



PAPIRREÁLIS

1. Előszó

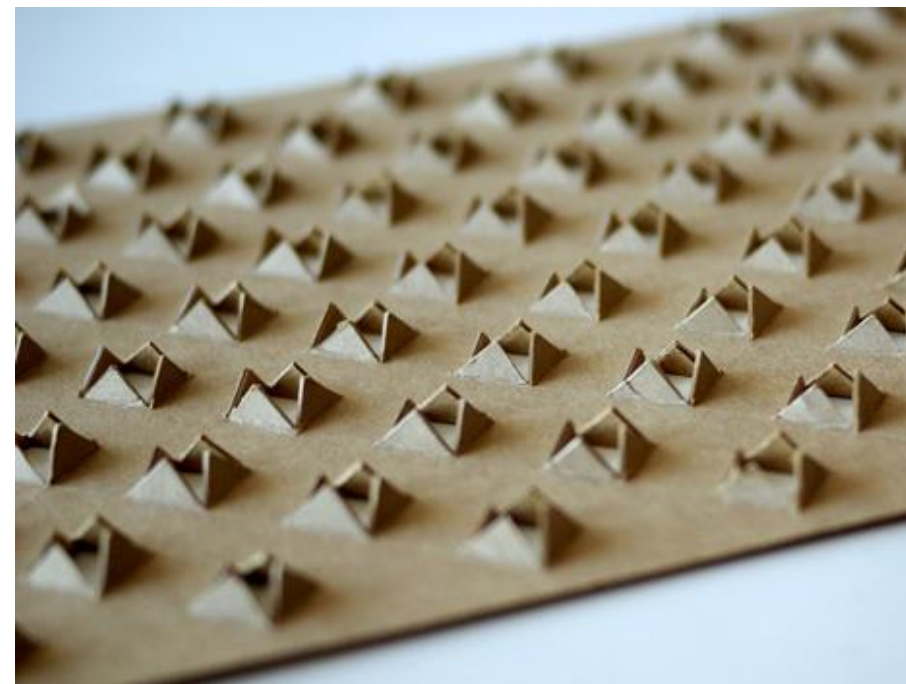
Papírból házat? Alice csodaországába csöppentünk volna?

Az emberek többsége úgy gondol a papírra, mint adattárolási lehetőségre, hiszen a papír története összekapcsolható az írás kialakulásával.

A szokványos papírból készült termékek sem az építőiparban való alkalmazását helyezik előtérbe: papírdoboz, papírsebkendő, papírpénz, csomagolópapír. Napjainkban azonban a technológia fejlődésével a papír termékek széles skálája jelent meg. Az elmúlt évtizedben egészen szokatlan területeken találhatunk innovációkat. Ezzel párhuzamosan az építőiparban is fokozatosan kezdtek elterjedni bizonyos papírból készült építőanyagok. Széleskörű elterjedését meglepő módon nem a technológia, hanem legfőképpen az emberek fenntartásai akadályozzák. A kivetések leginkább az esztétikával kapcsolatosak, mivel az emberek az újrahasznosított papír fogalmát elsődlegesen a hulladékkal kötik össze. Sokan a hajléktalanok „lakhelyeire” asszociálnak, ami szintén sokat ront az anyag imázsán. Ez axiómaként raktározódik az emberek tudatalattijában, emiatt nehézkes az előítéletek megváltoztatása.

Korunkban egyre több hulladék keletkezik, így ezek megfelelő kezeléséről gondoskodni kell. Az építőanyagok gyártása nemcsak a hulladékok hasznos feldolgozására adna választ, hanem új kapukat nyitna meg az építőipari kutatások terén.

Tudományos értekezésünkben nem egy új elemet kívánunk létrehozni, csupán a meglévő újrahasznosított papíripari termékekből szerkezeti elemeket kialakítani. Célunk, hogy eloszlassuk a társadalomban az ezzel kapcsolatban kialakult fenntartásokat, és megválaszoljuk a hétköznapi emberekben felmerülő kérdéseket.



1. ábra



2. ábra



3. ábra



4. ábra



5. ábra

2. Papír általános jellemzői

Építészek, kutatók, hallgatók – ki nem érezné kihívásnak, hogy egy új építőanyag határait feszegetse?

Elég csak az újszerű textúrára avagy a létrehozható struktúrákra, terekre gondolni. A hullámpapírlemez gyönyörű textúrája nem véletlenül ihletett meg immár több építész is, mint pl. Ad Kilt, Ro Kostert avagy az ismertebb Shigeru Bant.

A legtöbb projekt ideiglenes épületeket épít papírból, az anyag költséghatékony volta, a helyszínen való gyárthatóság, a kis tömeg illetve a papír újrahasznosíthatósága miatt.

Az ún. kartonházakkal való kísérletezés során új tapasztalatokat szerezhethünk más építőanyagokra vonatkozóan is. Egy ilyen kutató jellegű kísérletezés során sikerült kifejleszteni egy új technológiát az alumíniumfelhasználásban.

Ahhoz, hogy a papírt a tradicionális építőanyagokkal egy lapon említsük, az új, jelenleg még csak kísérleti anyagnak ugyanúgy bizonyos követelményrendszernek kell megfelelnie. Ezenkívül a többi anyagtól való elkülönülésként rendelkeznie kellene 1-2 specifikus tulajdonsággal is. Úgy, mint ahogy a transzparencia tulajdonságot elsősorban az üveghez kötjük.

2.1. Papír pozitív tulajdonságai



6-11. ábra

Papír esetén elsődlegesen talán a rugalmasságra és a kis tömegre asszociál az ember, mint különleges tulajdonságokra.

Ha nem csupán asszociatív gondolatokra hagyatkozunk, közelebbről nézve a papír előnyei a hagyományos építőanyagokkal szemben:

1. kis tömeg - ez rendkívül nagy előnyt jelent az építőiparban (szállítás, emberi és gépi erőforrások csökkentése)
2. újrahasznosíthatóság - az alapanyag (cellulóz rost) kimeríthetetlen forrás
3. költséghatékony - újrahasznosított anyagok beszerzése
4. tömeggyártás – előnye, hogy az anyag folyékony és gördülő állapotában (pép és sajtolászakasz) is lehetőséget ad a különböző paraméterek módosítására
5. nyomtathatóság - a csomagolás és hajtogatás világában közismert fogalom, azonban az építőiparban talán kevesen gondolnak erre az előnyre
6. hőszigetelőképeség – jó paraméterekkel rendelkezik

3.Építőanyagok követelményei

3.1. Általánosságban

A tervezett épületekkel szemben támasztott követelmények, jellegük szerint négy egymással összefüggő csoportba oszthatók: szerkezeti, használatbeli, megjelenésbeli és művészi csoport.

A szerkezeti kritériumokat kielégíti az épület, ha a rá jutó és általa keletkező terheket az építmény képes kellő biztonsággal átadni a talajnak.

A használati követelményeket kielégítő épület különböző kritériumai (helyiségeinek méretei, kapcsolatai, megvilágítása, szellőzése, hőmérséklete, hőérzete, stb.) megfelelnek a bennük folyó tevékenységek kívánalmainak.

Az épület megjelenésével szembeni legnagyobb követelmény, hogy megfelelő módon igazodjon környezetéhez és az ott folyó tevékenységekhez. Fontos, hogy a megbízó és a használók igény szintjét kielégítse a megvalósult megoldás.

Az épület művészi követelményeknek akkor felel meg, ha az építmény összegzésében és részleteiben is ugyanúgy közvetíti az adott kor szépségeszményét.

Ezeknek bár egyszerre mind teljesülniük kell, különböző időszakokban más-más válik hangsúlyosabbá. A párizsi Eiffel-torony szépségét élettartama folyamán már többször is kétségbe vonták. Mióta azonban Párizs jelképévé vált, már senki nem gondolkozik lebontásán - sőt még igazi művészeti alkotásnak is tartják.

3.2. Lakóhely követelményei

A lakás:

Alapkövetelmény: az épület legyen száraz, levegős, napfényes, fűthető, szellőztethető, kellő megvilágítású stb.

Általános igény: időjárásállóság, betörésállóság, állatokkal szembeni védelem
zavartalanság, zajvédelem
tisztíthatóság

Különleges igény: lakásméret a család nagysága szerint életforma szerinti helyiségigény

Az OTÉK szerint a helyiségek rendeltetésszerű biztonságos használatához, a helyiségeknek elegendő természetes megvilágítást kell biztosítaniuk. „A huzamos tartózkodás céljára szolgáló helyiség szükség esetén közvetett természetes megvilágítású lehet akkor, ha a rendeltetésének megfelelő szellőzés és megvilágítás lehetősége biztosítható.”

Megfelelő komfortérzet biztosításánál a levegő széndioxid tartalma nem haladhatja meg az egy ezreléket, ezért a lakásokat szellőztetni kell. A szellőztetés intenzitását légcseré mértékével jellemezhetjük. A hőérzet nem csak a lakástér levegőjének hőmérsékletétől, hanem az alkalmazott anyagok felületének hőszugárzásától is függ.

A lakásterek benapozása szintén fontos szerepet játszik a mindennapi életben, mind az energiaháztartásban, mind pedig a mentális komfortérzet szempontjából. A közvetlen napsugárzásnak ráadásul csíraölő hatása is van, mellyel elkerülhetők a mikroorganizmusok meglepedése.

A lakástereket zavaró külső és belső zajhatások (az emisszió, avagy a behatolás mérséklésével) a megfelelő szerkezetekkel csökkenthetők.

3.3. Papír, mint építőanyag?

A papírt szeretnénk bevezetni azon anyagok közé, amelyeket az emberiség történelme folyamán az építési tevékenységéhez felhasznált. Az építőanyagoknak nincsenek egyértelműen definiálható saját alapkövetelményeik. Ezek az építményekben betöltött szerepükből következnek: az határozza meg őket, hogy milyen módon járul hozzá az adott termék az építmény alapvető követelményeinek teljesítéséhez. Az építményekkel szemben támasztott alapvető követelményeket a 89/106/EGK számú „Építési termék irányelv” határozza meg. Ezek a következők: mechanikai szilárdság és állékonyság; tűzbiztonság; higiénia, egészség- és környezetvédelem; használati biztonság; zajvédelem; energiatakarékosság és hővédelem. Az építőanyag akkor felel meg építési célra, ha szakszerű beépítést követően, a teljes tervezett élettartama alatt,

rendeltetészerű használat és előírt karbantartás mellett, az építmény kielégíti az alapvető követelményeket. Az építési termék fogalmkörébe tartozik minden olyan anyag, szerkezet, berendezés vagy több, különböző részből összeállított elem, amelyet azért állítanak elő, hogy építményekbe állandó jelleggel beépítsék. Először is tehát meg kell határoznunk, hogy a papírt milyen építőanyagként használjuk fel. Az építőanyagok egy része lehet teherviselő szerkezet, más része védő, vagy díszítő anyag, ezekre mind más és más alapvető követelmény vonatkozik. Ha tudjuk, hogy milyen követelményeknek kell megfeleltetni egy építőanyagot, megvizsgálhatjuk a tulajdonságait. Ezek lehetnek kémiai; fizikai; szilárdsági; alakváltozási; megmunkálhatósági; tartóssági; esztétikai tulajdonságok. Ezen tulajdonságok számszerűsített értéke alapján adhatunk csak pontos választ, hogy az adott termék milyen mértékben elégíti ki a választott szerkezet követelményeit.

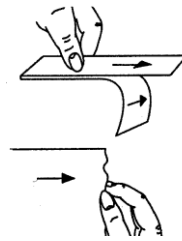
4. A papír jelen piaci körülmények közt

A következőkben azt kívánjuk bemutatni, hogy jelenleg milyen papírtermékek állnak rendelkezésre a piacon, és ezek milyen tulajdonságokkal rendelkeznek. Az a kérdés, hogy ezek közül bármelyik alapanyagot fel tudjuk-e használni az építőiparban.

A papíriparban készárunak az ívekre vágott, becsomagolt, már szállítható állapotú papírt nevezzük.

A különböző termékek (papírok, kartonok és lemezek) csoportosítása elsődlegesen felhasználási terület, valamint rendeltetési cél szerint történhet. E szempont alapján lehet író-nyomó, csomagoló, műszaki, egészségügyi továbbá különleges papírfajtákat elkülöníteni.

A papírok már egyszerűbb gyakorlati módszerekkel is (pl. tapintás avagy szín) megkülönböztethetők. Az egyik, talán legegyszerűbb ilyen módszer a papírok eltérő négyzetmétertömeg szerinti besorolása: papír 180 g/m²-ig, karton 400 g/m²-ig, lemez 400 g/m² fölött.



12. ábra

Számos további csoportosítási módszer létezik, mint a rostanyagösszetétel (famentes, fatartalmú, félfamentes, rongy- és műszáltartalmú papír), az előállítás technológiája (egy- vagy többretegű), szín, megjelenési forma és nem utolsósorban a fizikai és kémiai tulajdonságok (vízállóság, zsírállóság, légáteresztés, elektromos feltöltődés, stb.) alapján történő kategorizálás.

4.1 Papíripari termékek

A továbbiakban a leglényegesebb papír-, karton- és lemezcsoportokat szeretnénk ismertetni.

Író-nyomó papírok:

Az író-nyomó papírok elnevezés gyűjtőfogalom. Ide sorolhatók a különböző írópapírok (különböző irodai, hivatali, magáncélokra használt papírok) pl.

bankpostapapír; a rajzpapírok pl. akvarellpapír; és nyomópapírok pl. recycle papírok.

Csomagolópapírok:

A csomagolópapírok rendeltetésének széles köréből következik, hogy minősítésükkor figyelembe kell venni a célt, amelyre felhasználják. Nagy általánosságban a szilárdság és rugalmasság azok a jellemzők, amelyek többé-kevésbé csaknem minden csomagolópapír fajtára vonatkoznak. A felhasználás sokrétűsége meghatározza a csomagolópapírok



rostanyagösszetételét.

13. ábra

A nátron csomagolópapír (zsákpapír) például rugalmas, ropogós fogású, erős, szívós papírfajta. Elsősorban nagy teherbírású papírzsákok, zacskók előállítására alkalmazzák, de feldolgozzák a legkülönbözőbb csomagolási célokra (pl.: impregnálva paraffinnal, cerezinnel, viasszal, olajjal vagy különböző műanyagokkal), bitumennel bevonva higroszkópos áruk védelmére is kiválóan megfelel.

Műszaki papírok:

Ebbe a kategóriába az ipari továbbfeldolgozásra kerülő műszaki termékek előállítására használt alappapírok tartoznak. Ilyen például a csiszolópapír: szívós, nagy mechanikai igénybevételnek ellenálló, gyenge enyvezésű, töltőanyag nélküli papír, mint alappapír, a dörzscsiszoló felület hordozója.

Egészségügyi papírok:

Higiéniai rendeltetésű, többnyire textil helyettesítésére alkalmazott termékek papírjai pl. szalvéta alappapír, papírvatta, stb.

Különleges papírok:

Egyes termékciikk csoportok és technológiák speciális követelményeket támasztanak a papírral szemben. A kiegészítő gyártási folyamatok során sajátos, egyedi tulajdonságokat építenek be az adott igényeknek megfelelően. Alapvetően ide tartoznak a kezeletlen papírokon kívül a legkülönbözőbb vegyileg kezelt, mázolt, merítéssel bevont, felületileg kezelt, aszfalttal, bitumennel,

kátránnyal, sztearinnal, olajjal, viasszal, cezerinnel és esetleg egyéb vegyszerekkel átitatott papírféleségek.

Bankjegypapír: Ez a papírfajta nem kerül forgalomba. A támasztott követelményrendszer sokrétű, három fő eleme: a papír utánozhatatlansága, a kiváló nyomtathatóság, és nem utolsósorban az időtállóság, szilárdság, gyűrés-ellenállóság. Az anyagösszetételben jelentős a len- és gyapotrongycellulóz.

Bélyegpapír: Szintén nem kerül forgalomba. Csak annyira szívóképes, hogy a bélyeg hátoldali enyvezését tartsa.



14. ábra

A vízálló papír (karton és lemez): Rendeltetése a víz-, illetve nedvességáthatolás megakadályozása. Egy anekdota szerint az ötlet 1920-ban született meg, mikor is Jerry Darling megoldást keresett a favágók problémájára, hogy esőben is jegyezni tudják a kivágott fák mennyiségét és az egyéb kapcsolódó adatokat. A papírt műgyantával,

parafinnal vagy más vegyszerrel impregnálják vagy kasírozzák.

Matricapapír: A közismert matricák, jelzések készítésére felhasznált papírt először keményítővel kezelik, majd azt követően ragasztóréteget visznek fel rá. Ezzel a folyamattal párhuzamosan lágyítószert is adagolnak ezzel megelőzve a benedvesített matrica kunkorodását.

Kartonpapírok:

Könyvek, csomagolószerek és számos egyéb célra felhasznált termékek készülnek kartonpapírból. A gépkartonok általában egyetlen homogén anyagrétegből állnak, de készíthetők többrétegű kivitelben is. Több papírt vagy kartonlapot ragasztással egyesítenek, ilyen pl. az alabástromkarton.

A kartonpapírok cikksorozatjába tartozik a játékkártyakarton, mely rétegek kasírozásával jön létre. Sajátossága, hogy az egyes rétegek közé (az adott keményítőragasztóhoz) az áttetszőség megakadályozásáért kormot adagolnak. A kártya felületét a moshatóság érdekében lakkozzák.

Pohárkarton: Élelmiszerboltok polcain külföldön már egyre elterjedtebb a fagylaltok, joghurt és más savanyútej készítmények papírpoharas kiszereleése. A papírpoharak elterjedését nem csak a reklámhordozó szerepe segíthette elő,

hanem a korábban egyeduralkodó polisztirolból vagy polipropilénből gyártott műanyag poharakkal szemben a környezetbarát szempontból kedvezőbb megítélésű alapanyaga is. A papírpoharakat leggyakrabban kétféle speciális kartonból készítik. Az alapanyag lehet egyoldalon- illetve kétoldalon polietilén réteggel társított, elsődleges rostanyagból készült karton. A polietilén réteg rendkívül fontos, mert így nagymértékben lecsökken a papír nedvességfelszívó képessége, és alkalmassá válik arra, hogy folyadékokat tároljanak benne. Az egyoldalon polietilénezett kartonokat elsősorban a meleg italokhoz (tea, kávé, forrócsokoládé), míg a kétoldalon polietilénezett kartonokat főleg a hideg italokhoz használják.

4.2 Csomagolás, összetétel

Fennáll a kérdés ennyi papírtermék ismertetése után, hogy egy adott termék összetevőiben a papírnak minimálisan milyen százalékarányban kell szerepelnie ahhoz, hogy a terméket valamilyen típusú papírnak hívjunk?

Egyes szakirodalmak szerint:

“Papír a neve a növényi rostsejtek vizes szuszpenziójából (őrleményéből) nemezelődés útján készült és megszáritott lapnak. A papírlap rostjai egyrészt mechanikailag kapcsolódnak egymáshoz az összekuszált sejtek, rostok nemezelődése útján, másrészt a különböző sejtek között kialakulnak másodlagos, ún. kémiai kötések is. A papírgyártás nyersanyagai között a rostanyagokon kívül jelentősek a másodlagos anyagok is. A papírlap képzéshez igen sok adalékanyagot is adnak, melyek papír lapképzését, nyomtathatóságát, fizikai és kémiai tulajdonságát változtatják meg.”

“A papír rostok összekuszálásával előállított vékony, hajlékony lap. Tulajdonképpen minden szálas, rostos anyagból lehetne papírt készíteni. A papírgyártás alapanyaga a cellulóz. A cellulóz a növényi sejtek falában található és az egyes növényekből gazdaságosan kinyerhető. A növények (főleg a fák) sejtfalában a cellulózon kívül nagy mennyiségű lignin is található. A lignin fás

szervezetű anyag, amely könnyen színeződik, törékeny és rideg. Papírgyártás szempontjából hátrányos tulajdonságú anyag, ezért a papírgyártás során el kell távolítani. ”

A mindennapi szóhasználatban azonban előfordulhat: az újságpapír, a rajzpapír, a plakátpapír, a krepp papír, a csomagolópapír, a bélyegpapír, a fotópapír, a papírmásé, a matricapapír, a papírdoboz, a papírduda, a papírpohár, a cukorkapapír, a csokoládépapír, fagyipapír, vajcsomagoló papír, a papírpalack, a papírtapéta, a papírbútor, stb.

Közelebről nézve azonban, nem is midegyik termékcikk készül 100%-osan papírból - elég csak a vajcsomagoló papírra, a muffinpapírra, a csokoládé- avagy fagyaltpapírra gondolni. Mégis miért maradhatott benne a közszóhasználatban? A vajcsomagoló papír nyomtatott, zsírálló papír, mely mindkét oldalán felületkezelt! Az egyik oldalon hot-melttel (forró ömledék), a másik oldalon PVDC-vel (poli(vinilidén-klorid)).



15. ábra

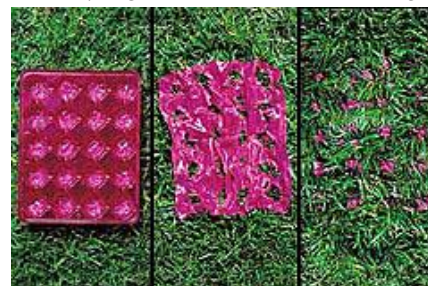


16. ábra

A csokoládés dobozok elegáns kivitelezése (a külső megjelenés hangsúlyozására) 1780 körül Franciaországban jött divatba. Akkor még gyönyörű festmények, bonyolult eljárással készült domborművek és intarziaként alkalmazott féldrágakövek díszítették őket. A dobozt vagy a csokoládérétegeket borító papíroknak jelentős szerepe van a vonzerő kialakításában. A csokoládék csomagolásához felhasznált zsírintes papírfajták mindig különleges minőségű anyagnak számítottak. (A zsírálló csomagolópapírok a zsírok és olajok áthatolásával szemben ellenállóak, amit kénsavas kezeléssel; avagy a rostok erőteljes őrlésével, fibrillálásával lehet elérni. A papír többé-kevésbé vízálló.) Az is

előfordul, hogy gondosan kipárnázott papírt alkalmaznak; más papírok rejtélyesen áttetszőek és ereztettek, mint a ropogós pauszpapír.

Manapság azonban a legtöbb csokoládépapír zömében műanyag alapú. Az el nem bomló műanyag azonban már lassan mindent elborít. Nem véletlenül indított (Magyarországon elsőként) 2012-ben a Kraft Food vezető márkája, a Milka, programot csokoládé csomagolóanyagok összegyűjtésére.



17. ábra



18. ábra

Egy ausztrál cég már eldobható csomagolóanyagot ún. bioplasztikot fejlesztett ki kukoricakeményítóból. A kukoricakeményítóból gyártott fólia rugalmas és az összetevők arányának változtatásával beállítható, hogy mennyire legyen tartós. Ez hulladékként nem káros a környezetre, ugyanis víz hatására néhány hét alatt lebomlik, a fóliából széndioxid és víz lesz. A masszívabb és egyben drágább fajta akár egy hónapig is ellenáll a nedvességnek, a csokipapír viszont akár néhány óra alatt eltűnik.

Ezek szerint olyan terméket is csokipapírnak hívunk, ami tulajdonképpen nem is tartalmaz növényi rostokat?

A csomagolástechnika az elmúlt évtizedekben hatalmas változásokon ment keresztül. Ezzel együtt rengeteget változtak a csomagolással szembeni elvárások, követelmények mind a vásárlók részéről, mind a műszaki-jogi szabályozás szempontjából. A csomagolás lényege, hogy a terméket védje a környezetből érkező különböző káros hatások és igénybevételek ellen. Már Kr.e. is készítettek papírt Kínában, melybe a császár orvosságos üvegeit göngyölték bele. Tehát a papírt előbb használták csomagoláshoz, mint íráshordozóként.

Az idő múlásával a csomagolástechnika folyamatosan fejlődött, és az eredeti csupán papírból készülő csomagolások paramétereit (a név megmaradása

mellett) elkezdték a felhasználási terület szerint különböző anyagok hozzáadásával módosítani. Kísérleteztek a papír mechanikai, kapilláris, optikai, nyomtathatósági, elektromos, és egyéb különleges tulajdonságaival.

4.3 Adalékanyagok

A teljesség igénye nélkül kitérnénk olyan tulajdonságok adalékanyagoptimalizálására, melyek az építőiparban is hasznosak lehetnek.

Szilárdságnövelő segédanyagok:

A több komponensből álló papír szilárdságát nehéz megállapítani, már csak ha a rá ható változók számát vesszük is. Ezeket a változókat alapvetően két csoportra lehet osztani: kiindulási rostanyagok által meghatározott, valamint a papírgyártás választott technológiai folyamatai által meghatározott tényezőkre. Elsősorban függ:

- o a kész papírban kapcsolódó rostok kötőerőitől és a felület nagyságától (amelyen az erők hatnak);
- o a rostok szilárdságától, hajlékonyságától és méretétől;
- o a rostok papíron belüli elhelyezkedésétől, orientációjától.

A papír szilárdsági jellemzői (szakító-, hajlító-, tépőszilárdság, stb.) eltérő mértékben függenek ezen tényezőktől. A papír szakítószilárdsága például nagyobb mértékben függ a rostok közötti kötőerőtől, mint azok hosszúságától. (Eltérő rosthosszúsággal rendelkező fenyő és lombos fa cellulózjából előállítható azonos szakítószilárdságú papír.) A hajlítószilárdság pedig inkább a rostok hosszúságától és azok szilárdságától, hajlíthatóságától függ, mint a kialakuló kötőerőtől.

Szükségszerűen tehát azok a segédanyagok, melyek valamely változót módosítják, javítják a papír szilárdsági értékeit. Ilyen tulajdonságokkal rendelkeznek bizonyos növényi nyálkák, természetes és módosított keményítők, egyes szintetikus polimerek illetve alginátok (tengerek barna algáiból nyerhető), a nedves szilárdságot ösztönző gyanták.

Növényi nyálkák:

Az összetétel-eltérés által létrejövő réteg növeli a felületen keletkező rost-rost kötések számát. A felület telítettsége a rostminőségtől függ.

Keményítők:

A keményítő a növények raktározott tápanyaga. Főként magokban, gumókban, hüvelyesekben található. Gazdag keményítőtartalmú növények például a gabonafélék: búza, rozs, zab, a burgonya, a kukorica és a rizs.

Mivel a kukoricakeményítő kevésbé stabil vegyület, mint a burgonyakeményítő, hosszú ideig nem is igazán alkalmazták a papíriparban. Mára már ez a probléma kémiai szerkezetmódosítások segítségével megoldódott.

A papírpéphez adagolt természetes keményítő növeli az anyag szakító- valamint tépőszilárdságát.

Léteznek bizonyos keményítőszármazékok: éterek és észterek, melyek a kész papír nedvesszilárdságát és felületi szilárdságát növelik.

Szintetikus polimerek, gyanták:

Mechanikai szilárdság javítására használnak kondenzációval illetve polimerizációval előállított szintetikus gyantákat is.

A kondenzációs gyanták elsősorban a nedvesszilárdságot növelik.

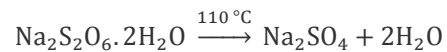
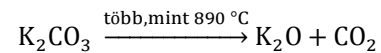
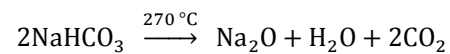
A szintetikus polimerek szerkezetük tervezhetősége miatt alkalmazása elterjedtebb. A papír száraz szilárdságának növelése érdekében ajánlott a poli(akril-amid) gyanta használata. Ez az anyag száradáskor a papíron vékony filmréteget képez, mely megerősíti a rostok közt kialakult kötések.

Lángállóság:

Cellulóz alapú anyagokkal való kísérletezés során fény derült arra, hogy a láng a felszabaduló gázok diffúziója miatt gyorsan terjed, és a környező felület könnyen eléri a gyulladási hőmérsékletet. A papírt anyagában nehéz tűzállóvá tenni, mert még a 98%-ban szerves rostokat tartalmazó papír is tartalmaz éghető szerves kötőanyagokat. Ezért inkább csak az égés sebességét lehet bizonyos mértékben lassítani.

A lángállóság különböző anyagok segítségével érhető el, melyek mind másképp lépnek reakcióba.

Az égési sebességet csökkentő anyagok mechanizmusának lényege legtöbbször az, hogy a nagy hőmérséklet következtében, égést nem tápláló bomlástermékek (SO₂, H₂O, CO₂, NH₃) keletkeznek. Ilyen vegyület például a nátrium-bikarbóna, ismertebb nevén a sütéskor is alkalmazott szódabikarbóna (NaHCO₃); kálium-karbonát (K₂CO₃) és nátrium-ditionát-dihidrát (Na₂S₂O₆·2H₂O). A reakció a következőképpen zajlik:



Olyan segédanyagok is léteznek, melyek nagy hőmérséklet hatására megolvadnak és ezáltal védőréteget képeznek a papír felületén. Ilyen anyag például a bórax, a vízüveg és a bórsav – ezek megakadályozzák a tűz továbbterjedését.

Érdekességképpen: A németországi Scheufelen Papírgyár kifejlesztett egy olyan cellulóztartalmú papírt, mely felülete láng hatására elszenesedik, ám ez a szénréteg védőréteggént viselkedik, ezáltal megakadályozza a papírt a továbbégésben. Ezt a nyomtatásra is alkalmas cikket használták az Apollo-12 űrhajóban, mely 1100 °C-on 60%-os oxigéntartalmú közegben sem gyulladt fel. Mint azt fentebb említettük, a papír tűzállóságának kifejlesztése nem éppen a legegyszerűbb feladat. Egyesek minden reményüket elveszítve azt állítják a papír semmilyen körülmények között semmilyen áron nem tehető tűzállóvá. Az amerikai kutatóknak (Ryan Tian és társai) azonban sikerült kifejleszteni egy olyan papírt, ami nem csak hogy tűzálló, de még újrahasznosítható is. Ez az anyag nem cellulózból, hanem titándioxidból lévő nanoszálakból áll. A termék így akár 700 °C hőmérsékletet is kibír. Specifikus tinta alkalmazásával többször használhatóvá válik: az eredetileg felírt szöveg eltűnik amennyiben UV-fény alá helyezzük.

