

Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar
MISKOLCI EGYETEM MŰSZAKI FÖLDTUDOMÁNYI KAR
NYERSANYAGELŐKÉSZÍTÉSI ÉS KÖRNYEZETI
ELJÁRÁSTECHNIKAI INTÉZET

**Szénpor biomasszával és egyéb kötőanyagokkal
történő briketálhatóságának és pelletálhatóságának
vizsgálata**

TDK-dolgozat

Szerző: Oláh Tamás
előkészítéstechnika szakirány
Konszulens: Dr. Nagy Sándor
egyetemi adjunktus

Miskolc 2014

Eredetiségi nyilatkozat

Eredetiségi nyilatkozat

"Alulírott XY, a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karának hallgatója büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és aláírással igazolom, hogy ezt a dolgozatot saját magam készítettem, a benne leírt vizsgálatokat – ha ezt külön nem jelzem – magam végeztem el, és az ismertetett eredményeket magam értem el. Adatokat, információkat csak az irodalomjegyzékben felsorolt forrásokból használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem."

Miskolc, 2014 11. 0.

.....

a hallgató aláírása

A konzulens nyilatkozata

Konzulensi nyilatkozat

"Alulírott XY, a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetének tanszéki mérnöke a TDK dolgozatot beadásra alkalmasnak ítélem."

Egyéb megjegyzések, ajánlás:

Miskolc, 2014. 11. 0.

.....

a konzulens aláírása

1. Bevezetés	4
2 Szakirodalmi áttekintés	5
2.1 Agglomerálás	5
2.1.1 Kötésmechanizmusok, kötőerők	5
2.1.2 Agglomerálás típusai	6
2.2 Szenek brikettálása	9
2.3 Biobrikett,	9
3. A vizsgálatok során felhasznált berendezések	10
3.1 Kalapácsos törő	10
3.2 Retsch malom	11
3.3 Vágómalom	12
3.4 Dugattyús prés	12
3.5 Pelletáló berendezés	13
3.6 Brikettek és pelleték sűrűségének meghatározása	15
3.7 Ejtési vizsgálatok	15
4. Minták előkészítése	15
4.1. Szénminta	16
4.2 Kötőanyagok	19
4.2.1 Papír Iszap	19
4.2.2 Fűrészpor	20
4.2.3 Szalma	21
5. Brikettálási kísérletek	22
5.1 Papír iszap	22
5.2 Fűrészpor	23
5.3 Szalma	26
6 Ejtési vizsgálat	27
6.1 Ejtési vizsgálatok eredménye	27
7. Pelletálási kísérletek	28
7.1. I. Vizsgálat	28
7.2. II. Vizsgálat	29
7.3. III. Vizsgálat	29
7.4. IV. Vizsgálat	31
7.5. V. Vizsgálat	33
8. Megállapítások	34
8.1 Tablettázási kísérletek	34
8.2 Pelletálási kísérletek	36
9. Irodalomjegyzék	37

1. Bevezetés

A szén felhasználása hosszú időre tekint vissza, de ma Magyarországon a felhasználása igen kismértékű a rendelkezésre álló vagyonhoz képest, viszont jelentős mennyiséget képvisel a szénkitermelés során keletkező szénpor. Ezt a port többnyire kötőanyaggal brikettálva jól kezelhető szilárd tüzelőanyag állítható elő. A munkám során vizsgáltam a szenek brikettálhatóságát, különféle mezőgazdasági- (szalma), ipari melléktermékekkel (fűrészpor, papír iszap), mint kötőanyagokkal. Korábban a tanszéken végezett kísérleteim során a Fuller-görbével kapcsolatos vizsgálatokat végeztem, szénből és fűrészporból készült tablettákat állítottam elő. Biobrikettek gyártásával már korábban voltak kísérletek a Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai intézetben. Hazai szén, biomassza felhasználásával japán technológia alapján történtek a vizsgálatok. Ezek a kísérletek segítséggel voltak a most elvégzett kísérleteimben. A kutatómunka az EOSZÉN Kft. részére készült.

Az EOSZÉN Kft. 2012-ben alakult a Bakonyoszlop térségében fellelhető sekélymélységű szénkészlet kitermelése céljából. A rendelkezésre álló porszenet brikettálást követően értékesíteni kívánja a lakosság, ill. közüzemek felé. A Kft. az Intézetben a szénrel kapcsolatos brikettálási kísérleteket kívánta elvégeztetni. A kísérletek során kötőanyagként különböző biomasszákat ill. papíriszap alkalmazását, vizsgálatát igényelte az Intézetben.

Vizsgálataimat először tablettázási kísérletekkel kezdtem, ami során a tabletták öt nyomáson, négy hőmérsékleten 5 perces benntartás mellett és négy összetételben készültek Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai intézet dugattyús présén. Minden kötőanyagnál először végeztem szobahőmérsékleten egy vizsgálatot a teljes nyomás tartományban (tabletta felületén fellépő nyomás: 50...250 MPa). Ezt követően az optimális préselési nyomáson különböző hőmérsékleteken is végeztem vizsgálatokat, majd a kötőanyag tartalmát is változtattam. Papíriszap esetén vizsgáltam az iszap nedvességtartalmának változtatását is. Minden paraméterrel három tablettát készült. A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a legnagyobb sűrűségű tablettákat a papíriszappal lehet elérni. Ezért ezt követően további pelletálási kísérleteket már csak ezen az anyagon folytattam le. A pelletálási kísérletek során vizsgáltam miként befolyásolja az elkészülő pelletek minőségét a gyártás során hozzáadagolt gőz.

2 Szakirodalmi áttekintés

Ebben a fejezetben az agglomerálásról, ezen belül a szenek és biomasszák brikettálásról nyújtok egy rövid szakirodalmi áttekintést.

2.1 Agglomerálás

Az aprítással ellentétes művelet az agglomerálás más néven darabosítás, ami az anyag fajlagos felületének csökkenéséhez vezet. Agglomerálódást szilárdanyag-hidak, szabadon mozgó folyadékok felületi és kapilláris erői, nem szabadon mozgó kötőanyagok adhéziós és kohéziós erői, szilárd anyagrészek közötti vonzóerők, illetve alak okozta kötések hozhatnak létre, amik által granulátumok, brikettek és pelletek állíthatók elő. A szükséges nyomás a brikettálandó anyag minőségétől függ.

Az agglomerátum számos előnnyel rendelkezik a porformával szemben:

- a halmaz térfogatsúly növekszik, ami különösen a szilárdanyagok szállításánál, tárolásánál, csomagolásánál jelent előnyt,
- a folyási tulajdonságok megváltoznak, így javul a szállíthatóság és adagolhatóság,
- javul a keverhetőség, ha a szemcsék mérete azonos (szélesebb szemcseméret eloszlás esetén, a szabadon folyó anyag méret szerint szétválik, de agglomerátum formában a keverék stabil marad),
- a granulátum halmaz átáramlási ellenállása lényegesen kisebb, mint a porformának (nagykohó, reaktív gát),
- az anyag kezelésénél (szállítás, adagolás, töltés és ürítés) csökken a kiporzás, ezzel az anyagveszteség is, és elkerülhető a porok környezetszennyezése.

2.1.1 Kötésmechanizmusok, kötőerők

Agglomerálás során különböző kötőerők jöhetnek létre, ezek pedig a következők:

Szilárdanyag-hidak: képződését kémiai reakció, zsugorodás, olvadás, oldott anyagok kikristályosodása vagy kötőanyagok keményedése okozhatja.

Szabadon mozgó folyadékok felületi és kapilláris erői: ha a folyadék csak részben tölti ki a szemcsék közötti pórusokat, folyadék hidak képződnek a szemcsék között, amelyek belsejében kapilláris szívó hatás lép fel és felületén a feszültség keletkezik összehúzó erőként. Ha a folyadék teljesen beburkolja az agglomeretumot akkor a szemcsék közötti kapilláris erő eltűnik és csak a csepp domború felületének feszültsége tartja egyben.

Nem szabadon mozgó kötőanyagok adhéziós és kohéziós erői: az anyag felületén nem mozgó tapadó kötőanyagok lehetnek, amik erő hatására összetapaszthatják az anyagot vagy bizonyos idő eltelte után megkötnek.

Szilárd anyagrészek közötti vonzóerők: Van der Waals erő, ez minden molekula és atom között jelentkezik, bár ion- vagy atomkötések erejétől messze elmarad. A szilárd felület sajátosságai nagyban függenek az abszorbeált filmrétegtől, csak „tisztá” felületű szilárd anyagok tapadnak össze. Elektrosztatikus erő sokkal kisebb kötést ad, mint az összetapadást biztosító egyéb erők. Mágneses vonzóerők is csak kismértékűek.

