Középület	Oktatás	2016	14 820 650	2 400,00	3 911 699	589,20	147 925 315	21 531,00	8 853 700	860,00	77 868 540	12 780,00	5 851 425	305,00	244 410 679	36 065,20	259 231 329	38 465,20
Középület	Gyógyfürdő	2019	6 493 626	616,00	6 878 658	381,30	22 304 708	1 332,00	8 187 529	731,00	20 498 141	2 054,00	1 019 241	45,50	58 888 277	4 544	65 381 902	5 159,80
Középület	Nyomda	2018	973 061	157,66	262 260	39,46	66 796	11,36	300 064	43,75	1 713 735	266,47	285 286	27,17	2 876 678	450,50	3 849 739	608,16
Középület	Kiállítóház	2019	3 080 621	187,00	803 143	29,00	42 641 490	1 250,00	678 711	33,00	19 630 500	730,00	485 214	14,50	64 239 057	2 056,50	67 319 678	2 243,50
Középület	Óvoda	2016	333 890	96,50	76 518	14,04	-	-	729 134	134,99	963 660	197,35	120 673	17,92	3 203 436	364,30	3 537 326	460,80
Középület	Templom	2010	982 528	323,20	230 638	61,80	1 471 712	351,16	407 246	65,66	1 684 334	300,14	-	-	3 793 930	778,76	4 776 458	1 101,96
Középület	Jógaház	2017	143 500	35,00	11 383	2,16	-	-	344 204	74,29	1 819 194	344,43	213 487	23,60	2 504 552	822,39	2 648 052	857,39

A KSH [125] adatok alapján kijelenthetjük, hogy az építőiparban a 2007 és 2021 között, ha nem is lineárisan, de az építőipari anyag és munkadíjak növekvő tendenciát mutattak. Az 20-as ábrán a függőleges tengelyen az általam vizsgált épületek egy négyzetméterre kalkulált átlag zsaluzási költsége látható, míg a vízszintes tengelyen az éveket jelöltem. Megállapíthatjuk, hogy a számított adatok tükrözik a statisztikai adatokat, természetesen kisebb nagyobb eltérésekkel.

Jól leolvasható, hogy a 2008-as általános gazdasági válság után sokáig megtorpant az építőipar, és csak a 2014-2015-ös évektől kezd megugrani a kereslet. Majd 2016-tól már az olvasható le, hogy miután nagyobb lett a kereset, mint a kínálat magasba szöknek az árak, ami a zsaluzati díjakon is jól látható.

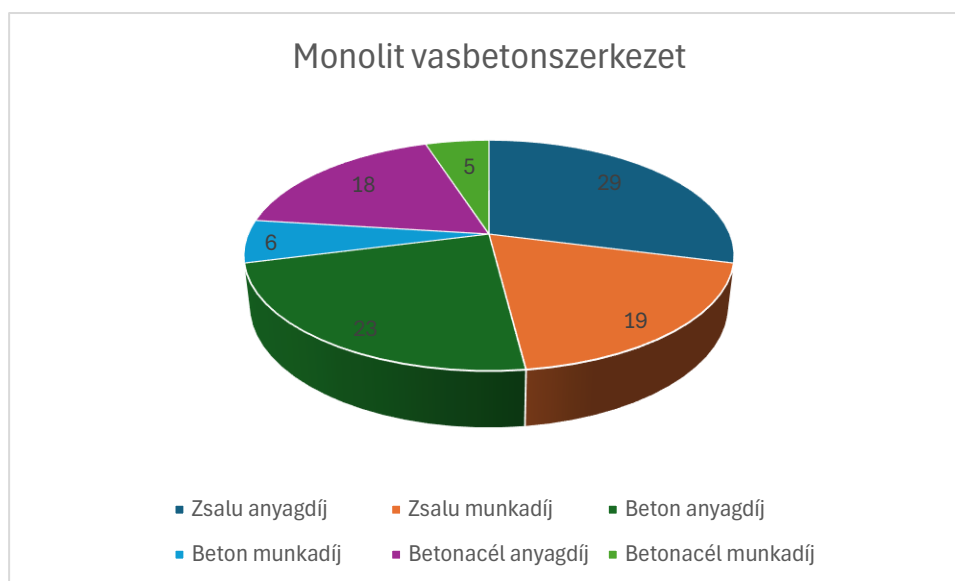
A grafikonon a trendtől igazán kirívóan csak egy 2015-ös társasházi épület zsaluzási ára tér el negatív irányba. Ennek magyarázata lehet a hibásan felvett egységár, ami kisebb, illetve egyedi épületeknél tipikus előkészítési hiba. Ez akkor fordul elő, amikor nincs zsaluforgatási terv, nincs kivitelezési idő ütemterv, és ebből adódóan a négyzetméterár a vagy a költségvetés készítő szoftver adatbázisából generált szám, vagy valamely korábbi építkezésből „átvett” érték.



20. ábra: Az egy négyzetméterre kalkulált átlag zsaluzási költség változása az évek függvényében, készítette a szerző, forrás: saját munka.

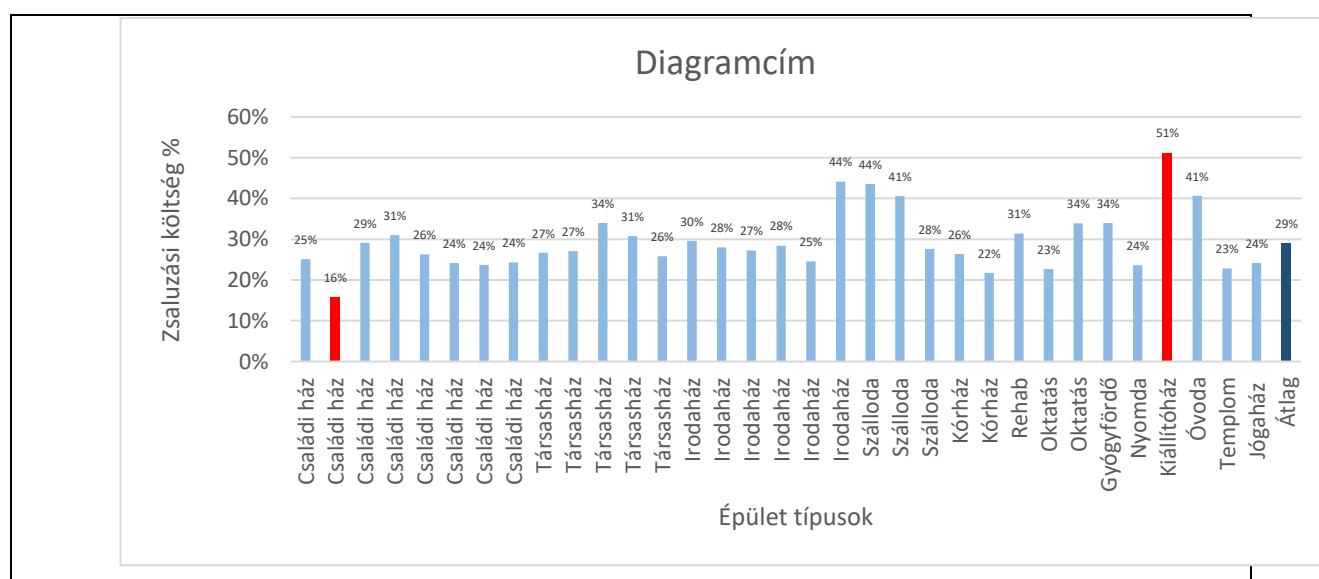
3.6.2 A zsaluzás költségmegoszlásának vizsgálata épülettípusonként

A vasbeton szerkezet építés három fő fázisának a zsaluzás, vasszerelés, és a betonozás költségmegoszlásának arányait vizsgálva a korábbi felmérések azt mutatták, hogy a legnagyobb részt, közel 48 %-ot a [7] zsaluzási munkák alkotják. (21. ábra)



21. ábra: A monolit vasbeton szerkezetépítés 3 fő fázisának költségmegoszlása a 90-es évek elején, készítette a szerző, forrás: saját munka.

Míg a vasszerelési illetve a betonozási munkák anyagigényei a végleges szerkezet részét képezik, ezek mennyiségi számításai egzakt módon kezelhetők a kiviteli illetve statikai tervek alapján. Ezzel szemben a zsaluzási munkák mennyiségét tekintve csak a zsaluzandó felület számítható egzaktul, annak anyagigénye, vagyis az építés helyszínén valóságban felhasználandó zsalumennyiség a zsaluforgatás illetve annak hatékonysága függvényében változó érték, amit optimalizálni lehet és kell is. Következő vizsgálat során összevettem az összes zsaluköltség arányát a teljes szerkezetépítéshez viszonyítva, a teljes mintára vetítve. (22. ábra)



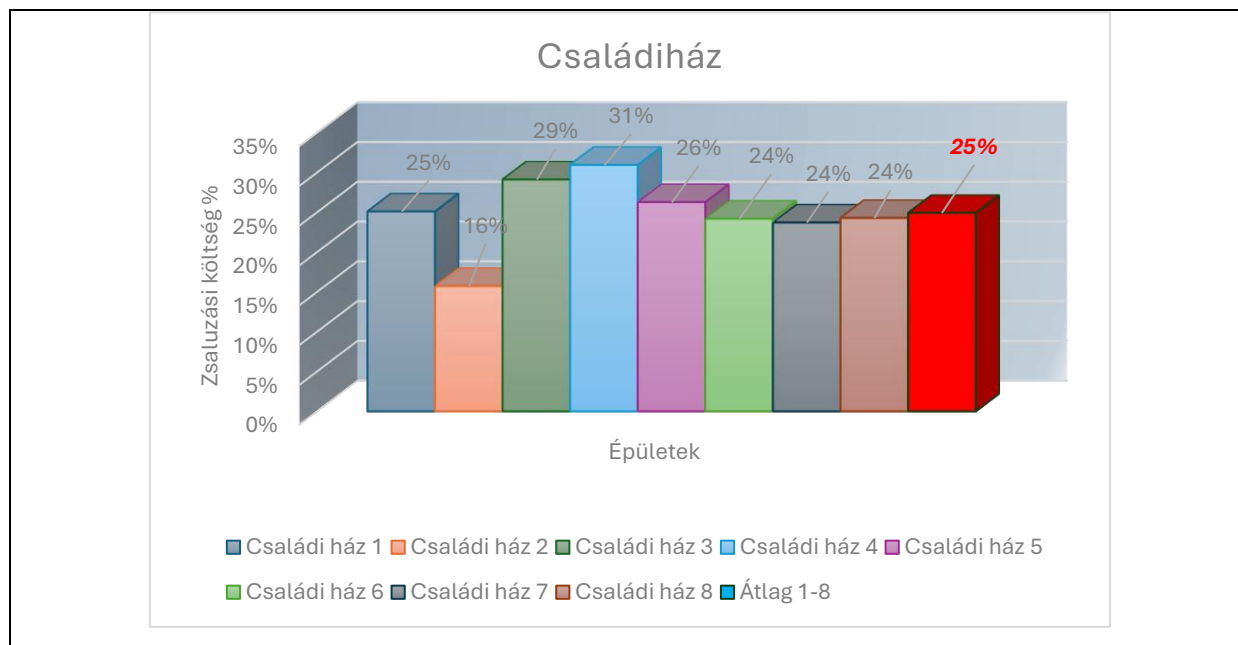
22. ábra: Az összes vizsgált épület összes zsaluzási költségének aránya a teljes épület szerkezetépítéséhez képest, készítette a szerző, forrás: saját munka.

A két, pirossal jelzett érték a mért adatokból a teljes adathalmaz figyelembe véve a legkisebb, illetve a legnagyobb értékek. Statisztikai szempontból ezeket nyilván nem kell figyelembe venni, de természetesen amennyiben ezek részletes költség vetését elemezzük a tervek ismeretében a számok a tervezett szerkezet megvalósulási költségeit hűen tükrözik. A legalacsonyabb zsaluzási arányszámú egy családi ház esetén azt mutatta, hogy a teljes szerkezetépítésnek csak a 16%-át. A grafikonról leolvasható, hogy a vizsgált épületek esetében az elmúlt 15 évet figyelembe véve a monolit vasbetonszerkezetek zsaluzási költsége átlagosan 29% a teljes szerkezetépítési összes költségéhez viszonyítva, amibe beletartozik a zsaluzás, a betonacélszerelés és a betonozási munkák, mind anyag, mind pedig munkadíj tekintetében. Ha a saját méréseimből összeállított, 22-es számú ábrát összevetem az 21-es ábrával, amelyen a kilencvenes évek, vagyis a rendszerváltás idejében készült statisztikai adatok láthatók az akkori szerkezetépítés munkafázisairól, akkor a következők állapíthatók meg.

A disszertációm jelen fejezetében vizsgált zsaluzási költségek aránya a teljes szerkezetépítési munkákhoz viszonyítva jóval kedvezőbb (29%), mint a bő harminc évvel ezelőtti adatok mutatták. Ennek okai a következők. Az már korábban is egyértelmű volt, látva az 1-es számú ábrát, hogy a költségek, ha nem is lineárisan, de az évek során emelkedő tendenciát mutatnak, hasonlóan a 90-es évek mutatóihoz. Az átlagérték 29 %, ami jóval alacsonyabb a korábbi statisztikai adatoknál. Ennek egyik oka valószínűsíthetően a 90-es évek nagy külgazdasági változása [126], amikor is az import áruk Magyarországra történő behozatala már nem függött a nagy külkereskedelmi vállalatoktól, hanem azt önállóan, bárki megvásárolhatta közvetlen a külföldi gyártótól. Ez történt a korszerű zsaluzati rendszerekkel is, amelyek ezek után nagy mennyiségben érkeztek a hazai építőipar piacára. Ez nagyban megreformálta a zsalu felhasználásának, illetve annak újratermelésének a rendszerét. Megalakultak a nagynevű európai zsalugyártó cégek hazai leányvállalatai, és ezáltal Magyarországon is létrejött a bérzsaluzati rendszerek piaca, illetve a maga a zsalubérlet fogalma. Ez a mind gazdaságilag, mind műszakilag új fogalom felértékelte a zsaluforgatás jelentőségét, hiszen már nem csak a saját anyavállalat zsaluját használták a kivitelezők „korlátlan időzónában”, ahogy ezt korábban megtehették, hanem egy bérleti díj alapú, profitorientált rendszer részei lettek.

A két tényezőnek, vagyis a bérlet alapú zsaluhasználatnak [127], illetve a korszerű zsaluzati rendszerek használatának eredményeképp megállapítható, hogy ugyanazon időintervallum alatt jóval kisebb mennyiségű zsaluzattal végzik ma el ugyanazt a volumenű szerkezetépítésű munkát, mint korábban a tervgazdasági alapon működő rendszerben. Ez pedig azt jelenti, hogy kisebb költségarány mutatkozik a zsaluzat oldalán a teljes szerkezetépítés vonatkozásában.

A 22. ábrát elemezve látható, hogy az össze épülettípus vonatkozásában kapott 29%-os zsaluzási költség átlag elég nagy ingadozásokat mutat a 16%-os és 51%-os értékek között, ezért az eredményeket épület típusonként is vizsgáltam. Amennyiben jelentős eltérés tapasztalható a 30 %-tól, akkor ott felül kell vizsgálni a valós költségeket. Ezáltal egy új módszert dolgoztam ki a zsaluzási költségek közelítő ellenőrzésére.

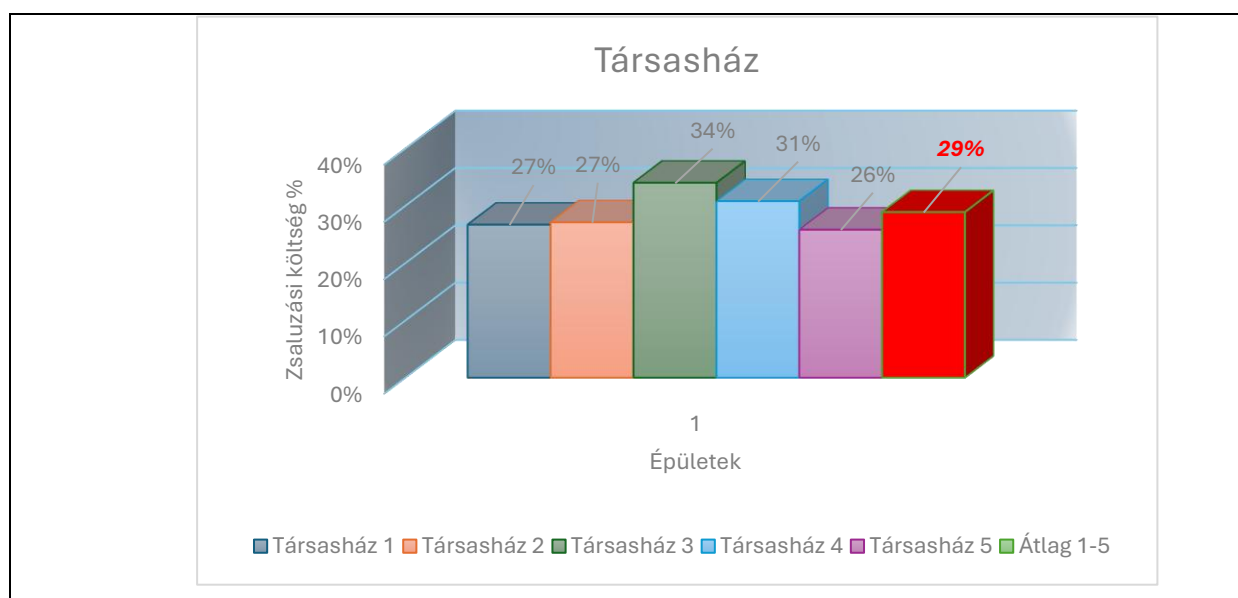


23. ábra: Családi ház zsaluzási költségének aránya a teljes épületszerkezetépítéséhez képest, készítette a szerző, forrás: saját munka.

A 23. ábrát elemezve, a családi házak esetén a kiugróan alacsony zsaluhányadnak (16%) két fő oka van. Az épület egyszintes vasbeton födémmel rendelkezik, vasbeton falak nélkül, a másik ok, hogy a rossz altalaj miatt (volt kukoricásra épült) az épület volumenéhez képest aránytalanul nagy alaplemeze készült. Ennek fajlagosan kevés a zsaluzási igénye, viszont nagy a beton és a betonacél felvétele, így ezek eltorzítják a zsaluzási arányokat. Megállapítás: családi ház, illetve lakóépület kategóriában a zsaluzási átlagköltség 24-25 %-a teljes szerkezetépítés költségének, ami összes (31) épületre vetített 29 %-os átlagköltséghez képest 5-6 százalékos csökkenést mutat.

Ennek oka, hogy jellemzően mind a családiházak mind pedig az általam definiált lakóházak épülettípusok függőleges szerkezetei teherhordó falazattal készültek, nem vagy nagyon kevés vasbeton pilléreket tartalmaznak. Talán a legegyszerűsebb értékek a társasház kategóriánál (24. ábra) adódtak, ahol az átlaghoz képesti eltérés plusz-mínusz 2-5%. Ennek magyarázata a közel hasonló, viszonylag homogénnek mondható pillérvázas szerkezetekben kereshető, ahol nagy fajlagos eltérés nem várható.

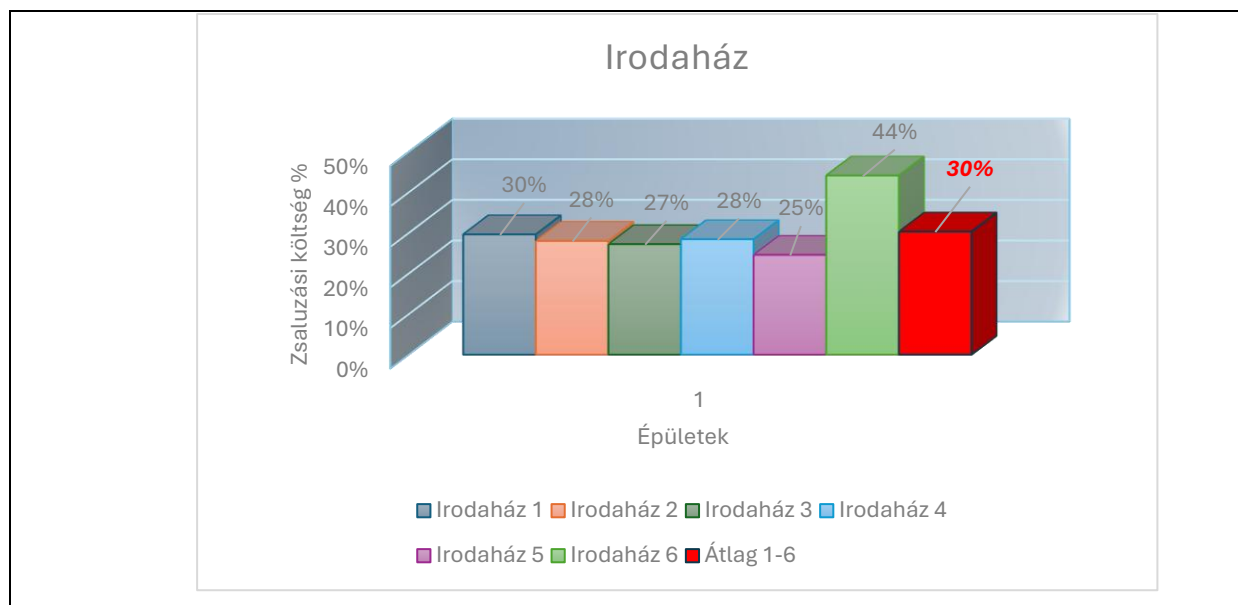
Ezen épületek jellemzően 4-6 szintes társasházak, monolit vasbeton zárófödémrel, mínusz egy szint mélygarázzsal, rámpás kialakítású lehajtókkal. Szerkezetét tekintve, 40-60 cm vastag monolit vasbeton alaplemezen nyugvó pillérvázás vasbeton szerkezetek, kitöltő vázkerámia falazattal. Pinceszinten monolit vasbeton körítőfalakkal, terepszinttől felfelé pillérváz, szintként monolit vasbeton merevítő maggal, ami általában a lépcsőházi, liftaknával egybekötött szerkezet.



