

Miskolci Egyetem – Műszaki Főltudományi Kar
Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet



Fás szárú energianövények brikettálhatóságának kísérleti vizsgálata

TDK dolgozat

Szerző: Varga Lilla
Nyersanyagelőkészítési szakirány
Konzulensek: Nagy Sándor,
tanszéki mérnök
Dr. Mádainé Üveges Valéria
tudományos segédmunkatárs.
2012. október 29.

Miskolc, 2012

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés

2. Szakirodalmi áttekintés

- 2.1. Agglomerálás előnyei és típusai
- 2.2. Brikettálás berendezése
- 2.3. Pelletálás berendezése
- 2.4. Aprítás berendezései
- 2.5. Anyagok előkészítése az agglomerálásra
- 2.6. Tüzeléstechnika
- 2.7. Biobrikett, biopellet felhasználásának előnyei

3. A méréshez használt berendezések működési és mérési elvei

- 3.1. Aprítógépek
 - 3.1.1. Forgótárcsás nyíró-aprítógép
 - 3.1.2. Függőleges tengelyű vágómalom
- 3.2. Darabosítás gépei
 - 3.2.1. Kísérleti dugattyús prés
 - 3.2.2. Pelletprés

4. Laboratóriumi kísérletek eredményei

- 4.1. Minta előkészítés
 - 4.1.1. Szemcseméret-eloszlás vizsgálat
 - 4.1.2. Nedvességtartalom meghatározása
 - 4.1.3. Az alapanyagok eredeti sűrűségének meghatározása
- 4.2. Brikettálási kísérletek
 - 4.2.1. A nyomás és a sűrűség összefüggésének vizsgálata
 - 4.2.2. A nedvességtartalom és a hőmérséklet hatása a brikettálásra
 - 4.2.3. A brikettálás fajlagos munkaszükségletének meghatározása
- 4.3. Előzetes pelletálási kísérletek, a pelletek sűrűségének vizsgálata

5. Összefoglalás

6. Szakirodalom

1. Bevezetés

A modern világ egyik fő problémája a hosszú távú energiagazdálkodás tervezése, az emberiség energiával való ellátása. Ezek megvalósítása különböző természeti erőforrások felhasználásával történik, melyeket két nagy csoportba sorolhatunk. A meg nem újulók többek között a szénhidrogének, a kőszén, a lignit és egyéb nemfemes ásványok, míg a megújulók közé tartozik a biomassza, a szél, a víz, a nap.

A megújuló energiaforrások közös jellemzője, hogy felhasználásuk során nem csökken a forrásuk, újratermelődnek vagy könnyen újratermelhetők rövid időn belül. Az Európai Unió energiapolitikájában jelentős a meg nem újuló energiaforrások felhasználásának szabályozása. Az Új Megújuló Energia Irányelv alapján Magyarország teljes energiafelhasználásán belül a megújuló energiaforrások arányának 13%-nak kell lennie a teljes energiafelhasználáson belül 2020 végéig, az EU közös irányszáma ugyanerre vonatkozóan pedig 20%. Ez a szám nem tűnik elérhetetlennek, figyelembe véve az utóbbi évek erre vonatkozó statisztikáját.

A megújuló energiaforrások aránya a teljes energiafelhasználáshoz képest hazánkban:

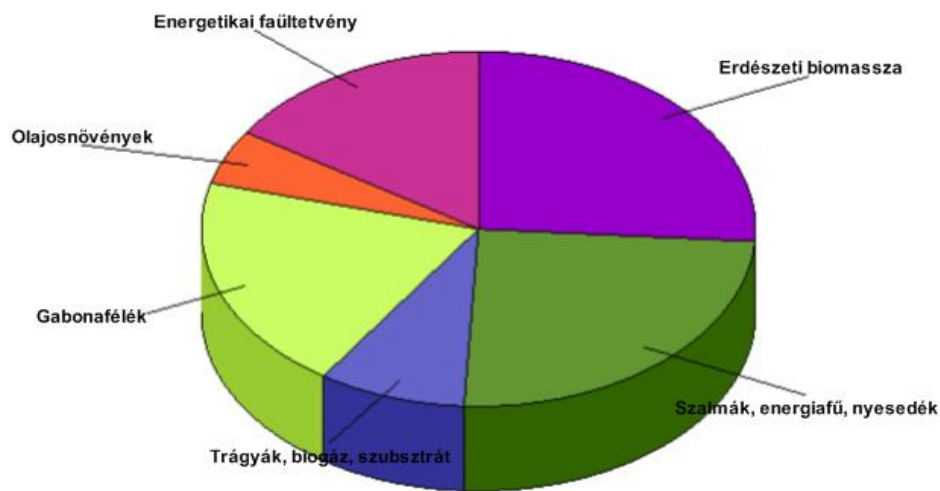
Év	2007	2008	2009	2010	Cél (2020)
Megújulók aránya (%)	5,9	6,6	8,1	8,7	13

1. táblázat

Magyarország lehetőségei korlátozottak ilyen szempontból. A szél-, a nap-, és a vízi energia felhasználása költséges berendezéseket igényel, melyeket rövid távon nehezebb beépíteni a mindennapokba. Legjelentősebb mennyiség biomasszából áll rendelkezésünkre, melyet már most is nagymértékben használ az energiaipar, ám további fejlesztésekkel illetve optimalizálással ez a szám még tovább nőhet.

A biomassza nem egyszerűen növényt jelent, magában foglalja az életterünkben lévő összes szerves és szervetlen, élő és elhalt növényi szervezetet továbbá a szerves hulladékokat is. Öt fő nemzetgazdasági ágból származik, ezek a növénytermesztés, az állattenyésztés, az élelmiszeripar, az erdőgazdálkodás és a kommunális szféra. Sokféle

célra felhasználhatóak, jelen esetben az energetikai célú hasznosítás a legfontosabb. Az állattenyésztés és az élelmiszeripar melléktermékei, a kommunális és ipari hulladékok mind átalakíthatóak valamilyen módon energiává. A növénytermesztésben és az erdőgazdaságban a melléktermékek mellett egyre jelentősebb a kifejezetten energetikai célú főtermékek előállítása, mely szektor felhasználhatóságát a dolgozatomban vizsgálni is fogom. Ezeknek az energetikai eljárásoknak az ötvözése a hagyományos módszerekkel versenyképességünk egyik támaszává válhat és használatuk nem csak az EU normáihoz való alkalmazkodáshoz fontos, hanem jelentős költségcsökkentő hatásokkal bír.



1. ábra: Energetikai biomassa források aránya Magyarországon
Forrás: FVM Mezőgazdasági Gépesítési Intézet

A munkám során fás szárú energianövények brikettálhatóságát illetve pelletálhatóságát vizsgáltam. A biomassa, azon belül is az energianövények felhasználásánál nagyon fontos kérdés a darabosítás gazdaságossága. Ehhez végeztem különböző kísérleteket, melyek során a lehető legköltséghatékonyabb módszert próbáltam megtalálni a biomassa apríték előállítására és feldolgozására. Az anyagokat különböző szemcseméretűre aprítottam, ezeket többféle nyomáson illetve hőmérsékleten brikettáltam, hogy megkeressem a lehető legjobb tulajdonságokkal rendelkező állapotot.

2. Szakirodalmi áttekintés

Dolgozatomban az agglomerálás egyik típusával foglalkozom hosszadalmasan, az ehhez szükséges szakirodalmi alapokat – melyeket a dolgozat megírása előtt és közben feldolgoztam – ismertetem ebben a fejezetben.

2.1. Agglomerálás előnyei és típusai

Az agglomerálás fő célja a sűrűség növelése, amit a nyersanyag kis sűrűsége, valamint a tüzelőberendezések kialakítása indokol. Az agglomerátum forma (bála, pellet, brikett, stb.) által nyújtott előnyös tulajdonságok

- tárolási helyigény csökken,
- nincs szétosztályozódás (pl. szemcseméret szerint),
- rakodás feltételei javulnak (pl. átlátszósági ellenállás, kiporzás és veszteség csökken),
- tűztérbe jutás és az égés feltételeit előnyösen befolyásolja,
- fajlagos energiasűrűséget növeli (GJ/m³),
- a nedvességtartalomra kedvező hatással bír.