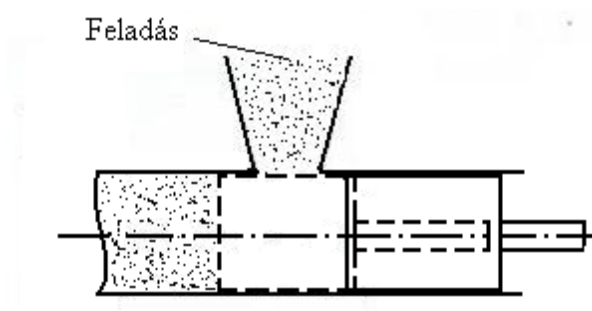
Alak okozta kötések: a szemcsék alakja változó lehet (szálas, ágas-bogas, lemezes) ezek meghatározhatják, hogy két szemcse egymás mellett elmozdul és ennek hatására a szemcsék között fizikai kapcsolat jön létre, vagy elcsúsznak egymáson (Tarján Gusztáv 1987).

2.1.2 Agglomerálás típusai

Az agglomerálást alapvetően három csoportba sorolhatjuk.

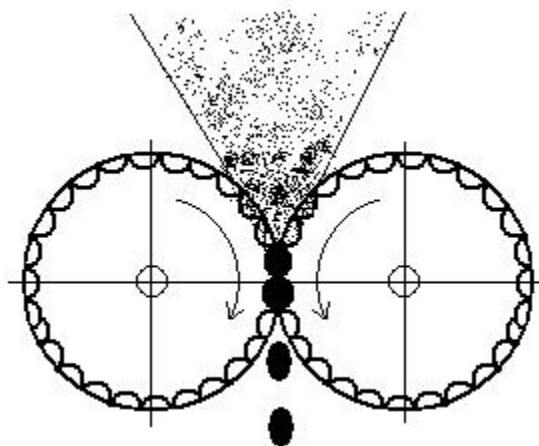
Nyomással történő agglomerálás. Ennél az eljárásnál elérjük, hogy az érintkező szemcsefelületeken megfelelő kötőerők léphessenek fel. A nyomással a laza szemcsék átrendeződnek, az anyag térfogata megváltozik. Egy adott szemcsehalmaznak a tablettázhatósága függ az adott anyag sajátosságaitól, szemcsemérettől, az eljárás körülményeitől, és nagymértékben attól, hogy tartalmaz-e kötőanyagot vagy sem. Brikettek készíthetők ipari mennyiségben különféle anyagokból. Szinte az összes finomszemcséjű anyag brikettálható, ha megfelelő körülményeket biztosítunk, illetve elérjük a megfelelő nyomást és rendelkezésünkre áll a kellő kötőanyag. A megfelelő nyomás hatására elért vonzóerők a Van der Waals illetve elektrosztatikus erők lehetnek, melyek kis érintkezési távolságoknál és felületszerű érintkezéseknél relatíve nagyok lehetnek. A brikettáláshoz számos gépfajta áll rendelkezésre. Létezik dugattyús berendezés,

ellendugattyúval rendelkező, extruder típusú, hengerpár, ill. sík-, és hengermatricás. Az egyszerű dugattyús berendezésnél a préselés egy ellendugattyúval szemben történik, az extruder típusú gép esetén a tömörítőcsatorna falsúrlódásával szemben történik a tömörítés. A 2.1 ábra a dugattyús prések elvi ábráját láthatjuk.



2.1. ábra: Dugattyús prések elvi ábrája (Csőke, 2010)

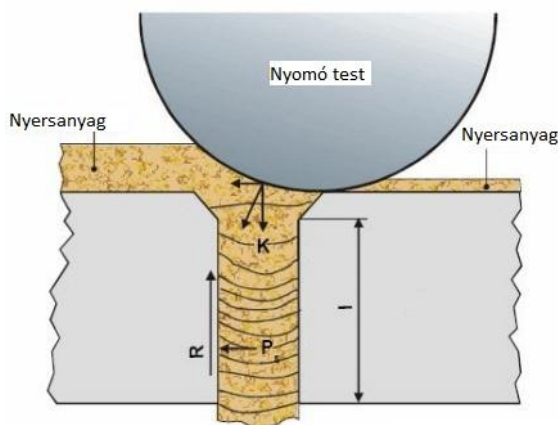
Hengeres prések esetén két azonos átmérőjű henger forog egymással szemben azonos sebességgel, amelyek a finom diszperz anyagot behúzzák és tömörítik. A kompaktálás a két henger között történik. A hengerek lehetnek sima felületűek, vagy a termék alakjának megfelelően matricázottak. Az egyik henger csapágyai fixen rögzítettek, míg a másik rugóerő vagy hidraulikus megtámasztás ellenében elmozdulhat (Norman L. Weiss 1985).



2.2. ábra: hengeres prés elvi ábrája (Csőke, 2010)

Napjainkban a tápgyártáson túl a szilárd bio tüzelőanyagok iránti növekvő kereslet hatására egyre nagyobb jelentőségűek a sík illetve hengermatricás pelletálók. Ez a fajta pelletgyártás eljárás technikai értelemben nyomással történő agglomerálás, brikettálás. Eredetileg takarmányok készítésére használták az eljárást, de ma már a biopellet-gyártás is igen elterjedt.

Léteznek síkmatricás és gyűrűs pelletáló berendezések. A síkmatricás pelletáló, ahogy a neve is mutatja vízszintes helyzetű a matrica és ezen forgatnak általában csonkolt kúp, ill. henger alakú, barázdált felületű görgőket, melyek a préselést végzik. A hengermatricás pelletáló esetén a görgőket egy perforált palást fogja körül, ezen keresztül történik a pelletálás.



2.3. ábra: pelletálás elvi ábrája (Csőke, 2010)

Felépítő agglomerálás. A pelletezés nedves granulálási eljárások közé tartozik, ahol az anyagot folyadékkal úgy keverjük el, hogy a szemcsék között kapilláris erő hatására kötések képződjenek. Mozgásra is szükség van, ami hatására vonzó és taszító erő jön létre és ennek hatására csak a nagy kötőerővel rendelkező kötések maradnak meg.

Termikus agglomerálás vagy szinterezés, ahol gyakran a már előpréselt anyagot megolvadásig melegítik, ezért a szemcsék érintkező felületeiben történik részleges olvadás és ezen a hőmérsékleten szilárd hidak képződnek. Ebből az következi, hogy ezen eljárás során nagy szilárdságú agglomerátumok keletkeznek.

Fontos jellemző a kompresszibilitás vagy más néven összenyomhatóság. A kompresszibilitás a tablettá térfogatának (sűrűség) változása és a préselési nyomás közötti összefüggést adja meg, azaz a porok nyomás hatására történő deformációs képességét mutatja. Ez azonban nem ad felvilágosítást a tabletták szilárdságáról. Gyakorlati szempontból kiemelten fontos a tömöríthetőség, amely a szilárdság (eredmény) és a befektetett energia, ill. nyomás közti összefüggést vizsgálja. A kompresszibilitásra és a tömöríthetőségre számos empirikus, ill. félempirikus közelítő egyenlet létezik, többnyire korlátozott érvényességi tartománnyal. (Nagy Sándor 2012)

2.2 Szenek brikettálása

A szenek brikettezése történhet kötőanyaggal vagy e nélkül. Kötőanyag nélkül könnyebben fiatal barnaszenek és lignitek brikettálhatóak. Ezekben a szenekben a szerkezetüknek köszönhetően még fellépnek kapilláris erők. Bár minden anyag brikettálható kötőanyag nélkül a megfelelő nyomáson, de ezek a nyomásértékek az ipari gyakorlatban nem kivitelezhetőek nagy költségeik miatt. Az idősebb feketeszeneket kötőanyaggal egyszerűbben lehetséges brikettálni. Hidrofób tulajdonságuk miatt vízzel kevésbé, de olajokkal vagy szurokkal, kátránnyal jól brikettálhatóak. Kötőanyagot akár kis mennyiségben is hozzáadagolva megfelelő hőmérsékleten jobb brikettek állíthatóak elő. Az ásványi szenek brikettálhatósági képességét az úgy nevezett hidrátvíz tartalom is befolyásolja. A hidrátvíz eltávolítása után, vagy túl sok hidrátvíz tartalom esetén a szén elveszítheti brikettezőképességét. (Tarján Gusztáv 1987)

2.3 Biobrikett,

Bizonyos szempontból a biobrikett a napenergia felhasználásának egy bizonyos változata. A természetben megtalálható elsődleges és másodlagos energiahordozók újrahasznosítása, mint például a mezőgazdasági termékek (szalma, széna), erdőipari melléktermékek (fűrészpor, fanyesedék), vízben élő növények, állattenyésztési melléktermékek, hulladékok.

