

Keresztes János, Alpár Tibor¹

Kompozitokhoz felhasználható papírhulladék tulajdonságainak meghatározása

Kivonat: A szervesetlen (cement, gipsz) kötésű kompozitok tulajdonságainak módosításához egyre gyakrabban használnak különféle papírhulladékokat. Azonban a beszállítók, egyéb nyersanyagokhoz hasonlóan nem adnak hozzá műszaki paramétereket az EN642 szabványkövetelményein (nem-papírkomponens, szennyezőanyag és nedvességtartalom) kívül. Így a felhasználók olyan módszereket alkalmaznak a papírhulladék jellemzésére, amelyek az esetek többségében eltérnek a több évszázadon keresztül kifejlesztett papíripari módszerektől. Ennek pótlására szabványos műveletekből és mérési módszerekből összeállítottunk egy vizsgálati eljárást, amely elősegíti a felhasználónak a papírhulladék, illetve visszanyert rostok tulajdonságainak meghatározását, amelyek megismételhetők és laboratóriumi körülmények között összehasonlítható eredményeket biztosítanak, valamint a szakirodalmi adatokkal összevethető. Az eljárási működőképességét ipari hullámpapír-hulladék vizsgálatán keresztül mutatjuk be.

Kulcsszavak: frakcionálás, rostfrakció, rosthosszúság, hamutartalom, hajlító mervség, SCT.

Bevezetés

Különösen a gipsz és cement kötésű kompozitok tulajdonságainak javítására, illetve megváltoztatására mind a hazai, mind a külföldi kutatóhelyek különféle papírhulladékokat használnak fel. A kompozitokhoz felhasznált anyagok pontos megnevezése, típusa, összetétele, tulajdonságai mind elérhetőek a szakirodalomban, vagy a gyártók által kibocsátott műszaki adatlapokon, a papírhulladék kivételével. Azonban a kompozitokhoz felhasznált papírhulladékot csak triviális névvel jellemzik: színes újság [1], irodai papír [2,3] újságpapír [4,5], hullámdoboz [6,7,8], karton [9,10,11]. A kompozitokhoz adalékolt mennyiségüket, és esetleg egy-egy nem standardizált papírtulajdonságot adnak meg.

A papírhulladékokat a nagy papírfogyasztó régiókban: Európában 96 [12], az USA-ban 88 [13] csoportba sorolják. Csak a nedvesség-, a nem-papírkomponens és idegenanyag tartalmuk kvantifikált, az összetétel és műszaki tulajdonságaik nem. Bár elvárható lenne, hogy minden értékesített nyersanyaghoz hasonlóan a papírhulladékot is műszaki paramétereket tartalmazó adattal lássák el, azonban az ágazat alacsony jövedelmezősége miatt ennek a műszaki és gazdasági feltételei még hiányoznak. Ezért a különböző felhasználási célok (író-nyomópapír-, csomagolópapír gyártás) megfelelően maguk a felhasználók alakítják ki a papír-

¹ Soproni Egyetem, Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar

hulladék releváns tulajdonságait jellemző módszereket [14,15,16]. A szervesetlen kötésű kompozitokban felhasználható papírhulladékok jellemzésére még ilyen eljárást nem dolgoztak ki, ezért az alábbiakban a papírhulladékok vizsgálatára szabványos papíripari műveletekből és mérési módszerekből alakítottunk ki egy vizsgálati eljárást, amely a kompozithoz adagolt papírhulladék összetételét, ásványianyag tartalmát és részecskeméreteit, kiválasztott szilárdsági tulajdonságát határozza meg. Működőképességét egy ipari papírhulladék vizsgálatán keresztül mutatjuk be.

A papírhulladék tulajdonságainak meghatározása

Vizsgált anyag

Az eljárás tesztelésére a hullámpapírlemez-gyárakban keletkező ipari papírhulladékot használtunk, amely az EN 643 „Az újrafeldolgozásra szánt papír és karton szabványos minőségi kategóriáinak európai jegyzéke” 4.01.00 kódszámú: *Nem használt hullámpapírlemez és vágási szélhulladéka* csoportjába tartozik és a továbbiakban HP-val jelöljük. Ebből a hulladékból az EU-ban mintegy 350–400 kt/év mennyiség keletkezik [17].

Vizsgálati eljárás

A papírhulladék szervesetlen (ásványi anyagok) és szerves (rost, keményítő) anyag tartalmának, részecskeméreteinek, szilárdsági paramétereinek meghatározására szolgáló laboratóriumi eljárást alakítottunk ki, amelyet az 1. ábrán részletezünk.

Az eljárás műveleti lépéscsoái:

a papírhulladék izzítása (a szervesetlen anyagok kinyerése),

a papírhulladék dezintegrálása (egyedi rostokra bontás),

osztályozás (az idegen-anyagok eltávolítása),

homogenizálás (adagolásra alkalmas szuszpenzió készítés),

frakcionálás (a különböző mérettartományba eső rostok elkülönítése),

lapképzés (a fizikai vizsgálatok elvégzéséhez alkalmas próbatestek előállítás),

klimatizálás (standard légtér biztosítása a rostok higroszkopitása miatt szükséges).

