

LEGOszerű építészet

Modul rendszerben megjelenő kortárs épületek épületszerkezeteinek kihívásai

TDK 2022

Popa- Müller Victor Dávid, Vinkovics Réka

Konzulens: Heincz Dániel Épületszerkezettan Tanszék, Weiskopf András,
Lakóépülettervezési Tanszék

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Építészmérnöki Kar

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés.....	4
1.1	Modularitás meghatározása	4
1.1.1	A modul definiálása	4
1.1.2	A modul léptéke.....	4
1.1.3	Különböző léptékű modulok hatása egymásra	4
1.1.4	Funkció szerinti osztályozás	4
1.1.5	Modulok értelmezése.....	5
1.2	Modularitás fejlődése	5
1.2.1	Történelmi háttére és változásai	5
1.3	LEGO.....	7
1.3.1	LEGO sikeressége	7
1.3.2	LEGO hatása az építőiparra.....	7
1.3.3	LEGO építész termékei.....	8
1.4	Legfőbb kutatási kérdések	9
1.5	Előfeltevések	9
2	Kiindulási helyzet.....	10
2.1	Modularitás jelenlegi helyzete.....	10
2.1.1	A moduláris építési technológia	10
2.1.2	A technológia versenyképessége	10
2.1.3	Logisztikai előnyök	10
2.1.4	Kiszámíthatóság.....	11
2.1.5	A technológia fejlődőképessége és terjedése.....	11
2.2	A moduláris építés technológiai határai	11
2.2.1	A technológia kötöttségei	11
2.2.2	Infrastruktúra által szabott korlátok.....	12
2.2.3	Strukturális határok.....	13
2.2.4	Szerkezeti kapcsolatok kialakítása	14
2.2.5	Tűzvédelem.....	14
2.2.6	Modularitás határainak feszegetése.....	14
2.3	Fenntarthatóság.....	15
2.3.1	Analizálás	15
2.3.2	Környezeti fenntarthatóság.....	15
2.3.3	Fenntartható építés.....	15
2.4	Modularitás szerepe és jelentősége az építészeti tervezés során	16
2.4.1	Modulok és funkciók kapcsolata	16
2.4.2	Modularitás hatása a téralakításra és homlokzatokra	16
2.4.2.1	Szerkezeti modularitási rendszer.....	17
2.4.2.2	Térbeli modularitási rendszer.....	17
2.4.3	Modularitás és monotonitás kapcsolata	17
2.4.4	Modularitás megjelenése a tervezésben.....	18
2.5	Modularitás az építészirodákban	18
2.5.1	Pezo von Ellrichshausen	18
2.5.2	FAR Frohn & Rojas.....	19
2.5.3	BIG	20
3	Kutatás.....	21
3.1	Kutatásmódszertan.....	21
3.2	Moduláris építészetben alkalmazott szerkezeti rendszerek	21
3.2.1	Vasbeton szerkezetek.....	22



3.2.2	Acél szerkezetek	23
3.2.3	Fa szerkezetek.....	25
3.2.4	Tartószerkezetek típusai	26
3.3	Kutatás során vizsgált épületek	26
3.3.1	Harquitectes	26
3.3.1.1	57 Habitatges Universitaris	26
3.3.1.2	1737 Gava lakókomplexum	27
3.3.2	BIG	28
3.3.2.1	Dortheavej Residence Koppenhágában.....	28
3.3.2.2	Snegelhusene	29
3.3.3	Sauerbruch Hutton	30
3.3.3.1	GSW Headquarters.....	31
3.3.3.2	Sthlm 01	31
3.3.3.3	További projektek	32
3.4	Kutatásunk legfőbb alanyai	32
3.4.1	Sauerbruch Hutton	32
3.4.1.1	Hamburgi Universal Design Quarter.....	32
3.4.1.2	Luisenblock Office Building.....	36
3.4.2	SUMMARY.....	40
3.4.2.1	GOMOS1 modulrendszer szerkezete	41
3.4.2.2	Vale de cambra.....	42
4	Kutatás eredményei	45
4.1	Megfigyelt tendenciák	45
4.2	Levonható következtetések.....	46
4.3	Eredmények összevetése az előfeltevésekkel.....	46
4.4	További kutatások szükségessége	48
4.5	Technológia fejlesztésének szükségessége.....	48
5	Összegzés	49
5.1	A kutatás átfogó értékelése.....	49
6	Bibliográfia.....	50



1 Bevezetés

1.1 Modularitás meghatározása

1.1.1 A modul definiálása

A modul egy arányegység. Egy építészeti rendszer vagy egy épület egymáshoz viszonyított méreteit az abszolút értelemben vett méretektől függetlenül lehet vele meghatározni.

1.1.2 A modul léptéke

A moduláris tervezés lényege, hogy az épület több kisebb részre bomlik fel, amelyeket önálló elemként, de egymástól nem teljesen függetlenül, hanem a jól illeszthetőség precíz feltételei mellett készítenek, majd egy nagyobb rendszerré egyesítik őket. A mindennapok során sok moduláris kialakítással kerülhetünk szembe. Megtalálható a modularitás többek között a számítógépek, gépek, bútorok és az építészet világában is. Az építészet világában a külső megjelenéstől indulva egészen az épületszerkezeti részletekig és apró építőelemekig meghatározhatók moduláris képletek.

1.1.3 Különböző léptékű modulok hatása egymásra

Rendkívül fontos, hogy a különböző léptékű modulok együttes alkalmazása során ezek között milyen kapcsolat alakul ki, hogyan viszonyulnak egymáshoz, illetve milyen hatással vannak a kialakítás során egymás léptékére, formavilágára és felhasználási lehetőségeire. Szemléltetésül amennyiben egy épület téralakítása moduláris képletek alapján meghatározott kifejezetten előnyös, ha a használathoz szükséges bútorzat is modulokból épül fel, hiszen így az épület egészének harmonizálása egyszerűbb és egyértelműbb rendszerként megoldható.

1.1.4 Funkció szerinti osztályozás

A modul vagy modularitás szavak nem hordoznak magukban egy egyértelmű jelentést. Számtalan különböző módon értelmezhetjük ezeket a kifejezéseket. Tulajdonképpen az építészetben emlegetett modulok kétségtelenül valamilyen egységet jellemeznek, de hogy ez az egység milyen méretű, mit foglal magába azt az önmagában álló modul kifejezésből még nem lehet egyértelműen megállapítani. Jelenthet ez akár egy elemet az épület felépítéséhez szánt anyagból, jelenthet egy- egy előregyártott szerkezeti elemet, vagy ezekből az elemekből összeállított nagyobb szerkezeti egységét az épületnek, de akár egy kissé nagyobb léptékhez érkezve jelölhet a modul szó téregységeket is, mint például egy egész lakást, irodát vagy hotelszobát.



1.1.5 Modulok értelmezése

A modularitás különböző jelentései, értelmezései felhasználási területtől függően is változhatnak. Különböző szakágakban eltérő léptékű modulok felhasználása jelenthet előnyt. Mindezek mellett a tervező által gondolt jelentéstartalom még akkor is változhat, amikor a felhasználóhoz, a megfigyelőhöz érkezik az üzenet, ugyanis nem biztos, hogy minden ember úgy fogja értelmezni az elé táruló jelenséget, ahogyan azt a tervező megálmodta. Ez olykor jelenthet problémát vagy akadályt is, de sokszor még a tervezett épület javára is válhat, ha az emberek másképp- és másképp érzékelik azt. Hiszen mi emberek sem vagyunk egyformák, ahogy az élénk táruló vizuális képről alkotott véleményünk is sokszor különbözik egymásétól. Ez is hozzájárul ahhoz, hogy a világban minél több egyedi kialakítással találkozassunk és ezáltal csökkenjen körülöttünk az egyhangú és ingerszegény környezet.

1.2 Modularitás fejlődése

1.2.1 Történelmi háttére és változásai

Önálló elemek sorolása, egymás mellé helyezése már az ókor óta jelen van az építészetben. A megalitikus építészet máig is álló építménye, a Stonehenge, hasonló méretű kőtömbök sorolásából épül fel. A kőtömbök mellett a téglák is egy modulként értelmezhető építőelem, amelyet már több ezer éve használnak stabil és esztétikus házak építéséhez.

Az európai ókori világ két legnagyobb civilizációjánál is használtak már moduláris építési technikákat. A görög és római templomok, illetve nagyobb épületeiknek oszlopai jellemzően nem monolit technológiával készültek, hanem több hasonló méretű elemből, amelyeket azonos kapcsolóelemek tartottak össze. Az ókori építészet után több száz évig nem voltak jellemzőek a fejlődési folyamatok a moduláris építészetben, hiszen az akkori technológia nagyon szűk korlátok közé zárta a lehetőségeket például az elemek készítése, szállítása terén.

Esetleg a középkori templomok traktusaiban, boltozataiban található ismétlődő elemekben fedezhető fel a modularitás jelensége.

Az ipari forradalom során megjelenő gépesített gyártás és a könnyebb szállítás által a szerkezeti modularitás új formában tűnt fel az építészetben. Az előregyártás által és az acélszerkezetek megjelenésével lehetőség nyílt az építési idő lerövidítésére, az épületek magasságának és nagyságának növelésére.

Az első moduláris térkísérlet Buckminster Fuller nevéhez kötődik, aki 1920-as években előregyártott fürdőszobákat próbált házaiba integrálni. Az első igazán modulárisnak nevezhető épület a Winslow Ames House 1933-ban készült el. Ez több szoba méretű modulból épül fel, amelyek egy központi mag köré csoportosulnak. A 20. század ezt követő éveiben tovább



fejlődött a moduláris építészet. Egyre komplexebb épületek jöttek létre előregyártott modulokból, mint a Habitat 67 és a Nagakin Capsule Tower.

A Habitat 67 a Montreáli Világkiállításra épült, ez egy a modernizmus és privát szféra integrálására tett kísérlet, amely elszakad a megszokott kubus formától. Egy modul több téglatest szimbiózisaként jön létre, amelyek által így egy szekcionált, privát lakóegység alakul ki. Az épületben megjelenik a “modul a modulban” jelenség. A modulok szintenkénti horizontális mozgatásával elért játékoság tetőkerteket alakít ki.

A Nagakin Capsule Tower 140, 10 m² alapterületű modulból épült fel, és tervezés szerint a modulok cserélhetőségének lehetősége mindvégig fennállt, habár erre végül nem került sor. Elsősorban a hétköznapi Tokióba költöző ingázóknak készült, valamint a hatékony előregyártási folyamatnak köszönhetően mindössze 30 nap alatt sikerült felépíteni.

A 20. század második felében a magas népsűrűség és a technológiai fejlődések miatt egyre jobban kezdett elterjedni a moduláris építészet, és jelentek meg újabb és újabb változatai, mint például a Londoni Container City épületei is, ahol a lakókomplexum moduljait használaton kívüli hajókonténerek adták.

A moduláris építészet a 21. századra igencsak beírta magát a meghatározó építési technológiák közé a világ összes pontján, hiszen egyre nagyobb igény van a gyors és jó minőségű épületek kialakítására, amelyek formázása tág keretek között mozog a technológiai fejlődéseknek köszönhetően.



1. Winslow Ames House



3. Nagakin Capsule Tower



2. Container City



4. Habitat 67



1.3 LEGO

Ahhoz, hogy az ember a moduláris építészetet testközelből is megtapasztalhasssa nem kell messzire mennie, hiszen legtöbbször fogtunk a kezünkben LEGO kockákat, építettünk belőle kisebb-nagyobb házakat, tornyokat és egyéb érdekes alakzatokat.

1.3.1 LEGO sikeressége

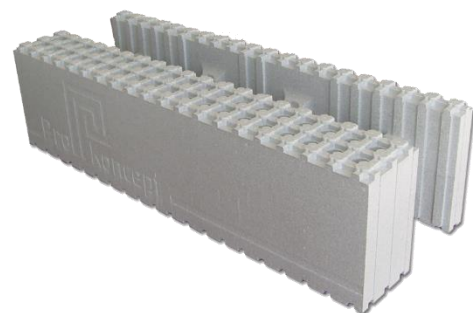
A LEGO sikere talán abban rejlik, hogy egy kész játék helyett, egy specifikus rendszer darabjait kapja meg a felhasználó, amelyből szinte bármilyen formát meg lehet alkotni és a kialakított építményeket egymáshoz csatolni. Az első két LEGO elem összerakása óta gyerekek és felnőttek egyaránt építettek egyre változatosabb építményeket. Minden egyes kocka elhelyezése arra készíti fel, hogy folytassuk az építést, tovább feszegetve képzelőerőnk határait. A cég manapság már többféle méretű és színű elemeket gyárt, fogaskerekektől elkezdve, kis gomb méretű elemekig. Ennek ellenére mégis a legelterjedtebb LEGO elem a 2x4-es téglatest alakú elem maradt. Ez a léptéktelen kis tárgy értelmezhető egy kis padként, asztalként, szobaként, lakásként vagy akár egy egész lakótömbként is. Szinte bármilyen koncepcióba könnyen beépíthető, a legsokoldalúbb, de mégis az egyik legegyszerűbb elem. Egy LEGO elem értelmezése többféle is lehet léptéktől függően a szerkezeti elemektől, mint például a kisméretű téglák, melyeket egyszerűen lehet egymásra helyezve szerkezeteket kialakítani, egészen a nagyobb funkcionális egységekig, amelyek egy egész szerkezeti rendszert hoznak létre.

1.3.2 LEGO hatása az építőiparra

A kis LEGO kocka sikere az építőiparra is áthatott, hiszen a kisméretű elemből való építkezés fellendülő tendenciaként jelenik meg az építészetben. Egyre több cég alakít ki olyan falazóelemeket, amelyek egyszerűen csatlakoznak egymáshoz, könnyen előállíthatóak és stabil szerkezetet alkotnak miután egymáshoz kapcsolódnak. Példaként felhozható két itthoni vállalat, a Prokoncept és Gablock, valamint a német Polycare. A Prokoncept rendszer elemei Neopor alapanyagúak, mely grafitos szemcsék polisztirolba való adalékolásával jön létre.



6. Gablock



5. Prokoncept



Falelemeik bennmaradó hőszigetelő zsaluelemek, melyeket betonnal öntenek ki. Az elemek specifikus geometriai kialakításának köszönhetően gyorsan összeilleszthető habarcs használata nélkül, az együttműködést a beton biztosítja. A falazóelemek anyag összetételének köszönhetően a 25 cm vastagságú fal U értéke $0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$, de találhatóak olyan elemek is melyek hőátbocsátási tényezője $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$.

A Gablok elemek szintén hasonló elven működnek, bár formájuk kicsit jobban utal a LEGO kockákra. A Blokkok szélső részét OSB-3 panelek alkotják, melyek között két elkülönülő tömegben 264 mm vastag EPS szigetelés található. Az elemek védelmét a természeti hatások ellen egyszerűen felszerelt OSB lapok és fóliák biztosítják.

A Polycare elemek formája hasonlít talán leginkább a Lego kockákra. A blokkok 80%-a hőszigetelésből épül fel, amelyet egy polimer beton burrok zár körbe, ezáltal 1 m^3 betonból 20 m^2 falfelületet lehet építeni. A cég kifejlesztett egy építést segítő softwaret, amely bármely alaprajzra megtervezi az elemek specifikus kiosztását, emellett 3D virtuális modellt is alkot.

A felsorolt cégek által kifejlesztett rendszerek a LEGOból való építés valós léptékű értelmezése, amely nagymértékben segíti az építési folyamatot. Az emelek kis tömege miatt könnyen szállíthatóak, könnyen elhelyezhetőek ragasztó használat nélkül, valamint nem szükséges specifikus szakmai tudás a kivitelezésen dolgozó munkásoknak. Emellett szükség esetén a ház könnyen bontható vagy bővíthető hasonló elemek alkalmazásával.

1.3.3 LEGO építész termékei

A LEGO és építészet közti kapcsolatot a cég is fontosnak ítélte, ezért építészeti tematikájú terméksorozatot indított, amelyben a világ leghíresebb épületeit lehetett megépíteni. Ennek a sorozatnak talán építészeti szempontból legfontosabb terméke az Architecture Studio. A több mint 1200 fehér és átlátszó elemből álló készlet segítségével, gyerekek és felnőttek egyaránt



7. LEGO Architecture Studio

szabadon fejezhetik ki gondolataikat. A monokróm elemeknek köszönhetően a hangsúly a tömegformáláson van, az üvegfelületek beillesztésének lehetősége egy modernebb hangulatot adhat a kis épületeknek.



Ahogy olyan építészeket, mint Frank Lloyd Wright, Le Corbusier vagy Frank Gehry építészeti érzékét a gyerekkorukban megtapasztalt térbeli kirakós játékok fejlesztették, hasonlóan igaz lehet ez a leendő építészek és LEGO kapcsolatára.

1.4 Legfőbb kutatási kérdések

A kutatásunk során minket foglalkoztató legfőbb kérdések, hogy hogyan értelmezhetők a modulok épületszerkezeti vonatkozásai a kortárs építészetben, valamint, hogy milyen előnyökkel járhat a modulokból való építés és épületszerkezeti alkalmazása. Emellett felmerülő kérdés, hogy hogyan jelenik meg a modularitás téralkotásban és a homlokzatok komponálása során, illetve mennyire köthetők funkciókhoz a moduláris épületek. További kérdés, hogy hogyan lehet egyszerűsíteni még a szerkezeti megoldásokat, csökkenteni azok számát és milyen léptékig csökkenthetők a modulok méretei. Végezetül a moduláris építészet és tervezés meg van-e kötve a technológia által, továbbá lehet-e ez az építészeti megoldás az energia és költséghatékony építésre.

1.5 Előfeltételek

1. Az épületszerkezeti modulok alkalmazása a tervezés, valamint kivitelezés folyamán időbeni, illetve logisztikai előnyökkel jár.
2. A modulos építés csökkenti az épületszerkezeti problémák számát a tervezés során.
3. Az épületszerkezeti elemeknél a kézzel mozgatható moduloktól egészen tartószerkezeti modulokig tarthat a tervezési elemkészlet.
4. A modularitás megjelenik a belső térérendezésben, mely általában kihatással van a homlokzat tervezésére is.
5. A modulos építés jellemzően a cellás épületeknél jelent nagyobb előnyt (pl. szállás és lakóépületek), ezért mondhatjuk, hogy a modulos építés kötött bizonyos funkciókhoz.
6. Az elkövetkezendő évtizedekben további lendületes fejlesztések várhatók a moduláris építés technológia terén, melynek köszönhetően a jövőben ez a technológia átveheti a vezető szerepet az építőiparban.
7. A modulok alkalmazása energia és költséghatékony, szemben a nem modulokból való építéssel.



2 Kiindulási helyzet

2.1 Modularitás jelenlegi helyzete

2.1.1 A moduláris építési technológia

A jelenlegi gazdasági helyzet előreláthatóan kihatással lesz az építőiparra is, melyben egy jelentős visszaesés kockázata áll fenn. Az egyre erősödő versenyben még nagyobb szerepet kapnak azok a technológiák, amik gyors és precíz kivitelezést biztosítanak. Az alternatív építési rendszerek egy innovatív és lendületesen fejlődő területe a moduláris építési technológia.

2.1.2 A technológia versenyképessége

A fentebb említett gazdasági helyzet mellett manapság a kivitelezők hiánya, valamint az általános szakemberhiány is jelentősen megnehezíti az építőipar gördülékeny működését. Ezeknek a változásoknak és a moduláris építészetben alkalmazott modern technológiáknak köszönhetően ez az építési mód egyes területeken felveszi a versenyt a hagyományos építészeti megoldásokkal, módszerekkel.

2.1.3 Logisztikai előnyök

Számos előnyt jelenthet a modularitás alkalmazása a tervezés és kivitelezés során egyaránt. Sok hátráltató tényező, ami gondot okozhat egy hagyományos építkezés során, itt kiküszöbölhető. A helyszíni építkezés során, annak összetettsége miatt, több szakmának kell együttműködnie a megfelelő kivitelezés lebonyolításának érdekében és ez jellemzően hatalmas logisztikai kihívást jelent. Habár természetesen a jól átgondolt logisztikai megoldások a moduláris építési rendszer alkalmazása során is elengedhetetlenek, lényegesen leegyszerűsödhet és rövidülhet a helyszínen használandó anyagok, gépek és megjelenő szakágak listája. Az előregyártásnak köszönhetően a helyszínen sokkal kisebb az élőmunka igénye, valamint az összeépítési idő is kevesebb, mint egy teljesen hagyományos szerkezet felépítése során. Amellett, hogy ez a logisztikában előnyt nyújt az évszakok és időjárás sem befolyásolja az építkezés folyamatos haladását.



8. A hagyományos és moduláris építkezés folyamata



2.1.4 Kiszámíthatóság

Az építési költségek és az építési idő sem elhanyagolható tényezők a tervezés és kivitelezés során. Míg a hagyományos módon készülő épületeknél ezek szinte tervezhetetlenek és gyakran elszállnak, elhúzódnak, ami igen nagy problémákat szül, addig a moduláris építési rendszer esetén az építési költségekről és a kivitelezés időtartamáról sokkal pontosabb és stabilabb számításokat lehet végezni a munkálatok megkezdése előtt. Emellett szintén pozitívumnak tekinthető, hogy a befektetők és leendő tulajdonosok már az építkezés során pontos képet kaphatnak az épület, és azon belüli egységek végső megjelenéséről.

2.1.5 A technológia fejlődőképessége és terjedése

A moduláris építési technológia adottságaiból fakadóan a fejlődés útján halad és ennek köszönhetően a modularitásból keletkező határok egyre szélesednek és egyre több lehetőséget biztosítanak a tervezői szabadságnak, valamint az egyedi igényeknek is.

A technológia fejlődőképességéről árulkodik az is, hogy Amerikában és Nyugat-Európában, főként az északi országokban úgy, mint Belgiumban, Hollandiában vagy a skandináv országokban már több évtizedes hagyományai vannak a technológia alkalmazásának. Ezekben az országokban permanens és dinamikus térhódításban van a moduláris építészet és egyre szélesedő alkalmazási körben használják a megoldásait. Közép-Európa és Magyarország területén kezdetben jellemzően csak kisebb gyártók próbálkoztak a technológia alkalmazásával, azonban az utóbbi időben egyre többen igyekeznek a technológia nagyobb szereplőivé válni.

2.2 A moduláris építés technológiai határai

2.2.1 A technológia kötöttségei

A hagyományos építési kultúra előnye, hogy egyedi, változatos épületeket lehet vele létrehozni, azonban adottságaiból fakadóan a kibocsátási és fejlődési képességei nagy mértékben korlátozottak. Ezzel szemben a moduláris építészetben az egyedi igények kiszolgálásának lehetőségei egy fokkal visszafogottabbak, azonban a technológia folyamatosan fejlődik és ma már szinte összehasonlíthatatlanok a lehetőségek a 60-as, 70-es évek házgyári technológiával. A hasonlóság mindössze annyi, hogy üzemszerű termelés mellett nagy mennyiségben lehet előregyártani, azonban az elemek tervezése modern szoftverekkel történik. Nagyon fontos az egész tervezési- gyártási folyamat műszaki alapossága, precizitása, és hogy az egyes részek egymáshoz való kapcsolódása, integrálása, csomóponti kapcsolatok kialakítása egy jól átgondolt tervezési folyamat eredménye legyen.

A moduláris építészet lehetőségeit bizonyos határok közé zárja a jelenlegi technológia és infrastruktúra fejlettsége.

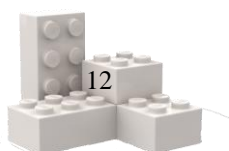


2.2.2 Infrastruktúra által szabott korlátok

A tervezés során sokszor felmerül nagyobb modulok előregyártásának az igénye is, de a helyszínre való szállítás és a modulok összeszerelése is bekorlátozhatja az egységek maximális méreteit, hiszen figyelembe kell venni, hogy mekkora méretűek lehetnek a szállításra alkalmas járművek, illetve a szállítási út során milyen akadályokra lehet számítani. Példának okáért az utakat keresztező hidak méretei is döntő szerepet játszhatnak a modul méretek meghatározása során. Az MSZ-07-3700-1991-ben megfogalmazott közúti hidak létesítésének általános szabályai alapján az autóutak fölött szabadon tartó úrszelvény 4,70 m. Emellett a teherautó magasságát beleszámítva a maximális modul magasság, ami könnyen szállítható 3 m körül mozog. Az infrastruktúra a magasság mellett szélesség és hossz méretben is korlátok állít fel. Egy könnyen szállítható modul maximális szélessége 3 m, míg hossza 10 m körül van.

A helyszíni munkák során is szükséges egy olyan méretű daru vagy más emelő szerkezet jelenléte, aminek segítségével a modulok helyszíni mozgatása és végül a kívánt helyre való emelése is lehetővé válik. Egy toronydaru 12 tonna tömegű elemeket képes felemelni, ám egy 10x3x3 m nagyságú 18 cm vastag falú vasbeton modul akár a 40 tonnát is elérheti. Ebben az esetben a modult kisebb részekre bontják és a helyszínen szerelik össze. Hasonló méretű fa és acélszerkezetű modulok körülbelül 10 tonna össztömegűek, ám mobildaru alkalmazása esetében ez a súly komoly odafigyelést igényel.

Manapság már a fentebb említett akadályok közül többet megfelelő átgondoltsággal és precizitással ki lehet küszöbölni, de akadnak olyanok is, amelyek valóban megnehezíthetik a tervezők és kivitelezők munkáját.



2.2.3 Strukturális határok

Egy szintén érdekes kérdés a modularitással kapcsolatban, hogy milyen magasra is építhetünk előregyártott modulokból. Mi az a strukturális magasság amíg fa, acél és beton modulokból építhetünk anélkül, hogy az épület elvesztené a stabilitását, valamint az önsúlyból származó tönkremenetel bekövetkezne. A legmagasabb épületek a 140 métert is elérik. A Ten Degrees Croydon Londonban és a Clement Canopy lakóházak Szingapúrban, több mint 1500, illetve 1900 modulból épülnek fel. Ezek mind vasbeton és acél szerkezetek, amelyek a földszinti vasbeton födémre épülnek fel. Emellett fontos figyelembe venni a modulok közötti kapcsolatoknak és azokat biztosító épületszerkezeti elemeknek a maximális teherbírását, a



9. Clement Canopy

szél szívó és toló hatásával szembeni ellenállóképességét, illetve, hogy egy esetleges földrengés által okozott hirtelen gyorsulás milyen hatással van az épület szerkezetére.

A moduláris épületekben a modulok a széleken csatlakoznak egymáshoz, ezek határozzák meg az egész épület integritását, azonban így nem jön létre folytonos kapcsolat az elemek között. Emiatt az oldalsó terhek hatására a modulok sarkán lévő vertikális tartószerkezetek sérülhetnek a legkönnyebben. Ezeken a helyeken célszerű olyan kapcsolat kialakítása, amelyek szükség esetén duktilis alakváltozás által megvédik a modulok tartószerkezetét. Ennek ellenére a moduláris épületek többsége önsúllyal szembeni ellenállásra van tervezve, akárcsak a hagyományos épületek. A sarokkapcsolatokat hegesztéssel alakítják ki, dinamikus terhek felvételére csillapítókat vagy izolátorokat helyeznek el. Emiatt ezeket az épületek így nem is nevezhetjük teljesen modulárisnak, mivel a merevítést vasbeton vagy acél mag, illetve más merevítő szerkezetek adják.

Újabb kutatások szerint előnyösebb megoldás lehetne egy összefogó lap elhelyezése a modul sarkok csatlakozásánál. A lapot rugalmas réteg majd ismét egy összefogólap fedi mindkét oldalán. A rétegek együttműködését m^2K nagy szakítószilárdságú csavarok biztosítják. Ez a kialakítási mód előnyösebb a hegesztésnél, mivel így különböző anyagok együttműködése is elérhető.

2.2.4 Szerkezeti kapcsolatok kialakítása

Szintén határt szabhat a modul szerkezetek egymáshoz való illeszkedéseinek megfelelő kialakítása és azok terhelhetősége, valamint korrózióval szembeni ellenállásuk is vizsgálendő, ugyanis ezek legtöbbször a modult meghatározó külső szerkezeteken kívül helyezkednek el. Ugyancsak problémát vethet fel a vízszigetelések és hőszigetelések folytonos vonalvezetésének kialakítása hatékony módon, illetve a vonalszerű és pontszerű hőhidak kiküszöbölése. Ezek a problémák földrajzi elhelyezkedéstől is függenek, hiszen a világ minden táján más-más időjárási viszonyoknak, illetve követelményeknek kell megfelelni.

2.2.5 Tűzvédelem

A nagyobb léptékű moduláris épületeknél felvetődik a tűz elleni védelem problémája. Az épület tervezésénél meg kell fontolni a tűzszakaszok megfelelő elhelyezését, a modulok csatlakozásának kialakítását, illetve a közöttük lévő légrések megfelelő módon történő kezelését. Ha a tűz terjedése lehetővé válik a modulok közötti, illetve homlokzati légrésekben, az az épület egészének megsemmisüléséhez vezetne, ezért az ilyen kritikus helyeken gátolni kell a tűz terjedésének útját. Valószínű, hogy hasonló okok miatt égett le az Egyesült Királysági Moorfield Hotel, ahol a modulok között elvezetett vezetékek rövidzárlata okozta tűz a résekben gátak nélkül futott végig az egész épületen. Így a tűz riasztás is később érkezett, amikor már túl késő volt az épület megmentésére. A fából, illetve acélból készült épületek esetén még fokozottabb odafigyelést igényel a tűz elleni védelem megfelelő kialakítása, ezért azokat szükséges lehet tűzgátló kémiai bevonattal ellátni. Mindezek mellett fontos megjegyezni, hogy életbevágó az egész épület részletes tűzvédelmét megtervezni, a lakások, aknák, tűzszakaszok, falak és kábelátvezetésekénél is.

2.2.6 Modularitás határainak feszegetése

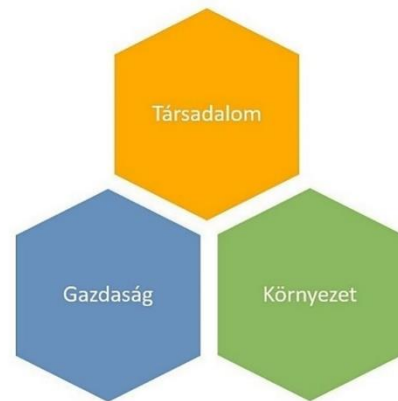
Ezek a problémakörök nem feltétlenül szabnak határt a moduláris építészetben. De adott esetekben olyan problémákat okoznak, amelyek kiküszöbölése több emberi erőforrást, drágább anyagokat és több időt igényelnek. Ennek ellenére a moduláris építészet sok esetben a leghatékonyabb módszer, ám a határok feszegetése során érdemes figyelembe venni, hogy meddig éri meg kitartani a moduláris építési módszer mellett és mi az a határpont, aminek elérésekor érdemes egy másik technológiára váltani.



2.3 Fenntarthatóság

2.3.1 Analizálás

A fenntarthatóságot 3 dimenzió keresztül szokás analizálni, társadalmi-, gazdasági-, valamint környezeti fenntarthatóság csoportjaira bontva. E három pillér megvalósításához teljesíteniünk kell a nélkülözhetetlen feltételeket, mint például biztosítani a jó életminőséghez szükséges követelményeket egy élhető és egészséges közösség létrehozásával, a meglévő erőforrások optimális kihasználásával, illetve ezek egymásra gyakorolt hatásaiból származó potenciális lehetőségek kiaknázásával.



10. A fenntarthatóság három alappillére

2.3.2 Környezeti fenntarthatóság

Kutatásunk szempontjából legfontosabb a három kategória közül a környezeti fenntarthatóság, amelyet a természeti erőforrások regenerációs képességének túllépése nélküli felhasználási képességeként definiálnak, valamint ezek védelmeként. Ebből fakadóan megállapíthatjuk, hogy a környezeti fenntarthatóságot szoros kapcsolat fűzi a fenntartható termeléshez, illetve fogyasztáshoz.

Annak érdekében, hogy az ökoszisztéma ellenálló képessége fokozódjon vagy akár csak helyreálljon, a hulladék, a kibocsátás és kapcsolódó költségek, vagyis az épített környezet legfőbb negatív hatásainak mérséklése elengedhetetlen.

A problémára adott válaszok közül, azok jelentenek megoldást, amelyek kerülnek a pazarlást, az erőforrások és anyagok fenntartható használatát preferálják és tervezési kultúrájuktól fogva regeneratívak.

2.3.3 Fenntartható építés

A mindennapok igen jelentős kérdésévé vált az energiahatékonyság. Mindenki keresi azokra a kérdésekre a választ, hogy “Hogyan lehet kevesebb energiát felhasználni?” vagy “Hogyan lehet egy fenntarthatóbb életet élni?”. Ma már nem igazán fordul elő olyan felhasználási terület, ahol ne foglalkoznának ezekkel a kérdésekkel.

A fenntartható fejlődés nélkülözhetetlen eleme a fenntartható építés. Napjainkban minél inkább kutatják azokat a módszereket, amelyek javítják az építés fenntarthatóságát és hatékonyságát, de mindeközben nem emelik a projekt bonyolultságát, kockázatait és építési költségeit. Ennek következtében egyre nagyobb az érdeklődés a modularitáson alapuló épületszerkezeti rendszerek iránt, hiszen az ilyen módon telepített épületek képesek teljesíteni



a fentebb említett igényeket és követelményeket. A moduláris építési technológia számos előnye közül a legjelentősebb a jobb minőség, pontosság és méretgazdaságosság a gyártás során, illetve a helyszíni munkálatok gyorsasága. Mindemellett ezek az épületek bővíthetők, szétszerelhetők és újrahasznosíthatók, így eredményesen megőrizhető eszközértékük.

A modularitás és alkalmazkodóképesség meghatározó elemei az épített környezetnek és fenntarthatóságának.

2.4 Modularitás szerepe és jelentősége az építészeti tervezés során

2.4.1 Modulok és funkciók kapcsolata

Amellett, hogy épületszerkezetileg és kivitelezés szempontjából számos előnyt jelenthet a moduláris építési technológia alkalmazása, már a tervezés szintjén is igen fontos szerepet tölthet be. Az épületek használatukat tekintve felbonthatók kisebb egységekre, így nem kell a létesítményen belül számtalanszor megjelenő azonos funkciók elhelyezését külön-külön megtervezni, hanem azok megfelelő kapcsolatainak kialakításával egy sokszorosítható egységet meg lehet határozni. A modul vagy modulok egymás utáni sorolásával jól kitalált képleteket definiálva egyszerűbben létrehozhatók az épületek. Napjainkban már jelentős a modulokból komponált épületek száma. Jellemzően irodaházak, hotelek, de már lakóházak is készülnek ezzel a technológiával, ugyanis ezekben a létesítményekben jól definiálhatók és multiplifikálhatók a funkciókhoz kapcsolt modulok.

A tervezés során a modularitás több szinten is működik, nem csak egy-egy nagyobb egység determinálható ezzel a módszerrel, hanem az épület tartószerkezete, válaszfalai, homlokzata, nyílásai, bútorai, valamint az egyes csomóponti kialakításainak megtervezése esetén is a tervező segítségére lehet a módszer.