Legjelentősebb mezőgazdasági melléktermék a szalma. Égési tulajdonságai jók (fűtőértéke 13,5 MJ/kg) és kicsi a nedvesség (10 - 15 %) tartalma. Nagy mennyiségben áll rendelkezésre hazánkban, de adottságainkkal ellentétben nem megfelelő mennyiségben történik felhasználása energiatermelési szempontból, inkább elégetik tarlón vagy visszaforgatják a talajba, mint talajerő javító, de ez sem megfelelő használat, mert a visszaforgatás nagy mennyiségű nitrogénezett műtrágyát is igényel.

A fa már régóta az emberiség egyik fontos energiaforrása. Felhasználásának két módja van. Az egyik, energetikai faként olyan fafajták felhasználásával, aminek magas a fűtőértéke (Robinia Pseu), vagy ipari faként bútorok és egyéb faeszközök gyártására (Pinaceae), de az itt keletkező melléktermékek ugyanúgy felhasználhatóak energiaforrásként. Ezek közül fontos a Pinus strobus aminek nedvességtartalma 54%, hamutartalma 2% és fűtőértéke 21,4 MJ/kg.

A fa közvetett feldolgozása a papíriszap fafeldolgozásból és papír- és kartongyártásból származó hulladék. A képződési hely szempontjából két fő részt különböztethetünk meg: az egyik a technológiai folyamaton belül, a másik a szennyvízkezelés során keletkező iszap. A technológiai folyamatban keletkező iszapok körébe tartoznak a pulperből eltávolított szennyeződések (a pulpertisztítás és a copfkihúzó szemete) és a tisztító berendezések hulladékai (homokfogók, cleanerek, vibrátorok osztályozott anyagai). A szennyvíz kezelése során keletkező iszapjellemző összetevője a törmelékrost és a töltőanyag. Az anyag nem veszélyes, bár enyhe lúgossága és nagy cellulóztartalma átmenetileg megváltoztatja a talaj mikrobiológiai és tápanyag egyensúlyát. Az irodalomban talált legáltalánosabb, legelterjedtebb hasznosítási módok: talajfeltöltés, újrafelhasználás a papírgyártásban, elégetés, mezőgazdasági hasznosítás (a rostos iszapok javítják a talaj struktúráját, vízvisszatartó-, vízáteresztő-képességét, csökkentik az öntözés-igényt). Az iszap hasznosításának újabb lehetőségei: építőipari felhasználás (cement- és téglagyártásban), tűzálló és hőszigetelő anyagok készítéséhez adalékanyag, metángáz előállítása, tojástartó tálca. (Tarján Gusztáv 1987)

3. A vizsgálatok során felhasznált berendezések, módszerek

Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai intézet berendezéseivel dolgoztam kísérleteim során. Ezeket a berendezéseket fogom ebben a fejezetben bemutatni.

3.1 Kalapácsos törő

A kalapácsos törőben körbeforgó ütőtestek (kalapácsok) ütéssel, ütközéssel aprítják a munkatérbe feladott középkevény anyagot. Durva-, közép- és finomaprításra is alkalmasak. A munkatérben forgó vízszintes tengelyű rotorhoz csuklósan kapcsolódó kalapácsok üzem közben – centrifugális erő hatására – radiálisan helyezkednek el. A berendezés rotor átmérője 340 mm. Az Intézetünkben található VEB 21h típusú berendezés a következő 3.1. ábrán látható.



3.1. ábra: Intézetben található kalapácsos törő

A töret maximális szemnagyságát rendszerint a gép munkaterét alul határoló rács lyukmérete határozza meg, ez esetben a lyukbőségek: 6 mm, 8 mm.

3.2 Retsch malom

A kötőanyagok aprításánál szükséges volt a Retsch Heavy-Duty Cutting Mill SM 2000 -s vágómalom használata. A malom felépítése: a feladó garatja egy másik garatba torkollik, ezáltal szabályozhatóbbá válik a feladás. A vágótérben egy vízszintes tengelyre van rögzítve egy henger, melyen 3 vágókés egymáshoz képest 120° -ban áll. Ezek nem egy sorba vannak helyezve, hanem minden beljebb lévő kés egy kicsit hátrébb helyezkedik el a másiktól. Ezáltal a kések sora nem merőleges a tengelyre, hanem bizonyos szöget zárnak be. A vágótér alján cserélhető szita van, mely a szemnagyságot szabályozza, így a szitán csak a már elég kisméretű szemcsék jutnak át, melyek még nem megfelelőek, azok tovább aprítódnak.



3.2. ábra: Retsch SM 2000 -s vágómalom

3.3 AGJ Vágómalom

A Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai intézetben található AGJ MD-200-as típusú függőleges tengelyű aprítógép különböző anyagok aprítására alkalmas. A vágótérben egy függőleges tengelyre van rögzítve 3 vágókés, amelyek egymáshoz képest 120° -ban állnak. A berendezés rotor átmérője 160 mm.

3.4 Dugattyús prés

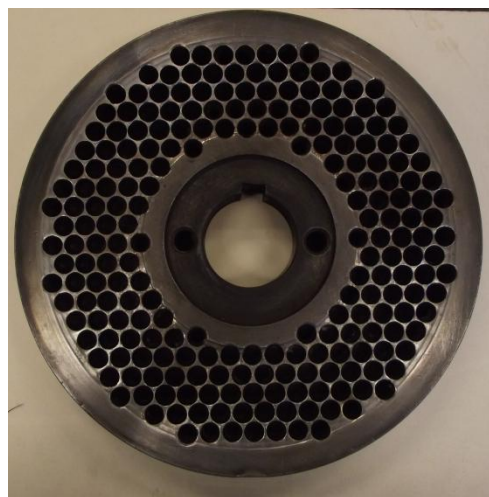
Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai intézet dugattyús prése. A prés egy hidraulikus tápegységről üzemel. Két hidraulikus dugattyú található rajta, a felső dugattyú 200 kN maximális erő kifejtésére képes, az alsó a kész brikett kiemelésére szolgál. A dugattyúkba jutó olaj nyomását változtatni lehet, előre beállított maximális nyomásra lehet állítani. A présdugattyú maximális sebessége 30 mm/s, ez állítható, jelen vizsgálatokhoz 20 mm/s értéket használtunk. A berendezéssel 25 mm átmérőjű, 5 g tömegű tablettákat készítettünk a 8 mm-es betéttel aprított szén felhasználásával. A hüvely fűrészpor és egyéb brikettek készítése miatt fűthető, a hőmérséklet 20-140 °C között állítható.



3.3 ábra: Hidraulikus dugattyús prés

3.5 Pelletáló berendezés

A pelletálási kísérleteket a Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai intézet ZLPS200B típusú síkmatricás pelletáló gépén végeztem. A pelletológép csigás adagolású és gőzfejlesztővel ellátott. A pelleteket 6 mm, ill. 8 mm matricán keresztül préseltük gőz hozzáadásával és gőz hozzáadása nélkül. A matricák hőmérséklete a működés során 90 °C.



3.4. ábra: Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetben található síkmatricás pelletáló rendszer (a: rendszer, b: 200 mm átmérőjű síkmatrica)

A rendszer főbb műszaki adatait a 3.1 táblázat tartalmazza.

3.1. táblázat: Pelletáló rendszer főbb adatai

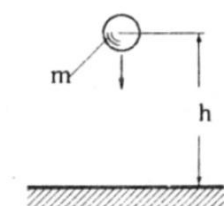
Teljes egység gyártója, összeállítója:	Classicmechanik Kft, Székesfehérvár
A teljes egység részei:	Keverőtartály (gyártó: Classicmechanik Kft, Székesfehérvár)
	Kondicionáló csiga (gyártó: Classicmechanik Kft, Székesfehérvár)
	Gőzfejlesztő (gyártó: THEOBALD Kft, Budapest)
	Pelletprés (gyártó: Anyang General International) típus szám: ZLSP200B, matrica átmérő: 200 mm, matrica vastagság: 27 mm, furat átmérő: 6 mm, teljesítmény: 7,5 kW, névleges kapacitás: 110-180 kg/ó, web: www.agico.com.cn)

3.6 Brikettek és pelleték sűrűségének meghatározása

Az elkészült brikettek és pelleték tömegét megmértem és tolómérő segítségével meghatároztam a brikettek és pelleték h magasságát, ill. bizonyos esetekben a d átmérőt is. Azután az ismert sűrűség képlet alapján kiszámoltam az elkészült mintatestek sűrűségét.