Az 1. ábra a műveletek legfontosabb paramétereit, a mérési helyeket és a mérés szabványait is ismerteti.

Izzítási maradék (hamutartalom) meghatározása

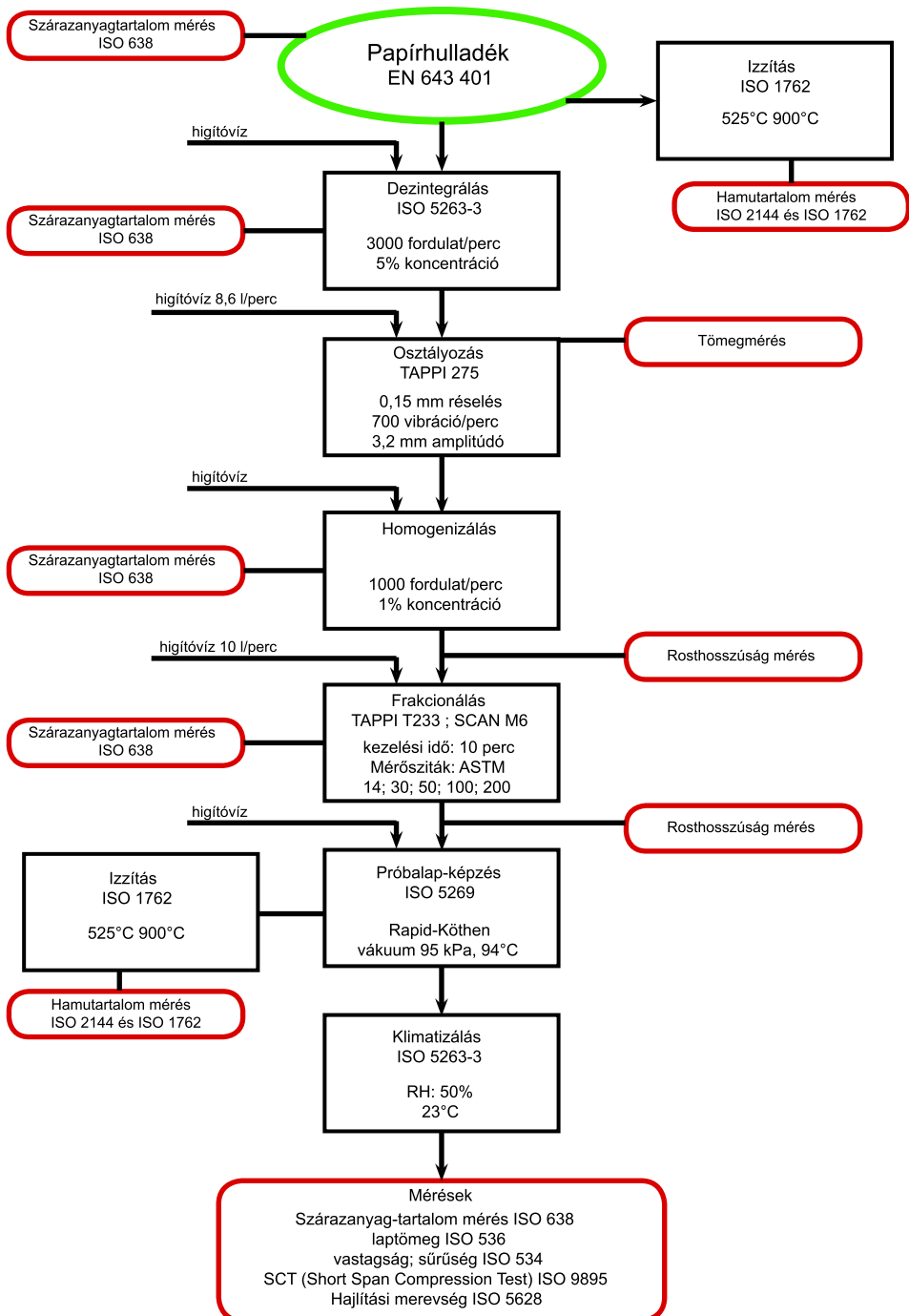
Mind a kiindulási papírhulladék (HP), mind a rostfrakciók szervesanyag tartalmát lángmentesen elhamvasztjuk, és a maradékot izzító kemencében 525 °C-on és 900 °C-n súlyállandóságig kiizzítjuk [18], és meghatározzuk a maradék tömegét.