Nedvesedőképeség változtatása:

A papír higroszkóposága és adszorbeálása miatt nagy relatív légnedvességű térben magától benedvesedik. Ilyenkor a papír rostjai közé behatoló víz meggyengíti a rostok közt kialakult kötéseket. Amennyiben a papírt ezek után száraz légtérben kiszárítjuk, a rostok közti kötések új pontokban újra kialakulnak. Az optimális nedvességtartalom értéke alapvetően a mechanikai szilárdsági jellemzőktől függ, ugyanis az abszolút száraz papír szilárdsági jellemzői a túlszáritott rostok törékenysége miatt romlanak. A nedvességtartalom fokozásával (bizonyos határig) javul a rostok hajlékonysága, így elérhető a mechanikai szilárdság növelése.

A felhasználási céloknak megfelelően a papír nedvesedőképesége kisebb-nagyobb mértékben csökkenthető avagy a felület lezárásával megszüntethető. A kapilláriszerkezet teljes elzárása vizes diszperziókkal [poli(vinilidén-klorid)], ömledékekkel (paraffin, viasz, meleg ömledék), bevonóakkokkal illetve fóliákkal (polietilén, polipropilén, alumínium társítása) érhető el.

Átitatás:

Az átitatásra használt anyagok legfőképpen oldatok és olvadékok formájában kerülnek felhordásra. A rostok összekötésével növelik a papír szilárdságát és csökkentik a nedvszívó képességét. A leggyakrabban használt impregnálószerek a paraffin, a vízüveg, a bitumen, a cerezin és a viasz.

A *paraffin* hátránya, hogy védelme addig tart, ameddig annak rétegét meg nem törték hajlításkor vagy karcoláskor. Így ez nem számít hosszabb távú védelemnek. A *vízüveg* fehér kristályos anyag, mely vízben nagyon jól oldódik. Ez papíráruk és kartonáruk ragasztására ill. impregnálására egyaránt kiváló anyag.

A *bitumen* természetes aszfalt, mely impregnálóanyagként a papírt szigetelővé és víztaszítóvá teszi.

Kasírozás és laminálás:

A papíripar két- vagy többretegű ragasztott termékek széles választékát tudja előállítani a kasírozás technológiájával. Az alap- és a tartósítóanyagok különböző kombinációjával szinte végtelen típusú termékvariáció készíthető, mint pl.: papír-papír, papír-karton, karton-karton, papír-fémfólia, papír-műanyag, papír-

üvegszövet összeragasztása. A társítóanyagtól függően válhat az anyag vízállóvá, zsírállóvá, átlátszatlanná, stb.

Az *alumínium fólia* társításakor különböző típusú ragasztókat: vízüveg, poli(vilil-acetát), melegolvadék stb. alkalmaznak.

A *melegolvadék (hot-melt)* adalékanyagokkal kezelt paraffin, mely immár a ridegséget és törékenységet tekintve jobb tulajdonságokkal rendelkezik elődjénél.

A *polietilén* granulátum vagy 0,05-0,07 mm vastagságú fólia formájában hozzák forgalomba. Papírral való társításakor a két összetevő kedvező tulajdonságai összeadódnak, nagyobb lesz a mechanikai szilárdsága, merevsége és nyomhatósága. A kombinált termékek zsírállóak, és nem eresztik át a folyadékot.

Minden hozzáadott adalékanyag azonban csökkenti az újrahasznosíthatóság esélyét.

5. Hulladékkezelés

5.1 Hulladékok története

A hulladék egyidős az étellel. Minden élőlény termel valamiféle hulladékot élete során, és maga is „hulladékká” válik, mikor elpusztul. A természetben keletkező hulladékok nyersanyagként szolgálnak más élő szervezetek számára, és részévé válnak az anyagok természetes körforgásának az életközösségek táplálékláncában. Amíg az emberek kisebb populációkban, a természettel szoros harmóniában éltek, nem jelentett különösebb problémát a keletkező hulladék.

Az ősemberek idejében a hulladékok a természetben található, főleg szerves anyagokból álltak, melyek viszonylag gyorsan lebomlottak. A környezetszennyezés, hulladéktermelés őseink megjelenése óta létezik. Az első „szemételepek” az állandó települések közelében alakultak ki. A legrégebbi szeméttárolók egyikét egy kőkorszaki településen találták Norvégiában. A hatalmas szemétdombot, amely csontokból, cserepekből és hamuból állt, a jelek szerint időnként felgyújtották, valószínűleg azért, hogy megszabaduljanak a kellemetlen bűztől.

A rómaiak fejlett kultúrájában már létezett a maihoz hasonló szemétszállítási rendszer. A keletkező szilárd konyhai hulladékot cserépedényekben tárolták, és megfelelő fizetségért naponta elszállították azt a városon kívüli parasztgazdáknak. A folyékony hulladékot, szennyvizet „modern” csatornarendszer vezette el, melyet szintén térítés ellenében lehetett igénybe venni.

A „sötét” középkorban a szemetet kihajították az ablakon az utcára, a vároldalba. Rengeteg patkány nyüzsgött ezeken a helyeken rendszeres járványokat okozva (pestis, kolera).

Az ipari forradalom idején elkezdődött az industrializáció, amely lényeges változásokat hozott a hulladéktermelés terén. A túlszűfolt ipari munkásnegyedekben a szemetet még mindig az utcára dobták, a szemétszállítás sem volt megoldott, ami higiéniai problémákat okozott. A kőszén elterjedésével minőségi változás következett be a környezetszennyezés terén. A kőszén

elégítésével a légköri szén-dioxid mennyisége folyamatosan nőni kezdett. Ennek mértéke sokkal gyorsabb volt, mint korábban az erdőirtások okozta szén-dioxid-növekedés, sőt az ipari forradalom kezdetétől mind a mai napig gyorsuló ütemben nő a kőszénből származó szén-dioxid mennyisége. A kőszénfelhasználás növekedése azonban más környezeti problémákat is hozott: a gyenge minőségű szenekben ez 4-5% kén is lehet. A kőszén, mint energiahordozó elterjedése a légköri kén-dioxid-szennyezést ugrásszerűen megnöveli. A szén szervesetlen összetevőiből por, a tökéletlen égésből szén-monoxid és korom származik, s mindezek ugyancsak komoly környezetszennyezést okoznak.



19. ábra



20. ábra

Az emberi civilizáció rohamos fejlődésének "eredménye" a hulladéktermelés drasztikus növekedése. A "civilizált" ember által termelt hulladék jelentős része azonban a természetben már nem talál feltevőre. Az elmúlt századok alatt a hulladék mennyisége mellett az összetétele is megváltozott. Ma már megjelentek benne kémiaiilag egészen új, nehezen lebomló, részben erősen mérgező (esetleg sugárzó) anyagok, amelyek évszázadok alatt sem bomlanak le. A környezetet a hulladékok korábban elképzelhetetlen gigantikus mennyisége fenyegeti. Az egyik legnagyobb és legmegdöbbentőbb ember okozta környezetszennyezés egy hatalmas szeméttömeg a Csendes-óceán északi medencéjében. Amerikai tudósok 1988-ban figyeltek fel létezésére. Több évtizede zajlik már a tengerek szennyezése, az olcsó műanyagok kilenczede kerül szemétként a vizekbe. Műanyagon kívül találtak már benne plüssmacit, gumilabdát, kenut is. Ez a

hatalmas "sziget" szerény becslések szerint 700 ezer, a pesszimistábbak szerint 15 millió négyzetkilométerre tehető. Ez kb. tizenötszöröse Magyarország területének. Megoldási javaslatként egy elég elgondolkodtató ötlet is született: WHIM Architecture cég hasznosítaná a szemétszigetet, olyannyira masszívvá alakítaná, hogy rajtuk akár emberek is élhetnének. A „recycled” sziget nem csak a tengerből kikotort hulladékból állna össze, hanem építésnél a szelektív hulladékgyűjtésből adódó előnyöket is alkalmaznák.



21. ábra



22. ábra

Egész tájak váltak hulladéklerakókká, a Földön több százezren élnek szeméttelpeken, gyűjtögetésből. Megdöbbentő példa Manshiyat Naser, más néven Szemétváros egy nyomornegyed a Mokattam hegy tövében, Kairó peremén Egyiptomban. A lakosság Kairó szemetét hasznosítja újra, gyakorlatilag a város szemétből él. Bár utcák, üzletek és lakások vannak, infrastruktúrája nincs. Épp úgy, ahogy folyóvíz, csatorna és villanyáram sem.



23. ábra



24. ábra

A hulladék új formáival is meg kell ismerkednünk, amelyek olyan helyeken keletkeznek, amelyekre egyáltalán nem számítottunk. Ilyen például az űrszemét, más néven kozmikus hulladék, mindazon mesterséges eredetű tárgyak neve, amelyek a világűrben keringenek, és már nem hasznosíthatók és nem hozhatók működőképes állapotba.

A hulladékprobléma mellett említést kell tennünk az emberiség másik negatív hatásáról, a növekvő energiaigényéről. Az energiatermelés növekedésének több kiváltó oka is van. Az 1700-as évek eleje óta az ipari termelés ugrásszerűen nő, a XX. században megjelenő tömegtermelés jelentős mennyiségű energiát igényelt. Az utóbbi évtizedekben pedig több fejlődő ország (pl. Kína, India, Brazília) felgyorsult fejlődése növelte az energiahordozók iránti keresletet. A világ népességének növekedésével arányosan nőtt az energiaigény. Ha a Föld minden lakója olyan életszínvonalon akarna élni és energiát fogyasztani, mint az USA az 1960-as években, akkor bolygónk kb. 2 milliárd embert tudna eltartani. Ma 7 milliárd lakója van Földünknek, akiknek energiafogyasztása nagyon különböző. Egy másik kiváltó ok a közlekedés fejlődése és az ipari termelés globalizálódása, amely jelentős energiaigényt generál. Az energiahordozó készletek kimerülése és a növekvő igények eredményezik az üzemanyag árak robbanásszerű emelkedését.

5.2 Problémafelismerés, megoldáskeresés

A növekvő energiafelhasználás környezetszennyező és az energia, mint természeti erőforrás korlátozottan áll rendelkezésre. Fel kell ismernünk tehát, hogy a Földünk energiakészletei végesek, a fogyasztási szokások, nyersanyagkörök, hulladéklánc újragondolására van szükség.

Jóllehet a környezet megóvásának kérdése többször felmerült különböző korokban és helyeken a világban, a modern környezetvédelmi mozgalom kialakulása elválaszthatatlan az ipari forradalom által jelzett változásoktól. Az első nagy, modern környezetvédelmi törvényt 1863-ban hozták Nagy-Britanniában. A korai környezetvédelmi mozgalom részeként Angliában létrejött egy „vissza a természetbe” mozgalom és az Egyesült Államokban is történtek hasonló

kísérletek. A 20. században a környezetvédelmi mozgalom tovább növekedett, a hatvanas években már olyan fontos környezetvédő civilszervezetek jöttek létre, mint a Greenpeace vagy a Friends of Earth. Azóta a környezetvédelem erőteljes társadalmi mozgalommá vált, mely képes a közpolitikai viták és döntések befolyásolására, csakúgy mint az egyéni cselekedetek átforgalmazására. A környezetvédő mozgalom számos olyan egyéni megoldást támogat, melyek nem a kormányok vagy nagy cégek hatáskörébe tartoznak, hanem a mindennapi ember számára is elérhetőek. Ilyenek például a városi biciklizés és tömegközlekedés favorizálása az autókultúrával szemben, a hulladékok szelektálása és újrahasznosítása, illetve a hulladékok képződésének megelőzése például a tudatos vásárlás segítségével, de a sor hosszan folytatható.

A cél tehát a fenntartható fejlődés, melynek lényege, hogy az általános fejlődés folyamatában következetesen egyensúlyra kell törekedni a társadalmi, gazdasági, műszaki és környezeti feltételek között. Olyan fejlődésre van szükség, amely úgy elégíti ki a jelen nemzedékek igényeit, hogy az ne veszélyeztesse a jövő generációk életfeltételeit. Ennek alapját képezi a természeti erőforrásokkal való ésszerű és hosszú távon is takarékos termelési és fogyasztási magatartások kialakítása, valamint a hulladékok másodnyersanyagként és másodlagos energiaforrásként való hasznosítása.

5.3 A hulladék fogalma, hulladékgazdálkodás

A hulladékgazdálkodás a környezetvédelem egyik fontos - talán a legfontosabb - szakterülete. Hulladékgazdálkodásnak nevezzük a hulladékok káros hatása elleni védelem érdekében kifejtett tevékenységek összességét, melynek célja a természeti erőforrásokkal történő takarékoság, a hulladék által okozott környezeti terhelés minimálisra csökkentése, a keletkező hulladék minél nagyobb arányú hasznosítása és a nem hasznosuló, vissza nem forgatható hulladékok környezetkímélő ártalmatlanítása. Hulladék minden olyan anyag, amelyet az adott műszaki, gazdasági és társadalmi feltételek között tulajdonosa sem felhasználni, sem értékesíteni nem tud, illetve nem kíván és ezért kezeléséről – a környezet szennyezésének megelőzése érdekében – gondoskodnia kell. A hazai

szabályozásnak és műszaki gyakorlatnak megfelelően megkülönböztetünk: termelési, települési (kommunális) és veszélyes hulladékokat.

A termelési hulladékok a termelő és szolgáltató tevékenységből származnak. Ezek lehetnek ipari hulladékok, melyek technológiánként igen eltérő minőségűek és mennyiségűek lehetnek és mezőgazdasági hulladékok. A kommunális hulladék a szolgáltató, az elosztási és a fogyasztási tevékenységből ered, ide sorolhatók a háztartásokból, intézményekből, üzletekből, közterületekről kikerülő szemét és a szennyvíziszap. A települési szilárd hulladék összetételét és mennyiségét elsősorban az életszínvonal és a fogyasztási szokások határozzák meg. Veszélyes (különleges kezelést igénylő) hulladék kitermelő, feldolgozó, szolgáltató, elosztó és fogyasztási tevékenységből egyaránt származhat. Jellemzője, hogy valamely összetevője vagy bomlásterméke az emberre, az élővilágra és az épített környezetre káros hatást fejthet ki.

5.4 Keletkező hulladék mennyisége Magyarországon

A legtöbb hulladék 1990-ben keletkezett hazánkban, mennyisége megközelítette a 106 millió tonnát. Jellemzően ennek döntő hányada két ágazatból került ki: a mezőgazdaság több, mint 50 millió tonnával, míg a feldolgozóipar 30 millió tonnát meghaladó mennyiséggel járult hozzá a hulladékképződéshez. Az ipari termelés radikális visszaesésének és a környezetvédelmi fejlesztéseknek köszönhetően jelentős mértékben csökkent a hulladék mennyisége. A közszolgálat keretében elszállított szilárd települési hulladék mennyiségét 2006 és 2011 között csökkenés jellemzi. Napjainkban egy átlag magyar 430 kg hulladékot termel évente, ezzel a mennyiséggel, az Európai Unió tagállamaiban végzett egy főre jutó kommunális hulladék mennyiségének felmérésében a középmezőnyben helyezkedünk el (az érték 316 és 833 kg között szóródik). Magyarország az egy főre jutó kommunális hulladékból 427 kilogrammot kezel és ennek 13 %-át hasznosítja újra.