3.7 Ejtési vizsgálatok

Erre azért volt szükség, hogy meghatározhassam a szállítás, ill. adagolás során szabad esést törés nélkül kibírják. Ütközéssel vizsgálatról van szó.



3.5. ábra: Ejtési vizsgálat

Megadható például az ejtések száma, amit adott magasságból az agglomerátum sértetlenül kibír. Megadható azonban a törési valószínűség az ejtési energia függvényében. A H magasságból történő törési valószínűség:

$$P_H = \frac{m_{tört}}{m_{összes}},$$

ahol $m_{tört}$ az összetört agglomerátumok száma, $m_{összes}$ az összes agglomerátum száma.

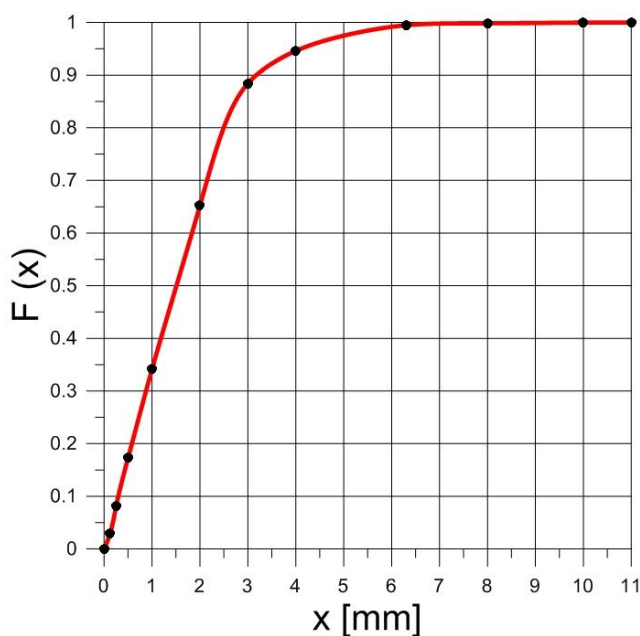
4. Minták előkészítése

Az Eoszen Kft.-től különböző mintaanyagok érkeztek az Intézetbe: szén, papíriszap, szalma, fűrészpor és fa minták. Ezeket felhasználás előtt általában több lépcsőben elő kell készíteni, hogy alkalmassá váljanak kísérletek végrehajtásához. Ezeket az előkészítési lépéseket tartalmazza jelen fejezet.

4.1. Szénminta

A zsákokban érkezett szénmintának érezhetően nagy volt a nedvesség tartalma ($n_e=23,92\%$) a brikettáláshoz, ezért 24 órára szobahőmérsékleten kiterítésre került. Száradás után a szén homogenizáláson és mintakisebbítésen ment keresztül. A mintakisebbített anyag felét tartaléknak tároltam el a másik feléből pedig nyolcadok készültek (I.-IV.), amelyeket a különböző vizsgálatokhoz használtam fel. Két aprítást végeztem, mert elképzelhető volt, hogy a síkmatricás pelletprésre csak a finomabb szénből készült keverék adható fel eltömődés nélkül. Egy lépcsőben törésen ment keresztül egy-egy (I. és II.) nyolcad a 3. fejezetben bemutatott kalapácsos törőn (4.2-4.3 ábra, ill. 4.2-4.3 táblázat).

A szén eredeti szemcseméret eloszlása a következő 4.1. ábrán, ill. 4.1 táblázatban látható.

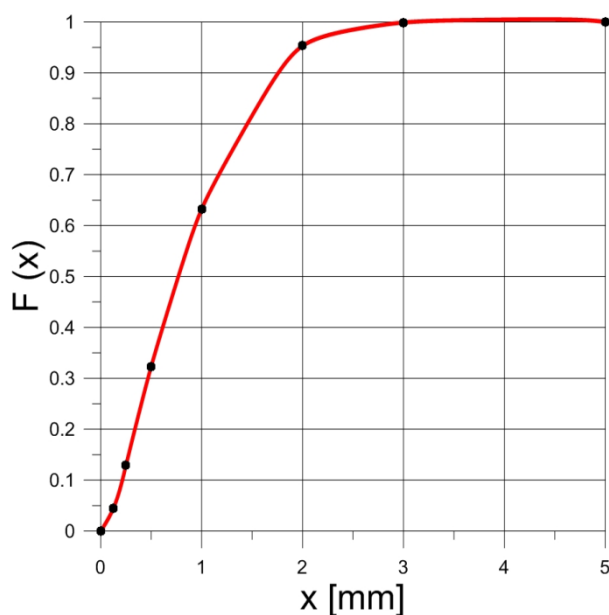


4.1. ábra: Eredeti szén minta szemcseméret eloszlása

4.1. táblázat: Eredeti szén minta szemcseméret eloszlása

x [mm]	m [g]	Δm	F(x)
11-10	6,00	0,0003	1,0000
10- 8	32,59	0,0014	0,9997
8-6,3	84,63	0,0036	0,9984
6,3-4	1141,24	0,0487	0,9947
4-3	1446,37	0,0618	0,9460
3-2	5428,06	0,2318	0,8842
2-1	7284,50	0,3111	0,6524
1-0,5	3945,45	0,1685	0,3413
0,5-0,25	2156,16	0,0921	0,1728
0,25-0,125	1200,91	0,0513	0,0807
<0,125	687,87	0,0294	0,0294
Σ	23413,79	0,9947	

A 6 mm-es betéttel történt aprítás eredményeit a következő 4.2. ábra, ill. 4.2. táblázat tartalmazza.

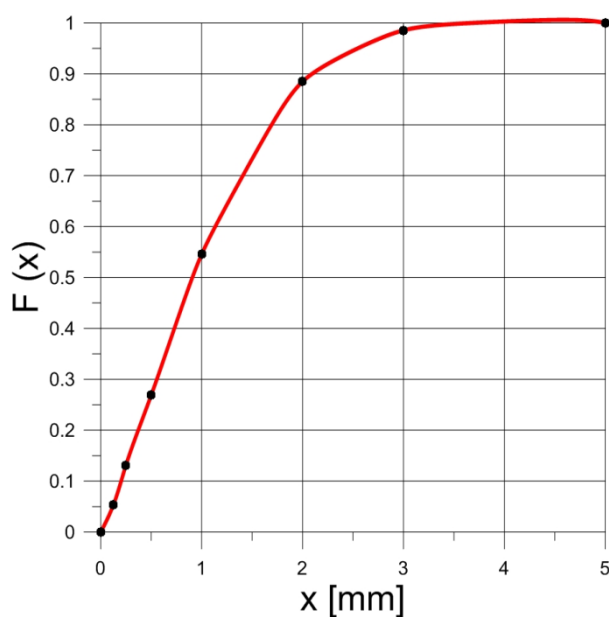


4.2. ábra: Szén minta szemcseméret eloszlása a 6 mm-es lyukbőségű kalapácsos törővel történt aprítás után

4.2. táblázat: Szén minta szemcseméret eloszlása a 6 mm-es lyukbőségű kalapácsos törővel történt aprítás után

x [mm]	m [g]	Δm	F(x)
5-3	5,5	0,0010	1,0000
3-2	248,6	0,0459	0,9990
2-1	1736,2	0,3207	0,9531
1-0,5	1673,7	0,3092	0,6323
0,5-0,25	1051,6	0,1943	0,3231
0,25-0,125	456,6	0,0844	0,1288
<0,125	240,8	0,0445	0,0445
Σ	5413	1,0000	

A 8 mm-es betéttel történt aprítás eredményeit a következő 4.3. ábra, 4.3. ill. táblázat tartalmazza.



