

WOOD

A

sustainability

*p*_{rocessing}

*C*_{onstruction}

*p*_{roduct}

*d*_{esign}

2025

WOOD 4 SUSTAINABILITY
Processing, Construction, Products and Design
2025

Főszerkesztő: DR. CSIHA CSILLA
Wood 4 Sustainability
Processing, Construction, Products and Design
2025



**UNIVERSITY OF SOPRON
PRESS**

SOPRONI EGYETEM KIADÓ
SOPRON, 2025

Közreadó a Soproni Egyetem Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kara
Felelős kiadó: PROF. DR. FÁBIÁN ATTILA
a Soproni Egyetem rektora

Főszerkesztő

DR. CSIHA CSILLA MÁRIA

Szerkesztők

PROF. DR. KÓSA BALÁZS, PROF. DR. MAGOSS ENDRE, DR. HABIL. NÉMETH LÁSZLÓ

Lektorok

DR. BEDNÁRIK ÉVA

PROF. DR. CSANÁDY ETELE

PROF. DR. KOVÁCS ZSOLT *Professor Emeritus*

DR. BÖRCÖK ZOLTÁN

PROF. DR. TAKÁTS PÉTER

HORVÁTH KUND ISTVÁN

SZEMEREY TAMÁS

SZABADHEGYI VIKTOR *Címzetes Egyetemi Docens*

DR. ANTAL MÁRIA RÉKA

DR. FATIMA ZOHRA BRAHMIA

DR. OLÁH GÁL RÓBERT

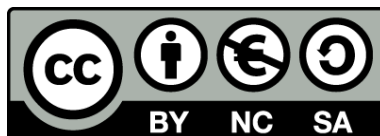
PROF. DR. ZINAD, DHAFAER SABER

DR. HABIL. UHL GABRIELLA

Technikai szerkesztő

SZARKA JUDIT GABRIELLA

ISBN (pdf) 978-963-334-570-2



CREATIVE COMMONS LICENSE: BY-NC-SA 4.0 DEED
Nevezd meg! Ne add el! Így add tovább! 4.0 Nemzetközi
Attribution – Non commercial – Share Alike 4.0 International

TARTALOM

A MATEMATIKA OKTATÁS VÁLTOZÁSA A SOPRONI EGYETEMEN (2. FEJEZET: 1968–1991).....	11
--	-----------

Csanády Viktória, Horváth-Szováti Erika

ESETTANULMÁNY A KONVEKCIÓS ÉS VÁKUUMSZÁRÍTÁS ENERGIAHATÉKONYSÁGÁRÓL IPARI FAANYAGOKNÁL.....	19
--	-----------

Kocsis Zoltán, Németh Gábor

KÁROSODOTT H₂O JELŰ ZSALUZATTARTÓ GERENDA LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATA	31
--	-----------

Hantos Zoltán

STUDY ON MOISTURE DIFFUSION IN STRUCTURAL ADHESIVES	41
--	-----------

Omar Saber Zinad, Csilla Csiha

NANOCELLULOSE FOR TISSUE ENGINEERING: PROPERTIES, SCAFFOLDS, AND CLINICAL CHALLENGES	48
---	-----------

Athraa B. Radhia, Nahidah I. Hammdib, Anwar Y. Zaaenc, Lina F.D. Al-Heetyd*

FA ÉS PVC ABLAKOK KÖRNYEZETI HATÁSAINAK ÖSSZEHASONLÍTÓ ÉLETCIKLUS-ELEMZÉSE (LCA): MANUÁLIS SZÁMÍTÁSOK ÉS GABI SZOFTVERES EREDMÉNYEK ÖSSZEVEZÉSE.....	70
---	-----------

Kocsis Zoltán, Németh Gábor, Polgár András

EGYSÉGTÖRTEK MINT GONDOLKODÁSMODELLEK: ÓKORI ELVEKTŐL A 21. SZÁZADI TUDOMÁNYOKIG.....	80
--	-----------

Szabó Péter, Preklet Edina

LEAN IN PROGRESS – TANULMÁNY MAGYARORSZÁG FAIPARÁRÓL.....	92
--	-----------

Dr. Suri Vera, Prof. Dr. Magoss Endre

PHYSICAL AND INDENTATION PROPERTIES OF DATE PALM WOOD FROM THE MIDDLE STEM SECTION UNDER STANDARD CONDITIONS.....	104
--	------------

Alhachami Firas Naji, Miklós Bak

EPOXIGYANTÁVAL KÉSZÜLT ASZTALLAP TERVEZÉSE ÉS KIVITELEZÉSE	111
<i>Frecska Viktória, Csilla Csiha</i>	
DYNAMIC FATIGUE TESTING OF WOODS: A REVIEW	124
<i>Gábor Orbán, Antal Kánnár</i>	
STRENGTH CHARACTERISTICS OF PLYWOOD MADE WITH ADHESIVE OBTAINED FROM PUMPKIN SEED OIL PRODUCTION BY-PRODUCT	133
<i>Katalin Pajor, Csilla Csiha, Tibor L. Alpár</i>	
A VÁLTOZÁS VIZUÁLIS TEREI – A SAJÁT HELYEK REPREZENTÁCIÓJA, ALAKVÁLTOZÁSAI	148
<i>Szigethy Anna</i>	
SZUBJEKTÍV MINŐSÉG ÉS FENNTARTHATÓ BÚTORVÁSÁRLÁS.....	160
<i>Bodorkós Dániel, Dr. Zalavári József, Dr. Horváth Péter György</i>	
RÉPCE-VIDÉKI PARASZTHÁZ REHABILITÁCIÓJA	171
<i>Vécs Martin László, Hantos Zoltán</i>	
ÉPÍTÉSTÖRTÉNETI ADATOK A KISUNYOMI SZENT MIHÁLY-TEMPLOM ÉPÜLETÉHEZ A LEVÉLTÁRI KUTATÁSOK TÜKRÉBEN	184
<i>Tárkányi Sándor, Eszes Tibor</i>	

ELŐSZÓ

A 21. század egyik legmeghatározóbb kérdése, miként tud az emberiség harmóniában élni a természeti környezettel, miközben folyamatosan növekvő igényeit is kielégíti. Az erőforrások túlhasználata, a környezeti terhelés és az éghajlati változások egyértelművé tették, hogy a jelenlegi gazdasági modellek hosszú távon nem fenntarthatók. Egyre sürgetőbbé válik olyan biofil megközelítések alkalmazása, amelyek a körforgásos hasznosításra és a felelős erőforrás-gazdálkodásra épülnek.

A fenntarthatóság érvényesítése szemléletváltást is igényel: olyan rendszerek kialakítását, amelyek tiszteletben tartják a természet regenerációs képességét, és biztosítják a jövő generációk számára is az erőforrások elérhetőségét. Ebben a folyamatban kiemelt szerepet kapnak az olyan alapanyagok, mint pl. a faanyag, amelyek megújulók, környezetkímélők és hosszú távon is fenntartható módon hasznosíthatók.

A fa egyedülálló alapanyag: természetes eredetű, biológiailag lebomló, és a Magyarországon, valamint Európában felelősen folytatott tartamos erdőgazdálkodás mellett folyamatosan megújul. Használata során nemcsak esztétikai és szerkezeti értéket képvisel, hanem hozzájárul a szénmegkötéshez is, így aktív szereplője lehet a környezeti terhelés csökkentésének.

Jelen kiadvány célja, hogy átfogó képet adjon a faanyagban rejlő lehetőségekről, bemutatva annak szerepét a tervezéstől és gyártástól kezdve egészen a felhasználásig és újrahasznosításig. A szerkesztők szándéka szerint ez a kötet egy olyan sorozat része, amely a faanyagot mint jövőbe mutató, fenntartható erőforrást vizsgálja különböző tudományterületek és alkalmazási területek, valamint a dizájn metszetében.

DR. HABIL. CSIHA CSILLA

Főszerkesztő

PROF. DR. MAGOSS ENDRE

Szerkesztő

DR. HABIL NÉMETH LÁSZLÓ

Szerkesztő

PROF. DR. KÓSA BALÁZS

Szerkesztő

PREFACE

One of the most defining questions of the 21st century is how humanity can live in harmony with the natural environment while continuing to meet its ever-growing needs. The overexploitation of resources, environmental pressures, and climate change have made it clear that current economic models are not sustainable in the long term. There is an increasing urgency to adopt biophilic approaches based on circular use and responsible resource management.

Achieving sustainability also requires a shift in mindset: the development of systems that respect the regenerative capacity of nature and ensure the availability of resources for future generations. In this process, particular importance is given to materials such as wood, which are renewable, environmentally friendly, and can be utilized in a sustainable manner over the long term.

Wood is a unique material: it is of natural origin, biodegradable, and continuously renewable through responsibly managed, sustainable forestry practices in Hungary and across Europe. In use, it represents not only aesthetic and structural value, but also contributes to carbon sequestration, thereby playing an active role in reducing environmental impact.

The aim of this publication is to provide a comprehensive overview of the potential of wood as a material, presenting its role from design and production through to application and recycling. According to the editors' intention, this volume forms part of a series that examines wood as a forward-looking, sustainable resource at the intersection of various scientific disciplines, fields of application, and design.

DR. HABIL. CSILLA CSIHA

Chief editor

PROF. DR. ENDRE MAGOSS

Editor

DR. HABIL LÁSZLÓ NÉMETH

Editor

PROF. DR. BALÁZS KÓSA

Editor

WOOD 4 SUSTAINABILITY
Processing, Construction, Products and Design

A MATEMATIKA OKTATÁS VÁLTOZÁSA A SOPRONI EGYETEMEN (2. FEJEZET: 1968–1991)

CSANÁDY VIKTÓRIA^a, HORVÁTH-SZOVÁTI ERIKA^b

^a Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, 9400 Sopron,
email: csanady.viktoria@uni-sopron.hu

^b Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, 9400 Sopron,
email: horvath-szovati.erika@uni-sopron.hu

DOI: <https://doi.org/10.35511/978-963-334-570-2-01>

ABSZTRAKT

Ismert tény, hogy egy mérnök számszerűsít, modellez, tervez. Ehhez kulcsfontosságú a matematikai jártasság. Ez indokolta többek között a választott témát, nevezetesen a matematika oktatás változásának vizsgálatát. A matematika oktatás tananyagában, módszereiben az elmúlt 70 évben hatalmas változások voltak. A körülmények, az oktatás célja, a rendelkezésre álló idő mennyisége folyamatosan változott. Ezt a folyamatot tekintjük át egyetemünkön a rendelkezésre álló irodalom és egyéb tárgyi emlékek segítségével, a teljesség igénye nélkül.

Kulcsszavak: matematika a felsőoktatásban, oktatástörténet, Moór Arthur, Roxer Egon

1. BEVEZETÉS

A mérnökképzésben alapfontosságú tudomány a matematika, ami nemcsak fejleszti a logikai gondolkodási képességet, hanem a szakemberek számára nélkülözhetetlen a gyakorlatban és a kutatásban. Ismerete és megértése nélkül akadályba ütközünk a fizikai folyamatok megértésében és azok modellezésében. Nélküle nem látjuk át a szakmai tárgyak számszerűsített összefüggéseit, nem értjük azok létrehozásának elvét, működését. Alkalmatlanok vagyunk a megfelelő biztonságú tervezésre és a tudományos kutatásra. A különböző mérnöki szakterületeken, így a faipar területén is alapfontosságú feladat az adatkiértékelés, új teóriák létrehozása az ipari fejlesztések érdekében. Nagy szükség van erre a faipartudományokban és a termékfejlesztésben is. Ezek a tények indokolják a matematika tárgy tematikájában és oktatásában bekövetkezett változások áttekintését.

A matematika tananyag és óraszámok az utóbbi 70 évben nagyon sok módosításon mentek keresztül. Írásunk első része tavaly jelent meg (*Csanády–Horváth-Szováti, 2024*), ott az 1950-es évektől 1968-ig terjedő időszakot tekintettük át. Most az 1968–1991 között bekövetkező változásokat vizsgáljuk. Az oktatás (*szemléletváltás, alkalmazott módszerek stb.*) szempontjából minden estében meghatározó volt a Matematika Intézet, illetve jogelődjei vezetőjének személye, így a kiválasztott időintervallumok az intézet vezetésében bekövetkező személyi változásokhoz igazodnak. Az egyes időszakok összehasonlításában másik fontos szempont a hallgatóság generációs változása. Az első részben vizsgált időszakban a hallgatóság a veteránok (*1925 és 1942 között született személyek*) köréből került ki. Az itt bemutatásra kerülő második részben az egyetem diáksága már a baby boomerek

(1943 és 1960 közötti születésűek), valamint az 1970-es évek elejéig született X-esek voltak. Ebben az időszakban a digitalizáció még egyáltalán nem volt hatással az oktatásra. A vizsgált időszak végén ugyan már megjelentek az első személyi számítógépek, de elterjedésük, illetve teljesítményük rohamos növekedése csak az ezt követő időszakban volt tapasztalható.

2. MATEMATIKA OKTATÁS PROF. DR. MOÓR ARTHUR INTÉZETIGAZGATÓSÁGA ALATT (1968–1985)

1968-tól egy újabb fejezet kezdődött egyetemünk matematika oktatásának történetében, ekkor Moór Arthur professzor lett a Matematika Tanszék vezetője. Dr. Moór Arthur (1923–1985) egyetemi tanulmányait 1941-ben Szegeden a Horthy Miklós Tudományegyetem matematika-fizika szakán kezdte, de a háború miatt csak 1947-ben kapott diplomát az akkor már Szegedi Tudományegyetem néven működő intézményben. Tagja volt az Eötvös Kollégiumnak, ahol Kalmár László volt a tanára. Az egyetemen is kiváló professzorai voltak: Riesz Frigyes, Haar Alfréd, Keréjkártó Béla, Szőkefalvy-Nagy Gyula. Ez a tanári kar világszínvonalú oktatást jelentett. Tanári oklevelének megszerzése után 1947–50-ig a Szarvasi Tanítóképző Intézetben tanított. Ezt követően két évig dolgozott középiskolai tanárként a debreceni Révai (*ma Csokonai*) Gimnáziumban. 1953-ban Varga Ottó aspiránsa lett a Debreceni Egyetemen, kutatási területe a differenciálgeometria volt. Aspirantúráját 1956-ban fejezte be a kandidátusi fokozat megszerzésével. 1956 és 1968 között a Szegedi Tudományegyetemen oktatott, ezalatt tudományos kutatásait folytatva akadémiai doktori címet szerzett. Dolgozatát „Geometriai vizsgálatok általános metrikus vonalelem-terekben” címmel 1964-ben védte meg. 1968-tól 1985-ig (*haláláig*) a soproni Erdészeti és Faipari Egyetem professzoraként dolgozott. Kutatási tevékenységének középpontjában mindvégig a differenciálgeometria maradt, különös tekintettel a Finsler geometriára. Az ebben elért eredményeiről több ízben elismerően nyilatkozott Varga Ottó, a magyar differenciálgeometerek mestere, a Finsler geometria kiváló művelője. Dr. Moór Arthur munkásságának eredményességét 106 dolgozata mutatja, amelyek majdnem mind német nyelven jelentek meg. Szakmai elismertségét jelzi az is, hogy Moór Arthur ma a Finsler geometria kézikönyveiben az egyik leggyakrabban és legtöbbször idézett szerző (*Tamássy, 2006*).

A professzor személye a soproni Erdészeti és Faipari Egyetem matematika oktatásában változásokat hozott. A korábbi, elsősorban gyakorlati alkalmazásokra fókuszáló tananyagot az elmélet irányába mozdította el. Ez megmutatkozott a matematika tantárgyak óraszámában is. Az 1970-es években az egyetem két karán volt némi eltérés a matematika oktatás szemesztereinek számában és az óraszámokban. A Faipari Mérnöki Karon négy szemeszter matematika volt a következő óraszámokkal: Matematika I. tárgyból heti 2 előadás és 2 gyakorlat, Matematika II. tárgyból heti 3 előadás és 2 gyakorlat, Matematika III. tárgyból heti 2 előadás és 2 gyakorlat, Matematika IV. (*statisztika*) tárgyból heti 2 előadás és 2 gyakorlat. Az Erdőmérnöki Karon három szemeszterben folyt az oktatás: Matematika I., Matematika II. és Matematika III. (*statisztika*).

A továbbiakban meg kell jegyezni, hogy a vizsgált időszak oktatási rendszere fegyelemre épült és egyfajta engedelmességet várt el a hallgatók részéről. Ugyanekkor ebben az időszakban az egyetemre bejutó diákok tudásszintje az egyetemi elvárásnak megfelelő volt, továbbá elfogadták azt, hogy céljaik elérése érdekében nélkülözhetetlen bizonyos tantárgyak – jövődöbéli mérnökként a matematika – anyagának az elsajátítása. Emiatt hallgatói szempontok nem befolyásolták az oktatást. A magasszintű egyetemi képzés eredményeképpen a hallgatók matematikai tudásszintje és logikai

készsége lehetővé tette azt, hogy közülük többen egyetemi oktatók, kutatók, vezető beosztású személyek még napjainkban is.

Moór Arthur professzor soproni kinevezése nem csupán az oktatásban, hanem a tanszék tudományos életében is hozott változásokat. A tanszékvezető saját kutatásaiba bevonta a fiatal kollégákat (*Führerné dr. Nagy Györgyi és Székelyné dr. Kirkovits Mária Magdolna*), és támogatta tudományos előrehaladásukat.

3. A MATEMATIKA I. ÉS II. TANTÁRGYAK TEMATIKÁJA

A MATEMATIKA I. TANTÁRGY TÉMAKÖREI A (MOÓR, 1970) KÉZIRAT ALAPJÁN:

1. Algebra

Kombinatorika, binomiális tétel, komplex számok és azok trigonometrikus alakja, harmadfokú egyenletek, számrendszerek, lineáris egyenletrendszerek és determinánsok, a mátrixszámítás elemei, általános lineáris egyenletrendszer, magasabbrendű számtani sorozat és sor.

2. Analízis I. rész

Végtelen számsorozatok, folytonos kamatozás, járadékszámítás, sorok konvergenciája, egyváltozós folytonos függvények, inverz és periodikus függvények. Függvények differenciálhányadosa, differenciálási szabályok. Függvények szélső értékei, középértéktételek, Bernoulli-L'Hospital szabály. Aszimptoták, görbék érintkezése, görbületi kör. Hatványsorok, subtangens és subnormális.

3. Vektoralgebra és analitikus geometria

Vektoralgebra, analitikus síkgeometria és analitikus térgeometria elemei, gömbi (*szférikus*) trigonometria elemei.

A MATEMATIKA II.-III. TANANYAG FEJEZETEI A (MOÓR, A., 1973.) KÉZIRAT ALAPJÁN:

1. Analízis II. rész, Integrálszámítás

Határozatlan integrál, integrálási szabályok, alapképletek, eljárások. Racionális törtfüggvények, illetve azokra visszavezethető függvények integrálása. Határozott integrál és a területszámítás. Forgástestek felszíne és térfogata. Ívhossz számítás. Paraméteres függvények integrálképletei, gyakorlati területszámítási képletek (*húr-trapéz képlet, érintő-trapéz képlet, Simpson képlet*). A határozott integrál néhány tulajdonsága. Improprius integrálok.

2. Analízis III. rész, Kétfváltozós függvények elmélete

Alapfogalmak, folytonosság. Parciális differenciálhányadosok. Többváltozós függvények relatív szélső értéke. Kétfváltozós függvények Taylor sora. Hibaszámítás. Többváltozós függvények integrálja. Kétfváltozós függvények integráljának kiszámítása transzformációval.

3. Differenciálegyenletek

a) Elsőrendű közönséges differenciálegyenletek

Változók szétválasztásának módszere. A változók szétválasztása helyettesítéssel. Elsőrendű lineáris differenciálegyenlet. Exakt differenciálegyenlet. Lényeges és lényegtelen paraméterek. Integráló faktor. A Clairaut-féle differenciálegyenlet. Differenciálegyenlet közelítő megoldása. Görbesereg burkolója és ortogonális trajektóriák.

b) Másodrendű közönséges differenciálegyenletek

Hiányos másodrendű differenciálegyenletek. Konstans együtthatójú másodrendű homogén lineáris differenciálegyenletek. Konstans együtthatójú másodrendű lineáris differenciálegyenletek. Másodrendű differenciálegyenletek megoldása sorbafejtéssel.

c) Magasabbrendű közönséges differenciálegyenletek

A Laplace-transzformált. n-edrendű lineáris differenciálegyenlet megoldása.

d) Parciális differenciálegyenletek

Parciális differenciálegyenletek főbb típusai. A rezgő húr differenciálegyenlete.

4. Differenciálgeometria és vektoranalízis elemei

A differenciálgeometria tárgyköre. Térgörbék megadása és az ívhossz. Érintővektor és érintő egyenes. Kísérő triéder, Frenet képletek, simulósík, normálsík, rektifikáló sík. Felületek első alapformája. Érintősík és normálvektor. Érintőfelületek, evoluta és evolvens. Vektormező fogalma, Nabla operátor. Görbe menti integrálok. Gauss és Stokes tétel.

5. Fourier sorok alapformulái

Trigonometrikus és Fourier sorok. Megjegyzések a Fourier sorokra *(néhány tulajdonság megemlítése)*.

A jegyzeteket áttekintve elmondható, hogy a Matematika I., II. és III. tananyag mind terjedelmében, mind részletességében meghaladta a korábbi évek tematikáit, és ezáltal a matematika számos területével ismertette meg a jövő mérnökeit. Ez a tananyag nagy részben elméleti volt, ami formálta a hallgatóság gondolkodását, és ezzel kialakította a mérnöki munkához nélkülözhetetlen logikai készséget.

4. A MATEMATIKA IV. (MATEMATIKAI STATISZTIKA ÉS LINEÁRIS PROGRAMOZÁS) TANANYAG FEJEZETEI

A Matematika IV. tantárgy fejezeteit Roxer Egon Matematika III. *(Roxer, 1970)*, az erdőmérnök hallgatók számára készített jegyzete alapján tekintettük át. A faipari mérnök hallgatók számára ez már a negyedik félév matematika kurzust, míg az erdőmérnök hallgatók számára a harmadik szemeszter matematika kurzust jelentette. A jegyzet alcíme: Matematikai statisztika és lineáris programozás alapjai. Ezek a témakörök részben nagyobb hangsúlyt kaptak, részben újdonságként jelentek meg a korábbi időszakhoz képest, amit a gyakorlat részéről felmerülő igény indokolt. Az előszóban Dr. Pankotai Gábor, az Erdőmérnöki Kar professzora, tudományos rektorhelyettes 1969. december 31-én a következőket írta:

„Midőn a Matematika III-t, dr. Roxer Egon kitűnő munkáját, amely a matematika fent felsorolt ágainak a megalapozását és az erdőmérnöki gyakorlatban való alkalmazását tárgyalja, a hallgatók, oktatók és külső szakemberek kezébe adjuk, úgy hisszük, jelentős mértékben elősegítjük az erdőmérnök tudományok fejlesztésének ügyét, amelyhez a matematikai tudás és felkészültség nélkülözhetetlen.

Úgy érzem azonban, mindannyiunk matematikai felkészültsége is korszerűsítésre szorul. A Matematika III. rész jegyzetének kiadása tehát nemcsak a hallgatóknak, de nekünk oktatóknak is gyümölcsöző befektetés. Bizonyítja ezt a gyakorlat részéről felénk irányuló érdeklődés is.

Meggyőződésem, hogy elkövetkezik az az idő, midőn a szaktanszékek vezetői saját munkájuk megkönnyítésére és az oktatás hatékonyságának emelésére egy negyedik félév beiktatását fogják kérni.” *(Roxer, 1970)*

A MATEMATIKA IV. TANANYAG FEJEZETEI A (ROXER, 1970) KÉZIRAT ALAPJÁN:

I. Matematikai statisztika

1. A minta és legfontosabb jellemzői

Alapsokaság. Minta: fontosabb mintavételi módszerek, a minta jellemzői, osztályokba nem rendezett minták jellemzői, nagyminták rendezése és jellemzőinek számítása.

2. Valószínűségelmélet alapjai

Események közötti összefüggések. A valószínűség fogalma. A valószínűségelmélet alaptételei: az alaptételekből levezethető tételek, Bernoulli tétele, mintavétel visszatevés nélkül. A valószínűségi változó: diszkrét valószínűségi változó és valószínűségi eloszlásfüggvénye, folytonos valószínűségi változó és az eloszlás sűrűségfüggvénye, a valószínűségi változó várható értéke, szórása és valószínűségeloszlása. Nevezetes eloszlások: binomiális eloszlás, néhány diszkrét eloszlás, a normális eloszlás, a normálisból származtatott eloszlások.

3. A megfigyelések kiértékelése

A valószínűségi változó legfontosabb jellemzőinek becslése. A normális eloszlás paramétereinek, sűrűség és eloszlásfüggvényének becslése. A binomiális eloszlás paramétereinek becslése, a statisztikai biztonság, a minta megbízhatósága, a minta elemszámának megtervezése. Statisztikai próbák: „u” próba és „t” próba (*szélsőséges elem kizárása normális eloszlású mintából, az $(\bar{x}-m)$ és $(\bar{x}_1-\bar{x}_2)$ eltérés ellenőrzése*), „F” próba, illeszkedés vizsgálat, homogenitás-vizsgálat, függetlenségvizsgálat. Néhány közelítő módszer: a valószínűségi háló közelítő szerkesztése, normalitás vizsgálat valószínűségi hálóban, normális eloszlású minta \bar{x}_1 és „S” jellemzőinek megközelítő becslése valószínűségi hálóban, a minta aszimmetriájának mérése.

4. Kísérletek

Egytényezős véletlen elrendezésű kísérletek: az egyszerű varianciaanalízis, a kettős varianciaanalízis, a kísérletben hiányzó érték pótlása, a kísérlet pontosságának ellenőrzése. Latinnégyzet kísérletek.

5. Korreláció és trendszámítás

A kétváltozós korreláció: lineáris összefüggés kevés és sok adat esetén, lineárisra visszavezethető görbevonaltól való kapcsolat, másodfokú parabola és hiperbola illesztése. Trendszámítás: lineáris, exponenciális, parabolikus trendfüggvény.

II. Lineáris programozás

1. Lineáris algebra

A lineáris vektortér, lineárisan független vektorok, a lineáris tér dimenziója és bázisa. Elemi bázistranszformáció: az affin transzformáció, az $\bar{A} \cdot \bar{x} = \bar{b}$ speciális mátrixegyenlet, a mátrix inverze. Lineáris egyenletrendszerek. Lineáris egyenlőtlenségrendszerek.

2. Lineáris programozás

A grafikus módszer: a normál maximum feladat, a minimum feladat. A szimplex módszer.

Dr. Roxer Egon Matematika III. jegyzete azt mutatja, hogy az előző időszakhoz képest a legfontosabb

változás a statisztika oktatásának kiemelése és oktatásának részletes bevezetése, amit a kutatási igények indokoltak. A tárgy keretében a ma is aktuális és legfontosabb statisztikai ismeretek és módszerek bemutatásra kerültek. Megjegyzendő, hogy bár kézi számolási módszerekkel – a napjainkban használt számológépek és számítógépes programok nélkül – történt a feladatmegoldás, mégsem okozott a hallgatóság számára jelentős problémát. Sokszor közelítő számítások használatára volt szükség, ami a mai hallgatóság számára elképzelhetetlen mennyiségű kézi számolást jelentene.

Összefoglalva tehát megállapítható, hogy az összeállított anyag ma is lefedi a legfontosabb statisztikai apparátust. Mivel napjainkban már számológépek és informatikai háttér áll rendelkezésre, így a jegyzetben bemutatott, kézzel történő, gyakran hosszadalmas számítások egy része azóta feleslegessé vált.

5. MOÓR ARTHUR PROFESSZOR ÚR LEGENDÁS ALAKJA

Moór Arthur legendás alakja a halála óta eltelt 24 év után is élénken él egykori kollégái és tanítványai emlékezetében. Rendkívüli tudása mellett egyénisége is megkülönböztette az átlagos embertől, érdeklődése szinte csak és kizárólag a matematikára irányult. Kifejezetten materialista szemlélete ellenére sem foglalkozott politikával. Hobbija a repülőgépmoделl készítés és a sakkozás volt. Fiatalkorában versenyszerűen sakkozott, Sopronban pedig igazolt versenyzője lett a SMAFC sakkcsapatának. Mint oktatóról elmondható, hogy nemcsak a vizsgákon volt következetes és megingathatatlan, hanem a munkáját is hatalmas fegyelemmel és precizitással végezte. Az óráit mindig pontosan kezdte és pontosan fejezte be. Aszketikus alakja, életmódja miatt soha nem volt szüksége helyettesítésre. Ha véletlenül hibát vétett, ami általában legfeljebb egy elírás volt, „basszus hangon fütyül a kandúr” felkiáltással jelezte, és azonnal korrigálta. Az előadásain nem volt szüksége jegyzetre vagy írásvetítőre, csak kis papírlapokra felírt címszavakat – ahogy ő nevezte, „kutyanyelveket” – vitt magával az óráira, nehogy – mélyen beleélve magát a magyarázatába – kimaradjon valami az előadás anyagából. Vizsgáztatási módszere arra irányult, hogy képet kapjon a hallgatók tényleges matematikai tudásáról, problémamegoldó képességéről. Nem díjazta az értelem nélküli magolást, ami a szóbeli, „táblás vizsgákon” feltett kérdései alapján azonnal kiderült. Jelest csak akkor adott, ha meggyőződött a hallgató jó felkészültségéről, amit egy plusz feladat táblánál történő megoldásával kellett bizonyítani. Az 1981-ben végzett erdőmérnökök Emlékeink... címmel kiadtak egy könyvecskét, amelyben a híresen



szigorú, de igazságos professzor szuverén egyéniségének, humorának, és a rettegett matematika vizsgáknak, illetve szigorlatnak állítottak emléket (Bartha, Kovács–Oroszi, 2010). Ez is azt bizonyítja, hogy bár a hallgatók nagyon féltek a matematika számonkérésektől és szigorlattól, de azon sikeresen túljutva hatalmas büszkeséget éreztek és tisztelettel adóztak a Professzor iránt.

Moór Arthur 1985 augusztus 26-án Sopronban váratlanul elhunyt. Emlékét az egyetem Botanikus Kertjében az egykori F épület (az egykori Matematikai és Ábrázoló Geometriai Intézet épülete) mellett felállított szobor őrzi (1. ábra).

1. ábra. Moór Arthur
Forrás: szerző

6. MATEMATIKA OKTATÁS 1985-TŐL 1991-IG, DR. ROXER EGON ÉS DR. JAKÁL LÁSZLÓ TANSZÉKVEZETÉSE ALATT

Moór Arthur professzor hirtelen halálát követően Dr. Roxer Egon egyetemi docens (1985–1987), majd Dr. Jakál László egyetemi docens (1987-től 1991-ig) került a tanszék élére. Dr. Roxer Egon erdőmérnök, 1951-től dolgozott a Matematika Tanszéken egyetemi tanársegédi, adjunktusi, majd docensi beosztásban. Egyetemünkön szerzett doktori fokozatot. Elsősorban statisztikával foglalkozott és a Matematikai statisztika tantárgyat oktatta. 1987-ig volt tanszékvezető, majd 1991-ben vonult nyugdíjba. 1987-től 1991-ig Dr. Jakál László faipari mérnök lett a Matematika Tanszék, majd az összevont Matematika és Ábrázoló Geometria Tanszék vezetője (Az erdészeti felsőoktatás 200 éve, <https://emk.uni-sopron.hu/az-erdeszeti-felsooktatas-200-eve>).

Az 1985-től 1991-ig terjedő időszakban a tananyagban kisebb változtatások történtek, melyekkel elsősorban a gyakorlati alkalmazásra fókuszáltak. A két tanszékvezető mérnöki végzettségéből adódóan más szemlélettel tekintett a matematika tananyagra, és jobban ismerte a szakma részéről felmerülő igényeket is. Ebben az időszakban megjelent az egyetemen a papíripari mérnöki szak, ahol például a lineáris algebra oktatása nagyobb hangsúlyt kapott. Jelentős tananyag vagy óraszám változás nem volt, az óraszámok lehetővé tették a témakörök gyakorlását, elmélyítését. Ezeknek az éveknek (és innen kezdve a további időszakoknak) a tanulmányozását megkönnyítette az, hogy a cikk egyik szerzője, Dr. Csanády Viktória egyetemi docens 1987-től a tanszéken oktatott. Az ő személyes emlékei és az általa összegyűjtött anyagok (jegyzetek, ZH feladatsorok, jelenléti ívek stb.) birtokában még hitelesebb képet kaptunk az elmúlt 40-45 évről.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Az itt áttekintett 23 év alapján elmondható, hogy egyetemünkön az 1968-ig tartó időszakhoz képest Moór Arthur professzor tanszékvezetősége idején a matematika oktatás még nagyobb hangsúllyal folyt, mint az azt megelőző időszakban. Ennek ellenére a hallgatóság legnagyobb része kellő szorgalommal, és elegendő befektetett munkával sikeresen szigorlatozott matematikából. A matematika oktatás rendszerében nem történt jelentős változás Roxer Egon és Jakál László tanszékvezetősége idején sem, csak a teoretikus és gyakorlati szemlélet arányaiban mutatkozott némi eltérés, amit nyilvánvalóan a tanszék (intézet) aktuális vezetőjének végzettsége is befolyásolt. Ezt követően 1991-től új tanszékvezető érkezett Sopronba, ami törvényszerűen a matematika oktatásra is hatással volt. A 90-es évektől kezdve egyre jobban teret hódított a digitalizáció, és ezzel együtt megjelentek a korábbiaktól eltérő generációs hatások, amelyek sok változást hoztak.

SZERZŐI NYILATKOZATOK

A szerzők: Mintkét szerző egyforma arányban vett rész a kézirat elkészítésében.

FINANSZÍROZÁSI FORRÁSOK

Ezt a munka nem volt finanszírozva.

REFERENCIÁK

CSANÁDY, V., HORVÁTH-SZOVÁTI, E., 2024. A matematika oktatás változása a Soproni Egyetemen (1. fejezet: 1943–1968), *Dimenziók, Matematikai Közlemények*, 12, 75-84.

<https://doi.org/10.20312/dim.2024.08>

TAMÁSSY, L., 2006. Moór Arthur élete és munkássága (1923–1985), *Erdésznyajaink Arcképcsarnoka*, 4. [04. Moor Arthur elete es munkassaga.pdf](#)

MOÓR, A., 1970. *Matematika I.* (kézirat), Erdészeti és faipari Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Sopron.

MOÓR, A., 1973. *Matematika II.* (kézirat), Erdészeti és faipari Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Sopron.

ROXER, E., 1970. *Matematika III.* (kézirat), Erdészeti és faipari Egyetem, Faipari Mérnöki Kar, Sopron.

BARTHA, D., KOVÁCS M., OROSZI S., 2010. Emlékeink..., *Visszaemlékezések és diákhumormorzsák a matematika legendás professzoráról, szobrának avatása kapcsán.* [Moór Arthur 1923–1985], K.n., Sopron, 2010.

ALBERT, L., BARTHA, D., FARAGÓ, S., FÜHRER, E., MASTALÍRNÉ ZÁDOR, M., MÁTYÁS, Cs., NÁHLIK, A., RÁCZNÉ SCHNEIDER, I., IFJ. SARKADY, S., SOLYMOS, R., SZEMEREY, T.-NÉ, TOMPÁNÉ SZÉKELY, Zs., VARGA, T. 2008. *Az erdészeti felsőoktatás 200 éve I-III. kötet*, Nyugat-Magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar, Sopron. <https://emk.uni-sopron.hu/az-erdeszeti-felsooktatas-200-eve>, (Megtekintve: 2025. 12. 01).

CHANGES IN MATHEMATICS EDUCATION AT THE UNIVERSITY OF SOPRON (CHAPTER2: 1968–1991)

ABSTRACT

It is a well-known fact that an engineer quantifies, models, and designs. Mathematical proficiency is key to this. This was one of the reasons for the chosen topic, namely the examination of changes in mathematics education. There have been huge changes in the curriculum and methods of mathematics education in the last seventy years. The circumstances, the purpose of education, and the amount of time available were constantly changing. We are trying to review this process at our university, with the help of the available literature and other material memories, of course without the need for completeness.

Keywords: Mathematics in higher education, education history, A. Moór, E. Roxer

ESETTANULMÁNY A KONVEKCIÓS ÉS VÁKUUMSZÁRÍTÁS ENERGHIAHATÉKONYSÁGÁRÓL IPARI FAANYAGOKNÁL

KOCSIS ZOLTÁN^a, NÉMETH GÁBOR^a

^a Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Alkalmazott Tudományi Intézet, 9400 Sopron
email: kocsis.zoltan@uni-sopron.hu, nemeth.gabor@uni-sopron.hu

DOI: <https://doi.org/10.35511/978-963-334-570-2-02>

ABSZTRAKT

A faanyag mesterséges szárítása energiaigényes ipari folyamat, amelynek hatékonysága gazdasági és környezeti szempontból egyaránt kiemelt jelentőségű. A publikáció egy magyarországi ffeldolgozó üzemben végzett esettanulmány alapján értékeli a konvekciós és vákuumszárítás energiafelhasználását, külön elemezve a nyári és téli ciklusokat. A konvekciós szárítás mért adatait elméleti hőmérleg-számításokkal vetettük össze: télen a hőenergia-felhasználás mintegy 17%-kal meghaladta a számított értéket, míg nyáron az eltérés $\pm 4\%$ volt. A nyári villamosenergia-fogyasztás jelentősen alacsonyabbnak adódott, ami a frekvenciaváltós ventilátorszabályozás hatékonyságát jelzi. A vákuumszárító éves összes energiafelhasználása a konvekciós rendszerének csupán egynegyed–egyötöd része volt, ugyanakkor fajlagosan magasabb villamosenergia-igény jelentkezett. Az eredmények szerint technológiai optimalizálással – például hővisszanyeréssel, frekvenciaváltós hajtásokkal és jobb hőszigeteléssel – jelentős energia- és költségmegtakarítás érhető el. A következtetések ipari üzemi ciklusok elemzésén alapulnak, ugyanakkor általánosíthatóságukat a vizsgált ciklusok száma korlátozza.

Kulcsszavak: faanyagszárítás, energiahatékonyság, konvekciós szárítás, vákuumszárítás, szén-dioxid-kibocsátás csökkentése, villamosenergia-felhasználás, fenntartható ipari folyamatok.

1. BEVEZETÉS ÉS IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A faanyag szárítása a fűrészáru minőségének alapfeltétele, mivel a nedves fa vetemedhet, repedhet, és érzékenyebb a biológiai károsítókra (*Faipar, n.d.*). A természetes szárítás energiaigény nélkül zajlik, ám lassú és nagy helyigényű, ezért a modern faiparban elterjedtek a különféle mesterséges eljárások, például a konvekciós, a kondenzációs (*hőszivattyús*), a vákuumos, valamint a mikrohullámú és nagyfrekvenciás szárítás. Ezek célja azonos – a nedvességtartalom célértékre csökkentése –, energiahatékonyságuk és környezeti hatásuk azonban jelentősen eltér. A mesterséges szárítás nagy hőigényű folyamat: a gyakorlatban a víz elpárologtatásához szükséges elméleti minimum 1,5–4-szeresét használják fel (*Simpson, 1991*). Ennek oka a kezdetben magas víztartalom (*akár a fa tömegének kétharmada; Simpson, 1991*) és a jelentős hőveszteségek (*kamrafal, szellőztetés*). A konvekciós szárítók folyamatos légcserével távolítják el a párákat, ami nagy energiafelhasználást eredményez, míg a hőszivattyús rendszerek a körforgó levegő hőjének nagy részét visszanyerik, így akár 50–70% energiamegtakarítás is elérhető (*Faipar, n.d.*). A vákuumszárítás csökkentett nyomáson, alacsonyabb forrásponton működik, ami gyorsabb és bizonyos esetekben hatékonyabb szárítást tesz lehetővé,

különösen vastag keményfáknál (*Lyon és mtsai, 2021*). A folyamat előnye a kisebb hőterhelés és a rövidebb szárítási idő, ugyanakkor energiaigénye főként villamos jellegű, és a berendezések beruházási költsége magas (*Lyon és mtsai, 2021*).

A magyar fűrészipar szárítási volumene nagyságrendileg 1,1–1,3 millió m³/év (*KSH, 2023; FAGOSZ, 2023*). A szárítási teljesítmény (*amelynek ~90–95%-a konvekciós technológia*) értékeléséhez az átlagos, ~1,2 millió m³/év iparági mennyiséget tekintettük irányadónak, feltételezve, hogy a teljes rönkmennyiséget belföldön szárítják. Üzemi tapasztalatok alapján a fajlagos energiaigény átlagosan ~2000 MJ/m³ hő és ~112 kWh/m³ villamos energia. Ez országos szinten ~2400 TJ/év hőt és ~134,4 GWh/év villamos energiát jelent. A hőenergia-igény kb. kétharmadát a vállalatok faalapú melléktermékekből fedezik, míg a fennmaradó részt földgáz biztosítja. A földgáz 56,26 kg CO₂eq/GJ emissziós tényezőjével (*IPCC, 2021*) és 90%-os kazánhatásfokkal számolva a kapcsolódó kibocsátás ~50 kt CO₂eq/év. A villamosenergia-felhasználás a 0,243 kg CO₂eq/kWh magyar átlagos kibocsátási tényezővel (*Electricity Maps, n.d.*) további ~32,7 kt CO₂eq/év terhet jelent. Ennek alapján a faipari szárítás teljes éves kibocsátása ~82,5 kt CO₂eq, ami fajlagosan ~69 kg CO₂eq/m³.

A szárítási energiaigényt számos tényező befolyásolja, többek között a faanyag nedvességtartalma, fajtája, vastagsága, a kívánt végnedvesség, valamint a berendezés kialakítása és szigetelése. A téli időszak különösen energiaigényes: egyes szerzők szerint ilyenkor a szárítás akár 2–3-szor több energiát igényelhet a nagyobb hőmérséklet-különbség és a fagyponthoz alatti faanyag felolvasztása miatt (*Ross, 2010; Espinoza és Bond, 2016*). A kazánokat ezért jellemzően a téli csúcsterhelésre méretezik. A kutatás célja egy magyarországi faipari üzemben végzett, nagy időfelbontású energiafogyasztás-mérésekre épülő ipari esettanulmány bemutatása. Ennek keretében *(i)* egy nyári és egy téli konvekciós szárítási ciklus energiaigényének összehasonlítását, *(ii)* a konvekciós és vákuumszárítás energiafelhasználásának szerkezeti értékelését, valamint *(iii)* az energiahatékonyság ipari környezetben megvalósítható fejlesztési lehetőségeinek azonosítását végeztük el. A vizsgálat elsődleges célja nem statisztikai reprezentativitású, általános érvényű következtetések levonása, hanem a valós üzemi működésből származó teljes szárítási ciklusok energiaigényének nagyságrendi és technológiai összevetése, valamint a szezonális üzemeltetési különbségek gyakorlati jelentőségének bemutatása.

2. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

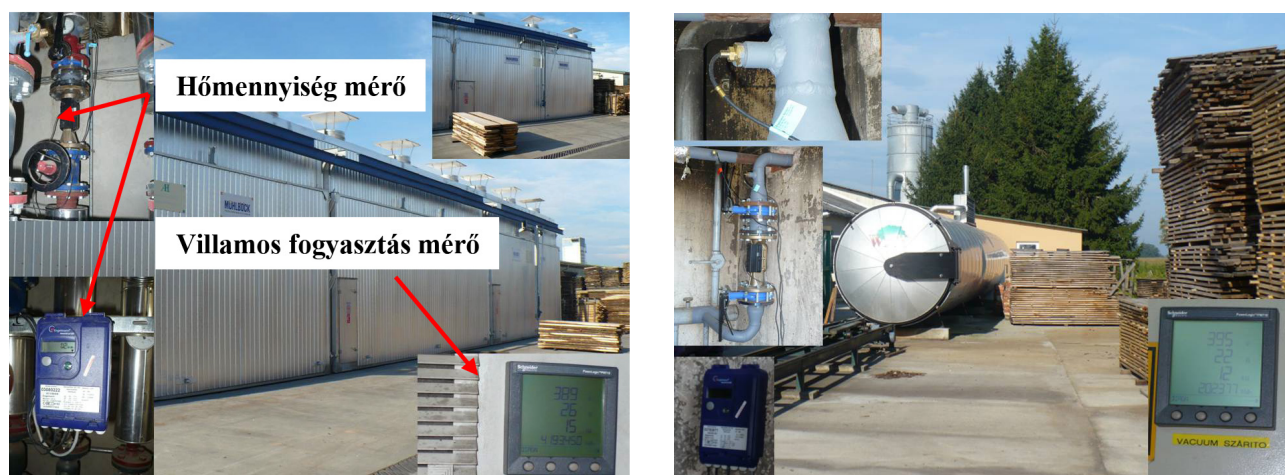
2.1. KÍSÉRLETI HELYSZÍN ÉS BERENDEZÉSEK

A vizsgálatot egy magyarországi faipari vállalkozás (*Kft.*) fűrészüzemének szárítótelepén végeztük. A vállalat neve az üzemeltető kérésére nem kerül megnevezésre. Az üzemben összesen hat hagyományos konvekciós szárítókamra és egy vákuumszárító berendezés üzemel, amelyek ipari körülmények között biztosítják a fűrészáru mesterséges szárítását. A konvekciós szárítókamrák Mühlböck ZLSM típusúak, egyenként megközelítőleg 90–100 m³ hasznos rakatkapacitással. A vákuumszárító egy WTT 151031 típusú egység, nettó kapacitása mintegy 7–8 m³, így elsősorban kisebb mennyiségű, magasabb hozzáadott értékű termékek szárítására alkalmazzák. A konvekciós kamrák hőellátása forróvízes hőcserélőkön keresztül történik, amelyeket egy központi fa- és aprítéktüzelésű kazánrendszer lát el hőenergiával. A vákuumszárító szintén vízbázisú fűtési rendszerrel működik, azonban a téli időszakban – a központi kazán kapacitáskorlátai miatt – időszakosan helyi fatüzelésű segédkazán használata válik szükségessé. Mindkét technológia esetében a szárítási hőigény a saját faipari melléktermékek energetikai hasznosításából származik. Mindegyik szárítókamra frekvenciaváltós ventilátorhajtással

rendelkezik, amely lehetővé teszi a légkeringetés intenzitásának automatikus szabályozását a technológiai paraméterek (például hőmérséklet és nedvességtartalom) függvényében. Ez hozzájárul az energiafelhasználás optimalizálásához és az üzemi működés hatékonyságának javításához.

2.2. ALKALMAZOTT MÉRŐRENDSZER BEMUTATÁSA

Az ipari tesztkörnyezetben kialakított felügyeleti és adatgyűjtő rendszer célja a szárítókamrák hő- és villamosenergia-felhasználásának folyamatos monitorozása, valamint az adatok központi rögzítése és feldolgozása volt (1. ábra). A rendszer lehetővé tette a konvekciós és vákuumszárító technológiák energiaigényének nagy időfelbontású, üzemi körülmények között történő összehasonlító elemzését. A hőenergia-felhasználást LOW USFL-400 Engelman típusú ultrahangos áramlásmérőkkel, valamint SensoStar2C kiértékelő egységekkel rögzítettük. A berendezések a fűtőkör víz tömegáramának és előremenő–visszatérő hőmérséklet-különbségének integrálásával számították a felhasznált hőmennyiséget, amelyet MWh egységben adtak meg. Az adatok továbbítása M-Bus kommunikációs protokollon keresztül valósult meg. A villamosenergia-fogyasztást Schneider Electric PM710 típusú teljesítménymérő műszerekkel végeztük, áramváltók alkalmazásával. A háromfázisú rendszer feszültség-, áram- és teljesítményadatait Modbus RTU protokoll segítségével, RS-485 kommunikációs vonalon gyűjtöttük, egyperces mintavételezési időközszel. A különböző kommunikációs szabványok közötti adatkapcsolatot EGX100 Modbus/Ethernet gateway és M-Bus/RS-232 konverter biztosította. A rendszer vezérlését Twido PLC látta el, míg az összesített mérési adatokat PowerLogic™ ION Enterprise™ 6.0 szoftverrel dolgoztuk fel. A szoftverkörnyezet valós idejű megjelenítést, adatarchiválást, valamint automatikus riportkészítést tett lehetővé. A konvekciós és vákuumszárító kamrák energiafogyasztási adatait egy központi adatgyűjtő egység fogadta, amely biztosította mindkét technológia folyamatos és egységes mérési alapú értékelhetőségét a teljes vizsgált időszakban.



1. ábra. A konvekciós (baloldali ábrarész) és a vákuumszárító (jobb oldali ábrarész) hő- és villamos fogyasztásmérő- és adatgyűjtő rendszerének kiépítése. Forrás: szerző

2.3. SZÁRÍTÁSI CIKLUSOK ÉS SZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK

A konvekciós tesztkamrában egy nyári és egy téli, ipari üzemi körülmények között végrehajtott teljes szárítási ciklust vizsgáltunk. A nyári ciklus 2024. július 11. és augusztus 2., a téli pedig 2024. február 26. és március 16. között zajlott. Mindkét esetben 28 mm vastag tölgy fűrészárut szárítottunk, a kezdő nedvességtartalom a nyári ciklusban kb. 45%, a téliben kb. 55% volt, míg a cél végnedvesség 10%.

A szárítási hőmérséklet mindkét ciklusban körülbelül 60°C-on alakult. A külső klimatikus viszonyok jelentősen eltértek: nyáron átlagosan 22°C, télen mintegy –12°C külső hőmérséklet volt. A mért adatok alapján ciklusonként meghatároztuk a teljes hő- és villamosenergia-felhasználást, valamint ezek fajlagos értékeit a szárított faanyag térfogatára vonatkoztatva. Az üzemi eredményeket szakirodalmi összefüggések alapján számított elméleti energiaigényekkel is összevetettük, a részletes számításokat terjedelmi okokból nem közöljük.

A konvekciós szárítás elméleti hőenergia-igényét egyszerűsített hőmérleg-modellel határoztuk meg Konopka és mtsai, (2021) nyomán, amely tartalmazta:

- a faanyag és a szárítókamra felfűtési hőigényét,
- a szabad és kötött víz elpárologtatásának látens hőigényét,
- a transzmissziós és szellőzési hőveszteségeket.

A teljes hőenergia-igényt e komponensek összegeként számítottuk, míg a párasításból és kisebb légszivárgásokból eredő hőigényt elhanyagolhatónak tekintettük. Az anyagjellemzőket szakirodalmi adatok alapján vettük fel (*tölgy abszolút száraz sűrűsége $\approx 650 \text{ kg/m}^3$, fajhője $\approx 2,5 \text{ kJ/kgK}$, a víz párolgáshője 0°C-on $\approx 2500 \text{ kJ/kg}$). A villamosenergia-felhasználás fajlagos nagyságrendjét üzemi tapasztalatokon alapuló arányokkal becsültük, mely szerint a teljes energiaigény átlagosan 88% hő- és 12% villamosenergia-részarányból áll. A mért és számított eredményeket mindkét ciklusra táblázatos formában, százalékos eltérésekkel együtt értékeltük.*

A vákuumszárítás vizsgálatát szintén az adott üzemi technológiai feltételek mellett végeztük el. A vizsgált telephelyen a vákuumszárító berendezést elsősorban kisebb mennyiségű, magasabb hozzáadott értékű termékek gyors szárítására alkalmazzák, éves szinten megközelítőleg 200–300 m³ feldolgozott faanyaggal. Ez a gyakorlatban havi 2–3 szárítási ciklust jelent, ciklusonként mintegy 7–8 m³ rakatkapacitással. Az összehasonlíthatóság biztosítása érdekében mind a konvekciós, mind a vákuumszárítási vizsgálatok során azonos nedvességű fafajt (*tölgy*) és azonos vastagságú (*28 mm*) fűrészárut elemeztünk. A vákuumszárító energiaigényének értékelése a folyamatos üzemi mérési adatokon alapult, és a konvekciós technológiával végzett összehasonlító elemzés keretében történt. Elméleti energiaigény-számítást a vákuumszárítás esetében nem végeztünk, mivel a szakirodalomban nem áll rendelkezésre általánosan elfogadott, megbízható korreláció e technológia energiafelhasználására. Ennek megfelelően a vákuumszárítás vizsgálata elsősorban a mért adatok értelmezésére, valamint az energiafelhasználás szerkezetének (*hő- és villamosenergia-részarány*) technológiai összevetésére épült.

2.4. A MÉRÉSI ADATBÁZIS JELLEGE ÉS A VIZSGÁLAT ADATKORLÁTAI

A jelen vizsgálat ipari esettanulmány, amely két teljes konvekciós szárítási ciklus (*egy nyári és egy téli*) energiafelhasználásának részletes elemzésén alapul. A vizsgált ciklusok időtartama rendre 15, illetve 18 nap volt. Az elektromos paraméterek rögzítése egyperces mintavételezéssel történt, így ciklusonként több tízezer mérési adatpont állt rendelkezésre, ami lehetővé tette a folyamat nagy időfelbontású energiaértékelését. A vizsgálat elsődleges célja nem több, statisztikailag ismételt ciklus átlagos energiaigényének meghatározása, hanem a szezonális környezeti feltételekhez kapcsolódó energiafelhasználás-változások bemutatása valós ipari üzemeltetési körülmények között. A mérések reprezentativitását erősíti, hogy az alkalmazott faanyag (*tölgy, 28 mm vastagság*), a cél végnedvesség (*10%*), valamint az üzemi technológiai beállítások megfelelnek a mindennapi termelési gyakorlatnak. Ugyanakkor a vizsgált ciklusok száma korlátozza az eredmények általánosíthatóságát, ezért a következtetések elsősorban a vizsgált berendezésekre és üzemi feltételekre értelmezhetők.

A vizsgálat során a telepített mérőrendszer a kamrák villamosenergia- és hőenergia-felhasználását rögzítette. A szárítási ciklusokhoz kapcsolódó technológiai menetrendek (*szakaszhatárok, beavat-*

kozások, fordulatszám-/szellőztetés-/hőmérséklet-időprofilok) nem álltak rendelkezésünkre, ezért a nedvességtartalom-idő lefutás, illetve a szakaszonkénti induló nedvességtartalmak meghatározása és közlése nem volt lehetséges. A rendelkezésre álló nedvességadatok a töltetek kezdeti és végső nedvességtartalmára korlátozódtak, amelyeket a vizsgálatban a ciklusok kiinduló és célállapotának leírására használtunk.

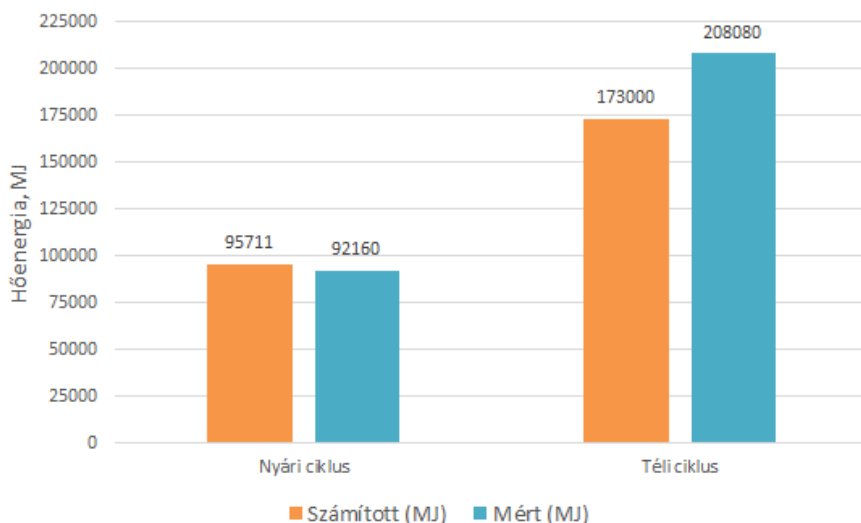
3. EREDMÉNYEK ÉS TÁRGYALÁS

3.1. NYÁRI ÉS TÉLI KONVEKCIÓS SZÁRÍTÁSI CIKLUSOK ENERGIAIGÉNYE

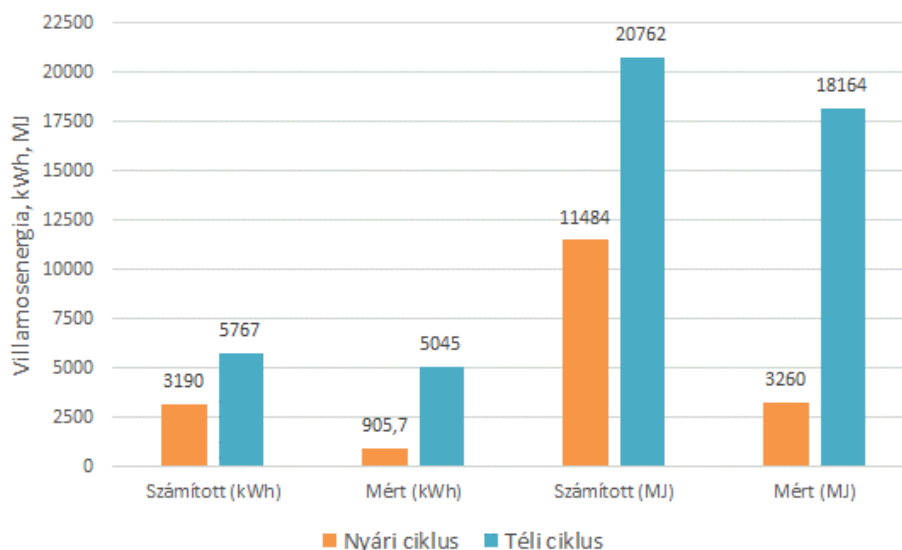
A nyári konvekciós szárítási ciklus során (2024. július 11–augusztus 2.) a mért hőenergia-felhasználás 25,60 MWh (92160 MJ) volt, amely 84,66 m³ tölgy fűrészáru szárítását biztosította, fajlagosan mintegy 1089 MJ/m³ értékkel. A villamosenergia-fogyasztás 905,65 kWh volt, ami kb. 10,7 kWh/m³-nek ($\approx 38,5$ MJ/m³) felel meg. A tényleges szárítási idő körülbelül 15 nap volt, rövidebb a naplózott 22 napos ciklusidőnél, mivel az tartalmazta a berakodási, kirakodási és várakozási időket is.

A téli ciklusban (2024. február 26–március 16.) 90 m³ tölgy fűrészáru került szárításra. A mért hőenergia-felhasználás 57,80 MWh (208080 MJ) volt, ami fajlagosan mintegy 2312 MJ/m³ értéket jelentett. A villamosenergia-fogyasztás 5045,5 kWh-nak adódott, ami kb. 56 kWh/m³-nek (≈ 202 MJ/m³) felel meg. A ciklus időtartama 18 nap volt, összhangban az üzemi ütemezéssel. A mért adatokat elméleti hőmérleg-számításokkal vetettük össze. A nyári ciklus számított hőenergia-szükséglete 95711 MJ volt, ami mindössze 3,7%-kal haladta meg a mért értéket, így jó egyezés mutatkozott. A téli ciklusban az elméleti hőigény 173000 MJ-re adódott, míg a tényleges felhasználás 208080 MJ volt, ami mintegy 17%-kal magasabb üzemi energiaigényt jelentett.

Villamosenergia tekintetében a nyári ciklusban az irodalmi arányokon alapuló becslés (≈ 3190 kWh) jelentősen meghaladta a mért 905,7 kWh értéket, amely így a számított érték mintegy 28%-a volt. A téli ciklusban a becslült 5767 kWh-hoz képest a mért 5045,5 kWh mintegy 12%-kal alacsonyabbnak adódott. A 2–3. ábrák a nyári és téli ciklusok mért és számított hő- és villamosenergia-igényét szemléltetik: nyáron a hőenergia-értékek közel azonosak, télen a mért hőigény magasabb, míg a villamosenergia-fogyasztás mindkét ciklusban alacsonyabb a becslült értéknél, különösen nyári üzemben.



2. ábra. A konvekciós szárítás számított (elméleti) és mért hőfelhasználásának összehasonlítása



3. ábra. A konvekciós szárítás számított (elméleti) és mért villamosenergia-felhasználásának összehasonlítása

A mért és számított energiafelhasználási értékek összehasonlítását az 1. táblázat mutatja. A nyári ciklusban a teljes és fajlagos hőenergia-szükséglet mindössze 3,7%-kal tért el az elméleti becsléstől, és a szárítás időtartama is közel megegyezett a tervezett ciklusidővel. Jelentősebb eltérés a villamosenergia-felhasználásnál jelentkezett: a mért érték mintegy 72%-kal alacsonyabb volt az irodalmi arányokon alapuló becslésnél. A téli ciklusban elsősorban a hőenergia-felhasználás tért el az elméleti értéktől: a mért hőigény körülbelül 17%-kal haladta meg a számított értéket, míg a villamosenergia-fogyasztás mintegy 12%-kal alacsonyabbnak adódott. A teljes energiafelhasználáson belül a villamosenergia részaránya nyáron kb. 3,5%, télen 8,7% volt, szemben a számított ~12%-os értékkel. Ez arra utal, hogy ipari üzemi körülmények között a villamosenergia aránya alacsonyabb lehet a szakirodalmi becsléseknél; ennek okait az „Üzemi eredmények értelmezése” és a „Következtetések” fejezet tárgyalja.

1. táblázat. A nyári és téli konvekciós szárítási ciklus számított és mért energiaigényeinek összehasonlítása (tölgy, ~28 mm, induló nedv.: nyár 45%, tél 55%, végnedv.: 10%, Tszárítás = 60°C)

Energetikai paraméter	Nyári ciklus (számított)	Nyári ciklus (mért)	Téli ciklus (számított)	Téli ciklus (mért)
Szárítási összes hőenergia igény (MJ)	95 711	92 160	173 000	208 080
Szárítási összes villamosenergia igény (MJ)	11 484 (3190 kWh)	3260 (905,7 kWh)	20 762 (5767 kWh)	18 164 (5045 kWh)
Összes energiaigény (hő + villamos) (MJ)	107 195	95 420	193 762	226 244
Fajlagos szárítási energiaigény (MJ/m ³)	1266	1127	2153	2514
Szárítási ciklusidő (óra)	342 (14 nap)	360 (15 nap)	431 (18 nap)	432 (18 nap)
1 kg víz elpárologtatásának hőigénye (MJ)	4,5	4,3	5,7	6,9
Villamos/hő arány (%)	12%	3,5%	12%	8,7%

A nyári ciklusban a teljes hőenergia-szükséglet mintegy fele a faanyag nedvességének elpárologtatásához kapcsolódott, míg a fennmaradó rész a rendszer felfűtéséből és a hőveszteségekből (*légcserre, transzmisszió*) adódott. Téli üzemben a veszteségek részaránya jelentősen nőtt: a transzmissziós hőveszteség megközelíthette a 20%-ot, szemben a nyári kb. 11%-os értékkel. A teljes mért energiafelhasználás a téli ciklusban mintegy 2,23-szorosa volt a nyárinak, ami megfelel a szakirodalomban közölt, téli és nyári szárítási energiaigények közötti 2–3-szoros különbségnek.

3.2. A VÁKUUMSZÁRÍTÁS ENERGIAIGÉNYE ÉS ÖSSZEHASO NLÍTÁSA A KONVEKCIÓS SZÁRÍTÁSSAL

A vizsgált üzemben a vákuumszárító technológiát elsősorban kisebb mennyiségű, nagyobb hozzáadott értékű, szigorúbb minőségi követelményű termékek (*pl. tölgy parketta, kőris teraszburkolat*) szárítására alkalmazzák. Előnye a gyorsabb és kíméletesebb nedvességeltávolítás, hátránya a korlátozott kamrakapacitás és a viszonylag magas fajlagos energiaigény. Az üzemben évente mintegy 200–300 m³ vákuumszárított faanyag készül, havi 2–3 ciklusban, ciklusonként kb. 7–8 m³ kapacitással. A hat konvekciós kamra ezzel szemben mintegy 8000 m³ éves telepített kapacitással működik, ami kb. 12–13-szoros technológiai kapacitást és 4–5-ször nagyobb éves feldolgozási volument jelent. A vákuumszárítás energiaigényét a 2024. évi üzemi adatok alapján határoztuk meg: éves hőenergia-felhasználása 250000 MJ, villamosenergia-igénye 44000 kWh volt. A konvekciós rendszer éves hőfelhasználása 1717560 MJ, villamosenergia-fogyasztása mintegy 50000 kWh volt. Az eredmények szerint a vákuumszárító teljes éves energiafelhasználása (*410000 MJ*) nagyjából egyötöde a konvekciós rendszerének (*1897560 MJ*), miközben az éves feldolgozott volumen is csak mintegy egynegyed–egyötöd része. Fajlagosan a két technológia összes szárítási energiaigénye (*hő + villamos*) hasonló tartományba esett: konvekciós szárításnál ~1600–1900 MJ/m³, vákuumszárításnál ~1400–2000 MJ/m³. A különbség elsősorban az energiafelhasználás szerkezetében jelentkezett. A konvekciós technológia energiaigénye főként hőenergia, amelyet az üzemben faapríték-tüzelésű kazán biztosít. A vákuumszárítás esetében az energiafelhasználás jelentős része villamos energiából származik: a vákuumszárító éves fogyasztása közel megegyezett a hat konvekciós kamra együttes értékével. Fajlagosan ez mintegy 176 kWh/m³ villamosenergia-igényt jelentett, szemben a konvekciós technológia 45 kWh/m³ értékével, vagyis a vákuumszárítás villamosenergia-igénye közel négyszerese volt a konvekciós rendszerének, miközben a fajlagos szárítási hőigénye annak mintegy kétharmadát tette ki.

A vákuumos és konvekciós szárítás energetikai összehasonlítása során figyelembe kell venni, hogy a vákuumtechnológiák hőbeviteli módja – például a dielektromos fűtéssel kombinált rendszerek esetén – eltérő primerenergia-megoszlást eredményezhet, ezért a villamosenergia részaránya lényegesen magasabb lehet (*Resch és Gautsch, 2000*).

Összességében a két technológia energiafelhasználása elsősorban szerkezetében tér el, mivel vákuumszárításnál az energia a vákuum fenntartásához és a belső hőközléshez, konvekciós szárításnál pedig a levegő felfűtéséhez és keringetéséhez kapcsolódik.

2. táblázat. Konvekciós és vákuumszárító éves energiafelhasználásának és CO₂eq kibocsátásának összehasonlítása (2024-es teljes évre vonatkozóan)

Mutató	Konvekciós szárítók (összes)	Vákuumszárító	Megjegyzés
Éves szárított faanyagmennyiség (m ³)	1000–1200	200–300	
Éves hőenergia-fogyasztás (MJ)	1 717 560	250 000	
Átlagos fajlagos hőszükséglet (MJ/m ³)	~1570	~1040	
Éves villamosenergia-fogyasztás (kWh)	50 000	44 000	
Villamosenergiából fakadó éves CO ₂ eq-kibocsátás (t/év)	12,15	10,69	0,243 kgCO ₂ eq/kWh (Electricity Maps, n.d.)
Éves összes energia (villamos+hő) (MJ)	1 897 560	410 000	1 kWh = 3,6 MJ
Fajlagos villamosenergia (kWh/m ³)	45	176	Átlagos faanyagmennyiséggel számolva.
Villamosenergiából fakadó fajlagos CO ₂ eq (kg/m ³)	11,04	42,77	0,243 kgCO ₂ eq/kWh (Electricity Maps, n.d.)
Villamosenergia-részből adódó különbség (vákuum – konvekció)			+31,73 kg CO ₂ eq/m ³
Fajlagos összes energia (MJ/m³)	~1600–1900	~1400–2000	

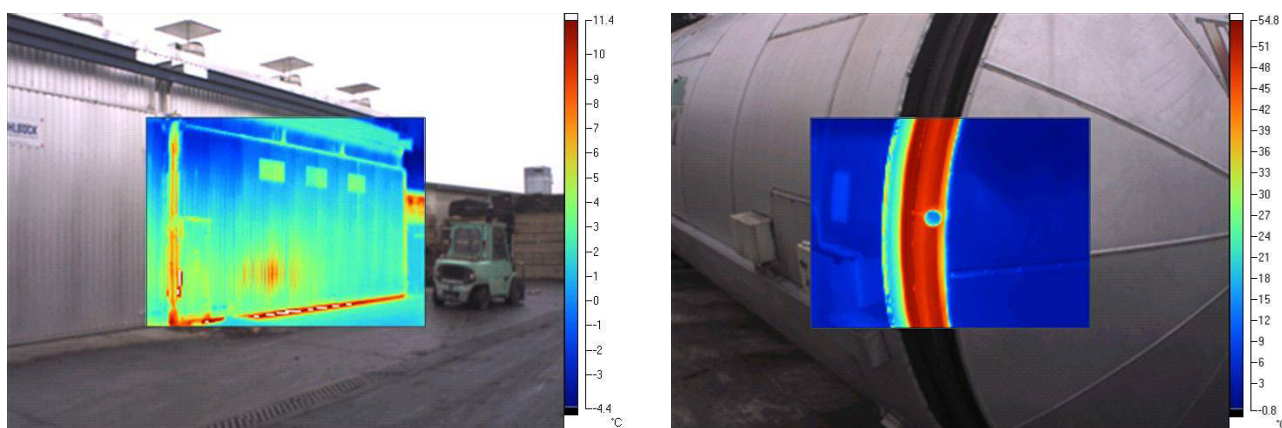
A vizsgált technológiai struktúra mellett a vákuumszárítással kezelt évi mintegy 250 m³ faanyag konvekciós szárítással történő kiváltása becslések szerint jelentős környezeti előnnyel járhat. A konvekciós technológia villamosenergiából adódó fajlagos CO₂-egyenértékű kibocsátása a vizsgált üzemi feltételek mellett mintegy 31,73 kg CO₂eq/m³-rel alacsonyabbnak adódott, ami éves szinten: 31,73 kg/m³×250 m³ ≈ 7,94 t CO₂eq/év kibocsátáscsökkenést jelenthet. Normalizált formában ez hozzávetőleg 31,76 t CO₂eq/1000 m³ megtakarításnak felel meg, ami jelzi, hogy a konvekciós szárítás – különösen biomasszaalapú hőellátás esetén – kedvezőbb klímaterhelést eredményezhet a vizsgált villamosenergia-mix mellett.

Üzemi eredmények értelmezése

Az eredmények alapján a nyári szárítási ciklus hőenergia-szükségletét az alkalmazott elméleti modell jó közelítéssel írta le: a számított és mért értékek közötti eltérés mindössze mintegy 4% volt, amely a mérési bizonytalanság tartományán belül értelmezhető. Ezzel szemben a téli ciklus során a mért hőfelhasználás hozzávetőleg 17%-kal meghaladta az elméleti hőmérleg alapján számított értéket. A téli többlet-hőigény kialakulásához több tényező együttesen járulhatott hozzá, az alábbiak szerint:

- **Nedvességtartalom-eloszlás:** A téli rakomány egyes zónáiban a nedvességtartalom a számításokban feltételezettnél magasabb lehetett. Ipari körülmények között a szárítási szabályozás jellemzően a legnedvesebb részekhez igazodik, ami a teljes ciklus energiaigényét növelheti.

- **Transzmissziós hőveszteségek:** A téli időszakban fellépő nagy hőmérséklet-különbség (megközelítőleg 60–70°C) fokozza a kamrafalakon és szerkezeti kapcsolódási pontokon keresztüli hőveszteséget. A hőkameras vizsgálatok (4. ábra) szintén jelentős hőszivárgást jeleztek az illesztéseknél és csatlakozási pontokon.



4. ábra. A konvekciós (bal oldali ábrarész) és vákuumszárító (jobb oldali ábrarész) téli transzmissziós hővesztéseinek szemléltetése hőkamerás felvétellel. Forrás: szerző

• **Üzemviteli tényezők:** A tényleges energiafelhasználást üzemeltetési sajátosságok is befolyásolhatták, például a kazánrendszer nem optimális működése vagy a ciklus során alkalmazott kiegészítő felfűtési szakaszok. A számított és mért értékek közötti mintegy 17%-os eltérés részben az ipari üzemeltetésben gyakran megjelenő biztonsági ráhagyással és szabályozási tartalékkal is magyarázható. Emellett a nyári és téli időszak között feltételezhető, mintegy 10 százalékpontos induló nedvességtartalom-különbség (45% és 55%) szintén hozzájárulhatott a villamosenergia-felhasználás eltéréseihez, mivel a nagyobb kezdeti nedvességtartalom több eltávolítandó vízmennyiséget, hosszabb szárítási időt, és ezáltal nagyobb segédenergia-igényt eredményez. A tölgy esetében a természetes előszárítás különösen a téli hónapokban jelentős hatású, ami az induló nedvességtartalom különbségeiben is megjelenhet.

