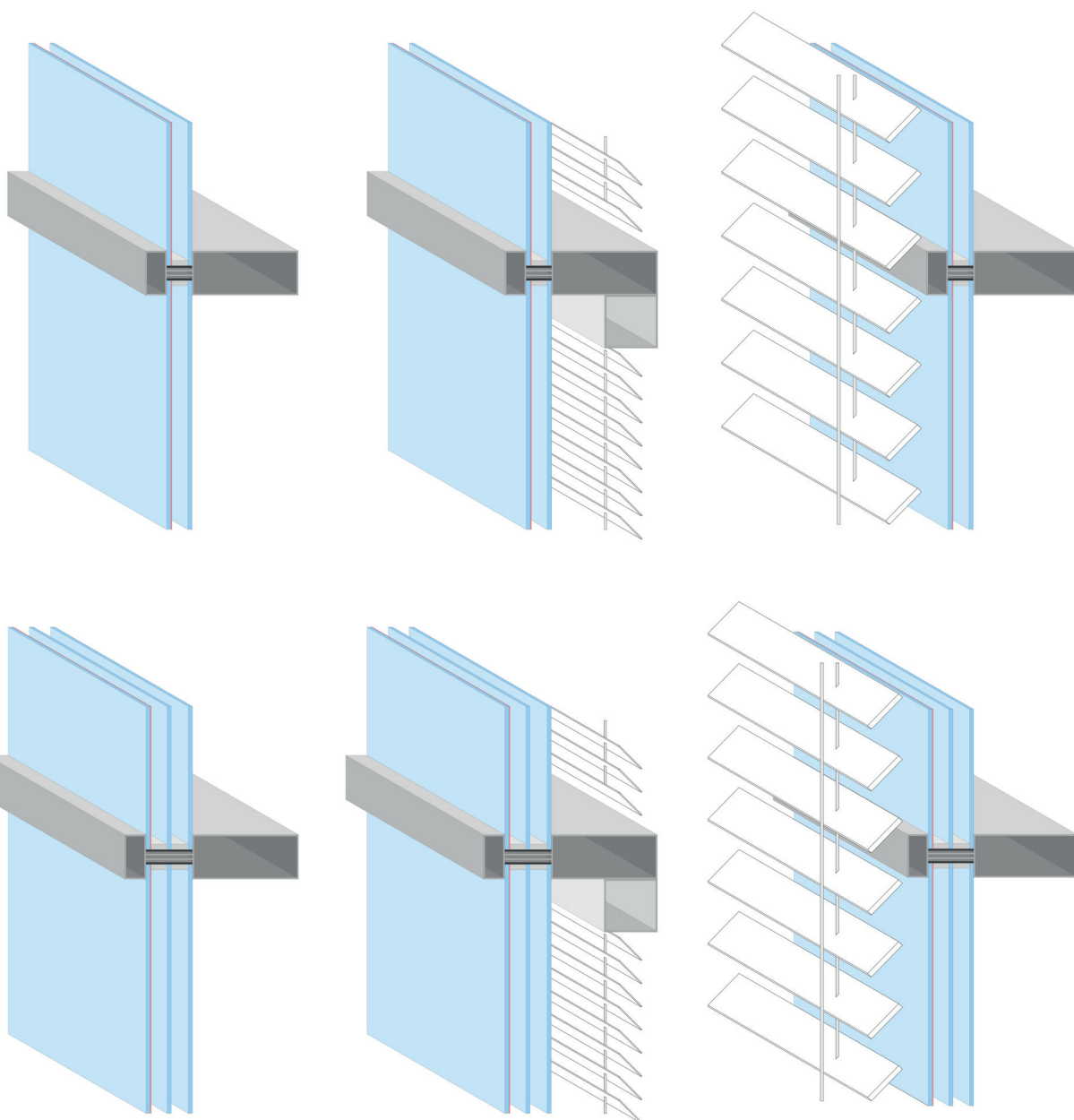




MAGYAR ÉPÍTŐIPAR

HUNGARIAN BUILDING INDUSTRY

LXXIII. | 2024.4.



A Szerk. TISZTELT OLVASÓNK!



Horváth Tamás PhD
főszerkesztő

Az építőipar örök változásban van. Időről időre új technológiák, új anyagok és új szemléletmódok kínálnak válaszokat a gazdasági, környezeti vagy éppen társadalmi kihívásokra. Jelen lapszámunk öt írása is ezt a változást mutatja: különböző aspektusokból közelítenek, mégis közös gondolat köré rendezhetők, ez pedig *a hatékonyság és fenntarthatóság kettős célja az épített környezetben*. Akár a kivitelezés optimalizálásáról, akár anyaghasználatról, energetikai teljesítményről vagy az élményközpontú tervezésről van szó, mindegyik tanulmány azt kutatja, miként lehet a mai építészet egyszerre hatékonyabb, tudatosabb és emberbarátabb.

Az első cikk a kivitelezési gyakorlat egyik kulcskérdésére – az ellátási lánc optimalizálására – fókuszál. Egy doktorandusz szerző a Hungaroring projekt tapasztalatait elemezve mutatja be, hogyan alkalmazható a lean szemlélet és a digitalizáció az anyag- és információáramlás racionalizálására. Ezt egy korábban nálunk publikált – az újrahasznosítás és a körforgásos gazdaság szempontjait fókuszba helyező – téma folytatása követi, amely a textilhulladék tűzállóságát vizsgálja hőszigetelő anyagként való alkalmazás előtt. A harmadik cikk épületenergetikai kérdésekkel foglalkozik: a nagy üvegfelületekkel rendelkező épületek energiamérlegét elemzi részletesen, összevetve a különböző árnyékolási és üvegezési megoldások hatásait, a változó szabályozási környezet figyelembevételével. A negyedik tanulmány egy egészen más területre kalauzol: a terek érzelmi hatásait kutatja egy hallgatói TDK munka keretében, az építészet pszichológiai dimenzióira irányítva a figyelmet. A szám záró írása ismét a jelen perspektívájából olvas újra egy ötven éve született cikket. A térelemes építés lehetőségeit és dilemmáit vizsgáló írás köré épített kommentár nemcsak értelmez, hanem kontextusba is helyez, kritikát és tanulságokat kínál az iparosított építés ezen izgalmas megoldásáról.

A lapszám írásai egyfajta ívet rajzolnak ki: a jelenben megélt gyakorlati kihívásoktól, a jövőbe mutató fenntarthatósági irányokon át, egészen a múlt tapasztalatainak újraértékeléséig. A szakmai tapasztalat és a fiatal kutatói kíváncsiság egyaránt jelen van e lapszámban, miközben mindegyik tanulmány mögött ott húzódik az építészet és az építőipar közös, minden korban visszatérő kérdése: *hogyan lehet „jól” építeni?*

Az előszó megírásában
a ChatGPT segédkezett.



Magyar Építőipar | Hungarian Building Industry

Főszerkesztő: **Horváth Tamás PhD** – SZE, Győr
A szerkesztőbizottság elnöke: **prof. Becker Gábor** – BME-ÉPK, Budapest
A szerkesztőbizottság tagjai: **Bozsaky Dávid habil PhD** – SZE, Győr;
prof. Kiss Rita – MTA levelező tag / BME, Budapest; **prof. Lakatos Ákos** – DE, Debrecen
Molnár Tamás habil DLA – PTE, Pécs; **Nagy Balázs PhD** – BME-ÉMK, Budapest;
Szabó Péter PhD – SE, Sopron; **Terjék Anita PhD** – ÉMI, Szentendre / ME, Miskolc;
Vizi Gergely PhD – ÓE, Budapest; **Völgyi István PhD** – BME, Budapest

HU ISSN 3094-211X – Lektorált cikkeket tartalmaz. Megjelenik negyedévente.
Szerkesztőség: 1095 Budapest, Mester utca 87. Tel./fax: 06 1 201-8416,
Kiadja: ÉTÉ Szakértő és Magyar Építőipar Kiadó Szolgáltató és Kiadói Kft.
Felelős kiadó: Dévai Zoltán | Kiadványszerkesztés: Horváth Tamás PhD
e-mail: info@epitokiado.hu, internet: <https://magyarepitoipar.com/>

Címlapon: Üvegezett szerkezetek variációi: két- és háromrétegű üvegezés, árnyékolás nélkül, belső és külső árnyékolással. Szűrös Zsolt rajza. A kapcsolódó cikket lásd a 164. oldalon.

2024.4. TARTALOM | CONTENTS

149 BEVEZETŐ	Horváth Tamás Tisztelt Olvasónk! <i>Dear Reader!</i>
151 MÉRNÖKI	Pap Réka Zsófia Ellátási lánc fejlesztése generálkivitelezésben lean szemlélet mentén <i>Supply chain development in general contracting</i> <i>through lean thinking</i>
158 MINŐSÉG	Kudronné Berta Eszter, Kemes Balázs, Takács Lajos, Majorosné Lublóy Éva, Perlakiné Patkó Csilla Tépett-farkasolt textilhulladék tűzzel szembeni viselkedésének vizsgálata <i>Examination of the fire behavior of</i> <i>torn and shredded textile waste</i>
164 ZÖLD / ENERGIA	Ördög Rita Rebeka, Szűrös Zsolt, Horváth Tamás Nagy felületen üvegezett épületek energetikai vizsgálata <i>Energy analysis of buildings with a large glazed facade</i>
174 KITEKINTŐ	Takács Kristóf Érzelmeket, érzéseket kiváltó virtuális terek tervezése és vizsgálata <i>Design and analysis of virtual spaces</i> <i>that evoke emotions and feelings</i>
181 50 ÉVE ÍRTUK	Lévai Jenő Térelemes építés <i>Volumetric modular construction</i>
185	Prof. Becker Gábor Kommentár Lévai Jenő „Térelemes építés” című 50 éve megjelent cikkéhez <i>Commentary on the 50 years ago published article of</i> <i>Lévai Jenő “Volumetric modular construction”</i>

Pap Réka Zsófia*

ELLÁTÁSI LÁNC FEJLESZTÉSE GENERÁLKIVITELEZÉSBEN LEAN SZEMLÉLET MENTÉN

SUPPLY CHAIN DEVELOPMENT IN GENERAL CONTRACTING THROUGH LEAN THINKING

KIVONAT / HUN

Az építőiparban a hatékonyság növelése és a veszteségek csökkentése egyre sürgetőbb kihívás. A lean szemlélet alkalmazása lehetőséget kínálhat arra, hogy az anyagáramlás optimalizálásával és az információáramlás fejlesztésével növeljük a kivitelezési projektek eredményességét. Jelen tanulmány a Hungaroring építési projektjén keresztül mutatja be, hogyan támogathatók a kivitelezési folyamatok digitális megoldásokkal az anyagáramlás és az információkezelés optimalizálása érdekében. A just-in-time (JIT) elv alkalmazása minimalizálja a raktározási költségeket és biztosítja az anyagok időben történő rendelkezésre állását. A digitalizált készletnyilvántartás és az IT-megoldásokkal integrált ellátási lánc menedzsment révén a különböző szereplők hatékonyabb koordinációja valósulhat meg. A folyamatok elemzéséhez értékáram-térképezést alkalmaztunk, amely feltárta a jelenlegi működés hiányosságait, segítve a veszteségek csökkentését és az optimális rendszer kialakítását. Az eredmények igazolják, hogy a lean elvek és a digitalizáció kombinációja jelentős idő- és költségmegtakarítást eredményezhet az építőipari projektekben.

Kulcsszavak: lean construction, anyagáramlás, just-in-time (JIT), hatékonyságnövelés, értéklánc menedzsment

ABSTRACT / ENG

In the construction industry, increasing efficiency and reducing waste is an urgent challenge. The application of lean thinking offers an opportunity to improve the success of construction projects by optimizing material flow and enhancing information flow. This study demonstrates, through the Hungaroring construction project, how construction processes can be supported by digital solutions to optimize material flow and information management. The application of the just-in-time (JIT) principle minimizes storage costs and ensures timely availability of materials. Through digital inventory management and supply chain management integrated with IT solutions, more efficient coordination among stakeholders can be achieved. Value stream mapping was used to analyse the processes, revealing the deficiencies in the current operations, helping to reduce waste and design the optimal system. The results confirm that combining lean principles and digitalization can lead to significant time and cost savings in construction projects.

Keywords: lean construction, material flow, just-in-time (JIT), efficiency improvement, value chain management

* műszaki menedzser Msc, PhD hallgató, Debreceni Egyetem, Műszaki Menedzsment és Vállalkozási Tanszék, e-mail: rekupap@gmail.com

1. | BEVEZETÉS

Kétségtelen, hogy az építőipari ágazat mindig nagy hatással van minden ország gazdaságának egészére, és hogy ez egy olyan tevékenység, amely világszerte számos sajátos jellemzővel rendelkezik más gazdasági tevékenységekhez képest. A közelmúltban készült tanulmányok rávilágítottak a hatékony ellátási lánc-menedzsment (SCM: Supply Chain Management) elfogadásának fontosságára az építőipari vállalatokon belül, az építőipari ágazat teljesítményének és termelékenységének javítása érdekében.

A lean szemlélet alkalmazása az építőiparban egyre nagyobb figyelmet kap, hiszen a hagyományos projektmenedzsment megközelítések sok esetben nem képesek megfelelően kezelni az iparág sajátosságait. Az ellátási lánc-menedzsment és a lean módszerek integrációja kulcsfontosságú lehet az építési projektek hatékonyságának és termelékenységének növelésében, hiszen az építőipari ellátási láncok komplexitása

és a kereslet-kínálat közötti egyensúlyhiány jelentős mértékben rontja a projekt teljesítményét.

A jelenlegi kutatás célja annak feltárása, hogy a lean elvek mentén hogyan érhető el nagyobb hatékonyság a kivitelezési folyamatokban, különösen a logisztika, az építésvezetés és a támogató területek együttműködésének fejlesztésével. Az építési projektek – mint a Hungaroring fejlesztése – kiváló terepet biztosítanak ezen módszerek gyakorlati alkalmazására és továbbfejlesztésére.

2. | ÚJ SZEMLELET A KIVITELEZÉS MENEDZSMENTJÉBEN

2.1. KIVITELEZÉS ÉS JÖVŐKÉP: A HUNGARORING PROJEKT

A Hungaroring a Formula-1 Magyar Nagydíj helyszínévé ismert **(1. ábra)**, és Magyarország egyetlen Formula-1-es versenypályájaként kiemel-

kedő szerepet játszik a nemzetközi motorsport világában. A pálya építése 1985-ben kezdődött, és rekordidőnek számító nyolc hónap alatt készült el. Az első Magyar Nagydíjat 1986. augusztus 10-én rendezték meg, amely történelmi pillanat volt, hiszen a pálya elsőként adott otthont a szocialista blokk országai közül Formula-1-es versenynek. A pálya tervezését Papp István és Gulácsi Ferenc végezték, a projekt célja az volt, hogy a közép-európai régióban is nemzetközi szintű versenyek rendezésére alkalmas létesítmény jöjjön létre. Az eredetileg 4 014 méteres pálya hossza az idők során változott, mivel több átalakítást is végrehajtottak rajta. A legnagyobb módosítások közé tartozik a célegyenes meghosszabbítása és a kanyarok átalakítása 2003-ban, amelyet követően a pálya hossza 4 381 méterre növekedett [1].

A Hungaroring folyamatosan megújulásra szorul, hogy megfeleljen a legújabb Formula-1-es technikai és infrastrukturális követelményeknek. Az utóbbi évek legnagyobb felújítása 2023-ban kezdődött, és a projekt vár-



1. ÁBRA: A megújult Hungaroringról látképe, fotó: Nagy Mihály [3]

hatóan 2026-ra fejeződik be. A felújítás keretében teljeskörűen megújul a főlélető, a főépület, valamint két új alagút építésére is sor kerül. A beruházás összértéke 78,9 milliárd forint, és az új fejlesztések célja, hogy a pálya szintjét és infrastruktúráját modernizálják, miközben megőrizték az események iránti nemzetközi érdeklődést. Az első ütemben elkészült a 8 000 négyzetméteres paddock, emellett jelentős közműhálózati fejlesztéseket is végeztek, a környezet rendezésével egyetemben. A projekt célja, hogy a pálya továbbra is az egyik legfontosabb nemzetközi motorsport esemény, a Formula-1 Magyar Nagydíj helyszínévé váljon [2].

2.2. A LEAN MENEDZSMENT RELEVÁNCIÁJA AZ ÉPÍTŐIPARBAN

A lean filozófia alkalmazása népszerű stratégiává vált a hatékonyság növelésére, a veszteségek csökkentésére és a folyamatok optimalizálására törekvő szervezetek számára. A kezdetben a Toyota által bevezetett, a gyártásban úttörőnek számító lean elveket azóta széles körben alkalmazzák más iparágakban, beleértve az egészségügyet, a pénzügyet, a technológiai, a szolgáltatási és az építőipari szektorokat. A lean bevezetésével a munkafolyamatok áramvonalasabbak lesznek, a termelékenység fokozódik, végső soron pedig nő az ügyfélelégedettség is.

A lean menedzsment olyan eszközök és módszerek összessége, amelyek csökkentik a felesleges tevékenységeket és maximalizálják az értékteremtést. Womack és Jones [4] határozta meg az öt lean alapelvet:

1. érték meghatározása,
2. értékáram feltérképezése,
3. folyamatos áramlás biztosítása,
4. húzórendszer kialakítása,
5. tökéletességre törekvés.

Ezek az elvek az építőipari logisztikában is alkalmazhatók, különösen a just-in-time (JIT) rendszer segítségével, amely minimalizálja a raktározási igényt és optimalizálja az anyagellátást. A JIT alkalmazása az építőiparban csökkenti az anyagmozgatási időt, javítja a munkahelyi rendet és csökkenti a túlzott készletezéssel járó költségeket [5]. Ennek eredményeként az építőanyagok pontos időben érkeznek a

munkaterületre, elkerülve a felesleges tárolást és az anyagvesztést. Továbbá, a JIT segíti a folyamatos áramlás biztosítását, amely csökkenti a munkafolyamatok közötti várakozási időt és növeli a teljesítményt [6].

Az építőipar legalább három tényező miatt különbözik más iparágaktól:

1. a projektek egyedi jellege,
2. a helyszíni gyártás és
3. az ideiglenes szervezés [7].

E sajátosságok ellenére számos erőfeszítés történt a más iparágakban bevált gyakorlatok, különösen a feldolgozóiparból származó módszerek átvételére az építőiparban. Az elmúlt évtizedekben a kutatók és az iparági szakemberek különböző filozófiák alkalmazására törekedtek az építőipar hatékonyságának és eredményességének növelése érdekében, amelyek közül az egyik a lean építési menedzsment. A lean építés menedzsment az építőiparban alkalmazott termelési rendszerek olyan tervezését jelenti, amely minimalizálja az anyag-, idő- és munkaerő-pazarlást, miközben a lehető legnagyobb értéket hozza létre. Ez a megközelítés a feldolgozóiparban sikeresen alkalmazott lean menedzsment elveit adaptálja az építőipar sajátos környezetéhez. A lean menedzsment építőipari logisztikában történő alkalmazásának lehetőségeit vizsgáló kutatások rámutatnak, hogy a lean eszközök integrálása az építőipari folyamatokba jelentős hatékonyságnövekedést eredményezhet [8].

Bár a lean menedzsment sikeresen működik a feldolgozóiparban, az építőiparban történő alkalmazása kihívásokkal teli. Az elszigetelt eszközhasználat sok esetben nem vezet fenntartható eredményekhez, mivel a teljes ellátási lánc optimalizálásához integrált szemlélet szükséges. A sikeres implementáció kulcsa a teljes lean rendszer alkalmazása, amely magában foglalja az értékáram-feltérképezést, a folyamatos anyagáramlást és az utánpótlási rendszerek stratégiai kialakítását. Az építési projektek során a helyszíni anyagellátás és készletezés optimalizálása kulcsfontosságú tényező, amely jelentősen befolyásolja az átfutási időt és a költségeket. A tanulmány célja, hogy bemutassa, hogyan lehet a lean szemléletet az építőipari ellátási lánc menedzsmenttel összekapcsolni a hatékonyság növelése érdekében.

2.3. AZ ANYAGÁRAMLÁS KIHÍVÁSAI ÉS LOGISZTIKAI MEGOLDÁSOK AZ ÉPÍTŐIPARI ELLÁTÁSI LÁNCBAN

Az elmúlt két évtizedben a feldolgozóipar az ellátási láncok menedzsmentjét az üzleti élet új módjaként azonosította. Az építőiparban, hasonlóan a feldolgozóiparhoz és más szolgáltatási ágazatokhoz, olyan új tendenciák jelennek meg, amelyek célja a végfelhasználó végső elégedettségének biztosítása. A lean építésmenedzsment a termelési rendszerek olyan módon történő megtervezését jelenti, amely az anyag-, idő- és erőforráspazarlást minimalizálja mellett a lehető legnagyobb értéket termeli. Az ellátási lánc menedzsmentjének alkalmazása elengedhetetlen a hatékonyság javításához és a versenyelőny növeléséhez. Az ellátási lánc menedzsment alapvető célja az anyag- és információáramlás optimalizálása, valamint az együttműködés fokozása a projekt résztvevői között.

Számos nemzetközi empirikus kutatás megerősíti, hogy a lean elvek és az ellátási lánc-menedzsment (SCM) kombinálása növeli az építési projektek hatékonyságát. Különösen a just-in-time (JIT) rendszer alkalmazása bizonyult hatékonynak az átfutási idők csökkentésében és a költségek optimalizálásában. Ballard és Howell [6] kutatásai rávilágítottak arra, hogy a lean alapú termelésvezérlés (pl. Last Planner System) és a jól strukturált anyagáramlás jelentős időmegtakarítást eredményezhet. Egy későbbi, integrált logisztikai modell alapján készült tanulmány szerint a lean és SCM szinergiája akár 20-30%-os hatékonyságjavulást is eredményezhet az építőiparban. Vrijhoef és Koskela [9] szerint az építőipar legalább három fő tényező mentén tér el más iparágaktól: a helyszíni gyártás, az ideiglenes szervezés és a projektek komplexitása. Bár a projektalapúság más iparágakban is jelen van, az építőiparban ez különösen hangsúlyos az erőforrások mobilitása és a szűkös ütemezések miatt. Ezek a jellemzők kihívásokat jelentenek az ellátási lánc hatékony működtetésében.

Az építőipari projektek sikeressége nagymértékben függ az anyagellátás megbízhatóságától. Az ellátási lánc komplexitása és a kereslet-kínálat ingadozása jelentős hatással van a projektek költségeire, időbeli teljesítésére és általános hatékonyságára [7].

2.3.1. Az ellátási lánc komplexitásának hatása

Az építőipari anyagellátás egyik legnagyobb problémája az ellátási lánc összetettsége. A nagy számú beszállító és az egymással párhuzamosan zajló anyagmozgások miatt az időben történő szállítás valószínűsége csökken. Az úgynevezett „matching problem” azt mutatja be, hogy minél több különálló anyagszállítás történik, annál nagyobb az esélye annak, hogy egy vagy több anyag késve érkezik meg [6]. Ha például egy építkezésen 10 beszállító van, és mindegyik 99%-os pontossággal szállít, akkor az összes szükséges anyag egyidejű megérkezésének valószínűsége csupán 90% lesz [7]. Amennyiben a beszállítók száma 20-ra nő, ez az érték 82%-ra csökken, ami komoly kockázatot jelenthet a projekt ütemezésére nézve [10].

Az ellátási lánc túlzott összetettsége nemcsak késéseket, hanem felesleges készletezést is eredményez. Az anyagokat gyakran előre kiszállítják az építési helyszínre, hogy biztosítsák a folyamatos munkavégzést, azonban ez helyhiányt, anyagkárosodást és készletvesztést okozhat [10].

2.3.2. Kereslet és kínálat egyensúlyának hiánya

A fenti tények ellenére számos erőfeszítést tettek annak érdekében, hogy a különböző iparágakból, különösen a feldolgozóiparból származó bevált gyakorlatokat átültessék az építőiparba. Az elmúlt néhány évtizedben a kutatók és az az építőiparban releváns személyek más iparágakban elfogadott különböző filozófiák felé mozdultak az építőipar hatékonyabbá és eredményesebbé tétele érdekében. Az ellátási lánc menedzsment (SCM) ezek egyike. E filozófia elfogadásának fő mozgatórugója a különböző iparágakban elért sikerek voltak [10].