4.3. ábra: Szén minta szemcseméret eloszlása a 8 mm-es lyukbőségű kalapácsos törővel történt aprítás után

4.3. táblázat: Szén minta szemcseméret eloszlása a 8 mm-es lyukbőségű kalapácsos törővel történt aprítás után

x [mm]	m [g]	Δm	F(x)
5-3	71,89	0,0144	1,0000
3-2	503,61	0,1007	0,9856
2-1	1697,82	0,3393	0,8850
1-0,5	1385,12	0,2768	0,5456
0,5-0,25	687,28	0,1374	0,2688
0,25-0,125	392,69	0,0785	0,1314
<0,125	264,88	0,0529	0,0529
Σ	5003,29	1,0000	

4.2 Kötőanyagok

4.2.1 Papír Iszap

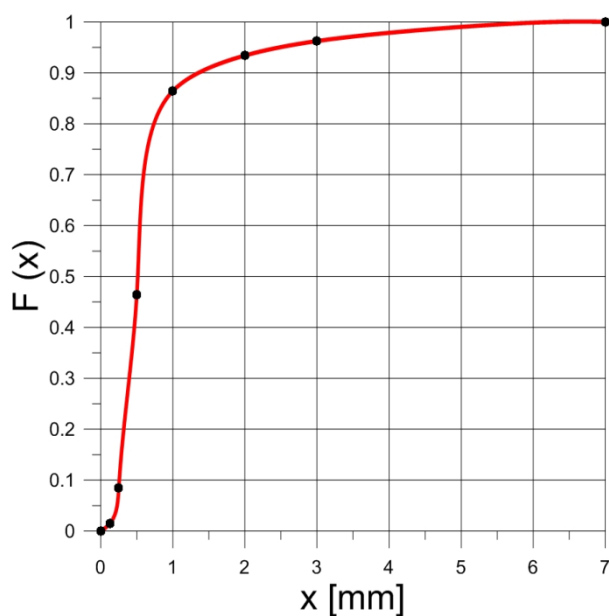
A papír iszap nagy nedvesség tartalma miatt (35,28 %) szárítani kellett a vágómalmi aprítás előtt. Egy lépcsőben aprítottam 4 mm-es betétel. Aprítás utáni nedvessége még mindig magas volt (34,97%), ezért tovább szárítottam (105 °C-on, szárítószekrényben). Három különböző nedvességtartalmat állítottam be a briketálási kísérletek céljára (5,20%; 7,73% ill. 11,98%).

Az első pelletálási kísérletekéhez újabb papíriszap minta érkezett, ennek is nagy volt a nedvesség tartalma (50,02 %) ezért ezt is szárítani kellett az aprítás előtt. Két lépcsőben aprítottam le. Először függőleges tengelyű vágómalomban 4 mm-es betétel, majd Retsch vágómalomban 2 mm-es betétel. A pelletálási kísérletek céljára a nedvességtartalmat 8,41 % állítottam be.

A második pelletálási kísérletekéhez az előzetesen kiszárított papíriszapot és az eredeti szén mintát összekeverve együtt aprítottam a már korábban is a szénaprításra alkalmazott kalapácsos törőben 6 mm-es betétel. A keverék nedvességtartalma 7,80 %.

4.2.2 Fűrészpor

A fűrészport magas nedvesség tartalma miatt (48,01%) szárítani kellett, de más előkészítést nem igényelt. Szárítás (105 °C-on, szárítószekrényben) utáni nedvességtartalma: 7,74%. Szemcseméret eloszlása az alábbi ábrán és táblázatban látható.



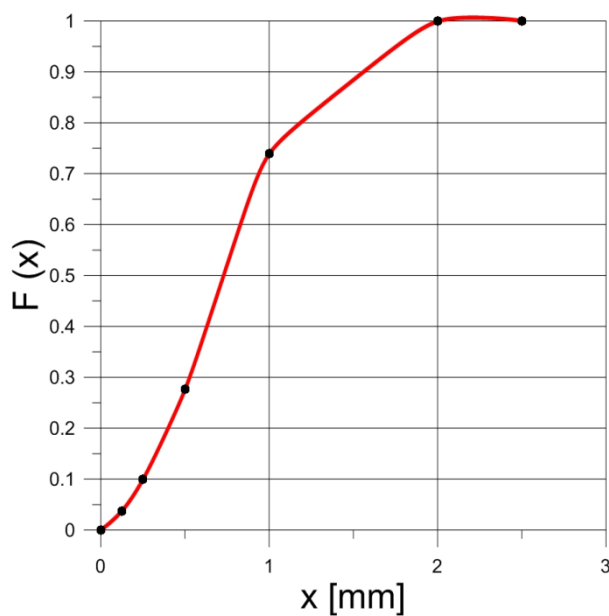
4.4. ábra: Fűrészpor szemcseméret eloszlása

4.5. táblázat: Fűrészpor szemcseméret eloszlása

x [mm]	m [g]	Δm	F(x)
7-3	9,67	0,0375	1,0000
3-2	7,33	0,0284	0,9625
2-1	17,99	0,0697	0,9341
1-0,5	103,48	0,4009	0,8645
0,5-0,25	98,01	0,3797	0,4636
0,25-0,125	17,94	0,0695	0,0839
<0,125	3,72	0,0144	0,0144
Σ	258,14	1,0000	

4.2.3 Szalma

A szalma nedvesség tartalma alacsony, a brikettáláshoz megfelelő volt (6,21%), de aprítást igényelt felhasználás előtt. Szemcseméret eloszlása az alábbi ábrán és táblázatban látható.



4.5. ábra: Aprított szalma szemcseméret eloszlása

4.6. táblázat: Aprított szalma szemcseméret eloszlása

x [mm]	m [g]	Δm	F(x)
2,5-2	0,37	0,0009	1,0000
2-1	108,11	0,2604	0,9991
1-0,5	192,16	0,4628	0,7387
0,5-0,25	73,39	0,1768	0,2759
0,25-0,125	25,65	0,0618	0,0992
<0,125	15,53	0,0374	0,0374
Σ	415,21	1,0000	

5. Brikettálási kísérletek

A tabletták minden kötőanyag tartalom esetén öt nyomáson, négy hőmérsékleten 5 perces benntartás (a préstérben tartózkodás ideje a préselés előtt, annak érdekében, hogy az alapanyag a kívánt hőmérsékletet felvegye) mellett készültek a 3.4-es fejezetben említett dugattyús présen.

Minden kötőanyagnál először végeztem szobahőmérsékleten egy vizsgálatot a teljes nyomás tartományban (tabletta felületén megjelenő nyomás: 50...250 MPa). Ezt követően az optimális préselési nyomáson különböző hőmérsékleteken is végeztem vizsgálatokat, majd a kötőanyag tartalmát is változtattam. Papíriszap esetén vizsgáltam az iszap nedvességtartalmának változtatását is. Minden paraméter mellett három tablettát készítettem, ezen tabletták sűrűségértékét átlagoltam.

5.1 Papír iszap

Az első sorozat szobahőmérsékleten készült, 30% papír iszap tartalom mellett (c_{pi}). (5.1. táblázat)

5.1. táblázat: Tabletták sűrűsége préselési nyomás függvényében (kötőanyag: papíriszap, $n_{pi} = 7,73\%$)

Préselési nyomás [MPa]	50	100	150	200	250
Sűrűség [kg/m ³]	1076	1177	1211	1238	1246

A második sorozat 200 MPa-on készült, 30% papír iszap tartalom mellett különböző hőmérsékleteken. (5.2. táblázat)

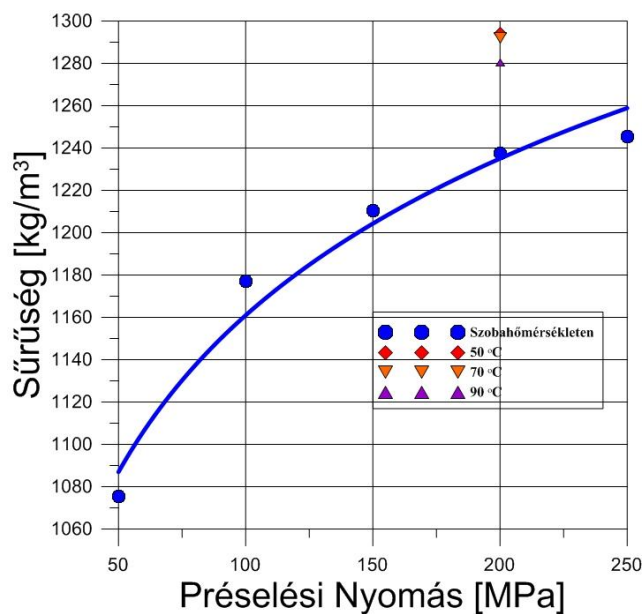
5.2. táblázat: Tabletták sűrűsége a préselési hőmérséklet függvényében (kötőanyag: papíriszap, $p = 200 \text{ MPa}$, $c_{pi} = 30 \%$)

Préselési hőmérséklet [°C]	Sűrűség [kg/m³]
50	1294
70	1292
90	1280

A harmadik sorozat 200 MPa-on készült, 50°C-on készült a papír iszap tartalom és papíriszap nedvesség (n_{pi}) változtatása mellett (5.1 ábra).