Az utóbbi pár évtizedben végbemenő társadalmi és szociális folyamatos és lendületes változások egy újfajta életmódot indukáltak. Ezekre az állandó módosulásokra a moduláris építészeti kialakítás és térszervezés bizonyos területeken megoldást nyújthat. Hiszen a technológia adottságainak köszönhetően az ilyen módon megvalósított épületek könnyen bővíthetők, fejleszthetők és elemeik szükség esetén javíthatók vagy cserélhetők.

2.4.2 Modularitás hatása a téralakításra és homlokzatokra

Épületek esztétikáját nagymértékben meghatározza annak homlokzata, illetve a belső terek fűződése.

Mikor modulokban gondolkozunk egyszerre jelennek meg jól működő térbeli rendszerek, de ugyanakkor téri kötöttségek is. Moduláris építészet során beszélhetünk szerkezeti, illetve téri modularitásról is egyaránt. Ilyenkor a szerkezeti, illetve a modul méretet meghatározza a



legnagyobb helyigényű tér mérete. Ebben az esetben azonban mérlegelni kell a többi helység milyen mennyiségben tudja önmagában belakni saját modulját, vagy hogyan tudna együtt létezni egy másikkal egy egységen belül.

Hasonló esetek előfordulásakor érdemes két részre bontani a moduláris építészetet, szerkezeti és téri modularitásra.

2.4.2.1 Szerkezeti modularitási rendszer

A szerkezeti modularitás esetében, egy épület berendezésénél, illetve modul mérete meghatározásánál kulcsfontosságú szerepet kap a legnagyobb alapterületű helység. A további funkciókhoz tartozó terek ehhez alkalmazkodva alakulnak ki, valamint létre jöhetnek több funkciójú helységek is. A homlokzati kialakításnál figyelembe kell venni, hogy a burkolat milyen szerkezetre támaszkodik. Legjellemzőbb fedés a nagytáblás burkolat vagy függönyfal. Hasonló burkolati elemek használatánál építészeti feladat a monotonitás elkerülése.

2.4.2.2 Térbeli modularitási rendszer

A térbeli, több funkciójú helységeket magába foglaló modulok esetén fontos, hogy hatékonyan lehessen a tereket elrendezni bennük. Ez néha kompromisszumokhoz vezethet a funkcionalitás és esztétika között. Nagyobb méretű modulok esetén lehet a tömegekkel játszani, különböző tektonikus, organikus elrendezésbe helyezni őket. Homlokzati kialakítás szempontjából a modulon belül szinte bármi megengedett. Azonban megfelelő mértékű kreativitás nélkül nagyobb léptékben a homlokzaton monotonitás alakulhat ki. Ezt m^2K a modulok kifelé-befelé tolásával, illetve egy összefüggő kisebb elemekből álló rendszer kialakításával szokták ellensúlyozni.

2.4.3 Modularitás és monotonitás kapcsolata

Moduláris építkezés során nagy valószínűséggel a homlokzaton megjelenhetnek repetitív alakzatok melyek reflektálnak az épület struktúrájára és belső tereinek elrendezésére. Ám ezek a repetitív elemek kivetülései a homlokzatra sugallhatnak egy adott biztonságot, linearitást a térben, egyenjogúságot belső terek közt és azok kültérrel való kapcsolatát is. Ezek a típusú szerkezetek leginkább lakóépületeknél kerülnek előtérbe, ahol a homlokzat az épületben található terek azonosságát tükrözi.

Ugyanakkor homlokzaton megjelenő egyforma elemek nem törvényszerűen egy egysíkú térrácsot alkotnak. Kortárs épületekben gyakran jelennek meg amorf vonalakra, illetve síkokra illesztett homlokzatra kivetülő moduláris terek. Az előzőhöz hasonlóan a monotonitást eltüntető elem lehet a különböző homlokzati egységek más-más színnel való festése vagy más anyaggal való burkolása.



2.4.4 Modularitás megjelenése a tervezésben

Sok építésziroda munkásságában megjelenik a modularitás, azonban azok száma, akik csak ezzel foglalkoznak már jóval elenyészőbb. Inkább csak időszakosan figyelhető meg az irodák életében az ilyesféle rendszerek felhasználása. Vannak, akik rövidebb ideig és akadnak, akik évekig foglalkoznak ilyenfajta képletek definiálásával, de előbb utóbb rendszerint visszatérnek a teljesen egyedi épületek komponálásához ezzel elhagyva a modularitás útját.

2.5 Modularitás az építészirodákban

2.5.1 Pezo von Ellrichshausen

Annak ellenére, hogy jelenleg nincsenek olyan építész irodák, akik kifejezetten csak moduláris épületeket terveznének, egyre több építészeti alkotásokon jelennek meg szerkezeti vagy homlokzati modularitás jelei.

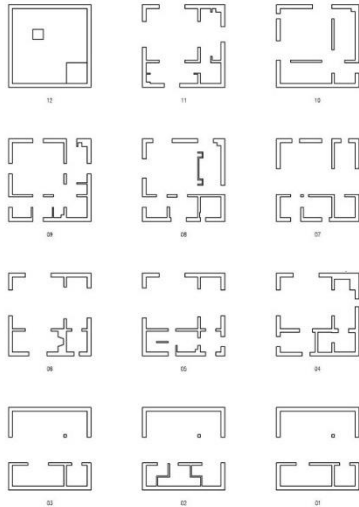
Az egyik általunk megvizsgált építésziroda, akinek számos épülete foglalkozik a kérdéskörrel, a Chilei székhelyű Pezo von Ellrichshausen. Épületeikre elsősorban a letisztultság, rendszerezettség, egyszerű geometriai formák, valamint textúrákkal való játék jellemző. Legtöbb házukban központi elemként jelenik meg a téglatest mint épület tömeg vagy mint belső tér.

Egyik ilyen épületük a Cien House, amely földszinti részét három, egymásba nyitott, négyzet alakú tér alkotja, majd a ház többi részét a négyzet vertikális megsorozása hozza létre. Ezáltal egy fordított T alakú ház jön létre, melyet 11 egymás mellé, majd egymás fölé tett térrendszer alkot.

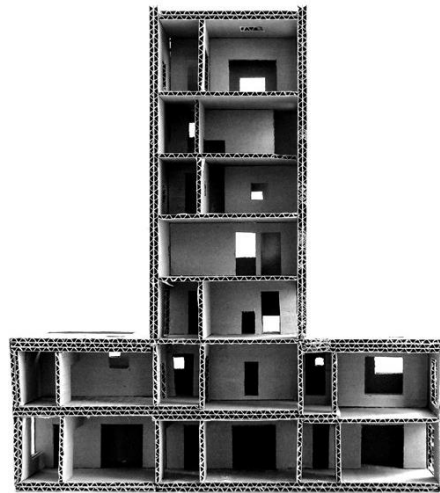
A T formában rejlő lehetőséggel, a 2017-es Chicagói Építész Biennáléra készült munkájuk is foglalkozik. A Finite Format 04 munkájukon belül egy szinte léptéktelen T alakú tömeg 729 különböző változatát helyezték egymás mellé, melyek csak a T alakot formáló 3 modul magassági és szélességi méreteiben, illetve azok színezésében térnek el egymástól.



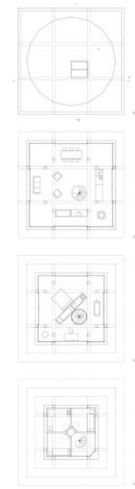
Egy szintén szerkezeti modularitáson alapuló házuk a Meri House, mely tartószerkezetét 6 haránt irányban futó faszerkezet adja. A terek hosszanti tengelyen össze vannak nyitva, így egy összefüggő azonos térrendszer alakul ki.



13. Cien House



12. Cien House



11. Nida House

Szintén hasonló rendszerre alapuló ház a Nida House, ami vasbeton pillérekre és gerendákra épül. Érdekes, hogy a négyzet alaprajzú szintek felfelé haladva egyre nagyobbak válnak, így egy felfelé táguló épület képződik.

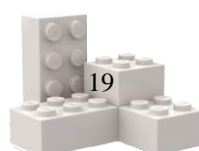
Moduláris térformálás kültéri pavilonjaik által figyelhető meg. A Less Paviliont hasonló méretű hasábokból felépített oszlopok alkotják, melyek egy raszterben vannak elhelyezve, míg a Hall Paviliont ugyancsak raszterben elhelyezett hálószerű, galvanizált acél hengerek alkotják.

2.5.2 FAR Frohn & Rojas

Egy másik építésziroda, akinek épületei legfőképp szerkezeti szinten alkalmazzák előszeretettel a modularitás képleteit a FAR Frohn & Rojas.

A Wohnregal lakóház szakít az előregyártás által meghatározott szabályokkal és egy változó, dinamikus épületté válik. Az előregyártott vasbeton tartószerkezetű ház alaprajza a pillérek között szabadon alakítható, így mindegyik szint téralakítása különbözik, az adott szint lakóinak szükségleteihez alkalmazkodva. A szerkezeti modularitás látható maradt, mivel az épületen belül a tartószerkezetet legtöbb helyen nem takarja semmilyen burkolat. A homlokzaton is fellelhetőek a modularitás jelei. Az épület tartószerkezetére elhelyezett függönyfalat tolható ajtópanelek és színes korlátok határolják.

Az irodának egy másik előregyártott elemekből megvalósult épülete a Wall house. A lakóház gyárban készült faforgács falelemekből készült, amelyeknek van tömör, illetve vázszerkezetes



része is, ezek a helységek közti közlekedést biztosítják. Az épület struktúra kívülről észre sem vehető, ugyanis egy ponyvaszerkezet fedi a házat.

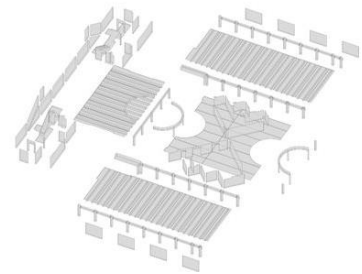
Egy újabb, jelenleg is építés alatt álló épületük, a Lion-Feuchtwanger-Strasse 61, szerkezeti modularitásra épül. Az épület lakásai és erkélyei előregyártott elemekből készülnek, amelyek egy hullámzó homlokzatot képeznek a belső kert felé.

A 3D exploded view diagram of modular building components. It shows various rectangular panels, beams, and connectors arranged in a grid-like structure, illustrating how they fit together to form a building's facade or interior wall.

14. Wohnregal



14. Wall house



16. Lion-Feuchtwanger-Strasse 61

2.5.3 BIG

A modularitás elemei fellelhetőek a BIG egyes épületeiben is, mint például a Koppenhágában megépült Mountain Dwellings lakóházban, amely egy parkolóház tetején helyezkedik el. A progresszívan vertikálisan emelkedő és alapterületileg csökkenő parkoló fölött lévő lakások lekövetik a kialakult lejtésformát, ezáltal a lakó tömegek felett zöldtetők alakíthatók ki, melyek az egy szinttel fentebb lévő helyiségekből közelíthetők meg. Ezek az L alakú lakások egymás mellé és fölé való sorolása egy térbeli mátrixot alkot.

Egy hasonló épületük az Amszterdamban megépült Sluishuis, amely a part felőli oldalán felemelkedik, hogy beengedje a vizet a belső udvarba, míg a másik oldalon lépcsőzetesen csökken, egy város felé irányuló befogadó homlokzatot alakítva ki. A lépcsőzetes kialakításnak köszönhetően a lakásokhoz zöldtető és terasz társul, mely által egy repetitív, de szintén organikus térforma alakul ki. A homlokzaton is megjelennek modularitásra utaló jelek, mivel az épület külső határolását egységes alumínium burkolat fedi, melyet csak erkélyek és a hozzájuk társuló nyílászárók ismétlődő elhelyezése alkot.

A felsorolt épületek ámbár nem teljesen moduláris épületek, találhatók bennük erre utaló szerkezetek és térrendszerek.



3 Kutatás

3.1 Kutatásmódszertan

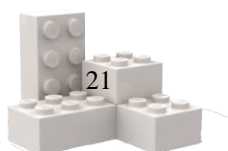
Kutatásunk során bennünk felmerülő kérdésekre, úgy kerestük a válaszokat, hogy már megvalósult épületekben rejlő modularitást igyekeztünk visszafejteni egészen az épületszerkezeti elemekig. Ezt a kutatási módszert, amely során fordított módon gondolkozva, nem a kezdetektől felépítve, hanem éppen ellenkezőleg a kész terméket visszabontva elemzünk a funkcionalitás és működés megértésének érdekében, reverse engineeringnek nevezik. Ennek az angol kifejezésnek több magyar fordítása is megjelent, talán, ami a legáltalóbb a “visszafejtés”, “visszatervezés” vagy “fordított mérnöki tevékenység”.

A mi esetünkben a leginkább kifejező minden bizonnyal a visszafejtés, hiszen a kutatásunk alanyainak választott épületeket külső megjelenésétől kezdve, funkciójukon és térszervezésükön keresztül egészen az épületszerkezeti elemeikig keressük a bennük megbúvó modulokat és moduláris képleteket, illetve az ezek közötti kölcsönhatásokat, megjelenő épületszerkezeti tendenciákat, valamint az építészeti kultúra jövőjére tett hatásait.

3.2 Moduláris építészetben alkalmazott szerkezeti rendszerek

Moduláris épületek kialakítására alkalmazott szerkezetek listája a technológia fejlődésével egyre hosszabbá válik. A kezdeti időszakban az épületeket határoló külső falak vastag tömör szerkezetként épültek. Az építés technika, valamint az anyagok ismeretének előrehaladtával mindinkább vékonyabb és könnyedebb szerkezetek kialakítására nyílt lehetőség, majd a vázas építési mód megjelenésével kialakultak a réteges könnyű szendvics jellegű homlokzati falszerkezetek. A kezdetben homogén struktúrákat, amelyek esetén az épületszerkezeti, illetve tartószerkezeti követelményeket egyetlen összefüggő rétegben kialakított rendszer elégítette ki, felváltották a heterogén szerkezetek, amelyek esetén a fentebb említettekkel szemben támasztott követelményeknek több rétegben kialakított szerkezetek tesznek eleget. Míg eljutottunk a tömör falaktól egészen a filigrán szerkezetekig számos szerkezeti rendszer alakult ki, amelyek zöme ma is jelen van az építési tevékenységben, tehát a tervezés során széles a választék anyag és szerkezet terén a tervező számára.

A moduláris építési technológiát előregyártott elemek alkalmazása jellemzi. Bár erről a panel lakóházak juthatnak először eszünkbe, az alábbiakban megmutatjuk, hogy az új megoldásoknak, modern gyártástechnológiának és ellenőrzött körülményeknek köszönhetően



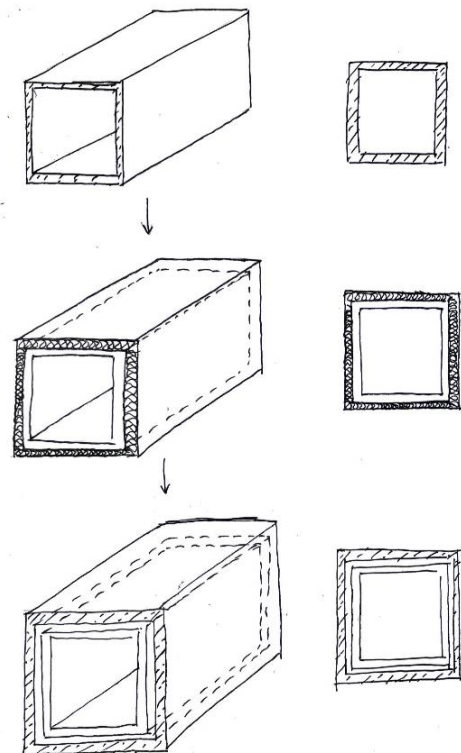
mára megannyi hátrány kiküszöbölhető, illetve más korszerű megoldásokkal szemben is számos előnye van az előregyártott elemekből folytatott építésnek. Az ilyen technológiával kialakított szerkezetek esetén megkülönböztetünk épített, vagyis habarcs masszával egymáshoz illesztett blokkos, illetve szerelt, tehát csavarozott, valamint hegesztett kapcsolatokkal rögzített panelos szerkezeteket. Az előregyártás során leggyakrabban felhasznált anyagok a vasbeton, az acél, illetve a fa.

3.2.1 Vasbeton szerkezetek

A moduláris építési technológiában használt anyagok közül a legrugalmasabb anyag az előregyártott szerkezetek kialakítására a vasbeton. Magas teherbíró képességének, merevségének, valamint a beton és acél együttműködésének köszönhetően az egyik legmegbízhatóbb építőanyaggá vált, szinte bármilyen szerkezet kialakítható belőle.

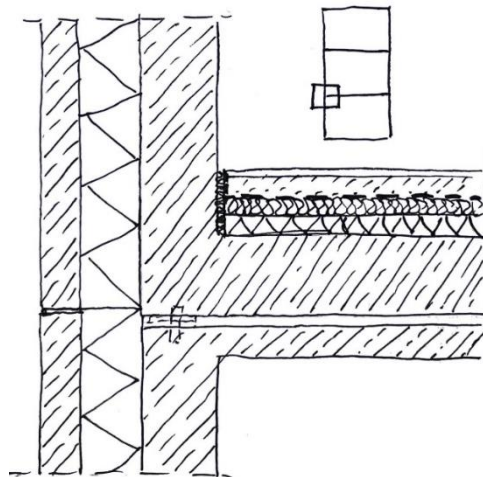
Az acél és beton együttes használata semlegesíti az anyagok gyengébb tulajdonságait, a beton megátolja az acél korrózióját, míg az acél pótolja a beton gyenge húzószilárdságát, emiatt a szerkezetek azon részén, ahol húzófeszültség ébred acélbetéteket szükséges elhelyezni. A szerkezetek váratlan tönkremenetelének esélye alacsony, valamint a képlékeny alakváltozási képessége magas.

Az előregyártott elemek kapcsolatainak kialakítása pontos szerelési tervek alapján történik, ezt a precíz szerelő jellegű munkát kizárólag szakemberek végzik. A végleges csomópontokat csavarozva, hegesztve, utólagosan kibetonozva, valamint cementhabarccsal injektált kötésekkel alakítják ki. A kapcsolatok kivitelezése során fontos szempont a megfelelő korrózióvédelem kialakítása. A vasbeton épületek létesítése során külön figyelmet kell fordítani a megfelelő hőszigetelés megtervezésére, ugyanis a szerkezet önmagában nem képes kielégíteni az előírt követelményeket. Tűzvédelmi szempontból az egyik legjobban viselkedő anyag, hiszen tűz esetén sokáig megtartja teherbíró képességét, csak az elemek összeillesztésére kell különösebb figyelmet fordítani.



15. Vasbeton modul szerkezete

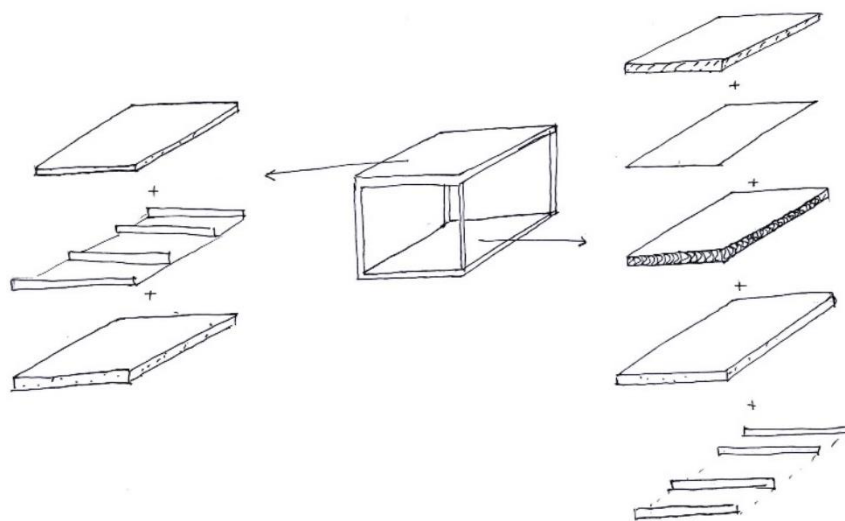
Inhomogén szerkezete ellenére, amennyiben az előregyártott vasbeton elem képes a repedésmentesség megtartására, a struktúra légzáró és legtömör határoló szerkezetként működik. Azonban ezen elemek összeillesztésénél külön figyelmet kell fordítani a megfelelő lég- és párazárás kialakítására.



16. Vasbeton modulok csatlakozása

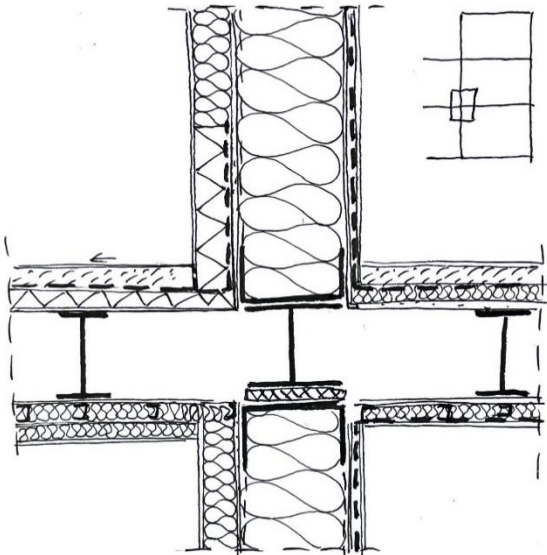
3.2.2 Acél szerkezetek

Az építőiparban karcsúbb és könnyebb szerkezetek elérése érdekében acél szerkezeteket használunk, ugyanis kis önsúly mellé meglehetősen magas teherbírás társul. Ugyanez igaz a modulok kialakításakor is, hiszen az ilyen módon létrehozott szerkezetek tömege jóval kisebb, mint más anyag használata esetében.

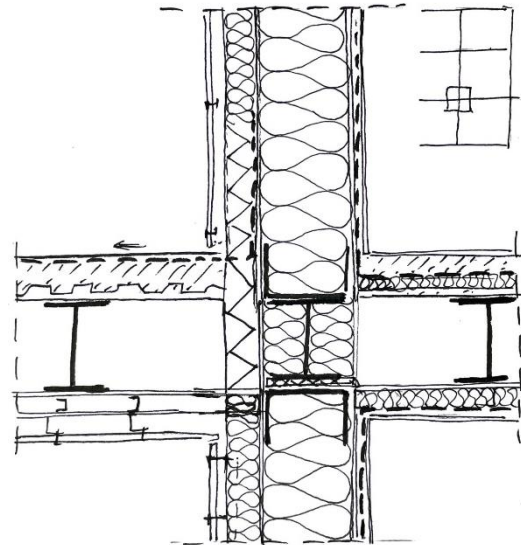


17. Acélszerkezetű modul kialakítása

Ennek köszönhetően magasabb épületeket lehet tervezni, illetve az építési folyamat könnyebben halad, tudniillik kevés helyszíni munkát igényel, emellett a gyártás jól gépesíthető, automatizálható. Azonban az acél drága alapanyag, gyártása és megmunkálása nem költséghatékony.



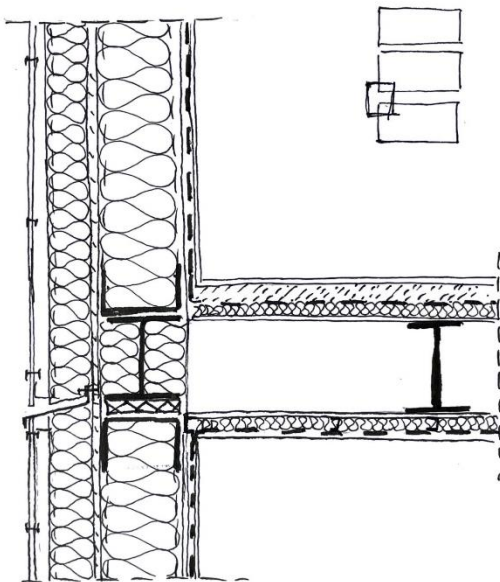
18. Körbehőszigetelt acél szerkezetű erkély



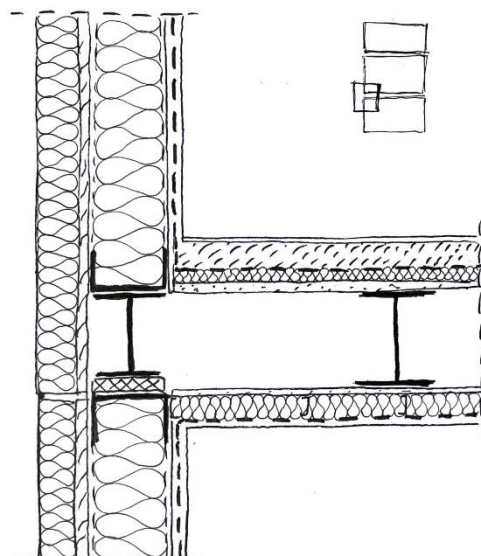
19. Hőhidmegszakítóval kialakított acél szerkezetű erkély

Az acél jó hővezető képessége miatt az épületek megfelelő termikus burkának kialakítása kiemelt fontosságú, ezért előnyös az acél szelvények körbeszigetelésén kívül a szerkezet külső oldalára is hőszigetelést helyezni a hőhidak elkerülése érdekében.

Tűzvédelmi szempontból azonban különös odafigyelést igényel, mivel az acélt gyenge tűzállóság jellemzi. Ennek okai a jelentős statikai kihasználtság, a jó hővezető képesség és a hőmérséklet emelkedésével romló szilárdsági tényezők.

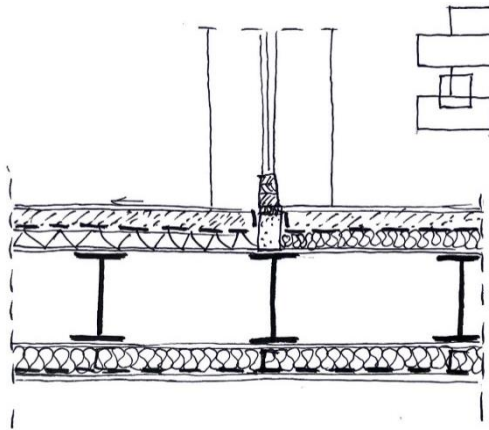


21. Átszellőtetett homlokzatburkolatú modulok csatlakozása



20. Vakolt hőszigetelésű modulok csatlakozása

Korrózió miatti károsodás ellen szükséges az acélszerkezeteket megvédeni, ezért kiemelten fontos a megfelelő elhelyezésű és felületfolytonos csapadék és párazáró, valamint páraáteresztő közegek kialakítása.

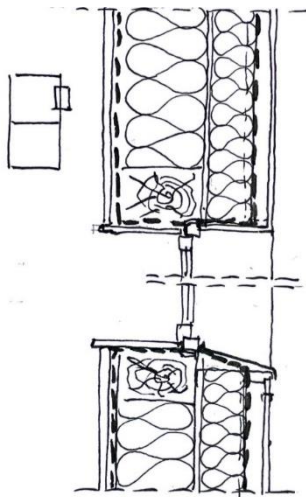


22. Acélszerkezetű modul erkély kialakítása

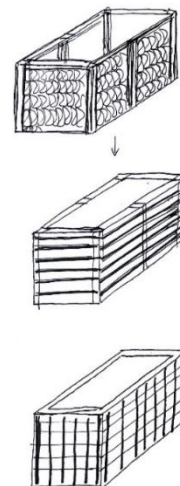
Az acél szerkezetű épületek egy specifikusabb formája, amit moduláris épületek kialakításánál előszeretettel alkalmaznak a konténerépítészet. Nagy előnyt jelent, hogy a modulok könnyen beszerezhetőek és egyszerűen építhetőek egymásra, ám ilyenkor figyelembe kell venni a konténeres közti kapcsolatok megfelelő akusztikai kialakítását. Ezeknél az épületeknél a termikus burok jellemzően az épületváz belső oldalán helyezkedik el, emiatt különös figyelmet kell fordítani a szerkezetek pára elleni védelmére.

3.2.3 Fa szerkezetek

A fából való építés a legősibb építkezési forma. Kortárs épületeknél egyre többször jelennek meg a megújuló és újrahasznosítható anyagok, ennek következtében a fából való építkezés a reneszánszát éli. A fa szerkezetek, mint a CLT panelek, gyártása automatizálható azonban így is időigényes marad.



23. Faváz tartószerkezetű modul ablak beépítése



24. Faváz modul kialakítása



A szerkezeti elemek együttdolgozását már modern ácskapcsolatok, mint csavarok vagy különleges ragasztók használatával lehet elérni. Bár a fa tartószerkezetek és falak hővezetési tényezője alacsonyabb, mint más anyagú tartószerkezeteké, önmagában ő sem képes a követelményeknek eleget tenni, ezért szükséges a megfelelő termikus burok kialakítása.

A fa éghető anyag, ezért a hasonló épületek tervezésénél figyelembe kell venni a tartószerkezetek védelmét, az anyag meggyulladásának késleltetését, valamint a tűzszakaszok kialakítását.

A szerkezeteket természetes anyagából fakadóan fontos védeni a nedvesség és pára által okozott hatásoktól, melyek korai korhadást okozhatnak, ezáltal csökkentve a fa teherbíró képességét. Fontos, hogy a rétegrend úgy épüljön fel, hogy belül helyezkedjenek el a párazáró közegek, kifelé haladva pedig egyre inkább páraáteresztő anyagok, fóliák kerüljenek.

3.2.4 Tartószerkezetek típusai

Modulok létrehozhatóak rúdelemekből vagy tömör falakból, ezek kialakíthatók lehetnek a fentebb felsorolt anyagokból.

Mindhárom fajlagosan erős anyag, ezért anyagtakarékos megoldást jelenthet vázas szerkezetek használata, azonban előregyártott falas kialakítás során gyorsabb a kivitelezés, ezért moduláris épületek esetén gyakran inkább erre a kialakításra esik a választás.

3.3 Kutatás során vizsgált épületek

A kortárs építészetben a modularitás nem csak szerkezeti vagy specifikus elemek által jelenik meg, hanem nagyobb, önálló teret alkotó léptékben is egyre jellemzőbbé válik.

3.3.1 Harquitectes

Az egyik építésziroda, akik előszeretettel foglalkoznak moduláris építészettel, a Harquitectes spanyol stúdió. Épületeikben rendszerint használnak ismétlődő elemeket, amelyeket vegetációval és homogén felületekkel integrálnak a környezetbe.

Munkájuk során számításokkal igazolták, hogy a moduláris építési technológia használata által 25 %-kal kevesebb CO₂ kerül a légkörbe, az építkezés során termelt hulladék mennyisége 50%-kal csökken, valamint az esetleges bontási munkák következtében 75%-kal redukálódik a hátramaradó törmelék.

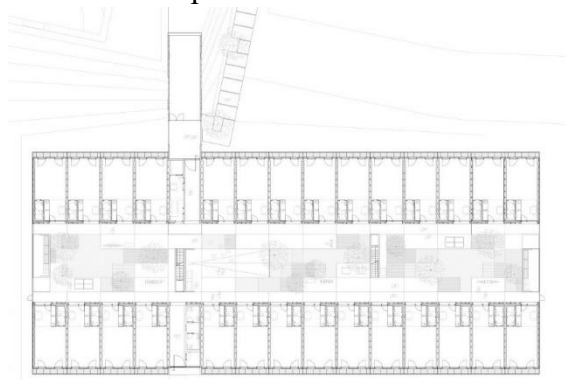
3.3.1.1 57 Habitatges Universitaris

Egy ilyen szemlélettel készült projektjük a Barcelonába épült 57 Habitatges Universitaris. Az építészek már a tervezés kezdetekor fontosnak tartották az előregyártás előnyeinek kihasználását. Az épület gyárban készített modulok sorolásával épül fel, összesen 62 blokk



elhelyezésével, melyekből 57 db azonos lakómodul, 5 db pedig közösségi tereket alkotó egység. A modulok belső tereiben nagyrészt a nyers beton szerkezetek láthatók, ahol szükség volt utólagos burkolatok felhelyezésére ott forgácslemezt alkalmaztak. A homlokzat ezzel ellentétben több rétegű védelemmel rendelkezik a természeti hatások ellen.

Az egész épület hasonló elemekből épül fel, az ebből adódó homlokzati monotonitás megtörésének érdekében az építészek kétrétegű homlokzatot alkalmaztak. A külső réteg áttetszősége és szabad formálása által, valamint a növényzet integrálásával egy organikus homlokzati kép bontakozik ki.



25. 57 Habitatges Universitaris



26. 57 Habitatges Universitaris

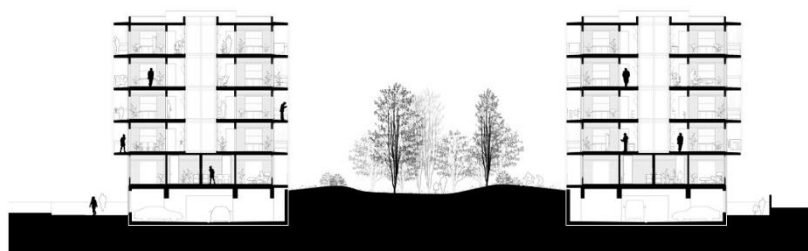
A 40 m² alapterületű modulok építészek által nem teljesen előre definiált berendezésekkel készülnek el, hanem a tanulókra bízva a terek végső formájának meghatározását. A szerkezeti egységek összeillesztési módjának köszönhetően amennyiben az épület eléri a tervezési élettartamának végét, vagy szükségessé válik a bontása, az épület teljesen szétszedhető, illetve a moduljai igény szerint újrahasznosíthatók.

3.3.1.2 1737 Gava lakókomplexum

Egy hasonló épület, a jelenleg is építés alatt lévő 1737 Gava lakókomplexum. A három különálló lakótömbből kialakított épületegyüttes 135 lakásból épül fel, melyek kisebb, identikus 10,6 négyzetméteres modulokból tevődnek össze. A modulokhoz belső udvar felől egy kiegészítő sáv csatlakozik, amelyben fürdők és kis privát teraszok kapnak helyet. A külső oldalon egy részben nyitott folyosó fut körbe, ugyanis az épület homlokzata egy fa szerkezetű raszterből épül fel, tömör falak nélkül, amelyet vegetáció felfuttatásával gazdagítanak.



28. 1737 Gava lakókomplexum



27. 1737 Gava lakókomplexum



3.3.2 BIG

BIG (Bjarke Ingels Group) a 21. század egyik legmeghatározóbb építész irodájává nőtte ki magát, jelenleg 5 irodával a világ különböző világvárosaiban. Manapság már szinte képtelenség úgy olvasni a különböző építész cikkeket és oldalakat, hogy ne bukkanjon elő egy-egy épület a BIG-től. Az iroda a szokatlan, modern és érdekes tömegű épületeik által, innovatív probléma megközelítésüknek és gondolkodásmódjuknak köszönhetően váltak ismertté. Mintha minden egyes BIG épület valami új megoldást nyújtana egy addig fel nem tett kérdésre, vagy egy teljesen innovatív megközelítéssel viszonyulna az épület funkciójához és környezetéhez. Projektjeik nem csak az esztétikai megjelenésre fókuszálnak, hanem arra is, hogy az ott lakók vagy dolgozók egy kellemes közegben tölthessék az idejüket. Építész filozófiájukat nagymértékben meghatározza a funkcionalitás, fenntarthatóság és a komfortérzet biztosítása. Két épületükkel a napjainkban egyre inkább aggasztó népességnövekedés és energiahiány problémáit próbálták orvosolni, melyet moduláris épületek létesítésével, illetve azok gyors és költséghatékony kivitelezésével igyekeztek elérni.