525 °C-on minden ásványi anyag oxidja keletkezik, 900 °C-n kalcium-karbonátból eltávozik a szén-dioxid. Így e két eredmény segítségével az ásványok

(kaolin: $Al_2Si_2O_5(OH)_4$,

vagy mészkő: $CaCO_3$,

mennyisége megkülönböztethetővé válik. A két ásványi összetevő mennyiségét a két különböző hőmérsékleten lejátszódó reakciók alapján a mérhető izzítási maradékokból számoljuk [19]:



1. ábra. A papírhulladék vizsgálat folyamatábrája



A szervesetlen anyagtartalom összetevőit az alábbiak alapján számoljuk:

$$\text{CaCO}_3 \text{ tartalom} = ([\text{HT525}] - [\text{HT900}] \times [100/44]); \quad \text{3. egyenlet}$$

$$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \text{ tartalom} = ([\text{Ht525}] - [\text{CaCO}_3] \times [1,13]). \quad \text{4. egyenlet}$$

ahol

HT525-mért hamutartalom 525 °C-on,

Ht900 - mért hamutartalom 900 °C-on.

Papírhulladék dezintegrálása

A vizsgálatra alkalmas rostsuszpenzió készítés két lépcsőből áll: 4 óráig csapvízben áztatott papírhulladékot az alkotóelemek roncsolását megakadályozandó, arra kialakított standard dezintegrátorban [20] állandó keverési sebesség (3000 f/perc) mellett 5%-os koncentrációban egyedi alkotóelemre bontottuk (dezintegráltuk), majd kis keverési sebességű tárolóadagoló tartályban 1%-koncentráción homogenizáltuk (1000 f/perc).

Rostfrakciók előállítása

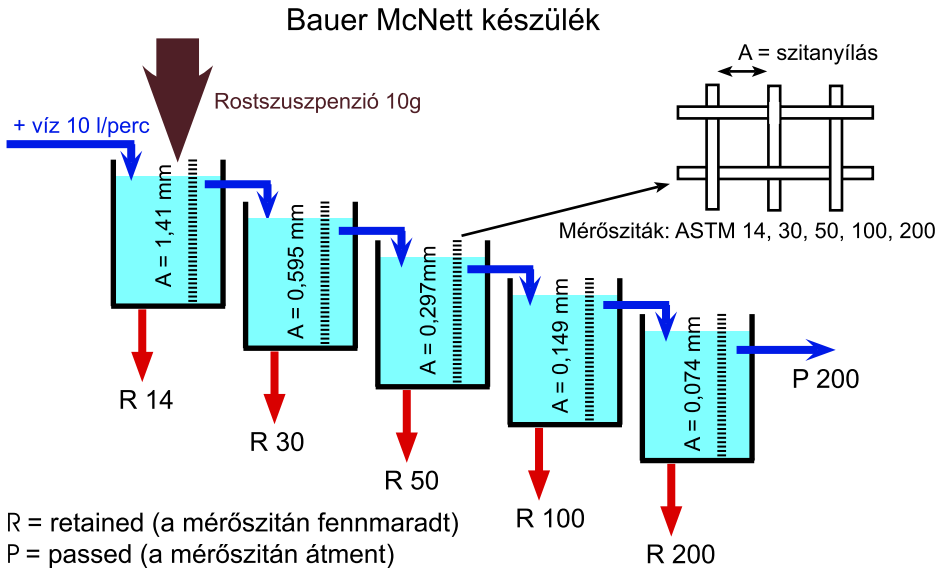
A papírhulladék részecskeméreteinek meghatározására öt lépcsős, a papír-iparban szabványosított [21] Bauer–Mc-Nett készüléket használtunk, amelyet a 2. ábrán ismertetünk.

A szabványos mérősziták jelölése ASTM 14; 30; 50; 100 és 200. Szitanyílásuk méretei ebben a sorrendben: 1,41; 0,595;

0,297; 0,149 és 0,074 mm. A homogenizált rostsuszpenzió az első mérőtartályba kerül, ahonnan az egyre kisebb részecskéket 10 liter/perc sebességű vízáram továbbítja 10 percen keresztül. Minden egyes lépcsőben keverő és 355 cm² területű mérőszita található. A szitaméretnél nagyobb részecskék (rostok és töltőanyag) az adott tartályban, annak alján gyűlnek össze, a kisebbek a következő tartályba kerülnek. A szitákon fennmaradó frakciót R (Retained) betű és a szitaszám jelöli, a szitaméretnél kisebb frakciót P (Passed) betű és a szitaszám jelöli. Abszolút száraz tömegüket meghatároztuk, majd mennyiségüket a kiindulási rost tömegére számítva százalékosan adtuk meg.

Rosthosszúság és méreteloszlás mérése

Az átlagos rosthosszúságot és a rostméreteloszlást Kajaani FS-100 készülékével határoztuk [22] meg. A rostsuszpenziót 0,001%-os koncentrációra hígítottuk, 100



2. ábra. Bauer McNett készülék elvi működése

ml-ét az analízatorba adagoltuk, amelyben a rostok egy polarizált fényvel megvilágított függőleges kapillárison haladnak át. Itt az egyedi rostok hosszúságának megfelelő jeleket a detektor veszi, majd a beépített számítógép feldolgozza.