24. ábra: Társasház zsaluzási költségének aránya a teljes épület szerkezetépítéséhez képest, készítette a szerző, forrás: saját munka.

Az irodaházak [128] elemzésénél (25. ábra) egy épületet, az „Irodaház 6” -ot kell megvizsgálni, ami láthatóan szignifikánsan eltér a 30%-os átlagértéktől. A költség tábláját elemezve kimagasló értéket mutat az alaptestek zsaluzási költsége. Ez az érték jellemzően a teljes zsaluzási költség 6-8 %-át teszi ki, itt azonban ez az érték közelít a 15%-hoz.

Ennek oka, hogy az alapozási rendszer megválasztásánál a tervező a vasalt sávalap rácsot választotta, ami inkább csarnokrendszerekre jellemzőbb és nem a középületekre. Ennek a 6-os számú, vizsgált irodaháznak pillérvázzal erősített tartófalas falazott szerkezete van, aminél a leggyakoribb az alaplemezes alapozási megoldás.



25.ábra: Irodaház zsaluzási költségének aránya a teljes épület szerkezetépítéséhez képest, készítette a szerző, forrás: saját munka

2022 októberében egy Építész Kamarai előadást tartottam, aminek témája az alapozási költségek gazdaságosabbá tétele a választott technológia függvényében. Megvizsgáltam egy korábban vasalt sávalapra (gerendarács) tervezett 200 négyzetméter alapterületű lakóépület alapozási költségét az eredeti terv szerinti alapozással, és egy feltételezett vasbeton lemezalapos változattal. (9. táblázat). Még egy ilyen kis épületnél is szignifikáns volt az eltérés az alaplemez javára.

A sávalapos megoldás esetén a teljes alapozási költség 6,34 millió forint volt, míg lemezalapra csak 5,19 forint. Az 4-es táblából kiolvasható, hogy a legnagyobb eltérés a zsaluzási munkáknál volt, ahol a sávalap zsaluzási költsége anyag és munkadíj tekintetében 3,8 szerese volt a lemezalap zsaluzási költségénél.

Ugyanez történt a vizsgált 6-os számú irodaháznál, ahol az alapozás zsaluzási költsége a vasalt sávalapok miatt meghaladt a 15 millió forintot, ami több volt, mint az alapozási vasbeton munkák 50%-a. Ennek a kimagasló alapozási zsaluköltségnek tudható be, a kimagasló, 44%-os zsaluzási költségarány.

9. táblázat: sávalap és lemezalap összehasonlító költsége, készítette a szerző, forrás: saját munka.

SÁVALAP

		Munkanem száma és megnevezése	Anyag összege	Díj összege
		15 Zsaluzás és állványozás	420 000	547 800
		23 Síkalapozás	1 785 529	1 098 901
		31 Helyszíni beton és vasbeton munka	1 265 103	1 316 794
		Munkanemek összesen:	3 470 632	2 963 495
				6 434 127

		15 Zsaluzás és állványozás						
Ssz.	Tételszám	Tétel szövege	Menny.	Egység	Anyag egységár	Díj egységre	Anyag összesen	Díj összesen
1	15-001-1	Sávalap egyoldalas zsaluzása fa zsaluzattal, max. 0,8 m magasságig	30	m2	3 500	5 060	105 000	151 800
2	15-001-2	Sávalap kétoldalas zsaluzása fa zsaluzattal, max. 0,8 m magasságig	90	m2	3 500	4 400	315 000	396 000
		Munkanem összesen:					420 000	547 800

		23 Síkalapozás						
Ssz.	Tételszám	Tétel szövege	Menny.	Egység	Anyag egységár	Díj egységre	Anyag összesen	Díj összesen
1	23-003-1.1-0012610	Beton- és vasbeton készítése, darus technológiával,minőségű betonból, sávalap C8/10 - XN(H) - 32 - F1 - CEM 32,5, m = 6,8 finomsági modulussal	40	m3	20 463	17 106	818 520	684 240
2	23-003-1.3-0112610	Beton- és vasbeton készítése, darus technológiával,minőségű betonból, lemezalap C12/15 - XN(H) - 32 - F1 - CEM 32,5, m = 7,1 finomsági modulussal	0	m3	22 099	16 299	0	0
3	23-003-2-0232210	Vasbeton sáv-, talp- lemezalap készítése szivattyús technológiával,minőségű betonból C20/25 - X0v(H) - 16 - F3 - CEM 32,5, m = 6,6 finomsági modulussal	27	m3	25 543	6 638	689 661	179 226
4	23-003-11.1-0112210	Szerelőbeton készítése,minőségű betonból 8 cm vastagságig C12/15 - X0b(H) - 16 - F3 - CEM 32,5, m = 6,5 finomsági modulussal	12	m3	23 584	20 020	277 348	235 435
		Munkanem összesen:					1 785 529	1 098 901

		31 Helyszíni beton és vasbeton munka						
Ssz.	Tételszám	Tétel szövege	Menny.	Egység	Anyag egységár	Díj egységre	Anyag összesen	Díj összesen
1	31-001-1.2.1-0220956	Betonacél helyszíni szerelése függőleges vagy vízszintes tartószerkezetbe, bordás betonacélból, 4-11 mm átmérő között FERALPI hidegen húzott bordás betonacél, 6 m-es számban,	2,58	t	278 250	356 160	717 885	918 893
		B500A (BHB55.50) 10 mm						
2	31-001-1.2.2-0220621	Betonacél helyszíni szerelése függőleges vagy vízszintes tartószerkezetbe, bordás betonacélból, 12-20 mm átmérő között Bordás betonacél, számban, B 60.50 12 mm	1,72	t	318 150	231 338	547 218	397 901
		Munkanem összesen:					1 265 103	1 316 794

LEMEZALAP

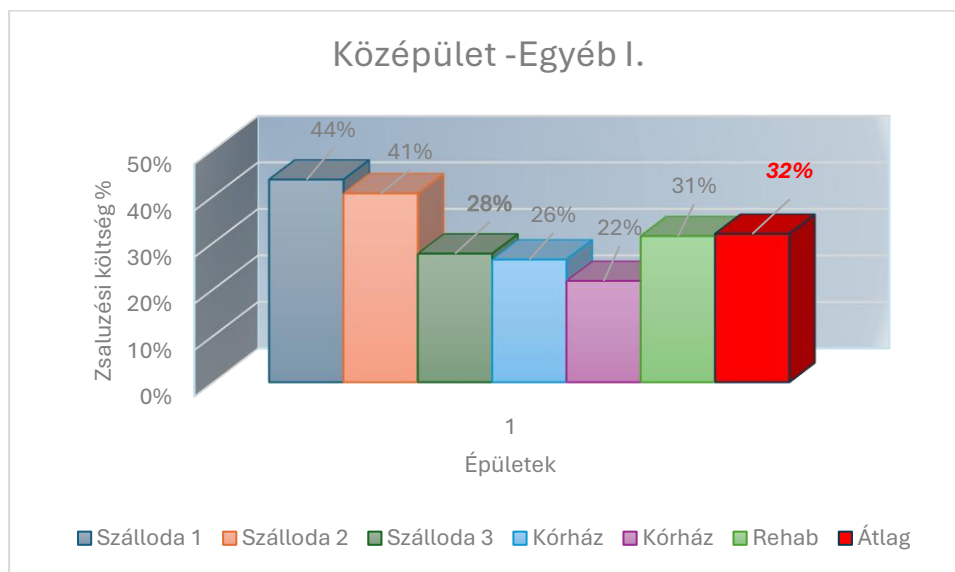
Anyag összege	Díj összege
105 000	151 800
1 573 947	659 070
1 323 945	1 378 040
3 002 892	2 188 910
	5 191 802

Menny.	Egység	Anyag egységár	Díj egységre	Anyag összesen	Díj összesen
30	m2	3 500	5 060	105 000	151 800
0	m2	3 500	4 400	0	0
				105 000	151 800

Menny.	Egység	Anyag egységár	Díj egységre	Anyag összesen	Díj összesen
0	m3	20 463	17 106	0	0
0	m3	22 099	16 299	0	0
45	m3	25 543	6 638	1 149 435	298 710
18	m3	23 584	20 020	424 512	360 360
				1 573 947	659 070

Menny.	Egység	Anyag egységár	Díj egységre	Anyag összesen	Díj összesen
3	t	278 250	356 160	751 275	961 632
2	t	318 150	231 338	572 670	416 408
				1 323 945	1 378 040

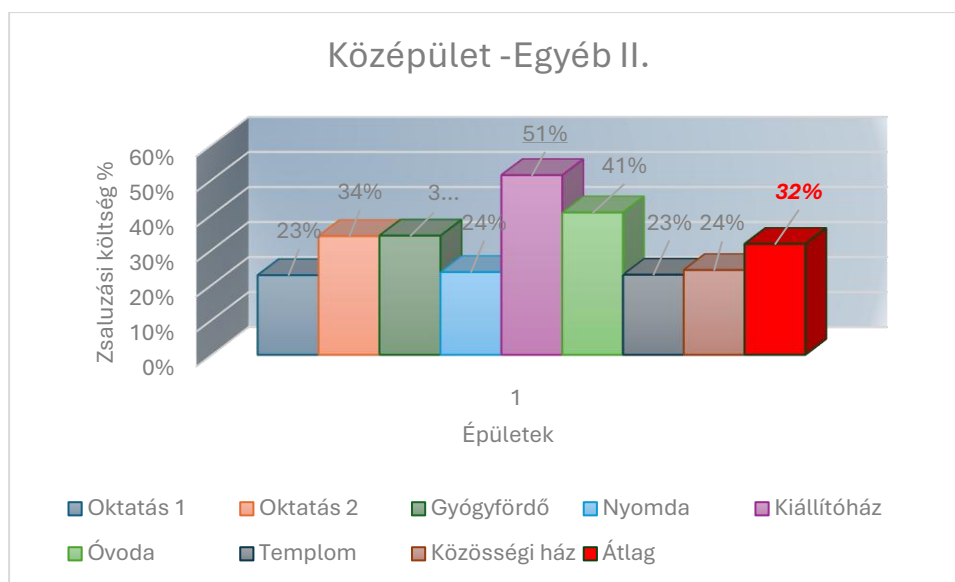
A középületek-egyéb I kategóriában (26. ábra) egy kirívóan alacsony érték található a 22 %. Ennek okát, a részletes költségvetésből lehet kiolvasni, ahol az alapozási zsaluzási költség nagyon alacsony a bedolgozott betonmennyiséghez képest. Ennek oka, hogy az alapozásul választott sávalap a kivitelezés során teljes hosszában a földpartok között történt, így csak a vasalt aljzatbeton széleire került zsaluzat, ami négyzetméterre vetítve alacsony arányszámot eredményezett.



26. ábra: Középület-egyéb I. zsaluzási költségének aránya a teljes épület szerkezetépítéséhez képest, készítette a szerző, forrás: saját munka

A középület-egyéb II-es épületkategóriában (27. ábra) az átlagtól leginkább eltérő legmagasabb értékű épületet érdemes megvizsgálni, ahol az arányszám, a zsaluzási költségének aránya a teljes épület szerkezetépítéséhez képest. Ennél az épület kategóriánál az átlagérték 32 %, a legmagasabb érték viszont 51%. A nevesített épület egy kiállítóház, ami funkcióját tekintve is eltér az átlagos középület kategóriától. Ismerve és megvizsgálva a monolit vasbeton szerkezetet látható, hogy a klasszikus sík födémszerkezethez képest itt egy speciális, kettős görbületű csonkakúp zárófödém készült. Az ilyen zsaluszerkezetek nagyon magasszintű ácsmunkát igényelnek, nagylétszámú ácsmesterrel és arányában jóval kevesebb segéd vagy betanított munkással. Ennek következménye, hogy a zsaluzás munkadíja többszöröse a hagyományos normaértékkel kalkulálnak. Ugyanez tapasztalható a kettős görbületű csonkakúp zsaluanyag költségének vizsgálatakor is. A jól bevált bérelhető, modulrendszerű födémzsaluzat helyett egyedi készítést igénylő szerkezet kell, aminek az alapanyagát meg kell vásárolni.

Ez azt jelenti, hogy míg egy bérelt földem zsaluzat havi bérleti díja [129] általában az anyag bekerülésének 5%-a, addig ez a vásárlás esetében 100% lesz. A fajlagos anyagköltséget az is csak növeli, hogy a kizsaluzása után a faanyag túlnyomó része nem használható újra zsaluzatként, így a teljes bekerülési költségét szerepeltetni kell az anyagdíj költségoldalán.



27. ábra: Középület-egyéb II. zsaluzási költségének aránya a teljes épület szerkezetépítéséhez képest, készítette a szerző, forrás: saját munka.

3.6.3 A zsaluzás költségmegoszlás vizsgálata szerkezettypusonként

A monolit vasbetonszerkezetépítés magasépítési munkáinak alapvető szerkezeti elemei a következők:

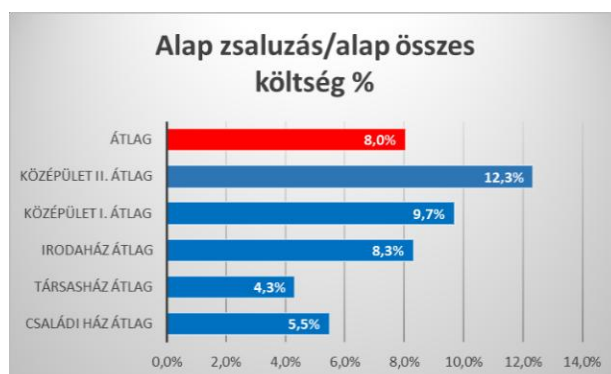
- beton, illetve vasbeton alapozási szerkezetek
- vasbeton pillérek
- vasbeton falak
- vasbeton koszorúk és gerendák
- vasbeton födémek,
- vasbeton lépcsőszerkezetek.

Az előző vizsgálatban a teljes épület zsaluzási munkáit elemeztem a vasbetonszerkezet építés összes költségéhez viszonyítva, míg a mostani fejezetben a vasbeton egyes szerkezeti elemének zsaluzási költségét elemzem az adott szerkezettypus teljes építési költségéhez viszonyítva. Ennek alapja 10. táblázaton látható a 33 épület feldolgozott adatainak táblázatos végeredménye a vizsgálat tárgyában.

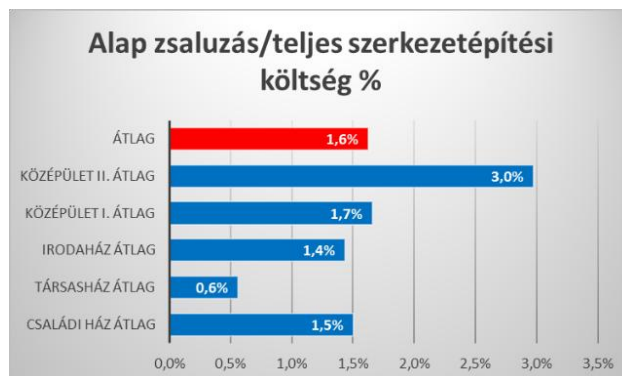
10. táblázat: szerkezeti elemek összehasonlító táblázata, készítette a szerző, forrás: saját munka.

Épület kategória	Épület típusa	ALAPOZÁS	PILLÉREK	FALAK	KOSZORÚK, GERENDÁK	FÖDÉMEK	LÉPCSŐK	FELMENŐ SZERKEZET - függőleges, vízszintes (alap nélkül)	TELJES SZERKEZET (alappal együtt)
		zsalu/alapozás (%)	zsalu/pillér (%)	zsalu/fal (%)	zsalu/gerenda (%)	zsalu/födém (%)	zsalu/lépcső (%)	zsalu/felmenő szerkezet (%)	zsalu/teljes szerkezet (%)
Lakóépület	Családi ház 1	9%	50%	-	28%	35%	-	31%	25%
Lakóépület	Családi ház 2	5%	51%	-	67%	32%	-	23%	16%
Lakóépület	Családi ház 3	8%	48%	32%	15%	36%	30%	35%	29%
Lakóépület	Családi ház 4	7%	73%	-	62%	51%	84%	42%	31%
Lakóépület	Családi ház 5	2%	40%	36%	41%	32%	22%	32%	26%
Lakóépület	Családi ház 6	5%	57%	39%	65%	24%	50%	34%	24%
Lakóépület	Családi ház 7	4%	-	27%	43%	24%	29%	27%	24%
Lakóépület	Családi ház 8	4%	45%	42%	36%	24%	36%	29%	24%
Lakóépület	Társasház 1	6%	50%	37%	40%	22%	52%	31%	27%
Lakóépület	Társasház 2	6%	37%	40%	51%	20%	53%	30%	27%
Lakóépület	Társasház 3	2%	51%	45%	61%	28%	61%	38%	34%
Lakóépület	Társasház 4	4%	72%	56%	63%	49%	69%	34%	31%
Lakóépület	Társasház 5	4%	63%	58%	50%	34%	-	30%	26%
Középület	Irodaház 1	13%	46%	42%	-	23%	33%	32%	30%
Középület	Irodaház 2	4%	45%	38%	54%	25%	37%	32%	28%
Középület	Irodaház 3	2%	49%	36%	38%	16%	36%	31%	27%
Középület	Irodaház 4	1%	48%	42%	50%	36%	46%	32%	28%
Középület	Irodaház 5	1%	39%	44%	51%	22%	42%	31%	25%
Középület	Irodaház 6	29%	48%	67%	42%	44%	81%	48%	44%
Középület	Szálloda 1	23%	70%	54%	66%	38%	62%	47%	44%
Középület	Szálloda 2	8%	75%	65%	63%	45%	71%	53%	41%
Középület	Szálloda 3	1%	49%	42%	42%	26%	64%	33%	28%
Középület	Kórház	3%	48%	41%	38%	8%	35%	33%	26%
Középület	Kórház	4%	55%	35%	29%	17%	47%	24%	22%
Középület	Rehab	19%	65%	44%	41%	26%	50%	34%	31%
Középület	Oktatás 1	2%	39%	33%	31%	24%	39%	27%	23%
Középület	Oktatás 2	16%	36%	46%	47%	25%	59%	36%	34%
Középület	Gyógyfürdő	12%	69%	54%	44%	32%	35%	43%	34%
Középület	Nyomda	14%	39%	53%	20%	28%	49%	31%	24%
Középület	Kiállítóház	10%	72%	87%	56%	49%	76%	64%	51%
Középület	Óvoda	25%	56%	-	49%	23%	44%	43%	41%
Középület	Templom	16%	29%	37%	19%	20%	-	26%	23%
Középület	Közösségi ház	4%	67%	-	63%	31%	46%	34%	24%
ÁTLAG ÉRTÉK	Átlag	5%	48%	45%	48%	27%	55%	34%	32%

Első vizsgálati elem az alapok zsaluzata. A 28. ábra az alapok zsaluzási költségeinek arányát mutatja az alapozás teljes költségéhez viszonyítva. Látható, hogy az átlagérték bőven a 10 % alatt marad, ami azt jelenti, hogy a zsaluzás nem szignifikáns érték az alapozási munkák összességét tekintve, azaz egy költség becslés esetén nem kell az alapozási terv kiviteli szintű állapota, mert ez ilyen mértékben bármelyik tervfázisban alkalmazható. Az átlagtól felfelé való eltérés a középületek mindkét csoportjánál megfigyelhető. Ennek oka az egyedi, középületenként más és más szerkezeti kialakítás, ami sokszor egyedi alapmegoldásokat eredményez. Ilyenek, a már korábban is jelzett gerendarácsok, vagy az alapterület arányát tekintve nagy mennyiségű sávalapok. Ha csak az alaptesteket vizsgáljuk, ennek érték béli eltérése nem szignifikáns. Ellenben, ha az egész épület szerkezetépítési költségére vetítjük, akkor azt láthatjuk, hogy ezek a növekmények már közel kétszer akkora értékek, mint az átlag arányszám (29. ábra). A legalacsonyabb értékhányadot mindkét 9-es ábrán a társasházak alapozásánál láthatjuk. Ennek egyértelmű oka a konzekvens monolit vasbeton lemezalapos építési mód, ami a számok tükrében is igazolhatóan az egyik leggazdaságosabb alapozási eljárás a zsaluzatok költségét tekintve.

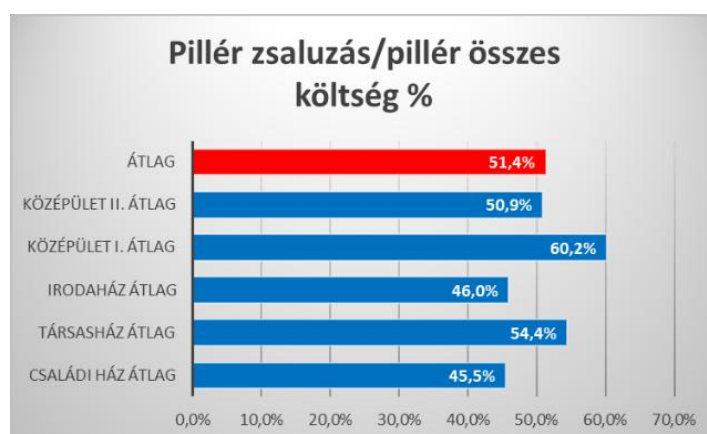


28. ábra: Alapok zsaluzási költségeinek aránya az alapozás teljes költségéhez képest, készítette a szerző, forrás: saját munka.

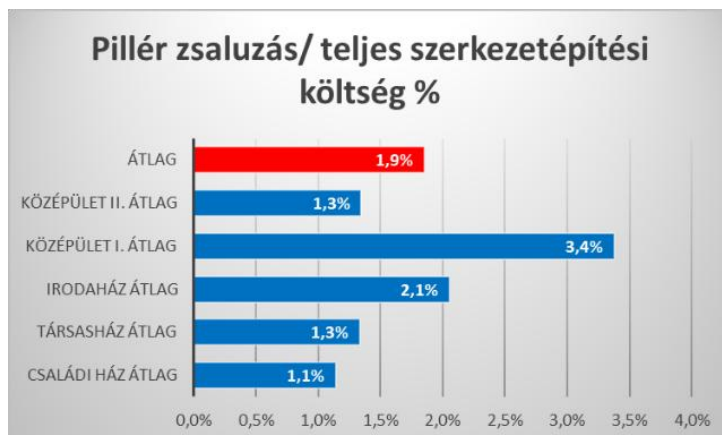


29. ábra: Alapok zsaluzási költségeinek aránya a teljes szerkezetépítés költségéhez képest, készítette a szerző, forrás: saját munka.

Pillér zsaluzatok esetén nagyon érdekes eredmény olvasható le a 30. ábráról. Az átlag zsaluzási költség több mint 50 %-a a pillér teljes szerkezetépítési költségének, ami nagyon fontos, figyelemfelhívó adat. Ahogy azt a bevezetőben is írtam, a zsaluzási munka, és azon belül a zsaluzat anyagköltsége az egyetlen olyan tényező, ami általában nem számítható ki egzakt módon, mert az építés helyszínén felhasznált anyag mennyisége csak nagyon ritkán egyezik meg a valóságban bezsaluzott felületek mennyiségével. Számításokkal igazolható, hogy a számított és a valós zsaluigény általában csak egyszintes, egy-kétszáz négyzetméteres alapterületű épületnél egyezik meg. Az összes többi épületnél nagy eltérések mutakozhatnak, ami a tervezett költségbecsléstől való eltérést eredményezi. Ennek oka a zsaluforgatás [130], ami a pillérek esetében nagyon fontos szerepet tölt be tekintettel a nagy költséghányadára. A zsaluforgatást, és annak optimalizálást a következő fejezetben fejtem ki részletesen. A 30. ábrát összevetve a 31. ábrával elmondható, hogy a pillér zsaluzat a legellentmondásos eleme vasbetonszerkezeteknek. Egyedet tekintve nagyon komoly költséghányadot mutat a pillér zsaluzat, a maga 50% feletti értékével, összességében azonban a teljes szerkezetépítést figyelembe véve még a 2 %-os értéket sem éri el. Ebben a tekintetben a legalacsonyabb értéket a családi ház pillérzsaluzata képviseli, közelítve az átlag értékfeléhez. Amennyiben ez a vizsgálat csak a 2010-es évek előtti családi házakra vonatkozott volna, akkor ez az érték, vagyis a pillér zsaluzat költségaránya a teljes szerkezethez képest a nulla felé konvergálná. Ennek oka, hogy az 2010-óta hazánkban is érvényben lévő európai szabvány, vagyis az Eurocode előírja a földrengésre való megfelelést családi házak esetén is, így ennek megfelelően már egy földszintes épület esetében is megjelennek a vízszintes terhek felvételére alkalmas vasbeton pillérek.



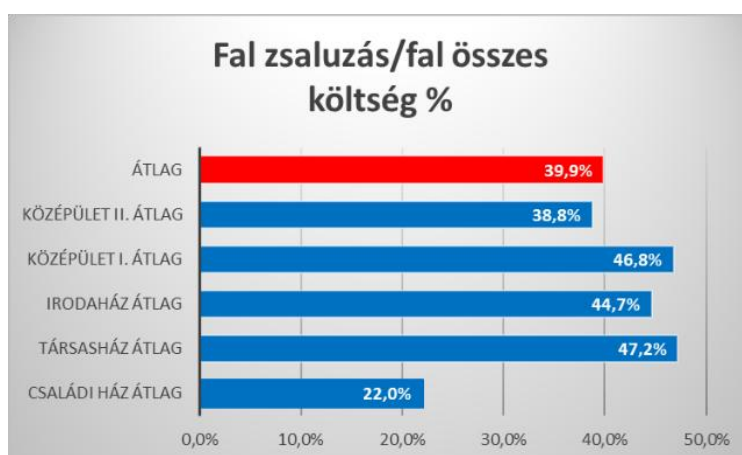
30. ábra: Pillérek zsaluzási költségének aránya a pillérek teljes költségeikhez képest, készítette a szerző, forrás: saját munka.



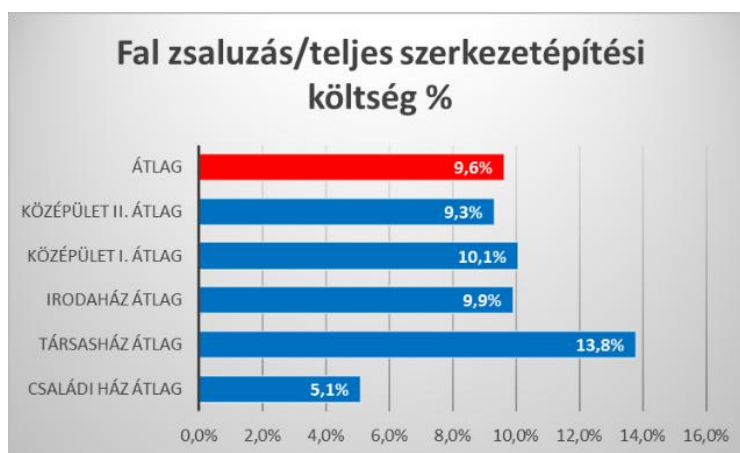
31. ábra: Pillérek zsaluzási költségének aránya a teljes szerkezetépítés költségéhez képest, készítette a szerző, forrás: saját munka.

Falzsaluzat eredményeit vizsgálva (32. ábra) hasonló következtetés vonható le, mint azt a pilléreknél tettem. Árnyaltabb a zsaluzás költség aránya a teljes vasbetonfal költségét tekintve, hisz ez csak átlag 39,9 %, de ezen zsaluzati elemeknél is elengedhetetlen a zsaluoptimalizálás és a zsaluforgatás vizsgálata.

A teljes szerkezetépítés költségét tekintve (33. ábra) a legkisebb értéket a családiház falzsaluzata adja, ami természetesen nem meglepő. Ennek egyszerű oka a tartószerkezetben van, ami családi házak esetében általában téglafalas szerkezet.



32. ábra: Falak zsaluzási költségének aránya a falak teljes költségeikhez képest, készítette a szerző, forrás: saját munka.



33. ábra: Falak zsaluzási költségének aránya a teljes szerkezetépítés költségéhez képest, készítette a szerző, forrás: saját munka.

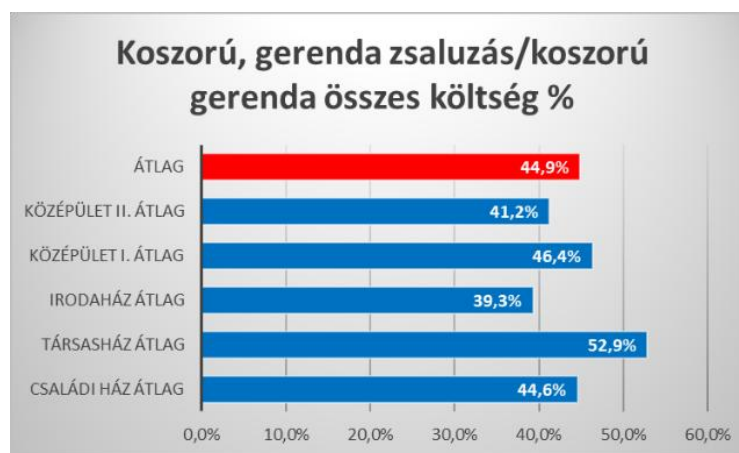
Monolit vasbeton falszerkezet családi ház esetében maximum a pinceszinten jellemző, de ritka eseteket még Magyarországon is találhatunk. (27. kép). Általánosságban elmondható a családiházas pincszerkezetekre, hogy azok tartófalai is inkább zsalukőből épülnek, éppen a drága zsaluzási munkák elkerülése érdekében. Luxus apartmanoknál előfordulhat belső személylift [131] is, aminek tartószerkezete már jellemzően vasbetonból készül.



27. kép: Vasbeton szerkezetű családi ház, készítette a szerző, forrás: saját munka.

A negyedik vizsgált monolit vasbeton szerkezeti elem zsaluzata a koszorúk és gerendák zsaluzata. A 34. ábra azt igazolja, hogy a pillérzsaluzat után a legköltségesebb zsaluzási terület a gerenda és koszorú zsaluzat készítése.

A részletes költségtáblákat elemezve jól látható, hogy amíg a pillérzszaluzatoknál az anyagdíj miatt került a legköltségesebb zszaluzási elemtípus közé a pillér, addig a gerendák és koszorúk esetében a munkadíj emeli meg a zsalu rendszer költségét. Nem véletlen, hogy az építési piacon a leginkább profitorientált ágazatnál az irodaépítési beruházásoknál megpróbálják minimalizálni a monolit vasbeton gerendákkal gyámoltított födémek rendszerét, mert ennek a legnagyobb az élőmunka igénye. A teljes szerkezetépítést tekintve (35. ábra) a koszorúk és gerendák költséghányada megelőzi a pillérzszaluzatok költséghányadát a már említett élőmunka igény miatt. Míg a 2000-es évek előtt jellemzően egy általános építési anyag vagy termék anyagdíja általában kétszerese volt a beépítési vagy munkadíjnak, ma már nemhogy kiegyenlítődött ez az arány, hanem inkább eltolódott a munkadíj irányába.

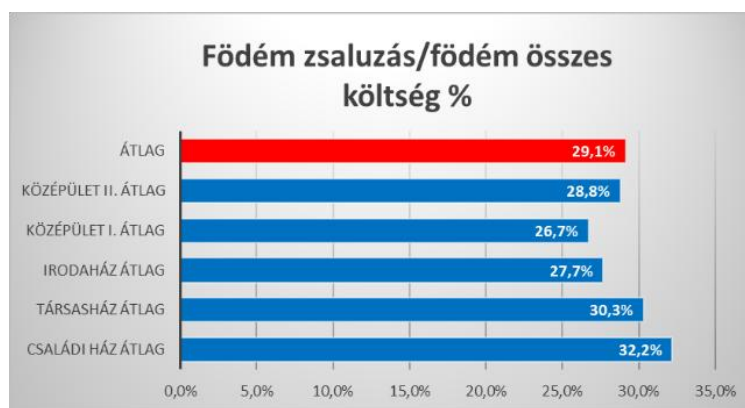


34. ábra: Koszorúk, gerendák zszaluzási költségének aránya a koszorúk, gerendák teljes költségéhez képest, készítette a szerző, forrás: saját munka.

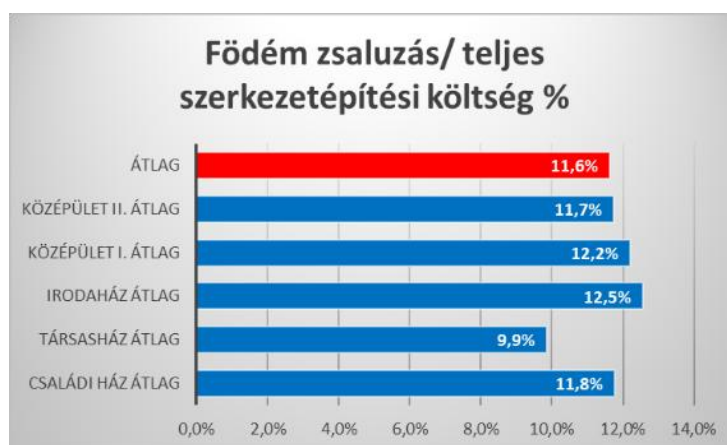


35. ábra: Koszorúk, gerendák zszaluzási költségének aránya a teljes szerkezetépítés költségéhez képest, készítette a szerző, forrás: saját munka.

Az utolsó előtti vizsgálati elemem a födémzsaluzat mutatja a legkiegyensúlyozottabb arányszámot mind a 36. ábra szerint, ahol a zsaluzás költségarányát vizsgáltam a födém szerkezet elkészítésének teljes költségéhez viszonyítva, mind pedig a 37. ábra szerint, ahol a teljes szerkezetépítés költségéhez lett viszonyítva. Ennek oka, hogy a monolit födémzsaluzat szinte egy az egyben tükrözi az épület összes szintterületét, amivel jó közelítéssel lehet becsülni az építés költségét. Elemezve a teljes szerkezetépítési költséghez viszonyított arányszámát megállapítható, hogy a födémzsaluzat a legnagyobb súllyal szereplő elem a zsaluzatok közt, így ennek mennyiségi optimalizálása és forgatása kritikus érték lehet a kivitelezésben.

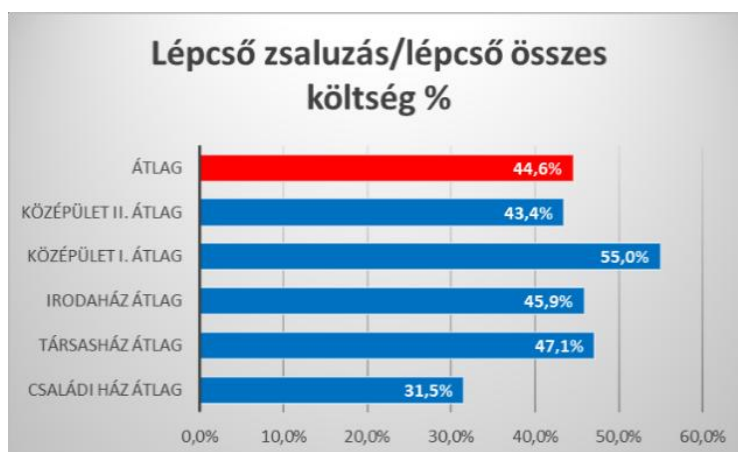


36. ábra: Födémek zsaluzási költségének aránya a födémek teljes költségeikhez képest, készítette a szerző, forrás: saját munka.

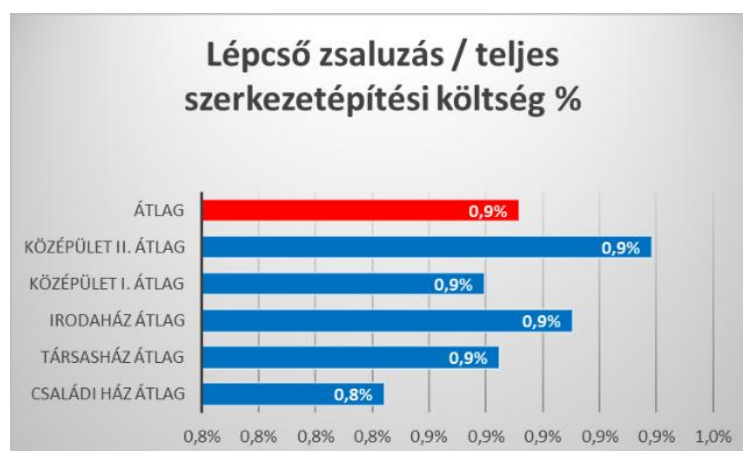


37. ábra: Födémek zsaluzási költségének aránya a teljes szerkezetépítés költségéhez képest, készítette a szerző, forrás: saját munka.

A lépcsőszerkezet a teljes szerkezetépítést tekintve (39. ábra) a legkisebb költségelemet képviseli a zsaluzandó szerkezeteket közt. Ennek ellenére, ha csak a saját, vagyis a lépcsőszerkezet építését elemzem, látható, hogy a zsaluzási költséghányada a teljes lépcsőszerkezet építéséhez képest már jelentős tényező. Átlagosan 44,6%, ami főleg a ráfordítandó magas munkaóra szám miatt ilyen magas, fajlagos anyagigénye nem számottevő. (38. ábra) A monolit vasbeton lépcsőszerkezete [132] építési ideje nem csak azért nagy, mert magas az építési normaóra értéke, hanem nagyon tagozott az építéstechnológiája a zsaluzásnak. A szerkezet fenéklemezének elkészítése után egy darabig nem dolgozhatnak az ácsok, mert következik a betonacél szerelés, és csak annak befejeztével térhetnek vissza az ácsok a lépcső befokolására. A három alapvető szakma a zsaluzás, a betonacél szerelés és a betonozás ezért nem tud fáziseltolódással párhuzamosan együtt dolgozni, mert a térbeli kiterjedése nagyon kicsi egy lépcsőnek, azaz nincs elég munkaterület.



38. ábra: Lépcsők zsaluzási költségének aránya a lépcsők teljes költségeikhez képest, készítette a szerző, forrás: saját munka.

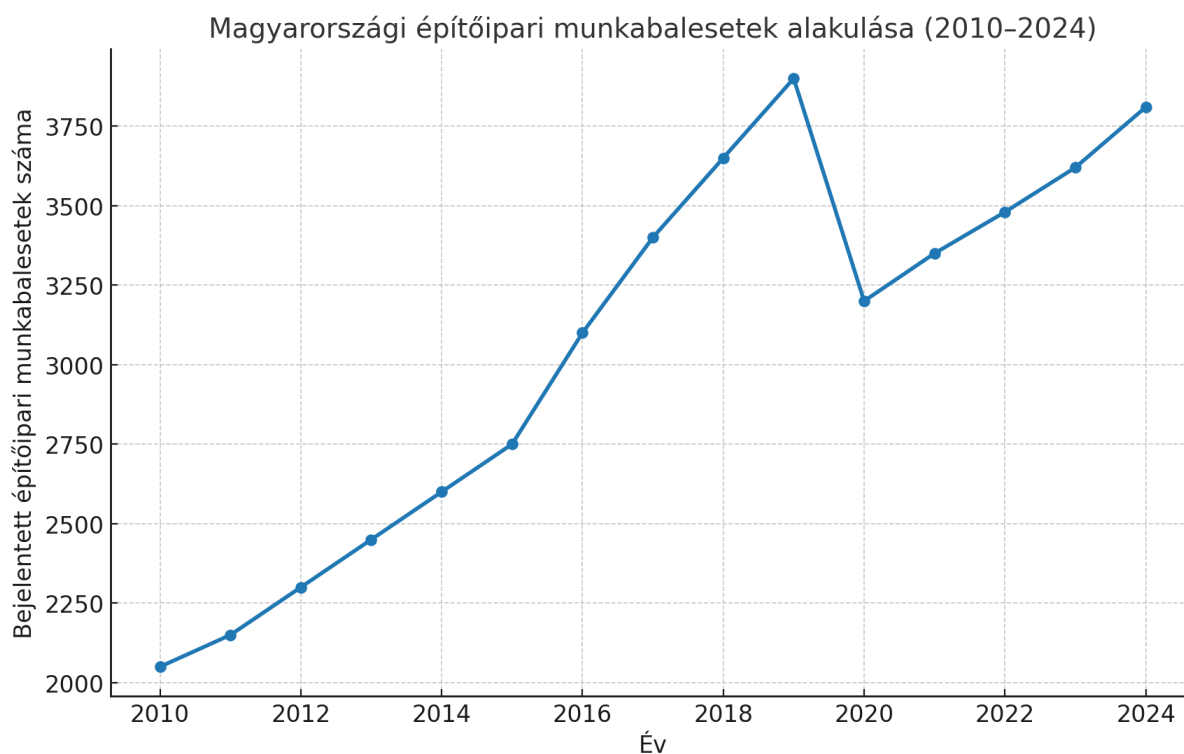


39. ábra: Lépcsők zsaluzási költségének aránya a teljes szerkezetépítés költségéhez képest, készítette a szerző, forrás: saját munka.