4. MÓDSZERTANI KORLÁTOK ÉS BIZONYTALANSÁGOK

A jelen tanulmány ipari esettanulmány, amely két teljes konvekciós szárítási ciklus, valamint a vákuumszárító egész éves, folyamatos üzemi mérési adatainak elemzésén alapul. A konvekciós technológia esetében a vizsgált ciklusok száma korlátozott, ezért az eredmények elsősorban a bemutatott szárítási feltételekre, technológiai beállításokra és az alkalmazott alapanyagra (tölgy, 28 mm vastagság) értelmezhetők; eltérő üzemi környezetben az abszolút energiafelhasználási értékek módosulhatnak. Ugyanakkor a megfigyelt jelenségek – különösen a téli időszak számottevően magasabb hőenergia-igénye, valamint a frekvenciaváltós ventilátorszabályozás révén elérhető villamosenergia-megtakarítás – ipari szempontból várhatóan szélesebb körben is releváns tendenciákra utalnak. Ezt a szakirodalomban közölt energiaigény-tartományokkal való összevetés is alátámasztja. A vákuumszárítás energiafelhasználásának értékelése teljes éves mérési adatbázison alapult, azonban a technológia sajátosságai miatt elméleti energiaigény-számítást nem alkalmaztunk, mivel a szakirodalomban nem áll rendelkezésre egységesen elfogadott korreláció a vákuumszárítás energiaigényének meghatározására. Ennek megfelelően a vákuumos technológiára vonatkozó eredmények elsősorban mérési alapú összehasonlító értékelésként, valamint az energiafelhasználás szerkezetének (hő- és villamosenergia-részarány) bemutatására szolgálnak.

5. KÖVETKEZTETÉSEK

Jelen kutatás egy magyarországi ipari szárítóüzem esettanulmánya alapján vizsgálta a faanyagszárítás energetikai hatékonyságát, különös tekintettel a konvekciós és vákuumszárítási technológiák energiafelhasználásának összehasonlítására, valamint a nyári és téli üzemelés közötti különbségek értékelésére.

A legfontosabb következtetések az alábbiakban foglalhatók össze:

- **Évszakos különbségek:** A vizsgált téli ciklus teljes energiaigénye mintegy 2,23-szorosa volt a nyári ciklusénak. A többlet elsősorban a nagyobb felfűtési igényből, a magasabb kezdeti nedvességtartalomból, valamint a transzmissziós hőveszteségek növekedéséből adódott. Az eredmények arra utalnak, hogy az ipari szárítóberendezések méretezésénél a téli csúcsterhelési viszonyok meghatározó szerepet játszanak.

- **Mért és számított energiaigény:** A konvekciós szárítás hőenergia-igényének elméleti becslése a nyári ciklusban $\pm 5\%$ -on belüli, míg a téli ciklusban hozzávetőleg 15% -os eltéréssel követte a mért üzemi adatokat. A villamosenergia-felhasználás ezzel szemben – különösen nyári üzemelés során – jelentősen alacsonyabbnak adódott a szakirodalmi arányokon alapuló becslésnél, ami a frekvenciaváltós ventilátorszabályozás hatékonyságára utal. A nyári ciklusban a tényleges ventilátorenergia a becsült érték mintegy egyharmadát tette ki, míg télen is körülbelül $10\text{--}15\%$ -os csökkenés volt megfigyelhető.

- **Konvekciós és vákuum technológia összehasonlítása:** A vákuumszárítás a vizsgált üzemben lényegesen gyorsabb technológiának bizonyult (*4–5 nap, szemben a konvekciós eljárás 20–25 napos ciklusidejével*). Ugyanakkor fajlagos villamosenergia-igénye többszöröse volt a konvekciós rendszerének (*vákuum: 176 kWh/m^3 ; konvekció: 45 kWh/m^3*), miközben a szárítási hőigény a vákuumos eljárásnál mintegy kétharmada volt a konvekciós technológiáénak. Bár a teljes energiaszükséglet (*hő + villamos*) MJ/m^3 alapon hasonló nagyságrendű, a vákuumszárítás esetében az energiafelhasználás szerkezete kedvezőtlenebb lehet fosszilis alapú villamosenergia-mix mellett, ami magasabb fajlagos karbonterhelést eredményezhet.

- **Energiahatékonysági fejlesztési lehetőségek:** Az ipari üzemeltetésben a frekvenciaváltós ventilátorszabályozás további optimalizálása $20\text{--}30\%$ -os villamosenergia-megtakarítást tehet lehetővé. A hővisszanyerés és kondenzációs rendszerek alkalmazása akár $30\text{--}40\%$ -kal is csökkentheti a hőenergia-igényt. A kamrák hőszigetelésének javítása – különösen téli körülmények között – mérsékelheti a transzmissziós veszteségeket. Ezen túl a megújuló energiaforrások (*fotovoltaikus rendszerek, szélenergia, biomassza-melléktermékek*) integrálása hozzájárulhat a karbonkibocsátás csökkentéséhez és az energiafüggetlenség növeléséhez.

- **Környezeti hatások:** A vizsgált üzemi feltételek mellett a vákuumszárítás konvekciós technológiával történő részleges kiváltása becslések szerint érdemi CO_2 -kibocsátáscsökkenést eredményezhet. A fajlagos villamosenergia-felhasználásból adódó különbség megközelítőleg $31,76 \text{ t CO}_2\text{eq}/1000 \text{ m}^3$, ami éves szinten a vizsgált üzemben mintegy $8 \text{ t CO}_2\text{eq}$ potenciális megtakarítást jelenthet. Az eredmények arra utalnak, hogy a konvekciós szárítás – biomassza alapú hőellátással kombinálva, és amennyiben a termékspecifikáció ezt megengedi – nemcsak energetikai, hanem klímavédelmi szempontból is kedvezőbb alternatívát jelenthet.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatási eredmények arra utalnak, hogy a faanyagszárítás különböző technológiai változataiban jelentős energiamegtakarítási potenciál rejlik. A szárítókamrák hőszigetelésének javítása és a hőhidak megszüntetése – különösen téli üzemeltetési körülmények között – számottevően csökkentheti a transzmissziós hőveszteségeket. A hulladékhő visszanyerése, például a kilépő meleg levegő hőtartalmának hőcserélőn keresztüli hasznosítása, tovább mérsékelheti a fűtési energiaigényt. Bizonyos termék kategóriák esetében indokolt lehet kondenzációs szárítórendszerek alkalmazása is, amelyek bár hosszabb ciklusidővel működnek, kisebb hőveszteséggel üzemelnek. A vákuumszárítás továbbfejlesztésének egyik lehetséges iránya a rádiófrekvenciás fűtés integrálása (*RF-vákuumszárítás*), amely során a hó dielektromos melegítés révén közvetlenül a faanyag belsejében keletkezik, ezáltal gyorsabb nedvességeltávolítást és kedvezőbb energiaeloszlást eredményezhet. Összességében megállapítható, hogy az ipari faanyagszárítás energiahatékonysága technológiai fejlesztésekkel és üzemviteli optimalizálással jelentősen javítható. A jelen esettanulmány eredményei alátámasztják, hogy a mért és számított adatok integrált elemzése megbízható alapot szolgáltathat energiahatékonyabb és környezetkímélőbb szárítási gyakorlatok kialakításához.

REFERENCIÁK

Electricity Maps, n.d. *Hungary yearly carbon intensity for all technologies*.

Letöltve: <https://app.electricitymaps.com/zone/HU/all/yearly> (Megtekintve: 2025. 11. 16)

ESPINOZA, O.; BOND, B., 2016. Vacuum drying of wood – State of the art. *Current Forestry Reports*, 2(4): 223–235. <https://doi.org/10.1007/s40725-016-0045-9>

FAGOSZ, 2023. A hazai fűrészipar rönkfelhasználása 2021–2023-ben [Szakmai felmérés]. Fagazdasági Országos Szakmai Szövetség. Letöltve: <https://fataj.hu> (Megtekintve: 2025. 11. 15)

Faipar, n.d. *Energiamegtakarítás és környezetvédelem a szárításban*.

Letöltve: <https://faipar.hu/cikkek/kapcsolodo-technologia/3034/energiamegtakaritas-es-koerneyezetvedelem-a-szaritasban> (Megtekintve: 2025. 11. 15)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021. *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>

KONOPKA, A.; BARAŃSKI, J.; ORŁOWSKI, K. A.; MIKIELEWICZ, D.; DZURENDA, L., 2021. Mathematical model of the energy consumption calculation during the pine sawn wood (*Pinus sylvestris* L.) drying process. *Wood Science and Technology*, 55: 741–755. <https://doi.org/10.1007/s00226-021-01276-8>

Központi Statisztikai Hivatal (KSH), 2023. *Fűrészáru-termelés összesen, 2017–2023* [Táblázat]. Letöltve: <https://www.ksh.hu> (Megtekintve: 2025. 11. 15)

LYON, S.; BOWE, S.; WIEMANN, M., 2021. Understanding vacuum drying technologies for commercial lumber. *FS General Technical Report*, 287: 1–5. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34731.57123>

RESCH, H.; GAUTSCH, E., 2000. Drying of lumber in vacuum using dielectric heating. In: *Proceedings of COST E15 2nd Workshop on "Quality Drying of Hardwoods"*. University of West Hungary, Sopron, 2000, p. 8.

Ross, R. J., 2010. *Wood handbook: Wood as an engineering material*. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR-190, 509 p.

<https://doi.org/10.2737/FPL-GTR-190>

SIMPSON, W. T., 1991. *Dry kiln operator's manual*. Agriculture Handbook No. 188. Madison, WI: United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Letöltve:

<https://www.woodencrates.org/standards/AH188-KD-dry-kiln-operators-manual.pdf>

(Megtekintve: 2025. 11. 12)

CASE STUDY ON THE ENERGY EFFICIENCY OF CONVECTIVE AND VACUUM DRYING OF INDUSTRIAL TIMBER

ABSTRACT

Artificial wood drying is an energy-intensive industrial process whose efficiency is of major importance from both economic and environmental perspectives. This study evaluates the energy consumption of convective and vacuum drying based on a case study conducted at a Hungarian wood-processing plant, with separate analyses for summer and winter cycles. Measured data from convective drying were compared with theoretical heat-balance calculations: in winter, thermal energy consumption exceeded the calculated value by about 17%, while in summer the deviation was only $\pm 4\%$. Summer electricity consumption was significantly lower, indicating the effectiveness of frequency-controlled fan operation. The annual total energy consumption of the vacuum dryer was only one-quarter to one-fifth of that of the convective system, although it showed a higher specific electricity demand per unit of dried timber. The results indicate that significant energy and cost savings can be achieved through technological optimization measures, such as heat recovery, frequency-controlled drives, and improved thermal insulation. The conclusions are based on the analysis of representative industrial cycles; however, their general applicability is limited by the number of cycles examined.

Keywords: wood drying, energy efficiency, convective drying, vacuum drying, carbon dioxide emission reduction, electricity consumption, sustainable industrial processes

KÁROSODOTT H2O JELŰ ZSALUZATTARTÓ GERENDA LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATA

HANTOS, ZOLTÁN^a

^a *Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, 9400 Sopron
email: hantos.zoltan@uni-sopron.hu*

DOI: <https://doi.org/10.35511/978-963-334-570-2-03>

ABSZTRAKT

A vasbeton szerkezetek zsaluzataihoz a gyártók saját rendszerként kínálnak különböző építő elemeket. Ezekből a leginkább elterjedteket az európai építőipar szabványosította is, így a szabványt követő gyártók termékei egymással felcserélhetőkké, illetve egymással kombinálhatókká váltak. A rendkívül elterjedt, széles körben alkalmazott zsaluelemek többszöri felhasználása költség- és hulladékgazdálkodási szempontból is kívánatos, de vajon hol van a határ, amikor az egyes elemeket, jelen esetben egy gerendát selejtezni kell, illetve kellett volna? A vizsgálat előzményét és indokát egy magyarországi építkezésen megtörtént munkahelyi baleset adta, a vizsgálatot rendőrségi nyomozás keretein belül, igazságügyi szakértői megbízatás formájában végeztük.

Kulcsszavak: H2O zsaluzattartó gerenda, rovarkárosodás, túlhasználat, teherbírás vizsgálat

1. BEVEZETÉS

Az Csongrád-Csanád Vármegyei Rendőr Főkapitányság *(továbbiakban: nyomozó hatóság)* büntetőeljárást folytatott ismeretlen tettes ellen, mivel 2024 nyarán, egy magyarországi építkezésen a betonozáshoz felállította zsalurendszer egyik gerendája a zsalurendszer szerelése közben eltört, és a rajta lévő munkások kb. 2,5 méteres magasságból lezuhantak. A munkások a baleset következtében különböző súlyosságú, de szerencsére életveszélyhez nem vezető sérüléseket szenvedtek. A rendőrségi nyomozás ilyen esetben az ok-okozati összefüggést, és ezzel egyidejűleg felmerülő személyi felelőst vagy felelősöket keresi.

Tekintettel arra, hogy a keresett ok-okozati összefüggés megválaszolásához a jogszabály szerint ú.n. különleges szakértelem szükséges, ezért a Hatóság Dr. Hantos Zoltán igazságügyi szakértőt rendelte ki, határozatában összesen három szakkérdést fogalmazott meg. A szakkérdésekkel kapcsolatos anyagvizsgálatok elkészítésére a nyomozó hatóság Dr. Fehér Sándort kirendelt társszakértőként rendelte ki, aki a Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Központi Vizsgálólaboratórium, Anyagvizsgáló és Faanyagvédelmi Részlegének vezetőjeként vesz részt a feladatban.

2. ELŐZMÉNYEK

2.1. A VIZSGÁLAT TÁRGYA

A nyomozó hatóság a baleset után azonnal helyszíni szemlét tartott, itt fényképekkel is rögzítette a baleset utáni állapotokat, továbbá bűnjelként lefoglalt egy eredetileg 3,90 m hosszú, ketté tört zsaluzattartó gerendát. A gerenda ~1,30 és a ~2,50 m hosszúságú darabjai 1/1 és 1/2 jellel kerültek a nyomozati leltárba.

2.2. DOKUMENTÁLT ELŐZMÉNYEK

A sajnálatos események előttről az érintettek kihallgatási jegyzőkönyvei szolgálnak némi információval. Ezekből megismerhető, hogy a gerenda a törés előtt milyen elrendezésben volt beépítve, milyen zsaluzati elemek, teher volt rajta, hányan tartózkodtak rajta, illetve körülötte, azok milyen feladatrészt végeztek, és a tevékenységük milyen többlet terhet jelenthetett.

Megjegyzendő, hogy ugyan egy tanúnak igazmondási kötelezettsége van, de a balesetben érintettek gyakran nem tudják rekonstruálni a körülöttük történt eseményeket, így az információk néha összefüggéstelenek, esetleg hiányosak. Ilyenkor különösen fontos, hogy a szakértő tisztában legyen az építkezés technológiai folyamataival, hogy rekonstruálható legyen a balesethez vezető szituáció.

2.3. A BALESET ELŐTTI ÁLLAPOTOK

- a) A baleset helyszínéül szolgáló építkezésen ú.n. monolit vasbeton födém zsaluzatát készítették elő. A zsaluzati rendszer elemei alatt állítható magasságú acél oszlopok (*födém támasz*), ezeket merevítő támasztó lábak (*háromláb*), H20 jelű, I szelvényű fatartók, és felületképző táblás anyagok (*zsaluhéj elemek*) összességét értjük, az alkalmazott rendszer elemek mennyisége, kiosztása, távolsága bizonyos határok között szabadon állítható.
- b) A baleset idején a zsaluhéj elemek fektetése folyt, ilyen állapotban a munkások már nem látják, hogy alattuk a további tartószerkezeti elemek milyen elrendezésben állnak, így ellenőrizni sem tudják, hogy a dúcolat kellően biztonságos-e ahhoz, hogy azon tartózkodjanak, mozogjanak, munkát végezzenek.
- c) A baleset előtti állapotokról nem állnak rendelkezésre értékelhető képi anyagok, pl. biztonsági kamera képfelvételek. A baleset során a tartó elemek elrendezése a baleset jellegéből kifolyólag megváltozott: a gerenda leszakadt, a zsaluhéj táblák és a munkások lezuhantak, a födém támaszok eldőltek. A helyszínen már ebben az állapotban sem lett volna lehetséges reprodukálni az eredeti elrendezést, ráadásul a zsaluelemeket még ehhez képest is el kellett mozgatni, hogy a balesetet szenvedett munkásokat kiszabadíthassák és ellátásukról gondoskodhassanak.
- d) A tanúvallomások alapján megállapítható, hogy a zsaluzat készítéséhez nem készültek tervek, azokat a rendszer utasítások és a „megszokás alapján” építették. Reális forgatókönyvet vázol fel az egyik tanúvallomás, hogy a zsalugerendákat alátámasztó oszlopokat szokás szerint csak a „végein” támasztották alá, az alátámasztások „besűrítését” később tervezték elkészíteni, miután a zsaluhéjat beszintezték. Ez a protokoll egyébként megfelel a hétköznapi gyakorlatnak, hiszen a zsaluzat kész állapotában 500~600 kg/m² frissen öntött betontömeget hord, ezért ahhoz, hogy néhány munkás építési feladatot végezessen, valóban nem szükséges a teljes oszloprendszer beépítése. Szakértői feltételezés tehát, hogy a balesetet egy lokális, egyedi hiba okozhatta.
- e) A fentiek alapján a vizsgálat a törött gerenda megfelelőségére kell, hogy korlátozódjon, illetve annak a megállapítására, hogy a gerenda törése az építés helyszínén elérhető eszközökkel (*elsősorban szemrevételezéssel*) előre látható volt-e vagy sem (*Hantos, 2025*).

3. VIZSGÁLAT

3.1. SZEMREVÉTELEZÉS ELVE

A gerenda gyártójának beazonosítása a gerenda felületkezelésének kopottsága miatt nem volt lehetséges. Érdekeség egyébként, hogy már a tanúvallomásokban is különböző gyártók szerint nevezték meg a gerendákat, ami azzal magyarázható, hogy az építőiparban megszokott, hogy egy-egy technológiát szabadalmaztató cég neve összeforr a technológiával, és kifejezéssé, elnevezéssé válik.

A vizsgálattal érintett H20 nevű zsaluzógerendát (20 cm magas, I szelvényre ragasztott fagerenda), számtalan gyártó termékkínálatában megtaláljuk. Mivel a H20 gerenda az EUR raklaphoz hasonlóan szabványosított termék (MSZT 2003). Az elérhető termékkatalógusok összevetése során megállapítható, hogy az egyes gyártók gerendáinak méretválasztékában és teherbírási jellemzőiben nincs különbség (hajlítónyomaték határértéke $M_H = 5 \text{ kNm}$, nyíróerő határértéke $Q_H = 11 \text{ kN}$), ezeket az adatokat még a webshopok is így tüntetik tüntetik a termék adatlapokon.

A törött gerenda felületén megsötétedett repedések, téglapor szennyeződés, penészfoltok is láthatók, ami azt igazolja, hogy a gerenda „járt már mindenütt”: volt esőn, tárolták nyirkos helyen, egyébiránt a túlhasználat jelei mutatkoznak rajta. A szennyeződések miatt jól szétválasztható a baleset során keletkezett, friss törés, és azok a régebbi sérülések, amik korábban keletkeztek. Megállítható tehát, hogy a gerenda régebbi gyártású, számos alkalommal használták, kisebb technológiai sérülések vannak rajta (fűrészszel ejtett sérülések, szegek, csavarok nyomai).

Annak megítélésére, hogy a gerenda sérülései okozhatták-e a teherbírás csökkenését, a gyártók különböző részletességű technológiai és minőségellenőrzési segédanyagai adhatnak iránymutatást. A nagy nevű gyártóknál ábrákkal illusztrált, jól követhető dokumentumok segítik a felhasználókat abban, hogy lehet-e darabolni a gerendát, mekkora furatokat szabad rajta készíteni és melyik részen, mekkora sérüléseket (pl. anyaghiány, fűrészvágás nyoma) szabad megengedni, és mik azok a sérülések, amikkel már tilos felhasználni a gerendát. Tekintettel arra, hogy az egyes gyártók ugyanolyan geometriai méretekkel és teherbírási adatokkal kínálják a H20 gerendát, szakértőként jó gyakorlatnak tekinthető, hogy a legrészletesebb, Doka által kiadott alkalmazási útmutatót tekintjük etalonnak (Németh, 2003).

A gerendák vizsgálata során megállapítást nyertek az alábbiak:

- a) A gerendán a Doka gyártó alkalmazási útmutatójában felsorolt mechanikai eredetű sérülések nem voltak láthatók, de a törés környezetében kiterjedt rovarrágás, tehát biológiai eredetű károsodás alakult ki.
- b) A kirepülő nyílás és rágáskép alapján azok különböző Cincér fajok károsításából erednek, ezek közül a leggyakoribb károsító a Házicincér (*Hylotrupes bajulus*). A házicincér épületekbe beépített fenyő faanyagok leginkább elterjedt rovarkártevője. Elsősorban a faanyag puhább, fehérjében gazdag szíjács részével táplálkozik, így főként a frissen beépített faanyagokat fertőzi, de régebbi faanyagokban is károsít. Álcái a fafelület az évgyűrűk mentén haladva rágcsálékkal eltömött, 4-6 mm átmérőjű ovális járatokat fúrnak, jellemzően érintetlenül hagyva a fafelületet, így a károsításra az idő előrehaladtával meglepetés-szerűen derül fény, amikor a laza alsó rétegről lemezesen leválik a fedőréteg. A rovar kifejlődése 3-5, de akár 15 évig is eltarthat, így az első kirajzásig is súlyos károkat okoz. A megtámadott faanyag több generációs visszafertőzésével a faszelvény jelentős arányában elveszti szilárdságát, végül jellemzően eltörik (Németh, 2003).

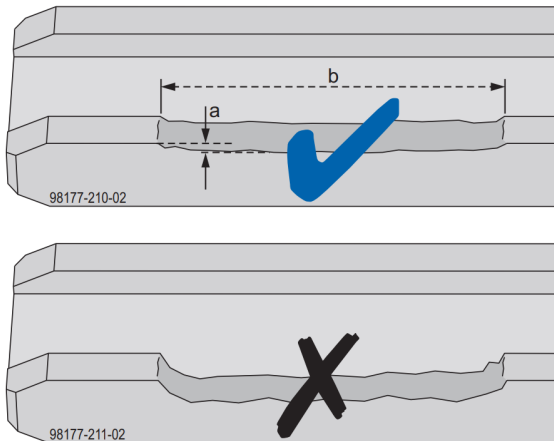
A rovarragás rendkívül szokatlan egy ilyen típusú gerenda esetében, hiszen a leírásból is látható, hogy rovarok megtelepedéséhez, károsításához hosszabb, éveken mérhető ideig van szükség kedvező életkörülményekre.

Ugyan elképzelhető, hogy a terméket eleve fertőzött faanyagból készítették, de a ragasztott termékeket műszárított fenyőfából gyártják, a műszárítás pedig általános szakmai vélekedés szerint „fertőtleníti” a faanyagot, hiszen a technológia során a faanyag belső hőmérséklete is meghaladja a 80~90°C-ot, ami elpusztítja a benne rejtőző rovarokat – akár pete, akár lárvá formájukban.

Szakértői feltételezés, hogy az idős, a használat során kopott, tehát a felületkezelő anyag védelmétől megfosztott gerendát huzamosabb ideig tárolták fertőzött területen, ami lehetett olyan raktár, ahol közvetlen közelségben bontott faanyagokat tároltak, de előfordulhatott az is, hogy fertőzött károsodott ácsszerkezetet dúcoltak, gyámoltattak az adott gerendával, és az érintkezés során fertőződhetett át a faanyag.

3.2. SZEMREVÉTELEZÉS MEGÁLLAPÍTÁSA

A károsodás eredetének felkutatása a baleset bekövetkeztében kisebb jelentőséggel bír, mint az, hogy a károsodást lehetett-e szabad szemmel látni, illetve milyen szaktudás szükséges annak felismerésére. A Doka használati útmutatója értelmében legfeljebb 500 mm hosszban, legfeljebb 10 mm mélységben megengedhető anyagihiányosság a tartó övének oldalfelületén. Ennél nagyobb sérülés esetén a gerenda felhasználása Tilos!



1. ábra. Doka alkalmazási útmutató, részlet.
Forrás: Doka GMBH, 2022



2. ábra. Anyagihiányosság a gerendán,
a törés környezetében. Forrás: szerző

A törés mellett megfigyelhető egy ezzel a mérettel összemérhető hosszúságú és mélységű anyagihiány, amiről az alábbi megállapítások tehetők:

- A rágási károsítást a cincér lárvái végzik, amik a kifejlett rovarok a fafelület felső rétegébe rakott petéikből kelnek ki. A lárvák a fejlődésükhöz szükséges tápanyagot a faanyag elfogyasztásával nyerik. A lárvák a járat kialakítása során táplálkoznak, így a járatok jellemzően ürülékkel (*faliszttel*) telítettek. A járatok csökkentik a faanyag dolgozó keresztmetszetét, és ezzel a teherbíró képességét.
- Első fázisában alig vannak felületi jelei a károsításnak, ekkor még csak néhány járat van a faanyagban.

- c) Második fázisban már megjelennek a kirepülő nyílások, ekkor az első generáció elkezdte a kirajzását, esetleg a visszafertőzést is. A károsítás mértéke még nem beazonosítható, de az egyedek számának függvényében akár egészen előre haladott is lehet. Faanyagvédelmi szakértő ebben a fázisban már észreveszi és felismeri a károsítást, rutin kérdése, hogy az okozóját is be tudja-e azonosítani.
- d) Harmadik fázisban a felület alatti járatok annyira behálózzák a faanyagot, hogy a fa külső 10~20 mm-es felülete leválik, alatta láthatóvá válnak a jellegzetes árkok, benne a furatliszt. A lárvák ekkor a faanyag védettebb, még tömör rétegeibe vonulnak tovább, a folyamat fokozódik. A faiparban jártas szakember ebben a fázisban már észreveszi és felismeri a károsítást, bár okozóját rendszerint nem tudja beazonosítani.
- e) A negyedik fázisban a rovarjáratok az alkatrész teljes szelvényét érintik, újabb és újabb rétegek válnak le a felületről, az egyre töredezetten, ebben a fázisban már laikus is észreveszi és felismeri a károsítást, és köznyelvi kifejezéssel szúrágással nevezi.



3. ábra. Negyedik fázisú rovarkárosítás a gerenda övelemén. Forrás: szerző



4. ábra. Negyedik fázisú rovarkárosítás a gerenda övelemén. Forrás: szerző

- f) A látható anyagiányon téglapor és egyéb szennyeződések láthatók, vagyis a felület leválása nem a baleset idején, hanem már jóval korábban megtörtént, a gerendát ebben az állapotában használták többször is. A harmadik fázisra utaló jel pusztán szemrevételezéssel is megállapítható volt a baleset előtt.
- A tanúvallomások alapján megállapítható, hogy a gerendák intézményesített vizsgálata sem a tulajdonos, sem a felhasználó részéről nem történt meg, az érintett munkások közül pedig – bár legtöbben állították, hogy észrevették volna a gerenda károsodását – faiparos végzettséggel egyik sem rendelkezik.
- g) A törési felület vizsgálata, és a szomszédos szakaszok faragása alapján megállapítható, hogy az adott gerenda károsodása már a negyedik fázisban állt *(ezért is történhetett meg a baleset)*, de a gerenda a látható sérülések alapján megbontás és faragás nélkül is egyértelműen a harmadik fázisba volt *(lett volna)* sorolható. Aki kellő ismerettel rendelkezik a farontó bogarak viselkedése, működése terén, az ebből rögtön azt is feltételezhette volna, hogy a károsodás akár már a negyedik fázist is elérhette, ezt azonban csak vizsgálattal, pl. a faanyag felületének megfaragásával lehetett, illetve lehetett volna megállapítani.

3.3. MŰSZERES VIZSGÁLAT

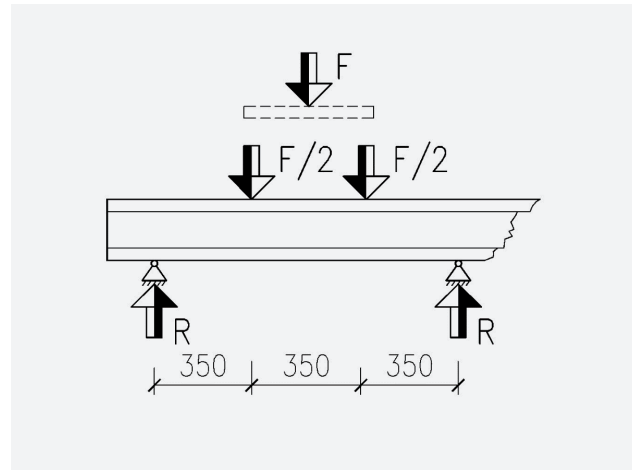
A ragasztott fagerendák esetében a nedves környezetben tárolás idővel a ragasztási szilárdság csökkenését okozhatja. Ugyanígy, az esetlegesen korábban túlterhelt, túlfeszített gerenda belső, kismértékű belső sérülései szintén okozhatják a gyári teherbírási képesség csökkenését. Az ilyen jellegű teherbírás csökkenés szabad szemmel nem látható, így egy esetleges szemrevételezéssel megejtett minőségellenőrző vizsgálaton sem derül ki egyértelműen.

A tartógerenda ép szakaszának vizsgálata laboratóriumi körülmények között, műszeres terhelési próbával történt, az MSZ EN 408:2010+A1:2012 szabvány (MSZT, 2012) iránymutatásainak felhasználásával, épp azért, hogy kiszűrjessük a vizsgálat emberi tényezőit.

A vizsgálathoz a tartó mindkét darabján 1050 mm-es támaszközű, 1/3~1/3~1/3 elrendezésű négyponthoz hajlító vizsgálatot végeztünk. A négyponthoz vizsgálat esetében a nyomófej terhelését és alakváltozását mérjük, illetve regisztráljuk, a gerenda tönkremenetele olykor hangos recsenéssel, máskor a grafikon futásából azonosítható be.



5. ábra. Terhelési vizsgálat. Forrás: szerző



6. ábra. Terhelési modell elrendezése

A mérések eredményeit a Dr. Fehér Sándor laboratóriumi vizsgálatát összefoglaló jegyzőkönyv (Fehér 2025) ismerteti. Az eredmények értékeléséhez az alábbi táblázat nyújt segítséget.

A nyomófej által mért terhet a négyponthoz hajlítási elrendezés miatt meg kell felezni, így kapjuk meg a támaszerőket. A kialakuló nyomaték a támaszerő és a fesztáv 1/3 részének szorzataként születik. A határértékeket a H20 zsalugerendák gyártói adatszolgáltatása alapján vettem fel, nyíróerőre (Q_H) 11 kN, hajlítónyomatékra (M_H) 5 kNm értékkel.

1. táblázat. A vizsgálati eredmények összefoglalója

Próbateszt címke	F_{max}	Nyíróerő $V = F_{max}/2$	Q_H	Megállapítás	Nyomaték $M = V \times 0,35$	M_H	Megállapítás
	[kN]	[kN]	[kN]		[kNm]	[kNm]	
1/1	25,25	12,63	11	$V > Q_H$	4,42	5	$M < M_H$
1/2	47,1	23,55	11	$V > Q_H$	8,24	5	$M > M_H$

Megállapítható, hogy nyíróerő tekintetében mindkettő gerenda szakasz magasabb terhelést bírt ki, mint a gyártói előírás, míg hajlítónyomaték tekintetében az 1/1 gerenda szakasz gerendája $4,42/5,0 = 88,4\%$ -os teljesítményt nyújtott; a mintegy 12%-os teherbírás csökkenés a gerenda elhasználódásával magyarázható, ilyen jelenség pl., hogy a tartósan nedves, nyirkos környezetben történő tárolás tönkreteszi a forgácslapot, gyengíti a ragasztott kötést.

3.4. STATIKAI VISSZAELLENŐRZÉS

A tanúvallomások alapján tudható, hogy a gerenda a baleset idején csak a végeinél volt alátámasztva, így a statikai modell kéttámaszú tartó, az alátámasztási köz $L=3,8$ m-re vehető fel.

Szintén tudható, hogy a zsaluhéj már fenn volt a gerendán, hiszen épp ezt szegezték a munkások a baleset idején. A zsaluhéj egyenletesen megoszló terhelésként modellezhető, $g_k = 0,2$ kN/m² értékkel (20 kg/m²). A gerendák kiosztása $t = 0,5$ m, ami azonos a zsalutáblák szélességével.

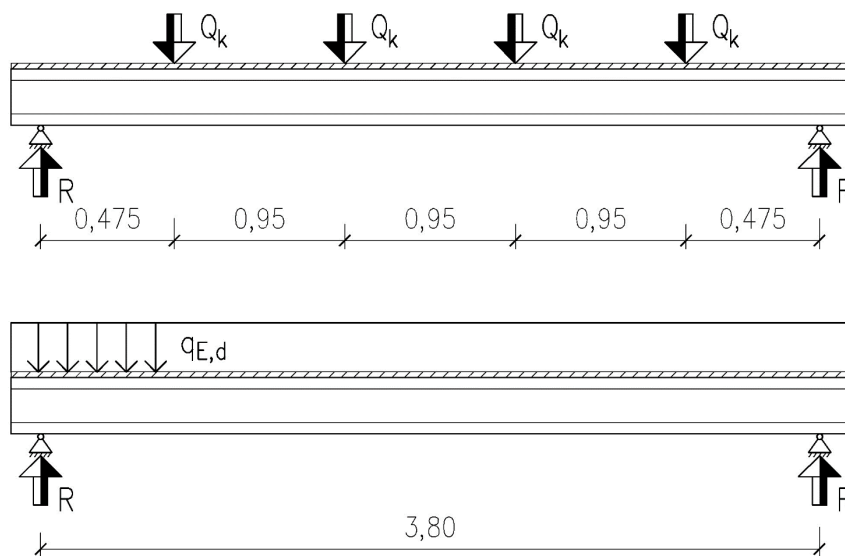
Szélsőséges helyzetként azt modelleztem, hogy a szerencsétlen pillanatban épp mind a 4 munkás az érintett gerenda felett tartózkodott. Négyük átlagos testsúlyát $Q_k = 0,85$ kN (85 kg) értékkel vettem figyelembe, egyenletes távolságokban állva.

A számolás során az EuroCode 5 szabvány (MSZT, 2015) iránymutatásai szerint az önsúlyra $\gamma_g = 1,35$, míg a hasznos terhekre $\gamma_q = 1,5$ értékű biztonsági tényezőt vettem figyelembe, tehát voltaképpen $0,85 \times 1,5 = 127,5$ kg testsúlyt alkalmaztam.

Azt, hogy az építés közben milyen egyéb terhek lehettek az érintett gerendán (zsalutábla köteg, egyéb beépítendő segédanyag), nem lehet sem a tanúvallomásokból, sem a helyszínelési jegyzőkönyvből beazonosítani, így illet nem vettem figyelembe.

A számítást kéttámaszú tartóra készítettem el, a munkások testsúlyát egyenletes megoszló teherrel helyettesítettem.

Megállapítható, hogy a fellépő hajlító nyomaték $M_{E,d} = 1,87$ kNm töredéke a gerenda elvárt, illetve a törésteszten kimutatott határértékének, így megállapítható az is, hogy a gerenda a rovarrágással nem érintett szakaszain az avulás és elhasználódás ellenére is bőven elegendő teherbírással rendelkezett ahhoz, hogy 4 munkás mozoghasson, tartózkodhasson rajta. A törés okaként így a rovarkárosítás miatt kialakult, lokális teherbírás csökkenés nevezhető meg.



7. ábra. A baleset előtti situáció tartószerkezeti modellezése

Zsaluhéj súlya:	$g_k = 0,2 \text{ kN/m}^2$
Gerenda osztásköz:	$t = 0,5 \text{ m}$
Önsúly tervezési értéke:	$g_{E,d} = g_k \times t \times \gamma_G = 0,2 \times 0,5 \times 1,35 = 0,135 \text{ kN/m}$
Munkások súlya:	$Q_k = 0,85 \text{ kN}$
Koncentrált teher távolsága:	$k = 0,95 \text{ m}$
Hasznos teher tervezési értéke:	$q_{E,d} = Q_k/k \times \gamma_Q = 0,85/0,95 \times 1,5 = 0,90 \text{ kN/m}$
Fesztáv:	$L = 3,80 \text{ m}$
Fellépő nyomaték:	$M_{E,d} = (g_{E,d} + q_{E,d}) \times L^2/8 = (0,135 + 0,90) \times 3,82/8 = 1,87 \text{ kNm}$

4. MEGÁLLAPÍTÁSOK

- a) A gerenda rendkívül kopott, elhasznált állapotú volt. A gerenda felületén penészfoltok, ázás nyomok láthatók, és – mivel a faanyag és a forgácslap nedvességfelvétele nem akadályozott – a gyártási ragasztás is kismértékben meggyengült. A fizikai avulásból eredő teherbírás csökkenés lokálisan 12% értékkel mutatható ki, szabad szemmel azonban ez nem volt mérhető, mindössze úgy fogalmazható meg, hogy a gerenda „rossz benyomást keltett”. Szűkös anyagi lehetőségek között érthető, hogy felhasználták, ezzel a hibával, gyári alátámasztási közők alkalmazásával, kevésbé kritikus helyen valószínű hibamentesen teljesítette volna a feladatát.
- b) A gerenda egyik öve a hosszúság $\sim 1/3$ részén rovarrágást szenvedett. A rovarrágás látható része 400~500 mm-t tett ki, a felület 5~10 mm mélységben volt érintett. Ha csak a geometriai hiányt mérjük, ezzel még meg is felelt volna a Doka gyártó által átláthatóan dokumentált minőségellenőrző vizsgálaton, de mivel a károsodás nem mechanikai eredetű volt (*pl. belevágtak fűrészszel*), hanem biotikus (*cincérrágás*), ezért a tényleges anyaghiány a láthatónál nagyobb szelvény keresztmetszetet érintett, a lokális anyaghiány súlyos mértékben lecsökkentette a gerenda hajlítási teherbírását.
- c) A zsaluzat építése közben a gerenda tartók alátámasztásait csak az összeállításhoz szükséges mennyiségben építették be. Érthető lépés, hiszen amíg a szerkezet magassági pozíciója nincs szintezve, a túlelemeléseket nem alakítják ki, sokkal egyszerűbb és észszerűbb, ha kevesebb alátámasztási ponttal kell dolgozni. Ebben a fázisban a terhelés lényegesen kisebb, mint betonozás közben, ezért a szerkezet rendszerint ritkább alátámasztási közzel is stabil. Az alátámasztásokat a jelentősebb terhek érkezése előtt (*betonacél szerelés*) tervezték besűríteni, a baleset idején még nem végezték el. Megjegyzendő, hogy csak ez a lépés önmagában, ép gerenda esetén még nem vezetett volna a vizsgált balesethez, mivel egy ép gerenda teherbírása bőven meghaladja a négy munkás testsúlyából származó igénybevételeket.
- d) A gerenda egy alkalmatlan pillanatban, amikor is a négy munkás testsúlyából eredő teher, a ritkább alátámasztásból eredő, kiugró értékű hajlítónyomaték, és az érintett gerenda lokális teherbírás csökkenése kedvezőtlen állt együtt, eltört.
- e) A törés közvetlen mechanikai oka azzal magyarázható, hogy az I tartók esetében a teherbírást az adja, hogy az alsó övben ébredő húzóerő és a felső övben ébredő nyomóerő között a gerenda geometriája biztosít egy külpontosságot, ezek szorzata pedig meghatározza a teherbírást. A károsodott öv valószínűleg alulra került, a benne ébredő húzóerő mértéke meghaladta a rovarkárosítás miatt súlyos mértékben lecsökkent szelvénykeresztmetszet teherbírását, az

pedig tompa töréssel elpattant. Az alsó öv kiesett a teherbírasi rendszerből, a felső öv pedig önmagában alkalmatlan volt arra, hogy a rajta lévő terheket az alsó öv részvétele nélkül elviselje, így ez is eltört.

f) A rendelkezésre álló tanúvallomások alapján megállapítható, hogy gerendák ellenőrzésére nem volt felelős kijelölve, az építkezésen pedig egyébként sem volt olyan dolgozó, aki végzettsége okán fel tudott volna ismerni egy farontó rovar károsítást. A hiba valóban nem volt látványos, különösen azért, mert a gerenda szennyezett volt, ezért az is feltételezhető, hogy ha látta is valamelyikük, nem tulajdonított neki jelentőséget.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A H20 gerenda egy többször alkalmazható építéstechnológiai segédanyag, ami fából és faalapú lemezből készül. Elhasználódása a túlterhelésből, kültéri, nedves helyen történő beépítésből, mozgatás, szállítás, beépítés vagy bontás közbeni sérülésekből, illetve egyszerűen csak kopásból is következhet, arra azonban, hogy rovarkárosítás okozza a tönkremenetelt, kevés példát találhatunk. Nehéz összeegyeztetni ugyanis a zsálugerenda alkalmazásának körülményeit azzal, hogy utólagos rovarfertőzés alakulhasson ki benne, hiszen ahelyett, hogy nyugodt, egyenletes, és kedvező klímatis viszonyok között állna, rendszerint mozog, szállítják, dobálják, kalapálják. Szakmai alapvetés, hogy a rovarfertőzés vagy az erdei környezetből ered, de az műszáritási technológiával rendszerint kiiktatható, vagy utólag alakul ki, de ahhoz – biológiai folyamat révén – kedvező körülmények és idő szükséges. Sajnos nem ismerjük a vizsgált gerenda előéletét, de a rovarkárosítás ebben az esetben emberi figyelmetlenséggel párosulva okozott balesetet.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A Szerző köszönettel tartozik Dr. Fehér Sándornak a Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Központi Vizsgálólaboratórium, Anyagvizsgáló és Faanyagvédelmi Részlegének vezetőjének és Dr. Báder Mátyás tudományos segédmunkatársnak a laboratóriumi vizsgálatokban nyújtott segítségükért.

SZERZŐI NYILATKOZATOK

Dr. Hantos Zoltán – igazságügyi szakértő, szerző, koordinátor

FINANSZÍROZÁSI FORRÁSOK

A vizsgálatokat a Csongrád-Csanád Vármegyei Rendőr Főkapitányság, igazságügyi szakértői kirendelés körében finanszírozta.

REFERENCIÁK

- HANTOS, Z., 2025. Igazságügyi szakértői vélemény – Károsodott H20 jelű zsaluzattartó gerenda vizsgálata (az ügyszám és egyéb adatok nem publikusak), Harka, 13 p.
- MSZ EN 13377, 2003. Előre gyártott fa zsaluzattartók. Követelmények, osztályozás és értékelés, Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.
- DOKA GmbH, 2022. Doka beam H20 basic – User Information, Amstetten, 20 p.
- NÉMETH, L., 2003. *Faanyagok és faanyagvédelem az építőiparban*, Agroinform Kiadó, Budapest,
- MSZ EN 408, 2010+A1:2012. Faszervezetek. Szerkezeti fa és rétegelt-ragasztott fa. Egyes fizikai és mechanikai tulajdonságok meghatározása, Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.
- MSZ EN 1995-1-1, 2004/A2:2015. Eurocode 5: Faszervezetek tervezése. 1-1. rész: Általános szabályok. Közös és az épületekre vonatkozó szabályok, Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF A DAMAGED H20 FORMWORK SUPPORT BEAM

ABSTRACT

Manufacturers offer various building elements as their own systems for the formwork of reinforced concrete structures. Among these, the most widespread elements have also been standardized by the European construction industry, allowing products from manufacturers that comply with the relevant standards to be interchangeable and compatible with one another. The repeated use of these widely applied formwork elements is desirable both economically and from a waste-management perspective. But where is the limit at which individual elements—here, a beam—must or should have been discarded? The background and motivation for this investigation stem from a workplace accident that occurred at a construction site in Hungary. The study was carried out within the framework of a police investigation, in the form of a forensic expert assignment.

Keywords: H20 formwork beam, insect damage, overuse, load-bearing capacity assessment

STUDY ON MOISTURE DIFFUSION IN STRUCTURAL ADHESIVES

OMAR SABER ZINAD^a, CSILLA CSIHA^b

^a Ph.D. Student, University of Sopron, Faculty of Wood Engineering and Creative Industries, Sopron, 9400 Hungary, email: omar.saber.khalaf.zinad@phd.uni-sopron.hu

^b Associate Professor, University of Sopron, Faculty of Wood Engineering and Creative Industries, Sopron, 9400 Hungary, email: csiha.csilla@uni-sopron.hu

DOI: <https://doi.org/10.35511/978-963-334-570-2-04>

ABSTRACT

This study examines water vapor diffusion behaviour of a commercial structural adhesive, meant to be used in engineered wood products, in comparison with a lasure. The results demonstrate a pronounced and systematic difference in diffusion behaviour between the two systems. Lasure-coated specimens exhibited higher water vapor permeability, confirming their semi-permeable nature and ability to facilitate controlled vapor diffusion. In contrast, specimens coated with the structural adhesive showed substantially lower permeability and water vapor flow rates, indicating a strong diffusion-hindering effect. Under identical environmental conditions, the water vapor permeability of the adhesive-coated samples was more than four times lower than that of the lasure-coated specimens.

The contrast between vapor-permeable lasure systems and vapor-blocking structural adhesives highlights the potential for moisture gradients and stress development at the adhesive-wood interface during service. The findings highlight the critical need to consider formulating the structural adhesive systems, similar to lasures, to enable controlled vapor transport and enhance the long-term durability and structural safety of engineered wood products especially meant for constructions.

Keywords: water vapor diffusion, structural wood adhesive, lasure

1. INTRODUCTION

The increasing demand for sustainable construction materials has promoted the adoption of engineered wood products (EWPs) as environmentally favorable alternatives to conventional materials such as concrete and steel (Zinad & Csiha, 2024a; Clements-croome, 2021). Wood-based systems offer high embodied carbon, lower greenhouse gas emissions, and efficient utilization of renewable resources (Gustavsson et al., 2006). Consequently, products such as cross-laminated timber (CLT) and glued laminated timber (GLT) can become central elements in modern structural design.

Despite these advantages, wood remains a hygroscopic and moisture-sensitive material (Gereke, 2009; Rafsanjani et al., 2012). Variations in ambient relative humidity induce continuous moisture uptake and release, leading to swelling and shrinkage that depend on both moisture content and wood species (Sonderegger et al., 2015).

Water transport in wood occurs through a combination of vapor diffusion, bound-water diffusion within cell walls, and capillary transport through lumens and voids (Siau, 1984; Thybring et al., 2022). Numerous studies have demonstrated that wood anatomy, density, temperature, and moisture content strongly influence diffusion behaviour. In adhesive-bonded engineered wood products, individual lamellae are mechanically restrained by adhesive layers. During service, moisture gradients frequently develop across the thickness of the element, also moisture transport is no longer controlled solely by the wood substrate, the adhesive layer may act as a diffusion barrier if its vapor permeability is substantially lower than that of wood (Zinad & Csiha, 2024b; Kläusler et al., 2013; Mannes et al., 2009).

Structural adhesives are primarily designed to ensure mechanical integrity and long-term strength. Many commercially available structural adhesives exhibit dense polymer networks and high molecular weight, which can reduce water-vapor permeability (Dachev et al., 2025). In contrast lasures,- one of the outdoor coating materials,- are intentionally formulated to be semi-permeable, allowing controlled vapor transport while limiting water diffusion.

Polyurethane (PUR), phenol-resorcinol-formaldehyde (PRF), melamine-urea-formaldehyde (MUF), and emulsion polymer isocyanate (EPI) adhesives are widely used in structural applications due to their high strength and water resistance. However, vapor permeability is not typically prioritized during the production of these adhesives.

When moisture diffusion is hindered, asymmetric moisture distributions may develop across bonded layers, resulting in differential swelling and shrinkage. This mismatch generates stresses at the adhesive wood interface, increasing the risk of micro-cracking, delamination, and long-term degradation. In contrast to structural adhesives, lasures as outdoor coating materials are designed to be vapor-permeable (De Meijer & Militz, 2000; Sonderegger et al., 2015). As a result of targeted design, their internal molecular structures are engineered to allow water vapor diffusion while providing protection against liquid water.

While moisture diffusion in solid wood has been extensively studied, comparatively little attention has been paid to diffusion through adhesive layers themselves.

To study the water vapor permeability of a structural adhesive, a lasure is considered a suitable reference due to its targeted formulation. The results can contribute to optimizing the structural adhesive formulation for water vapor permeability, thereby supporting the long-term durability of engineered wood structures.

2. EXPERIMENTAL WORK

2.1 MATERIAL

2.1.1 Structural Adhesives JOWAPUR 681-60 (Jowat SE Co., Detmold, Germany). This adhesive is a gap-filling, fiber-reinforced, one-component commercial polyurethane adhesive specifically designed for load-bearing wood structures. According to the manufacturer's data sheet, the recommended application rate of adhesive is 120–200 g/m². This particular adhesive was selected not only for its structural performance but also due to its commercial availability. The maximum open time for Jowapur® 681.60 at a temperature of 20°C, a wood MC 12%, and a RH 65% is max. 60 minutes. If finger jointing procedures are to be carried out, the prescribed pressure of approximately. 7.5–10.0 MPa, must be applied onto the joint for at least 1 or 2 seconds, depending on the applicable product standard. After that, parts bonded with Jowapur® 681.60 are to be stored for a minimum

curing time of 100 minutes (20°C , MC 12%). During curing, it is imperative to prevent any mechanical load/strain on the bonded parts. If GLT or CLT are manufactured, the recommended pressure is 0.6–1.0 MPa.

2.1.2 *Lasures* are penetrative but film forming wood finishes proposed for outdoor use in Europe and also in Hungary. Due to their specially designed molecule size/structure they offer a promoted vapor permeability associated with a moderate water uptake. Several studies have demonstrated the effectiveness of lasures in reducing moisture uptake and improving UV resistance (Temiz et al., 2005). The lasure used for experiments was purchased from OBI Hungary (Sopron, Hungary) as shown in Figure 1. It has a density of 1300 g/l, and contains binders (linseed oil and acrylic polymers), pigments (iron oxides and titanium dioxide), solvent, and aqueous phases for application.



Figure 1. Lasures used in study. Source: Author

2.2 SAMPLE PREPARATION

As shown in Figure 2., beech wood (*Fagus sylvatica*) was selected as a wood material with a relatively uniform wood structure, to enable a controlled comparison between samples coated with structural adhesives and those coated with lasure. Defect-free beech boards were selected with uniform radial grain orientation. The boards were conditioned at 40°C until reaching an equilibrium moisture content of approximately 12%, then sanded to a uniform thickness of 10 mm and carefully dedusted. Four boards were chosen, and one surface of each board was subsequently coated either with the commercial structural adhesive or with the lasure using a hand-held roller. The application amount was controlled to achieve a homogeneous, bubble-free layer, with a target coating mass of approximately 150 g/m^2 . The samples were dried at room conditions for 24 h. After curing, fifteen disk-like circular specimens with a diameter of 100 mm were cut. Water-vapor diffusion was evaluated using the standardized cup method in accordance with ISO 12572 and ASTM E96/E96M (E96-95, 2004; ISO 12572-1, 2016; Wadsö, 1993). The method involves sealing the wood specimens (wood disk coated with adhesive or lasure) over a cup containing silica gel to absorb humidity inside a cup and to create a controlled vapor-pressure gradient between two environments of different relative humidity (Figure 2.). Mass change over time is recorded until steady-state conditions are reached. Diffusion coefficients are calculated based on the steady-state mass transfer rate, specimen geometry, and vapor-pressure difference, applying Fick's first law.

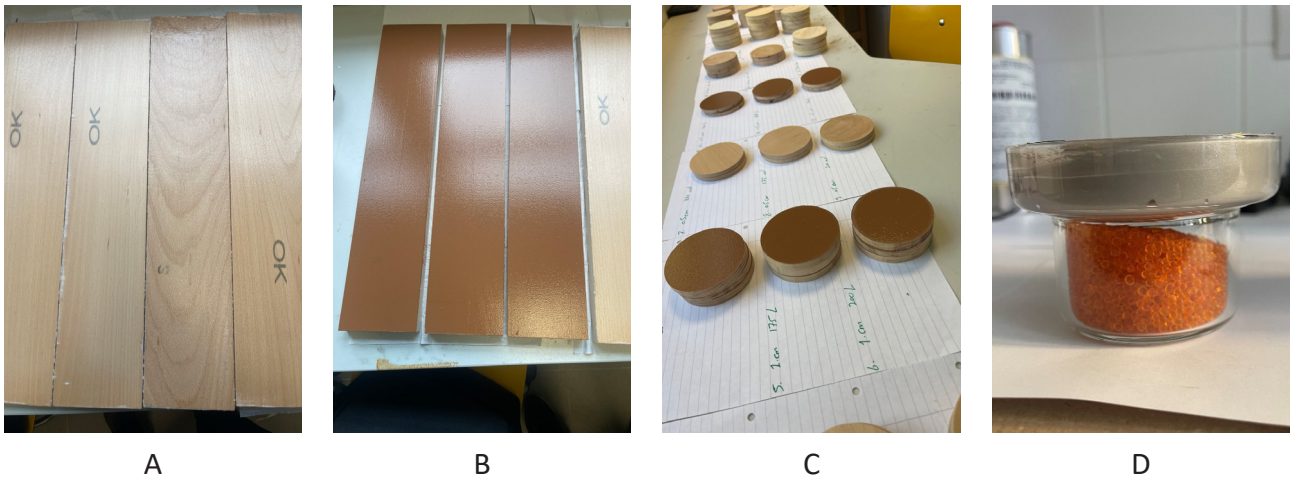


Figure 2. Beech wood specimens prepared for water vapor diffusion testing: (A) beech wood with structural adhesive, (B) beech wood with lasure, (C) circular beech wood disk specimens after machining, and (D) assembled specimens mounted on cups for diffusion measurements. Source: Author

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

As shown in Figure 3, a clear and systematic difference in water vapor diffusion behaviour was observed between beech wood specimens coated with lasure and those coated with the commercial structural adhesive.

ASTM E96/E95 and ISO 12572:2016, define the diffusion coefficient in steady-state conditions. In this regime, diffusion is characterized by the linear portion of the mass-change curve, where the mass increase becomes proportional to time and the water-vapor flow rate can be reliably determined from the slope.

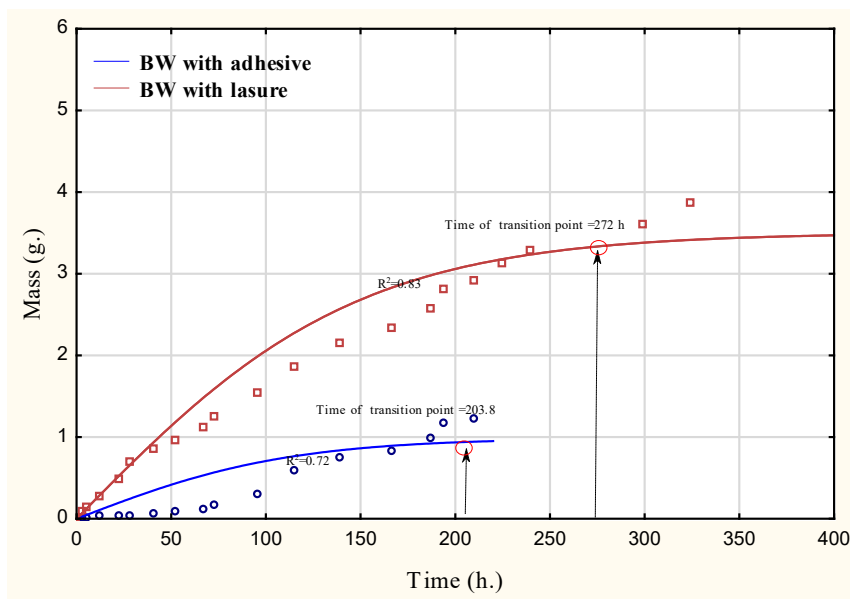


Figure 3. The mass change over time for beech wood with adhesive / lasure

Once steady conditions were established, the mass–time relationships became linear, allowing determination of the water vapor flow rate (G) and the permeability of water vapor (δ) as parameters of diffusion.

Beech wood coated with lasure exhibited a permeability $\delta = 1.41 \times 10^{-14} \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$ and a corresponding vapor flow rate of $G = 0.001119 \text{ g}/\text{h}$. In contrast, specimens coated with the commercial adhesive showed markedly lower steady-state values, with $\delta = 0.31 \times 10^{-14} \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$ and $G = 0.000244 \text{ g}/\text{h}$. These results indicate that, under identical environmental conditions, the adhesive-coated samples exhibited more than a fourfold reduction in vapor permeability compared with lasure-coated samples. The substantially higher permeability of the lasure-coated beech wood confirms its semi-permeable character, allowing controlled vapor transport through the coated surface. Conversely, the structural adhesive acts as an effective vapor barrier, restricting moisture flow even after steady diffusion conditions are reached. This pronounced contrast demonstrates that, vapor transport is governed primarily by the permeability characteristics of the applied layer rather than by the wood substrate itself.

From a structural perspective, these findings highlight the fundamental difference between lasure and adhesive systems: while lasure enables moisture redistribution and vapor pressure equilibration, the adhesive imposes a strong diffusion resistance that may promote moisture gradients and stress accumulation at the bond line during service. This comparison provides direct experimental evidence supporting the need to consider vapor permeability as a functional design parameter when developing structural adhesives for engineered wood applications.

4. CONCLUSION

This study presents an experimental comparison of water vapor diffusion of a commercial structural adhesive and a commercial lasure on beech wood specimens, evaluated in accordance with ASTM E96/E95 and ISO 12572:2016. Specimens coated with lasure showed substantially higher water vapor permeability and served as suitable reference due to their targeted formulation allowing regulated vapor transport. In contrast, the structural adhesive was found to hinder vapor diffusion, functioning as an effective barrier. Under identical environmental conditions, both the water vapor flow rate and the diffusion coefficient of the structural adhesive were approximately one-quarter of the corresponding values measured for the lasure-coated specimens, indicating a considerably lower vapor permeability. This behavior can be attributed to the dense polymer structure and higher molecular weight of the adhesive layer, compared to a resin designed targeted for supporting water vapor diffusion. Actually, structural adhesives tend to hinder vapor movement, which may lead to moisture gradients and stress development at the adhesive wood interface during service.

REFERENCES

- CLEMENTS-CROOME, D., 2021. Sustainable intelligent buildings for people : A review. *Intelligent Buildings International* ISSN:, 8975(2011), 67–86. <https://doi.org/10.1080/17508975.2011.582313>
- DACHEV, D., KAZILAS, M., ALFANO, G., & OMAIREY, S., 2025. Towards Reliable Adhesive Bonding : A Comprehensive Review of Mechanisms , Defects , and Design Considerations. *Materials*, 18(2724), 1–31. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ma18122724>
- DE MEIJER, M., & MILITZ, H., 2000. Moisture transport in coated wood. Part 1: Analysis of sorption rates and moisture content profiles in spruce during liquid water uptake. *Holz Als Roh- und Werkstoff*, 58(5), 354–362. <https://doi.org/10.1007/s001070050445>
- E96-95, A., 2004. *Standard test methods for water vapor transmission of materials—ASTM E96-95*. In ASTM: West Conshohocken, PA, USA.
- GEREKE, T., 2009. *Moisture-induced stresses in cross-laminated wood panels* (Doctoral thesis). In DISS. ETH No. 18427. Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering, ETH Zurich (Number 18427). University of Leipzig.
- GUSTAVSSON, L., MADLENER, R., HOEN, H. F., JUNGMEIER, G., KARJALAINEN, T., KLÖHN, S., MAHAPATRA, K., POHJOLA, J., SOLBERG, B., & SPELTER, H., 2006. The role of wood material for greenhouse gas mitigation. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11(5–6), 1097–1127. <https://doi.org/10.1007/s11027-006-9035-8>
- ISO 12572-1., 2016. *Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of water vapour transmission properties – Cup method (Vol. 2016)*. European Committee for Standardization.
- KLÄUSLER, O., CLAUSS, S., LÜBKE, L., TRACHSEL, J., & NIEMZ, P., 2013. Influence of moisture on stress-strain behaviour of adhesives used for structural bonding of wood. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 44, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2013.01.015>
- MANNES, D., SONDEREGGER, W., HERING, S., LEHMANN, E., & NIEMZ, P., 2009. Non-destructive determination and quantification of diffusion processes in wood by means of neutron imaging. *Holzforschung*, 63(5), 589–596. <https://doi.org/10.1515/HF.2009.100>
- RAFSANJANI, A., DEROME, D., & CARMELIET, J., 2012. The role of geometrical disorder on swelling anisotropy of cellular solids. *Mechanics of Materials*, 55, 49–59. <https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2012.08.002>
- SIAU, J. F., 1984. Steady-State Moisture Movement. In: *Transport Processes in Wood* (pp. 151–174). https://doi.org/10.1007/978-3-642-69213-0_6
- SONDEREGGER, W., GLAUNSINGER, M., MANNES, D., VOLKMER, T., & NIEMZ, P., 2015. Investigations into the influence of two different wood coatings on water diffusion determined by means of neutron imaging. *European Journal of Wood and Wood Products*, 73(6), 793–799. <https://doi.org/10.1007/s00107-015-0951-8>

TEMİZ, A., YILDIZ, U. C., AYDIN, I., EIKENES, M., ALFREDSSEN, G., & Çolakoglu, G., 2005. Surface roughness and color characteristics of wood treated with preservatives after accelerated weathering test. *Applied Surface Science*, 250(1–4), 35–42.

<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2004.12.019>

THYBRING, E. E., FREDRIKSSON, M., ZELINKA, S. L., & GLASS, S. V., 2022. Water in Wood: A Review of Current Understanding and Knowledge Gaps. *Forests*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/f13122051>

WADSÖ, L. (1993). *Studies of water vapor transport and sorption in wood*. Lund University.

ZINAD, O. S., & CSIHA, C., 2024A. Improving sustainability of mortar by wood-ash and Nano-SiO₂. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9.

<https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100597>

ZINAD, O. S., & CSIHA, C., 2024B. Review on water vapor diffusion through wood adhesive layer. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 52(4).

<https://doi.org/10.5658/WOOD.2024.52.4.301>

NANOCELLULOSE FOR TISSUE ENGINEERING: PROPERTIES, SCAFFOLDS, AND CLINICAL CHALLENGES

ATHRAA B. RADHI^{a*}, NAHIDAH I. HAMMDI^b, ANWAR Y. ZAAEN^c, LINA F.D. AL-HEETY^d

^a *Department of Laboratory and Clinical Sciences, College of Pharmacy, University of Anbar, Anbar, Iraq*

^b *Department of Laboratory and Clinical Sciences, College of Pharmacy, University of Anbar, Anbar, Iraq*

^c *Department of Drugs and Toxicology, College of Pharmacy, Anbar University, Anbar, Iraq*

^d *Department of Biotechnology, College of Science, University of Anbar, Anbar, Iraq*

* *Corresponding author : Athraa B. Radhi , Email: ph.athraa.radhi@uoanbar.edu.iq*

DOI: <https://doi.org/10.35511/978-963-334-570-2-05>

ABSTRACT

Nanocellulose has been recognized as an important biomaterial for tissue engineering applications, given its tailorable mechanical properties, high water retention capacity, and good biocompatibility. In this review, we present an overview of preparation, modification, and application strategies for three prominent nanocellulose materials: bacterial nanocellulose (BNC), cellulose nanocrystals (CNCs), and cellulose nanofibrils (CNFs). Electrospinning, freeze-drying, and three-dimensional bioprinting are discussed as widely used methods for creating scaffolds, with consideration given to parameters that affect hydrogel formation, porosity, and mechanical properties for wound healing, bone, cartilage, and vascular tissue regeneration. BNC is often used as a primary hydrated matrix for cell integration, while CNCs and CNFs are used to reinforce scaffolds to increase their rigidity, toughness, and printability. In addition, surface modification, blending with other materials, including natural and synthetic polymers, and bioactive agents, including growth factors, are discussed as strategies to modulate degradation, support angiogenesis, and prevent unfavorable immune responses. However, several challenges remain, including the lack of long-term in vivo degradation and remodeling studies, risks of fibrotic encapsulation, and unclear durability under cyclic loading and pulsatile flow. Further challenges include scalable manufacturing, batch-to-batch reproducibility, and regulatory hurdles with regard to purity and safety. Future studies must address these challenges by using stimuli-sensitive hybrid materials, anisotropic scaffolds with graded properties, and large animal studies to mimic long-term cyclic loading and pulsatile flow.

Keywords: Nanocellulose, Tissue engineering, 3D bioprinting, Wound healing, Bone regeneration, Cartilage re-pair, Vascular grafts, Regenerative medicine, Biomaterials

1. INTRODUCTION

Engineered nanomaterials have been extensively developed over recent decades for nanotechnology applications and can address diverse needs in the biomedical field as well as in strategies to reduce environmental contamination (Albalawi *et al.*, 2021). Over the last two decades, naturally derived materials such as starch, alginate, cellulose, chitosan, elastin, collagen, and gelatin have been

widely investigated for biomedical use, particularly in tissue engineering scaffolds, wound dressings, vascular grafts, medical implants, and drug delivery systems (Czaja *et al.*, 2006). Among these biopolymers, cellulose is renewable, inexpensive, and mechanically robust, which makes it a material of choice for designing composite scaffolds for tissue engineering applications (Czaja *et al.*, 2006; Habibi, Lucia–Rojas, 2010; Shi *et al.*, 2012; Tashiro–Kobayashi, 1991). When cellulose is processed at the nanoscale, it yields nanocellulose, typically in the form of particles or fibrils with characteristic dimensions on the order of hundreds of nanometers (Habibi, Lucia–Rojas, 2010). Nanocellulose exhibits a combination of desirable properties, including high stiffness, large specific surface area, enhanced pore interconnectivity and porosity, favorable electrical and optical behavior, low density, and biodegradability (Alexandrescu *et al.*, 2013; Roman *et al.*, 2009). Although nanocellulose is most commonly obtained from natural lignocellulosic sources, industrial residues such as brewery waste and municipal wastes such as used cotton fabrics, husks, cardboard, Panax ginseng residues, and spent tea can also serve as eco friendly feedstocks for green nanocellulose production. Overall, nanocellulose can be derived from animals, bacteria, algae, and plants, with bacterial cellulose also referred to as microbial cellulose representing a particularly pure and highly crystalline form (Catalán *et al.*, 2015; Kovacs *et al.*, 2010). Tissue engineering (TE) is a multidisciplinary field focused on repairing, replacing, or enhancing the functionality of damaged tissues using living cells, signaling biomolecules, and engineered biomaterial scaffolds to create specific microenvironments. There has been notable advancement in TE; however, there are still significant hurdles to overcome including the limited availability of suitable biomaterials, poor cell–biomaterial interactions, and the complex nature of biological processes and their regulation as time progresses. In TE, cells are typically isolated and then seeded into three-dimensional (3D) constructs and these constructs are cultured under controlled laboratory settings to create functional substitutes for tissues (*i.e.*, skin, muscles, ligaments, intervertebral discs, blood vessels, cartilage, and bone). TE integrates various disciplines such as cell biology, materials science, engineering, and clinical medicine to devise approaches to repair, replace, or improve the functionality of diseased or damaged tissues and organs. Central to TE is the concept of the therapeutic scaffold, which is comprised of three inter-related components. The three components of a scaffold include the biological seed cells for regeneration, the scaffolds that offer a three-dimensional (3D) structure and mimic the ECM, and the regulatory molecules (*i.e.*, growth factors, cytokines) that stimulate and modulate cellular responses. The ideal scaffold is designed to mimic the *in vivo* microenvironment, including cell–cell and cell–matrix interactions as well as gradient distribution of soluble molecules, and incorporate bioactive molecules to stimulate specific cellular responses (Cheng *et al.*, 2015). Nanocellulose is widely considered to be a biocompatible material, as it can be placed in contact with host tissues without provoking marked toxic or inflammatory reactions (Fathi-Achachelouei *et al.*, 2019). Owing to the absence of specific cellulolytic enzymes in the human body, however, nanocellulose is only slowly resorbed and can remain within tissues for prolonged periods (Hasan *et al.*, 2018). This limited degradability and delayed clearance pose important constraints for its application in tissue engineering, because persistent scaffold remnants may interfere with normal tissue remodeling and integration. For this reason, nanocellulose is frequently subjected to chemical modification or is blended with other biodegradable polymers and proteins to modulate its degradation profile and improve its effectiveness as a resorbable scaffold material (Paul *et al.*, 2016). In addition to providing an overview of current nanocellulose-based strategies for the repair and regeneration of cartilage, dermal tissue, bone, blood vessels, and neural tissue, this review adopts a critical and comparative perspective. It specifically aims to (i) correlate nanocellulose source, structure, and surface chemistry with key mechanical and biological

performance parameters across soft and hard tissue applications, (ii) evaluate the advantages and limitations of different functionalization, blending, and fabrication approaches that have been proposed to overcome intrinsic drawbacks of native nanocellulose, such as its slow degradation and limited bioactivity, and (iii) identify persistent knowledge gaps, con-flicting findings, and priority directions for future research that must be addressed to enable the safe and clinically meaningful translation of nanocellulose-based scaffolds in regenerative medicine.

1.1. CELLULOSE AND NANOCELLULOSE

Lignin, Cellulose, and hemicellulose are also the most abundant components of lignocellulosic biomass cell walls (*Colson & Grinstaff, 2012*). Cellulose is the most abundant biopolymer on Earth and, consequently, one of the most extensively investigated natural polymers (*Hsieh et al., 2008*). It makes up 35 to 50% of plant cell walls and has extraordinary strength and thermal properties due to its wide-ranging intra- and intermolecu-lar hydrogen bonding and high hydroxyl content (*Hsieh et al., 2008; Czaja et al., 2006*). Cellulose is a linear, biodegradable and renewable polymer, made up of long chains of anhydro- D-glucose units with β -1,4 linkages. These linkages create repeating units known as cellobiose. Each unit is made of three hydroxyl groups and creates internal (*between C3 and the O atom in the ring*) and external (*between C6 and C3*) hydro-gen bonds with adjacent glucose units. These bonds play a major role in building up the crystalline regions and affect the physical properties of cellulose, such as, toughness and strength, as well as be-ing a hydrophilic material. It also contributes to the formation and insolubility in most aqueous sol-vents and to the high resistance against many organic solvents (*Dhasmana et al., 2019; Bellamy et al., 2015*). From a tissue engineering perspective, the extensive hydrogen bonding and hierarchical organization is very significant because it not only provides mechanical strength to the cellulose, but also limits the ability of the cellulose to undergo any chemical modifications or blends with other polymers without compromising the struc-tural robustness. Figure 1 shows the linear structure of cellulose in which each β -D-glucopyranose unit. Like all such units, it carries three hydroxyl groups which are attached to the C2, C3, and C6 positions. Nanocellulose is a kind of one-dimensional, nanofiber with a size of about 100 nanometers in diameter. It is designed to utilize the fundamental virtues of cellulose, such as being renewable, biocompatible, biodegradable and having low density, while also incorporating nanomaterials' key characteristics, including high stiffness (Young's modulus of approximately 110–220 GPa), impres-sive tensile strength (*approximately 7 GPa*), a large specific surface area, a high aspect ratio, self-reinforcing potential, and the ability to self-assemble in aqueous media (*Willerth et al., 2007; Polini et al., 2011*). Consequently, processing conditions do not merely tune fibril size; they also strongly affect suspension rheology, printability, and pore architecture in CNF based hydrogels and bioinks, with direct implications for nutrient diffusion, cell infiltration, and extracellular matrix deposition in three dimensional constructs.

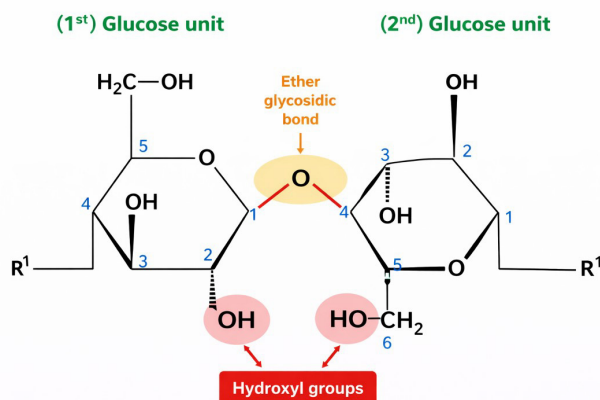


Figure 1. The linear configuration of cellulose reveals three functional hydroxyl ($-OH$) groups located at the c2, c3, and c6 carbon atoms of each β -d-glucopyranose monomer. the chemical structure and schematic representation were prepared by the authors using chemdraw 20.0 (perkinelmer informatics, waltham, ma, usa).

Cellulose nano whiskers (CNF): long, flexible fibers containing both crystalline and non-crystalline regions. Their diameters range from 1–100 nm, and their lengths can reach several micrometers (Shiet *et al.*, 2010). CNFs are hydrophilic and flexible with an elevated aspect ratio and excellent potential for chemical modification (Dugan, Gough–Eichhorn, 2013). CNFs are typically extracted through mechanical processes, such as steam explosion, ultrasonication, high-pressure homogenization, microfluidization, grinding, or cryogenic crushing. These techniques apply mechanical force often in the form of high pressure to the core of the fiber, promoting defibrillation of the microfiber into nanofibers, thereby separating the crystalline region while leaving behind most of the amorphous material (Märtson *et al.*, 1999). The size of the nano-fibers gradually decreases as the number of mechanical disruption cycles increases (Chen *et al.*, 2022). Acid hydrolysis primarily targets the amorphous regions of nanocellulose. The process reduces the crystalline regions of cellulose into smaller, more workable fragments. This process separates the crystalline domains into smaller, more manageable sizes. Various acids, such as H_2SO_4 , HCl, HBr, H_3PO_4 , and $H_2C_2O_4$, as well as metal salt catalysts, ionic liquids, and solid or gaseous acids, are commonly used in the process. In many cases, pretreatment steps are taken before hydrolysis to increase efficiency, followed by bleaching or alkaline treatment to remove hemicellulose and lignin (Phanthong *et al.*, 2018). Cellulose can be extracted from a wide range of biological sources, including plants, forests, microorganisms and marine animals such as crustaceans. In plants, cellulose is the primary component of the cell wall, providing structural support and mechanical strength, while in bacterial systems it is primarily synthesized by various nitrogen-fixing species as a protective mechanism that enables them to access oxygen while protecting them from chemical stress and ultraviolet radiation (Abushammala–Mao, 2019). These differences in biological origin, extraction route, and residual non-cellulosic impurities give rise to nanocelluloses with distinct crystallinity and surface chemistry, which can markedly alter their immunological profiles, degradation behavior, and overall suitability for specific biomedical and tissue engineering applications. There are four natural sources of nanocellulose: bacteria; plants such as wood, kernels, ornamental grasses, and sugarcane; algae such as *Cladophora* and *Cystosera myrica*; and marine animals such as tunicates, which contain tunicin. Bacterial cellulose is also known as microbial cellulose (Dufresne 2012). Nanocellulose is obtained from bacteria through the fermentation of carbohydrates by certain bacteria (Phanthong *et al.*, 2018). Gram-negative bacterial species such as *Sarcina*, *Rhodobacter*, *Achromobacter*, *Agrobacterium*,

Azotobacter, Rhizobium, Al-kaligenes, Aerobacter, Acetobacter, Pseudomonas, and Salmonella have been used to produce BNC outside the cell. However, Gluconacetobacter is the most efficient genus among these species (Silva et al., 2015), (Klemm et al., 2011). One of the main strains used within the Gluconacetobacter species is Gluconacetobacter xylinus (synonyms: Komagataeibacter xylinus, Acetobacter xylinus) (Rosén et al., 2020; Dhali et al., 2021), which possesses higher crystallinity, purity, and specific surface area. It also shows better mechanical resilience, liquid absorption capacity, and biocompatibility than other bacterial types. BNC is purer than cellulose obtained from other sources, such as plant cellulose. This is due to the absence of substantial amounts of other organic polymers, such as lignin, hemicellulose, and pectin, which are present in normal cellulose. BNC biosynthesis in bacteria occurs in two phases: polymerization and crystallization. These phases can occur in two modes of culture: dynamic and static. Unlike plant-derived cellulose, which often contains impurities such as hemicellulose and lignin, this process results in the formation of glucose units that polymerize into linear 1,4-glucan chains, which are then secreted extracellularly and crystallize to form nanoribbons of nanocellulose (Li et al., 2024). The morphological features and mechanical properties, as well as the physical properties, of BNC depend on the production methodology, which in turn depends on the intended application of the nanocellulose. BNC produced from static cultures generally has poor mechanical properties, and the process requires a long cultivation time and extensive cultivation areas (Varghese et al., 2023; Kargarzadeh et al., 2017). Using saccharides as the carbon source, ideal production conditions call for a pH between 3 and 7 and a temperature between 25 and 30°C (Kargarzadeh et al., 2017). As a result, bacterial nanocellulose obtained under different culture modes and conditions can differ substantially in network density, porosity, and fibril organization, which helps explain why nominally similar BNC scaffolds sometimes elicit divergent cellular responses and in vivo outcomes in tissue engineering studies.

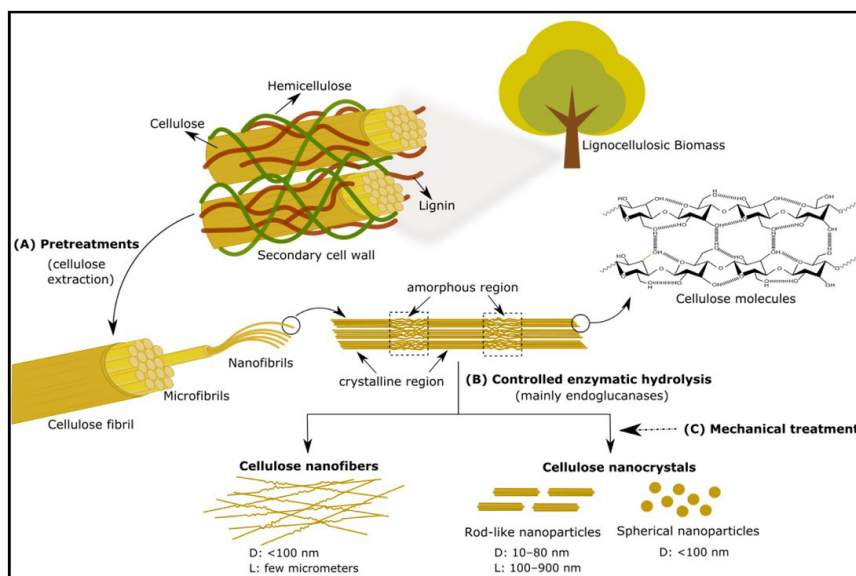


Figure 2. Michelin M, Gomes DG, Romani A, Polizeli MLTM, Teixeira JA. Nanocellulose Production: Exploring the Enzymatic Route and Residues of Pulp and Paper Industry. *Molecules*. 2020 Jul 28;25(15):3411. doi: 10.3390/molecules25153411. PMID: 32731405; PMCID: PMC7436152.

Plant nanocellulose can be sourced from numerous abundant sources, including herbs, shrubs, vegetables, flowers, trees, grasses, succulents, and other similar plants. Various tree sources include deciduous trees, coniferous trees (*Dhali et al., 2021; Tyagi–Kumar, 2021; Ul-Islamet et al., 2015; Sano et al., 2010*), including *Pinus radiata* (*Ahrem et al., 2014*). Such as birch (*Mahardika et al., 2018; Abol-Fotouh et al., 2020*), and Other notable sources include *A. S. cumini* (*Qiu et al., 2016*), mangium (*Ahrem et al., 2014*), banana pseudostems (*Liu et al., 2016*), balsa (*Yuen et al., 2017*), *K. senegalensis* (*Empson et al., 2014*), and citrus fruits (*Basu, Strømme–Ferraz, 2018*), and palm trees (*Picheth et al., 2017; Liu et al., 2016; Sirvio et al., 2014*). Nano-cellulose obtained from deciduous trees is usually considered hardwood-derived, while nanocellulose obtained from coniferous trees is considered softwood-derived. Shrubs that supply nanocellulose include cotton (*Catalán et al., 2015*), and hibiscus. Sources of nanocellulose from algae include *Cystoseria myrica* (*Rubbel Singla et al., 2017*), and *Cladophora* (*Powell et al., 2016; Jasmani–Adnan, 2017; Fu et al., 2017*). Nanocellulose products from *Cladophora* have mostly been evaluated for biomedical applications, specifically for contaminants such as glucans, endotoxins, and heavy metals (*Elias et al., 2018*). Taken together, the wide variability in source, purification level, and contaminant content underscores the need for rigorous source selection and standardized processing when designing nanocellulose based scaffolds, since these factors can critically influence protein adsorption, immune activation, and cell behavior in regenerative applications.

1.2. TISSUE ENGINEERING

Tissue engineering combines cellular components, signaling molecules, and biomaterials to create microenvironments that closely mimic the intrinsic properties of native tissues for regenerative therapy. In addition to regenerative therapies, TE constructs also serve as *in vitro* disease models and alternatives to animal testing (*Costa et al., 2017*). Cellulose can be processed into films, fibres, or hydrogels and modified with polymers or inorganic materials to create new functional biomaterials for soft tissue regeneration (*Shvedova et al., 2015*). TE shows great promise in repairing connective tissue, organs, and CNS tissue lost due to degenerative diseases and traumatic injuries. For successful tissue engineering, the morphology and function of healthy native tissue must be closely mimicked. The main challenge is to design scaffolds that support cell attachment and functional performance. Nanocellulose can be used for soft and hard tissue regeneration including cartilage tissue repair (*Adewuyi et al., 2018*).

Due to its superior mechanical strength, physicochemical properties, and biocompatibility, nanocellulose has received considerable attention as a natural biomaterial to recreate the natural tissue environment (*Costa et al., 2017*). An additional advantage of nanocellulose's fibrous structure particularly that of CNFs and BNC, is that the strands themselves can serve as conduits for nutrient delivery to cells deep in the scaffold matrix (*Matharu et al., 2018*). Hydrogels derived from nanocellulose have shear-thinning behavior and can form three-dimensional (3D) extracellular matrix (ECM)-like microenvironments (*HPS et al., 2016*). However, to ensure fidelity after printing, cross-linking agents such as sodium alginate must be included (*Poonguzhali, Basha–Kumari, 2017*). Cross-linking agents provide additional benefits such as adjustable mechanical strength and controlled degradation. Although nanocellulose hydrogels demonstrate favorable shear-thinning properties for 3D bioprinting, their ability to maintain structural integrity after printing often relies on secondary cross-linkers like alginate, highlighting that nanocellulose alone is rarely sufficient for complex 3D constructs (*Rocha et al., 2018*). The goal of tissue engineering (TE) scaffolds is to mimic the native tissue's extra-cellular matrix (ECM), providing biological and topographical cues for cell growth and

proliferation (Ruan et al., 2018). Key properties of materials such as wettability and charge at the surface are critical for tissue engineering and in biotechnological applications in general. Wettability and charge can be modified through the functionalization of nanocellulose with various chemical groups OR through changing its source and/or how it's prepared. For example, through oxidation, and adding oxygenated -OH groups to nanocellulose, the wettability can change and the potential for immune response reduction compared to unaltered nanocellulose may be achieved (Gustafsson et al., 2018). Anionic nanocellulose usually has -COOH functional groups added and promotes enhanced adhesion and proliferation over cationic nano-cellulose, which typically has ammonium based modifications. However, the anionic forms will typically generate a higher magnitude of immune response when compared with the cationic forms (Costa et al., 2017). By adding -COOH groups to nanocellulose, the negative charge density is increased, affecting the film morphology, surface topography, and downstream properties such as attachment of cells, viability of cells, and even efficiency of DNA transfection (Zarei et al., 2018). Both anionic and cationic nanocellulose will enhance adhesion compared to uncharged nanocellulose; however, the profiles of immune responses are dissimilar, requiring careful optimization of the surface chemistry based on the targeted implantation site and tissue (Liu et al., 2017). This charge-dependent behavior underscores a fundamental design trade-off: anionic nanocellulose maximizes cell adhesion through enhanced protein adsorption but risks heightened macrophage activation, whereas cationic nanocellulose produces a milder immune response at the expense of weaker cell binding. Consequently, the choice of surface charge must be guided by the specific tissue type and application requirements (Costa et al., 2017; Zarei et al., 2018; Liu et al., 2017).

Table 1. Types of Nanocellulose and Their Applications in Tissue Engineering

Type		Based (Source)	Application	Example
Cellulose Nanocrystals (CNCs)	High mechanical strength, biodegradability, surface modification	Wood pulp, cotton, plants	Bone tissue engineering, drug delivery	CNC-hydroxyapatite scaffold for bone repair
Cellulose Nanofibrils (CNFs)	High flexibility, biocompatibility, water absorption	Plant fibers (e.g, wood))	Skin regeneration, wound dressing	CNF-based hydrogel for wound healing
Bacterial Nanocellulose (BNC)	High purity, 3D network, excellent water holding capacity	Pure BNC Produced (e.g <i>Komagataeibacter</i> spp.) Or BNC/gelatin composite	Artificial skin, vascular grafts and blood vessels	BNC membrane for artificial skin substitute
TEMPO-oxidized Nanocellulose (TOCN)	High surface charge, improved dispersibility in water	TEMPO-oxidized wood fibers	Soft tissue scaffolds, bioinks printing	TOCN-based hydrogel for 3D bioprinting of cartilage
Carboxymethylated Nanocellulose (CMC-NC)	Water solubility, functional carboxyl groups	Chemically modified CNF or CNC	injectable hydrogels,, drug delivery systems	Injectable CMC-NC scaffold for soft tissue
Nanocellulose Composites	Tunable properties, improved mechanical/biological behavior	Nanocellulose + biopolymers	Bone, nerve, cartilage and regeneration	CNF/gelatin composite scaffold for cartilage

Interestingly, the term “nanocellulose” first appeared in a report by Kramer et al. in 2006, which proposed nanocellulose-based collagen-mimetic tissue substitutes by combining bacterial cellulose with photopolymerised acrylate and methacrylate networks (Zarei, Niad–Raanaei, 2018). Shortly afterwards, the same group and others broadened the scope to vascular grafts, nerve cuffs, wound dressings, and cosmetic tissue devices, positioning nanocellulose as a versatile biomedical material rather than a purely structural polysaccharide (Liu, Willför–Mihrianyan, 2017). Bodin et al. subsequently demonstrated that GRGDS-functionalised bacterial nanocellulose scaffolds markedly enhanced human endothelial cell adhesion, underscoring the importance of peptide-functionalised

nanocellulose surfaces for vascular tissue engineering (*Liu, Willför–Mihrianyan, 2017*). Early pioneers like Kramer and Bodin thus established nanocellulose's collagen-mimetic potential through targeted surface modification, yet nearly two decades later there remains a striking gap between extensive *in vitro* data and limited clinical translation pointing to unresolved issues in long-term integration, immune compatibility, and regulatory acceptance (*Bacakova et al., 2019*). Between 2014 and 2018, considerable progress was made in the application of nanocellulose in tissue engineering and repair. Many developments have occurred in TE and related fields, such as wound healing and cell-material interactions. During this time, nanocellulose has appeared in many biotechnological applications in the industrial and technological world, including bio sensing and controlled drug delivery systems (*Xu et al., 2019; Svensson et al., 2005; Ong et al., 2023*). This era saw nanocellulose shift from basic proof-of-concept scaffolds toward more practical, application-focused designs like biosensors, targeted drug carriers, and advanced composite constructs built specifically to handle real clinical demands in terms of usability and performance. Work keeps piling up with exciting results on nanocellulose applications across cartilage engineering, neural repair, vascular grafts, skin wound dressings, liver regeneration, and bone substitutes. Take neural tissue engineering: SH-SY5Y neuroblastoma cells not only stuck to 3D bacterial nanocellulose (BNC) scaffolds but differentiated into functional neurons and proliferated well, as confirmed by electrophysiological recordings. Adding a cationic tweak trimethylammonium betahydroxypropyl cellulose to the nanocellulose further boosted the works: better PC12 cell adhesion and growth, plus formation of proper 3D neuronal networks that mimic native tissue architecture (*Kumar, Matari–Han, 2020*). Owing to these properties and ongoing research, Nanocellulose is a promising material for regenerating and replacing different tissues.

Collectively, nanocellulose meets core scaffold requirements in TE biocompatibility, chemical tunability, and compatibility with advanced fabrication methods such as 3D bioprinting often more effectively than many other natural polymers. Its main clinical bottleneck, however, lies in reproducing the complex mechanical gradients and dynamic remodeling of native ECM without heavy reliance on synthetic additives, which remains a key challenge for the coming decade (*Gustafsson et al., 2018*).

1.2.1. Wound healing

Skin acts as our first line of defense blocking UV rays, germs, and chemicals while handling temperature control, touch sensation, moisture balance, and metabolite release. Once damaged, it calls for tissue engineering approaches that accelerate repair and cut down on scarring or infection risks. Nanocellulose fits the bill perfectly here: it soaks up over 100 times its weight in water, holds up mechanically under stress, and keeps the wound bed at just the right moisture level (*Ul-Islam et al., 2015; Al-Sabah et al., 2019; Wan Jusoh et al., 2022; Nguyen et al., 2017*). Wound healing unfolds in distinct phases hemostasis first, then inflammation, proliferation (or *granulation*), and finally remodeling. Nanocellulose materials step in at every stage, either delivering targeted payloads like hemostatic agents, anti-inflammatories, antimicrobials, or bioactive factors (*cytokines, growth factors*) to drive epithelialization and angiogenesis, or providing a scaffold that boosts new blood vessel formation and cell migration. What really sets nanocellulose apart, though, is its knack for phase-specific delivery: hemostatics right at clotting, anti-inflammatories during the inflammatory cleanup, and angiogenic boosters in the proliferation stage. This timed-release capability gives it a clear edge over traditional static dressings that can't shift gears as healing progresses (*Resch, Staud–Radtko, 2021; Liu et al., 2023*). Nanocellulose dressings conform to wound contours, seal against pathogens, and offer natural bio-compatibility safe even for allergy-prone patients and easily modified

for added bioactivity (Jonsson *et al.*, 2015; Kramer *et al.*, 2006). One of the important objectives of skin tissue engineering is the reconstruction of its two principal layers: the epidermis, which is the outermost layer and mainly composed of keratinocytes, and the dermis, which is the innermost layer and comprised mainly of fibroblasts. Among the many bio-materials for regeneration of soft tissues, BC is the most common type because it resembles natural soft tissues like skin (Klemm *et al.*, 2006). BC films have shown exceptional biocompatibility, acting as favorable substrates for the adhesion, spreading, and proliferation of human skin keratinocytes and fibroblasts. 3D BC nanofiber networks support keratinocyte/fibroblast adhesion/proliferation in mouse wound models (Klemm *et al.*, 2006; Bodin *et al.*, 2007). Further improvements can be made to bacterial cellulose's adhesion and growth by combining it with other biologically active molecules. For instance, the incorporation of chitosan into bacterial cellulose films has been shown to enhance the adhesion of human keratinocytes (Jonsson *et al.*, 2015; Mondal, 2017; Abeer, Mohd Amin–Martin, 2014; Xu *et al.*, 2018).

While nanocellulose advances span moisture control to bioactive delivery, clinical translation lags due to standardization gaps: batch-to-batch variability in fiber diameter, crystallinity, and functionalization efficacy remains unresolved (Loh *et al.*, 2018). BC clinical edge: faster epithelialization, less pain/scarring, easier monitoring but no native antimicrobials (Wei, Yang–Hong, 2011). Antimicrobial strategies: Impregnation: benzalkonium chloride (Rodrigues *et al.*, 2014), povidone-iodine/polyhexanide (Sun *et al.*, 2017). seems to enhance the antimicrobial activity against various gram positive and negative bacteria. Another strategy could be to fabricate composites of BC with another bioactive substances showing antibacterial properties. Chitosan, has actually been demonstrated to have intrinsic antimicrobial properties against bacteria, fungi and yeast (Ennab *et al.*, 2022).

Bone

Bone's collagen-hydroxyapatite structure calls for scaffolds that can handle its 10-30 MPa mechanical gradient (Resch, Staud–Radtke, 2021; Liu *et al.*, 2023). Nanocellulose steps up nicely here, offering a wood-inspired organic framework perfect for biomimetic mineralization with comparable hierarchical strength (Liu *et al.*, 2022).

Bone scaffolds need to maintain serious mechanical integrity over long periods, and most conventional polymer materials just can't cut it under those demands. Nanocellulose materials, though, re-ally shine in resisting local stresses that's their big edge (Bottan *et al.*, 2015). Bacterial cellulose-collagen composites provide physical support, while collagen contributes bioactivity that enhances cell adhesion and pro-liferation (Azeredo *et al.*, 2010). Hydroxyapatite (HA) offers great osteoconductivity but tends to be brittle; combin-ing it with BC ramps up ALP activity, nodule formation, and mineralization. Soaking BC in SBF with cellulase gives controlled biodegradation alongside nano-HAp deposition. BC-HA composites show excellent results in cell culture, but the jump to patients hits serious mechanical road-blocks. Natural bone has 10-30 MPa stiffness gradients working across multiple scales cellulose-HA scaffolds usually end up uniformly stiff, risking stress shielding. HA works biologically but shatters under compression; nanocellulose helps, yet we still can't match bone's viscoelastic behavior through mineralization. This mechanical gap explains why rodent studies look great, but no human trials exist we need gradient mineralization copying bone's organic-inorganic transitions. Recent nanocellulose advances show strong osteogenic markers. Cellulose-HA with mechanical stimulation aligns collagen through microchannels (Martelli-Tosi *et al.*, 2018). Nanofibrillated hydrogels maintain high viability across cell types (Kingkaew *et al.*, 2010). Wood-derived CNF-chitin supports hMSC growth (Czaja *et al.*, 2007). CNF-HA/TCP enhances MSC/osteoblast adhesion, ALP activity, mineralization further boosted by collagen-I/osteogenic peptides

(Bottan *et al.*, 2015; Wei, Yang–Hong, 2011). Wood CNF-coated PCL 3D prints outperform uncoated controls for hMSC adhesion/proliferation/ALP/collagen-I/ mineralization (Wiegand *et al.*, 2015). These results impress, but most assays end at 21 days when true remodeling begins. Static cellulose-HA can't replicate months-long dynamic turnover. PCL-CNF beats controls but trails native bone ECM. Wood CNF scale-up from lab to GMP remains unproven. Osteoblast optimization ignores osteoclast coupling and vascularization >2 mm thick. Mouse models don't predict human loading. Long-term, multi-scale testing is essential.

By preparing bioabsorbable bacterial cellulose composites (*BC composites*) by soaking BC in simulated body fluid (*SBF*), the enzyme cellulase was incorporated to enhance biodegradation in the simulated environment. This technique revealed an improved method for distributing nano-hydroxyapatite (*HAp*) powder within the SBF to increase the total amount of calcium phosphate (*CP*) deposited. Experiments with mouse osteoblasts also demonstrated good biocompatibility of the BC composites, due to the inclusion of the cellulase enzymes (Wiegand *et al.*, 2015). In turn, Liu *et al.*'s group designed a nano-cellulose-reinforced hybrid membrane by assembling long nanobundles of HAp within a BC hydrogel. This membrane has been shown to accelerate the growth of new bone tissue, the formation of blood networks, and nerve regeneration (Rabea *et al.*, 2003). The mineralization of cellulose or BC scaffolds improved their mechanical properties and impeded their applicability in hard tissue regeneration. The mechanical strength of artificial bone barriers must be compatible with that of the surrounding bone tissue to prevent the occurrence of some clinical problems such as stress shielding (Al-Sabah *et al.*, 2019).

Cellulose/HA nanocomposites using both BC and CNCs have been extensively investigated in recent years for potential tissue engineering applications. A study showed that the microchannels facilitated the alignment of cells and collagen fibers and that collagen production was enhanced by mechanical stimulation (Lin *et al.*, 2013). Furthermore, nanofibrillar cellulose hydrogels are commercially available for *in vitro* applications in advanced cell culture studies. As expected from a nanocellulose-based material, offers great biocompatibility with human cells and tissues with good viability and functionality for different types of cells (Wu *et al.*, 2014).

Wood-derived nanofibrillated cellulose is a promising material for manufacturing support structures for bone tissue engineering. This has been demonstrated by culturing human mesenchymal stem cells (*hMSCs*) on composite structures containing this type of cellulose in combination with chitin, where the cells demonstrated good growth and biocompatibility (Ghule *et al.*, 2006). Research has demonstrated that the performance of mesenchymal stem cells (*MSCs*) and osteoblasts, such as rat calvarial osteoblasts, is significantly improved when cultured on nanocellulose-based support structures. This improvement is achieved through biomineralization with calcium phosphates such as hydroxyapatite (*HA*) and tricalcium phosphate (*TCP*), which enhance cell adhesion, osteogenic differentiation, and the activity of appropriate enzymes (Azeredo *et al.*, 2010; Jia *et al.*, 2012). Furthermore, these structures can be enriched with type I collagen or osteogenic growth peptides to enhance their functional performance and bone growth (Mohite–Patil, 2016). Similarly, wood-derived cellulose nanofibrils have been widely used as a coating for 3D-printed structures using polycaprolactone (*PCL*). CNF coating, when using human bone marrow-derived MSCs, showed significantly improved cell adhesion, proliferation, and osteogenic differentiation, as well as increased alkaline phosphatase (*ALP*) activity, type I collagen production, and surface mineralization to a significantly better level than uncoated PCL structures (Trovatti *et al.*, 2018).

Cartilage

Nanocellulose enhances cartilage substitutes' durability, biocompatibility, and processability, with interconnected porosity enabling chondrocyte infiltration/migration. An in vitro articular cartilage punch defect model confirmed BNC's integration capacity (Vatankhah *et al.*, 2014). Cellulose nanofibrils support auricular cartilage reconstruction through high water retention/mechanical strength (Czaja *et al.*, 2006). BNC-alginate bi-layers prove non-cytotoxic/non-pyrogenic while sustaining nasal septal chondrocyte phenotype (Dvir *et al.*, 2011). In cartilage tissue engineering, the high water-retention capacity and the high mechanical strength of cellulose nanofibrils have advanced the application of BNC in auricular cartilage reconstruction. It was found that BNC with an increased cellulose content of 17% is a promising non-resorbable biomaterial for auricular cartilage tissue engineering, due to its similarity with auricular cartilage in terms of mechanical strength and elicits a compatible response from host tissue (Pereira *et al.*, 2018).

Nanocellulose-based bioinks represent a breakthrough for 3D bioprinting anatomically accurate cartilage. Wood-derived nanofibrillated cellulose-alginate loaded with human articular chondrocytes printed human ear and sheep meniscus constructs. Irradiated human chondrocytes and iPSCs from articular cartilage were similarly viable in nanocellulose bioinks (Nudelman *et al.*, 2010). Alginate sulfate-BNC bioinks induced bovine femoral condyle chondrocytes to proliferate and deposit type II collagen, confirming hyaline cartilage potential (Sundberg, Götherström–Gatenholm, 2015). Despite promising chondrocyte support across auricular/articular/disc sites, most studies remain short-term in vitro. Native cartilage endures cyclic shear/compression absent from current models. Bioinks rely heavily on alginate/gellan nanocellulose's standalone chondrogenic maintenance vs fibrosis prevention remains unclear (Czaja *et al.*, 2006; Ghule *et al.*, 2006). Clinical translation demands long-term load-bearing, subchondral integration, and large-animal models mimicking zonal gradients (Saska *et al.*, 2012). Nanocellulose has also shown potential in the treatment of intervertebral disc degeneration. As a result, gellan gum hydrogels were enhanced with cellulose nanocrystals and used as a substrate to regenerate the annulus fibrosus, the outer region of the intervertebral disc (Zhou–Lee, 2011).

Vessels

Blood vessel repair and replacement comprise a frequent surgical procedure, particularly for people suffering from cardiovascular diseases. To ensure such therapeutic options are effective, vascular tissue engineering scaffolds must exhibit excellent biocompatibility, mechanical strength, and tunable biodegradability. However, the majority of small-diameter vessels that lack an endothelial cell lining often lead to thrombosis, thus making endothelialization a critical factor in the development of artificial blood vessels. Electrospun cellulose acetate/CNC/MCC scaffolds mimic ECM structure, with CNC enhancing cell adhesion and MCC providing anchorage sites (Kardam, Raj–Srivastava, 2012). CNF-reinforced PBS/PLA scaffolds improve mechanics/biocompatibility; Proteinase K degradation accelerates breakdown (Reshmy *et al.*, 2022). Other researchers have also incorporated CNF into the PBS and PLA scaffolds to provide improved mechanical properties and biocompatibility. Degradation studies were also conducted through enzyme-assisted degradation using Proteinase K to fasten the process (Omran *et al.*, 2021). CNC/CAP scaffolds (0.2 wt%) boost directional strength via hydrogen bonding; porous microstructure resists pressure (Pooyan, 2012). Magnetic field-aligned CNCs in CaP minimize material use while optimizing orientation. PVA-BNC tubes match vascular mechanics/permeability (Qiu *et al.*, 2016). BNC+IKVAV supports HUVEC/C3H10T1/2 adhesion (Martínez *et al.*,

2012). Magnetic BNC-PEG attracts VSMCs for tunica media reconstruction porcine VSMCs confirm low cytotoxicity/migration support (Dumanli, 2017). Additionally, nanocellulose scaffolds have been employed in investigations concerning vas-culogenesis. Bacterial nanocellulose (BNC) scaffolds functionalized with the IKVAV peptide a ligand derived from laminin that engages with integrin adhesion receptors provided a three-dimensional (3D) platform for the exploration of vasculogenic mimicry in human melanoma SK-MEL-28 cells, thereby demonstrating promise for anti-tumor drug screening (Torres-Rendon et al., 2015). Despite promising HUVEC/VSMC support, most vascular nanocellulose studies lack long-term paten-cy/thrombogenicity data under pulsatile flow (Si et al., 2016). Clinical translation requires anti-thrombotic coatings, suture retention testing, and large-animal circulatory models mimicking shear stress gradi-ents (Saska et al., 2017). Standalone nanocellulose vs hybrid systems' degradation kinetics in vivo remains un-clear.

2. CONCLUSIONS

Advanced nanocellulose materials represent a versatile and sustainable class of biomaterials with significant potential in tissue engineering and regenerative medicine. Their outstanding mechanical strength, biocompatibility, and ability to support cellular growth make them highly suitable as scaffolds for tissue repair and regeneration. Despite notable progress in synthesis and functionalization, challenges remain in achieving controlled biodegradation, consistent modification, and scalable production. Continued research addressing these limitations will be essential for translating nanocellulose-based systems into clinically effective therapies for tissue regeneration.

REFERENCES

- F. ALBALAWI, M. Z. HUSSEIN, S. FAKURAZI, AND M. J. MASARUDIN, 2021. Engineered nanomaterials: The challenges and opportunities for nanomedicines, *Int J Nanomedicine*, 161–184. <https://doi.org/10.2147/IJN.S288236>
- W. CZAJA, A. KRYSZYNOWICZ, S. BIELECKI, AND R. M. BROWN JR, 2006. Microbial cellulose—the natural power to heal wounds, *Biomaterials*, 27(2), 145–151. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2005.07.035>
- Y. HABIBI, L. A. LUCIA, AND O. J. ROJAS, 2010. Cellulose nanocrystals: chemistry, self-assembly, and applications, *Chem. Rev.*, 110(6), 3479–3500. <https://doi.org/10.1021/cr900339w>
- Z. SHI ET AL., 2012. In situ nano-assembly of bacterial cellulose–polyaniline composites, *RSC Adv.*, 2(3), 1040–1046. <https://doi.org/10.1039/C1RA00719J>
- K. TASHIRO AND M. KOBAYASHI, 1991. Theoretical evaluation of three-dimensional elastic constants of native and regenerated celluloses: role of hydrogen bonds, *Polymer (Guildf.)*, 32(8), 1516–1526. [https://doi.org/10.1016/0032-3861\(91\)90435-L](https://doi.org/10.1016/0032-3861(91)90435-L)

- L. ALEXANDRESCU, K. SYVERUD, A. GATTI, AND G. CHINGA-CARRASCO, 2013. Cytotoxicity tests of cellulose nanofibril-based structures, *Cellulose*, 20(4), 1765–1775. <https://doi.org/10.1007/s10570-013-9948-9>
- M. ROMAN, S. DONG, A. HIRANI, AND Y. W. LEE, 2009. Cellulose nanocrystals for drug delivery, *ACS Publications*. <https://doi.org/10.1021/bk-2009-1017.ch004>
- J. CATALÁN ET AL., 2015. Genotoxic and immunotoxic effects of cellulose nanocrystals in vitro, *Environ. Mol. Mutagen.*, 56(2), 171–182. <https://doi.org/10.1002/em.21913>
- T. KOVACS ET AL., 2010. An ecotoxicological characterization of nanocrystalline cellulose (NCC), *Nanotoxicology*, 4(3), 255–270. <https://doi.org/10.3109/17435391003628713>
- C. J. CHENG, G. T. TIETJEN, J. K. SAUCIER-SAWYER, AND W. M. SALTZMAN, 2015. A holistic approach to targeting disease with polymeric nanoparticles, *Nat. Rev. Drug Discov.*, 14(4), 239–247. <https://doi.org/10.1038/nrd4503>
- M. FATHI-ACHACHELOUEI ET AL., 2019. Use of nanoparticles in tissue engineering and regenerative medicine, *Front. Bioeng. Biotechnol.*, 7, 113. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00113>
- A. HASAN, M. MORSHED, A. MEMIC, S. HASSAN, T. J. WEBSTER, AND H. E.-S. MAREI, 2018. Nanoparticles in tissue engineering: applications, challenges and prospects, *Int. J. Nanomedicine*, 5637–5655. <https://doi.org/10.2147/IJN.S153758>
- A. PAUL ET AL., 2016. Nanoengineered biomimetic hydrogels for guiding human stem cell osteogenesis in three dimensional microenvironments, *J. Mater. Chem. B*, 4(20), 3544–3554. <https://doi.org/10.1039/C5TB02745D>
- Y. L. COLSON AND M. W. GRINSTAFF, 2012. Biologically responsive polymeric nanoparticles for drug delivery, *Advanced Materials*, 24(28), 3878–3886. <https://doi.org/10.1002/adma.201200420>
- Y.-C. HSIEH, H. YANO, M. NOGI, AND S. J. EICHHORN, 2008. An estimation of the Young's modulus of bacterial cellulose filaments, *Cellulose*, 15(4), 507–513. <https://doi.org/10.1007/s10570-008-9206-8>
- W. CZAJA, A. KRZYSTYNOWICZ, S. BIELECKI, AND R. M. BROWN JR, 2006. Microbial cellulose—the natural power to heal wounds, *Biomaterials*, 27(2), 145–151. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2005.07.035>
- A. DHASMANA, L. SINGH, P. ROY, AND N. C. MISHRA, 2019. Silk fibroin protein modified acellular dermal matrix for tissue repairing and regeneration, *Materials Science and Engineering: C*, 97, 313–324. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.12.038>
- V. BELLAMY ET AL., 2015. Long-term functional benefits of human embryonic stem cell-derived cardiac progenitors embedded into a fibrin scaffold, *The Journal of Heart and Lung Transplantation*, 34(9), 1198–1207. <https://doi.org/10.1016/j.healun.2014.10.008>
- S. M. WILLERTH, T. E. FAXEL, D. I. GOTTLIEB, AND S. E. SAKIYAMA-ELBERT, 2007. The effects of soluble growth factors on embryonic stem cell differentiation inside of fibrin scaffolds, *Stem Cells*, 25(9), 2235–2244. <https://doi.org/10.1634/stemcells.2007-0111>

- A. POLINI, D. PISIGNANO, M. PARODI, R. QUARTO, AND S. SCAGLIONE, 2011. Osteoinduction of human mesenchymal stem cells by bioactive composite scaffolds without supplemental osteogenic growth factors, *PLoS One*, 6(10), e26211. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0026211>
- J. SHI, A. R. VOTRUBA, O. C. FAROKHZAD, AND R. LANGER, 2010. Nanotechnology in drug delivery and tissue engineering: from discovery to applications, *Nano Lett.*, 10(9), 3223–3230. <https://doi.org/10.1021/nl102184c>
- J. M. DUGAN, J. E. GOUGH, AND S. J. EICHHORN, 2013. Bacterial cellulose scaffolds and cellulose nanowhiskers for tissue engineering, *Nanomedicine*, 8(2), 287–298. <https://doi.org/10.2217/nnm.12.211>
- M. MÄRTSON, J. VILJANTO, T. HURME, P. LAIPPALA, AND P. SAUKKO, 1999. Is cellulose sponge degradable or stable as implantation material? An in vivo subcutaneous study in the rat, *Biomaterials*, 20(21), 1989–1995. [https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(99\)00094-0](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(99)00094-0)
- C. CHEN ET AL., 2022. Bacterial cellulose-based biomaterials: From fabrication to application, *Carbohydr. Polym.*, 278, 118995. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118995>
- P. PHANTHONG, P. REUBROYCHAROEN, X. HAO, G. XU, A. ABUDULA, AND G. GUAN, 2018. Nanocellulose: Extraction and application, *Carbon Resources Conversion*, 1(1), 32–43. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2018.05.004>
- H. ABUSHAMMALA AND J. MAO, 2019. A review of the surface modification of cellulose and nanocellulose using aliphatic and aromatic mono- and di-isocyanates, *Molecules*, 24(15), 2782. <https://doi.org/10.3390/molecules24152782>
- A. DUFRESNE, 2012. Nanocellulose: potential reinforcement in composites. <https://doi.org/10.1515/9783110254600>
- P. PHANTHONG, P. REUBROYCHAROEN, X. HAO, G. XU, A. ABUDULA, AND G. GUAN, 2018. Nanocellulose: Extraction and application, *Carbon Resources Conversion*, 1(1), 32–43. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2018.05.004>
- F. C. SILVA, L. C. B. LIMA, R. D. S. BEZERRA, J. A. OSAJIMA, AND E. C. SILVA FILHO, 2015. Use of cellulosic materials as dye adsorbents—a prospective study, in: *Cellulose—Fundamental Aspects and Current Trends*, IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/61343>
- D. KLEMM ET AL., 2011. Nanocelluloses: a new family of nature-based materials, *Angewandte Chemie International Edition*, 50(24), 5438–5466. <https://doi.org/10.1002/anie.201001273>
- T. ROSÉN ET AL., 2020. Cross-sections of nanocellulose from wood analyzed by quantized polydispersity of elementary microfibrils, *ACS Nano*, 14(12), 16743–16754. <https://doi.org/10.1021/acsnano.0c04570>
- K. DHALI, M. GHASEMLOU, F. DAVER, P. CASS, AND B. ADHIKARI, 2021. A review of nanocellulose as a new material towards environmental sustainability, *Science of the Total Environment*, 775, 145871. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145871>

- W. LI ET AL., 2024. Bacterial cellulose nanofiber reinforced self-healing hydrogel to construct a theranostic platform of antibacterial and enhanced wound healing, *Int. J. Biol. Macromol.*, 281, 136336. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.136336>
- R. T. VARGHESE, R. M. CHERIAN, C. J. CHIRAYIL, T. ANTONY, H. KARGARZADEH, AND S. THOMAS, 2023. Nanocellulose as an avenue for drug delivery applications: a mini-review, *Journal of Composites Science*, 7(6), 210. <https://doi.org/10.3390/jcs7060210>
- H. KARGARZADEH, M. IOELOVICH, I. AHMAD, S. THOMAS, AND A. DUFRESNE, 2017. Methods for extraction of nanocellulose from various sources, in: *Handbook of Nanocellulose and Cellulose Nanocomposites*, 1, 1–49. <https://doi.org/10.1002/9783527689972.ch1>
- M. MAHARDIKA, H. ABRAL, A. KASIM, S. ARIEF, AND M. ASROFI, 2018. Production of nanocellulose from pineapple leaf fibers via high-shear homogenization and ultrasonication, *Fibers*, 6(2), 28. <https://doi.org/10.3390/fib6020028>
- D. ABOL-FOTOUH, M. A. HASSAN, H. SHOKRY, A. ROIG, M. S. AZAB, AND A. E.-H. B. KASHYOUT, 2020. Bacterial nanocellulose from agro-industrial wastes: low-cost and enhanced production by *Komagataeibacter saccharivorans* MD1, *Sci. Rep.*, 10(1), 3491. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60315-9>
- K. DHALI, M. GHASEMLOU, F. DAVER, P. CASS, AND B. ADHIKARI, 2021. A review of nanocellulose as a new material towards environmental sustainability, *Science of the Total Environment*, 775, 145871. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145871>
- B. TYAGI AND N. KUMAR, 2021. Bioremediation: Principles and applications in environmental management, in: *Bioremediation for Environmental Sustainability*, Elsevier, 3–28. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820524-2.00001-8>
- M. UL-ISLAM, S. KHAN, M. W. ULLAH, AND J. K. PARK, 2015. Bacterial cellulose composites: Synthetic strategies and multiple applications in biomedical and electro-conductive fields, *Biotechnol. J.*, 10(12), 1847–1861. <https://doi.org/10.1002/biot.201500106>
- M. B. SANO, A. D. ROJAS, P. GATENHOLM, AND R. V. DAVALOS, 2010. Electromagnetically controlled biological assembly of aligned bacterial cellulose nanofibers, *Ann. Biomed. Eng.*, 38(8), 2475–2484. <https://doi.org/10.1007/s10439-010-9999-0>
- H. AHREM ET AL., 2014. Laser-structured bacterial nanocellulose hydrogels support ingrowth and differentiation of chondrocytes and show potential as cartilage implants, *Acta Biomater.*, 10(3), 1341–1353. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2013.12.004>
- L. FU, J. ZHANG, AND G. YANG, 2013. Present status and applications of bacterial cellulose-based materials for skin tissue repair, *Carbohydr. Polym.*, 92(2), 1432–1442. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.10.071>
- J. D. YUEN, S. A. WALPER, B. J. MELDE, M. A. DANIELE, AND D. A. STENGER, 2017. Electrolyte-sensing transistor decals enabled by ultrathin microbial nanocellulose, *Sci. Rep.*, 7(1), 40867. <https://doi.org/10.1038/srep40867>

- Y. QIU, L. QIU, J. CUI, AND Q. WEI, 2016. Bacterial cellulose and bacterial cellulose-vaccarin membranes for wound healing, *Materials Science and Engineering: C*, 59, 303–309. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.10.016>
- G. F. PICHETH ET AL., 2017. Bacterial cellulose in biomedical applications: A review, *Int. J. Biol. Macromol.*, 104, 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.171>
- J. LIU ET AL., 2016. Development of nanocellulose scaffolds with tunable structures to support 3D cell culture, *Carbohydr. Polym.*, 148, 259–271. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.064>
- J. A. SIRVIO, A. KOLEHMAINEN, M. VISANKO, H. LIIMATAINEN, J. NIINIMAKI, AND O. E. O. HORMI, 2014. Strong, self-standing oxygen barrier films from nanocelluloses modified with regioselective oxidative treatments, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 6(16), 14384–14390. <https://doi.org/10.1021/am503659j>
- Y. M. EMPSON ET AL., 2014. High elastic modulus nanoparticles: a novel tool for subfailure connective tissue matrix damage, *Translational Research*, 164(3), 244–257. <https://doi.org/10.1016/j.trsl.2014.05.004>
- A. BASU, M. STRØMME, AND N. FERRAZ, 2018. Towards tunable protein-carrier wound dressings based on nanocellulose hydrogels crosslinked with calcium ions, *Nanomaterials*, 8(7), 550. <https://doi.org/10.3390/nano8070550>
- A. BASU, J. LINDH, E. ÅLANDER, M. STRØMME, AND N. FERRAZ, 2017. On the use of ion-crosslinked nanocellulose hydrogels for wound healing solutions: Physicochemical properties and application-oriented biocompatibility studies, *Carbohydr. Polym.*, 174, 299–308. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.06.073>
- A. BASU, J. LINDH, E. ÅLANDER, M. STRØMME, AND N. FERRAZ, 2017. On the use of ion-crosslinked nanocellulose hydrogels for wound healing solutions: Physicochemical properties and application-oriented biocompatibility studies, *Carbohydr. Polym.*, 174, 299–308. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.06.073>
- L. C. POWELL, S. KHAN, G. CHINGA-CARRASCO, C. J. WRIGHT, K. E. HILL, AND D. W. THOMAS, 2016. An investigation of *Pseudomonas aeruginosa* biofilm growth on novel nanocellulose fibre dressings, *Carbohydr. Polym.*, 137, 191–197. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.10.024>
- L. JASMANI AND S. ADNAN, 2017. Preparation and characterization of nanocrystalline cellulose from *Acacia mangium* and its reinforcement potential, *Carbohydr. Polym.*, 161, 166–171. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.12.061>
- Q. FU, L. MEDINA, Y. LI, F. CAROSIO, A. HAJIAN, AND L. A. BERGLUND, 2017. Nanostructured wood hybrids for fire-retardancy prepared by clay impregnation into the cell wall, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 9(41), 36154–36163. <https://doi.org/10.1021/acsami.7b10008>
- R. S. RUBBEL SINGLA ET AL., 2017. Cytocompatible anti-microbial dressings of *Syzygium cumini* cellulose nanocrystals decorated with silver nanoparticles accelerate acute and diabetic wound healing. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08897-9>

- N. ELIAS, S. CHANDREN, F. I. A. RAZAK, J. JAMALIS, N. WIDODO, AND R. A. WAHAB, 2018. Characterization, optimization and stability studies on *Candida rugosa* lipase supported on nanocellulose reinforced chitosan prepared from oil palm biomass, *Int. J. Biol. Macromol.*, 114, 306–316. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.03.095>
- A. F. S. COSTA, F. C. G. ALMEIDA, G. M. VINHAS, AND L. A. SARUBBO, 2017. Production of bacterial cellulose by *Gluconacetobacter hansenii* using corn steep liquor as nutrient sources, *Front. Microbiol.*, 8, 2027. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02027>
- A. A. SHVEDOVA ET AL., 2015. Gender differences in murine pulmonary responses elicited by cellulose nanocrystals, *Part. Fibre Toxicol.*, 13(1), 28. <https://doi.org/10.1186/s12989-016-0140-x>
- A. ADEWUYI, C. A. OTUECHERE, O. L. ADEBAYO, C. ANAZODO, AND F. V PEREIRA, 2018. Renal toxicological evaluations of sulphonated nanocellulose from *Khaya sengalensis* seed in Wistar rats, *Chem. Biol. Interact.*, 284, 56–68. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2018.02.015>
- A. S. MATHARU, E. M. DE MELO, J. REMÓN, S. WANG, A. ABDULINA, AND E. KONTTURI, 2018. Processing of citrus nanostructured cellulose: A rigorous design-of-experiment study of the hydrothermal microwave-assisted selective scissoring process, *ChemSusChem*, 11(8), 1344–1353. <https://doi.org/10.1002/cssc.201702456>
- A. K. HPS ET AL., 2016. A review on chitosan-cellulose blends and nanocellulose reinforced chitosan biocomposites: Properties and their applications, *Carbohydr. Polym.*, 150, 216–226. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.05.028>
- R. POONGUZHALI, S. K. BASHA, AND V. S. KUMARI, 2017. Synthesis and characterization of chitosan-PVP-nanocellulose composites for in-vitro wound dressing application, *Int. J. Biol. Macromol.*, 105, 111–120. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.07.006>
- I. ROCHA, J. LINDH, J. HONG, M. STRØMME, A. MIHRANYAN, AND N. FERRAZ, 2018. Blood compatibility of sulfonated cladophora nanocellulose beads, *Molecules*, 23(3), 601. <https://doi.org/10.3390/molecules23030601>
- C.-Q. RUAN, M. STRØMME, AND J. LINDH, 2018. Preparation of porous 2,3-dialdehyde cellulose beads crosslinked with chitosan and their application in adsorption of Congo red dye, *Carbohydr. Polym.*, 181, 200–207. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.10.072>
- O. GUSTAFSSON, S. GUSTAFSSON, L. MANUKYAN, AND A. MIHRANYAN, 2018. Significance of Brownian motion for nanoparticle and virus capture in nanocellulose-based filter paper, *Membranes (Basel)*, 8(4), 90. <https://doi.org/10.3390/membranes8040090>
- S. ZAREI, M. NIAD, AND H. RAANAIEI, 2018. The removal of mercury ion pollution by using Fe₃O₄-nanocellulose: Synthesis, characterizations and DFT studies, *J. Hazard. Mater.*, 344, 258–273. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.10.009>
- J. LIU, S. WILLFÖR, AND A. MIHRANYAN, 2017. On importance of impurities, potential leachables and extractables in algal nanocellulose for biomedical use, *Carbohydr. Polym.*, 172, 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.05.002>

- L. BACA KOVA ET AL., 2019. Versatile application of nanocellulose: From industry to skin tissue engineering and wound healing, *Nanomaterials*, 9(2), 164. <https://doi.org/10.3390/nano9020164>
- Q. XU ET AL., 2019. Metal coordination-mediated functional grading and self-healing in mussel byssus cuticle, *Advanced Science*, 6(23), 1902043. <https://doi.org/10.1002/adv.201902043>
- A. SVENSSON ET AL., 2005. Bacterial cellulose as a potential scaffold for tissue engineering of cartilage, *Biomaterials*, 26(4), 419–431. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2004.02.049>
- X.-R. ONG, A. X. CHEN, N. LI, Y. Y. YANG, AND H.-K. LUO, 2023. Nanocellulose: Recent advances toward biomedical applications, *Small Science*, 3(2), 2200076. <https://doi.org/10.1002/smssc.202200076>
- A. KUMAR, I. A. I. MATARI, AND S. S. HAN, 2020. 3D printable carboxylated cellulose nanocrystal-reinforced hydrogel inks for tissue engineering, *Biofabrication*, 12(2), 025029. <https://doi.org/10.1088/1758-5090/ab736e>
- A. AL-SABAH ET AL., 2019. Structural and mechanical characterization of crosslinked and sterilised nanocellulose-based hydrogels for cartilage tissue engineering, *Carbohydr. Polym.*, 212, 242–251. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.02.057>
- W. N. L. WAN JUSOH, M. S. SAJAB, P. MOHAMED ABDUL, AND H. KACO, 2022. Recent advances in 3D bioprinting: a review of cellulose-based biomaterials ink, *Polymers (Basel)*, 14(11), 2260. <https://doi.org/10.3390/polym14112260>
- D. NGUYEN ET AL., 2017. Cartilage tissue engineering by the 3D bioprinting of iPS cells in a nanocellulose/alginate bioink, *Sci. Rep.*, 7(1), 658. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-00690-y>
- M. JONSSON ET AL., 2015. Neuronal networks on nanocellulose scaffolds, *Tissue Eng. Part C Methods*, 21(11), 1162–1170. <https://doi.org/10.1089/ten.tec.2014.0602>
- F. KRAMER ET AL., 2006. Nanocellulose polymer composites as innovative pool for (bio) material development, in: *Macromolecular Symposia*, Wiley Online Library, 136–148. <https://doi.org/10.1002/masy.200651213>
- D. KLEMM ET AL., 2006. Nanocelluloses as innovative polymers in research and application, *Polysaccharides II*, 49–96. https://doi.org/10.1007/12_097
- A. BODIN, L. AHRENSTEDT, H. FINK, H. BRUMER, B. RISBERG, AND P. GATENHOLM, 2007. Modification of nanocellulose with a xyloglucan–RGD conjugate enhances adhesion and proliferation of endothelial cells: implications for tissue engineering, *Biomacromolecules*, 8(12), 3697–3704. <https://doi.org/10.1021/bm070343q>
- S. MONDAL, 2017. Preparation, properties and applications of nanocellulosic materials, *Carbohydr. Polym.*, 163, 301–316. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.12.050>
- M. M. ABEER, M. C. I. MOHD AMIN, AND C. MARTIN, 2014. A review of bacterial cellulose-based drug delivery systems: their biochemistry, current approaches and future prospects, *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 66(8), 1047–1061. <https://doi.org/10.1111/jphp.12234>

- W. XU, X. WANG, N. SANDLER, S. WILLFOR, AND C. XU, 2018. Three-dimensional printing of wood-derived biopolymers: a review focused on biomedical applications, *ACS Sustain. Chem. Eng.*, 6(5), 5663–5680. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b03924>
- M. INNALA ET AL., 2014. 3D culturing and differentiation of SH-SY5Y neuroblastoma cells on bacterial nanocellulose scaffolds, *Artif. Cells Nanomed. Biotechnol.*, 42(5), 302–308. <https://doi.org/10.3109/21691401.2013.821410>
- E. Y. X. LOH, N. MOHAMAD, M. B. FAUZI, M. H. NG, S. F. NG, AND M. C. I. MOHD AMIN, 2018. Development of a bacterial cellulose-based hydrogel cell carrier containing keratinocytes and fibroblasts for full-thickness wound healing, *Sci. Rep.*, 8(1), 2875. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21174-7>
- C. RODRIGUES ET AL., 2014. New therapy of skin repair combining adipose-derived mesenchymal stem cells with sodium carboxymethylcellulose scaffold in a pre-clinical rat model, *PLoS One*, 9(5), e96241. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0096241>
- F. SUN, H. R. NORDLI, B. PUKSTAD, E. K. GAMSTEDT, AND G. CHINGA-CARRASCO, 2017. Mechanical characteristics of nanocellulose-PEG bionanocomposite wound dressings in wet conditions, *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.*, 69, 377–384. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2017.01.049>
- R. M. ENNAB, A. A. A. ALJABALI, N. B. CHARBE, A. BARHOUM, A. ALQUDAH, AND M. M. TAMB UWALA, 2022. Nanocelluloses in wound healing applications, in: *Handbook of Nanocelluloses: Classification, Properties, Fabrication, and Emerging Applications*, Springer, 649–676. https://doi.org/10.1007/978-3-030-89621-8_41
- A. RESCH, C. STAUD, AND C. RADTKE, 2021. Nanocellulose-based wound dressing for conservative wound management in children with second-degree burns, *Int. Wound J.*, 18(4), 478–486. <https://doi.org/10.1111/iwj.13548>
- Z. LIU, T. S. P. DE SOUZA, B. HOLLAND, F. DUNSHEA, C. BARROW, AND H. A. R. SULERIA, 2023. Valorization of food waste to produce value-added products based on its bioactive compounds, *Processes*, 11(3), 840. <https://doi.org/10.3390/pr11030840>
- Y. LIU, C. LI, Z. FENG, B. HAN, D.-G. YU, AND K. WANG, 2022. Advances in the preparation of nanofiber dressings by electrospinning for promoting diabetic wound healing, *Biomolecules*, 12(12), 1727. <https://doi.org/10.3390/biom12121727>
- S. BOTTAN ET AL., 2015. Surface-structured bacterial cellulose with guided assembly-based biolithography (GAB), *ACS Nano*, 9(1), 206–219. <https://doi.org/10.1021/nn5036125>
- H. M. C. AZEREDO ET AL., 2010. Nanocellulose reinforced chitosan composite films as affected by nanofiller loading and plasticizer content, *J. Food Sci.*, 75(1), N1–N7. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01386.x>
- M. MARTELLI-TOSI ET AL., 2018. Soybean straw nanocellulose produced by enzymatic or acid treatment as a reinforcing filler in soy protein isolate films, *Carbohydr. Polym.*, 198, 61–68. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.06.053>

- J. KINGKAEW, N. JATUPAIBOON, N. SANCHAVANAKIT, P. PAVASANT, AND M. PHISALAPHONG, 2010. Biocompatibility and growth of human keratinocytes and fibroblasts on biosynthesized cellulose–chitosan film, *J. Biomater. Sci. Polym. Ed.*, 21(8–9), 1009–1021.
<https://doi.org/10.1163/156856209X462763>
- W. K. CZAJA, D. J. YOUNG, M. KAWECKI, AND R. M. BROWN, 2007. The future prospects of microbial cellulose in biomedical applications, *Biomacromolecules*, 8(1), 1–12.
<https://doi.org/10.1021/bm060620d>
- B. WEI, G. YANG, AND F. HONG, 2011. Preparation and evaluation of a kind of bacterial cellulose dry films with antibacterial properties, *Carbohydr. Polym.*, 84(1), 533–538.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.12.017>
- C. WIEGAND ET AL., 2015. Antimicrobial functionalization of bacterial nanocellulose by loading with polihexanide and povidone-iodine, *J. Mater. Sci. Mater. Med.*, 26(10), 245.
<https://doi.org/10.1007/s10856-015-5571-7>
- E. I. RABEA, M. E.-T. BADAWY, C. V STEVENS, G. SMAGGHE, AND W. STEURBAUT, 2003. Chitosan as antimicrobial agent: applications and mode of action, *Biomacromolecules*, 4(6), 1457–1465.
<https://doi.org/10.1021/bm034130m>
- W.-C. LIN, C.-C. LIEN, H.-J. YEH, C.-M. YU, AND S. HSU, 2013. Bacterial cellulose and bacterial cellulose–chitosan membranes for wound dressing applications, *Carbohydr. Polym.*, 94(1), 603–611.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.01.076>
- J. WU ET AL., 2014. In situ synthesis of silver-nanoparticles/bacterial cellulose composites for slow-released antimicrobial wound dressing, *Carbohydr. Polym.*, 102, 762–771.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.10.093>
- K. GHULE, A. V. GHULE, B.-J. CHEN, AND Y.-C. LING, 2006. Preparation and characterization of ZnO nanoparticles coated paper and its antibacterial activity study, *Green Chemistry*, 8(12), 1034–1041.
<https://doi.org/10.1039/b605623g>
- B. JIA, Y. MEI, L. CHENG, J. ZHOU, AND L. ZHANG, 2012. Preparation of copper nanoparticles coated cellulose films with antibacterial properties through one-step reduction, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 4(6), 2897–2902. <https://doi.org/10.1021/am3007609>
- B. V. MOHITE AND S. V. PATIL, 2016. In situ development of nanosilver-impregnated bacterial cellulose for sustainable released antimicrobial wound dressing, *J. Appl. Biomater. Funct. Mater.*, 14(1), 53–58. <https://doi.org/10.5301/jabfm.5000257>
- E. TROVATTI ET AL., 2018. Enhancing strength and toughness of cellulose nanofibril network structures with an adhesive peptide, *Carbohydr. Polym.*, 181, 256–263.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.10.073>
- E. VATANKHAH, M. P. PRABHAKARAN, G. JIN, L. G. MOBARAKEH, AND S. RAMAKRISHNA, 2014. Development of nanofibrous cellulose acetate/gelatin skin substitutes for variety wound treatment applications, *J. Biomater. Appl.*, 28(6), 909–921. <https://doi.org/10.1177/0885328213486527>

- T. DVIR ET AL., 2011. Nanowired three-dimensional cardiac patches, *Nat. Nanotechnol.*, 6(11), 720–725. <https://doi.org/10.1038/nnano.2011.160>
- D. R. PEREIRA, J. SILVA-CORREIA, J. M. OLIVEIRA, R. L. REIS, A. PANDIT, AND M. J. BIGGS, 2018. Nanocellulose reinforced gellan-gum hydrogels as potential biological substitutes for annulus fibrosus tissue regeneration, *Nanomedicine*, 14(3), 897–908. <https://doi.org/10.1016/j.nano.2017.11.011>
- F. NUDELMAN ET AL., 2010. The role of collagen in bone apatite formation in the presence of hydroxyapatite nucleation inhibitors, *Nat. Mater.*, 9(12), 1004–1009. <https://doi.org/10.1038/nmat2875>
- J. SUNDBERG, C. GÖTHERSTRÖM, AND P. GATENHOLM, 2015. Biosynthesis and in vitro evaluation of macroporous mineralized bacterial nanocellulose scaffolds for bone tissue engineering, *Biomed. Mater. Eng.*, 25(1), 39–52. <https://doi.org/10.3233/BME-141245>
- S. SASKA ET AL., 2012. Bacterial cellulose-collagen nanocomposite for bone tissue engineering, *J. Mater. Chem.*, 22(41), 22102–22112. <https://doi.org/10.1039/c2jm33762b>
- H. ZHOU AND J. LEE, 2011. Nanoscale hydroxyapatite particles for bone tissue engineering, *Acta Biomater.*, 7(7), 2769–2781. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2011.03.019>
- A. KARDAM, K. R. RAJ, AND S. SRIVASTAVA, 2012. Green nanotechnology for bioremediation of toxic metals from waste water, in: *Chemistry of Phytopotentials: Health, Energy and Environmental Perspectives*, Springer, 373–377. https://doi.org/10.1007/978-3-642-23394-4_79
- R. RESHMY ET AL., 2022. Nanocellulose as green material for remediation of hazardous heavy metal contaminants, *J. Hazard. Mater.*, 424, 127516. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127516>
- A. A. B. OMRAN ET AL., 2021. Micro- and nanocellulose in polymer composite materials: A review, *Polymers (Basel)*, 13(2), 231. <https://doi.org/10.3390/polym13020231>
- Y. QIU, L. QIU, J. CUI, AND Q. WEI, 2016. Bacterial cellulose and bacterial cellulose-vaccarin membranes for wound healing, *Materials Science and Engineering: C*, 59, 303–309. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.10.016>
- H. MARTÍNEZ, C. BRACKMANN, A. ENEJDER, AND P. GATENHOLM, 2012. Mechanical stimulation of fibroblasts in micro-channeled bacterial cellulose scaffolds enhances production of oriented collagen fibers, *J. Biomed. Mater. Res. A*, 100(4), 948–957. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.34035>
- A. GUMRAH DUMANLI, 2017. Nanocellulose and its composites for biomedical applications, *Curr. Med. Chem.*, 24(5), 512–528. <https://doi.org/10.2174/0929867323666161014124008>
- J. G. TORRES-RENDON ET AL., 2015. Bioactive gyroid scaffolds formed by sacrificial templating of nanocellulose and nanochitin hydrogels as instructive platforms for biomimetic tissue engineering, *Advanced Materials*, 27(19), 2989–2995. <https://doi.org/10.1002/adma.201405873>
- J. SI, Z. CUI, Q. WANG, Q. LIU, AND C. LIU, 2016. Biomimetic composite scaffolds based on mineralization of hydroxyapatite on electrospun poly(ϵ -caprolactone)/nanocellulose fibers, *Carbohydr. Polym.*, 143, 270–278. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.02.015>

S. SASKA ET AL., 2017. Nanocellulose-collagen-apatite composite associated with osteogenic growth peptide for bone regeneration, *Int. J. Biol. Macromol.*, 103, 467–476.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.086>

FA ÉS PVC ABLAKOK KÖRNYEZETI HATÁSAINAK ÖSSZEHASONLÍTÓ ÉLETCIKLUS-ELEMZÉSE (LCA): MANUÁLIS SZÁMÍTÁSOK ÉS GABI SZOFTVERES EREDMÉNYEK ÖSSZEVETÉSE

KOCSIS ZOLTÁN^a, NÉMETH GÁBOR^a, POLGÁR ANDRÁS^b

^a Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Alkalmazott Tudományi Intézet, 9400 Sopron, email: kocsis.zoltan@uni-sopron.hu, nemeth.gabor@uni-sopron.hu

^b Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Természetvédelmi Intézet, 9400 Sopron, email: polgar.andras@uni-sopron.hu

DOI: <https://doi.org/10.35511/978-963-334-570-2-06>

ABSZTRAKT

A kutatás fa és PVC (*polivinil-klorid*) ablakok bölcstől a kapuig terjedő életciklusát vizsgálja életciklus-elemzés (LCA) módszerével, különös tekintettel a manuális számítások és a GaBi szoftver eredményeinek összevetésére. Az elemzések alapján a faablakok előállítása alacsonyabb energiaigénnyel és kisebb üvegházhatású gázkibocsátással jár, részben a fa megújuló és szénmegkötő tulajdonságai miatt. A PVC ablakok gyártása energiaigényesebb és nagyobb CO₂-terheléssel jár, ugyanakkor újrahasznosíthatóságuk kedvezőbb. A manuális és szoftveres LCA eredmények konzisztensen igazolják a faablakok környezeti előnyeit, ugyanakkor rávilágítanak a különböző módszertani megközelítések bizonytalanságaira is.

Kulcsszavak: Életciklus-elemzés (LCA), PVC ablak, fa ablak, újrahasznosítás, körforgásos gazdaság, karbonlábnyom, szén-dioxid kibocsátás.

1. BEVEZETÉS ÉS IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az építőiparban az energiahatékonyság és a fenntarthatóság kiemelt szerepet kap, különösen az épületek életciklus-szintű környezeti hatásainak értékelésekor. Az ablakok anyagválasztása jelentősen befolyásolja az épületek hőtechnikai teljesítményét és energiafogyasztását, amely szoros kapcsolatban áll az U_w (*ablak hőátbocsátási tényező*) és U_f (*keret hőátbocsátási tényező*) értékekkel (Masi és társai, 2023). A faablakok megújuló alapanyagból készülnek, és biogén szénmegkötő tulajdonságaik miatt alacsonyabb beépített környezeti terhelést mutatnak, amit több LCA-vizsgálat is alátámaszt (Asdrubali és társai, 2021). A PVC ablakok gyártása ezzel szemben energiaigényesebb és fosszilis alapú folyamatokra támaszkodik, amit az európai Eco-profile dokumentumok is megerősítenek (PlasticsEurope, 2023).

Az ablakanyagok életciklus-alapú összehasonlítása a Life Cycle Assessment (LCA) módszertannal végezhető el, az ISO 14040/44 szabványok alapján, míg a termékek közötti összehasonlíthatóságot az EN 15804+A2 (*építési termékek és épületek környezeti nyilatkozatára vonatkozó európai szabvány*) szerinti EPD-k (*környezeti terméknyilatkozat*) biztosítják (ISO, 2006a). A hőtechnikai teljesítmény

azonban nemcsak az alapanyagtól, hanem a szerkezeti kialakítástól is függ, így mind a fa-, mind a PVC-keretekből gyárthatók alacsony Uw/Uf értékű ablakok (*Gustavsen és társai, 2010*). Az életciklus végi kezelés, valamint a biogén szén elszámolásának szabályai szintén jelentős hatással vannak a teljes környezeti mérlegre (*Carbon Leadership Forum, 2025*).

A nemzetközi LCA-tanulmányok következetesen rámutatnak az anyagválasztás jelentőségére. Salazar és társai (2008) szerint a faablakok – különösen alumíniumborítással – alacsonyabb üvegházhatású gáz (ÜHG)-kibocsátással rendelkeznek, míg Intini és társai (2016) hangsúlyozza, hogy a funkcionális egység és a műszaki paraméterek erősen befolyásolják az összehasonlíthatóságot. Stachowiak-Wencek és társai (2013) Eco-indicator 99 alapú elemzése szerint a PVC ablakok gyártása lényegesen nagyobb környezeti terhelést okoz (+530 Pt; az Eco-indicator 99 módszer dimenzió nélküli pont-egysége a Pt; egy európai lakos egy évre jutó teljes átlagos környezeti terhelése) míg a faablakoké negatív összértéket mutat (-236 Pt) a biogén szén elszámolása miatt. Sinha és Kutnar (2012) cradle-to-gate (bölcsőtől a kapuig) elemzése szerint a PVC ablakkeretek CO₂-kibocsátása mintegy kétszerese a fa keretekének (PVC keret: 258 kg CO₂eq/m², fakeret: 130 kg CO₂eq/m²). Ugyanakkor az UPC kutatócsoport vizsgálatai (Baldasano és társai, 2005) rámutattak, hogy kedvező feltételek – például ≥30% újrahasznosított PVC-tartalom – mellett a PVC ablakok egyes metrikákban megközelíthetik vagy akár meghaladhatják a fa teljesítményét.

Összességében a nemzetközi szakirodalom azt mutatja, hogy a fa szerkezetek környezetterhelése jellemzően alacsonyabb, míg a PVC nagyobb energiafelhasználással és CO₂-kibocsátással jár. A megbízható összehasonlításhoz azonban elengedhetetlen az egységes rendszerhatár, funkcionális egység (FU) és módszertan alkalmazása.

Jelen kutatás célja a fa és PVC ablakok összehasonlító LCA elemzése, manuális számítások és GaBi modellezés alapján, különös tekintettel a gyártási szakasz (A1–A3) energia- és emissziós terheire, valamint az esetleges módszertani eltérések feltárására.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. CÉL ÉS HATÓKÖR

A vizsgálat célja a fa és PVC ablakok gyártási szakaszának összehasonlító életciklus-elemzése (LCA) „cradle-to-gate” rendszerhatár (A1–A3) mellett. A módszertan az ISO 14040/44, ISO 14025 és az EN 15804+A2 szabványokon alapul, az értékeléshez az EF 3.1 (EU-s módszertani rendszer) szerinti Climate Change (CC – klímaváltozás hatáskategória) indikátorokat alkalmaztuk. A manuális és GaBi szoftveres eredményeket egységes módszertannal hasonlítottuk össze.

2.2. FUNKCIONÁLIS EGYSÉG (FU) ÉS TERMÉKLEÍRÁS

A funkcionális egység 1 db (~1 m²) ablak 10 éves referencia élettartammal (RSL). Az összehasonlítás minden esetben egységes rendszerhatárra és m²-re vetített eredményekre épült. A faablaknál a biogén szénmegkötést külön jeleztük, a fosszilis kibocsátás értékeléséhez a (CC)-fossil mutatót használtuk.

2.3. REFERENCIA TERMÉKEK (FA ÉS PVC ABLAK)

A vizsgált fa- és PVC ablakok fő paramétereit és anyaglistáját (BOM) az 1. táblázat tartalmazza. Az adatokat két magyarországi ablakgyártó vállalatnál gyűjtöttük, amelyek névtelenséget kértek.

1. táblázat. A vizsgálat tárgyát képező referencia ablakok paramétereit

Paraméter	Fa ablak (referencia)	PVC ablak (referencia)
Ablaktípus	Bukó-nyíló, egyszárnyú	Bukó-nyíló, egyszárnyú
Ablakméret (mm), felület (m ²)	720 × 1470; 1,06 m ²	840 × 1220; 1,025 m ²
Profilvastagság	93 mm (lucfenyő)	92 mm, 8 légkamrás
Ablakkeret hőátbocsátási tényező (U _f)	U _f = 1,3 – 1,5 W/m ² K	U _f = 0,9 – 1 W/m ² K
Alapanyag	Hossztoldott lucfenyő, 12% nedv.	uPVC profil (nem lágyított, merev PVC) + horganyzott acél merevítő
Üvegezés (U _g – üveg hőátbocsátási tényező)	Háromrétegű 4–18–4–18–4, Low-E, argon; U _g = 0,5 W/m ² K	Háromrétegű 4–18–4–18–4, Low-E, argon. U _g = 0,5 W/m ² K
Üvegfelület	~0,60 m ²	~0,67 m ²
Tömítések EPDM: gumitömítés alapanyaga	Hármas EPDM (Deventer S7503a, S7624)	EPDM gumitömítések (kétsoros)
Vasalat	ROTO NT többpontos	ROTO NT többpontos
Villamosenergia igény	18,24 kWh/ablak (17,2 kWh/m ²)	5,5 kWh/ablak (5,36 kWh/m ²)
Anyagok – nettó beépített tömegek (1 db)		
Üveg	18 kg	20 kg
Keret anyag	Fa (luc): 33,68 kg	uPVC: 14,54 kg
Acél	5,55 kg (vasalat + csavar)	14,28 kg (merevítő 9,82 kg + vasalat 4,40 kg + csavar 0,06)
EPDM	0,65 kg	0,220 kg
Bronz	1,42 kg (kilincs, vízvetők)	–
Műanyag egyéb	Üvegező ék 0,05 kg	–
Festék / lakk /ragasztó	Festék 2,97 kg; lakk 2,85 kg; sziloplaszt 0,30 kg	Ragasztó 0,002 kg
Csomagolás	PE (polietilén) fólia 0,018 kg	PE fólia 0,018 kg
Átlagos beszállítási távolság	350 km (teherautó/kamion)	250 (7,5 t dízel teherautó)

2.4. RENDSZERHATÁROK ÉS FÖLDRAJZI LEFEDETTSÉG

A vizsgálat az A1–A3 modulokra korlátozódik (A1: nyersanyag-kitermelés és előállítás; A2: szállítás a gyártóhoz; A3: gyártási folyamat). A gyártás magyarországi környezetben történt, az alapanyagok jellemzően európai beszállítóktól származnak, átlagos szállítási távolságokkal (PVC 250 km, fa 350 km). Időbeli referencia: 2024.

2.5. ÉLETCIKLUS-LELTÁR (LCI) ÉS ADATFORRÁSOK

A manuális és a GaBi-modell egyaránt a nettó beépített anyagmennyiségekre épül. A manuális LCA során európai átlagos emissziós faktorokat alkalmaztunk a főbb anyagokra (PVC, acél, üveg, fa, EPDM, PE fólia, csavar, ragasztó), összhangban a LCI-adatgenerálási útmutatókban és adatbázisokban közölt tartományokkal (Fazio és társai, 2018; Ecoinvent Association, 2024). A publikált háttér adatok technológiai és földrajzi szórása miatt a $\pm 30\%$ -os bizonytalansági sáv életszerűnek tekinthető (Weidema és társai, 2003). A villamosenergia emissziós tényezőjére a magyar villamosenergia-mixhez tartozó 0,258 kg CO₂eq/kWh értéket vettük alapul (Electricity Maps, n.d.). A GaBi-modell az EN 15804+A2 szerinti módszertant követi, és a Sphera Professional, valamint az ecoinvent adatbázisok háttér folyamataira támaszkodik (Sphera, 2025; Ecoinvent Association, 2024).

2. táblázat. Manuális számításhoz alkalmazott emissziós faktorok (EF)

Megnevezés	Egység	Emissziós faktor (EF)	Megjegyzés
Villamos energia	kg CO ₂ eq/kWh	0,258	Magyar hálózati mix
Alapanyag-beszállítás (átlag)	kg CO ₂ eq/ablak	~5	Beérkező szállítás összevont, ablakszintű becslése.
Hőszigetelt üveg (3 réteg)	kg CO ₂ eq/kg	2,00	Európai gyártásra jellemző irodalmi átlag
PVC profil (uPVC)	kg CO ₂ eq/kg	2,05	Európai gyártásra jellemző irodalmi átlag
Acél (merevítő/vasalat)	kg CO ₂ eq/kg	1,80	Európai gyártásra jellemző irodalmi átlag
EPDM tömitések	kg CO ₂ eq/kg	3,50	Európai gyártásra jellemző irodalmi átlag
Csavarok (galvanizált acél)	kg CO ₂ eq/kg	4,50	Európai gyártásra jellemző irodalmi átlag
Ragasztó	kg CO ₂ eq/kg	9,00	Európai gyártásra jellemző irodalmi átlag
Csomagoló fólia (PE)	kg CO ₂ eq/kg	2,50	Európai gyártásra jellemző irodalmi átlag
Faanyag (lucfenyő) – manuális CO ₂ eq	kg CO ₂ eq/kg	1,83	Faanyagban tárolt ekvivalens CO ₂ mennyiség
Faanyag	kg CO ₂ eq/kg	0,05	Figyelembe véve a kitermelés és az erdőművelés során keletkező CO ₂ kibocsátást

2.6. HATÁSKATEGÓRIÁK ÉS KARAKTERIZÁCIÓ

Az értékelés az EN 15804+A2 (EF 3.1) szerinti Climate Change kategóriákra épült (total, fossil, biogenic, land use & LUC – land use change). A manuális és szoftveres összevetéshez a (CC)-fossil mutató szolgált.

2.7. MANUÁLIS SZÁMÍTÁSI MÓDSZER

A manuális LCA a gyártói BOM-adatokra és a villamosenergia-fogyasztásra épült. Az eredményeket m_2 -re vetítve számoltuk, a szállítás hatását átlagos távolságok alapján becsültük. A módszer bizonytalansága a háttérfaktorok szórása miatt akár $\pm 30\%$ is lehet.

2.8. GABI SZOFTVERES LCA-MODELL

A GaBi modell a BOM-adatokat, az üzemi energiafelhasználást és a szállítást tartalmazza. A háttérfolyamatokat a Sphera és Ecoinvent adatbázisok biztosítják. A kimenetek modulonként (A1–A3) érhetők el, az EN 15804+A2 szerinti jelentési követelményeknek megfelelően.

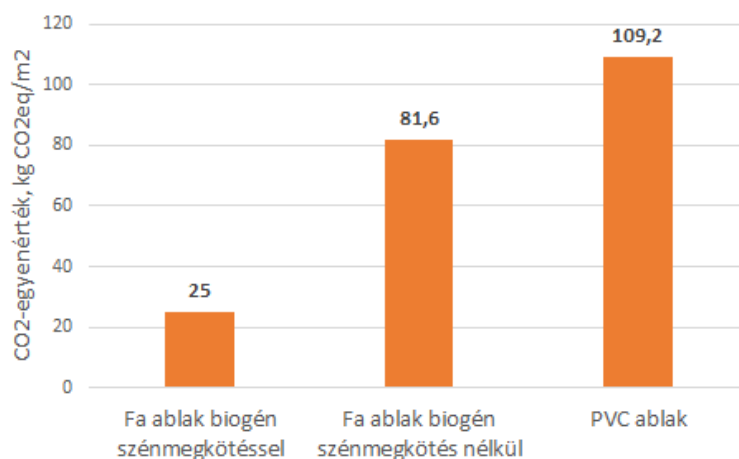
3. EREDMÉNYEK ÉS ELEMZÉS

3.1. SZÉN-DIOXID-KIBOCSÁTÁS (CO_2 -EGYENÉRTÉK) – MANUÁLIS ÉS GABI EREDMÉNYEK ÖSSZEVETÉSE

A gyártási szakasz (A1–A3) karbonlábnyomát manuális számítással és GaBi modellezéssel hasonlítottuk össze, $1 m^2$ ablakfelületre vetítve (1. ábra). A GaBi eredményei szerint a PVC ablak gyártása kb. $109 kg CO_2eq/m^2$, míg a faablaké $\sim 25 kg CO_2eq/m^2$, amely érték már tartalmazza a biogén szénmegkötés hatását. Biogén korrekció nélkül a faablak gyártási kibocsátása $80–82 kg CO_2eq/m^2$, így a szénmegkötés a nettó értéket mintegy $70–80\%$ -kal csökkenti.

Mindkét módszer egyértelműen igazolja, hogy a PVC ablakok gyártási karbonlábnyoma lényegesen magasabb. Ennek fő oka a PVC fosszilis alapú monomereinek (VCM, vinil-klorid-monomer, és etilén) és klórvegyipari előállításának magas energiaigénye. A faablakok esetében az alacsonyabb energiafelhasználás és a biogén szénmegkötés egyaránt mérsékli a nettó kibocsátást. Biogén szénmegkötés nélkül is kb. 21% -kal alacsonyabb a faablakok CO_2 -kibocsátása, míg a biogén elszámolással a különbség meghaladhatja a 80% -ot.

A használati szakaszban az energiamegtakarítás nem kizárólag az alapanyagtól függ, hanem a szerkezeti kialakítástól és az üvegezéstől. A szakirodalom szerint a fa- és PVC-keretkből egyaránt készíthetők nagyon jó hőtechnikai teljesítményű szerkezetek: háromrétegű üvegezés esetén jellemzően $0,75–1,0 W/m^2K$ (fa) és $0,9–1,0 W/m^2K$ (PVC) U_w értékek érhetők el (Gustavsen és társai, 2010; Konradsen és társai, 2024). A különbségek így nagyobb mértékben függenek a profil kialakításától és a beépítéstől, mint az alapanyagtól.



1. ábra. A fa- és PVC ablak gyártási szakaszában számolt CO₂-kibocsátás (kgCO₂eq/m²)

Az élettartam tekintetében a szakirodalom PVC ablakokra jellemzően 25–40 év közötti referencia szolgálati időt (RSL) ad meg (Asif és társai, 2002; EPPA és társai, 2022), míg fa ablakoknál 30–60 év közötti értékek fordulnak elő, különösen alumínium borítás vagy módosított faanyag esetén (Menzies, 2013; SIA FLORA, 2023). Több tanulmány és iparági jelentés rámutat, hogy 50–60 éves időtávban a PVC-U ablakok cseréjére gyakran legalább egyszer, kedvezőtlenebb körülmények között akár kétszer is sor kerülhet, míg a megfelelően karbantartott fa szerkezetek végig használhatók (Asif és társai, 2002; Menzies, 2013). A karbantartás és javíthatóság ezért a faablakok környezeti mérlegét tovább javítja, mivel a célzott felújítás sok esetben elkerüli az új gyártáshoz és hulladékkezeléshez kapcsolódó többletterheléseket.

3.2. MANUÁLIS ÉS SZOFTVERES (GABI) LCA SZÁMÍTÁSOK ÖSSZEVETÉSE

A fa- és PVC ablakok gyártási szakaszát két módszerrel értékeltük:

1. manuális számítással, irodalmi emissziós faktorok felhasználásával (2. táblázat), valamint

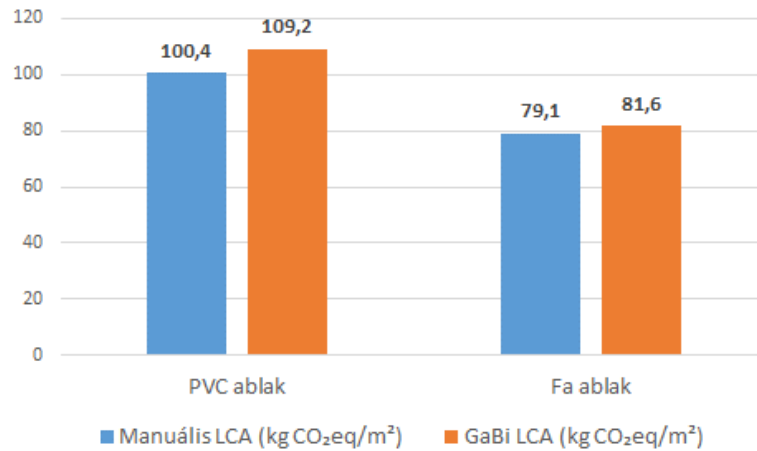
2. GaBi szoftverrel, amely részletes, validált háttéradatbázisokra épül.

Mindkét megközelítés eredményeit az 1 m²-re vetített Climate Change (*fossil*) kategóriában hasonlítottuk össze.

A manuális módszer eredményei szerint (3. táblázat) a PVC ablak kibocsátása 100,4 kg CO₂eq/m², míg a faablaké (*biogén szénmegkötés nélkül*) 79,1 kg CO₂eq/m², azaz a PVC értéke ≈27%-kal magasabb. A GaBi modell hasonló trendet mutat: PVC 109,2 kg CO₂eq/m², fa 81,6 kg CO₂eq/m², ami kb. 34% különbség. A két módszer között az eltérés PVC esetében 8,7%, fa esetében 3,3%, vagyis a manuális módszer a faablakoknál jól közelíti a szoftveres eredményeket, míg a PVC esetében nagyobb a bizonytalanság, főként a gyártási folyamatok komplexitása és a segédanyagok eltérő háttéradatai miatt.

3. táblázat. A manuális és a GaBi-modell szerinti karbonlábnyom értékek (kgCO₂eq/m²)

Ablaktípus	Manuális LCA (kg CO ₂ eq/m ²)	GaBi LCA (kg CO ₂ eq/m ²)	Eltérés (%)
PVC ablak	100,4	109,2	+8,7%
Fa ablak*	79,1	81,6	+3,3%



2. ábra. A manuális és a GaBi szoftveres LCA számítások összehasonlítása fa és PVC a referencia ablakok esetében (kg CO₂eq/m²)

A manuális LCA előnye az egyszerűség, gyorsaság és alacsony adat- vagy erőforrás-igény, ugyanakkor eredményei érzékenyek az alkalmazott emissziós faktorok minőségére és akár ±30% tartományú szakirodalmi szórásra. Ezzel szemben a GaBi részletesebb és robusztusabb, mivel a teljes ellátási láncot és a releváns háttér-folyamatokat (*villamosenergia-mix, szállítási távolságok, segédanyagok*) is integrálja, ugyanakkor nagyobb szaktudást és erőforrást igényel.

4. táblázat. A manuális és a szoftveres (GaBi) számítási módszerek előnyei és hátrányai

Módszer	Előnyök	Hátrányok
Manuális számítás	Gyors, egyszerű, költséghatékony; kis adat-igény, kisebb cégek is alkalmazhatják.	Pontossága korlátozott: az eredmények függenek az alkalmazott adatok minőségétől és az általánosítás mértékétől (akár ±30% eltérés is lehet).
GaBi szoftveres LCA	Részletes, pontos eredmények; naprakész háttér-adatbázisok; a teljes ellátási lánc modellezhető, érzékenységvizsgálatok végezhetőek.	Jelentős adat- és erőforrás igény; bonyolultabb kezelni; drága szoftver, ami kisebb vállalkozásoknak nem mindig elérhető.

Mindkét módszerrel ugyanarra a következtetésre jutottunk: a PVC ablakok gyártási környezetterhelése lényegesen nagyobb, mint a faablakoké, és a manuális módszer által jelzett trend megerősíti a részletes GaBi modell eredményeit. A két megközelítés így jól kiegészíti egymást: a manuális számítás gyors előzetes becslést ad, míg a GaBi a pontosításra és a döntéstámogatásra alkalmas.

4. KONKLÚZIÓ ÉS ÖSSZEFOGLALÁS

4.1. A FAABLAKOK KÖRNYEZETI TELJESÍTMÉNYE

A vizsgálat egyértelműen igazolta, hogy a faablakok gyártása kedvezőbb környezeti teljesítményt nyújt, mint a PVC ablakoké. A faanyag előállításához kevesebb energia szükséges, és a gyártási szakaszhoz kapcsolódó CO₂-kibocsátások alacsonyabbak. A fa természetes szénmegkötő képessége különösen jelentős tényező, amely a nettó karbonlábnyomot tovább csökkenti. A faablakok további előnye, hogy életciklusuk végén biológiailag lebomlanak vagy energetikailag hasznosíthatók. Ugyanakkor a magasabb kezdeti beszerzési költség, valamint a rendszeres felületkezelés igénye olyan tényezők, amelyek a gyakorlati alkalmazás során figyelmet igényelnek. Megfelelő karbantartás mellett a faablakok hosszú távon fenntartható és versenyképes alternatívát jelentenek.

4.2. A PVC ABLAKOK SAJÁTOSÁGAI ÉS KÖRNYEZETI KORLÁTAI

A PVC ablakok előnyei elsősorban gazdasági jellegűek: a nagy sorozatú gyártásnak köszönhetően kedvező árú termékek, amelyek tartóssága és alacsony karbantartási igénye vonzó a felhasználók számára. Környezeti szempontból azonban hátrányosabbak, mivel előállításuk energiaigénye magas, és a kapcsolódó emissziók jellemzően fosszilis eredetűek. A PVC gyártásához alkalmazott klór és különféle adalékanyagok tovább növelik a folyamat környezeti terheit. Az életciklus végén a hulladékkezelés továbbra is kihívás, bár a zárt körforgású újrahasznosítási technológiák fejlődése mérsékli a terhelést. A vizsgálat eredményei alapján már 30% újrahasznosított tartalom is érzékelhető kibocsátáscsökkentést eredményez, ami rámutat a körforgásos gazdaság elveinek növekvő jelentőségére a PVC nyílászáróiparban.

4.3. A MANUÁLIS ÉS A GABI SZOFTVERES LCA SZÁMÍTÁSOK ÖSSZEVETÉSE

A manuális és a GaBi szoftverrel végzett LCA eredmények összehasonlítása azt mutatta, hogy a két módszer lényegében azonos trendeket tár fel. Bár a számítási logika és a háttér adatok eltérnek, mindkét megközelítés arra a következtetésre jutott, hogy a faablakok gyártási szakaszban alacsonyabb karbonlábnyommal rendelkeznek, mint a PVC ablakok. A manuális módszer előnye az egyszerűség és az átláthatóság, ami jól használható előzetes becslésekhez vagy korlátozott adatok esetén. A GaBi szoftver ezzel szemben részletes modellezést és pontosabb eredményeket biztosít, mivel átfogó háttér adatbázisokra támaszkodik. A két megközelítés összhangja megerősíti, hogy az anyagválasztással kapcsolatos döntések során érdemes a teljes életciklus környezeti hatásait értékelni, és nem csupán a beruházási költségeket figyelembe venni.

4.4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JÖVŐBELI IRÁNYOK

A vizsgálat eredményei alapján a faablakok ökológiai szempontból kedvezőbb alternatívát jelentenek, különösen a gyártási szakasz alacsonyabb energiaigénye és karbonlábnyoma miatt. A fa megújuló és természetes alapanyag, amely jól illeszkedik a fenntartható építészet és a körforgásos gazdaság célkitűzéseibe. A PVC ablakok ugyanakkor gazdasági előnyöket kínálnak, de környezetterhelésük csökkentéséhez elengedhetetlen a magas újrahasznosított tartalom alkalmazása és a technológiai innovációk ösztönzése. Hosszú távon a piaci és szabályozási trendek egyaránt abba az irányba mutatnak, hogy az alacsonyabb karbonlábnyomú nyílászárók iránti kereslet növekedni fog. A vizsgálat rávilágít arra is, hogy a manuális és szoftveres LCA módszerek egymást kiegészítve hasznosak lehetnek a fenntartható építőanyag-választás támogatásában. Összességében a faablakok alkalmazása környezeti szempontból indokoltabb, azonban a végső döntés során a műszaki, gazdasági és karbantartási szempontok együttes mérlegelése szükséges.

REFERENCIÁK

- ASDRUBALI, F., GRAZIESCHI, G. & RONCONE, M., 2021. Embodied energy and embodied GWP of windows: A critical review. *Energies*, 14(13), 3788. <https://doi.org/10.3390/en14133788>
- ASIF, M., DAVIDSON, A. & MUNEER, T., 2002. *Life cycle of window materials – A comparative assessment*. School of Engineering, Napier University, Edinburgh, UK.
- BALDASANO, J. M., JIMÉNEZ-GUERRERO, P., GONÇALVES AGEITOS, M. & PARRA NARVÁEZ, R., 2005. *Estimate of energy consumption and CO₂ emission associated with the production, use and final disposal of PVC, aluminium and wooden windows*. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona. <https://upcommons.upc.edu/> (Megtekintve: 2025. 09. 17).
- CARBON LEADERSHIP FORUM, 2025. *Biogenic carbon accounting in wood environmental product declarations* [online]. <https://carbonleadershipforum.org/biogenic-carbon-accounting-in-wood-environmental-product-declarations/> (Megtekintve: 2025. 09. 17).
- ECOINVENT ASSOCIATION, 2024. *ecoinvent version 3.10.1 database* [Life cycle inventory database]. <https://www.ecoinvent.org> (Megtekintve: 2025. 09. 16).
- ELECTRICITY MAPS, (n.d.) *Hungary – Yearly carbon intensity for all technologies* [online]. <https://app.electricitymaps.com/zone/HU/all/yearly> (Megtekintve: 2025. 09. 16).
- EPPA, GKFP & QKE, 2022. *Environmental Product Declaration: PVC windows (average for member companies)* (EPD-EPPA-20220023-IBG1-EN). Institut Bauen und Umwelt (IBU).
- FAZIO, S., ZAMPORI, L., DE SCHRYVER, A. & KUSCHE, O., 2018. *Guide on Life Cycle Inventory (LCI) data generation for the Environmental Footprint (Version 1.0)*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/120983>
- GUSTAVSEN, A., JELLE, B. P., ARASTEH, D. & CURCIJA, D., 2010. *Experimental and numerical examination of the thermal transmittance of high-performance window frames* (LBNL-3886E). Lawrence Berkeley National Laboratory. <https://eta-publications.lbl.gov/sites/default/files/lbnl-3886e.pdf> (Megtekintve: 2025. 09. 17).
- INTINI, F., ROSPI, G., CARDINALE, N., KÜHTZ, S. & DASSISTI, M., 2016. Life cycle assessment of Italian residential windows: Sensitivity of analysis. *International Journal of Heat and Technology*, 34(S2), S235–S241. <https://doi.org/10.18280/ijht.34S207>
- ISO, 2006A. ISO 14040:2006 – *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework* [online]. <https://www.iso.org/standard/37456.html> (Megtekintve: 2025. 09. 17).
- KONRADSEN, F., BIRGISDOTTIR, H. & RASMUSSEN, F. N., 2024. How methodological differences affect EPD results – case of windows. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 29(5), 1000–1015. <https://doi.org/10.1007/s11367-023-02246-x>
- MASI, R. F. ET AL., 2023. The role of windows on building performance under current and future climate conditions. *Energy and Buildings*, 293, 113238. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113238>

MENZIES, G. F., 2013. *Life cycle assessment of timber, modified timber and aluminium-clad timber windows: Service life planning, whole life costing and life cycle assessment*. Report for the Wood Window Alliance.

PLASTICSEUROPE / ECVI, 2023. *Eco-profile of PVC resin (S-PVC & E-PVC): Life cycle inventory and environmental impacts for European production (Data year 2021)*.

https://pvc.org/wp-content/uploads/2023/06/230628_Eco-profile-PVC_june23.pdf

(Megtekintve: 2025. 09. 17).

SALAZAR, J. & SOWLATI, T., 2008. Life cycle assessment of windows for the North American residential market: Case study. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23(2), 121–132.

<https://doi.org/10.1080/02827580801906981>

SIA FLORA, 2023. *Environmental Product Declaration – Group wooden windows IV90 (1 m² declared unit)* (EPD-Kiwa -EE-358-EN). Kiwa Ecobility Experts.

SINHA, A. & KUTNAR, A., 2012. Carbon footprint versus performance of aluminum, plastic, and wood window frames from cradle to gate. *Buildings*, 2(4), 542–553.

<https://doi.org/10.3390/buildings2040542>

SPHERA, 2025. LCA for Experts (formerly GaBi): *Life cycle assessment software solutions* [Computer software]. Sphera Solutions GmbH. <https://sphera.com> (Megtekintve: 2025. 09. 16).

STACHOWIAK-WENCEK, A., PRĄDZYŃSKI, W. & DESKA, T., 2013. Environmental impact analysis of windows made from wood and PVC using LCA. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology*, 84, 293–299.

WEIDEMA, B. P., FREES, N., ØLLGAARD, H. & PETERSEN, E. H., 2003. *Reducing uncertainty in LCI* (Environmental Project No. 862). Danish Environmental Protection Agency.

COMPARATIVE LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) OF WOODEN AND PVC WINDOWS: A COMPARISON OF MANUAL CALCULATIONS AND GABI SOFTWARE RESULT

ABSTRACT

This research examines the cradle-to-gate life cycle of wooden and PVC (polyvinyl chloride) windows using the Life Cycle Assessment (LCA) methodology, with particular emphasis on comparing manual calculations and GaBi software-based results. The analyses show that wooden window production requires less energy and results in lower greenhouse gas emissions, partly due to the renewable nature and carbon-sequestering properties of wood. PVC window manufacturing is more energy-intensive and associated with higher CO₂ emissions, although its recyclability is more favourable. The manual and software-based LCA results consistently confirm the environmental advantages of wooden windows, while also highlighting uncertainties arising from different methodological approaches.

Keywords: Life Cycle Assessment (LCA), PVC window, wooden window, recycling, circular economy, carbon footprint, carbon dioxide emissions

EGYSÉGTÖRTEK MINT GONDOLKODÁSMODELLEK: ÓKORI ELVEKTŐL A 21. SZÁZADI TUDOMÁNYOKIG

SZABÓ PÉTER^a, PREKLET EDINA^b

^a Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Kreatívipari Intézet, 9400 Sopron,
email: szabo.peter@uni-sopron.hu

^b Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Alaptudományi Intézet, 9400 Sopron,
email: joobne.preklet.edina@uni-sopron.hu

DOI: <https://doi.org/10.35511/978-963-334-570-2-07>

ABSZTRAKT

Az ókori Egyiptom matematikai világa sok szempontból eltért a mai gondolkodástól, mégis meglepően kreatív megoldásokat kínált. A mai mérnöki világ a matematika alapjain nyugszik, ennek ellenére sokszor jelentősen eltérhet a mérnöki és a matematikai szemlélet. A mérnöki hétköznapiakban az egyszerűsítések, kerekítések és a „szokások” sokszor megelőzik a tiszta matematikai logikát. Ezek a különbségek jól szemléltethetőek az egyiptomi törtek használatakor. Az egyiptomi hétköznapiakban nagyon fontos szerepe volt a törteknek, a földterületek kimérésénél, a termények szétosztásánál. Azonban a $\frac{2}{3}$ -ad kivételével minden törtet egységtörtek összegeként írtak fel. A matematikai műveleteket így talán nehezebb elvégezni, de a gyakorlatban a „mérnöki” feladatokat, a valódi szétosztásokat könnyebben lehetett így megvalósítani. Az ókori gondolkodásmód a mai mérnökök számára is inspirálóan hathat arra, hogy akár egy egyszerű feladatot is meg lehet oldani több, különböző módon is. A mesterséges intelligencia világában a mérnökképzésben a kreatív gondolkozásmód fejlesztése lehet az elsődleges feladat. E cikk célja, hogy az egyiptomi egységtörtek bemutatása mellett inspiráló analógiákat mutasson be, melyek a történelmi érdekességektől a modern fizikai és zenei analógiáig terjednek.

Kulcsszavak: egyiptomi matematika, egységtörtek, Rhind-papirusz, matematikaoktatás, pedagógiai szemléltetés, algoritmikus gondolkodás

1. BEVEZETÉS

A mérnökképzésben markánsan is jelentkezhetnek azok a nehézségek, amelyek a formális matematika és az absztrakt gondolkodás közötti átmenethez kapcsolódnak. Megfigyelhető az algoritmikus gondolkodás hiánya, a többféle megoldási stratégia párhuzamos keresésének elmaradása. E készségek ugyanakkor fejleszthetők olyan tartalmak és módszertani keretek használatával, amelyek hatékonyan támogatják e kompetenciák erősítését.

A matematika és a történelem kapcsolatában olyan didaktikai potenciált látunk, amely a történelmileg igazolt alkalmazásoknak köszönhetően csökkenti az előítéleteket, növeli a tanulási

motivációt, és lehetővé teszi egy játékos, kutatói attitűd kialakulását (Fauvel, 1991; Tzanakis–Arcavi, 2000; Jankvist, 2009). A törtékkel kapcsolatos gondolkodás fejlesztése nem kizárólag a matematikaórák keretei között valósulhat meg; hatékonyan integrálható projektalapú tanulási helyzetekbe is. Megértésük elősegítésére különösen alkalmasak a mindennapi életből vett elosztási problémák, amelyek szemléletes kiindulópontot biztosítanak a fogalomalkotáshoz és az elmélyült mérnöki tudásépítéshez.

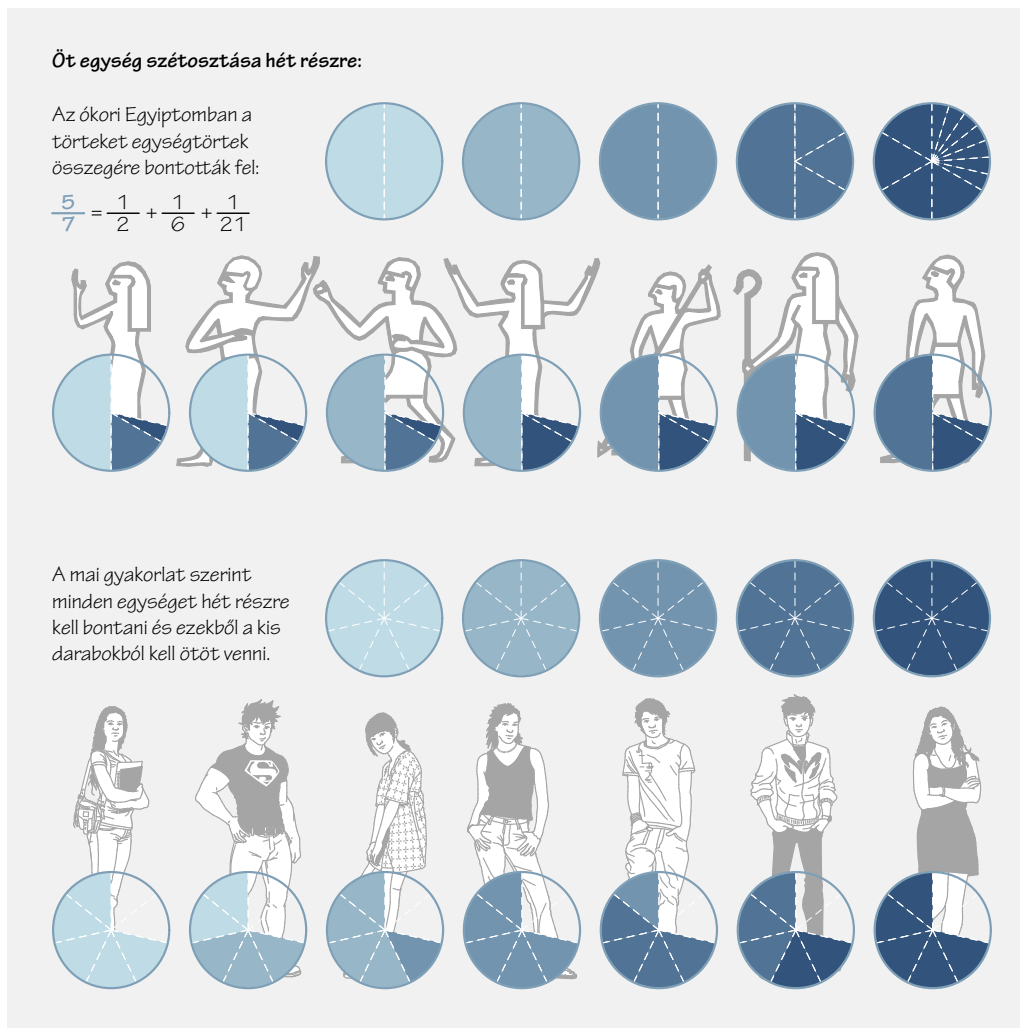
Tegyük fel, hogy van 5 cipónk, melyeket 7 ember között kell elosztani úgy, hogy mindenki ugyanakkora darabot kapjon.

A mai matematikai formalizmus alapján a megoldás kézenfekvő: mindenki megkapja mindegyik cipó hetedét. Vagy mindegyik cipóból kivágunk 2 db, $1/7$ -ednyi részt, így öten $5/7$ cipót kapnak, a maradék két ember pedig a 5 db $1/7$ -nyi részt. Ha azonban a helyzetet tényleges osztozkodással oldjuk meg, hamar kiderül, hogy az „ötheted” közvetlen kimérése nem magától értetődő művelet. Amennyiben a cipókat sorban szeretnénk felválni és kiosztani, akkor az első ember $5/7$ -ed részt kap a második ember a megmaradt $2/7$ -ednyi cipót, amihez a következőből még jár neki $3/7$ -ed, így $4/7$ -ednyi cipó marad a következő embernek, amihez még $1/7$ -ednyi részt kell adni... (1. ábra). Egy ilyen megoldás szinte lehetetlenné teszi a gyakorlatban a felosztást, főleg, ha nagyon sok ember között kell sok-sok mindent szétosztani.

Az ókori Egyiptomban az írnokok nap mint nap szembesültek hasonló problémákkal, ezért gyakorlatiasabb módon közelítettek a feladathoz: először mind az öt embernek adtak egy-egy fél cipót, majd a megmaradt cipókból $1/6$ részeket kezdtek kivágni. Mindenkinek adtak egy ilyen hatodnyi egységet. A szétosztás után a maradék kis cipót, hét részre osztották, amiből mindenkinek jutott még egy-egy darabnyi. Így az egyiptomi felírás szerint mindenki az alábbi módon kapta meg a részét: $1/2+1/6+1/21$, ami egyenlő azzal, hogy mindenki $5/7$ rész cipót kapott (1. ábra).

Ez a módszer nem csupán kulturális érdekesség, hanem gyakorlati racionalitással is bírt. A gabona, kenyér vagy sör adagolásánál a felezés, harmadolás, negyedelés technikailag egyszerűen kivitelezhető volt, míg egy „négyötöd rész” kimérése önmagában nehezkesebb. Az egységtörtek használata tehát nemcsak számolási konvenció, hanem a mindennapi életben is jól alkalmazható eszköz volt.

A magyarországi általános iskolások 5. évfolyamban már találkoznak az egységtörtek fogalmával, definíció szintjén. Jellemzően nem különböztetik meg az egységtörteket a törtéktől, illetve az egyiptomi számolás logikája csak ritkán kerül elő a tanórákon.



1. ábra. A cipók elosztása. Forrás: szerző

Definíció: Egy egységtört olyan törtszám, amelynek számlálója 1, és nevezője egy pozitív egész szám, ahol $n \in \mathbb{Z}^+$, $n \geq 1$

Egy ilyen feladattípus jól szemlélteti a mérnöki megközelítés lehetőségeit. A gyakorlatban kényelmesebb elosztást eredményez az egységtörtek használata, annál mint amit a tiszta matematikai megoldás jelentene. Érzékelhetővé válik, hogy a matematika történeti fejlődése különböző gondolkodásmódokon keresztül ment végbe, amelyek mind gyakorlati problémák megoldására irányultak. Hasonló történeti példákon be lehet mutatni, hogy a szögfüggvények vagy a logaritmus bevezetését milyen gyakorlati „mérnöki” feladatok inspirálták. A kreatív, mérnöki gondolkodásmód kialakításának az az egyik alapja, hogy megértsék, hogy milyen úton, sokszor kerülőúton jutottunk el oda, ahol a tudomány ma tart. Ez segíthet abban is, hogy a mérnökeink később inspiráló új megoldásokat merjenek létrehozni a múlt tapasztalataira támaszkodva.

2. EGYIPTOMI MATEMATIKA

2.1. MATEMATIKAI FORRÁSOK

Az ókori Egyiptom matematikai tudásáról csak töredékes, de rendkívül értékes írott emlékekből alkothatunk képet. A matematika nem önálló tudományágként létezett, hanem az adminisztráció, a földmérés, az építés és a gazdasági nyilvántartás szolgálatában álló gyakorlati tudás volt. Az írnokok – az akkori társadalom képzett elitje – a számításokat mindennapi feladatokhoz használták: gabonaelosztás, építőanyag-számítás, földmérés, adó megállapítás vagy éppen a piramisok dőlésszögének meghatározása során. A számrendszer tízes alapú, de nem helyiértékes volt, a különböző nagyságrendeket külön hieroglifák jelölték egészen az egymillióig. Az összeadás és kivonás a jelek kombinálásával történt, a szorzást és osztást pedig duplázások és felezések sorozatával végezték el – ez az eljárás később „egyiptomi szorzásként” vált ismertté.

A legfontosabb források közül a Rhind-matematikai papyrusz (*Chace, Bull–Manning, 1927/1929*) mellett kiemelkedik a Moszkvai papyrusz (*Kr. e. ~1850*), amely tizenegy bonyolultabb geometriai feladatot tartalmaz, köztük egy csonkagúla térfogatának meghatározását – ez a világ legrégebbi ismert térfogatszámítása. Szintén jelentős az Egyptian Mathematical Leather Roll (*ca 1650 BCE*), amely kisebb törtfelbontásokat rögzít, és feltehetően a gyakorló írnokok segédeszközeként szolgált. Az Anasztázi-papyruszok (*különösen az Anastasi I*) az építkezési logisztikát és az erőforrás-elosztást példázzák, szatirikus hangvételű oktatási szövegek formájában.

E források együttese alapján körvonalazható az egyiptomi matematika fő jellemzője: additív és konkrét logika, amely az egész számokra és az oszthatóságra épül. Az egyiptomi írnok nem elvont szabályokat követett, hanem mindig konkrét mennyiségekkel, mértékegységekkel dolgozott. A számításokat gyakran táblázatokba rendezték, és a bonyolult műveleteket megkettőzéssel, részekre bontással és ellenőrzéssel végezték el. Ez a módszer nemcsak praktikus, hanem didaktikus is: a tanuló írnok a műveletek logikai szerkezetét ismerte meg, nem pusztán az eredményt.

2.2. RHIND MATEMATIKAI PAPIRUSZ

A Rhind-matematikai papyrusz az ókori Egyiptom egyik legjelentősebb írott forrása, amely nemcsak matematikai, hanem kulturális és oktatási szempontból is páratlan dokumentum. A papyrusz Kr. e. 1650 körül keletkezett, az Újbirodalom hajnalán, de maga a szöveg valószínűleg több évszázaddal korábbi, a Középbirodalom idején íródott forrásokra épült. A mű szerzőjeként ismert Ahmesz (Ahmose) írnok saját megfogalmazása szerint „egy régi irat másolata alapján” készítette el a papyruszt – vagyis a szöveg már az ókorban is tananyagnak számított.

A papyruszt Alexander Henry Rhind skót régiségkereskedő vásárolta 1858-ban Luxorban, és róla kapta később a nevét. A dokumentum ma a British Múzeum gyűjteményében található (*BM 10057 és BM 10058*) meg. A tekercs eredetileg mintegy 6 méter hosszú és 32 centiméter széles volt, és 87 különálló matematikai feladatot tartalmazott. A Rhind-papyrusz szerkezete világosan tagolt (*Chace, Bull–Manning, 1927/1929*): A bevezető szakasz a $2/n$ -táblát tartalmazza, amely az egyiptomi törtszámítás alapját képezte.

A középső rész számos aritmetikai és geometriai feladatot mutat be, köztük terület-, térfogat- és gabonaelosztási példákat.

A záró szakasz különféle gyakorlati problémákat tárgyal – például a piramisok lejtésszögének kiszámítását, a raktározási arányokat, illetve az élelmiszeradagok elosztását.

A papyrusz egyértelműen oktatási céllal készült. A feladatok nem csupán megoldásokat tartalmaznak, hanem a „hogyan” kérdésre is választ adnak: lépésenként mutatják meg a számítás menetét, ami a

tanulás folyamatát segítette. Ez a didaktikus szerkesztés teszi a Rhind-papiruszt az ókori világ egyik legkorábbi „tankönyvévé”.

Tartalmi szempontból a dokumentum híd az elméleti tudás és a gyakorlati alkalmazás között. Az írnok számításai additív logikára épülnek: minden művelet összeadásra és megkettőzésre vezethető vissza. Ez a gondolkodásmód egyszerre mutatja az egyiptomiak gyakorlati éleslátását és absztrakciós képességét.

A Rhind-papirusz tehát nemcsak a matematika történetének korai fejezete, hanem egy olyan intellektuális pillanatkép, amelyből a számolás, a mérték és az oktatás fogalmai egyszerre érthetők meg. A dokumentumon keresztül kirajzolódik egy civilizáció, amely a mérés és arányosság logikájában látta a világ rendjét – s ezzel megvetette a későbbi tudományos gondolkodás alapjait.

2.2.1. A Rhind papirusz 2/n táblázata

A papirusz első oldalain található az úgynevezett 2/n-táblázat, amely megmutatja, miként bontották fel a 2/n alakú törtet, páratlan n egész szám esetén (3-tól 101-ig) egységtörtek összegére (2. ábra). A táblázat valószínűleg tanulási segédletként szolgált, és a számítások egységes módszerrel készültek, bár ennek pontos eljárása máig vita tárgyát képezi.

Rhind papirusz, (részlet) (i.e. ~1550, Ahmesz írnok)

a papirusz olvasási iránya

2/n alakú tört felbontása egységtörtek összegére
(2/29 hieratikus példája, segédszámokkal)

$$\frac{2}{232} \quad \frac{1}{174} \quad \frac{1}{58} \quad \frac{1}{24} \quad \frac{29}{2} \quad 2$$

$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2} + \frac{1}{6}$	$\frac{2}{35}$	$\frac{1}{30} + \frac{1}{42}$	$\frac{2}{69}$	$\frac{1}{46} + \frac{1}{138}$
$\frac{2}{5}$	$\frac{1}{3} + \frac{1}{15}$	$\frac{2}{37}$	$\frac{1}{24} + \frac{1}{111} + \frac{1}{296}$	$\frac{2}{71}$	$\frac{1}{40} + \frac{1}{568} + \frac{1}{710}$
$\frac{2}{7}$	$\frac{1}{4} + \frac{1}{28}$	$\frac{2}{39}$	$\frac{1}{26} + \frac{1}{78}$	$\frac{2}{73}$	$\frac{1}{60} + \frac{1}{219} + \frac{1}{292} + \frac{1}{365}$
$\frac{2}{9}$	$\frac{1}{6} + \frac{1}{18}$	$\frac{2}{41}$	$\frac{1}{24} + \frac{1}{246} + \frac{1}{328} + \frac{1}{301}$	$\frac{2}{75}$	$\frac{1}{50} + \frac{1}{150}$
$\frac{2}{11}$	$\frac{1}{6} + \frac{1}{66}$	$\frac{2}{43}$	$\frac{1}{42} + \frac{1}{86} + \frac{1}{129} +$	$\frac{2}{77}$	$\frac{1}{44} + \frac{1}{308}$
$\frac{2}{13}$	$\frac{1}{8} + \frac{1}{52} + \frac{1}{104}$	$\frac{2}{45}$	$\frac{1}{30} + \frac{1}{90}$	$\frac{2}{79}$	$\frac{1}{60} + \frac{1}{237} + \frac{1}{316} + \frac{1}{790}$
$\frac{2}{15}$	$\frac{1}{10} + \frac{1}{30}$	$\frac{2}{47}$	$\frac{1}{30} + \frac{1}{141} + \frac{1}{470}$	$\frac{2}{81}$	$\frac{1}{54} + \frac{1}{162}$
$\frac{2}{17}$	$\frac{1}{12} + \frac{1}{51} + \frac{1}{68}$	$\frac{2}{49}$	$\frac{1}{28} + \frac{1}{196}$	$\frac{2}{83}$	$\frac{1}{60} + \frac{1}{332} + \frac{1}{415} + \frac{1}{498}$
$\frac{2}{19}$	$\frac{1}{12} + \frac{1}{76} + \frac{1}{114}$	$\frac{2}{51}$	$\frac{1}{34} + \frac{1}{102}$	$\frac{2}{85}$	$\frac{1}{51} + \frac{1}{255}$
$\frac{2}{21}$	$\frac{1}{14} + \frac{1}{42}$	$\frac{2}{53}$	$\frac{1}{30} + \frac{1}{318} + \frac{1}{795}$	$\frac{2}{87}$	$\frac{1}{58} + \frac{1}{174}$
$\frac{2}{23}$	$\frac{1}{12} + \frac{1}{276}$	$\frac{2}{55}$	$\frac{1}{50} + \frac{1}{330}$	$\frac{2}{89}$	$\frac{1}{60} + \frac{1}{356} + \frac{1}{534} + \frac{1}{890}$
$\frac{2}{25}$	$\frac{1}{15} + \frac{1}{75}$	$\frac{2}{57}$	$\frac{1}{38} + \frac{1}{114}$	$\frac{2}{91}$	$\frac{1}{70} + \frac{1}{130}$
$\frac{2}{27}$	$\frac{1}{18} + \frac{1}{54}$	$\frac{2}{59}$	$\frac{1}{36} + \frac{1}{236} + \frac{1}{531} + \frac{1}{610}$	$\frac{2}{93}$	$\frac{1}{62} + \frac{1}{186}$
$\frac{2}{29}$	$\frac{1}{24} + \frac{1}{58} + \frac{1}{174} + \frac{1}{232}$	$\frac{2}{61}$	$\frac{1}{40} + \frac{1}{244} + \frac{1}{488} +$	$\frac{2}{95}$	$\frac{1}{60} + \frac{1}{380} + \frac{1}{570}$
$\frac{2}{31}$	$\frac{1}{20} + \frac{1}{124} + \frac{1}{155}$	$\frac{2}{63}$	$\frac{1}{42} + \frac{1}{126}$	$\frac{2}{97}$	$\frac{1}{56} + \frac{1}{679} + \frac{1}{776}$
$\frac{2}{33}$	$\frac{1}{22} + \frac{1}{66}$	$\frac{2}{65}$	$\frac{1}{39} + \frac{1}{195}$	$\frac{2}{99}$	$\frac{1}{66} + \frac{1}{198}$
		$\frac{2}{67}$	$\frac{1}{40} + \frac{1}{335} + \frac{1}{536}$	$\frac{2}{101}$	$\frac{1}{101} + \frac{1}{202} + \frac{1}{303} + \frac{1}{606}$

2. ábra. A Rhind papirusz 2/n egységtört felosztása. Forrás: szerző

Az egyik elképzelés szerint az egyiptomi írnokok egy egyszerű, egész számokra épülő eljárással jutottak el ezekhez a felbontásokhoz (*Blasselle–Gauchere*, 2023). A módszer lényege, hogy egy adott n számhoz olyan m egész számot választottak, amelyre teljesül a

$$\frac{2}{n} \left(\frac{m}{m} \right) = \frac{2}{n} \left(\frac{a+b+c+d}{m} \right) = \frac{2a}{nm} + \frac{2b}{nm} + \frac{2c}{nm} + \frac{2d}{nm} \quad (1)$$

Ilyen feltételek mellett az m értékének pozitívnak kell lennie, és az a , b , c , és d is osztója a nevezőnek. Ilyen „ m ” számok kiválasztása elsőre nem tűnik könnyűnek, de elméleti alapon sok kizárást lehet tenni. Vizsgáljuk meg egy ilyen kiválasztás lehetőségét a gyakorlatban, bontsuk fel a $2/29$ törtet egységtörtek összegére (2. ábra).

A Rhind papirusz alapján az „ m ” értékét az alábbi számok listájáról választották ki:

2, 4, 6, 8, 12, 16, 18, 20, 24, 28, 30, 32, 36, 40, 42, 48, 54, 56, 60.

Az írnok a konkrét példában az $m=48$ értéket használta, ($48=29+12+4+3$). A 29, 12, 4 és a 3 is osztója a $29 \cdot 48$ -nak.

$$\frac{2}{29} \left(\frac{48}{48} \right) = \frac{2}{29} \left(\frac{232 + 174 + 58 + 24}{48} \right) = \frac{2 \cdot 232}{29 \cdot 48} + \frac{2 \cdot 174}{29 \cdot 48} + \frac{2 \cdot 58}{29 \cdot 48} + \frac{2 \cdot 24}{29 \cdot 48} \quad (2)$$

$$\frac{2}{29} = \frac{1}{24} + \frac{1}{58} + \frac{1}{174} + \frac{1}{232} \quad (3)$$

Ezzel a művelet pusztán egész számok összeadására és oszthatósági viszonyaira épült – pontosan olyan logikai műveletekre, amelyek az ókori egyiptomi aritmetika alapját képezték.

Ezzel a módszerrel a Rhind-papirusz $2/n$ táblázata közel 90%-ban pontosan reprodukálható, a maradék esetek pedig kis eltérésekkel ugyanilyen logikai úton levezethetők. Az írnokok választását nemcsak matematikai, hanem pszichológiai preferenciák is befolyásolták: előnyben részesítették az páros, kerek és kis számokat, valamint azokat a felbontásokat, amelyek kevés tagból álltak.

A Rhind-papirusz egységtörteken alapuló számításai a mai napig relevánsak a felsőoktatásban alkalmazott gondolkodásfejlesztő megközelítések szempontjából. Az óegyiptomi matematika additív szemlélete – amely az egész számokból és oszthatósági viszonyokból kiinduló, lépésről lépésre építkező gondolatmenetet tükrözi – hozzájárul a törtek szerkezeti megértéséhez. Ez a megközelítés világossá teszi, hogy a törtműveletek nem pusztán formális szabályok, hanem logikailag felépített, koherens gondolkodási folyamatok eredményei (*Guerrieri, Loper–Oman*, 2022). Az egységtörtek rendszerének újraértelmezése így nemcsak történeti érdekesség, hanem olyan pedagógiai erőforrás is, amely támogatja a mintafelismerés, a strukturális látásmód és az analitikus gondolkodás fejlődését is.

2.2.2. Rhind papirusz 50. feladat

Az ókoriak matematikai gondolkodására és az írnokok képzésére nézzük meg a papirusz 50. feladatát. A Rhind-matematikai papirusz egyik legérdekesebb és legtöbbet elemzett részlete ez a kör területének kiszámításával foglalkozó 50. feladat. Ez az ókori Egyiptomból fennmaradt legrégebb ismert geometriai közelítés, amelyben Ahmesz írnok nem képletet alkalmaz, hanem egy arányelv alapján végzi el a számítást. A módszert a papirusz világosan, lépésenként közli, így nemcsak számítási, hanem oktatási célokat is szolgálhatott.

A feladat szerint egy kilenc khet ($1 \text{ khet} \approx 52,3 \text{ m}$) átmérőjű kör alakú földdarab területét kell meghatározni. Az írnok az átmérő egykilenced részét kivonja, majd a maradék nyolc khetet

megszorozza önmagával. Az így kapott hatvannégy lesz a terület értéke setatban, vagyis négyszögkhetben. A papyrusz tehát azt tanítja, hogy a kör területe megközelítőleg egyenlő az átmérő nyolckilencede négyzetével. Az eljárás mögött egy figyelemre méltóan pontos arány rejtőzik: ha a mai képletet, $A = r^2 \pi$, ezzel az egyiptomi szabállyal hasonlítjuk össze, kiderül, hogy a papyrusz a π értékét 3,16-nak tekintette – ez alig tér el a modern 3,14-től.

Az eredeti papyruszon a hieratikus (írott) szöveg olvasható. A hieroglif (nyomtatott) átíráson a művelet logikai szerkezete is látható (3. ábra). A számolás rendkívül szemléletes: a műveleteket az írrok nem absztrakt módon, hanem konkrét mértékegységekben, földmérési kontextusban végzi el. A 9-ből kivont 1/9-ed rész nem pusztán algebrai művelet, hanem a kör „lekicsinyítésének” tapasztalati elve, amely azt mutatja, hogy a kör valódi területe kissé kisebb, mint a befoglaló négyzeté.

A feladat szövege egyben pedagógiai minta is: az írrok részletesen elmagyarázza, mit kell kivonni, mit kell megszorozni, és miként kell az eredményt értelmezni. Ezzel a Rhind-papyrusz tananyaggá válik, amelyben a geometriai művelet lépései világosan követhetők. A példából az is kiderül, hogy az egyiptomi matematika nem elméleti képletek gyűjteménye volt, hanem a mérésekre és a gyakorlati tapasztalatra épülő gondolkodásmód.

Rhind papyrusz, 50. feladat - kör terület számítása (i.e. ~1550, Ahmesz írrok) ← a papyrusz olvasási iránya

eredeti hieratikus szöveg
(■ - számok a szövegben)

hieroglif átírat
(■ - számok a szövegben)

gyakorlati számítás:

Így számold ki a feladatot:	$d=9$	8	·	8	
		1		8	duplázd
		2		16	duplázd
		4		32	duplázd
		8		64	duplázd
		9 - 1 =		8	

elméleti leírás:

Példa egy kör alakú, 9 khet átmérőjű terület kiszámítására: A számításhoz vond ki az átmérőből az 1/9-ed részt ami 1, maradékul 8-at kapsz. A 8-at szorozd meg 8-cal, eredményül 64-et kapsz. A föld területe 64 setat (khet²).

eredmény:

A földterület 64 setat (khet²). 1 khet ≈ 52,3 m, 1 setat (khet²) ≈ 2750 m², 64 setat = 176 000 m²

Kör terület számítás

Rhind papyrusz alapján:

$$A = \left(d - d \cdot \frac{1}{9}\right) \cdot \left(d - d \cdot \frac{1}{9}\right)$$

$$A = r^2 \cdot \frac{256}{81} \approx r^2 \cdot 3,16$$

mai számítás (π):

$$A = r^2 \cdot \pi \approx r^2 \cdot 3,14$$

tört ábrázolás:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
hieratikus:									
hieroglif:									
hieratikus:	∧	∧	∧	→	7	∩	∩	∩	∩
hieroglif:	∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩	∩

számábrázolás

3. ábra. A Rhind papyrusz 50. feladat. Forrás: szerző

Az 50. feladat tehát nemcsak egy korai területszámítás, hanem egy gondolkodási modell is: az arányok megértésén alapuló, empirikus geometria. Ahmesz módszere azt mutatja, hogy az ókori Egyiptomban a számítás nem absztrakció, hanem a világ rendjének megmérése volt – és a matematika az arányosságon keresztül vált a rend megértésének eszközévé.

3. MEGLEPŐ ANALÓGIÁK

Az analógiák alkalmazása a magasabb szintű gondolkodás fejlesztésének egyik leghatékonyabb eszköze, mivel lehetővé teszi, hogy a hallgatók különböző tudásterületek szerkezetét egymásra vetítsék, és ezáltal mélyebb fogalmi megértést alakítsanak ki. Az egységtört-felbontások különösen gazdag terepet biztosítanak ilyen „absztrakciós hidak” létrehozásához. Ezek az analógiák didaktikailag azért különösen értékesek, mert a hallgatók számára átláthatóvá teszik, hogyan jelennek meg hasonló szerkezeti elvek a matematika, a fizika, az informatika és a zene világában. A kapcsolódási pontok felismerése nemcsak a fogalmi mélyülést támogatja, hanem fejleszti az interdiszciplináris gondolkodást és az absztrakciós képességet is, amelyek kulcsszerepet játszanak a természettudományos műveltség és a kreatív problémamegoldás kialakításában.

3.1. A GREEDY ALGORITMUS

A greedy algoritmus (*magyarul: mohó algoritmus*) egy olyan algoritmos megközelítés, amelynek lényege, hogy minden lépésben a pillanatnyilag legjobb (*legkedvezőbbnek tűnő*) választást tesszük meg, abban a reményben, hogy ez globálisan is a legjobb megoldáshoz vezet. Azaz mindig azt választjuk, ami adott pillanatban a legjobb, nem vizsgálva a későbbi következményeket. Egyszerű és gyors módszer, mert nem kell minden lehetőséget végiggondolni, ugyanakkor nem ad mindig optimális megoldást, de bizonyos problémáknál garantáltan működik.

Klasszikus példája a pénzvisszaadás: ha 786 forintot kell visszaadni a magyar pénz címletekkel (500, 200, 100, 50, 20, 10, 5), a greedy algoritmus mindig a lehető legnagyobb érmét választja először, majd a következő legnagyobbat, és így tovább.

Használhatjuk a raktárkészlet kezelésre is a „mohó algoritmus” logikáját. Képzeljünk el egy raktárt, ahol egy bizonyos mennyiségű terméket kell kiadnia, de csak egységnyi mennyiségű, különböző méretű konténerekben áll rendelkezésre. Feladatunk tehát, hogy kiadjunk tonna terméket. Van Van $1/2$, $1/3$, $1/4$, $1/5$... stb. tonnás konténerből 1-1 darab. Az elv, amit követünk, hogy mindig a legnagyobb rendelkezésre álló, de a még hiányzó mennyiségnél nem nagyobb konténert használjuk fel.

Hiányzik $5/6$. A legnagyobb konténer, ami belefér, az $1/2$ (mivel $1/2 = 3/6 < 5/6$). Kiveszi: $1/2$. Maradék: $5/6 - 1/2 = 2/6 = 1/3$. Hiányzik $1/3$. A következő legnagyobb konténer, ami belefér, az $1/3$. Kiveszi: $1/3$. Végeredmény: $5/6 = 1/2 + 1/3$.

Greedy algoritmus használatos a tevékenységválasztásos (*Activity Selection Problem*) problémáknál. Egy nap több előadás közül szeretnénk a legtöbbet meghallgatni. A greedy algoritmus mindig a leghamarabb befejeződő előadást választja ki először. Ebben az esetben bizonyítható, hogy valóban optimális megoldást ad. garantáltan optimálisak útvonal- és hálózati problémák esetén, például minimális feszítőfa keresése problémánál (*Kruskal- vagy Prim-algoritmus*).

Az analógia pedig abban van, hogy az egyiptomi egységtört-felbontás sok esetben úgy készült, hogy az ókori írnokok egy greedy algoritmushoz hasonló elvet követtek, pontosan a greedy stratégia lényegét, a mindig a legjobb pillanatnyi választást. Módszerüknek mindig a lehető legnagyobb egységtörtet választották ki, amely nem nagyobb a keresett törtnél.

Írjuk fel a $5/7$ -et egyiptomi módon.

1. A legnagyobb egységtört, ami nem nagyobb $5/7$ -nél, az $1/2$.
– Levonjuk: $5/7 - 1/2 = 3/14$.
2. A legnagyobb egységtört, ami nem nagyobb $3/14$ -nél, az $1/5$ (mert $1/4 = 0,25 > 3/14 \approx 0,21$).
– Levonjuk: $3/14 - 1/5 = 1/70$.
3. Így: $5/7 = 1/2 + 1/5 + 1/70$.

Történeti szempontból azért különösen figyelemre méltó ez a megközelítés, mert jól látható: noha az egyiptomi írnokok nem rendelkeztek az „algorithmus” fogalmával, számításaikban mégis egyértelműen felismerhető a mai terminológiával élve mohó (*greedy*) stratégia alkalmazása. Didaktikai nézőpontból ennek bemutatása rendkívül szemléletes, hiszen rávilágít arra, hogy az ókori eljárás nem ad hoc módon működött, hanem egy egyszerű, következetes és reprodukálható „algorithmus” szerint, amely ugyan nem garantálja a legrövidebb felbontást, de stabil és egyértelmű módszert kínál.

A mohó algoritmus mint heurisztikus stratégia kiválóan használható gondolkodásfejlesztő eszközként: minimalizmusra törekszik („mindig a lehető legnagyobb lehetséges egységtörtet választja”), gyors, helyi optimalizáción alapul, jól vizsgálható kísérletezés útján. A hallgatók számára különösen értékes, hogy saját próbálkozásai során megtapasztalhatják: mely esetekben működik hatékonyan a mohó stratégia, mikor vezet suboptimális megoldásokhoz és hogyan válik a hibázás a heurisztikus gondolkodás és az optimális megoldások közötti különbség felismerésének motorjává. Ez a megközelítés egyszerre fejleszti az algoritmikus gondolkodást, a stratégiai tervezést és a kritikus reflexiót, amelyek különösen fontosak a mérnöki, problémamegoldó képességének formálásában (Antoniuzzi et al., 2018).

3.2. ERDŐS-STRAUS-SEJTÉS

Az Erdős–Straus-sejtés a matematika egyik híres, több mint 75 éve megoldatlan problémája, amely az egységtörtekkel kapcsolatos. A sejtés azt állítja, hogy minden kettőnél nagyobb ($n \geq 2$) egész szám esetén a $4/n$ tört felírható három egységtört összegeként.

A sejtés formálisan a (1) egyenlet megoldásának létezéséről szól:

$$\frac{4}{n} = \frac{1}{x} + \frac{1}{y} + \frac{1}{z} \quad (4)$$

ahol n egy tetszőleges 2-nél nagyobb egész szám, és x , y , z pedig pozitív egész számok.

A probléma nehézsége éppen az x , y , z nevezők pozitív egész voltában rejlik. Ezt a sejtést Erdős Pál és Ernst G. Straus fogalmazta meg 1948-ban. A sejtést eddig óriási számhatárig (egészen $n \leq 10^{18}$ -ig) igazolták számítógépes kereséssel (Mihnea–Bogdan, 2025). Ez azt jelenti, hogy az összes 10^{18} -nél kisebb n számra találtak megfelelő x , y , z pozitív egészeket. Annak ellenére, hogy rengeteg kutató dolgozott a problémán, és a matematika szinte minden ágából próbáltak támadási felületet keresni, általános bizonyítás vagy ellenpélda azóta sem született. Az Erdős–Straus-sejtés máig a számelmélet egyik legérdekesebb és legmegfoghatóbb megoldatlan problémája. Bár a megoldás maga feltehetően nem hozna azonnali technológiai forradalmat, de a hozzá vezető bizonyítási módszer és a belőle születő új számelméleti ismeretek a jövőben indirekt módon számos terület fejlődését segíthetik elő. A bizonyítás ugyanakkor megerősítene, hogy az egyiptomi törtekkel (egységtörtek összegeivel) való számábrázolásnak van egy alapvető, tiszta struktúrája (Salez, 2014), (Yamamoto, 1965).

Pedagógiai és gondolkodásfejlesztési szempontból a sejtés remek lehetőséget kínál arra, hogy a hallgatók megtapasztalják a nyitott problémákkal való foglalkozás természetét: a rendszerezés, a mintafelismerés, a példagenerálás és a heurisztikus stratégiaalkotás szerepét. A magyar matematikai hagyomány – különösen Erdős kreatív, problémaorientált szemlélete – jól keretezi ezt a megközelítést, és hozzájárul ahhoz, hogy a hallgatók a törtfelbontások kérdését ne csupán technikai feladatnak, hanem a kutatói gondolkodás egyik belépési pontjának tekintsék.

3.3. TERMÉSZETTUDOMÁNYOK ÉS ZENE

Az egyiptomi egységtört-felbontás alapelve – egy összetett arány kifejezése elemi egységtörtek összegeként – olyan univerzális gondolkodásmódot tükröz, amely a mai tudomány több területén is kimutatható. A zenében például egy akkord felfogható úgy, mint több tiszta hang – „egységhang” – összege. Ahogyan az egyiptomiak egy bonyolultabb törtet egyszerű egységtörtek összegére bontottak, úgy épül fel egy összetett zenei hangzás is egyszerű rezgések kombinációjából. A matematikában a Fourier-sor pontosan ugyanezt az elvet alkalmazza: egy bonyolult, periodikus függvényt felbonthatunk szinusz- és koszinusz-függvények összegeként, vagyis alapelemek összegéből állítjuk elő a teljes képet. Joseph Fourier eredeti motivációja a hővezetési egyenlet megoldása volt, de később belátta, hogy bármely (*kellően jól viselkedő*) periodikus jel akár végtelen sorozattal is reprezentálható ezeknek az alapelemeknek az összegeként. A közös gondolat az, hogy a komplex egészet elemi, jól kezelhető darabokra bontjuk, majd ezek összegeként újraalkotjuk. Így a törtmatematika, a zene és az analízis összekapcsolódik egy mélyebb szinten: mindegyik esetben az „egységekre bontás” és az „összeadás” műveletei biztosítják a megértést és a szerkezetet. Egy másik szemléletes kapcsolat a modern fizikai analízis köréből az RLC kör vizsgálata során jelenik meg. Egy RLC kör vizsgálatakor a Laplace-transzformáció lehetővé teszi, hogy a differenciálegyenletekkel leírt áram- és feszültségváltozásokat algebrai formában kezeljük. A transzformált térben a komplex impedanciák összeadódnak, és a kimeneti függvény gyakran egyszerű törtek összegeként írható fel, amelyek hasonlóak az egységtörtekhez: minden tag egy jól definiált, könnyen kezelhető komponens. A részleges törtfelbontás, amely a Laplace-transzformáció inverzének előkészítéséhez szükséges, gyakorlatilag ugyanazt az „egységkomponensösszeg” stratégiát alkalmazza, amit az egyiptomi írnokok a tört felbontására használtak. Minden részleges tört az eredeti jel egy elemi összetevőjét reprezentálja, így a komplex jelenség (*áram- vagy feszültségváltozás*) egyszerű, jól kezelhető részekre bontható. Ez a módszer lehetővé teszi, hogy az időtartományban a rendszer viselkedését egyértelműen és lépésenként rekonstruáljuk. Az egységtörtekhez hasonlóan itt is az egyszerű komponensek összege adja a teljes megoldást.

Az egyiptomi egységtört-írás tehát nem csupán történeti érdekesség, hanem a mai tudományos gondolkodás alapmotívumát – a komplex jelenségek egyszerű komponensekre bontását – is előlegezi.

3.4. KOMPONENS-ALAPÚ MODELLEZÉS DIGITÁLIS ALKALMAZÁSOKBAN

A Spotify ingyenesen is használható, kereskedelmi zene-streamelő szolgáltatás, ami másolásvédelemmel ellátott tartalmakat tesz elérhetővé a nagyobb lemezkiadók közreműködésével. A rendszere, bár modern technológiai megoldás, alaplogikájában rokonságot mutat az egyiptomi egységtört-elmélettel, a logikai folytonosságra és az időtlen elvre mutathatunk rá az analógiával. A lejátszási listáinál és javaslórendszerében figyelhető meg, hogy a teljes zenei kínálatot különböző „egységhangokként” vagy zenei elemekként értelmezve kombinálják. Egy dal profilja több jellemzőből (*ritmus, hangulat, műfaj*) áll össze, amelyek külön-külön mérhetők és összeadhatók. A javasolt lejátszási listák összeállítása során a Spotify „egységtörödékekből” építi fel a teljes hallgatási

élményt. Ez a komponens-alapú modellezés lehetővé teszi, hogy a rendszer skálázhatóan kezelje a többmilliószámú zenegyűjteményt. Az egységtörtekhez hasonlóan minden elem önállóan értelmezhető, de összeadásuk adja a komplex struktúrát. Így az algoritmus gyorsan és hatékonyan tud releváns kombinációkat létrehozni. Az analógia jól szemlélteti, hogy a „komplex egész → elemi részek → újraegyesítés” gondolkodásmód nemcsak matematikai, hanem adat- és algoritmikai kontextusban is működik.

4. KÖVETKEZTETÉS, ÖSSZEFOGLALÓ

Az egyiptomi egységtörtek témaköre kivételes példája annak, hogy a matematikatörténet nem pusztán múltbeli tudásanyag, hanem a jelenkori oktatás számára is releváns gondolkodásfejlesztő forrás. A Rhind-papirusz módszerei, az egyiptomi additív szemlélet logikája és az egységtörtekre épülő felbontási stratégiák mind olyan példákat kínálnak, amelyek segítik a hallgatókat abban, hogy a matematika formális eljárásait mélyebb szerkezeti összefüggésekben lássák. A mohó algoritmus történeti előképeinek felismerése, a heurisztikus problémamegoldás kipróbálása és a hibázás konstruktív szerepének megtapasztalása egyaránt hozzájárul ahhoz, hogy a hallgatók rugalmasabb, reflektívabb és módszertanilag sokrétűbb gondolkodást alakítsanak ki.

A tanulmányban bemutatott analógiák – a prímfaktorizációtól a Fourier-sorokon át a zenei felhangrendszerre – rávilágítanak arra, hogy a komplex rendszerek egységekre bontásának elve a tudomány és a művészet számos területén közös gondolkodási mintázat. Ennek felismerése alapvetően járul hozzá az interdiszciplináris szemlélet kialakulásához, amely a modern mérnökképzés és természettudományos oktatás egyik kulcskompetenciája.

A magyar matematikai tradíció – különösen Erdős Pál problémaközpontú, kreatív megközelítése – további inspirációt nyújt ahhoz, hogy a hallgatók ne csupán alkalmazzák a matematikai eljárásokat, hanem aktívan keressék az új összefüggéseket és kérdésfelvetéseket. Az Erdős–Straus-sejtés révén a történelem és a kutatói gondolkodás találkozik, lehetőséget adva arra, hogy a hallgatók megérezzék: a matematika élő, fejlődő tudomány, amelyben a legegyszerűbb fogalmak is mély, feltáratlan struktúrákat rejthetnek.

Mindebből az a következtetés adódik, hogy az egységtörtek oktatása – különösen történeti, algoritmikus és interdiszciplináris keretben – hatékony eszköze lehet a felsőoktatási matematika alapjainak megerősítésére és a komplex problémamegoldó gondolkodás fejlesztésére. Az egyiptomi módszerek bemutatása nemcsak szemléletes, hanem egyben hidat teremt múlt és jelen, elmélet és gyakorlat, matematika és más tudományterületek között. Ez a híd pedig azoknak a gondolkodási készségeknek az alapja, amelyekre a 21. század természettudományos és mérnöki képzése épül.

UNIT FRACTIONS AS MODELS OF THOUGHT: FROM ANCIENT PRINCIPLES TO TWENTY-FIRST-CENTURY

ABSTRACT

The mathematical world of ancient Egypt differed in many ways from today's thinking, yet it offered surprisingly creative solutions. Today's engineering world is based on mathematics, yet the engineering and mathematical approaches can often differ significantly. In everyday engineering, simplifications, rounding, and „customs” often take precedence over pure mathematical logic. These differences

can be clearly illustrated by the use of fractions in Egypt. Fractions played a very important role in everyday life in Egypt, in measuring land and distributing crops. However, with the exception of $2/3$, all fractions were written as the sum of unit fractions. This may have made mathematical operations more difficult to perform, but in practice, it made „engineering” tasks and actual distributions easier to carry out. The ancient way of thinking can inspire today’s engineers to solve even a simple task in several different ways. In the world of artificial intelligence, developing creative thinking may be the primary task in engineering education. The purpose of this article is to present Egyptian unit fractions and to introduce inspiring analogies and ways of thinking, ranging from historical curiosities to modern physical and musical analogies.

Keywords: Egyptian mathematics, unit fractions, Rhind Papyrus, mathematics education, pedagogical illustration, algorithmic thinking

REFERENCIÁK

FAUVEL, J., 1991. Using history in mathematics education. *For the Learning of Mathematics*, 11(2), 3–6.

TZANAKIS, C. & ARCAVI, A., 2000. Integrating history of mathematics in the classroom. *Educational Studies in Mathematics*, 42(1), 1–18. https://doi.org/10.1007/0-306-47220-1_7 (Megtekintve: 2026. 03. 01)

JANKVIST, U. T., 2009. A categorization of arguments for using history in mathematics education *Educational Studies in Mathematics*, 71(1), 1–29. <https://doi.org/10.1007/s10649-008-9174-9> (Megtekintve: 2026. 03. 01)

CHACE, A. B., BULL, L. & MANNING, H. P., 1927/1929. *The Rhind Mathematical Papyrus: Free translation and commentary; photographs, transcription, transliteration, literal translation*, Vols. I–II. Oberlin, OH: Mathematical Association of America.

BLASSELLE, T. & GAUCHEREL, C., 2023. *The Rhind $2\div n$ table and fraction reckoning in ancient Egypt: An ingenious combination of summation and divisibility properties*. Montpellier: INRAE – Université de Montpellier.

GUERRIERI, L., LOPER, A. & OMAN, G., 2022. From ancient Egyptian fractions to modern algebra. *The American Mathematical Monthly*, 129(9), 795–810.

ANTONIAZZI, M. ET AL., 2018. Egyptian fractions. In: Breda, F., Cardano, F. M. & Zampieri, F. (eds.), *Math.en.jeans workshop*, I.S.I.S.S. “M. Casagrande”, Pieve di Soligo, Treviso, Italy.

SALEZ, S. E., 2014. The Erdős–Straus conjecture: New modular equations and checking up to $N = 10^{17}$. arXiv:1406.6307 [math.NT].

YAMAMOTO, K., 1965. On the Diophantine equation $4/n = 1/x + 1/y + 1/z$. *Memoirs of the Faculty of Science, Kyushu University, Series A, Mathematics*, 19, 37–47. https://www.jstage.jst.go.jp/article/kyushumfs/19/1/19_1_37/_pdf (Megtekintve: 2026. 03. 01)

MIHNEA, S., & BOGDAN, D. C. (2025). Further verification and empirical evidence for the Erdős–Straus conjecture. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2509.00128>

LEAN IN PROGRESS – TANULMÁNY MAGYARORSZÁG FAIPARÁRÓL

DR. SURI VERA^a, PROF. DR. MAGOSS ENDRE^b

^a *Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Kreatívipari Intézet, 9400 Sopron, email: suri.vera@uni-sopron.hu*

^b *Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Kreatívipari Intézet, 9400 Sopron, email: magoss.endre@uni-sopron.hu*

DOI: <https://doi.org/10.35511/978-963-334-570-2-08>

ABSZTRAKT

A tanulmány a magyarországi faipari kis- és középvállalkozások (KKV) innovációs felkészültségét és hatékonyságnövelési lehetőségeit vizsgálja a Lean menedzsment és az Ipar 4.0 megoldások tükrében. A kutatás alapját 13 hazai faipari gyártó vállalat strukturált szakmai felmérése adja, amely során a szerzők egy saját fejlesztésű, dimenzióalapú kérdőív segítségével vizsgálták a cégek szervezeti érettségét. A vizsgálat három kulcsdimenzió – a dokumentáció és vizuális szabványosítás, a folyamatérettség, valamint a monitoring és visszacsatolás – mentén értékelte a szervezeti kultúrát. Az eredmények alapján a vizsgált cégeket klaszterekbe (*Innovátor, Fejlesztő, Növekvő*) soroltuk. Az elemzés rávilágít, hogy a szektor 62%-a még a fejlesztési folyamat elején jár („Növekvő”), de a technológiai modernizáció (*Ipar 4.0*) sikere elválaszthatatlan a folyamatok előzetes lean-alapú optimalizálásától. A tanulmány összefüggéseket tár fel a dokumentáltsági szint és az adatvezérelt döntéshozatali hajlandóság között, kijelölve a KKV-szektor számára releváns fejlesztési irányokat.

Kulcsszavak: faipar, lean menedzsment, Ipar 4.0, szervezeti érettség, KKV szektor, folyamatoptimalizálás

1. BEVEZETÉS

A ffeldolgozás egyidős az emberiség történetével, és jelentősége időszakonként, területenként jelentősen eltérő. Napjainkban jelentősége a fentarthatósági szempontok és a körforgásos gazdálkodás előtérbe kerülésével növekszik, különösen az építőipar területén.

Az Európai Unió mind a rendeletek frissítése folytán (*pl. LULUCF, Építési termékek rendelete*), mind a meghirdetett programjai által (*Új Európai Bauhaus, HORIZON-CL6-2024-CLIMATE-01-5*) promotálja a fával, mint hosszú élettartamú, széntároló, negatív szénlábnymú anyaggal való építés előtérbe helyezését. A fa építőipari felhasználását éghajlati szempontból okos megoldásnak tekinti és annak támogatására biztat. Ennek megvalósításához Magyarországon megfelelő mennyiségű faanyag áll rendelkezésre jelenleg és következő évtizedekben.

A hazai lombos faállomány ipari feldolgozásának csak kismértékben vannak hagyományai, a kitermelt famennyiség 50-60 százaléka tűzifaként kerül értékesítésre, míg a jó minőségű rönkfa jelentős része exportra kerül. Ezen hatások kihívás elé állítják a magyarországi fűrészipart, melynek fejlődésének feltétele az épületfa kiváltása őshonos lombos faanyagokkal. A hazai faalapú építési

ágazat számára gazdasági és ellátás biztonsági hozadéka egy jelentősebb lombos építőfa fejlesztésnek, melynek elemei már rendelkezésre állnak.

A fafeldolgozás jelenleg főként mechanikai megmunkáláson alapszik, de több országban a melléktermékként keletkező fa por-forgács energetikai és kémiai feldolgozása növekszik. Az energetikai nemesítési eljárások (*brikettálás, pelletálás*) mellett, kapcsolt erőművek alkalmazásával növekszik a biomassza alapú villamos áram előállítás, valamint a cellulóz alapú bioetanol előállítás is. A faipar kis gazdasági láthatósága ellenére több hazai stratégiai iparág kiszolgálója, így a már említett bútortipari és fa alapú kreatívipar révén a kreatív iparhoz, az épületasztalos, fűrész és lemeziparon keresztül az építőiparhoz, a járműiparhoz a falemezgyártással, és a fakalodagyártással csatlakozik. A faforgács és rost alapú csomagolóanyagok pedig az élelmiszeripartól az egészségiparig jelentenek kapcsolatot.

Legnagyobb lehetőséget az építőipari felhasználás növelése jelenti, hiszen a hazai lombos faanyag nagyobb hozzáadott érték hozzáadással építőipari termékeké konvertálása a magyarországi versenyképességi stratégia alappilléreire épül (*autarkia, patriotizmus, technológia, fenntarthatóság, ellátásbiztonság*).

A Magyarországi elsődleges faipart meghatározó fűrésziparban átfogó fejlesztés évtizedek óta nem történt meg. A túlnyomórészt elavulóban lévő műszaki felszereltségű üzemeknek ugyanakkor folyamatosan a szigorodó munkabiztonsági és munkaegészségügyi előírásokkal kell szembenézni. További problémát jelent, hogy a túlnyomóan több évtizede alapított fűrészüzemek területi eloszlása ma már nem minden esetben rendelkezik megfelelő alapanyagbázissal, illetve a tovább feldolgozóipar, a másodlagos faipar is jelentősen átalakult.

Ugyanakkor a másodlagos faiparba tartozó magyar bútortipar jelenleg stabil növekedést mutat, különösen az online értékesítések terén.

A hazai faipar széles feldolgozási portfóliója így elaprózódott, főként kis és középvállalatok (*kkv*) képviselik. Nemcsak alkalmazott technológiájukban, felhasznált fa és faalapú alapanyagaikban, de technikai, digitalizációs fejlettségi szintjükben és szervezeti felépítésükben is jelentős eltérések vannak. A faipari termelő vállalatok nem alkotnak egységes feldolgozó láncot, sokkal inkább a „sziget rendszerű” működés jellemző rájuk. A nagyobb iparvállalatoknál különállóan, részlegesen működnek a felhőalapú komplex tervező-, gyártó- és szerelő rendszerek egyes komponensei. A kis- és közepes cégek esetében a helyzet sokkal rosszabb, több esetben még a számítógépes tervezés sem valósul meg maradéktalanul. A versenyképesség növelése érdekében elkerülhetetlen, hogy a szigetszerű rendszerek továbbfejlesztése megtörténjen. Azok a vállalatok lesznek rövid és hosszú távon sikeresek, amelyek a mostani komplex automatizált rendszerek megoldásainak egyre növekvő hányadát tudják saját gyakorlatukba beintegrálni. Egyre több vállalat fog szembesülni a csökkenő munkaerőkínálattal, ezzel párhuzamosan a növekvő munkabéreköltséggel is. A munkaerőhiány és a növekvő költségek a régebben drágának mondott automatizálást is elérhetővé teszik a cégek számára.

A vállalatok költséghatékonyan igyekeznek dolgozni. A kisebb jövedelmezőségű ágazatokba tartozó vállalkozások számára a teljes gyártási rendszer újra cserélése sok esetben nem járható út: ezen cégek számára lehetne megoldás a kisebb lépésekben történő kiegészítő automatizálás, és gyártási optimalizáció, a LEAN megoldások bevezetése.

Ezeket a kiindulási tulajdonságokat figyelembe véve csak holisztikus szemléletű felmérő, tanácsadó rendszer alkalmazásával lehet a hatékonyságnövelés útját kijelölni. Sok esetben az ipar 4.0 mintaüzem szint, mint célkitűzés nem reális elvárás, de a gyakorlatban gyakran egy-egy kulcsgép beszerzése sem hozza meg a várt eredményt. A megoldás megtalálásához az első lépés az üzemek műszaki szervezettségi szintfelmérésén keresztül vezet. A felmérés lehetőséget teremt a LEAN és

Ipar 4.0 megoldások együttes, az adott cégre testreszabottan történő alkalmazására, ami az üzemek hatékonyságnövelésének legjobb eszköze. Szeretnénk hangsúlyozni, hogy az optimalizációt nemcsak az üzem belső viszonyai, de a külső tényezők (*nemzetközi helyzet, energiaárak, szabályozók változása*) is befolyásolják. Tanulmányunkban főként az üzemek belső körülményeit vesszük figyelembe.

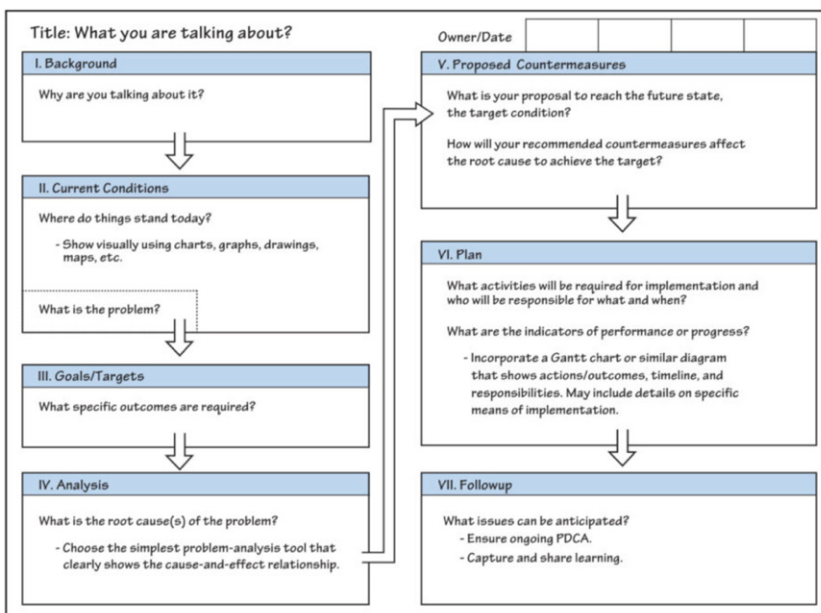
2. ANYAG ÉS MÓDSZERTAN

Az elmúlt 20-25 év során több tucat hazai vállalkozással dolgoztunk együtt: a kis műhelyektől és családi asztalos üzemektől a közepes bútoryüzemekeken keresztül egészen a multi bútorgyártó cégekig. Mindig az volt a fő cél, hogy ne pusztán elméleti tanácsokat adjunk, hanem valóban megvalósítható, azonnal bevezethető fejlesztési javaslatokat kínáljunk – legyen szó új gépek vagy szoftverlicenck beszerzéséről, de ugyanolyan hangsúllyal kezelve az 5S-programok és kaizen-gyakorlatok alkalmazását is.

Az elmúlt félévben közel negyven hazai KKV adatait dolgoztuk fel, köztük 13 faipari vállalkozásét, és végeztünk úgynevezett „rapid tanácsadást” is. Néhány napos intenzív felmérés során áttekintettük a kulcsfolyamataikat, megismertük a körülményeiket, felmértük a vevői elvárásaikat, majd olyan fejlesztési ütemtervet állítottunk össze, amely egyszerre hoz gyors eredményeket (*pl. folyamat optimalizálás, eszközbeszerzés, vagy szervezeti átalakítás*) és alapozza meg a hosszabb távú, rendszerszintű lean-átállást. E munkák során ismét megerősítést nyert, hogy a hazai faipari KKV-k többsége a hardveroldali beruházásokra fókuszál, miközben a szervezeti kultúra tudatos építése és folyamatok rendbetétele elmarad.

„Az felmérés kereteit az ún. A3 módszer adja, melyet John Shook dolgozott ki (*Shook, 2008*). A módszer lényege, hogy egy kötött rendszer és logika mentén mérjük fel az adott vállalkozásokat” (*Suri–Magoss, 2024*)

Az 1. ábrán mutatjuk be az A3 módszer sémáját, melyen a bal felső sarokból indulva kell végig haladnunk ahhoz, hogy módszer szerinti lépéseken sorról sorra haladjunk, biztosítva a szisztematikus felmérést. A szisztematikuság teszi lehetővé azt, hogy a cég valóban komplex „átvilágításon” menjen keresztül és azt is, hogy a vizsgálatban résztvevő cégekről általános következtetéseket tudjunk levonni.



1. ábra. A3 módszertan.
Forrás: Shook, 2008

A „Hazai faipari kisvállalkozások gyártási és szervezetségi szintjét felmérő hatékonyságnövelő tanácsadó rendszere” című cikkünkben részletesen bemutattuk ennek módszertanát, és ismertettük a módszerbe illesztett kérdőívet is, amit a következőkben az említett 13 faipari vállalatra elemzünk. Célunk, hogy a hazai gyakorlatból leszűrt megfigyeléseket közérthető, gyakorlatias módon adjuk közzé arról, hol áll jelenleg a faipari folyamat szervezetség, mi a helyzet a lean management terén, és milyen fejlesztési lehetőségek állnak rendelkezésünkre a hatékonyság növelése érdekében.

2.1. LEAN ÉS AZ INNOVÁCIÓ KAPCSOLATA

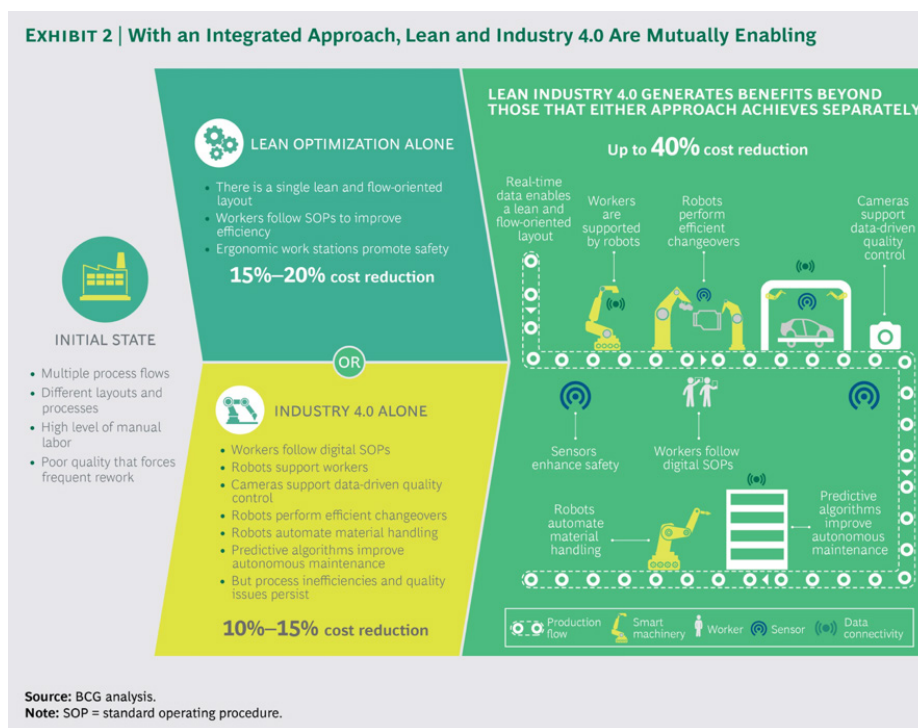
A lean és az Ipar 4.0 egymást kiegészítő, sőt kölcsönösen erősítő megközelítések: míg a lean a folyamatszervezés, a veszteség csökkentés és a standardizálás alapjait fekteti le, addig az Ipar 4.0 technológiai megoldásai – az IoT-érzékelők, szenzorok, a prediktív karbantartást segítő eszközök és számos egyéb megoldás – a stabil, jól definiált folyamatokat teszik valós időben láthatóvá és felügyelhetővé.

Ha önmagában csak lean-optimalizációt hajtunk végre, akkor egy, a BCG által készített tanulmány szerint (2. ábra) akár 15–20%-os költségcsökkenést is elérhetünk a műveletek átláthatóbbá és ergonomikusabbá tételével, de az real-time, adatokon alapuló beavatkozások lehetősége még nyitott. Hasonlóképpen, az önmagában bevezetett Ipar 4.0-eszközök – digitális SOP-ok, kamerás minőségellenőrzés, robotok igény szerinti programozása – akár 10–15%-os hatékonyságnövekedést biztosítanak, de a folyamatok alkotta struktúra és a rendszerszintű keretek sok esetben hiányoznak. Ezzel szemben az általunk kidolgozott integrált megközelítés képes mindkettőből a legjobbat kihozni: a lean megalapozza a folyamatok átlátható, érték alapú elrendezését, a standard munka és a folyamatos fejlesztés kultúráját, míg az Ipar 4.0 technológiai elemei – valós idejű adatgyűjtés, önbeálló automatizmusok, szenzorokkal támogatott minőségellenőrzés – tovább fokozzák ezen rendszerek rugalmasságát és alkalmazhatóságát. Együttesen akár 40%-os költségcsökkenést, kiugró termelékenység- és minőségjavulást érhetünk el, hiszen az automatizmusok nem „szigetszerűen” működnek, hanem a lean-elvű gyártósor részeként végzik feladataikat, az adatvezérelt döntések pedig automatikusan visszacsatolhatóak a folyamatos fejlesztési ciklusba.

Olyan folyamatokat lehet automatizálni, amelyeket előzőleg algoritmizáltunk (Suri, 2022). És olyan folyamatokat érdemes algoritmizálni, amit előzőleg optimalizáltunk, azaz a lean gondolkodás szerint megszabadítottunk a nem értékteremtő folyamatlépések okozta veszteségektől.

Fontos azonban hangsúlyozni, hogy az Ipar 4.0 nem azonos magával az innovációval, hanem annak egyik erőteljes katalizátora. Míg az Ipar 4.0 eszközei a gyártás digitalizációjára, az információ áramlásra és a fizikai-digitális rendszerek összehangolására koncentrálnak, addig az innováció ennél tágabb kategória: új termékek, szolgáltatások, üzleti modellek vagy szervezeti megoldások bevezetését is magában foglalja.

Az Ipar 4.0 ugyanakkor megteremti azokat a technológiai és adat-infrastruktúrákat – például prediktív karbantartást, valós idejű teljesítmény monitoringot vagy testreszabott gyártást lehetővé tevő digitális ikert – amelyek új üzleti lehetőségek, rugalmas gyártási formák és vevőorientált szolgáltatások innovációs lehetőségét jelentik. Végző soron tehát a lean adja az „alapépítményt”, az Ipar 4.0 pedig azt a dinamikus platformot, amelyen keresztül a vállalatok képesek lehetnek folyamatosan megújulni, reagálni a piaci igényekre és fenntartható, versenyképes működést kialakítani. A BCG felmérését a 2. ábrán mutatjuk meg, mellyel szemléletesen ábrázolják a két logika összekapcsolását, együttműködését. A felmérés kérdőíves és mély interjúk megkérdezéseken alapult, a következtetések teljes mértékben megegyeznek a saját tapasztalatainkkal.



2. ábra. BCG felmérés a lean és Ipar 4.0 kapcsolatáról
Forrás: Küpper, Heidemann, Ströhle, Knizek, and Spindelndreier 2017

Fentiek alapján az innováció felméréséhez nem elég a technológiát és a folyamatokat leíró mutatókat vizsgálni, hanem a KKV-k szervezeti innovációs képességét kell felmérni – ami véleményünk szerint azonos azzal az érettséggel, ami a folyamatok nyomon követéséhez, fejlesztéséhez szükséges.

2.2 A KÉRDŐÍV

A kérdőív célja az volt, hogy a hazai faipari (elsősorban gyártó) KKV-k szervezeti innovációs képességét átfogóan feltérképezze, három, a lean-elvekhez és a mindennapi működéshez szorosan kapcsolódó dimenzió mentén. Ezzel nemcsak azt mértük, hol tartanak ma a cégek – hanem azt is, mennyire képesek gyorsan reagálni, folyamatosan tanulni és beépíteni a fejlesztéseket a szervezeti gyakorlatukba.

A három vizsgált úgynevezett „lean” dimenzió a következő volt:

- **K1: Dokumentáció & Vizuális szabványosítás**
(termékazonosítás, papír-/digitális utasítások, verziókontroll, 5S)
- **K2: Folyamat- és karbantartási érettség**
(rendszeres tréningek, digitális karbantartási utasítások, megelőző karbantartás)
- **K3: Monitoring & Visszacsatolás**
(valós idejű adatkijelzés, KPI-mérés, adat alapú döntések)

A dimenziókhöz kérdéseket rendeltünk, melyeket a cégek online felületen tudtak kitölteni. A felmérés során minden kérdésre előre elkészített válaszokból választhattak. A válaszok az adott kérdést illetően a vállalkozás érettségét hivatottak megjeleníteni. Ezt követően dimenzióként átlagoltuk a pontszámokat.

Ezzel a szervezeti innovációs képességfelméréssel állapíthattuk meg azt a valódi képet, amely megmutatja, milyen belső szervezettséggel, kultúrával rendelkeznek a KKV-k ahhoz, hogy ne csak gépeik és szoftvereik révén, hanem a folyamataik és az embereik bevonásával is képesek legyenek fenntartható, digitális átalakulásra.

Nem csupán a jelenlegi állapotot mértük fel, hanem azonosítjuk azokat a területeket is, ahol a cégek a leghatékonyabban tudnak fejleszteni, valamint lehetőséget adtunk a folyamatok, a dokumentáció és a monitoring rendszerszintű összehangolására.

Bár a fő fókusz zárt kérdésekre épül, lehetőség van rövid, szabad szöveges megjegyzésekre is, ahol a válaszadók kifejthetik például a legnagyobb fejlesztési akadályokat, vagy egyedi ötleteiket.

2.3. MÉRÉSI ÉS KIÉRTÉKELÉSI LOGIKA

Minden cégre kiszámítjuk a dimenziókénti átlagpontszámot. K1 esetén a Q1+Q2+Q3+Q4, K2 esetében Q5+Q6+Q7, illetve K3 esetében Q8+Q9+Q10 kérdésekre adott pontszámok átlaga adja az érettségi szintet.

2.4. ALKALMAZÁSI ÉS GYAKORLATI JELENTŐSÉG

- a dimenzió elemzés jól használható arra, hogy a vállalati fejlesztési stratégiákban rangsorolják a teendőket: először a leggyengébben teljesítő dimenziókat erősítik meg, majd haladnak a magasabb szintű innovációk felé.

- a cégprofilok összehasonlítása a hasonló méretű és ágazatú vállalatokkal rámutat a versenyelőnyökre és a felzárkózási lehetőségekre.

- a monitoring-dimenzió eredményei alapján kialakítható a KPI rendszer, ami egy adat alapú döntési rendszer kialakításához szükséges.

2.5. A KÉRDŐÍV ELŐNYEI ÉS KORLÁTAI ELŐNYÖK

- Kompakt, mégis átfogó: mindössze 10–12 kérdéssel három kulcsdimenziót fed le.
- Könnyen alkalmazható online: a Forms-platform automatikusan gyűjti és strukturálja az adatokat.
- Akcióorientált: nem pusztán diagnosztizál, hanem konkrét fejlesztési irányokat is javasol.

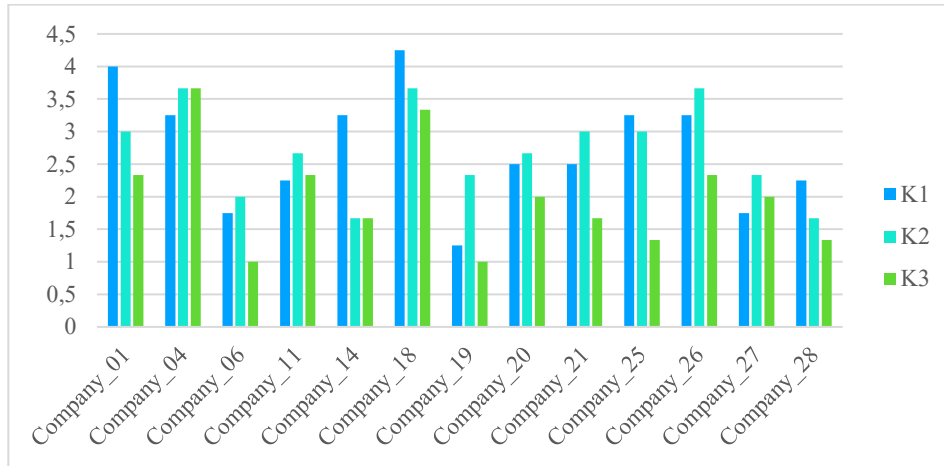
KORLÁTOK

- Zárt skála: kevésbé engedi meg az egyedi, szervezetspecifikus válaszok részletezését.
- Szubjektivitás: a válaszok a kitöltők megítélését tükrözik, ezért érdemes kiegészíteni külső auditokkal vagy terepi megfigyeléssel.

A kérdőív egy könnyen használható, dimenzióalapú eszköz az innovációs érettség felmérésére a magyar faipari kkv-szektorban. A kérdések fókusza a dokumentációtól („Mi történik a termékazonosítással?”) a folyamatok digitalizálásán át („Milyen rendszerek a tréningek és a karbantartás?”) a monitoringig („Hogyan mérik és kommunikálják a KPI-kat?”) (Kulcsfontosságú Teljesítménymutató, angolul *Key Performance Indicator*), így a felmérés eredményei egyaránt szolgálnak operatív és stratégiai döntéshozást. A kapott profilok – dokumentációs, folyamat- és monitoring-orientált vagy hibrid – segítik a cégeket abban, hogy célzott, mérhető fejlesztési terveket alkossanak és kövessék nyomon azok eredményeit.

3. EREDMÉNYEK ÉS ELEMZÉS

A kérdőív online kitöltését követően összegeztük az eredményeket a fenti dimenziók mentén a felmérésbe bevont 13 faipari cégre:



3. ábra. A felmérésbe bevont faipari cégek kiértékelése.

A vizualizált megjelenítésnek kettős célja volt. Egyrészt a dimenziókról következtetéseket, összefüggéseket levonni, másrészt a cégeket a dimenziók alapján ún. klaszterekbe sorolni.

3.1. A DIMENZIÓK ÁTLAGOS RANGSORA

Tapasztalatainkra támaszkodva 3 különböző dimenziót határoztunk meg:

- **Dokumentáció-dimenzió (K1)** a legmagasabb átlagérték a cégek többségénél, bár az értékek nagyon szórnak, 1,5 és 4,25 közötti értékeket kaptunk eredményül. Az összes cég átlagát tekintve is ez a legmagasabb értékű kategória. Ez azt jelenti, hogy a cégek elindultak abba az irányba, hogy a meglévő, még nem feltétlenül optimalizált folyamataik eredményét követik, adatokat gyűjtenek.

- **Folyamat-dimenzió (K2)** középen helyezkedik el. Míg az adatokat több kevesebb rendszerességgel gyűjtjük, addig a szabványosított folyamatok, a rendszeresen végzett tevékenységek még nincsenek definiálva. Az eredmények itt 1,67 és 3,67 közötti értéket mutatnak.

- **Monitoring-dimenzió (K3)** a legalacsonyabb a három közül. A leginkább szembetűnő annak hiánya, hogy az adatokkal kezdeni kell valamit. Az általunk vizsgált cégek zöme nem tart itt, de vannak kivételek. Az adatok 1 és 3,67 között szórtak.

A legjobb folyamat-dimenziójú cégek általánosságban a monitoringban és a dokumentációban is a magasabb pontszámokat érték el.

A leggyengébb folyamat-dimenziójú cégek emellett általánosan alacsony monitoring-értékeket is mutatnak.

Következtetés: erős pozitív korreláció van a dimenziók között:

- aki jól dokumentál, azaz adatokat gyűjt, az képes a folyamatait átlátni és fejleszteni,
- általában azok a cégek végeznek monitoring feladatokat, akiknél cél a visszacsatolás és az adatokon alapuló döntések, amik sok esetben a folyamatot érintik, ami által az egyre jobb és hatékonyabb módon működik.

Összességében egy egyszerűen felépített kérdőív gyakorlati elemzését hajtottuk végre, amit szakmai tapasztalatainkkal is összevetettünk. Az eredmény azt mutatja, hogy a magyar faipari KKV-k erős fókuszot helyeznek a dokumentáció fontosságára, de a hosszú távú üzemeltetési stabilitáshoz elengedhetetlen folyamataik és monitoring-rendszereik még fejlesztésre szorulnak.

3.2. KLASZTEREK

A cégeket az eredményeik alapján általunk definiált klaszterekbe soroltuk. A klaszterek csoportosítását a kategóriák átlagpontszáma alapján határoztuk meg.

- **Innovátor: 35 pont és felette**

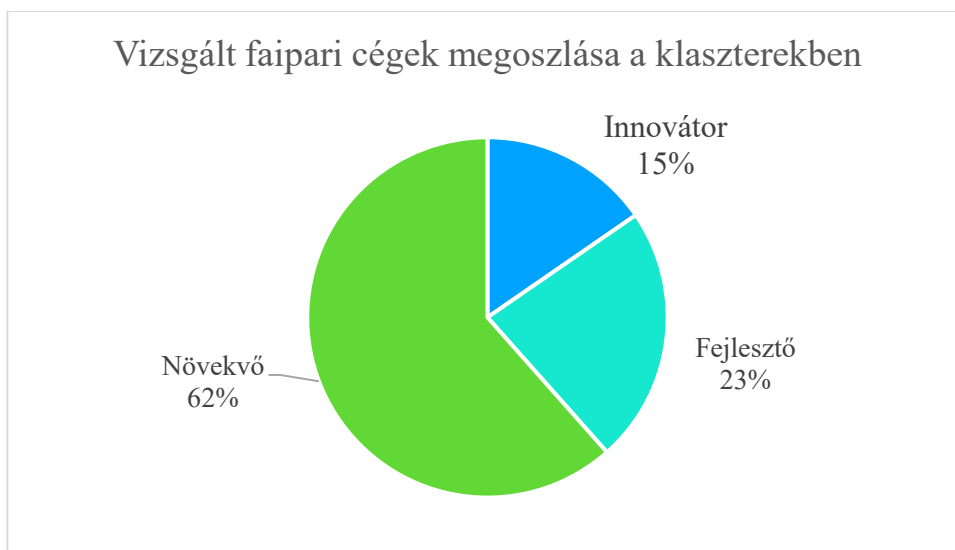
Általában mind a három dimenzióban kiemelkedő, teljes körű dokumentáció, következetes 5S, rendszeres karbantartás és valós idejű monitoring jellemzi.

- **Fejlesztő: 25–34 pont között**

Következetes dokumentáció jellemzi, de a folyamatfejlesztés és a monitoring csak közepes szinten van. Az ide sorolt cégek folyamatosan építik a rendszereiket.

- **Növekvő: 25 pont alatt**

Ezek a cégek még a fejlesztési folyamat elején vannak, mindhárom dimenzióban alacsonyabb pontszámot értek el. Nagy potenciállal rendelkeznek a dokumentációs szabványosítás területén. A vizsgált cégek besorolása a klaszterekbe a következőképpen alakul:



5. ábra. A klaszterek megoszlása.

A cégek több, mint fele, 62%-a „Növekvő” klaszterbe tartozik, amit a helyszíni bejárások alapján is azonosítottunk. Többségében hallottak a lean elvekről, esetleges egyetemi tanulmányaikban is szerepelhettek, de elmondásaik szerint ezek a nagyvállalatoknak való eszközök. Megelégszenek azzal, hogy nyomon követik az alapvető pénzügyi mutatóikat és csak akkor gondolkoznak el a folyamataik áttekintésén, ha valahol ennek már égető szükségét érzik, legyen az pénzügyi vagy szervezési szempont.

A „Fejlesztő” kategóriába a cégek 23%-t, míg az „Innovátor”-ok közé csupán 15%-t soroltunk. A fejlesztő cégek elkezdtek foglalkozni a pénzügyi adatokon túlmenően is adatgyűjtéssel, amik a termelési folyamataikat írják le. Ezek dokumentálása és az adatok alapján történő döntések beépítése a mindennapokba még hosszú folyamat. Az Innovátorok közé számszerűen csupán 2 céget soroltunk, és a személyes találkozás során is ezt a két céget találtuk olyan fejlettnak, amik akár mintaképpen szolgálhatnának a többi vállalkozás számára.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A kérdőív és a kapcsolódó személyes szakmai tapasztalataink alapján vontuk le következtetéseinket.

4.1. KÖVETKEZTETÉSEK

A vállalatok fejlesztése terén nem elsősorban a lean filozófia áll a fókuszban, sokkal inkább az eszközbeszerzést, kapacitás bővítést tartják szem előtt, de láthatóak nagyon kiemelkedő, jó lean-es példák. Sajnos ezek száma jelenleg nagyon alacsony.

A „lesoványítás” elve fontos, bár nem mindig a legelsődleges cél és kérdés, hogy a vállalkozások megfelelő módon értelmezik-e a „lean” ilyenfajta megközelítését

- A húzó logika alkalmazása nem jellemző a gyártási folyamatokra, miközben a beszállítók egyre több, az áramlást segítő, célzott feladatot vesznek át a cégektől, hogy biztosítsák a minimális, de megfelelő szintű készletet. Ennek érdekében pl. a bútorigarra jellemző szerelvények készletét a beszállító tárolja, a vevők pedig akár aznapi szállítással megkaphatják a kért alkatrészt. Ennek ellenére még sok vállalkozás nem használja ki a lehetőségben rejlő potenciált.

- A fiatal munkavállalók lean ismereteket sajátítottak el előzetes tanulmányaik során, azonban annak adaptálása nem egyszerű, még ha jó példákat is látunk. A szervezet ellenállása, annak felkészítése a változásra igen nagy kihívás tapasztalt tanácsadó cégek számára is.

- A standardizálás kiaknázása terén is még van mit javítani, a vállalatok nem használják ki teljes mértékben az előnyeiket. Nagyon jellemző ajánlat a cégektől a vevők felé a „bármit elkészítünk” ajánlat, mert azt gondolják, ezzel lehet megnyerni a vevők többségét. Érdekes tanulság, hogy a Tesla az autógyártás során figyelmen kívül hagyta ezt az individualizmust célzó állítólagos igényt, az autókat néhány típusban és színben szállítják, az eladásaiak mégis folyamatosan élmezőnyben vannak. A Tesla és alapítójának elve, hogy mindent kérdőjelezzünk meg (*Isaacson, 2023*).

- A maradék anyagok felhasználása is egy olyan téma, aminek általános gyakorlatát sok esetben meg kell kérdőjelezni. A vállalatoknak fontos lépéseket kell tenniük egyrészt a fenntarthatóságuk, másrészt saját gazdasági eredményeik érdekében, és a két érdek sajnos nem minden esetben azonos. A maradék anyagok kezelésének általános jellemzője a „van-tól nem kell félni” szemlélet, ami „apáról fiúra” öröklődik a családi vállalkozásokban, és sok esetben okoznak rendezetlen, átláthatatlan termelési területeket.

- A folyamatok részfolyamatokra való felosztása segíthet abban, hogy a szakemberek könnyebben helyettesíthetőek legyenek, ami különösen fontos a flexibilitás és termelési kapacitás szempontjából, és magyarázata, hogy a képzések nem minden esetben képesek a fellépő hiányokra időben reagálni.
- Az organikus kialakult anyagfolyamatok néha gátolják a fejlődést. Lehetőség szerint újabb és újabb gépek kerülnek a folyamatba, amik felborítják az eredetileg átgondolt rendet. A KKV-k esetében sokszor nehéz a döntés, hogy egy üzemátalakítás legyen a következő lépés komoly anyagi és időbeni ráfordítással, vagy egy konstans terhelt munkafolyamatot tartsanak fenn, ahol kis eltérésekből előbb vagy utóbb nagy veszteségek prognosztizálhatóak.
- Vannak olyan vállalatok, ahol a lean elvek megjelennek, de a rendszeres és mélyreható alkalmazásuk még mindig kihívásokat jelent.

4.2. JAVASLATOK

Vizsgálatunkban minden esetben a vevőközpontú megközelítéssel próbáltuk a fejlesztési lehetőségeket értékelni. Megítélésünk szerint alapvetően nem az a fontos, hogy egy vállalat az adott pillanatban hol áll a hatékonysági ranglistán, hanem az a kérdés, hogy melyek azok a lépések, amikkel a közeljövőben javítani tud a piaci helyzetén. Iparáganként, de iparágon belül még régióként is különbözők lehetnek a vevői elvárások. Egy-egy nagyobb, jobban szervezett vállalat holdudvarában könnyebb előbbre lépni a fejlesztésekben, sőt a beszállítófejlesztési projektekkel célzottan támogatják is a továbblépést. Az ellátási lánc különböző pozíciói is különféle elvárásokat és lehetőségeket jelentenek. Ezen elvek alapján szigetszerű fejlődést, és kialakuló rendszereket láthatunk, amelynek gerjesztői egyértelműen az ellátási láncok vevőkhöz kapcsolódó elemei lesznek.

A lean management használhatóságára, alkalmazhatóságára vonatkozó megállapításaink a következők:

- nagyon fontos a lean management oktatását gyakorlati alapokra felépítve beleintegrálni a tanulmányokba. Az is nagyon sokat jelent, ha képesek vagyunk felhívni a figyelmet a folyamatfejlesztések fontosságára, még hasznosabb, ha élő, gyakorlati példákon keresztül mutathatjuk meg, hogy mire való a módszer.
- az is edukáció kérdése, hogy hogyan mutassuk meg, hogy kisebb cégeknek is jó lehet a módszer, nem a nagyvállalatok privilégiuma. A magyar faipari vállalkozások nagy része kisvállalkozás, ezért ez egy kiemelten fontos szempont. Korábbi publikációnkban bemutattuk, hogy a folyamatfejlesztések szintje sokkal inkább cégmérettel van kapcsolatban, semmint iparági kérdés lenne. De ennek oka egyértelműen abban keresendő, hogy a nagyobb vállalkozásoknál rendelkezésre állnak azon erőforrások, amelyek a lean folyamatfejlesztésekhez szükségesek.
- talán a legfontosabb tapasztalat, hogy elég, ha nagyon kicsiben kezdik a cégek a folyamat fejlesztést. Elég egy egyszerű, de a cégre jelentős hatással bíró dolgot folyamatosan kontroll alatt tartani ahhoz, hogy jelentős javulást érhessünk el, ami akár más szempontokra is hatással lehet. Munkánk során olyan magyar faipari vállalkozásokkal kerülünk kapcsolatba, akiknek a működése alapján tipikus jelenségeket láttunk, fedeztünk fel. Ezen tapasztalatokat kívántuk közérthető, gyakorlatias formában továbbadni.

Jelen tanulmány a DRP0200218 nyilvántartási számú, „DRWO4.0 – Danube Region Wood Industry Transformation Model towards Industry 4.0” elnevezésű projekt keretében és annak támogatásával valósult meg. A kiértékelés során saját eredményeinket használtuk. A cégek anonimitása érdekében tettünk azonban általánosságokat. Mesterséges intelligencia használatára kizárólag a szövegek strukturálásakor történt.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnénk köszönetünket kifejezni mindazoknak, akik segítették e tanulmány elkészültét. Köszönjük a projektben részt vevő vállalatoknak a bizalmat és azt, hogy az adatok rendelkezésre bocsátásával támogatták a munkánkat. Külön köszönet illeti Suri Jánost a kutatási módszertan kidolgozásában nyújtott elengedhetetlen szakmai segítségéért és tanácsaiért.

SZERZŐI NYILATKOZATOK

Dr. Suri Vera – szerző, adatelemzés

Prof. Dr. Magoss Endre – szerző

REFERENCIÁK

SHOOK, J., 2008. *Managing to Learn: Using the A3 Management Process*. Lean Enterprise Institute.

KÜPPER, D., HEIDEMANN, A., STRÖHLE, J., KNIZEK, C., SPINDELNDREIER, D., 2017. *When Lean Meets Industry 4.0: The Next Level of Operational Excellence*. Boston Consulting Group.

<https://www.bcg.com/publications/2017/lean-meets-industry-4.0> (Megtekintve: 2026. 03. 02).

ISAACSON, W., 2023. *Elon Musk*. Simon & Schuster.

SURINÉ LENGYEL, V., MAGOSS, E., 2024. *Hazai faipari kisvállalkozások gyártási és szervezeti szintjét felmérő hatékonyságnövelő tanácsadó rendszere*. In book: *Wood 4 Sustainability: Processing, Construction, Products and Design 2024*

SURINÉ LENGYEL, V., 2022. *Digitális átállás lehetőségei a magyar faipari vállalatoknál, különös tekintettel a gyártás optimalizációra*. PhD értekezés.

LEAN IN PROGRESS – A STUDY OF THE HUNGARIAN WOOD INDUSTRY

ABSTRACT

This study examines the innovation readiness and efficiency improvement opportunities of Hungarian small and medium-sized enterprises (SMEs) operating in the wood industry from the perspective of Lean management and Industry 4.0 solutions. The research is based on a structured professional survey conducted among 13 domestic wood industry manufacturing companies, in which the authors assessed the organizational maturity of the firms using a self-developed, dimension-based

questionnaire. Organizational culture was evaluated along three key dimensions: documentation and visual standardization, process maturity, and monitoring and feedback. Based on the results, the examined companies were classified into clusters (Innovator, Developer, Growing). The findings indicate that 62% of the sector is still at an early stage of development (“Growing”), and that the success of technological modernization (Industry 4.0) is inseparable from the prior lean-based optimization of processes. The study identifies relationships between the level of documentation and the propensity for data-driven decision-making, and outlines development directions relevant to the SME sector.

Keywords: wood industry, lean management, Industry 4.0, organizational maturity, SME sector, process optimization

PHYSICAL AND INDENTATION PROPERTIES OF DATE PALM WOOD FROM THE MIDDLE STEM SECTION UNDER STANDARD CONDITIONS

ALHACHAMI FIRAS NAJI^a, MIKLÓS BAK^b

^a Faculty of Wood Engineering and Creative Industries, University of Sopron, 9400 Sopron, email: Al-HachFiNaOb24@student.uni-sopron.hu

^b Faculty of Wood Engineering and Creative Industries, University of Sopron, 9400 Sopron, email: bak.miklos@uni-sopron.hu

DOI: <https://doi.org/10.35511/978-963-334-570-2-09>

ABSTRACT

Date palm wood (*Phoenix dactylifera* L.) is structurally different from conventional woods because it does not form annual growth rings, and its transverse variability is mainly governed by vascular-bundle distribution rather than earlywood–latewood alternation. In this work, equilibrium moisture content, equilibrium density, and Brinell–Mörath indentation hardness (*cross direction*) were determined for specimens prepared from the middle stem section (~1.0 m above ground) of three different trunks (1M, 2M, 3M). All specimens were conditioned in a climatic chamber at 20°C and 65% relative humidity prior to testing. Moisture content at 20°C/65% RH ranged from 11.70% to 13.23%. Density at 20°C/65% RH showed trunk-to-trunk differences (mean 0.368–0.420 g/cm³, n=15 per trunk). Brinell–Mörath hardness in the cross direction also differed among trunks (mean 16.09–19.66 N/mm², n=15 per trunk), and the highest hardness was observed in the trunk that also showed the highest density. The presented dataset provides a compact baseline for comparing date palm wood to conventional softwoods and hardwoods under comparable conditioning.

Keywords: date palm wood; equilibrium density; equilibrium moisture content; Brinell–Mörath hardness; indentation; monocot stem.

1. INTRODUCTION

Date palm wood (*Phoenix dactylifera* L.) is increasingly discussed as an alternative lignocellulosic resource, especially in regions where palm stems become available after orchard renewal (Amirou *et al.*, 2014). However, the stem structure of date palm differs fundamentally from conventional softwoods and hardwoods. Date palm does not produce annual growth rings, so its transverse structure does not show the typical ring-based pattern seen in traditional woods. Instead, variations across the cross-section are mainly associated with the distribution and concentration of vascular bundles within a parenchymatous matrix (Tomlinson–Huggett, 2012) (Figure 1). However, there are large quantities of date palm trunks available, no, or only marginal industrial use is reported yet (Agoudjil *et al.*, 2011).

For a material with such a structure, reporting basic physical parameters (*moisture content and density under defined conditioning*) is necessary before any broad mechanical interpretation. Indentation hardness is also useful because it reflects local resistance to compressive deformation perpendicular to the dominant fibrous reinforcement, and it is commonly related to density and microstructural arrangement (Elkhal *et al.*, 2022).

In this study, we report equilibrium moisture content, equilibrium density, and Brinell–Mörath indentation hardness (*cross direction*) for samples taken from the middle stem section of three different trunks. The ~1 m height was selected as a standardized sampling position commonly used in wood testing practice, and it also reduces the influence of basal irregularities and soil-associated biological exposure, providing a reasonable reference section for comparative characterization.

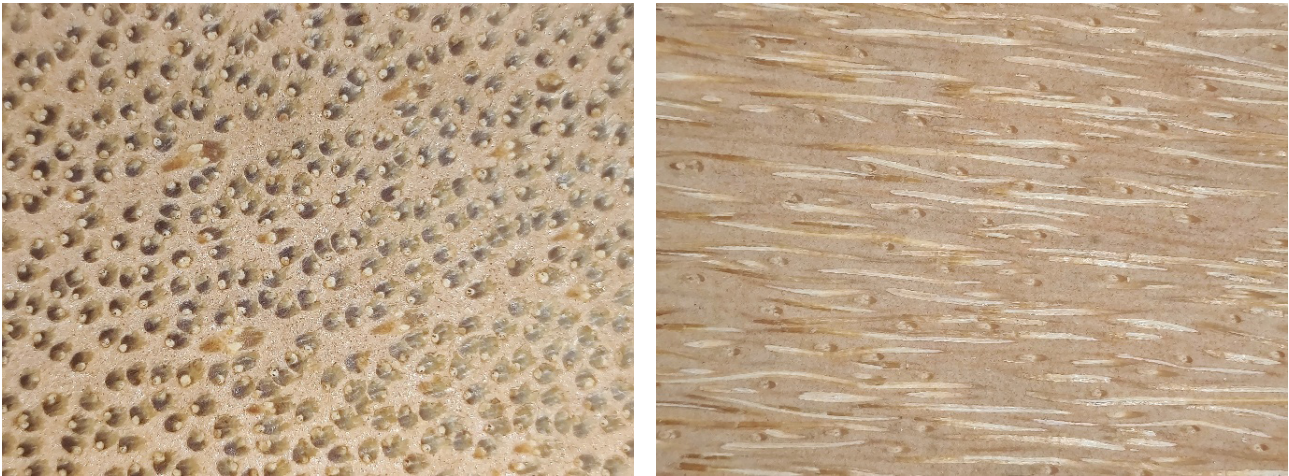


Figure 1. Macroscopic image of cross section (left) and longitudinal section (right) of date palm wood.

Source: Author

2. THEORETICAL RESEARCH OR HYPOTHESIS

Under standard conditioning at 20°C and 65% RH, date palm wood sampled from the middle stem section (~1 m above ground) is expected to show measurable differences among trunks in equilibrium density and cross-direction Brinell–Mörath hardness, even when the sampling height and testing direction are kept constant. Specifically, trunks with a higher mean equilibrium density are hypothesized to exhibit higher mean indentation hardness and lower indentation depth, reflecting the general density–indentation relationship in lignocellulosic materials. In addition, a noticeable within-trunk scatter in hardness and indentation response is anticipated due to the heterogeneous transverse distribution of vascular bundles in ringless monocot stem tissue.

3. MATERIAL AND METHOD

3.1. MATERIAL, SAMPLING POSITION, AND SPECIMEN CODING

Three different date palm trunks were investigated in this study. The trunks were collected from three independent date palm orchards located in Wasit Governorate, specifically in Al-Kut city, Iraq,

in order to capture trunk-to-trunk variability while maintaining a consistent regional and climatic background. From each trunk, samples were taken from the middle stem section at an approximate height of 1.0 m above ground level, which is commonly adopted as a reference position in wood property characterization.

The trunks were coded as 1M, 2M, and 3M, where the letter M denotes the middle stem section. For each trunk, a single specimen set was prepared and used for both equilibrium density determination and Brinell–Mörath indentation hardness testing, comprising 15 specimens per trunk (1M1–1M15, 2M1–2M15, and 3M1–3M15).

The specimens were prepared as small clear samples with nominal dimensions of approximately 20 mm×20 mm×30 mm (length × width × height). Actual specimen dimensions were measured after conditioning and used for density calculations. A photographic overview of the prepared specimens and the applied coding system is provided in Figure 2.



Figure 2. Illustrating the specimen geometry and grouping adopted throughout the experimental program.

Source: Author

3.2 CONDITIONING AND EQUILIBRIUM MOISTURE CONTENT

All specimens were stored and conditioned in a climatic chamber at 20°C and 65% relative humidity (RH) prior to testing until equilibrium was reached. Equilibrium moisture content was recorded for each trunk and is reported as MC (20/65) (Table 1).

3.3 EQUILIBRIUM DENSITY AT 20°C / 65% RH

For the density set, specimen dimensions were measured in mm after conditioning at 20°C / 65% RH, and mass was measured in g. Volume was computed as:

$$V_{20/65} = a_2 \times b_2 \times h_2 \text{ (mm}^3\text{)}, V(\text{cm}^3) = \frac{V(\text{mm}^3)}{1000} \quad (1)$$

where:

$V_{20/65}$ = specimen volume at equilibrium conditions (20°C / 65% RH), in mm³,

a_2 = specimen length measured after conditioning, in mm,

b_2 = specimen width measured after conditioning, in mm,

h_2 = specimen height (thickness) measured after conditioning, in mm.

Density was computed as:

$$\rho_{20/65} = \frac{m_{20/65}}{V_{20/65}} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (2)$$

where:

$\rho_{20/65}$ = density at equilibrium conditions (20°C / 65% RH), in g/cm³,

$m_{20/65}$ = specimen mass at equilibrium conditions, in g,

$V_{20/65}$ = specimen volume at equilibrium conditions, in cm³.

3.4 BRINELL–MÖRATH INDENTATION HARDNESS (CROSS DIRECTION)

Indentation hardness tests were performed in the cross direction (*load applied perpendicular to the dominant fiber direction*). The dataset includes maximum applied load (500 N), displacements at 10 N and 500 N, indentation depth, and Brinell–Mörath hardness values (N/mm^2), as provided by the test output (“ISO 3350,” *n.d.*).

3.5 DATA TREATMENT

For each trunk and property, mean, standard deviation (*SD*), minimum, and maximum were computed.

4. RESULTS AND DISCUSSION

Table 1. Equilibrium moisture content under standard conditioning (20°C / 65% RH)

Trunk	Moisture content, MC_(20/65) (%)
1M	11.70
2M	13.02
3M	13.23

Table 2. Equilibrium density at 20°C / 65% RH (n = 15 per trunk)

Trunk	n	Density mean \pm SD (g/cm ³)	Min–Max (g/cm ³)	Mean \pm SD (kg/m ³)
1M	15	0.368 \pm 0.028	0.317–0.432	368 \pm 28
2M	15	0.420 \pm 0.050	0.365–0.556	420 \pm 50
3M	15	0.387 \pm 0.023	0.364–0.444	387 \pm 23

Table 3. Brinell–Mörath hardness and indentation response (cross direction, n = 15 per trunk)

Trunk	Brinell–Mörath hardness mean \pm SD (N/mm ²)	Min–Max (N/mm ²)	Indentation depth mean \pm SD (mm)	Min–Max (mm)
1M	16.09 \pm 4.64	6.93–26.67	1.086 \pm 0.401	0.597–2.295
2M	19.66 \pm 2.92	14.29–24.67	0.828 \pm 0.130	0.645–1.114
3M	16.54 \pm 2.12	12.37–19.70	0.978 \pm 0.135	0.808–1.287

4.1 COMPARISON TO CONVENTIONAL SOFTWOODS AND HARDWOODS

Under comparable conditioning (20°C / ~65% RH), the equilibrium densities measured here (~0.37–0.42 g/cm³) fall within ranges often associated with lightweight-to-medium density wood, frequently overlapping with many commercial softwoods and generally below many common temperate hardwoods. This suggests that, at least for the middle stem section investigated here, date palm wood can be positioned closer to the softwood-like density class rather than the higher-density hardwood class.

For indentation hardness, the Brinell–Mörath values reported (~16–20 N/mm², trunk means) typically overlap with values reported for many softwoods and remain below those of harder hardwood species. This is consistent with the general density–hardness relationship, while recognizing that date palm’s vascular-bundle architecture can contribute to scatter depending on local bundle concentration beneath the indenter (Robert J. Ross and Forest Products Laboratory USDA Forest Service., 2010).

4.2 WHY THE MIDDLE STEM SECTION IS A REASONABLE REFERENCE LOCATION

Sampling wood material at a fixed height above ground level is a well-established practice in forest mensuration and wood characterization, primarily to avoid the influence of basal stem irregularities. The lower portion of the trunk is commonly affected by butt swell, localized growth distortions, and increased exposure to soil-related moisture gradients and biological agents, which may introduce non-representative variability in physical and mechanical measurements. For this reason, standardized reference heights above ground are widely adopted to ensure comparability among trees and stems. In forest measurements, the use of a fixed reference height (e.g., diameter at breast height) is specifically intended to minimize the effect of basal flare and to provide a stable and repeatable sampling position along the stem. Following the same principle, selecting the middle stem section at approximately 1.0 m above ground allows the characterization of wood properties in a region that is

less influenced by ground-related effects and basal anomalies. Consequently, this position provides a reliable reference for comparing different trunks under identical conditioning and testing conditions (Bertram Husch *et al.*, 2002).

4.3 INTERPRETING VARIABILITY IN A RINGLESS, MONOCOT STRUCTURE

Because date palm wood does not form growth rings, the variability in indentation response should not be discussed in terms of earlywood/latewood patterns. A more appropriate interpretation is that the local response is governed by the heterogeneous distribution of vascular bundles in the cross-section (Genera *Palmarum*, 2008).

4.4 CONSISTENCY OF DENSITY AND HARDNESS AT TRUNK LEVEL

At the trunk level, a clear and consistent trend can be observed: the trunk exhibiting a higher mean density (2M) also shows a higher mean indentation hardness. This behavior is in accordance with the generally accepted relationship between density and resistance to localized deformation in lignocellulosic materials.

5. CONCLUSIONS

- Under standard conditioning at 20°C / 65% RH, date palm wood from the middle stem section showed measurable differences among trunks in equilibrium moisture content, equilibrium density, and Brinell–Mörath indentation hardness.
- Mean equilibrium density ranged from 0.368 to 0.420 g/cm³ at 20°C / 65% RH.
- Mean Brinell–Mörath hardness (*cross direction*) ranged from 16.09 to 19.66 N/mm², with trunk 2M showing the highest mean hardness and the lowest mean indentation depth.
- The absence of growth rings supports interpreting variability through vascular-bundle distribution rather than ring-based anatomy.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors gratefully acknowledge the use of laboratory facilities and technical infrastructure provided by the Faculty of Wood Engineering and Creative Industries, University of Sopron. The authors also thank the technical staff of the wood science laboratories for their general assistance during specimen preparation, conditioning, and testing.

AUTHOR STATEMENTS

Firas Naji Alhachami – conceptualization, experimental design, specimen preparation, data acquisition, data analysis, writing – original draft.

Miklós Bak – supervision, methodology, scientific guidance, writing – review and editing.

FUNDING INFORMATION

This research received no external funding.

REFERENCES

- AGOUDJIL, B., BENCHABANE, A., BOUDENNE, A., IBOS, L. & FOIS, M., 2011. Renewable materials to reduce building heat loss: Characterization of date palm wood. *Energy and Buildings*, 43, 491–497. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.10.014>
- AMIROU, S., ZERIZER, A. & PIZZI, A., 2014. Investigation of chemical, physical and mechanical properties of Algerian date palm wood. *Materials Testing*, 56, 236–240. <https://doi.org/10.3139/120.110548>
- HUSCH, B., BEERS, T. W. & KERSHAW, J. A., 2002. *Forest mensuration*, 4th ed. New York: John Wiley & Sons.
- ELKHAL, M., HAKAM, A., EZ-ZAHRAOUI, H., HADER, A., TANASEHTE, M. & ZIANI, M., 2022. Mechanical and physical properties of the date palm stem (*Phoenix dactylifera L.*) in Morocco. *European Journal of Wood and Wood Products*, 80, 693–703. <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01777-0>
- DRANSFIELD, J., UHL, N. W., ASMUSSEN, C. B., BAKER, W. J., HARLEY, M. M. & LEWIS, C. E., 2008. *Genera Palmarum: The evolution and classification of palms*, 2nd ed. Richmond: Kew Publishing.
- ISO, 1975. ISO 3350:1975 – Determination of static bending strength (szabvány). Geneva: International Organization for Standardization.
- Ross, R. J., 2010. Wood handbook: *Wood as an engineering material*. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory.
- TOMLINSON, P. B. & HUGGETT, B. A., 2012. Cell longevity and sustained primary growth in palm stems. *American Journal of Botany*, 99, 1891–1902. <https://doi.org/10.3732/ajb.1200089>

EPOXIGYANTÁVAL KÉSZÜLT ASZTALLAP TERVEZÉSE ÉS KIVITELEZÉSE

FRECSKA VIKTÓRIA^a, CSILLA CSIHA^b

^a Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, 9400 Sopron,
email: FreVi23@student.uni-sopron.hu

^b Associate Professor, University of Sopron, Faculty of Wood Engineering and Creative Industries,
Sopron, 9400 Hungary, email: csiha.csilla@uni-sopron.hu

DOI: <https://doi.org/10.35511/978-963-334-570-2-10>

ABSZTRAKT

A tanulmányban egy epoxigyantával készült, szárított növényi elemekkel díszített asztallap tervezési és kivitelezési folyamatát mutatom be, a koncepcióalkotástól a kész termék értékeléséig. A bemutatott munka saját diplomamunkám gyakorlati tapasztalataira épül, és részletesen tárgyalom az anyagválasztás, az öntéstechnológia és a formai kialakítás főbb szempontjait. Kitérek az epoxi-fa anyagintegráció sajátosságaira, az öntési rétegek közötti tapadás kérdésére, valamint azokra a tipikus kivitelezési hibákra, amelyek befolyásolhatják a kész termék esztétikai minőségét és tartósságát. A tanulmány célja, hogy gyakorlati iránymutatást nyújtsak az epoxigyantával készült asztallapok tervezéséhez és gyártásához, különös tekintettel a kisüzemi és műhely körülmények között alkalmazható megoldásokra.

Kulcsszavak: epoxigyanta, epoxi – fa kompozit, asztallap, öntéstechnológia, bútortervezés

1. BEVEZETÉS

Az epoxigyantával készült bútorok és belsőépítészeti elemek az elmúlt évtizedben jelentős figyelmet kaptak mind a designorientált tervezés, mind a kísérleti anyaghasználat területén. Az epoxigyanta és a természetes faanyag kombinációja olyan kompozit rendszert eredményez, amely egyszerre biztosít magas esztétikai értéket és jó mechanikai tulajdonságokat. Az áttetsző vagy opálos gyantarétegek lehetőséget teremtenek dekoratív elemek – például szárított növények – beágyazására, amely tovább növeli a termék egyediségét.

A technológia alkalmazása ugyanakkor nem tekinthető triviálisnak. Az epoxigyanták feldolgozása érzékeny a környezeti feltételekre, a keverési arányokra és az öntési vastagságra, amelyek együttesen határozzák meg a kikeményedés minőségét és a kész termék tartósságát. A gyakorlatban gyakran előforduló problémák – például légbuborékok, rétegelválás vagy a beágyazott elemek elmozdulása – megfelelő tervezési és kivitelezési stratégiákkal csökkenthetők.

Jelen cikk célja egy epoxigyantával készült asztallap tervezési és kivitelezési folyamatának részletes bemutatása, különös hangsúlyt fektetve a saját tapasztalatokra és azok értékelésére. A tanulmány elsősorban nem csak elméleti áttekintésre törekszik, hanem egy konkrét projekt esettanulmányán keresztül kíván hozzájárulni az epoxi alapú bútorokkal kapcsolatos gyakorlati ismeretek bővítéséhez.

2. GYANTÁK EREDETE

A műgyantát tulajdonképpen a természetben előforduló gyanta ihlette, amelyeket már az ókorban is ismertek és széles körben felhasználtak. Használatukat dokumentálták Görögországban Theophrastus, Rómában Plinius munkái, valamint Egyiptomban is, ahol különösen illóolajuk miatt voltak kedveltek. A természetes gyantákat hosszú ideig elsősorban a hajózás területén alkalmazták, vízhatlanná tették velük a köteleket és ponyvákat, valamint repedések tömítésére használták. Legkorábbi ismert felhasználásuk a kőkorszakra tehető, ahol ragasztóként alkalmazták kőtárgyak összeillesztéséhez (*Faipar.hu, n.d.*). A természetes gyanták egyik jelentős hátránya a korlátozott rendelkezésre állás volt, ezért az ipari forradalom idején megkezdődtek a kísérletek a ma ismert műgyanták kifejlesztésére. Napjainkban körülbelül 50 különböző anyagot sorolunk az epoxigyanták közé, amelyeket rendkívül széles körben alkalmaznak, többek között az ékszergyártásban, az építőiparban, a faiparban és az autópiparban.

3. KÉMIAI SZERKEZET ÉS TULAJDONSÁGOK

Az epoxigyanta a műgyanta egy speciális formája, amely a poliaddíciós műanyagok közé tartozik. Előállítására epoxi-poliéter és fenol, illetve epoxi-poliéter és amin poliaddíciójával történhet. Az „epoxi” elnevezés két szénatom közötti oxigénatomot tartalmazó kémiai csoportra utal (*Világlex, n.d.*). Az epoxigyanták kiváló tapadási képességekkel rendelkeznek, valamint nagy ellenállóképességet mutatnak a vízzel szemben. Térhálósodás során minimális mértékben zsugorodnak, és rendkívül jól tapadnak különböző anyagokhoz, például fához, fémhez vagy üveghez.

Bizonyos epoxigyanta-típusok fényáteresztő képessége kiemelkedő, nagy százalékban átengedik a fényt anélkül, hogy azt jelentősen szétszórják vagy elnyelnék. A magas optikai minőségű epoxigyanták nemcsak átlátszóak, hanem kevésbé torzítják a rajtuk áthaladó fényt, így tisztább, élesebb látványt biztosítanak, ami különösen előnyös egy dohányzóasztal esetében, de műalkotásoknál és ékszerkészítésnél is gyakran alkalmazzák őket.

4. TERVEZÉSI KONCEPCIÓ ÉS ALAPELVEK

Az információgyűjtés, az inspirációs képek és a műszaki adatok feldolgozását követően elkezdtem kidolgozni a lehetséges koncepciókat. A gondolatmenetemet két irányba vittem tovább. Az első elképzelés egy olyan asztal, amelynek lába, illetve tartószerkezete lehetővé teszi az asztallapok cserélhetőségét. Ebben az esetben a felhasználó maga párosíthatná össze a különböző epoxi asztallapokat a szerkezettel. A koncepció legnagyobb kihívása az lenne, hogy többféle epoxi asztallapot kellene készíteni, amelyek mind kompatibilisek a tartószerkezettel.

A második elképzelés ezzel szemben egy olyan megoldás, ahol a láb, azaz a tartószerkezet rögzítések nélkül kerülne közvetlenül az epoxiba. Ennél a változatnál a műszaki kihívás jelentősebb, mivel meg kell oldani a stabilitás és a teherbírás biztosítását külső rögzítőelemek nélkül. A két koncepció összevethetősége érdekében mindkettőről készítettem vázlatokat, amelyek segítenek eldönteni, hogy melyik irányban érdemes a tervezést tovább folytatni. Végül egy olyan változat mellett döntöttem, ahol az asztallap teljesen elkülönül a lábszerkezettől, így moduláris a kialakítás. Formavilága egyszerű, letisztult (*1. ábra*).



1. ábra. Konceptióterv. Forrás: szerző

5. ANYAGVÁLASZTÁS ÉS TECHNOLÓGIAI HÁTTÉR

Az asztallap elkészítéséhez kétkomponensű epoxigyanta rendszer került alkalmazásra, amely kifejezetten alkalmas vastagabb rétegek öntésére és nagy optikai tisztaságú felületek kialakítására. Az anyagválasztás során fontos szempont volt a kontrollált exotherm reakció, mivel a túlzott hőfejlődés repedésekhez vagy belső feszültségek kialakulásához vezethet.

Az epoxigyanták egyik jelentős előnye a faanyaghoz való kiváló tapadás, amely lehetővé teszi stabil kompozit szerkezetek kialakítását. Ugyanakkor a fa nedvességtartalma kritikus tényező: a nem megfelelően kiszáritott faanyag gázképződést és tapadási problémákat okozhat az öntés során. Ennek elkerülése érdekében a kivitelezés során kizárólag száraz, előkezelt alapanyagok kerültek felhasználásra.

A dekorációs elemek esetében szárított növényi anyagok alkalmazása történt. A tapasztalatok alapján ezek beágyazása jelentős esztétikai értéket képvisel, ugyanakkor fokozott figyelmet igényel a réteges öntés és a pozicionálás során. A növényi elemek sűrűsége és felületi érdekessége befolyásolja azok viselkedését a folyékony gyantában, ami indokolttá teszi a részleges kikeményedési állapotban történő elhelyezést.

6. KIVITELEZÉSI FOLYAMAT

6.1 ÖNTŐFORMA KÉSZÍTÉSE

A kivitelezés első lépését az öntőforma megtervezése és elkészítése jelentette. A forma kialakításánál elsődleges szempont volt a geometriai pontosság és a megfelelő tömítettség biztosítása, mivel a legkisebb rés is anyagvesztéshez vagy felületi hibák kialakulásához vezethet. A tömítést savmentes szilikonnal végeztem, mivel az ecetsav a gyanta elszíneződését okozhatja. A forma laminált bútorlapból készült, a szélére EPDM gumiszalagot erősítettem, ez adta meg az öntőforma peremét. Belső felülete leválasztó réteggel került bevonásra annak érdekében, hogy a kikeményedett öntvény sérülésmentesen eltávolítható legyen. Formaleválasztó spray helyett egy költséghatékonyabb megoldást, fényes felületű átlátszó ragasztószalagot alkalmaztam.

Első lépésként a kör közepére csavartam egy facsavart (2. ábra), majd dekopír fűrészsel óvatosan körbevágtam a jelölés mentén (3. ábra), így kaptam egy szabályos 50 cm átmérőjű kört (4. ábra). Végül elkészült a kör, bár helyenként enyhén hullámos lett az öntőforma a vágások megszkítása miatt, de ez korrigálható volt tömítőanyaggal. Előkészítettem a ragasztószalagot amivel bevontam az egész felületet és a gumiszalag felületét is. Behajtó segítségével a gumiszalagot facsavarral az MDF körlap oldalára rögzítettem (5. ábra), a találkozásnál pontosan illesztettem, nem lapoltam át. Képen lészik hogy a felület teljesen le lett fedve fényes felületű ragasztószalaggal hogy könnyen leváljon a formáról (6. ábra). Neturális szilikonnal kinnyomópisztoly segítségével tömítettem a negatív sarkokat (7. ábra).



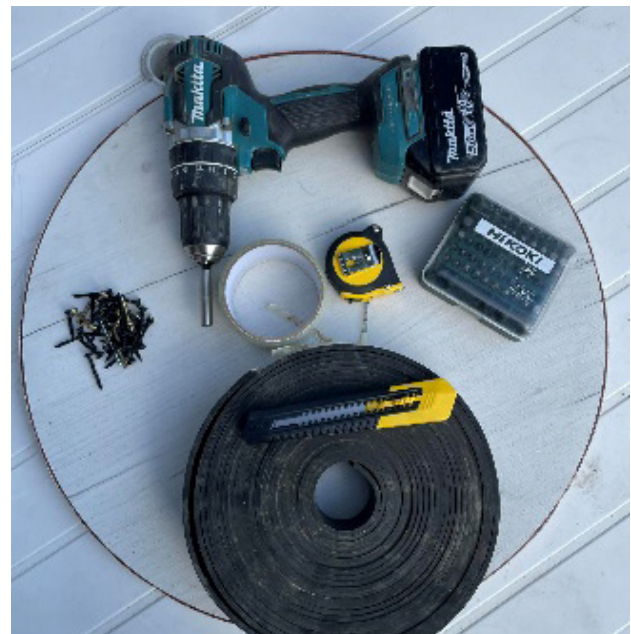
2. ábra. Kör kijelölése. Forrás: szerző



3. ábra. Szabályos kör kivágása dekopírfűrészsel.
Forrás: szerző



4. ábra. Elkészült, kivágott kör. Forrás: szerző



5. ábra. Szükséges eszközök a szegély felhelyezéséhez.
Forrás: szerző



6. ábra. Felcsavarozott szegély. Forrás: szerző



7. ábra. Negatív sarkok kihúzása savmentes szilikonnal.
Forrás: szerző

6.2 ÖNTÉS FOLYAMATA

Az öntéshez elvégeztem az előkészületeket. Fontos volt, hogy az öntés és a kikeményedés folyamata olyan helyiségben történjen, ahol folyamatosan 15–20°C közötti hőmérséklet biztosítható. Egy zárható helyiségben készítettem elő a munkafelületet, és a szoba hőmérsékletét 20°C-ra állítottam. A stabil hőmérséklet lehetővé tette a kikeményedési idő pontosabb kalkulálását, míg túl meleg környezetben a gyanta és az edző kikeverésekor fellépő túlzott hőfejlődés repedésekhez vezethetett volna.

A szárazvirágokat eltávolított szárakkal, sablon segítségével több elrendezésben kipróbáltam, majd kiválasztottam a végleges kompozíciót. Az öntés megkezdése előtt az öntőformát vízmérték segítségével pontosan vízszintbe állítottam. Első lépésként egy körülbelül 50 mm vastag réteget öntöttem ki, amely rögzítő alapréteggént szolgált a virágok számára. A cél a zselésedési állapot elérése volt, amikor az epoxi már tapadós, de a beágyazott elemek még nem süllyednek el; ez a környezeti hőmérséklet alapján 8–10 óra elteltével következett be.

Az anyagmennyiséget előzetesen kiszámítottam: az 500 mm átmérőjű, fél centiméter vastag réteghez 750 g gyantára (*A komponens*) és 375 g edzőre (*B komponens*) volt szükség. A komponenseket konyhai mérlegen mértem ki, majd tiszta edényben kevertem össze, ügyelve arra, hogy az edző ne ülepedjen le. A keverék kezdetben opálos volt, majd egyenletes keverés hatására homogénné vált. Az enyhén tejszerű hatás eléréséhez folyékony pigmentet adtam a keverékhez, 750 g gyantához 4 csepp mennyiségben, amely arányt a további rétegeknél is megtartottam.

Az öntést lassan végeztem a mikrobuborékok kialakulásának elkerülése érdekében. Az első réteg 8–10 óra elteltével elérte a megfelelő zselés állapotot, ekkor helyeztem el rajta a kiválasztott szárított

virágokat, amelyeket finoman a felületbe préseltem. A forma középső része keményebbnek bizonyult, ezért néhány elem rögzítéséhez a maradék gyantát ecset segítségével vittem fel.

A kívánt öntési magasság ellenőrzéséhez egy 2 cm-es jelölést alkalmaztam az öntőforma belsejében. A második réteghez az elsővel megegyező anyagmennyiséget kevertem ki, azonban a gyanta előrehaladottabb zselésedése miatt néhány kisebb virág a felszínre emelkedett, míg a nagyobb elemek a helyükön maradtak. Ezt követően egy harmadik, vékonyabb réteget is kiöntöttem (300 g gyanta és 150 g edző), majd a rétegek megszilárdulása után döntöttem a végső fedőréteg alkalmazása mellett.

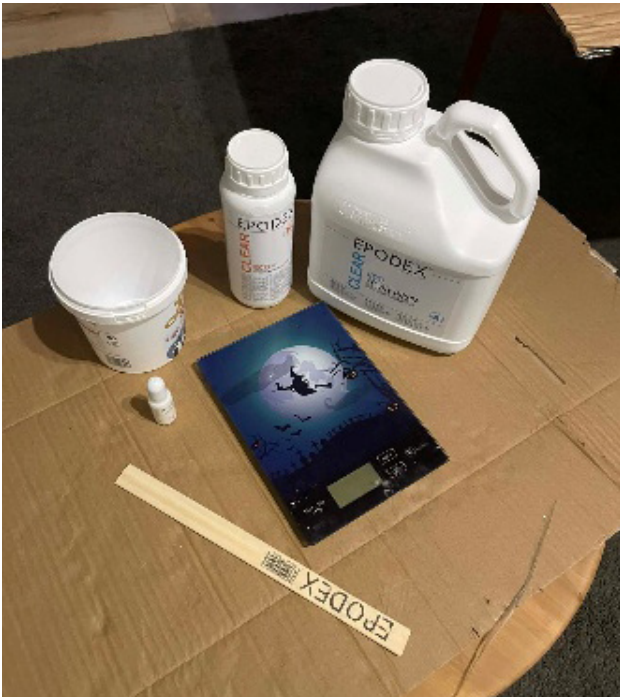
Mivel a rétegek között teljes kikeményedés történt, a megfelelő tapadás érdekében a felületet 120-as szemcseméretű csiszolópapírral megcsiszoltam. A kiálló virágrészeket szikével távolítottam el, majd a felületet portalanítottam és acetonnal áttöröltem. Az utolsó réteghez körülbelül 300 g gyantát mértem ki, amely mintegy 3 mm vastagságban terült el, így a teljes asztallap vastagsága elérte a tervezett minimum 20 mm-ert. Az öntés után a felületet ecsettel elegyengettem, majd az öntvényt további egy hétig, körülbelül 15°C-os környezetben hagytam kikeményedni. A folyamatot fotókkal dokumentáltam (8–20. ábra).



8. ábra. Vízmérték segítségével szint kialakítása
Forrás: szerző



9. ábra. Virágok kiválogatása, szarak levágása
Forrás: szerző



10. ábra. Mérleg segítségével szükséges anyag kimérése 2:1 arányban. Forrás: szerző



11. ábra. Pigment hozzáadása, majd csíkmentesre keverés. Forrás: szerző



12. ábra. Első réteg zselésedése (12–16 óra) után virágok pozícionálása, anyagba „nyomása”. Forrás: szerző

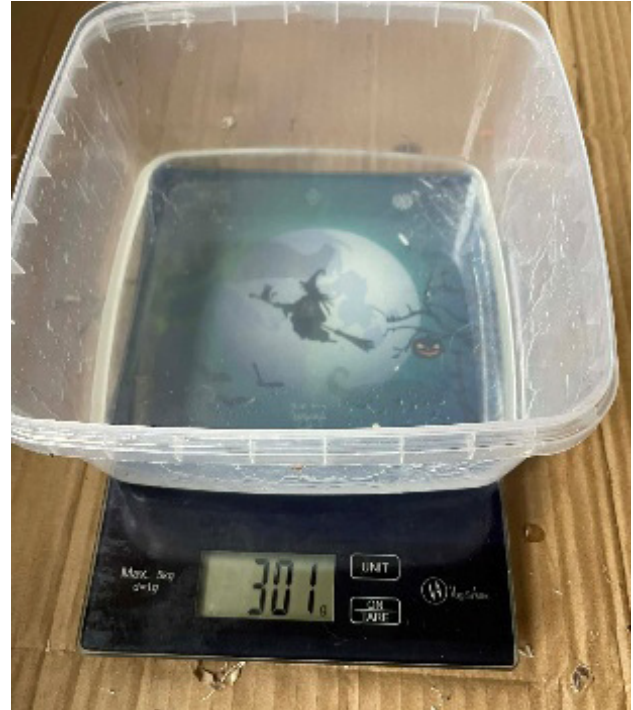


13. ábra. További 2 réteg öntése a virágok felületére. Forrás: szerző

1 hét után a megkötött gyanta tetejére felkúsztak a virágok, és kiálltak a gyanta szintjéből, ezért a kiálló részeket vissza kellett vágni. Ehhez szikét alkalmaztam. Ezután következett a felület portalanítása, vizes ronggyal való áttörlése. Utolsó réteghez 300 gramm A, és 150 gramm B komponens került kimérésre. Elkevert anyag tisztított felületre került kiöntése, majd száradt 1 hétig.



14. ábra. Öntés utáni állapot – kiálló virágrészek.
Forrás: szerző



15. ábra. Utolsó réteghez szükséges anyag kimérése.
Forrás: szerző



16. ábra. Ezt követte az EPDM gumi leválasztása az öntvény oldaláról. Forrás: szerző



17. ábra. Majd laposfejű csavarhúzóval óvatosan leválasztásra került az öntvény a formáról.
Forrás: szerző



18. ábra. Így elkészült az asztallap. Forrás: szerző



19. ábra. Felhelyezésre került a lábszerkezetre.
Forrás: szerző



20. ábra. Az elkészült termék fotója. Forrás: szerző

6.3 ASZTALLÁB SZERKEZETÉNEK ELKÉSZÍTÉSI FOLYAMATA

Az asztal lábszerkezete prémium minőségű Elliotis fenyő (*Pinus elliotii*) rétegelt lemezből készült. Ez a gyors növekedésű, ültetvényeken termesztett fafaj elsősorban Dél-Amerikában elterjedt, és fenntartható eredete miatt környezeti szempontból kedvező választás. Az anyagválasztást a kedvezőbb ár is indokoltá tette. Tudatos döntés volt, hogy két erősen díszített elem ne jelenjen meg egyszerre; a lábszerkezet esetleges felületi tompítását fehér lazúrral a későbbiekben terveztem.

Az Elliotis fenyő rétegelt lemez szerkezeti tulajdonságai megfelelő merevséget és stabilitást biztosítanak a 18 mm vastag anyag esetében. A 420 mm magas és 160 mm széles lábprofil stabilan tartja az 500 mm átmérőjű, 20 mm vastag epoxi asztallapot, miközben közepes sűrűsége miatt a bútor össztömege nem válik túlzottan nagygyá. A rétegelt szerkezet jó megmunkálhatóságot biztosít, lehetővé téve a pontos marásokat, fészkek és kötéselemek kialakítását.

A lábak elkészítése során a rétegelt lemezből elkészültek a szükséges méretű elemek. A lábak felső részén 20×20 mm-es fészkek kialakítására került sor, amelyek biztosítják, hogy az epoxi asztallap pontosan és stabilan üljön bele a fa szerkezetbe, megakadályozva az oldalirányú elmozdulást. A marásokat felsőmaróval, ütközők segítségével végeztem az azonos geometria érdekében.

A szerkezet alsó részét egy 350 mm átmérőjű kör alakú polclap egészíti ki, amely egyrészt merevíti a lábszerkezetet, másrészt funkcionális tárolófelületet biztosít. A polclapot köldökcsapozással rögzítettem a lábak belső oldalához, ami rejtett, esztétikus kötést eredményez. A rétegelt lemez éleinek sérülékenysége miatt minden elemnél 1 mm-es élettörést alkalmaztam, amely egyszerre javítja a megjelenést és a használati komfortot.

7. TAPASZTALATOK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

Mivel ez volt az első alkalom, hogy epoxi öntőgyantával dolgoztam, az egész folyamat számomra egyszerre jelentett kihívást és tanulási lehetőséget. A tervezés során előre kigondoltam a folyamatokat és próbáltam minden eshetőséget figyelembe venni. Az öntés, a gyanta viselkedése, a virágok pozicionálása és a szerkezeti elemek kialakítása mind olyan lépések voltak, ahol rengeteg tapasztalatot szereztem, és ezek alapján ma már több ponton másképp állnék neki a munkának. Ebben a fejezetben összefoglalom, hogy milyen következtetéseket vontam le, mik működtek jól, és milyen változtatásokat tartanék célszerűnek egy következő, hasonló projekt esetén. Az öntőforma készítésekor a gumiszalag facsavarral került rögzítésre a laminált bútorlap szélére. Annak érdekében hogy ne púposodjon fel a felület, megpróbáltam minél lentebb rögzíteni a gumit. Ennek eredményeképpen mikor a csavartól megnyomódott a felület több helyen az alsó sík alá csúszott a gumi. Ez később azért okozott problémát mert a kidomborodó gumi feltartotta minimálisan az MDF alapot, így csalóka volt a vízszint. Öntőforma készítésekor vastag, fényes felületű ragasztószalaggal fedtem be az alapot – ez később azt eredményezte hogy az öntvény könnyen levált a formáról. A gumiszalagot is bevontam ezzel a ragasztószalaggal. A gumi forma köré hajlításakor a ragasztószalag egyes helyeken felhólyagosodott, ez később az öntvény szélén nyomot hagyott. Ez teljesen elhagyható lett volna hiszen a gumi amúgy sem ragadt volna rá az epoxi szélére.

Mikor rögzítettem a gumi peremet, a találkozásnál nem átlapolást alkalmaztam, hanem megpróbáltam szorosan illeszteni az éleket egymás mellé. Később emiatt pontatlanság alakult ki. Következő alkalommal érdemes lenne más anyagot választani a perem megformálására, például vékony hajlítható MDF csíkot.

Az első öntésnél 50 mm magasságot öntöttem ki – Ez mint utólag kiderült túl sok volt. Az első réteg lényege annyi volt hogy legyen egy fix alap, a virágok ne tudjanak leúszni teljesen alulra. Mivel azasztallap vastagsága 20 mm és 50 mm volt az első öntés a virágoknak el kellett férni 105 mm-ben, kényelmesebb lett volna egy vékonyabb alapot önteni.

Érdeemes lett volna nagyobb keverőedényeket bekészítenem mert így a virágok benyomkodása után 3-szor is öntenem kellett a keverőtál méretbeli korlátozása miatt. Minden öntés előtt több perccel keresztül kellett keverni a gyantát és az edzőt hogy tökéletesen csíkmentes felületet kapjak. Korábbiakban írtam hogy egyes növények felkúsztak az öntvény tetejére. Ezt korigáltam szikével is csiszolópapírral több kevesebb sikerrel. Nagyon nehéz volt a kiálló részeket eltávolítani mert teljesen megkeményedett rajtuk az epoxy. A virágok azért úsztak fel, mert túl sokat vártam a zselésedési állapottal, nem ragadt már annyira a felület. Utolsó öntésnél minden maradék anyagomat ráöntöttem a virágokra, azok teljes fedésben voltak. Azzal viszont nem számoltam hogy 7-8% zsugorodás következik be kikeményedés közben. Emiatt az öntvény oldalán felkúszott az anyag ezzel egy élt képezve körben. Ezt végülis könnyen el tudtam távolítani szikével, valamint csiszolópapírral.

Az anyag zsugorodása következtében észrevettem hogy 1-2 virág esetében minimálisan púpos a felület. Ezzel az a probléma hogy síkbacsiszolást nem tudok alkalmazni, mivel akkor a virágok felületébe is belecsiszolnék.

8. KÖRNYEZETVÉDELMI SZEMPONTOK

Az epoxigyanta környezetvédelmi megítélése alapvetően összetett. Miközben a természetes gyanták ártalmatlanok a környezetre, hisz a természetes gyanta biológiai eredetű, szerves és környezetbarát megoldás lehet (*Zöldklub, 2025*), ezzel szemben a szintetikus gyanták, mint az epoxi már egészen más megítélés alá esnek.

A szintetikus gyanták fosszilis tüzelőanyagokból származó alapanyagokból készülnek, és előállításuk során vegyi anyagok, oldószerek, keményítők alkalmazása szükséges. Ez a gyártási folyamat önmagában is hozzájárul a fosszilis energiahordozóktól való függés fenntartásához, és a kibocsátott vegyi anyagok – különösen ha a gyantát nem megfelelően ártalmatlanítják – szennyezhetik a talajt, a vízi környezetet, illetve negatív hatással lehetnek az élővilágra.

A mesterséges gyanták, például az epoxi kikeményedés után általában biológiailag nem lebomló anyagok. Ez azt jelenti, hogy amennyiben az így készült tárgy hulladékká válik, nehézkes a megsemmisítése, újbóli feldolgozása. Ennek viszont pozitív oldala hogy rendkívül időtálló és tartós termék készíthető belőle.

Az emberi egészségre gyakorolt hatás sem elhanyagolható: a gyanta felhasználása során illékony vegyi anyagok (*VOC-k, keményítők, oldószerek*) szabadulhatnak fel. Ezek belélegezve légzőszervi irritációt, asztmát okozhatnak, bőrrel való érintkezés pedig allergiát vagy gyulladást válthat ki. Régebbi, kevésbé kifinomult gyanta-keverékek esetén rák- vagy genetikai mutagén hatások is felmerültek korábbi kísérletekben.

Tehát fentiek alapján ezek az anyagok nem csak a környezetre gyakorolnak káros hatást, de az egészségünkre is amennyiben nem megfelelően tároljuk, vagy használjuk fel őket (*EcoPoxy, n.d.*).

9. ÖSSZEFOGLALÁS

A bemutatott projekt igazolta, hogy az epoxigyanta és a szárított növényi elemek kombinációja otthoni műhelyi körülmények között is alkalmas esztétikus és funkcionális bútorelem létrehozására. A kivitelezés során szerzett tapasztalatok rámutattak arra, hogy az öntőforma pontossága, a rétegvastagság helyes megválasztása, a zselésedési állapot időzítése és a felület-előkészítés meghatározó szerepet játszik a végső minőség alakulásában. A projekt eredményeként létrejött asztallap nemcsak használati tárgyként, hanem anyagkísérleti és tervezési szempontból is értékes tapasztalatokat adott, amelyek a jövőbeni hasonló munkák során közvetlenül hasznosíthatóak.

10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Azt gondolom, hogy rengeteg tanulsággal és kihívással járt a projekt kivitelezése. Először dolgoztam ezzel az anyaggal, így nagyon körültekintőnek kellett lennem. Szerencsére volt olyan ismerősöm, aki már sokat dolgozott öntőgyantával így előzetesen sok esetleges problémára tudta felhívni a figyelmem, amit nagyon köszönök. Szintén köszönettel tartozom az asztalosnak, aki segített a tartószerkezet elkészítésében és biztosította a műhelyt. Szintén köszönöm a munkahelyemnek, a Stratos Magasépítő Zrt.-nek, akik több szerszámot és anyagot is biztosítottak az öntőforma elkészítéséhez, emellett a vecsési fatelepnek, akik vágott anyagot biztosítottak az asztal lábának elkészítéséhez. Köszönet Dr. Csiha Csillának, aki végigkísérte a folyamatot, és rengeteg segítséget kaptam tőle mint konzulens.

SZERZŐI NYILATKOZATOK

Frecska Viktória – koncepcióalkotás, tervezés, kivitelezés, elemzés, írás
Dr. Csiha Csilla – konzulens

REFERENCIÁK

FAIPAR.HU, N.D. A gyanta története, Faipar.hu.

<https://faipar.hu/cikkek/par-perc/9837/a-gyanta-toertenete>, (Megtekintve: 2023. 01. 03).

VILÁGLEX, N.D. Epoxi, Világlex.

https://www.vilaglex.hu/Lexikon/Html/Epoxi_.htm, (Megtekintve: 2026. 01. 04).

ZÖLDKLUB, 2025. Mennyire környezetbarát a gyanta?, Zöldklub.

<https://zoldklub.hu/mennyire-kornyezetbarat-a-gyanta/>, (Megtekintve: 2026. 03. 09).

ECOPOXY, N.D. EcoPoxy, EcoPoxy. <https://www.ecopoxy.com>, (Megtekintve: 2025. 11. 10).

DESIGN AND EXECUTION OF A TABLETOP MADE WITH EPOXY RESIN

ABSTRACT

This paper presents the design and fabrication process of a tabletop made from epoxy resin and decorated with dried plant elements, from the initial concept development to the evaluation of the finished product. The work presented is based on the practical experience gained during my own diploma project, and it discusses in detail the main aspects of material selection, casting technology, and formal design. The study addresses the specific characteristics of epoxy–wood material integration, the issue of adhesion between casting layers, and the typical manufacturing defects that may affect the aesthetic quality and durability of the final product. The aim of the study is to provide practical guidance for the design and production of epoxy resin tabletops, with particular emphasis on solutions applicable in small-scale and workshop environments.

Keywords: epoxy resin, epoxy–wood composite, tabletop, casting technology, furniture design

DYNAMIC FATIGUE TESTING OF WOODS: A REVIEW

GÁBOR ORBÁN^a, ANTAL KÁNNÁR^b

^a *University of Sopron, Faculty of Wood Engineering and Creative Industries, Sopron, 9400 Hungary
email: OrbanGabor@phd.uni-sopron.hu*

^b *University of Sopron, Faculty of Wood Engineering and Creative Industries, Sopron, 9400 Hungary
email: kannar.antal@uni-sopron.hu*

DOI: <https://doi.org/10.35511/978-963-334-570-2-11>

ABSTRACT

Dynamic fatigue testing of wood and wood-based materials are a critical area of research in materials science, especially in applications where wood and wood-based materials are subjected to cyclic loading, such as in flooring, furniture, and structural components. This review synthesizes the current knowledge on dynamic fatigue testing methods for wood and wood-based materials, focusing on key methodologies, findings, and gaps in the literature. It aims to provide a comprehensive overview for researchers and engineers interested in the durability and longevity of wood and wood-based products under dynamic loading conditions.

Keywords: wood, wood-based, dynamic, fatigue

1. INTRODUCTION

Wood as a raw material are widely used in various industries due to their superior strength, aesthetic appeal, and sustainability. However, their performance under cyclic loading, which simulates real-world conditions like foot traffic or vibration, is less understood compared to static loading conditions. Dynamic fatigue testing is essential to evaluate the long-term durability of hardwoods, offering insights into their mechanical behavior under repeated stress. This review examines the methodologies employed in dynamic fatigue testing of hardwoods, analyzes the results from key studies, and identifies areas for future research.

2. METHODOLOGIES FOR DYNAMIC FATIGUE TESTING

Dynamic fatigue tests subject materials to repetitive loading, mimicking real-world use. Common methods for testing hardwoods include:

2.1. CYCLIC BENDING TESTS

These tests apply repeated bending loads to wood samples until failure. The test setup often incorporates a sinusoidal loading pattern to simulate natural cyclic stresses.

Yildirim et al. (2015) conducted a study on the static strength and fatigue characteristics of Scots pine and oriental beech wood. They utilized a three-point bending method to assess both fatigue and static strength. The preparation of specimens and the bending tests adhered to the guidelines set out in ISO 3129 (1975) and ISO 3133 (1975), respectively. The fatigue tests were executed at stress levels of 80%, 70%, 60%, 50%, and 40% of the modulus of rupture (*MOR*). The allowable design stresses are based on a specified percentage of the *MOR* relevant to furniture design. Consequently, the allowable design stresses for beech and Scots pine can be established at 50% and 40%, respectively. Pečnik et al. (2020) investigated the application of low molecular weight phenol-formaldehyde (*PF*) resin on Scots pine and European beech wood. They assessed the impact of this modification through cyclic three-point bending tests. Results indicated that while the modified wood displayed higher strength compared to the control samples, there was a reduction in cyclic fatigue strength—decreasing by 9% for pine and 14% for beech. Notably, the cyclic fatigue strength of the control samples was recorded at 67% of the static modulus of rupture (*MOR*) for both wood species. In contrast, the *PF* resin-modified pine and beech exhibited fatigue strengths reduced to 58% and 54% of their original counts, respectively.

Gaff et al. (2015) studied the elasticity modulus of solid and laminated aspen wood of different thicknesses after cyclic loading. They used a three-point bending test and found that cyclic loading significantly affected laminated wood, while solid wood showed no significant change. Higher cycle numbers decreased elasticity modulus for both types, with laminated wood generally having higher values.

Balsa wood is a light material well-suited for the core of sandwich structures. Zaharia et al. (2017) tested sandwich specimens with a carbon-fiber-reinforced polymer (*CFRP*) skin and a balsa wood core under static and dynamic loads. It included three-point flexural tests to determine mechanical characteristics and fatigue strength. The study used accelerated fatigue testing to predict the mean fatigue life, reducing testing time by 11.9 times and lowering material costs. The failure modes of the specimens were analyzed after the tests.

Li et al. (2016) studied the behavior of wood-fiber-based tri-axial engineered sandwich composite panels (*ESCP*) under static and fatigue bending using four-point bending tests. Fatigue panels and weakened panels with initial defects were tested. The main failure in fatigue tests happened in the shear zone due to epoxy debonding, unlike the face failure in static tests. As cycles increased, macro cracks formed along the core/face interface. Damage was observed in three stages, with faster stiffness degradation at higher loads and low energy dissipation.

Cross-Laminated Timber (*CLT*) is made from glued layers of solid timber. Olsson et al. (2024) examined important stiffness properties of *CLT* using Norway spruce and Scots pine. It focuses on the longitudinal modulus of elasticity for layers oriented lengthwise and the effective rolling shear modulus for crosswise layers. The research combines finite element analysis with bending tests. The results show that the dynamic properties of *CLT* layers have notable differences compared to static properties, highlighting wood's viscoelastic behavior.

2.2. TORSION FATIGUE TESTS

These tests assess the material's resistance to torsional stresses over time, relevant for applications where twisting forces are predominant.

Ando K. et al. (2005) examined the torsional fatigue properties of Japanese beech and white cedar using controlled torque. Pulsating torsional loading was applied in the longitudinal direction with frequencies of 0.1 Hz and 1 Hz. Results showed a negative correlation between shear stress and

cycles to failure. The number of cycles at 1 Hz was larger than at 0.1 Hz. Average energy loss per cycle approached a certain value, estimated at 0.7 kJ/m³ for Japanese beech and 0.5 kJ/m³ for white cedar, suggesting torsional fatigue limits of about 30% of stress levels.

Yamasaki et al. (2008) examined how solid wood behaves under combined cyclic torsion and axial loading. The test used air-dried Japanese cypress cut into specific dimensions. A triangular waveform torsion at 1 Hz was applied with simultaneous axial tension or compression at stress levels of 50-100% of the wood's static strength. The findings showed that tension reduced the inclination of the S-N curve as tensile stress increased, while compression shifted the S-N curve towards longer life. The dynamic strength of the wood was different from its static strength, impacting fatigue life under combined stresses.

2.3. CYCLIC COMPRESSION AND TENSION TESTS

These tests evaluate the material's behavior under repeated compressive or tensile forces, which are common in structural applications.

Bonfield and Ansell (1991) explored how wood laminates behave under different types of stress, specifically tension, compression, and shear. Their findings revealed that the fatigue life in compression was noticeably shorter than in tension. They also identified a key turning point in the lines representing constant life spans, occurring at the shift from all-compression to partial tensile fatigue loads.

C. O. Clorius et al. (2000) investigated fatigue failure in wood under load cycles in compression. Small spruce samples were tested until failure using square wave fatigue loading at 80% of short-term strength. Four frequencies from 0.01 Hz to 10 Hz were examined. Results showed that the number of cycles to failure was not a good indicator of wood's fatigue performance. Creep, strain, stiffness, and work were monitored, with accumulated creep linked to damage and reduced stiffness. A new model based on viscoelastic work was supported, and a model explaining load duration and loading sequences effects was proposed. Kärenlampi et al. (2002) studied cyclical off-axis compression on steamed Spruce wood under controlled stress. Dynamic stiffness depends on the applied stress and amplitude, while small-strain stiffness decreases with loading. Plastic strain also relates to loading strain, showing varied material responses to fatigue treatments.

Sasaki and Yamasaki (2002) studied the fatigue strength of wood under cyclic tension-torsion loading using Japanese cypress. Pulsating loads were applied along and around the wood's axis. Results showed that fatigue tests were affected by combined-stress ratios and applied stress levels. Key findings included: 1) Data were grouped in a wide band on the S-N plot despite different ratios, with lower slopes for dominant tensile stress. 2) Failure modes varied based on dominant stress. 3) Hill's criterion effectively evaluated fatigue strength under combined stress.

The fatigue resistance often limits the lifespan of devices subjected to cyclic loading. Gabel and Merle (2020) developed an advanced method that uses a nanoindenter and microcantilevers to measure high-cycle fatigue behavior at the micrometer scale. This technique allows for the characterization of single phases and individual components within complex systems.

2.4. VIBRATION FATIGUE TESTS

Particularly relevant for components exposed to continuous vibration, these tests measure the wood's ability to withstand dynamic loads over extended periods.

Karr et al. (2022) investigated birch wood through a newly developed ultrasonic resonance test, operating at a frequency of 20 kHz and reaching up to 109 cycles. Their findings were compared against results from servo-hydraulic testing, which utilized a frequency of 50 Hz and 5×10^6 cycles. The relationship between the number of cycles and stress amplitudes at both frequencies exhibited similar trends and variations leading up to system failure within the context of overlapping lifespans. Hirai et al. (2013) conducted dynamic tests on nailed plywood-timber joints using a hydraulic shaking table. The key findings indicate that the dynamic responses of these joints relate to their static load-slip relationships and responses to harmonic waves. Under long-term shaking, they risk ultimate failures, even if accelerations are below damage limits, primarily due to low-cyclic fatigue of nails. Conversely, under strong accelerations at ultimate limits, they may fail in static failure modes. Hirai et al. (2012) Dynamic tests on nailed plywood-timber joints show that under harmonic vibrations from 2 to 7 Hz, these joints can fail due to low-cyclic bending fatigue of the nails, in addition to typical static failures. The response of these joints varies with frequency and acceleration, leading to degradation in cyclic stiffness that lowers resonant frequencies, making them susceptible to critical failures from seismic waves, even without exceeding static damage limits.

Schönbauer et al. (2022) investigated the fatigue behavior of sycamore maple under cyclic tension, cyclic compression, and tension–compression loading at 50 Hz, and ultrasonic testing at 20 kHz. Cyclic strengths reflect static properties, with tensile strength more than twice the compressive strength. Lifetimes around 10^6 cycles occur at ~69% of tensile strength (tension) and ~75% or ~54% of compressive strength (*compression and tension-compression*). Fatigue lifetimes at 20 kHz match those at 50 Hz, showing no strong frequency effect. No fatigue limit is observed up to 10^9 cycles.

Qian et al. (2024) examined vibration fatigue characteristics of ancient building timber. Vibration fatigue tests revealed stress–strain curves shifting from dense to sparse with increased upper limit stress ratios. The relationship between axial strain and cycle count followed a three-stage pattern, leading to the development of a dynamic constitutive model based on the Ramberg–Osgood model. According to Kubojima (2025), the investigated test is a simple and nondestructive way to measure elastic constants, which is useful for estimating wood strength because of the link between dynamic Young’s modulus and strength. Factors like knots, grain angle, specimen size, temperature, humidity, and end conditions impact the wood’s vibrational properties. Frequency equations help understand defects in wood, and the shapes of bending vibrations, resonance frequency shifts, and Young’s modulus dependence on resonance mode numbers can be analyzed. Mass and Young’s modulus can be estimated without weighing lumber.

3. KEY FINDINGS FROM RECENT STUDIES

Research on the dynamic fatigue of hardwoods has yielded several important insights:

3.1. INFLUENCE OF WOOD SPECIES

Studies have shown that different hardwood species exhibit varying fatigue behaviors. Denser hardwoods like oak and maple generally demonstrate higher fatigue resistance compared to softer species like poplar or aspen.

Bao et al. (1996) investigated a range of composite materials, including chipboard, MDF, OSB, and plywood. Their findings revealed that all these materials surpassed a fatigue life span of 1 million cycles at stress levels equivalent to 30% of the modulus of rupture (*MOR*).

Gašparík and Gaff (2015b) investigated how cyclic stresses influence the deflection damping rates in both beech solid wood and laminated wood. Their findings indicated that in solid wood, greater thickness corresponds to increased attenuation. Additionally, the number of cycles had a minimal impact on the damping ratio. They observed similar patterns in laminated wood, concluding that there was no significant difference in behavior between solid and laminated samples.

Klemenc et al. (2023) examined the fatigue life of 350-year-old, insect-damaged larch wood and compares it with recent larch wood. Researchers developed a statistical model that captures fatigue-life curves and their scatter, incorporating factors such as density, loading orientation, and insect damage. By defining an equivalent number of cycles to failure, they enabled direct comparison across specimens. Results show that the model effectively represents the fatigue behavior of both damaged historic and modern larch wood.

Orbán and Kánnár (2024) aimed to create Wöhler curves for hardwoods to show fatigue limits under different stress levels. Testing included cyclic tensile tests at 60, 70, 80, and 90% of static tensile strength. Early results indicated oak performs well under fatigue, enduring many cycles even at high stress. Orbán and Kánnár (2024b) have conducted tests on poplar, black locust, and ash, finding that black locust performs exceptionally well under high stress, successfully enduring numerous cycles even at 70% of its static strength.

3.2. INFLUENCE OF LOAD FREQUENCY AND AMPLITUDE

The frequency and amplitude of the applied cyclic load are critical factors affecting fatigue life. Lower frequencies and higher amplitudes generally accelerate fatigue damage, leading to earlier failure.

Watanabe et al. (2014) investigated the fatigue behavior of Japanese cedar and Selangan batu. They applied irreversible triangular waveforms at frequencies of 0.5 and 5 Hz for the loading process, with the load level ranging from 110% to 70% of the static strength. Their findings showed that Japanese cedar had a longer fatigue life at 5 Hz, particularly at lower stress levels. In contrast, the fatigue lifespan of Selangan batu was not affected by the loading frequency.

Lipovec et al. (2024) examined how load frequency and magnitude affect Norway spruce wood. Tests at frequencies of 5 and 10 Hz with loads of 70%, 80%, and 90% of the maximum breaking force show that higher loads decrease dynamic strength, especially at increased frequencies. These findings help establish the Wöhler curve for assessing wood durability in calculations.

Ratnasingam and Mutthiah (2017) investigated the fatigue life of Oil Palm Wood (OPW) for its potential use in furniture. Their findings showed that higher stress levels resulted in a shorter fatigue life. Interestingly, treated OPW taken from the middle of the trunk exhibited a fatigue life similar to that of untreated samples sourced from the outer trunk. Based on these results, the allowable design stress for OPW when used in furniture can be set at 40% of its Modulus of Rupture (MOR).

3.3. EFFECT OF MOISTURE CONTENT

The moisture content of wood significantly affects its fatigue properties. Higher moisture levels often lead to reduced fatigue resistance due to plasticization of the wood fibers.

Tsai and Ansell (1990) reviewed the existing research on wood fatigue and highlighted the importance of conducting experiments with load control across different moisture levels. In their study, they examined two laminated hardwoods, *Khaya ivorensis* and beech, as well as a softwood, Sitka spruce, utilizing a four-point loading method. Their findings indicated that as moisture content increased, both the static strength and fatigue lifespan of the materials decreased.

Dobrowolska et al. (2021) examined how moisture content affects the fatigue strength of wood when compressed along its fibers. It measured the maximum stress at the proportional limit for three wood species: pedunculate oak, bearded birch, and Norway spruce, under two moisture conditions—nearly dry and above the fiber saturation point. The results showed that fatigue strength is lower in wetter wood, with the ratio of fatigue strength to short term strength being similar across species. The study suggests that the testing method used has limitations and needs further evaluation and improvement.

Buchelt et al. (2023) investigated the vibrational properties of spruce and European beech wood as they relate to relative humidity (*RH*) at 20°C, measuring *RH* from oven-dried to 85%. The dynamic modulus of elasticity and damping coefficient were assessed across seven climate steps. After mild thermal modification at 180°C, both wood species were compared. The modification slightly changed spruce's properties but significantly improved those of beech in typical *RH* conditions. Conclusions were made regarding the implications for musical instruments.

3.4. IMPACT OF GRAIN ORIENTATION

The orientation of the wood grain relative to the applied load plays a crucial role in fatigue performance. Longitudinally oriented grains tend to show better fatigue resistance compared to cross-grain orientations.

Myslicki et al. (2016) developed an innovative measurement method that increased the amplitude by 2.5 MPa with every 10,000 cycles. To ensure accuracy, they validated their measurements against results from constant amplitude tests. Additionally, they examined beech samples with different grain orientations. The findings revealed that, under the same loading conditions, specimens with grain angles deviating from 0° experienced failure in fewer cycles.

4. FUTURE RESEARCH DIRECTIONS

To advance the field of dynamic fatigue testing of hardwoods, the following areas should be explored:

4.1. DEVELOPMENT OF STANDARDIZED TESTING PROTOCOLS

Establishing standardized methods for dynamic fatigue testing will help in producing consistent and comparable results across studies.

4.2. ADVANCED MODELING AND SIMULATION TECHNIQUES

Incorporating computational models to predict fatigue life based on various parameters could enhance the accuracy of fatigue life estimations.

Klemenc and Fajdiga (2012) introduced an alternative method for quickly estimating S–N curves and their scatter. This method uses a two-parametric Weibull distribution to represent the variation in load cycles to failure at different stress levels. The S–N curve is modeled as a linear relation between the logarithmic values of load cycles and amplitude stress, described by two parameters. Three parameters—a constant term, a scale coefficient, and a shape parameter of the Weibull distribution—are estimated using a differential antstigmery algorithm based on experimental data.

Klemenc and Fajdiga (2022) introduced a model, that enhances the inverse-power-law relationship between structural loads and failure cycles by considering the wood's mass density, loading direction, and processing lot. It uses a two-parametric Weibull's probability density function. Validation with

spruce beams showed that the model accurately represents S-N curves despite limited data. It predicts that lower density wood has better fatigue strength.

Sasaki et al. (2018) introduced a method for estimating fatigue life using reaction kinetics and energetics is suggested, building on earlier research. This study introduces new reaction rate models for square wave loads, validating them with previous fatigue test results. The fatigue life estimates matched well with experimental values, but additional investigation is needed to understand the model's parameters in relation to wood species and load conditions.

4.3. EXTENDED LONG-TERM TESTING

More studies focused on long-term fatigue behavior will provide a better understanding of how hardwoods perform over decades of use.

5. CONCLUSIONS

Dynamic fatigue testing is essential for understanding the long-term durability of hardwoods in various applications. While significant progress has been made, especially in understanding the influence of species, moisture content, and grain orientation, challenges remain in standardizing testing methods and extending the research to long-term fatigue behavior. Future research should focus on addressing these gaps to improve the reliability and durability of hardwood products.

REFERENCES

- ANDO, K., YAMASAKI, M., WATANABE, J., YASUTOSHI, S., 2005. Torsional Fatigue Properties of Wood, *Mokuzai Gakkaishi* 51(2), 98–103. <https://doi.org/10.2488/jwrs.51.98>
- BAO, Z., ECKELMAN, C., GIBSON, H., 1996. Fatigue strength and allowable design stresses for some wood composites used in furniture, *Holz als Roh- und Werkstoff* 54, 377–382. <https://doi.org/10.1007/s001070050204>
- BONFIELD, P., ANSELL, M., 1991. Fatigue properties of wood in tension, compression and shear, *Journal of Materials Science* 26, 4765–4773. <https://doi.org/10.1007/BF0061241>
- BUCHALT, B., KRÜGER, R., WAGENFÜHR, A., 2023. The vibrational properties of native and thermally modified wood in dependence on its moisture content, *European Journal of Wood and Wood Products* 81, 947–956. <https://doi.org/10.1007/s00107-022-01919-y>
- CLORIUS, C., PEDERSEN, M., HOFFMEYER, P. ET AL., 2000. Compressive fatigue in wood, *Wood Science and Technology* 34, 21–37. <https://doi.org/10.1007/s002260050005>
- DOBROWOLSKA, E., NIEDBAŁA, M., TABACZYŃSKI, D., 2021. Testing of the fatigue strength along wood fibres at different moisture contents, *Annals of WULS, Forestry and Wood Technology*. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.5133>
- GABEL, S., MERLE, B., 2020. Small-scale high-cycle fatigue testing by dynamic microcantilever bending, *MRS Communications* 10, 332–337. <https://doi.org/10.1557/mrc.2020.31>

- GAFF, M., GAŠPARÍK, M., 2015. Effect of Cyclic Loading on Modulus of Elasticity of Aspen Wood, *BioResources* 10(1), 290–298. <https://doi.org/10.15376/biores.10.1.290-298>
- GAŠPARÍK, M., GAFF, M., 2015. The influence of cyclic stress on the attenuation rate of deflection of solid wood and laminated wood, *Wood Research* 60(3), 351–358.
- HIRAI, T., UEMATSU, T., SASAKI, Y. ET AL., 2012. Dynamic responsive characteristics of nailed plywood–timber joints under harmonic vibrations, *Journal of Wood Science* 58, 408–416. <https://doi.org/10.1007/s10086-012-1275-5>
- HIRAI, T., UEMATSU, T., SASAKI, Y. ET AL., 2013. Dynamic responses of nailed plywood-timber joints under a band-limited white-noise wave, *Journal of Wood Science* 59, 477–483. <https://doi.org/10.1007/s10086-013-1360-4>
- KÄRENLAMPPI, P.P., TYNJÄLÄ, P., STRÖM, P., 2002. Off-axis fatigue loading of steamed wood, *International Journal of Fatigue* 24, 1235–1242. [https://doi.org/10.1016/S0142-1123\(02\)00039-7](https://doi.org/10.1016/S0142-1123(02)00039-7)
- KARR, U., FITZKA, M., SCHÖNBAUER, B., KRENKE, T., MÜLLER, U., MAYER, H., 2022. Fatigue testing of wood up to one billion load cycles, *Holzforschung* 76(11–12), 977–984. <https://doi.org/10.1515/hf-2022-0111>
- KLEMENC, J., FAJDIGA, M., 2012. Estimating S–N curves and their scatter using a differential ant-stigmergy algorithm, *International Journal of Fatigue* 43, 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2012.02.015>
- KLEMENC, J., HUMAR, M., FAJDIGA, G., 2023. Influence of insect damage to the fatigue life of an old larch wood, *Construction and Building Materials* 375, 130976. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130976>
- KUBOJIMA, Y., 2025. Effect of mass addition on the vibrational properties of wood and its application, *Journal of Wood Science* 71, 02210-3. <https://doi.org/10.1186/s10086-025-02210-3>
- LI, J., HUNT, J.F., GONG, S., CAI, Z., 2016. Fatigue behavior of wood-fiber-based tri-axial engineered sandwich composite panels (ESCP), *Holzforschung* 70, 567–575. <https://doi.org/10.1515/hf-2015-0091>
- LIPOVEC, Z.E., HUMAR, M., FAJDIGA, E., 2024. The Effect of the Loading Frequency on the Dynamic Bending Strength of Spruce Wood, *Materials* 17(18), 4662. <https://doi.org/10.3390/ma17184662>
- MYSLICKI, S., VALLÉE, T., WALTHER, F., 2016. Short-time procedure for fatigue assessment of beech wood and adhesively bonded beech wood joints, *Materials and Structures* 49, 2161–2170. <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0640-4>
- OLSSON, A., SCHIRÉN, W., HU, M., 2024. Dynamic and quasi-static evaluation of stiffness properties of CLT: longitudinal MoE and effective rolling shear modulus, *European Journal of Wood and Wood Products* 83(16). <https://doi.org/10.1007/s00107-024-02185-w>
- ORBÁN, G., KÁNNÁR, A., 2024. Dynamic fatigue tests of hardwoods, 11th Hardwood Conference Proceedings, 30–31 May 2024, Sopron, Hungary, Soproni Egyetem Kiadó, 163–167. ISBN 9789633345184

- ORBÁN, G., KÁNNÁR, A., 2024B. Faanyagok dinamikus szilárdságvizsgálata, Wood 4 Sustainability, Sopron, Soproni Egyetem Kiadó, 19–28. <https://doi.org/10.35511/978-963-334-541-2-02>
- PEČNIK, J.G., KUTNAR, A., MILITZ, H., SCHWARZKOPF, M., SCHWAGER, H., 2020. Fatigue behavior of beech and pine wood modified with low molecular weight phenol-formaldehyde resin, *Holzforschung*. <https://doi.org/10.1515/hf-2020-0015>
- QIAN, C., LI, M., LIAO, H., ZHANG, C., LI, H., 2024. Research on the Vibration Fatigue Characteristics of Ancient Building Wood Materials, *Buildings* 14(9), 2840. <https://doi.org/10.3390/buildings14092840>
- RATNASINGAM, J., MUTTHIAH, N., 2017. Fatigue life of oil palm wood (OPW) for furniture applications, *European Journal of Wood and Wood Products* 75, 473–476. <https://doi.org/10.1007/s00107-016-1109-z>
- SASAKI, Y., YAMASAKI, M., 2002. Fatigue strength of wood under pulsating tension-torsion combined loading, *Wood and Fiber Science* 34, 508–515.
- SASAKI, Y., OYA, A., NOMURA, H., YAMASAKI, M., 2018. Reaction kinetics approach in relation to the fatigue life of wood, *Wood Science and Technology* 52, 809–820. <https://doi.org/10.1007/s00226-018-1005-2>
- SCHÖNBAUER, B. M., KILLINGER, M., KARR, U., FITZKA, M., MÜLLER, U., TEISCHINGER, A., MAYER, H., 2022. Fatigue properties of wood at different load ratios tested at 50 Hz and 20 kHz, *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik* 53(3), 344–354. <https://doi.org/10.1002/mawe.202100280>
- TSAI, K.T., ANSELL, M.P., 1990. The fatigue properties of wood in flexure, *Journal of Materials Science* 25, 865–878. <https://doi.org/10.1007/BF03372174>
- WATANABE, A., SASAKI, Y., YAMASAKI, M., 2014. Bending fatigue of wood: Strain energy-based failure criterion and fatigue life prediction, *Wood and Fiber Science* 46, 216–227.
- YAMASAKI, M., SASAKI, Y., 2008. Effect of Axial Load on Torsion Fatigue Behavior of Wood, *Wood and Fiber Science* 40, 122–131.
- YILDIRIM, M.N., UYSAL, B., OZCIFTCI, A., ERTAS, A.H., 2015. Determination of fatigue and static strength of Scots pine and beech wood, *Wood Research* 60(4), 679–686.
- ZAHARIA, S., MORARIU, C., NEDELICU, A., 2017. Experimental Study of Static and Fatigue Behavior of CFRP-Balsa Sandwiches under Three-point Flexural Loading, *BioResources* 12, 2673–2689. <https://doi.org/10.15376/biores.12.2.2673-2689>

STRENGTH CHARACTERISTICS OF PLYWOOD MADE WITH ADHESIVE OBTAINED FROM PUMPKIN SEED OIL PRODUCTION BY-PRODUCT

KATALIN PAJOR^a, CSILLA CSIHA^b, TIBOR L. ALPÁR^c

^a University of Sopron, Faculty of Wood Engineering and Creative Industries, Sopron, 9400 Hungary
BSc in Timber Engineering, email: pajor.katalin@gmail.com

^b University of Sopron, Faculty of Wood Engineering and Creative Industries, Sopron, 9400 Hungary
email: csiha.csilla@uni-sopron.hu

^c University of Sopron, Faculty of Wood Engineering and Creative Industries, Sopron, 9400 Hungary
email: alpar.tibor@uni-sopron.hu

*Corresponding author: Alpár Tibor L. alpar.tibor@uni-sopron.hu

DOI: <https://doi.org/10.35511/978-963-334-570-2-12>

ABSTRACT

This study investigates the potential of pumpkin seed press residues as renewable, protein based adhesives for plywood manufacturing. Three pumpkin seed flours of different origins were evaluated, including a modified Austrian variant. While the hot pressed flour proved unsuitable, three adhesive formulations were successfully developed and used to produce three layer poplar plywood. Mechanical testing showed that the Austrian adhesive formed a well cross linked system with strong dry performance but limited water resistance; the Hungarian cold pressed adhesive exhibited weak bonding; and the modified A+ formulation demonstrated improved wet strength. Overall, the findings highlight the promising potential of food industry by products as sustainable alternatives to petroleum based wood adhesives, although further improvements in water resistance and microbiological stability are still required.

Keywords: biopolymer, protein-based adhesive, plywood, pumpkin seed by-product

1. INTRODUCTION

Escalating ecological challenges have intensified the demand for sustainable materials and environmentally responsible production practices across industrial sectors. In this context, the wood industry holds a strategic position, as wood is a renewable and climate-friendly alternative to conventional construction materials. However, the sustainability of wood-based products is strongly influenced by the environmental performance of auxiliary materials, particularly adhesives. Currently, synthetic resin adhesives dominate industrial applications, despite their associated ecological and health concerns. Consequently, there is increasing interest in developing adhesive systems based on natural and renewable resources. Plant protein-based adhesives have emerged as a promising alternative due to their wide availability, biodegradability, and potential to substitute petroleum-derived components. Previous studies suggest that such adhesives may satisfy key technical requirements of wood-based products, especially in terms of mechanical performance and water

resistance. The present study, based on a bachelor's thesis (Pajor, 2025), examines the applicability of plant protein-based adhesives in the wood industry. The research focuses on evaluating their advantages compared to conventional synthetic resins, assessing their potential future role in sustainable wood processing, and exploring the feasibility of utilizing by-products from pumpkin seed oil production as adhesive raw materials. Particular attention is given to the strength properties of plywood bonded with these bio-based adhesive systems.

1. LITERATURE REVIEW

1.1. ADHESIVES IN GENERAL

Wood adhesives can be broadly classified according to their origin (Table 1). Although adhesives derived from natural resources offer clear ecological advantages, synthetic resin adhesives continue to dominate wood industry applications. This dominance is primarily attributable to the inferior mechanical performance, water resistance, and long-term durability of traditional natural adhesives, as well as their limited suitability for large-scale industrial processing. Consequently, natural adhesives are most commonly used as additives to improve selected properties of synthetic resin systems rather than as stand alone bonding agents. Adhesives may further be categorized according to their curing mechanism, curing temperature, curing time, and their reversible or irreversible behavior under thermal exposure. On a global scale, wood adhesives account for approximately 65% of total adhesive consumption, and this segment is almost entirely based on synthetic resins. Within this group, formaldehyde-based systems – namely urea–formaldehyde (UF), melamine–formaldehyde (MF), and phenol–formaldehyde (PF) – together with polyurethane adhesives, represent the most widely applied technologies. UF systems dominate particleboard and fiberboard production, whereas oriented strand board (OSB) manufacturing relies primarily on MDI-based adhesives; in contrast, PF resins remain particularly significant in the United States (Vnučec, Kutnar–Goršek, 2016).

Table 1. Grouping of adhesives by origin

Renewable-based		Fossil-based		
Plant-based	Animal-based	Polymerization	Polycondensation	Polyaddition
starch-based	gluten	dispersion	urea formaldehyde	polyurethane
cellulose-based	casein	solvent-based	melamine formaldehyde	epoxy
rubber-based	blood albumin	hot-melt	phenol formaldehyde	
lignin-based			resorcinol	
tannin-based			polyamide	
plant protein-based			polyester	

In addition to their technical performance, the environmental impacts associated with adhesive systems have become an increasingly important consideration. For decades, the adhesive industry relied predominantly on petroleum derived raw materials, such as polyurethanes, epoxy resins, and formaldehyde-based resins. Despite their excellent mechanical properties and broad applicability, these systems impose considerable environmental burdens, including dependence on fossil resources, emissions of volatile organic compounds (VOCs), and challenges related to waste management. The tightening of chemical regulations, notably REACH and VOC emission directives, combined with growing societal and consumer awareness of environmental issues, has redirected research, development, and innovation toward bio based and hybrid adhesive systems that combine renewable and conventional polymer components. The primary objectives of these efforts include: (i) reducing fossil resource use through the incorporation of renewable raw materials such as starch, cellulose, lignin, and proteins (*Nordqvist–Oksman, 2013*); (ii) improving the environmental profile of adhesives by lowering emissions and enhancing biodegradability or recyclability (*Gadhawe, Mahanwar–Gadekar, 2020*); and (iii) improving occupational health and safety by replacing hazardous constituents such as free formaldehyde and isocyanates (*Frihart, 2005*). Although the current market share of bio based adhesives remains relatively small, both demand and supply are steadily increasing, in line with the principles of the circular economy (*Spirk–Veigel, 2018*). Within wood industry applications, however, adhesives must satisfy not only environmental criteria but also stringent mechanical and climatic requirements. Particularly for exterior uses, high levels of water resistance, thermal stability, and durability are essential, making the targeted improvement of these properties a central focus of current research. Overall, adhesive technology is undergoing a paradigm shift in which the integration of sustainability is becoming a fundamental requirement rather than a competitive advantage (*Pizzi, 2016*). In this context, research on plant based adhesive systems represents one of the most rapidly developing areas in the field.

Adhesives of natural origin offer several key advantages, including a reduced ecological footprint, broad availability – often as agricultural by products—renewable feedstock bases, low VOC and formaldehyde emissions, and compostability or biological degradability. Within this framework, the most relevant natural adhesive options can be summarized as follows.

Traditional natural adhesives include plant based systems (*e.g. starches and plant mucilages*) and animal derived glues. These adhesives form reversible bonds; however, their independent use in the modern wood industry is limited by inadequate mechanical strength and water resistance. Consequently, they are currently employed mainly in restoration and conservation applications. Plant based adhesives in the context of modern chemical engineering have been the subject of sustained research efforts since the 1920s, aimed at replacing synthetic resin adhesives. In the United States, soy protein represents the most established and widely studied example. The primary raw materials for plant based adhesives are agricultural by products, particularly protein rich oilseed cakes remaining after oil extraction from soybeans, cottonseed, peanuts, rapeseed, and sesame, as well as protein-containing fractions derived from cereals such as maize, wheat, and sorghum. In addition to seeds, components extracted from stems, husks, or bark—most notably tannins—are frequently incorporated as functional additives. Starch is typically used as a thickening agent, whereas lignin and tannins serve as natural resins or crosslinking agents. In several cases, their intrinsic adhesive potential has also been investigated (*Yue et al., 2023*).

Plant protein–based adhesives rely primarily on proteins as the main bonding components. Due to their macromolecular structure and reactive functional groups ($-NH_2$, $-COOH$), proteins are capable of forming covalent bonds with wood substrates and crosslinking agents, as well as hydrogen bonds,

hydrophobic interactions, electrostatic attractions, and van der Waals forces. During processing, protein denaturation promotes the exposure of reactive functional groups, while disulfide bonds associated with tertiary and quaternary protein structures play a crucial role during thermal treatment. Nevertheless, compared to conventional synthetic resins, plant protein-based adhesives often exhibit inferior stability, mechanical strength, and water resistance, and are frequently associated with higher production costs. Therefore, a range of modification strategies—including chemical and enzymatic treatments, crosslinking approaches, and composite formulations—are required to achieve targeted improvements in performance (*cf. Yue et al., 2023*).

The sustainability driven transformation of wood adhesive technology thus points toward adhesive systems based on renewable raw materials that combine low emissions with industrial competitiveness. Natural origin adhesives, particularly plant protein-based systems, offer substantial life cycle and toxicological advantages, while their performance limitations can be effectively mitigated through targeted modification strategies. Furthermore, lignin and tannin based approaches, together with the value added utilization of agro industrial by products such as oilseed cakes, represent highly promising pathways toward circular and sustainable wood bonding technologies.

1.2. TYPES OF PLANT PROTEIN-BASED ADHESIVES: EXAMPLES

Plant protein-based adhesives can be classified, among other criteria, according to the source of the protein used as the primary binding component. The most common categories include:

- soy protein-based adhesives,
- pea protein-based adhesives,
- adhesives derived from oilseed residues,
- other plant protein-based adhesives, and
- hybrid systems.

In the following the soy-based and oilseed-based adhesives are briefly characterized, with selected examples discussed in more detail.

1.2.1. Soy protein-based adhesives

The development of soy protein-based adhesive systems has been ongoing since the 1930s, initially targeting particleboard and plywood applications. Early products derived from soy flour (*SF*) exhibited short open times, low solids content, high viscosity, and poor water resistance. From the 1960s onward, these systems were largely displaced by less expensive and higher performing synthetic resins (*Vnučec, Kutnar–Goršek, 2016*). A notable industrial exception is represented by the Solenis Soyad® product line (*formerly Hercules*).

Based on the nature of the soy derived raw material, three principal types can be distinguished:

- *SF (soy flour)*: approximately 50% protein with a high carbohydrate content; inexpensive and widely available but characterized by very poor water resistance.
- *SPC (soy protein concentrate)*: approximately 70% protein, enabling improved mechanical strength.
- *SPI (soy protein isolate)*: approximately 90 % protein and virtually carbohydrate free; offers the best performance, albeit at significantly higher cost (*Vnučec, Kutnar–Goršek, 2016*).

To enhance water resistance and mechanical properties, soy proteins are typically denatured to expose reactive functional groups. Common modification strategies include:

- Alkaline denaturation (*NaOH*): chain unfolding induced by electrostatic repulsion, leading to improved wet shear strength in plywood (Vnučec, Kutnar–Goršek, 2016).
- Acidic or bisulfite treatments (*NaHSO₃*, *Na₂SO₃*): cleavage of disulfide bonds and improved solubility; *NaHSO₃* modification yields enhanced strength, viscosity control, and storage stability (Qi et al., 2013: 1917–1926).
- Chaotropic agents (*urea*, *guanidine hydrochloride*): disruption of hydrogen bonds, resulting in enhanced adhesion and improved fiberboard strength (Huang–Sun, 2000a).
- Surfactants: anionic types (*SDS*, *SDBS*) adsorb on hydrophobic protein regions and improve adhesion (Huang and Sun, 2000b: 705–708), whereas cationic surfactants increase dry strength and water resistance but may reduce thermal stability (Wang, Wang–Sun, 2005).
- Combined chemical treatments (*acid–salt–alkali sequences*): formation of new amide bonds, enhanced crosslinking density, and substantially improved water resistance in plywood (Lin et al., 2012).
- Molecular level modifications (e.g., *OSA*, *APTES + CSH*, *UA + EDC*, *MA + PEI*, *dopamine + cysteamine*, *CaCO₃*, *MgO*, *POCl₃*): partial hydrophobization and increased crosslink density, resulting in marked improvements in water resistance and mechanical performance (Vnučec, Kutnar–Goršek, 2016).
- Natural additives (*lignin*, *sugars*): primarily enhance water resistance (Chen et al., 2013).
- Hybridization with synthetic resins (*UF*, *PF*, *MUF*, *epoxy*): yields water resistant, low formaldehyde, and industrially scalable adhesive systems (Fan, Qin–Chu, 2011).

Thermal treatments in the range of 50–80°C promote the exposure of hydrophobic amino acids and the formation of disulfide bridges, leading to increased strength; above 110°C, adhesive performance deteriorates. Combined alkaline–thermal treatments enhance stability and shear strength while reducing viscosity (Sun–Bian, 1999), while acidic denaturation combined with heat particularly improves water resistance (Gao et al., 2015). Enzymatic denaturation (*papain*, *urease*, *trypsin*) produces smaller protein fragments and improves solubility and adhesion, although process control is cost intensive and sensitive (Vnučec, Kutnar–Goršek, 2016). Overall, chemical denaturation remains the most widely applied method; thermal treatments are inexpensive complements, and enzymatic approaches are promising yet economically challenging. Combined strategies provide the most effective improvements in water resistance. Commercial products such as Soyad®, Soybaby®, and Ozero® demonstrate the industrial potential of soy protein–based adhesives.

1.2.2. Adhesives derived from oilseed press cakes

Press cakes from oilseeds – including rapeseed, cottonseed, lupin, peanut, walnut, jatropha, and sesame – represent protein rich, widely available raw materials, often with limited food grade usability. Rapeseed residues contain approximately 30–50% protein (*mainly cruciferin and napin*) and exhibit a relatively high density of reactive functional groups (Tayo, Bettelhäuser–Euring, 2022). Peanut meal, frequently treated as waste in China due to contamination concerns, nonetheless contains over 45% protein (Qu et al., 2021). Walnut press cakes can reach 45–50% protein and approximately 15% carbohydrates, which may be advantageous in certain processes (Gu et al., 2024).

Bonding mechanisms resemble those of other protein adhesives, involving covalent and secondary interactions; however, the hydrophilic nature of these proteins results in water sensitivity, difficult viscosity control, short pot life, and susceptibility to biological degradation. Peanut based studies demonstrate that low solids content leads to excessive penetration into wood, reducing plywood

quality (Qu *et al.*, 2021). Rapeseed based adhesives show good dry strength but insufficient dimensional stability and water resistance, limiting industrial applicability (Tayo, Bettelhäuser–Euring, 2022). Typical enhancement strategies include alkaline denaturation (NaOH) to improve solubility and strength (Tayo, Bettelhäuser–Euring, 2022), disulfide bond cleavage (NaHSO₃) to modify napin/cruciferin structures—improving viscosity but sometimes reducing adhesion (Dunky, 2020), and the use of anionic surfactants (SDS) combined with epoxy resins or polyamide epichlorohydrin (PAE) to enhance water resistance and mold resistance (Chen, Huang–Li, 2020; Qu *et al.*, 2021). The incorporation of nanoparticles (*nano SiO₂*) has been shown to improve viscosity and water resistance (Qu *et al.*, 2021). Oxidation with NaIO₄ converts carbohydrates into aldehydes that react with protein amino groups, improving both dry and wet strength and offering better process control than KMnO₄ treatments (Gu *et al.*, 2024). Additional modifiers such as urea and glycerol improve dimensional stability; in lupin systems, glycerol combined with epichlorohydrin (ECH) further enhanced bonding and water resistance (Tayo, Bettelhäuser, Euring, 2022; Dunky, 2020). Overall, oilseed based adhesives exhibit good dry strength, and with appropriate modification, water resistance can reach standard compliant levels in several cases.

Although extensive research exists on soy and oilseed based protein adhesives, these studies also reveal persistent challenges – such as low water resistance, limited microbiological stability, viscosity control issues, and inconsistent bonding performance – that remain unresolved across most plant protein systems. These limitations highlight the need for alternative protein sources with different compositions and functional properties. Despite the growing interest in by products from the oil industry, pumpkin seed press residues have received almost no systematic investigation as potential wood adhesives, even though they are protein rich, widely available, and largely underutilized. By comparing the known behaviors, modification strategies, and shortcomings of established plant protein adhesives with the unstudied potential of pumpkin seed proteins, the review underscores a clear research gap: the performance, modifiability, and application feasibility of pumpkin seed based adhesives are largely unknown, justifying the focus of the present study.

3. MATERIALS AND METHODS

3.1. MATERIALS

3.1.1. Pumpkin seed flour

The granulate/oil cake remaining after the pressing of pumpkin seed oil, similarly to that of other oilseeds mentioned, contains approximately 60% protein. The granulate left after cold pressing (maximum 40°C) in a traditional screw-type vegetable press, or its milled flour form, is primarily sold for use in animal feed and, less commonly, for human consumption. In contrast, the product of the hot-pressing procedure – i.e., pumpkin seeds that have been ground, soaked in hot saline water, roasted at 130–140°C, and subsequently pressed – is predominantly utilized as fish feed.

Due to its suitability for human consumption and especially its high protein content, pumpkin seed flour has become a promising experimental raw material in the food industry. Pumpkin seeds contain several protein fractions, including glutenin, globulin, prolamin, and albumin. The resulting flour is hypoallergenic and, compared with legume-based flours, contains higher levels of antioxidants, making it an excellent potential substitute for animal-derived proteins as well (see *e.g.*, Tas, Sumnu, –Oztop, 2025).

The pumpkin seed flours required for the study were obtained from two different sources: a Hungarian oil press (*Olajütő és Rétesház*), which supplied flours derived from cold- and hot-pressed granulate (*M*) and oil cake (*S*), and a German trading company (*Bio Kürbiskern-Pulver, Kräuterhaus Sanct Bernhard KG*), which provided flour produced from the cold-pressed granulate of an Austrian oil press (*A*). The data of the pumpkin seed flours are presented in Table 2.

Table 2. Main data on pumpkin seed flours used in the research

Marking	M	S	A
Origin	Hungary, Szalafő	Hungary, Szalafő	Austria, Styria
Type of pumpkin	<i>Cucurbita pepo</i> <i>var. styraica</i>	<i>Cucurbita pepo</i> <i>var. styraica</i>	<i>Cucurbita pepo</i> L. <i>convar. citrullina</i> <i>var. styraica</i>
Pressing method	cold	hot, salted & roasted	cold
Producer/Distributor	Olajütő és Rétesház	Olajütő és Rétesház	<i>Kräuterhaus Sanct Bernhard KG</i>
Protein content	60%	60%	61%
Amino acid content	N/A	N/A	22.84%
Others content	40%	40%	16.16%

During the experiment, three adhesives were produced from the three different raw materials using the same base formulation, along with one additional variant supplemented with tannic acid and starch (A+).

As a control adhesive, melamine–urea–formaldehyde (*MUF*) resin was used, provided by FALCO Forgácslapgyártó Zrt. The MUF adhesive had a solids content of 66%.

For reasons related to intellectual property protection, the manufacturing process of the adhesive materials is not disclosed in the present publication. Still it has to be mentioned that adhesive production from *S* type (*hot pressed, salted & roasted*) pumpkin seed oil cake was not successful, so the experiments were continued with *A* and *M* type pumpkin sees flours. The difference between the *A* and *A+* adhesive formulations lay in the use of different modifiers.

3.1.2. Modifiers

The following raw materials were required for the production of the pumpkin seed–based adhesive:

- sodium hydroxide,
- citric acid,
- distilled water,
- glycerol,
- starch,
- tannic acid.

3.1.3. Poplar veneer

In the experiments, the I214 poplar hybrid (*Populus euramericana* cv. I214) was used. The 2.8 mm thick veneers were provided by Derula Ltd. The moisture content of the veneers ranged between 6–8%.

3.2. METHODS

3.2.1. Experimental production of plywood

In our experiment, two three layer poplar plywood panels of each type were produced. The panels had a nominal thickness of 3 mm and nominal dimensions of 360 × 360 mm. Three different self produced pumpkin protein–based adhesives – A (*Austrian*), M (*Hungarian*), and A+ (*Austrian, modified*) – were used, each combined with two different pressing times. As a reference, one plywood panel was manufactured using a melamine urea formaldehyde (*MUF*) adhesive, with the same number of layers and identical dimensions. In all cases, the grain direction of the adjacent veneer layers was perpendicular to one another. The formulation details are presented in Table 3.

Table 3. Main parameters of the adhesives used

Type of adhesive	A	M	A+	F
Adhesive solution [g]	30	22	28	35
Dry matter content of adhesive [%]	7.90	85.18	8.47	66
Applied adhesive* [g]	2.37	18.74	2.37	20.74

* dry matter content of the adhesive solution between veneers

The dry matter content of the adhesive formulations was determined by drying the samples to constant mass at 100±3°C in a Memmert drying oven.

During the determination of the dry matter content of the adhesive A, the sample formed a uniform and coherent film, demonstrating that the pumpkin seed protein-based adhesive is capable of film formation.

In the case of the adhesive M, a formulation with a different solids content had to be used, as the adhesive became so viscous that it was not possible to spread a smaller amount uniformly across the veneer surface.

Pressing was carried out in a Siempelkamp laboratory hot press. The pressing parameters were determined based on previous experience (*e.g., with respect to the cooling phase*) as well as examples found in the literature. For plant protein–based adhesives, a pressing temperature of around or above 120°C is generally recommended to ensure complete curing. Li, X. and colleagues, for instance, successfully produced three layer poplar plywood using hot pressing at 120°C (*Li et al., 2017*). This temperature is also important for improving the moisture resistance of the adhesive. Chen, N. and co authors demonstrated that plywood bonded with plant protein–based adhesives and pressed at temperatures above 120°C almost invariably passed the three cycle water immersion test; the same applied for pressing times exceeding 5 minutes (*Chen, Huang–Li, 2020*).

However, temperatures exceeding 160°C can have detrimental effects on plant proteins. In the studies mentioned above, as in other similar experiments, the applied pressing pressure typically ranged from 1.0 to 1.2 MPa.

In our experiment, a substantially higher nominal pressure of 9 MPa was used due to the low density (*372 kg/m³ in average*) of the poplar veneers and by use of high pressure a higher density (*930 kg/m³ in average*) was achieved. The pressing parameters are shown in Table 4.

Table 4. Plywood manufacturing parameters

Board type	A1	A2	M1	M2	A+1	A+2	F
Specific pressure [MPa]	9	9	9	9	9	9	9
Temperature [°C]	140	140	140	140	140	140	180
Pressing time [min]	15	10	15	10	15	10	4.5
Cooling time (<100 °C) [min]	5	5	5	5	5	5	5

3.2.2. Testing methods

The three layer poplar plywood panels, with a nominal thickness of 3 mm, were tested for bending strength parallel and perpendicular to the grain in accordance with EN 310, and for tensile strength in accordance with EN 319. The shear test specified in EN 302 for plywood could not be performed due to the small panel thickness; therefore, tensile strength perpendicular to the plane of the panel was used as an alternative. Tensile strength tests were also repeated after 24 hours of water immersion. Following immersion, and prior to testing, the specimens were conditioned for 48 hours at 20°C and 65% relative humidity. Thickness swelling was additionally measured on these samples in accordance with EN 317.

4. RESULTS AND DISCUSSION

The mean values and standard deviations of test results of the experimental plywood panels are shown in Table 5.

Table 5. Testing results of the experimental plywood panels

Board type		A1	A2	M1	M2	A*1	A*2	F
MOR [MPa]	Mean	113.6	105.5	133.3	142.8	79.5	112.4	156.5
	St.dev.	20.2236	15.4137	12.2217	8.6146	11.9182	15.7659	22.7521
MOR ⊥ [MPa]	Mean	25.3	25.1	23.2	23.9	25.8	28.1	38.6
	St.dev.	3.9736	5.5581	1.6113	1.7052	3.2080	2.7275	4.9497
MOE III [MPa]	Mean	14973.7	15470.0	21775.9	24187.7	12042.4	18066.0	21107.9
	St.dev.	1639.7	849.0	2066.6	1756.3	2265.1	1840.4	2364.9
MOE ⊥ [MPa]	Mean	1164.0	997.9	1233.1	1308.3	1885.2	1928.3	1764.9
	St.dev.	187.20	246.82	119.67	110.38	239.71	286.71	239.47
IB [MPa]	Mean	0.51	0.41	0.39	0.36	0.36	0.34	>0.75
	St.dev.	0.06	0.05	0.02	0.04	0.03	0.06	0.07
IB 24 h [MPa]	Mean	0.38	0.38	0.23	0.25	0.31	0.34	1.05
	St.dev.	0.08	0.07	0.02	0.12	0.06	0.12	0.14
IB deviation [%]		25%	7%	41%	31%	14%	0%	NA
TS 24 h [%]	Mean	34.44%	25.58%	45.73%	47.07%	23.87%	35.56%	58.92%
	St.dev.	13.7476	2.7201	18.3278	26.8898	3.7933	7.5352	4.2943
Class*	MOR	F70	F70	F80	F80	F50	F70	F80
	MOE	E140	E140	E120	E90	E120	E140	E140

* Classification of MOR || (F) and MOE || (E) results based on EN 636:2012+A1:2015

The characteristic tensile strength values perpendicular to the plane of wood based composites bonded with plant protein-based adhesives, as reported in the literature, are presented in Table 6.

Table 6. Internal bond values of other protein-based panel boards

Type of adhesive	Board type	IB [MPa]	IB 24h [MPa]	TS [%]	Citation
Raw protein adhesive	particleboard	0.2–0.4	0.05–0.1	25-40%	Kohsravi et al., 2011: 1514
Protein + starch	particleboard	0.3–0.6	0.1–0.2	20-35%	Balducci, F. et al., 2020: 3096-3097
Protein + tannic acid	particleboard	0.4–0.8	0.3–0.6	15-25%	Lei et al, 2010: 1586
Protein + tannin + starch	particleboard	0.5–1.0	0.4–0.8	10-20%	Boussetta, A. et al., 2022 :4
UF/MUF	MDF	0.6-1.2	0.3-0.7	10-20%	Bergland, L. - Rowell, R. M., 2005: 301-302
PF	particleboard	0.8-1.4	0.7-1.2	<12%	Dunky, M., 2018: 529-534

Based on the Table 6. it is evident that the tensile strength values of all three pumpkin seed-protein adhesives (*Fig. 1.*) are consistent with those reported in previous research. In the case of the A adhesive, particularly high average dry tensile strength values (0.51 MPa) were achieved. This suggests that the extended thermal treatment may have produced an adhesive with better bonding performance and improved water resistance than initially expected.

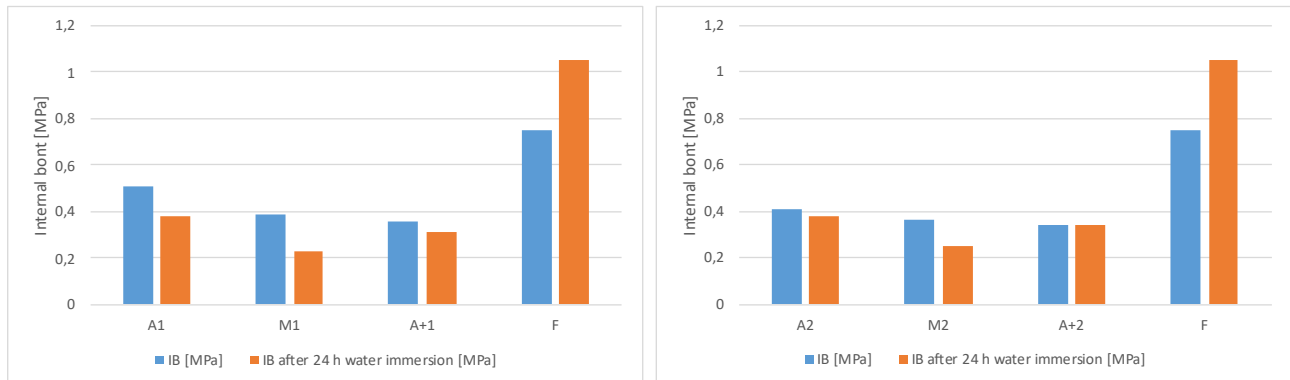


Figure 1. IB values of experimental boards hot pressed in 15 min (left) and in 10 mins (right) in original test and after 24 h immersion in water

Despite its considerably higher solids content, the M adhesive showed inferior solubility, markedly lower tensile strength, and minimal water resistance compared with the A adhesive. Possible explanations include differences in protein and non protein constituents of the flours, poorer protein solubility, and particle size differences: the Austrian flour was more finely and uniformly milled, whereas the Hungarian flour contained larger seed fragments that were removed during filtration. As anticipated for unmodified protein adhesives, the M formulation exhibited very poor water resistance.

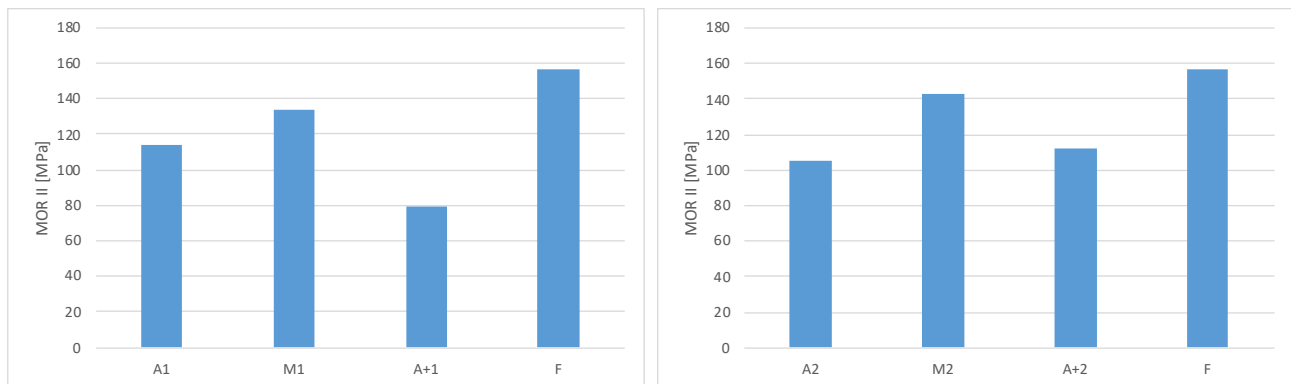
Plywood bonded with the A+ adhesive showed only moderate strength loss after water immersion (0–41%), and the A type formulations generally exhibited the lowest reduction. The modified treatment likely promoted more stable interactions, such as polyphenolic cross linking. Although the dry strength did not increase substantially – partly because other samples underwent longer heat treatment – the water resistance improved. These conclusions were supported by the swelling data: for the A adhesive, typical protein adhesive values of 25–35% were recorded, sufficient to prevent structural failure even after 24 h immersion. No delamination was observed.

In contrast, the M adhesive absorbed significantly more water and became unstable after immersion, with veneer separation along the panel edges. The A+ samples exhibited somewhat lower water uptake, consistent with their improved strength values, and remained exceptionally stable, with no signs of layer separation. The synthetic resin bonded samples behaved in accordance with the expectations reported in the literature and by manufacturers.

Bending strength (*Figure 2.*) and modulus of elasticity primarily allowed comparison among the three pumpkin based adhesives, the control, and selected literature values. The A adhesive produced panels with balanced and stable bending performance, where failure during bending typically initiated within the veneer rather than in the adhesive layer. Panels bonded with the M adhesive were stiffer but exhibited lower load bearing capacity and greater flexibility during bending. The A+ adhesive resulted in lower bending strength than the other protein adhesives, but—even after immersion—it maintained a stable bond line.

Overall, the measured properties correspond to high performance plywood. According to MSZ EN 636:2012+A1:2015, most experimental panels can be classified into the superior F70 or the highest E140 categories for bending strength and modulus of elasticity, respectively.

Figure 2. MOR values of experimental boards hot pressed in 15 min (left) and in 10 mins (right)



In summary, the A adhesive produced a well cross linked, reliable protein adhesive with excellent dry strength – likely due to extended thermal treatment – though with water resistance typical of unmodified protein systems. The M adhesive, despite its high solids content, showed poor solubility, weak tensile strength, and minimal water resistance. As expected, the A+ adhesive exhibited high strength even after immersion due to the additional modifiers. The control resin displayed significantly higher strength values, fully in line with literature and industrial benchmarks.

5. SUMMARY OF THE RESULTS

Plant proteins, owing to their functional groups, are capable of cross linking under appropriate conditions and therefore exhibit adhesive properties. However, without chemical modification, the interactions formed between the proteins and the adherent surface are insufficient to produce bonds that meet the performance requirements of wood based panel applications.

In this research, we investigated the potential use of production residues from pumpkin seed oil pressing as a protein based adhesive. Experiments were performed using three pumpkin seed flours of different types/origins: Austrian (*A*), Hungarian cold pressed (*M*), and Hungarian hot pressed (*S*). In addition to the basic formulation, a modified variant (*A+*) containing additional modifiers was also prepared from the Austrian pumpkin seed flour. The adhesive formulation prepared from the hot pressed, salted and roasted pumpkin seed flour (*S*) could not be successfully produced. Using the three successfully formulated adhesives and a synthetic resin adhesive used as a control (*F*), three layer poplar plywood panels were pressed to evaluate the performance of the adhesives.

The results demonstrated the following:

- The *A* adhesive produced a well cross linked, reliable protein adhesive with outstanding dry strength properties – presumably due to prolonged thermal treatment – while its water resistance was relatively weak, consistent with the behavior of unmodified protein adhesives.
- In contrast, despite its very high solids content, the *M* adhesive exhibited poorer solubility characteristics, low tensile strength, and minimal water resistance.
- As expected, the *A+* adhesive showed substantially improved strength values even after water immersion, owing to the added modifiers.
- The samples bonded with the synthetic resin adhesive behaved in accordance with both literature data and industrial expectations.

Based on the experimental results, the following development directions were identified: in addition to controlling solids content and preparation procedures, future work should prioritize optimizing factors influencing water resistance and ensuring microbiological stability.

ACKNOWLEDGEMENTS

We express our gratitude to Gábor Kun, staff member of the Central Testing Laboratory at the University of Sopron, for his assistance in conducting the standardized tests.

REFERENCES

- BALDUCCI, F., ADAMOPOULOS, S., PETTINARI, C., CANTI, E., DI NICOLA, C., TOMBESI, A., CECCHINI, A., GABBANI, C., 2020. A formaldehyde-free adhesive for particleboards based on soy flour, magnesium oxide, and a plant-derived enzymatic hydrolysate. *BioResources*, 15(2), pp. 3087–3104
<https://doi.org/10.15376/biores.15.2.3087-3102>
- BERGLAND, L., ROWELL, R. M., 2005. Wood composites. In: Rowell, R. M. (ed.) *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. CRC Press, London – New York – Singapore, pp. 283–305.
- BOUSSETTA, A., ET AL., 2022. Shrimp waste protein for bio-composite manufacturing: Formulation of protein–cornstarch–mimosa–tannin wood adhesives. *Industrial Crops & Products*.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115323>
- CHEN, N., HUANG, J., LI, K., 2020. Investigation of a formaldehyde-free cottonseed flour-based adhesive for interior plywood. *BioResources*, 15(3), pp. 5546–5557
<https://doi.org/10.15376/biores.15.3.5546-5557>
- CHEN, N., LIN, Q., RAO, J., ZENG, Q., 2013. Water resistances and bonding strengths of soy-based adhesives containing different carbohydrates. *Industrial Crops and Products*, 50, pp. 44–49.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.06.038>
- DUNKY, M., 2018. Adhesives in the wood industry. In: Pizzi, A., Mittal, K. L. (eds.) *Handbook of Adhesive Technology*. CRC Press, Boca Raton, pp. 511–574.
- DUNKY, M., 2020. Wood adhesives based on natural resources: A critical review. Part I. Protein-based adhesives. *Reviews of Adhesion and Adhesives*, 8(3), pp. 199–332.
<https://doi.org/10.1002/9781119846703.ch8>
- FAN, D. B., QIN, T. F., CHU, F. X., 2011. A soy flour-based adhesive reinforced by low addition of MUF resin. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 25, pp. 323–333.
<https://doi.org/10.1163/016942410X524147>
- FRIHART, C. R., 2005. Wood adhesion and adhesives. In: Rowell, R. M. (ed.) *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. CRC Press, London – New York – Singapore, pp. 219–282.
- GADHAVE, R. V., MAHANWAR, P. A., GADEKAR, P. T., 2020. Bio-based adhesives for wood panel manufacturing: A review. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 34(13), pp. 1445–1469.
- GAO, Z., ZHANG, Y., FANG, B., ET AL., 2015. The effects of thermal-acid treatment and crosslinking on the water resistance of soybean protein. *Industrial Crops and Products*, 74, pp. 122–131.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.04.026>
- GU, W., TU, Y., YUAN, S., YU, D., YANG, G., GONG, F., YIN, S., WU, Z., WANG, H., 2024. Preparation and properties of walnut cake-based wood adhesive with oxidation modification. *BioResources*, 19(3), pp. 5497–5510. <https://doi.org/10.15376/biores.19.3.5497-5510>
- HUANG, W., SUN, X., 2000A. Adhesive properties of soy proteins modified by urea and guanidine hydrochloride. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 77, pp. 101–104.
<https://doi.org/10.1007/s11746-000-0016-6>

- HUANG, W., SUN, X., 2000B. Adhesive properties of soy proteins modified by sodium dodecyl sulfate and sodium dodecylbenzene sulfonate. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 77, pp. 705–708. <https://doi.org/10.1007/s11746-000-0113-6>
- KHOSRAVI, S., NORDQVIST, P., KHABBAZ, F., JOHANSSON, M., 2011. Protein-based adhesives for particleboards – Effect of application process. *Industrial Crops and Products*, 34, pp. 1509–1515. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.05.009>
- KUO, M., ADAMS, D., MYERS, D., CURRY, D., HEEMSTRA, H., SMITH, J. L., BIAN, Y., 1998. Properties of wood/agricultural fiberboard bonded with soybean-based adhesives. *Forest Products Journal*, 48(2), pp. 71–75.
- LI, X., CHEN, M., ZHANG, J., GAO, Q., ZHANG, S., LI, J., 2017. Physico-chemical properties of soybean meal-based adhesives reinforced by ethylene glycol diglycidyl ether and modified nanocrystalline cellulose. *Polymers*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/polym9090463>
- LIN, Q., CHEN, N., BIAN, L., ET AL., 2012. Development and mechanism characterization of high performance soy-based bio-adhesives. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 34, pp. 11–16. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2012.01.005>
- NORDQVIST, P., OKSMAN, K., 2013. Adhesives based on biopolymers and biomolecules – Present trends and future prospects. *Industrial Crops and Products*, 42, pp. 367–374.
- PAJOR, K., 2025. *Növényi fehérje alapú ragasztás kérdései és lehetőségei a faiparban. A tökmagolaj gyártási hulladékának ragasztóanyagként való alkalmazási lehetőségének vizsgálata a falemeziparban.* Diplomamunka, Soproni Egyetem, Sopron.
- PIZZI, A., 2016. *Wood Adhesives: Chemistry and Technology.* CRC Press, London – New York – Singapore.
- QI, G., LI, N., WANG, D., ET AL., 2013. Adhesion and physicochemical properties of soy protein modified by sodium bisulfite. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 90, pp. 1917–1926. <https://doi.org/10.1007/s11746-013-2343-8>
- QU, Y., GUO, Q., LI, T., ZHANG, Y., GAO, Q., LIU, H., WANG, Q., 2021. A novel environmentally friendly hot-pressed peanut meal protein adhesive. *Journal of Cleaner Production*, 327. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129473>
- SPIRK, S., VEIGEL, S., 2018. Bioadhesives for wood products – Recent developments and future opportunities. *Polymers*, 10(9), p. 1079.
- SUN, X., BIAN, K., 1999. Shear strength and water resistance of modified soy protein adhesives. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 76, pp. 977–980. <https://doi.org/10.1007/s11746-999-0115-2>
- TAS, O., SUMNU, S. G., OZTOP, M. H., 2025. Effect of extraction methods and preheat treatments on the functional properties of pumpkin seed protein concentrate. *Food Science & Technology*, 5, pp. 105–117. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.4c00601>

TAYO, L. T., BETTELHÄUSER, R. J., EURING, M., 2022. Canola meal as raw material for the development of bio-adhesive for MDF and particleboard production. *Polymers*, 14(17).

<https://doi.org/10.3390/polym14173554>

VNUČEC, D., GORŠEK, A., KUTNAR, A., ET AL., 2015. Thermal modification of soy proteins in the vacuum chamber and wood adhesion. *Wood Science and Technology*, 49, pp. 225–239.

<https://doi.org/10.1007/s00226-014-0685-5>

VNUČEC, D., KUTNAR, A., GORŠEK, A., 2016. Soy-based adhesives for wood-bonding – A review. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 31(8), pp. 910–931.

<https://doi.org/10.1080/01694243.2016.1237278>

WANG, Y., WANG, D., SUN, X. S., 2005. Thermal properties and adhesiveness of soy protein modified with cationic detergent. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 82, pp. 357–363.

<https://doi.org/10.1007/s11746-005-1078-1>

YUE, H., LINGWEI, M., XU, C., YANG, C., SHUTTLEWORTH, P. S., CUI, Y., 2023. Recent advancement in bio-based adhesives derived from plant proteins for plywood application: A review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 33.

<https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101143>

REACH-ORDINANCE. ECHA – European Chemicals Agency.

<https://echa.europa.eu/hu/regulations/reach/understanding-reach> (Megtekintve: 2025. 04. 26.)

BIO KÜRBISKERN-PULVER. *Kräuterhaus Sanct Bernhard*.

<https://www.kraeuterhaus.de/de-DE/produkte/bio-kuerbiskernprotein-pulver> (Megtekintve: 2025. 11. 16.)

Olajütő és Rétesház, Szalafő.

<https://www.olajutoesreteshaz.hu/> (Megtekintve: 2025. 11. 16.)

P0900295/44. *Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatala*.

<http://epub.hpo.hu/e-nyilvantartas/?lang=HU> (Megtekintve: 2025. 05. 16.)

A VÁLTOZÁS VIZUÁLIS TEREI – A SAJÁT HELYEK REPRESENTÁCIÓJA, ALAKVÁLTOZÁSAI

SZIGETHY ANNA^a

^a Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, 9400 Sopron
email: szigethy.anna@uni-sopron.hu

DOI: <https://doi.org/10.35511/978-963-334-570-2-13>

ABSZTRAKT

A tanulmány az urbánus terek alakváltozásait és művészi megfogalmazásának lehetőségeit vizsgálja a dokumentáción túl, az emlékek és élmények vizuális formába öntésére fókuszálva. A saját alkotói és oktatói praxisom tapasztalataira építve – többek között a Soproni Egyetem Kreatívipari Intézet, a Magyar Képzőművészeti Egyetem és a MATE Rippl-Rónai Művészeti Intézet kurzusain – azt kutatom, miként válik a fizikai tér személyes és kollektív identitás hordozójává. A kurzusok során hallgatókkal olyan érzelmileg telített helyeket dolgozunk fel, amelyek a „lélektani földrajz” részeként formálják az önmeghatározást. A feladatok, tervezési koncepciók kidolgozásának elméleti hátterét többek között Gaston Bachelard térpoétikai gondolatai és Düll Andrea környezetpszichológiai megközelítése adják. A létrejövő vizuális munkákban a konkrét hely dokumentuma és a hozzá kapcsolt emlékezet új, jelen idejű térélménnyé sűrűsödik.

Kulcsszavak: helyidentitás, környezetpszichológia, művészetpedagógia, személyes narratíva

Tanulmányom témája környezetünk, az urbánus táj alakváltozásai és megfogalmazásának lehetőségei művészeti produktumokban, az egyszerű dokumentáláson túl mindenfajta emlékek, élmények, történések vizuális munkákban való kifejezése. Kutatásom alapját saját munkáim alkotják, amelyből kiindulva nemcsak kutatási tervek, kiállítások születtek, hanem a témának oktatási praxisomban is fontos szerep jut. Több kurzuson dolgoztunk hallgatóimmal a tér és emlékezet szerepének feltárásán, különböző felsőoktatási intézményekben: a Soproni Egyetem Kreatívipari Intézetben, a Képzőművészeti Egyetemen Radák Eszter osztályában tartott kurzus során és a MATE Rippl-Rónai Művészeti Intézetében média design, képalkotás, animáció vagy mozgókép szakos hallgatókkal.¹ Fotóim mellett ezért a hallgatóim munkáival mutatom be a szerteágazó lehetőségeket a saját helyek vizuális megfogalmazására.

1. ezúton is kifejezném köszönetemet a MATE (egykori Kaposvári Egyetem) Rippl-Rónai Művészeti Intézet azon hallgatóinak, akik munkájukkal hozzájárultak a tanulmányom létrejöttéhez

A tér nemcsak építészeti, történeti előzménnyel és jelentéssel bír, hanem politikai, pszichológiai konstrukció, ha megtervezett, azért. Ha pedig az időfaktort vesszük figyelembe, akkor a ráhalmozódó élmények, történések miatt. Leginkább a közterekben keveredik a kettő, a szubjektív, saját élmény és a közös társadalmi élmény. A kurzusaimon olyan, saját jelentéssel bíró helyekkel foglalkoztunk, amelyeknek a mesélő szempontjából van leginkább speciális értéke.

A helyek fontos szerephez jutnak az életünkben: nemcsak hátterek, de őrzői is a velünk történeteknek, ezáltal életünk részei, ahogy mi is azok része maradunk, cselekedeteinkkel hozzáadunk valamit a „hely szelleméhez” – amennyiben ezeket bemutatjuk. Ebből egy olyan sajátos identitás jön létre, ami nagyobb távlatban már közösségi élménnyé válik, a valahová tartozást fejezi ki.

Saját identitásunkat többek között az élményekkel teli helyek adják. Keszei András: *Hely és identitás között tanulmányában* (Keszei, 2015) a „lélektani földrajz” kifejezést használja ezekre a kapcsolódási pontokra, amelyek ismerősek és barátságosak, a belső táj részei, nem idegenek vagy veszélyesek. Ahogy írja, ezeknek a helyeknek az identitása három tényező kölcsönhatásából adódnak. Az egyéni emlékek és a tágabb történelmi-kulturális ismeretek hatására egyrészt az azzal kapcsolatos érzéseket, a tudást, valamint a történéseket lehet vizsgálni.

Az egyetemi kurzusok során tervezői gyakorlatunk általában ugyanaz, mint a vizuális művészeké: azaz egy művet kell létrehozni vizuális élményekből és történetekből, ami maga az alkotás vagy tervezés folyamatának elsajátítása, gyakorlása; és amit elsődlegesnek tartok művészeti tanulmányokat végző hallgatóknál. A folyamat végén a művekben új terek jelennek meg, összegyúrva bennük a konkrét helyek dokumentumai és a hozzáadott élmény, a saját emlék.

Ebben a feladatban a tér feltérképezése természetesen nemcsak az egyéni emlékekből táplálkozik. A pszichológiától a történettudományig, filozófiáig lennének mellékágai, amiben a hely szerepét, történetét-történelmét, identitását lehetne feldolgozni. Ám számunkra a feladat a saját élmény megfogalmazása: előbb a személyes emlékek beazonosítása, majd vizualizálása. Azaz a hallgatókkal általában kihagyjuk a tágabb értelmezési lehetőségeket, nem vizsgáljuk egy tér történelmi, társadalmi történéseit.

Ez a beágyazottság, közösségi hovatartozás időnként érinti a személyes identitást, a saját helyeket is; de nem kizárólag, és ez a vizsgált feladatoknál általában csak mellékszál marad. Mi a mikrokörnyezettel, a személyes megéléssel foglalkozunk.

A téma általában egy valamiért fontos, de mindenképpen érzelmeket kiváltó, konkrét helyfeldolgozása. Tágabban azt a kérdést feszegeti, hogy honnan jövünk, milyen környezetből, milyen élményekkel és ezek miért fontosak számunkra – és mindezt hogyan lehet művészi eszközökkel feldolgozni különböző vizuális médiumokban. A művészeti nevelésben azért is fontos ez a téma, mert fiatal alkotóknál ez a kérdés, hogy *Honnan jövök?*, az elsődleges önmeghatározás, a *Ki vagyok én?* kérdés után szokott rögtön következni. És mint minden téma ezen a területen, azzal a kérdéssel birkózik, hogy valamit, ami emocionális, ami emlék, vagy ami addig verbálisan megfogalmazott, netán egy dokumentum; mindezeket hogyan lehet vizuális művé alakítani, azaz műtárgyat készíteni belőle.

A hallgatók számára ez egy lehetőség arra, hogy az ismert fizikai környezetet máshogy lássák, összekapcsolják saját múltjukkal és jelen lelkiállapotukkal. Dúll Andrea környezetpszichológus szerint (Dúll, 2009) ezek a meghatározó helyekhez köthető emlékek, belső helyreprezentációk egész életünkre kihatnak, hogy hogyan definiáljuk magunkat; és arra is, hogy milyen helyeket részesítünk

előnyben a későbbiekben. Nemcsak az otthon vonatkozásában, de ilyen helyekké válhatnak a valamikor valamiért fontos egyéb terek, városrészek, helyszínek.

Ez is oka, amiért ilyen jellegű feladatokat adok a hallgatók számára, mert az önmeghatározásban segítheti őket. A művészi, tervezői munkájukban fel tudják használni; azonkívül, mint fiatal egyetemistáknak a felnőtté válás, a saját életforma kialakításában is szerepe lehet. Ha a kiindulási pontot, a biztonságot adó otthont vizsgáljuk, feldolgozzuk, az egy vonatkozási pontként szolgálhat a bizonytalan, idegen helyekhez, az ismeretlenhez való viszonyban. Mert az érzelmi és mindenfajta bizonytalan állapotokat fel lehet vállalni, sőt ilyesfajta rizikók bevállalása, a másutt levés állapota ajánlatos egy alkotói karrier szempontjából.

Az *A kert, a ház, az utca, az Emlék/hely* vagy *A hely szelleme* címmel diákoknak kiadott feladatokban kiindulópontunk minden esetben egy fontos, valamilyen előjelű érzelmekkel telített helyszín, amelynek feldolgozása során először verbális és vizuális anyagot gyűjtenek. A következő lépésben a hozzákapcsolt élményeket, gondolatokat kell mindenkinek megfogalmazni, hogy egyáltalán miért olyan fontos számára, majd megalkotni a koncepciót, ami szerint vizualizálni tudja mindezt. A vizuális kifejezés lehet a fotók, videók, grafikák továbbfejlesztése, azaz színkorrekció, torzítás, kiegészítés, szövegek vagy térképek hozzáadása, de lehetnek teljesen új elemek, hozzáforgatott részek, egy beállított fotó- vagy egy rajzsorozat hozzárendelése is, amivel új narratívát adnak a helyszínek.

A végeredmény szerencsés esetben egy önálló alkotás: grafikák, animációk, festmények, fotósorozatok, videók az adott helyszín és a hozzá köthető élmények alapján, amelyek nem feltétlenül tartalmazzák az eredeti dokumentumokat, viszont telítődtek saját világukkal.

A minket körülvevő tereket párhuzamosnak írnám le. Egyrészt léteznek a valóságos sarkok, csomópontok, megálló, ugyanakkor ezeket a helyeket hívhatjuk az érzelmek, élmények, saját történetek által kiadott csomópontoknak, útvonalaknak is. Vagyis párhuzamosan bensőséges, mert élményekkel, érzelmekkel kísért terekről és objektív, hétköznapi rendeltetését betöltő terekről beszélünk, mely fogalmak egymás mellett léteznek.



Berényi Sándor: *Alföldi céltalanság*, fotókollázs sorozat, 30×45 cm, 2019



Berényi Sándor: Alföldi céltalanság, fotókollázs sorozat, 30×45 cm, 2019



Fazekas Réka: Az ikrekkel a parkban, fotósorozat, 60×40 cm, 2018

Bachelard *A tér poétikája* című könyvében a „boldog tér képeit” (Bachelard, 2011) vizsgálja, amelyeket képzelettel, érzelmekkel átélt tereknek ír le minden esetben; még a valóságos helyeknél is elvetve, hogy kizárólag a tervezés, a praktikum lenne az alkotóelemük.

Amikor a hallgatók vagy én egy kiválasztott térrel dolgozunk, igyekszünk nem a múltba merülni, azaz nem emlékművet építeni, hanem úgy, hogy az emlékek, történetek felidézése mindenképpen keveredjen a jelen helyzettel. Ezek a munkák nem kizárólag a múltból szólnak, hanem máig ér hatásuk,

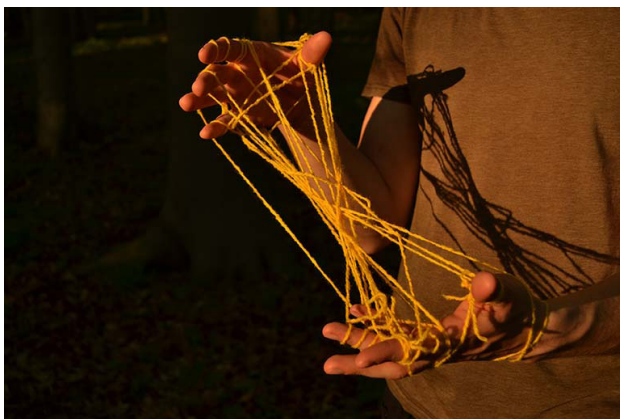
nagyon is hozzáad megalkotásukhoz jelen állapotunk. Bachelard úgy írja le ezt a jelenséget, hogy a költői kép nem a múlt visszhangja, hanem újdonságánál, aktivitásánál fogva ma beszél hozzánk (Bachelard, 2011). A múlt felvillantása után nagyon is a jelenben csapódik le a hatása. Ahogy ő, mi is feltesszük a kérdést, hogy egyes élményeink, helyeink hogyan és miért lesznek a „feledhetetlen múlt hajlékává” (Bachelard, 2011), azaz maradnak meg olyan erősen emlékezetünkben, az adott helyhez köthetően.

Gyakran nehéz olyasfajta helyhez köthető érzelmekkel kezdeni valamit és vizuálisan megfogalmazni, mint amilyen a biztonságérzet, az öröm, egy hely, ahol minden tökéletes, vagy amit éppen, hogy félelmetesnek találtuk gyerekkorunkban. Viszont a sarkok, szobák konkrét képe, tárgyak és történetek sokszor felhasználhatóak, mint kiindulópontok. Azaz a szubjektivitás csúszós, sokszor nem egyértelmű képeitől valamiféle objektivitáshoz visszavezet, segítségünkre lehet.

Számos diákmunka, már csak az életkorból is fakadóan, a szülői házról-lakásról szól, ahonnan elindultak. Szükségünk van ilyen biztos pontokra, amelyekben az identitásunk kialakul, és még valamiért: mivel a köztér, a munkahelyek és iskolák bizonyos társadalmi elvárásoknak megfelelően lettek kialakítva, szabályok és normák mentén – amelyeket elfogadunk és betartunk, bár nem mi hoztunk létre őket –, szükségünk van olyan saját helyekre is, amelyekben a szabályokat mi határozzuk meg, mi hozzuk létre működését. Ez a menedék az otthonunk.

A feladat első fázisa az intim terek rövid környezetpszichológiai vizsgálata. Dúll Andrea *Amikor messze van az „odakinn” az „idebenn”-től: a helyváltoztatás és az identitás összefüggései* című tanulmányában (Dúll, 2015) leírja, hogy a helyidentitásunkat tudatos és nem tudatos emlékek, elképzelések, történetek és érzések keveréke adja, életünk során egyre több „fontos hely” között élünk, amelyekhez viszonyulunk nap mint nap.

Fiatal művészként, tervezőként (is) nagyon fontos az önmeghatározás, és ahogy Dúll írja (Dúll, 2015), a saját magunkról való tudást erősítik a fontos helyekhez kötődő érzelmeink, élményeink, a szimbólumok, tapasztalatok. Mindezek az „ember-környezet kölcsönhatások” (Dúll, 2015) gazdagítják memóriánkat. Ezen dolgozunk hallgatóimmal is: feltérképezünk, nyomokat és emlékeket keresünk, rekonstruáljuk a múltat a jelen fizikai terében, ütköztetve a kettőt vagy belesimítva egymásba.



Molnár Adrienn: *Kiserdő*, fotósorozat, 60×40 cm, 2018



Szigethy Anna: Nem-hely / Ile-de-France, fotósorozat, 500×60 cm, 2005-06. Forrás: szerző

ÁTMENETI TEREK ÉS AZ OTTHONOSSÁG ÉRZETE

Saját alkotómunkámban a személyes terek feltérképezése előtt a városi élet helyszíneivel, a nagyvárosi otthonosság vagy otthontalanság, átmenetiség érzésével foglalkoztam. Doktori disszertációmban az elmúlt évtizedekben bekövetkezett változások hatására módosult városképet mutattam be, és annak speciális, új területét, a városszéli nem-helyeket. Azt vizsgáltam, hogyan lehet ezeket az urbánus területeket bemutatni, milyen kritikai, esztétikai szótárt alkalmaznak a képzőművészek, fotográfusok, milyen vizuális ötleteket, változatokat ismerünk erre a kortárs művészetben.

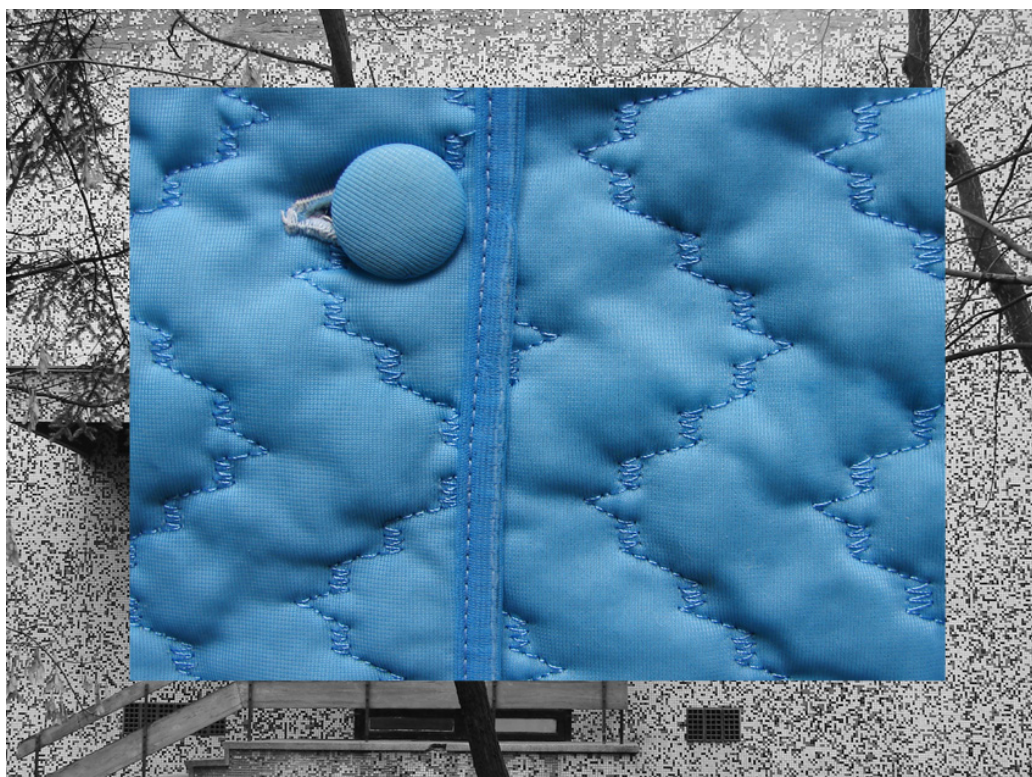
A doktori szövegemben vizsgált Marc Augé-féle „nem-helyek” (Augé, 2012) nélkülözik mindazt, ami miatt saját helynek nevezünk valamit. Ami mindenképpen egy átélt tér, miközben egy reptéri folyosót vagy egy Ikea áruház büféjét sohasem tudjuk igazán belakni és igazán emlékezni sem rá. Azaz a fontos helyeink a lelkiéletünk helyei is, különben nem hagynának olyan mély nyomot bennünk.

Egyre inkább elveszünk a virtuális világban, internetes pályákon; és egyre több időt töltünk ezekben a nem-helyekben, hiszen életünk (nagy) része egyre inkább ezekben a terekben – például bevásárló központokban, autópályákon, állomásokon – játszódik. Mégis megnyugtató a tudat, hogy a hagyományos életmód, a megszokott étletterünk is kínál efféle komplex élményeket. Sőt, ezekben a saját identitású terekben nemcsak szeretünk elidőzni, de annál is több van bennük, amit művészi munkákban kamatoztathatunk.

A túlszabályozott városokról írtam doktori disszertációmban az átmeneti terek kapcsán; tovább folytatva kutatásaimat a tökéletes szürke, ismétlődő, városrészekben (mégiscsak) megjelenő intimitással, szubjektív élménnyel foglalkoztam. A *Nők, portrék, pongyolák* kiállításom installációi nők atipikus portréi, amelyekben mindig fontos szerep jut a háttérben megjelenő városnak, Budapest vagy Berlin történelmének. A kiállítás központi eleme egy több, mint 25 próbababából álló installáció az elmúlt évtizedek háziköntöseiből, műanyag otthonkáiból, melyeknek az elfogadottsága a hálósobai intimitástól a gangon, udvarban hordható háziruháig terjed, és amelyek egy-egy részletét fekete-fehér városképeimben is felhasználtam egyértelmű kontrasztként.

A 2022 tavaszán készített *Home, sweet home (az otthonról és az otthontalanságról)* installációm első verziójában az egykori családi otthon emlékeivel próbáltam valamit kezdeni, vizuálisan megfogalmazni az otthonosság érzését, okát: ugyanannak a lakásnak a különböző méretű részleteit láthatjuk fotókon a falakon és mellettük a nagyméretű utazótáskákra printelve. A képek egy lakás „felesleges”, jelentéktelen részleteit ábrázolják, ami jól érzékelhetően üres, mégis őrzi az emlékeket, sztorikat. Ezekről az élményektől, meghatározó emlékektől nevezünk egy helyet otthonunknak, és ezért érezzük magunkat néha elveszve, de mindenképpen idegenül egy rideg szállodaszobában.

Annak a megjelenítésére, hogy egy város elsuhanó képei, terei mit tartogatnak, mit jelentenek számunkra az egyik első eszköz lehet a fényképezőgép, amely valamelyest képes arra, hogy az itt és most-ot rögzítse. Az, hogy a nézőből más élményeket is előhívjon, kell egy olyan közös tudás, kultúra, közvetíthető közösségi élmény, ami tanulható és tanítható. Így az idők folyamán egy közös tudás válhat belőle, amelyben a saját és a közösségi élmények, emlékek összekeverednek a konkrét városrész egészen konkrét épületeinek képével.



Szigethy Anna: Városkép egyszerre, fotósorozat, 60×80 cm, 2013. Forrás: szerző



*Szigethy Anna: Home, sweet home, installáció, fotósorozat,
90×120 cm, papírtáskák egyedi printekkel, 60×70×30 cm, 2022.
Forrás: szerző*

A *Hely, identitás, emlékezet* konferencia előadásaiból tanulmánykötetet szerkesztő Keszei András bevezetőjében (Keszei, 2015) ír ezekről a „jelentésteli helyekről”, személyes élményektől átítatott terekről, amelyekké a semleges, közömbös terek idővel válnak, az általánosan elfogadott és ismert közösségi élményeink miatt, amelyek aztán már a kultúr- és társadalomtörténet részévé válnak, mindannyiunk örökségévé.



Szigethy Anna: *Plaisir 1.*, *Plaisir fekete-fehérben* fotósorozat, 50×100 cm, 2014-16. Forrás: szerző

2018-ban alkalmam nyílt arra, hogy a budapesti Fotóhónap egyik kiállításának kurátora legyek (Nagyváros brand, 2018), és témának éppen ezt a városbrand-építést, saját identitás sikeres közvetítését vettem alapul, amelyet Berlin városa olyan jól használ és kihasznál – a tömegturizmustól egészen a Berlinben dolgozó művészek promótálásáig. A kiállítás egyik részéhez felkértem Lázár Esztert és a Magyar Képzőművészeti Egyetem akkor másodéves Művészetelmélet szakos hallgatóit, hogy tegyünk kísérletet elkészíteni Budapest párhuzamos, művészeti eseményektől átítatott térképét, azaz vizualizáljuk Budapest néhány terének kollektív művészeti háttérét. Amelyek nagy része csak a művészeti közeg számára ismertek, de amelyeket egy szélesebb közönséggel megismertetve talán majd sokan szaladnak máshogyan át az egykori Moszkva téren vagy állnak meg egy pillanatra a Hősök terén, Hajas Tiborra vagy Galántai Györgyre és Klaniczay Júliára gondolva. Abban a pillanatban egy közös élmény születik, mint amilyen pillanat vizualizációjára törekedtem a *Plaisir fekete-fehéren* fotókollázs (*Városvégi filmek*) sorozatban, ahol a fotó, amely alapvetően a konkrétumok rögzítésére szolgál, ebben az esetben a manipulálásnak, a kollázs technikának köszönhetően, minden puritánsága ellenére egyszerre volt más és több, mint egy fekete-fehér dokumentáció. A konkrét helyszínek, elkapott történések képeit filmkockaként összekapcsolva egy saját történet pereg le a néző előtt. Mutatva, hogy kollektív és egyéni emlékezésrétegek borítják a fizikai teret, ahol nap mint nap áthaladunk.

SZERZŐI NYILATKOZATOK

A képek felhasználása az alkotók engedélyével történt.

REFERENCIÁK

- KESZEI A., 2015. „Hely, identitás, emlékezet”, in: *Hely, identitás, emlékezet*, szerk. Keszei András – Bögre Zsuzsanna, L'Harmattan Kiadó, Budapest, 13.
- DÚLL A., 2009. *A környezetpszichológia alapkérdései*. Helyek, tárgyak, viselkedés, L'Harmattan Kiadó, Budapest, 69.
- BACHELARD, G., 2011. *A tér poétikája*, Kijárat Kiadó, Budapest, 22.
- BACHELARD, G., 2011. *A tér poétikája*, Kijárat Kiadó, Budapest, 7–8.
- BACHELARD, G., 2011. *A tér poétikája*, Kijárat Kiadó, Budapest, 22–23.
- DÚLL A., 2015. „Amikor messze van az „odakinn” az „idebenn”-től: a helyválttatás és az identitás összefüggései”, in: *Hely, identitás, emlékezet*, szerk. Keszei András – Bögre Zsuzsanna, L'Harmattan Kiadó, Budapest, 20.
- DÚLL A., 2015. „Amikor messze van az „odakinn” az „idebenn”-től: a helyválttatás és az identitás összefüggései”, in: *Hely, identitás, emlékezet*, szerk. Keszei András – Bögre Zsuzsanna, L'Harmattan Kiadó, Budapest, 22.
- DÚLL A., 2015. „Amikor messze van az „odakinn” az „idebenn”-től: a helyválttatás és az identitás összefüggései”, in: *Hely, identitás, emlékezet*, szerk. Keszei András – Bögre Zsuzsanna, L'Harmattan Kiadó, Budapest, 21.
- AUGÉ, M., 2012. *Nem-helyek – Bevezetés a szürmodernitás antropológiájába*, Múcsarnok, Budapest.
- NŐK, PORTRÉK, PONGYOLÁK, 2013. egyéni kiállítás, Kiscelli Múzeum, Budapest.
- „HOME, SWEET HOME (AZ OTTHONRÓL ÉS AZ OTTHONTALANSÁGRÓL)”, 2022. installáció, *Heterotópia* – Katalizátor díj finalisták, csoportos kiállítás, Godot Kortárs Művészeti Intézet, Budapest.
- KESZEI A., 2015. „Hely, identitás, emlékezet”, in: *Hely, identitás, emlékezet*, szerk. Keszei András – Bögre Zsuzsanna, L'Harmattan Kiadó, Budapest, 11–19.
- NAGYVÁROS BRAND, 2018. csoportos kiállítás együttműködésben az MKE Képzőművészet-elmélet tanszék hallgatóival, FUGA Kortárs Építészeti Központ, Budapest, Fotóhónap 2018.
- VÁROSVÉGI FILMEK, 2016. egyéni kiállítás, Ámos Imre – Anna Margit Múzeum, Szentendre, Art Capital fesztivál.

VISUAL SPACES OF CHANGE – REPRESENTATION AND TRANSFORMATIONS OF PERSONAL PLACES

ABSTRACT

The article examines the transformations of urban spaces and the possibilities of their artistic expression beyond documentation, focusing on the visual representation of memories and experiences. Drawing from my own experiences as a creator and educator—including courses at the Institute of Creative Industries at the University of Sopron, at the Hungarian University of Fine Arts and the MATE Rippl-Rónai Art Institute—I explore how physical space becomes a carrier of personal and collective identity. In collaboration with my students, I engage in the study of emotionally charged places that contribute to the formation of self-definition as part of a broader concept known as „psychological geography.” The theoretical underpinnings of this approach are rooted in the seminal contributions of Gaston Bachelard, particularly his conceptions on the poetics of space, and the environmental psychology approach pioneered by Andrea Dúll. In the resulting visual works, the document of a specific place and the memories associated with it are condensed into a new, present-day spatial experience.

Keywords: place identity, environmental psychology, art education, personal narrative

SZUBJEKTÍV MINŐSÉG ÉS FENNTARTHATÓ BÚTORVÁSÁRLÁS

BODORKÓS DÁNIEL^a, DR. ZALAVÁRI JÓZSEF^a, DR. HORVÁTH PÉTER GYÖRGY^a

^a Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, 9400 Sopron

email: BodorkosDaniel@phd.uni-sopron.hu; zalavari.jozsef@uni-sopron.hu;

horvath.peter.gyorgy@uni-sopron.hu

DOI: <https://doi.org/10.35511/978-963-334-570-2-14>

ABSZTRAKT

A fogyasztói magatartás kutatásában egyre hangsúlyosabb szerepet kap a minőség és a fenntarthatóság kérdésköre. A vizsgálat célja, hogy feltárja a felhasználói, befogadói oldal gondolkodásmódját a különböző termékekhez kapcsolódóan, különös tekintettel arra, hogy miként értelmezik a minőséget és milyen tényezőket tartanak meghatározónak a fenntarthatóság szempontjából. E tényezőkkel szimultán a vizsgálat fókuszát a bútortvásárlói magatartás is képezi. A kutatás kiindulópontját egy kvantitatív kérdőíves felmérés adja, amely zárt és nyitott kérdések kombinációjával igyekszik feltérképezni a fogyasztói attitűdöket, elvárásokat és preferenciákat. A célcsoport széles társadalmi és demográfiai spektrumot ölel fel, lehetővé téve a különböző nézőpontok összehasonlítását.

Kulcsszavak: personalizáció, ökodesign, minőség, fenntarthatóság

1. BEVEZETÉS

A vizsgálat a fiatal és középkorú korosztályra irányuló, szélesebb körű kutatás megalapozását célozza, ezért az abból származó eredmények és következtetések releváns kiindulópontként szolgálhatnak a további vizsgálatokhoz.

A jelenlegi metamodern korban, melyben a fogyasztói társadalom (*Rekettye, 1997*) tevékenysége kiemelt jelentőségű fontos hangsúlyozni azokat a vásárlói attitűdöket, melyek meghatározzák a piac alakulását (*Hofmeister-Tóth, 2016*). Jellemző tendencia, hogy bútortvásárlásnál a fenntartható anyagok és megoldások választása nem élvez prioritást, mert különböző komplex tényezők megelőzik e részletet (*Xu és tsai., 2019*). A „komplex tényezők” alatt az érzékenységet és a minőségi megoldások mellőzését, háttérbe kerülését értjük. A minőség mellőzése az olyan alternatív megoldásokra értendő, hogy különböző helyettesítő vagy egyszer használatos termékeket választunk és használunk ahelyett, hogy egy hosszabb élettartalmú „longlife product”-ot választanánk. Ilyen tárgy lehet például egy csavarhúzó vagy egy silányabb minőségű bútor ellentétben egy asztalos által készített bútorral. A „zöld” bútortvásárlási szándékát a szubjektív norma, a viselkedési kontroll, a magasabb árat fizetendő hajlandóság, a környezettudatosság és az egészség tudatosság határozza meg (*Xu és tsai., 2019*). E tényezőkkel szimultán a jelenlegi gazdasági tényezők is meghatározó szerepet játszanak e folyamatban. Melyek számos akadályt tartalmaznak, amelyek eltántorítják a fogyasztókat a fenntarthatóbb alternatívák választásától. Ilyen okok lehetnek, hogy egyes környezetbarát,

fenntartható termékek drágábbak, ezáltal sokak számára nem bizonyulnak vonzónak (*Andrade és tsai., 2025*).

Az imént megfogalmazott kijelentésekre, tényekre kerestük a válaszokat, okokat és meghatározásokat, a kutatás egy szűkebb felhasználóikör részvételével folyt. A kvantitatív kutatás során a standard online kérdőíves interjú alkalmaztuk a kutatott terület analízisére. A kapott eredményeket a kutatás során rögzítettük, elemeztük és kiértékeljük.

2. IRODALOMÁTTEKINTÉS

Az egyéni szubjektív terén végzett kutatáshoz adekvát módon kapcsolódik az egyén személyes motivációinak a vizsgálata, megismerése. Mindezen tényezők mellett kiemelt pozícióba kerül a minőség és a fenntarthatóság szakirodalmi definíciója. A szakirodalommal párhuzamosan figyelembe kell venni az egyéni szubjektív területen jelenlévő gondolatokat és tevékenységeket, hogy e kettő az elméleti és az alkalmazott minőség, fenntarthatóság mennyire van egyensúlyban. A megállapításokhoz és a következtetések levonásához nagyban hozzátartozik a fogyasztói értékek és a trendek megismerése. A fogyasztói magatartás vizsgálatával kapcsolatban a szakirodalomban (*Pólya–László, 2019*) releváns megállapításokat „Fogyasztói létünk, fogyasztóként való gondolkodásunk mindennapjainkra, legtöbb hétköznapi tevékenységünkre valamilyen formában hatást gyakorol, sok esetben nem is választható el ezektől a cselekedeteinktől élesen (*Pólya–László, 2019*)”. E tényekre alapozva, az egyén/felhasználó motivációit tekintve több szegmenset érdemes vizsgálni, mint például az énkép kialakulása mely az önészlelésben ölt alakot (*Mowen, 1987*). A fogyasztók hajlamosak olyan márkákat preferálni, amelyek koherenciát mutatnak saját énképükkel, illetve konzisztensnek bizonyulnak a róluk mások által kialakított képpel (*Kotler–Keller, 2006*). Az énképpel szimultán jelen van az életmód és az értékek, ami egy befolyásolási faktorként jelenik meg a termékek vásárlása esetében. Az életmód az egyén fogyasztási döntéseiben tükröződik, amelyek idő- és pénzfelhasználásában nyilvánulnak meg. E döntési mintázatok gyakran összefüggésben állnak azokkal az értékekkel és attitűdökkel, amelyek a fogyasztói magatartás alapját képezik (*Solomon, 2006*). Az életmódból tudunk arra következtetni, hogy az egyén, a fogyasztó milyen módon használja fel a jövedelmét a különböző javak, tárgyak, eszközök, belsőépítészeti tárgyak, makró architektúrák tekintetében (*Hofmeister-Tóth, 2017*). Az életstílus összetett jelenség, amelyet a fogyasztók által igénybe vett termékek és szolgáltatások köre, a végzett tevékenységek, az érdeklődési területek, a vélemények, az értékrendszer, a személyiségjegyek, az énkép, valamint a termékekkel és márkákkal kapcsolatos attitűdök egyaránt meghatároznak, „Az életmód ugyanakkor egyfajta csoportképzőként is működhet, megmutatja az egyén csoporthoz tartozását. Ugyanis az életmód jóval több annál, mint hogy az egyén hogyan gazdálkodik a szabadon elkölthető jövedelmével. Sokkal inkább mutatja azt, hogy ki tartozik egy bizonyos társasághoz és ki nem (*Pólya–László, 2019*).”

Főhipotézis: A fogyasztók bútorvásárlási döntéseit nem kizárólag racionális szempontok alakítják, hanem azokat jelentősen befolyásolja a termékekkel kapcsolatos információhiány, az érzelmi impulzusok és a társadalmi megfelelési kényszer; ezért a forgalmazók és designerek edukációs szerepe meghatározó lehet a fenntarthatóbb döntések elősegítésében.

A vásárlói döntés során arra kell asszociálni, hogy a fogyasztók döntéseikben racionálisak, a szükségleteik kielégítésével kapcsolatban rendelkeznek a kellő mennyiségű információval, mind a piacviszonyok, a kínálat, anyagtulajdonságok a bútorok területén, illetve az árak az ismeretében. Azonban a valóság ettől eltérő képet tendenciát mutat. A fogyasztókat különböző impulzusok

érik egy-egy termékkel kapcsolatban, mely megnehezíti a döntéshozatalt, mint a reklámok, nem elegendő információ a termék tulajdonságával kapcsolatban (*származási hely, előállítási módok stb.*), érzelmi befolyásoltság, mint például a társadalmi szint, megfelelési kényszer stb. E dolog elkerülése érdekében a forgalmazóknak és a designereknek fontos feladata lehetne az edukációnak ezzel kapcsolatban, hogy a termék, a vizsgált esetünkben a különböző bútorok milyen paraméterekkel rendelkeznek, mind a felhasznált alapanyagokat, mind az előállítást tekintve és a társadalmi szerepvállalást, hogy milyen módon kapcsolódik be a körforgásos gazdasági modellbe és a fenntartható bútortervezés ideológiájába és módszertanába.

A fogyasztói magatartás megismerésével szimultán foglalkozni kell a termékek minőségével.

„A minőség értelmezése és a minőség biztosítása emberi mivoltunk alapvető része, így a minőség története az emberiség történetével azonos.” (Veress és tsai., 2005). A korszerű minőségügy szemlélete szerint a termelési és fogyasztási folyamatok minősége azon érintettek – elsősorban a fogyasztók, a termelők és a társadalom – értékítéletén alapul, akik közvetlenül kapcsolódnak ezekhez a folyamatokhoz. Ez az értékítélet arra vonatkozik, hogy a folyamatok mennyire képesek kielégíteni az érintettek igényeit, vagyis, hogy az igények teljesítése révén mekkora értéket kapnak. Ennek megfelelően a minőség maga egy adott érték (Veress és tsai., 2005). A minőség fogalma a szakirodalom alapján e definíció alapján meghatározható: „A minőség a hétköznapi életben használt és értelmezett kifejezés, valaminek a jóságát mérjük vele. Ha közelebbről nézzük, akkor a minőség nem más, mint egy termék vagy szolgáltatás (*illetve folyamat, rendszer vagy bármi más*) megfelelése szempontjainknak. Egy termék jobb minőségű, mint a másik, ha jobban teljesít. Például tartósabb, szebb, megbízhatóbb, márkásabb stb.” (Szintay és tsai., 2011).

A minőség vonatkozásában a Total Quality Management (TQM) módszert emelnénk ki. Azt a következtetést vonhatjuk le, hogy „a külső értelmező szempontjából egészen napjainkig a mérés és elemzés jelenti a minőségügyet (Veress és tsai., 2005).” Az innovatív mechanizmusok által megjelent a TQM szemlélet, ahol a releváns értékeket, a folyamatok együttesét szükséges figyelembe venni és elemezni (Veress és tsai., 2005). Fő célja a vevői elégedettség tartós növelése a folyamatos fejlesztésen keresztül, miközben a vállalat egészének és a társadalomnak is előnyöket teremt. Lényegében a TQM egy olyan minőségkultúra megteremtését jelenti, amely a vevői elvárások folyamatos, nyereséges teljesítésére épül.

A fenntarthatóság vizsgálata és érvényesítése elengedhetetlen tényező a jelenlegi korunkban. A modern társadalom számára egy kihívás, egy feladat, amelyet nem szabad elhanyagolni. A fenntarthatóság olyan társadalmi-gazdasági és környezeti paradigmát jelöl, amely a jelen szükségleteinek kielégítését oly módon biztosítja, hogy az ne korlátozza a jövő generációk képességét saját igényeik teljesítésére, kielégítésére. E koncepció központi eleme a természeti erőforrások felelős és takarékos hasznosítása, az ökológiai egyensúly fenntartása, a társadalmi igazságosság és esélyegyenlőség előmozdítása, valamint a gazdasági prosperitás fenntartható formáinak megvalósítása (UN).

3. ELMÉLETI KUTATÁS

A kvantitatív online kérdőív a „Szubjektív minőség és fenntartható bútortvásárlás” címet viseli. A felhasználói, befogadói oldal véleményének feltérképezésére irányult az alap kutatás. A kérdőív elkészítéséhez a Google Úrlapok nevű platformot használtuk. Melyben a kérdések között szerepeltek feleletválasztós, rangsoroló és saját vélemény megfogalmazását lehetővé tevő nyílt kérdés típusok.

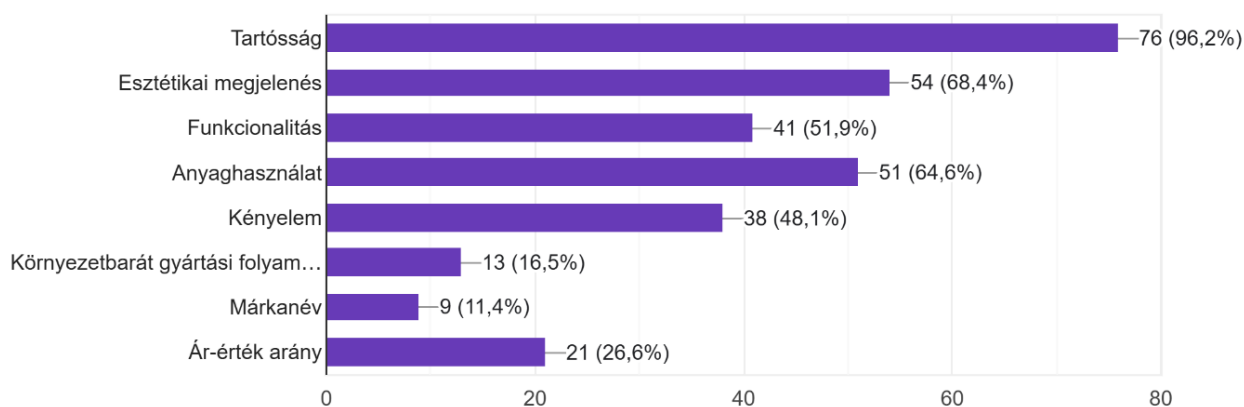
A kérdőívek kiküldése online formában történt. Melyre a klasszikus e-mail címes kézbesítés és a közösségi média felületek által nyújtott lehetőségeket vettük igénybe. A beérkezett eredmények szűrése után hetvenkilenc kérdőív bizonyult alkalmasnak a kutatásban történő további elemző munka elvégzésére. A kérdőívet 2025 júniusában tettük közzé. Az űrlapok beérkezése folyamatos volt, bár a nyári időszakra való időzítés során érzékelhető volt egy kisebb mértékű lassulás a kitöltéseknél. E konklúziók alapján tervezzük a kérdőívet új modulokkal kiegészítve megismételni az „aktív” időszakban, mely az ősz-tél-tavaszi időintervallumot foglalja magában. Illetve a kérdőíves, mélyinterjú kutatást nemzetközi vonatkozásban is közzétenni. Különböző adatokat és véleményeket gyűjtöttünk azzal kapcsolatban, hogy ki milyen módon és mélyrehatóan gondolkodik a minőségről és a fenntarthatóságról. Ebben a tanulmányban néhány a meta korunkra vonatkozó kérdéseket tettünk fel a teljesség igénye nélkül, de a kapott válaszok, melyeket rögzítettünk és elemeztük, már az is hasznosan járulhat hozzá a vásárlók fenntarthatósággal és minőséggel összefüggő motivációival és döntéseivel.

A kérdőíves megkérdezés során a társadalom különböző korosztályától érkeztek be válaszok, ezek közül jelentős a 25-34 év közötti korosztály részvétele, arányaiban ezt követi a 35–44 éves korosztály. A minta demográfiai összetétele alapján a nemek szerinti megoszlásban a férfiak dominanciája volt megfigyelhető. A lakóhely szerinti differenciálás mentén megállapítható, hogy a válaszadók körében a megyeszékhelyen élők aránya meghaladta az egyéb településtípusokon élőkét. Ez az eloszlás arra enged következtetni, hogy a vizsgált minta bizonyos társadalmi-demográfiai jellemzők mentén koncentráltabb képet mutat.

A szakirodalmi minőség meghatározására sor került jelen tanulmányban, ezzel párhuzamba állítanánk azt a táblázat, mely alapján a fogyasztók által került definiálásra.

Ön szerint mit jelent a "minőség"? Kérjük, válassza ki az Ön számára leginkább megfelelő jellemzőket! (Több válasz is megjelölhető)

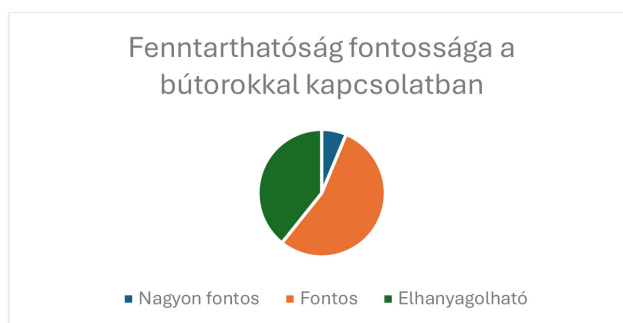
79 válasz



1. ábra. „Ön szerint mit jelent a „minőség”? Forrás: szerző

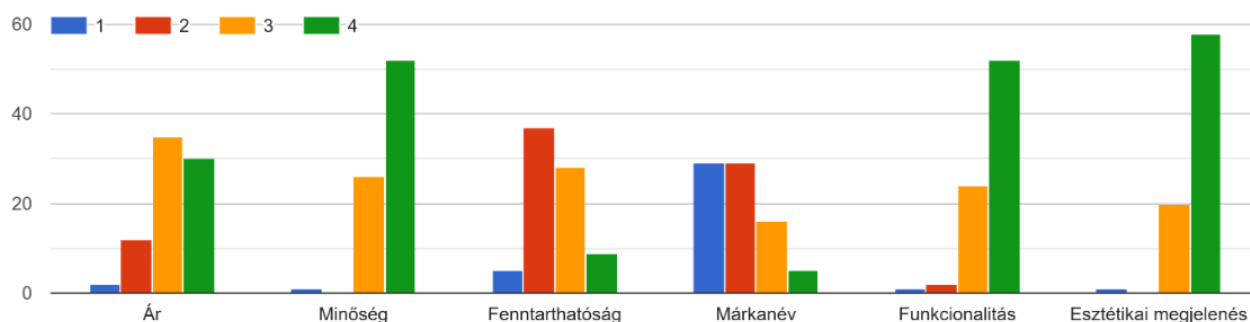
Az „1. ábra, Ön szerint mit jelent a »minőség«?” mellékelt ábrán leolvasható, hogy a fogyasztók a minőséget a tartósság, esztétikai megjelenés és anyaghasználattal hozzák összefüggésbe. Ezt követi a funkcionalitás, mely egy marginális pontja a termékeknek. A márkanévre elég fontos tényezőként tekinthetünk, ennek ellenére a válaszadók 11,4%-a hivatkozott a márkanévekre, mint minőségjelzőre. Ebből arra lehet következtetni, hogy a márkahűség nem tölt be lényeges pozíciót a termékek minőséggel való meghatározásában.

A minőséggel szimultán kerestük a fogyasztók, a felhasználók motivációi közül a fenntarthatóságot is (melyet a 2. ábra szemléltet), mint elemi tényezőt a döntéshozatal tekintetében. A kérdőív eredményei szerint a válaszadók 43%-a fenntarthatóságot releváns tényezőként jelölte meg. Ez az arány arra utal, hogy a vizsgált populáció közel felénél a környezeti szempontok már beépültek a döntéshozatali mechanizmusokba, ugyanakkor a többség számára még nem képeznek elsődleges prioritást. A kutatás során a fogyasztói tájékozottság dimenzióját vizsgáltuk annak feltárásával, hogy a válaszadók mely vállalatokat azonosítják olyan gazdasági szereplőként, amelyek esetében a környezeti hatások mérséklésére irányuló törekvések és fenntarthatósági vállalások adekvát módon integrálódnak a vállalati működésbe. A válaszadók körében az IKEA jelent meg leggyakrabban említett vállalatként, amelynek működésével kapcsolatban a fenntarthatóság kiemelt tényezőként került azonosításra.



2. ábra. Fenntarthatóság fontossága a bútorokkal kapcsolatban. Forrás: szerző

Mennyire fontosak Önnek az alábbi szempontok bútorvásárláskor? (1-től 4-ig terjedő skálán értékelje, ahol 1 = egyáltalán nem fontos, 4 = nagyon fontos)



3. ábra. Bútorvásárlási szempontok. Forrás: szerző

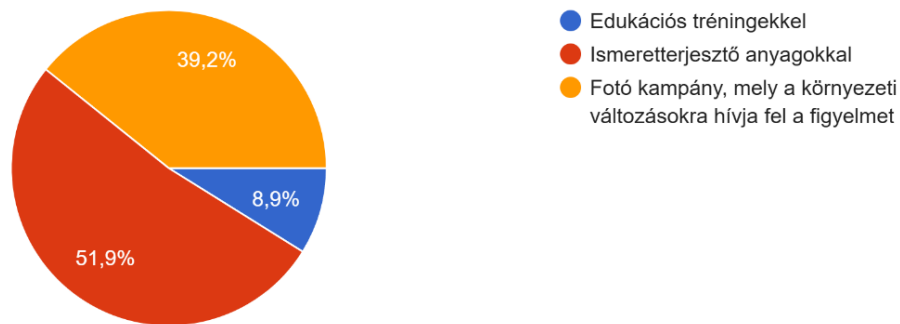
Az empirikus megközelítéseken alapuló online kérdőívünk során kitértünk azoknak a tényezőknek a vizsgálatára, melyek prioritást élvezhetnek a vásárlói döntés meghozatalának pillanatában. Az egytől négyig terjedő skálán az érzékenységi, minőségi, fenntarthatósági, márkanev, funkcionalitás és nem utolsósorban az esztétikai megjelenés számmal kifejezhető arányait vizsgáltuk. A beérkezett és feldolgozott válaszok alapján (3. ábra) arra a következtetésre jutottunk, hogy a legmeghatározóbb tényezők között a termék esztétikai megjelenésének tulajdonítottak a válaszadók nagyobb jelentőséget (58 válaszadó). Ezt követte egyenlő arányban a minőség és a funkcionalitás (52-52 válaszadó). A fenntarthatósági entitások csekély arányban alulmaradtak a prioritást élvező tulajdonságok sorában (9 válaszadó).

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1.1. AZ EDUKÁCIÓ ÉS A KAMPÁNYOK

Hogyan ösztönöznék az embereket arra, hogy fenntartható bútorokat vásároljanak?

79 válasz



4. ábra. Az edukáció és kampányok. Forrás: szerző

A vizsgált témával kapcsolatban felmerült egy olyan a további munkákat meghatározható felvetés, hogy milyen mozgalmakkal, kampányokkal lehetne a társadalmat edukálni a fenntartható bútorvásárlással kapcsolatban. A beérkezett és elemzett válaszok alapján azt a konzekvenciát vontuk le (melyet a 4. ábra szemléltet), hogy különböző ismeretterjesztő anyagok és a fotó kampányokon keresztül prezentált környezeti változások, melyek magukba foglalják a komplex szimbiotikus ökoszisztémák aktuális helyzetét és az éghajlatban, a globális szférában megfigyelhető és tapasztalható változásokat alapvető elemként kellene tekinteni a további folyamatok elindításában, mivel ezek jelentős hatással vannak az emberekre. Az ismeretek és a fenntarthatóság fontosságának érvényesítésében maguk a designerek is kulcsszerepet tölthetnek be, egy indikátorként funkcionálhatnak a folyamatok pozitív irányba történő előmozdításában. A designer aktív társadalomformáló szerepét klasszikusan Victor Papanek fogalmazza meg, amikor a tervezőt nem semleges formaképzőként, hanem társadalmi és morális felelősséggel bíró szereplőként írja le. Ezt jól egészíti ki Ezio Manzini, aki szerint a design a fenntarthatóság felé mutató társadalmi innováció egyik közvetítője, ahol a szakértői és a közösségi cselekvés összekapcsolódik. Erre a jelenlegi kortárs társadalmunkban kiemelnénk Shigeru Ban

japán építész, Anna Heringer német építész és Jeanne Gang (USA) aki a biomimikri és az ökológiai várostervezés alkalmazója. Magyarországi vonatkozásban pedig a Hello Wood csapatát, akik ideiglenes, moduláris rendszerben szerveződő faépületekkel meghatározó szereplőként vannak jelen e mozgalomban. A divat ipar vonatkozásában a sneaker kultúrából és streetwear vonalról ismert Trunk Tamás által népszerűsített PFEMU márkával. A cél az lenne, hogy mindenki szerepet vállaljon a lehetőségeihez mérten, akárcsak a „gondolkozz globálisan, cselekedj lokálisan” mozgalom.

5. EREDMÉNYEK

A kutatás pilot jellegű, vagyis elsődlegesen feltáró és előkészítő funkciót tölt be: célja a vizsgálati szempontok, kérdésfeltevések és módszertani eszközök tesztelésére irányult.

E kutatás során összegyűjtött és rendszerezett adatokat analizálva és mérlegelve azt a következtetést lehet levonni, hogy az egyéni szubjektivitás során a minőségi termékek iránti igény meghatározó jellegű. A kutatás egyes elemeit kvalitatív és kvantitatív módszerek alkalmazásával validáltunk. A kutatások részletes bemutatását a terjedelmi korlátok és a fókusz megőrzésének szükségessége indokolta. A fogyasztói társadalmat a fenntartható forrásból származó, időtálló termékek használatára és választására kell rávezetni.

A kutatás eredményei összességében azt igazolják, hogy a bútortvásárlási döntések nem tekinthetők kizárólag racionális folyamatnak, mivel azokban az objektív termékjellemzők mellett meghatározó szerepet játszanak a szubjektív, érzelmi és társadalmi tényezők is. Ezzel párhuzamosan ugyanakkor kirajzolódik, hogy a fogyasztók a tartósabb, javíthatóbb és fenntarthatóbb tulajdonságokkal rendelkező bútorokat magasabb minőségi kategóriába sorolják. Ez arra utal, hogy a fenntarthatósági szempontok megfelelő edukáció és transzparens kommunikáció mellett integrálhatók a fogyasztói minőségértelmezésbe. A fenntartható bútorfejlesztés sikeressége ezért a jövőben nemcsak a termékek technikai fejlesztésén, hanem a fogyasztói tudatosság formálásán is múlik.

A fenntartható bútorfejlesztés kulcsa a fogyasztói szemléletformálás mellett a termékek műszaki optimalizálása: az alkatrészek cserélhetősége, a szétszerelhetőség és az újrahasznosított alapanyagok beépítése. A kutatás eredményei azt mutatják, hogy a felhasználók a hosszabb élettartamú, javítható és természetes felületkezeléssel ellátott bútorokat hajlamosak magasabb minőségi kategóriába sorolni.

A műszaki optimalizálás mellett kiemelten fontos a különböző faalapú termékek életciklus elemzése és modellezése. A termékek esetében, a fenntarthatóságra való igény a tervezés első 80%-ban dől el (*European Commission, 2020; Charter–Tischner, 2001*). A fát, mint alapanyagot általában fenntartható anyagként definiálják. De e definíció alátámasztására rendkívül fontos az LCA (*életciklus elemzés*) mellett az LCD – Life Cycle Design. Az életciklus tervezése magában foglalja az anyaginnovációkat és kísérleteket, melyek a fenntartható tervezési stratégiák alapelemei. Az anyagok vonatkozásában a termelési optimalizálások esetében az anyagcsökkentés is kiemelt tényező, például 1 m³ forgácslap előállításához 687 kg száraz faalapú anyagot, körülbelül 72 kg karbamid-formaldehid gyantát és 18 gramm kenőanyagot és egyéb erőforrások felhasználásával együtt kb 507 MJ összesített energiát használnak fel (*González–García és tsai., 2019*). A véleményünk szerint, melyet a kutatás eredményei által definiáltunk, az alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy az alapanyagok csökkentéséhez a komplex anyaginnovációk, a megújuló energiaforrások integrálása a gyártási mechanizmusba és az ökodesign alapelveinek alkalmazása hozzájárulhat a fenntartható termékek tervezéséhez és optimalizált gyártásához, mely által a felhasználók szélesebb köréhez juthat el.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen tanulmány a teljesség igénye nélkül vizsgálta a bútortvásárlási szokásokat és motivációkat. Az empirikus kvantitatív kutatásban a 79, kérdőív által megkérdezett személy/felhasználó egy kiindulási alapként szolgál. A kutatás mélyebb szintjeinek a megismerése további munkát igényel, mely a jelenleg vizsgált tényezőket több szegmensre igyekszünk kiterjeszteni.

SZERZŐI NYILATKOZATOK

BODORKÓS DÁNIEL – Szerző, ábrák készítése, írás, módszertan, vizualizáció

ZALAVÁRI JÓZSEF – Szerző, kutatás vezetője, koordinátor, írás – áttekintés és szerkesztés, konceptualizálás

HORVÁTH PÉTER GYÖRGY – Szerző, kutatás vezetője, koordinátor, írás – áttekintés és szerkesztés, konceptualizálás

REFERENCIÁK

HERINGER, A., 2025. Vision. Elérhető: <https://www.anna-heringer.com/vision/>
(Megtekintve: 2025. 11. 26.)

YANG, D., 2023. The Application of Life Cycle Assessment in Sustainable Furniture System Design. In: Francisco Rebelo – Zihao Wang (szerk.): *Ergonomics in Design*. AHFE International, Proceedings of the 14th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2023), July 20–24, 2023, San Francisco, USA, 590–600. <https://doi.org/10.54941/ahfe1001987>
(Megtekintve: 2025. 10. 23.)

SZINTAY I.–BERÉNYI L.–TÓTHNÉ KISS A., 2011. *Minőségügy alapjai*. Miskolci Egyetem Vezetéstudományi Intézet. Elérhető: <http://www.szervez.uni-miskolc.hu/blaci/minmen/index.html>
(Megtekintve: 2025. 10. 23.)

ECOCHAIN, 2024. Guide to Sustainable Product Design.
Elérhető: <https://ecochain.com/blog/guide-to-sustainable-product-design/>
(Megtekintve: 2025. 09. 21.)

ANDRADE, E. B.– VIEITES, Y., 2025. Obstacles and opportunities for sustainable consumption: A comprehensive conceptual model, literature review, and research agenda.
<https://doi.org/10.1002/jcpy.70003>
(Megtekintve: 2025. 11. 22.)

ENET INTERNETKUTATÓ KFT., 2018. Tíz év alatt tízszeresére nőtt a magyar e-kiskereskedelem.
Elérhető: <https://enet.hu/hirek/tiz-ev-alatt-tizszeresere-nott-a-magyar-e-kiskereskedelem/>
(Megtekintve: 2025. 11. 22.)

EUROPEAN COMMISSION, 2020. *Circular Economy Action Plan: For a Cleaner and More Competitive Europe*. Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2779/05068>
(Megtekintve: 2025. 11. 22.)

GELENCSÉR A., 2023. *Ábrándok bűvöletében*. Akadémiai Kiadó Zrt., ISBN 9789634548997.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S. ET AL., 2019. Cross-country comparison on environmental impacts of particleboard production in Brazil and Spain. *Resources, Conservation and Recycling*, 150, 104434.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104434>
(Megtekintve: 2025. 12. 05.)

DYER, H. 2021. *Kis Zöld Könyv – Éljen fenntarthatóan*. Gingo Kiadó, ISBN 9786156326027.

HOFMEISTER-TÓTH ÁGNES 2016. Fogyasztói értékek, trendek és magatartás. *Vezetéstudomány*, XLVII. évf., Marketingtudományi különszám.

HOFMEISTER-TÓTH Á.–KASZA-KELEMEN K.–PISKÓTI M., 2013. A környezetbarát fogyasztói magatartás motivációinak és a pszichográfiai tényezők hatásainak vizsgálata Magyarországon. *Marketing & Menedzsment*, 2013/3.

HORVÁTH L., 2024. *A vásárlói szokások alakulása hazánkban 2023-ban*. Szakdolgozat. Pannon Egyetem Gazdálkodási Kar, Zalaegerszeg.

HORVÁTH Zs., 2016. *Fenntartható fejlődés – Fenntartható termelés és fogyasztás az Európai Unióban*. Dialóg Campus, ISBN 9789638988966.

HUSZÁR A.–RÁDAY D.–TÓTH K.: HelloWood.
Elérhető: <https://hellowood.eu/hu/r%C3%B3lunk>
(Megtekintve: 2025. 11. 14.)

GANG, J., 2025. Elérhető: <https://studiogang.com/people/jeanne-gang/>
(Megtekintve: 2025. 12. 05.)

BENDELL, J.–READ, R., 2021; MAGYAR FORD.: STUMPF-BÍRÓ BALÁZS, 2023. *Mélyalkalmazkodás – Eligazodás az éghajlati káosz valóságában*. L'Harmattan Kiadó, Budapest, ISBN 9789636460181.

DUBLINO J., 2024. Facts vs. Emotions: When to Use Each Tactic to Make a Sale.
Elérhető: <https://www.business.com/articles/facts-vs-emotions-when-to-use-each-tactic-to-make-a-sale/>
(Megtekintve: 2024. 09. 21.)

KAESZ GY., 1978. *Ismerjük meg a bútorstílusokat*. Gondolat Kiadó, Budapest, ISBN 9632806425.

KOTLER, P.–KELLER, K. L., 2006. *Marketingmenedzsment*. Akadémiai Kiadó, Budapest.

KOVÁCS N., 2015. Az optimális ár meghatározásának módszere az értékteremtés szolgálatában. *Vezetéstudomány*, XLVI. évf., 12. szám.

MCKINSEY, 2018. The Business Value of Design.
Elérhető: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-design/our-insights/the-business-value-of-design>
(Megtekintve: 2025. 09. 20.)

MOWEN, J. C., 1987. *Consumer Behavior*. New York: Macmillan Publishing Company.

PAULOVITS M.–DOMOSZLAI R., 2021. Miért beszél mindenki az ESG-ről?

Elérhető: https://www.ey.com/hu_hu/strategy-transactions/miert-besz-el-mindenki-az-esg-rol

(Megtekintve: 2025. 09. 20.)

POGÁTSA Z., 2023. *Fenntartható gazdaság vagy társadalmi összeomlás*. Kossuth Kiadó, Budapest, ISBN 9789635449804.

PÓLYA É., 2012. *Családon belüli vásárlási döntési szerepek és folyamatok*. Doktori értekezés, Szent István Egyetem, Gödöllő.

PÓLYA É.–LÁSZLÓ É., 2019. *Fogyasztói magatartás*. Neumann János Egyetem Kiadó, Kecskemét, ISBN 978-615-5817-48-9.

PÓLYA É., 2018. A családon belüli vásárlási-döntési folyamatok komplex modellje. *Gradus*, 5(2), 117–122.

REKETTYE G., 2019. Az árak és a fogyasztói magatartás. *Marketing & Menedzsment*, 31(4), 25–31.

Elérhető: <https://journals.lib.pte.hu/index.php/mm/article/view/2109>

(Megtekintve: 2025. 09. 25.)

REKETTYE G., 2011. *Multidimenzionális árazás*. Akadémiai Kiadó, Budapest.

BAN, S., 2025. Elérhető: <https://shigerubanarchitects.com/>

(Megtekintve: 2025. 09. 25.)

SOLOMON, M. R.–BAMOSSY, G.–ASKEGAARD, S.–HOGG, M. K., 2006. *Consumer Behavior: A European Perspective*. London: Prentice Hall.

SOLOMON, M. R.–BAMOSSY, G.–ASKEGAARD, S.–HOGG, M. K., 2010. *Consumer Behavior: A European Perspective*. London: Prentice Hall.

JUNIPER, T., 2019. *Az ökológia nagykönyve*. HVG Kiadó Zrt., ISBN 9789635651047.

TÖRŐCSIK M., 2011. *Fogyasztói magatartás – Insight, trendek, vásárlók*. Akadémiai Kiadó, Budapest, ISBN 9789630591584.

TRUNK T.–PFEMU, 2025. Elérhető: <https://mohu.hu/hu/pfemu>

(Megtekintve: 2025. 09. 25.)

UN GENERAL ASSEMBLY, 2015. *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. Elérhető: <https://undocs.org/en/A/RES/70/1>

VERESS G.–BIRHER N.–NYILAS M., 2005. *A minőségbiztosítás filozófiája – érték, erkölcs, minőség, versenyképesség, kiválóság*. JEL Könyvkiadó, Budapest.

VÖRÖS J., 2003. A minőség figyelembevételének szükségessége az egyensúlyi állapot meghatározásában. *Közgazdasági Szemle*, 50(1), 6–21.

XIAOPING XU–SHANYONG WANG–YUGANG YU, 2019. Consumer’s intention to purchase green furniture: Do health consciousness and environmental awareness matter? <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135275>

XU, X.– WANG, S.– YU, Y., 2023. Research on the Whole Life Cycle of a Furniture Design and Development System Based on Sustainable Design Theory.

Elérhető: <https://www.mdpi.com/1999-4907/11/12/1277>

(Megtekintve: 2025. 09. 25.)

ZALAVÁRI J., 2008. *A forma tervezése – Designökológia*. Scolar Kiadó, ISBN 9789632440446.

ZALAVÁRI J., 2020. *Designjátékok – A forma tervezésének játéka és játszmái*. Scolar Kiadó, ISBN 9789635092598.

SUBJECTIVE QUALITY AND SUSTAINABLE FURNITURE PURCHASING

ABSTRACT

In consumer behavior research, the issues of quality and sustainability are playing an increasingly prominent role. The aim of this study is to explore the mindset of users and consumers in relation to different products, with particular attention to how they interpret quality and which factors they consider decisive from the perspective of sustainability. Alongside these aspects, the study also focuses on furniture purchasing behavior. The research is based on a quantitative questionnaire survey that combines closed-ended and open-ended questions in order to map consumer attitudes, expectations, and preferences. The target group covers a broad social and demographic spectrum, making it possible to compare different perspectives.

Keywords: personalization, ecodesign, quality, sustainability

RÉPCE-VIDÉKI PARASZTHÁZ REHABILITÁCIÓJA

VÉCS MARTIN LÁSZLÓ^a, HANTOS ZOLTÁN^b

^a Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, 9400 Sopron
email: VecsML22@student.uni-sopron.hu

^b Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, 9400 Sopron
email: hantos.zoltan@uni-sopron.hu

DOI: <https://doi.org/10.35511/978-963-334-570-2-15>

ABSZTRAKT

A tanulmány célja egy 1938-ban épült Répce-vidéki parasztház építészeti rehabilitációjának bemutatása, különös tekintettel a helyi népi építészet megőrzésére irányuló beavatkozásokra. A helyreállítási tervezés alapját helyszíni felmérések és építéstörténeti elemzések képezték, amelyek meghatározták a telekrendezés, a homlokzati karakter és a tetőforma helyreállításának szükségességét. A rehabilitációs javaslatok célja a hagyományos építészeti értékek visszaállítása és a településképi illeszkedés erősítése, egyúttal megalapozva az épület későbbi, faszerkezetes bővítésének lehetőségét. Az eredmények igazolják, hogy a helyi örökséghez igazodó helyreállítás képes egyszerre megőrizni az épület eredeti karakterét és támogatni annak jövőbeni korszerű bővítését és hasznosíthatóságát.

Kulcsszavak: Répce-vidék, épületrehabilitáció, népi építészet, stílusjegyek, értékmegőrzés

1. BEVEZETÉS

A Répce-vidék népi építésze sajátos településszerkezeti és formai stílusjegyeket őriz, amelyek a 18–19. századi fejlődés során alakultak ki, részben a német ajkú telepeselek építési hagyományainak hatására. A térség parasztházai a hosszanti, szalagtelkes beépítéssel, a vert- vagy vályogfalas szerkezetekkel, a díszített oromfalakkal, valamint az oszlopos, nyitott gáddal jellemezhetők. Ezek az épületek ma is meghatározó elemei a településképeknek, ugyanakkor állapotuk és későbbi átalakításaik sok esetben eltérítik őket eredeti karakterüktől (Gecse 2003, Varga 2015).

Jelen tanulmányunkban egy konkrét példán keresztül mutatjuk be, hogy miként lehet helyreállítani ezeket a népi építészeti jellemzőket a településképi illeszkedés, az örökségvédelem és a hiteles építészeti megjelenés kiemelt figyelembevételével. Azzal együtt, hogy kidolgozásra került a megőrzendő és helyreállítandó elemek köre, e rehabilitáció egyben elő is készíti az épület későbbi, kortárs faépítészeti elvekhez igazodó bővítésének lehetőségét is, amely azonban itt csak koncepcionális háttérként jelenik meg.

2. KONCEPCIONÁLIS CÉLKITŰZÉS

A rehabilitáció a Répce-vidéki épített örökség megőrzésére és kortárs újraértelmezésére épül. A vizsgált épület egy 1938-ban épült parasztház, amely több kisebb felújításon esett át, így homlokzati és szerkezeti részletei eltávolodtak a térségre jellemző hagyományos megoldásoktól. A rekonstrukció célja ezért az épület eredeti, helyi vonásokat hordozó stílusjegyeinek azonosítása és azok építészeti eszközökkel történő visszaállítása volt, ugyanakkor törekedtünk az olyan beavatkozások megvalósítására, amelyek biztosítják az épület későbbi hasznosíthatóságát is.

A jövőbeni új funkció – ginkészítő látványmanufaktúra – a térség gazdasági és kulturális hagyományaihoz illeszkedve ad majd új életet az épületnek, közösségi és turisztikai lehetőségeket teremtve. A meglévő épület autentizáló helyreállítását követően a végső koncepciónak megfelelően a faszervezetes bővítményben kap majd helyet egy fogadó- és vendégtér, amelyből egy üvegfalon keresztül válik láthatóvá a manufaktúra díszlejáró egysége. Az eredeti, korábbi parasztház falai között pedig a vendégek ellátásához és a manufaktúrális tevékenységhez szükséges kiszolgáló helyiségek kerülnek majd kialakításra.

Az új szárny a Rábaköz, a Kisalföld és különösen a Répce-vidék ezen településeinek építészeti sajátosságaihoz igazodva egyszerre hátrafele elnyúló alakot vesz fel (akárcsak a parasztház) és keresztbe is szeli a telket (akárcsak egy pajta), mindamellett, hogy egyben továbbhaladási lehetőséget biztosít a hátsókert irányába. Tanulmányunk a rehabilitációs tevékenységre fókuszál, ugyanakkor a CLT-szerkezetes bővítési koncepció megvalósíthatóságához a helyreállítási és faépítészeti tervek mellett szükséges az általunk itt kidolgozott rendezési tematika és műszaki javaslatok figyelembevétele is.

3. TELEPÜLÉS- ÉS ÉPÍTÉSTÖRTÉNETI DOKUMENTÁCIÓ

3.1. TELEPÜLÉSTÖRTÉNET ÉS ÉPÍTETT ÖRÖKSÉG

Répcevis a Nyugat-Dunántúl térségében, Győr-Moson-Sopron vármegyében, a Répce folyó völgyében helyezkedik el. A település első ismert írott említése 1221-ből származik, amely alapján feltételezhető, hogy a régió már a középkorban is folyamatosan lakott terület volt. A település neve a Répce folyóra, valamint egy korai személynévre vagy a vízközelségre utaló „Vis/vis” szóra vezethető vissza, ami a térség földrajzi és gazdasági adottságaira is rámutat. A település fejlődését a kedvező termőföldi adottságok és a víz közelsége egyaránt támogatták, így a falu már korán jelentős szerepet töltött be a környék agrártevékenységében.

A 16–17. századi török hódoltság időszakában a település – a régió több falujához hasonlóan – elnéptelenedett vagy jelentősen megfogyatkozott. A háborús pusztítások, adóterhek és fosztogatások következtében a lakosság jelentős része elmenekült, így a település társadalmi és gazdasági szerkezete átalakult. A falu újjáépítése a 18. században kezdődött meg, amikor német ajkú telepesek érkeztek a térségbe. A Habsburg-kormányzat ösztönző betelepítési politikájának eredményeképp létrejött telepes közösségek új építési hagyományokat, gazdálkodási módokat és kulturális mintázatokat hoztak magukkal. Ezek maradandó nyomot hagytak a településtörténetben és a népi építészet alakulásában.

A 18–19. század során Répcevis mezőgazdasági jellegű faluként fejlődött tovább. Ebben az időszakban alakult ki a település máig meghatározó, hosszú, szalagtelkes beépítési módja. A házak általában az utca felé oromzattal fordultak, mögöttük pedig gazdasági udvarok és melléképületek helyezkedtek el. A lakó- és gazdasági funkciók együttese határozta meg a falu szerkezeti ritmusát és

térbeli logikáját. A parasztházak hármass elrendezése – első szoba, középső konyha és hátsó kamra – a helyi agrárgazdálkodáshoz és családszerkezethez igazodott (Rácz 2005, Hoffmann 2001).

A népi építészet jellegzetes formai és szerkezeti elemei ebben a korszakban szilárdultak meg. A vert falú vagy vályogtéglás falazat, a fehérre meszelt homlokzatok, a cserépfedésű, egyszerű nyeregtetők, a faoszlopos nyitott gádorok és a díszített oromfalak a térség identitásának meghatározó elemeivé váltak. A gádor – amely a hosszú tornácos parasztházak egyik legjellegzetesebb építészeti motívuma – a közlekedés, a mindennapi használat és a reprezentáció kettős szerepét egyaránt betöltötte. A német telepések építési hagyományai több ponton gazdagították a helyi karaktert: egyes épületeknél pontosan illesztett nyílászárók, kőalapok és rendezettebb alaprajzi szerkezetek jelentek meg (Gecse 2003, Jávör 2009).

A 20. században a település agrárjellegét tovább megőrizte, ugyanakkor történelmi és társadalmi változások – így a világháborúk, a trianoni határváltozások és az 1950-es évek termelészövetkezeti átszervezései – jelentős hatást gyakoroltak Répcevis lakosságára és beépítésére. Az elvándorlás, a népességcsökkenés és az épületállomány részleges korszerűsítése egyaránt formálta a településkép alakulását. A rendszerváltást követően a település lassú, de folyamatos fejlődésnek indult, miközben a hagyományos beépítési szerkezet nagyrészt érintetlen maradt. A modernizáció ugyanakkor visszaszorította a korábbi agrárfunkciók egy részét, és több épület stílusjegyeiben megjelentek a 20. század végi átalakítások nyomai.



1. ábra. Répcevis nevezetes épületeit ábrázoló képeslap (1).

Forrás: [https://gallery.hungaricana.hu/en/search
results/?list=eyJxdWVyeSI6ICJURUxwFUFVMRVM9KFJcdTAwZTIwY2V2aXMpIn0](https://gallery.hungaricana.hu/en/search/results/?list=eyJxdWVyeSI6ICJURUxwFUFVMRVM9KFJcdTAwZTIwY2V2aXMpIn0)



2. ábra. Répcevis nevezetes épületeit ábrázoló képeslap (2).

Forrás: <https://gallery.hungaricana.hu/en/search/results/?list=eyJxdWVyeSI6ICJURUxUFUFVMRVM9KFJcdTAwZTIwY2V2aXNpIn0>

Napjainkban Répcevis csendes, kis lélekszámú településként működik, ahol a vidéki turizmus és a helyi identitás megőrzése egyre hangsúlyosabb célkitűzések. A fennmaradt parasztházak, a gazdasági melléképületek és a szakrális örökség elemei jelentős szerepet töltenek be a település kulturális értékeinek megőrzésében. Ezen épületek – köztük a jelen tanulmány tárgyát képező 1938-as lakóépület – a térség népi építészetének fontos dokumentumai, amelyek hiteles helyreállítása hozzájárul a településkép karakterének fenntartásához. A modern térképi adatok és helyszíni vizsgálatok egyaránt igazolják, hogy a falu szerkezete lényegében megőrizte történeti mintázatait, noha a korszerűsítések hatására a településkép rendezettebbé, ám kevésbé tradicionálissá vált (Fekete 2004, Rácz 2005).

Az épített örökség értelmezése szempontjából különösen fontos azon elemek azonosítása, amelyek a rehabilitáció során megőrzendők vagy helyreállítandók. A gádor, a díszes oromfal, a gazdasági udvar térbeli rendszere és a telekre fűzött melléképületek együttese olyan karakterjegyeket alkotnak, amelyek önmagukban indokolják az épület népi építészeti értéként való kezelését. A környék felmért épületei megerősítik, hogy a vizsgált parasztház e típus karakterisztikus képviselője, amely számos elemében őrzi a történeti építészeti hagyományok lenyomatait (Szentkirályi 1995).

A településtörténeti és építészeti örökségi elemzés összességében megalapozza a rehabilitáció szükségességét, egyúttal kijelöli azokat a stílusjegyeket és szerkezeti elemeket, amelyek a helyreállítás során irányadóként szolgálnak. A történeti háttér feltárása tehát nem csupán kontextust biztosít a helyreállítási folyamat számára, hanem kijelöli azokat a hiteles építészeti referenciákat is, amelyek nélkül nem lenne megvalósítható az épület eredeti karakterének visszaállítása.

3.2. TÖRTÉNETI TÉRKÉPEK ELEMZÉSE

Répcervis településének történetét és fejlődését az Első (1763–1787) és a Második (1806–1869) Katonai Felmérés térképei és a kataszteri térképek csakugyan részletesen dokumentálják (Fekete 2004). Ezek a térképek nemcsak a település szerkezetének és környezetének változásait rögzítik, hanem értékes információkkal szolgálnak számunkra a kor népi építészeti jellemzőiről is. A térképen együttes települést látunk, itt Teutsch Wisch, tehát Német Vis néven. Ugyanakkor a faluközösség körében közismert tény, hogy egykor (véltetően csak adminisztratív jelleggel) a falu két részre volt felosztva: Nemesvis és Káptalanvis részekre, ám ezek egymástól való tényleges elhatárolódására nincs konkrét írásos vagy térképészeti bizonyíték, mint ahogy az említett településrészek összeolvadásáról sem.



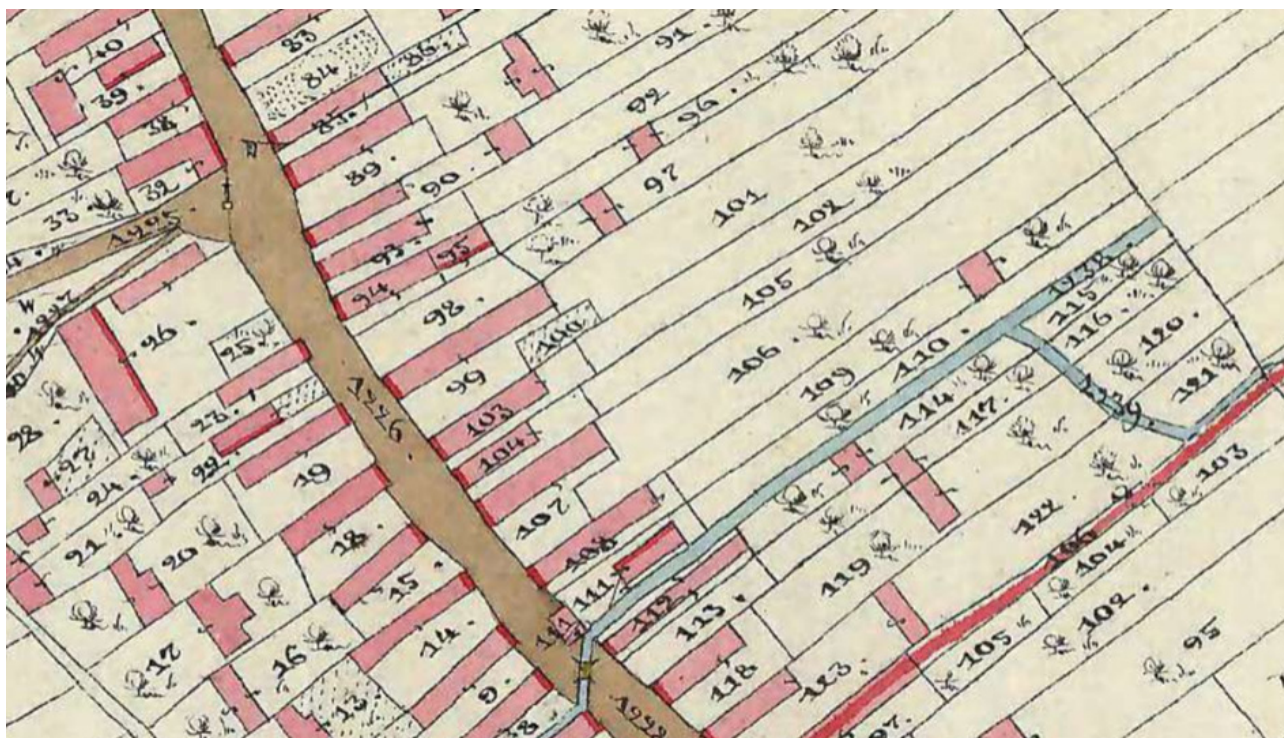
Forrás: <https://maps.arcanum.com/hu/map/firstsurvey-hungary/?layers=147&bbox=1848997.2326480637%2C6012494.150906484%2C186329.822650783%2C6017472.1123735566>

A Második Katonai Felmérés térképein tovább finomították az előző felmérés adatait. Ezeken a térképeken már pontosabban megfigyelhető a település fejlődése, az újonnan épült házak, gazdasági épületek és a mezőgazdasági területek változásai. A térképek részletesen ábrázolják a falu szerkezetét, a dűlőutakat, valamint a környező tájat. Kialakult és letisztult, hogy a falu két fő útirány keresztezésében áll, később ez adta a vasúti összekötés lehetőségét is Csepreggel. A térképrészlet terjedelmi korlátok miatt nem mellékeljük, ahogyan az 1914-es kataszteri térképet sem.

A felmérési térképek, és a mai, google alapú orthofotók alapján elmondható, hogy az infrastruktúra fejlődése és az agrártevékenységek visszaszorulása nyomán a falu képe rendezettebbé, de egyúttal kevésbé tradicionálissá vált, így a múlt öröksége és a jelen modernizációja sajátos egyensúlyt alkot.

3.3. TELEKTÖRTÉNET

A tanulmányunk tárgyát képező telek már a korábbi térképi ábrázolásokon is jól látható. Az alábbi, 1856-1860-as évekbeli kataszteri térképen például 104-es helyrajzi számmal került jelölésre, a kert pedig külön, 105-ös helyrajzi számmal szerepel. Ma a telket 169-es helyrajzi számmal tartja nyilván a Földhivatal.



4. ábra. A vizsgált telek (HRSZ 104) a település 1856-1860-as kataszteri térképén.

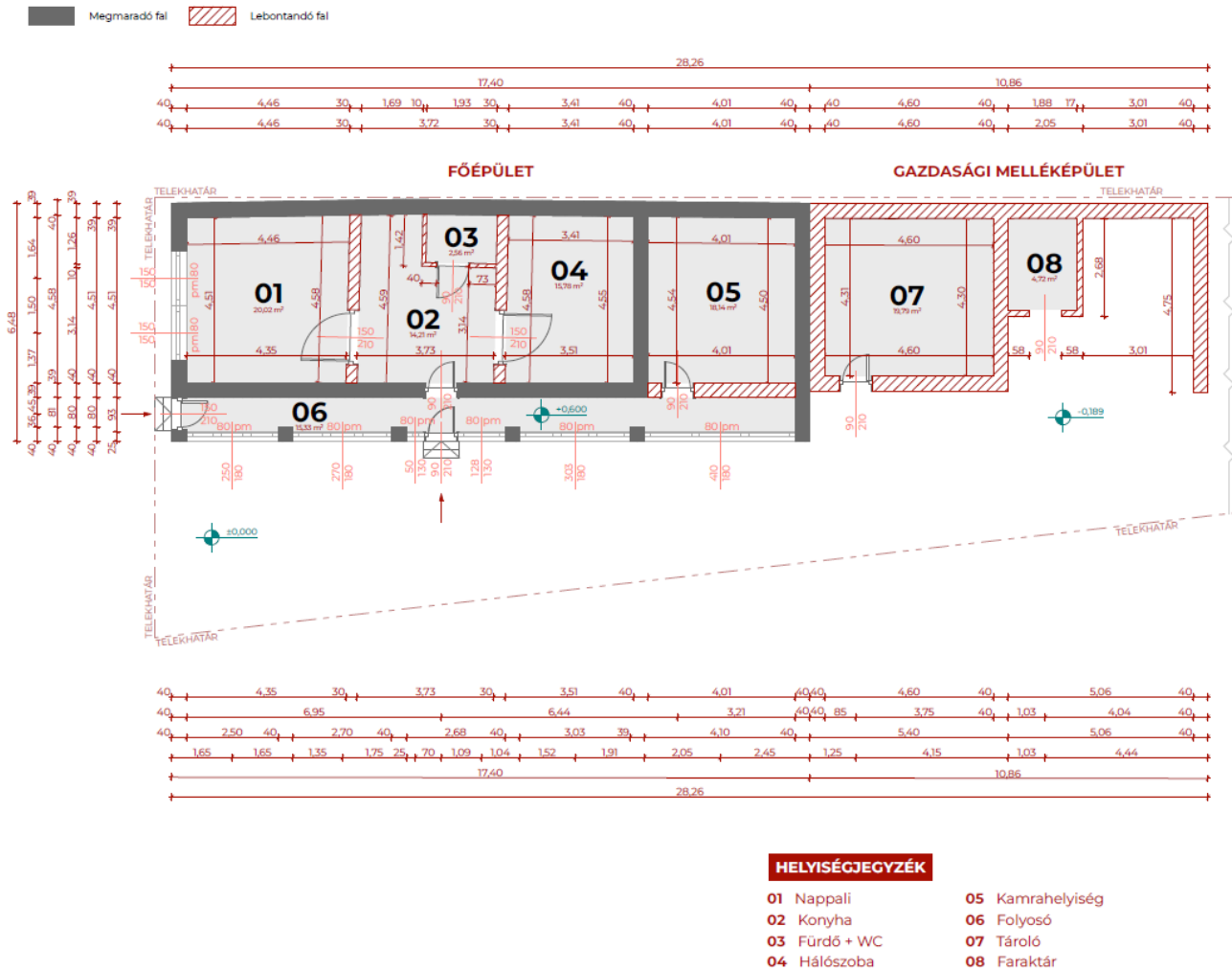
Forrás: <https://maps.arcanum.com/hu/map/cadastral/?layers=3%2C4&bbox=1818794.3712396757%2C6024141.8118410725%2C1847859.5512451138%2C6034097.734775217>

Az itt ábrázolt épület a vizsgált parasztház elődje. A szerző családtörténetéből ismerhető, hogy ez az épület a háborúk következtében végbement elnéptelenedés miatt – lakatlanná vált és lebontásra került, helyére pedig a ma is látható épületet 1938-ban emelték.

A ma látható épület mögött az alábbiakban megemlített gazdasági épületek (*istálló, pajta*) napjainkban is megtalálhatók. Ezek pontos dokumentálására a felmérési terven került sor (*lásd: 5. ábra*).

3.4. A VIDÉK ÉPÜLETEINEK JELLEGZETES STÍLUSJEGYEI

A település 19. század végéről, 20. század elejéről származó épületei a Répce-menti települések jellegzetes stílusjegyeit viselik. A hármás vagy négyes elosztású, gádoros épületek a mezőgazdasági tevékenység kiszolgálásához lettek kialakítva. Ezt a 18. században, németajkú telepesekek által behozott, a paraszti élet mindennapjaihoz igazodó épületelrendezést a terv alapját képező épületegyüttes felmérési tervén is megfigyelhetjük:



5. ábra. A ma álló épület felmérési terve.
A szerző saját terve.

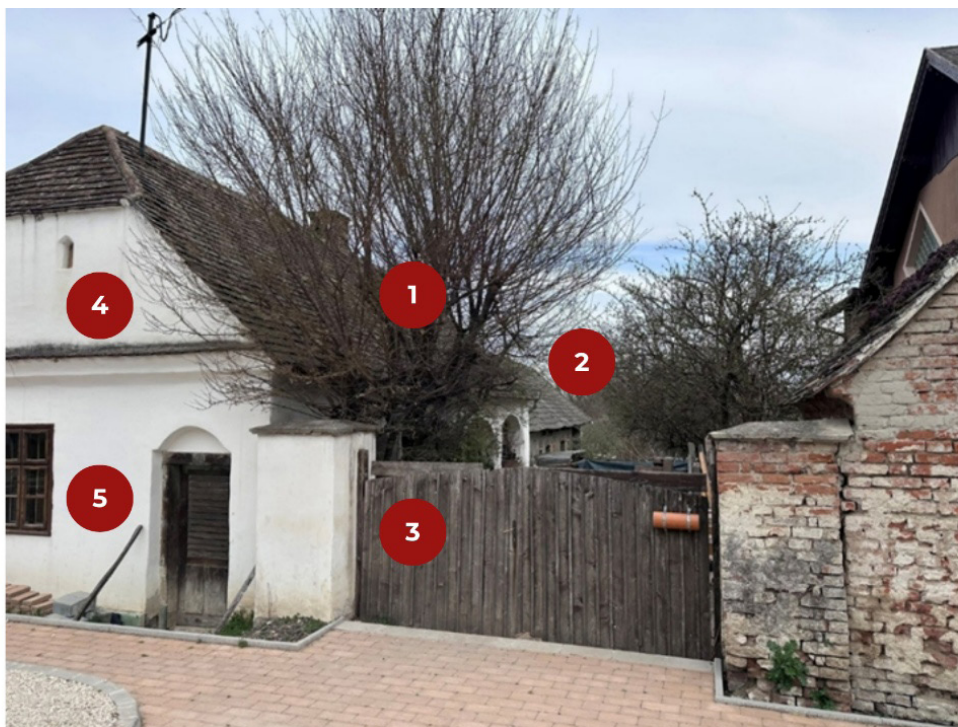
A népi építészet tipikus hármás/négyes tagolású térelosztása a következőképp alakult esetünkben: az egykori gádor (06) ma folyosó, az egykori pitvar és a konyha (02-03) ma konyha, balra az utcafront felől az egykori tisztaszoba (01) ma nappali, jobbra az egykori hátsószoba vagy lakószoba (04) ma hálószoba, végül az épület végében az egykori kamra (05) ma is maradt kamra. A főépület mögött pedig a gazdasági épületek, amelyek egykor istállóként és pajtaként szolgáltak (07-08).

A település népi építészeti jegyei több, a községben található épületen megfigyelhetők. Jellemző példa a Fő utca 72. házszám alatt álló épület, a 19. század második feléből. A csatolt fényképen megfigyelhető, hogy a fő- (lakó) épület mögött ① közvetlenül helyezkedik el az egykor istállóként funkcionáló gazdasági épület ②, és a fák takarásában felfedezhetjük a gádor boltíveit is ③. A homlokzaton tipikus stílusjegyeket látunk: az oromzati lélekablakot ④ – amelyből egyébként a térségben jellemzően kettő szokott lenni -, illetve a bejárati ajtó felett kialakított boltívet ⑤.

Az utcai homlokzaton három nyílást alakítottak ki: a tiszta szoba 2 db, kifelé-befelé nyíló, ú.n. pallótokos ablakait, illetve a gádorra vezető bejárati ajtót. A kétszárnyú ablakokat jellemzően két szemű alsó, és egy szemű felső szárnyakkal alakították ki.

A telekre vezető kapu vaskos téglapillérekre rögzített, kétszárnyú deszka szerkezet, a hátsó síkon Z alakú hevederes merevítéssel.

A tető ~40 fokos hajlásszögű, az utcai oromzaton kis csonka konttyal kialakított nyeregtető, szerkezete vélhetően ollós fedélszék. A héjazat ebben a korban már szinte kizárólag cserép, de a formavilág az előd vélhetően zsúpszalma fedésére is visszautal.



6. ábra. Fő utca 72. építészeti stílusjegyei (magyarázati jelölésekkel).
A szerző saját felvétele.

A fiatalabb épületek esetében már általánosabb az oromfalas kialakítás. A Fő utca 47. és 49. épületpár érdekessége, hogy ugyan mindkettő épületet felújították, de míg a 49. esetében helyreállították a homlokzat vakolatba húzott kvádereit, az ablakok kereteit és az oromfal bordúrjeit, a párkányt cseréppel fedték, valamint a korszerű hőszigetelt üvegezésű faablakokban is az eredeti osztást igyekeztek megidézni, addig a 47. esetében a homlokzatot egynemű felülettel, hőszigetelő rendszerrel takarták el, a párkányt, oromzaton pedig bádогоzással alakították ki, így az épület tömegén és a homlokzat arányain kívül nagyon kevés maradt meg az eredeti hangulatból.



7. ábra. Fő utca 47. Szerényen felújított homlokzat.
A szerző saját felvétele.



8. ábra. Fő utca 49. Mívesen helyreállított homlokzat.
A szerző saját felvétele.

4. HELYREÁLLÍTÁSI JAVASLAT

A vizsgált épület (Fő utca 50.) felmérése során nem csupán a szokásos építészeti és műszaki adatok kerültek felvételezésre, amelyek szükségesek a helyreállítási terv meglétéhez, hanem a fentiekben megismert, a településre jellemző és az épületen még fellelhető építészeti stílusjegyek dokumentálása is megtörtént. Így együttesen a következő rehabilitálási elveket és azok alapján főbb műszaki helyreállítási ajánlásokat fogalmaztunk meg:

4.1. UTCAFRONTI (NYUGATI) HOMLOKZAT



9. ábra. Fő utca 50. utcafronti homlokzat az 1970-es évek végén. A felvétel a szerző családi archívumából származik.



10. ábra. Fő utca 50. utcafronti homlokzat 2025-ben.
A szerző saját felvétele.

A két képet összehasonlítva elmondhatjuk, hogy az utcafronti homlokzat számos átalakításon esett át. Ahhoz, hogy a ház elnyerje stilizáló hatását és visszakapja a kívánt parasztházi látképet, javasolt visszaállítani a 9. ábrán is megjelenő, két különálló, egyenként 90×150 cm méretű ablakot – legalább a Fő u. 49. házon alkalmazott, kisméretű ablakszemekkel osztott, de ideális esetben a Fő u. 72. házon még ma is látható, a századelőn jellemző kialakítással. Ugyan a fotón a nyílászárók kapcsolt gerébtokos szerkezettel, redőnyművel láthatók, az árnyékolást javasolt mégis zsalugéttel kialakítani, mégpedig úgy, hogy azokat a külső üvegezett szárnyak helyére lehessen szerelni a nyári évszak idejére. Továbbá visszaállítandó a homlokzati tagolás és a díszes, keretbetétes szerkezetű tömörfa bejárati ajtó is.

Az archív felvételen látható, hogy ez a homlokzat színezett volt, ám ennek visszaállítása nem javasolt, inkább törekedni kell a „természetes”, fehérre meszelt falak megőrzésére.

A lábazat kialakítása további kutatást, és a műszaki feltételek vizsgálatát követeli meg, ugyanis a Kőszeg-hegységből származó jellegzetes pala kőzetes borítása kiváló állagvédelmet biztosít, az autentikus, korommal kevert mésszel festett lábazat ennél lényegesen érzékenyebb a nedvesedésre és gyakoribb karbantartást igényelne.

4.2. DÉLI HOMLOKZAT (GÁDOR)

A 8. ábrán ugyancsak megfigyelhető, hogy az egykor nyitott gádoros folyosó utóbb nyílászárókkal lett lezárva. A rehabilitációs terv részeként ezeket is ki kell bontani és újra meg kell nyitni a folyosó boltíveit. A bejárati előlépcsőt és a gádor padlóját újra kell burkolni padló burkoló téglával.

4.3. TETŐSZERKEZET

Az épület ma is csonka kontytetővel rendelkezik, ennek eredetiségét pedig a szerző szóbeli családi közlése is alátámasztja, így a pontos helyreállítás e tetőforma megtartásával javasolt.

Ugyanakkor a településképi felmérés során megállapítottuk, hogy a településen gyakoribb az egyszerű, utcára merőleges gerincű nyeregtető, az oromzaton kettő lélekablakkal. A kontyolt tető a felújítás során megtartásra került annak ellenére, hogy a faluban több olyan felújítás és lezajlott, ahol az épületek kontyolt tetejét átépítették nyeregtetős formára (7. és 8. ábra).

4.4. TELEK ÉS TEREP

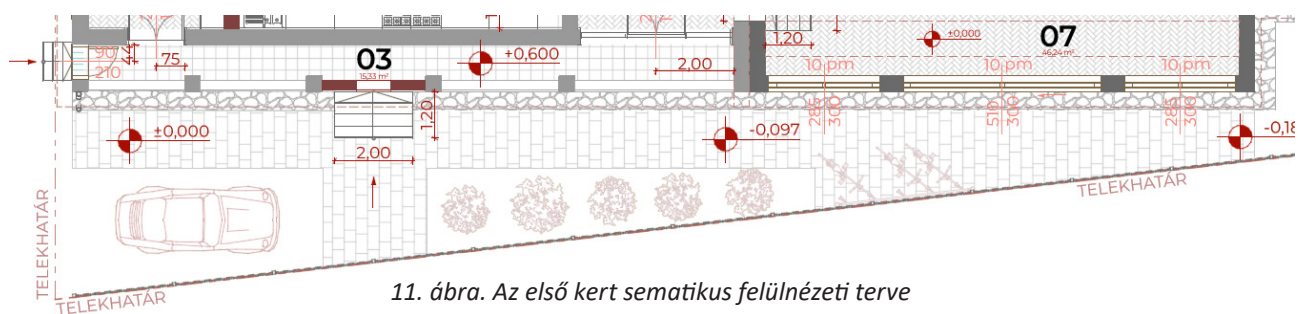
A telek egészére vonatkozóan javasolt a tereprendezés, ami a burkolatok és a zöldfelület kialakításán túl magában foglalja terep egyenetlenségeinek korrekcióját is. Utóbbi az épület állagvédelme, és a telek csapadékvíz elvezetése szempontjából fontos. Megfelelő csőhálózattal a csapadékvíz gyűjtése a telken belül ugyancsak megoldható.

A telek mindazon határvonalain, ahol nem áll valamifajta felépítmény, oszlopos fa kerítés az ajánlott megoldás. A kerítés kialakítása során figyelembe kell venni a helyi építési szabályokat.

4.5. ELSŐ KERT

Az első kert esetében a burkolatok lesznek mérvadók. A közlekedő útvonalakon saját anyagával szegélyezett térkőburkolatok készülnek, az épület mentén 0,5 m szélességben a csapóeső felverődése ellen kavicságy alakítandó ki.

Mivel az első kert alkalmas egy személygépkocsi vagy kisebb teherautó parkolására, így itt gyeprács kialakítása javasolt. A telekhatár mellett elhelyezhető az apróbb cserjék (leginkább a koncepcióba illő borókacserjék) természetésére alkalmas ágyás, termőterület. A „zöld sziget” végébe, annak lezárására ugyancsak térkőburkolás javasolt, ezen a részen lehet ki alakítani a vendégek kerékpárjainak tárolóját is.



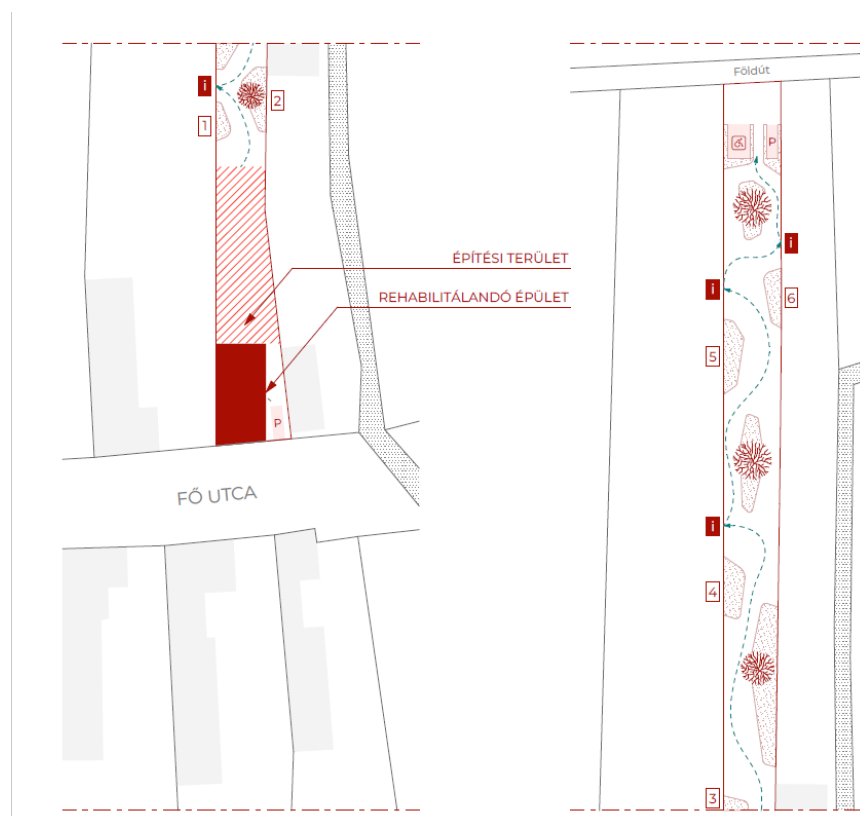
11. ábra. Az első kert sematikus felülnézeti terve

Az első kert kapujára vonatkozóan olyan megoldás javasolt, amely az eredeti funkció megtartása mellett is biztosítja, hogy az utcafrontról bárki szabadon beláthasson az elsőkertbe és ráláthasson az épületegyüttesre, az épület építészeti jegyeihez leginkább a jelenleginél vastagabb falazott pillér, és hézagos deszka kialakítás illik.

4.6. HÁTSÓ KERT

Az újrendezési elvnek megfelelően a hátsó kertben a lepárláskor alkalmazott növény- és fűszernövényfajokból kis öblökben minimális tropiáriumok¹ alakítandók ki, ám az előzetes bejárások alkalmával készült megállapítások alapján a talajegyenetlenségek miatt mind az első, mind pedig a hátsó kertben szükséges a felső talajréteg újrendezése és a talaj újból tápanyaggal való frissítése, mivel a felső rétegek jelenleg a tápanyagból kimerültek.

Az egyes „gyógynövény-szigetek” között a telekhatárszakaszokon álló kerítésekre információs táblák elhelyezése tervezett, amelyek tájékoztatást adnak a látogatóknak a kertben megtalálható növényfajokról és a gín főzés közbeni ízesítéséről és aromatizálásáról.



12. ábra. A kert sematikus koncepcióterve

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A vizsgált parasztház rehabilitációja olyan komplex építészeti feladatként jelent meg, amely egyszerre igényelte a történeti értékek feltárását, a népi építészeti stílusjegyek hiteles rekonstrukcióját és a környezet rendezett újraszervezését. A helyszíni felmérések, az építéstörténeti vizsgálatok és a településtörténeti háttér alapján meghatározhatók voltak azok a karakterjegyek, amelyek a térségre jellemző parasztházak identitását alkotják: a nyitott gádor, az arányos utcafronti homlokzat, a fehérre meszelt felületek, a hagyományos nyílásrend és a nyeregtetős tömegformálás. A beavatkozások elsődleges célja ezen értékek visszaállítása volt, figyelembe véve a településképi illeszkedést és az épület hosszú távú használhatóságát.

A rehabilitációs javaslatok a teljes telekstruktúra újragondolását is szükségessé tették. A telek- és kertfelületek rendezése, a burkolatok kialakítása, a vízelvezetési viszonyok javítása, valamint a zöldfelületi elemek újraszervezése egyaránt hozzájárultak ahhoz, hogy az épület környezeti kontextusa összhangba kerüljön a helyreállított építészeti elemekkel. A homlokzatok helyreállítása – különösen az utcafronti ablakok visszaállítása, a spalettás árnyékolás és a gádor újrainyítása – alapvető szerepet játszott az eredeti arányrendszer és formai karakter visszaépítésében. A tetőszerkezet átalakítása pedig a település történeti mintázataival teremt újra vizuális folytonosságot.

A helyreállítási folyamat eredményei igazolják, hogy a népi építészeti örökséghez igazodó rehabilitáció nem csupán esztétikai és örökségvédelmi szempontból indokolt, hanem képes megteremteni a korszerű funkcionális hasznosítás feltételeit is. A vizsgálatok és a beavatkozások rendszere egyúttal megalapozza az épület későbbi, faszerkezetes bővítésének lehetőségét, amely a történeti épület karakterének tiszteletben tartásával, annak rehabilitációjára építve valósulhat meg.

A rehabilitáció így kettős célt teljesít: egyszerre őrzi meg a Répce-vidékre jellemző hagyományos építészeti értékeket és teremti meg a jövőbeli fejlesztések szakmailag megalapozott kereteit.

Ugyan jelen publikáció terjedelmi korlátai nem teszik lehetővé, hogy az épület bővítését részletesen bemutassuk, annak előzményeire igyekeztük kellő részletességgel kitérni, az építészeti tervek pedig a szerző ezzel egyidejűleg elkészült szakdolgozatából megismerhetők.

SZERZŐI NYILATKOZATOK

VÉCS MARTIN LÁSZLÓ – szerző, adatelemzés, szerkesztés

HANTOS ZOLTÁN – szerző, témavezető

REFERENCIÁK

FEKETE, A., 2004. *Magyarország katonai felmérései és térképtörténete*. Budapest, Térképtudományi Intézet. ISBN: 9638662457.

VARGA, K., 2015. *A Répce-mente településtörténete és népi építészete*. Sopron, Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó. ISBN: 9786155396214.

HOFFMANN, T., 2001. *Győr–Moson–Sopron megye falvai a 18–19. században*. Győr, MTA VEAB. ISBN: 9639360091.

JÁVOR, K., 2009. *A Kisalföld népi építésze.*

Mosonmagyaróvár, Hansági Múzeum. ISBN: 9789637229356.

TÓTH, Z., 2012. *Vasi és soproni népi építészet.*

Szombathely, Savaria Kiadó. ISBN: 9786155307043.

GECSE, A., 2003. *Sopron vármegye falusi építésze.*

SOPRON, Soproni Múzeum Kiadó. ISBN: 9637229034.

SZENTKIRÁLYI, Z., 1995. *A parasztházak homlokzati arányai Magyarországon.*

Építés–Építészettudomány, 23(3–4), 221–247. DOI: [10.1556/etas.23.1995.3-4.5](https://doi.org/10.1556/etas.23.1995.3-4.5).

RÁCZ, A., 2005. *A magyar falvak településszerkezete és történeti fejlődése.*

Budapest: Akadémiai Kiadó. ISBN: 9630582350.

BUILDING REHABILITATION OF A FARMHOUSE IN THE RÉPCE-REGION

ABSTRACT

The aim of the study is to present the architectural rehabilitation of a rural dwelling built in 1938 in the Répce-region, with particular emphasis on interventions that support the preservation of local vernacular architecture. The restoration design was based on on-site surveys and architectural–historical analyses, which identified the need for reinstating the plot structure, the façade character, and the traditional roof form. The rehabilitation proposals aim to recover the building’s traditional architectural values and strengthen its integration into the settlement pattern, while also establishing the foundation for a future CLT-structured extension. The findings demonstrate that heritage-adapted restoration can preserve the building’s original character and support its potential for contemporary expansion and functional use.

Keywords: Répce-region, building rehabilitation, vernacular architecture, architectural style features

ÉPÍTÉSTÖRTÉNETI ADATOK A KISUNYOMI SZENT MIHÁLY-TEMPLOM ÉPÜLETÉHEZ A LEVÉLTÁRI KUTATÁSOK TÜKRÉBEN

TÁRKÁNYI SÁNDOR^a, ESZES TIBOR^b

^a Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, 9400 Sopron
email: tarkanyi.sandor@uni-sopron.hu

^b É-Munkacsoport Kft., 9081 Győrújbarát
e-mail: e.munkacsop@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.35511/978-963-334-570-2-16>

ABSZTRAKT

A kisunyomi Szent Mihály-templom eredetét és építészeti jellemzőit a korábbi szakirodalom csak érintőlegesen tárgyalta. A közelmúlt levéltári kutatásai ugyanakkor pontosították az építéstörténet kulcsfontosságú dátumait és az egyes bővítési fázisokat. A Szombathelyi Egyházmegyei Levéltárban őrzött iratok és archív tervrajzok feltárása alapjaiban járult hozzá e jelentős műemlék épület fejlődéstörténetének megismeréséhez.

Kulcsszavak: Kisunyom, Szent Mihály, templom, műemlék, levéltár

1. BEVEZETŐ GONDOLATOK A KISUNYOMI SZENT MIHÁLY-TEMPLOM ÉPÍTÉSTÖRTÉNETÉNEK KUTATÁSÁHOZ

A Kisunyomi Római Katolikus Plébánia a kezelésében lévő Szent Mihály-templom tetőszerkezetének és héjalásának felújítását tervezi. A munkálatok jogerős örökségvédelmi engedélynek megfelelően valósulhatnak meg. Az engedélyezési terv kötelező részét képezi az értékleltár és építéstörténeti dokumentáció, amely a korábbi publikációk és levéltári adatok alapján mutatja be a templom építésének korábbi szakaszait. A kutatás során a Szombathelyi Egyházmegyei Levéltár, a Magyar Nemzeti Levéltár Vas Vármegyei Levéltára, valamint a Magyar Építészeti Múzeum és Műemléki Dokumentációs Központ forrásanyagait tekintettük át.

2. AZ ÉPÜLETTEL KAPCSOLATOS, KORÁBBAN MEGJELENT SZAKIRODALOM ÉRTÉKELÉSE

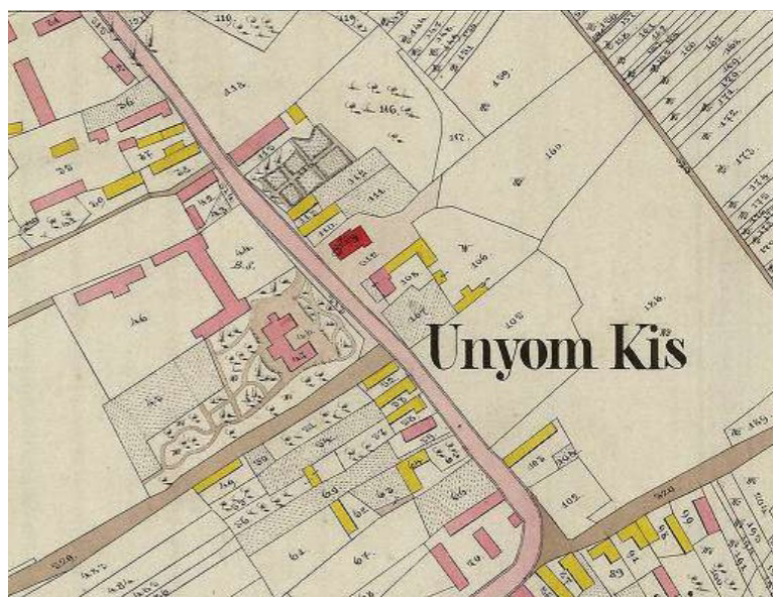
A szakirodalmi adatok azt feltételezik, hogy a kisunyomi templom középkori eredetű; a település már a XIV–XV. században „Egyházasunyom” néven szerepelt, ami a korabeli plébániatemplom létezésére is utal (C. Harrach–Kiss, 1983). Az épület magja gótikus, 14-15. századi (Genthon, 1959), ám mai arculatát a későbbi korok átépítései határozták meg. Jelentősebb megújuláson, barokk átépítésen esett át 1747-ben (Dóka, 1999), a 18. század végén, majd 1899-ben is.

Szerkezetét tekintve egyhajós, háromszintes homlokzati toronnyal ellátott épület, amelynek a hajónál keskenyebb, egyenes záródású szentélyét és sekrestyét jellegzetes támpillérek támasztják meg. Belső tere barokk boltozattal fedett, ablakai szegmensívesek. Berendezése kiemelkedő művészeti értékkel bír: a főoltár Szent Mihály-képét Anton Spreng festette 1808-ban (*Guido Reni hatására*), az oltárépítmény, a Szent János-oltár és a szószék empire stílusú, míg a Mária-oltár klasszicista jegyeket hordoz.

Bár a templom külsejét 1960 és 1980 között két alkalommal is tatarozták, a kutatók (*köztük Genthon István és C. Harrach Erzsébet*) megjegyzik, hogy részletes műemléki feltárás hiányában a középkori és a későbbi építési fázisok pontos aránya még tisztázásra szorul. Az épület jelenleg is védett műemlékként a község meghatározó településképi és örökségi eleme.

3. A TEMPLOM ADATAI A VIZITÁCIÓS JEGYZŐKÖNYVEKBEN

A kisunyomi római katolikus templom korabeli szöveges leírásait az egyházmegye valamennyi plébániáján megtartott egyházlátogatási jegyzőkönyvek tartalmazzák. A vizsgált templomról először Kazó István kapornaki apát, nagyprépost készített beszámolót 1697-1698-ban. A következő vizitátor, Scacci András szombathelyi nagyprépost 1713-1714-ben írt jegyzőkönyveiben csak a Kazó által tapasztaltakat ismételte meg. Az 1754 és 1758 közötti időszakban Batthyány József szombathelyi nagyprépost, később kalocsai, majd esztergomi érsek hajtott végre vizitációt Vas vármegyében. A mindenre kiterjedő jegyzőkönyve a templom akkori állapotát részletesen ismertette. A szombathelyi egyházmegye 1777-ben történt megalakulása után Szily János végezte az első canonica visitatio-t 1778-1781-ben. A következő püspök, Somogy Lipót előbb 1808-ban, majd 1811-1815-ben járta végig az egyházmegyét és rögzítette az aktuális körülményeket. A hatodik vizitációt Bőle András végezte, aki 1829-ben a szentgotthárdi kerületben kezdte, majd 1841-ben Szombathelyen fejezte be vizsgálódásait (*Dóka, 1999*). Bőle vizitációjának jegyzőkönyvei magyar nyelven íródtak, a korábbiakat még latin nyelven jegyezték.



1. ábra. A templom (vörös színnel jelölve) és környezete egy 1857-es térképen (Forrás: Magyar Nemzeti Levéltár Országos Levéltára, 578 Térképek (1786-1948), S Kataszteri-gyűjtemény (1786-1948), S – Térképtár, 261. téka – Kisunyom – 1-10. Kisunyom (Vas m.))

Kazó István vizitációjának jegyzőkönyvében a latin nyelvű bejegyzés magyar fordítása a templomról az alábbiakban olvasható (SZEL, Kazó, 1697-1698): „A templomot, mely ugyanazon falun belül Szent Mihály arkangyal tiszteletére a régi katolikusok által épült, gyalult deszkákkal [kerítéssel] körülvett temető övezi. Fatornyocskája a kis templommal együtt zsindellyel fedett; harangja a templom mellett, egy faoszlopon [haranglábon] függ. Mennyezete deszkákból készült. Kórusa fából való és kétszintes, szószéke kőből készült, padjai pedig éppen megfelelők.” A kisunyomi templomot 1747-ben építették „újjá”, tehát ekkor történt meg a korábbi – feltehetően gótikus – kistemplom átépítése, barokk bővítése. Ezért a Kazó-féle vizitációban található leírás a középkori épületre vonatkozik. Habár volt egy kis fa tornya a tetőn, a harangot külön, egy faoszlopra (*haranglábra*) szerelték, feltehetően azért, mert a templom szerkezete nem bírta volna el a harang súlyát és rezgését. A „kétszintes” fakórus a helyhiányra utalhat, mivel a kis templomban így próbáltak több helyet biztosítani a katolikus hívőknek. A meglehetősen szegényes felszereltségű középkori templomot és fa tornyocskáját faszindellyel fedték. A Batthyány József által jegyzett vizitációs leirat már az újjá- illetve átépített barokk szakrális épületet ismerteti (SZEL, Batthyány, 1754-1758). A latin szöveg magyar fordítása így szól: „Maga a templom kőből épült; a szentélye a tőle északra fekvő sekrestyével együtt boltozott, a hajó többi része azonban deszkamennyezetes. Zsindellyel fedett, aljzata pedig téglával kirakott. A szentély tetőzete felett vas kereszt áll, a templom kapuja előtt pedig – mégpedig nyugati irányban – fa harangtorony található. A templomban a kórus fából készült, hasonlóképpen a szószék is fa, de márványozott festésű, a párkányzatánál (cirádáinál) helyenként aranyozott, helyenként ezüstözött, trombitáló angyalokkal és két pajzzsal díszítve.” Batthyány vizitációs jegyzőkönyvében már külön van megemlítve a szentély és az északra lévő sekrestye (*melyek boltozottak voltak*), illetve a templomhajó „többi része”, amely deszkamennyezetes volt. A leírás alapján feltételezhető, hogy a hajó barokk boltozata a 18. század egy későbbi időszakában készülhetett. A jelenlegi sekrestye a szentélytől délre található, tehát vagy Batthyány égtájjelölése téves, vagy egy másik építményről van szó.

Az 1841. június 3-án, Böle András által felvett, „A Kisunyomi Plébániának törvényes Egyház látogatása” alkalmával készült, immár magyar nyelvű beszámolóban (SZEL, Böle, 1841) az alábbi leírást találjuk a templommal és tartozékaival kapcsolatban (*az eredeti szöveget közöljük*): „A Kisunyomi egyház a relogioi javak pénztára költségén az illető farabeli nép hozzájárultával kőből épült, fa sindellel fedett, téglával kirakott... jó karban vagyon, ...Vagyon benne fa karzat, orgona, szónok szék fából, keresztelő kut, pad 20, szentelt víz edény, mellyben a víz annak idejében meg meg ujjítatik, a Szentség Szekrény előtt függő lámpa, mely az Isteni Szolgálat alatt meg gyujtatik. A Torony fából készült 2 harangal... az első Sz. Mihály Arkang. tiszteletére beszentelve, a sekrestye szinte kő falbul építve, a szükséges almáriumokkal...” A fenti beszámolóból megállapítható, hogy 1841-ben a templomot még faszindely fedte, (*külön álló*) harangtornya pedig fából készült és két harangot tartott. A templom és a sekrestye falazata is kőből épült, a templomtér belső burkolata téglá anyagú volt.

4. ARCHÍV IRATOK ÉS KORÁBBI FELMÉRÉSI TERVRAJZOK A TEMPLOMRÓL

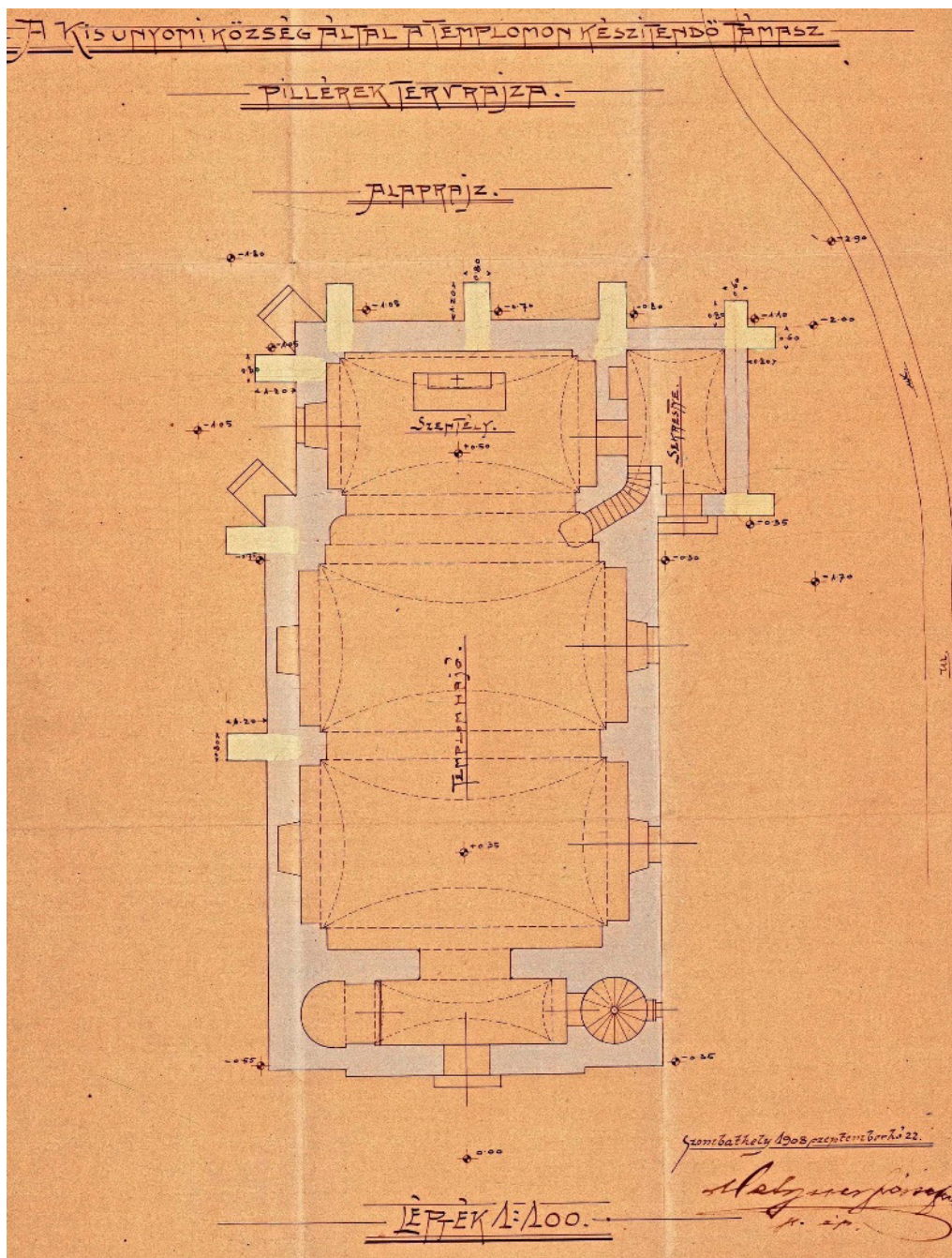
A Szombathelyi Egyházmegyei Levéltár gyűjteményében fellelhető legkorábbi irat 1815-ös keltezésű és a kisunyomi Nepomuki Szent János-oltár előzetes költségvetését (SZEL I. 3. A. 24.) és az oltár vakkeretének sematikus rajzát tartalmazza (SZEL VIII. 2. 198.). A költségvetést Peter Brandenthal szobrász és Johan Georg Hok asztalosmester írták alá 1815. május 19-én, Szombathelyen. A költségvetést az akkori püspök, Somogy Lipót elfogadta és aláírásával tudomásul vette. Az oltár vakkeretét ábrázoló rajzról leolvasható, hogy annak tervezett szélessége 2 láb tíz hüvelyk [86, 36 cm], magassága öt láb hat hüvelyk [167,64 cm] volt.

A következő dokumentumot – ami már a templom épületével kapcsolatban készült – 1898. október 31-én iktatták a Szombathelyi Püspökségen (SZEL 1898.X.31./2463-2464.). Az irat tárgya: „Kis Unyomi plébániatemplom tornyának újbóli építése”. A püspök úrnak címzett levélben a helyi plébános, Angerbauer József arról tájékoztatta feljebbvalóját, hogy „A kis. unyomi templomnak torony felőli részén újabb időben többrendbeli gyanús repedések mutatkoznán felkértem Brenner János építész urat, hogy a dolog mibenlétét szakértőleg megvizsgálván tegyen aziránt nyilatkozatot: vajjon nem forog-e fen holmi biztonsági intézkedések szükségessége?” A levél további részében a plébános anyagi segítséget kért a püspöktől, illetve mellékelte az egyházmegyei építész szakvéleményét is.

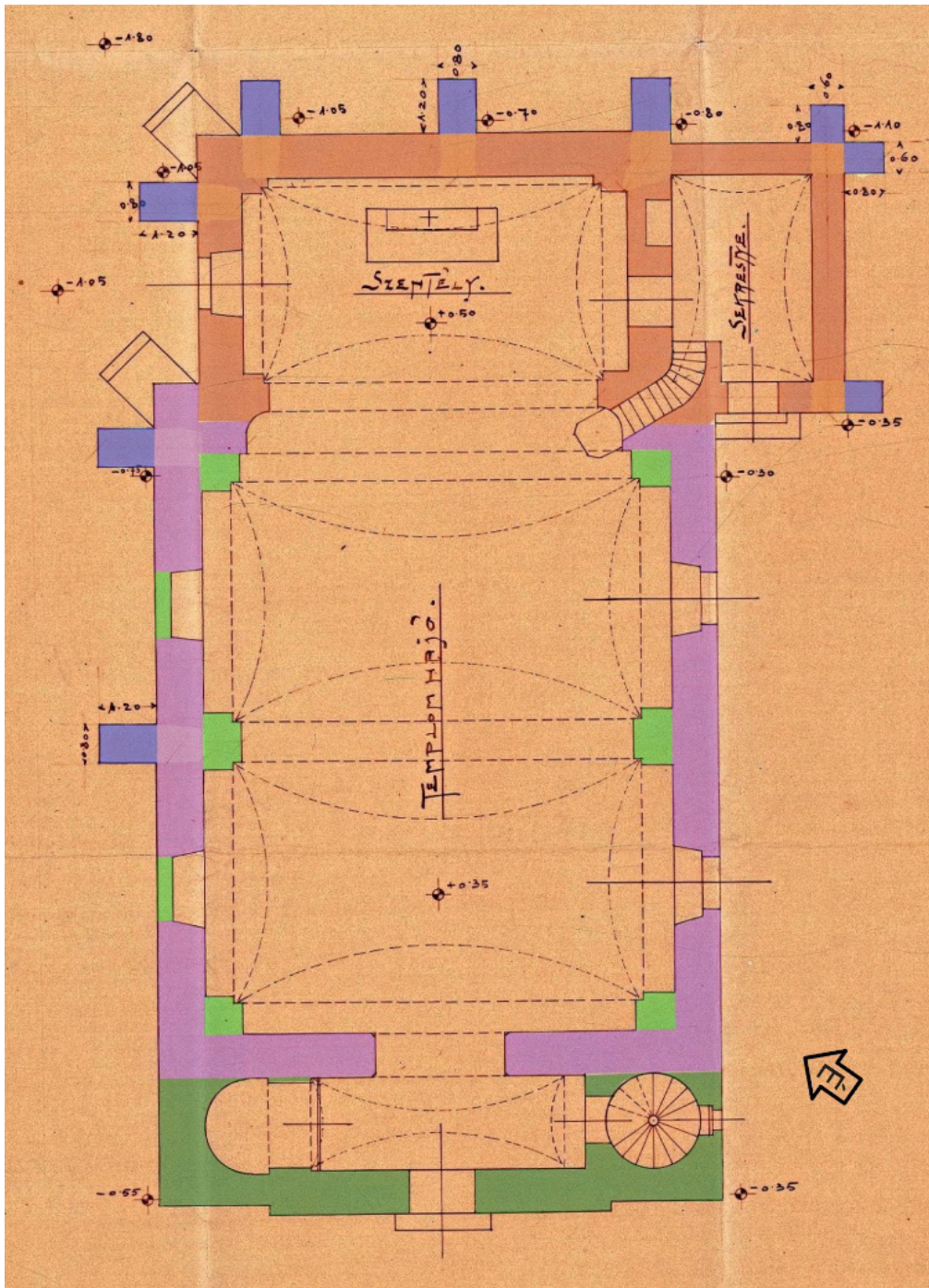
Az 1898. október 22-én történt helyszíni szemle alkalmával Brenner megállapította, hogy a templom falain – ahol a torony állt – kívül és belül nagyobb és kisebb repedések voltak láthatók. A probléma okát abban látta, hogy „a torony súlya túlságosan nagy, a súlyt hordani hivatott, hiányos szerkezetekhez mérten.” A szakvélemény következő mondata a templom építéstörténete szempontjából egy nagyon fontos adalékot tartalmaz: „A torony túlterhelése állítólag akkor történt, midőn a templom 1868-ban leégett, mert a helyreállításnál a torony falazat körülbelül két öl [3,79 méter] magassággal meg lett emelve.” Mivel a torony boltozatainak hord ívei „hiányos szerkezetük és rossz kivitelük mellett nem képesek a rájuk nehezedő súlyt hordani... a torony beomlásától kell tartani.” A szakvélemény utolsó bekezdésében a főépítész az alábbi javaslatokat fogalmazta meg: „Tekintve azonban azt, hogy a beomlás veszélye már fenn áll, sürgősen kell intézkedni hogy a harangozás a toronyban megszűnjék. E célból a harangok leszedendők és egy ideiglenesen felállítandó haranglábra helyezendők el, ennek megtörténte után a torony lebontandó, és helyette egy új torony felépítése eszközendő.”

Az iktatott irat szerint a főépítész felkérték a torony újjáépítésével kapcsolatos terv és költségvetés elkészítésére, illetve az építési költségek fedezését az egyházmegyei alap terhére engedélyezték. A torony újjáépítésének a tervét azonban sem a Szombathelyi Egyházmegyei Levéltárban, sem a Magyar Nemzeti Levéltár Vas Vármegyei Levéltárban nem találtuk meg (utóbbiban az 1898-as iratokat korábban selejtezték).

A Püspöki Levéltár iktatókönyvében 1909-ben öt számon is szerepel bejegyzés a Kisunyomi templom helyreállításával, renoválásával kapcsolatban. Sajnos azonban ezeket az ügyeket valaki korábban szisztematikusan bejelölte az iktatókönyvben (kék ceruzával) és a palliumokat kiemelték őket az iratok közül. Fentiek alapján az eredeti iratok nem kutathatók (az iktatószámok a következők: 1909/1952, 1909/2528, 1909/2813, 1909/3372, 1909/4339). A Szombathelyi Egyházmegyei Levéltárban szerencsére kereshető a Kisunyomi Plébánia levéltára, melyben a templommal kapcsolatban két tervrajzot is találtunk. Az első dokumentum 1908. szeptember 22-én készült (SZEL IV. 62.). A rajzlap hátoldalán szerepel a püspök jóváhagyó aláírása, pecsétje és az irat iktató száma is: 3372/909. Tehát ez a tervrajz a korábban felsorolt öt irat közül a negyediknek volt a műszaki, rajzos melléklete! A jóváhagyás dátuma: 1909. július 22. A dokumentum a templom alaprajzát tartalmazza, M1:100 léptékben, címe: „A Kisunyomi község által a templomon készítendő támasz pillérek tervrajza”, melyből megállapítható, hogy a templom jelenlegi, falra merőleges irányú támpilléreit 1909-ben építették.



2. ábra. A kisunyomi r. k. templom külső támasz pilléreneinek a tervrajza 1908-ból
(Forrás: SZEL IV. Plébániák Levéltárai, 62. Kisunyom, Tervrajzok)



3. ábra. A templom feltételezett periodizációs alaprajza (a szerző grafikája az 1908-as tervrajz felhasználásával; vörös: 14-15 sz., lila: 1747, vil. zöld: 18. sz. vége; sötétzöld: 19. sz., kék: 1909).

1908. október 5-én a tervező egy következő műszaki rajzot is megalkotott, ezen alkotás címe: „A Kisunyomi község által a templomon behúzendó falkötővasak tervrajza”. A tervlap jobb felső sarkában „B. vázlat” jelölés olvasható, tehát feltételezhető, hogy a statikai problémák orvoslására a tervező két műszaki megoldást is javasolt, melyből később a támpilléres verzió valósult meg.

A templomhajó bal oldali két ablakát a tervező már befalazott állapotban ábrázolta, a szentély bal oldali ablaka azonban még nem volt befalazva. A sekrestye jobb oldali falában ekkor még nem volt ablak. Az alaprajzon az is látható, hogy a szentély és a sekrestye falait kellett megerősíteni, illetve hozzákötni a templomhajó tömegéhez, ami azt jelenti, hogy ezen épületrészek stabilitása, teherbírása nem volt megfelelő.

A kisunyomi templom 1958-ban kapott műemléki védelmet, műemléki vizsgálatát az OMF munkatársai (*C. Harrach Erzsébet és Gergelyffy András*) 1966. július 5-én végezték el (*Gy-M-S VM KH*). A műszaki állapota miatt ekkor a templom tatarozásra szorult. 1987 júliusában Ivicsics Péter készített felmérési rajzokat a templomról, melyek – a kutatás jelenlegi állása alapján – a legkorábbi felmérési terveknek tekinthetők (*SZEL I. 3. L. Ivicsics P. 2. d*).

5. A LEVÉLTÁRI KUTATÁS EREDMÉNYEINEK AZ ÖSSZEGZÉSE

A 3. ábrán a templom feltételezett periodizációs alaprajza szerepel, amely az írott források és a fellelt tervek alapján készült. A templom legkorábbi része a mai szentély és a sekrestye lehet, melyek 14-15. századi, vagy annál korábbi (*román kori*) keletkezésűek. Kazó István 1697-1698-ban készült vizitációjának jegyzőkönyve szerint az egykori „kistemplom” szentélye boltozatos volt, a templomhajó „mennyezete deszkákból készült.” A barokk bővítés, átépítés 1747-ben történt, melynek eredményéről Batthyány József 1754-1758-as vizitációs leirata adott tájékoztatást. Ekkor a szentély boltozott, az új templomtér deszkamennyezetes volt. 1841-ben még különálló harangtornya fából készült.

1868-ban a templom leégett, ekkor már meglévő tornyát kb. 4 méterrel megmagasították. Talán ekkor készült (*tűzvédelmi indokkal*) a templomhajó boltozata. 1898-ban a templomtorony felőli részén jelentős repedések jelentek meg, Brenner János egyházmegyei főépítész szakvéleményében a torony bontását és újjáépítését javasolta. Sajnos nem tudjuk pontosan, hogy a javasolt munkák elkészültek-e. 1909-ben statikai megerősítést végeztek a templom, a szentély és a sekrestye falainak külső megtámasztására. Ekkor építették meg a hat nagyobb és három kisebb támpillért. A jelenlegi fedélszékének szerkezete (*mivel a templom 1868-ban leégett*) csak a 19. század utolsó harmadában készülhetett. Barokk kori vagy korábbi elemei feltehetően a tűzben elpusztultak. A tetőhéjalás 1841-ben még fazsindely volt, ami szintén elégett a tűzben. Ekkor kerülhetett cserépfedés a főhajó tetőszerkezetére, vagy az említett 1868-as tűzvészt követően.

Az írott levéltári források és a fellelt tervek alapján a kisunyomi templom építéstörténete és periodizációs alaprajza a fenti adatok alapján főbb vonalakban rekonstruálhatóvá vált. A kutatás eredményeként a templom építéstörténetének fontosabb periódusait tisztázni tudtuk, a meglévő tetőszerkezet korát pedig meg tudtuk határozni. Pontos periodizációs alaprajz azonban csak a helyszínen végzett régészeti és falkutatás eredményei alapján készíthető.

REFERENCIÁK

HARRACH E.–KISS GY., 1983. *Vasi műemlékek*. Szombathely, Vas Megyei Tanács, 166.

GENTHON I., 1959. *Magyarország művészeti emlékei I. Dunántúl*. Budapest, Képzőművészeti Alap Kiadóvállalata, 165.

DÓKA K., 1999. *Egyházlátogatási jegyzőkönyvek 8.*, Szombathelyi egyházmegye. Budapest, METEM, 73, 9–11.

SZOMBATHELYI EGYHÁZMEGYEI LEVÉLTÁR (a továbbiakban: SZEL), I. Püspöki Levéltár, 3. Acta Cancellariae, D. Visitationes canonicae, 1. Protocolla, a. Kazó István vizitációja, 1697–1698, 195–197.

SZEL I. Püspöki Levéltár, 3. Acta Cancellariae, D. Visitationes canonicae, 1. Protocolla, b. Batthyány József vizitációja, 1754–1758, 855–861.

SZEL I. Püspöki Levéltár, 3. Acta Cancellariae, D. Visitationes canonicae, 1. Protocolla, e. Bőle András vizitációja, 1841, 268–270.

SZEL I. Püspöki Levéltár, 3. Acta Cancellariae, A. Archivum Vetus, 24. Parochiae, Kisunyom.

SZEL VIII. Gyűjtemények, 2. Tervtár, 198. sorszám.

SZEL I. Püspöki Levéltár, 3. Acta Cancellariae, C. Iktatott iratok, 1. Protocolla, 1898. X. 31. / 2463–2464.

SZEL IV. Plébániák Levéltárai, 62. Kisunyom, Tervrajzok.

Távlati terv – vizsgálati anyag, Vas XIII. 82/7. Gy-M-S VM KH irattára.

SZEL I. Püspöki Levéltár, 3. Acta Cancellariae, L. Műemléki iratok, Ivicsics Péter hagyatéka, 2. doboz.

ARCHITECTURAL HISTORY OF THE ST. MICHAEL'S CHURCH IN KISUNYOM IN THE LIGHT OF ARCHIVAL RESEARCH

ABSTRACT

The origins and architectural characteristics of the St. Michael's Church in Kisunyom were only tangentially discussed in previous literature. However, recent archival research has clarified key dates in its construction history and identified specific phases of expansion. The discovery of documents and archival blueprints preserved in the Archives of the Diocese of Szombathely has fundamentally contributed to our understanding of the structural evolution of this significant historical monument.

Keywords: Kisunyom, St. Michael, church, historic building, archives