3.3.2.1 Dortheavej Residence Koppenhágában

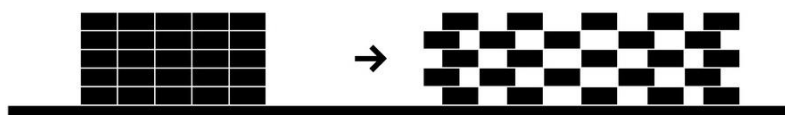
Az első általunk említett épületük a Dortheavej Residence Koppenhágában. A telek, ahova a lakóház épült egy út és park között található, ezért a ház alapkonceptiója egy olyan épület megalkotása volt, amely falként, illetve szűrőként is működik a két tér között. Emellett az is fontos szempont volt, hogy átlagos emberek számára is megengedhető lakásokat hozzanak létre.



29. Dortheavej Residence Koppenhágában

Modulok mérete/esztétikai megjelenés

Az épület két méretű modulból áll, melyek 3,5 m, illetve 2,5 m belmagassággal rendelkeznek. A nagyobb méretű modulok közre fogják a kisebbeket. Ezek előregyártott beton elemekből épülnek fel, körbehőszigetelve és állpadlóval készülnek. A modulok sakktáblaszerűen helyezkednek el egymáson, a nagyobb méretű modulok terasszal, míg a kisebbek padlótól földépig tartó ablakkal gazdagítják a homlokzatot, ezzel megtörve annak teljes síkszerűségét.



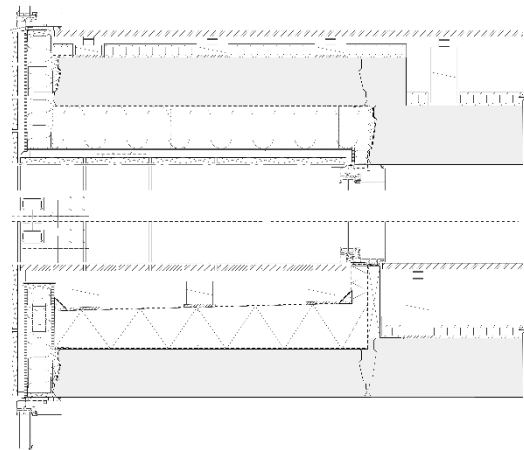
30. Dortheavej Residence Koppenhágában



A teraszok az épület déli oldalán találhatóak, megfelelő árnyékolást biztosítva a lakások számára, ezzel szemben az északi oldalon tömör falként jelennek meg. A homlokzatra kivetülő modularitás egy mozaikszerű hálót képez, ami szinte teljesen transzparens a nagy üvegfelületek eredményeképp, de egyszerre organikus is a fa használatának és az íves felületnek köszönhetően. A lakóház egy görbét lekövetve teret enged az utca felé, illetve megnyílik az alsó szinten pár modul szélességben, kapcsolatot teremtve a hátsó kert és a publikus tér között. Az anyaghasználat is meglehetősen egyszerű és visszafogott, hiszen fa és beton alkotja az épületet.



32. Dortheavej Residence Kopenhágában



31. Dortheavej Residence Kopenhágában

3.3.2.2 Snegellusene

Építészeti koncepció

A BIG második moduláris épülete a Snegellusene Aarhusban. Az épület modul szerkezete és felépítése szinte teljesen megegyezik a korábbi projektjükkel. A legfontosabb különbséget a modulok elhelyezése jelenti. Az épület komplexum egy központi tó köré szerveződik, egy spirál rendszerben közeledve a középpont felé. A modulok 2 – 3 – 4 szint magasságban vannak elhelyezve, a spirál két végén emelkedve a legmagasabbra. Ennek köszönhetően nem csak alaprajzilag jelenik meg játékoság, hanem vertikális irányban is. A szűrő effektus nemcsak homlokzati szinten jelenik meg, hanem alaprajzilag is, ugyanis különböző gyalogos és kerékpárutak haladnak sugárszerűen a tó felé, átvágva a spirál épület tömeget. A

lakókomplexum egy tovább gondolása a város és szabadtér kapcsolatának, ahol a park nem a település egy körbezárt területe, hanem egy teljesen integrált tere.



33. Snegellusene Aarhusban



Spiral

Our site is not surrounded by urban space but a green, scenic landscape to which each building connects visually and physically. The buildings curve and create a spiral shape, with a green path leading to the heart of the development. The courtyard welcomes visitors and residents of the entire Nye neighborhood.

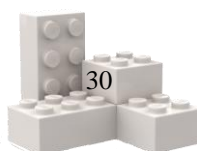
34. Snegellusene Aarhusban

3.3.3 Sauerbruch Hutton

Sauerbruch Hutton 1989-ben alakult nemzetközi építésziroda, amelynek jelenlegi székhelye Berlinben található. Építészeti filozófiájukat nagymértékben meghatározza a meglévő erőforrások tudatos felhasználása, a tér és anyag szabad formálása, valamint a technikai és térbeli innovációs lehetőségek felkutatása és alkalmazása.

Tervezési filozófia

A környezetbarátabb tervezési elvek alkalmazása a legtöbb épületükön megjelenik. Emiatt szinte minden projektjükben megmutatkozik a modularitás épületszerkezeti vagy nagyobb, térbeli léptékben is. Épületeik homlokzataira jellemző a fa használata, mely nagy mennyiségben elérhető Németországban, illetve alumínium és szimpla vagy színezett üveg beépítése egy rendezett kompozícióban. A Sauerbruch Hutton építményeinek tömegformálására leginkább a kompaktság jellemző, melyekben könnyen alkalmazható moduláris térszervezés vagy szerkezeti kialakítás.



Homlokzati modularitás

3.3.3.1 GSW Headquarters

Első nevezetes projektjük a Berlinben található GSW Headquarters nevű irodaépület. Az épület íves formája ellenére, mely a szél terhek csökkentése miatt is előnyös, meglehetősen egyszerű szerkezeti rendszerrel rendelkezik. Két vasbeton mag adja az épület stabilitását, a többi szerkezet acél elemekből és vasbetonból készült. A lamellás rendszerek és a kéthéjű homlokzat hatékonyan hasznosítja a napfényt, és érdekes komplexitást kölcsönöz a külső megjelenésnek. Ezáltal a moduláris elemekből felépülő homlokzat, a váltakozó színű ablakok által egy érdekes színjátékot hoz a város látképébe.



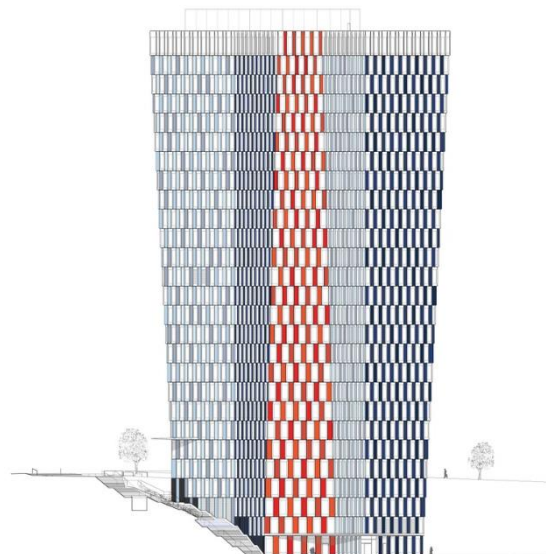
35. GSW Headquarters

3.3.3.2 Sthlm 01

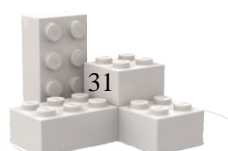
Hasonló koncepcióra alapuló épület a Sthlm 01, mely Stockholmban található. Ez a LEED Platinum minősítésű épület ugyancsak egyszerű szerkezeti rendszerrel rendelkezik. A háromkarú csillag alakú struktúra célja a szél terhek csökkentése. Az épület szerkezete vasbeton és acél elemekből áll. A homlokzat szintén moduláris elemekből épül fel, sima és színezett üveg, illetve alumínium burkolattal, amely nem teljesen az épület homlokzatára simul, egy különleges térbeli formát alkotva.



38. Sthlm 01



39. Sthlm 01



3.3.3.3 További projektek

A Homlokzati modularitás még több projektjükön is megmutatkozik, mint a Brandhorst Museum és M9 Museum District épületeinél. A Brandhorst Múzeumnál egy szűkebb színpalettán mozgó színezésű, azonos kistáblás homlokzatburkolat egy különleges dinamikus látványt nyújt. A M9 Museum District-nél 36 000, huszonhárom színben mázolt kerámia pálcát szereltek fel egy függőleges raszterben, amelyek egy oszcilláló külső burkot hoznak létre.

3.4 Kutatásunk legfőbb alanyai

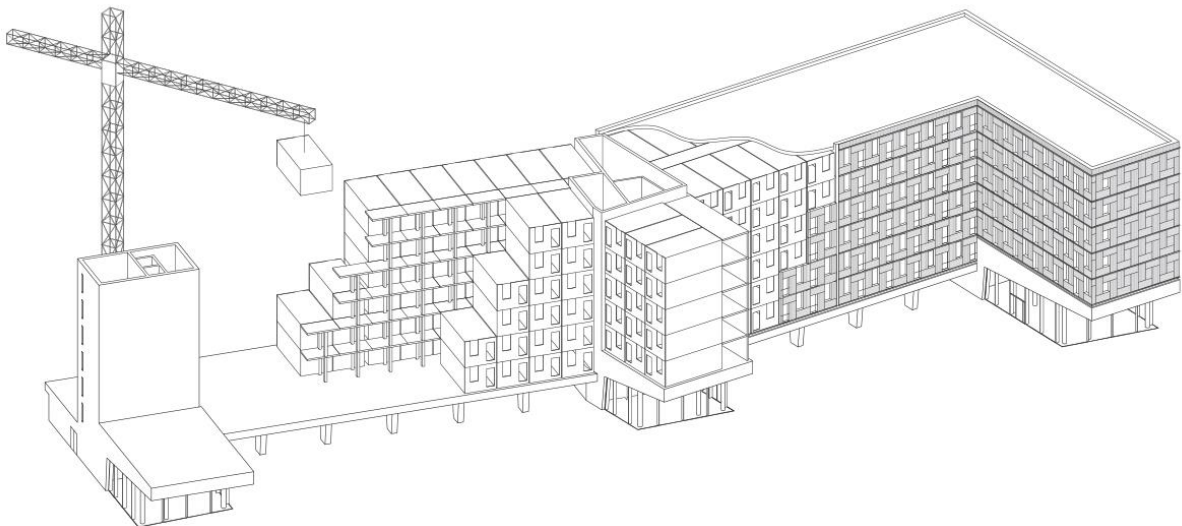
3.4.1 Sauerbruch Hutton

Térszervezési modularitás

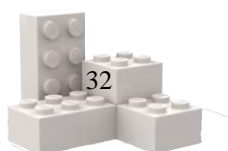
A Sauerbruch Hutton épületei a modularitást nem csak homlokzataik komponálása során alkalmazzák. Két épületükben ez nagyobb léptékben is megjelenik, amelyekben a modulokból való építkezés határait feszegették.

3.4.1.1 Hamburgi Universal Design Quarter

Az első ilyen épületük a Hamburgi Universal Design Quarter, amely 371 egyetemi hallgatónak biztosít szállást, három alapelve épül: egyszerűség, fenntarthatóság, és egy inkluzív, befogadóhely kialakítása. Elkészültek a legnagyobb fából készült moduláris épület volt. A földszint, a vertikális közlekedést biztosító terek, illetve a gépészeti aknák szerkezetei vasbetonból készültek. Ezek a terek így nemcsak funkcionálisan, hanem esztétikailag is elkülönülnek az épület többi helységétől. Az alsó szint vasbeton tartóoszlopai az épület szélén kinyúlnak az utca felé, ezáltal fedett-nyitott tér képződik a lakóház közvetlen közelében. A földszinti födém így egy asztalként működik, ami alatt közösségi élet zajlik, fölötte pedig 371 lakó modul helyezkedik el.

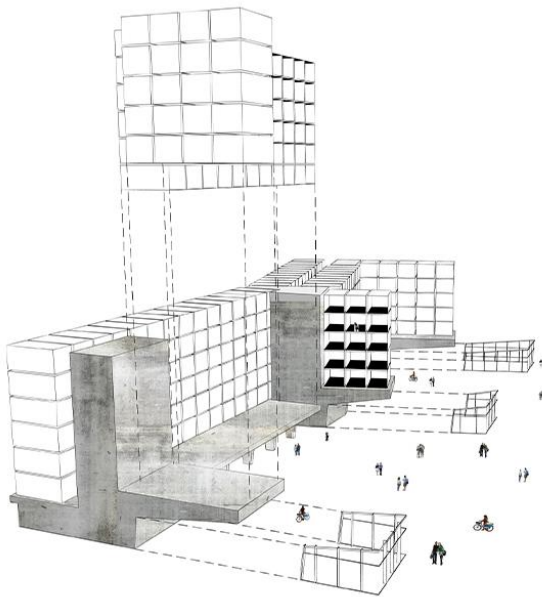


36. Hamburgi Universal Design Quarter

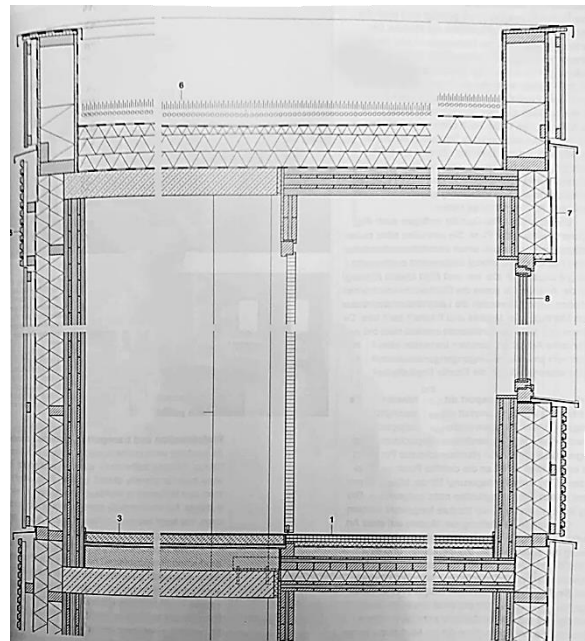


Modulok felépítése

A modulok 20 m² alapterületűek, keretüket 140 mm forgácsolt falemezek adják, a megfelelő hangszigetelést 50 mm szigetelő réteg garantálja. Az épület követelményeket kielégítő állékonyságát és stabilitását pontszerű speciális kapcsolóelemek biztosítják a vasbeton közlekedő födém és modulok között. A vasbeton és fa szerkezetű épületrészek csatlakozásánál dilatációra van szükség a lépéshang terjedésének megakadályozása érdekében, valamint az esetleges mozgások okozta károsodások elkerülése végett. A modulok között függőleges síkban egy fólia köti össze az egységeket a kielégítő légzárás érdekében.



37. Hamburgi Universal Design Quarter



38. Hamburgi Universal Design Quarter

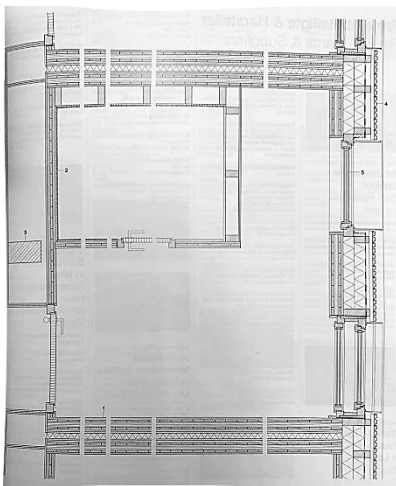
A modulok födémét 60 mm vastag rétegragasztott fapanel és felette már előregyártás során elhelyezett 70 mm ásványgyapot hőszigetelés alkotja. Az épület külső térelhatároló falak teherhordó része 125 mm rétegragasztott fapanelből épül.

Az épület tetején extenzív zöldtetőt létesítettek, emiatt a záró modul födém szerkezetében található fapanel vastagsága eltér az alatta elhelyezett egységektől, az előírt követelmények teljesítése érdekében. A zöldtető egyenes rétegrendjében öntapadó bitumenes lemez biztosítja a párazárást, fölötte 200 mm két rétegben elhelyezett EPS hőszigetelés található. A vízvezetést egy következő réteg EPS hőszigetelésből kialakított lejtésképző felület adja, amely vastagsága 20 mm és 200 mm között mozog, ezután az előregyártott vasbeton oszlop síkjában vezetik el az épületből az összegyűjtött csapadékot. A víz elleni védelmet egy felületfolytonosan elhelyezett PVC szigetelés garantálja. A fentebb említett anyagok felsorolt egymásutánisága egyenes rétegrendet alkot.



A modulok padló szerkezete alulról 80 mm rétegragasztott fapanellel indul, amelyet egy 60mm száraz esztrich réteg követ. A megfelelő akusztikai elválasztás érdekében 30 mm vastag úsztatóréteg van beépítve az esztrich fölé, amelyetől PE fólia határolja el. A padlóréteg felső harmadát 2x19mm vastag, gumi felületképzésű forgácslap alkotja. A modulokban a padlón található gumi bevonaton kívül mindenhol fa látható, ez kellemes, nyugtató hatással van az ott élők közérzetére.