3.7 A zsaluzási munkabalesetek kockázata a tervezhető költségrendszerek függvényében

3.7.1 Az építőipari balesetek időbeni elemzése

A vasbeton szerkezetépítés három alappillére a zsaluzás, vasszerelés és betonozás. A korábbi, 1990-es évekbeli felmérések szerint a zsaluzási munkák tették ki az összes szerkezetépítési költség mintegy 48%-át, [7] ami jól tükrözte a zsaluzat anyag- és munkaerő-igényes jellegét. Az elmúlt évtizedek technológiai fejlődése – a korszerű, moduláris zsalurendszerek megjelenése, valamint a bérleti konstrukciók elterjedése – e költséghányadot mára 29% körülire csökkentette. Mindezek ellenére a hazai és nemzetközi statisztikák azt mutatják, hogy a zsaluzási munkákhoz köthető súlyos építőipari balesetek száma nőtt, különösen a nagyvárosi szerkezetépítések és mélyépítési projektek során. A jelenség hátterében nem a technológiai fejlődés hiánya, hanem éppen annak gazdasági és szervezési következményei állnak.



40. ábra: Magyarországi építőipari munkabalesetek [133]

A munkabalesetek grafikonját elemezve észrevehető, hogy a 2019 és 2021 között markánsan csökkentek a balesetek számai. A 2020-as évben tapasztalható drasztikus visszaesés a munkabalesetek számában (nemcsak az építőiparban, hanem országosan is) nem a tényleges munkavégzés biztonságának javulását jelzi, hanem rendkívüli társadalmi-gazdasági körülmények okozták.

Ezek a következők: 2020 tavaszától a koronavírus-járvány leállásokat, építkezési szüneteket, munkaidő-rövidítéseket okozott.

- Az első hullám idején (2020. március–május) a legtöbb építési projekt átmenetileg szünetelt vagy lassított ütemben folyt.
- Sok munkaterületet lezártak, illetve az építőiparban csökkent a munkaslétszám a helyszíneken, így kevesebb munkaóra = kevesebb potenciális baleset.
- Egyes projektek eltolódtak 2021-re (állami, önkormányzati beruházások is).
- A KSH adatai szerint 2020-ban több mint 15 %-kal kevesebb munkabalesetet jelentettek be országosan, mint 2019-ben. Ez az esés minden ágazatban megfigyelhető volt, tehát nem egyedi építőipari jelenség.

Csökkent a kivitelezési volumen és a helyszíni létszám. A járványhelyzet alatt az építőipari cégek rotációs műszakokat vezettek be, hogy kevesebb ember tartózkodjon egyszerre a helyszínen. A határozatok miatt sok külföldi vendégmunkás nem tudott visszatérni Magyarországra, így a helyszíni létszám eleve alacsonyabb volt. Az építőanyag-hiány, logisztikai akadozások (például beton, vasanyag késések) miatt a szerkezetépítési szakaszok ritkábban zajlottak. Ezek mind időszakos lelassulást eredményeztek a munkák ütemében — a kevesebb aktivitás pedig természetesen kevesebb bejelentett balesetet is jelentett.

Alul jelentés (a bejelentések arányának visszaesése)

- A járvány alatt a munkavédelmi felügyelőségek tevékenysége is korlátozott volt: kevesebb helyszíni ellenőrzés, sokszor online vizsgálat történt.
- A kisebb vállalkozásoknál gyakran előfordult, hogy enyhébb sérüléseket nem jelentettek, hogy elkerüljék az adminisztrációs és járványügyi procedúrákat.
- Ezt több nemzetközi tanulmány is kimutatta: 2020-ban világszinten is csökkent a bejelentett balesetek száma, de nem feltétlenül a tényleges eseményeké.

Strukturális gazdasági visszaesés

Technológiai fejlődés és a biztonsági kockázat paradoxona. A zsákvázi rendszerek fejlődése – a fa zsákvázaktól a nagy táblás acél- és alumíniumrendszerekig, valamint a mászható, önmelő és alátámasztásmentes rendszerek megjelenéséig – drasztikusan csökkentette az anyagszükségletet és a szerelési időt. Ugyanakkor e technológiák komplex kezelést és szakszerű szerelést igényelnek.

A korábbi, egyszerűbb rendszereknél a munkások gyakorlati tapasztalatra és vizuális ellenőrzésre támaszkodhattak, míg a mai rendszereknél precíziós illesztések, gyári előírások, teherbírási táblázatok és speciális rögzítések betartása szükséges. Az alacsony szakképzettséggel dolgozó, gyakran alvállalkozói státuszban lévő szerelők körében viszont ezek az ismeretek sokszor hiányosak.

A bérleti konstrukciók és a kivitelezési tempó hatása. A zsalurendszerek bérleti alapon való használata a költséghatékonyság egyik fő tényezője lett. A bérleti időre vetített napi díj azonban időnyomást generál: a vállalkozók és kivitelezők minél rövidebb idő alatt igyekeznek a zsaluzatot felhasználni, bontani és továbbadni. Ez a gyakorlat számos biztonsági következménnyel jár: a szerelési és bontási műveleteket sietve végzik, gyakran a teherbírási próbák vagy ellenőrzések megkerülésével; a munkavédelmi oktatások formálisak, mert az alvállalkozói láncban nincs egységes felelősségi struktúra; a karbantartás és ellenőrzés hiánya miatt a bérzsaluk gyakran hibás vagy deformált elemeket is tartalmaznak. A gyorsaság és költségcsökkentés elsődlegessége tehát a biztonsági kultúra rovására megy.

Munkaerőpiaci változások és szakmai tapasztalatvesztés. Az építőipar munkaerő-szerkezete az elmúlt két évtizedben jelentősen átalakult. A rendszerváltás utáni években még nagy létszámú, saját állományú építőipari szakmunkások dolgoztak, akik hosszú távú szakmai tapasztalattal rendelkeztek. A 2000-es évektől azonban a projektalapú alvállalkozói rendszer vált meghatározóvá. A fluktuáció, a külföldi munkavállalás és az idegymunka következtében a szakképzett zsaluzó-ács munkaerő aránya drasztikusan csökkent. Sok esetben a zsaluzást segédmunkások végzik rövid betanítással, miközben a használt rendszerek magas műszaki szintű kezelést igényelnének.

A biztonsági szabályozás és ellenőrzés lemaradása. A technológia fejlődése nem járt együtt a munkavédelmi szabályozás és a helyszíni ellenőrzési gyakorlat korszerűsödésével. Sok esetben a jogszabályi előírások még a klasszikus fa zsaluzatok korszakához igazodnak, miközben az új rendszerek dinamikus terhelése, magassági szerelése és ideiglenes alátámasztása egészen más kockázatokat rejt. Az ellenőrző szervek – különösen a kisebb vállalkozásoknál – ritkán vizsgálják a zsaluzási folyamatokat valós időben.

A biztonsági dokumentációk sokszor utólag készülnek, nem pedig a tényleges szerelési szekvenciák alapján.

3.7.2 Új módszertan a balesetek megelőzésére

A zsaluzási tevékenységek a monolit vasbetonszerkezetek kivitelezésének egyik legmunkaigényesebb és legveszélyeztetettebb folyamatai közé tartoznak. A kivitelezés során alkalmazott ideiglenes szerkezetek (falzsalu, födémzsalu, pillérzsalu), azok állékonysága, rögzítése és bontása jelentős munkavédelmi kockázatot hordoz. A zsaluzás során történt balesetek leggyakoribb okai a magasságból történő esések, a nem megfelelően rögzített zsaluzati rendszerek, valamint a nem megfelelő alátámasztási és tartószerkezeti kialakításból eredő szerkezetösszeomlások.

Az általam kidolgozott új módszertan egy olyan rendszert mutat be, amely a zsaluzási munkák munkavédelmi kockázatainak számszerűsítését és előrejelzését a szerkezetépítési költségekre, zsaluzási arányszámokra és mennyiségi vizsgálatokra alapozza. A módszertan alapját a 33 megvizsgált épület költség- és zsaluzási adatain végzett elemzés adja, amely igazolta, hogy a zsaluzási tevékenységek fajlagos költségei épülettípusonként stabil arányszámokkal jellemezhetők. Mivel a zsaluzási felület nagysága, a szükséges munkaerő és a végrehajtandó munkaműveletek komplexitása egyenes arányban áll a munkavédelmi kockázatokkal, a költség- és mennyiségi adatok alkalmasak egy kvantitatív munkavédelmi modell alapjául. A cél az volt, hogy egy olyan, műszaki és biztonságtechnikai szempontból is megalapozott módszertan alakítsak ki, amely támogatja a kivitelezők, tervezők és munkavédelmi szakemberek döntését a zsaluzási tevékenységek kockázatainak előzetes becslésében és csökkentésében. A módszertan szerkezetépítési költségvizsgálatok eredményeire alapszik.

A vizsgálati eredmények szerint a zsaluzási tevékenységek a teljes szerkezetépítési költség 24–31%-át teszik ki, épülettípustól függően. A családi házak és kisebb lakóépületek esetében ez az arány 24–25%, míg a társasházaknál és többszintes épületeknél eléri vagy meghaladja a 31%-ot. Ez arra utal, hogy a nagyobb, összetettebb épületekben a zsaluzási munkák volumene és bonyolultsága jelentősen magasabb, ami munkavédelmi szempontból is nagyobb kitettséget jelent.

A szerkezeti elemekre bontott vizsgálatok tovább erősítették ezt a megállapítást. A hat alapvető vasbeton szerkezeti elemre (alapozás, pillérek, falak, gerendák és koszorúk, födémek, lépcsők) elkülönített zsaluzási költségek azt mutatják, hogy a födémek és falak zsaluzása a teljes zsaluzási költség legnagyobb hányadát adja. Mivel ezek a tevékenységek igénylik a legtöbb magasban végzett munkát, állványzati rendszert és alátámasztást, ezekhez kapcsolódik a legmagasabb baleseti kockázati szint.

A költségvizsgálati eredmények tehát nem csupán gazdasági, hanem munkavédelmi előjelzőként is értelmezhetők: minél nagyobb a zsaluzási költségek részaránya, annál nagyobb a várható munkavédelmi kockázati szint.

1. *Mennyiségi alapú zsaluzási kockázati index (ZKI).* A kutatás megmutatta, hogy a zsaluzási költségek és a zsalumennyiségek közel lineáris kapcsolatot mutatnak, épülettípusonként eltérő arányokkal (például családi ház ~24–25%, társasházak ~31%). Ezek az arányok lehetővé teszik egy alapvető kockázati index létrehozását (3. képlet):

$$ZKI = \frac{A_z}{A_{sz}} \times K \quad (3)$$

ahol:

1. A_z : zsaluzandó felület [m²],
2. A_{sz} : teljes monolit szerkezet felülete,
3. K : épülettípusra jellemző korrekciós tényező (0,8–1,2).

Ez az index a következő logikát tükrözi: minél nagyobb a zsaluzási felület aránya, annál összetettebb a zsaluzási folyamat, ami magasabb kockázati szintet eredményez.

2. Szerkezeti elemekre bontott kockázati profil

A harmadik vizsgálati elemzés azt mutatta, hogy az egyes vasbeton elemekhez tartozó zsaluzási költségek függvényében a szerelési, emelési és magasban végzett munkák kockázatai jelentősen eltérnek. (11. táblázat)

11. táblázat: szerkezeti elemek kockázati elemzése, készítette a szerző, forrás: saját munka.

Szerkezeti elem	Tipikus kockázatok	Arány a teljes zsaluzási költségből
Alapok	Mélyásás, omlás, instabil talaj	alacsony
Pillérek	Daruzás, megfogási pontok hiánya	közepes
Falak	Magasban végzett munka,	magas
Gerendák, koszorúk	Átemelés, alátámasztási hibák	közepes
Födémek	Állványzat, alátámasztás-biztonság	nagyon magas
Lépcsők	Térbelileg összetett, bonyolult formák	közepes

A módszertan szerint a költségarányokkal súlyozott profil egyben a várható munkavédelmi ráfordítás arányát is jelzi.

3. *Prediktív munkavédelmi ráfordítási becslés* A költségek és mennyiségek alapján becsülhető (4. képlet):

$$R_{mv} = f(A_z, T, S) \quad (4)$$

ahol:

- A_z : zsaluzandó felület,
- T : épülettípus,
- S : szerkezeti elem kategória.

A függvény a mért sorozatadatokról kalibrálható.

A kutatás eredményei alapján például:

- többalakos épületeknél → kb. 25–30%-kal magasabb Egészségügyi és Munkavédelmi-erőforrásigény a bonyolultabb és nagyobb mennyiségű zsaluzás miatt,
- Födémek és falak esetén → az átlagosnál magasabb biztonságtechnikai költségtenyező szükséges.

A vizsgálati eredmények igazolták, hogy a szerkezetépítésen belül a zsaluzási munkák különösen jelentős és megbízhatóan előre jelezhető aránnyal rendelkeznek. Mivel ezek a költségek és mennyiségek közvetlenül kapcsolódnak a munkavédelmi kockázatokhoz, a kutatás eredményei kiváló alapot nyújtanak egy kvantitatív, reprodukálható kockázatértékelési módszertan létrehozásához.

A módszertan fő előnyei:

- objektív kockázati szintek számíthatók minden zsaluzási munkafázisra,
- előre becsülhetők a szükséges biztonságtechnikai eszközök és intézkedések,
- a zsaluzási költségárányok felhasználhatók a veszélyességi szint előrejelzésére,
- a módszer támogatja a biztonságos munkaszervezést,
- a kockázatok csökkentése mérnöki alapon tervezhetővé válik.

Az új módszertan így olyan átfogó munkavédelmi keretrendszer nyújt, amely közvetlenül épít a kutatás során feltárt mennyiségi és költségszintű eredményekre, és alkalmas arra, hogy építési projektek előzetes biztonságtechnikai tervezésében is alkalmazásra kerüljön.

3.8 Részkövetkeztetések 3. fejezet

Vizsgálatonkénti eredmények és következtetések. Az első vizsgálat, amikor időszávon ábrázoltam, illetve elemeztem a 33 épület fajlagos zsaluzási költségeit, azt igazolta, hogy a kiválasztott épületek szerkezetépítési költségei beillenek a statisztikai adatok sorába. Azaz átlagukat tekintve nincs extrém eltérés a hazai építőipari költségtrendtől, így azok további vizsgálatra alkalmasak.

A második elemzés kutatás célja az volt, az általam definiált egyes épülettípusoknak megtudjam becsülni a zsaluzási költségeit, viszonyítva a teljes szerkezetépítéshez képest. Ehhez elemeztem 33 darab, az elmúlt években megépült épület kiviteli, illetve megvalósulási költségvetését, táblázatos, illetve grafikus módon.

A mérések számszerűsített eredmény azt mutatja, hogy az utóbbi időben tapasztalható drasztikus, a teljes építőiparra vonatkoztatott ár növekedések (főleg az utóbbi 3-5 évben) nem vonatkozik ilyen szignifikánsan a szerkezetépítésre. Így ennek a jövő időre prognosztizált ár becslése, jóval nagyobb pontossággal végezhető el.

A vizsgálat másik fontos eredménye, hogy a konkrét mérések és számítások alapján most már valós arányszámokat kaptam a zsaluzási költségeket illetően. Ennek az eredménynek az egyik felhasználási lehetősége, hogy a számított, vagy ismert zsaluzandó felületek mennyiségéből jó mérnöki becsléssel számítható a szerkezet összköltsége, illetve ennek az inverze is igaz. Az épületek típusa is befolyással van a zsaluzati költség és a teljes szerkezeti költség arányára, főleg a lakóépületeken belüli tipizálásnál. A mérések jól mutatják, hogy míg családi és az általam definiált lakóház esetében a fenti arányszám 24-25% körül mozog, addig a társasházaknál az átlag 31 %. Vagyis a zsaluzás költsége magasabb a teljes szerkezeti költség arányához képest a többlakásos, többszintes lakóépületeknél, mint az egy-két lakásos házaknál.

A harmadik elemzés kutatás célja az volt, az általam vizsgált 33 darab épület egyes szerkezeti elemének zsaluzási költségét elemeztem az adott szerkezet típus teljes építési költségéhez viszonyítva. Ehhez a hat alap szerkezeti típushoz, úgymint a beton, illetve vasbeton alapozási szerkezetek, vasbeton pillérek, vasbeton falak, vasbeton koszorúk és gerendák, vasbeton födémek és vasbeton lépcsőszerkezetek rendeltem párhuzamosan két fő vizsgálati szempontot. Az egyik amikor az egyes szerkezetek zsaluzási költségeit vizsgáltam az adott szerkezet teljes építési költségéhez képest, a másik, amikor a nevesített szerkezet zsaluzási költségét az adott épület teljes monolit vasbetonszerkezet építéséhez viszonyítottam. A szerkezeti elemenként két eredmény grafikont egymás mellett ábrázolva elemeztem. A mérések és az egyes elemekre vonatkozó két-két diagramból a következők állapíthatók meg.

Amennyiben ismerem az épület tervezett szerkezetépítési költségét, akkor a második vizsgálati eredmény alapján jó közelítéssel tudom becsülni a teljes zsaluzási munkák költségét, és abból levezetve a 3. vizsgálat eredményeiből tudom becsülni az egyes szerkezeti elemek zsaluzási költségét. Az egyes vizsgálatok eredménye alapján a fenti eredményekből nem csak a költséget, hanem az egyes szerkezeti elemek megépítéséhez szükséges zsalumennyiség alapjai is becsülhetők.

Munkavédelem szempontjából a vizsgálati eredmények azt mutatják, hogy a zsaluzási munkák a szerkezetépítésen belül kiemelten nagy és jól előre jelezhető arányt képviselnek. Mivel a zsaluzási költségek és mennyiségek szoros kapcsolatban állnak a munkavédelmi kockázatokkal, a kutatás megbízható alapot ad egy kvantitatív, reprodukálható kockázatértékelési módszer kialakításához. Az új módszertan lehetővé teszi, hogy minden zsaluzási munkafázisra objektív kockázati szinteket számítsunk. A megközelítés előre jelzi a szükséges biztonságtechnikai eszközök és intézkedések mértékét is. A zsaluzási költségarányok felhasználhatók a várható veszélyességi szint meghatározására. A módszer hozzájárul a munkaszervezés biztonságosabbá tételéhez. Lehetővé teszi, hogy a kockázatsökkentés mérnöki alapon, tervezetten történjen. A rendszer különösen hatékony, mert a valódi költség- és mennyiségi adatokra épít. Az így létrehozott keretrendszer jól illeszthető a kivitelezési folyamatokba. Alkalmazása elősegíti a projektek előzetes és megalapozott munkavédelmi tervezését.

ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK

I. Homlokzati állványok katasztrófáinak vizsgálata, elemzése, a balesetek megelőzésének lehetőségei, kutatása

Az építőipari balesetek vizsgálata során feltárható, hogy a munkavégzéshez kapcsolódó súlyos és halálos kimenetelű események döntő többsége nem egyedi, elszigetelt jelenség, hanem komplex ok-okozati láncolatok eredménye. Az iparágban a munkakörülmények, a technológiai eljárások, a szervezeti kultúra és az emberi tényezők szorosan összefonódnak, ezért a balesetek megelőzése kizárólag rendszerszintű szemlélettel valósítható meg. A kutatás egyik alapvető megállapítása, hogy az építőipar sajátos működési környezete – az időjárás, szerkezeti, logisztikai és humán tényezők változékonysága – folyamatosan magas kockázatot hordoz. A statisztikai adatok alapján az építőipar mind nemzeti, mind nemzetközi szinten a legveszélyesebb ágazatok közé tartozik, ahol a munkabalesetek aránya és súlyossága kiemelkedően magas. Ezen belül a halálos kimenetelű balesetek számottevő része az állványzati rendszerekhez, illetve az ideiglenes szerkezetek összeomlásához köthető. A vizsgálat megerősítette, hogy a magasból történő leesés, az ideiglenes szerkezetek összeomlása, valamint az árkok munkagödrök beomlása a leggyakoribb és legsúlyosabb következményekkel járó baleseti forma. Az ilyen események hátterében szinte minden esetben több tényező együttes jelenléte mutatható ki: technikai hiányosság, szabálytalan szerelés, nem megfelelő anyaghasználat, illetve a védőfelszerelések hiánya vagy nem rendeltetésszerű alkalmazása. Ezt tovább súlyosbítja a munkaszervezés hiányossága, a biztonsági kultúra alacsony szintje, valamint az időnyomásból fakadó kockázatvállaló magatartás. Az emberi tényező nemcsak a hibák elkövetésében, hanem azok láncreakciószerű tovább gyűrűzésében is döntő szerepet játszik, ezért a megelőzés alapja nem pusztán a technikai védelem, hanem a biztonság tudatos gondolkodás kialakítása.

A kutatás részletesen feltárta az ideiglenes szerkezetek – így különösen az állványzatok, ideiglenes födémek, lépcsők és megtámasztások – összeomlásából eredő balesetek szerkezeti és technológiai okait. Az eredmények azt mutatják, hogy ezek a szerkezetek sok esetben nem megfelelő statikai méretezés vagy alulértékelt terhelés mellett készülnek. A túlterhelés, a nem megfelelő alátámasztás, illetve a gyenge anyaghasználat egyaránt előidézhetheti az összeomlást, amely súlyos személyi sérülésekkel vagy halálesettel járhat. Különösen gyakori a helyszíni „barkácsolt” ideiglenes szerkezetek használata, amelyek bár rövid távon költségkímélőek, hosszú távon jelentős biztonsági kockázatot hordoznak.