A tárolási helyigény csökkenése, a rakodás feltételeinek javulása azért döntő fontosságú a biomassza felhasználásnál, mert az olcsó alapanyag mellett a szállítás költsége jelentős teher lehet a gyártás költségvetésében. A legolcsóbb és legegyszerűbb agglomerálási módszerek is jelentős költségcsökkentő hatással bír a szállítás tekintetében. A másik jelentős érv a fajlagos energiasűrűség növekedése, nagy mennyiségű tüzelőanyagra van szükség, és a nagyobb energiasűrűségű anyagokkal egyszerűbb a kisméretű berendezések, technológiák kialakítása. Az agglomerálás történhet közvetlenül az eredeti anyagból aprítás után. Ez a szemcsemérettől függ főleg, ezáltal a következő agglomerálási típusokat különböztetjük meg – melyek mind más tulajdonságú anyagokat igényelnek:

- Bálázás

A lágyszárú növények agglomerálására a legalkalmasabb. A legolcsóbb módszer és ma már léteznek olyan tüzelőberendezések, melyekre a bálákat egyben fel lehet adni.

- Brikettálás

A brikettálás során nyomással történik az agglomerálás. A nagy nyomás hatására, az érintkező felületeken kötőerők lépnek fel. Az alkalmazott nyomás a 10 – 1000 MPa tartományba eshet. Ez elégíti ki leginkább a lakossági igényeket, jól kezelhető és tárolható. Nagyobb mértékű előkészítést igényel, mint a bálázás. Az alapanyag szemcséinek hozzávetőlegesen a 10 mm alatti tartományba kell esniük és a nedvességtartalomnak körülbelül 10 – 15 %-nak kell lennie.

- Pelletálás

A pelletálás a biobrikettálás egy változata. Kedvező mérete miatt az utóbbi időben előtérbe kerül a gyártása. A pelletológépeknél görgők préselik át az anyagot a különböző méretű furatokkal rendelkezhető matricán. A szemcseméretre ez a módszer kevésbé érzékeny.

2.2 Brikettálás berendezései

Brikettálásra különböző présgépek használatosak.

A dugattyús présgépeknél egy vagy több dugattyúval több ütemben összepréseljük az anyagot, majd a tömörítvényt egy préscsatornába juttatjuk, ahol további keresztirányú tömörítés megy végbe. A fellépő nagy nyomás hatására az anyag állandó alakváltozást szenved. Ezután következik egy relaxációs folyamat, ahol a maradandó alakváltozások állandósulnak. A dugattyús brikettálóknak egydugattyús, kétdugattyús és háromdugattyús változata létezik, eszerint egyirányú, kétirányú és háromirányú préseléssel állítható elő tömörítvény. A csigás brikettálóknak két változata ismert, a nyomócsigás és az őrlőcsigás. Nyomócsigás préseknél a csiga folyamatos előretolásával hozzuk létre a kompressziót és a kitolást. A ház palástján lévő nyíláson át jut az anyag be, a csiga ezt a préscsatorna felé tolja. A csiga végén az előtömörített anyag egy kúpos csatornába, onnan pedig a préscsatornába jut. A nyomócsigás présgép használata során fontos, hogy az alapanyag nedvességtartalma 10-12% alatt legyen és hogy az 10 mm fölötti frakciókat ne tartalmazzon.

2.3 Pelletálás berendezései

A pelletálás a brikettálás egyik speciális változata. A pellet nagyon termelékeny módon állítható elő. A pelletológépeknek két fontos változata használatos, a hengermatricás és a síkmatricás pelletológép. Mindkét esetben görgők préselik át az anyagot a matrica furatain. A görgők a préseléssel egy időben őrlést is végeznek, ezért szemcseméretre kevésbé érzékeny, mint a brikettológépek.

A hengermatricás pelletáló forgó hengerén találhatóak a furatok, melyekbe a hengerben található bordázott görgők préselik bele az anyagot. A pellet sűrűségétől függően kell az alapanyagot a matricára teríteni. A vastagságot terítőlemezekkel vagy az adagolás intenzitásával lehet szabályozni.

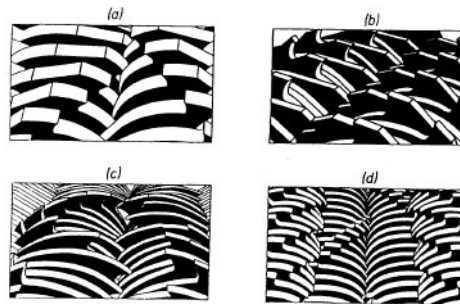
A síkmatricás pelletáló működési elve alapján véve megegyezik a hengermatricásnál megismerttel. A furatokkal ellátott síkmatrica tárcsa alakú és a közepén lévő furaton van átvezetve a főtengely, amire a bordás felületű görgők vannak ráerősítve. A főtengelyt motorral hajtják meg és a főtengely forgása közben nyíró-aprító igénybevétel jön létre az anyagon, így préselés közben az anyag őrlése is végbemegy. A matrica túoldalán távozó tömörítvényt a szintén főtengelyre szerelt vágóélek választják el a matricától és a szállítóberendezésre már a megfelelő méretűre tört kész pellet hullik le.

2.4 Az aprítás berendezései

A biomassa-nyersanyag aprítására megfelelő igénybevételek nyírás, vágás ill. dörzsölés. A nyíró, vágó aprítógépekben az aprítást az egymással szembe mozgó (forgó) vágó, nyíró szerszámok végzik. A jellemző meghatározó igénybevétel a nyírás. A nyírási igénybevétel mellett megtalálhatóak az ütő igénybevétellel dolgozó gépek is a mezőgazdasági alkalmazásban (kalapácsos törő), ahol legnagyobb részben a nagy sebességgel forgó kalapácsok ill. lemezkalapácsok biomasszával történő ütközésének hatására következik be az aprítás.

- **Forgótárcsás nyíró-aprítógép**

A nyírással előnyösen aprítható lágy, képlékeny, szívós, viszko-elasztikus és szálas anyagok, hulladékok, többek között cukorrépa, kukorica (cső, és szár), fagallyak (valamint műanyagok gumi, vékonyfalú fémtárgyak) elő-, durva- és középaprítására a forgótárcsás nyíró/aprítógépek előnyösen alkalmazható. A gép házában két vagy négy darab kis kerületi sebességgel forgó rotor van. Energiaszükséglete faanyagok esetén 20-40 kWh/t. Forgótárcsás nyíró-aprítógép alkalmazásakor a kis kerületi sebesség miatt, általában kisebb energia bevitel mellett, csekély zajjal valósítható meg a nyírás-vágás, tetszés szerinti darabokra vágja a feladott anyagot. A forgótárcsás gépeknél az aprítás az egymásba nyúló vágótárcsák oldalélei és fogai által történik. Az oldalélek nyírnak, a fogak pedig, mivel az esetek többségében a fogcsúcsok és a távtartó tárcsák közötti távolság több mm-t is elér, főként tépnek. Speciális lehúzó szerkezetek megakadályozzák, hogy a letépett és a keletkező résen áthúzott darabot a fogak magukkal vigyék. Az aprított anyag méretét a vágótárcsák szélessége, a tárcsák átmérője (kerülete) és a fogak tárcsánkénti száma határozza meg.

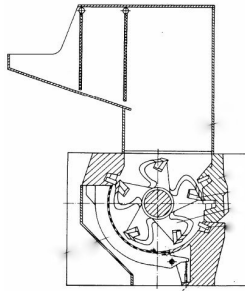


2. ábra: Különböző típusú nyíró-aprítógépek

Forrás: Prof. Dr. habil. Csőke B.: Aprítás és darabosítás, Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet

- **Vágómalom**

Ezt az aprítógépfajtát leggyakrabban a finomaprításánál, őrlésénél alkalmazzák. Horizontális vágómalom esetén a nagy fordulatszámú (5...25 m/s) vágókésekkel felszerelt vágó-rotor egy nagyon stabil házban forog, amelyen áll vágókések helyezkednek el: aprítás az álló és mozgó kések egymás melletti elhaladásakor következik be az álló kés feletti szemcsefelhőben. Az aprító-teret alul egy fenékszita határolja, ami meghatározza az apríték szemcseméretét.