Lapképzés

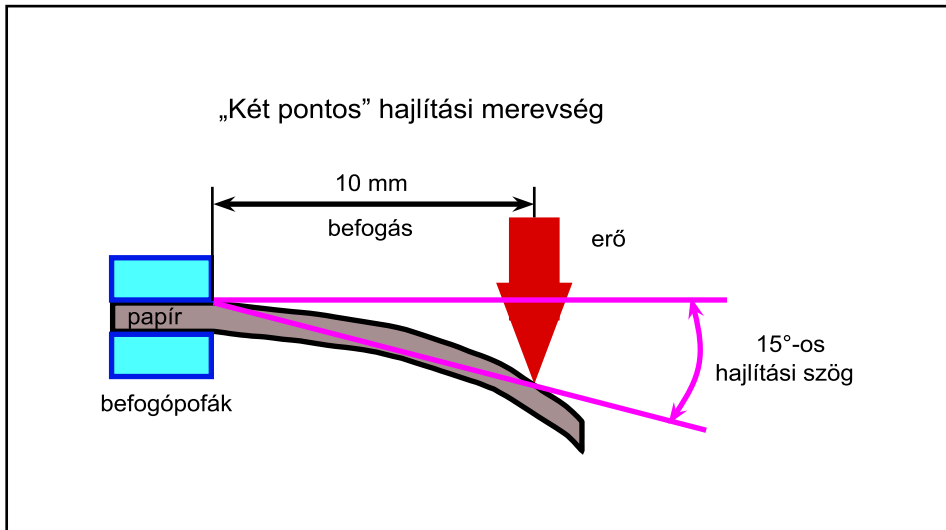
A Bauer-McNett készülékkel előállított minden egyes rostfrakcióból Rapid Köthen Standart lapképzőn [23] (leszívó vákuum 95 kPa, szárítási hőmérséklet 94 °C, szárítási idő 5 perc) 80g/m² névleges tömegű, hamumentes szűrőpapírra szűrve próbatesteket képeztünk, amelyeket az egyen-

súlyi nedvességtartalom elérése érdekében 23 °C hőmérsékleten és 50% relatív páratartalomon [24], 24 órán keresztül klimatizáltunk.

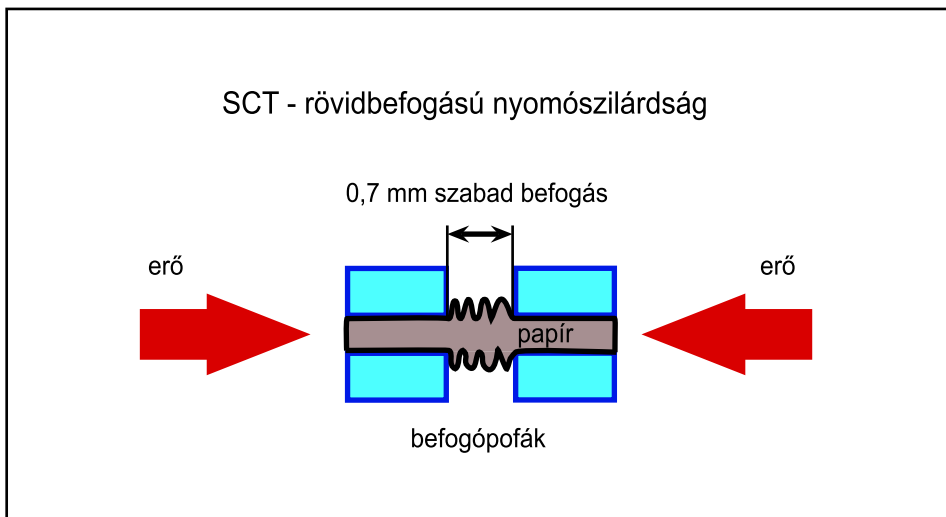
Szilárdsági vizsgálatok

Mind a kiindulási papírhulladékból, mind az előállított rostfrakciókból a 15°-os hajlítási szögű és 10 mm befogási hosszú „két pontos” hajlítási merevséget [25] és a rövidbefogású (0,7 mm szabad befogás) nyomószilárdságot (Short-Span Compression Test = SCT) mértünk [26].

A mérési elveket a 3.a és 3.b ábrák ismertetik.