A vizsgálat rávilágított arra is, hogy a költségvetési tervezés hiányosságai miatt sok esetben már a projekt-előkészítés szakaszában sem szerepelnek az ideiglenes szerkezetek biztonságos kivitelezéséhez szükséges eszközök és eljárások, ami a kockázatok intézményes beépülését eredményezi a kivitelezési folyamatba.

A mélyépítési balesetek elemzése rámutatott arra, hogy a munkagödrök, árkok és rézsűk beomlása gyakran a talajmechanikai feltételek felületes értékeléséből és a megtámasztási rendszerek hibás megválasztásából ered. A dokumentumban bemutatott technológiák – mint a résfalas, cölöpsoros és acél szádpallós megtámasztás – mind korszerű megoldások, ugyanakkor mindegyik esetében előfordulhatnak súlyos szerkezeti balesetek, ha a geotechnikai feltárás, a méretezés, vagy a kivitelezés ellenőrzése hiányos.

A balesetek tipológiájának vizsgálata arra enged következtetni, hogy a legtöbb esetben nem az alkalmazott technológia hibája a meghatározó, hanem annak fegyelmezetlen, illetve nem dokumentált használata. A balesetekhez vezető láncolatokban szinte mindig kimutatható valamilyen szervezeti vagy adminisztratív hiányosság, például a biztonsági ellenőrzések formális végrehajtása, a jegyzőkönyvezés hiánya, vagy a kommunikációs lánc megszakadása a kivitelezés különböző szintjei között. Az állványzati balesetek kapcsán külön figyelmet érdemel a tűzesetek kérdése, amelyek egyaránt fakadhatnak elektromos zárlatokból, hegesztési munkálatokból vagy a tárolt éghető anyagok nem megfelelő elhelyezéséből. Ezek az események gyakran az állványzat teljes megsemmisüléséhez, a szerkezet instabilitásához és a környező épületek károsodásához vezetnek. Az ilyen típusú katasztrófák jól szemléltetik, hogy a balesetek megelőzése nem korlátozódhat a szerkezeti biztonságra, hanem kiterjedt tűzvédelmi, logisztikai és evakuációs tervezést is igényel. A kutatás kiemelte, hogy a legtöbb állványtűz háttérben a munkaterület rendezetlensége, a felelősségi körök tisztázatlansága, illetve az időszakos ellenőrzések hiánya áll, ami a felügyeleti rendszer gyengeségét jelzi.

A homlokzati állványok összeomlásának okainak és a balesetek elemzéseinek során a részletes feltárássra kerültek a nem megfelelő statikai tervezés, a helytelen vagy hiányos kivitelezés, a nem megfelelő alátámasztás és alapozás; az időjárási hatások (szél, csapadék, hó, fagy), a karbantartási és ellenőrzési hiányosságok, valamint az emberi tényező – hibás használat, szabályszegés okai, és azok megelőzési lehetőségei. Az egyik leggyakoribb strukturális ok a hiányos vagy hibás statikai számítás. A homlokzati állványoknak meg kell felelniük az MSZ EN 12810 és EN 12811 szabványok előírásainak, amelyek meghatározzák a szerkezeti elemek teherbírását, lehajlási határokat, stabilitási kritériumokat és csatlakozási követelményeket.

Ha az állvány méretezése nem veszi figyelembe a tényleges terheléseket (például szélteher, hóteher, anyaghalmozás), akkor a szerkezet nem lesz képes a biztonságos teherviselésre. Az állvány összeomlásához vezethet a szerelés során elkövetett hibás gyakorlat, például hiányzó merevítők, túl kevés vagy rosszul rögzített horgonyzás, nem rendszerazonos elemek alkalmazása, vagy a járófelületek nem megfelelő rögzítése. A kivitelezési hibák következtében az állvány elveszti globális merevségét vagy lokális stabilitását, ami oldalirányú vagy torziós instabilitáshoz vezethet. Az állvány összeomlásának gyakori oka az egyenetlen vagy puha talajon történő hibás teherátadás. Az állítható, menetorsós lábak nem megfelelő színtezése, elcsúszó fapallók, vagy csapadékos időszakban megcsúszó alátámasztás következtében az állvány lábai közül az egyik megsüllyedhet, és az egész rendszer megbillenhet. Különösen veszélyes tényező a védőhálóval borított állvány, amely vitorlaszerű felületként működik nagy szélben. Az ilyen jellegű szélteher kritikus horgonyzási pontokat képes kiszakítani a falazatból, és az állvány billenéséhez vagy borulásához vezethet.

A hó- és jégteher is túlterhelheti a szinteket, míg az eső csúszóssá teheti a járófelületeket. Az állványrendszerek használat közbeni elhasználódása, kopása vagy sérülése meggyengíti a szerkezeti integritást. Ha a rendszeres vizsgálat és karbantartás elmarad, a meglazult csatlakozások, sérült bilincsek, repedezett padlólapok és rozsdás elemek nem kerülnek időben cserére, ami váratlan szerkezeti hibákhoz vezethet. A nem megfelelő oktatás, munkafegyelem hiánya és a szabályok szándékos megszegése (például védőkorlát eltávolítása, szintek önkényes módosítása, idegen elemek beépítése) fokozott balesetveszéllyel jár. A szervezetlen anyagmozgatás, rendezetlen közlekedés, nem kijelölt feljárók használata, vagy a nem engedélyezett eszközök (például létra az állványon belül) alkalmazása közvetlen baleseti kockázat.

A 3D-s fotószkenner alkalmazása forradalmi előrelépést jelenthet a homlokzati állványok biztonsági ellenőrzésében. Az objektív és pontos mérési adatok alapján a rendszer lehetőséget biztosít a gyors döntéshozatalra, amely jelentősen csökkentheti a szerkezeti hibákból adódó balesetek kockázatát. Bár a technológia bevezetése kezdeti beruházást és speciális szaktudást igényel, hosszú távon az építőipari munkavégzés biztonságának növeléséhez és a munkabalesetek megelőzéséhez járulhat hozzá. Az automatizált ellenőrzési rendszerek alkalmazása így nemcsak a munkavédelmi előírásoknak való megfelelést segíti, hanem egy hatékonyabb és megbízhatóbb munkafolyamatot is eredményezhet.

Az állványzatok esetén egy utólagos, nem folyamatos ellenőrzési módszertant fogalmaztam meg. Az újszerűsége a megvalósulási terv elemzésén alapul.

A hagyományos értelemben vett megvalósulási tervet egy szerkezet, egy objektum elkészülte után rajzolnak meg, aminek a célja, hogy mindennemű változás, ami az eredeti tervhez képest máshogy épült meg az dokumentálva legyen.

A mi esetünkben az állványzat megvalósulási tervét nem „valaki” tervezi, vagy készíti el, hanem a fent említett pontfelhős mérés, illetve az abból alkotott 3D-s modellből épül fel a valóság alapján. Ennek hibaelemzése, és azok korrigálása után lenne csak kiadható az állvány használatbavételi műszaki engedélye. Természetesen a két módszer kombinálva a leghatékonyabb, ami persze a zsaluzatok esetében az e fajta utólagos ellenőrzés módszeréhez még sok kérdést fog feltenni a mérnök társadalom.

II. Az építőipari segédszerkezetek, úgy, mint zsaluzatok és teherhordó állványok baleseti forrásai, azok megelőzésének vizsgálatai, kutatása és fejlesztése – Összegző következtetések

Az építőipari segédszerkezetek, különösen a zsaluzatok és a teherhordó nehézállványok, az építési technológia nélkülözhetetlen, ugyanakkor kiemelten veszélyes elemei. A kutatás célja az volt, hogy a zsaluzási és állványzati rendszerekhez kapcsolódó balesetek okait, gyakoriságát és kockázati tényezőit a gyakorlatban mért adatok segítségével feltárja, és e tapasztalatok alapján olyan új, biztonságot növelő módszert dolgozzon ki, amely az építési folyamat egészére alkalmazható. A vizsgálatok különösen a pillérzsaluzatokra fókuszáltak, mivel ezek a szerkezetek az építkezések során a legnagyobb teherkoncentrációknak és dinamikus igénybevételeknek vannak kitéve. A mérések és tapasztalati elemzések eredményeként megfogalmazott következtetések egyszerre járulnak hozzá az építési folyamatok hatékonyságának és a munkahelyi biztonság szintjének emeléséhez.

A kutatás első szakaszában a pillérzsaluzatokhoz kapcsolódó időnorma-értékek meghatározása és elemzése zajlott. A terepi mérések célja az volt, hogy pontos adatokat szolgáltatassanak a szerelési, betonozási és bontási folyamatok időigényéről, valamint a különböző zsalutípusok teljesítményéről. A vizsgálatok kimutatták, hogy a hagyományos, statikus normarendszer gyakran torz képet ad a tényleges kivitelezési időkről. A változó környezeti feltételek, a munkaterhelés és a munkaerő-szervezés hatékonysága olyan tényezők, amelyeket a korábbi szabványosított értékek nem tudtak megfelelően kezelni. Ennek következményeként az építési ütemezés és költségtervezés gyakran túlzottan optimistává vált, ami közvetlenül vezetett a biztonsági előírások megszegéséhez, a munkafolyamatok felgyorsításához és a segédszerkezetek túlterheléséhez.

A mérések alapján sikerült kidolgozni egy valós körülményeket tükröző normarendszert, amely figyelembe veszi a pillérzszaluzatok szerkezeti összetettségét, magasságát, betonfelületét és a használt anyagok minőségét. A pontosított időnormák lehetőséget adnak a kivitelezési ütemek realisabb tervezésére, ami közvetlenül hozzájárul a munkabiztonság növeléséhez.

A kutatás kimutatta, hogy a realisan kalkulált időértékek mellett a dolgozók kevésbé kényszerülnek a sietségre, ami csökkenti a figyelmetlenségből, fáradtságból vagy túlterhelésből eredő hibák számát. A pontos időtervezés így közvetve, de lényegesen mérsékli a baleseti kockázatokat, miközben javítja a termelékenységét és az építési folyamat átláthatóságát.

A kutatás második pillére a „dinamikus zsaluforgatási optimalizálási modell” kidolgozása volt, amely a zsaluzási ciklusok, a kapacitáskihasználás és az újra használat arányainak valós idejű szabályozásán alapul. A modell a függőleges szerkezetek esetében különösen hatékony, mivel e szerkezetek bontási és újra szerelési ütemét közvetlenül befolyásolja a szerkezeti stabilitást is meghatározó beton szilárdulásának ideje. A hagyományos gyakorlatban a zsaluforgatási sebesség gyakran a gazdasági szempontokat követte, figyelmen kívül hagyva a technológiai biztonsági határokat. Ezzel szemben az új modell a mért adatokra épít, és képes optimalizálni a zsalukörforgás ütemét a kivitelezés előrehaladásának és a beton fizikai állapotának függvényében. Az eredmény egy olyan adaptív rendszer, amely valós idejű visszacsatolás alapján képes megakadályozni a túl korai zsalubontást vagy a zsalurendszerek túlterhelését. A modell gyakorlati alkalmazása lehetővé teszi a munkaerő és az eszközök rugalmasabb beosztását, ami gazdasági és szervezési előnyt is jelent. A dinamikus modell alkalmazása tehát kettős eredményt hoz: egyrészt optimalizálja a kivitelezés hatékonyságát, másrészt közvetlenül növeli a munkahelyi biztonságot. A modell egyik legnagyobb előnye, hogy nem csak tervezési eszközként, hanem élő, folyamatos biztonsági felügyeleti rendszerként is működik, amely képes reagálni a kivitelezés közben fellépő váratlan változásokra.

A harmadik kutatási irány a munka- és balesetvédelem fejlesztésére irányult, amely szorosan kapcsolódik mind az időnormák, mind a zsaluforgatási rendszer optimalizálásához. A terepi adatok alapján egyértelművé vált, hogy a legtöbb segédszerkezeti baleset közvetett módon a rosszul ütemezett, túl gyorsan végzett munkafolyamatokra vezethető vissza. Az új normarendszer és a dinamikus modell bevezetése ezzel szemben egy olyan kontrollált, előre jelezhető folyamatot biztosít, amelyben a kockázatok azonosíthatók és kezelhetők, mielőtt bekövetkeznének. A kutatás gyakorlati hozadéka egy digitális monitoring rendszer koncepciója, amely a mért idő adatokat, zsaluforgatási ütemeket és biztonsági paramétereket valós időben képes nyomon követni.

Ez a rendszer automatikus riasztást küld, ha a zsaluk terhelése, az ütemezés vagy a környezeti paraméterek biztonsági határértéket közelítenek. A fejlesztés hosszú távon az építőipari biztonságirányítás új korszakát alapozhatja meg. A digitális és adat vezérelt felügyeleti megoldások integrálása a kivitelezésbe lehetővé teszi, hogy a biztonság ne utólagos ellenőrzés, hanem a munkafolyamat szerves része legyen.

Ez a szemléletváltás nemcsak a balesetek számát csökkenti, hanem a felelősségvállalás és a munkafegyelem kultúráját is erősíti. A méréseken és visszacsatolásokon alapuló biztonságirányítás tehát nem csupán technológiai újítás, hanem szervezeti és humán tényezőket is érintő fejlődési irány.

Összességében a kutatás eredményei azt mutatják, hogy az építőipari segédszerkezetekkel kapcsolatos balesetek megelőzése csak integrált, mérésalapú megközelítéssel lehetséges. A pillérzsaluzatok időnorma-vizsgálata, a dinamikus zsaluforgatási optimalizálási modell és a munkavédelmi innovációk együttesen egy olyan rendszert alkotnak, amely egyszerre szolgálja a gazdasági hatékonyságot és az emberi élet védelmét. Az új modell elméleti és gyakorlati szinten is igazolta, hogy az adat vezérelt, adaptív biztonsági megközelítés képes forradalmasítani az építőipari kivitelezést. A jövő építési folyamatai így nemcsak gyorsabbak és olcsóbbak, hanem biztonságosabbak is lehetnek – ami nemcsak műszaki, hanem társadalmi szinten is jelentős előrelépést jelent.

III. A vasbetonszerkezetek építési fázisainak baleseti kockázata az épületszerkezetek és épülettípusok költségei a zsaluzás, a betonacélszerelés, és a betonozás függvényében.

A kutatás harmadik szakaszának központi célja az volt, hogy feltárja a különböző vasbetonszerkezeti elemek – alaptestek, födém szerkezetek, falak, pillérek és egyéb monolit elemek – szerkezetépítési fázisaihoz, legfőbbképp a zsaluzáshoz kapcsolódó költségáram-függvényeket, és kimutassa azok kapcsolatát a munkavédelmi kockázatokkal és balesetmegelőzési lehetőségekkel. Az építőipari projektek költségstruktúrájának helyes értelmezése nem csupán gazdasági kérdés, hanem alapvető biztonsági tényező is. A tapasztalatok azt mutatják, hogy a helytelenül kalkulált költségbecslések, a hibás ütemezés és az alulfinanszírozott munkaszakaszok közvetlenül hozzájárulnak a biztonsági előírások megszegéséhez, a szervezési hiányosságokhoz és az ipari balesetek növekedéséhez. A kutatás ezen összefüggések feltárásával kívánta bemutatni, hogy az anyagi és technológiai tervezés pontosítása milyen mértékben képes csökkenteni a kockázatokat.

A harmadik hipotézisemre alapuló vizsgálat alapja 33 darab már elkészült épület utókalkulációjának költségelemzése. Az épületek lakó és középületek. Az ipari épületek vizsgálata nem volt tárgy a kutatásomnak. Az oka, hogy az ipari vasbetonszerkezetek túlnyomó többsége előregyártott vasbetonszerkezetű, ami azt jelenti, a három fő vizsgálat technológia közül a zsaluzás technológiája egészen más a monolit szerkezetépítés technológiájánál, így az összehasonlítás nem lenne irányadó.

A vizsgálat alapvetően két fő ágon folytattam. Ez egyik, ahol az egyes épület típusok alapján elemzem a monolit vasbetonépítés három fő fázisának a zsaluzásnak, a vasszerelésnek és a betonozásnak a költségarány alakulását. A másik kutatási fővonal, amikor az egyes épülettípusokon belül az egyes szerkezeti elemeket vizsgálom a költségoldalról a fent említett három fő technológia függvényében.

A disszertációm jelen fejezetében vizsgált zsaluzási költségek aránya a teljes szerkezetépítési munkákhoz viszonyítva jóval kedvezőbb (29%), mint a bő harminc évvel ezelőtti adatok mutatták. Ennek okai a következők. Az már korábban is egyértelmű volt, látva az 20-as számú ábrát, hogy a költségek, ha nem is lineárisan, de az évek során emelkedő tendenciát mutatnak, hasonlóan a 90-es évek mutatóihoz. Az átlagérték 29 %, ami jóval alacsonyabb a korábbi statisztikai adatoknál. Ennek egyik oka valószínűsíthetően a 90-es évek nagy külgazdasági változása, amikor is az import áruk Magyarországra történő behozatala már nem függött a nagy külkereskedelmi vállalatoktól, hanem azt önállóan, bárki megvásárolhatta közvetlen a külföldi gyártótól. Ez történt a korszerű zsaluzati rendszerekkel is, amelyek ezek után nagy mennyiségben érkeztek a hazai építőipar piacára. Ez nagyban megreformálta a zsalu felhasználásának, illetve annak újratermelésének a rendszerét. Megalakultak a nagynevű európai zsalugyártó cégek hazai leányvállalatai, és ezáltal Magyarországon is létrejött a bérzsaluzati rendszerek piaca, illetve a maga a zsalubérlet fogalma. Ez a mind gazdaságilag, mind műszakilag új fogalom felértékelte a zsaluforgatás jelentőségét, hiszen már nem csak a saját anyavállalat zsaluját használták a kivitelezők „korlátlan időzónában”, ahogy ezt korábban megtehették, hanem egy bérleti díj alapú, profitorientált rendszer részei lettek. A két tényezőnek, vagyis a bérlet alapú zsaluhasználatnak, illetve a korszerű zsaluzati rendszerek használatának eredményeképp megállapítható, hogy ugyanazon időintervallum alatt jóval kisebb mennyiségű zsaluzattal végzik ma el ugyanazt a volumenű szerkezetépítésű munkát, mint korábban a tervgazdasági alapon működő rendszerben. Ez pedig azt jelenti, hogy kisebb költségarány mutatkozik a zsaluzat oldalán a teljes szerkezetépítés vonatkozásában.

A másik kutatási fővonal eredményeként - amikor az egyes épülettípusokon belül az egyes szerkezeti elemeket vizsgálom a költségoldalról a fent említett három fő technológia függvényében – a következő következtetések állapíthatók meg. Az alaptestek zsaluzási költségeinek aránya bőven a 10 % alatt marad, ami azt jelenti, hogy a zsaluzás nem szignifikáns érték az alapozási munkák összességét tekintve, azaz egy költség becslés esetén nem kell az alapozási terv kiviteli szintű állapota, mert ez ilyen mértékben bármelyik tervfázisban alkalmazható.

Az átlagtól felfelé való eltérés a középületek mindkét csoportjánál megfigyelhető. Ennek oka az egyedi, középületenként más és más szerkezeti kialakítás, ami sokszor egyedi alapmegoldásokat eredményez. Ilyenek, a már korábban is jelzett gerendarácsok, vagy az alapterület arányát tekintve nagy mennyiségű sávalapok.

Pillér zsaluzatok esetén nagyon érdekes eredményre jutottam. Az átlag zsaluzási költség több mint 50 %-a a pillér teljes szerkezetépítési költségének, ami nagyon fontos, figyelemfelhívó adat. Ahogy azt a bevezetőben is írtam, a zsaluzási munka, és azon belül a zsaluzat anyagköltsége az egyetlen olyan tényező, ami általában nem számítható ki egzakt módon, mert az építés helyszínén felhasznált anyag mennyisége csak nagyon ritkán egyezik meg a valóságban bezsaluzott felületek mennyiségével. Számításokkal igazolható, hogy a számított és a valós zsaluigény általában csak egyszintes, egy-kétszáz négyzetméteres alapterületű épületnél egyezik meg. Az összes többi épületnél nagy eltérések mutakozhatnak, ami a tervezett költségbecsléstől való eltérést eredményezi. Ennek oka a zsaluforgatás, ami a pillérek esetében nagyon fontos szerepet tölt be tekintettel a nagy költséghányadára. Falzsaluzat eredményeit vizsgálva hasonló következtetés vonható le, mint azt a pilléreknél tettem. Árnyaltabb a zsaluzás költség aránya a teljes vasbetonfal költségét tekintve, hisz ez csak átlag 39,9 %, de ezen zsaluzati elemeknél is elengedhetetlen a zsaluoptimalizálás és a zsaluforgatás vizsgálata. A negyedik vizsgált monolit vasbeton szerkezeti elem zsaluzata a koszorúk és gerendák zsaluzata. A kutatási számaim igazolják, hogy a pillérzsaluzat után a legköltségesebb zsaluzási terület a gerenda és koszorú zsaluzat készítése.