3. ábra: Vízszintes tengelyű vágómalom

Forrás: Prof. Dr. habil. Csőke B.: Aprítás és darabosítás, Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet

2.5 Az alapanyagok előkészítése az agglomerálásra

Az alapanyagtól és a darabosítás módszerétől függ, hogy milyen minőségű alapanyagra van szükség. Az első lépcső legtöbb esetben az aprítás. Az aprítás többféle malomban illetve aprítógépben történhet. Legjellemzőbbek a nyíró-aprítógépek és a vágómalmok erre a célra. A megfelelő szemcseméret mellett a nedvességtartalom is fontos tulajdonság. A nedvességtartalom meghatározása után az alapanyagot két módon kezelhetjük. Ha a nedvességtartalom kicsi, nedvesítéssel, ha túl nagy, akkor szárítással optimalizálhatjuk az értékét brikettálás előtt.

2.6 Tüzeléstechnika

A pellet kazánok alkalmasak családi házak, csarnokok, műhelyek, üvegházak fűtésére is. Ezek a kazánok különbözőnek a hagyományos fatüzelésű kazánoktól. Egyrészt a hőátadó felülete többszöröse a hagyományos kazánokénak, és a kilépő füst szempontjából is ideális. A kazán mellé szükséges egy tartály is, melyben a pelletet tárolhatjuk, méretétől függően 2-4 hétig az adagoláshoz. A pellet tüzelő kazánok kis teljesítménytartományban gazdaságosak. Nagyobb teljesítményigénynél inkább apríték-tüzelést alkalmaznak. Többféle kazán létezik. Vannak kompakt készülékek, melyek egyben tartalmazzák a tárolót, a kazánt és az adagoló csigát. Léteznek külső tárolós kazánok, illetve tároló nélküli kazánok is. Mindegyikre jellemző a teljesen automatikus üzem, így a pellet adagolása, a begyűjtés az égéshez szükséges levegő beáramlásának biztosítása teljesen automatikusan történik.

Néhány pellet tüzelésű kazán:



1. kép: Pellet tüzelésére alkalmas – vegyes tüzelésű kazán

Forrás: www.pelletkazan.org

Sas ECO kazán



2. kép: Kifejezetten pellet tüzelésére alkalmas automata kazán

Forrás: www.pelletkazan.org

Sas ECO BIO kazán



3. kép: Pellet tüzelésű kályha

Forrás: www.pelletkazan.org

Edilkamin Junior

2.7 Biobrikett, biopellet felhasználási előnyei

Magyarországon egyre több helyen vezetik be a biomassza alapú fűtési rendszert, összhangban a hagyományos fűtessel. Kisebb településeken, elmaradottabb régiókban egészen elterjedt az energiaerdők telepítése. A fás szárú energianövények telepítése nem csak az energiatermelés szempontjából kedvező, hanem számos egyéb előnnyel is jár.

Ezek a növények magas CO₂ és pormegkötő hatással rendelkeznek, oxigéntermelése pedig eléri a 6,3 t/év/ha-t. Hatékonyan segíti a parlagokon termő allergén növények visszaszorítását és hamuja talajtápanyagként is hasznosítható.

Ezek a környezetvédelmi előnyökön felül számos gazdasági szempontból is előnyös a fás szárú energianövények termesztése. Egyszeri beruházási költséget igényel, ezután rendszeresen újratemelődik, körülbelül 24 évig 2 évente aratható. A leghátrányosabb körülmények között is gazdaságos a terület használata és a tömörített formái – melyek vizsgálunk – piaci áruvá is tehetők.

Számos társadalmi előnnyel is rendelkezik, amiért leginkább a nem túl fejlett gazdasággal rendelkező területeken hódított már teret. Munkahelyeket teremt, mivel a feldolgozást és betakarítást helyben kell végezni. Az energetikai szuverenitás nő ami jó hatással van a regionális fejlődésre nem utolsósorban pedig olcsó tüzelőanyagot biztosít a lakosság számára.

Az energianövények termesztése már elismerten gazdaságos és hasznos, a másik fontos kérdés a pelletálás illetve brikettálás gazdaságossága az apríték-tüzeléssel szemben. A pellet a modernebb technológiákat is lehetővé teszi, zárt rendszerben nagyon jól szabályozható fűtési rendszer hozható létre vele. Mivel kisebb a hamutartalma mint az egyszerű tűzifának, a kazán hatékonyságát hosszú távon nem csökkenti és óvja azt. Továbbá a pelletkazánok hatásfoka nagyon magas - 95-98% körüli - ami vetekszik a gázkazánok hatásfokával.

Ezek figyelembe vételével a szükséges teljesítmény és a tárolási lehetőségek függvényében lehet dönteni a pellet tüzelés használatáról.

Az energianövények brikettálása mellett jelentős a hulladékfa felhasználása energetikai célokra. Ezeknél az anyagoknál – melléktermék mivoltjuk miatt – a költségek jelentősen csökkennek, így a felhasználás még gazdaságosabban valósulhat meg.

3. A méréshez használt berendezések működési és mérési elvei

3.1 Aprítógépek

A megfelelő apríték létrehozásához a fentebb említett aprítógépek közül a forgótárcsás nyíró-aprítógéppel és a függőleges tengelyű vágómalommal dolgoztam.

3.1.1 Forgótárcsás nyíró-aprítógép

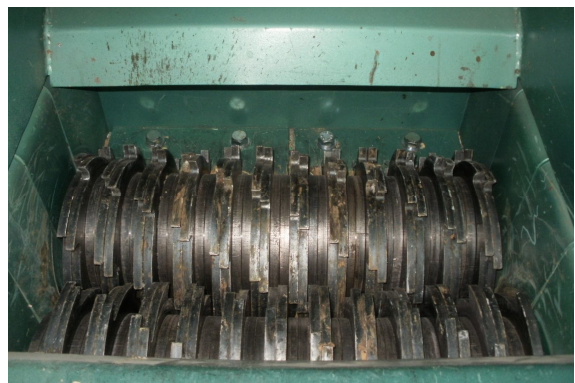
Kísérleteim során a következő paraméterekkel rendelkező nyíró-aprítógépet használtam:

Motorteljesítmény	11 kW-12,6 kW
Fordulatszám	1460 1/min-1760 1/min
Tárcsa szélessége	500 mm
Tárcsa átmérője	200 mm

2. táblázat



4. kép: Forgótárcsás nyíró-aprítógép háza
Forrás: saját készítésű fotó



5. kép: Az aprítógép tárcsái
Forrás: saját készítésű fotó

3.1.2 Függőleges tengelyű vágómalom

Az aprítást a következő paraméterekkel rendelkező AGJ Hungary által gyártott vágómalommal végeztem el:

Motorteljesítmény	5.5 kW
Motor fordulatszáma	1440 1/min
Rotor átmérő	190 mm

3. táblázat



6. kép: Vágómalom belseje, a rotorra illesztett vágókésekkel

Forrás: saját készítésű fotó

3.2 A darabosítás gépei

3.2.1 Kísérleti dugattyús prés

A vizsgálatokat az intézeti dugattyús préssel végeztem. Ez egy hidraulikus brikettáló berendezés, ami egy tápegységről üzemel. Két hidraulikus dugattyú található rajta. Az alsó a kész brikett kiemelésére szolgál, a felsőt pedig a préselésre használjuk. A felső dugattyúba egy erőmérő cella van beépítve, az elmozdulás mérése pedig egy mágnes csíkos inkrementális elmozdulásmérővel történik. A préshez egy számítógép van csatlakoztatva, mely segítségével a kapott eredmények kiértékelhetőek. 200 kN maximális erő kifejtésére képes. A berendezéssel 25 mm és 40 mm átmérőjű tabletták gyárthatóak, valamint a berendezés fűthető – hőmérséklete 20 és 140 °C között szabályozható.



7. kép: Kísérleti dugattyús prés

Forrás: saját készítésű fotó

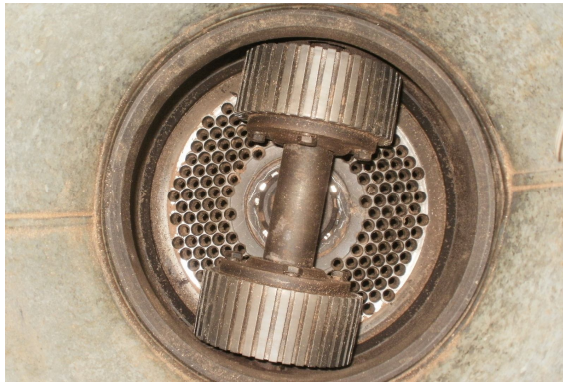
3.2.2 Pelletprés

A használt pelletprés egy síkmatricás pelletáló. Egy ZLSP200B típusszámú pelletáló. Négy részből áll: keverőtartály, kondicionáló csiga, gőzfejlesztő és maga a pelletprés. 7,5 kW teljesítményű, névleges kapacitása 110-180 kg/óra.