3.a ábra. A hajlító merevség mérés elve



3.b ábra. Az SCT mérés elve

Eredmények

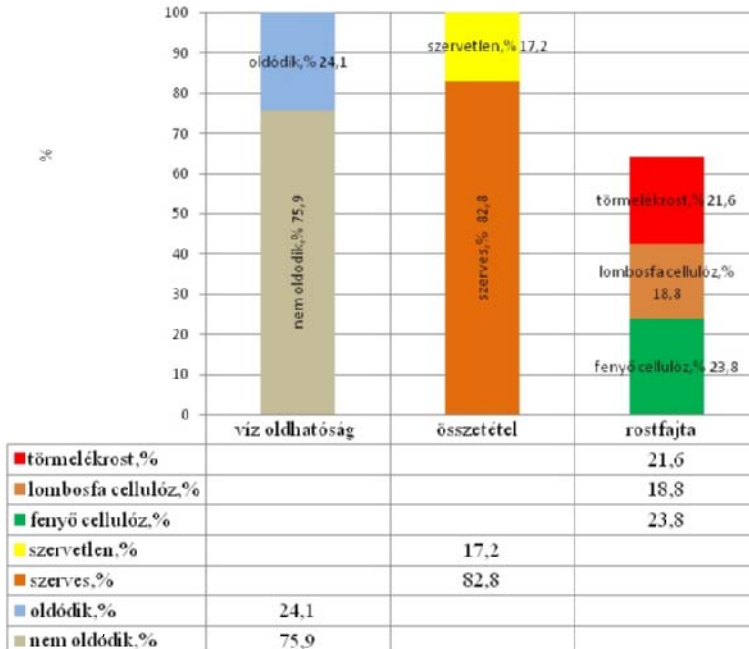
A papirhulladék vizsgálat folyamatábrája szerint elvégzett vizsgálatok eredményeit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. Mérési eredmények

| | R14 | R30 | R50 | R100 | R200 | P200 szilárd | P200 oldott | HP |
|---------------------------|------|------|------|------|------|--------------|-------------|-------|
| rostfrakciók tömege, m% | 7,9 | 16,5 | 19,9 | 10,3 | 5,3 | 15,9 | 24,1 | 100,0 |
| átlagos rosthosszúság, mm | 2,70 | 1,58 | 0,84 | 0,55 | 0,38 | <0,02 | <0 | 1,23 |
| hamutartalom (HT 525), % | 1,5 | 1,6 | 5,2 | 9,6 | 24,8 | 46,0 | | 16,8 |
| hamutartalom (HT 900), % | 0,0 | 0,7 | 3,1 | 6,2 | 13,7 | 32,1 | | 11,0 |
| hajlítási merevség, mN | 204 | 188 | 170 | 141 | 95 | nm | nm | 127 |
| SCT, kN/m | 1,38 | 1,54 | 1,64 | 1,90 | 2,76 | nm | nm | 1,81 |

A papírhulladék jellemzői

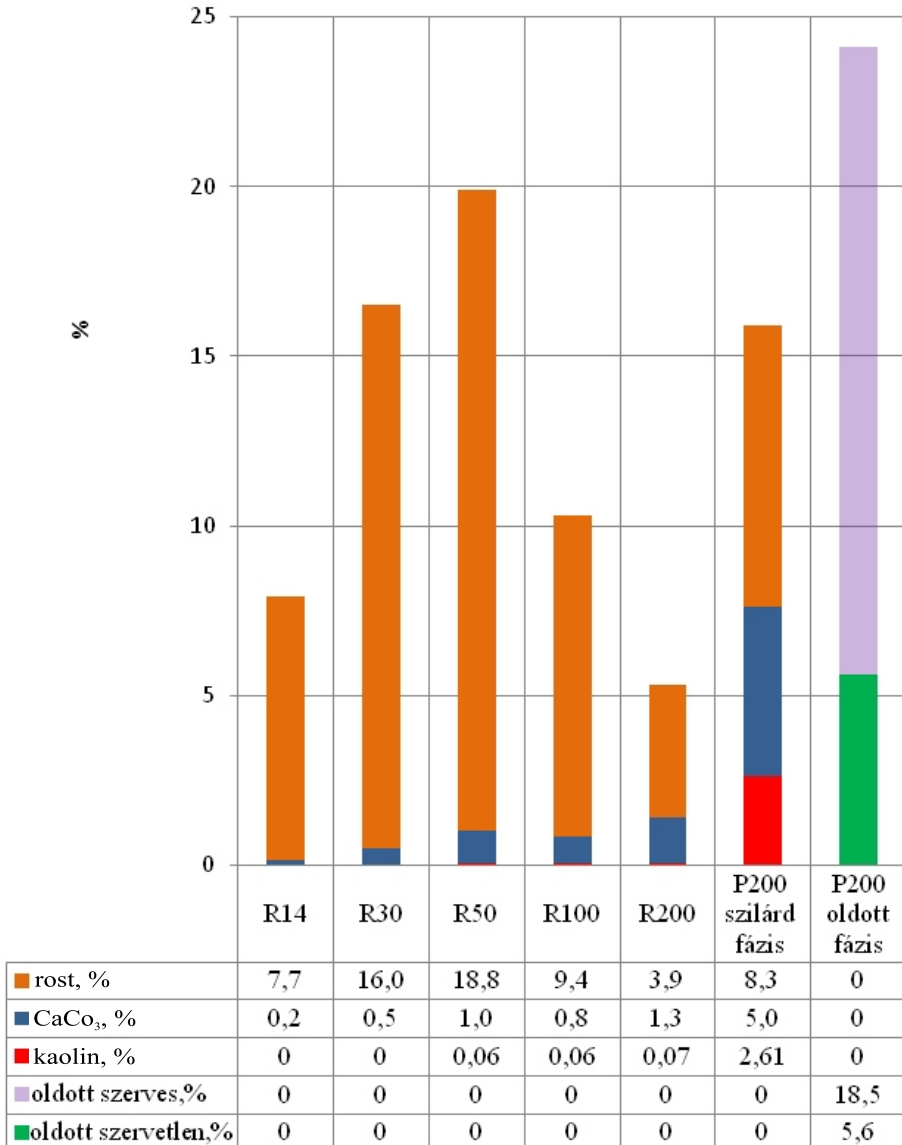
A rostfrakcionálás, a hamutartalom és rosthosszúság-eloszlás mérési eredményekből meghatároztuk a kiindulási papírhulladék (HP) minta vízoldható és nem oldódó részeit, a szerves és szervesetlen összetevők arányát, valamint a rostfajtaikat (4. ábra). A szerves összetevőt a rostok, a szervesetlen összetevőt az ásványok alkotják. A rostfajtaikat a fenyő-cellulóz és a lombosfa-cellulózok alkotják, de jelentős az előbbiekből képződött törmelék-rost mennyisége is.