A termikus burok folytonosságát és megfelelő energetikai igényeket a 200 mm ásványgyapot hőszigetelés körbeforgatásával biztosítják, amelyben a homlokzatburkolat tartószerkezete is helyet kap. A hőszigetelés külső oldalára egy technológiai fólia felkerülésével biztosítják az átszellőztetett vörösfenyő lemezekből felépülő homlokzatburkolat és hőszigetelés közötti megfelelő kapcsolatot. A modulok közötti tűzterjedés elkerülése érdekében általában hőre habosodó szalagok elhelyezése szükséges a modulok felső részénél. Ennél az épületnél cseppentő lemezek szakítják meg az átszellőztetett homlokzatburkolat légrését ezzel kielégítve ezt a feladatot. A homlokzati elemek szintén moduláris szerkezetek. Minden modulra felszerelik már az elemek gyártása során burkolattartó szerkezeteket. Erre a helyszínen kerül a kezelt vörösfenyő homlokzati panel. Ezek a panelek nem síkszerűek, hanem egyirányú bevágásokkal rendelkeznek, majd ezek egymáshoz képest 90 fokos elforgatása által egy tektonikus, hullámzó homlokzat alakul ki a nyílászárók között kigyózáva.



39. Hamburgi Universal Design Quarter



40. Hamburgi Universal Design Quarter

Alkalmazható képletek

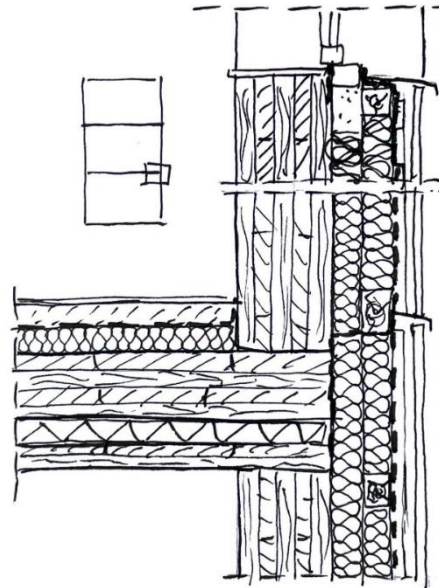
A modularitás elsődleges előnye, hogy az épület azonos elemekből épül fel. Azonban ahogyan az említett épületben is láthatjuk akadnak olyan részek, ahol szükségszerűvé válik a különböző kialakítások használata. Ebben a hamburgi épületben a legfelső modul eltér az alatta sorolt egységektől a megfelelő zöldtető és attika kialakításának érdekében. A tervezés során ezeket a



különbségeket eredményező tényezőket érdemes minimalizálni a modularitás minél szélesebb körű alkalmazása érdekében. Amennyiben az épületszerkezeti csomópontok kialakításában is alkalmazható képletek kialakítása lehetséges, csökkenthető a részletek szükséges tervezésének mennyisége és ideje, valamint annak kivitelezése is egyszerűbbé és gyorsabbá válik.

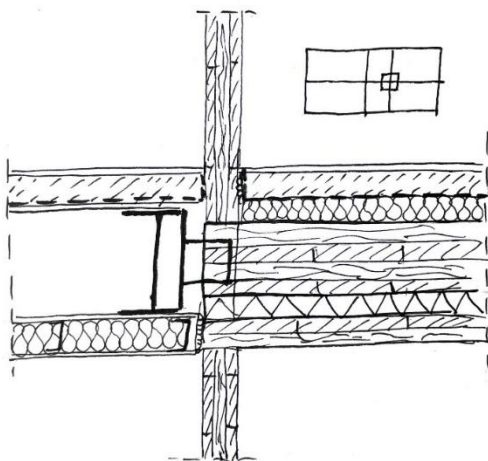


41. Hamburgi Universal Design Quarter

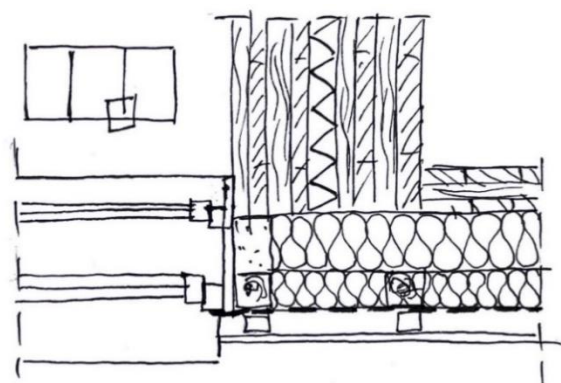


42. Hőhidmente ablak alsó és közbelső födém csatlakozás

A modulok külső oldalán előnyös lehet a hőszigetelés két részre bontása, valamint a homlokzatburkolat tartószerkezetét szintén szétválasztani horizontális és vertikális elemekre, ezáltal a vonalszerű hőhidak pontszerűvé válnak. Emellett hőtechnikailag kedvezőbb megoldást jelenthet egy alternatív ablakbeépítés Purenit vaktok használatával. A minél jobb termikus burok kialakítása érdekében az attika alsó horizontális szerkezeteként használhatunk Purenit elemet, melynek U értéke jelentősen jobb a rétegragasztott lemezénél.



44. Acél tartószerkezetű közlekedő csatlakozás



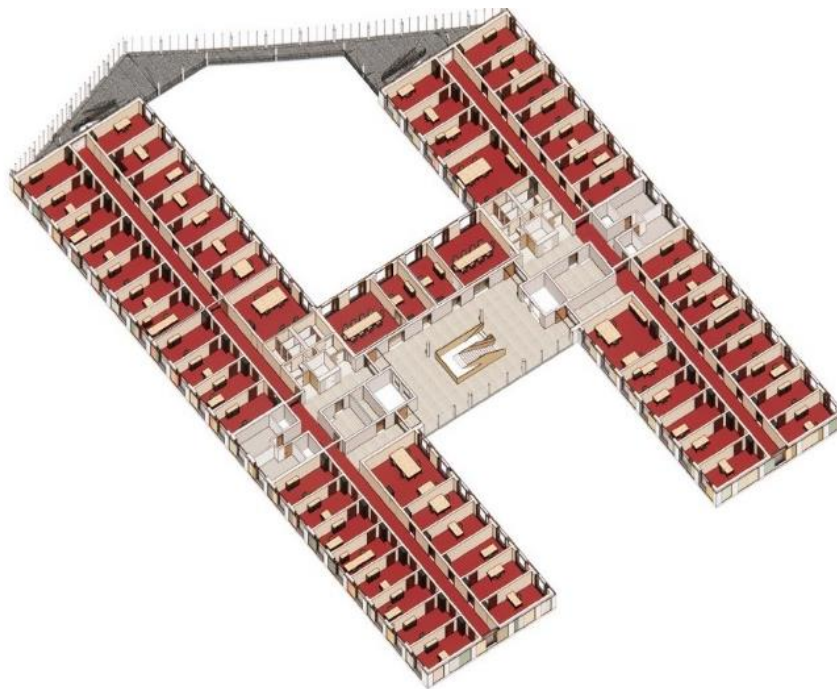
43. Hőhidmentes ablak beépítés vízszintes metszetben

3.4.1.2 Luisenblock Office Building

A második moduláris épület, amit a Sauerbruch Hutton iroda tervezett a berlini Luisenblock Office Building. A hamburgi diákszállásnál is alkalmazott, jól bevált módszer, a fából előregyártott modulok építkezése mellett döntöttek az építésszek. A korábbi tapasztalat által hatékonyabban tudtak dolgozni, a faanyagválasztás, gyártás, részletképzések és összeillesztés során is tudták alkalmazni a hamburgi szállás esetén definiált képleteket. Építkezés során minden nap 6 modul készült el a gyárban, majd szállították el és szerelték össze kora estig, így az épület, gyors, effektív és fenntartható módon készült el. Az irodakomplexumnak nem csak a szerkezete épült moduláris technológiával, hanem ezentúl a homlokzatburkolat kialakítását is egy moduláris rendszer segítségével komponálták.

Tervezési koncepció

A tervezési és építési idő rövideége, illetve a környezetében található fontos kormányi épületekre való tekintettel, az épület design-ja szimpla és egyszerű lett. Az előregyártott modulok mérete határozza meg a hálórendszert, amire az épület illeszkedik. Ezt a teherautók maximális terhelhetősége, illetve a helyi infrastruktúra határozta meg. A modulokat H alakban helyezték el két belső udvarral, hasonlóan, mint a Berlini belvárosi épületek. A vasútra nyíló kert egy üvegszerkezetű paraván fallal próbálja az udvar nyugalmát megőrizni, és elzárni a vonatok zaja elől.



45. Luisenblock Office Building



Megjelenés

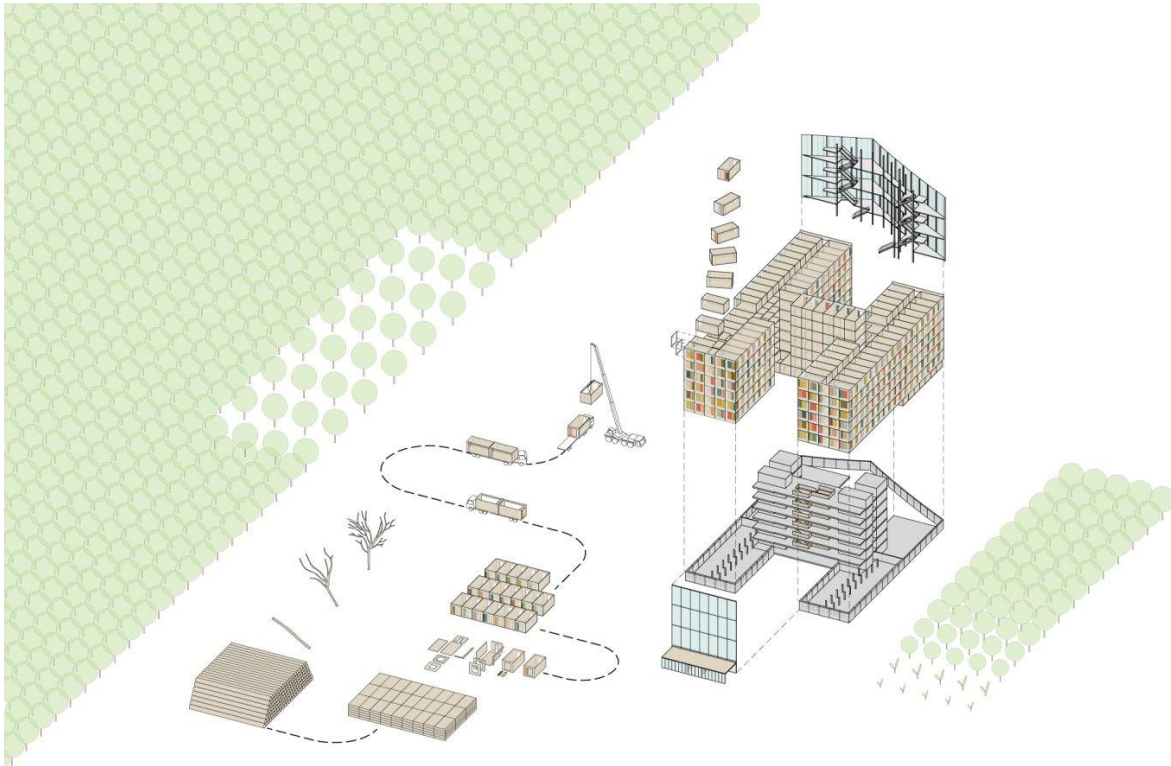
Az épület 75%-a fából készült, ám ez nem mutatkozik meg a homlokzaton, ugyanis az építészek úgy gondolták, hogy a kormány épületei között egy fa homlokzat nem illeszkedne be megfelelő mértékben a környezetébe. Ezért az épület egy újrahasznosított alumínium és üveg burokba van becsomagolva. Az ablakok felületét részlegesen takaró, homlokzatburkolatot kiegészítő színes üvegtáblák segítenek a túlmelegedés megakadályozásában. A homlokzat napfény hatására egy gyengéd ezüstös színben fénylik, amely monotonitását a visszafogott színes ablakok vertikális tagolása töri meg. Az épület ámbár nagyrészt fából készült, csak az ott dolgozók érzékelhetik ezt a földemek, falak és bútorok által.



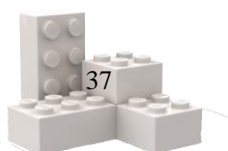
50. Luisenblock Office Building



51.. Luisenblock Office Building



46. Luisenblock Office Building



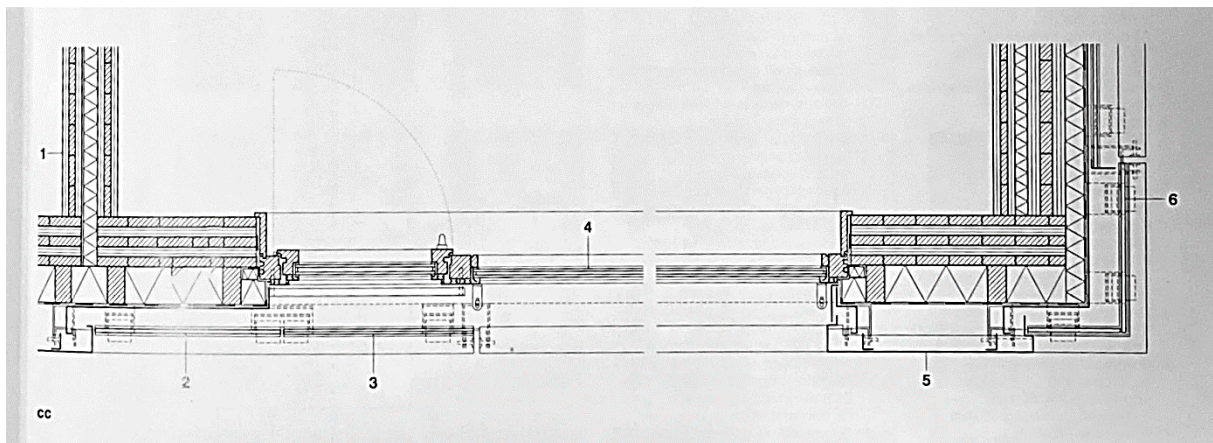
Szerkezet

A modulok falai 70 mm rétegragasztott fapanelből készülnek, köztük 50 mm szigetelés elégíti ki az akusztikai igényeket és követelményeket. A padló legfelső rétegét egy szőnyeg padlóburkolat adja, mely 2x19 mm vastagságú forgácslapokra van fektetve, ez követi 30 mm úsztatóréteg és 50 mm száraz esztrich, valamint az egész padló teherhordó szerkezete 100 mm rétegragasztott fapanel. A modulok födémszerkezete legalsó eleme a padlóhoz hasonlóan rétegragasztott fapanel, e fölött 60 mm szigetelés réteg található. Így ezek a többrétegű szerkezetek követelményeknek megfelelő akusztikai és hőérzeti komfortot biztosítanak.

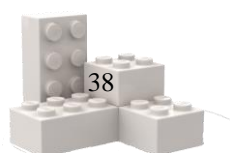
A földszint falai és födéme vasbetonból készült, majd erre helyezték el mind a 470 modult, melyek egy-egy irodahelységet foglalnak magukba. Az épületen egy 120 mm vastagságú hőszigetelés fut körbe, illetve az irodaház tetején egy extenzív zöldtetőt létesítettek, mindemellett pedig helyenként napelemekkel gazdagították azt, ezzel is törekedve az építmény környezetbarátabbá tételére. A Luisenblock irodaház által a Sauerbruch Hutton-nak sikerült megmutatni, hogy egy igényes, fontos funkcióval bíró épület is készülhet egyszerű anyagokból, gyorsan, és precízen még egy olyan nyüzsgő városban is, mint Berlin.

Észrevételek

Az előző épülethez hasonlóan itt is kerestük azokat részleteket, amelyek épületszerkezeti szinten is modulárisnak nevezhetők. Számos szerkezeti elem már kész állapotban a modulokba beépítve érkezik a helyszínre, ezek tervezése során elegendő egyszer kitalálni a csomóponti kapcsolatokat és utána a legtöbb helyen lehetőség nyílik ennek alkalmazására. Vannak azonban



53. Luisenblock Office Building



olyan elemek, amelyek egyedi kialakítást igényelnek, ilyen lehet például egy rejtett eresz kialakítása, ahol a lejtésből származó különbség figyelembevétele mellett kell megtervezni a részleteket.

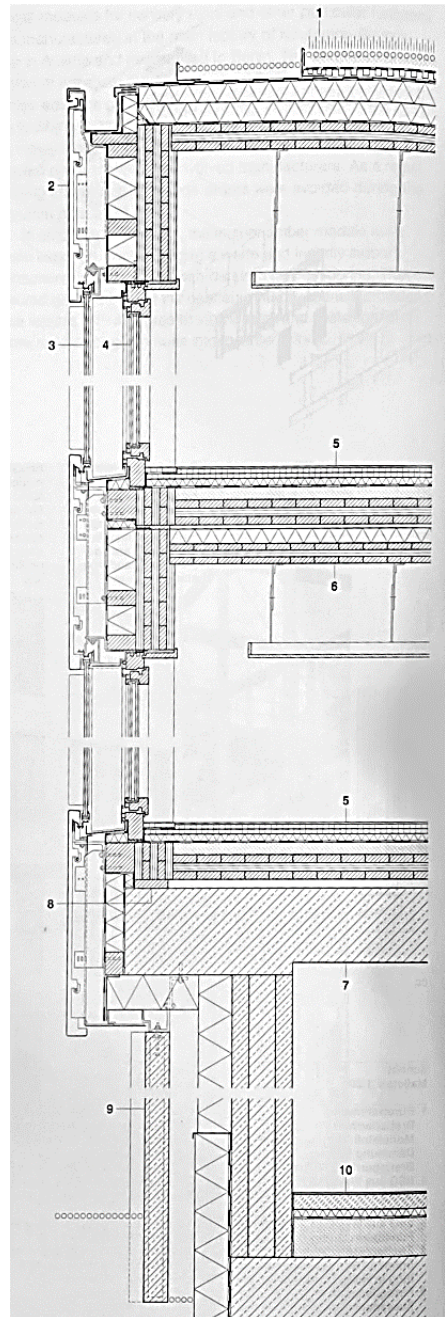
A nyílászárók beépítésénél a hőhidak elkerülése érdekében szükségszerű lehet egy hőszigetelő elemből készült vaktok elhelyezése. A homlokzatburkolatot tartó szerkezet és fapanelek csatlakozásánál jelenleg vonalszerű hőhidak alakulhatnak ki. Ebben az esetben célszerű lehet a homlokzatburkolat tartószerkezetét vertikális és horizontális elemekből felépíteni, köztük lévő helyeket hőszigeteléssel kitölteni.