A részletes költségtáblákat elemezve jól látható, hogy amíg a pillérzsaluzatoknál az anyagdíj miatt került a legköltségesebb zsaluzási elemtípus közé a pillér, addig a gerendák és koszorúk esetében a munkadíj emeli meg a zsalu rendszer költségét. Nem véletlen, hogy az építési piacon a leginkább profitorientált ágazatnál az irodaépítési beruházásoknál megpróbálják minimalizálni a monolit vasbeton gerendákkal gyámoltott födémek rendszerét, mert ennek a legnagyobb az élőmunka igénye.

A födémzsaluzat mutatja a legkiegyensúlyozottabb arányszámot, ahol a zsaluzás költségarányát vizsgáltam a födémszerkezet elkészítésének teljes költségéhez viszonyítva. Ennek oka, hogy a monolit födémzsaluzat szinte egy az egyben tükrözi az épület összes szintterületét, amivel jó közelítéssel lehet becsülni az építés költségét. Elemezve a teljes szerkezetépítési költséghez viszonyított arányszámát megállapítható, hogy a födémzsaluzat a legnagyobb súllyal szereplő elem a zsaluzatok közt, így ennek mennyiségi optimalizálása és forgatása kritikus érték lehet a kivitelezésben. A lépcsőszerkezet a teljes szerkezetépítést tekintve a legkisebb költségelemet képviseli a zsaluzandó szerkezeteket közt.

Ennek ellenére, ha csak a saját, vagyis a lépcsőszerkezet építését elemzem, látható, hogy a zsaluzási költséghányada a teljes lépcsőszerkezet építéséhez képest már jelentős tényező. Átlagosan 44,6%, ami főleg a ráfordítandó magas munkaóra szám miatt ilyen magas, fajlagos anyagigénye nem számottevő. A monolit vasbeton lépcsőszerkezet építési ideje nem csak azért nagy, mert magas az építési normaóra értéke, hanem nagyon tagozott az építéstechnológiája a zsaluzásnak.

Az elemzés végső szakasza a költségarányok és balesetmegelőzés közötti rendszerszintű kapcsolatot tárta fel. A kutatás során világossá vált, hogy a gazdasági és biztonsági mutatók közötti egyensúly megteremtése nem csupán menedzsment-, hanem mérnöki és szervezési kérdés is. A pontos költségfüggvények lehetővé teszik az erőforrások hatékony allokációját, a munkafázisok optimális ütemezését és a kritikus biztonsági pontok előzetes azonosítását. Ezzel a szemlélettel a balesetmegelőzés nem utólagos ellenőrzési funkcióvá válik, hanem a költségtervezés és projektmenedzsment integrált részévé. A kutatás elméleti újdonsága abban rejlik, hogy a gazdasági modellezést a biztonságtechnikai folyamatokkal egy rendszerbe kapcsolta, kimutatva, hogy a költségarányok helyes meghatározása önmagában is balesetcsökkentő tényező.

Összegzésképpen megállapítható, hogy az alaptestek, födémszerkezetek, falak, pillérek és egyéb vasbeton elemek költségfüggvényeinek összehangolt elemzése új megközelítést hozott az építőipari biztonságtechnika területére. A kutatás bebizonyította, hogy a pénzügyi és műszaki paraméterek közötti egyensúly a munkavédelmi kockázatok kezelésének kulcsa. Az adat vezérelt, költségarányokon alapuló tervezés nemcsak a projektgazdálkodás hatékonyságát növeli, hanem lehetővé teszi a veszélyforrások korai felismerését is. A pontos költségbecslés tehát nem pusztán gazdasági szükségszerűség, hanem a balesetmegelőzés egyik leghatékonyabb eszköze. A kutatás eredményei alapján kijelenthető, hogy a jövő építőipara csak akkor válhat fenntarthatóvá és biztonságossá, ha a költségarányokat és a munkavédelmi szempontokat egységes, integrált rendszerként kezeli.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Kutatómunkám alapján az alábbi új tudományos eredmények elfogadására teszek javaslatot:

1. Az építőipari homlokzati állványzatok szerkezeti és kivitelezési hibákból adódó balesetei bekövetkezési kockázatának elemzése és értékelése alapján **meghatároztam** az állványzatokkal kapcsolatos baleseti események rendszerelméleti jellemzőit és **javaslatot tettem** a háromdimenziós fotószkenner és Archicad építész tervező program által előállított, térbeli modellre épülő digitális műszaki ellenőrzési eljárásra és módszertanra, amely objektív és pontos felmérési adatok alapján lehetőséget biztosít a kivitelezés közbeni hibák azonnali azonosítására és ezzel az állványzati balesetek megelőzésére.

2. A vasbetonszerkezetek zsaluzási és teherhordó állvány szerelési munkáit érintő konkrét esettanulmányra épülő helyszíni mérések segítségével **megvizsgáltam** az építőipari segédszerkezetek, zsaluzatok és teherhordó állványzatok baleseti okait és körülményeit, melynek alapján **bebizonyítottam**, hogy a baleseti események többségének hátterében a költségsökkentés áll. Ennek figyelembevételével **kidolgoztam** egy optimalizált zsaluforgatási modell által valós körülményeket tükröző új munkaidő és anyagnorma rendszert, amelyek lehetőséget adnak a kivitelezési ütemek és a költségek reálisabb tervezésére, amelyek közvetlenül hozzájárulnak a munkabiztonság növeléséhez és a baleseti események előfordulási valószínűségének csökkentéséhez

3. Különböző vasbetonszerkezeti elemek építési fázisai baleseti okainak, következményeinek és kockázatainak helyszíni mérésekre alapozott elemzése alapján **megállapítottam**, hogy a zsaluzási költségek és a zsalumennyiségek - szerkezettípusonként eltérő arányokkal - közel lineáris kapcsolatot mutatnak. Az eredményekre alapozva **kidolgoztam** egy új kockázatelemzési rendszert, amely a zsaluzási munkák baleseti kockázatainak számszerűsítését a szerkezetépítési költségekre, a zsaluzási arányszámokra és a mennyiségi vizsgálatokra alapozza. Az így meghatározott kockázati indexrendszer által becsülhető a munkavédelmi megelőzési költség ráfordítás, amely hozzájárul a munkabalesetek időbeli megelőzéséhez.

AZ ÉRTEKEZÉS AJÁNLÁSAI

Az értekezésemben foglalt kutatási eredményekkel kapcsolatban az alábbi ajánlásokat teszem:

1. A homlokzati állványrendszer ellenőrzésének új módszertani eljárását javaslom megismertetni és tanítani a műszaki ellenőrzés képzés anyagában, valamint a magasépítési munka és balesetvédelmi oktatásban.

2. A méréseimmel és a számításaimmal igazolt új zsaluzati normarendszert javaslom alkalmazni az ÖN norma gyűjteményben, amelynek használata a legelterjedtebb rendszer ma Magyarországon.

3. A harmadik fejezetben kimutatott mérési és számított vasbetonszerkezetek arányszámokat javaslom alkalmazni a költségbecslési rendszerekben, mint például az évente megjelenő, a kamarák által támogatott „piros könyv”, az Építőipari Költségbecslési Segédlet. Ezek felhasználása nagyban elősegíteni a biztonságos munkavégzést és csökkentené a súlyos építőipari munkahelyi balesetek számát.

A KUTATÁSI EREDMÉNYEK GYAKORLATI FELHASZNÁLHATÓSÁGA

A kutatási eredményeit az alábbiak szerint javaslom felhasználni:

1. A munka és balesetvédelmi oktatási rendszerbe, mint ideiglenes építési szerkezetek ellenőrzés címen önálló fejezetként jeleníteném meg az állványzatok 3D pontfelhős ellenőrzési rendszert. Ezen felül a műszaki ellenőri és a felelős műszaki vezetői képzési rendszer tananyagában is szerepeltetném, az állványok műszaki átadása- átvétele fejezetében.

2. Az új normarendszerben számított eredményeimet ajánlom szíves felhasználásra a jövőben kötelezően bevezetett állami beruházásoknál alkalmazandó BIM rendszer alapú egységes tételrend alkalmazásánál, a pontosabb költségbecslések, és munkahelyi balesetek számának csökkentése érdekében.

3. A zsaluforgatással és a költségoptimalizálással kapcsolatos új kutatási eredményeimet ajánlom az állványzatokat és zsaluzati rendszereket bérbeadó vállalatoknak. Ezzel nem csak optimalizálhatják a bérbe adandó anyagok mennyiségét, hanem hozzájárulhatnak a kiszámíthatóbb szerkezetépítéshez, aminek egyenes következménye a már igazolt módon csökkenő építőipari balesetek száma.

Budapest, 2025. december 12.



Huszár Zsolt

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] 2011. évi CXXVIII. törvény a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1100128.tv> (letöltés: 2025. 10. 12.)
- [2] Remy, Olivier, et al. "Cement composite stay-in-place formwork: A concept for future building systems." Proceedings of the 18th International Conference on composite materials. 2011.
- [3] MSZ EN 12810-1:2005. Állványzatok homlokzati elemei. 1. rész: Rendszerállványzatok követelményei és vizsgálati módszerei. Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.
- [4] MSZ EN 12811-1:2005. Ideiglenes építmények. Állványzatok. 1. rész: Általános tervezési és szerkezeti követelmények. Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.
- [5] 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1400054.bm> (letöltés: 2025. 11. 01.)
- [6] KENSEK, Karen. Building information modeling. Routledge, 2014.
- [7] Huszár Zsolt, Vasbetonszerkezetek zsaluforgatási elemzése a normaidő tükrében MAGYAR ÉPÍTŐIPAR 61: 5 pp. 181-184., 4 p. (2011)
- [8] HOFFMANN Imre, LÉVAI Zoltán, KÁTAI-URBÁN Lajos, VASS Gyula, Iparbiztonság Magyarországon ,Védelem online: tűz- és katasztrófavédelmi szakkönyvtár 22 : 1 paper: 549 , 12 p. (2015)
- [9] 1993. évi XCIII. törvény a munkavédelemről. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99300093.tv> (letöltés dátuma: 2025.11.01.)
- [10] 4/2002. (II. 20.) SzCsM–EüM együttes rendelet a munkahelyek munkavédelmi követelményeinek minimális szintjéről. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0200004.scn> (letöltés dátuma: 2024.06.07.)
- [11] 10/2016. (IV. 5.) NGM rendelet az építési területeken történő munkavégzés biztonsági követelményeiről; <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1600010.ngm>; (letöltés dátuma: 2024.06.07.)
- [12] 191/2009. (IX. 15.) Korm. rendelet az építőipari kivitelezési tevékenységről. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0900191.kor> (letöltés dátuma: 2024.06.07.)
- [13] MSZ EN 12811-1:2004 - Ideiglenes szerkezetek a magasépítésben. Állványzatok. Teljesítménykövetelmények és általános tervezés. Online: <https://www.scribd.com/document/48239638/szabvanyok-az-epitoiparban> (letöltés dátuma: 2024.06.07.)
- [14] ISO 45001:2018 - Occupational health and safety management systems - Requirements with guidance for use. Online: <https://www.iso.org/standard/63787.html> (letöltés dátuma: 2024.06.07.)
- [15] EN 12812:2008 - Falsework - Performance requirements and general design. Online:<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/d2d9f55b-b741-4c59-b0d2-277d3506ef0a/en-12812-2008> (letöltés dátuma: 2024.06.08.)

- [16] EN 13374:2013 - Temporary edge protection systems - Product specification - Test methods. Online: <https://knowledge.bsigroup.com/products/temporary-edge-protection-systems-product-specification-test-methods?version=standard> (letöltés dátuma: 2024.06.07.)
- [17] OSHA (Occupational Safety and Health Administration) standards. Online: <https://www.osha.gov/laws-regs> (letöltés dátuma: 2024.06.08.)
- [18] Directive 92/57/EEC - Temporary or mobile construction sites. Online: <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/15> (letöltés dátuma: 2024.06.08.)
- [19] MSZ EN 12812:2008 - Állványok. Teljesítménykövetelmények és általános tervezés. Online: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/d2d9f55b-b741-4c59-b0d2-277d3506ef0a/en-12812-2008> (letöltés dátuma: 2024.06.08.)
- [20] MSZ 4798:2004 - Beton. Előírások, tulajdonságok, gyártás és megfelelés. Online: https://www.cembeton.hu/userfiles/cembeton_msz4798_web1.pdf (letöltés dátuma: 2024.06.08.)
- [21] MSZ 15021:2009 - Zsaluzatok. Szabványos és különleges zsaluzatok. Online: http://www.fib.bme.hu/folyoirat/vb/vb2010_3.pdf (letöltés dátuma: 2024.06.08.)
- [22] 123/1997. (VII. 18.) Korm. rendelet az építési termékek megfelelés igazolásáról. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99700123.kor> (letöltés dátuma: 2024.06.08.)
- [23] 191/2009. (IX. 15.) Korm. rendelet az építőipari kivitelezési tevékenységről. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0900191.kor> (letöltés dátuma: 2024.06.08.)
- [24] M.K. Hurd: Formwork for Concrete; ISBN-13 - 978-0870311772 Amer Concrete Institute (2005)
- [25] POWERS, P.- "Concrete Formwork"; ISBN-10 – 0870319124; American Concrete Istitute (2000)
- [26] NAWY, E.G.: Concrete Construction Engineering Handbook; CRC Press, Taylor & Francis Group (2008)
- [27] JOHNSTON, D. W "Formwork for Concrete" , ACI Committee (2018)
- [28] ASFAHL C.R. & RIESK D.W.; Industrial Safety and Health Management, Pearson; (7th Edition, 2019)
- [29] Mark A. Friend and James P. Kohn ; Fundamentals of Occupational Safety and Health; Bernan Press; (2018)
- [30] KAPU László: „Monolit vasbeton szerkezetek. Fortélyok és praktikák a tervezéstől a megvalósításig" ISBN 978 963 996847 9; Terc; (2012)
- [31] FARKAS György, HUSZÁR Zsolt, KOVÁCS Tamás, SZALAI Kálmán: „Betonszerkezetek méretezése az Eurocode alapján - Közúti hidak, épületek” Terc,(2006)
- [32] HORVÁTH Gyula "Munkavédelem: Elmélet és gyakorlat"; Novissima Kiadó (2020)
- [33] KÁTAI Urbán Lajos "Ipari kockázatkezelés (elemzés) Magyarországon". Ludovika Szabadegyetem 2016/2017 II. szemeszter. NKE (2017)
- [34] 1993. évi XCIII. törvény a munkavédelemről. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99300093.tv> (letöltés dátuma: 2025.11.01.)

- [35] EBBETS, C.C.: "Lunch atop a Skyscraper". Online: <https://www.nytimes.com/2012/11/11/movies/lunch-atop-a-skyscraper-uncovered.html> (letöltés dátuma: 2025.11.01.)
- [36] Országos Munkavédelmi és Munkaügyi Főfelügyelőség (OMMF). Online: <https://mvff.munka.hu/#/> (letöltés dátuma: 2025.11.01.)
- [37] Központi Statisztikai Hivatal (KSH). Online: <https://www.ksh.hu/> (letöltés dátuma: 2025.11.01.)
- [38] A munkabalesetek száma nemzetgazdasági ágak szerint 2024 KSH. Online: https://www.ksh.hu/stadat_files/ege/hu/ege0043.html (A letöltés dátuma: 2024.12.11.)
- [39] Tájékoztatás az építőipar helyzetéről, a munkavédelmi céllenőrzések tapasztalatai. Online: https://www.nincsbaleset.hu/dokumentumok/download/32_3094afeb1642dd945badbc7042199829 (A letöltés dátuma: 2024.12.11.)
- [40] A pincébe zuhant egy kanalas munkagép. Online: <https://www.blikk.hu/galeria/kanalas-munkagep-szombathely-baleset/c764r21?image=1> (A letöltés dátuma: 2024.12.11.)
- [41] BME Építészmérnöki Kar előadás. Online: http://www.ekt.bme.hu/Ujkiv1/foldmunka_HZs_20181108.pdf (A letöltés dátuma: 2024.12.11.)
- [42] Résvezető gerenda beomlása. Online: <https://www.vancouverisawesome.com/burnaby-now-archive/news/burnaby-workplace-death-trial-deadly-collapse-revealed-retaining-wall-had-no-footing-10153533> (A letöltés dátuma: 2024.12.11.)
- [43] Részfal összeomlása. Online: <https://www.thesafetymag.com/ca/topics/safety-and-ppe/shocking-video-shows-collapse-of-shoring-retention-wall/468730> (A letöltés dátuma: 2024.12.11.)
- [44] Lőtt betonos cölöpfal összeomlása. Online: <https://www.mdpi.com/2313-576X/5/4/68> (A letöltés dátuma: 2024.12.11.)
- [45] SZALAI Kálmán, FARKAS György, LOVAS Antal "A tartószerkezeti tervezés alapjai az Eurocode szerint." Közúti és Mélyépítési Szemle, LVI (56.) évfolyam, 1. szám.
- [46] Vízáró szádfalas munkatér beomlása Online: <https://www.china-steelpiling.com/news/sheet-piling-cofferdams-375.html> (A letöltés dátuma: 2024.12.11.)
- [47] DÓRA Simon, RÁK Olivér, BAKAI Nándor. "Az építőipari munkabalesetek megelőzését célzó, BIM alapú virtuális valóság felhasználási lehetőségeinek vizsgálata." Magyar Építőipar 73.1. (2024): 5-10.
- [48] Guruló állvány borulása a rossz altalaj miatt. Online: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/jersey/8652151.stm> (A letöltés dátuma: 2024.12.11.)
- [49] 4/2002. (II. 20.) SzCsM–EüM együttes rendelet a munkahelyek munkavédelmi követelményeinek minimális szintjéről. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0200004.scm> (letöltés dátuma: 2024.06.07.)
- [50] MSZ EN 12811-1:2004 - Ideiglenes szerkezetek a magasépítésben. Állványzatok. Teljesítménykövetelmények és általános tervezés; Onlie: <https://www.scribd.com/document/48239638/szabvanyok-az-epitoiparban> (letöltés dátuma: 2024.06.07.)

- [51] Hünnebeck Modex. Online: <https://products.huennebeck.com/de/systeme/unterstuetzungssysteme/modex> (letöltés dátuma: 2025.11.09.)
- [52] Hünnebeck Bosta 100. Online: <https://products.huennebeck.com/de/systeme/geruestsysteme/bosta-100> (letöltés dátuma: 2025.11.09.)
- [53] Huszár, Zsolt. Scaffolding façade fires, American Journal of Research Education and Development 2024: 1, pp. 16-29. https://red.devlart.hu/issues/2024_1.pdf
- [54] Közélet. Online: <https://ma7.sk/kozelet/tuz-utott-ki-a-vilaghiru-parizsi-notre-dame-szekesegyhazban> (letöltés dátuma: 2025.11.09.)
- [55] Áramütés Elleni Védelem Szabvány Előírásai, MSZ HD 60364-4-41 415.2 Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/mkk/article/download/6941/5780>. (letöltés dátuma: 2025.11.09.)
- [56] Tűzvédelmi Műszaki Irányelv TvMI 12.3:2020.01.22. 2 Online: <https://www.katasztrofavedelem.hu/application/uploads/documents/2019-12/67064> (letöltés dátuma: 2025.11.09.)
- [57] KÁTAI-URBÁN Lajos, CIMER Zsolt, LUBLÓY Éva Eszter Examination of the Fire Resistance of Construction Materials from Beams in Chemical Warehouses Dealing with Flammable Dangerous Substances FIRE 6 : 8 pp. 1-16. Paper: 293, 16 p. (2023)
- [58] Hongkongi korház-tűztűzeste. Online: <https://scaffmag.com/2018/04/430-people-evacuated-hong-kong-hospital-scaffolding-catches-fire> (letöltés dátuma: 2024.11.09.)
- [59] Lublók, Éva; Kaczur, András; Huszár, Zsolt; Csanaky, Judit: Application of combined fire protection for steel structures, Védelem Tudomány 7 : 2 pp. 1-18.(2023) 2023-11-29 <https://ojs.mtak.hu/index.php/vedelemtudomany/article/view/13491>
- [60] A külső tűzhatásgörbe, TvMi 7.6:2024.02.01. Online: <https://www.katasztrofavedelem.hu/application/uploads/documents/2023-12/82908.pdf>. (letöltés dátuma: 2025.11.09.)
- [61] HUSZÁR Zsolt: Accidents, fires, their causes and ways to prevent them during construction works International Disaster Management Scientific Conference - Focus on Changes in the Fire Safety Situation Budapest: Magyar Tűzvédelmi Szövetség, pp 61-69 (2024)
- [62] Horgonyhiba miatti állványösszeomlás. Online: <https://www.shutterstock.com/hu/image-photo/aerial-view-ruined-by-hurricane-ian-2302267371> (letöltés dátuma: 2024.11.09.)
- [63] Szélteher okozta állványösszeomlás. Online: <https://szabadpecs.hu/2021/05/tobbszintes-homlokzati-allvany-zuhant-a-setaloutcara-es-egy-etterem-teraszara/> (letöltés dátuma: 2025.11.10)
- [64] Az állványok összeomlásának okai. Forrás: Occupational Safety and Health Administration Online: <https://www.osha.gov/> (letöltés dátuma: 2025.11.09.)
- [65] BME Építésmérnöki Kar előadás. Online: http://www.ekt.bme.hu/SzerTech/Monolit_szerkezetek-2013 (A letöltés dátuma: 2024.12.11.)