4. ábra. A vizsgált papírhulladék (HP) tulajdonságai

A rostfrakciók tulajdonságai

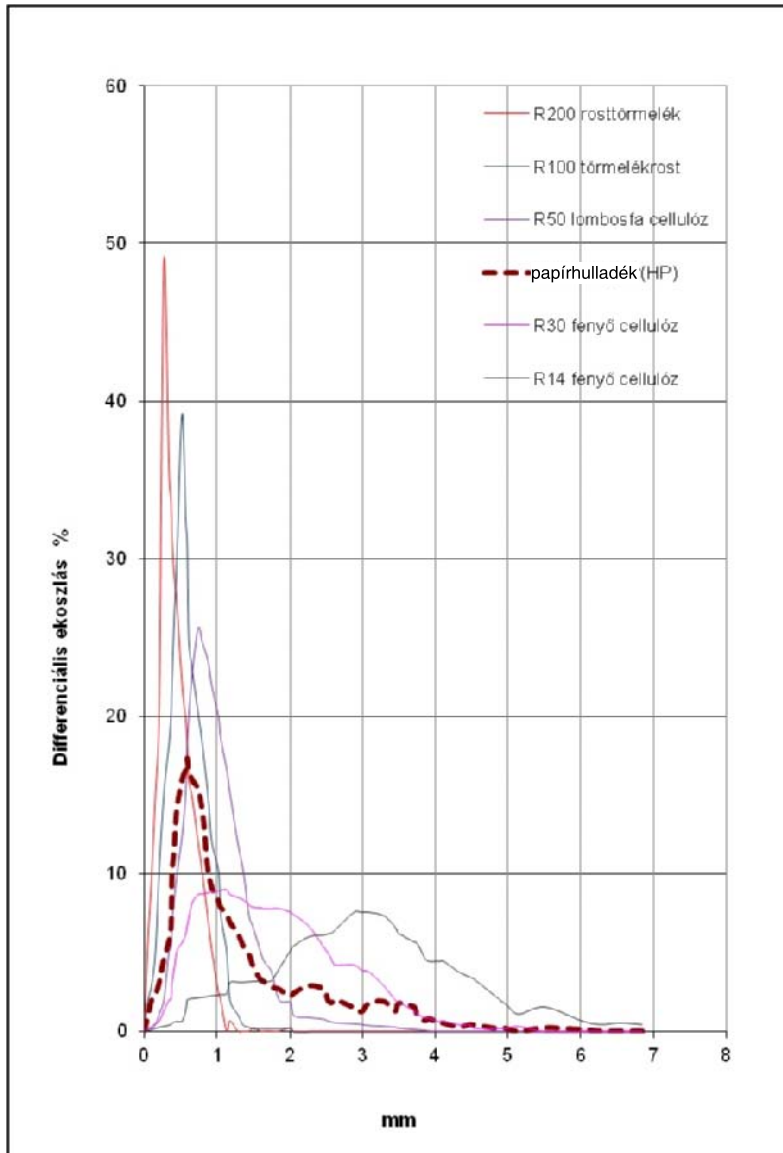
A rostfrakciók morfológiai- és kémiai összetételét, rosttartalmát az 5. ábra ismerteti. A minta oldott szervesanyag tartalma a gyártáshoz felhasznált keményítőkből és vízoldható polimerekből származik.



5. ábra. A papírhulladék rostfrakciók kémiai összetétele (100% = a vizsgált hulladékpapír tömege)

Rosthosszúságeloszlás

A rostfrakciók eloszlásgörbéi a 6. ábrán azt jelzik, hogy az R14-es frakció a hosszabb, az R30-as a rövidebb fenyő-cellulózok, az R50 rostfrakció a lombosfa cellulózok jelenlétét bizonyítja.

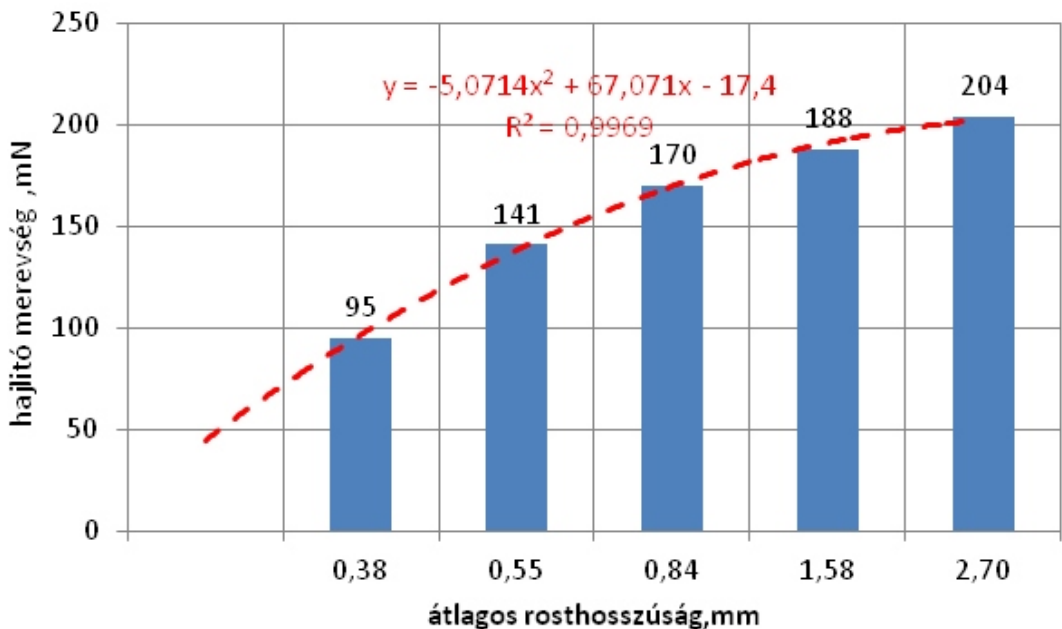


6. ábra. A frakciók rosthosszúság eloszlásai

Az R100-as és az R200-as frakciók közel izodimenziós részecskék jelenlétét mutatja, amelyek a papír többszöri felhasználása során keletkezett rosttöredékekből áll.

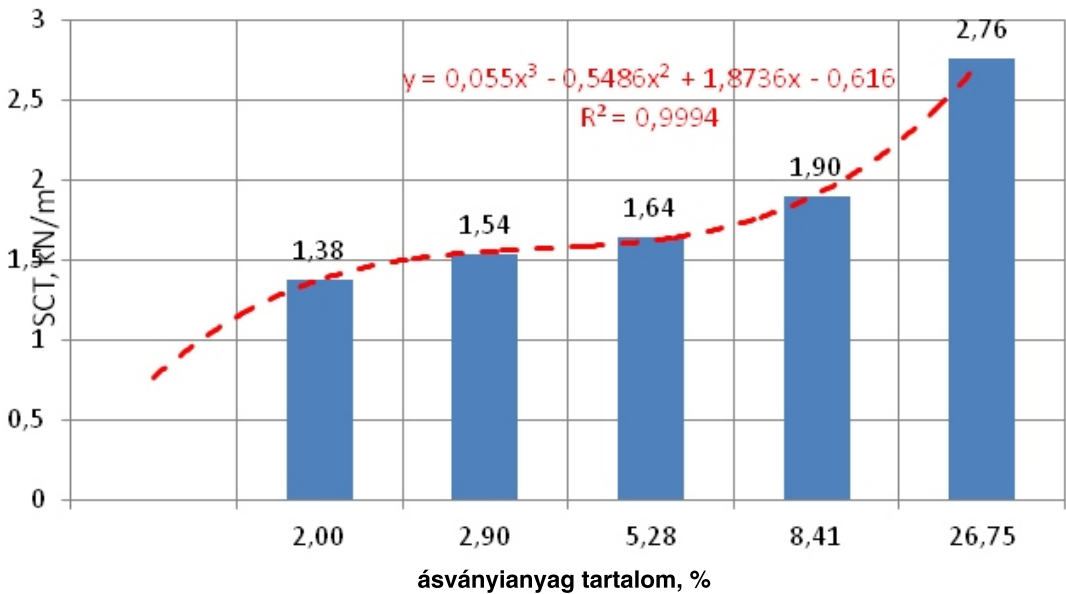
Szilárdsági tulajdonságok

Az 1. táblázatból látható, hogy a hajlítási merevség minden rostos frakcióban az R200-as kivételével jobb a kiindulási mintánál, és az ásványianyag tartalom növekedésével és a rosthosszúság csökkenésével csökken. Az átlagos rosthosszúsággal jól korrelál, a hajlító merevséget az átlagos rosthosszúság függvényében a 7. ábra mutatja be.



7. ábra. Hajlító merevség a frakciók rosthosszúságának a függvényében

A rövidbefogású nyomószilárdság, az SCT érték a roströvidüléssel és az ásványianyag tartalom növekedésével arányosan változik. Az ásványianyag tartalom és az SCT érték közötti függvénykapcsolat harmadfokú egyenlettel írható le (8. ábra).



8. ábra. Rövidbefogású nyomószilárdság a frakciók ásványianyag tartalmának függvényében

Összefoglalás

A papírhulladék értékesítésével párhuzamosan annak műszaki tulajdonságait tartalmazó adatlapot nem adnak a beszállítók. A papíriparban az író-nyomópapír gyártáshoz az INGEDE, a csomagolópapír gyártáshoz ECOPAPERLOOP alakított ki eljárást papírhulladékok tulajdonságainak meghatározására.

A kompozitokhoz felhasználandó papírhulladék tulajdonságainak meghatározására alkalmas módszerek hiányában egy arra alkalmas eljárást dolgoztunk ki,

amelynek minden egyes művelete, mérési módszere és az alkalmazott berendezések szabványosítottak a papíriparban.

Megismételhető és a laboratóriumok között összehasonlítható, a szakirodalmi adatokkal összevethető eredményeket biztosít. Lehetővé teszi a papírhulladék felhasználónak, hogy a számszerűsíthető kémiai-, morfológiai-, szilárdsági paraméterek meghatározása után kiválassza vagy a legalkalmasabb papírhulladékfajtát, vagy annak valamelyik rostfrakcióját, amely a tervezett kompozit tulajdonságait kedvezően formálhatja.

Felhasznált irodalom

- 1 Takáts P., Varga N., Takáts A. 2012. **Papírhulladék hasznosítása lapalapú biokompozit előállítására.** *Faipar* 60(1): 29–35.
- 2 Yue K.: 2012. **Study on Composites for Furniture with Waste Paper and Wood Particle,** *Advanced Materials Research* (475), 1228–1232.

- 3 Muehl J. H. 2004. **Composite Panels Made With Biofiber or Office Wastepaper Bonded With Thermoplastic and/or Thermosetting Resin** USDA Forest Service, FPL–RN–0294.
- 4 Yinfeiy T. 2011. **Preparation of environment-friendly composite from wastepaper fiber and waste collagen**, Applied Mechanics and Materials (71–78) 2978–2982.
- 5 Yoshikazu N. 1982. **Composite material compositions using wastepaper and method of producing same** US 4339363 A.
- 6 DeFoe, R. J. 1993. **Optimal refining conditions for development of OCC pulp properties**,” *TAPPI Journal*, (76), 2., 157–161.
- 7 Charalampos L. 2012. **Potential for utilizing waste corrugated paper containers into wood composites using UF and PMDI resin systems** Eur. J. Wood Prod (70) 811–818.
- 8 Eshraghi A. 2012. **Waste paperboard in composition panels**, Cellulose Chem. Technol., 46 (9–10), 637–642.

Megjelent Gyurina László felelős szerkesztő, Munkácsi Imre és Szente Tünde szerkesztő gondozásában a dunaujvárosi cellulóz- és papírgyártás, a Dunai Szalmacellulózgyár, a Dunaujvárosi Hullámvertikum, a Dunapack, a Hamburger Hungária Kft. és a Prinzhorn csoport történetét ismertető, *Élőpapír* című könyv. A múltidéző munka végigköveti fél évszázad dunaujvárosi papíriparának kialakulását, érdekes eseményeit az első kapavágástól a világszínvonal eléréséig.

In memoriam dr. Lendvai Mihály

Életének 88. évében elhunyt dr. Lendvai Mihály (1929–2017) a Diósgyőri Papírgyár nyugalmazott igazgatója. A papírgyártat 1978–1989 között vezette. Békés megyéből származott. Pályáját vasutasként kezdte, majd a lyukói bányában, később a Volánnál már mint személyzeti főosztályvezető dolgozott, és innen került a Diósgyőri Papírgyár élére. Kemény, szigorú, szavahihető, nagy reformokat végrehajtó igazgató volt. Vezetése alatt a papírgyár 1985-ben átalakította 32. számú papírgépét hengersizítésre, és olyan nyomdaüzemet hozott létre, amely főleg díszcsomagoló-papírok nyomtatásával foglalkozott. Hamvait szűk családi körben helyezték örök nyugalomra. Emlékét őrzik barátai és munkatársai.