8. kép: Pelletprés a keverővel

Forrás: saját készítésű fotó



9. kép: A síkmatrica és a görgők

Forrás: saját készítésű fotó

4. Laboratóriumi kísérletek eredményei

A vizsgálatok célja az alapanyagok brikettálhatóságának megállapítása. Ehhez az alapanyagok elő kell készíteni aprítással és a főbb eljárástechnikai tulajdonságaikat meg kell határozni a későbbi reprodukálhatóság érdekében. Ezek a szemcseméret-eloszlás, a nedvességtartalom és a halmazsűrűségek.

4.1. Minta előkészítés

A vizsgálatokhoz szükséges szemcseméreteket többlépcsős aprítással értem el. A fűz aprításánál 8 mm, 4 mm és 2 mm résnyílású szitabetéteket alkalmaztam, míg az akác aprításánál 3 mm-eset.



10. kép: Fűz (kiindulási szemcseméret)

Forrás: saját készítésű fotó



11. kép: Fűz 8 mm-es aprítéka

Forrás: saját készítésű fotó



12. kép: Fűz 4 mm-es aprítéka

Forrás: saját készítésű fotó



13. kép: Fűz 2 mm-es aprítéka

Forrás: saját készítésű fotó

4.1.1 Szemcseméret-eloszlás vizsgálat

A vizsgálatok során különböző szemcseméretűre aprított anyagokat vizsgáltam, ezek minősítésére a szemcseméret vizsgálata az elsődleges módszer. Kétféle anyaggal dolgoztam: akáccal és energiafűzzel. Négyféle anyagot dolgoztam fel első lépcsőben, amelyek jellemzőjeként a függőleges tengelyű vágómalom résméretét adtam meg.

Akác-apríték 3 mm:

x (mm)	m (g)	F(x) (%)
>3	1,2	100
3-2	50,1	99,54
2-1,6	51	81,77
1,6-1	93,3	63,68
1-0,4	70,4	30,58
0,4-0	15,8	5,6

3. táblázat

$x_{\max} = 3,2 \text{ mm}$

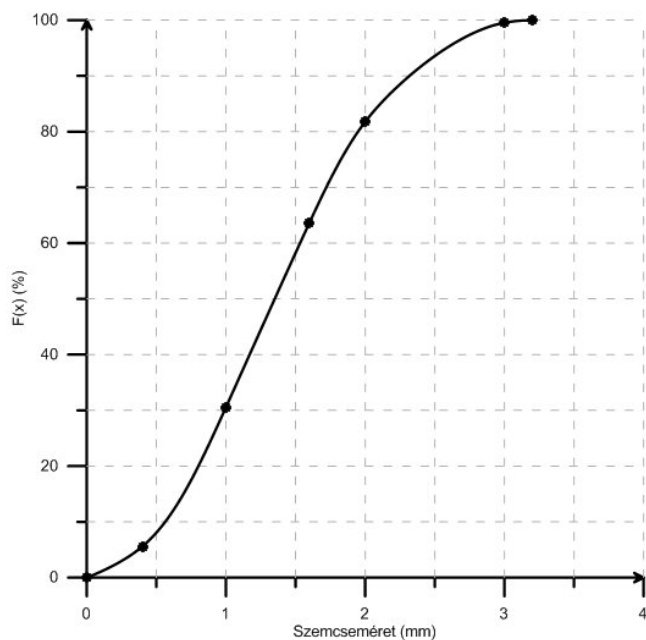
$x_{80} = 1,9 \text{ mm}$

$x_{50} = 1,3$

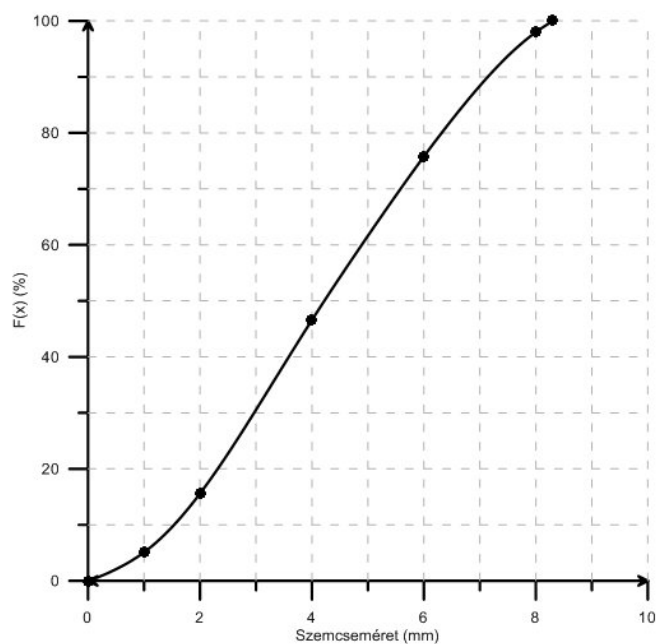
Energiafűz-apríték 8 mm:

x (mm)	m (g)	F(x) (%)
>8	3,1	100,0
8-6	38,3	98,0
6-4	50,1	75,8
4-2	53,2	46,6
2-1	18,0	15,6
1-0	8,7	5,1

4. táblázat



4. ábra: Akác-apríték szemeloszlásgörbéje



5. ábra: Energiafűz-apríték szemeloszlásgörbéje

$x_{\max} = 8,3 \text{ mm}$

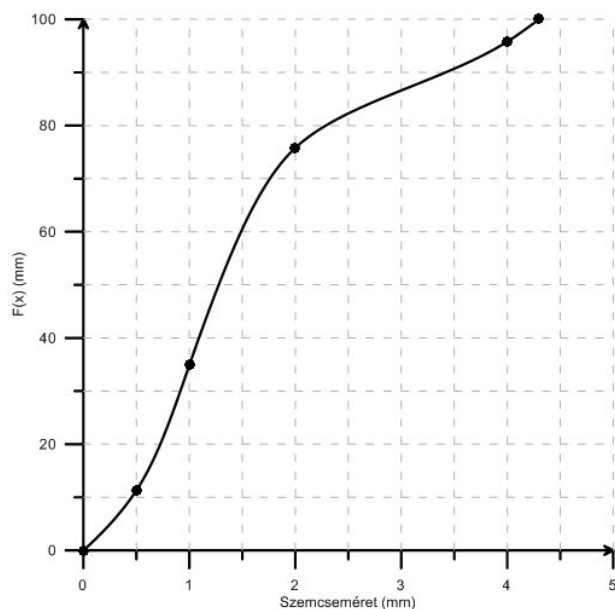
$x_{80} = 6,2 \text{ mm}$

$x_{50} = 4,2 \text{ mm}$

Energiafűz-apriték 4 mm:

x (mm)	m (g)	F(x) (%)
>4	7,0	100,0
4-2	34,1	95,8
2-1	69,6	75,8
1-0,5	40,2	34,9
0,5-0	19,3	11,3

5. táblázat



6. ábra: Energiafűz-apriték szemeloszlásgörbéje

$x_{\max} = 4,3 \text{ mm}$

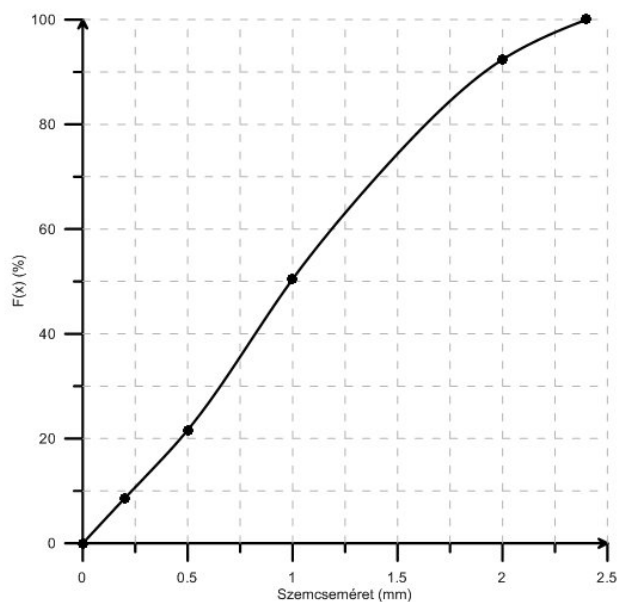
$x_{80} = 2,4 \text{ mm}$

$x_{50} = 1,4 \text{ mm}$

Energiafűz-apriték 2 mm:

x (mm)	m (g)	F(x) (%)
>2	9,10	100,00
2-1	50,20	92,39
1-0,5	34,50	50,45
0,5-0,2	15,60	21,63
0,2-0	10,30	8,60

6. táblázat



7. ábra: Energiafűz-apriték szemeloszlásgörbéje

$x_{\max} = 2,4 \text{ mm}$

$x_{80} = 1,7 \text{ mm}$

$x_{50} = 1 \text{ mm}$

4.1.2. Nedvességtartalom meghatározása

A nedvességtartalom meghatározásához a csiszolt tetejű üvegedénybe mért mintákat 105°C-on 2 órán keresztül szárítjuk, természetesen fedél nélkül. Ezután a mintákat exikátorban szobahőmérsékletűre hűtjük és mérjük a tömeget. A mintákat újra a szárítószekrénybe helyezzük fél órára, majd az előzőekhez hasonlóan lehűtjük és újra mérjük a tömeget. Tömegegyenlőség esetén a nedvességtartalom számítható, ha az érték különbözik az első körben mérttől, akkor pedig további fél órás szárításokra van szükség a tömegegyenlőség elérésig.

A leaprított és felhasznált akácfa nedvességtartalma:

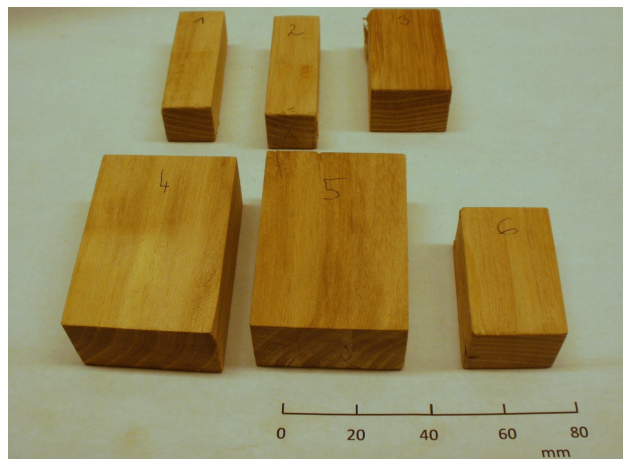
	Nedvességtartalom (%)
Akác 3 mm	10,04
Fűz 8 mm	9,06
Fűz 4 mm	8,98
Fűz 2 mm	8,4

7. táblázat

Szembetűnő, hogy a szemcseméret csökkenésével jelentősen csökken az apríték nedvességtartalma. Ez hátrányosan befolyásolhatja kisebb szemcseméreteknél a brikettálhatóságot, mivel az elvárt nedvességtartalom faanyagok esetében a 10-12% lenne.

4.1.3. Az alapanyagok eredeti sűrűségének meghatározása

Mivel az agglomerálás fő célja a térfogat csökkentése a sűrűség növelésével, fontos vizsgálni az eredeti anyag illetve aprítékának sűrűségét, halmazsűrűségét. Az akác esetében hasábokban érkezett az anyag. Ezekből szabályos próbatesteket készítettünk, hogy ki tudjam számolni az eredeti anyag sűrűségét.



14. kép: Próbatetek a sűrűsegelemzéshez

Forrás: saját készítésű fotó

A brikettálás előtti anyagok sűrűsége és halmaz sűrűsége:

	Sűrűség (g/cm ³)
Akácfa	0,75
	Halmaz sűrűség (g/cm ³)
Akác - 3 mm	0,254
Energiafűz - durva apríték	0,17
Energiafűz - 8 mm	0,25
Energiafűz - 4 mm	0,26
Energiafűz - 2 mm	0,31

8. táblázat

4.2. Brikettálási kísérletek

A brikettálás során elsőként a préselési nyomás és a sűrűség változása között vizsgáltam az összefüggést. Ehhez a kompresszibilitást figyeltem meg. A kompresszibilitás másnéven összenyomhatóság a porok nyomás hatására történő deformációs képességét mutatja meg. A meghatározott tömegű tabletta térfogata tehát a préselési nyomástól és a κ kompresszibilitási tényezőtől függ. Minden szemcseméretű anyagból készítettem brikettet, különböző hőmérsékleteken és nedvességtartalmon is.

A méréseket öt különböző nyomáson végeztem el: 50 MPa, 100 MPa, 150 MPa, 200 MPa és 250 MPa. A dugattyút mindig 3 másodpercig tartottam az előre meghatározott

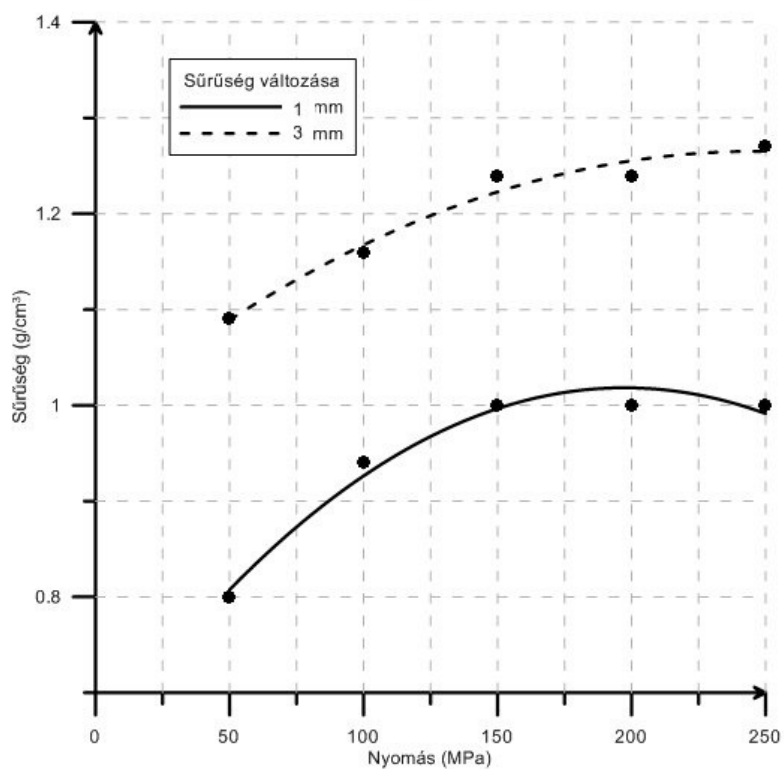
nyomáson. A gépet 80 °C hőmérsékletűre melegítettem fel, és ezen a hőmérsékleten készültek a brikettek is.

4.2.1. A nyomás és a sűrűség összefüggésének vizsgálata

A két különböző szemcseméretű akácaprítékból készített brikettek sűrűségének változását a nyomás függvényében a következő táblázat mutatja.

Nyomás (MPa)	3 mm Sűrűség (g/cm ³)	1 mm Sűrűség (g/cm ³)
50	1,09	0,8
100	1,16	0,94
150	1,24	1
200	1,24	1
250	1,27	1

9.táblázat:Sűrűségekösszehasonlítása akác aprítékok esetén



8. ábra: A szemcseméret hatása a sűrűségre különböző nyomásokon

A pontokra a következő egyenletek segítségével görbét illesztettem:

1 mm:

$$\rho = -4,571429 \cdot 10^{-6} \times P^2 + 0,002251P + 0,988$$

3 mm:

$$\rho = -9,714286 \times 10^{-6} \times P^2 + 0,0038343P + 0,64$$

Megfigyelhető, hogy bár a kisebb szemcseméretű alapanyagból ideálisabb briketteket kellett volna kapnunk, az átlagsűrűség mégis csökkent.

Ez - többek között - az aprítás közbeni nedvességtartalom csökkenéssel magyarázható, mivel a brikettálás nagyon érzékeny az alapanyag nedvességtartalmára.

A kisebb szemcseméreten készült briketteknél nincs visszahajlás a görbében. Ezt a visszahajlást feltehetően a visszarugózás okozza a nagyobb szemcseméreteknél. A brikettálás közben fellépő erők nem elég nagyok a szemcsék összetartásához, a tömörítés után a tabletták térfogata némiképp növekszik.

Az energiafűz többféle szemcseméreten került brikettálásra. Ugyanezek a nyomásokon az átlagsűrűségekre alábbi eredmények születtek:

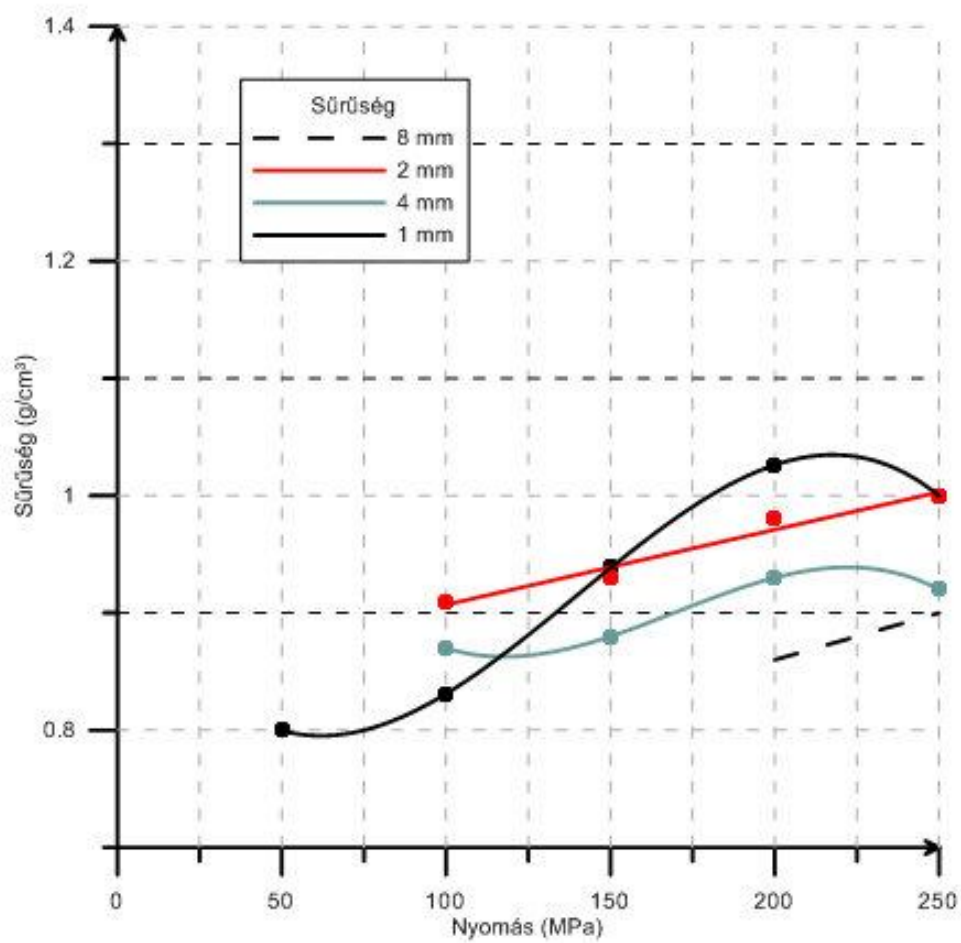
Szemcseméret				
Nyomás (MPa)	8 mm	4 mm	2 mm	1 mm
50	-	-	-	0,8
100	-	0,87	0,91	0,83
150	-	0,88	0,93	0,94
200	0,86	0,93	0,98	1,025
250	0,9	0,92	1	1

9. táblázat: A sűrűségek összehasonlítása energiafűz-apríték esetén



15.kép : Értékelhetetlen brikettek

Forrás: saját készítésű fotó



9. ábra

A meghatározott pontokra görbéket illesztettem a következő egyenletekkel:

4 mm:

$$\rho = 1,37 - 0,01047 \times P + 6,8 \times 10^{-5} \times P^2 - 1,333 \times 10^{-7} \times P^3$$

2 mm:

$$\rho = 0.843 + 0,00064 \times P$$

1 mm:

$$\rho = 0.939 - 0.0051 \times P + 5.314285714 \times 10^{-5} \times P^2 - 1.2667 \times 10^{-7} \times P^3$$

Ami a legszembetűnőbb a diagramok és a sűrűség értékei alapján, hogy a legtöbb esetben 150 MPa feletti nyomás esetén a kész brikettek sűrűsége nem nő tovább olyan mértékben mint a kisebb nyomások esetén. Ez főleg a kisebb szemcseméretű alapanyagokra jellemző. A jelenség okaira a későbbiekben számításokat és ellenőrző vizsgálatokat végeztem.

4.2.2. A nedvességtartalom és a hőmérséklet hatása a brikettálásra

Az ideálisnak tűnő nyomásokon mindkét anyagnál készítettem előmelegítéssel is próbatesteket. Ehhez a bemért anyagot 2 perccel hamarabb tettem a 80 °C-ra fűtött présbe és csak a két perc letelte után kezdtem el a brikettálást.

A különböző anyagoknál az alábbi eredmények születtek.

Akác 3 mm-es aprítékából, 2 perces előmelegítéssel és előmelegítés nélkül 150 MPa préselési nyomáson:

	ρ (g/cm ³)
Előmelegítés nélkül	1,24
Előmelegítéssel	1,20

10. táblázat

A sűrűség csökkenés valószínűleg a melegítés hatására történő nedvességtartalom csökkenés hatása. Az előre betöltött anyag 2 perc alatt 80 °C hőmérsékleten elég nagymértékű száradáson megy keresztül. A brikettálás során nagyon fontos hogy a nedvességtartalom a 9-10 %-tól 15-20%-ig tartó tartományba essen. A pelletálási kísérletekre nézve ez azért nincs hatással, mert bár ott is magas hőmérsékleten van az anyag sokáig mielőtt a présbe kerül, de állandó gőz hozzáadásával biztosítani lehet a megfelelő nedvességtartalmat.

Energiafűz 2 mm-es aprítékából, 2 perces előmelegítéssel (2) összehasonlítva az előmelegítés nélküli értékekkel (1), a sűrűségcsökkenés továbbra is megfigyelhető az előmelegített anyag esetében:

P (Mpa)	ρ_1 (g/cm ³) (1)	ρ_2 (g/cm ³) (2)
50		0,862
100	0,915	0,938
150	0,927	0,94
200	0,978	0,96
250	1	0,973

11. táblázat

A sűrűségcsökkenés oka lehet a nedvességtartalom csökkenése. Egyrésztől eredményezheti, hogy a távozó víz tömegével kisebb lesz a tabletta tömege. Másrésztől a kötőerők túl száraz anyagok esetén nem megfelelően hatnak, és a tabletta nem áll össze megfelelően.

Az okok megfejtéséhez a tabletták geometriai tulajdonságait kell vizsgálni. A 250 MPa-on készített brikettek hasonlítom össze.

250 MPa préselési nyomással:

	Előmelegítés nélkül	Előmelegítéssel
Átlagos tabletta átmérő	2,55	2,56
Átlagos tabletta magasság	0,97	0,995
Átlagos tabletta tömeg	4,95	4,97
Átlagos sűrűség	1,0011	0,9736

12. táblázat

200 MPa préselési nyomással:

	Előmelegítés nélkül	Előmelegítéssel
Átlagos tabletta átmérő	2,55	2,56
Átlagos tabletta magasság	1,04	0,98
Átlagos tabletta tömeg	4,99	4,84
Átlagos sűrűség	0,98	0,96

13. táblázat

150 MPa préselési nyomással:

	Előmelegítés nélkül	Előmelegítéssel
Átlagos tabletta átmérő	2,55	2,56
Átlagos tabletta magasság	1,05	1,02
Átlagos tabletta tömeg	4,99	4,84
Átlagos sűrűség	0,93	0,94

14. táblázat

Az adatokból látszik, hogy az előmelegítéssel történő brikettáláskor nem csökken egyértelműen a brikettek tömege, a sűrűségcsökkenést tehát nem feltétlenül a távozó víz tömegének a hiánya okozza.

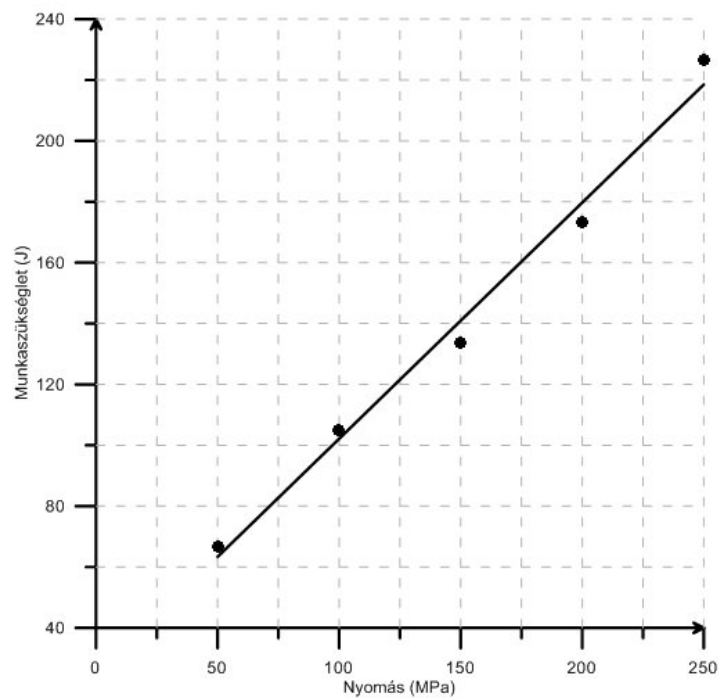
4.2.3. A brikettálás fajlagos munkaszükségletének meghatározása

A kísérleti dugattyús présbe egy erő- és egy elmozdulásmérő segítségével mérni tudjuk a brikettálás során felhasznált erőt és az elmozdulás nagyságát. Ebből számolni tudjuk a szükséges munka nagyságát.

Munkaszükséglet számítása akácfából készült brikettek esetén (3 mm):

	$W_{át} (J)$
50 Mpa	66,78
100 Mpa	104,75
150 Mpa	133,487
200 Mpa	173,093
250 Mpa	226,577

15. táblázat: Munkaszükségletek különböző nyomásokon való brikettáláshoz 3 mm-es akácapríték esetén



10. ábra: A munkaszükséglet a nyomás függvényében akácapríték esetében

Az adatokból látszik, hogy ebben az esetben a nyomás növelésével a vizsgált tartományban közel lineárisan nő a munkaszükséglet.

Ha a tabletták átlagos tömegével elosztjuk ezeket az értékeket, megkapjuk az anyag brikettálására vonatkozó fajlagos munkaszükségletet.

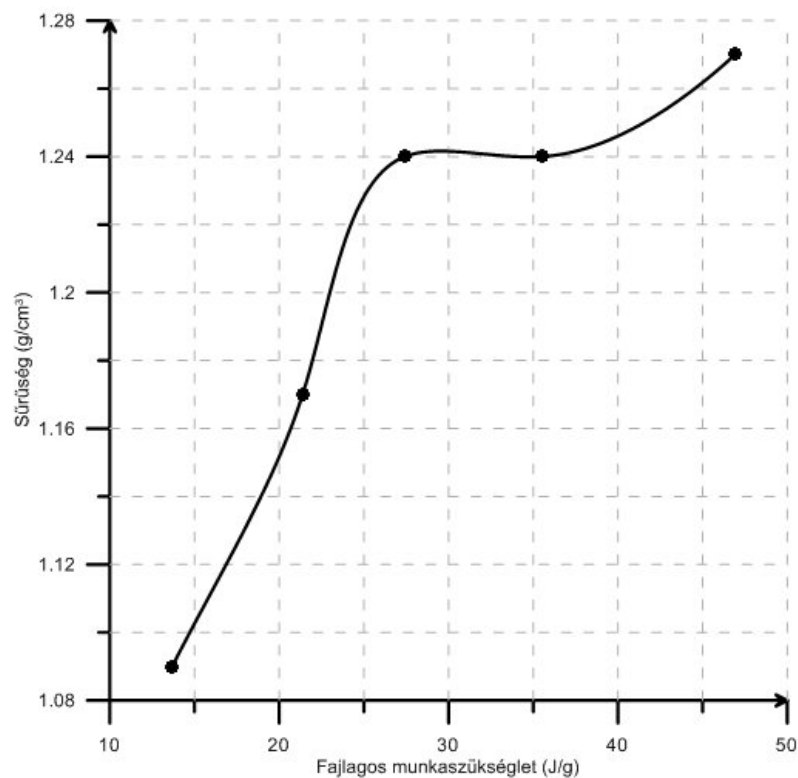
	$W_{fajl} (J/g)$
50 Mpa	13,68
100 Mpa	21,38
150 Mpa	27,41
200 Mpa	35,54
250 Mpa	46,91

16. táblázat: A fajlagos munkaszükséglet értékei 3 mm-es akácapríték esetén

A fenti adatok alapján összehasonlíthatjuk a kész brikettek sűrűségét a befektetett fajlagos munka nagyságával.

P (Mpa)	ρ (g/cm³)	W_{fajl}
50	1,09	13,68
100	1,17	21,38
150	1,24	27,41
200	1,24	35,54
250	1,27	46,91

17. táblázat: A préselési nyomás, a sűrűség és a fajlagos munkaszükséglet közötti kapcsolat



11. ábra: A sűrűség a fajlagos munkaszükséglet függvényében ábrázolva

Munkaszükséglet számítása 2 mm-es fűz-aprítékból készült brikettek esetén:

50 MPa	
<i>W_{átl} (J)</i>	<i>72,73</i>
100 Mpa	
<i>W_{átl} (J)</i>	<i>99,01</i>
150 Mpa	
<i>W_{átl} (J)</i>	<i>121,58</i>
200 Mpa	
<i>W_{átl} (J)</i>	<i>167,04</i>
250 Mpa	
<i>W_{átl} (J)</i>	<i>193,34</i>

18. táblázat: Munkaszükségletek fűzből készült brikettek esetén

Ha a tabletták átlagos tömegével elosztjuk ezeket az értékeket, megkapjuk az anyag brikettálására vonatkozó fajlagos munkaszükségletet.

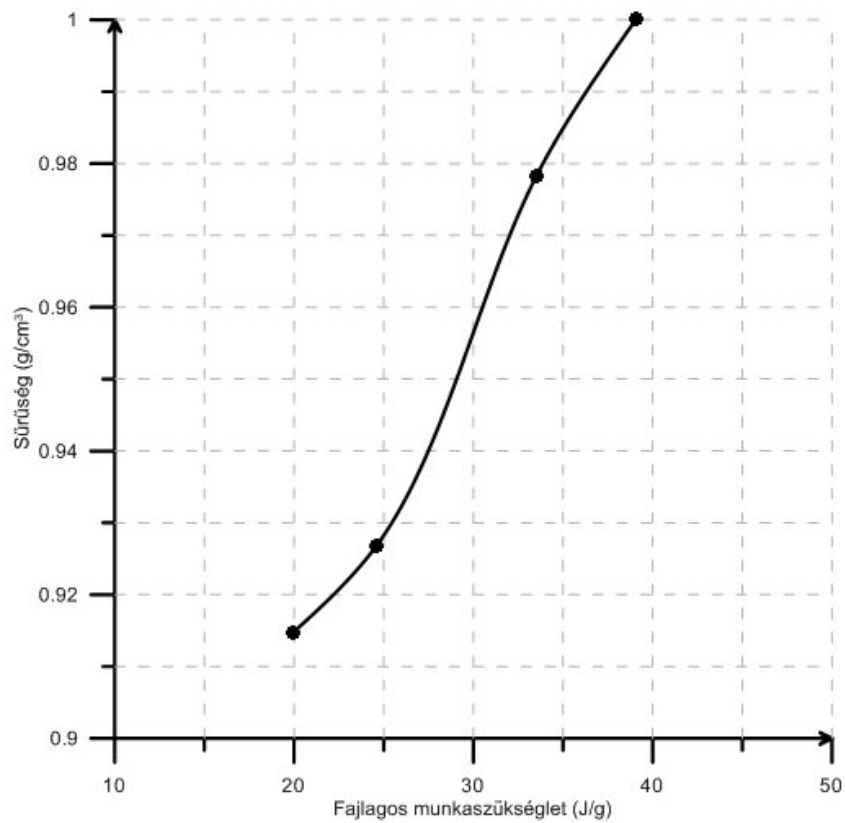
100 Mpa	
<i>W_{fajl} (J/g)</i>	<i>19,96</i>
150 Mpa	
<i>W_{fajl} (J/g)</i>	<i>24,56</i>
200 Mpa	
<i>W_{fajl} (J/g)</i>	<i>33,50</i>
250 Mpa	
<i>W_{fajl} (J/g)</i>	<i>39,05</i>

19. táblázat: A fajlagos munkaszükségletek egyes nyomásokon

A fenti adatok alapján összehasonlíthatjuk a kész brikettek sűrűségét a befektetett fajlagos munkával.

P (Mpa)	ρ (g/cm ³)	W_{fajt} (J/g)
50	-	-
100	0,9148	19,96
150	0,9267	24,56
200	0,9782	33,50
250	1,00	39,05

20. táblázat: A nyomás, a sűrűség és a fajlagos munkaszükséglet kapcsolata fűz-apríték esetén



12. ábra: A sűrűségek alakulása a fajlagos munkaszükséglet függvényében 2 mm-es fűzfa esetén

Hogy össze tudjuk hasonlítani a fajlagos munkaszükségletet a szemcseméret nagyságával, további számításokat végeztem.

Mivel a legideálisabb brikettek energiafüznél az 1 mm szemcseméretű alapanyagból készültek, ezeket fogom vizsgálni. Az ilyen kisméretű apríték előállítása már jelentős költséggel bír, ezért összehasonlítom a kisebb nyomáson, kisebb szemcseméretű anyagból előállított brikettek munkaszükségletét a nagyobb szemcseméretű anyagból, de nagyobb nyomáson előállított brikettekével.

50 Mpa	
<i>W_{átl} (J)</i>	51,28
100 Mpa	
<i>W_{átl} (J)</i>	91,47
150 Mpa	
<i>W_{átl} (J)</i>	120,70
200 Mpa	
<i>W_{átl} (J)</i>	146,70
250 Mpa	
<i>W_{átl} (J)</i>	172,09

21. táblázat: A munkaszükséglet változása a nyomás függvényében 1 mm-es akácapríték esetén

A fajlagos munkaszükséglet függvényében a sűrűségek:

P (Mpa)	ρ (g/cm³)	<i>W_{fajl}</i>
50	0,805	10,42
100	0,832	18,67
150	0,946	24,38
200	1,026	29,58
250	1,007	34,41

22. táblázat: A préselési nyomás, a sűrűség és a fajlagos munkaszükséglet kapcsolata

Ez alapján látszik, hogy a kisebb szemcseméret – bár kisebb fajlagos munkaszükségletet eredményez – ez a csökkenés nem elégedő ahhoz, hogy ellensúlyozza az aprításhoz szükséges munka nagyságát.

A többlépcsős aprítás energiaigénye magasabb, ezáltal gazdaságtalan feleslegesen kicsi szemcseméretű anyagokat brikettálni.

A legideálisabb eset egy közepesen aprított alapanyag feldolgozása volna, 150-200 MPa-on, ahol a nyomás már megfelelő az eddigi mérések alapján.

4.3. Előzetes pelletálási kísérletek, a pelletek sűrűségének vizsgálata

Pelletálhatósági vizsgálatokat végeztem előzetesen az energiafűz 3 mm-es aprítékán, mivel a brikettálhatósági vizsgálatok után úgy tűnt, ez megfelelő lesz a további kísérletekhez. Az elkészült pelleteket sűrűség szempontjából elemeztem.

	D (cm)	h (cm)	m (g)	ρ (g/cm ³)
1	0,6	2,26	0,84	1,31
2	0,6	2,06	0,73	1,25
3	0,6	1,86	0,67	1,27
4	0,6	2,37	0,88	1,31
5	0,6	1,98	0,73	1,30
6	0,6	2,24	0,80	1,26
7	0,6	2,09	0,75	1,27
8	0,6	1,58	0,62	1,39
9	0,6	1,07	0,38	1,25

23. táblázat: A kész pelletek sűrűsége

Átlagos pelletsűrűség: 1,29 g/cm³



9.kép : Kész pelletek

Forrás: saját készítésű fotó

5. Összefoglalás

Feladatom a fás szárú energianövények brikettálhatóságára vonatkozó kísérletek elvégzése volt. Megállapítható, hogy mindkét vizsgált alapanyag brikettálható.

Elsőként a préselési nyomás-brikett sűrűség közötti összefüggést vizsgáltam. Ezekből az adatokból diagramokat vettem fel, és azokra görbéket illesztettem.

Vizsgáltam a szemcseméret, a hőmérséklet és a nedvességtartalom hatását az egyes esetekben. Nyomás növelésével a sűrűség nőtt, de bizonyos esetekben a legnagyobb alkalmazott nyomás kisebb brikettsűrűséget adott. A legkisebb préselési nyomásokon (50 MPa) a tabletták általában nem álltak össze, legalább a 100-150 MPa nyomásra volt szükség a biztonságos brikettgyártáshoz.

A szemcseméret csökkentése általában nagyobb sűrűségű tablettákat eredményezett. A legnagyobb vizsgált szemcseméret esetén – ami a 8 mm alatti tartomány volt – a tabletták nem brikettálódtak megfelelően. Darabolódtak, és sok esetben a présből kivéve darabokra hullottak. Ez a probléma a szemcseméret csökkentésével könnyen kiküszöbölhető.

A két vizsgált anyag sűrűségei azonos tömörítési körülmények között hozzávetőlegesen megegyeztek a fajlagos munka értéke azonos nyomásokon hasonló tartományban mozog. A nedvességtartalomban volt különbség a két alapanyag között.

A nedvességtartalom csökkenése jelentősen befolyásolta minden esetben a brikettálhatóságot. Az előzetesen melegített anyagok esetében minden esetben kisebb lett a sűrűség. Mivel a kész tabletták minősége nem romlott, és térfogatuk sem volt nagyon különböző azonos tömeg mellett, ezt a sűrűségcsökkenést a száradás folyamán távozó víz tömege – illetve annak hiány okozhatta.

A pelletálási kísérleteim során nem tudtam folyamatos, hosszan tartó üzemelést kialakítani. Ennek oka a vizsgálatok alapján az, hogy a pelleték sűrűsége nagy volt, nagyobb mint a vizsgált tablettáké, emiatt nagyobb nyomás illetve nagyobb igénybevétel lépett fel. Ezzel a túl sűrű anyaggal a prés nem tudott folyamatosan üzemelni.

A továbbiakban a brikettálási vizsgálatoknál a nedvességtartalom pontos hatásának vizsgálatával folytatnám a munkámat. Különböző – előre meghatározott nedvességtartalmakkal vizsgálnám a brikettálhatóságot, hogy pontosabb értékeket kapjak a nedvesség távozásának hatásáról a különböző brikettek esetén.

Nagyobb nyomások bevezetésével folytatnám a sűrűség-préselési nyomás közötti kapcsolatot. A 250 MPa-nál jelentkező visszahajlásra további becsléseket lehetne adni 300 MPa préselési nyomások keletkező brikettek előállításával.

A pelletálás – szemben a kísérleti dugattyús présrel nyitott formában történő agglomerálás, ahol a falsúrlódásnak jelentős szerepe van. Ebből következik, hogy eredményes pellet előállítás úgy is megvalósítható, ha a súrlódási tényezőt csökkentjük vagy a matrica vastagságát és a matricán lévő lyukak geometriai kialakítását változtatjuk. A súrlódási tényező csökkentésére valamilyen kenőanyagot használhatunk. A további kísérletek során eredményes lehet különböző keverékek pelletálása. És a későbbiekben üzemi kísérletek végzése az intézet egy partnerével.

6. Szakirodalom

- [1] Bai A., Lakner Z., Marosvölgyi B., és Nábrádi A.: A biomassza felhasználása, Szaktudás Kiadó Ház, 2002
- [2] Dr. Gergely S.: Fás vagy lágyszárú energianövényt termesszünk?
- [3] Dr. Gyuricz Cs.: Fás szárú energianövények termesztése: elővetemény és talajművelés
- [4] Dr. Mádainé Üveges V.: Biomassza alapú fűtési rendszerek előkészítéstechnikai szemszögből, valamint költségeinek összehasonlítása a földgáz alapú fűtéssel
- [5] Nagy S.: Biomassza agglomerálási lehetőségei, Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet
- [6] Nagy S.: Hulladék biomassza aprítása, Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet
- [7] Prof. Dr. habil. Csőke B.: Aprítás és darabosítás, Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet, 2005
- [8] Energiaklub, Szakpolitikai Intézet, Módszertani Központ honlapja www.energiaklub.hu
- [9] Kautéla Zrt. honlapja www.energiacentrum.com
- [10] www.pelletkazan.org