- [66] Rasto – Takko Rahmenschalung; Online: https://www.huennebeck.com/uploads/files/rasto_takko_aufbauanleitung_de_2020-06_3.pdf. (A letöltés dátuma: 2025.11.11.)
- [67] WINKLER, W., & FRÖHLICH, P. J. (1998). Beton-und Stahlbetonarbeiten—DIN 18331: Ausgabe Juni 1996. In VOB Bildband: Verdingungsordnung für Bauleistungen Abrechnung von Bauleistungen (pp. 263-306). Wiesbaden: Vieweg+ Teubner Verlag.
- [68] LOHAUS, L. & HARTING, K.. "Entwicklung einer Prüfschalung für Sichtbeton, Schalhaut, Wechselwirkungseffekte und Schalhautstöße." KURZBERICHTE AUS DER BAUFORSCHUNG 45.2 (2004).
- [69] DEHN, F., A. Reinisch, and J. ANGERER. "Frischbetondruck. Einflussfaktoren, Verantwortlichkeiten, Baupraxis in der DIN 18218: 2010-01." BAUPORTAL 122.3 (2010).
- [70] Mammut 350 wall formwork, Online: <https://meva.net/hu-hu/termekek/mammut350/>, (letöltés dátuma: 2025.11.11.)
- [71] SCHMITT, Roland. Die Schalungstechnik: Systeme, Einsatz und Logistik. John Wiley & Sons, 2001.
- [72] Egyoldalú falzszaluzat, Online: <https://www.doka.com/de-CH/system-groups/doka-wall-systems/single-sided-formwork/supporting-construction-frame/index> (letöltés dátuma: 2025.11.11.)
- [73] Pillérzsalu rendszer elemekből, Online: <https://www.tablázat.hu/epitoipari-berendezes/pillerzsalu.html>, (letöltés dátuma: 2025.11.11)
- [74] WEI, L., et al. "A review of formwork systems for modern concrete construction." Structures. Vol. 38. Elsevier, 2022.
- [75] Fatartós födémzsalu rendszer. Online: <https://products.huennebeck.com/de/systeme/deckenschalungen/topflex>, (letöltés dátuma: 2025.11.11)
- [76] Keretes födémzsalu rendszer. Online: <https://products.huennebeck.com/de/systeme/deckenschalungen/topflex>, (letöltés dátuma: 2025.11.11)
- [77] Homlokzati falzszaluzat függesztett állványon. Online: <https://products.huennebeck.com/de/systeme/kletterschalungen/klappgeruest> (A letöltés dátuma: 2024.12.11.)
- [78] Peri: Alkalmazástechnika (2024); Online: https://www.peri.hu/termekek.cfm/fuseaction/diashow/sys_id/1057/product_ID/246/current_age/2 (A letöltés dátuma: 2024.12.11.)
- [79] Függesztett állványrendszer rögzítése. Online: https://products.huennebeck.com/fileadmin/redakteur/bilder/produkte/Climbing_scaffold/Klappgerueste/EN_folding_scaffold_product_brochure.pdf (A letöltés dátuma: 2024.12.11.)
- [80] Huszár, Zsolt. Comparative Analysis of Sliding Formwork Systems and Self Climbing Formwork Systems and Their Work and Accident Protection, American Journal of Research Education and Development 2023: 4, pp. 62- 75 https://red.devlart.hu/issues/2023_4.pdf

- [81] BME Építésmérnöki Kar előadás. Online: http://www.ekt.bme.hu/SzerTech/Monolit_szerkezetek-2013 (A letöltés dátuma: 2024.12.11.)
- [82] EN 1808:2015 Safety requirements for suspended access equipment. Online: https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/baa96042-64d3-47d7-b01f-3a6427f90dda/en-1808-2015?srsId=AfmBOoqJETtcmajhSr6EIcPRQU_9AwljHNxITZzLCGjWn1Jiyiu76rwx (A letöltés dátuma: 2025.11.03.)
- [83] Homlokzati falzsaluzat függesztett állványon. Online: <https://scaffmag.com/news/global-news/three-workers-killed-in-scaffold-collapse-at-texas-lng-terminal/> (A letöltés dátuma: 2025.12.11.)
- [84] Background History. Online: <https://bygging-uddemann.com/about-us/background-history/> (A letöltés dátuma: 2024.12.11.)
- [85] BME, Építésmérnöki Kar; (2013). Online: http://www.ekt.bme.hu/SzerTech/Monolit_szerkezetek-2013.pdf (A letöltés dátuma: 2024.12.11.)
- [86] ANDONOV, Martin. Moderne Gleitschalsysteme. Diss. Technische Universität Wien, 2010. Online: <https://resolver.obvsg.at/urn:nbn:at:at-ubtuw:1-44507> (letöltés dátuma: 2025.11.11)
- [87] Huszár, Zsolt. Fire protection of buildings, subsequent inspection of existing reinforced concrete structures against fire load according to eurocode regulations, Polgári Védelmi Szemle XVI. 2024 különszám pp. 289-309. https://mpvsh.hu/pv_szemlek/pvszemle2024/index.html
- [88] Egyoldalú falzsalu kitámasztása, horgonyzása, Online: <https://products.huennebeck.com/de/systeme/wandschalungen/stuetzboecke>, (letöltés dátuma: 2025.11.11)
- [89] Zsolt, Huszár; Majorosné, Lublós Éva Eszter. Construction accidents of reinforced concrete structures due to formwork collapse, American Journal of Research Education and Development 2022: 2 pp. 33-47., 15 p. (2022) https://red.devlart.hu/issues/2022_2.pdf
- [90] Huszár, Zsolt, Characterization and Application of Modern Formwork Systems During Comparative Analysis of the Aspects of Industrial Accident Prevention. Védelem Tudomány 9. (1) pp. 70-81, 2024.
- [91] HOFSTADLER, Christian, Schalarbeiten, Technologische Grundlagen, Sichtbeton, Systemauswahl, Ablaufplanung, Logistik und Kalkulation, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008
- [92] KÁTAI-URBÁN, Lajos ; VASS, Gyula: Development of Hungarian System for Protection against Industrial Accidents. In: Ladislav, ŠIMÁK - Jozef, Ristvej (szerk.) 18. medzinárodná vedecká konferencia Riešenie krízových situácií v špecifickom prostredí. Zsolna, Magyarország: University of Zilina, (2013) pp. 229-239. 11 p.
- [93] Ejtőfejes födémzsaluzat, Online: http://www.peri.hu/termekek.cfm/fuseaction/diashow/product_ID/44/currentimage/2/productcategory_ID/11/app_id/4.cfm (letöltés dátuma: 2025.11.11)

- [94] A betonszilárdság és a hőmérséklet összefüggése. Online: <https://hun.sika.com/dms/getdocument.get/20hideg%20id%C5%91ben.pdf> (letöltés dátuma: 2025.11.11)
- [95] Fatartós födémzsaluzat bezsáluzása, Online: http://www.ekt.bme.hu/SzerTech/Monolit_szerkezetek-2013.pdf, (letöltés dátuma: 2025.11.11)
- [96] HUSZÁR Zsolt, LUBLÓY Éva, KÁRAI-URBÁN Lajos: Frequent formwork accidents during the construction of monolithic reinforced concrete structures, including causes and prevention, Védelem tudomány: Katasztrófavédelmi online tudományos folyóirat (2498-6194): 9 Különszám pp 60-67 (2024)
- [97] Huzsár, Zsolt; Lublók, Éva. Early striking of monolithic reinforced concrete slab and structures and its dangers, American Journal of Research Education and Development 2020: 1 pp. 30-40., 11 p. (2020) https://red.devlart.hu/issues/2020_1.pdf
- [98] Összevont Építőipari Normarendszer. Online: <https://www.terc.hu/cikk/osszevont-epitoipari-normarendszer?srsId=AfmBOopoGf8SeUZTfFYTYO1iOEqhLf3cABYvFhwpFef2WQMafWj96uB>, (letöltés dátuma: 2025.11.11)
- [99] Peri pillérzsaluzat. Online: <https://www.peri.hu/osszes-termek/termek-attekinto/zsaluzatok/pillerzsalu.html> (letöltés dátuma: 2025.11.11)
- [100] Normák, Online: http://www.ekt.bme.hu/TT/Normak_ea.pdf (letöltés dátuma: 2025.11.11)
- [101] HUSZÁR, Zsolt; Lubloy, Eva: Examination of the cost ratio of the formwork, Acta Technica Jaurinensis 14:2 pp. 155-170., 16 p. (2021)
- [102] ASZTALOS István: A beton története IV. rész - Mit tett egy kevésbé ismert népcsoport a beton érdekében, még a rómaiak előtt? Online: <https://www.betonujsg.hu/lapszamok/cikk/2436> (letöltés: 202511.13)
- [103] BONEN, David., TASDEMIR Mehmet A., and SARKAR Shondeep. "The evolution of cementitious materials through history." MRS Online Proceedings Library (OPL) 370 (1994): 159.
- [104] MORRIS, M. D. "A man for all reasons: John Smeaton, FRS, the first civil engineer." American Civil Engineering History: The Pioneering Years. 2003. 1-24.
- [105] MCBETH, D. G., Francois Hennebique, and MOUCHEL, L. G.. "FRANCOIS HENNEBIQUE (1842-1921), REINFORCED CONCRETE PIONEER." Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering. Vol. 126. No. 2. Thomas Telford-ICE Virtual Library, 1998.
- [106] CONDIT, Carl W. "The first reinforced-concrete skyscraper: the Ingalls Building in Cincinnati and its place." Early Reinforced Concrete (2016).
- [107] WEI, Li, et al. "A review of formwork systems for modern concrete construction." Structures. Vol. 38. Elsevier, 2022.
- [108] TÓTH Ernő, Hazánk, Magyarország ismert és rejtett hídjai. Online: <https://hidak.hu/konyvek/Haz%C3%A1nk%20Magyarorsz%C3%A1g%20ismert%20...%20h%C3%ADdjai.pdf> (letöltés: 202511.13)
- [109] A városligeti Millennium híd, Online: <https://www.zuglo.hu/elfeledett-hidak-a-varosligetben/> (letöltés: 202511.13)

- [110] Köröshegyi völgyhíd, Online: <https://koroshegy.hu/erdekessegek-a-volgyhidrol/> (letöltés: 202511.13)
- [111] Alapok kivitelezése BME, Online: <http://www.ekt.bme.hu/Ujkiv1/alap2018eakiv1.pdf>
<https://koroshegy.hu/erdekessegek-a-volgyhidrol/> (letöltés: 202511.13)
- [112] Setareh, Mehdi, and Robert Darvas. Concrete structures. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2017.
- [113] MAILYAN, D. R., and DEL SOCORRO, Valerio Arreola Lucia "Effective reinforced concrete structures of monolithic frame buildings and structures." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 913. No. 3. IOP Publishing, 2020.
- [114] A milánói módszer födém szerkezetek. Online: https://szemle.pms2000.hu/docs/2010_05.pdf (letöltés: 202511.13)
- [115] BAUER, Hermann. "Bauverfahren im Beton-und Stahlbetonbau." Baubetrieb. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007. 171-393.
- [116] Építőanyagok I. Építésznek, Online: https://epiteszhk.bme.hu/files/hirek/epitoanyagok_1.pdf (letöltés: 202511.13)
- [117] FREUND, M. Sc Björn, PROSKE Ing Tilo, and GRAUBNER, Ing Carl-Alexander. "Frischbetondruck bei frei geformten Schalungssystemen." (2014).
- [118] KUNZE, Günter. "Baumaschinen." Dubbel: Taschenbuch für den Maschinenbau. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2018. 1788-1797.
- [119] WEBER, Felix, PANITZ, Tobias, and GEIMER, Marcus. "Constant-flow pump for fresh concrete." ATZoffhighway worldwide 11.2 (2018): 28-35.
- [120] MESHKSAR, Sina. Cost and time impacts of reworks in building a reinforced concrete structure. Diss. Eastern Mediterranean University (EMU), 2012.
- [121] TÉLKA, 280/2024. (IX. 30.) Korm. rendelet a településrendezési és építési követelmények alapszabályzatáról Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a2400280.kor> (letöltés: 202511.13)
- [122] MSZ EN 1998-1-1:2025. Eurocode 8: Tartószerkezetek tervezése földrengésre. 1-1. rész. Online: <https://beton.hu/szabvanyok/> (letöltés: 202511.13)
- [123] Lytvyniak, Oksana, and Yaroslav Lytvyniak. "A Reinforced Concrete Formwork Floor Slab." Publishing House "Baltija Publishing" (2024).
- [124] 44/2024. (XII. 20.) ÉKM rendelet az ajánlott építőipari rezsióradíj mértékéről, Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a2400044.eko> (letöltés: 202511.13)
- [125] KSH – Építőipar, Online: <https://www.ksh.hu/epitoipar> (letöltés: 202511.13)
- [126] OBLATH, Gábor–Pula. "Makrogazdasági folyamatok és szerkezeti átalakulás a kilencvenes években Magyarországon." (2000).
- [127] Zsaluzat bérlet: A modern építkezések alappillére, Online: <https://www.lavalys.hu/2024/03/22/zsaluzat-berles-a-modern-epitkezesek-alappillere/> (letöltés: 202511.13)
- [128] KANIT, Recep, OZKAN, Omer, and GUNDUZ, Murat. "Cost assessment of concrete and steel types for office buildings: An exploratory study." Building and environment 42.9 (2007): 3404-3409.
- [129] Zsalubérlet árak. Online: <https://zsalu.net/zsalu-berles-arak/> (letöltés: 202511.13)

- [130] BENOIST, Thierry. "Towards optimal formwork pairing on construction sites." *RAIRO-Operations Research* 41.4 (2007): 381-398.
- [131] Stiltz home lift duo, Online: <https://liftnekem.hu/stiltz-home-lift-duo/> (letöltés: 202511.13)
- [132] NAIK, Mihirkumar B., and RATHOD, Hiren A.. "A Review on innovating formwork systems." *International Journal of Advanced Research in Engineering, Science & Management* 1.6 (2015): 8.
- [133] KSH – Építőipar, Online: <https://www.ksh.hu/stadat?fr=epi> (letöltés: 202511.13)

A TÉMAKÖRÖBŐL KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓIM

Idegen nyelvű cikk MTA C-D kategóriás folyóiratban:

1. Huszár Zsolt: Characterization and Application of Modern Formwork Systems During Comparative Analysis of the Aspects of Industrial Accident Prevention. Védelem Tudomány 9. (1) pp. 70-81, 2024.

2. Huszár Zsolt: Fire protection of buildings, subsequent inspection of existing reinforced concrete structures against fire load according to eurocode regulations, Polgári Védelmi Szemle XVI. 2024 különszám pp. 289-309.

3. Huszár, Zsolt: Scaffolding façade fires, American Journal of Research Education and Development 2024: 1, pp. 16-29.

4. Huszár, Zsolt: Comparative Analysis of Sliding Formwork Systems and Self Climbing Formwork Systems and Their Work and Accident Protection, American Journal of Research Education and Development 2023: 4, pp. 62-75

Idegen nyelvű cikk egyéb szakmai folyóiratban:

1. Zsolt, Huszár; Majorosné, Lublós Éva Eszter: Construction accidents of reinforced concrete structures due to formwork collapse, American Journal of Research Education and Development 2022: 2 pp. 33-47., 15 p. (2022) [f](#)

2. Huszár, Zsolt ; Lublós, Éva: Early striking of monolithic reinforced concrete slab and structures and its dangers, American Journal of Research Education and Development 2020 : 1 pp. 30-40. , 11 p. (2020)

3. Huszár, Zsolt ; Lublós, Éva: Examination of the cost ratio of the formwork, Acta Technica Jaurinensis 14:2 pp. 155-170., 16 p.(2021)

Saját nyelvű cikk MTA A-B kategóriás folyóiratban:

1. Lublós, Éva; Kaczur, András; Huszár, Zsolt; Csanaky, Judit: Application of combined fire protection for steel structures, Védelem Tudomány 7 : 2 pp. 1-18.(2023) 2023-11-29

Lektorált, magyarországi szakmai konferencia kiadványában megjelent (online is)

1. Huszár Zsolt, Lublós Éva, Kárai-Urbán Lajos: Frequent formwork accidents during the construction of monolithic reinforced concrete structures, including causes and prevention

Védelem tudomány: Katasztrófavédelmi online tudományos folyóirat (2498-6194): 9 Különszám pp 60-67 (2024)

2. Huszár Zsolt: Accidents, fires, their causes and ways to prevent them during construction works International Disaster Management Scientific Conference - Focus on Changes in the Fire Safety Situation Budapest: Magyar Tűzvédelmi Szövetség, pp 61-69 (2024)

MELLÉKLETEK

1. Fogalomjegyzék
2. Jogi szabályozás és szabványok jegyzéke
3. Ábrák, táblázatok és képek jegyzéke
4. Kohéziós táblázat: hipotézisek, kutatási célkitűzések és eredmények

1. Fogalomjegyzék

1. **Balesetvédelem:** A nem kívánt, a munkavégzés során bekövetkező, hirtelen külső behatás okozta sérülések megelőzésére és kezelésére irányuló tevékenység.
2. **Erkély:** Az épület homlokzati síkjától kinyúló, konzolos, függesztett vagy pont szerűen alátámasztott kialakítású külső – legfeljebb egy oldalról zárt – tartózkodó tér
3. **Építési beruházás:** Építmény, építményrész, épületegyüttes, tájépítészeti alkotás, zöldinfrastruktúra beruházás építési tevékenység útján történő megvalósításával, felújításával, átalakításával, bővítésével, helyreállításával, újjáépítésével, korszerűsítésével, karbantartásával, lebontásával vagy a kapcsolódó építésgazdasági tevékenységgel összefüggésben végzett jogi, gazdasági, műszaki, építészeti és építésüggyel összefüggő tevékenységek összessége.
4. **Építési hely:** Az építési teleknek, teleknek az építési határvonalai által körül határolt beépíthető területrésze, vagy a szabályozási terven jelölt olyan lehatárolás, amelyen belül – a védőtávolságok és más jogszabályi előírások megtartásával – az építési övezeti, övezeti előírások szerinti telekbeépítettség mértékéig az épület elhelyezhető.
5. **Építményszint:** Az építmény mindazon használati szintje, amelyen helyiség van, ide nem értve a padlást, valamint azt a tetőszintet, amelyen a felvonógépházon, gépészeti berendezéseket tartalmazó, zöldtető fenntartásához kapcsolódó, huzamosabb tartózkodásra nem szolgáló helyiségen vagy a lépcsőház felső szintjén kívül más helyiség nincs.
6. **Építőipari rezsióradíj:** A vállalkozó kivitelező vagy az alvállalkozó kivitelező szakági építési-szerelési termelő tevékenységének elvégzéséhez szükséges, egy aktív munkaóra vetített – a kivitelező ténykötségei alapján számított vagy tervezett – összes költsége, amely tartalmazza a személyi jellegű költségeket, az ellátási költségeket, a fizikai dolgozók rezsi jellegű költségeit, az irányítási és az ügyviteli költségeket, és amely nem tartalmazza a beépítésre kerülő betervezett és az üzemszerű használathoz szükséges beépítésre kerülő építési anyagok, szerkezetek és berendezések közvetlen költségeit, a közvetlen építési anyagok fuvarozási és rakodási költségeit, a közvetlen gépköltségeket, a kivitelezési dokumentáció tervezési díját, a szükségessé váló minőség-ellenőrzések díját, az üzempróba, beüzemelés szolgáltatási díját.
7. **Épület:** Olyan építmény, amely szerkezeteivel fedett teret, helyiséget vagy ezek együttesét zárja körül meghatározott rendeltetés vagy rendeltetésével összefüggő tevékenység céljából.
8. **Iparbiztonság:** Egy speciális biztonsági szakterület, amely a veszélyes tevékenységekhez kapcsolódó súlyos ipari balesetek megelőzésére, kezelésére és a következmények enyhítésére irányul. Magában foglalja a veszélyes ipari üzemek felügyeletét, a veszélyes áruk szállításának ellenőrzését és a kritikus infrastruktúrák védelmét.
9. **Magasépítés:** Az építőmérnöki tudomány azon területe, amely a felszín feletti épületek és építmények tervezésével, szerkezetépítésével és kivitelezésével foglalkozik. Ide tartoznak többek között a lakó-, köz- és ipari épületek tartószerkezetei és határoló szerkezetei. A magasépítés célja a funkcionális, biztonságos, tartós és esztétikus épített környezet létrehozása.

10. **Mélyépítés:** Sz építőmérnöki tevékenység azon ága, amely a felszín alatti, illetve a terepszinthez közeli, nagy kiterjedésű vagy vonalas létesítmények tervezésével és kivitelezésével foglalkozik. Ide tartoznak többek között az utak, vasutak, hidak, alagutak, közművek, támfalak és alapozások. Jellemzője, hogy a szerkezetek kialakítása szoros kölcsönhatásban áll a talaj és a környezeti viszonyok mechanikai tulajdonságaival.
11. **Munkavédelem:** A szervezett munkavégzésre vonatkozó biztonsági és egészségügyi követelmények összessége, melynek célja a munkavállalók egészségének megőrzése és a munkakörülmények javítása.
12. **Pinceszint:** Olyan építményszint, amelynek padlószintje több mint 20%-ában kerül 0,70 méternél mélyebbre a csatlakozó rendezett terepszint alá.
13. **Szerkezetépítés:** Az építőipar azon szakterülete, amely az építmények teherhordó és merevítő szerkezeteinek megvalósításával foglalkozik a tervek és statikai követelmények alapján. Magában foglalja a tartószerkezeti elemek kivitelezését az alapozástól a fő tartószerkezetekig. Célja a biztonságos teherátadás, az állékonyság és a tartósság biztosítása.
14. **Szintmagasság:** az építmény főbejárata – bejárati előlépcsője – előtti járda szintje és az építményszint padlószintje közötti függőleges távolság.
15. **Tételes költségvetési-külrás:** Minőségi követelményekkel rendelkező mennyiségi kimutatás az építmény jellege szerint szükséges szakági bontásban és részletezettséggel, lényeges terméktulajdonság meghatározásával.
16. **Vasbeton:** Olyan összetett építőanyag, amelyben a beton nyomószilárdsága és az acél húzószilárdsága tartós, együtt dolgozó szerkezeti rendszert alkot. Az acélbetétek a beton húzásra gyenge tulajdonságait ellensúlyozzák, miközben a beton védi az acélt a korróziótól és a tűzhatástól. A két anyag együtt dolgozását a köztük kialakuló tapadás és a hőtágulási együtthatók közelsége biztosítja.
17. **Zárófödém:** beépített tetőtér vagy padlástér nélkül kialakított építmény, építményrész, épület, valamint terepszint alatti építmény, építményrész, épület legfelső használati szintjét lefedő födém;
18. **Zsaluzat** az építőiparban alkalmazott ideiglenes segédszerkezet, amely a friss beton számára a kívánt geometriai alakot, méretet és helyzetet biztosítja a beton megszilárdulásáig. Feladata továbbá a beton és az építés közben fellépő terhek biztonságos felvétele és továbbítása a teherhordó alátámasztások felé. A zsaluzat egyben meghatározza a megszilárdult betonfelület minőségét és pontosságát is.

2. Jogi szabályozás és szabványok jegyzéke

A. Nemzetközi jogi szabályozás

1. International Labour Organization (ILO). Convention No. 155 concerning Occupational Safety and Health and the Working Environment, adopted at Geneva on 22 June 1981.
2. International Labour Organization (ILO). Convention No. 161 concerning Occupational Health Services, adopted at Geneva on 26 June 1985.
3. International Labour Organization (ILO). Convention No. 187 concerning the Promotional Framework for Occupational Safety and Health, adopted at Geneva on 15 June 2006
4. International Labour Organization (ILO). Convention No. 170 concerning Safety in the Use of Chemicals at Work, adopted at Geneva on 25 June 1990.
5. International Labour Organization (ILO). Convention No. 174 concerning the Prevention of Major Industrial Accidents, adopted at Geneva on 22 June 1993.
6. UN Economic Commission for Europe (UNECE). Convention on the Transboundary Effects of Industrial Accidents, done at Helsinki, on 17 March 1992.
7. Council Directive 89/391/EEC of 12 June 1989 on the introduction of measures to encourage improvements in the safety and health of workers at work.
8. Council Directive 89/654/EEC of 30 November 1989 concerning the minimum safety and health requirements for the workplace (first individual directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC).
9. Council Directive 89/656/EEC of 30 November 1989 on the minimum health and safety requirements for the use by workers of personal protective equipment at the workplace (third individual directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC).
10. Council Directive 90/270/EEC of 29 May 1990 on the minimum safety and health requirements for work with display screen equipment (fifth individual directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC).
11. Council Directive 98/24/EC of 7 April 1998 on the protection of the health and safety of workers from the risks related to chemical agents at work (fourteenth individual directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC).
12. Directive 2004/37/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on the protection of workers from the risks related to exposure to carcinogens or mutagens at work (sixth individual directive within the meaning of Article 16(1) of Council Directive 89/391/EEC).
13. Directive 2002/44/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration).

14. Directive 2003/10/EC of the European Parliament and of the Council of 6 February 2003 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (noise).
15. Council Directive 92/57/EEC of 24 June 1992 on the implementation of minimum safety and health requirements at temporary or mobile construction sites (eighth individual directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC).

B. Hazai jogi szabályozás – Munka- és balesetvédelem, valamint építőipar

1. 1993. évi XCIII. törvény a munkavédelemről.
2. 5/1993. (XII. 26.) MüM rendelet a munkavédelemről szóló törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról.
3. 3/2002. (II. 8.) SzCsM–EüM együttes rendelet a munkahelyek munkavédelmi követelményeinek minimális szintjéről.
4. 50/1999. (XI. 3.) EüM rendelet a képernyő előtti munkavégzés minimális egészségügyi és biztonsági követelményeiről.
5. 25/2000. (IX. 30.) EüM–SzCsM együttes rendelet a munkahelyek kémiai biztonságáról.
6. 66/2005. (XII. 22.) EüM rendelet a foglalkozási eredetű rákkeltő anyagokkal kapcsolatos tevékenységekről.
7. 61/1999. (XII. 1.) EüM rendelet a zajexpozíció elleni védelemről.
8. 22/2005. (VI. 24.) EüM rendelet a rezgésexpozíció egészségkárosító hatásai elleni védelemről.
9. 4/2002. (II. 20.) SzCsM–EüM együttes rendelet a munkahelyi világításról.
10. 18/1998. (VI. 3.) NM rendelet a foglalkozás-egészségügyi szolgálatról.
11. 33/1998. (VI. 24.) NM rendelet a munkahelyek orvosi alkalmassági vizsgálatairól.
12. 2/1998. (I. 16.) MüM rendelet az egyéni védőeszközökről.
13. 40/2016. (XII. 5.) NGM rendelet a munkaeszközök biztonsági követelményeiről.
14. 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról.
15. 44/2000. (XII. 27.) EüM rendelet a biológiai tényezők elleni védelemről.
16. 1/1982. (II. 26.) IpM rendelet a veszélyes munkakörökről.
17. 77/1993. (XII. 27.) MüM rendelet az emelőgépek biztonsági követelményeiről.
18. 47/1999. (VIII. 4.) GM rendelet a nyomástartó berendezések biztonságáról.
19. 53/2003. (XI. 7.) GKM rendelet a robbanásveszélyes környezetben alkalmazható berendezésekről.
20. 10/2016. (IV. 5.) NGM rendelet a munkavédelmi szakemberek képzéséről.
21. 191/2009. (IX. 15.) Korm. rendelet az építőipari kivitelezési tevékenységről.
22. 4/2002. (II. 20.) SzCsM–EüM rendelet az építőipari munkahelyek munkavédelméről.
23. 45/2004. (VII. 26.) BM–KvVM együttes rendelet az építési termékek tűzvédelméről.

24. 46/2015. (XI. 16.) BM rendelet az építési munkaterületek tűzvédelméről.
25. 266/2013. (VII. 11.) Korm. rendelet az építésügyi és építésfelügyeleti hatóságokról.
26. 312/2012. (XI. 8.) Korm. rendelet az építésügyi hatósági eljárásokról.
27. 306/2010. (XII. 23.) Korm. rendelet az építőipari kivitelezői nyilvántartásról.
28. 275/2013. (VII. 16.) Korm. rendelet az építési műszaki ellenőri tevékenységről.
29. 191/2009. (IX. 15.) Korm. rendelet az építési naplóról.
30. 1997. évi LXXVIII. törvény az épített környezet alakításáról és védelméről.

C) Szabványok, ajánlások, rendeletek jegyzéke

Szabvány száma	Alkalmazási terület
MSZ EN 1992-1-1	Vasbeton szerkezetek tervezése – épületek
MSZ EN 1992-2	Hidak vasbeton szerkezeteinek tervezése
MSZ EN 206	Beton minősítése, megfelelés
MSZ 4798-1	Magyar nemzeti kiegészítés az MSZ EN 206-hoz
MSZ EN 13670	Helyszíni beton- és vasbeton kivitelezés
MSZ 24803-1	Felület- és megjelenési követelmények
MSZ 24803-6-3	Helyszíni vasbeton felületi előírások
MSZ 24803-7	Előregyártott elemek felületi és méretpontossága
MSZ EN 197-1	Cementminősítés és típusok
MSZ EN 12812	Zsaluzatok és dúcolatok (álállványok) biztonsági követelményei
MSZ EN 13670	Zsaluzás általános kivitelezési szabályai
MSZ EN 12810-1	Homlokzati állványrendszerek szerkezeti követelményei
MSZ EN 12811-1	Ideiglenes munkaszerkezetek – állványzatok teljesítménykövetelményei
MSZ EN 131	Hordozható létrák biztonsági követelményei
MSZ EN 13374	Leesés elleni ideiglenes korlát- és védelmi rendszerek
MSZ EN 397	Ipari védősisakok
MSZ EN 166	Szemvédelem – védőszemüvegek
MSZ EN 361	Testhevederzetek leesés elleni védelmi rendszerekhez
MSZ EN 355	Energiaelnyelők leesés elleni egyéni védőeszközökhöz

3. Ábrák, táblázatok és képek jegyzéke

Ábrák:

1. ábra: A munkabalesetek száma nemzetgazdasági ágak szerint. KSH 2024
2. ábra: A halálos építőipari munkabalesetek megoszlása az elmúlt 30 év átlagában Európában
3. ábra: Rézsűs munkagödör kialakítása
4. ábra: A moduláris állványrendszer a jellemző csomóponttal
5. ábra: Altalaj egyenletlenség beállítása keretes rendszereknél
6. ábra: A külső tűzhatásgörbe (TvMi 11.2:2019.01.22)
7. ábra: Az állványok összeomlásának okai
8. ábra A 3D-s szkennelés az állványról
9. ábra. A 3D-s pontfelhő az állványról
10. ábra: A 3D-s megvalósulási terv az állványról
11. ábra: A 3D-s megvalósulási részletterv az állványról
12. ábra: Kúszó zsaluzati rendszer működési elve
13. ábra: Függesztett állványrendszer rögzítése
14. ábra: Önjáró függesztett állványrendszerek zsaluzattal
15. ábra. Egyoldalú falzsalu kitámasztása, horgonyzása
16. ábra. Betonnyomás alakulása a hidrosztatikus nyomásmagasság függvényében
17. ábra: A betonszilárdság és a hőmérséklet összefüggése
18. ábra: A pillérek darabszámra vetített normaértékei
19. ábra: A pillérek négyzetméterre vetített normaértékei
20. ábra: Az egy négyzetméterre kalkulált átlag zsaluzási költség változása az évek függvényében
21. ábra: A monolit vasbeton szerkezetépítés 3 fő fázisának költségmegoszlása a 90-es évek elején
22. ábra: Az összes vizsgált épület összes zsaluzási költségének aránya a teljes épület szerkezetépítéséhez képest
23. ábra: Családi ház zsaluzási költségének aránya a teljes épületszerkezetépítéséhez képest
24. ábra: Társasház zsaluzási költségének aránya a teljes épület szerkezetépítéséhez képest
25. ábra: Irodaház zsaluzási költségének aránya a teljes épület szerkezetépítéséhez képest
26. ábra: Közepület-egyéb I. zsaluzási költségének aránya a teljes épület szerkezetépítéséhez képest
27. ábra: Közepület-egyéb II. zsaluzási költségének aránya a teljes épület szerkezetépítéséhez képest
28. ábra: Alapok zsaluzási költségének aránya az alapozás teljes költségéhez képest
29. ábra: Alapok zsaluzási költségének aránya a teljes szerkezetépítés költségéhez képest
30. ábra: Pillérek zsaluzási költségének aránya a pillérek teljes költségeikhez képest
31. ábra: Pillérek zsaluzási költségének aránya a teljes szerkezetépítés költségéhez képest
32. ábra: Falak zsaluzási költségének aránya a falak teljes költségeikhez képest
33. ábra: Falak zsaluzási költségének aránya a teljes szerkezetépítés költségéhez képest
34. ábra: Koszorúk, gerendák zsaluzási költségének aránya a koszorúk, gerendák teljes költségéhez képest
35. ábra: Koszorúk, gerendák zsaluzási költségének aránya a teljes szerkezetépítés költségéhez képest
36. ábra: Födémek zsaluzási költségének aránya a födémek teljes költségeikhez képest
37. ábra: Födémek zsaluzási költségének aránya a teljes szerkezetépítés költségéhez képest

38. ábra: Lépcsők zsaluzási költségének aránya a lépcsők teljes költségeikhez képest
39. ábra: Lépcsők zsaluzási költségének aránya a teljes szerkezetépítés költségéhez képest
40. ábra: Magyarország építőipari munkabalesetek

Táblázatok:

1. táblázat: Építőipari balesetek összefoglalója
2. táblázat: A vizsgált pillérek mérési adatai
3. táblázat: A vizsgált pillérek költség adatai
4. táblázat: Zsaluforgatás figyelembevételével előállított költségek
5. táblázat: Költségcsökkentés által bekövetkező balesetek rendszere
6. táblázat: 4-es számú irodaépület költség táblája
7. táblázat: a vizsgált épületek összesítő táblázata
8. táblázat: zsaluzási költségek az összes épületre vonatkozóan
9. táblázat: sávalap és lemezalap összehasonlító költsége
10. táblázat: szerkezeti elemek összehasonlító táblázata
11. táblázat: szerkezeti elemek kockázati elemzése

Képek:

1. kép: Charles C. Ebbets: *“Lunch atop a Skyscraper”*
2. kép: A pincébe zuhant munkagép
3. kép: Résvezető gerenda beomlása
4. kép: Résfal beomlása
5. kép: Lőtt betonos cölöpfal beomlása
6. kép: Vízáró szádfalas munkatér beomlása
7. kép: Guruló állvány borulása a rossz altalaj miatt
8. kép: Állványszerkezet fa ácsolatból
9. kép: A Notre-Dame székesegyház állványzatának égése
10. kép: Hongkongi korhástűztűzeste
11. kép: Horgonyhiba miatti állványösszeomlás
12. kép: Szélteher okozta állványösszeomlás
13. kép: Egyoldali falzsaluzat
14. kép: Pillér zsalu rendszerelemekből
15. kép: Fatartós födémzsalu rendszer
16. kép: Keretes födémzsalu rendszer
17. kép: Homlokzati falzsaluzat függesztett állványon
18. kép: Függesztett állvány leszakadása a rossz rögzítés miatt
19. kép: Csúszó zsaluzati rendszer
20. kép: Födémösszeomlás a XIII. kerületben
21. kép: Egyoldali fal átszakadása a Mamut mögött

- 22. kép: Ejtőfejes födémzsaluzat
- 23. kép: Fatartós födémzsaluzat bezsaluzása
- 24. kép: A városligeti Millenniumi híd
- 25. kép: A Kőröshegyi völgyhíd
- 26. kép: Talpgerendával erősített alaplemez zsaluzása
- 27. kép: Vasbeton szerkezetű családiház

4. Kohéziós táblázat: a hipotézisek, kutatási célkitűzések és a tudományos eredmények egymásra épülése

Sz.	Tudományos probléma	Hipotézis	Kutatási célkitűzés	Javasolt kutatási eredmény
1.	A homlokzati állványzattal kapcsolatos baleseti események digitális műszaki ellenőrzési rendszer bevezetésével történő megelőzésének kutatása területén	Feltételezem, hogy a homlokzati állványzatokkal kapcsolatos események kialakulása megelőzhető a baleseti okok és következmények rendszerelméleti kutatására alapozott új digitális műszaki ellenőrzési eljárás és módszertan felhasználásával, amellyel az eddigi szemrevételezési gyakorlathoz képest egy jóval hatékonyabb felmérőrendszer fejleszthető ki.	Célkitűzésem az építőipari homlokzati állványzati események jellemző típusainak, azok gyakoriságának és kiváltó okainak elemzését követően javaslatot tenni a homlokzati állványzatok biztonsági ellenőrzésére szolgáló új és gyors felmérési döntéshozatalt elősegítő digitális műszaki ellenőrzési eljárásra és módszertanra.	Az építőipari homlokzati állványzatok szerkezeti és kivitelezési hibákból adódó balesetei bekövetkezési kockázatának elemzése és értékelése alapján meghatároztam az állványzatokkal kapcsolatos baleseti események rendszerelméleti jellemzőit <i>(1.5 alfejezet)</i> és <u>javaslatot tettem</u> a háromdimenziós fotószkenner és Archicad építész tervező program által előállított, térbeli modellre épülő digitális műszaki ellenőrzési eljárásra és módszertanra, amely objektív és pontos felmérési adatok alapján lehetőséget biztosít a kivitelezés közbeni hibák azonnali azonosítására és ezzel az állványzati balesetek megelőzésére. <i>(1.6 fejezet)</i>

Sz.	Tudományos probléma	Hipotézis	Kutatási célkitűzés	Javaolt kutatási eredmény
2.	Az építőipari zsaluzatok és teherhordó állványok baleseteinek szervezési intézkedésekkel történő megelőzése területén.	Véleményem szerint a vasbeton szerkezetépítés zsaluzási és teherhordó állvány szerelési munkálatainál esetlegesen bekövetkező munkabalesetek valószínűsége, munkaidő- és anyagnormarendszerek optimalizálásával kapcsolatos szervezési intézkedésekkel csökkenthető, amely hozzájárulhat a kivitelezési ütemek és a költségek realisabb tervezéséhez, illetve a baleseti események megelőzéséhez.	Célkitűzésem a vasbetonszerkezetek zsaluzási és teherhordó állvány szerelési munkáit érintő konkrét esettanulmányra épülő helyszíni mérések segítségével vizsgálni az egyes szerkezetek építési idő- és anyagnorma értékeit, amelyekből számítható kivitelezési idők és költségek segítségével optimalizálható a zsalumennyiség, vagyis számítható a zsaluforgatási sebesség.	A vasbetonszerkezetek zsaluzási és teherhordó állvány szerelési munkáit érintő konkrét esettanulmányra épülő helyszíni mérések segítségével <u>megvizsgáltam</u> az építőipari segédszerkezetek, zsaluzatok és teherhordó állványzatok baleseti okait és körülményeit, melynek alapján <u>bebizonyítottam</u> , hogy a baleseti események többségének hátterében a költségcsökkentés áll (2.4 fejezet). Ennek figyelembevételével <u>kidolgoztam</u> egy optimalizált zsaluforgatási modell által való körülményeket tükröző új munkaidő és anyagnorma rendszert, amelyek lehetőséget adnak a kivitelezési ütemek és a költségek realisabb tervezésére, amelyek közvetlenül hozzájárulnak a munkabiztonság növeléséhez és a baleseti események előfordulási valószínűségének csökkentéséhez (2.5 fejezet).

Sz.	Tudományos probléma	Hipotézis	Kutatási célkitűzés	Javasolt kutatási eredmény
3.	A vasbetonszerkezetek építési fázisai baleseti kockázatelemzési rendszerének kutatása és fejlesztése területén.	Feltételezem, hogy az egyes vasbetonszerkezeti elemek, mint alaptestek, földémszerkezetek, falak, pillérek és egyéb vasbeton elemek szerkezetépítési fázisainak költségarány függvénye függ az épületszerkezetek típusától. A beruházás kezdeti fázisában az így prognosztizált tudományosan becsült költségek hozzájárulhatnak a munkabalesetek időben történő megelőzéséhez.	A kutatási célkitűzésem, hogy összefüggést találjak az egyes vasbetonszerkezeti elemek, mint az alaptestek, a földémszerkezetek, a falak, a pillérek és egyéb vasbeton elemek szerkezetépítési fázisainak költségarány függvényére, amely eredményekre építve létrehozni olyan baleseti kockázati indexrendszert, amely a prediktív munkavédelmi ráfordítás becsléséhez is alkalmazható.	Különböző vasbetonszerkezeti elemek építési fázisai baleseti okainak, következményeinek és kockázatainak helyszíni mérésekre alapozott elemzése alapján <u>megállapítottam</u> , hogy a zsaluzási költségek és a zsalumennyiségek - szerkezettípusonként eltérő arányokkal - közel lineáris kapcsolatot mutatnak (3.6 alfejezet). Az eredményekre alapozva <u>kidolgoztam</u> egy új kockázatelemzési rendszert, amely a zsaluzási munkák baleseti kockázatainak számszerűsítését a szerkezetépítési költségekre, a zsaluzási arányszámokra és a mennyiségi vizsgálatokra alapozza (3.7 alfejezet). Az így meghatározott kockázati indexrendszer által becsülhető a munkavédelmi megelőzési költség ráfordítás, amely hozzájárul a munkabalesetek időbeli megelőzéséhez.