5.3. táblázat: Tabletták sűrűsége a papíriszap tartalom függvényében ($p = 200 \text{ MPa}$)

T = 50 °C	Tabletta sűrűség [kg/m³]		
Papír iszap tartalom [%]	$n_{pi} = 5,20 \%$	$n_{pi} = 7,73 \%$	$n_{pi} = 11,98 \%$
30	n.a.	1294	n.a.
40	1291	1319	1272
50	n.a.	1345	n.a.
60	1339	1348	1272



5.1. ábra: Tabletták sűrűsége préselési nyomás és a préselési hőmérséklet függvényében (kötőanyag: papíriszap)

5.2 Fűrészpor

Az első sorozat szobahőmérsékleten készült, 30% fűrészpor tartalom mellett. (5.4. táblázat)

5.4. táblázat: Tabletták sűrűsége préselési nyomás függvényében (kötőanyag: fűrészpor)

Préselési nyomás [MPa]	50	100	150	200	250
Sűrűség [kg/m ³]	929	1063	1126	1156	1158

A második sorozat 200 MPa-on készült, 30% fűrészpor tartalom mellett különböző hőmérsékleten. (5.5. táblázat)

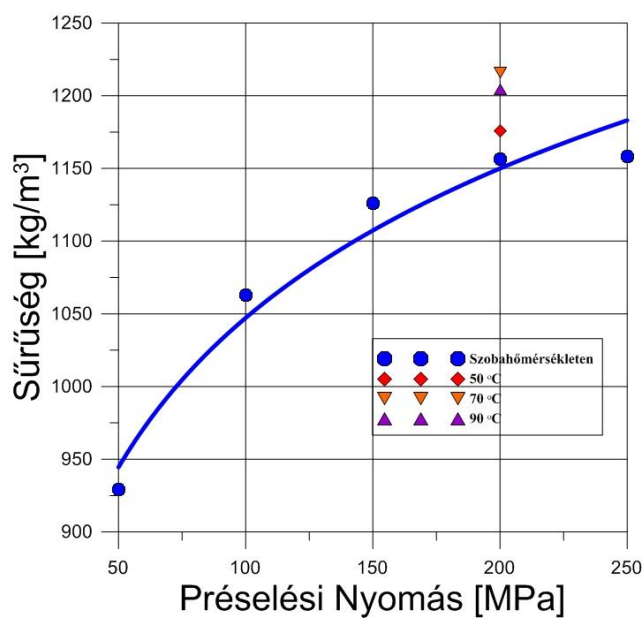
5.5. táblázat: Tabletták sűrűsége a préselési hőmérséklet függvényében (kötőanyag: fűrészpor, p = 200 MPa)

Préselési hőmérséklet [C°]	Sűrűség [kg/m ³]
50	1176
70	1216
90	1205

A harmadik sorozat 200 MPa-on készült, 70°C-on készült a fűrészpor tartalom változtatása mellett. (5.6. táblázat)

5.6. táblázat: Tabletták sűrűsége a fűrészpor tartalom függvényében ($p = 200 \text{ MPa}$, $T = 70 \text{ °C}$)

Fűrészpor tartalom [%]	Sűrűség [kg/m^3]
20	1230
30	1216 (5.5 táblázatból)
40	1203
50	1177



5.2. ábra: Tabletták sűrűsége préselési nyomás és a préselési hőmérséklet függvényében (köötőanyag: fűrészpor)

5.3 Szalma

Az első sorozat szobahőmérsékleten készült, 30% szalma tartalom mellett. (5.7. táblázat)

5.7. táblázat: Tabletták sűrűsége préselési nyomás függvényében (kötőanyag: szalma)

Préselési nyomás [MPa]	50 [*]	100	150	200	250
Sűrűség [kg/m³]	912	1026	1057	1075	1072

* Megfigyelhető, hogy a tabletták felületéről az anyag pergett

A második sorozat 200 MPa-on készült, 30% szalma tartalom mellett különböző hőmérsékleten. (5.8. táblázat)

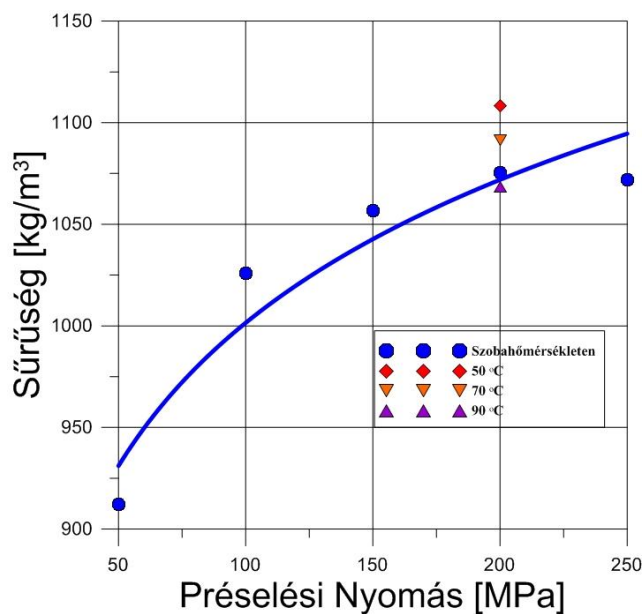
5.8. táblázat: Tabletták sűrűsége a préselési hőmérséklet függvényében (kötőanyag: szalma, p = 200 MPa)

Préselési hőmérséklet [C°]	Sűrűség [kg/m³]
50	1108
70	1091
90	1069

A harmadik sorozat 200 MPa-on készült, 50°C-on készült a szalma tartalom változtatása mellett. (5.9. táblázat)

5.9. táblázat: Tabletták sűrűsége a szalma tartalom függvényében (p = 200 MPa, T = 50 °C)

Szalma tartalom [%]	Sűrűség [kg/m³]
20	1134
40	1074
50	1026



5.3. ábra: Tabletták sűrűsége préselési nyomás és a préselési hőmérséklet függvényében (kötőanyag: szalma)

6 Ejtési vizsgálat

Ejtési vizsgálatokra azért volt szükség hogy meg tudjam állapítani az elkészült tabletták külső behatásokkal szembeni ellenálló képességét.

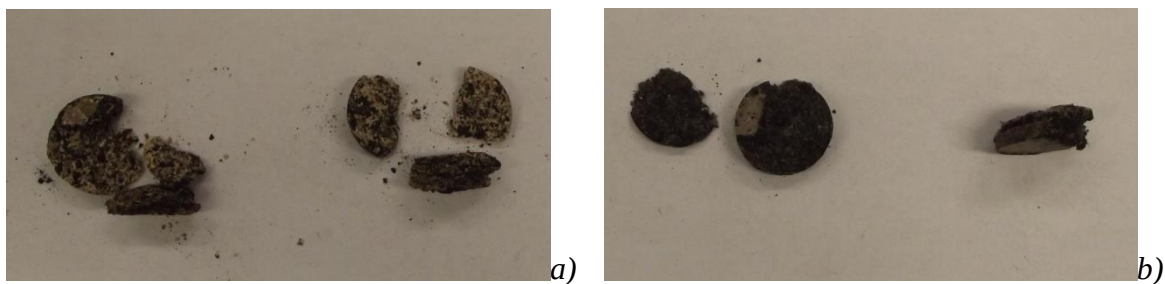
6.1 Ejtési vizsgálatok eredménye

A vizsgálatokra három tablettát készítettem minden vizsgált anyagból, amelyeket 2 méter magasból szabadeséssel egy tiszta betonfelületre ejtettem. A kísérlet során bizonyításra került, hogy az azonos nyomáson, összetétellel, ill. hőmérsékleten készült mintatestek közül a papíriszapból készültek voltak a legellenállóbbak.

6.1. táblázat: Ejtési vizsgálatok eredményei

Kötőanyag	papíriszap	fűrészpor	szalma
Préselés hőfoka	Törés nélkül kibírt ejtések száma, e [db]		
50 °C	14,0	5,0	2,0
20 °C	5,0	3,0	0,3

A következő 6.2. ábrán példaképpen szétört tabletták láthatók.