Kommunális hulladékaink jelentős része csomagolóanyag, mivel a társadalmunk által felhasznált termékek többsége valamilyen csomagolásban jut el felhasználókhoz. A csomagolás hasznos és előnyös tulajdonságai mellett tudunk

kell, hogy ezek az anyagok szolgáljanak bennünket a legrövidebb ideig. A termék kicsomagolása után rögtön hulladékká válnak, jelentős mértékben növelve ezzel környezetünk terhelését. Felhasználásuk után viszont könnyen el lehet különíteni őket, így egyszerűen, viszonylag nagy mennyiségben tiszta, olcsó és értékes másodnyersanyagként kerülnek vissza az anyagok körforgásába. A kommunális hulladék összetételét a 25. ábra mutatja, melyen jól látható a csomagolóanyagok (papír, karton, műanyag, üveg, fém) túlsúlya, ezeken belül is a papír, karton hulladék teszi ki a csomagolóanyagok hulladékának legnagyobb részét.



25. ábra

A hulladékgazdálkodás segíti a környezetminőség és a természeti erőforrások megóvását, hozzájárul a lakosság környezeti biztonságérzetéhez, valamint fokozza a gazdaság hatékonyságát. Ennek eszközei: a hulladékok keletkezésének megelőzése, mennyiségének és veszélyességének csökkentése; valamint a keletkező hulladékok kezelése (begyűjtés, előkezelés, hasznosítás, ártalmatlanítás).

A megelőzés lényege az egyensúly megteremtése a környezetterhelés és a csomagolás modern társadalomban betöltött összetett szerepe között. A megelőzés soha nem egyszerű mennyiségi csökkentést jelent, hanem a csomagolás és a csomagolóanyag-gyártás minőségi változásával jár együtt. Jelentősebb területei: tömegcsökkentés, többszörös csomagolás elkerülése, veszélyes anyagok elkerülése, alternatív csomagolóanyagok használata.

Hasznosításnak az olyan eljárás tekinthető, melynek során a csomagolási hulladék anyaga, annak valamely összetevője, illetve energiatartalma részben vagy teljes egészében visszanyerhető és a termelési folyamatba juttatható. Ez

többféleképpen megvalósítható: újrahasználatlaltal, a hulladék anyagában történő hasznosításával, energianyerés céljából égetéssel, aerob vagy anaerob biológiai lebontással.

Az újrahasználat jó megoldási lehetőség a hulladékok keletkezésének elkerülésére. Lényege, hogy az adott terméket, különösebb fizikai beavatkozás nélkül ugyanarra a célra, ugyanarra a tevékenységre használjuk. Erre a legjobb példák az antikváriumok, turkálók, bontott építőanyagok, visszaváltható üveg. Napjainkban egyre nagyobb teret nyernek a nagyvárosi „re-use center”-ek, melyek a begyűjtött hulladékokat megjavítják, és újra eladják. Ezekben a nagy létesítményekben általában szociális foglalkoztatással valósul meg a munkafolyamat.

A hulladékok energianyerés céljából való elégetésének manapság elég ellentmondásos a megítélése. A pártolók és az ellenzők is rengeteg érvet, vagy ellenérvet tudnak felhozni a hulladékégetés mellett. Ma az elfogadott álláspont az, hogy az újrafeldolgozás és visszanyerés után megmaradt hulladék égetése előnyösebb, mint a lerakásos ártalmatlanítás. A hulladékok energetikai hasznosítása akkor indokolt, ha: magas azok fűtőértéke, nagyteljesítményű égetőművek állnak rendelkezésre, az égetőmű erőművel vagy hőszolgáltató hálózattal áll kapcsolatban, a primer energiahordozó gazdaságosan helyettesíthető.

A hulladékok ilyenfajta hasznosítására a legjobb példa Németújvár, azaz Güssing. A város az EEE GmbH (Megújuló Energiák Európai Centruma) központja, energetikai szempontból teljesen önellátó. A településen több „bioerőmű” biztosítja az energiát



26. ábra

(pl. biomassza erőmű, biogáz erőmű), melyek nagyrészt mezőgazdasági hulladékot használnak fel.

Biológiai kezelés körébe tartoznak mindazok az eljárások, amelyek során a hulladékok szerves és szervesetlen anyagait mikroorganizmusok segítségével vagy azok enzimjeivel alakítják át, ill. bontják le. Legjobb példája a komposztálás, melynek során széndioxid és víz bomlástermékek mellett értékes szerves és szervesetlen anyagokat tartalmazó, talajjavításra hasznosítható komposzt keletkezik.

Az európai uniós tagországok többségében a hulladékok anyagában történő hasznosítását helyezik előtérbe. Ennek alapja a hulladék megfelelő válogatása, mely kétféleképpen valósítható meg: szelektív gyűjtéssel vagy vegyes hulladékból gépi osztályozással. Miután összegyűjtötték és szétválogatták a hulladékokat, ipari eljárással homogén másodnyersanyag lesz belőle, majd azonos anyagú, de új funkciójú termék készíthető.

A hasznosítási módok közül előnyben részesítendő az újrafeldolgozás, azaz a hulladék anyagának az ismételt felhasználása (recycling), ennek a lehetőségnek a hiányában a visszanyerés, azaz a hulladék valamely feldolgozható összetevőjének alapanyaggá alakítása (recovery), illetőleg energetikai hasznosítása, azaz a hulladék energiatartalmának kinyerése (energy recovery) végezhető. A hulladéktermelést teljesen nem lehet megszüntetni, azonban a környezetre gyakorolt negatív hatását a hulladékok mennyiségének és veszélyességének csökkentésével lehet mérsékelni.

5.5 A papír újrahasznosítása

Mint ahogy azt már az előzőekben kifejtettük, a papír nagy százalékban van jelen a keletkező hulladékokban, ezért is fontos ezzel a témával mélyrehatóbban foglalkoznunk.

A papíripar már az 1800-as években is használt fel papírhulladékot másodnyersanyagként, azonban csak az utóbbi évtizedekben vált meghatározóvá az újrahasznosítása. Ennek révén csökken a környezetterhelés, hiszen a hulladékból készült termék minden tonnájával átlagosan: 10-17 öreg fa

kivágása, 31,8 m³ víz, 4,1 MW elektromos áram, 2080 liter kőolaj és 3 m³ lerakóhely takarítható meg. Nem véletlen tehát, hogy a papírhulladék a legnagyobb mennyiségben hasznosításra kerülő anyag. Figyelmet érdemel az is, hogy a papírhulladékból készülő termékek a mai piaci viszonyok között olcsóbban állíthatók elő, mint a cellulózból gyártott papírok. A papírhulladék ma már nélkülözhetetlen nyersanyag, amiből a világ kb. 200 M tonnát használ fel, ez megközelítőleg ugyanannyi, mint a cellulóztermelés. A papír újrahasznosítása nélkül tehát ez a mennyiség, a Föld erdőinek kipusztulásához vezetne.

A hulladékpapír nagyarányú felhasználása kapcsán felvetődik az ismételt felhasználás rostokra kifejtett hatásának kérdése. Az újrafeldolgozás során az elemi rostok öregednek, ami mechanikai, optikai és részben a kémiai jellemzők megváltozásában jelentkezik. A legértékesebb másodlagos rostok a tiszta, válogatott, csak egynemű papírokból vagy kartonokból álló hulladékból nyerhetők. Az előállított papír minőségét a felhasznált papírhulladék összetétele, szennyezettsége és kora határozza meg.

6. Papír az építőiparban

Ahogy azt már bemutattuk, a papírt nem csak az információ tárolására használhatjuk, hanem az élet számos területén alkalmazható. Napjainkban az építőiparban is kezd elterjedni széleskörű felhasználhatósága, erre mutatunk most be több, a gyakorlatban megtalálható példát.

6.1 Cellulóz alapú hőszigetelés (ISOCELL, Thermofloc)



27. ábra

Manapság talán ez a hőszigetelő anyag a legelterjedtebb papír alapú építőanyag, melyet környezetbarát módon újságpapírból állítanak elő újrahasznosítással. A válogatottan szállított újságpapírt először durván felaprítják, bórsavval összekeverik, majd az őrlemben apróra őrlik. A bórsav megvédi a szigetelést a rovaroktól és a gombáktól, valamint korhadással, tűzzel szemben ellenállóvá teszi.

Alkalmazása napjainkban terjed el széles körben Magyarországon, külföldön már évtizedes hagyományokkal rendelkezik. Bedolgozott állapotban légzárása miatt a passzív házak fontos szigetelő anyaga a nyugati országokban. A bőrre nincs ingerlő vagy agresszív hatással. A pelyhesített és zsákokban forgalmazott szigetelőanyag kézi beömlesztéssel vagy sűrített-levegővel történő befújással juttatható a szigetelni kívánt helyre. A bedolgozás a szerkezet jellegétől függően különböző térfogatsúllyal történik. Jó helykitöltő tulajdonsága és az egyszerű bedolgozási technológia miatt a pelyhes anyag a legkisebb üregeket is kitölti, mégpedig hulladékmentesen. Tetőterekbe, padlásterekbe, közbenső födémekbe és

könnyűszerkezetes építményeknél külső és belső falakba is résmentesen elhelyezhető. Előnye, hogy: gépi fújásnál kitölti a hézagokat, ezzel kiküszöböli az illesztési hézagok okozta hőhidakat; beépítési méretrendek nincsenek, hulladék nem képződik; ragasztó- és kötőanyagot nem tartalmaz; megfelelő tömörítésnél jó hőszigetelő- és jó hőtároló képességgel rendelkezik. Ez fontos szempont a hőhátartás biztosításához, nyáron véd a túlzott felmelegedéstől, télen pedig biztosítja az egyenletes belső hőmérsékletet. Alkalmas utólagos hőszigeteléshez is, ebben az esetben a szerkezetet nem kell visszabontani. Kétféle formában forgalmazzák, a befújható változat a tetők, falak szigetelésére szolgál, míg a granulátumot elsősorban a födémekhez, padlókhöz alkalmazzák. A cellulóz alapú hőszigetelés megfelelő tulajdonságokkal rendelkezik, a mai piacon megtalálható hőszigetelő termékekkel összevethető: testsűrűség (30-65 kg/m³), hővezetési tényező (0,037 W/mK), páradiffúziós ellenállás (μ: 1-2), hőkapacitás (c: 1944J/kgK), tűzállóság (B1,B2). Gyártási folyamata a következő: a kezeletlen, használt újságpapír először a tisztító kabinba kerül, ahol megtisztítják az idegen anyagoktól és csírátlantítják (a fémekeket elektromágnessel távolítják el); majd az őrlemben összeadják, (ismert, hogy a cellulózrost mérete és levegővisszatartó képessége befolyásolja, hogy később mennyire roskad meg és milyen mértékben vezeti a hőt); ezután tűzvédelmi megfontolásokból és hogy az anyag védve legyen a rágcsálóktól és a rovaroktól, adalékanyagokat adnak a cellulózrostokhoz.; végül csomagolják. A gyártás során az előállításához szükséges energia 5kWh/m³, nincs károsanyag-kibocsátás és a hőszigetelés 90 százalékban újrahasznosított újságpapírból készül. Látható, hogy a gyártás során felhasznált energiamennyiség jóval alacsonyabb a hagyományos hőszigetelésekénél.

	Thermofloc	üveggyapot	kőzetgyapot	polisztirol (EPS)
gyártáshoz felhasznált energia	5 kWh/m ³	550 kWh/m ³	600 kWh/m ³	650 kWh/m ³
felhasznált alapanyagok	90% újrahasznosított papír, 10% bórsó	homok vagy újrahasznosított üveg, mészkő, szóda	98% kőzetek, a maradék 2% szerves anyag	sztirolgyöngy, hajtógáz, nagy mennyiségű víz

6.2 Papírbeton



28. ábra

Már 1928-ban feltalálták a papírbetont, azonban tömeges alkalmazása eddig elmaradt. A papírbeton előállítása nagyon egyszerű: alkotóelemei a papír, a cement, a föld vagy a homok és a víz. A papírt vízben kell puhára áztatni és összeturmixolni, majd homokkal és portlandcementtel elkeverni. A papír aránya 50-80% közötti lehet, míg a cement a papírbeton kb. 10%-át teszi ki. A homokot földdel is lehet helyettesíteni, a legerősebb papírbetonhoz pedig homok helyett mészkövet kell alkalmazni. A víz adagolása egyszerű, hiszen ha túl kevés vizet használunk, akkor a massa nem elég folyékony. Ha viszont az optimálisnál több vizet öntünk a keverékbe, akkor az elpárolog vagy elszivárog a földbe. A turmixolásra és keverésre egy betonkeverő is alkalmas. Ha pedig elkészül a papírbeton masszája, akkor az számos módon formázható és felhasználható. A falazáshoz készíthetünk belőle tetszőleges formájú és méretű téglát, beonthetjük zsaluelemek közé, vagy szórással is felhordhatjuk valamilyen más felületre. Aljzatbetonként is alkalmazható, vagyis hagyományos módon ki kell önteni és el kell simítani. A papírbetonból épült házzal jelentős megtakarítást érhető el: csökken az anyagok ára és az élőmunka nagyságrendje. A papírbeton az építkezés helyszínén házilagosan és olcsón előállítható könnyen beszerezhető alapanyagokból. Hiszen a papírhulladék ára kedvező, a föld és a víz helyben megtalálható, így az anyagköltség minimális, a szállítás pedig nem jelent tényezőt a költségek számbavételénél. A keverés és a szárítás sem igényel különleges technológiát. Szakértők szerint a papírbeton jó szigetelő, jó a formatartása és nagyon erős. Mind a nyomószilárdsága, mind a húzószilárdsága megfelelő. Nyomószilárdsága homok hozzáadásával növelhető, emellett pedig jó hőszigetelési értéke magas

hőtároló képességgel párosul. (Bár nyomószilárdsága a hagyományos betonnak is nagy, de ez csekély húzószilárdsággal párosul, ezért is van szükség gyakran vasalásra.) A papírbeton a papír ásványosítása révén tűz- és vízállóvá, növényi és állati kártevőkkel, penészgombákkal szemben is ellenállóvá válik. Kiemelkedően jó páraáteresztő, azonban védeni kell a nedvességtől, nehogy penészedjen. Mindemellett kicsi a súlya. A papírbeton téglákkal ugyanúgy egyszerű dolgozni, mint az ytonggal: fűrészsel darabolható, formálható. Egyesek szerint kedvező tulajdonságai ellenére azért nem terjedt el, mert túl egyszerűnek és olcsónak bizonyult, nem várható az anyagtól nagy profit.

Egy feltaláló csapat különleges adalékanyagot fejlesztett ki, amelynek segítségével a papírbeton technológia gazdaságossá és műszakilag jobba válhat. Nagy Tamás, a Vízió Építész Műhely tervezője ennek felhasználásával egy komplex építési rendszert dolgozott ki, amelyből megépíthető egy családi ház is.

Egy feltaláló csapat különleges adalékanyagot fejlesztett ki, amelynek segítségével a papírbeton technológia gazdaságossá és műszakilag jobba válhat. Nagy Tamás, a Vízió Építész Műhely tervezője ennek felhasználásával egy komplex építési rendszert dolgozott ki, amelyből megépíthető egy családi ház is.