Az attika nélküli zöldtető rejtett eresz kialakításánál szintén figyelembe kell venni a hőhidak kialakulását. Ennek érdekében egy alternatív megoldás jelenthet a modul homlokzatának a felső részén Purenit használata, amelyre XPS hőszigetelés, majd ereszcsonna elhelyezése által egy jobb termikus burok alakulhat ki.

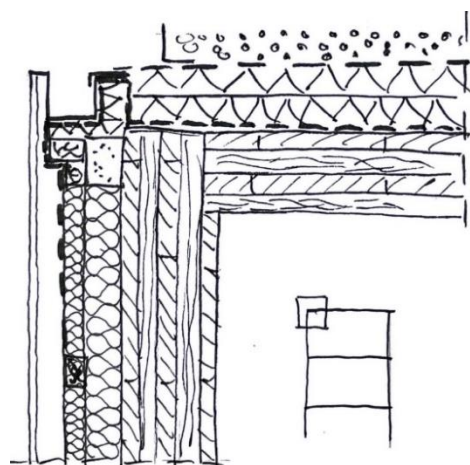
Moduláris építésben jelentett előrelépést a közbelső folyosók kialakítása, aminek tartószerkezetét a modulok felső szerkezetéhez csatlakozó U szelvények adják, melyek fölött a vezetékek is helyet kaptak. A padlófelületet hasonlóan a többi belső helyiséghez szőnyeg borítja.



55. Luisenblock Office Building



54. Luisenblock Office Building



56. Rejtett eresz kialakítása



3.4.2 SUMMARY

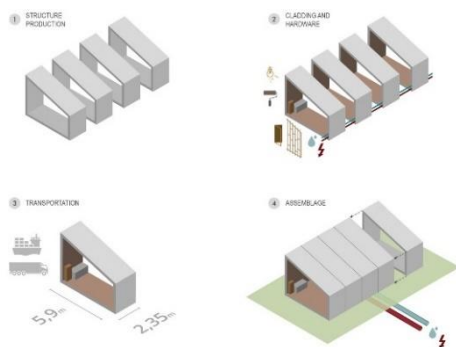
Summary Architecture egy portugál építész iroda, ami túlnyomórészt előregyártott szerkezetekből épít különböző funkciójú épületeket. Első projektjük, amelyben a modularitás előtérbe került a Velencei Bienáléra épült installációjuk, amellyel a növekvő népességre és a nem hatékony építési metódusokra szeretnék volna felhívni a figyelmet. Véleményük szerint az előregyártás nem kap megfelelő támogatást, ahhoz, hogy a felgyorsult világ ritmusát lekövetve fejlődni tudjon, emellett nem eléggé flexibilis a rendszer, hogy a szociális igényeket is kellően ki tudja elégíteni.

Az installáció egy sor előregyártott elemből áll, amely egy ilyen módon kialakított szennyvízcsővel kezdődik. Ez jelképezi, hogy a technológiát már rég alkalmazzák, csak nem sikerült hatékonyan továbbfejleszteni. Emellett még két beton tárgy készült, ami fedett-nyitott térként egy köztérben is elfogadhatóan működhetne, vagy egymás után sorolva egy lakóház funkciójának betöltésére is alkalmas lenne.

Első kísérlet modularitásban

A Velencei Bienálé-ra tervezett tárgyak egyikét a Summary Architecture továbbfejlesztette és megalkotta a Gomos nevű modulrendszerét. Ez a modul, mely betonból készül, 4 fázis során alakul egy épületté. Először maga a modul szerkezete készül el, majd a belső burkolat és fix helyű gépészeti elemek kerülnek be. Ezután szállítják a tervezési helyszínre, ahol végül összeszerelik.

Ennek több előnye is van, hiszen egy flexibilis rendszer alakul ki, amely nem csak lakóházakra alkalmazható, hanem más funkciókat is képes megfelelően ellátni. Emellett a kiviteli minőség is magasszintű, ugyanis az elemek nagy odafigyeléssel, és precizitással egy gyárban készülnek el. Szintén pozitívum, hogy a kis elemek könnyen szállíthatók és energiatakarékos folyamat által gyárthatók le. Ez egy különleges megközelítése a modularitásnak, hiszen több kisebb előregyártott modul egymáshoz kapcsolásával egy olyan nagyobb modul jön létre, melyet megsokszorozva is egy modul rendszert alakul ki.



57. Gomos1 Modul felépítése



58. Moduláris installáció a Velencei Bienálén

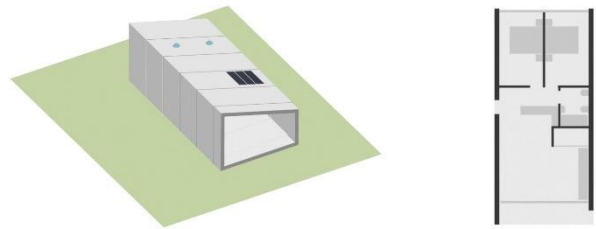


3.4.2.1 GOMOS1 modulrendszer szerkezete

Az első megépült moduláris házuk a Gomos 1 House. A ház 5 Gomos modul elemből épül fel, amelyek 2,35 m hosszúak és 5,9 m szélesek. Mivel a ház hossza és tömege miatt túl nehéz lenne egy szerkezetként megépíteni és elszállítani a tervezési helyszínre, ezért több részben készült el a gyárban, a belső burkolatok, vezetékek és egyes fix bútorok elhelyezésével együtt. Ezeket a részeket külön-külön szállítják el a helyszínre, ahol hermetikus módon csatlakoztatják őket egymáshoz.

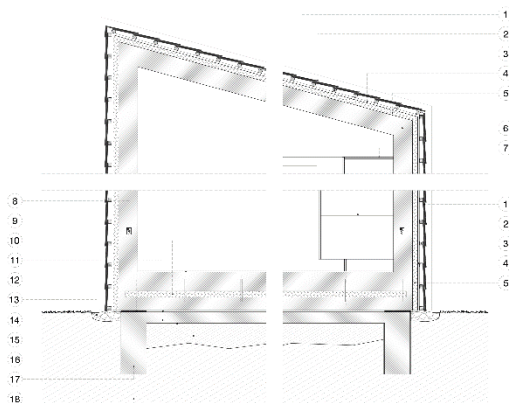


59. Gomos 1 House

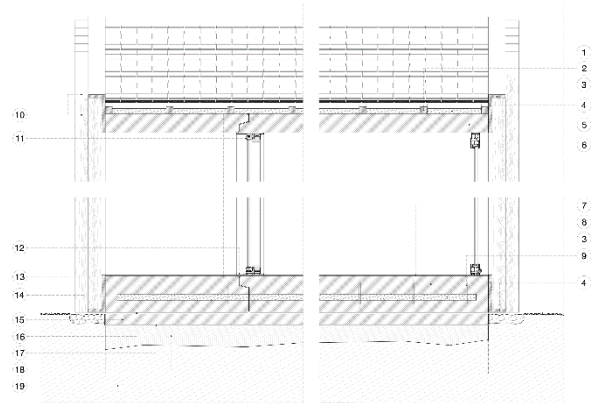


60. Gomos 1 House

A modul padlójának kialakítása szendvicsszerű, 180mm előregyártott teherhordó rétegből, 50 mm XPS hőszigetelésből és 70 mm előregyártott vasbeton burkolatból épülnek fel, ahol két betonelem közötti együttdolgozását bekötőtüskék biztosítják. A padló szerkezet egy monolit alapozáson fekszik, melyek felületfolytonos csatlakozását neoprén szalagok biztosítják. A talajon fekvő padló és az átszellőztetett homlokzat csatlakozásánál a termikus burok folytonossága megszakad.

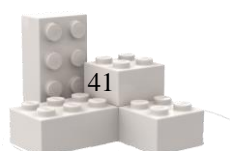


61. Gomos 1 House



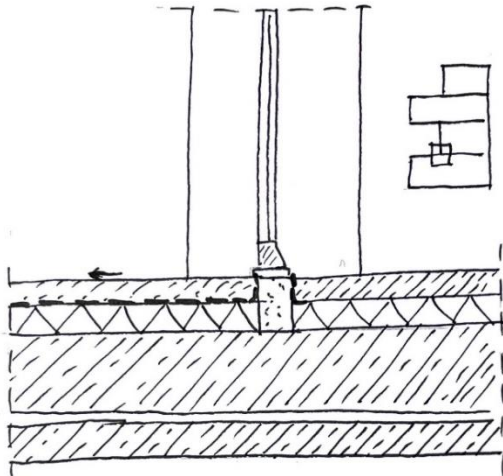
62. Gomos 1 House

Ez a kialakítás a legtöbb ország éghajlatához tartozó követelményeinek nem felel meg. Egy megoldást jelenthet egy habüveg szigetelő elem elhelyezése a padló és homlokzati szigetelés



közé a vertikális tartószerkezet síkjába. A termikus burok megfelelő kialakítása érdekében a nyílászárók és a padló, illetve födém közé hőhíd megszakító elhelyezése ajánlott, egy másik lehetőség az ablakok és az ajtók hőszigetelés síkjában való elhelyezése lehet.

A beton modul szerkezete csak az épületen belül vehető észre. Az épület falszerkezete 150 mm vasbeton és 50 mm XPS hőszigetelésből áll, amihez egy átszellőztetett, fa tartószerkezeten támaszkodó palatáblás burkolatú fedés társul.



63. Gomos 1 House



64. Gomos 1 House

3.4.2.2 Vale de Cambra

Egy másik moduláris épületük a Vale de Cambra lakóház és közösségi ház. Ennél a projektnél is a Gomos modul rendszert használták. A házak minden alkatrészét a gyárban készítették elő, és a helyszínen rendkívül gyorsan összeállíthatók voltak. A beton modulok egyszerre funkcionálnak szerkezetként, szigeteléseként és burkolatként, de az előregyártást más helyen is alkalmazták.

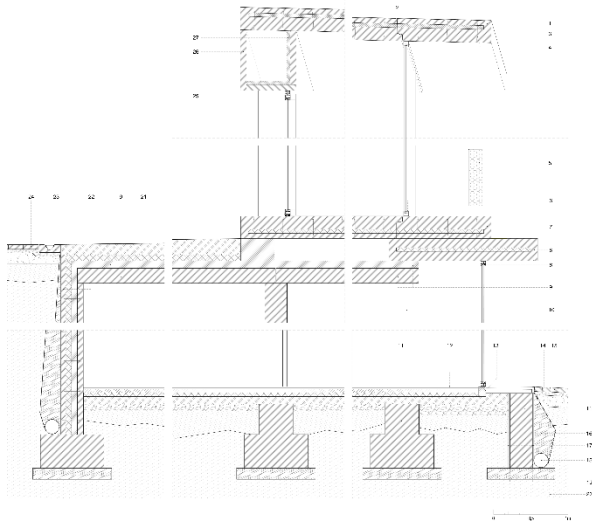


65. Vale de Cambra

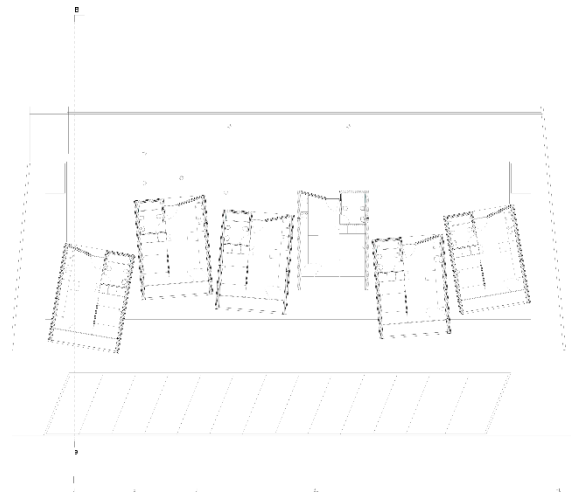


66. Vale de Cambra

A falak, padlók és födémek mind 180 mm előregyártott teherhordó rétegből, 50 mm XPS hőszigetelésből és 70 mm előregyártott vasbeton burkolatból épülnek fel. A termikus burok létrehozása itt is nagy odafigyelést igényel, hiszen a szendvicspanel kialakítású fal és födémrendszer miatt vonalszerű hőhidak alakulnak ki az épület külső élei mellett, illetve a sarkoknál is.

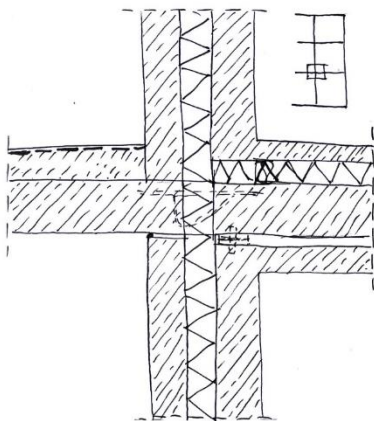


67. Vale de Cambra



68. Vale de Cambra

Ezeknél a részeknél a követelmények megfelelő teljesítéséhez kiegészítő hőszigetelések, illetve hőhídmeгszakító elemek elhelyezése szükséges termikus burok kialakításához. Abból kifolyólag, hogy az épület több modul részből épül fel, fontos szempont a csatlakozások vízhatlan és párazáró kialakítása. Ezek megfelelő megvalósítása a szerkezet külső oldalán rugalmas szilikon tömítéssel, belső oldalon aszfalt alapú tömítéssel történik. Emellett az épület teteje poliuretán bevonattal ellátott a káros természeti hatások elleni védelem érdekében.



69. Vasbeton modul erkély kialakítása



70. Vale de Cambra

Abból adódóan, hogy a telek egy domboldalon található és az építészek fontosnak tartották elkülöníteni a lakó és közösségi tereket, az épületet két részre bontották fel. Az, utcáról

megközelíthető, földszint előregyártott vasbeton szerkezetekből épül fel, illetve egy szabad és nyitott belső teret alkot, ami flexibilisen tud változni a lakosok igényeinek megfelelően. A földszint tartószerkezete 410x300 mm előregyártott vasbeton pillérekkel áll, a födém szerkezet pedig 200 mm előregyártott vasbeton elemekből és 100 mm monolit beton rétegből épül fel. Az emeleti modulok nem közvetlenül a földszinti födémet terhelik, hanem egy szendvicspanelszerű vasbeton szerkezeten helyezkednek el.

Teljes akusztikai elválasztás van a saját bejárattal rendelkező különálló egységek között. A költségek minimalizálása érdekében nyers betonszerkezetet tudatosan fedetlenül hagyták.

Annak érdekében, hogy egy kis játékosságot is becsempésszenek a rendszerbe az építészek a modulokat kis szögben elforgatták egymáshoz képest, valamint változtatták azok mélységét megtörve az utcai homlokzat monotonitását.



4 Kutatás eredményei

4.1 Megfigyelt tendenciák

Nagy a potenciál ebben az építési technológiában, azonban jelenleg még a hagyományos módon készülő épületek többségben előfordulnak a moduláris épületekkel szemben. Jelenleg még nem terjedt el olyan mértékben a moduláris építési technológia, mint azt gazdasági, technológiai, környezetvédelmi és társadalmi előnyei indokolnák.

Több általunk felhozott példa is igazolja, hogy egy épület tervezése során felállított képlet vagy szabályrendszer nagyon jól alkalmazható egy következő épület létrehozásában is ezzel egyszerűsítve a tervezési, illetve kivitelezési folyamatot.

Kutatásunk során megfigyelhető volt, hogy a könnyűszerkezetes modulok egy elemként szállíthatók és beépíthetők, ezzel szemben a technológiai korlátokból adódóan a nehéz szerkezetekkel kialakított modulok tovább darabolása szükséges a mozgathatóság érdekében. Ebben az esetben megjelenik a modul a modulban jelenség, tekintve, hogy az egy modult jelentő egység több kisebb elemből épül fel.

Abból adódóan, hogy a moduláris épületek nem homogén szerkezetként épülnek fel, hatványozottan fontos kérdéssé válik a modulok közötti épületszerkezeti kapcsolatok működőképes és praktikus kapcsolatainak kialakítása. Elengedhetetlen a szerkezetek környezeti hatásokkal szembeni védelme. Elsősorban a csapadék elleni vízszigetelés folytonosságának biztosítása, amelyet nem lehet létrehozni gyári körülmények között, csak a helyszínen kialakított rugalmas szilikonkittékkel nem átszellőztetett szerkezet esetén, illetve szerelt szerkezeteknél csapadék- és páraáteresztő fóliák helyszíni toldásával. Emellett nem kisebb fontosságú a permanens termikus burok létrehozása, amelyet könnyűszerkezetek alkalmazása során kiegészítő hőszigetelésekkel biztosítanak, maghőszigetelt szerkezeteknél pedig egy gyárilag elhelyezett modul magasságán túlfutó hőszigeteléssel érik el a követelményeket.

Kisebb léptékű épületek, mint például lakóházak, teljes egészében megvalósíthatók moduláris rendszerekként, azonban egy, már közösségi funkciót ellátó, nagyobb méretű létesítmény esetén modulrendszerből kilépő előregyártott vagy monolit szerkezetű alapot biztosító földszinttel alakítják ki az épületeket.



4.2 Levonható következtetések

Előnyök	Hátrányok
a legkisebb ökológiai lábnyommal rendelkező építési mód	Korlátozva vannak a teljesen egyedi igények
legalább 50% időt megtakarítás	Funkcióhoz kötött
legalább 30% költséget megtakarítás	Gyártási hiba esetén a csatlakozások nem kivitelezhetők
üzleti projektek esetében 40%-kal rövidebb megtérülési idő	Összeszereléshez szakértelem szükséges
az idő- és költségterv betartására, megbízhatósága	Méreteket korlátozzák a logisztikai kérdések
Nem igényel nagyszámú helyszíni élőmunkaerőt	Épületszerkezeti részletek esetén a csatlakozásoknál követelményeknek nem megfelelő kialakítások jöhetnek létre
Időjárástól független kivitelezés	Passzív tűzvédelem különös figyelmet igényel
Magas minőség, precizitás	Szállítási költségek
Energiatakarékos épületek	
Bővíthető, cserélhető, könnyebb szerkezetek	
Max. 1% gyártási hulladék 100%-ban újrahasznosítható	
Okos épületek - okos városok rendszerére könnyen csatlakoztathatóak	
Teljes gazdaságot ciklikusan átmozgató technológia	

4.3 Eredmények összevetése az előfeltevésekkel

1. Az épületszerkezeti modulok alkalmazása a tervezés, valamint kivitelezés folyamán időbeni, illetve logisztikai előnyökkel jár.

Kutatásunk során bebizonyítottuk, hogy azok az épületek, amiken felfedezhető a modularitás, nagyfokú előregyárthatóságot biztosított, ezáltal kijelenthető, hogy ezeknél az épületeknél csökkenthető a részletek szükséges tervezésének mennyisége és ideje, valamint annak kivitelezése is egyszerűbbé és gyorsabbá válik, tehát jelentős előnyökkel járt a modulokból való tervezés, illetve kivitelezés.

2. A modulós építés csökkenti az épületszerkezeti problémák számát a tervezés során.



Az általunk megvizsgált épületek példáján igazolódott, hogy a moduláris épületszerkezeti kialakításnak köszönhetően az épület részletképzései egységenként ismétlődnek, ebből kifolyólag az egyedi kialakítások és problémák száma nagymértékben lecsökken.

3. Az épületszerkezeti elemeknél a kézzel mozgatható moduloktól egészen tartószerkezeti modulokig tarthat a tervezési elemkészlet.

Az elemzett épületek szerkezeti vizsgálata során, a nagyobb, funkcionális egységektől kezdve, egészen kis léptékig, az épületek részletképzéséig találtunk moduláris kialakításokat.

4. A modularitás megjelenik a belső térérendezésben, mely általában kihatással van a homlokzat tervezésére is.

A legtöbb épület belső térszervezése, illetve külső megjelenése nagymértékben függ egymástól, az elemzett épületek bizonyítják, hogy hatványosan igaz ez a moduláris kialakítású létesítményekre. A modulok mérete, belső elrendezése és egymáshoz képesti elhelyezése függ az egységek ismétlődő funkciójától, ennek következtében a modulok előre meghatározott képlet szerint azonos kialakításúak. A repetitív egységek általában már a homlokzati elemekkel felszerelve érkeznek az építés helyszínére, ezáltal a homlokzatba is egy szabályrendszert integrálva.

5. A modulós építés jellemzően a cellás épületeknél jelent nagyobb előnyt (pl. szállás és lakóépületek), ezért mondhatjuk, hogy a modulós építés kötött bizonyos funkciókhoz.

A világ minden táján létesített moduláris épületek közül néhány kiragadott példa, melyek mind szállás, lakó vagy iroda funkciót látnak el, is igazolja, hogy ennek a technológiának az előnyökkel járó alkalmazása függ az épület funkciójától/használatától, hiszen az ismétlődő elemeket tartalmazó cellás épületekre alkalmazhatók igazán hatékonyan az azonos kialakítású egységeket eredményező képletek.

6. Az elkövetkezendő évtizedekben további lendületes fejlesztések várhatók a moduláris építés technológia terén, melynek köszönhetően a jövőben ez a technológia átveheti a vezető szerepet az építőiparban.



Az utóbbi időben a világ gyors változásainak tempóját folyamatosan követve fejlődött a technológia. Ez a permanens előrelépés és terjedés jövőben is várható, azonban a határok nélküli egyedi igények erősen jelen vannak az építészeti tervezés során, valamint a tervezőirodák munkásságában is inkább csak időszakosan jelenik meg a moduláris építésmód. Ebből kifolyólag előnyei ellenére nem valószínű, hogy a következő évtizedekben vezetőbb szerepet fog betölteni ez a technológia az építőiparban, mint a hagyományos építési mód.

7. A modulok alkalmazása energia és költséghatékony, szemben a nem modulokból való építéssel.

A moduláris építési technológia mélyebb vizsgálata során beigazolódott, hogy a modulokból való építkezés hosszú távon egy fenntarthatóbb megoldást jelentene a hagyományos építési módhoz képest, valamint számos logisztikai előnye és kiszámíthatósága miatt jelentősen leredukálják az építési költségeket.

4.4 További kutatások szükségessége

A tendencia azt mutatja, hogy a moduláris építési technológia folyamatosan fejlődik. Véleményünk szerint folyamatos figyelmet igényelnek ezek az előrelépések, hiszen az egész világot érintő és az egész emberiséget foglalkoztató kérdésekben játszhat fontos szerepet, hiszen az építési tevékenység számos aspektusa áthelyeződik a hagyományos építési módról az üzemi előregyártásra, mely anyaghasználati, technológiai és környezetvédelmi szempontból is jelentős optimalizált potenciált hordoz magában.

4.5 Technológia fejlesztésének szükségessége

Ugyan a moduláris építés nem egy újkeletű dolog az építészeti világban, de a gazdaság és technológiai viszonyok változásainak köszönhetően újabb és újabb érdeklődési, valamint befektetési köröket vonz, mely a szféra fenntarthatósági mutatóira is hatással lehet. Éppen ezért nagyon fontos, hogy lehetővé váljon a technológia minél szélesebb körben és minél fejlettebb formában való elterjedése, ha a hagyományos építési kultúra egészének leváltására előreláthatólag nem is nyújt teljeskörű megoldást.



5 Összegzés

5.1 A kutatás átfogó értékelése

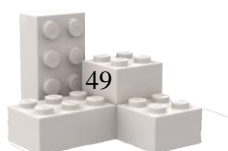
A moduláris építészet számottevő épülettípus esetén megannyi mérlegelési szempont alapján a legoptimálisabb döntés lehet, azonban vannak bizonyos építési körülmények, amelyek esetén nem tud kielégítő megoldást nyújtani ez a technológia.

Kutatásunk során összegyűjtött információk, illetve elemzések során felállított tendenciák a jelenlegi állapotokat tükrözik, azonban abból kifolyólag, hogy egy folyamatosan változó technológiáról van szó, a tanulmányban leírtak állandó frissítést és aktualizációt igényelnek.

Előzetes felvetéseink többsége tanulmányunk megalkotása során beigazolódott, ám előfordult olyan is, mely esetén az elemzések következtében ellentmondásra jutottunk.

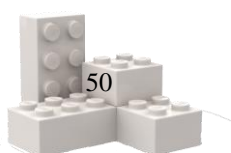
Kutatásunk során felállított konklúzióink, hogy a moduláris építészetben van jövő, de nem kizárólag ez jelenti a jövő építészetét. Bár számtalan előnnyel rendelkezik, az építészeti szabadságot és az egyedi igényeket határok közé zárja, még akkor is, ha ezek a határok egyre tágulnak és a technológia fejlődésének köszönhetően egyre több a lehetőségek száma.

Ezeket mond összevetve kijelenthetjük, hogy LEGOzásban felfedezhető szabad gondolkodás, ahol csak a fantázia szab határt, a moduláris technológiában még nem érvényesül hiánytalanul.

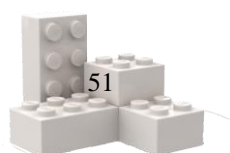


6 Bibliográfia

- "Modul (építészet)" 21 Aug 2021. Wikipedia Letöltés: 1 Nov 2022. <[https://hu.wikipedia.org/wiki/Modul_\(%C3%A9p%C3%ADt%C3%A9szet\)](https://hu.wikipedia.org/wiki/Modul_(%C3%A9p%C3%ADt%C3%A9szet))>
- Németh Ági "Építs modulárisan. Elmondjuk, mit építhetsz modulokból." 21 Febr 2021. Cubefactory Letöltés: 1 Nov 2022. <<https://www.cubefactory.cc/post/%C3%A9p%C3%ADts-modul%C3%A1risan-elmondjuk-mit-%C3%A9p%C3%ADthetsz-modulokb%C3%B3l>>
- Zilahi Péter "Társadalom és Építészet peremén" 2015 Breuer Marcell Doktori Iskola Letöltés: 1 Nov 2022. <https://pea.lib.pte.hu/bitstream/handle/pea/10601/zilahi%20p%C3%A9ter_dla%20mestermunka.pdf?sequence=1>
- "Masterplast – Moduláris építészeti rendszerek" 16 Aug 2022. Masterplast. Letöltés: 1 Nov 2022. <<https://www.masterplast.hu/2022/08/16/modularis-epitesi-rendszerek/>>
- Csupász Szabolcs és Lombár Eszter "Adaptálható modularitás" 2020 TDK BME Lakóépíttervezési tanszék Letöltés: 1 Nov 2022. <<http://tdk.bme.hu/EPK/DownloadPaper/Modularis-tarsashaz>>
- Prokoncept "Falelem" Prokoncept Letöltés: 1 Nov 2022. <<https://www.prokoncept.hu/falelem>>
- Gablok "Standard Block" 2021 Gablock Letöltés: 1 Nov 2022. <<https://gablockhouse.com/>>
- Polycare "Building Solution" 2022 Polycare Letöltés: 1 Nov 2022. <<https://polycare.de/en/design-build/building-solution>>
- Prokoncept "Falelem" Prokoncept Letöltés: 1 Nov 2022. <<https://www.prokoncept.hu/img/elemek/35falazoelem.png>>
- Gablok "Standard Block" 2021 Gablock Letöltés: 1 Nov 2022. <<https://carib-blok.com/>>
- Christopher Turner "Lego Architecture Studio" 2014 LEGO Group Könyv
- "Lego Architecture Studio" 2014 LEGO Group Letöltés: 1 Nov 2022. <<https://www.lego.com/en-de/product/studio-21050>>
- Sukhi V. Sendanayake, David P. Thambiratnam, Nimal Perera, Tommy Chan, Sanam Aghdamy - "Seismic mitigation of steel modular building structures through innovative inter-modular connections" Nov 2019. Science Direct – Helyion letöltés: 1 Nov 2022. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844019364114>>
- "Daru katalógus" Már 2020 Budafer Letöltés: 1 Nov 2022. <<https://budafer.hu/i/uploads/cranes/iWUxBK4TXMgoLEowPVkkHxBOGNtFXU6ZC1ZcDhxF.pdf>>
- Kate Wagner "The modularity is here: Modern history modular mass housing schemes" 15 Dec 2016. 99percentinvisible Letöltés: 1 Nov 2022. <<https://99percentinvisible.org/article/modularity-modern-history-modular-mass-housing-schemes/>>
- Niall Patrick Walsh. "World's Tallest Modular Buildings Completed" 03 Jul 2019. ArchDaily. Letöltés 1 Nov 2022. <<https://www.archdaily.com/920329/worlds-tallest-modular-buildings-completed>> ISSN 0719-8884
- Fran Williams "HTA – Designed World's Tallest Modular Housing Scheme Opens In Croydon" 12 Máj 2021. Buffalo Modular Homes Letöltés: 1 Nov 2022. <<https://buffalomodularhomes.com/hta-designed-worlds-tallest-modular-housing-scheme-opens-in-croydon/>>



- "Hardell vékonyfalú építési elemkészlet" 2016 Hardell Letöltés: 1 Nov 2022.
<<https://docplayer.hu/17907139-100-osan-hazai-fejleszt-es-hardell-vekonyfalu-acer-epitesi-elemkeszlet.html>>
- Dr. Németh György " Tartószerkezetek III. Acélszerkezetek méretezésének alapjai" Széchenyi István Egyetem Leöltés: 1 Nov 2022
<http://www.sze.hu/~nemethgy/Tszerk_III_jegyzet.pdf>
- "Container City" 7 Jún 2022. Wikipedia Letöltés: 1 Nov 2022.
<https://en.wikipedia.org/wiki/Container_City>
- " Előregyártott vasbeton vázas építési mód" Kreatívlakás Leöltés: 1 Nov 2022
<https://kreativlakas.com/magasepiteszet/elore-gyartott-vasbeton-vazas-epitesi-mod/?fbclid=IwAR1gXbikK4AZR23rThdaWok6y1MIic9VixqbmbMZ_qzalScNMEXpEswexcM>
- Boros Anita – Torma András "Trendek és megoldások a zöld építésgazdaság területén / II. rész A moduláris építészet " 12 Már 2012. Ebook Letöltés: 1 Nov 2022. <> ISBN 978-615-5776-92-2 Ö; ISBN 978-615-5776-94-6
- "Moduláris építési rendszer előregyártott betonból" 18 Dec 2020. Energy Friend Home Letöltés: 1 Nov 2022.<https://kp.hu/modularis-epitesi-rendszer-eloregyartott-betonbol/>



Épületelemzések:

- Andreea Cutieru. "Nakagin Capsule Tower Could Face Demolition" 07 May 2021. ArchDaily. Accessed 1 Nov 2022. <<https://www.archdaily.com/961330/nakagin-capsule-tower-could-face-demolition>> ISSN 0719-8884
- Gili Merin. "AD Classics: Habitat 67 / Safdie Architects" 21 Jul 2013. ArchDaily. Accessed 1 Nov 2022. <<https://www.archdaily.com/404803/ad-classics-habitat-67-moshe-safdie>> ISSN 0719-8884
- Douglas Royalty "Winslow Ames House" 2012. Sah Archipedia Letöltés: 1 Nov 2022. <https://sah-archipedia.org/buildings/CT-01-011-0066>
- "Meri House / Pezo von Ellrichshausen" 13 Oct 2014. ArchDaily. Letöltés: 1 Nov 2022. <<https://www.archdaily.com/555513/meri-house-pezo-von-ellrichshausen>> ISSN 0719-8884
- "Far Frohn & Rojas / Wohnregal" 09 Nov 2020. Divisare Letöltés: 1 Nov 2022. <<https://divisare.com/projects/432670-far-frohn-rojas-david-von-becker-tobias-wootton-wohnregal>>
- "57 Habitatges Universitaris - Harquitectes" 2009 Harquitectes Letöltés: 1 Nov 2022. <<http://www.harquitectes.com/projectes/habitatges-universitaris-sant-cugat-harquitectes/>>
- "1737 Gava - Harquitectes" 2017 Harquitectes Letöltés: 1 Nov 2022. <<http://www.harquitectes.com/projectes/1737-gava/>>
- Cien House / Pezo von Ellrichshausen " 03 Jun 2016. Divisare Letöltés: 1 Nov 2022. <https://divisare.com/projects/319288-pezo-von-ellrichshausen-cien-house>
- "Far Frohn & Rojas / Lion-Feuchtwanger-Strasse 61" 2022. f-a-r.net Letöltés: 1 Nov 2022. http://www.f-a-r.net/projects/en_projects/155_lfs61/
- "Finite Format 04 / Pezo von Ellrichshausen " 07 Nov 2017. Divisare Letöltés: 1 Nov 2022. <<https://divisare.com/projects/370355-pezo-von-ellrichshausen-finite-format-04>>
- Deatil Magazin 2022.05 ISSN 2627-2598
- "Universal Design Quarter in Hamburg / Sauerbruch Hutton " 02 Aug 2020. ArchDaily. net Letöltés: 1 Nov 2022. <<https://www.archdaily.com/944258/universal-design-quarter-in-hamburg-sauerbruch-hutton>> ISSN 0719-8884
- "Sthlm 01 Tower / Sauerbruch Hutton " 22 Feb 2021. ArchDaily. net Letöltés: 1 Nov 2022. <<https://www.archdaily.com/957245/sthlm-01-tower-sauerbruch-hutton>> ISSN 0719-8884
- "Brandhorst Museum / Sauerbruch Hutton " 28 Sep 2009. ArchDaily. net Letöltés: 1 Nov 2022. <<https://www.archdaily.com/36193/brandhorst-museum-sauerbruch-hutton>> ISSN 0719-8884
- "BIG – Dortheavej residence" BIG Letöltés: 1 Nov 2022. <<https://big.dk/press/DONG/>>
- "BIG - Snegelhusene" BIG Letöltés: 1 Nov 2022. <<https://big.dk/press/NYE/>>
- "M9 Museum District" Sauerbruch Hutton net Letöltés: 1 Nov 2022. <https://www.sauerbruchhutton.de/en/project/m9v>
- "Luisenblock Office building" 2020 Sauerbruch Hutton Letöltés: 01 Nov 2022 <<https://www.sauerbruchhutton.de/en/project/lui>>
- GSW Headquarters Wikiarquitectura Letöltés: 1 Nov 2022. <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/sede-gsw/>
- Baratto, Romullo. "SUMMARY Presents a Concrete Installation at the 2016 Venice Biennale " [SUMMARY ocupa a Bienal de Veneza com instalação de concreto] 07 Jun 2018. ArchDaily. (Trans. Vada, Pedro) Letöltés: 1 Nov 2022. <<https://www.archdaily.com/895846/summary-presents-in-the-venice-biennale-a-concrete-installation>> ISSN 0719-8884
- Summary "Gomnos 1" 2015 Letöltés: 1 Nov 2022. <<https://summary.pt/works/gomos-house-with-gomos-system/>>



-Summary "Vale de Cambra" 2015
<<https://summary.pt/works/valedecambra/>>

Letöltés: 1 Nov 2022.

