



MAGYAR ÉPÍTŐIPAR

HUNGARIAN BUILDING INDUSTRY

LXXII. | 2023.2.



A Szerk. TISZTELT OLVASÓNK!



*prof. Becker Gábor
a szerkesztőbizottság elnöke*

Bonyolult dolog a környezetvédelem. Sokszor az első látásra nagyszerű megoldásokról csak utólag derül ki, hogy inkább melléfogások voltak, semmint jó ötletek. Közismert szakmai példája ennek a duzzasztott parafa: a hőszigetelő anyagok közül ennek a legkisebb az ökológiai lábnyoma, de ha mostantól csak ezt használnánk, néhány óra alatt kiirtanánk az összes parafa erdőt.

Ismert a mondás: a természetet őrizni és ápolni kell. Erre idézhető a régi riposzt, mely szerint a természet nem rab, hogy őrizni kelljen, és nem beteg, hogy ápolásra szorulna – bár az utóbbiban már nem vagyok biztos. Abban viszont igen, hogy teljes tévedés, hogy a változások mindegyikét károsnak tekintsük, és a természetet mai állapotában „lelakozva őrizzük”. Egyik kedvenc példám erre is Balaton. Sokan tudják, hogy az alakja, vízmennyisége az elmúlt párszáz évben is nagyon sokat változott. Cholnoky Jenő kutatásaiból tudjuk, hogy vízszintje a legmagasabb (113,3 méter) a tatárjárás korában volt, majd többször majdnem teljesen kiszáradt. A somogyvári bencés apátságról szóló vatikáni iratokban az áll, hogy annak falánál be lehetett lépni a Balatonba – ma Somogyvár kb. tizenöt kilométerre van a tó partjától, a tó vízszintje pedig 104 méter körüli, tehát kb. kilenc és fél méterrel alacsonyabb. 1861-ben a Déli Vaspályatársaság Buda-Nagykanizsa vasútvonalának építésekor a déli part mentén alakították ki a töltést, mert akkor a vízparti, nehezen megművelhető területek voltak a legolcsóbbak, és az alacsony vízszint miatt viszonylag széles sáv állt rendelkezésre. A helyi gazdák, földművesek közül többen is jelezték, hogy a töltések alacsonyak lesznek a tó korábbi szintjéhez képest, de a tó tovább apadt, a legalacsonyabb 1866-ban volt, majd 1879-ben annyira megáradt, hogy a víz elöntötte az addigra már több helyen kiépített partokat. Siófokon, Balatonfüreden víz alatt állt a parti móló és a sétatér, és a víz veszélyeztette a vasúti közlekedést is. Ennek megoldására építették meg a Sió torkolatánál a zsilipet, aminek – pontosabban nemrég átadott többedik utódjának – segítségével pontosan szabályozni lehet a vízszintet. Ez „zöld”, vagy inkább praktikus lépés volt? Mára a déli part szinte egybefüggő kiépített kő-beton szegéllyel rendelkezik, míg a hatvanas években túlnyomórészt egyszerűen kifutott a víz az enyhe lejtésű partra, ami lehetővé tette, hogy a vízen úszó szennyeződés kilökődjön a partra, ami a tó egyik öntisztulási formája – volt.

Aki ismeri a svájci és német S-Bahnokat, az tudja, hogy legeredményesebben a gyors, pontos, kényelmes tömegközlekedéssel lehet felvenni a harcot a gépkocsik városokat ellepő hada ellen. Magam is sokszor tapasztalhattam, hogy ez nagyon jó megoldása a nagyvárosok és agglomerációjuk közlekedésének. Vonalai a legkisebb költséggel és a legkevesebb környezetterheléssel a meglévő vasútvonalak mentén alakíthatók ki, de természetesen ehhez is vasúti pályák építésére, töltések szélesítésére, állomások építésére van szükség. Nem vagyok naiv, tudom, hogy a politika is közrejátszik az ezzel kapcsolatos vitákban, de azért engedtessek meg nekem a kételkedés azon zöldek megnyilvánulásainak őszinteségében, átgondoltságában, akik minden eszközzel meg akarják akadályozni az erre irányuló fejlesztéseket arra hivatkozva, hogy emiatt ki kell vágni néhány fát, meg kell bolygatni a vasúti töltések környezetét.

A gépkocsik környékén is elég nagy a bizonytalanság. Itt nem elsősorban a belsőégésű kontra elektromos meghajtásra gondolok, bár az is megér egy-két gondolatot, hiszen az elektromos autók csak az üzemelés közben környezetkímélők, előállításuk, akkumulátoraik gyártása és újra felhasználása sok vitát vált ki, hisz nem mindenben a környezettudatosság éllavasai. Ha még

távolabbra tekintünk, akkor azt látjuk, hogy a Németországban futó elektromos járművek az energiájukat jelentős részben meglehetősen környezetterhelő szén- és ligniterőművekből kapják, mert a zöld pártok nyomására a németek leállították atomerőműveiket, így emiatt, de különösen az energiaválság beköszöntével kénytelenek voltak ezekhez az egyszer már meghaladottnak ítélt energiaforrásokhoz fordulni. (Az is közismert, hogy jelentős energiainportjuk nagy részét a francia atomerőművekben termelt áram teszi ki.)

A mi szakmai területünkön, a városok élhetőségét illetően is több ellentmondásos helyzet adódik. Kihagyom a kerékpársávok adta olcsó poént, inkább a parkolási övezetek hatását említem meg. Sokszor halljuk, hogy ezeket elsősorban nem jövedelemszerző célból, hanem inkább valamilyen szabályozás okán alakítják ki. Egy zöldövezeti kistársasház, szórványosan családiházak beépítésű övezetben nemrég vezették be a parkolási díjat. Az utcákat addig elárasztották a gépkocsik, melyek a díjkötelesség után szinte teljesen eltűntek, még az esti órákban – amikor a lakók kedveményesen tárolhatják kocsijaikat a házaik előtt – is elég ritkásan állnak a járda mellett. Eközben a társasházak közül nem egyben, a cégeknek otthont adó kisebb épületek, átalakított családiházak szinte mindegyikében a gépkocsik beköltöztek a kertekbe. Jobb esetben gyeprácsra, zöldbetonra állnak, de sok helyen gondosan leburkolták szinte az egész kertet az ott dolgozók kényelmesebb parkolása érdekében. (A zöldterület százalékos előírását csak az engedélyezés során nézik, a használatbavételkor talán ellenőrzik, egyébként üres paragrafus.) Az eredmény tehát: a burkolt utcák jobbára üresek, az addig zöld, virágzó kertek nem kis része le lett burkolva, gépkocsik állnak bennük. Biztos ez volt a szabályozás célja?

Egy dolog biztos: nagyon bonyolult kérdés a környezetvédelem.

Aktuális lapszámunk cikkei több szálon kötődnek a környezetvédelemhez, vagy a környezettudatos építéshez. Szólunk a fázisváltó anyagokról, melyek segíthetnek épületeink belső klímájának hatékonyabb szabályozásában; a sokak által idejétmúltnak tekintett, de ökológiai szempontból igencsak kedvező vert vályogfalak időjárásállóságáról; a lakóépületek benapozottságának fontosságáról és vizsgálati módszereiről; a faépítés múltjáról, jelenéről és kíváncsú jövőjéről. Bizonyos, hogy e cikkek sem fogják megoldani a környezeti problémákat, de bízunk benne, hogy segíthetnek a tárgyalat területek jobb megértésében, és érdekes olvasmányként szolgálhatnak lapunk olvasói számára.



Magyar Építőipar | Hungarian Building Industry

Főszerkesztő: **Horváth Tamás PhD** – SZE, Győr

A szerkesztőbizottság elnöke: **prof. dr. Becker Gábor** – BME, Budapest

A szerkesztőbizottság tagjai:

Bozsaky Dávid habil PhD – SZE, Győr; **prof. Kiss Rita**, az MTA levelező tagja – BME, Budapest;

Molnár Tamás habil DLA – PTE, Pécs; **Stocker György habil DLA** – BME, Budapest;

Szabó Péter PhD – SE, Sopron; **Tóth Balázs** – ÉMI, Szentendre; **Vizi Gergely PhD** – ÓE, Budapest;

Völgyi István PhD – BME, Budapest

Index: 25,553 HU ISSN 0025-0074

A folyóirat lektorált cikkeket tartalmaz. Megjelenik évente hat alkalommal.

Szerkesztőség: 1095 Budapest, Mester utca 87. Tel./fax: 06 1 201-8416,

e-mail: info@epitokiado.hu, internet: www.magyarepitoparkiado.hu

Kiadja: ÉTÉ Szakértő és Magyar Építőipar Kiadó Szolgáltató és Kiadói Kft.

Felelős kiadó: Dévai Zoltán | Kiadványszerkesztés: Horváth Tamás PhD

Címlap: Simon Dániel fényképe (átszerkesztve). A képen egy lécbetétekkel készített vert vályogfal próbatetet láthatunk a locsoló eróziós vizsgálat után. A kapcsolódó cikket lásd az 58. oldalon.

2023.2. TARTALOM | CONTENTS

46 BEVEZETŐ	Prof. Becker Gábor A Szerk. Tisztelt Olvasónk! <i>The Editor. Dear Reader!</i>
49 TUDOMÁNY	Bozsaky Dávid, Lekics Gábor A fázisváltó anyagok történeti fejlődése, előállítása és anyagválasztéka <i>Historical development, production and range of phase change materials</i>
58 MINŐSÉG	Simon Dániel, Kemes Balázs, Medvey Boldizsár A korszerű vályogépítés lehetőségei, a vert vályogfalak jelene és jövője <i>Possibilities of modern earth construction, present and future of rammed earth walls</i>
65 ZÖLD/ENERGIA	Hajdu Árpád, Hegedűs Dániel László, Tóth Olivér, Ajtayné Károlyfi Kitti, Szalai Dóra, Horváth Tamás Benapozásvizsgálat parametrizált módszerrel egy lakóház példáján <i>Daylight analysis using a parametric method on the example of a residential building</i>
73 AKTUÁLIS	Az Építőipari Mesterdíj Alapítvány sajtóközleménye alapján A 2022. évi Építőipari Nívódíjakhoz kapcsolódó további elismerések <i>Further acknowledgments relating to the premium award of construction industry in 2022</i>
82 45 ÉVE ÍRTUK	Tamáskas János Faszerkezetek az építésben <i>Wooden structures in construction</i>
89	Szuhanyik Marcell Kommentár Tamáskas János „Faszerkezetek az építésben” című, 45 éve megjelent cikkéhez <i>Commentary on the 45 years ago published article of Tamáskas János “Wooden structures in construction”</i>

Bozsaky Dávid¹, Lekics Gábor²

A FÁZISVÁLTÓ ANYAGOK TÖRTÉNETI FEJLŐDÉSE, ELŐÁLLÍTÁSA ÉS ANYAGVÁLASZTÉKA

HISTORICAL DEVELOPMENT, PRODUCTION AND RANGE OF PHASE CHANGE MATERIALS

KIVONAT / HUN

A 21. század folyamán amellett, hogy fokozott igény alakult ki a megújuló energiák minél hatékonyabb hasznosítására, rendkívül fontossá vált a megtermelt energiák megfelelő tárolása is. Mivel a legtöbb anyag halmazállapot-változás közben nagymennyiségű hőenergiát képes eltárolni, így ennek egyik lehetséges megoldásaként számításba jöhet a fázisváltó anyagok alkalmazása is. Ezen anyagok esetében igény szerint beállítható a fázisváltáshoz szükséges hőmérséklet, ezáltal hatékonyan képesek felhasználni a fázisváltáshoz szükséges látens hőt. Az elmúlt több mint egy évszázad során számos kísérlet történt fázisváltó anyagok létrehozására és különféle területen történő alkalmazására. Ezek közül a különféle mikrokapszulázási eljárások bizonyultak a legcélravezetőbbnek. Jelenleg többféle előállítási módszer létezik, és számos anyag használatos kapszula maganyagként és héjanyagként egyaránt. Jelen cikk célja, hogy a fellelhető szakirodalom alapján áttekintést adjon a fázisváltó anyagok fejlődéstörténetéről, az előállítási eljárásaikról és bemutassa az alkalmazott mag- és héjanyagok széles spektrumát. Egy későbbi cikkben építőipari alkalmazásuk kerül bemutatása.

Kulcsszavak: fázisváltó anyagok, mikrokapszulázás, hőtárolás, látens hő, hőszigetelés

ABSTRACT / ENG

In the 21st century, besides the increased demand for the most efficient utilization of renewable energy sources, the proper storage of the produced energies also become extremely important. Most materials can store a large amount of thermal energy during a change of state. The use of phase change materials can be considered as one of the possible solutions for thermal energy storage. The phase change temperature can be set for these materials arbitrarily, thus they can efficiently use the latent heat required for the phase change. During the last century, many attempts have been made to create phase change materials and apply them in various fields. Of these, the various microencapsulation processes have proven to be the most effective. Currently, there are several production methods and many materials are used both as core and shell material. The purpose of this article is to provide an overview of the historical development of phase change materials, to show their production processes, and to present the wide spectrum of core and shell materials used, based on the available literature. Their application in the construction industry will be presented in a later article.

Keywords: phase change materials, microencapsulation, heat storage, latent heat, thermal insulation

¹ tanszékvezető, egyetemi docens, okl. építészmérnök, PhD, habil, Széchenyi István Egyetem, Építészeti és Épületszerkezzettani Tanszék, e-mail: bozsaky@ga.sze.hu

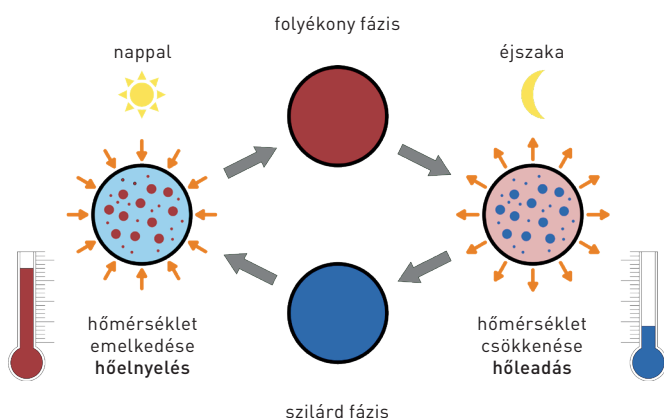
² egyetemi tanársegéd, PhD hallgató, építészmérnök, okl. létesítménymérnök, Széchenyi István Egyetem, Építészeti és Épületszerkezzettani Tanszék, e-mail: lekics.gabor@sze.hu

1. | BEVEZETÉS

A 21. század energiaellátási problémái rávilágítottak arra, hogy nem csupán az a probléma, hogy fenntartható módon szeretnénk épületeink üzemeltetéséhez szükséges energiákat előállítani, hanem a megtermelt energiát is gazdaságosan és hatékonyan kellene felhasználni. Napjainkban a megújuló energiák kiaknázására egyre kifinomultabb eszközöket használunk, azonban az már kevésbé megoldott, hogy ezek az energiák a szükséges időben és a kellő mennyiségben álljanak rendelkezésre. Energetikai szempontból rendkívül fontos lenne, hogy a megtermelt hőenergiát meghatározott ideig gazdaságosan és viszonylag egyszerűen visszanyerhető módon eltároljuk.

A legtöbb anyag jelentős mennyiségű hőt képes eltárolni a hőmérsékletének emelkedésével, azonban fajlagosan sokkal nagyobb hőtárolás valósítható meg halmazállapot-változás közben. Példának okáért a víz olvadáshője 334,5 kJ/kg, párolgáshője 2257 kJ/kg, fajlagos hőkapacitása pedig 4,183 kJ/kgK. Mindez azt jelenti, hogy 1 kg víz a szilárdból folyékony halmazállapotba történő váltás során nagyjából annyi hőenergiát képes eltárolni, mint 80 °C-kal történő hőmérsékletváltozásakor, folyékonyból légnemű halmazállapotba történő váltáskor pedig annyit, mintha a hőmérséklete 540 °C-kal nőtt volna. Azonban a szokványos építőanyagok viszonylag nagy vastagságban kerülnek beépítésre, kicsi a fajlagos, hőátadásra alkalmas felületük, és általában lassan, nagy hőmérsékletkülönbségek hatására képesek az eltárolt hőt leadni, valamint fázisváltozásuk nem a szükséges hőmérsékleten megy végbe. Ahhoz, hogy az eltárolt hő hatékonyan kinyerhető legyen és kis hőmérsékletkülönbség esetén is gyors és egyenletes hőátadás valósulhasson meg, nagy fajlagos hőátadó felület és igény szerint előre beállított halmazállapotváltozáshoz tartozó hőmérséklet szükséges.

Ez az ún. fázisváltó anyagok (Phase Change Material, PCM) segítségével oldható meg, amelyek olyan speciális anyagok, amelyek vegyi összetételét úgy határozzák meg, hogy a fázisváltozásukhoz (azaz halmazállapot változásukhoz) tartozó hőmérsékleteik igény szerint beállíthatók legyenek. Működésük lényege, hogy energiát képesek tárolni azáltal, hogy képesek kihasználni a fázisváltozásukhoz tartozó látens hőt (1. ábra) [1].



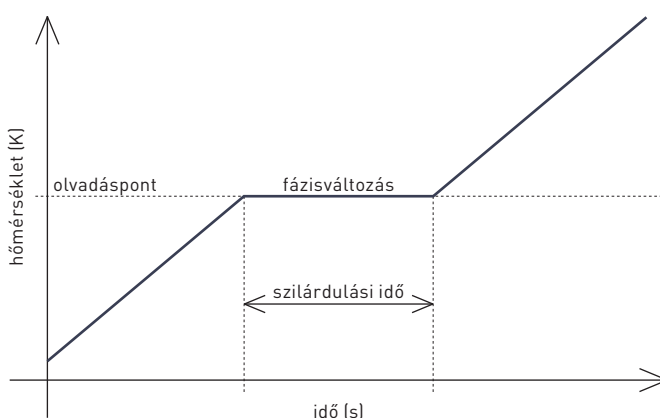
1. ÁBRA: A fázisváltó anyagok működési modellje [2]

2. | TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS

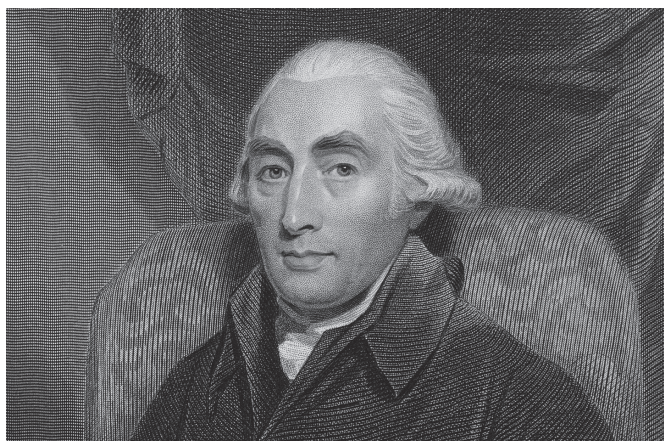
A fázisok az anyagi rendszerek azonos fizikai és kémiai tulajdonságú, egymástól fizikai határfelülettel elválasztott tartományai. Lényeges tulajdonságuk, hogy optikai módszerekkel megkülönböztethetők, és fizikai módszerekkel szétválaszthatók. Különböző fázisokat képezhetnek a halmazállapotok (gáz, folyékony, szilárd), de azonos halmazállapotú, egymással nem elegyedő anyagok is (pl. víz és olaj) [3].

A halmazállapot-változáshoz tartozó hőmérsékleti értékek olyan fizikai jellemzők, amelyek minden anyag esetében egyértelműen meghatározhatók (pl. olvadáspont, forráspont). Amennyiben grafikusán ábrázoljuk az anyag hőmérsékletének változását és a közölt hőmennyiség összefüggését, azt tapasztalhatjuk, hogy a kettő között egyenes arányosság áll fenn. Megfigyelhetjük azonban azt is, hogy a kapott függvény csupán monoton növekvő, ugyanis találhatunk benne konstans szakaszokat, ahol hőközlés hatására az anyag hőmérséklete nem növekszik. Jellemzően ezek a szakaszok a halmazállapot változásokhoz tartozó hőmérsékleteknél találhatók (2. ábra). Ilyenkor tehát az elnyelt hőmennyiség nem arra fordítódik, hogy növelje az anyag hőmérsékletét, hanem arra, hogy az anyagi részecskék közötti kapcsolatot megváltoztassa, ezáltal az másik fázisba (halmazállapotba) kerüljön. Ezt, a fázisváltozáshoz szükséges, hőmérsékletemelkedést nem okozó hőenergiát látens hőnek nevezzük. Értéke a $V \cdot \rho \cdot L_o = P \cdot t$ összefüggéssel számítható, ahol V a fázisváltó anyag térfogata [m^3], ρ a fázisváltó anyag sűrűsége [kg/m^3], L_o a fázisváltó anyag olvadáshője [J/kg], P a fázisváltozás során elnyelt hőteljesítmény (azaz egységnyi időre eső hőcseré) [W], t pedig ennek időtartama [s] [4].

A jelenséget elsőként Joseph Black (1728-1799) angol fizikus (3. ábra) tanulmányozta részletesen, és 1761-ben arra a következtetésre jutott, hogy ha jég és víz keverékével hőt közöl, akkor nem a hőmérséklete növekszik, hanem a keverékben lévő víz mennyisége. Hasonló megfigyelést végzett forrásban lévő vízzel is, ahol azt tapasztalta, hogy hőközlés hatására nem a hőmérséklet emelkedik, hanem a vízgőz mennyisége. A fentiek alapján arra következtetett, hogy léteznie kell egy olyan láthatatlan hőanyagnak (lekkor még a hőnek anyagi természetet tulajdonító ún. caloricum-elmélet forgott a köztudatban), ami a halmazállapot változásakor egyesül a



2. ÁBRA: A fázisváltozás folyamata az idő és a hőmérséklet függvényében



3. ÁBRA: Joseph Black [6]

vízrészecskékkal. Elsőként írta le továbbá a fajlagos hőkapacitás fogalmát és kimutatta, hogy különböző anyagok esetében a látens hő mennyisége eltér, vagyis az egyes anyagok más-más fajlagos hőkapacitással rendelkeznek [5].

Fázisváltó anyagokkal kapcsolatos kutatásokat elsőként az amerikai fizikus, Alan Tower Waterman (1892-1967) végzett 1916-ban a Princeton University fizikai kutatólaboratóriumában. Magas hőmérsékletre hevített kalkogenid sók (azaz olyan sóvegyületek, amelyek legalább egy kalkogénionból, azaz a periódusos rendszer VI. oszlopában, az oxigéncsoportban található kémiai elemből állnak) termionikus emisszóját (Edison-Richardson-effektus), azaz felhevített állapotban történő elektronkibocsátását vizsgálta. A molibdén-diszulfid (MoS_2) esetében azt az érdekességet fedezte fel, hogy elektronkibocsátása a hőmérséklet (és egyben a halmazállapot) változtatásával tetszés szerint beállítható [7] [8].

A napenergia látens hő formájában történő tárolására és annak felhasználására irányuló kutatásokat később az 1940-es években a magyar származású, amerikai fizikus, Telkes Mária (1900-1995) folytatott (4. ábra), aki ekkoriban a Massachusetts Institute of Technology (MIT) oktatója volt. Munkájának eredményeként Eleanor Raymond (1887-1989) amerikai építésszel megtervezett egy egész évben kizárólag napenergiával fűtött lakóházat, ami 1948-ban a Massachusetts (USA) állambeli Doverben meg is épült (5. ábra).

Az épület déli homlokzatán 3 m magas, kétrétegű üvegszerkezetet helyeztek el, ami összegyűjtötte a napenergiát. Az üveglapok közötti légrésemben felmelegedő levegőt ventilátorok segítségével a falba és a tető belső felületére helyezett, feketére festett fémlemezről készült tartályok körül keringették. A hőtároló tartályok a szokásos víz helyett nátrium-szulfát-dekahidráttal ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, más néven Glauber-só) vizes oldatát tartalmazták, ami képes volt kémiai úton nagymennyiségű hőt tárolni [11] [12]. Ennek az anyagnak viszonylag alacsony ($32,38^\circ\text{C}$) az olvadáspontja, de magas az olvadáshője (251 kJ/kg), ezért képes nagymennyiségű hő hosszú idejű (akár 10 napig történő) tárolására. Lehűléskor az anyag visszakristályosodik, a felvett hőt pedig leadja [13]. A rendszer úgy működött, hogy meleg levegő keringett a tartályok körül, aminek hatására a só megolvadt, így állandó hőmérsékleten eltárolta a hőt. Amikor a környező levegő hőmérséklete lecsökkent, a só kikristályosodott, a halmazállapot változás következtében pe-



4. ÁBRA:
Telkes Mária [9]

dig felszabadította az elnyelt hőt. Az így felmelegített levegőt ventilátorok fújták be a lakótérbe. Sajnálatos módon három év után a rendszer meghibásodott, ugyanis a megolvadt só kivált az oldatból és nem tudott visszakeveredni, ugyanis a két komponens fázisváltása nem kongruens (azaz nem egynemű módon) ment végbe, ezért azok elkülönültek egymástól [14].

A fázisváltó anyagokat kezdetben tartályokba töltve használták, ami a fentiekben kívül számos, szokványos anyagoknál is jelentkező hátránnyal (kis fajlagos felület, nagy hőmérsékletkülönbség hatására végbemenő lassú hőátadás) járt. Próbálták ugyan javítani a hatásfokukon azzal, hogy jó hővezető képességű anyag (pl. fémek) pórusaiba helyezték el, vagy a hőátadó felület növelése érdekében a belsejébe fémhálót, fémrudakat vagy fémlamellákat tettek, de az akkoriban leggyakrabban használt sóoldatok és sókeverékek komponensekre történő szétválását ez sem tudta tartósan megakadályozni [15].

Sokkal jobb megoldásnak tűnt az anyag kisebb térfogatú elemekre való bontása, ugyanis ez a megoldás jelentősen megnövelte a fajlagos hőleadó felületet. Eleinte a fázisváltó



5. ÁBRA: A Telkes Mária és Eleanor Raymond által tervezett lakóház (Dover, Massachusetts, Amerikai Egyesült Államok) [10]

anyagot kazettákba és tasakokba töltötték. Az első ilyen próbálkozásról a Popular Science című magazin 1948. augusztusi száma tudósított. A Hot-R-Cold-Pak márkanéven forgalmazott termék egy olyan speciális folyadékkal töltött, pénzárca méretű műanyag tasak volt, ami hosszú ideig képes volt megtartani a hőmérsékletét (hideget és meleget egyaránt) [16]. Ez volt a ma is használatos jégakkuk elődje, amelyet 1959-ben Albert A. Robbins (1909-1987) szabadalmaztatott [17], többször használható verzióját pedig Jacob Spencer amerikai gyógyszerész 1973-ban [18].

Hamar kiderült azonban, hogy a fázisváltó anyagok hatékonysága nagyságrendekkel növelhető a fajlagos felület jelentős növelésével. Felvetődött hát az ötlet, hogy a fázisváltó anyagot valamiféle szemcsés állapotba kellene hozni, és az apró szemcséket egyenként becsomagolni. Az apró szemcsékre bontás további előnye volt, hogy jelentősen megkönnyítette a fázisváltó anyag egyéb anyagokkal (pl. folyadékok, porszerű anyagok) való kombinálását. A legnagyobb gondot az okozta, hogy a fázisváltó anyagok nagy része korróziós hatású, éghető, tűzveszélyes, vagy mérgező, tehát a szemcséket oly módon kellett bevonni, hogy a töltőanyag ne szivárogon át a bevonaton és ne tudjon reakcióba lépni sem a bevonattal, sem pedig a környezetével. A bevonattal szemben további követelmény volt a kémiai stabilitás, a hőállóság, a mechanika ellenálló képesség, valamint a kompatibilitás egyrészt a benne található fázisváltó anyaggal, másrészt mindazokkal az anyagokkal, amelyekkel a szemcsék érintkezhetnek. Erre a problémára Barrett K. Green (1906-1997) 1955-ben kifejlesztett mikrokapszulázásos eljárása jelentette a megoldást.

A mikrokapszulázás alapelve Wolfgang Joseph Pauli (1869-1955) és a magyar származású Róna Péter (1871-1945) osztrák fizikusok megfigyelésén alapult, akik 1902-ben semleges sókat adtak langyos zselatinoldathoz, és észrevették, hogy az oldat spontán módon két rétegre vált szét. Vizsgálataik kimutatták, hogy az egyik réteg a zselatint, a másik a sót tartalmazta, és erőteljes keverés vagy rázás hatására a két réteg egységes emulziót alkotott.

A holland Leydeni Egyetem kutatója, Hendrik Gerard Bungenberg de Jong (1893-1977) az 1920-as években kezdte el vizsgálni az általa koacervációnak elnevezett jelenséget. 1931-ben felhívta a figyelmet, hogy a módszer alkalmas lehet mikrokapszulázott gyógyszerek előállítására [19]. Ebben az időszakban számos vállalat kezdett el kísérletezni mikrokapszulák előállításával. Az első szabadalmat James A. Reynolds, az Atlantic Coast Fisheries Company kutatója szabadalmaztatta 1936-ban, amikor is csukamájolajat és más vitaminokat tartalmazó, zselatin anyagú mikrokapszulákat állított elő. Az elkövetkező években számos hasonló szabadalom született, de az átütő sikert Barrett K. Green (1906-1997) és Thomas W. Busch, az Appleton Coated Paper kutatói érték el, amikor 1942-ben a koacerváció módszerét alapul véve sikeres eljárást fejlesztettek ki a tinta mikrokapszulázására. Ezt felhasználva Green és munkatársa, Lowell Schleicher (1925-2003) 1953-ban bejelentették a szénmentes másolópapír szabadalmát. 1958-ban George Baxter, a Moore Business Forms kutatója szabadalmaztatta a porlasztásos szárítást, mint mikrokapszulázási módszert, ugyanebben az évben az Upjohn Company pedig az emulziós polimerizációt. Ezt követően a mikrokapszulázási módsze-

rek gyors fejlődésnek indultak, az 1960-as és 1970-es évekre széles körben elterjedtek először a gyógyszer-, a kozmetikai és az élelmiszeriparban, később pedig a különféle fázisváltó anyagok előállítása során. Ugyan utóbbi esetben a mikrokapszulázás bizonyult a leghatékonyabb módszernek, és napjainkban is ez tekinthető a legelterjedtebb megoldásnak, a táblás és kazettás kialakítású fázisváltó anyagok is használatban maradtak bizonyos szerkezetek (pl. épületgépészeti rendszerek lamellás hőcserélői és hőtároló puffertartályai) esetében [20] [21] [22].

3. | MIKROKAPSZULÁZÁSI MÓDSZEREK

Napjainkban a mikrokapszulázási módszereket alapvetően három kategóriába sorolhatjuk. Léteznek fizikai módszerek (porlasztásos szárítás, oldószer elpárolgotatás, csepegtetés, fluidizációs porlasztás), kémiai módszerek (in situ polimerizáció, szuszpenziós polimerizáció, emulziós polimerizáció, határfelületi polimerizáció) és kombinált eljárások.

3.1. FIZIKAI MÓDSZEREK

Fizikai módszernek nevezzük, amikor a kapszula magját és a héjanyagot a felhasznált anyagok kémiai minőségének megváltoztatása nélkül alakítják ki.

A *porlasztásos szárítás* során a fázisváltó anyagot (maganyag) tartalmazó diszperziót vagy szuszpenziót és a bevonóanyagot tartalmazó oldatot egy meleg levegős szárítókamrában elporlasztják, ahol a bevonóanyag az oldószer elpárolgotatása során a maganyag részecskéinek felületére tapad.

Az *oldószer elpárolgotatásos módszer* alkalmazásakor az általában nagy hőállóságú maganyagot apró szemcsék formájában eloszlatják a bevonóanyagot tartalmazó oldatban, amelynek hőmérsékletét emelve az oldószer elpárollog, a bevonóanyag pedig a maganyag szemcséire tapad. A módszer fontos eleme, hogy a maganyagnak hőállóknak kell lenni, az oldószernek pedig viszonylag alacsony forrásponttal kell rendelkeznie.

A *csepegtetési módszer*hez koncentrikus elrendezésű ket-tős fúvókákat használnak, ahol a belső fúvókán a maganyagot képező folyadék, a külső, gyűrű alakú fúvókán pedig a bevonat anyaga távozik. A folyadéksugár kilépésekor a maganyagot tartalmazó fúvókát nagy frekvencián (1000 Hz) rezegtetik, a gyűrű fúvókát pedig forgatják. Ennek következtében a maganyag közel azonos méretű szemcsékre oszlik szét, amelyek a felületi feszültség hatására gömbölyű cseppekké húzódnak össze. A gyűrűs fúvókán keresztül kivezetett bevonóanyag a cseppek felületén hártaréteget képez, ami hőkezelés vagy kémiai reakció folytán megszilárdul.

A *fluidizációs porlasztásos eljárás* során a szilárd halmazállapotú maganyagot gázáram segítségével mozgásban tartják, majd a bevonóanyagot finom szemcsék vagy oldat formájában beleporlasztják. Ezt követően melegítés hatására az oldószer elpárollog, vagy a cseppek megolvadnak, lehűtés után pedig szilárd bevonatot képeznek a maganyag szemcséin [15] [23].



6. ÁBRA: Mikrokapszulázott fázisváltó anyag [29]

3.2. KÉMIAI ELJÁRÁSOK

Kémiai módszernek nevezzük, amikor a szilárd részecskék vagy cseppek formájában létrehozott kapszulamagra valamilyen kémiai reakció (pl. polimerizáció, polikondenzáció) folytan készítik el a héjat.

Az *in situ* polimerizáció első lépésében a kapszulába zárandó, vízben nem oldódó maganyagot vízben diszpergálják, és egy keverőtartályba töltik. Ezt követően a vízben oldódó héjanyag monomerjét hozzákeverik. A monomerek polimerizációja a maganyag felületén megy végbe, amelyet a keverékhez adott sav, vagy lúg hatására létrejövő pH-érték változás indít be, sebessége pedig a hőmérséklet változtatásával befolyásolható. A polimerizáció során a monomerek folyamatosan fogynak, miközben a maganyag szemcséin egy vízben oldhatatlan héj alakul ki. Utolsó lépésben a mikrokapszulákat a keverékből kiszűrik, majd megmossák és kiszáritják őket [24].

A *határfelületi polimerizáció* lényege, hogy a maganyag (oktadekán) felületén a bevonatot polimerizációs kémiai reakció révén hozzák létre. Az eljáráshoz kétféle (hidrofil és hidrofób) monomer szükséges. Első lépésben a hidrofób monomert emulgeálószer segítségével olajos fázisban (ez lesz a maganyag), a hidrofil monomert pedig vizes fázisban eloszlatják. Ezt követően az olajos fázist a vizes fázisban diszpergálják (eloszlatják). A hidrofil monomer hozzáadásával megváltozik a keverék hőmérséklete és pH-értéke, ami beindítja a kémiai reakciót, melynek során a maganyag szemcséin polimerbevonat képződik. A mikrokapszulák a vizes keverékből szűrés, mosás és szárítás útján nyerhetők ki [25].

A *szuszpenziós polimerizáció* alapötlete egy olyan polimerizációs reakció létrehozása, ami vizes közegben úgy zajlik le, hogy a maganyag és a héjanyag monomere egymásban oldódnak és nem a vízben. Első lépésben két keverék fázist készítenek. Az egyik fázisban a maganyagot (olaj) és a héjanyag maganyagban oldódó monomerét keverik össze, a másikban pedig vizet és kis mennyiségű stabilizálószer (emulgeálószer). Ezután a két fázisból nagy sebességű keverőeszköz segítségével homogén elegyet (szuszpenziót) hoznak létre. A polimerizációs folyamatot a hőmérséklet, vagy a pH-érték megváltoztatása indítja be, melynek során az olajban diszpergált monomerek az olajrészecskék felületére diffundálnak és reagálnak egymással, amelynek eredményeként egy héj jön létre az olajrészecskék (maganyag) felületén [26].

Az *emulziós polimerizáció* a szuszpenzióستól abban különbözik, hogy a vizes fázist tartalmazza a kémiai reakció megindításához szükséges anyagot (iniciátor). Így, mikor az olajos fázishoz hozzáadják a felületaktív anyagot (emulgeálószer) tartalmazó vizes fázist, és az iniciátor anyag elér egy bizonyos koncentrációt, beindul a polimerizációs folyamat. A mikrokapszulák végül szűrés, mosás és szárítás útján nyerhetők ki [27].

3.3. KOMBINÁLT ELJÁRÁSOK

A kombinált eljárások során a maganyagon lévő bevonat fizikai és kémiai folyamatok (kicsapódás, fázissszeparáció) révén jön létre. A leggyakrabban használt eljárás a *koacerváció*. Lényege, hogy a bevonandó hőtároló anyag kis részecskéit por vagy apró kristály formájában egy arra alkalmas folyadékba (olaj) szuszpenzióba viszik, és a folyadékban (rendszerint vízben) oldott vagy kolloid állapotban lévő héjanyag polimerrel összekeverik. Ezt követően sót, vagy egy másik polimert adnak hozzá, beállítják a pH-értéket és a hőmérsékletet, melynek következtében a héj anyaga vagy kicsapódik, vagy fázissszeparáció révén (emulzióból való kilépés) összegyűlik a maganyag részecskéinek felületén [28].

4. | FÁZISVÁLTÓ ANYAGOK

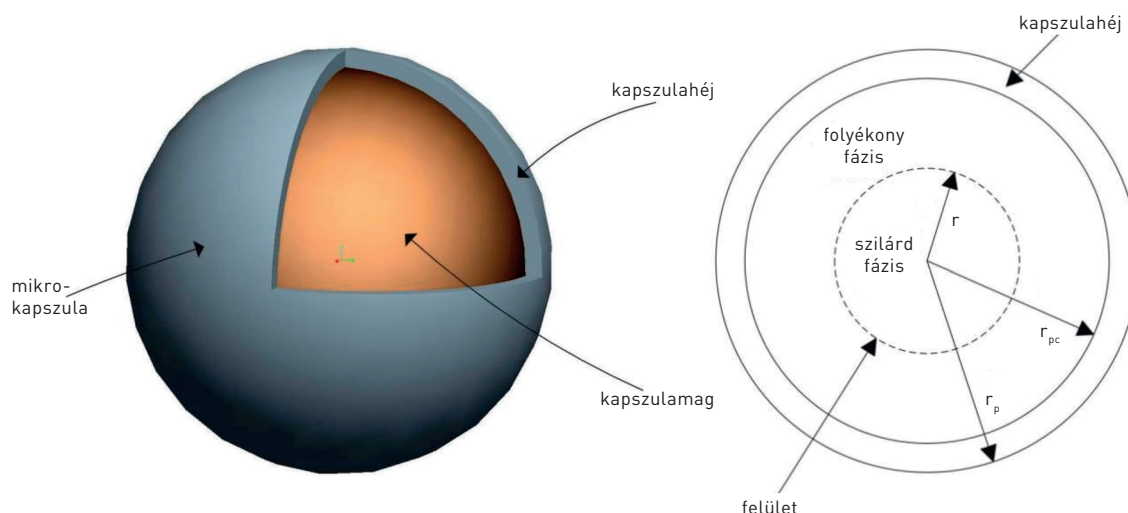
A mikrokapszulázott fázisváltó anyagok (6. ábra) rendszerint egy maganyagból és egy héjanyagból állnak. A kapszula maganyaga tulajdonképpen a hőtárolásra szolgáló anyag, a héjanyag pedig egy zárt bevonatot képez a maganyag körül, megvédve azt a különféle környezeti hatásoktól (7. ábra).

4.1. MAGANYAGOK

A fázisváltó maganyagokat alapvetően három fő csoportba sorolhatjuk (1. táblázat). Az első csoportba tartoznak a szerves anyagok, melyek között megkülönböztetünk paraffin alapú és nem paraffin alapú anyagokat. A második csoportba tartoznak a szervesetlen anyagok, melyek közül legfontosabbak a sóhidrátok és a fémek. A harmadik csoportba az eutektikus anyagok tartoznak, ami lehet szerves-szerves, szervesetlen-szervesetlen, vagy esetleg szerves-szervesetlen anyagok eutektikus keveréke.

1. TÁBLÁZAT: A fázisváltó anyagok rendszerezése és a fontosabb anyagok olvadáspontja, olvadáshője [25] [31]

csoportosítás		megnevezés	olvadáspont [°C]	olvadáshő (kJ/kg)	
1. Szerves anyagok	1.1. Paraffinok	1.1.1. Egyszerű paraffinok	n-tetradekán (C ₁₄ H ₃₀)	6	228-230
			n-pentadekán (C ₁₅ H ₃₂)	10	205
			n-hexadekán (C ₁₆ H ₃₄)	18	237
			n-heptadekán (C ₁₇ H ₃₆)	22	213
			n-oktadekán (C ₁₈ H ₃₈)	28	245
			n-nonadekán (C ₁₉ H ₄₀)	32	222
			n-eikozán (C ₂₀ H ₄₂)	37	246
			n-heneikozán (C ₂₁ H ₄₄)	40	200
			n-dokozán (C ₂₂ H ₄₆)	44,5	249
			n-trikozán (C ₂₃ H ₄₈)	47,5	232
			n-tetrakozán (C ₂₄ H ₅₀)	52	255
			n-pentakozán (C ₂₅ H ₅₂)	54	238
			n-hexakozán (C ₂₆ H ₅₄)	56,5	256
			n-heptakozán (C ₂₇ H ₅₆)	59	236
			n-oktakozán (C ₂₈ H ₅₈)	64,5	253
			n-nonakozán (C ₂₉ H ₆₀)	65	240
			n-triakontán (C ₃₀ H ₆₂)	66	251
			n-hentriakontán (C ₃₁ H ₆₄)	67	242
			n-dotriakontán (C ₃₂ H ₆₆)	69	170
			n-traitraikontán (C ₃₃ H ₆₈)	71	268
	1.1.2. Kompozit paraffinok	RT 35 HC	35	240	
		RT 70 HC	70	260	
		C ₁₆ – C ₁₈	20-22	152	
		C ₁₃ – C ₂₄	22-24	189	
		C ₁₆ – C ₂₈	42-44	189	
		C ₂₀ – C ₃₃	48-50	189	
		C ₂₂ – C ₄₅	58-60	189	
		C ₂₁ – C ₅₀	66-68	189	
	1.2. Nem paraffinos szerves anyagok	1.2.1. Zsírsavak	hangyasav [HCOOH]	8,3	247
			kaprilsav [CH ₃ (CH ₂) ₆ COOH]	16	149
			laurinsav [CH ₃ (CH ₂) ₁₀ COOH]	43,6	184,4
			palmitinsav [CH ₃ (CH ₂) ₁₄ COOH]	61,3	198
			sztearinsav [CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COOH]	66,8	259
		1.2.2. Poliolok	glicerín [HO(CH ₂)CH(OH)(CH ₂)OH]	18	199
			PEG E600 [polietilén-glikol; HO(CH ₂ CH ₂ O) _n H]	22	127,2
			PEG E6000 [polietilén-glikol; HO(CH ₂ CH ₂ O) _n H]	66	190
			xilit [HO(CH ₂)(CHOH) ₃ OH]	95	236
			eritrit [HO(CH ₂)(CHOH) ₂ (CH ₂)OH]	119	338
		1.2.3. Egyéb szerves anyagok	2-pentadekanonán [C ₁₅ H ₃₀ O]	39	241
			4-heptadekanonán [C ₁₇ H ₃₄ O]	41	197
D-tejsav [CH ₃ CH(OH)COOH]	52-54		126-185		
2. Szervetlen anyagok	2.1. Sóhidrátok	lítium-klorát-trihidrát [LiClO ₃ ·3H ₂ O]	8	253	
		kálium-hidrogénfoszfát-hexahidrát [K ₂ HPO ₄ ·6H ₂ O]	14	109	
		magnézium-nitrát-hexahidrát [Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O]	25,8	126	
		kalcium-klorid-hexahidrát [CaCl ₂ ·6H ₂ O]	29,8	191	
		nátrium-karbonát-dekahidrát [Na ₂ CO ₃ ·10H ₂ O]	32-34	246-267	
		nátrium-szulfát-dekahidrát [Glauber-só, Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O]	32,4	248-254	
		dinátrium-hidrogénfoszfát-dodekahidrát [Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O]	34-35	280	
		vas(III)-klorid-hexahidrát [FeCl ₃ ·H ₂ O]	36-37	200-226	
		nátrium-tioszulfát-pentahidrát [Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O]	48-49	200-220	
		nátrium-acetát-trihidrát [CH ₃ COONa·3H ₂ O]	58	226-265	
	2.2. Fémötvözetek	Mg-28%Zn	342	155	
		Al-34%Mg-6%Zn	450	329	
		Al-18%Cu	550	318	
		Al-12,2%Si	580	499	
	3. Eutektikumok	3.1. Szervetlen-szervetlen	kalcium-klorid-hexahidrát [CaCl ₂ ·6H ₂ O] + + magnézium-klorid-hexahidrát [MgCl ₂ ·6H ₂ O]	25	127
			magnézium-nitrát-hexahidrát [Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O] + + magnézium-klorid-hexahidrát [MgCl ₂ ·6H ₂ O]	59	144
		3.2. Szerves-szerves	trimetil-etán [CH ₃ C(CH ₂ OH) ₃] + karbamid [CO(NH ₂) ₂]	29,8	218
		3.3. Szervetlen-szerves	nátrium-acetát-trihidrát [CH ₃ COONa·3H ₂ O] + karbamid [CO(NH ₂) ₂]	31	226



7. ÁBRA:
A mikrokapszulázott
fázisváltó anyag
szerkezete [30]

4.1.1. Szerves fázisváltó anyagok

Paraffin alatt az egyenes szénláncú, $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_n\text{-CH}_3$ általános képletű, telített [azaz kizárólag egyszeres kötések tartalmazó] szénhidrogéneket értjük. Szobahőmérsékleten a paraffinok az 1-4 szénatomszám között gáz, az 5-17 szénatomszám között folyékony halmazállapotúak, míg a 17-nél nagyobb szénatomszám feletti paraffinok szilárdak. Fázisváltó anyagnak leginkább a szilárd, viaszos állagú paraffinok a legalkalmasabbak, de a gyakorlatban találkozhatunk néhány folyékonyal is. Jellemzően a szénatomok számának növelésével olvadáspontjuk és sűrűségük növekszik. Előnyük, hogy nagy a hőtároló képességük ($> 200 \text{ kJ/kg}$), viszonylag olcsón és könnyen előállíthatók, nem károsak az egészségre, kémiaiilag stabilak és inaktívak, olvadás közben pedig kis térfogatváltozást szenvednek. Hátrányuk a viszonylag alacsony olvadáspont, a jó hővezető képesség és a gyúlékonyság, bár a két utóbbi adalékszerek használatával, vagy kompozit paraffinok előállításával lényegesen csökkenthető [31].

Nem paraffinos szerves fázisváltó anyagként leginkább éterek, zsírsavakat, illetve két- és többértékű alkoholokat (glikolok, poliolok, cukoralkoholok) használnak. Közös tulajdonságuk, hogy a paraffinokhoz hasonlóan nagy a hőtároló képességük, hátrányuk viszont, hogy alacsony gyulladáspontjuk miatt többnyire gyúlékonyak, kevésbé állnak ellen az oxidációnak, előállításuk költségesebb, és vannak köztük egészségre ártalmasak is. A $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$ általános képletű zsírsavak használhatók paraffinnal kombinálva is. Előnyük, hogy természetes (állati vagy növényi) eredetűek, több fagyasztás-kiolvasztási ciklust követően fizikai és kémiai értelemben is stabilak képesek maradni, hátrányuk, hogy mérsékelt korrózió hatásúak és gyakran kellemetlen a szaguk.

4.1.2. Szervetlen fázisváltó anyagok

A szervetlen fázisváltó anyagok általában nagyobb hőtároló képességgel rendelkeznek, mint a szervesek, nagyobb a hővezetési tényezőjük is. További előnyük, hogy fázisváltáskor kicsi a térfogatváltozásuk, nem károsak a környezetre és az egészségre, olcsók és jól összeférhetők a héjanyaggal. Hátrányuk abból adódik, hogy ezeket az anyagokat valójában szervetlen sók és víz keveréke alkotja és a fázisváltozás a víz megszűnésével vagy nagy részének elvesztésével jár. A dehidratá-

ciós folyamat végén a megmaradt víz már nem lesz elegendő az oldatban lévő sók teljes feloldásához, így azok kicsapódnak az oldatból és fázisváltás következik be. Ennek a jelenségnek a megelőzése érdekében további anyagot (pl. sűrítőszert) adnak a sóhidrátokhoz. A sóhidrátokkal kapcsolatos másik nagy probléma a túlűtés jelensége, ami azok kicsi kristályosodási képességének köszönhető. Ilyenkor a gyors hűtés során a kristályképződés késik, az anyag még fagyáspontja alatti hőmérsékleten is folyékony marad, ami miatt az eltárolt hő nem tud felszabadulni. Ennek megakadályozása érdekében kristályképző adalékszert kevernek a fázisváltó anyaghoz [32] [33].

A sóhidrátok esetében problémát okozhat, hogy a kapszulahéjra keresztül vízmolekulák tudnak bediffundálni a kapszulamagba, megváltoztatva ezzel a sóhidrát összetételét. A kapszulamagba bejutó víz nagymértékben megnövelheti a kapszulában uralkodó nyomást, melynek következtében a kapszulahéj megrepedhet. Gondot okozhat továbbá a kapszulamag és a héjanyag összeférhetetlensége is [19]. A fázisváltó anyagként leggyakrabban használt sóhidrátok a nátrium-szulfát-dekahidrát ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), a kalcium-klorid-hexahidrát ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) és a dinátrium-hidrogénfoszfát-dodekahidrát ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) [33] [34].

A szervetlen fázisváltó anyagok másik nagy családja a fémek és fémötvözetek. Előnyük a jó hővezető és hőleadó képesség, valamint a nagy mechanikai szilárdság és a kiváló fizikai és kémiai stabilitás. Olvadáspontjukat tekintve széles hőmérséklettartományban alkalmazhatók. Hátrányuk a jelentős súlytöbblet. Leginkább extrém üzemi hőmérsékletnek kitett helyeken használják őket. Alacsony hőmérsékletű alkalmazásokra (pl. hűtőkamrák) leginkább az indium (In), a cézium (Cs), a gallium (Ga), az ón (Sn) és a bizmut (Bi), magas hőmérsékletű alkalmazásokra (reaktorok, kemencék) pedig a cink (Zn), a magnézium (Mg) és az alumínium (Al) ötvözetek (pl. Al-34%Mg-6%Zn, Al-25%Si) használhatóak [35].

4.1.3. Eutektikus fázisváltó anyagok

Az eutektikus fázisváltó anyagok legalább kétféle alapanyagot tartalmaznak. Igyekeznek kihasználni az összetevők előnyös tulajdonságait, ezért legfőbb előnyük, hogy az olvadáspontjuk és a szilárdulás kezdeti hőmérséklete általában

alacsonyabb, mint az összetevőké. További jó tulajdonságuk, hogy fázisváltás során nem válnak szét komponensekre, így nem jön létre sem a fázisszétválás, sem a túlűtés jelensége, mint a sóhidrátok esetében. Leggyakrabban szerves-szervetlen eutektikumokat alkalmaznak (pl. sóhidrátok), de újabban előtérbe kerültek a szerves-szervetlen (pl. sóhidrát-zsír-sav) és a szerves-szerves fajták is. Utóbbi csoportból legígéretesebbnek a 86% metil-sztearát és 14% metil-palmitát keverékéből álló eutektikum ($c = 220 \text{ kJ/kg}$). Az eutektikus fázisváltó anyagok legnagyobb hátránya, hogy rendkívül magas (paraffinokhoz és sóhidrátokhoz képest 2-3-szoros) előállítási költségeik miatt a kereskedelmi forgalomba hozataluk nehézkes [36] [37] [38].

4.2. HÉJANYAGOK

A héjanyagokkal szemben fontos követelmény a kémiai stabilitás, a hőmérsékletváltozások okozta igénybevételekkel és a mechanikai hatásokkal szembeni ellenállás, a térfogatváltozóság, a maganyaggal és a felhasználás során vele kapcsolatban kerülő minden egyéb anyaggal való összeférhetőség, valamint a lehető legnagyobb hőátadó felület biztosítása. A héjanyagok lehetnek szerves, szervetlen vagy ezek kombinációjából készülő ún. hibrid anyagok.

A *szerves héjanyagok* általában természetes eredetű, vagy szintetikus polimerekből állnak. Előnyük a jó tömítőképesség, a nagyfokú szerkezeti rugalmasság, a kiváló termikus stabilitás, valamint a fázisátalakulási ciklusokkal járó térfogatváltozásokkal szembeni ellenálló képesség. A leggyakrabban használt héjanyagok közé tartozik a melamin-formaldehid gyanta (MF), a karbamid-formaldehid gyanta (UF) és az akrilgyanták. Az előbbi kettő előnye az alacsony költség és jó a kémiai kompatibilitás, az utóbbiaké (pl. polimetil-metakrilát, PMMA) pedig az egyszerű és könnyű előállíthatóság, a vegyszerállóság, továbbá nem ártalmasok az egészségre és a környezetre sem.

A szerves héjanyagok nagy hátránya a gyúlékonyság, a rossz hővezető és hőátadó képesség, valamint a viszonylag gyenge mechanikai ellenálló képesség, emiatt alkalmazásuk bizonyos helyzetekben akadályba ütközik. A *szervetlen héjanyagok* nagyobb merevséggel, jobb mechanikai ellenálló képességgel, jobb hővezető és hőátadó képességgel rendelkeznek.

A szilícium-dioxid (SiO_2) nagy hővezető képessége, tűzállósága és az egyszerű előállíthatósága miatt az egyik leggyakrabban használt szervetlen héjanyag. Alkalmas paraffinok, szervetlen sóhidrátok és zsírsavak mikrokapszulázására is.

A kalcium-karbonát (CaCO_3) előnye, hogy a belőle létrejövő mikrokapszulák egyenletes átmérőjűek ($d = 5 \mu\text{m}$) és gömb alakúak, ezáltal a lehető legnagyobb hőátadási felületet biztosítják. Ezen kívül tartósak, jó hővezető képességgel és termikus stabilitással rendelkeznek, valamint meglehetősen tömörek, ezért nagyon jól gátolják a kapszulahéj keresztül történő ozmózist (diffúzió által történő anyagáramlás a kapszulahéj keresztül).

A kristályos fém-oxidok előnye, hogy a kapszulahéj biztosításán kívül más funkciót is elláthatnak. Ezek közül leginkább a cink-oxid (ZnO) és a titán-dioxid (TiO_2) fotokatalitikus és antibakteriális hatásait érdemes kiemelni, mely abból adódik,

hogy ultraviola sugárzás aktivizáló hatására képesek a felületükre lerakódó szerves anyagokat és egyéb szennyeződések lebontani.

A szerves és szervetlen anyagok hátrányainak kiküszöbölése és előnyeinek kombinálása érdekében szerves-szervetlen *hibrid héjanyagokat* is kifejlesztettek fázisváltó anyagok mikrokapszulázására. A szerves-szervetlen hibrid héjakban a szervetlen anyagok növelik a merevséget, a mechanikai szilárdságot, a termikus stabilitást, valamint a hővezető és hőátadó képességet, míg a szerves anyagok szerkezeti rugalmasságot biztosítanak a kapszulahéjnak. A polimetil-metakrilátból és melamin-formaldehidgyantából kialakított héjakhoz gyakran adagolnak szilícium-dioxidot vagy titán-dioxidot [39].

5. | ÖSSZEFOGLALÁS

Összességében elmondható, hogy a tudomány több, mint egy évszázada foglalkozik fázisváltó anyagokkal, építési alkalmazásukra már az 1940-es években is találhatunk példát. Előállításukra jelenleg a leghatékonyabb eljárásnak az élelmiszer- és gyógyszeriparban kifejlesztett különféle mikrokapszulázási technológiák számítanak, amelyek során a fázisváltó maganyagot valamilyen fizikai vagy kémiai eljárással, esetleg ezek kombinációjával, egy megfelelő szigetelő-képességű, a maganyaggal reakcióba nem lépő héjanyaggal bevonják. Maganyagként szóba jöhetnek szerves anyagok (paraffinok, éterek, zsírsavak, két- és többértékű alkoholok) és szervetlen vegyületek (sóhidrátok, fémotvözetek), de ezek kombinációjával létrehozott eutektikumok is. A héjanyag szintén lehet szerves anyag (rendszerint valamilyen műgyanta), szervetlen anyag (szilícium-dioxid, kalcium-karbonát, különféle fémoxidok), de találkozhatunk olyan hibrid anyagokkal is, melyek a szerves és szervetlen anyagok előnyös tulajdonságait igyekeznek egyesíteni.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Xiaonan Huo, Wei Li, Yu Wang, Na Han, Jianping Wang, Ning Wang, Xingxiang Zhang: Chitosan composite microencapsulated comb-like polymeric phase change material via coacervation microencapsulation, Carbohydrate Polymers, vol. 200, 2018, pp. 602-610, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.08.003>
- [2] I: Phase change materials (PCMs) for building applications, The Constructor: Building Ideas, <https://theconstructor.org/building/phase-change-materials-pcms-for-building-applications/564050/>
- [3] Britannica Hungarica Világenciklopédia VI. kötet (15. kiadás), Magyar Világ Kiadó, Budapest, 1996.
- [4] Britannica Hungarica Világenciklopédia XI. kötet (15. kiadás), Magyar Világ Kiadó, Budapest, 1998.
- [5] Simonyi Károly: A fizika kultúrtörténete, Akadémiai Kiadó, Bp., 1998.
- [6] Hamish MacPherson: Joseph Black: Chemistry pioneer and star of the Scottish Enlightenment. The National, 2019.04.14. <https://www.thenational.scot/news/17571341.joseph-black-chemistry-pioneer-star-scottish-enlightenment/>
- [7] Alan Tower Waterman: On the positive ionization from certain hot salts, together with some observations on the electrical properties of molybdenite at high temperatures, The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 33(195), 225-247. <http://dx.doi.org/10.1080/14786440308635634>
- [8] Mohsen Mhadhbi: Introductory Chapter: Phase Change Material. In: Mohsen Mhadhbi (ed.): Phase Change Materials and Their Applications, IntechOpen, 2018, pp. 3-5. <https://www.intechopen.com/chapters/62304>
- [9] I: Telkes Mária. Wikipédia, [https://hu.wikipedia.org/wiki/Telkes_Mária](https://hu.wikipedia.org/wiki/Telkes_M%C3%A1ria)

- [10] **Fenyővári Bernadett**: Nők a tudományért: Telkes Mária és a Dover-ház. Lechner Tudásközpont, 2020.03.06. <https://lechnerkozpont.hu/cikk/nok-a-tudo-manyert-telkes-maria-es-a-dover-haz>
- [11] **Telkes Mária**: Space Heating with Solar Energy, The Scientific Monthly, vol. 69, no. 6, 1949, pp. 394-397. <https://www.jstor.org/stable/19584>
- [12] **Carmen González Pérez, Lourdes Pérez González**: Rastreado sinergias entre mujeres: La casa solar Dover y la agenda 2030. Cuestiones De género: De La Igualdad Y La Diferencia, Vol. 17, 2022, 232-252. <https://doi.org/10.18002/cg.i17.7226>
- [13] **Marwa Hamid Wasmi, Hayder Jaffal Hayder Jaffal, Tawfeeq Wasmi Mohammed Salih**: The behavior of Glauber's salt as a heat storage material for residential Iraqi buildings, In: 2nd International Conference on Engineering and Innovative Technology (SU-ICEIT-2019), 2019.04.14-16., Salahaddin University College of Engineering, Erbil (Iraq), 2019, 9 p. <https://www.researchgate.net/publication/335105744>
- [14] **Daniel A. Barber**: The World Solar Energy Project, ca. 1954, Grey Room & MIT, vol. 51, 2013, pp. 64-93. <https://www.academia.edu/10112223/>
- [15] **Yongcai Huang, Alex Stonehouse, Chamil Abeykoon**: Encapsulation methods for phase change materials – A critical review, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 200, 2023, 123458, 66 p. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2022.123458>
- [16] **[]**: To Warm and Cool You, Popular Science, vol. 153, no. 2, 1948, p. 138.
- [17] **Albert A. Robbins**: Chemical Freezing Pack, US Patent # 2,898,744 A, 1959, 4 p. <https://patents.google.com/patent/US2898744A/en>
- [18] **Jacob J. Spencer**: Device for use as a hot and cold compress, US patent # 3,780,537 A, 1973, 3 p. <https://patents.google.com/patent/US3885403A/en>
- [19] **Rudolf Sicco Tjaden Modderman, Leendert Willem Jacob Holleman**: Coacervation, Nature, Vol. 129, 1932, p. 654. <https://www.nature.com/articles/129654a0.pdf>
- [20] **Tingting Wang, Xin Li, Hao Liu, Shifeng Wang**: Research on the development of microcapsules and their potential applications in Tibet Plateau, IOP Conference Series – Earth and Environmental Science, vol. 791, 2021, 012050, 9 p. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/791/1/012050>
- [21] **Dorina Petkova, Dasha Mihaylova, Ivelina Desseva**: Microencapsulation in food industry – an overview, BIO Web of Conferences, vol. 45, 2022, 02005, 9 p. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224502005>
- [22] **Dan Lednicer**: A Capsule History, Invention & Technology, vol. 19, no. 2, 2003, 11 p. <https://www.inventionandtech.com/content/capsule-history-0>
- [23] **Gyenis János, Tóth Judit, Feczko Tivadar, Szépvölgyi János**: Mikrokapszulázott fázisváltó anyagok alkalmazása hő tárolásra, Magyar Kémikusok Lapja, vol. 69, no. 12, 2014, pp. 368-372. https://www.mkl.mke.org.hu/images/Dokumentumtar/2014/2014_12.pdf
- [24] **Halime Paksoy, Nurten Şahan, Yeliz Konuklu**: Encapsulation of phase change materials. In: Luisa F. Cabeza (ed.): Encyclopedia of Energy Storage, vol. 1, 2022, pp. 498-525. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819723-3.00069-X>
- [25] **Jeong-Sook Cho, Aehwa Kwon, Chang-Gi Cho**: Microencapsulation of octadecane as a phase-change material by interfacial polymerization in an emulsion system, Colloid and Polymer Science, vol. 280, 2002, pp. 260-266. <https://doi.org/10.1007/s00396-001-0603-x>
- [26] **Zahid Amjad, Christopher M. Fellows**: Chapter 18 - Polymers for industrial water systems: Synthesis, characterization, and applications. In: Zahid Amjad, Konstantinos D. Demadis: Water-Formed Deposits: Fundamentals and Mitigation Strategies, Elsevier, 2022, pp. 369-396. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822896-8.00015-7>
- [27] **Peter A. Lovell, F. Joseph Schork**: Fundamentals of Emulsion Polymerization, Biomacromolecules, vol. 21, no. 11, 2020, pp. 4396-4441. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.0c00769>
- [28] **Senem Sirin Deveci, Guldemet Basal**: Preparation of PCM microcapsules by complex coacervation of silk fibroin and chitosan, Colloid and Polymer Science, vol. 287, no. 12, 2009, pp. 1455-1467. <https://doi.org/10.1007/s00396-009-2115-z>
- [29] **a kép forrása**: Microencapsulated PCM paraffin wax phase change material, <https://sc04.alicdn.com/kf/HTB1Bi6VXAL0gK0jSZFtq6xQCXXaJ.jpg>
- [30] **Yonghong Guo, Xinglong Zhang, Lijun Yang, Chao Xu, Xiaoze Du**: The heat transfer of microencapsulated phase change material slurry and its thermal energy storage performance of combined heat and power generating units. Energies 2017, vol. 10, no. 10: 1662, <https://doi.org/10.3390/en10101662>
- [31] **Amir Reza Vakhshouri**: Chapter 5 – Paraffin as Phase Change Material, In: Fathi Samir Soliman (ed.): Paraffin – An Overview, IntechOpen, 2020, 22 p. <https://doi.org/10.5772/intechopen.90487>
- [32] **Ahmet Alper Aydin, Hasancan Okutan**: High-chain fatty acid esters of myristyl alcohol with odd carbon number – Novel organic phase change materials for thermal energy storage 2, Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 95, no. 8, 2011, pp. 2417-2423. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2011.04.018>
- [33] **Ning Xie, Zhao wen Huang, Zigeng Luo, Xuenong Gao, Yutang Fang, Zhengguo Zhang**: Inorganic salt hydrate for thermal energy storage, Applied Sciences, vol. 7, no. 12, 2017, 1317, 18 p. <https://doi.org/10.3390/app7121317>
- [34] **Vineet Veer Tyagi, Subhash Chandra Kaushik, Sudhir Kumar Tyagi, Tomohiro Akiyama**: Development of phase change materials based microencapsulated technology for buildings – A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 15, no. 2, 2011, pp. 1373-1391. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.10.006>
- [35] **Takahiro Nomura, Chunyu Zhu, Nan Sheng, Genki Saito, Tomohiro Akiyama**: Microencapsulation of metal-based phase change material for high-temperature thermal energy storage, Scientific Reports, vol. 5, no. 1, 2015, 9117, 8 p. <https://doi.org/10.1038/srep09117>
- [36] **Manish K. Rathod**: Chapter 3 – Thermal Stability of Phase Change Material, In: Mohsen Mhadhbi (ed.): Phase Change Materials and Their Applications, IntechOpen, 2018, 22 p. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75923>
- [37] **Manish K. Rathod, Jyotirmay Banerjee**: Thermal stability of phase change materials used in latent heat energy storage systems – A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 18, 2013, pp. 246-258. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.022>
- [38] **Zakir Khan, Zulfiqar Khan, Abdul Ghafoor**: A review of performance enhancement of PCM-based latent heat storage system within the context of materials, thermal stability and compatibility, Energy Conversion and Management, vol. 115, 2016, pp. 132-158. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.045>
- [39] **Guangjian Peng, Guijing Dou, Yahao Hu, Yiheng Sun, Zhitong Chen**: Phase change material (PCM) microcapsules for thermal energy storage, Advances in Polymer Technology, vol. 3, 2020, 9490873, 20 p. <https://doi.org/10.1155/2020/9490873>

Simon Dániel¹, Kemes Balázs², Medvey Boldizsár³

A KORSZERŰ VÁLYOGÉPÍTÉS LEHETŐSÉGEI, A VERT VÁLYOGFALAK JELENE ÉS JÖVŐJE

POSSIBILITIES OF MODERN EARTH CONSTRUCTION, PRESENT AND FUTURE OF RAMMED EARTH WALLS

KIVONAT / HUN

Napjainkban a környezetbe jutó károsanyag kibocsátás 30%-a, illetve az éves szemétermelés egyharmad része az építőiparhoz köthető. Építőanyagaink nagy részének újrahasznosításához mind a mai napig nincs jó megoldás. Az említett hulladékok közé tartozik az építkezések során kitermelt föld is. A vályog újrafelfedezése egy fontos mérföldkő lenne, hiszen egy olyan környezetbarát építőanyagról van szó, mely számtalan alkalommal újra felhasználható és hulladékmentes. Kutatásom során arra kerestem válaszokat, hogy melyek a legjelentősebb hátráltató tényezők, amelyek miatt a vályog, legfőképp a vert vályogfalak alkalmazása ellehetetlenül, vagy nehezékké válik, illetve van-e ésszerű keretek között megoldás az alkalmazásával kapcsolatos problémákra úgy, hogy a mai építési trendekkel kompatibilis legyen. A kutatás során a vert falak homlokzati vízterhelése és eróziója állt a tanulmány középpontjában.

Kulcsszavak: vályog, vályogépítés, vert vályogfal, környezettudatos építés, újrahasznosítható

ABSTRACT / ENG

In these days the 30% of emission of harmful substances and the third of waste production is connected to the construction industry. Today, there is still no good solution for recycling most of our building materials. Surprisingly, this waste includes soil excavated from construction sites. The rediscovery of loam would be an important milestone, as it is an environmentally friendly building material that can be reused in countless ways and it is waste-free. In my research, I tried to find answers to the most significant barriers that make the use of adobe, especially of rammed earth walls, impossible or difficult, and whether there is a reasonable solution to the problems associated with its use, in a way that would be compatible with today's building trends. The study focused on the water load and erosion of the facade of the vertical adobe walls.

Keywords: adobe, earth building, rammed earth wall, environmentally friendly construction, reuseable

¹ építész hallgató, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, e-mail: simondani98@gmail.com

² okl. építészmérnök, DLA, egyetemi adjunktus, BME Építészmérnöki Kar Középülettervezési Tanszék, e-mail: kemes.balazs@epk.bme.hu

³ okl. építészmérnök, egyetemi tanársegéd, BME Építészmérnöki Kar Épületszerkezzetani Tanszék, e-mail: medvey.boldizsar@epk.bme.hu

1. | BEVEZETÉS

A vályogot, mint építőanyagot, azon belül is a vert vályogfalakat a komplex tervezés nevű tárgyaim során kezdem el tanulmányozni, mert a tervezett épületem fontos elemei voltak ezek az épületszerkezetek. Céлом az anyag megismerése mellett az volt, hogy a felhasználás legfontosabb szempontjait is összegyűjtssem, hogy tervemben helyesen alkalmazzam azokat. Természetesen számos olyan aspektusa maradt még a vályognak, illetve a belőle készülő vert falaknak, melyek meghaladták a tervezési tárgy kereteit, ezért egy TDK keretében tovább foglalkoztam a témával [1]. Dolgozatomban foglalkoztam az anyag stabilizálásának lehetőségeivel és a vízzel szembeni ellenálló képesség növelésének eszközeivel, de a vályog ritka alkalmazásának hátterét is próbáltam feltárni. Kutatásom fókuszában azonban a vert vályogfalakat érő külső hatások, azon belül is a homlokzatot érő vízterhelés elemzése állt, amelyhez egy kísérlet is kapcsolódott. Ebben a cikkben a kísérletet inspiráló elméleti hátteret igyekszem összegyűjteni, majd magát a kísérletet és annak tanulságait mutatom be.

2. | A STABILIZÁLÁS ÉS KÖVETKEZMÉNYEI

A vályognak rengeteg előnye ellenére vannak hátrányos tulajdonságai is. Más anyagokhoz hasonlóan, ezeket a tulajdonságokat általában különböző adalékok hozzáadásával kísérik meg kedvezőbbé tenni [2]. Ezek a komponensek kezdetben természetes anyagok voltak, napjainkban azonban már a mesterséges adalékok használata a gyakoribb megoldás. A vályog leggyakrabban javítani kívánt tulajdonságai a szilárdsága, a hőszigetelő képessége, a vízzel szembeni ellenálló képessége és nagy mértékű zsugorodásának csökkentése, illetve adott esetekben a felületi ellenálló képességének fokozása. Attól függően, hogy az alkalmazáshoz melyik attribútum feljavítása szükséges több szóba jöhető adalékanyag is rendelkezésünkre áll.

A kortárs földépítészetben a leggyakoribb mesterséges stabilizáló anyag a

cement. A vályogban lévő agyag arányától függő mértékben adagolható effektíven cement a keverékhez. Kővér, azaz nagy agyagtartalmú keverékeknél ezzel a stabilizálással szinte egyáltalán nem érhető el javulás az anyag tulajdonságaiban. Normál vályog esetében 3%-os, míg sovány vályog esetében 5%-os cement adagolással érhető el gazdaságosan a szerkezet viszonylag eredményes megerősítése [3]. Ezen adalékszer leginkább két okból alkalmazzák az anyag stabilizálására: egyrészt növeli a szilárdságot, másrészt, mivel kémiai kötések hoz létre, jelentősen csökkenti a vízre való érzékenységet.

A cementtel való stabilizálás azonban több olyan következményt von magával, melyek nem elhanyagolhatóak. Egyrészt tönkreteszi a vályog különleges páragazdálkodó képességét, másrészt rendkívül nagy mértékben megnöveli a beépített energiatartalmat, amellyel más környezetszennyező anyagok szintjére süllyeszti a vályogot [4]. A legnegatívabb következmény, hogy ezen eljárás után az anyag nem használható fel többször úgy, ahogy az egy stabilizálatlan szerkezet esetében lehetséges. Ennek az az oka, hogy míg az agyag ásványainak kötési víz segítségével felbonthatóak, majd száradás hatására újraköthetőek (fizikai kötések), a cement esetében ezek a kötések, csak mechanikai behatással (pl. őrlés) bonthatók fel és kötőanyag, azaz cement további adagolásával köthetőek újra. Érdemes azt is megvizsgálni, hogy milyen mértékben erősíthető meg ezen adalék alkalmazásával a vályog. A témával külföldi és hazai cikkeken egyaránt foglalkoznak. Az egyik legjelentősebb külföldi cikk Henri Van Damme és Hugo Houben „Earth concrete. Stabilization revisited” című munkája [5]. Az írás alapját saját kísérleteik képezik. Betonokat és cementtel stabilizált különböző típusú vályogfalakat hasonlítottak össze kötőanyag-intenzitás és karbonintenzitás mutató alapján. A kutatásuk eredményeként megállapították, hogy a vályog cementtel való stabilizálása egyáltalán nem kifizetődő, mivel az anyag tulajdonságait csak csekély mértékben javítja, cserébe mindez nagy mértékű környezeti terhelés mellett következik be. A cementtel való stabilizálással lényegében csak silány földbetont készítenek – így összegzik eredményeiket.

3. | A KÍSÉRLET KÖZVETLEN HÁTTERE

Ahogy azt minden vályogépítéssel foglalkozó tudományos írásban megemlítik, a vályog legnagyobb ellensége a víz. A hagyományos, stabilizálatlan vályog anyagú szerkezetben a kötőerőért felelős komponens az agyag. A keverékekhez készítés közben minden esetben vizet adagolunk. A nedves agyagban az agyagkristályok közti vízfilm miatt az anyag képlékeny állapotba kerül. Szilárdulás, azaz száradás közben ezek a kristályok egymáshoz tapadnak, ez biztosítja a kötést. Ez a folyamat reverzibilis, a kész szerkezet alkotó keverékben újra és újra végbe tud menni a képlékenyedés, majd a száradás [6]. Ez az alapja annak, amiért egy végtelenszer újra használható anyagként tartják számon a vályogot. Így tehát paradox módon az anyag legkedvezőbb tulajdonsága adja a legnagyobb gyengeségét is egyben.

A vályog szerkezeteink, ahogy a vert falak is több módon kerülhetnek kapcsolatba vízzel. Egyrészt az építés közben, másrészt az épületek funkciójával együtt járó használati víz rendszeren keresztül. Jó tervezéssel és helyes műszaki kialakításokkal ezen nedvességforrások hatása nem jelentkezik káros módon. Az időjárás viszont egy rendszeresen jelentkező olyan külső hatás, amelynek problémája nem megkerülhető, ezért a felületi erózió jelenségével mindenképpen foglalkozni kell a téma vizsgálatánál.

A népi építészetben ismert vályogházak falait meszeléssel, nagy mértékben túlnyúló tetővel, illetve a terepszinttől való elemeléssel vagy a lábazat más anyaggal való megerősítésével védték a külső, környezeti hatásokkal szemben [7]. Ma már nem minden helyzetben reális ezen megoldások alkalmazása, hiszen folyamatos karbantartást igényelnek, ráadásul több kompromisszumot szükséges kötnünk hozzá, mint amit az előírások és a mai használat lehetővé tesznek [8]. Sok esetben jelentkezik új igényként a vert vályogfalak jellegzetes felületi textúrájának láttatása, amely szintén ellehetetleníti a hagyományos felületvédelmi technikák alkalmazását.

Mivel ez a tulajdonság a vályogfalak legmeghatározóbb problémája, sok

olyan megoldás született, amely a kültéri alkalmazás lehetőségeit igyekszik megoldani, esetenként több, máskor kevesebb sikerrel.

A leggyakoribb módszer, amely a kortárs építészetben is elterjedt sajnos a cementtel történő stabilizálás. A Rammed Earth Works, az Earth Structures Group nevű amerikai, illetve ausztrál cégek, előregyártott vert vályogfal panelei is cement adagolással készülnek, hogy a kívülről látszó vert vályog textúra érvényesülhessen, de közben a szerkezet víz általi eróziója ne érjen el jelentős értékeket, a felület ellenállóbb legyen. Ugyanezt a vonalat képviseli a szintén ausztrál Sirewall rendszer is. Ez a „megoldás” javítja a faltest tulajdonságait és lehetővé teszi a homlokzati falként való alkalmazását a vert falaknak, azonban ahogy azt korábban tárgyaltam, rendkívül hátrányos következményeket von magával. Ahhoz, hogy fenntartható és környezetbarát alternatívaként tarthassuk számon a vályogépítést, mindenképpen kerülnünk kell a cement, mint adalék használatát.

A felületi erózió mérséklése azonban nem csak cementtel lehetséges. A stabilizálatlan vert vályogfalak gyártásának egyik központja napjainkban az ausztriai Vorarlbergben található. Itt Martin Rauch vályogmester és csapata gépekkel előregyártott stabilizálatlan vert vályogpaneleket készít és épít be nagy sikerrel. A falak mindenféle felületi erősítés vagy adalékszer nélkül ellenállnak az időjárás viszontagságainak anélkül, hogy javításra szorulnának vagy felületük túlzott mértékben erodálna. Ennek a módszernek a legismertebb példája a nemrégiben átadott Ricola gyár, melynek bár primer tartószerkezete vasbeton pillérváz, külső térelhatároló szerkezete az említett vályog panelekből áll (**1. ábra**).

Persze az említett épület még nem áll annyi ideje, hogy felületi erózió szempontjából releváns következtetéseket tudjunk levonni. A módszer vizsgálatára 20 évvel ezelőtt kísérletet indítottak. A szabad ég alá helyeztek stabilizálatlan és cementtel stabilizált vert vályog faltesteket, amelyeket hagytak erodálni. 20 év időjárási viszonyoknak való kitettség után a stabilizált fal felületén 2 mm, míg a stabilizálatlan változat felületén 6,4 mm volt az erózió mértéke [9]. Ezek az eredmények azért jelentős adatok számunkra, mert hazánk klímá-



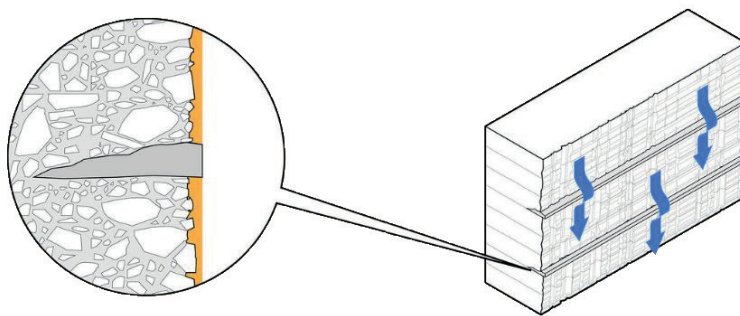
1. ÁBRA: A Ricola gyógynövény-feldolgozó üzem építése előregyártott vályog panel homlokzati falakkal

jával megegyező körülmények között helyezkednek el ezek a falak.

A gépi előregyártás azonban önmagában még nem elegendő a felületi erózió mérsékléséhez. Rauch és csapata kikísérletezett egy olyan kialakítást, mellyel még tovább mérsékelhető a felület kopása. Ennek a módszernek már nem a homlokzati falat közvetlenül érő, hanem a felületén lefolyó vízhez van köze. Több tudományos cikkben is megjelenik az elmélet, miszerint a homlokzaton lefolyó víz egyre jobban felgyorsulva egyre inkább erodálja a felületet [10]. A jelenség következtében a faltest alsó részén nagyobb mértékű károsodás figyelhető meg. A hatékony megoldás, melyet Vorarlbergben is gyakran alkalmaznak, őseink építészetében rejlik. Hiszen a történelmi épületek esetében a vízszintes párkányzatok

nem csupán díszítő céllal voltak jelen, hanem a homlokzaton lefolyó víz lelassítására, illetve kivezetésére is használták ezeket, hogy kevésbé károsítsa a fal felületét. A vert vályogfalakra adaptálva egy olyan konstrukciót alkottak meg, mellynél minden ledöngölt réteg után egy cserép/léc vízszintes homlokzati tagolás jelenik meg [11]. Ezek a cserepek vagy lécek készítés közben még a fallal egy síkban vannak. Az idők során bekövetkező erózió eredményeként kerülnek elő a homlokzaton, ahol szerepük a lefolyó víz mozgási energiájának fékezése és ezáltal a víz eróziós potenciáljának csökkentése (**2. ábra**).

Az ide kapcsolódó elméletek szerint a homlokzati felületből kimosódó finom szemcsék a vízszintes megszakítások felett lerakódnak és egy egyedi párkány szerű profilt alakítanak ki. Egyes cikkek



2. ÁBRA: A vert vályogfal felületének stabilizálódása vízszintes homlokzati tagolással



3. ÁBRA: A faltest készítéséhez felhasznált anyagok és előkészítésük

feltételezése szerint ez az erózió idővel szinte megszűnik, miután a fal felületéről a finom szemcsék kimosódnak, mivel a nagyobb alkotórészeket a víz már nem képes kimozdítani és kialakul egy stabil felület, mely a víz hatására már nem érzékeny.

4. | A KÍSÉRLET BEMUTATÁSA

Bár rengeteg dolgot lehetne vizsgálni a vert falakkal kapcsolatos elméletek vonatkozásában, az egyik legfontosabb talán a vízerzékenység kérdése és az erre adott megoldások. A kutatásomhoz kapcsolódó kísérletben az előző fejezetben ismertetett módszereket próbáltam ki, hogy azok gyakorlati működését vizsgáljam laboratóriumi körülmények között.

4.1. A FALTESTHEZ FELHASZNÁLT ANYAGOK

A vályogfal készítése során alapvetően kétféle keverékkel dolgoztam. Az alapanyag egyik felét Perbárról hozott vályogtéglák, a másik felét pedig Tengődről származó, rostált földkeverék adta. A vályogtéglák bedolgozása alátámasztja a vályog alkalmazásával kapcsolatban gyakran emlegetett tézist, miszerint végtelenszer és más formában is újra felhasználható (**3. ábra**).

Az anyagok véges mennyisége miatt a keverékekből három, illetve négy réteg készült, ez az anyagváltás a kísérletben

elkészített fal felületén is jól látható. Az alsó sötétebb rétegek a vályogtéglák anyagából döngölt, a felső, világosabb rétegek pedig a tengődi anyagból készített részek.

Az adalékok mindkét esetben 1-3 mm-es apró szemű homokos kavics és 8-16 mm szemcseátmérőjű durva kavics volt. A cement adagolás hatásai és következményei miatt a kísérletben nem alkalmaztam ezt az adalékot, így a kialakított faltest egy stabilizálatlan vert vályog konfiguráció.



4. ÁBRA: Az elkészült próbatest felületeinek kialakítása



4.2. A PRÓBATEST MÉRETEI, KIALAKÍTÁSA

A faltest méretét alapvetően meghatározta a rendelkezésre álló anyag mennyisége, illetve a kísérlethez készített zsaluzat. A zsalu kialakításából adódóan a fal vastagsága 20 cm, hosszúsága pedig 40 cm lett. Magassága a több ponton mért értékek átlaga alapján 78 cm volt.

A faltest kialakítása (**4. ábra**) több ponton is eltér a hagyományos, illetve



1. TÁBLÁZAT: A locsoló eróziós vizsgálatok típusai

változó	IS 1725 [12]	Bulletin 5, HB195 [13], NZS 4298 [14]	módosított Bulletin 5 [15]	Ogunye és Boussabaine [16]
vízszögár jellege	cseppek	folyamatos	cseppek	cseppek
víznyomás a szórófejben [kPa]	140	50	50	50
szórófej átmérője [mm]	100	48	3,2-7,5	10
locsolás iránya	vízszintes	vízszintes	vízszintes	függőleges
szórófej távolsága a próbatesttől [mm]	180	470	470	2000
locsolt felület átmérője [mm]	-	150	150	1000
vizsgálat időtartama [perc]	120	60	60-180	720

a kortárs vert vályogfalak kialakításától is. A 40 cm hosszúságú felülete mentén az egyik oldalon a hagyományos módon készült natúr vályogfal textúra látható, a másik oldalon azonban a kortárs vert falak esetében megfigyelhető megszakító sávokat helyeztem el, rétegenként kiosztva.

A fal döngölése, készítése során a rétegeket egyenletesen osztottam ki. Egy döngöletlen réteg vastagsága 15-16 cm volt, míg a döngölés utáni vastagsága már csak 11-12 cm. Tehát átlagosan egy réteg 4 cm-t tömörödött össze a döngölés hatására. Összességében tehát hét réteg készült el, melyek között összesen hat darab megszakító fa deszka helyezkedik el, de csak a fal egyik oldalán.

4.3. A KÍSÉRLET

A kísérletem során a Bulletin 5, HB 195 [13], NZS 4298 [14] gyorsított, locsoló eróziós vizsgálatot végeztem el a faltest mindkét oldalán.

Aszórófej átmérője, a locsolás iránya, illetve a szórófej távolsága a próbatesttől minimális eltérésekkel, de megfelel az 1. táblázat által diktált paramétereknek. A falat folyamatos vízszögárral terheltem, azonban a locsoló meghibásodása esetenként kisebb, máskor nagyobb nyomást eredményezett, mint 50 kPa. A locsolt felület átmérője a képeken is tisztán kivehető, körülbelül 30 cm-es értéket adott, mely duplája a táblázatban megadott szabványos vizsgálatához tartozó értéknek.

A legnagyobb eltérés a vizsgálat időtartamában volt. A szabványos értékekhez képest sokkal kevesebb ideig, mindössze 2,5 percig zajlott a kísérlet

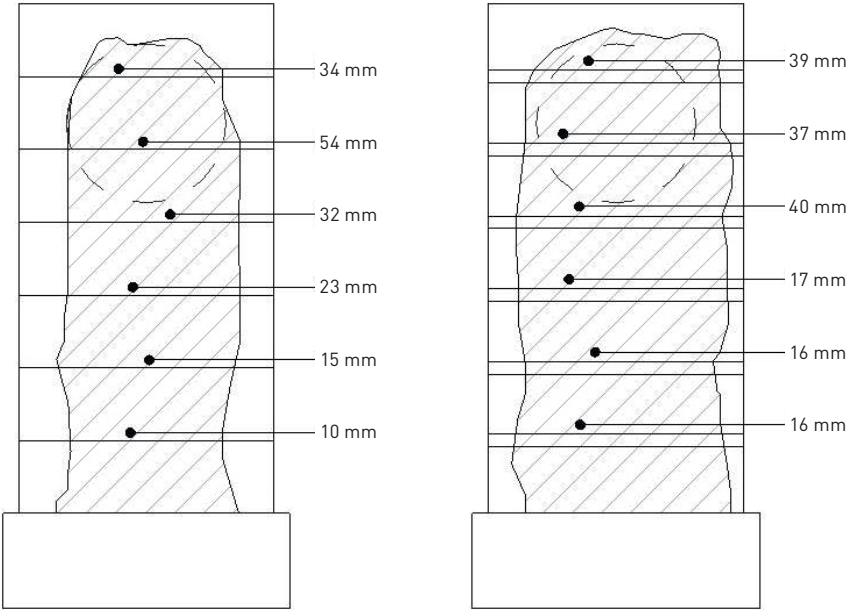
oldalanként. Ennek oka, hogy a víz öszszegyűjtésére alkalmazott láda olyan szintig telt vízzel, hogy a kísérletet folytatva elérte volna a faltest alját, mely nagymértékben zavarta volna a végeredményt.

Alapvetően az volt a célom, hogy ne csak a csapóeső hatását szimuláljam, hanem egyben a faltesten lefolyó víz okozta eróziót is megvizsgáljam a próbatest alsó részein. Emiatt a hagyományos 15 vagy 20 cm élhosszúságú kocka helyett egy 20×40×78 cm méretű próbatestet készítettem. A nagyobb méretű és oldalanként eltérő felületű próbatest segítségével nemcsak a felületi erózió mértékét akartam vizsgálni, hanem a megszakító sávok működését is.

4.4. EREDMÉNYEK

A próbatestről a kísérlet után le-mért adatok meglehetősen vegyesek (5. ábra). A felső zónában, ahol a szórófejből érkező vízszögár közvetlenül érte a felületet, viszonylag nagy mértékű a kimosódás. A natúr felület esetében ezen a részen volt mérhető a legnagyobb mértékű erózió (6. ábra). Azonban a lécezett felület ezen részén, a másik jellegzetes kimosódási ponton jelentősen nagyobb értékek voltak mérhetőek a sima felületű oldalhoz képest (7. ábra).

A lábazati részen mért értékek még érdekesebb eredményt mutatnak. Itt ugyanis a fal legaljánál, ahol a felületi



5. ÁBRA: A próbatest hagyományos (balra), illetve lécezetes (jobbra) felületein mért erózió értékei



5. | AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE, FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

A kísérlet egyik legmeglepőbb része a falazat meglehetősen nagy mértékű eróziója, melynek több magyarázata is van. Alapvetően külső falként történő alkalmazás esetén körülbelül 2-3 cm-t rá kell hagyni vastagságban erre a rétegre, ha pontos szerkezeti méretet szeretnénk, hiszen nagyjából ekkora mértékű a finom szemcsék kimosódásával járó erózió. Ez azonban alapesetben egy nagyon hosszú folyamat, melynek egy ilyen gyorsított eróziós vizsgálathoz képest nem szabadna ekkora értékeket adnia.

Jelen kísérlet esetében a nem megfelelő mértékű tömörítés járult hozzá legnagyobb mértékben a felület ilyen mértékű eróziójához. Feltehetően a tömörítésre használt döngölő kialakítása nem volt ideális. A lécre erősített rétegelt lemez lapot a léccs csak annak közepén nyomta megfelelő módon, nem pedig a teljes felületén, így a széleken nem adódott át akkora erő és nem tömörítette a próbatest peremeit kellőképpen. Érdemes lenne a kísérlet megismétlésénél egy kisebb felületű döngölőt használni a jobb és egyenletesebb tömörítés érdekében.

Egy furcsa anomália, hogy a lécbetákos konstrukciónak kevésbé kellett volna erodálnia a faltest alján, mint a sima felületű oldalnak, azonban ez éppen fordítva történt. Ennek oka egyrészt szintén a rossz tömörítésben, másrészt a választott elválasztó szegélyek anyagában keresendő. A falécből kialakított szegélyek viszonylag rugalmasak, így a tömörítés során nem tudtak szerves részeként beépülni a falszerkezetbe. Az elválasztó szegélyek körüli lazább részeket a víz hamar kimosta, emiatt jobban erodálódtak ezek a részek. A jövőbeni esetleges kísérletezés esetében mindenképpen kevésbé rugalmas anyag használata szükséges erre a célra, mely képes megfelelőbb módon beépülni a faltest szerkezetébe.

A vizsgálat időtartama is sokkal rövidebb volt, mint az előírt. Érdemes lenne megismételni a kísérletet a hosszabb időtartammal, de ehhez megfelelő szórófejre, működő nyomásszabályozóra lesz szükség, illetve a lefolyó víz összegyűjtését is más módon kell biztosítani.

6. ÁBRA: A próbatest natúr oldalának eróziója a kísérlet után

eróziót elméletileg a víz mozgási energiájából származó eróziós potenciál adja, a lécezett konstrukciónak sokkal jobban kellene teljesítenie a hagyományos kialakítású felülettel szemben. A kísérletben ez pont fordítva történt.

A sima felület esetében jól láthatóak, hogy a döngöléssel közvetlen kapcsolatba került részek, azaz a rétegek felső határai sokkal tömörebbek, így kevésbé erodálódtak és kvázi párkányokat képeztek a felületen.



7. ÁBRA: A próbatest lécbetákos oldalának eróziója a kísérlet után

A vert vályogfalak, a vályogépítés reneszánszát éli. Az ember folyamatosan igyekszik mérsékelni az ökológiai lábnyomát az élet minden területén, így az építőiparban is. Véleményem szerint a vályog újra felfedezése és integrálása a jelenlegi szabályozási és építési környezetbe az egyik legjobb lépés, melyet ezen az úton tehetünk, hiszen rendkívül alacsony a beépített energiatartalma, hulladékmentes és végtelen alkalommal újrahasznosítható. A kutatásom során világossá vált, hogy vannak olyan aspektusai az anyagnak, a szerkezetnek, melyek jelenleg megnehezítik az alkalmazását. Reális keretek között ezen nehézségek kiküszöbölhetőek lennének, ám ehhez a jövőben további kísérletek és kutatások szükségesek.

HIVATKOZÁSOK

[1] **Simon Dániel:** A korszerű vályogépítés lehetőségei, a vert vályogfalak jelene és jövője. TDK dolgozat, BME, Budapest, 2022, <https://tdk.bme.hu/EPK/DownloadPaper/A-korszeru-valyogepites-lehetosegei-a-vert>

[2] **Csicseley Ágnes:** Szemelvények a vályog- és földépítés történetéből. Építés - Építészettudomány 30(3-4), 2002, 273-287, <https://doi.org/10.1556/epud.30.2002.3-4.5>

[3] **Orbáné Csicseley Ágnes:** Vályogfalak kísérleti és elméleti teherbírásvizsgálata. Doktori értekezés, BME, Budapest, 2006, <http://hdl.handle.net/10890/1435>

[4] **Medvey Boldizsár:** Földépítés egy környezetbarátabb építőiparért: a föld anyagú falak előnye. Metszet 12(6), 2021, 90-93, <https://doi.org/10.33268/Met.2021.6.12>

[5] **Henri Van Damme, Hugo Houben:** Earth concrete. Stabilization revisited, Cement and Concrete Research 114, 2018, 90-102, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.035>

[6] **Molnár Viktor:** A vályog és a favázas vályogépítészet anyagai. Doktori értekezés, NyME, Sopron, 2005, http://doktori.uni-sopron.hu/id/eprint/36/1/de_1686.pdf

[7] **Gernot Minke:** Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture, Birkhäuser. Basel/Berlin/Boston, 2006.

[8] **Bihari Ádám, Medgyasszay Péter, Medvey Boldizsár:** Természetes építőanyagok szabályozása: különös tekintettel a vályog építési anyagokra és technikákra. Metszet 9(6), 2018, 84-91. https://epa.oszk.hu/03500/03575/00003/pdf/EPA03575_metszet_2018_06_084.pdf

[9] **Q. B. Bui, J. C. Morel:** Durability of rammed earth walls exposed for 20 years to natural weathering. Building and Environment 44(5), 2009, 912-919, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.07.001>

[10] **Kevan Aubrey Heathcote:** An investigation into the erodibility of earth wall units. Doktori értekezés, University of Technology Sydney, Sydney, 2002, <https://opus.lib.uts.edu.au/bitstream/10453/20153/2020/02Whole.pdf>

[11] **Medvey Boldizsár:** Földanyagú külső falak tartóssága. Metszet 10(6), 2019, 56-63, <http://doi.org/10.33268/Met.2019.6.7>

[12] **IS:1725-1982:** Indian Standard: Specification for soil based blocks used in general building construction (first revision). Indian Standards Institution, New Delhi, <https://law.resource.org/pub/in/bis/S03/is.1725.1982.pdf>

[13] **Peter Walker:** The Australian Earth Building Handbook. Standards Australia, 2002. <https://www.saiglobal.com/PDFTemp/Previews/OSH/as/misc/handbook/HB195.pdf>

[14] **NZS 4298:1998:** Materials and workmanship for earth buildings: Incorporating amendment no. 1. Standards New Zealand, Wellington, https://cobcode.s3.amazonaws.com/supporting-docs/NZS4298-1998-Materials_and_Workmanship_For_Earth_Buildings.pdf

[15] **G. F. Middleton, L. M. Schneider:** Bulletin 5: Earth-wall construction, 4th edition. National Building Technology Centre, Australia, 1987, <https://www.saiglobal.com/pdftemp/previews/osh/as/misc/csiro/csiro5.pdf>

[16] **F. O. Ogunye, H. Boussabaine:** Development of a rainfall test rig as an aid in soil block weathering assessment. Construction and Building Materials 16(3), 2002, 173-180, [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(02\)00010-7](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(02)00010-7)

Hajdu Árpád¹, Hegedűs Dániel László², Tóth Olivér³,
Ajtayné Károlyfi Kitti⁴, Szalai Dóra⁵, Horváth Tamás⁶

BENAPOZÁSVIZSGÁLAT PARAMETRIZÁLT MÓDSZERREL EGY LAKÓHÁZ PÉLDÁJÁN

DAYLIGHT ANALYSIS USING A PARAMETRIC METHOD ON THE EXAMPLE OF A RESIDENTIAL BUILDING

KIVONAT / HUN

A Nap az év különböző időszakaiban másként járja körül az épületeinket, ezáltal a fény beesési szögei is eltérőek, melyek elemzésére a benapozásvizsgálat által van lehetőségünk. A vizsgálat szemléletesen bemutatja az épület benapozottságát, és az alkalmazott módszertől függően számos módon tud számszerű adatokat nyújtani nekünk. Jelen tanulmányunkban egy családi ház példáján keresztül vizsgáljuk meg, hogy a nyílászárók elhelyezkedése és mérete miként befolyásolja az egyes helyiségek benapozottságát. A kutatás során parametrikus tervezési módszerrel gyorsítottuk meg az általunk választott alternatívák generálását a vizsgálatokhoz, annak érdekében, hogy megbizonyosodjunk arról, hogy a parametrikus tervezés alkalmazása akár már kisebb léptékben is előnyös lehet, mivel meggyorsíthatja a munkafolyamatokat. E módszerrel több mint 200 vizsgálatot futtattunk le, melyek eredményeként javaslatot tettünk a vizsgált helyiségek optimális nyílászáró kialakítására.

Kulcsszavak: benapozásvizsgálat, megvilágítás elemzés, parametrikus tervezés, nyílásméret optimalizálás

ABSTRACT / ENG

At different times of the year, the Sun orbits our buildings in completely different pathways, resulting variance in the angles of sunlight penetration. These angles can be investigated through a daylight analysis. The analysis vividly illustrates the building's solar exposure, and depending on the chosen method of examination, it can provide numerical data in various ways. In this study, we perform daylight analysis for a family house, examining how the placement and size of the windows influence the solar exposure of individual rooms. During the research, we accelerated the generation of alternatives for our investigations using parametric design method to prove, that parametric design could be advantageous for designers even on a smaller scale, and could expedite the workflow. With this method, we conducted over 200 analyses, proposing window designs for the examined spaces based on the findings.

Keywords: daylight analysis, lighting analysis, parametric design, opening sizes optimization

¹ építésmérnök BSc hallgató, Széchenyi István Egyetem, e-mail: hajdu1001@gmail.com

² építésmérnök (osztatlan) hallgató, Széchenyi István Egyetem, e-mail: hegedusdaniel.7@gmail.com

³ építésmérnök BSc hallgató, Széchenyi István Egyetem, e-mail: toth.oliver82@gmail.com

⁴ építésmérnök, PhD, egy. adjunktus, Széchenyi István Egyetem, Szerkezetépítési és Geotechnikai Tanszék, e-mail: karolyfi.kitti@ga.sze.hu

⁵ építésmérnök, BIM menedzser, szoftverfejlesztési csoportvezető, TSPC Kft., tudományos segédmunkatárs, Széchenyi István Egyetem, Építészeti és Épületszerkezettani Tanszék, e-mail: szalaidory@gmail.com

⁶ építésmérnök, PhD, egyetemi docens, Széchenyi István Egyetem, Építészeti és Épületszerkezettani Tanszék, email: htms@ga.sze.hu

1. | BEVEZETÉS

A fény elengedhetetlen feltétele az életnek. A nappalok és éjszakák folyamatos ciklusossága meghatározza mindennapjainkat. A fény érzékelése, a látás útján jutunk az érzéki információink túlnyomó többségéhez. A közérzetünket nagymértékben befolyásoló tényező a napközben minket érő fény minősége és mennyisége, ezért különösen fontos a megfelelő mennyiségű természetes fény beengedése a huzamos tartózkodásra szolgáló helyiségekbe [1]. Ennek vizsgálatára futtathatunk egész napos szimulációkat, amik a Nap mozgását vizsgálják napkelte-től napnyugtáig, vagy akár egy adott pillanatot is vizsgálhatunk. A szimulációk eredményeit megkapjuk számszerűsítve, hamis színtérképpel, de egész napos szimuláció esetén kinyerhetjük az eredményeinket egy videóban is. A benapozást vizsgáló programok 3D-s modellekkel dolgoznak.

Az épülettervezés során jellemzően sok időbe telik a nyílászárók pozíciójának és méretének kiválasztása, mert sok szempontot kell figyelembe venni [pl.: homlokzati megjelenés, szerkezeti rendszerbe illesztés, épületszerkezeti kapcsolatok, minimális benapozottság biztosítása, passzív szoláris hőnyereség, nyári túlmelegedés, szellőztetési igények stb.]. A tervezés iteratív jellege miatt pedig ezzel a folyamat során többször szükséges foglalkozni [2]. A nyílászárók elhelyezésének módosítása és az ezzel való kísérletezés viszont időigényes és aprólékos feladat. Ennek megoldására alkalmazhatóak olyan kiegészítő, parametrikus tervezést lehetővé tevő programok, amelyekben valós idejű szinkronizációval tudjuk változtatni a modellben lévő nyílászárók méretét, elhelyezkedését, minőségét és ezen kívül még számos egyéb paramétert. Ezeket a parametrikus programokat minden esetben az adott tervező programmal célszerű összekapcsolnunk. Ez azt jelenti a gyakorlatban, ha egy számszerű paramétert algoritmus segítségével megváltoztatunk a kiegészítő programban, akkor a változást azonnal látni fogjuk a tervező programban is. Ennek eredményeképp sokkal gyorsabban hozhatunk létre több variációt egy adott épületrészről, vagy jelen esetben nyílászáró elhelyezéséről, amiket aztán összevethetünk, és kiválaszthatjuk az ideális megoldást [3].

Jelen kutatásunk célja a nyílászárók elhelyezkedésének és méretének az egyes helyiségek benapozottságára gyakorolt hatásának vizsgálata parametrikus tervezési módszerrel. A vizsgálatot egy családi ház esetében végeztük el, melynek eredményeként javaslatot tettünk a vizsgált helyiségek benapozottság szempontjából ideális nyílászáró kialakítására.

2. | AZ ÉPÜLETEK TERMÉSZETES MEGVILÁGÍTÁSA

A természetes fény hasznosításának lehetősége elsősorban az épület helyszínén rendelkezésre álló természetes fény mennyiségétől (azaz a helyszín földrajzi helyétől és a környezet adottságaitól) függ; másodsorban az épület közvetlen környezetének kialakításától, a bevilágítók beépítésétől, azok közvetlen környezetétől, szerkezeti kialakításától, továbbá a belső terek jellemzőitől függ. A természetes világítás primer fényforrása a Földön a Nap, melynek fénye többféleképpen

juthat be a belső tereinkbe. Az épületek természetes fényforrása az a külső tér, ami a Nap fényét átereszt, majd szórva vagy reflektálva megvilágítja őket. A belső terek természetes fényforrása pedig a gyakorlat szerint egy transzparens szerkezet (pl. ablak, ajtó, függönyfal, felülvilágító stb.), amin keresztül a természetes fény bejut a belső térbe, annak átteresztési tulajdonságai szerint. A világítás legfőbb célja a megfelelő vizuális környezet és komfort létrehozása. A beltéri vizuális környezet a helyiség megvilágításával jön létre, ilyen módon a vizuális környezetnek két komponense van [4]:

- az egyik a fény nélküli, a fényt többé-kevésbé visszaverő felületekkel határolt és berendezett helyiség, amely lényegében a passzív komponens;
- a másik a fény, amely mint aktív komponens láthatóvá teszi a helyiséget.

Bármely vonatkoztatási pontból létesített vizuális kapcsolat minősége függ:

- a bevilágító(k) méretétől;
- a vizuális kapcsolat szélességétől (vízszintes látószög);
- a vizuális kapcsolat távolságától;
- a látótér részeinek számától;
- a vizuális kapcsolat révén a környezetről szerzett információ minőségétől.

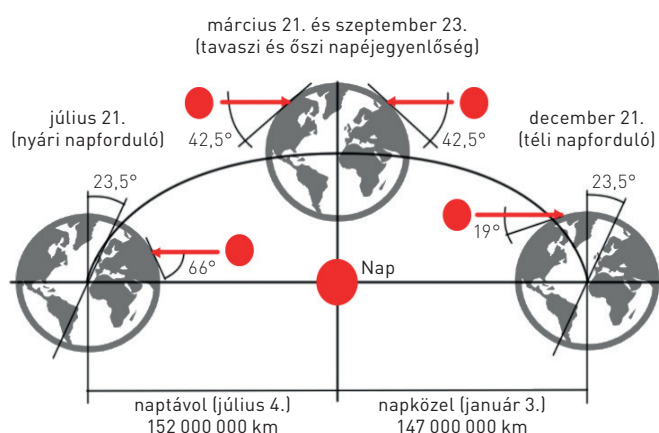
A vizuális kapcsolat feltételeit az adottságokhoz és a helyszínhez kell igazítani, de vannak alapvető feltételek, amiknek minden esetben teljesülni kell a megfelelő kapcsolat érdekében [5]:

- a tartózkodási helyen legalább a látótér egy része látható legyen (égbolt, táj, terep);
- a bevilágító transzparens szerkezete nem torzíthatja a kilátást és a színezetiséget;
- a tartózkodási hely vonatkoztatási pontjából látható, vizuális kapcsolatot biztosító bevilágító(k) transzparens felületének megfelelő vízszintes látószögük legyen.

2.2. A BENAPOZÁS

A napfény hasznosítása minden belső tér esetében függ a tér funkciójától. A napsugárzás időintervallumát figyelembe véve esetlegesen ki kell alakítani megfelelő árnyékolást, ami csökkenti a felmelegedést vagy vizuális kényelmetlenségeket. A napfény biztosításához figyelembe kell venni a tervezés folyamatában a tömegformálást, a tájolást, a homlokzati kialakítást, a helyiségek bevilágítóinak méretét és elhelyezkedését. A megfelelő benapozottságot legegyszerűbben a megfelelő méretű nyílászárók optimális elhelyezésével lehet elérni a tájolás, illetve a helyi környezeti viszonyok figyelembevételével. Erre a célra használhatjuk a benapozásvizsgálatot, melynek legfontosabb része a Nap mozgásának elemzése az adott földrajzi helyen [6].

A Nap járása bonyolult éves ciklust követ. A benapozásvizsgálatokat érdemes e ciklus jellegzetes (szélső) időpontjaiban, a napfordulók és napéjegyenlőségek alkalmával elvégezni (1. ábra). A napforduló csillagászati kifejezés, amivel a Napnak a Föld egyenlítőjéhez való szélső helyzetét fejezzük ki. A téli napfordulónál van a legrövidebb, a nyári napfordulónál van a leghosszabb nappal az évben. A tavaszi és őszi napéjegyenlőségek napjain a szélsőértékek mellett egy köztes értéket is kaphatunk.



1. ÁBRA: A Föld keringése a Nap körül

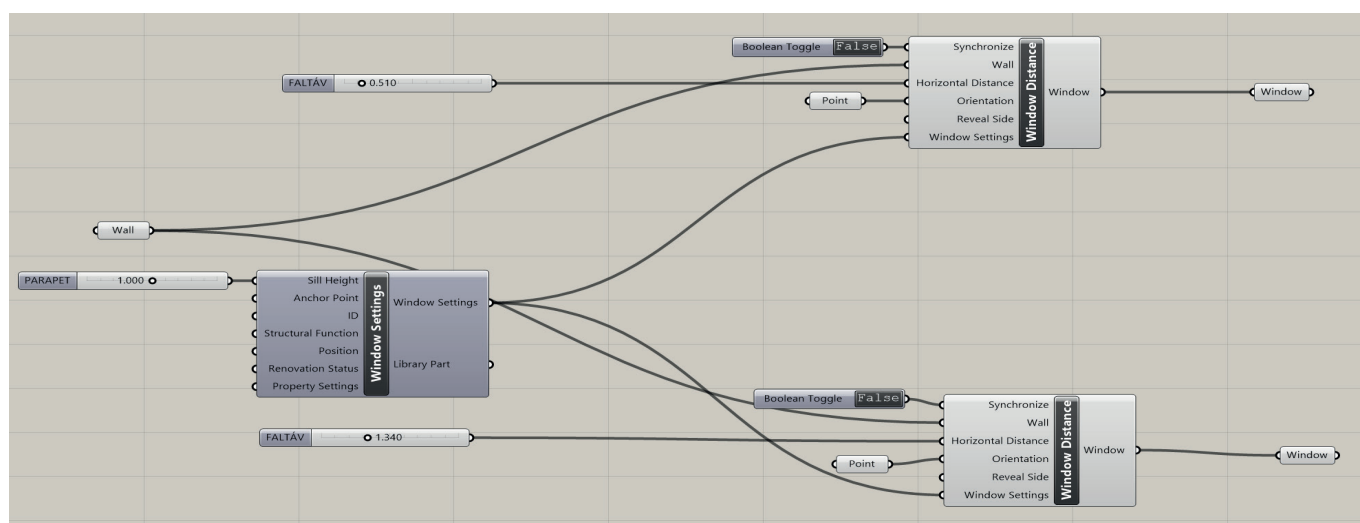
A mi tervezési területünk az északi félgömbön található, megközelítően a 47° szélességi körön. Abban az esetben, ha az északi félgömb mérsékelt égövén figyeljük a Nap mozgását, láthatjuk, hogy a Nap legmagasabb delelési magassága június 21-én van, mivel ilyenkor a Nap-Föld középpontokat összekötő egyenes és az egyenlítő síkja által bezárt szög a legnagyobb értékét (kb. $23,5^\circ$) éri el. Ekkor a leghosszabb a nappal és legrövidebb az éjszaka. Ezután a Nap egyre délebbre kel fel és egyre alacsonyabban delel, ezáltal a napi ív egyre rövidebb lesz, és a napnyugta is egyre délebbre kerül. A következő jellegzetes napállás az őszi nap-éj egyenlőség. Ilyenkor a Nap-Föld középpontokat összekötő egyenes és a földi egyenlítő síkja között bezárt szög elfogy, az egyenes a síkba illeszkedik. Szeptember 23-án (jellemzően 23-án, de a szökőévek befolyásolják) a nappal és az éjszaka hossza megegyezik. A téli napforduló az a pillanat, amikor az előbbieken megemlített nyári napfordulónál a Nap-Föld középpontokat összekötő egyenes és az egyenlítő síkja által bezárt szög a legnagyobb értékét (kb. $23,5^\circ$) eléri a déli félgömbön, ilyenkor van a leghosszabb éjszaka és a legrövidebb nappal az északi félgömbön [6].

2.3. A BENAPOZOTTSÁG SZABÁLYOZÁSA

Az MSZ EN 17037 Természetes világítás épületekben szabvány jelenleg hatályos változatát [7] 2022. július 1-jén tették közzé magyar és angol nyelven. Az európai (EN) és nemzeti (MSZ) hatályú szabvány használata önkéntes alapú. A szabványtól való eltérés esetén megkövetelhető annak igazolása, hogy a választott megoldás is megfelel-e a jogszabályi követelményeknek, kiemeleten az OTÉK 86-88. paragrafusainak [8]. Ez a szabvány a természetes fénnel való tervezésben segíti a tervezőket. Lehetőséget ad arra, hogy a tervezők és az ingatlanfejlesztő szakemberek konkrét elvárásokat fogalmazzanak meg az épület természetes világításával kapcsolatban, továbbá megvizsgálják az ehhez kapcsolódó egyéb kérdéseket is, mint pl. a vizuális kapcsolat biztosítása, a káprázás elleni védelem vagy a benapozás. A szabvány a természetes világítással kapcsolatosan azon tényezőket határozza meg, amik a látáshoz és a vizuális kapcsolat biztosításához szükségesek, és tartalmaz olyan ajánlásokat, melyek a huzamos tartózkodásra kialakított helyiségek benapozási időtartamával kapcsolatosak.

2.4. PARAMETRIKUS BENAPOZÁSVIZSGÁLAT

Egy átlagos, akár kisebb léptékű épület (pl. családi ház) esetén is számos nyílászáró típus és elrendezés jöhet szóba, így az ezekből képzett variációk nagy száma miatt a benapozásvizsgálat manuális kísérletezéssel rendkívül időigényes. Erre a célra alkalmazhatjuk a parametrikus tervezést, amely matematikai és logikai összefüggéseken alapul. Leggyakrabban formatervezéshez, illetve különböző célú szimulációk elkészítéséhez szokták használni. A parametrikus tervezésben egy szabályrendszer vagy algoritmus alapján készítjük el a kívánt elemet / geometriát. Ez a tervezési eljárás lehetővé teszi a paraméterek módosításával a különböző alternatívák gyors létrehozását, kihasználva a számítógépes feldolgozás kínálta számítási kapacitást a formai és műszaki igények teljesebb kielégítése érdekében [9].



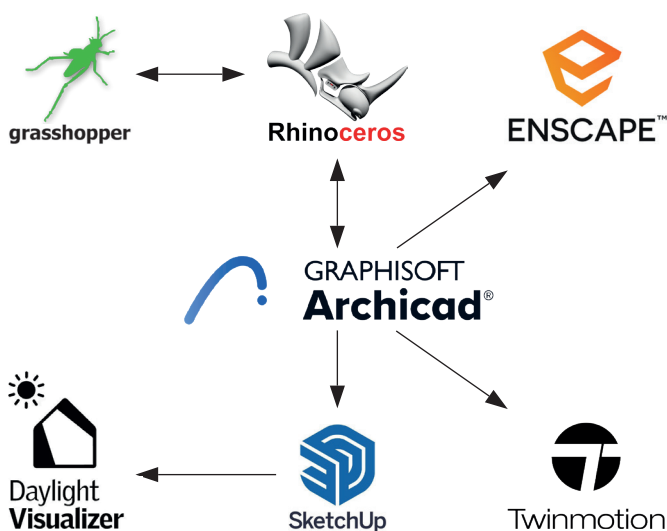
2. ÁBRA: Egy parametrikus script a kutatásból

A parametrikus tervezésben egy olyan rendszert használnunk, amelynek felépítése saját magára reflektál, és amelynek elemei egymáshoz vannak rendelve logikai összefüggésekkel, matematikai egyenletekkel vagy egyenletrendszerekkel [2. ábra]. Ezzel egy hálózatot építünk fel, ahol minden elem kapcsolatban áll egymással, és a paramétereket általunk megadott intervallumokon belül változtathatjuk, így a teljes modell dinamikusan változik [3].

3. | A KUTATÁS

3.1. KUTATÁSI CÉLOK

Legfőbb kérdésünk az volt, hogy a nyílászárók méretének és elhelyezkedésének meghatározásával, tudjuk-e optimalizálni a belső tér megvilágításának mértékét és az ebből adódó komfortérzetet. Kutatási célunk volt továbbá annak a vizsgálata is, hogy egy családi ház léptéknél egy részprobléma, például a benapozottság vizsgálata esetén miként és mennyire hatékonyan lehet a segítségünkre a parametrikus tervezés. Céljaink közé tartozott, hogy a lehető legtöbb vizsgálatot végezzük el, és ebből válasszuk ki az optimális variációkat a vizsgált szempontok alapján. További cél volt, hogy a létrehozott variációkat ne csak a számszerű adatok segítségével, objektív módon, hanem esztétikai szempontok alapján, VR (Virtual Reality: virtuális valóság) környezetben is értékeljük, hogy ezzel demonstráljuk ezeknek az eszközöknek a tervezés célú alkalmazását. Nem utolsó sorban ezzel a kutatással szeretnénk volna reflektálni a jelenlegi gazdasági és szociális helyzetre, miszerint a COVID járvány miatt jelentősen megnövekedett az otthontartózkodás mértéke, majd az energiaválság miatt megnövekedtek az épületek fentartási költségei. Ebből adódóan a helyiségek benapozottsága nem csak a komfortérzet biztosítása miatt fontos, de a nyílászárók helyes megválasztásával hosszútávon az épület üzemeltetési költségei is csökkenthetők.



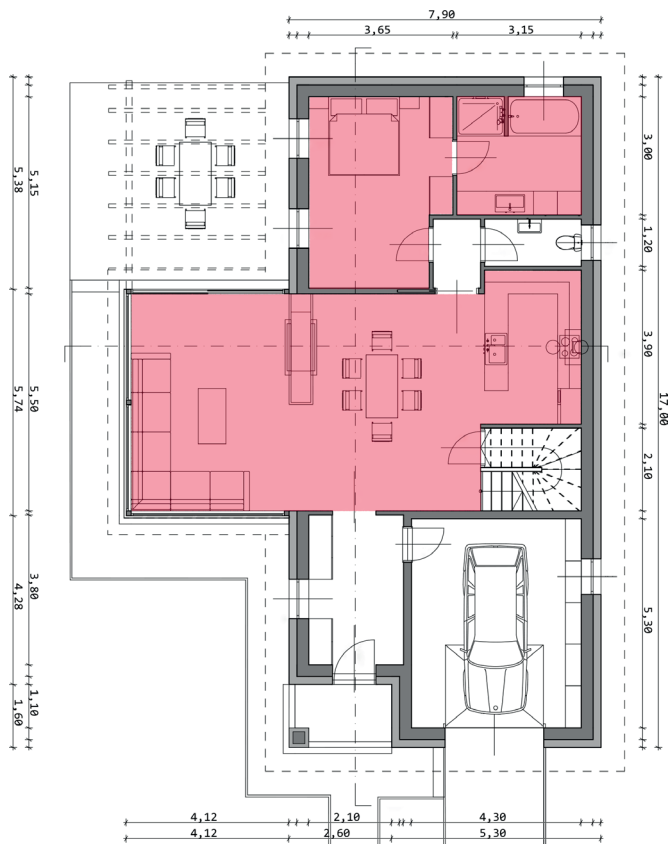
3. ÁBRA: A kutatásban alkalmazott programok és kapcsolatrendszerük

3.2. SZOFTVERKÖRNYEZET

A programrepertoárunk [3. ábra] tengelyét a Graphisoft Archicad 25 képezte, amelyben háromdimenziós modell készült az épületünkről. Ezen kívül több különböző programot használtunk az egyes munkarészek elvégzéséhez. A virtuális térben való megjelenítéshez és bejáráshoz több látványtervező programot is kipróbáltunk, amelyekből a választásunk a Twinmotionre és az Enscape-re esett. A parametrikus munkarészhez a Rhinoceros 7 térbeli modellező programot használtuk kiegészítve a Grasshopper vizuális programozást lehetővé tevő programmal. A látványtervező és parametrizáló programokat folyamatos élő kapcsolattal csatlakoztattuk az Archicad-hoz, így egyszerűen tudtunk monitorozni minden változtatást. A benapozásvizsgálathoz a Velux Daylight Visualizer programját használtuk. Ahhoz, hogy a CAD modellünket integrálni tudjuk a benapozást vizsgáló programba, egy köztes programot volt szükséges beiktatni, ami a SketchUp volt, mivel a Velux Daylight Visualizer csak skp, obj, dwg és dxf formátumokat tud importálni.

3.3. KUTATÁSI MÓDSZER

A parametrikus tervezéssel segített benapozásvizsgálat folyamatát egy saját tervezésű családi ház példáján keresztül mutatjuk be [4. ábra]. Az épület modelljét Archicad 25-ben készítettük el, majd az Archicad-Grasshopper élő kapcsos-



4. ÁBRA: A vizsgált lakóépület földszinti alaprajza, a vizsgált helyiségekkel



5. ÁBRA: Az épületünk külső látványterve

latot kihasználva a nyílászárók méreteit, elhelyezkedését és parapetmagasságát állítottuk be változóként a Grasshopper segítségével. A paraméterek változtatásával létrehoztuk a különböző épületvariációkat, amelyeket a SketchUp-on keresztül importáltunk a Velux szoftverébe, ahol a benapozás-vizsgálatokat elvégeztük. A vizsgált variációkat VR szemüveg segítségével is bejártuk az Archicad-Twinmotion kapcsolatot alkalmazva.

A benapozásvizsgálatnál a figyelembe veendő elsődleges szempontok a helyszín földrajzi elhelyezkedése és tájolása. A tervezési helyszínünk Bakonybélben volt, ami egy kis idilli község Veszprém megyében. Az általunk választott telek határozta meg a tájolást. A telek és a szabályozása oldalhatáros beépítést tesz lehetővé keleti utcai homlokzattal és déli fő tájolással, ami benapozás szempontjából ideális. Az épület egy kétszintes családi ház kétgyermekes családmoddellre, cca. 200 m²-es hasznos alapterülettel (5. és 6. ábra).

A bevezetésben említett benapozásvizsgálati lehetőségek közül a pillanat vizsgálatot választottuk. A kutatás során az



6. ÁBRA: Az épületünk belső látványterve

épület nappali-étkező-konyha, hálószoba és fürdőszoba helyiségeit vizsgáltuk részletesen. Az általunk kidolgozott vizsgálati koncepció 200 futtatást igényelt. Minden opciót háromszor futtatunk le, három különböző időpontban: decemberben, márciusban és júniusban. A vizsgálat változóit az 1. táblázat mutatja be. A későbbiekben a diagramokon is láthatóak ezek a variációk minden vizsgált helyiség esetében. A vizsgálatok futtatási ideje függött a vizsgált helyiség nagyságától, illetve a vizsgálatot futtató hardver paramétereitől. Átlagosan egy futtatás 5-20 percet vett igénybe, a mentés és rendszerezés nélkül.

Ahogy a nyílászáróméretekből látható a szokásos 30 cm-es méretrendszert használtuk. A tetőtéri ablakok méreteit a Velux gyártó által használt méterek alapján modelleztük. A nappali üvegfallal esetén eltértünk a szokásos méretektől, mivel a közvetlen kertkapcsolatot mint építészeti gesztust fontosabbnak tartottuk, ezért itt csak a parapetmagasság volt változó. Elemeztük az ereszkinyúlás mértékének hatását is a benapozottságra.

1. TÁBLÁZAT: A kutatás változóit: a vizsgált helyiségek, időpontok, paraméterek, ablakméretek

helyiségek	időpontok	paraméterek	ablakméretek (cm)	tetőablak méretek (cm)
nappali-étkező-konyha	decemberi napforduló	ablakok mérete	60 × 120 / 150 / 180 / 210 / 240	78 × 98 / 118 / 140 / 160
hálószoba	márciusi napéjegyenlőség	ablakok száma	90 × 120 / 150 / 180 / 210 / 240	94 × 118 / 140 / 160
fürdőszoba	júniusi napforduló	ablakok elrendezése	120 × 60 / 90 / 150 / 180 / 210 / 240	114 × 118 / 140 / 160
		parapetmagasság	150 × 60 / 90 / 180	134 × 98 / 140 / 160
		eresztúlnyúlás	180 × 120 / 150	

4. | EREDMÉNYEK

4.1. A FÖLDSZINTI FÜRDŐSZOBA BENAPOZOTTSÁGA

A vizsgált épületben a fürdőszoba észak-nyugati tájolású, viszont az oldalhatáros beépítési mód miatt, csak korlátozott méretű nyílászáró helyezhető el az északi homlokzatra, ezért az épület nyugati homlokzatát nyitjuk inkább meg. A **7. ábrán** látható a különböző nyílászáró méretekkkel és elhelyezési variációkkal kapott benapozottság mértéke lux-ban kifejezve, külön a decemberi, márciusi és júniusi időpontokban.

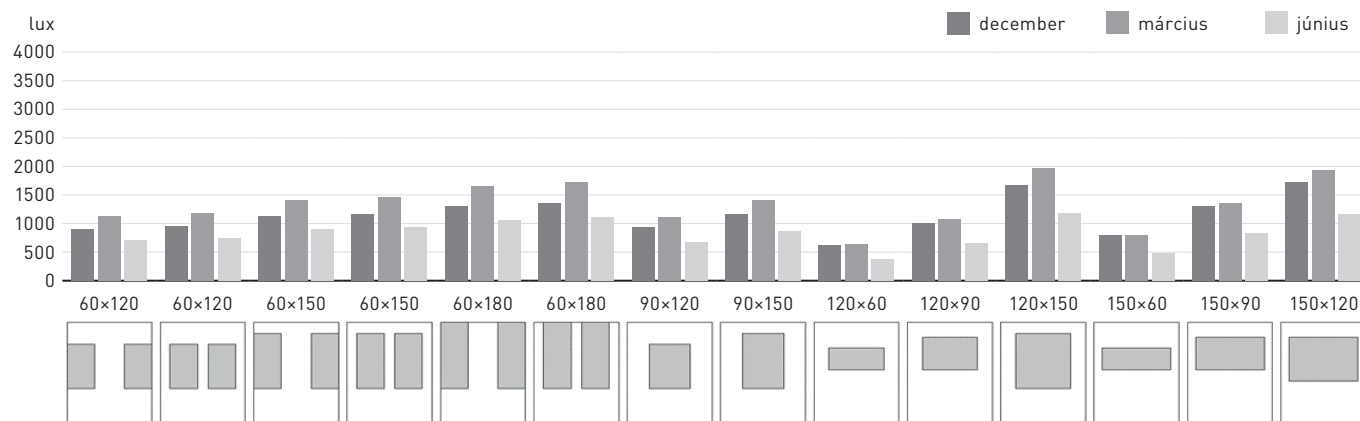
Vizsgálatunk kiértékelése után kétfajta javaslatot tettünk. Az egyik fő szempontja az esztétika, a másikkal pedig az ideális benapozottság. Esztétika szempontjából a 90×120 cm-es nyílászárót találtuk megfelelőnek, mivel ez illeszkedik a legjobban a homlokzat kialakításába. Ezzel ellentétben benapozás szempontjából egy fekvő ablakot találtunk optimálisnak, a 120×90 cm-est. A fürdőszoba esetében megfigyelhető, hogy ellentétben a többi helyiséggel, itt a márciusi értékek a legnagyobbak, míg a decemberi értékek a másodikok, a júniusiak a legkisebbek. Ennek fő oka, hogy a nyeregretetős kialakítás miatt itt nincs az ereszkilógásból adódó árnyékolás, ezáltal nem tudjuk kontrollálni az átmeneti időszakban beérkező napfény mennyiségét.

4.2. A FÖLDSZINTI HÁLÓSZOBA BENAPOZOTTSÁGA

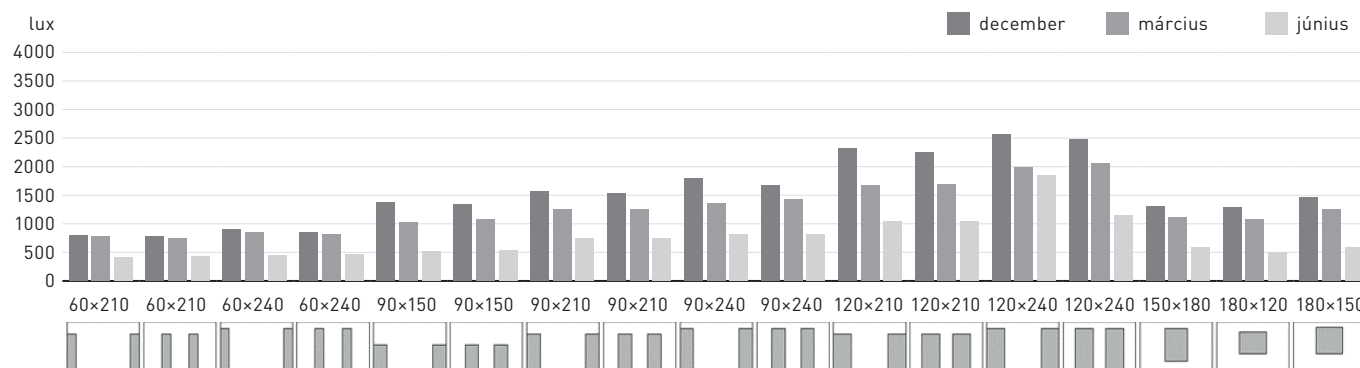
A földszinti hálószooba déli és nyugati tájolású határoló falakkal rendelkezik. A helyiséget bútorozhatósági, homlokzatkialakítási és benapozási szempontok miatt kizárólag déli irányba nyitottuk meg. A hálószooba esetében már sikerült elérnünk az ideális benapozottságot, ami azt jelenti, hogy a téli időszakban a legmagasabb a benapozottság, az átmeneti időszakban kontrolláljuk azt, a nyári időszakban pedig minimálisra csökkentjük a mértékét (**8. ábra**).

Több vizsgált opció is megfelel a szabványban előírtaknak. A 90×240 cm-es nyílászáró biztosítja számunkra azt a mennyiségű fényt, ami elegendő a mindennapokban végzendő tevékenységekhez, mint például az olvasás, ugyanakkor nem enged be túlzottan nagy mennyiségű fényt. Továbbá a 90×240 cm-es méret lehetővé teszi a közvetlen közlekedést a teraszra, ami egy sokkal komfortosabb érzetet adhat a helyiségben tartózkodó személynek. Ezen okokból kifolyólag a 90×240 cm-es nyílászárók alkalmazását javasoljuk a falon egyenletesen elosztva.

A hálószooba esetében néhány kísérleti vizsgálatot is elvégeztünk, mivel ebben az esetben a tető ereszkilógása már megjelent, mint befolyásoló tényező. Megvizsgáltuk az ereszkilógást 40, 50 és 60 cm-es vízszintes távolsággal is (**9. ábra**). A mi épületünk esetében a márciusi vizsgálatoknál tapasztaltunk nagyobb eltérést. A téli időszakban túl alacsony, míg a nyári



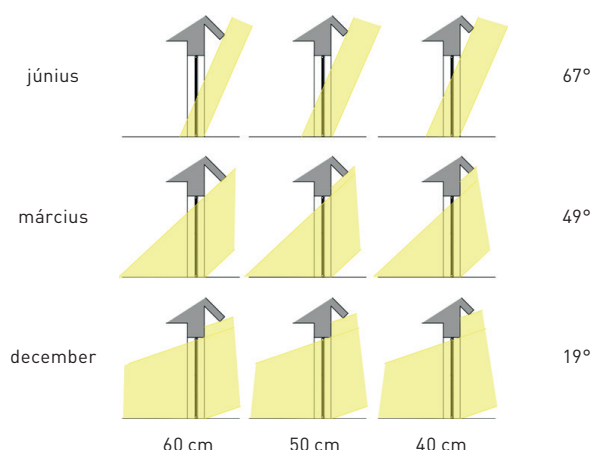
7. ÁBRA: A fürdőszoba benapozottsága különböző ablakelrendezések esetén



8. ÁBRA: A hálószooba benapozottsága különböző ablakelrendezések esetén

időszakban túl meredek a napfény beesési szöge, ezáltal nem okoz számottevő eltérést a benapozottságban. Márciusban viszont a számadatok jelentősen eltérőek voltak, mivel a napfény maximális beesési szöge ekkor 49° [10]. Itt érdemes megemlíteni, hogy az épületünk tetőterét 1 m-es térdfallal terveztük meg, ezért egy egyszerű egyszintes családi háznál az ereszkilógás sokkal magasabb befolyásoló tényezővel bírhat.

A másik kísérleti vizsgálatunk a vonatkoztatási felülettel volt kapcsolatban. A vonatkoztatási felület az adott térben (helyiségben) az a felület, amelyre a megvilágítást és/vagy a világítási tényezőt számítjuk, meghatározzuk vagy megmérjük. Ezt a felületet a szabvány szerint 85 cm-re kell elhelyezni a végleges padlószinttől. Viszont érdemes megvizsgálni, mi történik, amikor egy 0 parapetmagasságú nyílászárónál mérünk benapozást. A mért értékeink számottevően megváltoznak pozitív irányba, ha a vonatkoztatási felületet nem 85 cm-re helyezzük a padlószinttől, hanem a padlószinten vesszük fel. Ennél a vizsgálatnál fontos megjegyezni, hogy a tájolásunk déli irányú, az ereszkilógásunk pedig 60 cm-es volt. A pozitív irányú változás oka a napfény beesési szöge az adott időszakokban. A nyári időszakban olyan magas a napfény beesési szöge (67°), hogy az ereszkilógás árnyékolja azt a területet a szobánkból, amit érne közvetlenül a Nap fénye. A tavaszi és a téli vizsgálatoknál az ereszkilógás árnyékoló szerepe már nem érvényesül, ezáltal tud megnövekedni a benapozottság mértéke.

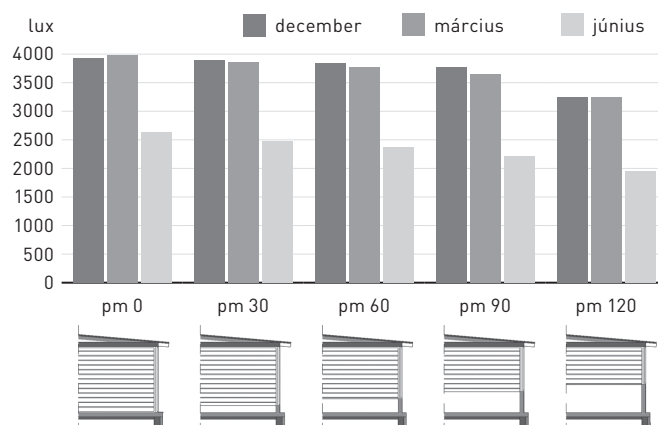


9. ÁBRA: Az ereszkilógás és a benapozottság összefüggései

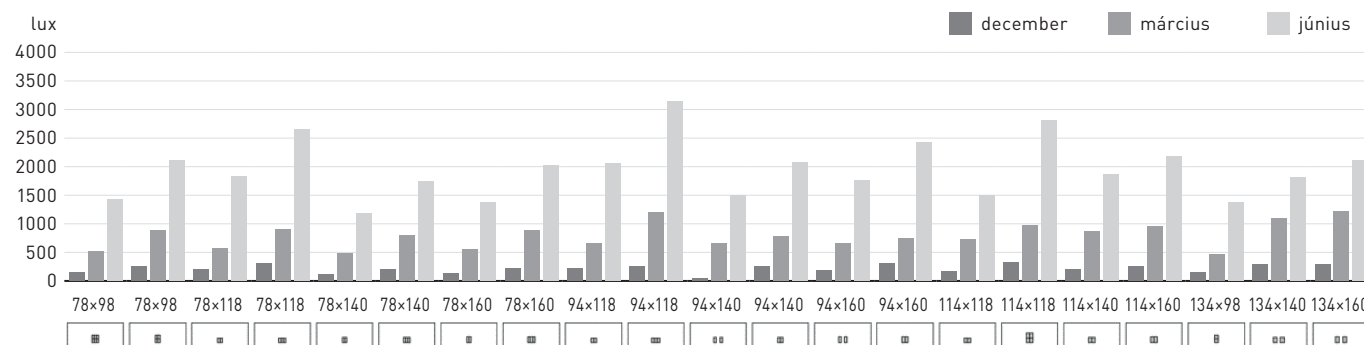
4.3. A NAPPALI-ÉTKEZŐ-KONYHA BENAPOZOTTSÁGA

A nappali-étkező-konyha a legkomplexebb helyiségünk benapozás szempontjából, mivel egy nagy, kétszintes légtér, amit mi huzamosabb használati idővel feltételeztünk, központi helyiségként. A nappali egy kiugratott tömeg az épületből, ezáltal a benapozása egyszerűen megoldható, mivel rendelkezik keleti, déli és nyugati homlokzattal is. A nappali esetben megoldható, hogy a Nap járására folyamatosan reflektáljunk transzparens felületekkel.

A vizsgált helyiség esetében a variációk nagy számának csökkentése érdekében utólag párosítottunk az általunk járható megoldásnak vélt opciókat. Két szakaszra bontottuk szét a helyiségünk vizsgálatát. Az első vizsgált rész a nappali körülvevő üvegfal (10. ábra), ahol a parapetmagasság változtatásával hoztunk létre öt különböző szituációt. A második pedig a tetősíklablakok mérete és elrendezése volt (11. ábra), ahol a szabványos méretek és a sorolhatóság szűkítette a variációk számát. A tetősíklablakoknál a Velux gyártó termékeit vettük figyelembe a gyártói javaslatok betartásával. Az eredmények kiértékelése után esztétikai szempontból a 0 parapetmagasságú üvegfalakat javasolnánk a 78×98 cm-es tetőablakkal, viszont minden más szempontból (benapozottság, bútorozhatóság) a 90-es parapetmagasságú üvegfalakat párosítását ajánlanánk a 94×118 cm-es tetőablakkal.



10. ÁBRA: A nappali üvegfelületének opciói és benapozottságuk



11. ÁBRA: Az étkező felett elhelyezett sorolt tetőablakok méretei és a hozzájuk tartozó benapozottság

4.4. A BENAPOZÁS VIZSGÁLATA VR SEGÍTSÉGÉVEL

A kutatás során szándékunkban állt kitérni a számadatok elemzése mellett a vizuális vizsgálatokra is. Ezekhez a vizuális vizsgálatokhoz szoftveres oldalról látványtervező programot, hardveres oldalról pedig egy VR headsetet alkalmaztunk. A vizuális vizsgálatok során tapasztaltak tükrözik a számszerűsített vizsgálatok során kapott eredményeket, azaz az eltéréssel, hogy vizualizációk során azt tapasztaltuk, hogy fényesebbek a terek. Ez a különbség leginkább az esti órákban szembetűnő. Ilyenkor a valóságban egy házban szinte teljesen sötét van, ugyanakkor a látványtervező szoftverek úgy képzik le ezt az időintervallumot, hogy még képesek legyünk látni. Ebből arra következtettünk, hogy a látványtervező szoftverek a képek, videók generálása során a beérkező fény mennyiségét a pozitív irányba torzítják egyfajta automatikus fényerő beállítással.

5. | ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatásunkat összefoglaló írásunkban bemutattuk a benapozásvizsgálat elvégzésének egy lehetőségét egy általunk tervezett családi ház példáján. Célunk volt, hogy megvizsgáljuk a parametrikus tervezés hatékonyságát és alkalmazhatóságát akár már a családi házak tervezési folyamatában, különös tekintettel a munkafolyamatok gyorsítására és optimalizálására. A kutatás folyamán törekedtünk a lehető legnagyobb fluiditásra a programok között. Már a programokat is úgy választottuk meg, hogy élő kapcsolattal tudjanak működni egymás között, ennek köszönhetően 4-5 program tudott folyamatosan kommunikálni egymással és szimultán lekövetni a változtatásokat. Ennek a fluiditásnak köszönhetően tudtuk

200 fölé vinni a vizsgálatok számát és időt szánni a megvizsgált opciók VR alapú elemzésére is, aminek köszönhetően egy eltérő aspektusból nézhettük meg a helyiségek benapozottságát. Minden helyiségnél elértük a megfelelő benapozottságot. A benapozás mértékét az adott helyiség használati idejéhez és használati időintervallumához igazítottuk. A jelenlegi helyzetben kutatásunkat nagyon aktuálisnak érezzük, mivel a COVID járvány miatt megnövekedett az otthontartózkodás ideje, ezért lakóterein vizuális komfortja fontosabbá vált, az energiaválság miatt pedig nagyobb hangsúly került az üzemeltetési költségek csökkentésére, amihez jelentősen hozzá tud járulni a nyílászárók optimális elhelyezése.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **Bartlai Katalin:** Csillagászat és kultúra. Konkoly Observatory, Budapest, 2010. 94 o.
- [2] **M. Gonçalves, A. Figueiredo, R. M. S. F. Almeida, R. Vicente:** Dynamic façades in buildings: A systematic review across thermal comfort, energy efficiency and daylight performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 199, 2024, 114474, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114474>
- [3] **Szalai Dóra:** Parametrikus tervezés, TSPC Group, 2022.05.10, <https://www.tspc.hu/parametrikus-tervezes>
- [4] **Majoros András:** Belsőterek világítása, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1998, 172 p.
- [5] **Majoros András:** Belsőtéri vizuális komfort, TERC, Budapest, 2004, 172 p.
- [6] **Zöld András, Szalay Zsuzsa, Csoknyai Tamás:** Energiatudatos építészet 2.0, TERC, Budapest, 2016, 320 o.
- [7] **MSZ EN 17037:2018+A1:2022** Természetes világítás épületekben. Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 2022. 73 o.
- [8] **253/1997. (XII. 20.) Korm. rendelet** az országos településrendezési és építési követelményekről. <https://njt.hu/jogszabaly/1997-253-20-22.21>
- [9] **Ahmad Eltaweel, Yuehong SU: Parametric design and daylighting:** A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 73, 2017, 1086-1103, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.011>
- [10] **Gaisma:** Veszprém, Hungary. <https://www.gaisma.com/en/location/veszprem.html>

Az Építőipari Mesterdíj Alapítvány sajtóközleménye alapján

A 2022. ÉVI ÉPÍTŐIPARI NÍVÓDÍJAKHOZ KAPCSOLÓDÓ TOVÁBBI ELISMERÉSEK

FURTHER ACKNOWLEDGMENTS RELATING TO THE PREMIUM AWARD OF CONSTRUCTION INDUSTRY IN 2022

Folyóiratunk előző számában, „A 2022. évi építőipari nívódíjak” című cikkünkben a Bíráló Bizottság sajtóközleménye [1] és a díjkiosztó gála kapcsolódó képanyaga [2] alapján bemutattuk azt a 14 építőipari projektet, melyek az aktuális pályázatban nívódíjat érdemeltek ki. Beszámolónk második részében a nívódíjas épületekhez hasonlóan szeretnénk bemutatni azt a további 6 projektet, melyeket a Bíráló Bizottság elismerő oklevéllel jutalmazott, valamint azokat a további elismeréseket, melyeket az ÉVOSZ évzáró közgyűlésén adtak át a szervezők.

Az Építési Vállalkozók Országos Szakszövetségének (ÉVOSZ) december 8-i évzáró gáláján Wéber László, az Építőipari Mesterdíj Alapítvány elnöke ismertette az Építőipari Mesterdíj díjazottjait. A díjakat Ekler Gergely, a Köztársasági Elnöki Hivatal hivatalvezetője adta át:

- A Budapesti Multifunkcionális Csarnok (MVM Dome) homlokzati szerkezeteinek gyártmánytervezési, gyártási és kivitelezési munkájáért mesterdíjat kapott az Alukonstrukt Építőipari, Szolgáltató és Kereskedelmi Kft. (Szeged). A díjat Ethleib Ádám műszaki ügyvezető és Székely Tamás projektvezető vette át.
- A Lánchíd saruszerkezeteinek új korszerű, önszabályozó szerkezetekre történő cseréjéért mesterdíjat kapott az A-Híd Zrt. (Budapest). A díjat Sal László vezérigazgató és Lengyel Dávid építésvezető vette át.



Ethleib Ádám műszaki ügyvezető és Székely Tamás projektvezető az Alukonstrukt Építőipari, Szolgáltató és Kereskedelmi Kft. (Szeged) képviselőjében átveszi az Építőipari Mesterdíjat [5]

Az Építőipari Nívódíj pályázati felhívását 2022. évben huszonkettedik alkalommal hirdette meg az Építőipari Mesterdíj Alapítvány Kuratóriuma (ÉMA) az alapítók és csatlakozók nevében és felhatalmazásával. Az első pályázat meghirdetésére 2000-ben került sor, akkor 7 díjazott volt. Az évek során 2022-ig összesen 188 nívódíjat ítelt oda a bíráló bizottság. Ehhez adódik hozzá a 2022. évi 14 díjazott, így már több, mint kétszáz építményre kerül Építőipari Nívódíj tábla.

Az Építőipari Mesterdíj Alapítvány 2022-ben az alábbi 14 projektet tüntette ki *Építőipari Nívódíjjal*. A gálán a díjakat Tolnay Tibor, a Bíráló Bizottság elnöke adta át. A projektek bemutatása a Magyar Építőipar 2023.1 számában tekinthető meg [1] [3].

- Szervita Square Building, Budapest
- Irányi Palota – Sasok Háza, Budapest
- Matild Palace (Déli Klotild Palota), Budapest
- Szegedi Multifunkcionális Kézilabdacsarnok (PICK Aréna)
- MVM Dome, Budapest
- Pécsi Tudományegyetem Általános Orvosi Kar, új elméleti tömb
- Magyar Zene Háza, Budapest
- Pasaréti Községi Ház, Budapest
- Budapest-Belvárosi Nagybaldogasszony Főplébánia Templom rekonstrukciója



Sal László vezérigazgató és Lengyel Dávid építésvezető az A-Híd Zrt. (Budapest) képviselőjében átveszi az Építőipari Mesterdíjat [5]



Griecs András okleveles építésmérnök, Építési Alkotói díjas és Wagner Ernő, a Magyar Mérnöki Kamara elnöke [5]

- Magyar Művészeti Akadémia Irodaházának műemlék épülete, Budapest
- MNB Felügyeleti Központ és Pénzmúzeum, Budapest
- Nádasdy-kastély, Nádasdladány
- M44 gyorsforgalmi út – Tisza-híd
- A Bátya utcai közpark kialakítása és a Veres Pálné utca megújítása, Budapest

Az alapítvány az építőipari nivódíj pályázathoz kapcsolódóan *elismerő oklevéllel* jutalmazott további 6 projektet. Az oklevelet Bálint Péter, a Bíráló Bizottság elnökhelyettese adta át. A projektek fényképes bemutatása a következő oldalakon található [1] [3].

- LOFFICE Irodaház, Budapest
- Pataktart Általános Iskola, Budakalász
- Innovációs központ és kiszolgáló épület, Debrecen
- Kertész Imre Intézet, Budapest
- Tengerszem Felnőtt és Gyermekek Háziorvosi Rendelő, Budapest
- Intermodális Közlekedési Központ, Kaposvár

A Bíráló Bizottság véleményezte a Magyar Mérnöki Kamara Építési Tagozata által alapított Építési Alkotói díjra és a MÉK



Papp László okleveles építőmérnök, Építési Alkotói díjas és Wagner Ernő, a Magyar Mérnöki Kamara elnöke [5]

Elnöksége által alapított Sándy Gyula díjra, valamint a Magyar Épületgépészeti Koordinációs Szövetség Épületgépészeti Nivódíjra tett javaslatokat is [2] [4].

Az *Építési Alkotói díjakat* Wagner Ernő, a Magyar Mérnöki Kamara elnöke és Tóth Péter László, a Magyar Mérnöki Kamara Építési Tagozatának elnöke adta át...

- a magasépítési szakágban *Griecs András* okleveles építésmérnöknek, a DVM Group Kft. projektvezetőjének, a budapesti Szervita Square Building irodaház megvalósításának magasszintű irányításáért.
- a mélyépítési szakágban *Papp László* okleveles építőmérnöknek, a Duna Aszfalt Zrt. főépítészvezetőjének, az M44 gyorsforgalmi út Lakitelek – Tisza-kürt közötti Tisza-híd építésének magasszintű irányításáért.

A *Sándy Gyula díjat* dr. Hajnóczi Péter és Szalay Tihamér, a Magyar Építész Kamara elnöke és alelnöke adta át *Krenn Tamás* okleveles építésmérnöknek a Market Építő Zrt. projektvezetőjének, a budapesti MNB Felügyeleti Központ és Pénzmúzeum építésének irányításáért.

Az *Épületgépészeti Nivódíjat* dr. Barótfi István, a Magyar Épületgépészeti Koordinációs Szövetség elnöke és Koji László, az



Krenn Tamás okleveles építésmérnök, Sándy Gyula díjas, dr. Hajnóczi Péter és Szalay Tihamér, a Magyar Építész Kamara elnöke és alelnöke [5]



Lantos András okleveles épület-gépészmérnök, Épületgépészeti Nivódíjas, Koji László, az ÉVOSZ elnöke és dr. Barótfi István, a Magyar Épületgépészeti Koordinációs Szövetség elnöke [5]



Annus Marina, Bertók Ibolya, Kiss István, Naderi Zsuzsanna és Szendrői Tamás, Lechner Ödön díjasok, Koji László, az ÉVOSZ elnöke és Csepreghy Nándor, az Építési és Közlekedési Minisztérium miniszterhelyettese [5]

ÉVOSZ elnöke adta át *Lantos András* okleveles épület-gépész-mérnöknek, a LANTERV Kft. mérnökének, a budapesti Zene Háza épületgépészeti tervezéséért.

A hagyományoknak megfelelően öt szakembert ismertek el a *Lechner Ödön díjjal* az ÉVOSZ évzáró gáláján [4]. Az 1994-ben alapított díj a hazai építőipar legrangosabb elismerésének számít. Az elismerést az ágazat érdekében hosszabb távon végzett kimagasló szakmai és társadalmi tevékenység alapján lehet elnyerni. A díjakat az évzáró gálán Koji László, az ÉVOSZ elnöke és Csepreghy Nándor, az Építési és Közlekedési Minisztérium miniszterhelyettese adta át:

- *Annus Marinának*, a CÉH Zrt. alelnökének, építész stúdióvezetőjének a magasépítési létesítmények tervezése területén végzett kiemelkedő szakmai munkája elismeréseként;
- *Bertók Ibolyának*, a Market Építő Zrt. HR vezetőjének az építési ágazat szakmai utánpótlása érdekében tett erőfeszítései, valamint az ÉVOSZ oktatási bizottságában kifejtett tevékenysége elismeréseként;
- *Kiss Istvánnak*, a FŐBER Zrt. projektvezetőjének a magasépítési létesítmények projektvezetői, lebonyolítói, műszaki ellenőrzési területén végzett eredményes munkájáért;
- *Naderi Zsuzsannának*, a KÉSZ Csoport kötelékébe tartozó Edupark Nonprofit Kft. ügyvezetőjének az építési ágazat szakmai utánpótlása érdekében tett erőfeszítései, vala-

mint az ÉVOSZ oktatási bizottságában kifejtett tevékenysége elismeréseként;

- *Szendrői Tamásnak*, a Strabag-MML Kft. területi vezetőjének a mélyépítés területén végzett több mint négy évtizedes kiemelkedő szakmai munkája és vezetői munkássága elismeréseként.

A Magyar Építőipar szerkesztő bizottsága minden kitüntetettnek gratulál és a további eredményes munkához jó egészséget, erőt és kitartást kíván.

FORRÁSOK

- [1] Tolnay Tibor, Bálint Péter, Hollai Pál, Wéber László: Tájékoztató a pályázat eredményéről: 2022. évi Építőipari Nívódíjasok. Sajtóközlemény, Budapest, 2022.12.08.
- [2] Építőipari Mesterdíj Alapítvány: 2022. évi Építőipari Nívódíjasok. Díjazottak felsorolása és fényképek. https://mesterdij.hu/wp-content/uploads/2022/12/2022_nivodij_vetites_Nivodij1.pdf
- [3] Szabó Ákos: Bemutatjuk, mely építmények kapták meg az építőipar legmagasabb szakmai elismerését az idei évben – galéria. Magyar Építők, 2022.12.08., <https://magyarepitok.hu/aktualis/2022/12/bemutatjuk-mely-epitmenyek-kaptak-meg-az-epitoipar-legmagasabb-szakmai-elismereset-az-idei-evben>
- [4] Hegedűs Gergely: Ezek a szakemberek kapták idén az ágazat legrangosabb elismerését. Magyar Építők, 2022.12.08., <https://magyarepitok.hu/iparagi-hirek/2022/12/ezek-a-szakemberek-kaptak-iden-az-epitoipar-legrangosabb-elismereset>
- [5] Nagy Mihály (magyarepitok.hu) fényképei az ÉVOSZ évzáró gálájáról.

1. | LOFFICE IRODAHÁZ, BUDAPEST

Elismerő oklevél középület, irodaház kategóriában.

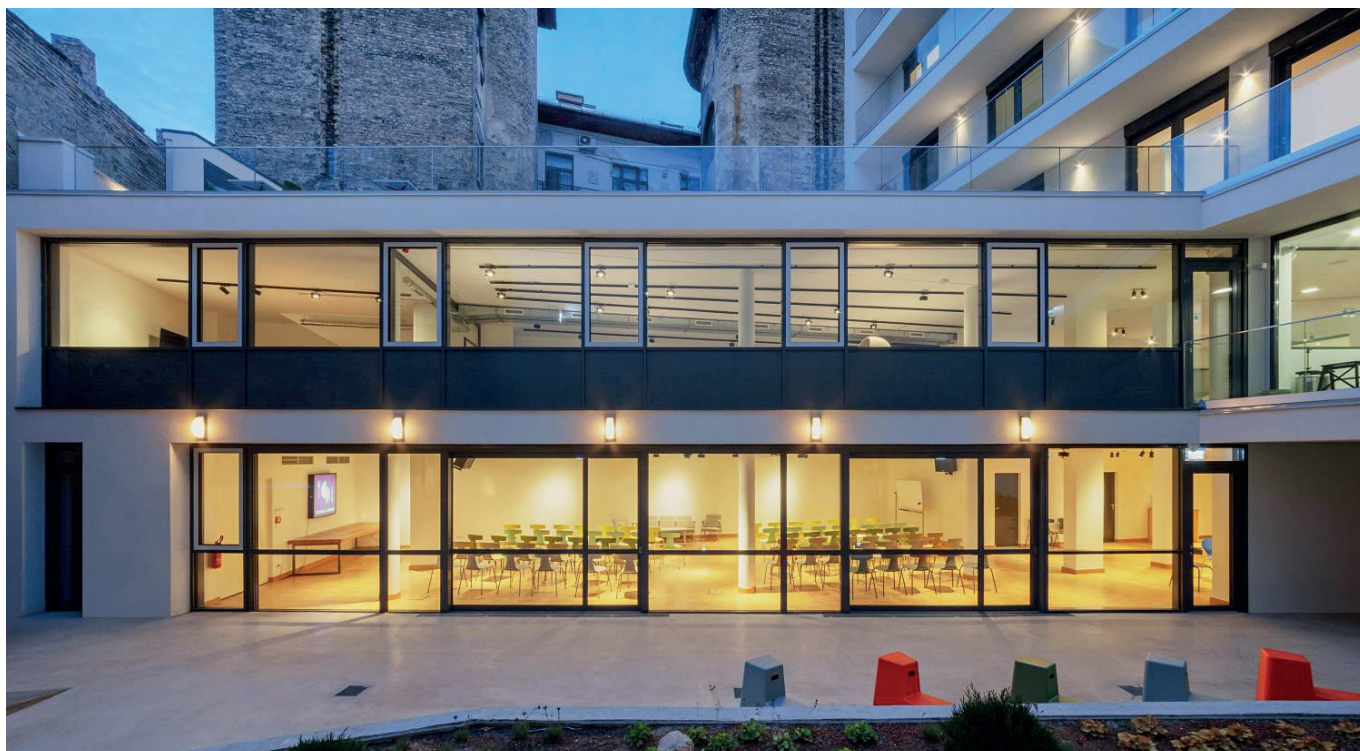
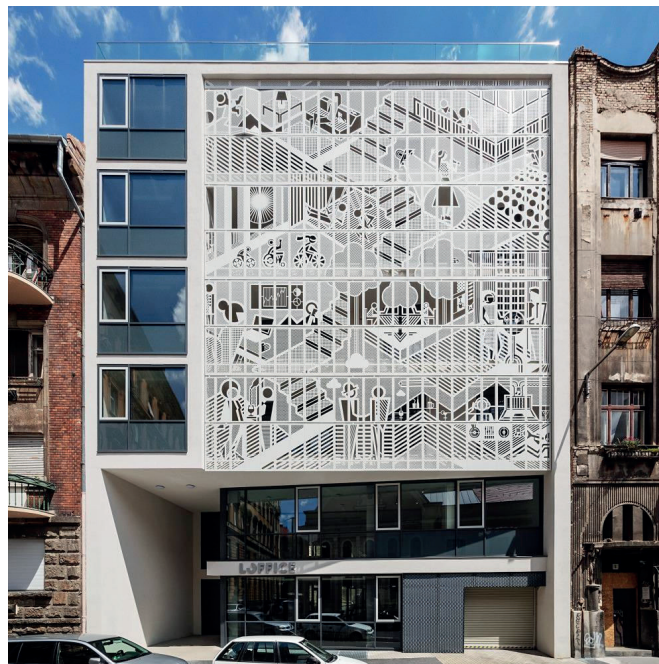
A LOFFICE iroda és apartmanház, a budapesti bohém negyed centrumában, a 8. kerületi Salétrom utca 4. szám alatti, egykori vöröslámpás ház helyén áll. A minimalizált ökológiai lábnyomot hagyó, okos épületben design irodák, hibrid munkateretek, tetőteraszra nyíló közösségi iroda, kertkapcsolatos rendezvényter, tárgyalók és együtt élő apartmannak is alkalmas terek adnak otthont a kreatív vállalkozások, családok, startupok és kulturális kezdeményezések nyüzsgő mindennapjainak. A fejlesztés célja egy „urbánus oázis”, találkozóhely létrehozása volt, ahol egy épületen belül van lehetőség dolgozni, lakni és egy befogadó közösségbe hazatérni. A LOFFICE épülete környezetének léptékére figyelve köti össze és egészíti ki az egykor hiányos utcai térfalat; földszinti terei összenyithatók a belső udvarral. A földszinti homlokzat visszahúzása domináns üvegezéssel kombinálva egyfajta vizuális és fizikai kapcsolatot teremt a belső udvar és az utcafront között. Az épület jellegzetessége az utcára néző, játékos, harmonikaszzerűen nyitható fémhomlokzati árnyékoló képzőművészeti alkotás, amely a benne helyet kapó különböző tevékenységeket játékosan illusztrálja, miközben lehetővé teszi a belső egységek számára a nyitottság, illetve intimitás igény szerinti kialakítását és az árnyékolást is.

Építtető: LOFFICE Ingatlanfejlesztő és Tanácsadó Kft. (Budapest)

Tervező: Paládi Építész és Mérnök Kft. (Bp.)

Generálkivitelező: Szupernova Építő Kft. (Budapest)

A homlokzati árnyékolón megjelenő művészeti alkotás:
Esterházy Marcell képzőművész és
Willem Van de Ven grafikusművész

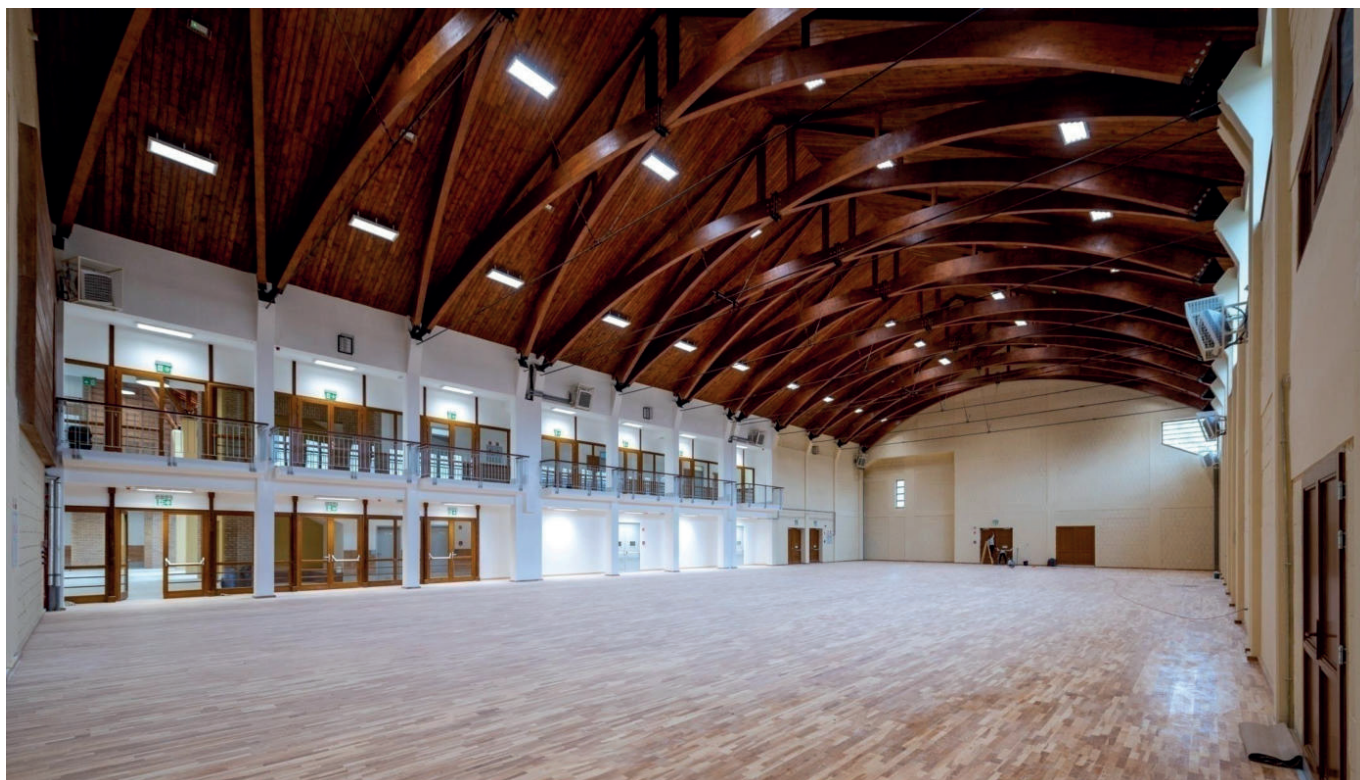


2. | „PATAKPART” ÁLTALÁNOS ISKOLA, BUDAKALÁSZ

Elismerő oklevél középület, oktatási kategóriában.

Az épület szerves egységet alkot családi házas környezetével, az utca felől négy méteres ereszmagasságával egyszintes építmény benyomását keltve, tiszteletben tartva és lehető legkisebb mértékben zavarva a szemközti ingatlanok kilátását a pilisi dombokra. A telek déli irányú nagy lejtését kihasználva a főépületre merőleges épületszárnyak dél felől szemlélve három szintesek, alagsori szintjük azonos a természetes tereppel. Minden elemében a helyszínen kézi munkával fából épített tetőszerkezete cserép, illetve fémlemez fedésű nyereg- és lapostető. Homlokzatára természetes anyaghasználat jellemző: budakalászi mészkő, fa, téglaburkolat, cserép, fehér vakolat, mely anyagok a belső terekben is nagy hangsúlyt kaptak. Az intézményben 16 tanterem, tanári szobák és irodák, 3 előadóterem, csoport- és olvasószobák, fejlesztő helyiségek, kiszolgáló területek, valamint egy 22×44 m méretű, önállóan is üzemeltethető tornaterem és öltözői kaptak helyet. Az épület előtt 44 férőhelyes parkoló, az iskola mögötti területen gumiburkolatos játszóudvar, sportpálya, futókör és távolugró pálya, fedett kerékpártároló létesült, nagy zöldfelület megtartása mellett.

Építtető: Budakalász Város Önkormányzata
Tervező: TRISKELL Épülettervező Kft.
Lebonyolító: Csíky és Társa Kkt. (Piliscsaba)
Üzemeltető: Váci Tankerületi Központ
Generálkivitelező: Swietelsky Kft. (Budapest)
Alvállalkozók: Tega-Bau Kft. (Budapest),
Tető-Kovács Kft. (Solymár),
Póth és Fiai Kft. (Biatorbágy)

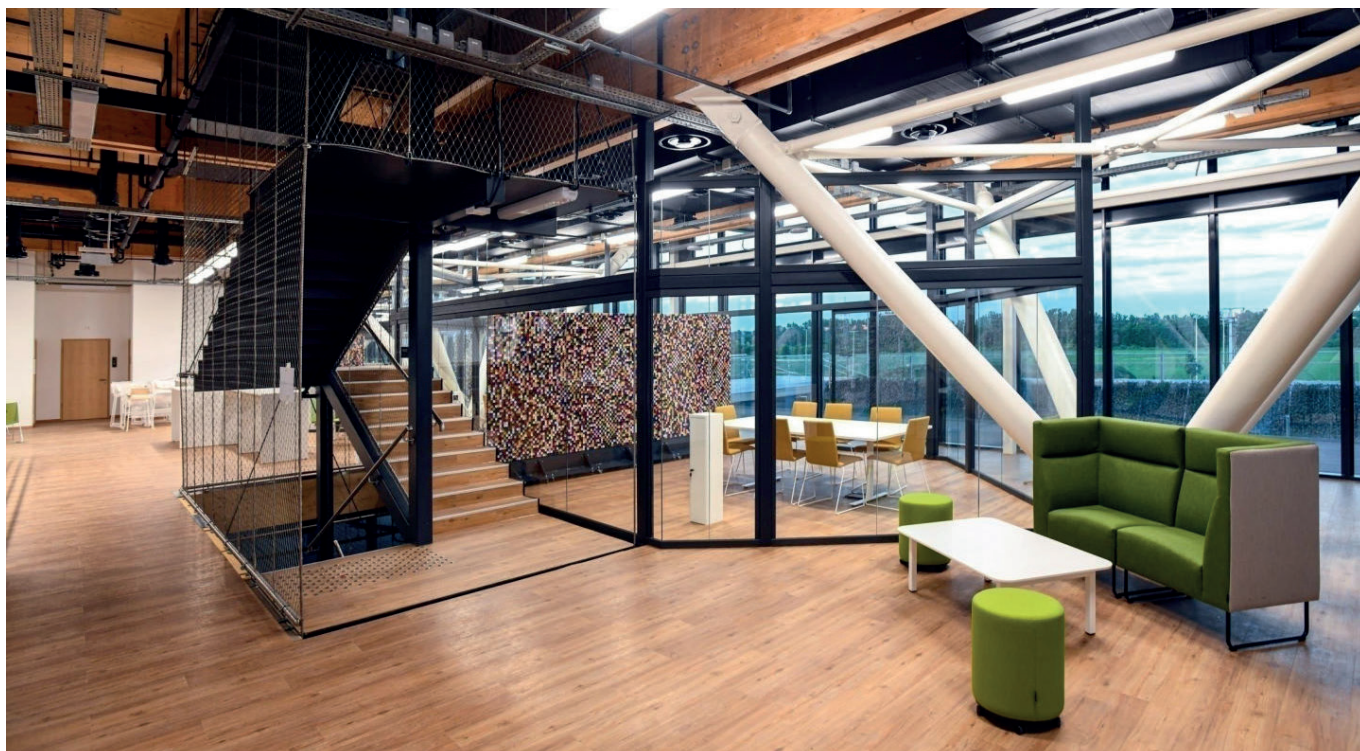


3. | INNOVÁCIÓS KÖZPONT ÉS KISZOLGÁLÓ ÉPÜLET, DEBRECEN

Elismerő oklevél középület, oktatási kategóriában.

Az épület a debreceni egyetem egy új campus fejlesztésének első megvalósult épülete a város északnyugati, 100 hektárnál is nagyobb fejlesztési területén. Az innovációs központ már távolról is impozáns képet mutat, a sík tájban két épített domb közé tervezték meg a háromezintes épületet. A parkolókból a dombon keresztül több úton is be lehet jutni az épületbe: szintben, vagy akadálymentes lifttel a főbejárat elé, ill. közvetlenül a dombra helyezett reprezentatív lépcsőn keresztül. A parkoló mellett elhelyezett domb alatt egy épületgépészeti és kiszolgáló funkciókat tartalmazó, rejtett épületrész lapul meg. Az épület nem használ gázt, csak elektromos áramot, amit elsősorban a tetőre telepített napelemek szolgáltatnak. A nyári felmelegedés ellen az épületet négy oldalról függönyfallal vették körbe, kreatív háromszög árnyékolókkal védve, ugyanakkor a téli időszakban a ház a napsütés minden energiáját hasznosítani tudja. Összegezve: az épület a tervezett funkciójával építészeti szempontból is önazonos, és nagy értéke, hogy elegáns, tágas terek szolgálják a használókat; kellemes belmagasság, kényelmes közlekedő rendszerek biztosítják, hogy az egyetemi dolgozók és hallgatók egyaránt otthonosan érezzék itt magukat.

Építtető, bonyolító: UD TUTI Tudományos, Technológiai és Innovációs Park Np. Kft. (Debrecen)
 Tervező: BORD Építész Stúdió Kft. (Budapest)
 Generálkivitelező: HUNÉP Építőipari Zrt. (Debrecen)
 Alvállalkozók: BERGER Házak Kft. (Újfehértó),
 Cívis Légtechnika Kft. (Debrecen),
 Road For You Kft. (Földes)



4. | KERTÉSZ IMRE INTÉZET, BUDAPEST

Elismerő oklevél középület, kulturális kategóriában.

Az épület terveit 1909-ben Hauszmann Alajos tanítványai, Hoepfner Guido és Györgyi Géza építészek készítették, akik jellemzően a szecesszió és a premodern határán alkottak érzékeny ízléssel. Az ingatlan fővárosi helyi védelem alatt áll, így bizonyos szerkezetek, homlokzati megjelenése, építészeti elemei nem átépíthetők, nem elbonthatók, nem cserélhetők korszerűbb szerkezetekre; az épületen csak olyan építési tevékenység volt tervezhető, ami építési engedély nélkül végezhető. A villaépület a hozzáépített gazdasági résszel együtt igen gondos tervezési és kivitelezői munkával épült újjá. Az alkotók ügyeltek a részletekre, az eredeti állapot megtartására, felidézésére. Összességében a felújítás mind funkciójával, mind építészeti kvalitásaival újra visszaemelte az épületet a környék hasonló házainak színvonalára. Kertész Imre dokumentumain kívül itt nyertek elhelyezést Pilinszky János, Petri György, Sziveri János és Arthur Koestler hátrahagyott iratai, kéziratjai is, amelyek kutathatók.

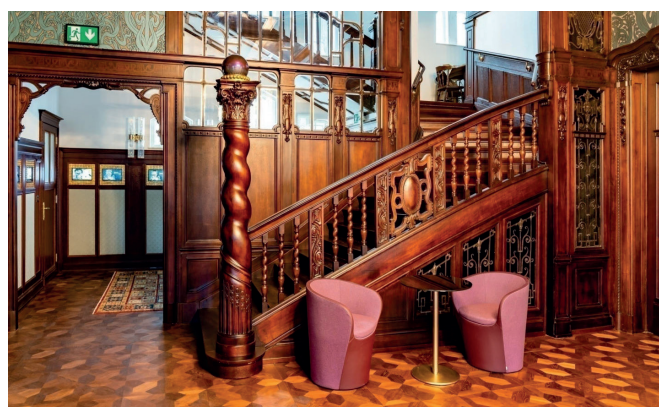
Építető: Közép- és Kelet-európai Történelem és Társadalom Kutatásért Közalapítvány (Budapest)

Tervező: MD Studio Kft. (Budapest)

Lebonyolító: Consultant Mérnöki Iroda Kft. (Bp.)

Generálkivitelező: Market Építő Zrt. (Budapest)

Álvállalkozók: Ács Bádogos Szigetelő Kft. (Bp.),
Gépész Centrál Kft. (Budapest),
Stylos Építőipari Kft. (Budakalász)

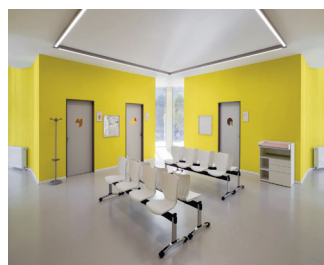


5. | TENGERSZEM FELNŐTT ÉS GYERMEK HÁZIORVOSI RENDELŐ, BUDAPEST

Elismerő oklevél középület, egészségügy kategóriában.

A rendelőt lényegében egy társas lakóházban kellett elhelyezni. A múlt század jellegzetes lakóépülete felett eljárt az idő, rászorult a felújításra. A korábban szórakoztatási célokat szolgáló kör alakú épületszárnyban a földszintre került a felnőtt betegeket szolgáló, az emeletre pedig a gyermek rendelő. Nyitott homlokzati síkjára fémhálót feszítettek, amelyre növényt futtattak fel a természetes fénnel megvilágított helyiségek előtt. A másik épületrész földszintjére került a felnőtt orvosi rendelő, külön bejáratral az épület véghomlokzatán, új lépcső, akadálymentes rámpa és előtető kialakításával. Energiaellátása korszerű hőszivattyús fűtési-hűtési rendszerrel megoldott. A kivitelezés során a felek együttműködésével sikerült kialakítani és felújítani egy olyan intézményt, amely fontos közösségi feladatot lát el. Mindeközben a lakosság számára nem vált idegenné az épület, és parkjával környezete is élhetőbbé, rendezettebbé vált.

Építető: Budapest Főváros X. Kerületi Kőbányai Önkormányzat
Tervező: KAAVA Káva Építő- Vállalkozó és Szolgáltató Kft. (Budapest)
Lebonyolító: Kőbányai Vagyonkezelő Zrt. (Bp.)
Generálkivitelező: Immo Szerviz Kft. (Budapest)
Alvállalkozók: Épület-Forma Kft. (Budapest), PALBAU Bt. (Budapest), Euronorm Group Hungary Kft. (Bp.)



6. | INTERMODÁLIS KÖZLEKEDÉSI KÖZPONT, KAPOSVÁR

Elismerő oklevél közlekedési létesítmény kategóriában.

Kaposvár közösségi közlekedésének korszerűsítésére alapvetően szükség volt. Az elkészült létesítmények igényesen, átgondolt közlekedési- és utaskiszolgálási feltételeket javító tervek mentén épültek meg. Az autóbusz-pályaudvar peronjainak és épületének kivitelezése mellett vasúti és híd-építési munkákat végeztek, és bővítették a közműhálózatot is. Nagy területen valósultak meg forgalomrendezési eredmények: három új körforgalmi csomópont, az utak rendbe tétele, közel 200 db parkoló, térfigyelés, korszerű utastájékoztatás stb. Kiemelendő a nagy kerékpárforgalmat lebonyolító város különszintű átjárási lehetőségének megteremtése, valamint a jelentős mennyiségű és területű zöldfelület igényes létrehozatala. Az építkezés ideje alatt a forgalom fenntartását mindvégig biztosították. Az újragondolt közlekedési kapcsolatok egyértelmű minőségi javulást eredményeztek a város kapujának revitalizációjában.

Építtető: Nemzeti Infrastruktúra Fejlesztő Zrt. (Budapest)

Tervező: Viköti Mérnök Iroda Kft. (Kecskemét)

Lebonyolító: OVIBER-UTIBER-FÖBER konzorcium

Generálkivitelező: SWIETELSKY Kft. (Budapest)

Alvállalkozók: SWIETELSKY Vasúttechnika Kft.

(Celldömölk),

Szakál Transz Szállítmányozó és

Építőipari Kft. (Seregélyes),

KVIKSZ Kft. (Kaposvár)



MAGYAR ÉPÍTŐIPAR

1979. XXVIII. ÉVFOLYAM 5. SZÁM

Faszerkezetek az építésben

TAMÁSKA JÁNOS

A fa a világ nyersanyagtermelésében nagyságrendileg közvetlenül a szén után következik. A világ termelése gömbfából több, mint évi 2 300 mil-

lió m³. A fa felhasználásának várható irányáról az alábbi világgazdasági adatok adnak képet:

	mértékegység	felhasználás		index
		1961	1975	
Fűrészáru	m ³ /1000 fő	114,0	109,0	96
Papír, karton	kg/fő	25,6	41,4	162
enyvezett lemez, bútortlap	m ³ /1000 fő	5,7	0,9	158
farostlemez	kg/fő	1,5	2,8	187
faforgácslap	kg/fő	0,8	3,5	438
bányafa és egyéb ipari fa	m ³ /1000 fő	62,0	47,0	76
tűzifa	m ³ /1000 fő	359,0	307,0	86

A táblázatból látható, hogy amíg a felhasználás az iparilag előállított korszerű faanyagú termékek terén 15 éven át dinamikusan nőtt, addig a fűrészáru, bányafa és tűzelőfa terén csökkent.

Az építőanyagok között az egyik legrégebbi a fa. Bár évezredek uralma a századforduló táján átmenetileg megtört, felhasználása az utolsó három évtizedben világszerte újból dinamikusan fejlődik.

Az építésben a faszerkezetek újjászületését a fa számos kedvező tulajdonsága tette lehetővé, melyek közül a következők a legfontosabbak:

- A kis önsúly (5—8-szor kisebb, mint a vb szerkezeté és fele az acélszerkezetének) és a viszonylag magas szilárdság sok gazdasági előnyt nyújt (egyszerűbb alapozás, beépítés során könnyebb mozgatás, stb.).
- A faszerkezetű épületek gyakorlatilag nem igényelnek dilatációt, tehát egyszerűbb a kivitelezés.
- A faszerkezetek nem képeznek hőhidat, így egyszerűbb a hővédelem.

— Tűzálló tulajdonságai — a kísérletek alapján nyugvó korszerű megítélés szerint — kedvezőek. (A biztosítási feltételek, pl. az iparilag fejlett országokban nem nagyobbak, mint az acélszerkezetek esetén.)

— Más alapanyagokkal szemben, melyek tartalékkészletei állandóan csökkennek, a fa újratermelhető. A belőle készülő szerkezetek építési energia igénye is csekély. Ez nyersanyag és energia-problémákkal küzdő korunkban különösen nagy előny.

E kedvező tulajdonságai mellett említtem meg, hogy a faanyagot ma már nem eredeti formájában, hanem az anyag kihasználását jobban biztosító újszerű formákban alkalmazzák. Az utolsó három évtized néhány új ipari terméke (műanyagragasztók, szeglemezes kapcsolóelemek, stb.) ugyanis lehetővé tették a fa olyan korszerű szerkezetekben való alkalmazását, melyek kiküszöbölték a korábbi ácskötések által okozott keresztmetszet gyengítéseket és lehetővé tették a szerkezetek ipari előregyártását.

Jellemző azonban, hogy a rétegelt-ragasztott tartó — melyre Hetzer weimari mérnök 1905-ben kért szabadalmat —, akkor még nem terjedt el, mert az acél és az akkor újszerű vasbeton szerkezeteket az építésszek előnyben részesítették.

Nemzetközi tapasztalatok

A második világháború alatt jelentkező acél és cementhiány fordította a figyelmet újra a fa tartószerkezetekre. Ekkor megvizsgáltak néhány korábban Hetzer tartóval épült szerkezetet és azokat több évtized után is kitűnő állapotban találták. A korszerű faszerkezetek hamarosan igen sok megoldásban, egyre szélesebb körben terjedtek el. Azokban az országokban, (pl. Szovjetunió, Kanada,) ahol bőven terem fa és az ácsipar is fejlett, viszonylag sokáig kitartottak a hagyományos faszerkezet mellett. Végül azonban a fejlett ipari országokban általánosan elterjedtek a korszerű faszerkezetek.

A közelmúltban számos új találmány és megoldás vált ismertté. Nagy lendületet adott pl. a hullámgerinces tartószerkezetek bevezetése, vagy a szaruállások tömeggyártásánál alkalmazott szeglemezes csomóponti kötés alkalmazása. A könnyűszerkezetek térhódításával megjelentek a fa-alapanyagú kitöltő panelek. Ezek megoldották azokat a problémákat, amelyek a fa-térelhatárolók ellen tűzrendészeti vonatkozásban felmerültek, (pl. cementkötésű faforgácslapok). Néhány ország építészeti kísérleti jelleggel — már a térelemes faszerkezetek is megjelentek.

A legújabb nemzetközi eseményekről — a szakirodalom adatain

túlmenően — a hannoveri „Constructa 78” nemzetközi kiállítás is tájékoztatást adott.

Ezen a kiállításon a korábnál jóval több korszerű faszerkezettel lehetett találkozni. Elsősorban a mezőgazdasági épületeknél hódítottak teret a különböző típusú korszerű faszerkezetek. 1978 év nyarán egy szakdelegáció az USA mezőgazdasági építészetét tanulmányozta. Említésre méltó, hogy szinte kizárólag faszerkezetű épületekkel találkoztak.

Dr. Seidl Gábor — a Budapesti Francia Műszaki és Tudományos Tájékoztatási Központ osztályvezetője — érdekes előadásán képet adott a faszerkezetek újabb térhódításáról és a fejlett ipari országokban kifejlesztett faszerkezetekről.

A bemutatott ragasztott lamellás faszerkezetekből készült egyenes síkbeli tartók, íves tartók, térbeli rácsos tartók és héjszerkezetek meggyőzően bizonyították, hogy a ragasztott faszerkezetek alkalmazásbeli „rugalmassága” és alakíthatóságuk változatossága vetekszik a vasbeton szerkezetekkel.

A korszerű faszerkezetek terjedéséről képet adnak a statisztikai adatok:

- Az USA-ban 1972-ben már 450 ezer m³ rétegelt ragasztott tartót gyártottak és jelenleg a termelés megkétszerezését tervezik.
- Az NSZK-ban 150—200 ezer m³ előregyártott korszerű faszerkezetet készítenek évente.
- Hasonló dinamikával fejlődik Franciaországban és a többi nyugat-európai országban is a korszerű faszerkezetek gyártása.
- A SZU-ban 1976-ban 60 ezer m³ kész tartót gyártottak, amelynek megőstörözését tervezik.

— Csehszlovákia és Románia is jelentős lépéseket tett a korszerű faszerkezetek bevezetésére.

Ezek az országok a szabályozás és minőségellenőrzés területén is előreléptek:

- Sok helyen az alapanyagok szilárd-sági ellenőrzését már roncsolásmentesen, gépi úton végzik.
- Az NSZK-ban az egyes gyártócégeket szakmai és technikai felkészültségük alapján rangsorolják, és meghatározzák, hogy milyen bonyolultsági fokú szerkezetek gyártására vállalkozhatnak.
- Sok országban a gyártás minőségét is állami minőségellenőrzéssel biztosítják (NSZK, Franciaország).
- A szabályozás keretében a tűzrendészeti előírásokat igyekeznek differenciáltan meghatározni. A fa tartószerkezetekkel szemben nem alkalmaznak tűzrendészeti szigorításokat. Tűz elleni védőbevonatok alkalmazása esetén pl. a fa felhasználását szinte korlátlanul lehetővé teszik.

Összefoglalva a nemzetközi tapasztalatokat a fatartókat elsősorban az alábbi területen alkalmazzák:

- Nagy számban épülő, *csarnok jellegű épületek* esetében (istállók, raktárak, stb.). Főleg a 18—20 m feletti támaszköznel — a kis súlyt és a tömeggyártás előnyeit kihasználva — a faszerkezetek előnyösebbek, mint az acél, vagy vasbetonszerkezetekkel épülő épületek (lásd: 1. sz. ábra). Ezért a kulturális és sportlétesítmények mellett a fejlett ipari országokban a mezőgazdasági építésben használják legelterjedtebben a korszerű faszerkezeteket.

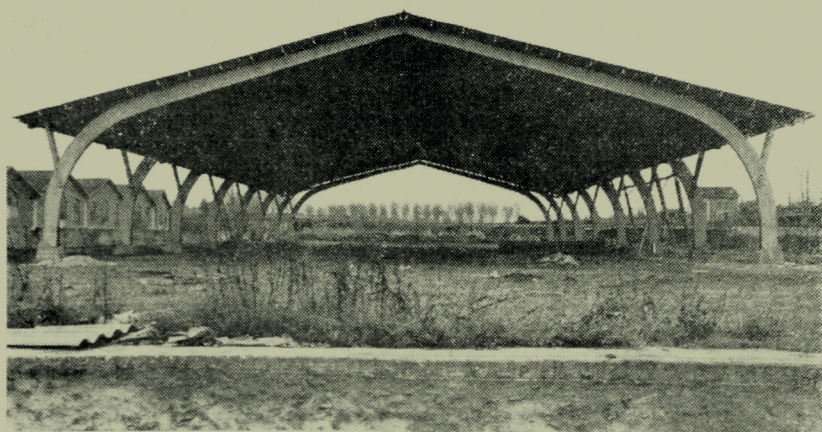
— *Fokozottan korróziós hatásnak kitétt épületek szerkezeteinél* (műtrágya, növényvédőszer és vegyi-anyagraktárak, fürdők) alkalmazásuk ugyancsak gyakori. (lásd: 2. ábra.)

— *Nagy fesztávolságú térlefedések* esetén (40—100 m támaszköznel) mind a kivitelezés egyszerűsége és gyorsasága, mind a gazdaságosság vonatkozásában a fatartók versenytárs nélkül állnak. (lásd: 3. sz. kép.)

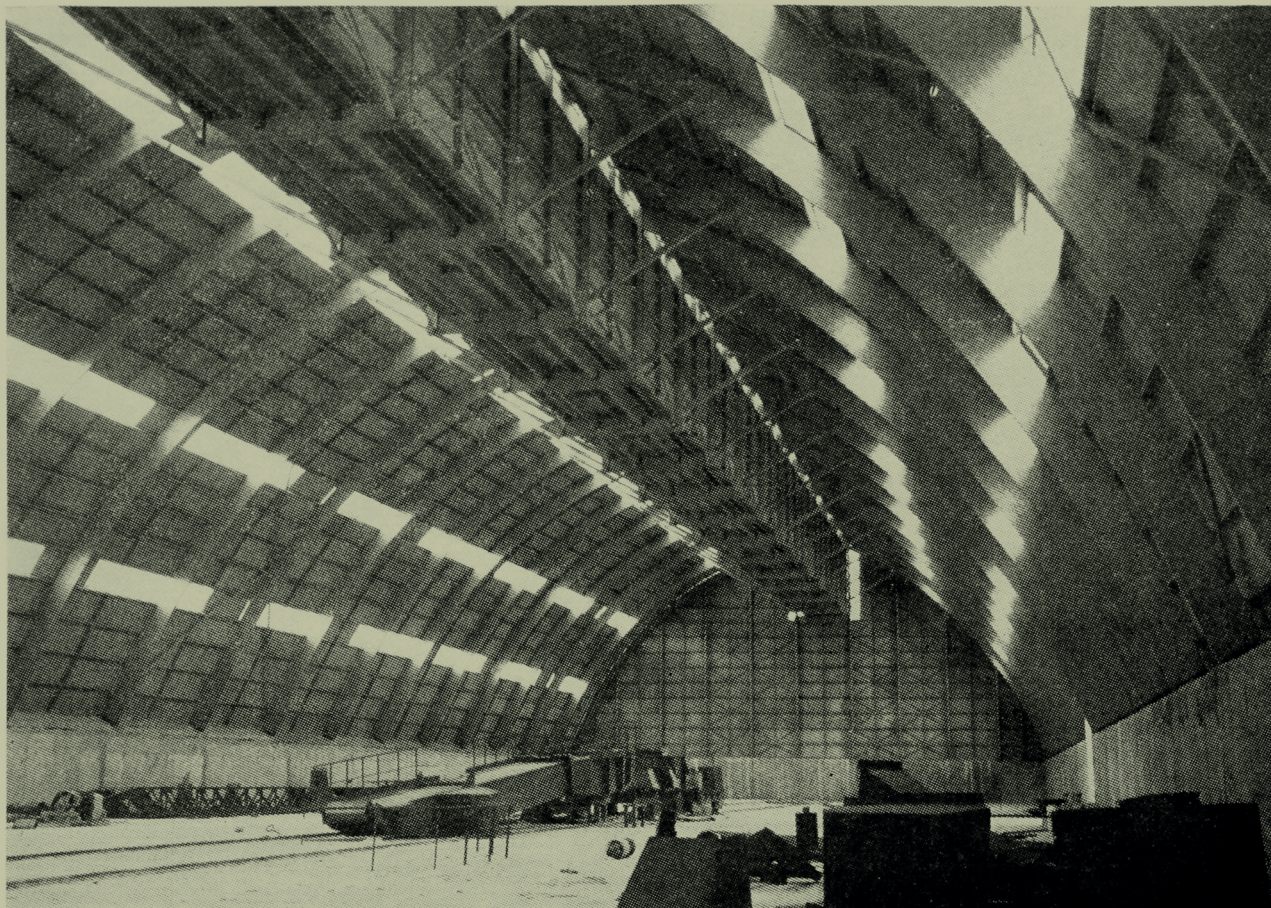
Érdekes megjegyezni, hogy Hilvert Elek „Építőipari ragasztott faszerkezetek” c. munkájában már az 50-es években számszerűen kimutatta, miszerint vb szerkezet alkalmazása esetén egy 40 m támaszközű csarnok már közel anynyi zsáluzóanyagot igényel, amelyből a csarnok ragasztott fatartói elkészíthetők. Az alapozás betonmennyisége fatartók esetén viszont kb. 1/7-e a vb szerkezetének, egy féltartó súlya pedig 1/8-a a vasbetonból készült féltartónak.

A nagyfesztávolságú monumentális szerkezetek külföldön ma már elsősorban rétegelt, ragasztott faszerkezetekkel épülnek. Itt érvényesülnek legjobban a faanyag igazi előnyei. Olyan karcsú és könnyed szerkezeti megoldások tervezhetők rétegelt, ragasztott faelemekből, amelyek vasbetonból elképzelhetetlenek.

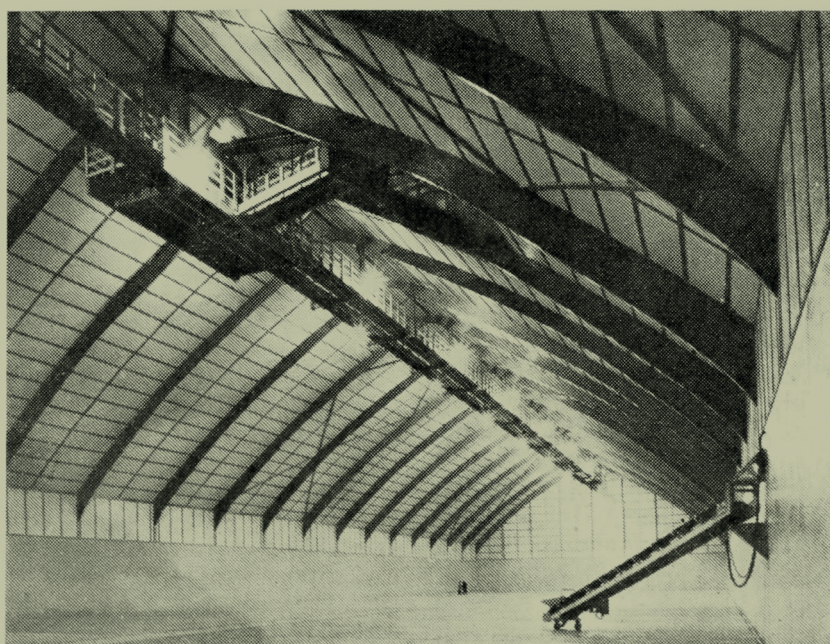
Példa erre a toursi 100 m szabad támaszközű kiállítási csarnok. Ez nagyíves, kétcsuklós, rétegelt, ragasztott főtartókkal épült. Nagy támasz-közök esetén ez a legkedvezőbb és leggyakrabban alkalmazott statikai modell. Ilyen fesztávot áthidalni más építőanyaggal



1. ábra: Francia mezőgazdasági épület váza, lamellás ragasztott faszerkezetből, 30 m támaszközszel. (Tervezte: a NOIRET cég).

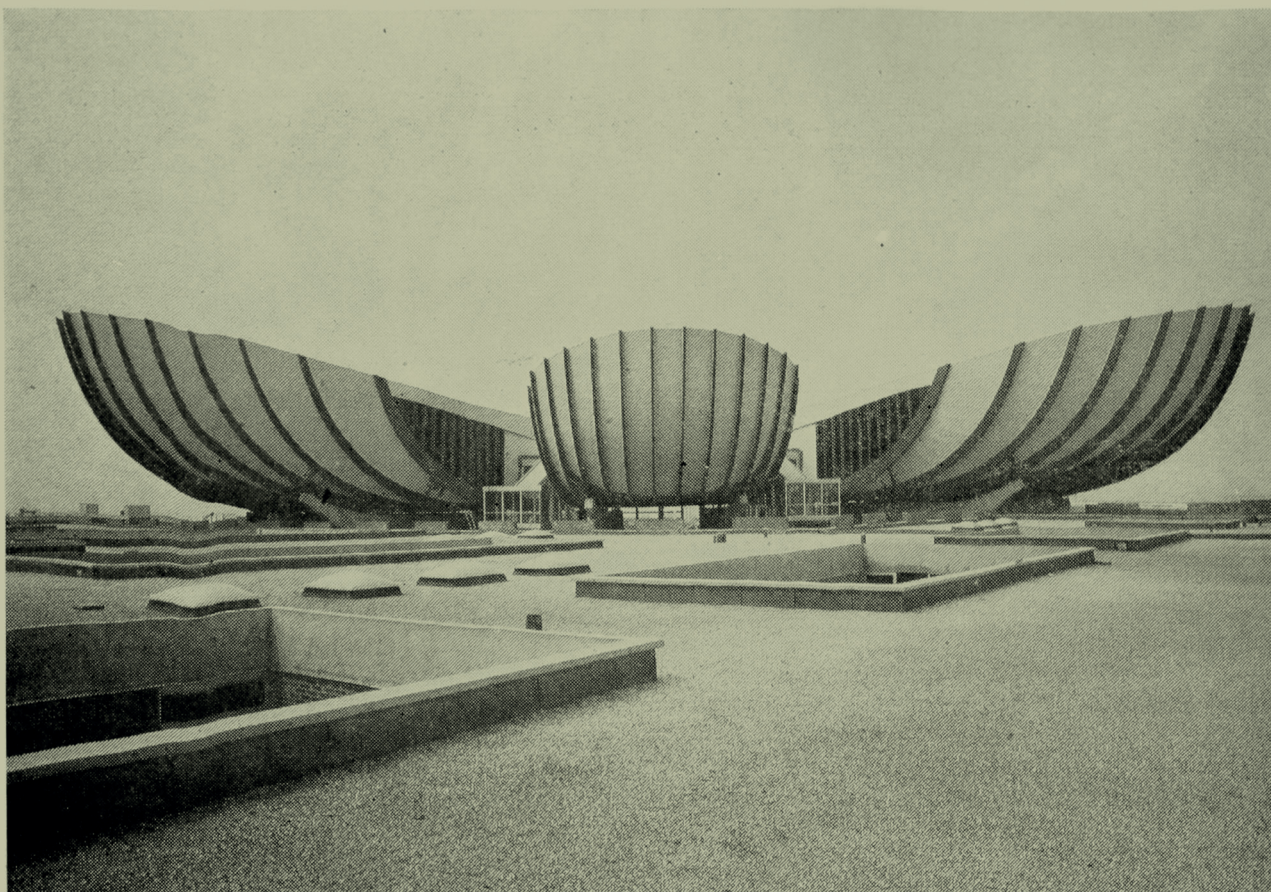


2. ábra: 7000 m² alapterületű kálisó-raktár 40 m támaszközzel (Tervezte és kivitelezte a WEISROCK cég).



3. ábra: Cukorraktár 300 000 q befogadására

MAGYAR ÉPÍTŐIPAR 1979. 5. SZÁM



4. ábra: A reimsi egyetem előadótermei (WEISROCK)

csak rendkívüli anyagi áldozatok árán lehetne.

— *Nagy flexibilitású épületeknél* (lásd: 4. sz. kép).

Ezeknél nagyon sok statikai megoldással találkozunk. Az egyszerű kéttámaszú határozott tartóktól a sokszorosan határozatlan Vierendeel-tartókig, a rúdszerkezetektől a felületszerkezetekig, héjakig. A leggyakoribb azonban a két, háromcsuklós keretek, vagy ívek alkalmazása. A leggazdaságosabb és műszakilag is a legjobb megoldás, ha a szerkezet elméleti tengelyvonala megközelítőleg követi a törzstartó nyomatéki ábráját. E monumentális, íves tartók helyszínre szállítása persze komoly problémákat vet fel.

Azonban trélekkel, különleges utánfutókkal eddig minden esetben ezt is megoldották. Nagyon elterjedt és divatos megoldás a fából készült héjszerkezetek alkalmazása, amelyekkel sok mérész konstrukciót hoztak létre.

— Azokon a területeken, ahol az épületek erkölcsi avulása gyors, és ahol a faserkezetek 30–50 éves

várható élettartama egybeesik az erkölcsi avulás idejével (pl. mezőgazdasági épületek, ahol a technológia gyorsan változik). Hasonló a felfogás egyes országokban a lakóépületeknél is. Ezért az utóbbi években Nyugat-európában jelentősen fejlődött a „készház előregyártás fabázison.” Az NSZK-ban pl. 1971-ben az összes magasépítmények 11,2%-át nagytáblás faelemekből építették. Ezek zömmel lakóépületek voltak (Fertighaus).

— *Mérnöki szerkezeteknél*, hidaknál, felüljáróknál. Ezek a faserkezetek időtállóak, könnyűek, esztétikusan és gyorsan építhetők. (lásd: 5. kép.)

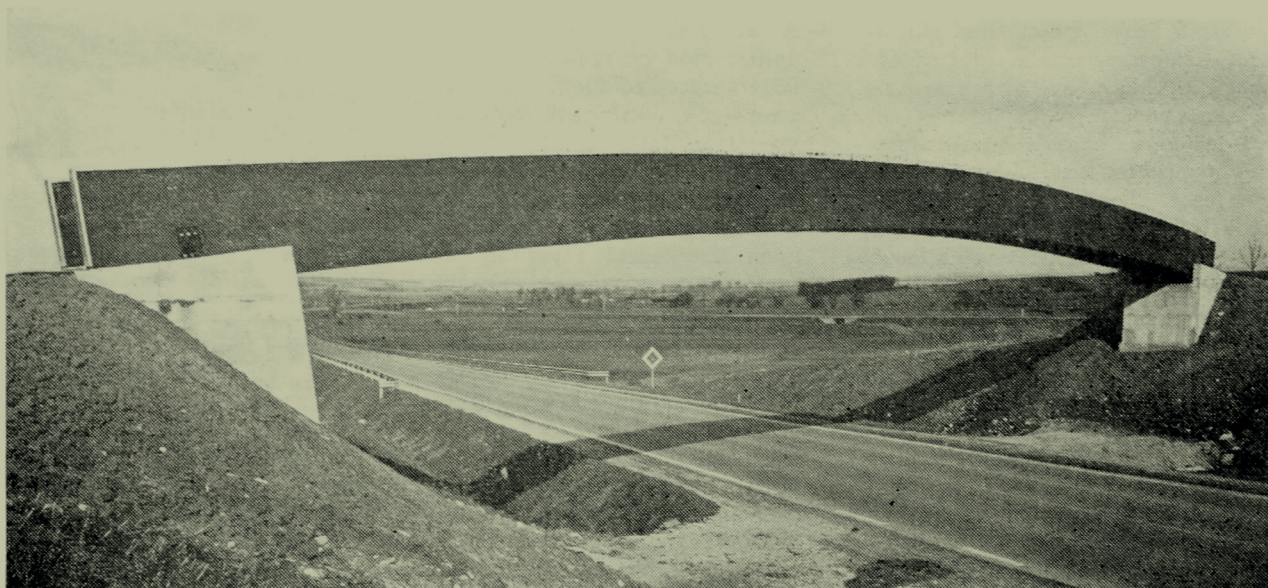
A szerkezetek gazdaságosságát és célszerűségét jelzi, hogy még fában szegény országokban, (pl. Dánia) is kiterjedten alkalmaznak korszerű fa teherhordó szerkezeteket. Általában külföldön rétegelt, ragasztott szerkezetek esetén azokat a létesítményeket tekintik gazdaságosnak, amelyek faigénye nem több, mint $0,03\text{--}0,05\text{ m}^3/\text{alapterület m}^2$.

A nemzetközi tapasztalatok tanulsága tehát, hogy a korszerű faserkezetekkel való építés térhódítása tovább tart. Várhatóan a faserkezetek még a faárak további emelkedése esetén is versenyképesek maradnak.

A következőkben vizsgáljuk meg a hazai helyzetet

Magyarországon — a következetes erdőtelepítések révén — az ország erdőterülete a felszabadulás előtti 12%-ról 16%-ra emelkedett. Ennek következtében a hazai fa nyersanyag helyzet sokkal kedvezőbb a korábnál. Addig, amíg a felszabadulás előtt a fakitermelés átlaga évi 3,5 millió m^3 volt, addig 1975-ben már 6,7 millió m^3 -t termeltünk ki, természetesen elsősorban lombos fát.

1959–63 között a mezőgazdaságban a könnyen hozzáférhető, jól megmunkálható faanyag jelentős szerepet játszott a nagyüzemi mezőgazdaság alapjainak lerakásánál. Ezen idő alatt közel 20 000 szerfás épület épült. Később azonban a gépi állattartási technológiák térhódítása során a szerfás épületek már nem elégítették ki az igényeket.



5. ábra: Gyalogos felüljáró lamellás ragasztott faszerkezetből (WEISROCK)

A fokozottabb igények csak a korszerű faszerkezetek bevonásával lettek volna kielégíthetőek. Ekkor azonban még nemhogy a lombosfa szerkezetekkel kapcsolatos kutatások nem kezdődtek el, de a korszerű ipari háttér sem épült ki. Maradt tehát egyelőre a hagyományos és a vasbeton, ill. acélvázazás építési mód.

A fafelhasználás 1965 előtt az építőiparban nem hogy emelkedett volna, de a következő kimutatás szerint arányaiban még csökkent is:

Év	1950	1955	1960	1965
építőipari termelés indexe	100	140	230	275
ipari fafelhasználás indexe	100	114	151	168

Az építőipar még az utóbbi években is elsősorban fenyőt igényelt, jól lehet a fenyő majdnem kizárólag import útján szerezhető be, (a fenyő területi aránya hazánkban az összes erdőterületnek csak mintegy 8%-a.).

Az alábbi adatok azonban már azt jelzik, hogy a fenyő fűrészáru felhasználása a legutóbbi években hazánkban lassan csökken, ugyanakkor a korszerű fatermékek, a falemez és bútortlap felhasználása dinamikusan nő.

Az utóbbi 10 év faipari technológiai kutatásainak eredményeként a lombosfa — elsősorban akác — anyagok néhány hátrányos tulajdonságát kedvezően tudták ellensúlyozni és így a lombosfák új szerkezeti, tech-

nológiai megoldásokkal többoldalúan felhasználásra kerültek az építőiparban is.

Fa és faalapanyagú termékek felhasználása Magyarországon:

Év	1960	1970	1975	1977
Fenyő fűrészáru 1000 m ³	717	1177	1392	1326
teljes felhasználás ebből építőipar	160	276	282	273
falemez 1000 m ³	48	111	135	140
bútortlap 1000 m ³	36	141	242	265

Az akác egyik kiváló tulajdonsága, a korhadással, rovarkártevőkkel szembeni nagyfokú ellenállóképesség. Hátrányos tulajdonsága viszont, hogy nehezen munkálható meg, vetemedésre hajlamos, gyakran görbe, csavarodott növéssé, melynek következtében megfelelő épületfa csak nagy veszteséggel és zömében csak kisebb szelvényekkel (8—15 cm) és korlátozott hosszban (1,50—1,80 m) fűrészeltető belőle.

Technológiai megoldott, hogy a lombos faanyagok — főleg segédanyagként — helyet kapjanak a szerkezetek, vagy szerkezeti elemek anyagának sorában is, és ezzel az import fenyő fűrészáru igényt csökkentjük. Emellett a felhasznált import fenyő fűrészáru mennyiségét is lehet racionálisabb gyártási és felhasználási technológiával csökkenteni. Természetesen mindkét feladat beruházásokat igényel.

A Magyar Tudományos Akadémia 1976 évi közgyűlésén a nyersanyag helyzetről figyelemreméltó rendszerezést és értékelést adott Bognár József professzor. A hazai nyersanyaghelyzet alakulására kitérve azt a megállapítást tette, hogy hazai nyersanyag ellátottságunkat ma a közgazdászok kedvezőbben ítélik meg, mint korábban, mivel: „Az anyagi eszközök szükségessége természetesen ma is fennáll. De ezen egyszerű tőkés importtal is lehet segíteni — ha a nyersanyagok megvannak — ám évről évre növekvő mennyiségű áruimporttal kell segíteni, ha azok nem állnak rendelkezésre.”

A hazai faanyagok korszerű formában való építőipari felhasználása tehát népgazdasági érdek, mert egyrészt

- használati értéküket tekintve — egyes felhasználási területeken — felülmúlják az acél és vasbeton szerkezeteket,
- másrészt a rendelkezésre álló ipari fa nyersanyagok optimális termék választékban való feldolgozása megköveteli, hogy méreténél fogva alacsony értékű fűrészáruból, továbbá az eddig iparilag nehezen hasznosítható akác és nyár anyagból magas értékű ipari végterméket gyártsanak.

Hazánk korszerű faszerkezetek terén jelenleg a fejlesztés szakaszában van.

Egyes számítások szerint a rendelkezésünkre álló lombosfa anyagból optimális esetben 80—100 ezer m³/év

korszerű faszerkezetet lehet előállítani. Jóllehet ez csak elvi lehetőség, mutatja, hogy az alapanyagbázis messzemenőleg rendelkezésre áll, megjegyezve, hogy a hazai nyersanyag optimális ipari feldolgozása azt tételezi fel, hogy a szerkezeteket elsősorban akácból és nyárból gyártják. Emellett természetesen a fenyő felhasználását sem nélkülözhetjük.

Az akác és nyár fatartók gyártása és differenciált felhasználása terén elért hazai eredmények már eddig is európai érdeklődésre tarthatnak számot. A hazai fatartószerkezetek gyártásának és felhasználásának feltételeit elősegíti az a tény is, hogy a biológiai károsodás ellen a védelmet ma már biztosítani tudjuk. A munka elején tartunk, és a kezdeti eredmények ellenére mind az ipari háttér és nyersanyagok biztosítása, mind pedig a szabályozás területén még sok hiányosság van. Nincs megoldva pl. a ragasztóanyagok és kötőelemek hazai gyártása. Ezeket jelenleg tőkés import útján szerezzük be és ez természetesen drágítja a gyártmányokat. A meglevő üzemekben a faanyag szárítása a gyártás külső ellenőrzése, egyes technikai, személyi feltételekkel kapcsolatos kérdések esetenként megoldatlanok. A szabályozás területén pl. hiány, hogy a tartók anyagának szilárdsági osztályozására sincs szabvány.

Probléma, hogy a hazai lombosfából készült szerkezetek ára még magas. A lamellás, ragasztott faszerkezetek magas költségének okai például: az import ragasztóanyag, a mesterséges szárítás, továbbá a ragasztandó felületek nagy pontosságú megmunkálásának igénye. Ehhez járul még az akácanyag jelenleg — indokolatlanul magas — termékára és megmunkálásának nagy élőmunka igénye.

Milyen a helyzetkép a korszerű faszerkezetek magyarországi felhasználásával kapcsolatban?

— Az V. ötéves terv végére már jelentős faszerkezet-gyártó kapacitás áll rendelkezésünkre. A termékek zöme a mezőgazdaságban, a tárolásban és a nagyobb támaszok közötti térigényeknél, csarnok jellegű építéseknek kerül felhasználásra. Célszerű lenne egyes mérnöki létesítményeknél való alkalmazásuk is. A korszerű faipari termékek jelentkezése előnyösen hozzájárulhat az építőipari kapacitások bővítéséhez.

— A komplex könnyűszerkezetes építési mód bevezetése során a faszerkezetek zöld utat kaptak és a tervezők, alkalmazók előtt ma már bizonyított, hogy a fa teherhordó szerkezetek, térelhatárolás, stb. alkalmazása a gyártás, szerelés és szállítás terén a többi könnyűszerkezetű anyaghoz hasonló, vagy előnyösebb műszaki lehetőségeket nyújt.

— Falelemek céljára nagyobb mennyiségű faanyagot fog az ipar használni a jelenlegihez képest, ha az éghetetlen és tűzvédő burkolatok lemezanyagainak gyártása, beszerezhetősége növekedni fog. (Cement kötésű faforgácslap: BETONYP, cementkötésű fagyapot lemez: Heraklit, Solomit.)

— Jelenleg fejlesztés alatt áll a fából készülő építési rendszer, melynek rendszergazdája az AGRO-KOMPLEX—AGROBER—

AGROTRÖSZT társulás, az ötéves terv végére befejezi Velencén a rétegelt, ragasztott faszerkezeti üzemét. Egyidejűleg elkészül az ERDÉRT balatonszentgyörgyi GANG-NAIL rácsos faszerkezet gyártására létesített üze me is. Ezekkel kb. 200 000 m² beépített alapterületű kész épület megvalósítása lép be a könnyűszerkezetes programba.

— Az ERDÉRT balatonszentgyörgyi GANG-NAIL üzemében a könnyűszerkezetes programon túlmenően kb. 400 000 m² épülethez (családi házak, hétvégi házak) biztosít korszerű tetőszerkezetet, a hullámpala héjalásnak megfelelő lejtéssel.

— Vierendeel rendszerű tartókat gyárt FATIP néven több erdő — és fagazdaság (Somogyi EFAG, Felsőtisza EFAG, Béke TSz Istenmezeje). E szerkezet fél kosárgörbe alakú főtartójának alapeleme az ún. „H” elem. Ezeket az elemeket tartó heveder segítségével ragasztják egymáshoz.

— Vierendeel rendszerű — de egyes tengelyű rúd, vagy keretszerkezettel előállított ragasztott csomópontú tartót gyárt GK—122 néven az AGROFA társulás Karancslapujtón. A ragasztáshoz szükséges présnyomást szegezéssel állítják elő.

Fentiekén kívül a mezőgazdasági üzemek saját erdeiből kitermelt, vagy vásárolt lombosfából készítenek

különböző hagyományos szerkezetű, vagy korszerűbb szerfavázakat. Ezek készítéséhez ajánlott tervek állnak rendelkezésünkre. Ezek hagyományos ácskötésekkel, vagy csavarozott csomópontokkal készülő szerkezetek, melyek előállítása egyszerűségük folytán különösebb ipari hátteret nem igényel. Alkalmaskak azonban arra, hogy a saját faanyaggal rendelkező építetők 7,5–12,0 m támaszközü létesítményeket építsenek belölük.

Megoldásra javasolt feladatok

Az előzetes tervek szerint a VI. ötéves tervben évi 27 000 m³ kész fatartót kell gyártanunk. A távlati elképzelések szerint 1990-re 2–300 ezer m² lakás, 800–1050 ezer m² ipari mezőgazdasági, kereskedelmi és kommunális épületek fog fa teherhordó szerkezettel épülni évente.

- Az évi 27 ezer m³ fatartó gyártásához 15 ezer m³ fenyő — 23 ezer m³ akác — és 3 ezer m³ nyár fűrészáru alapanyag szükséges. Ezen alapanyagok megfelelő minőségű biztosítását csak jelentős szervező munkával lehet megoldani (célra orientált társulások).
- A faszerkezetek iparosított építési módjának megvalósítása érdekében a faszerkezetek gyártására megfelelő kapacitások létrehozása, s a megkezdett gyártóbázisok befejezése szükséges. Egyidejűleg meg kell oldani a gyártó üzemekben a faanyag gondos szárítását.
- A szakszerű termelés és gyártás érdekében be kell fejezni a még hiányzó szabályozási feladatokat, s módosítani kell a fejlődést ma már akadályozó szabványokat. A fa alapanyagú tartók anyagának szilárdsági osztályozására szabványt kell kiadni.
- Meg kell oldani a gyártmányellenőrzést is és ki kell adni az új faszerkezeti műszaki előírásokat.
- A különböző faszerkezeteket rendszer-koordináció alá kell vonni, oly módon, hogy lehetőleg

minél több, elemeiben csereszabatos gyártmány készüljön. A szerkezet-rendszerek komplettizálására kell törekedni.

- A szerkezetek továbbfejlesztése az újabb faszerkezetek, és elsősorban a hazai lombosfa felhasználásnak további kutatása permanens folyamat, melyben a FAKI és az ÉTI mellett az érdekelt tervezőintézeteknek is részt kell venni.
- Jelentős feladat a ragasztóanyagok hazai forrásból való biztosítása. Ezt a kérdést KGST szinten is célszerű lenne napirendre tűzni. Megoldása kedvezően befolyásolná a ragasztott faszerkezetek árát is.
- Meg kell oldani a faanyagvédelem (rovar, gomba és tűzvédelem) még meglevő problémáit. Növelni kell a védőszerek választékát és bővíteni kell a telítőhálózatot.
- Végül, de nem utolsósorban megfelelő ár- és érdekeltségi rendszert kell biztosítani, mely arra ösztönözzön, hogy az import fenyő fűrészárut minél inkább a hazai lombos faanyagokkal helyettesítsük az építőiparban.

IRODALOMJEGYZÉK

- Hilvert Elek: Építőipari ragasztott faszerkezetek
- Dr. Osztrovski György: „A népgazdaság nyersanyag helyzete, különös tekintettel a vegyiparra és a timföld-alumíniumiparra” Magyar Alumínium 1978/3.
- Tervezési Információk 1971/3.
- Többszörös ragasztott faszerkezetek (Világ színvonal tanulmány) ÉTK 1974.
- A rétegelt ragasztott fatartók hazai alkalmazásának lehetőségei TTI 1976.
- Rétegelt ragasztott faszerkezetek alkalmazásának jelentősége és gyártási lehetőségei 1976. FAKI.
- Ragasztott fa anyagbázisú épületváz és építési rendszer kidolgozása ÉTI 1978.
- Erdélyi Gy.: Faforgácslapok és farostlemezek felhasználása a mezőgazdasági épületekben 1974. FAO. Timber Comité
- Erdélyi Gy.: A faalapú tartógyártás hazai helyzete 1974. Faipar.
- Erdélyi—Dr. Keresztes: Beszámoló a nyárfák termesztése és a nyárfa felhasználása tárgyú szimpozionról 1974. Topola Belgrád.
- Nemzetközi Statisztikai Évkönyv 1974.

Szuhanik Marcell*

KOMMENTÁR TAMÁSKA JÁNOS „FASZERKEZETEK AZ ÉPÍTÉSBEN” CÍMŰ, 45 ÉVE MEGJELENT CIKKÉHEZ

COMMENTARY ON THE 45 YEARS AGO PUBLISHED ARTICLE OF
TAMÁSKA JÁNOS “WOODEN STRUCTURES IN CONSTRUCTION”

Tamáská János 1979-es „Faszerkezetek az építésben” c. cikke a maga korában figyelemfelkeltő olvasmányának bizonyulhatott. A vas- és acél országában ragasztott fa tartókkal történő építésről pátozatosan értekezni, és a fa tartók előnyére összevetni ezen technológiát a vasbeton építéssel – az akkori kor szellemiségét tekintve – innovatív gondolat. A cikk felhívja a figyelmet a nemzetközi trendekre, a rétegragasztott fatartók progresszív térnyerésére, és felveti a magyarországi keményfa állomány alkalmasságát a hazai gyártású ragasztott fatartók alapanyagának.

Nos, az elmúlt 45 évben a világ fordult egy merészebbet itt, a kelet-európai térségben – mégis az írás alapvetően helyes és vizsgálatra érdemes gondolatai megérdemelnek a szakmai kutatómunkát.

Tervgazdálkodás és gazdaságpolitika

A tervgazdálkodásnak – így retrospektíven fürkészve ezen időszakot – megvannak a maga előnyei. Ám, ahogy a mechanizmus is csupán irányelveiben tükröz megvalósíthatóságot, úgy hazánk szocialista tervgazdálkodása is csak papíron tudott valós piaci kontrollt és eredményeket felmutatni. Hasonlóan bármely központilag vezérelt gazdaságpolitikai struktúrához, a túlzott monopolitás érzékeny pontjai mindig azon döntéshozók, akik – és itt jön a lényeg – *különböző szempontok alapján* hoznak nagy tömegekre hatást kifejtő döntéseket. Hogy ezek a szempontok tudnak-e bigott módon szakmaiak lenni? A gyakorlat azt mutatja, hogy közel sem.

A Marx által felvetett szabadpiaci problémák (önkéntes árképzés, „kartellezés”, illetve az ezek eredményeként bekövetkező válságciklusok) azonban valóságok. A piac szereplői bizony szétaprózódásuk okán nem tudnak olyan jelentős vásárlóerőt képviselni, mint a mennyiségi- és hosszútávú gondolkodást alapvetésként kezelő tervgazdálkodás. Márpedig egy labilis piaci környezetben a tökére-erősség az az erény és eszköz, mely – építőipari viszony-

latban mindenképp – előnyökhöz juttathatja a piac említett szereplőjét, nem ritkán szabad szemmel látható mértékű kedvezményeket biztosítva számára a szállítmányozás és tárolás terén, vagy akár a kínálati piac évekre előre történő tervezett aktivizálásával, mely a kitermelők és gyártók számára jelent biztosítékot a piaci pozíciójuk és gazdasági helyzetük stabilizálására.

Azóta

Ahogy az eredeti cikk is idézi, a rétegragasztott fatartók szabadalma Otto Hetzer weimari mérnökhöz köthető 1905-ből. Az azóta eltelt 120 évben ez a technológia szépen megvetette lábát az építész szakma berkeiben: létrejöttek komplett építési rendszerek, pl. CLT vagy a hasonló eljárásokon alapuló LVL. A cikkben is kifejlesztésre javasolt szilárdsági osztályozás és szabályzás gyakorlata mostanra európai szintű, és nagyban elkezdődött a technológiai kísérletezés is: a 2019-ben befejezett Mjøstårnet (Brumunddal, Norvégia) a maga 85,4 méteres magasságával kiemelkedő mérnöki teljesítmény, és a vegyesfelhasználású (lakó és iroda) terek tervezésében tör utat. Az iroda-építészeti a tengerentúlon a portlandi „503 on Tenth”, a torontói „T3 Bayside”, Ausztráliában pedig a brisbanei „25 King” épületek gazdagítják. Ám találunk más, teljes szerkezetükben fa, jelentősebb befoglaló mérettel rendelkező épületeket francia, angol, svéd, finn, német, olasz és spanyol nyelvterületeken egyaránt.

A hazai szakma szintén nem maradt tétlen, ha a faépítészet reneszánszát vizsgáljuk. Elég az organikus építészeti irányzatra gondoljunk, akár magára Makovecz Imrére és munkásságára, kezdve a sort az 1983-as sárospataki Művelődés Házával, egészen a már Dobrosi Tamás által befejezett felcsúti komplexumig. Nyilván eszünkbe jut Ekler Dezső, és az általa tervezett disznókői traktorgarázs vagy épp a győri baráti borászat. Nagy Tamás bármely evangélikus, vagy Basa Péter budakeszi református temploma.

* építészmérnök, egyetemi gyakornok, Óbudai Egyetem, Ybl Miklós Építéstudományi Kar, Építéstan Tanszék,
e-mail: suhanik.marcell@ybl.uni-obuda.hu



Kongressusi és kiállítási csarnok, Agordo (Olaszország), tervezők: Studio Botter + Studio Bressan, Simone Bossi fényképei [1]

Dévényi Sándor, Kampis Miklós, Jánosi János, Turi Attila és persze Csernyus Lőrinc, kinek egyik legutóbbi munkája a Dubaji Világkiállítás Magyar Pavilonja volt. Persze kezdetnének is sorolni a Vándoriskola néhai és jelenlegi tagjait, és újra csak megállapítanánk, hogy a szakma igencsak buzgó módon ápolja a – Tamáska János 1979-es cikke után nem sokkal – megélt faépítészeti hagyományt.

Ám a tervezők mai napig fenyő alapanyagban gondolkodnak, hiába több, mint 100 éve nincsenek fenyveseink. Így a 45 évvel ezelőtti írásban pedzegetett rétegragasztott keményfa technológia egyelőre nem tudott begyűrűzni a hazai építési gyakorlatba, pedig annak költségcsökkenését (vagy akár a hazai gyártási szándékot) kizárólag a piaci igény jelentős növekedésétől várhatnánk.

Érdekes megemlítenünk, hogy a hivatkozott külföldi faépítészeti példák (és a legtöbb hazai is) a magántőke befektetésével jöttek létre. Ám egy építéstechnológia reomóját az átlagpolgár épületről alkotott elképzeléseinek vizsgálatával tudjuk igazán leszűrni – így szükségszerű beemelnünk némi történeti hátteret.

Azelőtt

Az európai építéstörténetet közelebbről vizsgálva, rendkívül leegyszerűsítve ugyan, de három földrajzi sávot tudunk – átfedésekkel – elkülöníteni.

Az első a hosszú, hideg telek, és ezek során tartósan fagypon alatti hőmérséklet térsége, melyek jellemzően a szubarktikus éghajlat uralta területek. Fában gazdag helyek, így nem meglepő módon a fa vernakuláris építészetben betöltött szerepe uralkodó. A vágás utáni kártévk és penész elleni kezelés az éghajlati körülmények

miatt mondhatni szükségtelen, ám a leginkább praktikai okokból használt puha fenyő kátrányának kiizzasztásával ezen kérdéskört is tudták orvosolni a régi kor emberei. A fedések sok esetben fa vagy föld fedések (némi hőszigetelő képességgel), utóbbi nyírfakéreg vízzáró réteg alkalmazásával.

A második a kontinentális és óceáni éghajlatok helyszíne, mely éves viszonylatban hideg, rendkívül csapadékos, így talajban, növényzetben gazdag vidékek. Vernakuláris építésze ezen tájaknak a szilárd, föld alapú falakban, illetve szálas képzésű fedések kikísérletezésében csúcsodott. Felhasznált fái a magashegységeket leszámítva keményfák, melyek cseresav tartalmukkal védekeznek a környezeti hatások ellen, ezek megmunkálása viszont kézi eszközökkel kifejezetten nehézkes. Az óceáni, viharosabb területeken élők gyakran kőfalakat emeltek, az északon jellemző, ma már extenzívnek nevezett földfedéssel.

A harmadik a mediterráneum területei, melyek kopár vidékei arányaiban kevés csapadékot kapnak, a telek enyhék, a nyarak forróak. Itt folytatódott a kőfalak és fedések sora, lévén ezen építőanyag volt az uralkodó a tájon. Fából főleg cédrust használtak, ám ennek szerepe a tájon fellelhető ritkasága miatt minimálisra csökkent.

Felsorolásunk természetesen általánosító, és közel sem teljes, de belátható, hogy különböző területek más és más anyagot kínáltak egy hely építészetének kielégítésére. Elég az Égei-tenger térségére jellemző mészkő építészetre gondolni, vagy a belvizek környezetének nádhasználatára. Adott térségen belül helyi anyagok épültek be, rendszerint csupán szomszédsági cserelhetőségeket nyújtva az anyagszállítás nehézsége okán.

„Elválík a téglá a vályogtól”

– tartja a mondás, melyet a hitvány környezetéből kiemelkedő emberre mondtak, és remekül példázza kis hazánkban uralkodó építőanyagok nivóját. A földbe vájt vermek idővel a föld fölé kerültek, majd a vályogtéglát felváltotta az égetett falazóelemek használata. Ezen anyagok nivója azonban oly régóta jellemzője és sajátja a térségnek, hogy ebbe újítást vinni embertpróbáló kihívás. Ha megnézzük a korábban felsorolt övezeteket, látható, hogy a polgári modern faépítészet a témában amúgy is jeleskedő északon hódít igazán teret, ahogy a kerámia falazóelemeket is a történetileg nehézszerkezetű falazatokat emelő országokban használják vallásos megszállottsággal.

Talán ez a jól kijárt út, a társadalmi megszokás az oka, hogy a szakma eszközeivel (mérések, számítások, megépült példák) csak lassan, vagy egyáltalán nem tudunk hatni a lakossági piac építéstechnológiai igényére. Csupán a felhasználók saját tapasztalatai, így a „benne lakás”, az irodaterként történő felhasználás, esetleg a mezőgazdasági terhelés időpróbája tudnak a meggyőzés eszközével élni, és formálni ezen kialakulóban lévő piaci (és szakmai) szegmenst.

Jogszábályi környezet

Az idők során szabványokat és követelményértékeket fogadtunk el, melyek az építés modularizálását könnyítik, *valamilyen aspektusok szerinti minőség garanciáját* is nyújtva. Az építőanyagokat már nem a környék nyersanyagait használva szerezzük be, hanem telepek, cégek biztosítják, melyek mostanra minden központi – vagy racionális – kontrollt nélkülözve egymással versengenek ezen anyagok árának magasán tartásáért (elég a 2021-es ár-rallyra gondolni). Hátlutóje azonban itthon az építőipari anyagok kötött minőségi kritérium-rendszerének az a bonyolult akkreditációs rendszer, amivel egy gyártó szembesül, ha a magánszektorból kezdeményez építőanyag-rendszer engedélyezési eljárást.

Szakemberképzés

Az építőipar modularizálása egy szükséghelyzet volt, közel 100 éve. Az első világháborúban odavesztett az európai szakemberek jelentős része, akik még az akkori szecesszió magas minőségi sztenderdjeit követve tudtak alkotómunkát végezni, és akik szerencsétlenségükre pont ekkor jártak legszebb férfikorukban, hogy behívót kapjanak a frontra. A modernizmus egyszerűsége kapóra jött az európai építésnek, hiszen mesterek helyett betanított munkások tudtak immáron komplett épületeket építeni.

A trend a mai napig tart: 2024-ben itthon a szakemberek némi elméleti és 140 óra gyakorlati képzés után (8 órás munkavégzéssel nem egész egy hónap) bizonyítványt kapnak ácsként, kőművesként vagy bármely más szakma képviselőiként. Már nem a Középipartanoda neve ki ezen „mestereket”, hanem Zrt. és Kft. formában működő társulások.

A képzetlenség azonban a visszájára üthet, mikor a magyarországi (kemény)faépítészet igyekeznénk meghonosítani. Ugyanis a szakmai közösség képzetlensége maga is rontja a (megrendelői) kísérletező kedvet, ismeretek hiányában pedig képtelenség, hogy adott építéstechno-



Az agardoi kongresszusi és kiállítási csarnok szerkezetépítése, tervezők: Studio Botter + Studio Bressan, Emanuele Bressan képe [2]

lógia mellett érveljünk építészként. Így a végfelhasználók szempontjából – kik még kevésbé értik az építőanyagok világát – irracionális bizalomnövekedést várni ezen rendszerekkel szemben.

Posztludium

Sorra véve ezen tényezőket kijelenthetjük, hogy ilyen volumenű építési rendszer kutatásának és fejlesztésének önmagában a *műértő szakma* nem tud indikátora lenni. Ám az átfogó tömegek figyelmének és igényének felkeltése inkább összetett kulturális és nemzetgazdasági folyamatok, semmint egyszeri befektetői döntés függvénye. Az építőanyagok felhasználási helyszíntől sokszáz kilométer távolságra történő kitermelése, feldolgozása vagy gyártása, majd vég nélküli utaztatása nyilvánvalóvá vált, hogy nem fenntartható modell.

Hogy van-e szükség átfogó államszervezeti ráhatásra, ha a piac még az *ökoszisztéma érdekében* sem képes önkorlátozásra? Hogy egy tervgazdálkodáshoz hasonló megközelítés tudna-e célzott intézkedésekkel kapukat nyitni az építéskultúra világában és racionalizálni szegmenseket? A kérdések nyitottak maradnak, hisz egy piaci szektorba történő állami beavatkozás kérdéses eredménnyel kecsegtetne gazdaságpolitikailag.

A hazai lombos faállomány felhasználásának kutatása mindenképp logikus és ésszerű építéstechnológiai lépés volna, melyből nemcsak a végfelhasználói réteg profitálna, de a hazai építéskultúra és az építész szakma is, amennyiben a keményfa építési rendszerek fejlesztésével megnyílhatna az út a jövő épületeiben a környezetazonos faanyagok használatára.

A KÉPEK FORRÁSAI

[1] Simone Bossi fényképe, in: []: Congress and Exhibition Centre in Agordo. Winner, BIG SEE Wood Design Award 2020. Winner, City and community, Italy, Public and commercial architecture. 2020.06.24. <https://bigsee.eu/congress-and-exhibition-centre-in-agordo/>

[2] Emanuele Bressan fényképe, in: Eva Maria Herrmann: Alpine (Dach)Landschaft. Kongresshalle, Agordo / IT. https://www.dbz.de/artikel/dbz_Kongresshalle_Agordo_IT-3528891.html