29. ábra

A fejlesztés lényege a hulladékpapírból előállított cellulóz alapú „massza”, amelyhez adalékanyagok hozzáadásával különböző tulajdonságú építőanyag készíthető, így az jobb minőségű az eddig ismert papírbetonhoz képest. Az adalékok összetételének változtatásával előállíthatunk a papírbetonból tartószerkezetet (fal, padló, födém), külső oldali hőszigetelő réteget és belső oldali hőtároló falazatot is. A falszerkezetben 10 cm-es légrést képeznének, ide

helyeznék a ház teljes gépészetét és elektromos hálózatát. A fűtés-hűtést a légrés hőmérsékletének szabályozásával oldanák meg. A gyártási technológia hasonlós a betontechnológiához, hideg gyártással, keverőgépekkel, sablonokkal történik. Az építőelemek kialakítása végleges felülettel készül, így nem szükséges azok vakolása, glettelése, sőt még burkolása sem. Az igényeknek megfelelően az építőelemek felülete akár kőhatású is lehet, vizes helyiségekben pedig vízhatlan felület kialakítására is alkalmas. Az építőanyag hidrofób hatású, így külön vízszigetelés sem szükséges. Előnye még az anyagnak, hogy tízszer jobb a hajlítózilárdsága, mint egy átlagos betonnak. Az elsődleges cél tehát a környezettudatos építésnek megfelelő, olcsón és gyorsan felépíthető épület kialakítása. Összességében így 20-30%-kal olcsóbb házakat lehetne építeni.

6.3 Papírduda



30. ábra

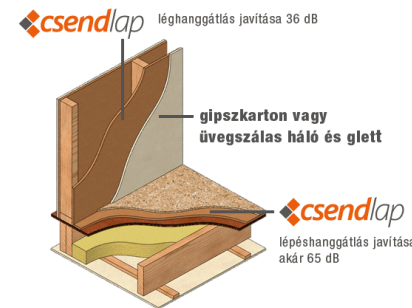
Ma Magyarországon papírból készült hengereket például Csepelen található papírcsőgyár állít elő. Az építőipar több területen is alkalmazza a papírdudát. Legfontosabb alkalmazási területei, az oszlopszaluként való használat és a vasbeton födém kikönnyítése. A zsalucső az építőipar elvárásainak megfelelően kifejlesztett papírcső. A könnyebb kezelhetőség érdekében a zsalucsövek felületét hidrofób bevonattal lehet ellátni, de ez nem minden esetben történik meg. A kellően tömörített beton oszlop felülete szép, szabályos, sima henger, a zsalucső eltávolítása után. A papírdudát lehet belső zsalucsőként is használni vasbeton födémekben. A papírcső-födém építési rendszer egy irányítottan kikönnyített vasbeton födém technológia. A kikönnyítést lezárt végű papírcsővel érik el. Ezzel a technológiával egy- és többtámaszú, valamint egy- és kétirányú teherhordó lemezszerkezet is megvalósítható. Előnye a kisebb önsúly, jobb akusztikai tulajdonságok, kevesebb felhasznált beton és betonacél, földrengéssel szembeni nagyobb biztonság, nagyobb fesztávok. A papírhenger gyártása során papírcsíkokat tekercselnek fel spirál alakban egy fémmagra. A cső a gyártás közben folyamatosan halad, a

méretre vágást egy a csővel szinkronizált mozgású, úgynevezett inline vágó végzi, így a gyártási pontosság a cső hosszának 1 %-a.

6.4 Iszappapír

Padlófűtés esetén laminált padló alá a habalátét fólia helyett padló alátét papírt, úgynevezett iszappapírt érdemes használni. Az iszappapír kimondottan a padlófűtésre rakott laminált padlóhoz fejlesztették ki. A különleges gyártási technológiájának köszönhetően vezeti a hőt és a lépéshangot is csökkenti, élettartama akár száz években is mérhető.

6.5 Csendlap



11. ábra

Ez a termék egy hangszigetelő elem, mely kihasználja a papír kiváló hangszigetelési tulajdonságait. Új házak építésénél és felújításoknál egyaránt alkalmazható lépéshangszigetelésre. A CSENDLAP műgyantából átítított papírból, illetve mikrohomokból épül fel.

A papírrekeszekbe mikrohomokot helyeznek, aminek segítségével olyan lapok készülnek, amelyek tetszés szerint vághatóak. A két fedőlap között további 5 réteg található meg: 3 hullámos réteg mikrohomokkal töltve, illetve 2 köztés kartonréteg. A hullámos rétegek elforgatva találhatóak benne, hogy a homok vágásnál kevésbé szóródjon ki.

6.6 Papír hézagerősítő csík

Ezt a papírterméket gipszkarton szerelési munkálatoknál használjuk a munkafolyamat utolsó lépésekor, a hézagoláskor. Az anyag széles körben elterjedt, rengeteg helyen beszerezhető.

6.7 Papírrács betét

Az ajtólapokban használatos a teljes felületen ragasztott, méhsejtszerű papírrács betét kopogáskor minden kongó hangot elnyel, továbbá tökéletes stabilitást biztosít.

6.8 Papírbála



32. ábra

papírbálákból egy ideiglenes irodaépület, melyet a Dratz&Dratz Architekten tervezett.

Magyarországon, sőt a világszerte sem terjedt még el ez az építőanyag, az újrahasznosított papír összepréseléséből készülő termék. Ez a látszólag gyenge anyag ellenáll a szélnek és az esőnek is, így alkalmazható - egyelőre csupán - ideiglenes épületek alapanyagául. A közelmúltban Essenben épült

6.9 Paperstone



33. ábra

folyamat hatására a közönséges papír átalakul egy rendkívül erős és tartós anyaggá, melynek élettartama nagyon hosszú és ellenáll a víznek. Felhasználása elsősorban belsőépítészeti: például munkalapként, könyöklőként, bútorként, beltéri falburkoló anyagként használják.

A fent bemutatott példák is jól mutatják, hogy a papírt kis átalakításokkal széles spektrumban használhatjuk építőanyagként. A papír megfelelhet tehát az egyes épületek anyagaival szemben támasztott követelményeknek. Esztétikus és gazdaságos szerkezetek alakíthatók ki belőle. További kutatásokkal még tovább bővíthető a papírból készülő építőanyagok köre.

Hazánkban még nem annyira ismert ez az egyszerű és környezetbarát anyag, mely újrahasznosított papírból készül. A papírt átítatják egy általuk kifejlesztett fenolgyantát tartalmazó folyadékkal, mint például a kesudió héjának folyadéka. Miután a papírok felszívták a kellő mennyiségű anyagot, hőhatás mellett összepréselik őket, így egy sűrű, homogén, nem-porózus kompozit anyag lesz belőlük. A

7. Megvalósult példák az építészetben

A papírépítkezés szó hallatán a legtöbb ember a világhírű japán származású építészre, Shigeru Banra asszociál – nem véletlenül.

Az építész eleinte csak kisebb építményekben, installációkban gondolkodott, mára már azonban több csarnoképület (még templom is) épült tervei alapján. Az idő múlásával elkezdett gondolkodni olyan építészeti megoldásokon, melyek segítenék a katasztrófa-súlytotta területek (Ruanda, India, Törökország, Sri Lanka) lakosait. Véleménye szerint a világban történő számos katasztrófát nem a hatóságoknak kellene kezelni, mert így legtöbbször tömeges, előregyártott szerkezeteket telepítenek, melyek általában nem képviselnek különösebb építészeti minőséget. Ezen elgondolkozva kezdett el keresni olcsó és tartós építőanyagokat, melyekkel megoldható lenne a probléma. Tervezett építményeire jellemző, hogy a papírt mindig a helyben talált könnyen feldolgozható építőanyagokkal együtt használja fel. Minden esetben a helyi lehetőségekhez mérten a legoptimálisabb válaszlehetőségre törekszik.

Hogy miért a papírra esett a választása?

Mert nagyon könnyen hozzáférhető, olcsó, gyors szerelést tesz lehetővé (ezzel kielégítve a szűkös időbeli korlátokat) és könnyen tárolható, ráadásul újrahasznosítható is. Egy interjú során az hangsúlyozta, hogy számára a beton elfogadhatatlan, mert nem hasznosítható újra, de nem is elég erős és tartós ahhoz, hogy kibírja például a komolyabb földrengéseket. Az általa tervezett, fával és acéllal kombinált, egyszerűen felépíthető és újraépíthető papírkonstrukciók erre sokkal inkább alkalmasak. Ehhez víz- és tűzálló papírcsöveket már 1986 óta fejleszt.

További kérdés merül fel ezeknél a papírkonstrukciójú házaknál: Vajon a katasztrófát szenvedtek biztonságban érzik-e magukat a megszokott hagyományos falazott szerkezet helyett egy papírházban?

A válasz: igen. Földrengés után a katasztrófát túlélők sokszor inkább saját sátraikban alszanak a szabadban, mert kevésbé érzik életveszélyesnek, mint ha egy bármelyik pillanatban összedőlő házban tartózkodnának. Mivel a papírból

épült ház könnyűszerkezetesnek számít, ez az ideiglenes lak inkább megnyugtatta őket.

Shigeru Ban: Library of a poet (Zushi, Kanagawa, Japan)



34. ábra

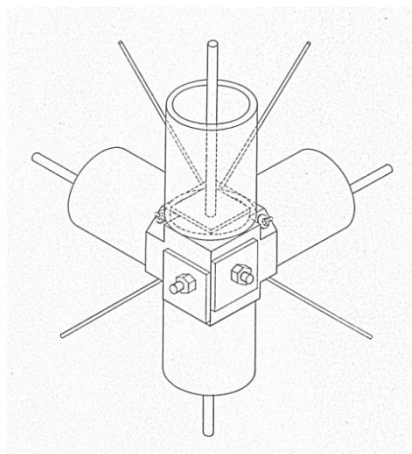
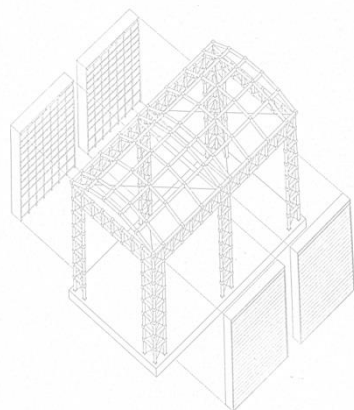


35. ábra

A papírcsövekből kivitelezett „Poéta könyvtára” Ban első megépült épületei közé tartozik. Ezt 1990 szeptemberében kezdték el kivitelezni, a „Poéta háza” bővítéseként. Az alapinspiráció a megrendelőtől származik, miszerint: „Jó lenne ha a papírból készülő könyvek egy papírból épült könyvtár polcain pihenhetnének.”

Így az építész alkalmazkodva a megrendelőhöz, tervezett egy könyvtárat, melynek fő tartószerkezete papírcsövekből áll. A felhasznált csövek 100 mm átmérőjűek, és 12 mm falvastagságúak voltak. A csomópontok kialakítására 38 mm³-es fa kubesokot használt fel, mely csomópontokat acél huzalokkal kötött össze. Az épület két oldalán 2-2 darab szintmagasságú, papírcsövektől dilatált, előregyártott könyvespolcot tervezett be, melyek konzolosan viselkedve veszik fel az oldalirányú terheket, és adják tovább a padlószervezetnek. A 4 könyvespolc alkotta hőszigetelt egység nem csak a bútorozást jelenti, hanem egyben a külső határolószervezetet is.

A beltérben elhelyezkedő pódiumot úgy alakították ki, hogy a megrendelő szó szerint a könyvei között ülhesen.



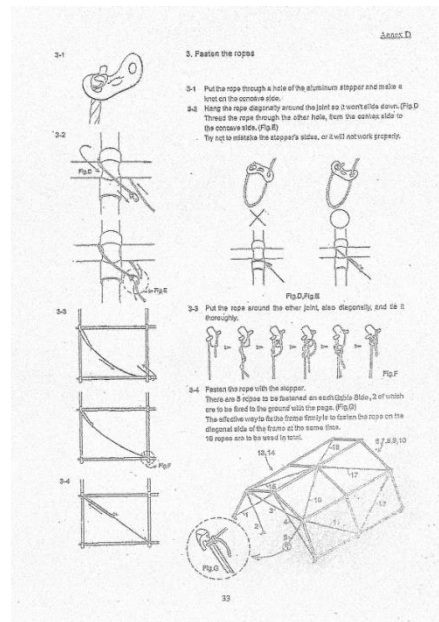
36-41. ábra

Shigeru Ban: Paper emergency houses for the UNHCR (Byumba Refugee Camp, Rwanda)

Több mint 2 millió ember veszítette el otthonát az 1994-ben kitört ruandai civil háború következtében.

ENSZ Menekültügyi Főbiztosának Hivatala (UNHCR) alumínium rudakkal, és műanyag fóliákkal látta el a menekülteket, hogy abból átmeneti lakhelyet építhessenek. A kétségbeesett lakók tartószerkezetként inkább fákat vágtak ki az erdőben, az alumíniumot pedig eladták a helyi piacon. UNHCR-nek újabb alternatív megoldásra kellett találnia, hogy az erdőirtás ne folytatódjon. Shigeru Ban javaslatára papírcsöveket kezdtek el használni, hiszen tartószerkezetileg megfelel a célnak, ráadásul nem merül fel a probléma, hogy ellopják vagy újból eladják.

3 prototípust dolgoztak ki, melyeket a következő szempontok szerint teszteltek: tartósság, ár, ellenállóképesség, természethangyák elleni védelem. Mivel a papírcsövek olcsón, egyszerű berendezésekkel előállíthatók, azokat helyszínen gyártották le - megtakarítva ezzel a szállítási költségeket.



8. Kísérleteink

PAPÍRDUDÁK TŰZVÉDELME

1. Kísérlet leírása

1.1 Felhasznált anyagok



Ebben a vizsgálatban felhasznált papírhengereket is a csepeli Dunapack Zrt. papírgyártól kaptuk, melyek tulajdonságai, nagyságrendi méretei megegyeznek az impregnáláshoz használtakéval, tehát változó hosszúságúak, külső átmérőjük 110 mm, falvastagságuk 12 mm, most azonban 75 mm hosszúságú darabokat alkalmaztunk.

Kísérletünkhöz egy égéskésleltető szert sikerült beszereznünk, amit szintén nem papír alapanyagú építőanyagokhoz fejlesztettek ki, mivel eddig ezzel a területtel sem foglalkoztak mélyrehatóan az építőipari kutatások:

Lignotol Komplex, melyet a Pannon-Protect Kft. bocsátott rendelkezésünkre.

1.2 Kísérlet menete



Először a próbatetek hőállóságát vizsgáltuk. 4 db próbatest viselkedését elemeztük: 2 db égéskésleltetővel kezeltet és 2 db kezeletlen papírhengert.

A kísérlet elvégzése előtt megcsiszoltuk a papírhengerek felületét, majd a gyártó által

meghatározott módon felhordtuk a vegyszert (2 rétegben), ezután az előírt 24 órás száradás idejére a próbatesteket acélrudakra fűztük fel, a megfelelő beszívódás és száradás érdekében. A hőállóság vizsgálatához égetőkemencébe tettük először a natúr, kezeletlen próbatesteket, majd külön az égéskésleltetővel kezeltet. A kemencét úgy programoztuk be, hogy a melegítése 3 lépésből álljon. Először egyenletes sebességgel 275°C-ra melegszik, majd fél óráig tartja ezt a hőmérsékletet, ezt követően pedig tovább fűti a fűtőteret.

1.3 Vizsgálat eredménye



A vizsgálat pozitív eredménnyel zárult, mivel az égéskésleltető szerrel kezelt próbatetek jóval nagyobb hőterhelést viseltek el, mint a vegyszerrel nem kezelt papírhengerek. A kezeletlen vizsgálati darabok már 250°C körül elkezdtek izzani és 500°C-nál már ki kellett vennünk, mert teljesen szétporladtak. A vegyszerrel kezelt próbatetek csak 400°C körül kezdtek el izzani, addig csak füstképződés és elszenesedés történt.

Amikor a papírcsöveket 600°C fokos hőmérsékleten kivettük a kemencéből, még mindig egyben maradtak, a nem kezelt próbatestekkel ellentétben. Ezt az állapotot a fotók is jól illusztrálják.

1.4. Megjegyzés

A mérés teljesen pontos vizsgálat elvégzésére nem alkalmas, mivel kívülről a fűtőtér nem látszik, a kemence kinyitásával pedig lehűl a belső tér. Közelítő értékek szemléltetésére azonban kiváló módszer.

2. Kísérlet leírása

1.1. Kísérlet menete

A következő vizsgálatnál a meggyulladási időt vizsgáltuk, ezért nyílt lángnak tettük ki közvetlenül a próbatesteket és megmértük, hogy mennyi idő után gyulladnak meg. Ekkor egy-egy méretre vágott papírhengert használtuk. Az egyiket a már fentebb említett égéskésleltetővel kezeltük, a másik natúr, kezeletlen próbatest maradt.



1.2.A vizsgálat eredménye

Ezen vizsgálat során is azt az eredményt kaptuk, hogy a Lignotol Komplex égéskésleltetővel kezelt próbatest jobban ellenáll a nyílt láng hatásának, mint a natúr papírhenger. A kezeletlen próbatest meggyulladási ideje 42 s volt, míg a vegyszerrel kezelt darab 1min26s alatt gyulladt meg. Tehát az égéskésleltető vegyszer segítségével kétszer akkora meggyulladási időt értünk el, mint a kezeletlen próbatestnél.

PAPÍRDUDA LEHAJLÁSVIZSGÁLATA

Kísérlet leírása

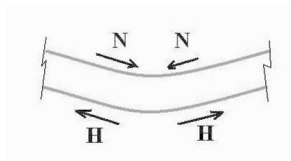


2.1. Felhasznált anyagok

A már említett Dunapack Zrt.-től kapott papírcsövekből 20 db próbatestet vágunk le 100 mm-es méretlépcsőben (1000 mm - 1900 mm). Minden mérethez 2 db ugyanolyan hosszúságú gerenda tartozik. A henger keresztmetszeti méretei nem változtak az előzőekhez képest (külső átmérő=110 mm, falvastagság=12 mm).

A kísérlet elvégzéséhez egy mérőórát és egy I acél tartót használtunk fel, melyen a kialakított támaszok könnyen csúsztathatók voltak.

2.2 Kísérlet menete



A papírcsöveket kéttámaszú hajlított gerendaként alakítottuk ki, melyet a tartó közepén koncentrált erővel terheltünk. A képen is látható sárga hátlapú mérőóra segítségével jegyeztük fel az adott elmozduláshoz tartozó erő értékeket. A tartó megengedett lehajlásaként $l_0/200$ értékkel számoltunk. Ehhez az

adathoz rendeltünk hozzá egy-egy erő értéket, majd szakadásig terheltük tovább a gerendát.

2.2. Vizsgálat eredménye

Tartószerkezeti elemek méretezése során ellenőrizni kell a használhatósági és a teherbírási határállapotok követelményeit. A hajlított igénybevételű gerenda egyik ellenőrizendő kritériuma a maximálisan megengedhető lehajlás (használhatósági határállapot):

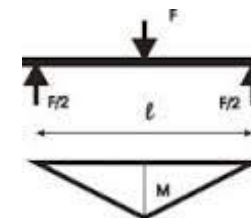
$$w \leq w_{eng}$$

Teherbírési határállapotok közül az anyag tönkremenetele, a stabilitásvesztés és a helyzeti állékonyság (teljes építmény ellenőrzése) szilárdságtani modellekkel vizsgálható. A kör keresztmetszetű szelvény stabilitási tönkremenetelét tekintve a teher hatására nem fordult ki, a hajlítás síkjában következett be tönkremenetel. Szilárdsági méretezés esetén vizsgálandó:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$



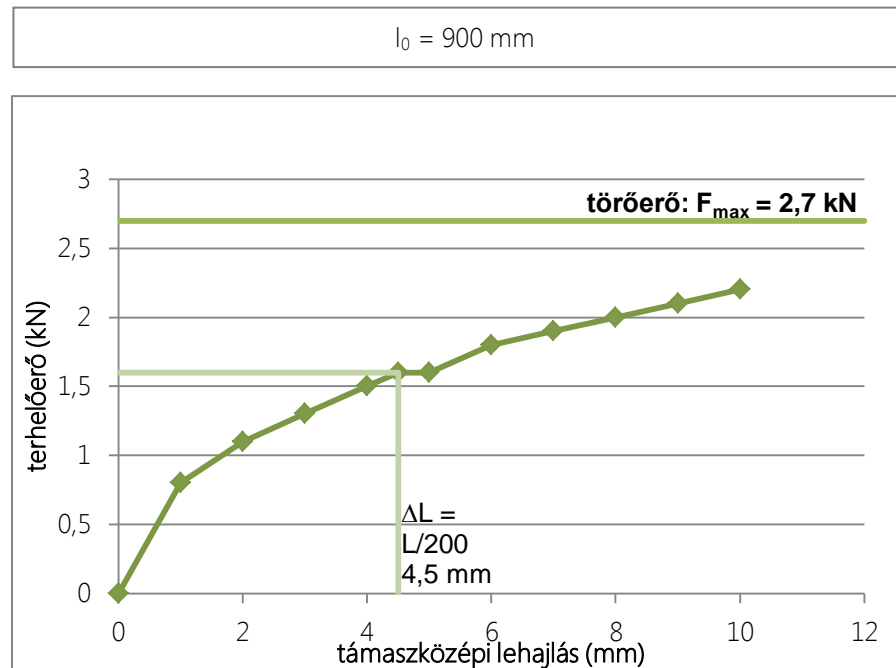
Esetünkben: a kéttámaszú, egy koncentrált erővel központosan terhelt gerendát normálérőre nem kell méretezni.

A fent említett tervezési értékekhez azonban a papír anyagának pontos nyomó-, húzószilárdságára és a kör keresztmetszetű szelvény inerciájára lenne szükség. Mivel ezek a hengerek újrahasznosított papírból készültek (a rostok minden egyes újrahasznosításkor vesztenek szilárdságukból), a mért értékek valószínűleg nem mutatnának reális eredményt. Ezért mi a tapasztalati értékekből szeretnénk kiindulni.

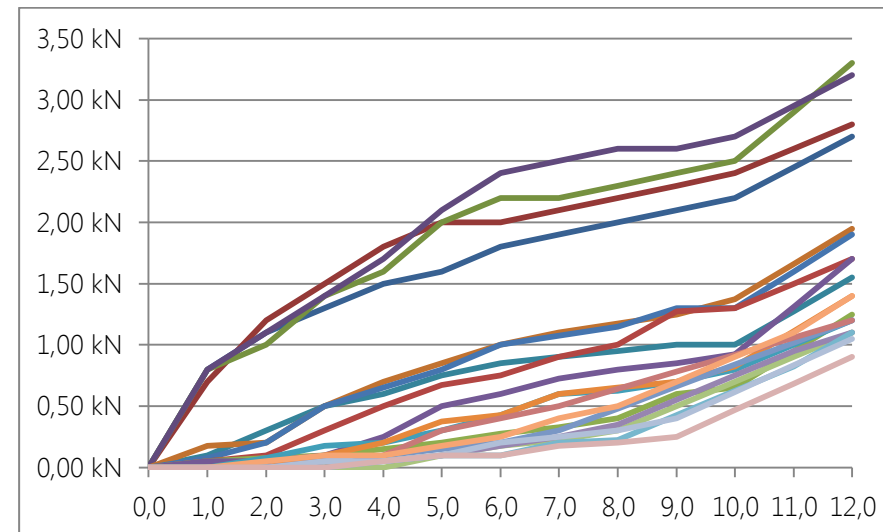
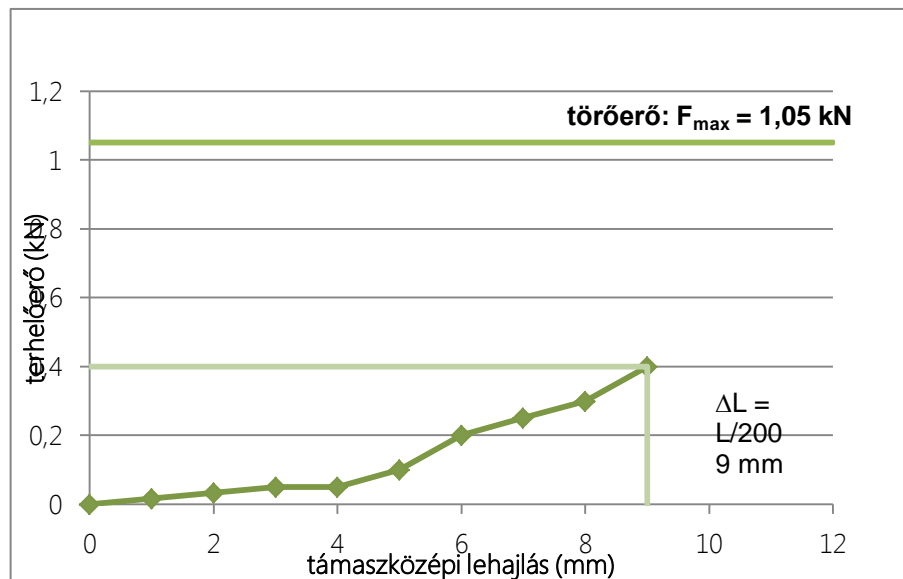


l (eredeti méret)	l ₀ (támaszköz)	w (lehajlás)	F1	F2
1 000 mm	900 mm	1,0 mm	0,80 kN	0,70 kN
		2,0 mm	1,10 kN	1,20 kN
		3,0 mm	1,30 kN	1,50 kN
		4,0 mm	1,50 kN	1,80 kN
		4,5 mm	1,60 kN	1,90 kN
		5,0 mm	1,60 kN	2,00 kN
		6,0 mm	1,80 kN	2,00 kN
		7,0 mm	1,90 kN	2,10 kN
		8,0 mm	2,00 kN	2,20 kN
		9,0 mm	2,10 kN	2,30 kN
		10,0 mm	2,20 kN	2,40 kN
		e	2,70 kN	2,80 kN

A legrövidebb gerenda támaszköze 900 mm volt, és 2,75 kN erő hatására tört el (zöld mező a fenti táblázatban), azonban már 1 kN hatására elkezdett behorpadni. A szürke háttérszínű sorban látható a megengedett lehajlás értéke mm-ben, és az ahhoz tartozó erő: itt ez átlagolva 1,75 kN volt. A tönkremenetelhez tartozó hajlítónyomaték 0,62 kNm volt.



A leghosszabb vizsgált gerenda támaszköze a legrövidebb szelvény hosszának több mint duplája, 1900 mm volt, ami körülbelül már 0,975 kN hatására tönkrement. Az ehhez tartozó hajlítónyomaték 0,44 kNm volt.

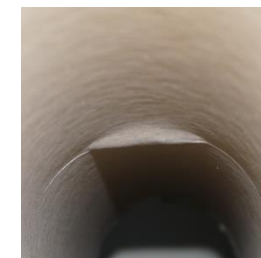


Az diagram a vizsgált papírcsövek elmozdulását ábrázolja az erő függvényében. A nagyobb fesztávú gerendák értelemszerűen kevesebb terhet bírnak el, így azok a grafikon alsó hányadában helyezkednek el.

I (eredeti méret)	l _o (támaszköz)	w (lehajlás)	F1	F2
1 900 mm	1 800 mm	1,0 mm	0,00 kN	0,00 kN
		2,0 mm	0,00 kN	0,00 kN
		3,0 mm	0,05 kN	0,00 kN
		4,0 mm	0,05 kN	0,05 kN
		5,0 mm	0,10 kN	0,10 kN
		6,0 mm	0,20 kN	0,10 kN
		7,0 mm	0,25 kN	0,18 kN
		8,0 mm	0,30 kN	0,20 kN
		9,0 mm	0,40 kN	0,25 kN
		e	1,05 kN	0,90 kN

2.3. Hibalehetőségek

- o nem tökéletesen koncentrált teher
- o nem tökéletesen ugyanaz a falvastagság
- o változó keresztmetszet
- o hengerenként változó szilárdsági értékek
- o gép órábeosztása nagyobb terhelésre tervezve – értékek pontatlanabb leolvasása



2.4. Következtetés

A vizsgált papírcsövek 190 cm-es fesztávolság esetén (a tapasztalati értékekre hagyatkozva, elhanyagolva a biztonsági tényezőt!) körülbelül 97 kg tömeget bírnak csak el. Egy lakóház építésénél legalább 3-4 méteres fesztávolságokkal kell számolni, de ez a fesztávolság egy rövidebb életű installáció építésénél is előfordulhat. Tekintve, hogy a fesztávolság megkétszerezésével a gerenda 64,4 %-ot veszített hajlítónyomatéki teherbírásából, feltételezhetően 4 méter esetén ez a típusú papírhenger kevesebb, mint 49 kg-ot bírna el! Következésképp egy lakóház építéséhez két út lehetséges: a statikai modell megváltoztatása (többtámaszúsítás), avagy a papírcső megerősítése (falvastagság, keresztmetszet növelése; más geometria; anyag erősítése). Összefoglalva tehát a gerendák vizsgálata nem tekinthető lezárt kérdésnek, további kísérletekre van szükség.

PAPÍRDUDÁK IMPREGNÁLÁSA

1. Kísérlet leírása

1.1. Felhasznált anyagok



A tanulmányhoz a csepeli Dunapack Zrt. papírgyártól kaptunk változó hosszúságú (2,00 m-2,30 m), 110 mm külső átmérőjű, 12 mm falvastagságú papírcsőveket. A nagyobb csöveket 150 mm hosszúságú hengerdarabokra vágtuk fel a kísérlethez.

Tekintve, hogy a papír impregnálására az építőiparban nem fejlesztettek ki „általános, szokványos” anyagot, az impregnáláshoz négy különböző anyagot szereztünk be:

1. Sikagard - 703 W
2. Sikagard 706 - Thixo
3. OXAL HSL (MC-Bauchemie)
4. Sikafloor 156

1.2. Kísérlet menete

Összesen, egymáshoz viszonyítva 10 db próbatest (vegyszerenként 2-2 db impregnált próbatest; 2db natúr, kezeletlen próbatest) viselkedését vizsgáltuk és elemeztük vízfelvétel szempontjából.

Első lépésként a gyártók által ajánlott rétegszámban felhordtuk a vegyszereket. Egy napos száradási idő után a hengerek bütőjét szilikonos tömítővel vontuk be, hogy elkerüljük az esetleges hibalehetőségeket. A további 24 órás száradást követően a próbatesteket fémrudakra fűztük fel, hogy az impregnált felületet vizsgálni tudjuk. Az esővíz szimulálásához egy-egy 1,5 literes PET palack kupakját lyukasztottuk ki. Minden próbatest 2x1,5 l vízterhelést kapott.



1.3. Vizsgálat eredménye

A grafikonon I21 illetve I22 jellel jelölt szürke színű hasábok jelentik a kezeletlen hengereket, a zöld színűek pedig a különböző vegyszerrel kezelteteket.

Az I4, I7 jelű próbatesteket Sikagard - 703 W (felhasználásra előkészített emulzió) nevű anyaggal festettük le. Ez egy homlokzatimpregnáló szer, mely felhordható beton, vakolat, látszótéglafalazat, természetes kő és szálcement felületekre.

Az I5, I6 jelű próbatestek vízfelvételeinek csökkentésére a Sikagard - 706 Thixo anyagot használtuk. Ez egy oldószermentes, egykomponensű, vízlepergető impregnáló paszta, beton és egyéb cementbázisú alapfelületekre.

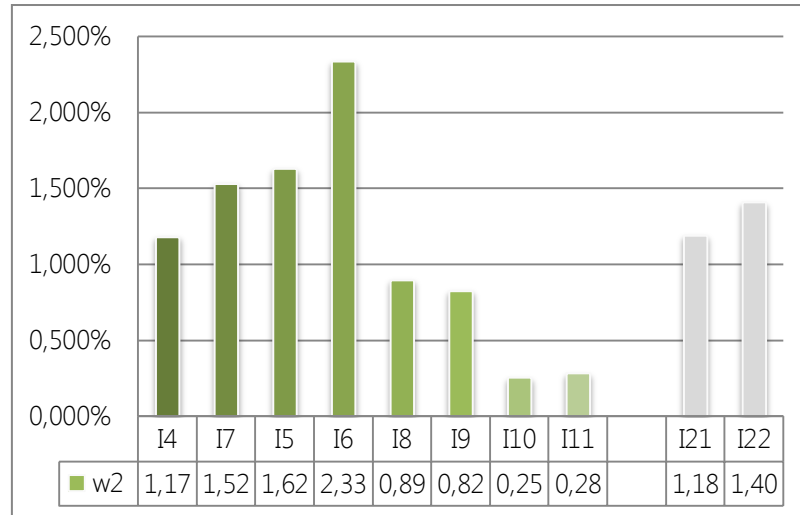
Az I8, I9 jelű próbatestek hidrofobizálása OXAL HSL-lel történt, ami ásványi alapú falak utólagos szigetelésére szolgáló szer.

Végül az I10 és I11 jelű próbatesteket Sikafloor - 156 (felületkezelésre, és esztrich előállítására használt) kis viszkozitású, kétkomponensű, oldószermentes epoxigyantával kentük le.

A vizsgált kezelőszerek közül legnagyobb viszkozitással a Sikagard - 706 Thixo rendelkezett.

A kezeletlen hengerek átlagos nettó vízfelvétele 1,297% volt a légszáraz állapotukhoz viszonyítva. Az oszlopdiagramról leolvasható, hogy a Sikagard - 703 W és a Sikagard 706 - Thixo vegyszerek nem voltak hatásosak, sőt valójában „vízfelszívó” szerekként működtek a papír alapfelületen.

A legjobb eredményt az összehasonlításban a kétkomponensű epoxigyantával értük el, ám a mérési adatok szerint ez sem tette teljes mértékben vízhatlanná a vizsgált papírcsöveket.



2. Kísérlet leírása

2.1. Felhasznált anyagok

Az előző kísérlethez felhasznált impregnált, és szilikonos tömítővel lekent papírcsöveken kívül, infúziós csepegtetőt szereltünk fel, mellyel a víz mennyiségét jobban tudtuk szabályozni.

2.1. Kísérlet menete

0Miután elvégeztük az első esőszimulációs kísérletet, meg akartuk vizsgálni azt, hogy hogyan viselkednek a

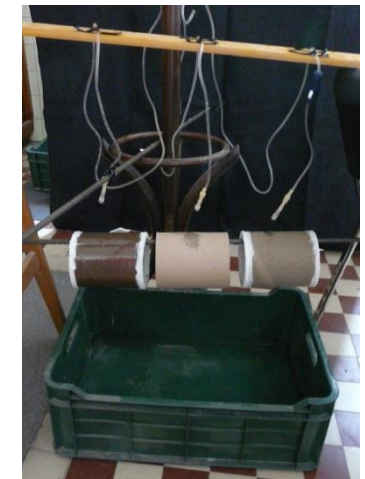
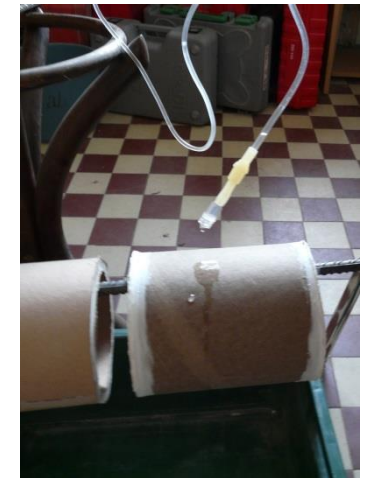


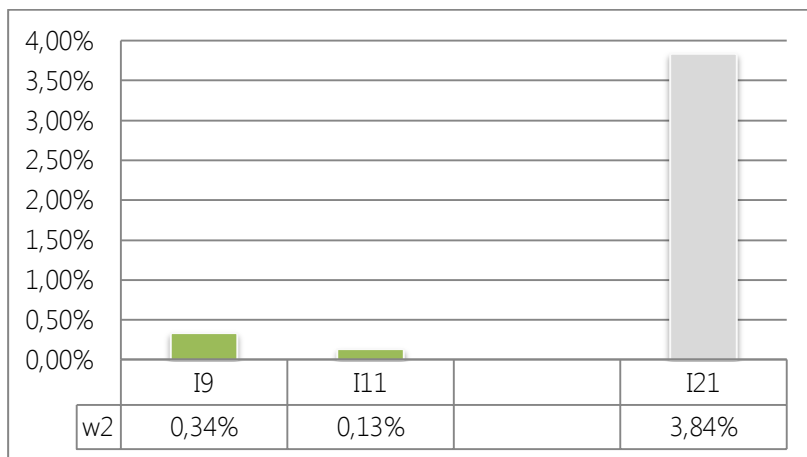
próbatestek tartósabb nedvességátás esetén. Az első kísérletből kiderült, hogy a vizsgált 8 db, négyfajta impregnáló szerrel kezelt papírhenger közül, csak kettő teljesített jobban, mint a kezeletlen próbatestek, ezért csak ezeket vizsgáltuk tovább. Ezek az OXAL HSL (MC-Bauchemie) és a Sikafloor 156 szerekkel kezelt próbatestek voltak.

A második kísérletnél egy infúzióból 4 dl vizet csepegtettünk a próbatestekre 24 órán át. Ez a mennyiség az évi átlagos napi csapadék 8-szorosának felel meg Magyarországon.

2.2. Vizsgálat eredménye

A grafikonon az I21 jelölésű szürke hasáb mutatja a kezeletlen próbatesteket, a zöld színűek pedig az impregnáló szerrel kezelteteket. Az I9-es jelölésű papírhenger OXAL HSL-lel, az I11-es jelölésű pedig Sikafloor – 156-tal lett hidrofobizálva. A diagramról leolvasható, hogy itt is a kétkomponensű Sikafloor – 156 impregnáló szer bizonyult a leghatásosabbnak, mivel a kezelt próbatest csak 0,42 g vizet szívott magába, ami átlagosan 0,13 %-os nettó vízfelvételt jelent.





1.3. Hibalehetőségek

- o mérési pontatlanságok
- o szilikon- és impregnálószer réteg folytonosságának hiánya, nem egyenletes felhordás
- o esővíz szimulálása közben belső, nem kezelt felületre fröccsenő, felszívódott víz

1.4. Következtetés

A vizsgálat eredményei biztatók: az impregnálás mértékétől függően javuló tendencia figyelhető meg. A rendszeresen használható építőanyagok előállításához általában tartozik egy gyártási előírás is, ehhez azonban még további kísérleteket kell végezni. A kísérlet egyértelműen azt mutatja, hogy a papír – minden általános tévhit ellenére – valódi építőanyagként kerülhetne forgalomba.

Papirreális?

Kísérleteink is jól mutatják, hogy tudományos kutatásunk kérdésvetése nem irreális, és érdemes a témával a továbbiakban is foglalkozni. Vizsgálatainkkal még nem aknáztunk ki minden lehetőséget. Esszénk kezdeti útmutatást nyújt a papír építőanyagként való kategorizálása témájában. Eredményeinkből kiolvasható, hogy a papírcsövek kifogásolható tulajdonságai adalékanyagok kezeléssel javíthatók.

A papír építőanyagként való továbbfejlesztése nem elvetendő gondolat, hiszen számos pozitív tulajdonsága van más anyagokkal szemben: olcsó, könnyű, gyors szerelést tesz lehetővé, jó hőszigetelő, újrahasznosítható, stb.

A fejlesztésben nem csak technológiai megfontolásokon kívül, más körülményeket is figyelembe kell venni, mint:

- o certifikálás, rendelkezések
- o gazdasági faktor (piacképesség)
- o felhasználói elvárások

Egy-egy fejlesztés sikerességében jelentős szerepet játszik, hogy a tervezés és piac szempontrendszere összhangban legyen. Egy új termék bevezetése kitöltheti a fennmaradó piaci réseket.

További befolyásoló szerepe lehet a szociális és kulturális aspektusoknak. Az anyag jövőbeni alkalmazhatósága függ a társadalom kulturális aspektusaitól, valamint egy-egy nemzet építkezési szokásaitól.

Ahhoz, hogy papírépítészeti ne csak egy múló divatirányzattá váljon, szükséges, hogy bizonyítható legyen az alkalmazott szerkezetek praktikussága.

Dolgozatunk tanulsága tehát, hogy téves az az axióma, miszerint a papír tűz és víz hatására azonnal tönkremegy. Megfelelő módszerekkel, reálisan alkalmazhatunk papír anyagú épületszerkezeteket.

Felhasznált források

1. Könyvek

1. Christian Schittich: Small Structures (in DETAIL)
szerk.: Christian Schittich
Edition Detail, München, Basel, 2010.
2. D.M. Fljatye: A papír tulajdonságai
szerk.: Dr. Hernádi Sándor
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978.
3. Dr. Vámos György: Papíripari kézikönyv
szerk.: Ferencz Imréné
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980.
4. Haidekker Borbála: Környezetvédelem a papíriparban. A papír újrahasznosítása, Környezetvédelmi füzetek, 1999/21
szerk.: Schönviszkyné Gáldi Anna
OMIKK, Budapest, 1999.
5. Jodidio, Philip: Shigeru Ban - complete works 1985 - 2010
szerk.: Jodidio, Philip
Taschen, Köln, 2010.
6. Kertin, Messner: Werkstoff Papier im Wandel der Zeit : von der traditionellen Verwendung bis zur innovativen Lösung in der Architektur, Diplomarbeit
Technische Universität, Wien, 2012.
7. McQuaid, Matilda: Shigeru Ban
Phaidon Press, London, 2006.
8. Opawsky Ágnes: Cellulóz- és papírgyártó anyag- és árusismeret 2.
szerk.: Ferencz Imréné
Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1991.
9. Oroszlány Miklós: Újrahasznált- és újrahasznosított építőanyagok, A papírhulladék újrahasznosítása az építőiparban
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Épületszerkeztetani Tanszék, 2008.
10. Tiefbrunner Anna: Csomagolás és környezetvédelem
szerk.: Vargáné Sziki Szilvia
Papír-Press Egyesülés, Budapest, 2002.
11. TU Delft: Cardboard in Architecture
szerk.: Mick Eekhout, Fons Verheijen, Ronald Visser
IOS Press, Amsterdam, 2008

2. Internetes források

1. 15 MILLIÓ NÉGYZETKILOMÉTER NAGYSÁGÚ SZEMÉTSZIGET A CSENDES-ÓCEÁNBAN - http://monitor.blog.hu/2010/07/24/vajon_meddig_tart_meg_a_fold_turo_kepessege_szemetsziget_a_csendes_oceanon
2. A tervezés dimenziói. Tervezési követelmények - <http://www.sze.hu/~scharle/mtm-3.pdf>
3. A világ 3 legbizarrabb városa - <http://www.erdekesvilag.hu/a-vilag-3-legbizarrabb-varosa/>
4. Agim Meta: PAPER TUBE HOUSING BY SHIGERU BAN - <http://www.design4disaster.org/2011/02/12/paper-tube-housing-by-shigeru-ban/>
5. Alex Burke: Making Cardboard Waterproof - http://www.ehow.com/how-does_5063510_making-cardboard-waterproof.html
6. Az építési termékek megfelelőség igazolásának gyakran feltett kérdései természetes anyagok és egyedi termékek - <http://www.e-epites.hu/1373>
7. Barta Tamás: A papír összetételi, szilárdsági tulajdonságai - http://109.74.55.19/tananyag/tananyagok/gyartasel%20es%20nyomdai/4_0957_001_101130.pdf
8. Csalló Attila, Hulladék-suli - <http://www.hulladek-suli.hu/htan/htaindex.htm>
9. Csendlap - <http://www.csendlap.hu/>
10. Csepeli Papírcsőgyár Kft. - <http://www.papircso.hu/>
11. Csokipapír gyűjtő akcióval jótékonyan - <http://humusz.hu/hirek/kulso-hirek/csokipapir-gyujto-akcioval-jotekonyan/10555>
12. Csomagolások és a minőség - <http://csokilap.blogspot.hu/2009/10/csomagolas-es-minoseg.html>
13. Építészet kartonpapírból - Shigeru Ban Budapesten - http://www.mek.hu/index.php?option=com_content&task=view&id=3598&Itemid=52
14. Farkas Tibor, Eljött a papírbeton ideje? 30 százalékkal olcsóbb házak épülhetnének - <http://ingatlanmagazin.com/epites-es-felujitas/eljott-a-papirbeton-ideje-30-szazalekkal-olcsobb-hazak-epulhetnenek/>
15. Helen Walters: Buildings made from cardboard tubes: A gallery of Shigeru Ban architecture - <http://blog.ted.com/2013/08/13/buildings-made-from-cardboard-tubes-a-gallery-of-shigeru-ban-architecture/>
16. Hírös doboz: <http://hirosdoboz.hu/a-csomagolas-attekintese>
17. IKT - eNewsletter November/ December 2008: Altpapier im IKT- Test <http://www.ikt.de/iktnewsneu.php?doc=938>
18. James Pedersen: LIBRARY OF A POET by Shigeru Ban - <http://arch1101-2012jp.blogspot.hu/2012/03/library-of-poet-by-shigeru-ban.html>
19. Kalligráfia - <http://www.gongfu.hu/hu/kalligrafia>
20. Kimberley Mok, Experimental Recycled Paper Bale Structure Serves Up Some Surprises - <http://www.treehugger.com/green-architecture/paper-house-dratzdratz-architects.html>
21. Kovács Dániel: A PAPIRÉPÍTÉSZ HIDAKRÓL ÁLMODIK - <http://hg.hu/cikkek/alkotok/14165-a-papirepitesz-hidakrol-almodik>
22. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium Hulladékgazdálkodási és Környezettechnológiai Főosztály: A hulladékgazdálkodás általános kérdései, alapelvei, Hulladékgazdálkodási Szakmai Füzetek 1. - http://www.kvvm.hu/szakmai/hulladeggazd/szakmaifuzet1.htm#1_1
23. LIGNOTOL Komplex - <http://www.pannon-protect.eu/files/MLignoKomp.pdf>
24. Magyar Narancs: Templomok papírból - <http://magyarnarancs.hu/kepzomuveszet/templomok-papirbol-80063>
25. Mi az a vízálló papír? - <http://vizallopapir.wix.com/vizallopapir>
26. navarro: Egy óra alatt lebomlik a bioplasztik - <http://index.hu/tudomany/bioplast/>
27. Oxal HSL (MC-Bauchemie) - <http://szigetelesinfo.hu/vizszigeteles/mc-bauchemie-oxal-hsl>

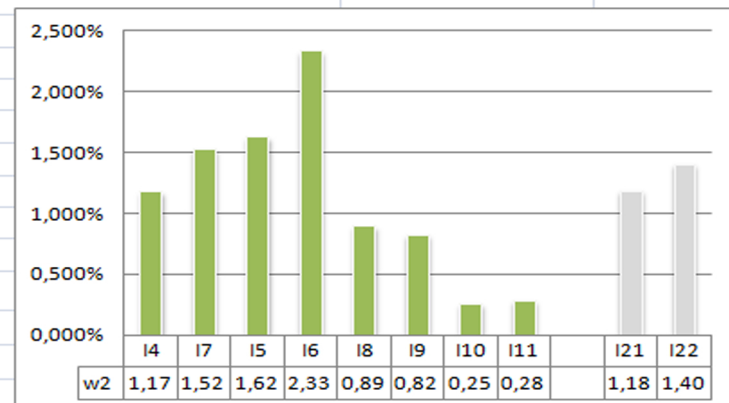
28. PaperStone - <http://www.paperstoneproducts.com/>
29. Papír - <http://referaty.atlas.sk/prirodne-vedy/chemia/30393/?print=1>
30. Papír előállítás röviden - http://dev.pos-display.hu/pos1/papir_eloallitasa_roviden.htm
31. Papírgyártás technológiája -
http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:KWCishtGvTcl:lkga1513.netkukac.hu/letoltesek/termeles_technologia/papirgyartastech.ppt+&cd=1&hl=hu&ct=clnk&gl=hu
32. Papírtípusok ismertető -
<http://www.primerate.hu/szolgaltatasaink/segedletek/elemek/papir-tipusok.pdf>
33. Scheufelen Group -
<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4Dppv6xuXr4J:www.paperexcellence.com/scheufelen/+&cd=3&hl=hu&ct=clnk&gl=hu>
34. Shigeru Ban Architects -
<http://www.shigerubanarchitects.com/works.html>
35. Shigeru Ban és a katasztrófa építésze -
<http://encyclony.wordpress.com/2008/01/24/252/>
36. Sikafloor 156 - http://sikabolt.hu/spd/sika_435299/Sikafloor-156-25kg
37. Sikagard – 706 Thixo - <http://sikawebaruhaz.hu/203-impregnaloszerek/541-sikagard-706-thixo>
38. Sikagard - 703 W - <http://sikabolt.hu/spd/000108/Sikagard703-W-2-liter>
39. Sonotube - <http://www.sonotube.hu/>
40. Szelektív hulladékgyűjtés - <http://www.aksd.hu/lakossagi-szelektiv-hulladekgyujtes/>
41. Thermofloc - <http://www.thermofloc.com/>
42. Tűzálló papírt fejlesztettek ki -
http://sg.hu/cikkek/48240/tuzallo_papirt_fejlesztettek_ki
43. Újragondolt papír -
http://www.humusz.hu/sites/default/files/ujragondolt_papir.pdf
44. Venice architecture biennale 08: 'paper brick house' in the chinese pavilion
<http://www.designboom.com/architecture/venice-architecture-biennale-08-paper-brick-house-in-the-chinese-pavilion/>

2. Felhasznált képek forrásainak megjelölései:

1. http://m.blog.hu/fe/fecni/image/130314_papirbubi/fecni_papirbubi03.jpg
2. http://kandaka.com/wp-content/uploads/2012/11/papersoft_16.jpg
3. <http://www.blogcdn.com/www.engadget.com/media/2012/10/israel-cardboard-bike.jpg>
4. http://m.cdn.blog.hu/fe/fecni/image/130206_tyvek/jc-front.jpeg
5. <http://www.tisztajovo.hu/erdekessegek/2011/11/22/vizespalack-ujrahasznositott-papirbol>
6. <http://www.poultrysuperstore.co.uk/batch-feed-weigher-p-2822.html>
7. <http://www.clker.com/clipart-recycling-symbol-outline.html>
8. https://www.iconfinder.com/icons/174631/bag_money_icon
9. <http://icons.mysitemyway.com/legacy-icon-tags/business/page/24/>
10. <http://www.preparemag.com/blog/how-to-print-digital-issues-of-prepare-magazine/>
11. <http://www.nycgreenhouse.org/materials>
12. http://109.74.55.19/tananyag/tananyagok/gyartasel%20es%20nyomdai/4_0957_001_101130.pdf
13. http://webshop.gardia.hu/product.php?id_product=48
14. <http://11even.wordpress.com/category/kreativ/page/15/>
15. <http://retronom.hu/index.php?q=node/30717>
16. <http://sodrofa.co.hu/hu/product/aprosagok/muffin-papir-karacsony-60db/>
17. <http://www.packagingnews.co.uk/news/chocolate-paper-beakthrough/>
18. <http://index.hu/tudomany/bioplast/>
19. <http://www.makingitmagazine.net/wp-content/uploads/2010/09/evicted.jpg>
20. <http://geopolicraticus.files.wordpress.com/2008/11/industrial-city.jpg>
21. http://m.blog.hu/mo/monitor/image/2010_julius/szem%C3%A9t.jpg
22. http://m.blog.hu/mo/monitor/image/2010_julius/szem%C3%A9t2.jpg
23. <http://www.erdekesvilag.hu/wp-content/uploads/2013/06/Manshiyat-Naser.jpg>
24. <http://www.erdekesvilag.hu/wp-content/uploads/2013/06/Manshiyat-Naser4.jpg>
25. <http://www.aksd.hu/userfiles/images/szelektiv-haztartasi-hulladek.gif>
26. saját fotó
27. http://fahaz.info/images/image/celluloz_kep.jpg
28. http://www.homeinfo.hu/images/stories/erdekesseg/20101005_papirbeton_edenyek.jpg
29. <http://static1.architectforum.hu/files2012/n00/02/01/91/800-xhwnc1-10-javitott-latvany.jpg>
30. <http://www.papircso.hu/pic/csovek.jpg>
31. <http://www.csendlap.hu/images/csendlap.gif>
32. <http://www.tisztajovo.hu/media/2013/04/b%C3%A1lah%C3%A1zbels%C5%91.jpg>
33. <http://media.treehugger.com/assets/images/2011/10/PaperStone-paper-counter-tops.jpg>
- 34-41. McQuaid, Matilda: Shigeru Ban, Phaidon Press, London, 2006.

HENGEREK	v (falvastagság)	12 mm
	külső átmérő	110 mm
	h (magasság)	150 mm
	felszín	51 810 mm ²

HENGEREK	m _{w1} (as received, légszáraz)	m _{d1} (6 óra elteltével)	m _{d2} (kiszáritott állapot)	w ₁ (légszáraz állapot)
I1	313,46 g	296,65 g	294 g	6,619%
I2	312,13 g	295,45 g	292,8 g	6,602%
I3	314,09 g	296,71 g	294,18 g	6,768%



HENGEREK	m _{w1} (as received, légszáraz)	m _{w2} (impregnált)	m _{w3} (impregnált+szilikon)	m _{w4} (vizes állapot)	w ₂
I4	309,36 g	310,54 g	342,04 g	345,68 g	1,177%
I7	311,74 g	313,16 g	332,68 g	337,44 g	1,527%
I5	347,94 g	353,4 g	380,05 g	385,71 g	1,627%
I6	312,08 g	317,79 g	345,22 g	352,5 g	2,333%
I8	312,43 g	315,78 g	343,01 g	345,8 g	0,893%
I9	312,75 g	316,61 g	338,48 g	341,05 g	0,822%
I10	312,16 g	321,06 g	348,18 g	348,97 g	0,253%
I11	312,7 g	321,94 g	345,24 g	346,12 g	0,281%
I21	348,91 g	nincs	nincs	353,05 g	1,187%
I22	346,33 g	nincs	nincs	351,2 g	1,406%

IMPREGNÁLÁS

HENGEREK	m _{w1} (as received)	1.réteg impregnálás	2.réteg impregnálás	3.réteg impregnálás	m _{w2} (impregnált)-1 nap elteltével	Felhordott vegyszer
I4	309,36 g	316,96 g	320,45 g	nincs	310,54 g	214,051 g/m ²
I7	311,74 g	319,39 g	323,12 g	nincs	313,16 g	219,649 g/m ²
I5	347,94 g	351,9 g	355,64 g	nincs	353,4 g	148,62 g/m ²
I6	312,08 g	316,58 g	319,91 g	nincs	317,79 g	151,129 g/m ²
I8	312,43 g	321,58 g	323,52 g	325,99 g	315,78 g	261,726 g/m ²
I9	312,75 g	322,13 g	324,32 g	327,02 g	316,61 g	275,429 g/m ²
I10	312,16 g	321,76 g	nincs	nincs	321,06 g	185,292 g/m ²
I11	312,7 g	322,66 g	nincs	nincs	321,94 g	192,241 g/m ²

l (eredeti méret)	lo (támaszköz)	w (lehajlás)	F1	F2		
1 000 mm	900 mm	1,0 mm	0,80 kN	0,70 kN		
		2,0 mm	1,10 kN	1,20 kN		
		3,0 mm	1,30 kN	1,50 kN		
		4,0 mm	1,50 kN	1,80 kN		
		4,5 mm	1,60 kN	1,90 kN		
		5,0 mm	1,60 kN	2,00 kN		
		6,0 mm	1,80 kN	2,00 kN		
		7,0 mm	1,90 kN	2,10 kN		
		8,0 mm	2,00 kN	2,20 kN		
		9,0 mm	2,10 kN	2,30 kN		
		10,0 mm	2,20 kN	2,40 kN		
		e	2,70 kN	2,80 kN		
1 100 mm	1 000 mm	1,0 mm	0,80 kN	0,80 kN		
		2,0 mm	1,00 kN	1,10 kN		
		3,0 mm	1,40 kN	1,40 kN		
		4,0 mm	1,60 kN	1,70 kN		
		5,0 mm	2,00 kN	2,10 kN		
		6,0 mm	2,20 kN	2,40 kN		
		7,0 mm	2,20 kN	2,50 kN		
		8,0 mm	2,30 kN	2,60 kN		
		9,0 mm	2,40 kN	2,60 kN		
		10,0 mm	2,50 kN	2,70 kN		
		e	3,30 kN	3,20 kN		
		1 200 mm	1 100 mm	1,0 mm	0,10 kN	0,18 kN
2,0 mm	0,30 kN			0,20 kN		
3,0 mm	0,50 kN			0,50 kN		
4,0 mm	0,60 kN			0,70 kN		
5,0 mm	0,75 kN			0,85 kN		
5,5 mm	0,80 kN			1,00 kN		
6,0 mm	0,85 kN			1,00 kN		
7,0 mm	0,90 kN			1,10 kN		
8,0 mm	0,95 kN			1,18 kN		
9,0 mm	1,00 kN			1,25 kN		
10,0 mm	1,00 kN			1,38 kN		
e	1,55 kN			1,95 kN		
1 300 mm	1 200 mm	1,0 mm	0,08 kN	0,05 kN		
		2,0 mm	0,20 kN	0,10 kN		
		3,0 mm	0,50 kN	0,30 kN		
		4,0 mm	0,65 kN	0,50 kN		
		5,0 mm	0,80 kN	0,68 kN		
		6,0 mm	1,00 kN	0,75 kN		
		7,0 mm	1,08 kN	0,90 kN		
		8,0 mm	1,15 kN	1,00 kN		
		9,0 mm	1,30 kN	1,28 kN		
		10,0 mm	1,30 kN	1,30 kN		
		e	1,90 kN	1,70 kN		
		1 400 mm	1 300 mm	1,0 mm	0,05 kN	0,05 kN
2,0 mm	0,08 kN			0,05 kN		
3,0 mm	0,10 kN			0,10 kN		
4,0 mm	0,15 kN			0,25 kN		
5,0 mm	0,20 kN			0,50 kN		
6,0 mm	0,28 kN			0,60 kN		
6,5 mm	0,30 kN			0,65 kN		
7,0 mm	0,33 kN			0,73 kN		
8,0 mm	0,40 kN			0,80 kN		
9,0 mm	0,60 kN			0,85 kN		
10,0 mm	0,65 kN			0,93 kN		
e	1,25 kN			1,70 kN		
1 500 mm	1 400 mm	1,0 mm	0,00 kN	0,00 kN		
		2,0 mm	0,08 kN	0,00 kN		
		3,0 mm	0,18 kN	0,10 kN		
		4,0 mm	0,20 kN	0,20 kN		
		5,0 mm	0,30 kN	0,38 kN		
		6,0 mm	0,43 kN	0,43 kN		
		7,0 mm	0,60 kN	0,60 kN		
		8,0 mm	0,63 kN	0,65 kN		
		9,0 mm	0,70 kN	0,70 kN		
		10,0 mm	0,80 kN	0,83 kN		
		e	1,20 kN	1,40 kN		
		1 600 mm	1 500 mm	1,0 mm	0,00 kN	0,00 kN
2,0 mm	0,00 kN			0,00 kN		
3,0 mm	0,00 kN			0,00 kN		
4,0 mm	0,10 kN			0,10 kN		
5,0 mm	0,15 kN			0,30 kN		
6,0 mm	0,20 kN			0,40 kN		
7,0 mm	0,30 kN			0,50 kN		
7,5 mm	0,30 kN			0,55 kN		
e	1,20 kN			1,20 kN		
1 700 mm	1 600 mm			1,0 mm	0,00 kN	0,00 kN
				2,0 mm	0,00 kN	0,00 kN
				3,0 mm	0,00 kN	0,05 kN
		4,0 mm	0,00 kN	0,05 kN		
		5,0 mm	0,10 kN	0,10 kN		
		6,0 mm	0,18 kN	0,18 kN		
		7,0 mm	0,23 kN	0,25 kN		
		8,0 mm	0,30 kN	0,35 kN		
		e	1,10 kN	1,10 kN		
		1 800 mm	1 700 mm	1,0 mm	0,00 kN	0,00 kN
				2,0 mm	0,00 kN	0,05 kN
				3,0 mm	0,00 kN	0,10 kN
4,0 mm	0,05 kN			0,10 kN		
5,0 mm	0,10 kN			0,18 kN		
6,0 mm	0,10 kN			0,25 kN		
7,0 mm	0,20 kN			0,40 kN		
8,0 mm	0,23 kN			0,50 kN		
8,5 mm	0,25 kN			0,58 kN		
e	1,10 kN			1,40 kN		
1 900 mm	1 800 mm			1,0 mm	0,00 kN	0,00 kN
				2,0 mm	0,00 kN	0,00 kN
		3,0 mm	0,05 kN	0,00 kN		
		4,0 mm	0,05 kN	0,05 kN		
		5,0 mm	0,10 kN	0,10 kN		
		6,0 mm	0,20 kN	0,10 kN		
		7,0 mm	0,25 kN	0,18 kN		
		8,0 mm	0,30 kN	0,20 kN		
		9,0 mm	0,40 kN	0,25 kN		
		e	1,05 kN	0,90 kN		

	l/200 megengedett lehajlás
	tartó szakadása

tartó külső átmérője	110 mm
falvastagság	12 mm