3. | ESETTANULMÁNY

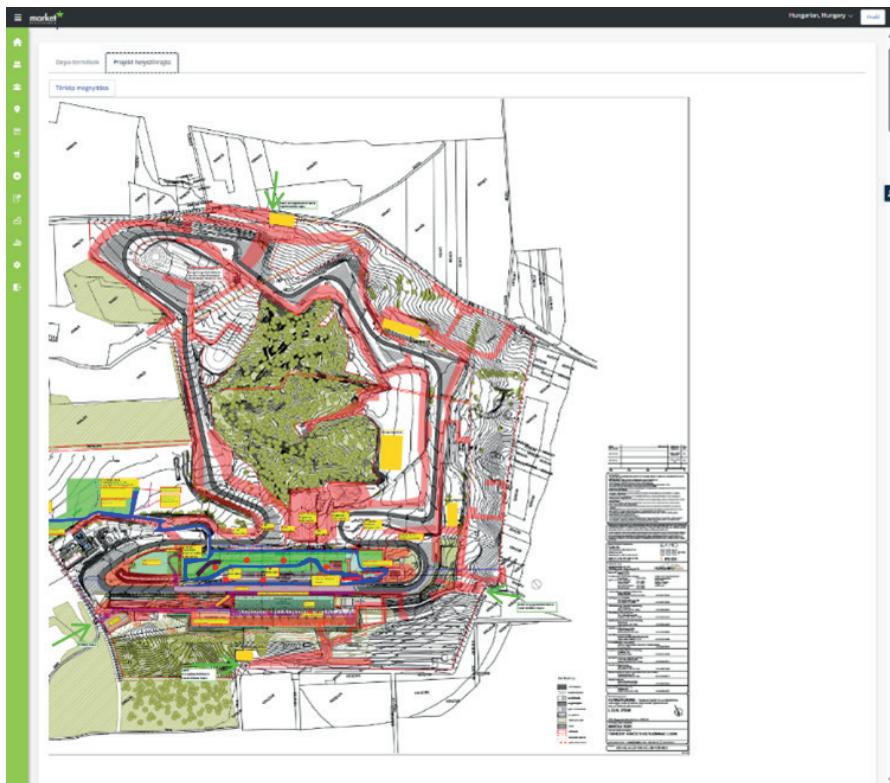
A Hungaroring felújítási projektén történő fejlesztésünk kiváló példa arra, hogyan lehet a lean szemléletet és az ellátási lánc-menedzsmentet (SCM) integrálni a modern építési folyamatokba. A kivitelezés hatékony irányítása és a költséghatékony megvalósítás érdekében különösen fontos, hogy az anyagá-

ramlás és a kommunikáció valamilyen támogatást kapjon, tekintettel arra, hogy az építésvezetés, előkészítés, és a támogatói területek fizikailag nem egy helyen helyezkednek el, ezért kézenfekvő digitális megoldásokat keresni.

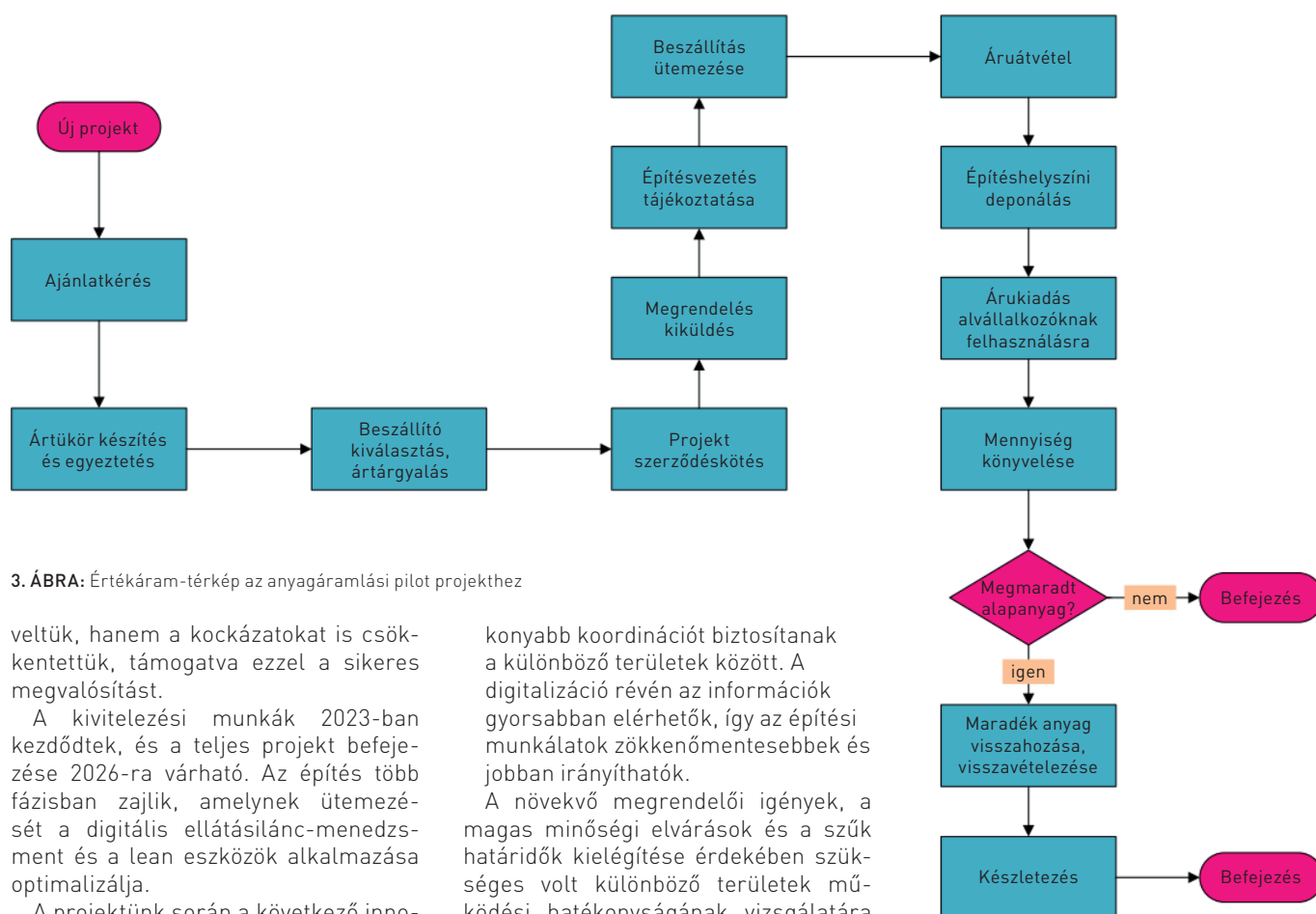
A Hungaroringen jelenleg zajló építési munkák a versenypálya infrastruktúrájának fejlesztésére összpontosítanak [2. ábra]. A projekt célja a modern versenyzési követelményeknek megfelelő kiszolgáló létesítmények létrehozása, beleértve a depózónát, a paddock területeket és a versenyzői infrastruktúrát.

A tárgyi projekt egy igen nagy és jelentős építési beruházás, amely több különböző szakterület együttes koordinációját igényli. A kivitelezési munkálatok során több mint 8 000 négyzetméter alapterület újul meg, amely magában foglalja az új paddock építését, a főépület és a főelátó teljeskörű rekonstrukcióját, valamint a versenypálya környezetének infrastruktúra-fejlesztését. Az építkezés során megközelítőleg 25 000 tonna beton, 2 500 tonna acélszerkezet, 200 km erős áramú kábel, valamint 14 000 tonna aszfalt kerül beépítésre. A projektben több mint 150 alvállalkozói szerződés kötött meg, amelyeknek 20%-a beszállító, az utcai bútoroktól kezdve a konténerek importőrjeiig.

A Market Építő Zrt. stratégiájának egyik meghatározó eleme a lean szemléletmód bevezetése és alkalmazása az építőipari projektekben. A vállalat célja, hogy a lean-menedzsment elveit követve minimalizálja a veszteségeket, javítsa a folyamatok átláthatóságát és növelje az építés hatékonyságát. Ennek érdekében a Market évek óta tudatosan fejleszti folyamatait, és számos építkezésen pilot projektként alkalmazza a módszertan elemeit. A Hungaroring projekt kapcsán is a lean alkalmazása mellett döntöttünk, mert a beruházás komplexitása – a szoros határidők, a nagyszámú beszállító és alvállalkozó koordinálása, valamint az anyagáramlás optimalizálása – szükségessé tette a veszteségek csökkentését és a folyamatos fejlesztést. A lean elvek – például a just-in-time anyagmozgatás, a vizuális menedzsment és a folyamatos fejlesztés (kaizen) – biztosítják, hogy az építkezés gördülékenyen, felesleges várakozási idők és erőforrás-pazarlás nélkül haladjon előre. Ezáltal nemcsak a projekt hatékonyságát nö-



2. ÁBRA: Organizációs terv a Hungaroringről a Mendix szoftverben a depónálási területek részleteiről



3. ÁBRA: Értékáram-térkép az anyagáramlási pilot projekthez

veltük, hanem a kockázatokat is csökkentettük, támogatva ezzel a sikeres megvalósítást.

A kivitelezési munkák 2023-ban kezdődtek, és a teljes projekt befejezése 2026-ra várható. Az építés több fázisban zajlik, amelynek ütemezését a digitális ellátásilánc-menedzsment és a lean eszközök alkalmazása optimalizálja.

A projektünk során a következő innovatív lépéseket tettük a lean szemlélet jegyében a hatékonyság javítása érdekében:

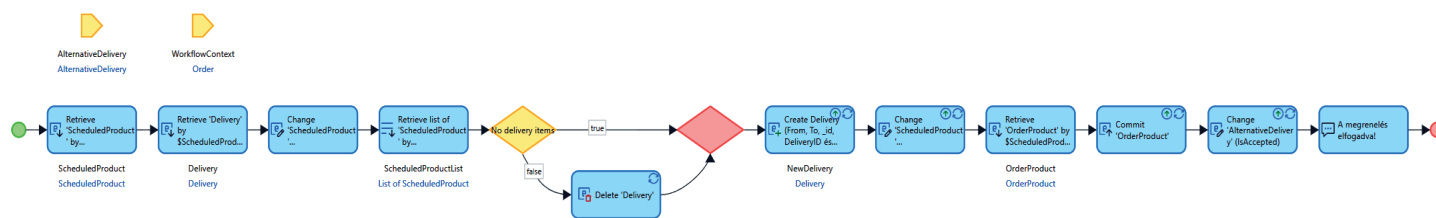
- *JIT (just-in-time) elv alkalmazása:*
A helyszíni anyagellátás optimalizálása érdekében a JIT elvet alkalmazzuk, amely lehetővé teszi az anyagok időben történő szállítását, minimalizálva a raktározási költségeket és biztosítva a megfelelő időpontban történő felhasználást.
- *Digitalizált készletnyilvántartás:*
A pontos anyagkezelés érdekében digitalizált készletnyilvántartást vezettünk be, amely biztosítja a folyamatos nyomon követhetőséget az anyagok beérkezésétől kezdve azok felhasználásáig. Az alkalmazott rendszer lehetővé teszi az anyagok átvételének, készletezésének és kiadásának automatizálását, jelentősen csökkentve az emberi hibák lehetőségét.
- *Ellátásilánc-menedzsment és IT integráció:*
Az SCM folyamatokat kombináltuk IT-megoldásokkal, amelyek hatékonyabb koordinációt biztosítanak a különböző területek között. A digitalizáció révén az információk gyorsabban elérhetők, így az építési munkálatok zökkenőmentesebbek és jobban irányíthatók.

A növekvő megrendelői igények, a magas minőségi elvárások és a szűk határidők kielégítése érdekében szükséges volt különböző területek működési hatékonyságának vizsgálatára és a veszteségek tanulmányozására. A kivitelezéshelyi anyagáramlási folyamatok feltérképezése és az optimalizált működés szabályozása volt az egyik kérdéskör. Értékáramlat térképezés segítségével átfogó képet kaptunk a működésünk jelen állapotáról, aminek segítségével meghatároztuk a hiányzó lépéseket, megtörtént a veszteségek azonosítása, és elkészült egy olyan anyagáramlási folyamat térkép, ami a rendszer optimális és hatékony működtetésének alappillére lett.

Az értékáram-térkép (VSM: Value Stream Map) [3. ábra] alkalmazásával feltártuk a jelenlegi működési folyamatot, és azonosítottuk az optimális működéshez szükséges hiányzó elemeket és lépéseket. Az anyagáramlási folyamat szabályozása és módosítása elengedhetetlen volt annak érdekében, hogy a megfelelő információ a megfelelő személyhez jusson el, valamint, hogy a teljes folyamat – a rendeléstől az alapanyag beépítéséig – átlátható, követhető és egyértelmű legyen.

A folyamatábra elsősorban abban nyújt támogatást, hogy vizuálisan megjelenítse az egymás utáni munkafolyamatokat, ezáltal egyértelművé téve a szereplők számára a saját feladataikat és felelősségi köreiket. Segítségével jól láthatóvá válik, hogy ki, mikor és milyen tevékenységet végez, valamint, hogy az adott lépéshez milyen dokumentáció kapcsolódik és milyen rendszerben kell azt rögzíteni vagy végrehajtani. Ez a vizualizáció nemcsak az átláthatóságot növeli, hanem hozzájárul a hatékonyabb együttműködéshez, a lehetséges hibák és fennakadások azonosításához, valamint a munkafolyamatok optimalizálásához is.

A folyamatábra és az adatvezérelt megközelítés révén megteremthető a nyomon követhetőség, az időbeli ütemezés és egy jól definiált keretrendszer, amely biztosítja, hogy minden érintett fél pontosan tisztában legyen azzal, hogy kinek, mire, mikorra és milyen mértékben van szüksége az adott



4. ÁBRA: A delivery change workflow megjelenítése a Mendix szoftverben

munkafolyamat során. Ezáltal minimalizálhatók a félreértések és a késedelmek, miközben javul a tervezhetőség és a munkaszervezés hatékonysága.

Emellett az így gyűjtött adatok nemcsak az aktuális projekt optimalizálását segítik, hanem hosszú távon statisztikai elemzések és összehasonlítások készítésére is alkalmasak. Az adatok feldolgozása lehetővé teszi a legjobb gyakorlatok (best practice) azonosítását, amelyeket később más, hasonló projektekben is alkalmazni lehet a hatékonyság növelése érdekében. Az ismétlődő minták és teljesítménymutatók alapján továbbfejleszthetők a folyamatok, csökkenthető a hibák mennyisége és súlyossága, és előre jelezhetőek a potenciális problémák, ezáltal támogatva a folyamatos fejlődést és a stratégiai döntéshozatalt.

A projekt hatékonyságnövelése és költségoptimalizálása érdekében szükség van egy olyan alkalmazásra, amely

az építési anyagok szerződés szerinti, építési területre történő megrendelését támogatja. Az alkalmazás nemcsak az anyagok átvételét és készletezését segíti elő, hanem az alvállalkozók számára történő kiadást is lehetővé teszi, mindezt a belső és külső logisztikai folyamatok gyorsabbá és átláthatóbbá tétele érdekében.

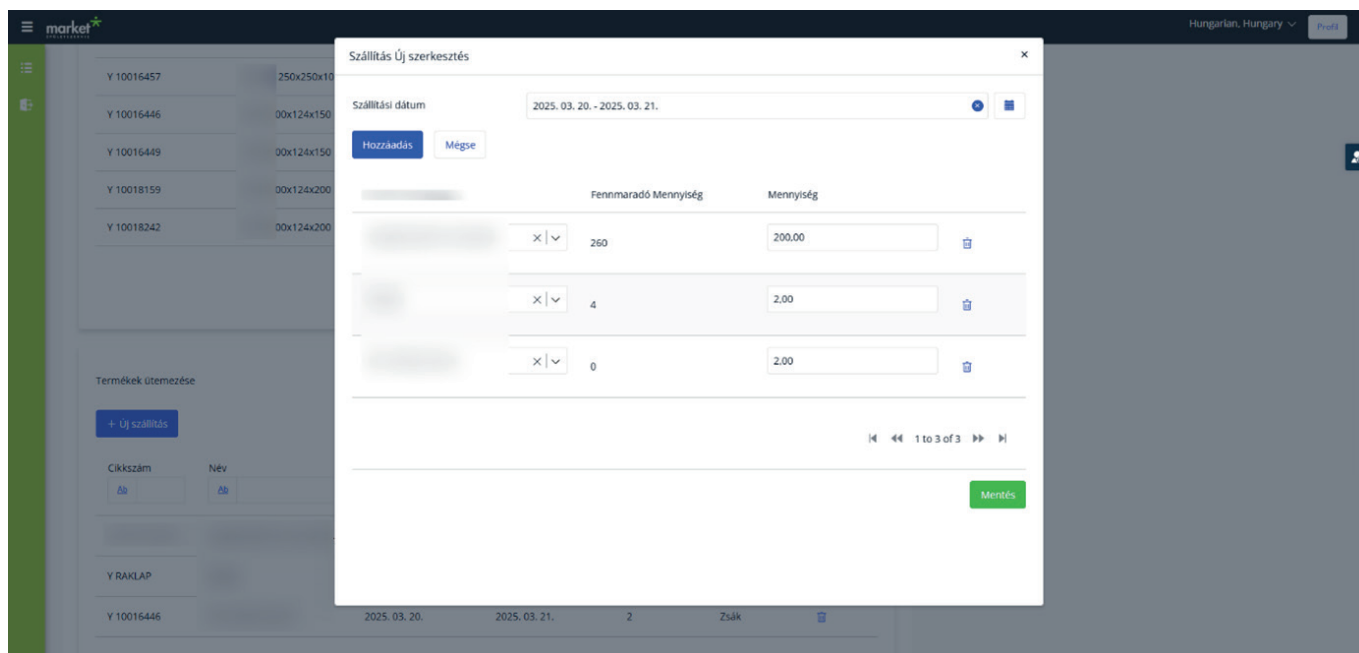
Az alkalmazás funkcionális céljai:

- **Megrendelés és szállítás:**
Az építési anyagok megrendelését és leszállítását a rendszerben rögzítik, biztosítva a folyamatos áramlást és a szükséges anyagok időben történő beszerzését.
- **Átvétel és készletezés:**
A megrendelt anyagok átvételét, raktározását és készletezését a rendszer támogatja, segítségével nyomon követhetők a beérkező anyagok, azok mennyisége és állapota.
- **Alvállalkozói kiadás és visszavétel:**
Az alvállalkozók részére történő

anyagkiadás, valamint a fel nem használt vagy selejt anyagok visszavétele is a rendszer használatával történik. A megfelelő átadás-átvételi dokumentációk generálása biztosítja a nyomon követhetőséget és a felelősségvállalást.

Mivel az értéklánc szereplői fizikailag nem tartózkodnak egy térben, elengedhetetlenné vált a digitális megoldásokra való áttérés a transzparencia és a hatékonyság növelése érdekében. A logisztikai és anyagkezelési folyamatok támogatására a Mendix platformot alkalmaztuk, amely lehetővé teszi a munkafolyamatok digitalizálását, testreszabását és valós idejű nyomon követését. Az alkalmazás biztosítja az anyagrendelések, készletmozgások és alvállalkozói kiadások hatékony kezelését, hozzájárulva a gördülékeny kivitelezési folyamatokhoz (4. és 5. ábrák).

A rendszer biztosítja, hogy minden anyag a megfelelő időben, a megfelelő



5. ÁBRA: A szállítási igény leadása szoftveres felületen

lő személyhez jusson el, miközben az érintettek – a beszállítóktól az építésvezetőig – naprakész információkhoz férnek hozzá. A digitális kommunikáció és az átlátható folyamatok révén csökkenthető a hibák száma, gyorsítható a döntéshozatal, és javul a projektlogisztika hatékonysága.

4. | KÖVETKEZTETÉSEK ÉS AJÁNLÁSOK

Ez az esettanulmány rávilágít arra, hogy a digitalizáció és az intelligens rendszerek hogyan formálhatják át az építőipart, különösen, ha a lean és az ellátásilánc-menedzsment (SCM) elvek alkalmazásával együtt biztosítjuk a hatékony anyagkezelést és koordinációt. A Hungaroring felújítási projekt tehát nemcsak egy építkezés, hanem egy példamutató innovációs lépés a modern építőipari munkafolyamatok fejlesztésében. A bemutatott eredmények a Hungaroring projekt pilot fázisában végzett belső elemzések és a vállalati digitalizációs rendszer által rögzített adatok alapján készültek. Az értékáram-térképezést a Market Zrt. szakmai csapata végezte el 2024 második félévében.

A projekt kivitelezése során a lean építésmenedzsment és a just-in-time (JIT) elv alkalmazása kulcsfontosságú szerepet játszik az anyagellátás optimalizálásában és a kivitelezési határidők betartásában. A lean menedzsment és az SCM integrációja jelentős hatékonyságnövekedést eredményezhet az építőipari kivitelezésben, mivel biztosítja a folyamatok optimalizálását

és a felesleges költségek minimalizálását.

A JIT rendszer, az informatikai támogatás és a folyamatos fejlesztés alkalmazása csökkentheti a pazarlást, miközben növeli a projekt eredményességét. A digitalizált rendszerek és a valós idejű információáramlás lehetővé teszik, hogy minden érintett fél gyorsan és pontosan reagáljon a felmerülő problémákra, így biztosítva a projekt gördülékeny haladását.

A lean és JIT elvek alkalmazásának konkrét előnyei a következők:

- **Kockázatcsökkentés:**
A pontosan időzített anyagbeszállítás minimalizálja a helyszíni készletezési igényt, csökkenti az anyagkárosodás kockázatát, valamint mérsékli a felesleges raktározási költségeket.
 - **Időmegtakarítás:**
Az építési folyamatok optimalizálása révén az anyagáramlás hatékonysága 20%-kal javult, míg a logisztikai folyamatok pontosabb ütemezése 30%-kal csökkentette a várakozási időket.
 - **Költségcsökkentés:**
A digitális készletnyilvántartás és a valós idejű információkezelés bevezetésével a projekt során az anyagveszteségek aránya 15%-kal csökkent, ami jelentős költségmegtakarítást eredményez.
- Egy konkrét esetben az értékáram-térképezés feltárta, hogy a beton szállítása és beépítése során korábban jelentős időveszteség keletkezett. Az optimalizált anyagáramlási stratégia révén a betonozási folyamat időtartama 10%-kal csökkent, ami gyorsabb ütemezést tett lehetővé a következő munkafázisok számára.

A jövőbeli kutatások további empirikus vizsgálatokkal erősíthetik meg a lean SCM alkalmazásának előnyeit, és új lehetőségeket kínálhatnak a komplex építőipari projektek még hatékonyabb kezelésére.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] []: Hungaroring, Wikipédia, <https://hu.wikipedia.org/wiki/Hungaroring>
- [2] Katherine Walsh: HUNG UP ON IT – Iconic F1 track looks unrecognisable as it is demolished and reduced to heaps of rubble just three weeks after race. The Sun, 2014.08.14. <https://www.thesun.co.uk/sport/29870973/f1-hungarian-grand-prix-track-change/>
- [3] Móri Levente: Bemutatták a világszínvonalú Hungaroringet. Magyar Építők, 2025.06.19. <https://magyarepitok.hu/mi-epul/2025/06/bemutat-tak-a-vilagszinvonalu-hungaroringet>
- [4] James P. Womack, Daniel T. Jones: Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation, Simon & Schuster, New York, 1996.
- [5] Taiichi Ohno: Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production, Productivity Press, New York, 1988, p. 152.
- [6] Glenn Ballard, Greg Howell: Implementing lean construction: Stabilizing work flow. In: Proceedings of the 6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), 1998, pp. 101–110.
- [7] Lauri Koskela: Is structural change the primary solution to the problems of construction? Building Research & Information, 2003, vol. 31, no. 2, pp. 85–96. <https://doi.org/10.1080/09613210301999>
- [8] Glenn Ballard, Greg Howell: Lean project management. Building Research & Information, 2003, 31(2), pp. 119–133. <https://doi.org/10.1080/09613210301997>
- [9] Ruben Vrijhoef, Lauri Koskela: The four roles of supply chain management in construction. European Journal of Purchasing & Supply Management, 2000, 6(3–4), pp. 169–178. [https://doi.org/10.1016/S0969-7012\(00\)00013-7](https://doi.org/10.1016/S0969-7012(00)00013-7)
- [10] M. Naim, J. Naylor, J. Barlow: Developing lean and agile supply chains in the UK housebuilding industry. In: Proceedings of the 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), 1999, pp. 159–170. <https://www.iglc.net/papers/Details/79>

Kudronné Berta Eszter¹, Kemes Balázs², Takács Lajos³,
Majorosné Lublóy Éva⁴, Perlakiné Patkó Csilla⁵

TÉPETT-FARKASOLT TEXTILHULLADÉK TÜZZEL SZEMBENI VISELKEDÉSÉNEK VIZSGÁLATA

EXAMINATION OF THE FIRE BEHAVIOR OF TORN AND SHREDDED TEXTILE WASTE

KIVONAT / HUN

A textilipar és az építőipar óriási ökológiai lábnyomát egyszerre lehetne csökkenteni, amennyiben a textilipar hulladékát épületek hőszigeteléseként tudnánk alkalmazni. Egy 2022-ben készült TDK munkában a textilhulladék hővezetési és hangelnyelési tényezőjét vizsgáltuk, melynek eredményei biztattak a további kutatásra. A textilhulladék építőanyagként való alkalmazásának egyik kritikus pontja az éghetőség, amely meghatározza a beépíthetőséget. 2023-ban készített TDK dolgozatomban célunk volt egy a textilhulladékból tépéssel, majd farkasolással előállítható vattaszerű anyag, mint hőszigetelő építőanyag tűzállóságának meghatározása, ezáltal az anyag beépíthetőségének körülhatárolása. A tűzvédelmi osztály szabvány szerinti besorolását becsültük meg az éghetőség, füstfejlesztés és az égve csepegés vizsgálatával. A vizsgálatokat kezeletlen, valamint égéskésleltető vízűveggel átitatott próbatesteken végeztük el.

Kulcsszavak: újrahasznosítás, körkörös gazdaság, textilhulladék, hőszigetelés, tűzvédelem, éghetőség

ABSTRACT / ENG

The huge ecological footprint of the textile and construction industries can be reduced simultaneously if textile waste can be used as thermal insulation in buildings. In a TDK work in 2022, we investigated the thermal conductivity and sound absorption coefficient of the textile waste, and the results encouraged further research. One of the critical points of the application of textile waste as a building material is its combustibility, which determines its buildability. In my TDK thesis in 2023, we aimed to determine the fire resistance of a cotton-like material, which can be produced from textile waste by tearing and then shredding, as a thermal insulation building material, and thus to delimit its buildability. The fire classification according to the standard was estimated by testing the combustibility, smoke generation and burning drip. The tests were carried out on untreated specimens and on specimens impregnated with flame retardant water glass.

Keywords: recycling, circular economy, textile waste, thermal insulation, fire protection, combustibility

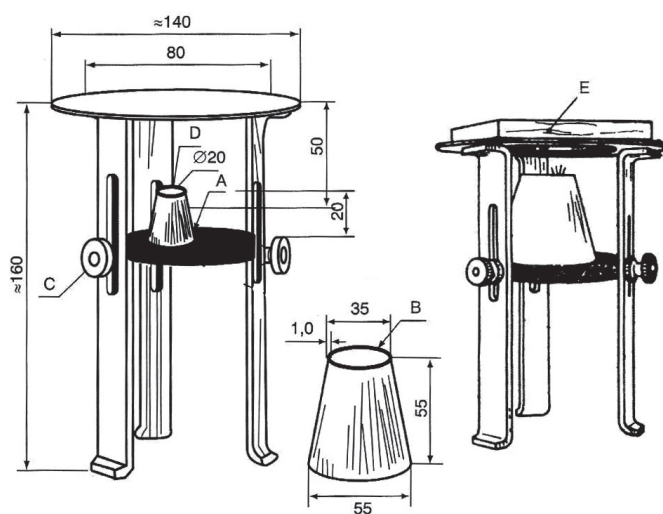
ektorált tartalom

¹ építészmérnök hallgató, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építészmérnöki Kar, e-mail: eszter.szolo@gmail.com
² okl. építészmérnök, DLA, egyetemi adjunktus, BME Építészmérnöki Kar, Középülettervezési Tanszék, e-mail: kemes.balazs@epk.bme.hu
³ okl. építészmérnök, tűzvédelmi tervező, PhD, tanszékvezető egyetemi docens, BME Építészmérnöki Kar, Épületszerkezetek Tanszék, e-mail: ltakacs@epsz.bme.hu
⁴ okl. építőmérnök, szerkezetépítő betontechnológus szakmérnök, tűzvédelmi tervező, DSc, habil., egyetemi tanár, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék, e-mail: lubloy.eva@emk.bme.hu
⁵ okl. építészmérnök, PhD, egyetemi adjunktus, BME Építészmérnöki Kar, Épületszerkezetek Tanszék, e-mail: cspatko@epsz.bme.hu

1. | HŐSZIGETELŐ ANYAGOK ÉS A FENNTARTHATÓSÁG

Mivel az építőipar globális energiafelhasználása, széndioxid kibocsátása és hulladéktermelése is évről évre növekszik, érdemes figyelmet fordítani arra, hogy épületeink szigetelő anyagainak primer energiatartalma alacsony legyen. Az épület ökológiai lábnyoma ugyanis nem csak az építkezés környezetterheléséből adódik, hanem a „cradle to cradle” („bölcsőtől bölcsőig”) elv alapján az építőanyagok legyártásától kezdve, a beépítésen keresztül, egészen a bontásig és a hulladékkezelésig minden folyamat környezetterhelését és energiafelhasználását számításba kell venni. A jelenleg leggyakrabban alkalmazott hőszigetelő anyagok azonban vagy kőolajszármazékok (polisztirolhab, poliuretánhab) vagy nagyon nagy a gyártási energiaigényük (üveggyapot, kőzetgyapot). Emiatt zajlik egyre több kísérlet természetes vagy hulladék alapanyagú szigetelések létrehozására, valamint csúcstechnológiával készülő, extra teljesítményjellemzőket elérő hőszigetelőanyagok megalkotására. A természetes vagy hulladék alapú hőszigetelő anyagok jellemzően alacsony gyártási energiaigény mellett gyárthatók, sokszor megkötött szén-dioxidot tartalmaznak, ezért az ökológiai lábnyom számításánál az alapanyagok nagyon alacsony, illetve hulladék esetén 0 értékkel bírnak. Esetükben felmerülő kérdés, hogy az alkalmazhatóság érdekében milyen mellékanyagokat alkalmaznak. A nanotechnológiás hőszigetelőanyagok a gyártási energiaigényt és a szintetikus alapanyagok lábnyomát a fajlagosan kisebb szükséges mennyiséggel kompenzálják.

A kutatás korábbi szakaszában sok szó esett a piacon fellelhető természetes vagy hulladék alapanyagú hőszigetelő anyagokról és az ilyen irányú kísérletekről [1] [2] [3]. Ezek közül most csak két pamut alapú hőszigetelő anyagokat gyártó céget említenénk. Az amerikai Bonded Logic Inc. Ultra Touch DENIM terméke 80%-ban használt farmerek feldolgozásával készít hőszigetelő paplant, míg a szlovák Envirotex, szélesebb körben használja fel a textilhulladékot – hőszigetelés mellett rezgésszigetelés, zajvédő falak és vízvizsszatartó feltöltések készítéséhez is gyártanak termékeket.



1. ÁBRA: Lindner-készülék [10]

A: acél égőtomb, B: kürtő, C: állítócsavar, D: pasztilla, E: próbatest

Az általunk vizsgált anyag a Fandaro szécsényi gyár terméke [4]. Ez a cég hazai szabászatokból, varrodákból gyűjti be a vegyes szálösszetételű anyagmaradékokat, melyeket aztán tépőgépekkel hosszúkas darabokra, majd farkasológépekkel vattaszerűvé alakítanak. A farkasológép (a kártológéphez hasonló) tűskés hengerek mozgatásával dolgozik, ezáltal a különböző textileket szálaira bontja. Az így előállított vattaszerű anyagból készített paplanokat mélyhűtött élelmiszerek biztonságos, hűtő nélküli szállításához forgalmazzák, jó hőszigetelő képessége és a gyártás körforgásos jellege miatt érdekes számunkra.

2. | A TŰZZEL SZEMBENI VISELKEDÉS VIZSGÁLATA

A rendkívül környezetterhelő divatiparban megjelenő nagy mennyiségű használatruha, textilhulladék, feltételezésünk és a fent említett néhány pozitív példa szerint hasznosítható lenne az építőipar számára alapanyagként. Definíció szerint az építési hőszigetelő anyagoknak a hővezetési tényezője $10\text{ °C-on mérvé } 0,06\text{ W/mK}$ érték alatt kell legyen, ezen kívül követelményértékek vonatkoznak egyéb fizikai tulajdonságaikra. Ilyenek a térfogat- és mérettartás, kártevőkkel szembeni ellenállóképesség, fizikai és kémiai stabilitás. A megfelelő tervezhetőség érdekében szükséges ismernünk az anyag tűz-, hő- és fagyállóságát, higroszkóposágát, páraáteresztő képességét [5]. Hasznos információ lehet a hőszigetelő anyagok esetén is valamely akusztikai jellemző. A pamutszálak előnyös tulajdonságai [6] alapján tett hipotéziseket – jó hőszigetelőképeség és zajcsillapítás – a korábbi TDK dolgozat [1] [3] keretében megvizsgáltuk tépett-farkasolt textilhulladékból készített próbatesteken. Ezen mérések biztató eredményei után felmerülő legfontosabb kérdés az éghetőség, tűzzel szembeni viselkedés, amely meghatározza a beépíthetőséget.

Első vizsgálatként az anyag gyúlékonyságát szükséges megnézni. EN ISO 11925-2 szabvány szerint kemencében pontszerű gyújtóforrással 15, illetve 30 másodperces kitéti idő alatti hatás figyelhető meg. A gyúlékonyság vizsgálatát végezhetjük az MSZ EN ISO 11925-2:2011 [7] szabvány alapján is. Az egyedi lángforrásos vizsgálat során direkt gyújtólángot alkalmaznak, gyulladást, lángterjedést és égve cseppegést figyelnek meg. A második vizsgálat egy égő tárggyal történő vizsgálat (EN 13823 szabvány szerint), amely az anyag belső sarokhelyzetben történő beépítése esetén egy kisebb lánghatást vizsgál, az összegyűjtött füstgázok elemzésével egyidejűleg.

2.1. A MÉRÉSI MÓDSZER

A kutatás jelenlegi stádiumában egy előzetes vizsgálatra került sor, amely a kutatást és anyagfejlesztést segíti egy későbbi szabványos vizsgálat előkészítéseként. Az előzetes vizsgálatot az építési faanyag beégésvizsgálatához használatos MSZ 9607-1:1983-as szabvány [8] szerinti Lindner-módszerrel végeztük. Ez lényegét tekintve a szabványos vizsgálatlal megegyező, azaz pontszerű gyújtóforrást alkalmaz, kis kitéti idő alatti hatást figyel meg. A kezeletlen próbatest-



2. ÁBRA: Gyúlékonyság vizsgálat a Lindner-módszerrel.

Balra: a próbatest nem gyullad meg, csak izzik (kevert szálás minta, 30 gramm kálvízűveggel).

Középen: a próbatest szenesedése terjed, erős füstképződés jelentkezik (kevertszálás minta, 10 gramm nátronvízűveggel).

Jobbra: a próbatest lánggal ég (kevert szálás minta, 20 gramm kálvízűveggel)

tek várható gyúlékonysága miatt ez a módszer *arányosabb* volt a kutatás jelen szakaszában. Különböző tulajdonságú próbatestek esetén figyelhettük meg az egységnyi lánghatásra bekövetkező égést, lángképződést, szenesedést, a beégési időt, a keletkező füst mennyiségét, színét, illetve az anyagok viselkedését. A vizsgálat folyamata: a Lindner-készülékbe **(1. ábra)** 1 gramm hexametilén-tetramin pasztillát helyezünk, meggyújtjuk, a lángra gyorsan acél kürtöt helyezünk, és a próbatestet a láng fölötti, környálással ellátott acéllemezre tesszük [9].

A kísérlet során a kezeletlen próbatestek mellett égéskésleltetővel kezelt mintákat is vizsgáltunk. Égéskésleltetőként kétféle vízűveget alkalmaztunk, mivel ezek viszonylag kis

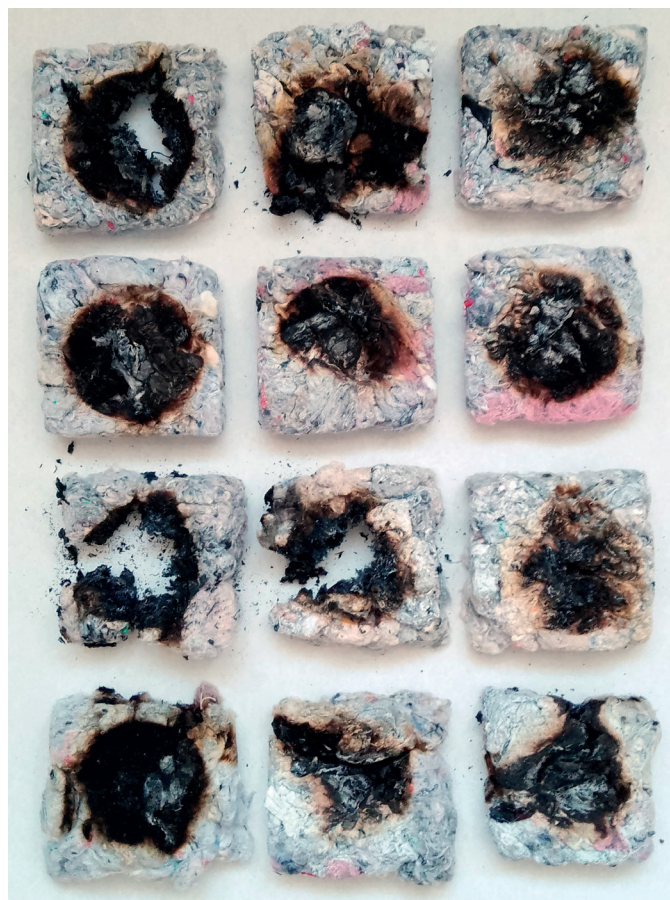
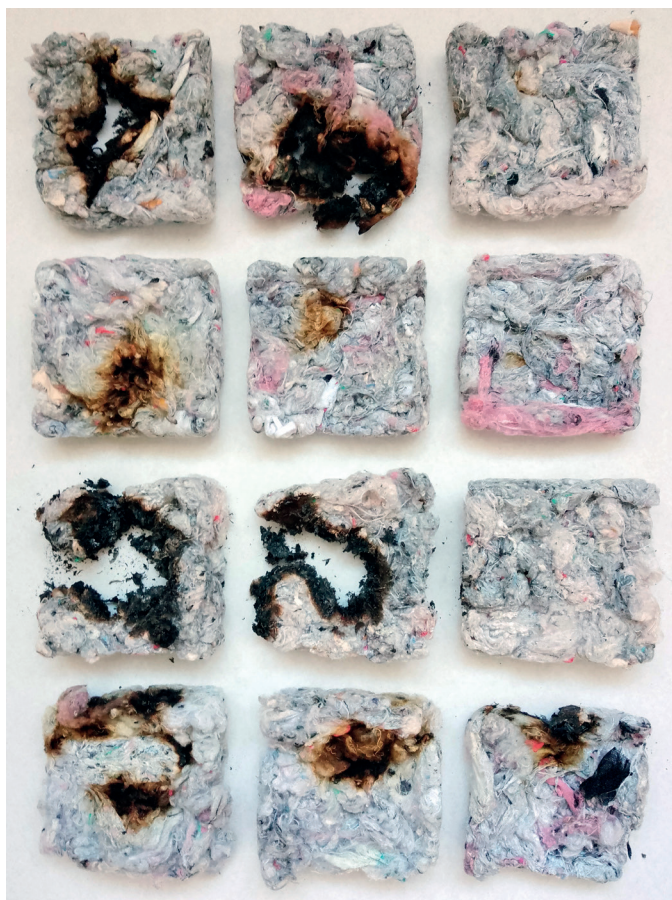
környezetterheléssel bírnak. A vízűveg olyan sóoldat, melyet akár házi körülmények között is alkalmaznak hőállóság, tűzállóság, időjárásállóság növelésére. Az oldat a levegő szén-dioxid tartalmának hatására megszilárdul, belőle kovasav válik ki. Használják betonfelületek és faanyagok impregnálására, stukkók készítése során, fémek javításához, de még víztisztító berendezésekben és az élelmiszeriparban is. A leggyakrabban nátronvízűveget (nátrium-szilikát) alkalmaznak, amelynek gyártása viszonylag egyszerű. A kálvízűveg (kálium-szilikát) hasonló tulajdonságokkal rendelkezik, azonban páraáteresztő. Egy szálás szerkezetű hőszigetelő anyagnak vélhetően alacsony a páradiffúziós ellenállása, így kálvízűveggel az előnyösebb, lélegző falszerkezet is kivitelezhető lenne.

2.2. PRÓBATESTÉK KÉSZÍTÉSE

A korábbi tanulmány alapján a textilhulladékból tépéssel, majd farkasolással előállított vatta hővezetési tényezője 60 kg/m^3 testsűrűsége a legalacsonyabb, a legjobb hőszigetelő, így jelen tanulmányban ilyen testsűrűségű próbatestet készítettünk. A szemléletesség kedvéért most csak egy változóval dolgoztunk, a vízűveg arányával. A $100 \times 100 \times 20$ mm-es próbatestek 12 gramm textilanyagot tartalmaznak. Ezekhez kevertünk hozzá 10, 20 és 30 grammnyi 36 tömegszázalékos nátron-, illetve 28 tömegszázalékos kálvízűveget **(2. ábra)**. Az anyag sűrűségének és vízűveggel való keveredésének homogenitására törekedtünk. Azt tapasztaltuk, hogy a vízűvegtől a textilszálak összeálltak, a vattacsomók egymáshoz tapadtak, a száradás során a próbatestek keménnyé váltak. Egyfajta referenciaként egy próbatestekkel azonos méretű EPS lapot is vizsgáltunk **(3. ábra)**.



3. ÁBRA: Az EPS minta a lánghatásra 10 másodpercen belül kiolvadt



4. ÁBRA: Próbatetek a vizsgálat sorrendje szerint rendezve: bal oldali képen a próbatetek felső felülete, a jobb oldali képen a próbatetek alsó felülete

3. | VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK

A kezeletlen próbatetek egyértelműen éghetőek, szinte azonnal meggyulladtak, lánggal, sok füsttel égnek, mely folyamat a lánghatás megszűnése után is folytatódik.

A kezelt próbatetek esetén érdekes tapasztalat a szálösszetétellel kapcsolatos összefüggés (4. ábra). A pamut szálak anyagok nem gyulladtak meg és nagyon kevés füstöt fejlesztettek, azonban a kevert szálak, kevesebb vízüveget tartalmazó minták átégtek. Ezen belül különbség mutatkozott a kétféle vízüveg között is. A nátronvízüveg esetén kisebb mértékű volt a szenesedés a pamut mintánál, a kevert szálak minták sem lánggal égtek, csupán füstölő parázssal égett át a minta. A kálivízüveg esetén a lassú parázslás nagyon sokáig fennmaradt a pamut mintánál, a kevert szálak minta pedig kisebb arányú vízüveg mellett lánggal égett.

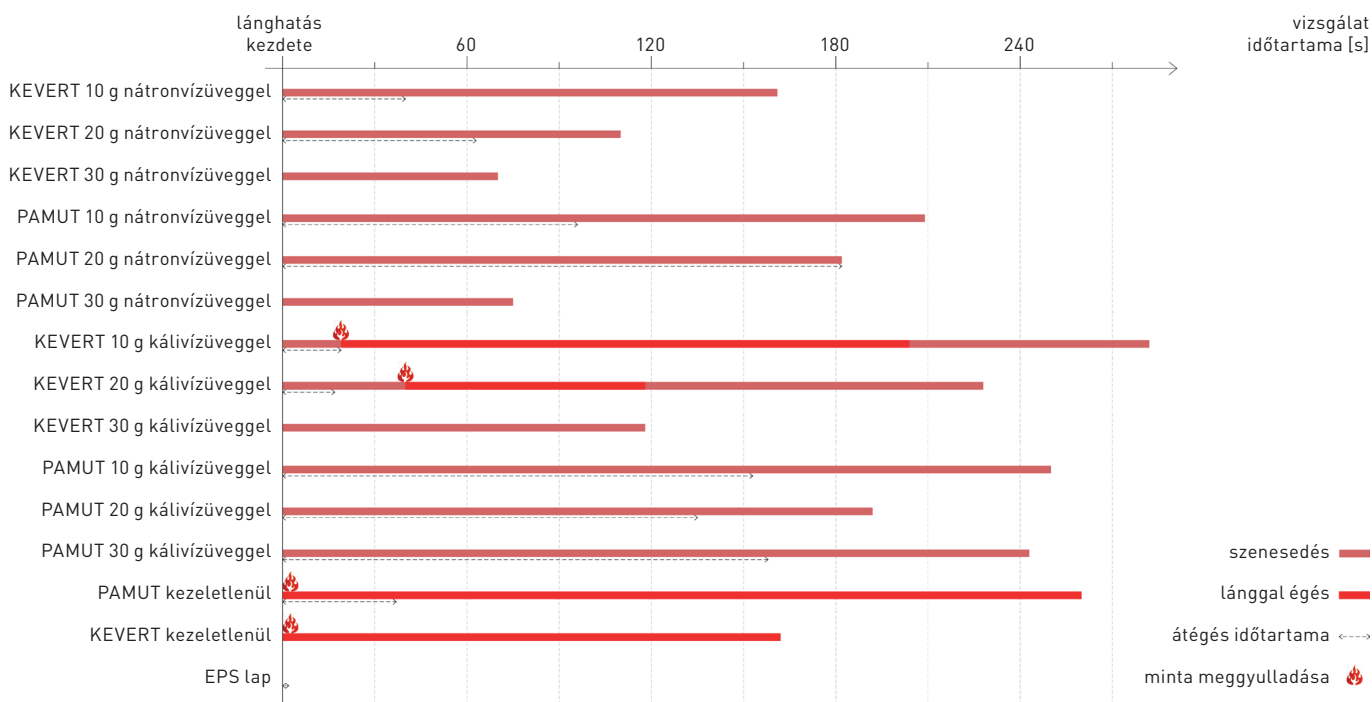
Jól látható balról jobbra haladva, ahogy nő a vízüveg aránya, a vízüveg hatására megnövekedett az anyag lánggal szembeni ellenállása. A második és negyedik sorba helyezett pamut minták esetén észrevehető, hogy a láng és hő hatása inkább szenesedés formájában érzékelhető, azonban elég jól lefojtják a tüzet a pamutszálak. A kálivízüveg kezelés után (alsó, negyedik sor) a mintákon kizárólag szenesedés, izzó parázssal történő átégés figyelhető meg, mely a kálivízüveg növekvő arányában egyre kisebb felületen történt.

Egymáshoz viszonyítva (5. ábra) a vízüveggel kezelt mintákat, azt állapíthatjuk meg, hogy a pamut szálak próbatetek jobban ellenálltak a lánghatásnak, a kevert szálak mintákhoz képest sokkal lassabban jelentkezett bármilyen hatás, nem kaptak lángra, lassabban és kevésbé szenesedtek el. A különbséget feltehetően az okozza, hogy a pamutszálak könnyebbek, így ezek a próbatetek azonos testsűrűség mellett jóval tömöttebb mintákat alkottak. A sűrűbb szálak közötti kevesebb levegő jelenléte a mintában a láng lefojtását, a hő lassabb terjedését eredményezte.

Az összes próbatestre igaz, hogy a belsejében létrejött parázs sokáig fennmaradt, a szenesedés lassan továbbterjedt. Az építőanyagként történő beépítés során ez fontos információ, mivel tüzeset után még sokáig rejtett tűzfészekként jelentene problémát az anyag sajátos viselkedése.

4. | BEÉPÍTHETŐSÉG

A vizsgált anyag kezeletlen formában várhatóan az E tűzvédelmi osztályba lenne besorolható az MSZ EN 13501-1:2007+A1:2010 [11] szabvány szerint, mivel nagyon nagy a részvétele a tűzben, 10 perc eltelté előtt meggyullad. Fontos tulajdonsága, hogy éghető, égve nem csepeg, de füstfejlés jelentős. A vízüveggel kezelt anyag elérheti a D-s2,d0



5. ÁBRA: A vizsgálati eredmények grafikusán ábrázolva

tűzvédelmi osztályt, a pamutszálas vízűveggel kezelt anyag pedig akár a D-s1,d0 osztályt is, ugyanis a megfelelő esetekben 2 perc eltelte után gyulladt meg, illetve terjedt át a szenesedés az anyag túlsó felületére, de 10 perc előtt; részvétele a tűzben lényeges, füstfejlesztése nagyon alacsony vagy közepes, égve csepegés nem tapasztalható.

Az Országos Tűzvédelmi Szabályzat [OTSZ] [12] szerint csak 150 °C-nál magasabb gyulladási hőmérsékletű építőanyag építhető be. A második melléklet táblázatai alapján E tűzállósági osztályú hőszigetelőanyag beépíthető lapostetők és alacsony hajlású tetők esetén az összes kockázati osztályban, amennyiben réteges szerkezeti kialakításban az elvárt tűzállósági teljesítmény-jellemzőket (R, E, I) önmagában a födém teljesíti; lapostetők és alacsony hajlású tetők esetén NAK (nagyon alacsony kockázatú) és AK (alacsony kockázatú) kockázati osztályban, amennyiben kötött rétegrendben vizsgálattal igazolt a szerkezet; magastetők, beépített tetőtér esetén NAK mértékadó kockázati osztályú, csak egy lakást tartalmazó lakóépület vagy lakó rendeltetésű önálló épület-rész esetén.

A OTSZ 24-26.§ szerint nem szükséges homlokzati tűzterjedés elleni védelmet biztosítani, azaz D és E tűzállósági osztályú hőszigetelőanyag is beépíthető átszellőztetett légréssel szerelt homlokzati fal esetén kizárólag a lábazati zónában; egy tűzzszakason belül az ipari, mezőgazdasági, tárolási célú, maximum kétszintes és 500 m²-es alapterületű helyiségcsoport homlokzatán, mely kiürítés első szakaszában kiüríthető; egy tűzzszakason belül nyílás nélküli lábazati fal esetén; egy tűzzszakason belül tűzterjedés szempontjából egy légtérrel képező helyiséghez tartozó homlokzaton; egy tűzzszakason belüli egyszintes épület homlokzatán; egy tűzzszakason belüli, legfeljebb háromszintes egyalakos lakóépület, vagy üdülő homlokzatán.

D osztályú hőszigetelő anyag általános helyeken beépíthető, E osztályú hőszigetelő anyag csak akkor, ha vizsgálatilag igazoltan teljesíti a homlokzati tűzterjedési határérték-követelményt vagy homlokzati tűzterjedési gátat építenek be. A határérték-követelményeket az OTSZ 26.§ 3) bekezdése tartalmazza, a 4) bekezdésben a kivételekkel – például nem kell betartani a 15 perces tűzterjedési határérték-követelményt, amennyiben az épület legfeljebb háromszintes és NAK, AK vagy KK (közepes kockázati osztályú) mértékadó kockázati osztályba tartozik. Ezek a kivételek még így is elég széles használhatóságot jelentenek, gondoljunk csak a jellemzően E tűzvédelmi osztályú EPS hőszigetelőlapok alkalmazásának gyakoriságára.

5. | KONKLÚZIÓ

A vizsgált anyag építőanyagként való alkalmazásának lehetőségét nem zárja ki az éghetősége. Természetesen még számos további kísérlet és vizsgálat szükséges ahhoz, hogy építőanyagként lehessen hasznosítani a textilhulladékot. A mostani kutatás viszont megerősítette, hogy érdemes folytatni a munkát. A kísérletsorozat alkalmával nem várt összefüggések tárultak fel, amelyeket érdemes lenne alaposabban vizsgálni, hiszen alapvetően határozták meg a próbatestek viselkedését. Az anyag inhomogenitására való tekintettel nagyobb számú kísérlet után lenne lehetőség kiválasztani külön a pamut és külön a kevert szálas próbatestekre vonatkozóan egy optimálisnak nevezhető vízűveg arányt – optimalizálni az éghetőséget és a vízűveg általi ökológiai terhelést –, és ezzel újra hővezetési tényező méréseket végezni. Nehéz kérdésnek tűnik, de a hővezetési tényezővel összefüggésben a testsűrű-

séget is optimalizálni kellene a két előző tulajdonság függvényében. Valószínűsíthetően romlik az égéskésleltetővel kezelt anyag hőszigetelő képessége, mivel itt az anyag testsűrűsége és jellege is megváltozott a vízüveg hatására. *E három tényező közötti optimális egyensúly vizsgálata egy következő kutatás feladata.* Fontos lenne a későbbiekben az építőanyagokra speciálisan vonatkozó szabványos vizsgálatok elvégzése.

Sajnos a pamutgyártásra és textiliparra jellemző számtalan vegyi anyag használata [13], melyek a ruhadarabok értékesítése, használata után is részben megtalálhatóak az anyagban [14]. Ezen vegyi anyagok főként az illékony szerves vegyületek kipárolgása miatt kérdésesek, azonban gyártói tájékoztatás hiányában és az anyagösszetétel sokfélesége miatt ezt csak nagyon nagy számú anyagminta bevizsgálásával lehet ellenőrizni. A fentiek mellett érdemes lenne megvizsgálni az anyag roskadását, nedvességre való érzékenységét, mindezen jellemzők értékét pontosabban ismert, különböző arányú szálösszetétellel.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **Kudronné Berta Eszter:** Tépett-farkasolt textilhulladék tűzzel szembeni viselkedésének vizsgálata. TDK dolgozat, BME Építésmérnöki kar, Speciális épületszerkezetek szekció, 2023, <https://tdk.bme.hu/conference/EPK/2023/sessions/Epszerk3/paper/Tepettfarkasolt-textilhulladek-tuzzel>
- [2] **Kudronné Berta Eszter:** Textilhulladék hasznosítása az építőiparban. TDK dolgozat, BME Építésmérnöki Kar, Zöld szekció, 2022, <https://tdk.bme.hu/conference/EPK/2022/sessions/Zold2/paper/Textilhulladek-hasznositasa-az-epitoiparban>

- [3] **Kudronné Berta Eszter, Dr. Kemes Balázs, Dr. Nagy Balázs, Nagy Attila Balázs, Dr. Perlakiné Dr. Patkó Csilla:** A textilhulladék hasznosítási lehetőségei az építőiparban, Magyar Építőipar 71. évf. 3. szám (2022), 123-128. o., DOI10.17168/MEIP.2022.71.123, <https://ojs.magyarepitoipar.com/index.php/MEI/article/view/2022-3-3>
- [4] **I:** Cold-chain packaging box insulation liners for frozen products. Webhely, <https://fandaro.eu/>
- [5] **Bozsaky Dávid:** Építési hőszigetelő anyagok, TERC Kft., Budapest, 2017., 220 o.
- [6] **Bozsaky Dávid:** Pamut alapanyagú hőszigetelések, Magyar Építéstechnika 57. évf. 8-9. szám (2019), 42-44. o.
- [7] **MSZ EN ISO 11925-2:2020** Tűzzel szembeni viselkedési vizsgálatok. Építési termékek gyúlékonysága közvetlen lánghatásra. 2. rész: Vizsgálat „egyetlen láng” gyújtóforrással
- [8] **MSZ 9607-1:1983** Égéskésleltető szerrel kezelt fa és fahelyettesítő anyagok vizsgálata. Az égéskésleltetés hatékonyságának vizsgálata és minősítése Lindner-módszer alapján
- [9] **Bíró András, Földes Tamás, Bíró Boglárka, Lublőy Éva:** Az építőiparban használt fa vizsgálata CT-vel. Védelem és Tudomány: Katasztrófavédelem online tudományos folyóirat 6. évf. 2. sz. (2021), 19-36. o., <https://ojs.mtak.hu/index.php/vedelemtudomany/article/download/13458/10862/>
- [10] **Németh L.:** 9. Faszerkezetek tűzállóságának tervezése, 9.3 Az égéskésleltető anyagok hatásmechanizmusai. In: Faanyagok és faanyagvédelem az építőiparban, Agroinform Kiadó, Bp., 2003.
- [11] **MSZ EN 13501-1:2007+A1:2010** Épületszerkezetek és építési termékek tűzvédelmi osztályozása. 1. rész: Osztályba sorolás a tűzvesélyességi vizsgálatok eredményeinek felhasználásával
- [12] **54/2014. (XII. 5.) BM rendelet** az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról. <https://njt.hu/jogszabaly/2014-54-20-0A.4>
- [13] **Alden Wicker:** Fast fashion is creating an environmental crisis. Newsweek Magazine, 2016.09.01., <https://www.newsweek.com/2016/09/09/old-clot-hes-fashion-waste-crisis-494824.html>
- [14] **Giovanna Luongo:** Chemicals in textiles – A potential source for human exposure and environmental pollution. PhD értekezés, Stockholmi Egyetem, 2015, <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:850089/FULLTEXT02.pdf>

Ördög Rita Rebeka¹, Szűrös Zsolt², Horváth Tamás³

NAGY FELÜLETEN ÜVEGEZETT ÉPÜLETEK ENERGETIKAI VIZSGÁLATA

ENERGY ANALYSIS OF BUILDINGS WITH A LARGE GLAZED FACADE

KIVONAT / HUN

A modern építészeti az ipar és a technológia fejlődésével újszerű lehetőségeket hozott. Többek között, lehetségessé vált a külső és belső tér transzparens szerkezetekkel történő vizuális összekapcsolása a klimatikus elválasztás biztosításával együtt. A cikkben egy esettanulmány vizsgálatán keresztül, arra keressük a választ, hogy a nagy felületen üvegezett épületek energetikai viselkedésének megismerésében, a hőnyereségek és hőveszteségek számítására milyen lehetőségeink vannak a rendeletben szabályozott energetikai számítások keretei között, az egyszerű és részletes számítási módszerekkel; hogy ezen épületek energetikai megfeleltetésében milyen szerepet játszik a passzív szoláris hőnyereségek; hogy a szerkezeti megoldások alapesetei közül a két- vagy háromrétegű üvegezés, a belső és külső oldali árnyékolás alkalmazása előnyösebb-e a belső tér komfortjának megteremtése érdekében. A vizsgálatokat a TNM rendelet és a 2023 novemberétől hatályos ÉKM rendelet szabályai szerint is elvégeztük. A kutatás alapján megállapítottuk, hogy energetikai szempontból a háromrétegű üvegezés és a külső oldali mozgatható árnyékolás bizonyul a legjobb választásnak.

Kulcsszavak: energetikai szabályozás, nagy felületen üvegezett épületek, két- és háromrétegű üvegezés, árnyékolás, szoláris energianyereség

ABSTRACT / ENG

Modern architecture brought new possibilities with the development of industry and technology. Among other things, it has become possible to visually connect the exterior and interior with transparent structures while ensuring climatic separation. In this article, through the examination of a case study, we are looking for the answer to what possibilities do we have in learning about the energetic behaviour of buildings with large glazed areas, for calculating heat gains and heat losses within the framework of regulated energy calculations, the simple and detailed calculation methods; what role does passive solar heat gain play in the energetic compliance of these buildings; that among the basic cases of structural solutions, two- or three-layer glazing, internal and external shading, the use of which is advantageous in order to create the comfort of the interior space. The investigations were carried out according to the calculations of TNM Decree and the rules of ÉKM Decree, effective from November 2023. Based on the research, we found that from an energy point of view, three-layer glazing and movable shading on the outside prove to be the best choices.

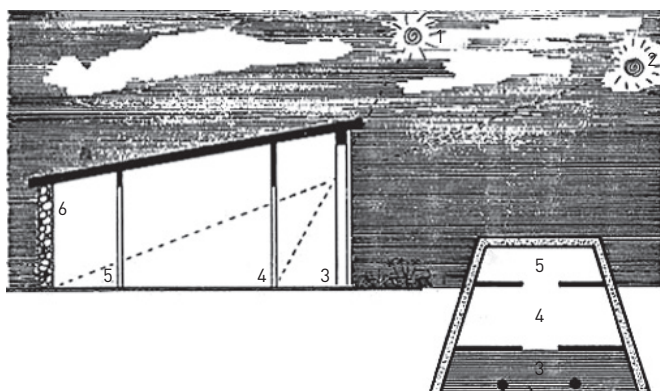
Keywords: energy regulations, large glazed buildings, double and triple glazing, shading, solar energy gain

¹ okl. építésmérnök, egyetemi tanársegéd, Széchenyi István Egyetem, Építészeti és Épületszerkezet-tani Tanszék, e-mail: ordogrita2@gmail.com

² okl. építésmérnök, egyetemi tanársegéd, Széchenyi István Egyetem, Építészeti és Épületszerkezet-tani Tanszék, e-mail: szuros98@gmail.com

³ okl. építésmérnök, PhD, egyetemi docens, Széchenyi István Egyetem, Építészeti és Épületszerkezet-tani Tanszék, e-mail: htms@ga.sze.hu

A cikk a szerzők azonos című TDK munkája alapján készült, melyet előadtak a 37. OTDK Műszaki Tudományi Szekcióján Debrecenben.



1. ÁBRA: Szókratész napháza [1]

1: nyári napállás, 2: téli napállás, 3: fedett terasz, 4: lakóter, 5: tároló, termikus védőzóna, 6: északról védelmet biztosító fal

1. | TRANSPARENS SZERKEZETEK AZ ÉPÜLETEKEN

A fejlett épületszerkezeti- és a magas komfortot biztosító épületgépészeti megoldásoknak köszönhetően egyre gyakrabban építünk nagy felületen üvegezett épületeket, melyekben az üvegezések alkalmazása az esztétikai előnyök mellett számos energetikai kihívással jár együtt. Kiemelten figyelembe veendő ezek közül az üvegházhatás jelensége, mely nyáron jelentős túlmelegedéshez vezethet, rontva a komfortérzetet a belső terekben.

1.1. TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS

Kezdetben a belső terek megvilágításának nem volt akkora jelentősége, az üvegfelületek alkalmazása a technikai lehetőségek bővülésével jelent meg az épületeken. A barlangokban a nyílásokat csak a be- és kiközlekedésre használták, esetleg a füst kivezetésére. Mezopotámiában a házakon már megjelentek apró nyílások, melyeket állati bőrdarabokkal takartak le, ezzel szabályozva a fény bejutását és a szellőztetést. Az ókori görögök idejéből érdemes megemlíteni Szókratész nap-

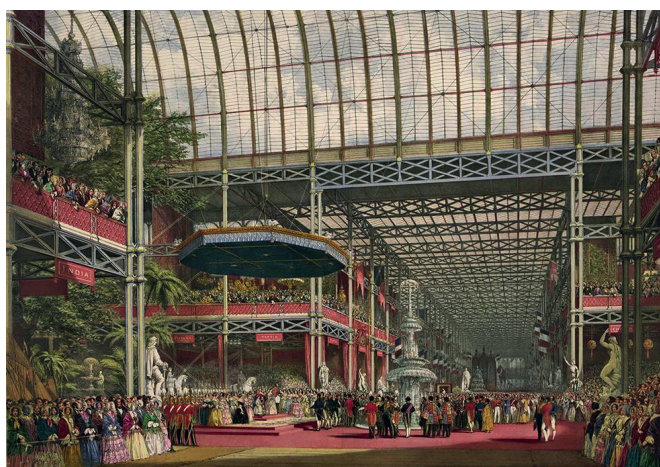


2. ÁBRA: A párizsi Sainte-Chapelle belső tere (fotó: HT)

házát. Elmélete szerint az 1. ábrán látható módon az épületnek nyitnia kell dél felé, de úgy, hogy csak az előteret ériék a napsugarak nyáron, télen viszont az alacsonyabb hajlásszögű sugarak a lakóterbe is behatolhassanak; az épület északról legyen zárt, sőt a lakóteret egy puffer zóna is védje [1].

Az ezt követő évszázadokban szépen lassan megjelentek az épületeken az üvegezett felületek és nyílászárók, melyek kézműves módszerekkel készültek és jelentős értéket képviseltek. Nagyméretű üvegfelületekkel először a gótikában találkozhatunk (2. ábra), főként a szakrális épületekben. A rendkívül dekoratív transzparens szerkezetek mint „áttetsző faliképek” [2] kő keretekbe készültek, melyekben a kisméretű, színes üvegeket olómmal építették össze [3]. A polgári épületeken fokozatosan jelentek meg az egyre nagyobb méretű ablakok, egyre nagyobb üvegtáblákkal, melyet a síküveggyártás fejlődésének köszönhetünk.

Az ipari forradalom lehetővé tette a nagyobb és olcsóbb üvegtáblák, valamint a bonyolultabb és erősebb acélszerkezetek alkalmazását. A Paxton tervéből 1851-ben megépülő Kristálpalotában (3. ábra) [4] már hatalmas méretű tisztán üvegezett térelhatároló felületekkel találkozhattak a korabeli látogatók. Normann Foster ehhez az épülethez köti a modern építészet megszületését [5].



3. ÁBRA: A Kristálpalota belső tere [5]



4. ÁBRA: A Farnsworth-ház „belső” tere [6]

A korai modern építészetben Mies van der Rohe munkáiban megjelennek a függönyfalak (például a New York-ban található Seagram Building) és a természettel kapcsolatot létesítő lakóházak (például a Farnsworth-ház, **4. ábra**). Ez utóbbi egy új szerepet ad az üvegezésnek, ami nagy és transzparens felülete révén kapcsolatot tud teremteni a természetes külső tér és a belső tér között. Ez a szerep napjainkban már szinte természetes elvárás a nyílászáró szerkezetekkel szemben.

A XX. században a fejlettebb szerkezetek alkalmazásával az üvegházhatás jelensége egyre nagyobb problémákat okozott. Korábban a rossz hőszigetelésű és légzárású szerkezeteken keresztül sok volt a hőveszteség, így nem jelentett gondot a belépő jelentős napsugárzás. Napjainkban a kétrétegű üvegezést felváltja a jobb hőszigetelő képességű háromrétegű üvegezés, melyeken speciális bevonatokat alkalmazunk a hőnyereség megtartása érdekében. Az új nyílászárók tömítettsége szinte nullára csökkenti a filtrációs hőveszteséget. Így az üvegházhatás révén keletkező belső hőnyereség igen nagy hatékonysággal reked meg az épületben, ami komfort problémákhoz vezethet. A túlmelegedés elkerüléséhez fokozott tervezői odafigyelésre, részletes számításokra van szükség, melyet a hatályos szabályozás is szorgalmaz.

1.2. A TRANSZPARENS SZERKEZETEK ALKALMAZÁSÁNAK AKTUÁLIS KÉRDÉSEI

Az Európai Unió vonatkozásában az épületek a teljes végső energiafelhasználás körülbelül 40%-át használják fel, míg a teljes CO₂-kibocsátás 36%-át fogyasztják [7]. Az elmúlt években már nemzetközi szinten is többet foglalkoztatott a nyílászárók energetikában betöltött szerepe.

Például egy norvég kutatás [8] a sötétedő, elhomályosodó üvegek alkalmazásával foglalkozott, mely az épület energiafelhasználásának csökkenését eredményezheti, a hűtési- és fűtési, illetve a világítási költségeket figyelembe véve. A kutatás alapján legígéretesebbnek az elektrokromatikus üvegezések tűnnek. Egy friss közel keleti hotel épületeket vizsgáló kutatás [9] megállapította, hogy az épületekbe épülő hatékony passzív rendszerek – különös tekintettel az árnyékolásra és a hőszigetelésre – tervezése szorosan összefügg az éghajlattal, a földrajzi elhelyezkedéssel, a nyílások arányával és a geometriával. Yiqian Zheng és társai kutatásukban vizsgáltak egy

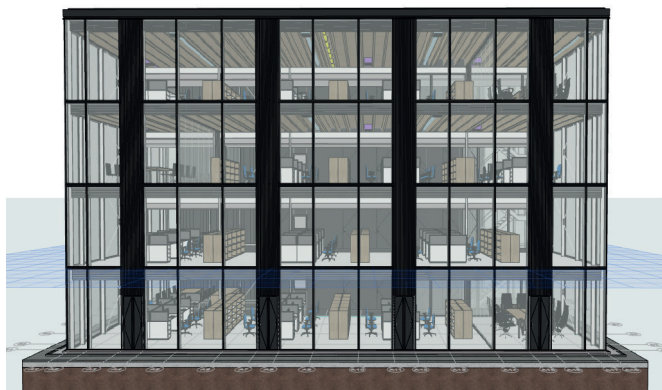
különleges félárnyékoló rendszert, melynek értékelésénél három fontos mutatót vizsgáltak: a tér nappali megvilágítását, a térbeli nappali fény vakításának valószínűségét és a teljes energiafogyasztást. Kutatásuk eredményeképp megállapították, hogy a különböző éghajlati és fényviszonyoktól függően a vizsgált árnyékoló esetében fontos, hogy állítható legyen az árnyékoló lécek száma és azok elfordulási szöge [10].

1.3. KUTATÁSUNK CÉLJAI

Kutatásunk célja az volt, hogy a nagy felületen üvegezett épületek energetikai viselkedését vizsgáljuk egy esettanulmányon keresztül, a rendelkezésünkre álló szabványos vizsgálati módszerekkel. Célunk volt, hogy kimutassuk az elérhető passzív eszközök – a két- és háromrétegű üvegezés, illetve az árnyékolás különböző megoldásainak – energetikai hatékonyságát, és meghatározzunk olyan előnyös kombinációkat, melyekkel az épületek energetikailag jobba tehetőek. A kutatási téma jellemzően magyar vonatkozású, hiszen egy a magyarországi jogszabályi környezetbe ültetett épületen végeztük el a kutatást, ami egyszersmind alkalmat adott arra is, hogy megvizsgáljuk az energetikai szabályozás üvegezett szerkezetekre vonatkozó aktuális változásait is.

2. I A VIZSGÁLT ÉPÜLET BEMUTATÁSA

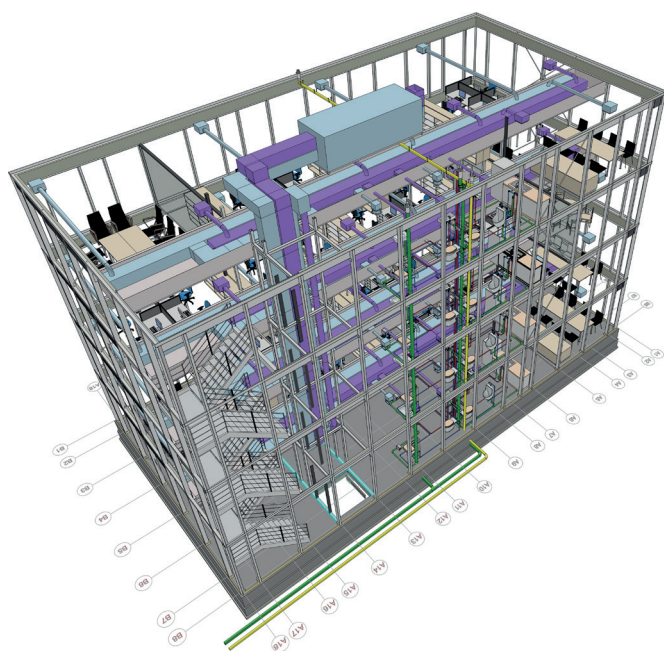
Az **5. ábrán** látható a tanulmány készítése során esettanulmányként vizsgált épület modellje. A „Demountable Office Building” (szétbontható irodaépület) megnevezésű épületet a Cepezed építésziroda tervezte 2019-ban és Delftben (Hollandia) épült meg 2020-ban. Az épület egy 3-4 szintes épületekkel viszonylag sűrűn beépített területen áll (**6. ábra**) [11]. Az irodaépület téglalap alaprajzú, kubus jellegű tömeggel rendelkezik, és 930 m² hasznos alapterületű. A négyszintes épület három oldalról teljes felületen üvegezett, így jelentősen éri napsugárzás az üvegezett homlokzatokon. Az épület érdekessége, hogy a „bölcsőtől bölcsőig” elv szerint tervezték, így környezeti hatásait tekintve példaértékű, moduláris elemek köszönhetően élete végén darabokra szerelhető, így szerkezeti elemei újrahasználatosá válnak [12] [13].



5. ÁBRA: Az irodaépület BIM modelljéről készített perspektív nézet [14]



6. ÁBRA: A delfti épület és környezete a Google SteetView felvételén [11]

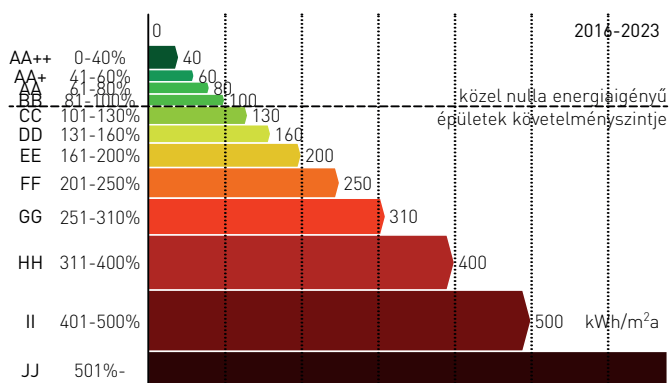


7. ÁBRA: A Demountable Office Building gépészete a BIM modellben [14]

Az esettanulmány épületről először egy BIM modell készült [14], majd ezt követően kezdődhetett meg az energetikai vizsgálata. Az épületet elvi szinten átemeltük a magyarországi éghajlati körülmények közé, és a magyar energetikai szabályozás szerint vizsgáltuk. Az irodaház fűtött térfogata $V=2884 \text{ m}^3$, melyet $A=1367 \text{ m}^2$ lehűlő felület ölel körbe. A rendkívül kompakt épület A/V aránya 0,47. A homlokzati felületek több mint 60%-át adják transzparens szerkezetek, a következő elosztásban:

- 228 m^2 délkeleti tájolással,
- 139 m^2 délnyugati tájolással,
- 117 m^2 északkeleti tájolással,
- 44 m^2 északnyugati tájolással.

Az irodaépület a BIM modellünkben (7. ábra) és az energetikai számításban is elektromos üzemű, hőszivattyús hőtermelővel működik, ami a fűtésről és a használati melegvíz ellátásról egyaránt gondoskodik. Hűtését légkondicionáló osztott kivitelű folyadék-hűtő biztosítja. Szellőztetése 90%-os hatásfokú hővisszanyeréssel működik.



8. ÁBRA: Lakóépületek épületenergetikai osztályai a TNM rendelet szerint (balra) és az ÉKM rendelet szerint (jobbra)

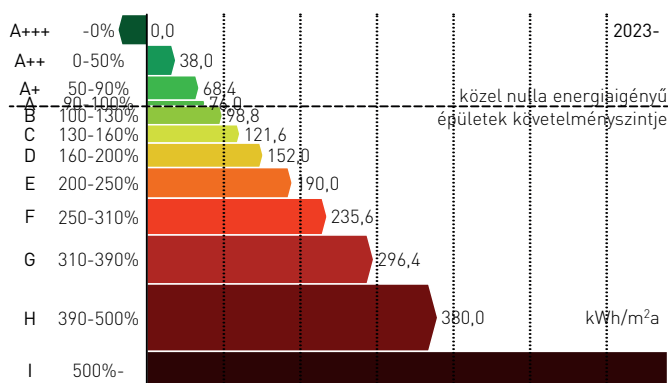
3. | ÜVEGEZETT ÉPÜLETEK ENERGETIKAI VIZSGÁLATA

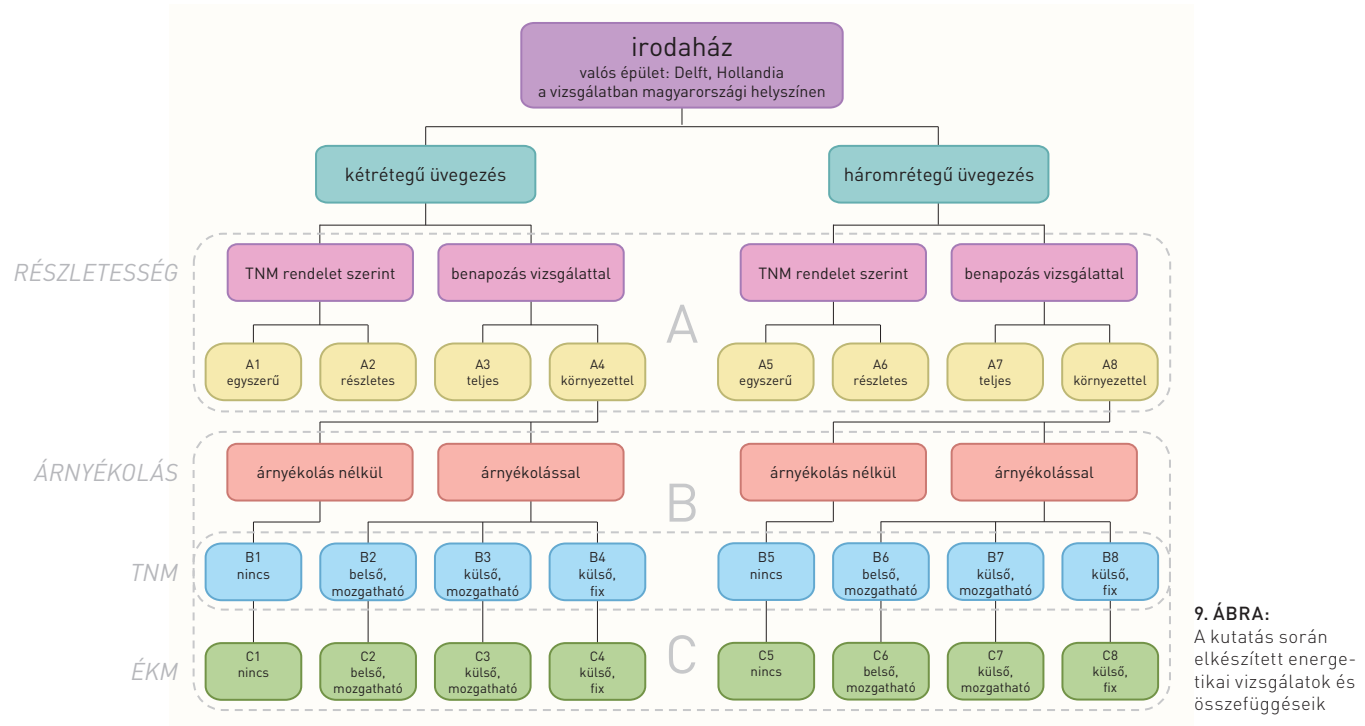
3.1. ÉPÜLETENERGETIKAI SZABÁLYOZÁS

Az Európai Unió direktívákkal szabályozza az energetikai törekvéseket, melyek Magyarországon is meghatározó erővel bírnak. A kapcsolódó legfontosabb uniós direktíva az EPBD (Energy Performance of Buildings Directive). Ennek első változata a 2002/91/EK irányelv, melyet azóta többször felülvizsgáltak. Így születtek meg a 2010/31/EU, a 2018/844/EU és az EU/2024/1275 irányelvek, melyek alapján a magyar szabályozás is számos változáson ment keresztül [15] [16] [17].

Az épületenergetikai szabályozás 2023-ban történt változásai a 2018-as EPBD módosításhoz történő igazodást valósították meg a korábbi 7/2006. TNM rendelet [18] leváltásával és a 9/2023. ÉKM rendelet [19] hatályba lépésével. A TNM és az ÉKM rendelet szerinti számítások közötti legfontosabb különbségek az alábbiak [20] [21]:

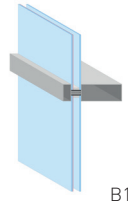
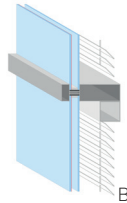
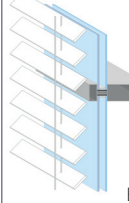
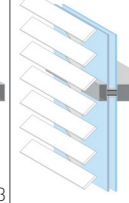
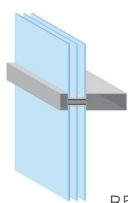
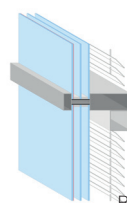
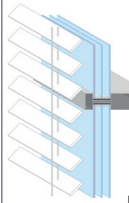
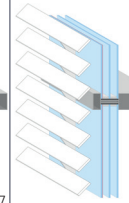
- A szerkezetekre vonatkozó hőátbocsátási tényező követelmények értékei kis mértékben változtak.
- A TNM rendeletben csak könnyű és nehéz épületeket különböztettünk meg, azonban az ÉKM rendeletnél már négy kategória közül kell választani.
- Lényeges változtatás, hogy a szezonális számítási módszerek helyett az elmúlt évekre jellemző meteorológiai adatok alapján már havi számítási módszereket alkalmazva kell meghatározni a fűtési és hűtési energiaigényeket.
- Az épülettechnikai rendszerek igényeit új primerenergia átalakítási tényezőkkel kell számítanunk.
- A TNM rendelet alapján a nyári túlmelegedés kockázatát minősítettük, az ÉKM rendeletben ezt felváltotta a nyári hővédelem vizsgálata, ami egy egészen új megközelítés.
- Az összesített energetikai jellemző követelményértékei szigorodtak. A korábbi lakó-, oktatási és irodaépületekre meghatározott követelmények helyett már csak a lakóépületekre találunk konkrét számszerű követelményeket.
- A tanúsítás besorolási skálája megváltozott (8. ábra), eddig a BB osztály felelt meg a közel nulla energiaigénynek, ezt most már az A kategória jelenti.
- A sokat vitatott 25%-os megújuló energia részarány követelményét kiveztették, helyette az energiafogyasztásból származó CO_2 kibocsátását kell kimutatni és minősíteni.





3.2. A KUTATÁS MÓDSZERTANA

A kutatás során alapvetően az vizsgáltuk, hogy a hatályos energetikai szabályozás alapján, szoftveres segítséggel elvégzett energetikai számítások milyen lehetőségeket nyújtanak a tervezők számára a nagy felületen üvegezett épületek energetikai viselkedésének elemzésére. Kutatásunk esettanulmány jellegű, mivel egy épületen vizsgáltunk meg többféle számítási módszert, többféle szerkezeti kialakítás esetén. Közben arra kerestük a választ, hogy milyen módszerekkel csökkenthető az épület túlmelegedése, hogyan befolyásolható az üvegházhatás kialakulása.

	árnyékolás nélkül	belső mozgatható árnyékolással	külső mozgatható árnyékolással	külső fix árnyékolással
kétrétegű üvegezés	 B1	 B2	 B3	 B4
háromrétegű üvegezés	 B5	 B6	 B7	 B8

10. ÁBRA: Az épület üvegezésének nyolc vizsgált változata

Az energetikai számításokhoz az Auricon Energetic szoftvert alkalmaztuk, mely a TNM és az ÉKM rendelet szabályait alkalmazó igazolt, hitelesített és elfogadott tanúsítószoftver. A következő vizsgálatokat folytattunk le (9. ábra):

- Minden vizsgálatot elvégeztünk a legelterjedtebben alkalmazott két- és háromrétegű üvegezéssel is.
- Elsőként a szoláris nyereségek négy különböző részletes-szerű számítását hasonlítottuk össze:
A1 és A5 a TNM rendelet szerinti egyszerűsített módszert, mely minden nyílászárót északi tájolásúként kezel;
A2 és A6 a TNM rendelet szerinti részletes módszert, melyben a nyílászárókat égtájak szerint (déli, keleti/nyugati és északi) különböző besugárzási értékekkel számít;
A3 és A7 az Auricon szoftver részletes módszerét, mely online adatbázisból vett, helyszínhez kötött adatokkal számítja az energiahozamot; és végül
A4 és A8 az Auricon részletes módszerét oly módon, hogy az épület környezetét is modelleztük, hogy a környezet árnyékolása is figyelembe vehető legyen.
- A második körben az üvegezett felületek árnyékolási megoldásait vizsgáltuk az Auricon szoftver kínálta legrészletesebb számítási módszer segítségével, a környezetet is figyelembe véve (10. ábra). A vizsgált esetek voltak:
B1 és B5 árnyékolás nélküli felület,
B2 és B6 belső oldali mozgatható árnyékoló,
B3 és B7 külső oldali mozgatható árnyékoló (zsaluzia),
B4 és B8 külső oldali fix árnyékoló (fém lamella).
- A harmadik körben, az energetikai szabályozás változása után megvizsgáltuk, hogy a korábban TNM rendelet szerint elkészített számításaink, milyen eredményeket hoznak, ha a hatályos ÉKM rendelet szerint is elkészítjük őket. A két rendelet számítási módszereinek összehasonlításához az árnyékoltságot vizsgáló legrészletesebb, a környezetet is figyelembe vevő számításokat vettük alapul.

4. | A VIZSGÁLATOK ÉS EREDMÉNYEIK

4.1. SZÁMÍTÁSOK KÜLÖNBÖZŐ RÉSZLETESSÉGGEL

Az első vizsgálatban különböző részletességű számításokat készítettünk, kétrétegű és háromrétegű üvegezéssel a 9. ábrán látható variációkban. Így összesen nyolc számítási variációt hasonlíthattunk össze. Eredményeinket az 1. táblázat mutatja be.

A kétrétegű üvegezés rétegfelépítése, belülről kifelé

- ($U_g=1,12 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g=0,60$):
- 4 mm low-e bevonatos üveg +
- 16 mm argon gázréteg +
- 4 mm üveg.

A háromrétegű üvegezés rétegfelépítése, belülről kifelé

- ($U_g=0,55 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g=0,45$):
- 4 mm low-e bevonatos üveg +
- 16 mm argon gázréteg +
- 4 mm low-e bevonatos üveg +
- 16 mm argon gázréteg +
- 4 mm üveg.

Először a TNM rendelet egyszerűsített módszere szerint készítettük el a számítást, mindkét üvegezési megoldással (A1, A5). Ezekben az esetekben az összes nyílászárót északi tájolásúnak feltételezi a módszer és a szoftver. Majd a számítási módszert részletesre állítottuk (A2, A6). Eszerint már megkülönböztethető a déli, a keleti / nyugati és az északi tájolás, különböző energiahozamokkal. A harmadik számítási módszerrel (A3, A7) az Auricon benapozásvizsgálat lehetőségét használtuk, ami az épület földrajzi helyét megadva az adott lokációra jellemző besugárzási értékekkel számol. A negyedik legrészletesebbnek szánt esetben (A4, A8) is ezt a módszert használtuk, de beállítottuk a környezetben található épületek árnyékmaszkiát is, hogy az elérhető legpontosabb vizsgálatot is elvégezzük és a legpontosabb eredményt kapjuk.

Az épület energetikai besorolása a kétrétegű üvegezésű épület egyszerűsített számításán kívül minden esetben elérte az elvárt „BB” besorolást. Ugyanebben az esetben a fajlagos hőveszteség tényezőre vonatkozó követelmény sem teljesül. Ebből látható, hogy a passzív szoláris nyereségek elhanyagolása jelentős hatással lehet az épületünk megfelelőségére.

A számítási módszer részletessége szerinti vizsgálat során az egyik vizsgált mutató a nyári túlmelegedés kockázata volt. Az eredmények alapján megállapítható, hogy ez az érték

1. TÁBLÁZAT: Vizsgálati eredmények a számítás részletesség szerint két- és háromrétegű üvegezés esetén
(zöld / piros számok: követelményeknek megfelelő / nem megfelelő értékek)

Vizsgált adatok	Kétrétegű üvegezés				Háromrétegű üvegezés			
	A1 egyszerű	A2 részletes	A3 teljes	A4 környezettel	A5 egyszerű	A6 részletes	A7 teljes	A8 környezettel
Sugárzásátbocsátási tényező [g]	0,6				0,45			
Üvegezett szerkezetek jellemzői	Üvegezés hőát. tényezője [W/m²K]				0,55 < 1,00			
	Üvegezett szerkezetek átlagos hőátbocsátási tényezője [W/m²K]				1,31 < 1,40			
Sugárzási energiahozamok	Hőveszteségtényezőhöz [kWh/a]	13 355	34 264	28 567	34 530	13 355	34 264	26 833
	Nyári túlmelegedéshez [W]	36 050	36 050	31 985	31 985	3 650	36 050	31 985
	Egyensúlyi hőm.különbséghez [W]	0	8 415	8 125	8 125	0	8 415	8 125
	Direkt sugárzási nyereség [kWh/a]	11 522	26 517	22 242	26 896	11 456	25 018	19 800
Hőveszteség, hőszükséglet	Egyensúlyi hőm.különbség [K]	3,99	9,12	8,95	8,94	4,35	10,43	10,22
	Éves fűtési hőfokhíd [hK]	77 647	69 650	70 075	70 101	77 200	65 712	66 412
	Fűtési idény hossza [h]	5 784	4 075	4 123	4 126	5 658	3 692	3 753
	Fűtési energiaigény [kWh/a]	26 383	11 109	15 372	10 892	10 763	2 856	2 941
	Hűtési idény hossza [h]	690	690	571	571	726	726	596
	Hűtési energiaigény [kWh/a]	29 409	29 409	22 015	22 004	30 915	30 915	22 952
Gépészeti energiaigények [kWh/m²a]	Fűtési energiaigény	24,08	11,77	15,2	11,59	11,49	2,81	5,18
	Szellőztetési energiaigény	23,08	23,48	23,47	23,46	23,11	23,57	23,55
	Hűtési energiaigény	26,34	26,34	19,72	19,71	27,69	27,69	20,56
	Passzív szoláris energianyereség	14,35	36,83	30,70	37,11	14,35	36,83	28,78
Követelmények	Nyári túlmelegedés értéke [K]	4,29 > 2	4,29 > 2	3,88 > 2	3,88 > 2	4,40 > 2	4,40 > 2	3,98 > 2
	Fajlagos hőveszteségtényező [W/m³K]	0,22 > 0,16	0,15 < 0,16	0,12 < 0,16	0,12 < 0,16	0,14 < 0,16	0,04 < 0,16	0,07 < 0,16
	Összesített energetikai jellemző [kWh/m²a]	91,92 > 85	80,01 < 85	76,81 < 85	73,19 < 85	80,71 < 85	72,49 < 85	67,75 < 85
	Megújuló energia részarány [%]	78,42 > 25	103,20 > 25	93,54 > 25	102,10 > 25	76,13 > 25	104,12 > 25	90,35 > 25
	Épület besorolása	CC	BB	BB	BB	BB	BB	BB

csökkent a részletesebb számításoknál. A jelenséget magyarázhatja, hogy a hőnyereség az árnyékolás pontosabb figyelembevételével csökken. Ugyanakkor kiemelendő, hogy mind a nyolc vizsgált esetben magasabb volt ez az érték a könnyűszerkezetes épületek esetében megengedett határértéknél.

Számos különbség látható a két- és a háromrétegű üvegezéssel végzett számítások eredményei között. Ezekből néhány kiemelkedő értékre szeretnénk fókuszálni a következőkben. A kétrétegű üvegezéshez képest a háromrétegű üvegezés hőátbocsátási tényezője közel a felére csökkent. Ezzel együtt a sugárzásátbocsátási képessége is csökkent a bonyolultabb szerkezetnek. Ennek köszönhetően az épület direkt sugárzási nyeresége is jelentősen csökkent a háromrétegű üvegezés alkalmazása esetén, ami egyértelműen az eggyel növelt rétegszámnak köszönhető. Az egyre részletesebb számítás felé haladva mindegyik esetben csökkenést mutatott a hűtési energiaigény, a sugárzási nyereség változásával összhangban. Háromrétegű üvegezés esetén viszont a hűtési energiaigény enyhén magasabbnak mutatkozik, hiszen az üvegházhatás fokozottabban jelenik meg, ha a határoló szer-

kezetek hőszigetelése is hatékonyabb (a nyári túlmelegedés kockázatának értéke is nő ezzel összefüggésben).

Ezzel párhuzamban a fűtési energiaigény jelentősen csökkent a háromrétegű üvegezés esetén a kétrétegű épületverzióhoz képest. A fajlagos hőveszteségtényező és az összesített energetikai jellemző értékei is javultak az üvegezési rétegszám növelésével az egyre részletesebb számítások felé haladva.

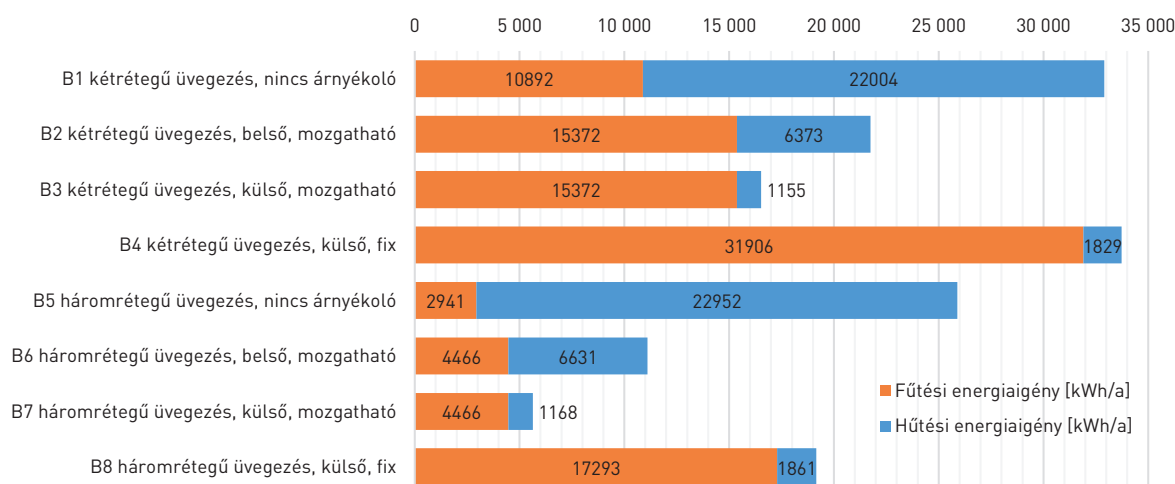
Fentiek alapján érdemes megfigyelni azt, és hasonló épületek tervezése során érdemes tudatában lenni annak, hogy az egyre jobb energetikai jellemzők fokozzák a nyári túlmelegedés kockázatát, ami a nyári időszakban további energiafelhasználást igényelhet az épület hűtéséhez.

4.2. SZÁMÍTÁSOK KÜLÖNBÖZŐ ÁRNYÉKOLÓ SZERKEZETEKSEL

Az első körben elkészített számítások rámutatnak arra, hogy a napsugárzás szabályozatlan bejutása az épületekbe kellemetlen problémákat okozhat. Különböző árnyékolószersz-

2. TÁBLÁZAT: Vizsgálati eredmények két- és háromrétegű üvegezés és különböző árnyékolási megoldások esetén (zöld / piros számok: követelményeknek megfelelő / nem megfelelő értékek)

Vizsgált adatok	Kétrétegű üvegezés				Háromrétegű üvegezés			
	B1 nincs árnyékoló	B2 belső, mozgatható	B3 külső, mozgatható	B4 külső, fix	B5 nincs árnyékoló	B6 belső, mozgatható	B7 külső, mozgatható	B8 külső, fix
Sugárzásátbocsátási tényező [g]	0,6				0,45			
Üvegezett szerkezetek jellemzői	Árnyékolás sug.át. t. télen [g _{téli}]	1	1	1	0,2	1	1	0,2
	Árnyékolás sug.át. t. nyáron [g _{nyári}]	1	0,55	0,2	0,2	1	0,55	0,2
	Üvegezés hőát. tényezője [W/m²K]	1,12 > 1,00				0,55 < 1,00		
	Üvegezett szerkezetek átlagos hőátbocsátási tényezője [W/m²K]	1,18 < 1,40				0,71 < 1,40		
Sugárzási energia-hozamok	Hőveszteségtényezőhöz [kWh/a]	34 530	28 567	2 867	7 114	26 833	24 765	6 430
	Nyári túlmelegedéshez [W]	31 985	17 591	3 198	6 397	31 985	17 591	3 198
	Egyensúlyi hőm.különbséghez [W]	8 125	8 125	8 125	1 625	8 125	8 125	1 625
	Direkt sugárzási nyereség [kWh/a]	26 896	22 242	22 242	6 041	19 800	18 275	5 402
Hővesztesség, hőszükséglet	Egyensúlyi hőm.különbség [K]	8,94	8,95	8,95	4,98	10,22	10,22	5,52
	Éves fűtési hőfokhíd [hK]	70 101	70 075	70 075	76 426	66 412	66 412	75 604
	Fűtési idény hossza [h]	4 126	4 123	4 123	5 441	3 753	3 753	5 253
	Fűtési energiaigény [kWh/a]	10 892	15 372	15 372	31 906	2 941	4 466	17 293
	Hűtési idény hossza [h]	571	264	119	141	596	275	144
	Hűtési energiaigény [kWh/a]	22 004	6 373	1 155	1 829	22 952	6 631	1 861
Gépészeti energia-igények [kWh/m²a]	Fűtési energiaigény	11,59	5,2	15,2	28,53	5,18	6,41	16,75
	Szellőztetési energiaigény	23,46	23,47	23,47	23,16	23,55	23,55	23,2
	Hűtési energiaigény	19,71	5,71	1,04	1,64	20,56	5,94	1,05
	Passzív szoláris energianyereség	37,11	30,70	30,70	7,65	28,84	26,62	6,91
Követelmények	Nyári túlmelegedés értéke [K]	3,88 > 2	2,43 > 2	0,98 < 2	1,30 < 2	3,98 > 2	2,49 > 2	1,01 < 2
	Fajlagos hőveszteségtényező [W/m³K]	0,12 < 0,16	0,15 < 0,16	0,15 < 0,16	0,25 < 0,16	0,07 < 0,16	0,08 < 0,16	0,18 < 0,16
	Összesített energetikai jellemző [kWh/m²a]	73,19 < 85	62,80 < 85	58,12 < 85	71,75 < 85	67,71 < 85	54,32 < 85	49,43 < 85
	Megújuló energia részarány [%]	102,1 > 25	87,63 > 25	85,03 > 25	55,84 > 25	90,43 > 25	78,54 > 25	74,44 > 25
	Épület besorolása	BB	BB	BB	CC	BB	BB	BB
								CC



11. ÁBRA:
A fűtési és hűtési energiaigények alakulása a vizsgált nyolc épületvariáció esetében

kezetek használatával a besugárzás által létrejövő üvegházhatás csökkenthető. A második vizsgálati körben a környezet árnyékmasszkjaival is kiegészített, benapozásvizsgálaton alapuló módszert (A4, A8) alapul véve végeztük el a számításainkat árnyékolás nélkül (B1, B5), belső oldali mozgatható árnyékolóval (B2, B6), külső oldali mozgatható árnyékolóval (B3, B7), illetve külső oldali fix árnyékolóval (B4, B8). A számítások variációi a **9. ábrán**, a nyolc szerkezeti kialakítás pedig a **10. ábrán** látható. Vizsgálatunk eredményeit a **2. táblázat** mutatja be.

Az üvegezett szerkezetek sugárzásátbocsátó képessége egyrészt függ az üvegezés, másrészt a társított szerkezetek sugárzásátbocsátási tényezőjétől (0 és 1 közötti értékek). A különböző árnyékolási megoldásokhoz különböző tényezők tartoznak, melyeket eltérő időszakokban kell alkalmazni. Például a külső oldali fix árnyékoló (B4, B8) minden évszakban árnyékolja a nyílászárót, nem szabályozható a fénybeeresztés kedvezősége alapján, mely különösen abból a szempontból lényeges, hogy így a téli hónapokban sem engedi meg a fény bejutását az épületbe, tehát meggátolja a passzív szoláris hőnyereség létrejöttét. Ezzel szemben a mozgatható árnyékolók hatását a számításban csak a nyári időszakban vesszük figyelembe, feltételezve, hogy az épület használói télen célszerűen nem használják azokat.

A számítások kimutatták a nyári túlmelegedés kockázatát az árnyékolás nélküli (B1, B5) és a belső oldali mozgatható árnyékolás (B2, B6) esetén, és megfelelőnek minősítették a külső oldali árnyékolást feltételező megoldásokat (B3, B4, B7, B8). Ez alátámasztja az általános tervezési elvet, miszerint az üvegházhatás kialakulását a külső oldalon lehet hatékonyan megelőzni. Ezzel érdekes összevetni, hogy a külső oldali fix árnyékolás esetén (B4, B8) a fajlagos hőveszteségtényező viszont nem teljesítette a vonatkozó követelményt. Ebben az esetben az üvegezés relatív magas hőveszteségét nem tudja ellensúlyozni a passzív szoláris hőnyereség, amit a fajlagos hőveszteség tényező a két- és háromrétegű üvegezésű épületverzióknál is megmutat.

Az összesített energetikai jellemző értéke a belső oldali (B2, B6) és a külső oldali (B3, B7) mozgatható árnyékoló esetén közel azonosan alakult, azonban a külső oldali fix árnyékoló (B4, B8) esetében ez az érték kiemelkedően magasabb volt, közel 10 kWh/m²a emelkedést mutatott. Ezek az épület-

variációk a BB besorolást sem tudták elérni, mivel a fajlagos hőveszteségtényezőre vonatkozó követelményt nem teljesítik. Ez azzal indokolható, hogy kevesebb passzív szoláris energia jut az épületbe a fent említett okok miatt, mivel a fix lamellák a teljes fűtési időnyben is gátolják a napsugarak bejutását, mikor az kedvező lenne.

Összességében a két- és háromrétegű üvegezés esetén is a külső oldali mozgatható árnyékolás (B3, B7) felelt meg maradéktalanul. Ez a megoldás a napsugarakat télen beengedi, így segít a fűtési energiaigény csökkentésében, nyáron pedig kizárja a napsugárzást, így csökkenti az üvegházhatás és a túlmelegedés kialakulását, segít a hűtési energiaigények alacsony tartásában. Tehát kijelenthető, hogy külső oldali mozgatható árnyékolóval jelentős mennyiségű fűtési- és hűtési energiát tudunk megtakarítani.

Érdekes kérdés, hogy a kétrétegű üvegezéssel összevetve valóban energiahatékony megoldást jelent-e a nyilvánvalóan költségesebb háromrétegű üvegezés. Számításaink azt mutatják, hogy a háromrétegű üvegezés jobb hőszigetelő tulajdonsága nagyon hatékonyan (27-54%) volt képes csökkenteni a fűtési energiaigényt, és ezzel egyidejűleg elhanyagolhatóan kicsiny mértékben (1-4%) növelte a hűtési hőigényt, ahogy azt a **11. ábra** is mutatja.

4.3. A TNM ÉS ÉKM RENDELET SZERINTI SZÁMÍTÁSOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A kutatás első és második körének lefolytatása közben a hazai épületenergetikai szabályozás, az EU-s direktívák és szabványok változásai nyomán jelentősen módosult. Ezért szükségét éreztük, hogy vizsgálataink eredményeit frissítsük a módosított eljárás szerint. A második kutatási kör számításait az új ÉKM rendelet szerint módosított Auricon Energetic szoftverrel készítettük el. A TNM és az ÉKM rendelet szerinti számítás főbb eredményeit a **3. táblázat** mutatja be összevetésre alkalmas módon.

Az új európai szabványok alkalmazásának következményeként az üvegezés és az árnyékolás sugárzásátbocsátási tényezőjének értéke kis mértékben változott. Szintén megfigyelhető, hogy a nyílászárók hőátbocsátási tényezőinek számításánál a szerkezetekben található hőhidakat jellemző

vonalmonti hőátbocsátási értékek magasabb értékekkel számíthatók. Ezek a változások együttesen eredményezték, hogy az épület üvegezését jellemző átlagos hőátbocsátási tényező növekedett a számításainkban.

A főként az épület átszellőztetésével befolyásolható nyári túlmelegedés kockázatát minősítő értékét az ÉKM rendelet elhagyja, helyette bevezet egy az üvegezés- és árnyékolás együttes áteresztőképességét jellemző értéket, mely az üvegezett szerkezetek tájolásának és árnyékolásának tudatos tervezésére ösztönöz. A hatályos követelmény szerint a nem északra néző üvegezett szerkezetek áteresztő képessége maximum 30%-os lehet. A régi és az új szabályozás a nyári komfortot eltérően minősíti belső oldali árnyékolás számításba vétele esetén [B2 vs. C2 és B6 vs. C6], a TNM rendelet szerint ez a megoldás nem tűnik elég hatékonynak, az új ÉKM szerint viszont kimutatható a megfelelő hatékonyság. A többi vizsgált esetben az eredmények hasonlóak, a külső oldali árnyékolás extrém hatékonyságát szépen kimutatják.

Az ÉKM rendelet szerinti számításnál a fűtési és a hűtési energiaigény is jelentősen más értékeket mutat, mint a korábbi verziókban szereplő igen kedvező értékek. A nagyará-

nyú változások a hűtési energiaigénynél fedezhetők fel, ami alapján kijelenthetjük, hogy az új számítási eljárás érzékenyebb a nyári komfort biztosítását célzó energiafelhasználás kimutatását illetően. Az épülettechnológiai rendszerek energiaigénye az ÉKM rendelet szerint számolva azért is változik, mert a primerenergia átalakítási mutatók is növekedtek.

Az összesített energetikai jellemző általunk számított értékei jelentősen magasabbak az ÉKM rendelet szerinti számítás esetén a TNM rendelet szerinti számításhoz viszonyítva. Ezzel összhangban az épületverziók energetikai besorolása is kedvezőtlen irányba változott néhány esetben. Meglepő lehet, hogy az épület primer energia fogyasztásán alapuló jellemző értékének jelentős változása nem eredményezi az épület besorolásának jelentős változását. Ez annak a következménye, hogy míg a közel nulla energiaigényű épületekre definiált követelmény a TNM rendeletben irodaépületekre vonatkozóan egy igen alacsony fix érték (85 kWh/m²a) volt, addig az ÉKM rendeletben már az irodaépületekre is a referenciamódszert kell alkalmazni, ami rendszerint sokkal enyhébb követelményértéket ad.

3. TÁBLÁZAT: TNM- és ÉKM rendelet szerinti számítások eredményeinek összevetése
(zöld / piros számok: követelményeknek megfelelő / nem megfelelő értékek)

Vizsgált adatok	TNM rendelet szerint								ÉKM rendelet szerint							
	kétrétegű üvegezés				háromrétegű üvegezés				kétrétegű üvegezés				háromrétegű üvegezés			
	B1 nincs árny.	B2 belső, mozg.	B3 külső, mozg.	B4 külső, fix	B5 nincs árny.	B6 belső, mozg.	B7 külső, mozg.	B8 külső, fix	C1 nincs árny.	C2 belső, mozg.	C3 külső, mozg.	C4 külső, fix	C5 nincs árny.	C6 belső, mozg.	C7 külső, mozg.	C8 külső, fix
Üvegezés hőátbocsátási tényezője [W/m²K]		1,12 > 1,00				0,55 < 1,00				1,12 > 1,00				0,55 < 1,00		
Üvegezett szerkezetek átlagos hőátbocsátási tényezője [W/m²K]		1,18 < 1,40				0,71 < 1,40				1,31 < 1,40				0,85 < 1,40		
Üvegezés sugárzásátbocsátási tényezője [g]		0,60				0,45				0,53				0,50		
Árnyékolás sug.átb. tényezője télen [g _{téli}]	1	1	1	0,2	1	1	1	0,2	1	1	1	0,15	1	1	1	0,15
Árnyékolás sug.átb. tényezője nyáron [g _{nyári}]	1	0,55	0,2	0,2	1	0,55	0,2	0,2	1	0,45	0,15	0,15	1	0,45	0,15	0,15
Fajlagos hővesztéségtényező [W/m²K]	0,12 < 0,16	0,15 < 0,16	0,15 < 0,16	0,25 > 0,16	0,07 < 0,16	0,08 < 0,16	0,08 < 0,16	0,18 > 0,16	0,15 < 0,18	0,15 < 0,18	0,15 < 0,18	0,26 > 0,18	0,09 < 0,18	0,09 < 0,18	0,09 < 0,18	0,17 < 0,18
Nyári túlmelegedés értéke [K]	3,88 > 2	2,43 > 2	0,98 < 2	1,30 < 2	3,98 > 2	2,49 > 2	1,01 < 2	1,34 < 2	kivezetett jellemző							
Nyári hővédelem értéke	korábban nem használt jellemző								0,424 > 0,3	0,191 < 0,3	0,064 < 0,3	0,064 < 0,3	0,395 > 0,3	0,178 < 0,3	0,059 < 0,3	0,059 < 0,3
Fűtési energiaigény [kWh/m²a]	11,59	15,2	15,2	28,53	5,18	6,41	6,41	16,75	7,04	7,04	7,04	20,05	0,71	0,71	0,71	7,49
Hűtési energiaigény [kWh/m²a]	19,71	5,71	1,04	1,64	20,56	5,94	1,05	1,67	140,30	63,27	28,47	28,71	140,34	66,37	31,38	31,48
Összesített energetikai jellemző [kWh/m²a]	73,19 < 85	62,80 < 85	58,12 < 85	71,75 < 85	67,71 < 85	54,32 < 85	49,43 < 85	60,04 < 85	172,6 > 142,81	95,63 < 127,42	60,84 < 122,51	74,09 < 142,81	164,9 > 137,01	90,95 < 121,62	55,98 < 116,71	64,29 < 142,81
Megújuló energiaigény [%]	102,1 > 25	87,63 > 25	85,03 > 25	55,84 > 25	90,43 > 25	78,54 > 25	74,44 > 25	46,46 > 25	kivezetett jellemző							
CO ₂ emisszió [E _{CO2}] [kg/m²a]	korábban nem használt jellemző								34,15 > 30,70	18,92 < 27,66	12,04 < 26,68	14,66 < 30,70	32,62 > 29,55	17,99 < 26,51	11,07 < 25,54	12,72 < 30,70
Épület besorolása	BB	BB	BB	CC	BB	BB	BB	CC	B B	A+ A+	A++ A++	A+ A++	B B	A+ A+	A++ A++	A++ A++

A TNM rendelet alapján megújuló energia részarányt számoltunk, de ezt a követelményt az ÉKM rendelettel eltörölték, és helyette az épület használatához kapcsolódó CO₂ emisszió számítását vezették be. Ez a módosítás az életciklus-elemzés (LCA) alkalmazásának irányába tereli az épületenergetika szakmát az EU-s direktívák szándékaival összhangban. Számítási eredményeink alapján a TNM rendelet szerint az összes épületverzió megfelelt a megújuló energia részarány követelményének, CO₂ emisszió tekintetében viszont csak az árnyékolással ellátott verziók voltak megfelelőek, ami ismét kiemeli az árnyékolás tervezésének szükségességét.

5. | KONKLÚZIÓ, MEGÁLLAPÍTÁSOK

A nagy felületen üvegezett épületek tervezése izgalmas, kihívásokkal teli feladat, melynél az építészeti, épületszerkezeti tervezés mellett elengedhetetlen az épület energetikai viselkedésének vizsgálata és tervezése az épülettechnológiai rendszerekkel összhangban. Ehhez alapszintű segítséget nyújthat a hatályos szabályozás szerinti energetikai számítás és az ezt támogató szoftverek.

A fent bemutatott esettanulmány jellegű vizsgálatokból, számításaink eredményeiből arra a következtetésre jutotunk, hogy a nagy felületen üvegezett épületek esetén

- fontos a részletes benapozásvizsgálaton alapuló energetikai számítás elkészítése az épület belső komfortjának és gazdaságos működésének biztosítása érdekében.
- elengedhetetlen az árnyékolás megtervezése, mivel árnyékolás nélkül az épület nyáron túlmelegszik, ami irreális hűtési energiaigényekhez vezet. Egy ilyen kialakítású épület több ponton sem feleltethető meg a közel nulla energiaigényű épületek összetett követelmény-rendszerének.
- a külső oldalon elhelyezett mozgatható árnyékolók (pl. zsaluzia) adják az energetikailag leginkább megfelelő megoldást két- és háromrétegű üvegezés alkalmazása esetén is. Ha a napsugarak beltérbe történő bejutását már a külső oldalon meg tudjuk akadályozni, akkor hatékonyan tudjuk csökkenteni az üvegházhatás kialakulásának kockázatát.
- a külső oldali fix árnyékolás energetikai szempontból előnytelen, mivel az nagymértékben árnyékolja az üvegfelületeket a fűtési időnyben is, amikor a passzív szoláris hőnyereségre szükségünk van.

A TNM és ÉKM rendelet szerinti számítások összehasonlításával láthatóvá vált a szabályozás szigorodása, a közel nulla energiaigénynek való megfelelés bevezetése. Az ÉKM rendelet szerinti számítás alkalmazásával az új EU-s szabványokkal összhangban számíthatók az üvegezett szerkezetek hőveszteségei és hőnyereségei, pontosabb besugárzási adatok alapján. A két rendelet néhány energetikai kérdést eltérő módon vizsgál: a nyári túlmelegedés helyett a nyári hővédelmet minősíti, a megújuló energia részarány helyett a CO₂ emisszióra vonatkozik követelmény. Az eltérések miatt az általunk vizsgált épületvariációk számítási eredményei is változtak, de a korábban levont tanulságokat továbbra is alátámasztják az ÉKM rendelet szerinti eredmények.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **Szűcs Miklós:** Passzív napenergia-hasznosítás, Országépítő, 11. évf., 1-2.sz., [2000], 18-20. https://epa.oszk.hu/02900/02952/00039/pdf/EPA02952_orzagepito_2000_01-02_18-20.pdf
- [2] **Bujdosó Ildikó, Vukosavljev Zorán:** Az építészeti üveg története. In: Reith András (szerk.): Üveg az építészetben. Terc, Budapest, 2012, 9-43. o.
- [3] [1]: French Gothic stained glass windows, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/French_Gothic_stained_glass_windows
- [4] [1]: Kristálypalota. In: A Pallas nagy lexikona, Arcanum, online szócikk, <https://www.arcanum.com/hu/online-kiadvanyok/Lexikonok-a-pallas-nagy-lexikona-2/k-E039/kristalypalota-FCED/>
- [5] **Norman Foster:** 50 Wonders | Norman Foster: Crystal Palace. Building Design Online, 2020.10.23. <https://www.bdonline.co.uk/building-s/50-wonders-norman-foster-crystal-palace/5108624.article>
- [6] **Lessismore2020 fényképe:** Farnsworth House Interior, 2014.10.08., https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Farnsworth_House_Interior.jpg
- [7] **Ayca Kirimat, Basak Kundakci Koyunbaba, Ioannis Chatzikonstantinou, Sevil Sariyildiz:** Review of simulation modeling for shading devices in buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier Ltd, 2016, pp. 23-49. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.020>
- [8] **Ruben Baetens, Bjørn Petter Jelle, Arild Gustavsen:** Properties, requirements and possibilities of smart windows for dynamic daylight and solar energy control in buildings: A state-of-the-art review. Solar Energy Materials and Solar Cells 94(2), 2010, pp. 87-105. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2009.08.021>
- [9] **Waleed Khalid Alhuwayil, Faris Abdullah Almaziad, Muhammad Abdul Mujeeru:** Energy performance of passive shading and thermal insulation in multistory hotel building under different outdoor climates and geographic locations. Case Studies in Thermal Engineering 45 (2023), 102940. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.102940>
- [10] **Yiqian Zheng, Jinxuan Wu, Hao Zhang, Caifang Lin, Yu Li, Xue Cui, Pengyuan Shen:** A novel sun-shading design for indoor visual comfort and energy saving in typical office space in Shenzhen. Energy and Buildings 328, 115083, 2025, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.115083>
- [11] **Google StreetView** felvétel alapján készült kép, <https://maps.app.goo.gl/LXGpNAYLXthYP4tK7>
- [12] **María Francisca González:** Building D(Emountable) / architecten-bureau cepezed, ArchDaily, 2020, <https://www.archdaily.com/936389/building-d-emountable-architectenbureau-cepezed>
- [13] **Barbara Zettel:** Rückbaubares Bürohaus in Delft / Demountable Office Building in Delft, DETAIL 2021/6, 74-81.
- [14] **Szűrös Zsolt, Géczy Nóra:** Az épített környezet létrehozásának és üzemeltetésének digitális eszközrendszere. Magyar Építőipar 71(2), 2022, 65-75. <https://ojs.magyarepitoipar.com/index.php/MEI/article/view/2022-2-2/2022-2-2>
- [15] **Horváth Tamás:** Épületenergetikai szabályozásunk körvonalai és előzményei, Magyar Építőipar, 67 évf., 2017, pp. 156-165, DOI10.17168/MEIP.2017.67.156
- [16] [1]: Energy Performance of Buildings Directive, az Európai Bizottság tájékoztató oldala, https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en
- [17] **Ördög Rita Rebeka, Szűrös Zsolt, Horváth Tamás:** Energy analysis of buildings with large glazed surfaces, IET Conference Proceedings, 2024, Issue 8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1049/icp.2024.2682>
- [18] **7/2006 (24. V.) TNM rendelet** az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról. <https://njt.hu/jogszabaly/2006-7-20-6F>
- [19] **9/2023. (V. 25.) ÉKM rendelet** az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról. <https://njt.hu/jogszabaly/2023-9-20-8X>
- [20] **Csoknyai Tamás, Szalay Zsuzsa:** Változott az épületenergetikai és a tanúsítási rendszer, online cikk, E-gépész.hu, 2023.07.10, <https://www.e-gepesz.hu/cikkek/19007-valtozott-az-epuletenergetikai-es-a-tanositasi-rendelet>
- [21] **Csoknyai Tamás, Szalay Zsuzsa, Nagy Balázs, Horváth Miklós és mtsi:** Alkalmazott épületenergetika, Innovációs és Technológiai Minisztérium – Magyar Mérnöki Kamara – Budapesti és Pest Megyei Mérnöki Kamara, 2024, <https://www.e-gepesz.hu/tetoltes/alkalmazott-epuletenergetika-isbn.pdf> ISBN 978-615-81965-9-8

Takács Kristóf*

ÉRZELMEKET, ÉRZÉSEKET KIVÁLTÓ VIRTUÁLIS TEREK TERVEZÉSE ÉS VIZSGÁLATA

DESIGN AND ANALYSIS OF VIRTUAL SPACES THAT EVOKE EMOTIONS AND FEELINGS

KIVONAT / HUN

A kutatás a virtuális terek érzelemkiváltó hatásainak tervezési elveit vizsgálja, elsősorban abból a szempontból, hogy milyen tértervezési eszközökkel lehet érzelmi reakciókat kiváltani a felhasználókból. A témában több kutatás készült, ezek általában a terek egyes térszervezési eszközeit elemzik. A virtuális terek megjelenésével olyan kutatás még nem készült, melyben pszichológiai hatásokat és komfortérzetet vizsgálunk egy digitális közegben. A terek pszichológia hatásait ismerve nagyobb szerepet kaphatnak a virtuális terek a tervezési folyamatban, ami elősegítheti az építészeti és belsőépítészeti tervezési munkákat. Az érzelmek, mint az öröm, szorongás, nyugalom és feszültség, valamint a kibertér fogalmának összekapcsolását követően kilenc térmodellt hoztam létre, különböző térarányokkal, például „szűk”, „tágas”, „alacsony” tereket és ezek kombinációit. ArchiCAD és Twinmotion szoftverekkel készült 3D-s modellek segítségével elemeztem a térszerkezet, fények, színek, anyagok és berendezések érzelemkiváltó hatásait. A vizsgálat során építészek és laikusok értékelték a terekről készült képek érzelmi hatásait: például a „normál” térben a fények és berendezések javították a komfortérzetet, míg a „szűk, alacsony” tér szorongást keltett. Az eredményekből megfigyelhető, hogy a két csoport eltérően reagált a térarányokra és fényekre. A kutatás összegzése az érzelmek és a tértervezés tudatos összehangolását javasolja.

Kulcsszavak: virtuális tér, érzelmek, hatások, térelemek, vizsgálat, környezetpszichológia

ABSTRACT / ENG

The research examines the design principles of virtual spaces that elicit emotional responses, focusing on the tools and methods of spatial design that can evoke emotional reactions from users. Several studies have been conducted on the topic, analysing specific spatial organization tools in these spaces. With the emergence of virtual spaces, no research has yet been conducted that examines psychological effects and the sense of comfort in a digital environment. Understanding the psychological effects of spaces, the use of virtual spaces can play a greater role in the design process, facilitating architectural and interior design work. Following the integration of emotions – such as joy, anxiety, calmness, and tension – with the concept of cyberspace, nine spatial models were developed with varying proportions, such as “narrow”, “wide”, “low”, and their combinations. Using ArchiCAD and Twinmotion software, 3D models were created to analyse the emotional impact of spatial structures, lighting, colours, materials, and furnishings. During experiments, architects and lay participants assessed the emotional effects of the spaces: for instance, in the “normal” space, lighting and furnishings enhanced comfort, while the “narrow, low” space induced anxiety. The results showed differing responses between the two groups to spatial proportions and lighting. The research suggests aligning emotions with spatial design consciously.

Keywords: virtual space, emotions, effects, spatial elements, examination, environmental psychology

* építészmérnök hallgató, Széchenyi István Egyetem, Építész-, Építő- és Közlekedésmérnöki Kar, e-mail: tofi.takacs@gmail.com
A cikk a szerző azonos című TDK munkája alapján készült, melyet előadott a 37. OTDK Műszaki Tudományi Szekcióján Debrecenben.

1. | ALAPFOGALMAK ÉS TÉRSZERVEZÉSI ELEMEK

1.1. ALAPFOGALMAK

1.1.1. Kibertér

A kibertér a virtuális tér egy formája, amely globális, elektronikusan összekapcsolt rendszerekből áll, számítógépes hálózatok és struktúrák által [1]. Ez a tér az információ áramlásának és tárolásának színtere, alapvető egységei a bitek, amelyek az adatokat, tárgyakat és felhasználókat egy szintre helyezik [2]. A kibertér az elképzelhető és az elképzelhetetlent egyesíti, miközben a felhasználók hatására folyamatosan változik [3].

Az informatika fejlődése során különös figyelmet kapott a kibertér használhatósága, amelyet a grafikus felhasználói felületek tettek lehetővé. Ezek a felületek intuitív módon teszik felfedezhetővé a teret, és a háromdimenziós megjelenítési technikák segítségével dinamikusan reagálnak a felhasználók által végrehajtott módosításokra. Így a kibertér nemcsak ábrázolható, hanem maga is egy építészeti forma, amely mélységérzetet kelt [4]. A kibertérben alakult virtuális terek segítségével képesek vagyunk emberi érzéseket és érzelmeket kiváltani.

1.1.2. Érzelmek

Az érzelmek az emberi pszichológia alapvető elemei, amelyek környezeti hatásokra kialakuló, rövid ideig tartó állapotokként befolyásolják a viselkedést és az élményeket [5]. Négy csoportba sorolhatók: alapvető érzelmek (pl. öröm, harag, félelem), pozitív érzelmek (pl. nyugalom, lelkesedés), negatív érzelmek (pl. szorongás, bánat) és összetett érzelmek (pl. irigység, hála). Az érzelmek hatással vannak a szervezetre, pozitív esetben stresszcökkentő, negatív esetben stressznövelő hatásuk van [6].

Az érzelmek a test és a tér kapcsolatában is megjelennek, mivel a test az érzelmek tanulásának és kifejezésének tere. A test érzékszervei különböző tereket különböző érzelmekkel kötnek össze, ám ezek a kapcsolatok változhatnak. Ugyanaz a tér más személyekben eltérő érzelmeket kelthet, így a tér és az érzelmek dinamikus kapcsolatban állnak egymással [7].

1.2. A TÉRSZERVEZÉS

A tér elrendezése jelentősen befolyásolja, hogyan kapcsolódunk hozzá és hogyan érezzük magunkat benne. A rugalmas, nyitott és könnyen hozzáférhető terek elősegítik a szabadság és az irányítás érzetét, miközben támogatják a társadalmi kapcsolatokat és az együttműködést [8]. A tágas terek pozitív hatással lehetnek a komfortérzetre, azonban túlzott méretük kiszolgáltatottságérzetet és szorongást válthat ki. A zárt terek egyrészt nyújthatnak privát szférát, de túlzott szűkösségük klausztrofóbiát, stresszt vagy dühöt idézhet elő. A rendezetlen, kaotikus terek szintén negatív érzelmeket kelthetnek, mint a mentális túlterheltség vagy szorongás. Labirintusszerű terek esetében a bizonytalanság érzése dominálhat [9].

A formák is jelentős hatással vannak az érzékelésre: az íves, organikus formák nyugalmat és biztonságot sugallnak, csökkentik a stresszt, és elősegítik a pihenést. Az ilyen formák gyakran dinamikát és mozgásérzetet adnak a térnek, amely mintha vezetné a benne tartózkodót. Az egyenes, szögletes formák stabilitást

és struktúrát közvetítenek, de túlzott alkalmazásuk merevséget és hidegséget sugallhat. E formák egyszerűségük és letisztultságuk miatt kedvelt tervezési eszközök, azonban a tér élményét befolyásoló hatásuk mindig az egyensúlyon múlik [10].

1.2.1. Fények

A természetes napfény jelenléte nagyon fontos a pozitív érzések és érzelmek kialakításához. Tágas ablakok, sok üvegfelület és a fény bősége tudja feldobni a kedvünket és a hangulatunkat. A természetes fény melegséget sugároz, így csökkenti a stresszt, megnöveli a produktivitást és nyitottságot, nyugalmat kelt. A természetes fény hiánya vagy kevésége bizonytalanságot, elhagyatottságot képes kelteni, mivel a tájékozódásunk nehézkes [11].

Egy jól kialakított térben a mesterséges fények is tudnak kellemes érzéseket kiváltani. A mai technikai fejlettséggel képesek vagyunk arra, hogy egy természetes megvilágítású teret hozunk létre négy fal között. Ha jól alkalmazzuk, akkor a megvilágítás akár hangulatteremtő elem is tud lenni. Közvetett megvilágítás használatával képesek vagyunk egy teret könnyedebbé tenni, vagy akár a fény színével a tér melegségét szabályozni. Egy tér más színnel való megvilágítása teljesen más érzéseket képes kiváltani a használóiból [8].

A fény erőssége is fontos egy tér érzelmi hatásánál. Az erős fény megnövelheti a produktivitást, azonban a vakító fények nyugtalanságot tudnak okozni, mivel túl sok érzékszervi ingerrel terhelik az agyat. A kevés fény egy térben elősegítheti a pihenés érzését, mivel ilyenkor az agyunk melatonin termel, ami az alvás hormona. Azonban egy másikban akár az elhagyatottság érzésére is utalhat. A megvilágítást és a térszervezést össze kell hangolni [12].

1.2.2. Színek

A színek az épített környezetben kulcsfontosságú szerepet játszanak az érzelmek és a térérzet kialakításában. Az épületek és belső terek színpalettája nem csupán esztétikai kérdés, hanem erőteljes hatással van a hangulatunkra, érzéseinkre és a tér funkcionális megélésére. Egy jól megválasztott szín képes erősíteni a térbe bejutó természetes fényt, optikai illúziókat létrehozni, és megváltoztatni a tér érzékelését – például tágasabbnak vagy intimebbnek tűnhet.

A különböző színek más-más érzelmi és pszichológiai hatással vannak ránk. A vörös például intenzív szín, amely az érzelmek széles skáláját válthatja ki. Szenvedélyt, izgalmat és meleget sugároz, de ugyanakkor félelmet és veszélyérzetet is kelthet, ha például olyan árnyalatban vagy elrendezésben jelenik meg, amely a vérrel asszociálható. Egy sötétebb vörös elegáns és csábító, míg egy világosabb, neonvörös barátságos és figyelemfelkeltő hatású [13].

A narancssárga szín kevésbé intenzív, mint a vörös, ugyanakkor barátságos és nyugtató hatású. Ideális választás lehet olyan terekbe, ahol melegséget és vidámságot szeretnénk közvetíteni, anélkül, hogy a szín túl domináns lenne. Hasonlóan pozitív hatást gyakorolhat a sárga szín, amely ragyogást és életvidámságot sugároz. A sárga színt gyakran használják gyerekekkel foglalkozó intézményekben, mivel természetes fénnel társítják, és képes bármilyen szürke, komor teret felélénkíteni.

A zöld szín az egyik leginkább megnyugtató árnyalat, amelyet az építészetben használnak. A zöld falak és tetők gyakran fenntarthatóságot és természetközelséget sugallnak, miközben pihentető érzéseket keltenek. Ugyanakkor a zöld egyes árnyalatai,

például a sárgászöld, ha nem megfelelően alkalmazzák, klinikai vagy steril érzetet kelthetnek.

A kék szín hasonlóan nyugtató hatású, és gyakran használják terekben, ahol a biztonság és a béke érzését szeretnék erősíteni. Mennyezeteken alkalmazva a kék az égbolt illúzióját keltetheti, míg kék fények használatával kültéri terekben különleges, megnyugtató hangulatot érhetünk el. A lila szín, amely szintén a nyugalmat szimbolizálja, eltérő árnyalataival még fokozottabb érzelmi reakciókat válthat ki, például élénkséget és izgalmat.

A fehér szín az építészet egyik leggyakrabban használt eleme. Letisztultságot és egyszerűséget közvetít, ugyanakkor a természetes fénnel együtt alkalmazva képes drámai árnyékokat és tiszta felületeket létrehozni. Belső terekben a fehér világosabbá teszi a helyiséget, fokozva a tágasság érzetét. Ezzel szemben a fekete szín használata komolyabb, erőteljesebb érzelmi hatással bír: megfelelő fényviszonyok és anyagok kombinációjával eleganciát vagy modernitást sugározhat, de könnyen válhat nyomasztóvá is [13].

1.2.3. Textúrák

Kutatások bizonyítják, hogy az agyunk hamarabb képes érzékelni a textúrát, mint a színeket. Ez a tervezés során eléggé figyelmen kívül hagyott elem, pedig sokféle érzést vagyunk képesek kiváltani a textúrák segítségével. Például, ha egy felület sima, az nyugalmat és kényelmet sugall, míg durvább felületek dinamizmust, vagy akár zavart vagy dühöt váltanak ki. A puha felületek intimebb, otthonosabb érzést idéznek elő [14]. A kemény felületek erőt és tartósságot tudnak szimbolizálni, mint például a látszó beton felületek vagy az acél szerkezeti elemek. Ezek azonban különböző térszerkezetekben akár elhagyatottságot és

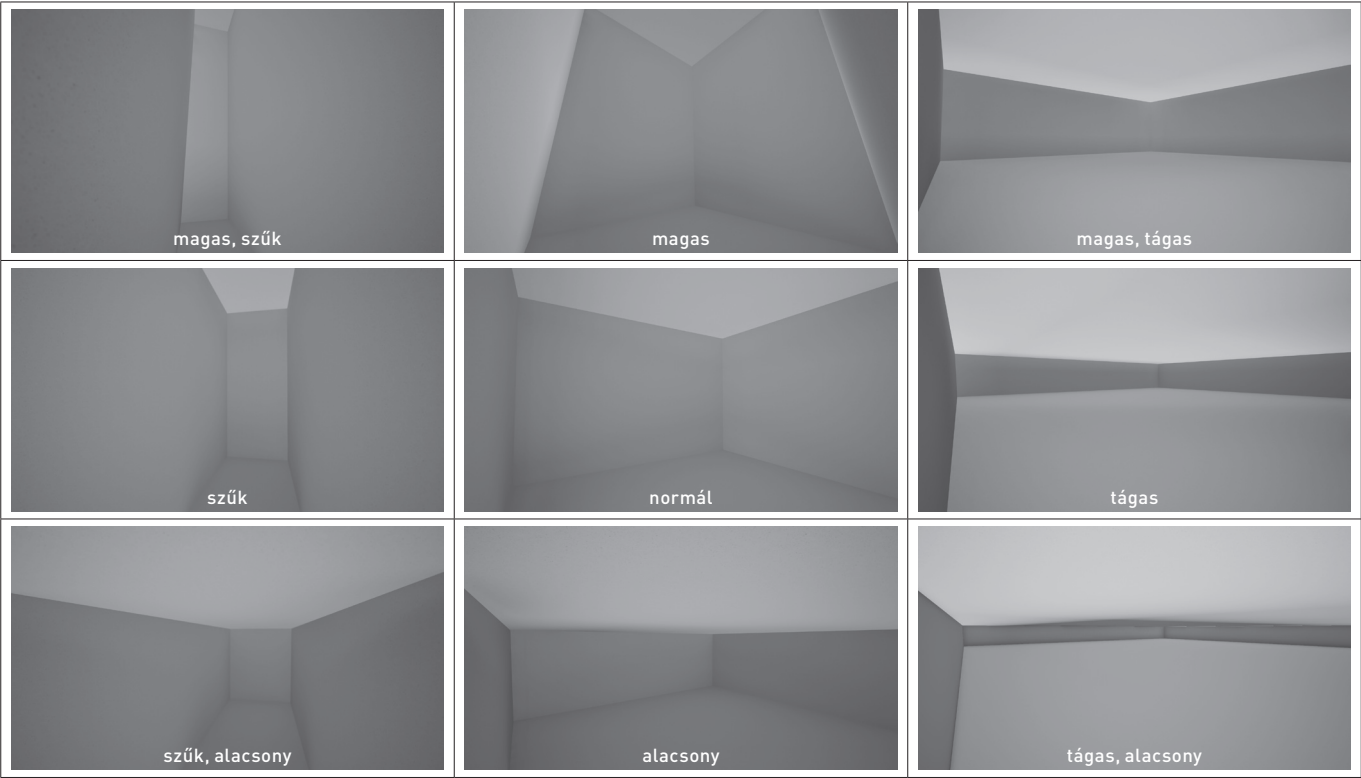
nyugtatlanságot képesek kiváltani. Fokozni tudjuk az érzelmi hatást, ha a textúrákat fényhatásokkal és színekkel keverjük. Például, kellemes, meleg hatást tud kelteni a fa és a kő keveredése a fénnel, hiszen ezek természetes elemek.

Az anyagokon megjelenhetnek különböző felületi minták. Ezekkel képesek vagyunk akár optikai illúziókat előidézni. Azonban, ha túlzottan alkalmazzuk őket, zavart, és nyugtalanságot is képesek vagyunk kiváltani [8]. Szintén képesek vagyunk a nyugalom és az otthonosság érzését fokozni, ha a természeti környezetet közelebb hozzuk. Kutatások kimutatták, hogy az emberek veleszületett hajlama van a természethez való közeledésre. A természet közelsége pozitív élettani hatással bír. Egy növény növekedésének követése, ahogyan változik a fény és tér függvényében, a virágzása megfigyelése mind olyan cselekedetek, amelyek új érzéseket váltanak ki minden felhasználóból [11].

1.2.4. Berendezések

A tér berendezése szintén képes különböző érzéseket kiváltani. Tervezés során a funkció meghatározása az egyik legfontosabb tényező. A tér funkciója nagyban befolyásolja a szoba jellegét és érzelmi hatását. Egy otthoni hálószoba és egy nyitott iroda teljesen különböző érzéseket képes kiváltani.

A bútorok és tárgyak helyzete és sűrűsége, kisebb válaszfalak, amelyekkel képesek vagyunk darabolni a teret. Egy olyan tér, amelyben a bútorok sűrűn helyezkednek el, otthonosnak és étellel telinek érződik, míg ezzel ellentétben egy kevésbé zsúfolt tér tűnhet szabadnak és nyitottnak, ami a használójára vár, hogy megtöltsé étellel. A berendezések elhelyezése és rendszere egy átgondolt folyamat. A bútorok képesek minket a közlekedésben is gátolni, ha nem megfelelően helyezzük el őket [8].



1. ÁBRA: A vizsgálatban szereplő kilenc térszerkezet



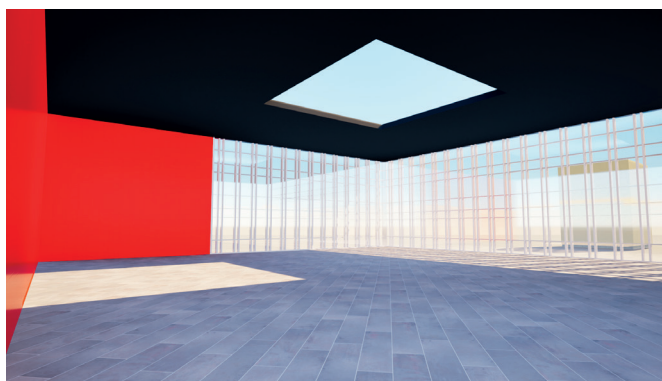
2. ÁBRA: A „magas, tágas” tér térszerkezete

2. | TÉRVÁLTOZATOK TERVEZÉSE

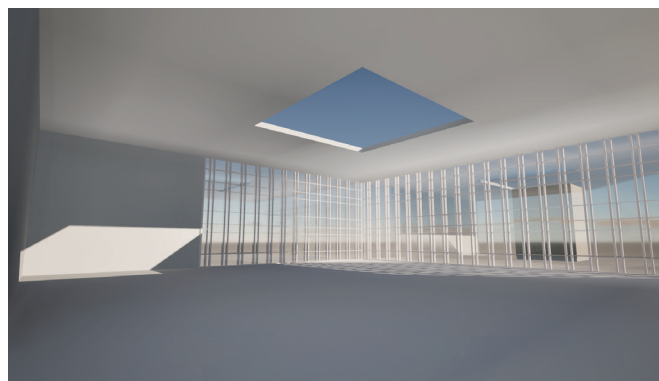
A tervezési folyamat a *térszerkezetek* meghatározásával kezdődött. Kilenc térfelépítést vizsgáltam meg, amelyek egy mátrix szerű rendszerben helyezkednek el (1. ábra). Először mindegyik tér fény, színek, textúrák és berendezések nélkül készült el.

A tervezéshez az ArchiCad és a Twinmotion programokat alkalmaztam. Az ArchiCad segítségével kétdimenziós eszközökkel és háromdimenziós megjelenítéssel hozhatók létre terek, melyekhez ablakokat és áttöréseket adtam. A modellek ezt követően a Twinmotionba kerültek át, amely gyorsabb anyag- és színtársítást, valamint szélesebb berendezési lehetőségeket kínál. A 3D-s vizsgálatokat egy 175 cm-es léptékfigura szemmagasságából tekintjük, így azonos nézőpontot tartva minden térnél. A Twinmotion magas minőségű rendeltetést biztosít, valósághű színekkel, textúrákkal és fényekkel. Beállítható benne a nap állása, a mesterséges fények ereje, valamint az árnyékok és kontrasztok élessége, kiemelve a részleteket. Az összes kép ebben a programban készült.

Az alapegység egy 6 méter széles, 6 méter hosszú, 4 méter magas szoba. Ez a „normál” tér. A továbbiakban ennek a térnek a méretei módosultak a többi tér létrehozásához. Ebben a cikkben egy a valóságban is elképzelhető, „magas, tágas” teret mutatok be részletesen. Ez a térszerkezet 25 méter széles, 25 méter hosszú és 8 méter magas, ahogy a 2. ábrán látható.



4. ÁBRA: A „magas, tágas” tér színekkel és textúrákkal



3. ÁBRA: A „magas, tágas” tér megvilágítással

Következő lépésként a térhez *fényforrásokat* rendeltem. Mindegyik térnél a változatos megvilágítás volt a cél. A „magas, tágas” térnél nagy összefüggő üvegfelületeket, függönyfalakat alakítottam ki. Míg az egyik falhosszúságú, azaz 25 m, addig a másik 12,5 m széles, mindkettő a padlótól a födémgig tart. Ezen kívül egy 7,9×7,9 m-es födémáttörés is található a tér felett (3. ábra), amely elősegíti a tér napfénnel való megtöltését. Ebben a térben mesterséges fényforrást nem helyeztem el.

A térarányok megtervezése és a fények hozzáadása után, különböző *színekkel és textúrákkal* láttam el a teret. Ahogyan a fényeknél is, itt is széles spektrumon rendeltem hozzá a színeket és az anyagokat a térhez. A „magas, tágas” tér falai piros alumínium burkolatúak, amivel kissé szokatlan megjelenést sugároznak, azonban felkeltik a figyelmet. A mennyezet fekete alumínium, ezzel a színhasználattal a tér magasságérzetének csökkentése a cél. A padlóburkolat egy világosszürke, kő hatású járólap, ahogy a 4. ábrán látszik.

A tervezés utolsó fázisában a most már fényvel, színnel és anyagokkal megtöltött térhez egy jól illeszkedő *funkciót* rendeltem, és annak megfelelően *berendeztem*. A „magas, tágas” tér egy aula funkcióját kapta. A sok üvegfelület, az áttörés megtelíti fényvel a teret. A puha üldöhelyek sorai a közösségi élet kialakítását segítik. A tér hátsó falánál találhatóak italautomaták, a várakozók vagy az itt tartózkodók szomjúságának enyhítésére. A 5. ábra bal oldalán láthatóak szekrények, melyek a lepakolást segítik elő. A zöld növények megjelenése egy újabb színt hoz a térbe, melynek segítségével otthonosabban érezhetjük magunkat.



5. ÁBRA: A „magas, tágas” tér berendezéssel és funkcióval

3. | A VIZSGÁLAT ÉS EREDMÉNYEI

A tervezési folyamat befejeztével egy kérdőív segítségével vizsgáltam meg a kialakított tereket. Egy építész és egy laikus csoport is kitöltötte a kérdőívet, ami lehetőséget adott annak vizsgálatára, hogy az építészhallgatók és a laikusok érzékelését összehasonlítsam a terek méretei, a megvilágítás, a színek és anyagok, valamint a berendezett terek érzélem kiváltó hatása kapcsán. A kérdőíveket 35 építészhallgató és 40 laikus töltötte ki.

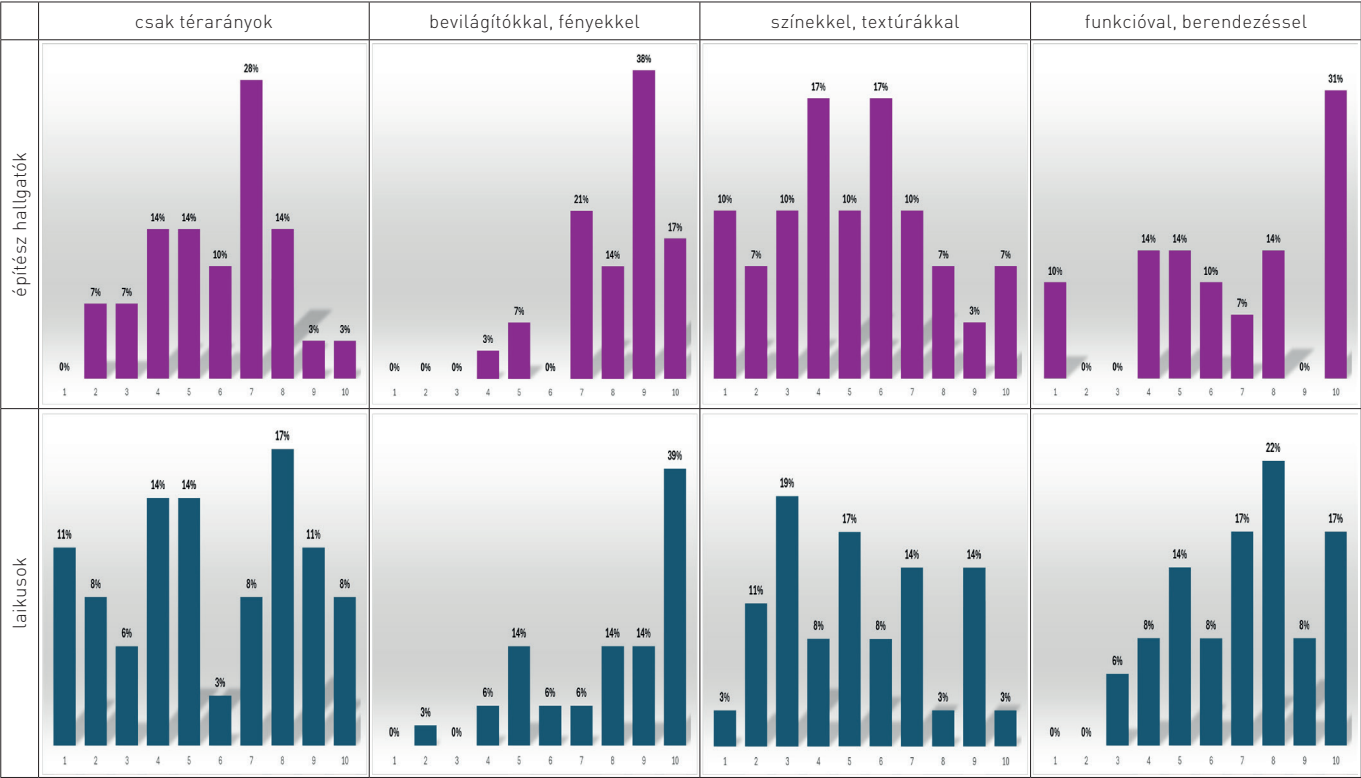
A vizsgálatban résztvevőknek arra a kérdésre kellett válaszolniuk, hogy mennyire találják komfortosnak a képen látható tereket, melyeket egy-egy szemmagasságból készült képen láthattak. A résztvevők a tér alakításának minden fázisát értékelték egy tízes skálán, ahol az „1” az egyáltalán nem komfortos, míg a „10” a kifejezetten komfortos érzést jelentette. Először azokkal a képekkel kezdték, amelynél a terek térarányai voltak láthatóak. Ezután következtek a terek azon változata, melyben megjelennek fényforrások, bevilágítók. Következőkben ezek a szobák megteltek színekkel és anyagokkal, legvégül pedig értékelték a tereket berendezett állapotukban. Utolsó kérdésnek arra kellett válaszolniuk, hogy mi befolyásolta őket a legjobban a válaszaik és pontszámaik kialakításában. Itt lehetőségük volt bejelölni több opciót is, amelyek a következők voltak: a szoba méretei, a fények, a színek, az anyagok és a szoba berendezése.

A „magas, tágas” tér az építészhallgatók körében komfortos érzést váltott ki, 28%-uk 7-es pontszámot adott (6. ábra). A laikusoknál vegyes reakciók voltak: egyesek kényelmetlen-

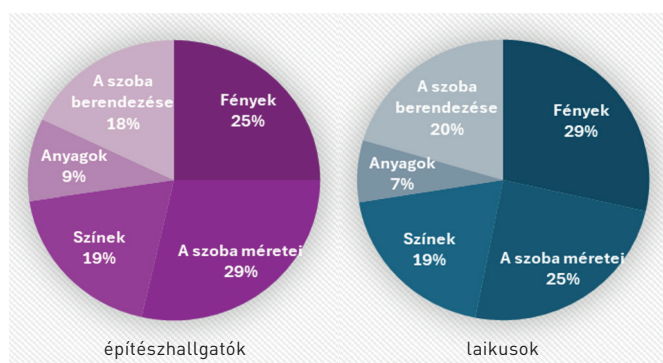
nek érezték a teret (1-2 pont), mások semlegesnek (4-5 pont), míg voltak, akik kényelmesnek találták (8-9 pont). A fények hozzáadása mindkét csoport számára kényelmesebbé tette a teret. Az építészek 38%-a, míg a laikusok 39%-a adott 9-es és 10-es értékelést. A színek és textúrák hozzáadásával a kényelmi érzet változóvá vált: az építészek körében egyenletesen oszlottak meg az értékelések, de a semleges érzés volt a leggyakoribb, míg a laikusoknál 3, 5, 7 és 9 pontok voltak a leggyakoribbak. A végleges berendezett térben az építészek 31%-a adott 10-es értékelést, a laikusoknál a leggyakoribb értékelés 7, 8 és 9 volt.

A „magas, tágas” tér az építészekben pozitív érzést váltott ki a nagy belmagasságnak köszönhetően, míg a laikusok elveszetteknek érezték magukat. A nagy ablakok rengeteg természetes fényt engednek be, ami örömet, produktivitást és pozitív érzéseket kelt. A színek és textúrák megosztották a csoportokat: a piros alumínium felület figyelemfelkeltő, de sokaknak kényelmetlen, míg a fekete mennyezet csökkenti a tér nagy érzetét, növelve ezzel a kényelmet, azonban a fekete szín nyomasztó hatást váltott ki. A közösségi tér funkciója mindkét csoportnál komfortérzetet váltott ki, de az építészeknél gyakrabban volt 10-es az értékelés. A zöld növényzet nyugalmat sugároz, de a tér üres, élettelen, társasággal kellene megtelnie a magasabb komfortérzet eléréséhez.

A kérdőívek utolsó kérdése az volt, hogy a résztvevők szerint melyik térelem hatott rájuk a legjobban válaszaik megadásában. Öt válaszlehetőség közül akár többet is megjelölhettek. Ezek voltak a szoba méretei, a fények, a színek, az anyagok és a szoba berendezése. A 7. ábrán az építészhallgatók és a laikusok által adott válaszok összesítését láthatjuk. A két



6. ÁBRA: A „magas, tágas” tér értékelése, a diagrammok a pontértékek százalékos megoszlását mutatják



7. ÁBRA: Mi befolyásolta a válaszadókat leginkább a pontozás során?
Az építészhallgatók és a laikusok által adott válaszok százalékos arányai

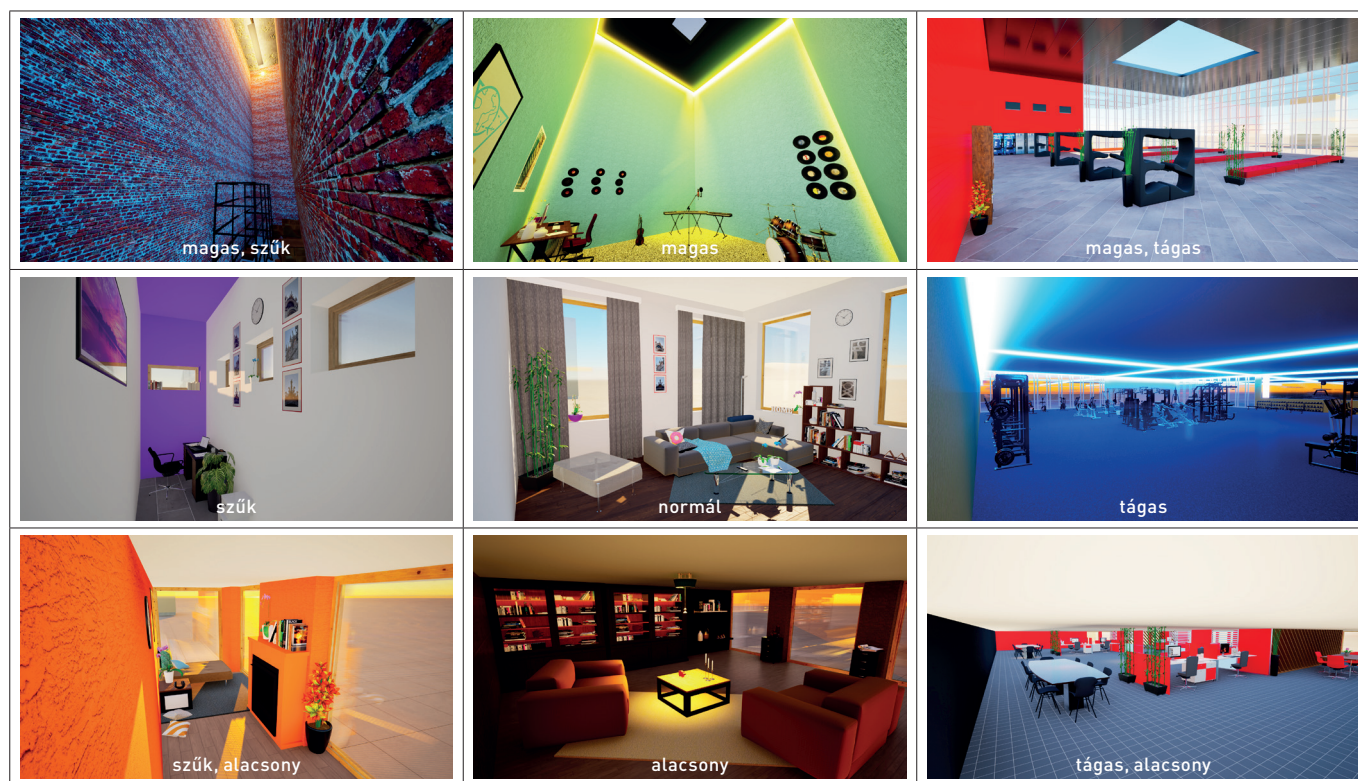
csoport válaszai hasonlóak, szinte százalékra megegyeznek. Az anyagokat és textúrákat egyik csoport sem érezte, hogy válaszaiban befolyásolta volna. A szoba berendezése és a színek megjelenése körülbelül ugyanolyan arányban hatottak a résztvevőkre. A legjelentősebb különbséget a leggyakoribb válaszban láthatunk. Az építész hallgatók szerint a szoba méretei a legfontosabbak, hiszen azok hatnak rájuk legjobban, majd ezeket követi a fények játéka, a napfény és a mesterséges fények. Ezzel ellentétben a laikusoknál a fény volt a leggyakoribb válasz a szoba méretei előtt. Ők úgy gondolták, hogy bár fontos milyen arányokkal rendelkezik egy szoba, de az, hogy miként van megvilágítva még fontosabb. Sokkal kellemesebb érzést és kényelmet tudunk kelteni a jól megtervezett és kialakított ablakokkal és mesterséges fényekkel.

4. | KÖVETKEZTETÉSEK

A fentiekben a „magas, tágas” térről kapott válaszokat értékeltük és elemeztük, példaként. A vizsgálatban azonban kilenc tér fokozatosan gazdagított változatait (**8. ábra**) vizsgáltam meg a kérdőíves módszerrel. Az eredmények alapján kijelenthető, hogy a szoba méretei és a tér arányai a legfontosabb térszervezési elemek. Ez minden egyes térnél megszabott egy alap kényelmi értéket. Ha egy térnek nagy belmagasságot tervezünk, akkor ezt össze kell hangolni a hosszúsági és szélességi méretekkel. Ennek hiánya túlságosan nagy üres tereket vagy ezzel ellentétben kellemetlenül magas szűk tereket eredményez. Az alacsony belmagasság alkalmazása klausztrofóbiát és bezártságot kelt, így ennek elkerülése kényelmi szempontból kifejezetten ajánlott.

A fények alkalmazásának következtében minden térnél pozitív változások érhetők el. A napfény jelentősége tagadhatatlan. A természetes napfény pozitív hatással van ránk, növeli a produktivitást, csökkenti a stresszszintet. A sok és nagy ablakfelület szintén pozitív. A mesterséges fények alkalmazása szintén egy jó mód a terek fénnnyel való megtöltésére. Ezeknél azonban a fény erősségére kell figyelni tervezésekor, hiszen, ha túl erős, zavaró tud lenni. A mesterséges fények színe is képes új érzéseket kiváltani. Egy helyesen megválasztott neonfény színe, ami összhangban van a fallal teljesen új érzetet tud adni a térnek.

A falak színei és textúrái drasztikus változást nem hoztak a kényelem tekintetében. A virtuális térben a textúrák érzékeléséhez szükséges a sokkal közelebbi érzet kialakítása, ebben



8. ÁBRA: A vizsgálatban fokozatosan kialakított kilenc tér

az esetben tudja csak elérni hatását. Kijelenthető azonban, ha a falak anyagai és színei nincsenek összhangban a terek arányaival, akkor a kényelem érzését rontani tudják. A színek kontrasztban való alkalmazása segíthet a tervezés folyamán egy tér érzetének és a benne kialakuló érzéseknek a megváltoztatásában. Képesek vagyunk a mennyezet növelésének, csökkentésének, a falak összeszőkítésének és kitágításának illúziójára, még akár egy olyan térben is, aminek a méretei nem a legkedvezőbbek.

A tér berendezése szintén egy fontos tervezési feladat, ami a válaszokban is megjelenik. Minden térnek van egy funkciója és egy érzete, melynek helyes kialakítása a kényelmi érzet növelését éri el. Az otthonos környezet megalkotásánál fontos elem lehet a kandalló, a puha, hívogató felületek. A személyes tárgyak és a természet megjelenése szintén pozitívan hat a tér használóira.

5. | ÖSSZEZÉS

A kibertér segítségével olyan virtuális tereket hozhatunk létre, amelyek érzelmeket váltanak ki a felhasználókból. A kutatásban különböző térmodelleket terveztem meg, különböző térarányokkal, érzelmekiváltó elemekkel. Minden teret fénnel, színekkel és anyagokkal töltöttem meg, végül funkciókat és berendezéseket kaptak. A tervezési folyamatban alkalmaztam az Eduardo Souza cikkében [11] vizsgált színelvezéseket, melyekkel a virtuális terek nagyságérzetét, a belmagasság változásának illúzióját voltam képes kelteni. A színeknél továbbá felhasználtam a Lilly Cao írásában [13] szereplő érzelmek keltő hatást, ilyen volt a kék szín nyugtató hatása vagy a piros szín figyelemfelkeltő, egyben furcsa megjelenése.

A terekről készült képeket kérdőív formájában két csoport értékelte: építészhallgatók és laikusok. Feladatuk a terek komfortérzetének értékelése volt. Az eredmények alapján minden térszerkezet alakítási fázis hatását elemezni tudtam, és következtetéseket vonhattam le a térelemek hatásairól. Kijelenthető, hogy egy szoba térarányai önmagukban nagyban befolyásolják a komfortérzetünket. Egy tágas nagy térben elveszve érezzük magunkat, addig egy kisebb közeg nyugodtabban hat ránk. Fényekkel képesek vagyunk ezt az érzetet növelni, azonban figyelni kell az elhelyezésre és a mennyiségre. A mesterséges fényeknél figyelni kell a fényforrások fényerejére. Különböző színek alkalmazásával teljesen különböző érzetet tudunk adni ugyanazon térnek. A színek és textúrák használatát össze kell hangolni a tervezés

során, hiszen a nem megfelelő alkalmazásuk negatívan hat ránk. Elmondható azonban, hogy a textúrák érzékeléséhez nem elég ha a virtuális tereket képen keresztül érzékeljük. Ehhez sokkal nagyobb belemerülést kell biztosítani, hogy elérje kívánt érzetét. Berendezésekkel egy addig hatalmas és üres tér is képes megtelni étellel, amelyben komfortosabban érezzük magunkat.

A kutatás folytatásaként a tereket virtuális valóság alkalmazásával is meg szeretném vizsgálni, mellyel egy sokkal részletesebb eredményt kaphatnék. Érdekes lenne továbbá a terek korcsoportokra bontott vizsgálata, vagy az egyes építészeti eszközök külön vizsgálata, amely szintén új eredményeket adhat. A virtuális tér és a belső terek érzelmi hatásainak összehangolása fontos a tervezés során. Ezek alkalmazásával sokkal nagyobb átélést tudunk elérni a tervezési folyamat során.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Székely Károly, Munk Sándor: A kibertér fogalma, értelmezése és fejlődése. Földrajzi Közlemények 142(4), 2018, 344-355. o.
- [2] Michael Benedikt (szerk.): Cyberspace: First Steps, The MIT Press, Cambridge, London, 1992. https://monoskop.org/images/c/c1/Benedikt_Michael_ed_Cyberspace_First_Steps_1991.pdf
- [3] Camile A. Silva: Liquid architectures: Marcos Novak's territory of information. MA diplomamunka, Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, 2005. https://repository.lsu.edu/gradschool_theses/902/
- [4] Andrew Vande Moere: An architectural approach to cyberspace. K.U.Leuven, Belgium, 2016.
- [5] Paul Ekman: Basic emotions. In: Tim Dalgleish, Mick J. Power (szerk.): Handbook of cognition and emotions. John Wiley & Sons, 1999. <https://content.e-bookshelf.de/media/reading/L-723814-f3de6fbf1d.pdf>
- [6] Csököly-Ritzl Andrea, Galambosi Eszter: Érzelmek listája: Pozitív és negatív érzelmek. 2024.06.14. <https://amirolnembeszelnk.hu/erzelmek-lista-ja-pozitiv-es-negativ-erzelmek/>
- [7] Margrit Pernau: Space and emotion: Building to feel. History Compass 12(7), 2014, 541-549, <https://doi.org/10.1111/hic3.12170>
- [8] Elif Ayse Sen: The psychology of space. Illustrarch, 2023.06.10. <https://illustrarch.com/articles/16057-the-psychology-of-space.html>
- [9] Christele Harrouk: Psychology of space: How interiors impact our behavior? ArchDaily, 2020.03.20. <https://www.archdaily.com/936027>
- [10] Ema Bakalova: Emotional architecture: How curves and lines influence human experience. Architizer, <https://architizer.com/blog/inspiration/stories/psychology-curves-and-lines-architecture/>
- [11] Eduardo Souza: How colors change the perception of interior spaces. ArchDaily, 2023.04.03. <https://www.archdaily.com/935067>
- [12] Kashmira Gander: How architecture uses space, light and material to affect your mood. Independent, 2016.05.16. <https://www.independent.co.uk/news/how-architecture-uses-space-light-and-material-to-affect-your-mood-american-institute-architects-library-a6985986.html>
- [13] Lilly Cao: How color affects architecture. ArchDaily, 2022.01.12. <https://www.archdaily.com/930266/how-color-affects-architecture>
- [14] I: The relevance of architectural psychology: How architecture and interior design affect our emotions. Imm Cologne, 2023.03.22. <https://www.imm-cologne.com/magazine/articles/how-architecture-and-interior-design-affect-our-emotions.php>

Térelemes építés

LÉVAI JENŐ

Általános jellemzés

Az iparosított építésmódok sorában a térelemekkel való építés előkelő helyet foglal el.

Elfogadható az a kronologikus sorrend, de egyben az építési technika színvonalára és az építés iparosítottsági fokára jellemző sorolás, amely a hagyományosnak nevezett tömör téglából falazott teherhordó falas építési rendszertől kiindulva — a növelt méretű „üreges” kézi falazóelemek alkalmazása után, a közép és nagyblokkos a paneles, majd a különféle öntöttfalas rendszereket követően — legfejlettebbnek a térelemes építési módot tartja.

Az épület egyes helyiségei, mint *tércellák*, vagy nagyobb helyiségeinek részekre osztásával képzett *térelemek* üzemből, futószalagon, mintegy 85%-90%-os készültségi fokban előregyárthatók, majd az építés helyszínén összeszerelhetők. A térelemek összeszerelésén túl már csak az alapozás és a közművek csatlakozása jelenti az építéshelyi munkákat.

Célkitűzések

A térelemes építési rendszer célkitűzései az alábbiakban foglalhatók össze:

a) a térszerű épületelemek teherhordó részének, szak-, és szerelőipari szerkezeteinek, sőt egyes berendezési tárgyainak üzemszerű előregyártásában és összeépítésében elérhető minél magasabb készültségi fok;

b) az építéshelyre kiszállított térelemek minden eddiginél gyorsabb, — időjárástól független — egyszerű összeszerelése kevés munkaerővel.

Elérhető eredmények

Az üzemszerű gyártás magában rejti jó szervezés esetén a legfejlettebb futószalag-rendszer alkalmazásának lehetőségét, a maximális gépesítés előnyeit, és a viszonylag alacsony élőmunka ráfordítást.

Az építéshelyi munkamennyiség erősen lecsökken, kevés kivétellel szerelőmunkává alakul, és a hagyományosnak nevezhető munkarészt csupán a közművek csatlakozása és az alapozás jelenti.

Előfeltételek, kötöttségek és nehézségek

Térelemekkel való tervezés térbeli modulhálóban történik. A moduláris tervezés szabályait az egész épületre, az egyes térelemekre, ill. azok szerkezeti részeinek mindhárom irányú méretére érvényesíteni kell.

Kötöttséget jelent a térelemek szállítása. Ez idő szerint a közúti szállítás méretkorlátozásai, a szállítóeszközök (nyerges vontatók) kapacitása, valamint a fékezésnél és a kanyarokban jelentkező tömegterhelésből származó többlet igénybevételek a szállított elemeken az egyébként kívánatos méret, — súly — és felépítettség tekintetében korlátokat szabnak.

Nehézségként jelentkezik az építési mód és szerkezeti rendszerből adódó sajátos, de őszinte architektúra megtalálása, ill. megszokása. Hiányzik a bővebb építőanyag választék, különösen akkor, ha a térelemes építés során a vasbetontól könnyebb szerkezeti anyagokból kívánjuk a térelemeket készíteni és a hő-, hang- és tűzvédelmi előírásokat, valamint a korrózióvédelmet is megfelelő mértékben kielégíteni.

Szükségesnek látszik a térelemes épületek használati időtartamának prognosztizálása, a tervezett élettartammal összhangban megfelelő szerkezeti anyagok és felépítettség gazdaságos és műszakilag is helyes megválasztása.

Alkalmazási terület, anyag és szerkezet

A közel két évtizedes, rövid múltú és előzményekkel alig rendelkező építési mód példáit felmérve feltűnnek azok a befolyásoló tényezők, amelyek az alkalmazó ország építőanyag bázisától, munkaerő ellátottságától, vagy klimatikus



1. ábra. Az építéshelyre kiszállított „Dresden 2” típusú térelem előkészítése beemeléshez



2. ábra. Térelem szak- és szerelőipari munkáinak 85—90%-át a futószalagon elkészítik



3. ábra. „Dresden 1” típusú térelemes óvoda

5. ábra. Motel Dresden
térelemes épületei.
Lakószárny keleti homlokzata



4. ábra. „Niesky 69” típusú kétszintes
óvoda homlokzati szerkezetei



6. ábra. Motel Dresden lakószárnyának udvari homlokzata



7. ábra. Motel Dresden
éttermi részének homlokzata

viszonyaitól függenek. A befolyásoló tényezők másik része az építészeti, illetőleg szerkezettervezői felfogásnak függvénye, és a funkció szabta igények, vagy építési előírások. Így a Szovjetunióban leginkább a térbeli merev öntött vasbeton tércellákkal készült többszintes lakóépületek, az Egyesült Államokban nagyobb számban a faanyagú egy, vagy néhány szintes térelemes családi házak, míg a nyugat-európai államokban főként a fa-, fém-, és műanyagból készített egytől három szintes térelemes családi házak, üdülők, iskolák, bölcsődék és más közintézmények elterjedése figyelhető meg. A Szovjetunió kivül, Kelet-Európában az NDK jutott már túl a térelemekkel való építés kísérleti szakaszán. Az NDK-ban több gyár futószalagszerű gyártásban évi ezres nagyságrendű térelemszámot produkál. Csehszlovákiában a könnyű térelemeket egyre inkább az építéshelyek berendezéseként alkalmazzák. Praktikus, kulturált építési irodákat és munkásszállásokat létesítenek, melyek könnyen helyezhetők át egyik építéshelyről a másikra, ahogy a gyakran változó építési helyszín és a gazdaságos el- és felvonulás kívánja.

Több kelet-európai országban — így hazánkban is — a térelemes építés még nem alakult ki.

Egyes térszerű épületrészeket, elsősorban a paneles lakóépületek ún. „vizes-helyiségeit” és berendezéseit magába foglaló tércellákat már hosszabb idő óta alkalmazzuk jó eredménnyel, de ez igazában nem tekinthető térelemes építési módnak.

Fejlődési tendenciák, hazai lehetőségek

Az építőtevékenység fejlesztésének és fejlődésének tendenciái hazánkban az építés iparosításának további fokozására irányulnak.

Az építőipari tervezés egyszerűsítése, mint cél, a kivitelezési munkák átfutási idejének lerövidítése és az építési egységre eső költségek csökkentése mint szándék, a modulizáció, tipizálás és iparosítás mint eszköz, s döntően az építőipari munkaerő perspektivikus szűkülése mint adottság valamennyi újabb építési mód és szerkezeti rendszer kifejlesztésére vagy átvételére, majd ezek hatékony bevezetésére ösztönöz.

Ezek egyike a térelemes építés lehet.

Az első hazai alkalmazás területének a hétvégi ház, üdülőtelep és motel építkezések látszanak.

A hazánkban a szabad idő egészségesebb eltöltése, a belső turizmus és külföldi idegenforgalom „turista-osztály” ellátási szintjének kulturáltabb és bővebb kielégítése, a robbanás-szerű hétvégi ház-nyaraló építési szándékának az eddigi „ERDÉRT” termékeknél fejlettebb, komplettebb és esztétikusabb, kapható és olcsó épületekkel való „levezetése” a kevésbé súlyos, jól szállítható és elhelyezhető készház kifejlesztését igen időszerűvé teszik.

Könnyű, esztétikus és magas készlettségi fokkal gyártott térelemes nyaralók, melyek kap-

hatók és viszonylag olcsók. Egyike lehetne ez a közeljövő programjának, amely a hétvégi ház fronton uralkodó „tarka” anarchiát és szakiparos-börzét, vagy nem utoljára a rendkívül találékony, de végül is kontár, csúnya és drága „önerőt” az adminisztratív intézkedések helyett felválthatja.

Induláshoz az anyagbázis és a szövetkezeti ipar elegendő ígéretet jelent.

Távolabbi céllal további alkalmazási területei lehetnek a térelemes építésnek. Az építéshelyi berendezések, mezőgazdasági kihelyezhető szállások, honvédelmi célú lakó és műszaki objektumok nagy mobilitást, többszöri áthelyezhetőséget kívánnak meg. Ezek speciális és praktikus térelemes építmények útján mindenképp kultúrált és a jelenleginél olcsóbb megoldást nyerhetnek.

Az alkalmazás általánosabb területei az alábbiak:

a) Lakóépületek esetében:

- zártosuló, sorházas beépítésben egy- és két-szintes lakóházak,
- családi házak.

b) Gyermekgondozási és -képzési intézményeknél:

- bölcsődék,
- óvodák,
- iskolák és ezek kiegészítő létesítményei,
- napközi otthonok.

c) Adminisztrációs — igazgatási intézmények.

d) Szolgáltatási célú beruházások.

e) Orvosi ellátási intézményeknél:

- ambulancia,
- orvosi rendelő és nővérállomás.

f) Üdülőterületeken:

- bungálókna,
- üdülőlétesítményeknél és ifjúsági nyaralókna.

g) Felvonulási létesítményeknél:

- technikai személyzet szállása,
- irodák, raktárak, műhelyek.

h) Honvédségi lakó, — ill. műszaki jellegű épületek.

Gazdaságosság

Az iparosított építésmódok gazdaságossági mutatói a szérianagyságtól és a termelői beruházások megtérülési idejétől függően jelentősen változhatnak.

Hasonló igény szintű objektumok gazdaságossági összehasonlítása esetén azonban előnyök mutatkoznak a térelemes rendszerek javára.

Közvetlenül jelentkező gazdaságossági előny származik főként a szak- és szerelőipari munkák vonalán.

Közvetett, de jól becsülhető az a gazdaságossági előny is, ami a helyszíni munkaerőigény csökkentésével és az építés átfutási idejének rendkívüli lerövidülésével együtt jár.

Prof. Becker Gábor*

KOMMENTÁR LÉVAI JENŐ „TÉRELEMES ÉPÍTÉS” CÍMŰ 50 ÉVE MEGJELENT CIKKÉHEZ

COMMENTARY ON THE 50 YEARS AGO PUBLISHED ARTICLE OF
LÉVAI JENŐ “VOLUMETRIC MODULAR CONSTRUCTION”

A cikk bevezető mondata önmagában korjelző: 1974-ben, a tervgazdaságnak ebben a szakaszában az építésben a jelszó, a jövő ígérete az iparosított építés volt. Már régóta futottak az egyre kiérleltebb panelos programok, viszonylag fejlett volt a beton alapú előregyártás, és éppen beindult az aktuális megváltó ötlet, a könnyűszerkezetes kormányprogram. Ennek keretében a hetvenes évek végén, a nyolcvanas évek elején megjelennek a honosított acélszerkezetű építési rendszerek, mint pl. a csarnoképítési Conder, az elsősorban irodaházakra szánt Fillod, és a legelterjedtebb, a közepes léptékű középületek (iskolák, óvodák, orvosi rendelők stb.) építésére szolgáló CLASP.

Az írás korrekten végig veszi a térelemes építés előnyeit és hátrányait, ezek az állítások máig érvényesek, még ha kissé másképpen is fogalmaznánk meg őket. A kötöttségek jelentősek, és komoly szellemi munkával lehet csak a térelemekből megvalósuló épületeket elfogadható építészeti megjelenésűvé tenni. A cikk írásakor hazai térelem gyártás nincs, követendő példaként az akkori NDK-ban kifejlesztett térelemes épületekből, az alkalmazás lehetőségeiből mutat be néhányat. Megjegyzni, hogy az acél szerkezetű térelemek esetén komoly hő- és hangszigetelési problémák keletkezhetnek, és nem egyszerű a tűzvédelem, valamint a megbízható korrózióvédelem megvalósítása sem. A cikk végén felsorolja azokat a területeket, ahol szerinte a későbbiekben a térelemek felhasználhatóak.

A térelemek hazai fejlesztése elsősorban az ideiglenes jellegű épületek területére korlátozódik. Részben ebből is adódóan ezeket inkább konténereknek nevezzük, nevezzük. A felsorolásban szereplő felhasználási területek egy részén a szerző jóslata bevált. Hazánkban lakóépületeket nem építenek látható mennyiségben térelemekből, de már oktatási létesítmények – iskolák, óvodák – készülnek belőlük, amiket jellemzően ideiglenes jelleggel, átmeneti, illetve szükségmegoldásként alkalmaznak. Nem csak

nálunk, hanem szerte Európában, mint azt a mellékelt fotó mutatja, még a gazdag Németországban is (1. ábra). Széles körben használják az iroda- és szaniter konténereket felvonulási épületekként és tömegrendezvények – pl. a nyáron népszerű ifjúsági fesztiválok – kiszolgáló létesítményeiként. Egy ilyen fesztivál akár több százezer látogatót is vonz, amihez rövid időre akár száz, vagy még több konténerre is szükség van. Hasonlóképp ideiglenes jellegű funkcióra használták a konténereket a pandémia idején: számos kórház, klinika elé került belőlük oltópontként, beléptető-ellenőrző zsilipként.

A korrózióvédelem, de főleg a tűzvédelem az eltelt ötven év alatt sokat fejlődött, megoldásai beépültek a konténerek gyártásába is. Bár az akusztika – a kis súly miatt – továbbra sem erős oldala a konténereknek, a hőszigetelés terén voltak előre lépések. A külső (látható) vázas szerkezetek belső hőszigetelése a váz mögött csak a minimá-



1. ÁBRA: Konténer iskola Németországban. IGS-West in Frankfurt – Integrierte Gesamt- und Ganztagschule (fotó az iskola honlapjáról)

* okl. építészmérnök, DLA, egyetemi tanár, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építészmérnöki Kar, Épületszerkezetek Tanszék, e-mail: gbecker@epsz.bme.hu

lis követelményeknek tesz eleget, de vannak igényesebb, kívülről hőszigeteléssel és burkolattal ellátott térelemes építési rendszerek is, jellemzően a nem ideiglenes jellegű szegmensben. Hasonló a helyzet az építészeti megjelenéssel is: az elsősorban ideiglenes felhasználásra készülő elemek esetén jellemzően nincs különösebb esztétikai elvárás, ezért azok ösztöntén felvállalják konténer mivoltukat, míg a tartós használatú szerkezetek esetén törekednek az elemi egységek, a belső vázak lehető legjobb eltüntetésére, illetve álcázására.

Ha kicsit messzebbre tekintünk, akkor az USA-ban használatos „mobile home”-okkal kell kezdenünk, amikből a legegyszerűbbek lényegében bármikor utánfutóként elmozdítható egységek. Ezekben a jellemzően nem túl magas színvonalú, erre a célra létrehozott, az európai kempingekhez hasonló telepeken lehet lakni, általában meglehetősen szerény körülmények között. De a szortiment igen széles: a kettő, még inkább a négy (az USA nagyobb szabványos országúti úrszelvényéből adódóan) egész elfogadható méretű egységből összeállított lakóépület már az átlagos igényeket ki tudja elégíteni. A lényegesen nagyobb, komfortosabb épületek is könnyű, jellemzően takarékos fa szelvényekből üzemből összeépített térelem egységekből állnak. E cikk szerzőjének módjában állt az Egyesült Államokban látni az autópályán olyan nyitott oldalán leponyvázott lakóépület modult traileren szállítani, amibe még a függöny is fel volt szerelve az ablak elé. A helyszíni élőmunka megtakarítás mindenél fontosabb, ezért az USA-ban a kisházak dominálnak, csak a leggazdagabbak engedhetik meg maguknak azt a luxust, hogy szilikát bázisú, egyedi tervezésű és építésű épületekben lakjanak.

A teljességre való törekvés nélkül említjük meg, hogy Japánban is komoly tere van a térelemes építésnek. Kis középületeket – óvodák, iskolák, orvosi rendelők – igényes építészeti megjelenéssel is képesek ezzel építeni. Az Európában jobbra járműveiről és gépeiről ismert Toyota nagy térelem üzemmellel rendelkezik, amelyekben guruló palettákon mozgatva lényegében futószalagon készítik a térelem egységeket (2. ábra). Ezekből évente hétezer



2. ÁBRA: Térelemszerelő üzem a Toyota Home vállalatnál (forrás a Toyota Home weboldala)

lakóegységet építenek igényes megjelenéssel, prémium minőségű emeletes családi házaikon alig lehet felfedezni a szerkezeti rendszer nyomait. A kommersz térelemek piacát Japánban a Kínából származó olcsó térelemek uralják, ezekből sokkal több lakóépület készül, mint hazai gyártásúból. Szeizmológiai adottságaiból következően Japánnak komoly havária térelem készlete van, az egyes prefektúrák megszabott kvóta alapján tárolják ezeket, és egy katasztrófa esetén mindegyik a bajba jutottak segítségére siet vele. Így tudtak a 2012-es nagy földrengés után pár nap alatt 43 260 lakóegységet felállítani a rázszorultaknak.

Még sok példát lehetne hozni a nagyvilágból, de álljon itt egy angol példa: London Greenwich városrészében a Creekside fejlesztési területen egy 22 szintes lakóépületet emeltek belső mag köré szervezett térelemekből. A toronyház lakásai szakipari munkáinak túlnyomó részét az előregyártó üzemből el tudták végezni, az acélszerkezetű épület nagyon gyorsan megépült. (A szerző ide egy látványos fotót tervezett az építés közbeni állapotról egy térelem beemelésével, de a cikk megírása előtt pár nappal a szerkezettervező és kivitelező cég letiltotta az összes szerkezeti fotót minden előfordulási helyén a neten, így hiába áll korábbi rendeltetésére, nem teheti közzé.)

Végül emlékezzünk meg egy hazai térelemes attrakcióról. A 2012-es Solar Decathlon egyetemi hallgatói pályázaton résztvevő műegyetemi csapat épülete az Odoo a szállíthatóság érdekében térelemes egységekből állt, amit előbb a MÁV kőbányai járműjavító telepén egy csarnokban teljesen összeépítettek, majd szállítható elemekre bontottak. A mélybölcsős trailerekkel kiszállított elemek összeszerelésére és az épület teljes komplett beüzemelésére 10 nap állt rendelkezésükre, aminek a térelemes építés segítségével meg tudtak felelni (3. ábra).



3. ÁBRA: A 2012-es Solar Decathlon versenyen kitűnően szereplő Odoo ház első moduljának beemelése a Műegyetem kertjébe (fotó: OdooProjekt)