6.2. ábra: a: Fűrészpor (20 °C), b: Papíriszap (50 °C)

A kísérlet eredményeként megállapítható, hogy a papíriszap tabletták ellenállása minden esetben többszörösen meghaladja mind a fűrészporból mind a szalmából készült tabletták ellenállását. Az is bizonyításra került, hogy az 50 °C-on készült tablettáknak nagyobb volt az ellenállása, mint a 20 °C-on készült tablettáknak.

7. Pelletálási kísérletek

A pelletálási kísérleteket – a Megbízóval egyeztetve – a papíriszap kötőanyaggal végeztem el.

7.1. I. Vizsgálat

A vizsgálat főbb paraméterei:

- Alapanyag: <6 mm-es szén és <4 mm-es papíriszap keveréke;
- Alapanyag nedvességtartalma: szén (8,4 %), papíriszap (7,5 %);
- Gőz hozzávezetés történt;
- Feladás: kondicionáló csigára.

A pelletprésre feladott keverékbe (a kísérleti dugattyús préssel ellentétben) finomabb szemcseméretű szenet kevertem, tekintettel a matrica kis lyukbőségére (6 mm). A keverék 30 % papíriszapot (<4 mm) tartalmazott. Első lépésben gőz hozzávezetésével, a kondicionáló csigára adtam fel az anyagot (kb. 3 kg). Ez a vizsgálat a pellet előállítás tekintetében nem volt sikeres, ugyanis az alapanyag a matrica furatait eltömítette, pellet nem képződött. Az eltömődés oka a túl nagy szén tartalom lehetett, ugyanis a gőz hozzávezetésével a papíriszap a csiga belső falára, illetve a prés feladótölcserére tapadt.

7.2. II. Vizsgálat

A vizsgálat főbb paraméterei:

- Alapanyag: <6 mm-es szén és <4 mm-es papíriszap keveréke;
- Alapanyag nedvességtartalma: szén (8,4 %), papíriszap (7,5 %);
- Gőz hozzávezetés nem történt;
- Feladás: prés feladótölcsérére közvetlenül.

Az alap keveréket szobahőmérsékleten, gőz hozzávezetése nélkül adtam fel a présre (6 mm matrica). Ekkor azt tapasztaltam, hogy itt is gyakorlatilag szétvált a keverék, a szén áthaladt a furatokon, a papír eltömítette a furatokat. A papírral telt furatokra ha szén került, az elzárta.

Ennek a vizsgálatnak kiegészítéseként szárítószekrényben 80 °C-ra előmelegített alapanyagot adtam fel a présre, ekkor sem képződött pellet hasonló okokból.

7.3. III. Vizsgálat

A vizsgálat főbb paraméterei:

- Alapanyag: <6 mm-es szén és <2 mm-es papíriszap keveréke;
- Alapanyag nedvességtartalma: szén (8,4 %), papíriszap (8,4 %);
- Gőz hozzávezetés nem történt;
- Feladás: prés feladótölcsérére közvetlenül.

Az előző kísérletek problémája alapvetően az volt, hogy az alapanyag a feladás során szétosztályozódott. Ennek oka a két összetevő jelentősen eltérő sűrűsége, és szemcsealakja. A vizsgálat előtt a papíriszapot tovább aprítottam RETSCH SM2000 típusú vágómalomban (2 mm lyukbőségű betét). Ahhoz, hogy a vágómalomban a papíriszapot aprítani tudjam betapadás, eltömődés nélkül, nedvességtartalmát a célérték alá kellett csökkenteni, majd az aprítás végeztével újra be kellett állítani.

Eredmények, megfigyelések

A pelletálás során jelentős kiporzást tapasztaltam szaghatás mellett. Szétosztályozódás ilyen finom papíriszagnál nem volt jelentős. A folyamat végtermékeként pelletet kaptam, melyeken keresztirányú repedések voltak láthatóak és a keresztmetszetük sem volt állandó. Öt pellet paramétereit vizsgáltam (7.1. táblázat).

7.1. táblázat: Pelletek paramétereit (III. vizsgálat)

Sorszám	Pellet hossz, h [cm]	Pellet átmérő, d [cm]	Pellet tömege, m [g]	Pellet sűrűsége, ρ [kg/m ³]
1.	1,38	0,645	0,45	998
2.	1,43	0,63	0,46	1032
3.	1,65	0,64	0,53	999
4.	1,525	0,635	0,52	1077
5.	1,145	0,635	0,35	965
			Átlag:	1014

A készült pelletek a következő ábrán láthatók.



7.1. ábra: III. vizsgálat során kapott pelletek

A terméket 6,3 mm-es szitára vezettem, megállapítottam a porarányt (<6,3 mm), mely 47,3 % lett.

7.4. IV. Vizsgálat

A vizsgálat főbb paraméterei:

- Alapanyag: <6 mm-es szén és <2 mm-es papírszap keveréke;
- Alapanyag nedvességtartalma: szén (8,4 %), papírszap (8,4 %);
- Gőz hozzávezetés történt;
- Feladás: kondicionáló csigára.

A III. vizsgálattal azonos alapanyagokkal dolgoztam, annyi eltéréssel, hogy a papírszap aprítására a másik (függőleges tengelyű) vágómalmot használtam (AGJ MD-200), szintén 2 mm-es betéttel, illetve gőz hozzávezetése történt.

Eredmények, megfigyelések

A pelletálás során jelentős kiporzást nem tapasztaltam. Szétosztályozódás ilyen finom papírszapnál nem volt jelentős. A folyamat végtermékeként pelletet kaptam, melyek gyakorlatilag repedésektől mentesek voltak, a pelletek keresztmetszete állandó volt. Öt pellet paramétereit vizsgáltam (7.2. táblázat).

7.2. táblázat: Pelletek paraméterei (IV. vizsgálat)

Sorszám	Pellet hossz, h [cm]	Pellet átmérő, d [cm]	Pellet tömege, m [g]	Pellet sűrűsége, ρ [kg/m ³]
1.	1,50	0,625	0,47	1021
2.	2,24		0,7	1019
3.	2,00		0,62	1010
4.	2,03		0,65	1046
5.	1,90		0,64	1098
			Átlag:	1039

A készült pelletek a következő 7.2. ábrán láthatók.



7.2. ábra: IV. vizsgálat során kapott pelletek

A terméket 6,3 mm-es szitára vezettem, megállapítottam a porarányt ($<6,3$ mm), mely 44,3 % lett, szemben a gőz nélküli pelletáláskor kapott 47,3 %-al. A pelletek átlagsűrűsége meghaladta a III. vizsgálat során kapott értékeket: 1039 vs. 1014 kg/m³. A vizsgálat megkezdésekor és végeztével is a matrica hőmérséklete 90 °C volt.

A gőz bevezetése itt is a papírszap kiválását, feltapadását okozta a feladótölcsérre (7.3. ábra).



7.3. ábra: Feladó tölcséren történő papírszap feltapadás

7.5. V. Vizsgálat

A vizsgálat főbb paraméterei:

- Alapanyag: <6 mm-es szén és <6 mm-es papírszap keveréke;
- Alapanyag nedvességtartalma: szén (8,4 %), papírszap (7,8 %);
- Gőz hozzávezetés történt;
- Feladás: kondicionáló csigára.

A vizsgálatot a 8 mm pellettáló matricán végeztem, ahol már nem okozott problémát a feladott anyagok durvasága. A feladás az együtt aprított szén, papírszap keverék volt, ami későbbiekben az ipari alkalmazást könnyíti meg, mivel az aprításhoz csak egy aprítógép használata elegendő lesz.

Eredmények, megfigyelések

A pellettálás során jelentős kiporzást itt sem tapasztaltam. Szétosztályozódás az együtt történő aprítás miatt nem volt jelentős. A gőz bevezetése itt is a papírszap feltapadását okozta a feladótölcsérre. A folyamat végtermékeként pelletet kaptam, melyek ugyanúgy repedésektől mentesek voltak, mint a IV vizsgálat során, a pelletek keresztmetszete állandó volt. Öt pellet paramétereit vizsgáltam (6.4. táblázat).

