

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

Biomassza és kokszipor brikettálásának vizsgálata

TDK

Szerző: Pólya Imre Mátyás
környezettechnikai szakirány
Konzulensek: Nagy Sándor
tanszéki mérnök

Miskolc, 2011

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, 2011. 11. 04.

.....
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, 2011. 11. 04.

.....
a konzulens aláírása

Tartalom

1	Bevezető.....	4
2	Szakirodalom	5
2.1	Biomassza.....	5
2.2	Agglomerálás	6
2.3	Nyomással történő agglomerálás fajtái	7
2.3.1	Brikettálás:	7
	Csigás brikettáló.....	10
2.3.2	Pelletálás	12
	A pellet préselése	13
	A pelletprések típusai:.....	14
2.4	Alapanyagok előkészítése	15
2.4.1	A pellet gyártás alapanyagának szárítása.....	15
2.4.2	Alapanyag tisztítása és aprítása	15
2.5	Működő technológiák.....	16
2.6	Brikettek minősítése	18
3	Berendezések bemutatása	18
3.1	INTÉZETI DUGATTYÚS PRÉS	18
3.2	Retsch vágó malom	19
3.3	A választott biomasszák	20
3.4	Szemcseméret elemzések	21
4	Kísérleteim faipari biomassza brikettálása, pirolízis koksztételében.....	21
4.1	A kiinduló anyagok paraméterei	22
	Alapanyagok nedvesség tartalma.....	22
4.2	Szisztematikus vizsgálatok.....	23
4.3	Elvégzett kísérletek eredményei.....	24
	Fatelepi minta Sűrűség eredményei	24
	Vörösfenyő Sűrűség eredményei	25
	Tanszéki minta Sűrűség eredményei	26
	40 %-os Fa brikettek sűrűség- fajlagos munka	27
	150 MPa-os Fa brikettek sűrűség- fajlagos munka.....	28
	Fatelepi minta húzószilárdság – préselési nyomás	29
	Vörösfenyő minta húzószilárdság – préselési nyomás	30
4.4	Tanszéki minta húzószilárdság – préselési nyomás	31
	40 %-os fa brikettek húzószilárdság – préselési nyomás.....	32
	150 MPa-os Fa brikettek húzószilárdság – préselési nyomás.....	33
5	Összegzés.....	34
6	Irodalomjegyzék	37

1 Bevezető

Ma a környezettudatos világunkban, amikor igyekszünk mindent újrahasználni, újra hasznosítani, újra felhasználni, ugyan úgy mint ahogy a faiparban és a mezőgazdaságban is próbálunk minél kevesebb hulladékot hátrahagyni, illetve a keletkezett hulladékot újrahasznosítani. Ennek megvalósítására a mezőgazdaságban termelődött biomassza hulladékot, ha nem komposztáljuk le és használjuk fel talaj minőség javítására, akkor egy másik módját is találunk a hasznosításának. Jelen esetben a biomassza aprítását követően pellett vagy brikett gyártása, amely azért előnyös, mert mint energiahordozó könnyebben kezelhető szállítható és kereskedelmi forgalomba is kerülhet. A kész briketteknek megfelelő szilárdsággal kell rendelkeznie ennek érdekében.

A biomassza energia termelésre való felhasználása, különböző technológiával lehetséges, pl. égetés, biogáz, bioetanol. Ezek közül a legnagyobb profittal rendelkező az égetés, mivel a többihez képest kisebb a beruházási és üzemeltetési költség. