

DOKTORI (PH.D.) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

**Biokompozitok építészeti alkalmazása:
Egy kísérleti építmény előkészítése**

Nagy Máté

Soproni Egyetem
Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar
Sopron
2021

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

Soproni Egyetem

Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola
Vezető: Prof. Dr. Németh Róbert egyetemi tanár

Doktori program: Rosttechnikai és nanotechnológiai tudományok
Programvezető: Prof. Dr. Winkler András

Témavezető: Dr. habil Katona Vilmos

BEVEZETÉS

A kutatás során a kompozitok építészeti szerepét vizsgáltuk meg, majd leszűkítettük a vizsgálatot a biokompozitokban rejlő lehetőségekre. A kompozitok széles körű elterjedése nem csak új fejezetet nyit az építészet évezredes arányrendszerében, de új építészeti formák elterjedéséhez is vezet. A kompozitok alkalmazása az acéllal erősített betonnal kezdődik, mellette jelenik meg a könnyűszerkezetes építészet, ami eleinte ragasztott fát, majd egyre többféle faalapú kompozitot használ fel, később pedig megjelennek a szálerősítésű kompozitok (FRP). A növényi szálakkal erősített kompozitok (NFRP) előnye, hogy könnyűek, kedvező hő és hangszigetelő képességgel rendelkeznek, környezetbarátak és olcsóbbak a többi kompozitnál. Napjainkban már rendelkezésre állnak biológiai eredetű és biológiailag lebomló polimerek, így növényi szálak felhasználásával lehetőség nyílik szerkezeti biokompozitok gyártására, beépítésére bár ezek még kísérleti szakaszban tartanak.

A biokompozitok kutatása elválaszthatatlan a kerámiaszálas és a faalapú kompozitoktól, mert hasonlóak a fizikai tulajdonságaik és a feldolgozási technikájában nagy átfedés mutatkozik. Míg a faalapú kompozitok az építészet és a bútoripar területén elterjedtek és főleg lemez gyártmányok készülnek belőlük, a kerámia-kompozitokat kezdettől fogva a járműgyártáshoz használták. A gyártástechnológiára is jellemző az íves, térgörbe formák kialakítása. A kompozitok történetével egyidős a minimális szerkezetek kutatása, és a könnyű és ultrakönnnyű szerkezetek építéséhez jelenleg is főként ezeket használják. Építészeti szempontból pedig a könnyűhéjak fejlődése hozott sok újdonságot az ezredfordulót követő évtizedekben.

A KUTATÁS CÉLJA

A biokompozitok alkalmazása széles körben elterjedt az elmúlt két évtized során a csomagolóiparban és a járműgyártásban, valamint az orvostudományban. Sokan egy fenntartható gazdaság zálogát látják bennük, mert szerves, megújuló alapanyagból készülnek, munkát adnak fejlődő mezőgazdasági régiók lakóinak, elhasználódnak pedig lebomlanak kímélve a környezetet. Az egyes alkalmazásokat elsősorban energiatudatosság és életciklus tervezés indokolja, mint különféle eldobható eszközök, vagy kisebb tömegű, olcsó szerkezeti elemek. Az építészeti alkalmazások is felbukkannak, első sorban a könnyűszerkezetes építészet területén, és számos kísérleti építményt is létrehoztak, ami az új könnyűszerkezetes kompozitok megismerését segíti és azok alkalmazási lehetőségeit kutatja.

A kutatás célja egy biokompozitból készült könnyűhéj előkészítése, amihez sajátos, szerkezeti és technológiai szempontból ideális formakereső modellt alkotunk meg. Az elmúlt évtizedekben

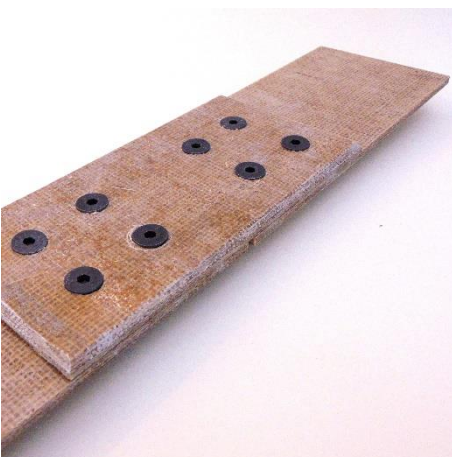
rengeteg építészeti kísérletet hajtottak végre, és ezek közül jópárat az anyagok és technológiák fejlődése inspirált. Ezek jobbára egy-egy műszaki újítás kiaknázására alkalmas szerkesztési elvek, építési módszerek felismerését röviden az építészeti formanyelv kialakítását tűzik ki célul. A műszaki anyagok között jelenleg a kompozitok elterjedése a legnagyobb hatású, mint az acéllal erősített beton, ragasztott fa és üveg, illetve a különféle könnyűszerkezeti anyagok. A mesterséges anyagok térnyerése pedig rengeteg kérdést vet fel, hiszen legtöbbjükkel nincsenek hosszú távú tapasztalatok. Az új anyagok és technológiák elterjedése pedig nem csak mérnöki, hanem egészségügyi, környezetvédelmi és gazdasági kérdéseket is felvet, emiatt elengedhetetlen egyfajta holisztikus szemléletmód.



a



b



c



d

1. kép: biokompozit kísérleti gyártmányok

ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

A kutatást történeti áttekintéssel és esettanulmányok készítésével kezdtük. A tanulmányok kiterjednek az elmúlt évtizedek megvalósult példáira és számos kísérleti építményre. Ezt követően áttekintjük a biokompozitokat fogalmi, majd technológiai szempontból. Erre azért van szükség, mert különböző források, gyakran eltérően használják a fogalmat, így szükségesnek látjuk egy saját munkadefiníció megalkotását.

A kutatás során laboratóriumi kísérleteket végeztünk, hogy bizonyítsuk a biokompozitok elméleti áttekintésének helyességét. Jutaszövet és PLA felhasználásával készítettünk kísérleti gyártmányokat és ezeket különféle vizsgálatoknak vetjük alá, hogy megismerjük a tulajdonságaikat. A próbatételek roncsolásos mechanikai vizsgálata és mikroszkópos megfigyelése alapján tökéletesítettük a kezdeti gyártástechnológiát. A saját fejlesztésű biokompozitból kísérleti gyártmányok készültek (2. kép).

Végül, az esettanulmányok és saját kísérleti eredmények alapján formakeresési módszert javasolunk egy biokompozitból készült könnyűszerkezetes héj számára. Ehhez pedig az általunk készített kísérleti gyártmány tulajdonságait vesszük alapul. Először fizikai modell készült, hogy ezt megvizsgálva kisserkeszthessünk egy digitális modellt, ami később használható lesz a pavilon szerkesztésére.

A KUTATÁS EREDMÉNYEINEK ÖSSZEFOGLALÁSA

Történeti kutatás során kimutattuk, hogy a kompozitok elterjedésével együtt kialakul a hajlított építészeti, amire jellemző, hogy összetett igénybevételeknek ellenálló szerkezeteket alkalmaz. Ennek az igénynek pedig az eltérő mechanikai tulajdonságú alapanyagokból készült kompozitok felelnek meg a legjobban. Ezzel megszületik a folytonosan áramló épülettömeg lehetősége, a hagyományos építészeti elemek, mint földem, fal, oszlop, szervesen simíthatók egymásba. Ezen felül a hagyományos épülettömegek esetében is lehetőség nyílik homogén anyaghasználatra. Az újszerű építőanyagok nagyobb szilárdságot biztosítanak, jelentősen kisebb keresztmetszettel, aminek következtében az épületek arányai a XX. század során jelentősen megváltoznak.

A bio-kompozitok elterjedését részben a fenntartható fejlődés ösztönözte. A lebonthatóságuk miatt alkalmazzák őket a csomagolóiparban, ahol a hulladékfeldolgozás és a környezetszennyezés mérséklése ösztönzi a PLA-ból és más szerves alapanyagból készülő csomagolóipari termékek gyártását. A másik fő felhasználó az autóipar, ahol a kerámiakompozitokat fém alkatrészek kiváltására terveztek, hogy ezzel csökkenjen a járművek tömege végső soron pedig a fogyasztás. A biokompozit szerkezeti elemek bár kisebb szilárdságúak, mint az inorganikus kerámia kompozitok, viszont könnyebbek és olcsóbbak,

valamint kedvező hőszigetelő képesség jellemzi őket. Így a kompozit és műanyag alkatrészek némelyikét váltják ki velük. Az építőipar számára gyártott biokompozitok egy része ilyen járműipari fejlesztések „*spin-off projektje*”.

Az építészetben különféle könnyűszerkezeti megoldásokat készíthetünk biokompozitból. Könnyűhékak fejlesztésére több kísérleti építményt emeltek az elmúlt évtizedben polimer-kerámia és fa alapú kompozitok felhasználásával. Ezeknek a kísérleteknek a közös tulajdonsága, hogy olyan formakeresési módszert dolgoznak ki, ami mechanikai és technológiai szempontból ideális geometriát nyújt. Ultrakönnyű szerkezetek rendszerint egyenletes teherelosztásúak és gyakran a hagyományostól eltérő szerkesztési módszerekből származnak, mint papírlap hajtogatás, amivel lemezműveket tervezhetünk, a szalagháló, ami általában ragasztott faszekezetek tervezéséhez használnak, valamint a rúdelemekből és kábelekből álló *tensegrity*, ami fémszerkezetekhez tervezéséhez használható a legjobban (2. kép).



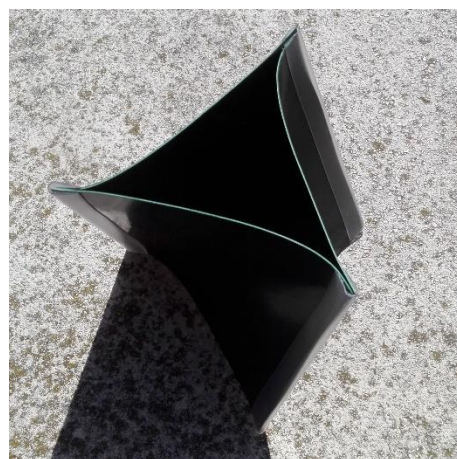
a



b



c

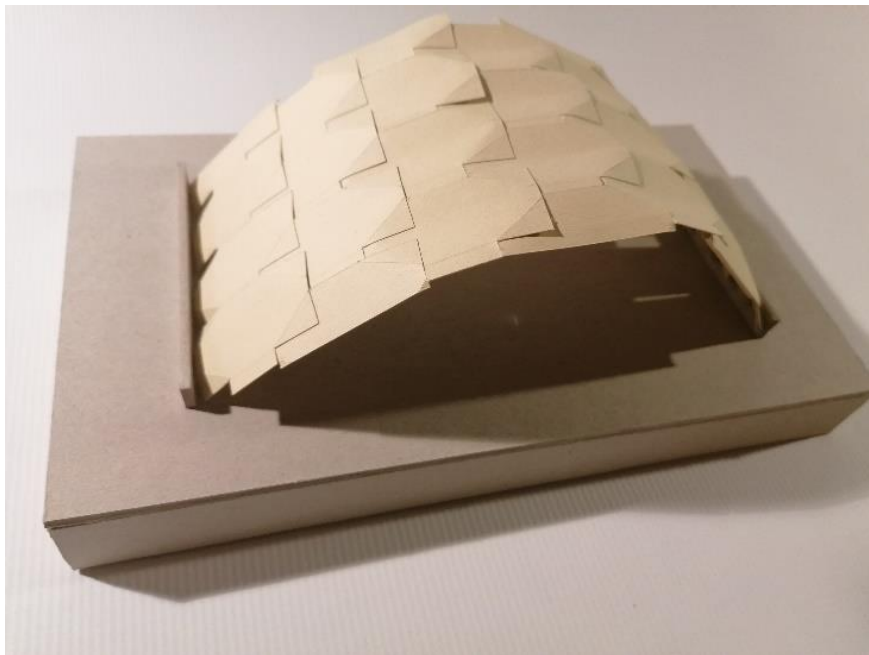


d

2. kép: formakereső modellek

Az általunk elkészített kísérleti biokompozit gyártmányok kielégítő szilárdságot mutatnak csomagolóipari, bútorigari és építészeti alkalmazások számára egyaránt. A mechanikai vizsgálatok és mikroszkóppal végzett megfigyelések alátámasztják, hogy a kompozit anyag tulajdonságai nem csak az anyagi összetételtől, de a gyártástechnológiától is nagymértékben függenek. Mivel a vizsgálatok során jelentősen magasabb szilárdságot tapasztaltunk húzó igénybevétellel szemben, azért olyan szerkezet tervezése mellett döntöttünk, ami döntően húzásra veszi igénybe az anyagot.

Az általunk tanulmányozott formakeresési technikák közül a *tensegrity* az, ami a legnagyobb mértékben húzásra veszi igénybe az anyagot. Bár a *tensegrity* alapvetően húrokból és rúdelemekből áll, a vázakat beborítva felületszerkezethez jutunk. A megfelelő ponyvával pedig a húrozás is kiváltható. Ennek ismeretében hajlékony lapra illesztett rúdelemekből készítettünk modellt, a rúdelemek helyzetét egy kiterített *tensegrity* háló alapján határoztuk meg. Ezt a rudakkal felszerelt lapot meghajlítva egy boltozatot kaptunk. A boltozott felület egybevágó elemekre bontható, a rúd elemeket pedig elkészíthetjük arra alkalmas fém, fa, vagy kompozit előgyártmányból (3. kép).



3. kép: könnyűszerkezetes héj modellje

Tézisek

1. Az építészet korszakai anyaghasználat szempontjából

Az építészet története anyaghasználat szempontjából három korszakra tagolódik. Ezek a korszakok szoros összefüggésben állnak az emberi életmód két nagy mérföldkövével, az úgynevezett „neolitikus forradalommal” és az „ipari forradalom” kezdetével. Míg az ősepítészet rendszerint húzott jellegű, a letelepedett népek építésze első sorban az anyagok nyomószilárdságát aknázza ki. Az ipari forradalomtól kezdve viszont egyre több vegyes szerkezeteket alkalmaznak, illetve elterjed az acéllal erősített beton, amit további kompozitok követnek. Ezzel, anyaghasználat szempontjából az építészet új korszakába lép, aminek során összetett igénybevételnek jól megfelelő kompozit anyagok veszik át a főszerepet.

2. Kompozitanyagok elterjedésének hatása az építészeti formára

Mivel a XX. századtól elterjedő különféle kompozitok nagyobb mértékben állnak ellen összetett igénybevételeknek, ezért nagyobb fesztávok lefedésére nyílik lehetőség és kisebb keresztmetszeteket alkalmaznak. Ennek következtében felborul az építészet évszázadokon át megszokott arányrendszere, és kifejlesztik a héjszerkezeteket, ami által új, korábban ismeretlen építészeti formák jelennek meg. Elterjed továbbá a falból tetővé, födémmé, oszloppá vagy pillérré dinamikusan átalakuló építészeti tömeg. Ezt a jelenséget nevezzük hajlított építészetnek és ez a jelenség elképzelhetetlen kompozit anyagok alkalmazása nélkül.

3. Biokompozit kísérleti gyártása és mechanikai vizsgálatok

Jutaszövet és PLA réteges hőpréselésével csomagolóipari, bútorigipari és építészeti alkalmazások számára alkalmas biokompozit nyerhető. A mechanikai vizsgálatok és mikroszkóppal végzett megfigyelések azonban alátámasztják, hogy a kompozit anyag tulajdonságai nemcsak az anyagi összetételtől, de a gyártástechnológiától is nagymértékben függenek. A szálak elhelyezkedése szintén nagymértékben befolyásolja a kompozit szilárdságát. Mivel a vizsgálatok során jelentősen magasabb szilárdságot tapasztaltunk húzó igénybevétellel szemben, azért olyan szerkezet tervezése mellett döntöttünk, ami főként húzásra veszi igénybe az anyagot.

4. Könnyűhéjszerkezet tervezésének lehetősége biokompozit alapanyagból

Rúdelemekkel, vagy diafragmákkal kiegészítve kis keresztmetszerű könnyűhéjszerkezet építhető alaksajtolts biokompozit lemezekből. Az ideális héjforma kialakításához egy speciális hibrid módszert alkalmazunk, ami szakaszosan nyomott, úgynevezett „tensegrity” váz, valamint egy origami modell egyesítésével jön létre. Mivel a szálerősített kompozitok jelentősen nagyobb szilárdságot mutatnak húzó igénybevétellel szemben, ezért célszerű egy folytonosan húzott, szakaszosan nyomott modellt építeni, hogy az alapanyag szilárdságát a legnagyobb mértékben kiaknázzuk. Ezt követően második lépésben a vázat egybeborítva felületszerkezetet kapunk. A magas nyomószilárdság fenntartására érdemes megtartani a vázrendszer részét képező rúdelemeket az eredeti helyükön, a kábelezés viszont teljes egészében elhagyható. A rúdelemek ugyanakkor normál irányú merevítőlapokkal is kiválthatóak. A kábelezés iránya viszont jelzi a mindenkori húzó igénybevételek tengelyét, ezért a héjszerkezet elemeinek gyártásánál érdemes a kábelmodell tengelyével párhuzamos szálirányt alkalmazni.

Tézisekhez tartozó közleményjegyzék

Nagy, M., Katona, V. (2020) Soft folding: A morphogenetic approach to bio-based fibrous construction materials, *New Design Ideas* Vol. 4, No. 2. pp. 85–97.

Nagy, M., Csóka, L. and Katona, V. (2019) The role of symmetry in reciprocal frame structures, *Symmetry: Culture and Science*, 30 (1), 15–24.

Nagy, M., Csóka L., U Nagy G. (2016): Mechanical Testing of Natural Fiber Reinforced Biocomposit based on Jute Fibre and PLA for architectural purpose. In Ács, Kamilla; Bencze, Noémi; Bódog, Ferenc; Haffner, Tamás; Hegyi, Dávid; Horváth, Orsolya Melinda; Hüber, Gabriella Margit; Kis Kelemen, Bence; Lajkó, Adrienn; Mátyás, Mónika; Szendi, Anna; Szilágyi (Ed.), V. Interdiszciplináris Doktorandusz Konferencia Konferenciakötet = 5th Interdisciplinary Doctoral Conference Conference Book (pp. 342–354.). Pécsi Tudományegyetem Doktorandusz Önkormányzat.

Nagy, M., Csóka L., U Nagy G. (2016): Építészet és anyagkutatás összefüggéseinek áttekintése, különös tekintettel a szálerősítésű biokompozitokra In: Koncz, István; Szova, Ilona (szerk.) PEME 12. PhD-konferencia Budapest, Magyarország, Professzorok az Európai Magyarorszáért Egyesület (2016) 199 p. pp. 136–141., 6 p.