7.3. táblázat: Pelletek paraméterei (IV. vizsgálat)

Sorszám	Pellet hossz, h [cm]	Pellet átmérő, d [cm]	Pellet tömege, m [g]	Pellet sűrűsége, ρ [kg/m ³]
1.	2,97	0,81	1,69	1104
2.	3,3		1,94	1113
3.	3,75		2,28	1182
4.	3,21		1,88	1137
5.	3,13		1,94	1172
			Átlag:	1142

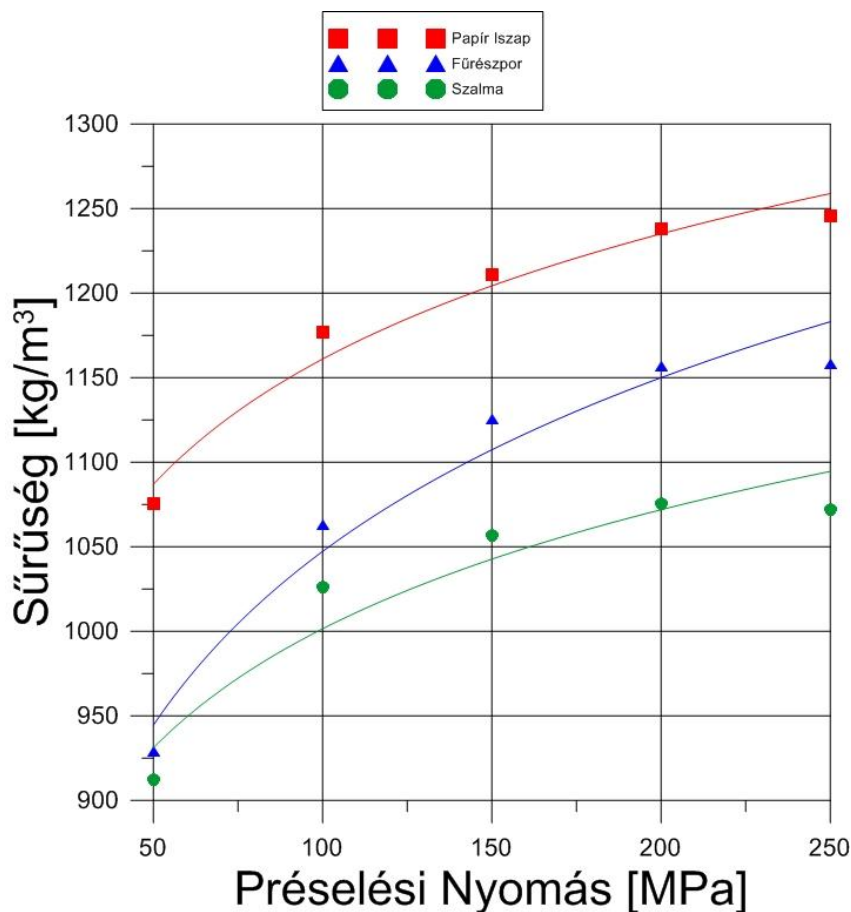
A terméket 6,3 mm-es szitára vezettem, megállapítottam a porarányt (<6,3 mm), mely 44,7 % lett. A pelletek átlagsűrűsége meghaladta a IV. vizsgálat során kapott értéket: 1039 vs. 1142 kg/m³

8. Megállapítások

8.1 Tablettázási kísérletek

A kísérletek során mindhárom kötőanyaggal sikerült tablettát előállítani. A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a legnagyobb sűrűségű tablettákat a papíriszappal lehet elérni. A szisztematikus vizsgálatsorral be tudtam határolni mindhárom kötőanyag esetén az optimális préselési paramétereket (préselési nyomás, kötőanyag tartalom, préselési hőmérséklet). A kötőanyagtartalmak megválasztásakor a Megbízó javaslatait figyelembe véve jártam el. Minden vizsgált kötőanyag mennyiséggel (20...60%) tudtam tablettát előállítani.

A következő 8.1. ábra mutatja a különböző kötőanyagokkal készült tabletták sűrűség értékeit.



8.1. ábra: Tabletták sűrűsége préselési nyomás függvényében különböző kötőanyagok esetén
($T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$)

A pontokra illesztett görbék egyenleteit (Johanson formula) a következő táblázat tartalmazza.

8.1. táblázat: Illesztett görbék egyenletei

	Illesztett görbe
Papíriszap	$\rho = 106,8436 \times \ln(p) + 668,9518$ $R^2 = 0,968093$ $\sigma^2 = 202,603$
Fűrészpor	$\rho = 148,2710 \times \ln(p) + 364,4048$ $R^2 = 0,960272$ $\sigma^2 = 489,782$
Szalma	$\rho = 101,5882 \times \ln(p) + 533,6480$ $R^2 = 0,908846$ $\sigma^2 = 557,382$

A készült tabletták a 8.2 ábrán láthatók.



8.2. ábra: A készített tabletták közül néhány jellemző

(balra: papíriszap, középen: fűrészpor, jobbra: szalma) ($p=200$ MPa, $T=50$ °C, $c_{\text{kötőanyag}}=30$ %)

8.2 Pelletálási kísérletek

A pelletálás során megállapítottam, hogy a használni kívánt keverék (30 % papírszap (<4 mm) és 70 % szén (<6 mm)) adagolás, szállítás közben szétosztályozódik, a pelletálás előtt történő gőz hozzávezetésére a feladó rendszer falára feltapad, így téve lehetetlenné a pelletálást.

A fentebb leírtakat kiküszöbölendő a papírszapot tovább aprítottam vágómalommal 2 mm alá. Ekkor már jóval kisebb szétosztályozódást tapasztaltam, az alapanyag feladása és a pellet présre érkezése közt. Ezzel a módszerrel mind gőz nélkül, mind gőzzel pelletet tudtam előállítani. A gőz használata magával vonta a pelletéken a szemmel látható repedések csökkenését, a kis mértékben nagyobb pelletsűrűséget 1039 kg/m^3 (mely elmarad a tabletták sűrűségétől) és kisebb finom por arányt (44,3 %). A finom por egy pelletálási technológiában a pelletprésre visszavezethető.

A pelletálóprés lyukbőségének 6 mm-ről 8 mm-re történő növelésével kiküszöbölhető a minták nagymértékű aprítási szükséglete, az így előállított pellet sűrűsége 1142 kg/m^3 , 44,7% porarány mellett.

9. Irodalomjegyzék

Bai Attila, Lakner Zoltán, Marosvölgyi Béla és Nábrádi András: A biomassza felhasználása, Bai Attila (szerk.), Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 2002, p94-100

Norman L. Weiss: SME Mineral Processing Handbook, Society of Mining Engineering of the American Institute of Mining Metallurgical and Engineers, 1985

Barótfi István Környezettechnika
<http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/kornyezettechnika-eloszo/ch02s06.html> letöltés
időpontja: 2013.10.27

Csőke Barnabás: Darabosítás, Miskolci Egyetem-Eljárástechnikai Tanszék, tanszéki jegyzet

Csőke Barnabás, Nagy Sándor: Hulladékgazdálkodás digitális tananyag 6. Hulladékok ártalmatlanítása, kezelése és a hasznosítás eljárásai <http://hulladekonline.hu/files/173/> ,
letöltés időpontja: 2013.11.10

Molnár József: Építőanyagok (Természetes építési kőanyagok) MISKOLCI EGYETEM, Bányászati és Geotechnikai Tanszék tanszéki jegyzet

Nagy Sándor: Hulladékok dugattyús pressel történő kompaktálásának vizsgálata Doktori (PhD) értekezés

Tarján Gusztáv Ásványelőkészítés II. (Tankönyvkiadó, Budapest, 1987) 294-324

<http://fold1.ftt.uni-miskolc.hu/~foldshe/telep07.htm> letöltés időpontja: 2013.10.27

<http://www.mbfh.hu/home/html/index.asp?msid=1&sid=0&hkl=73&lng=1> letöltés időpontja:
2013.10.25

<http://eoszen.hu/> letöltés időpontja: 2014.10.15

Köszönetnyilvánítás

Elsősorban szeretnék köszönetet mondani konzulensemnek Dr. Nagy Sándor egyetemi adjunktusnak fáradtságos munkájáért, akikhez bármilyen problémával fordulhattam a TDK dolgozat készítése során. Köszönettel tartozom az intézet doktorandusainak és laboránsainak, hogy a kísérletekhez szükséges anyagokkal, felszerelésekkel elláttak és a műhelycsarnokban dolgozó technikusoknak, akik segítségemre voltak a berendezések használatában, illetve megfelelő célszerszámmal láttak el a munkám során.

Köszönettel tartozom az EOSZÉN Kft-nek a minták biztosításáért, és az eredmények publikálásához történő hozzájárulásukért.

"A TDK dolgozat a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg."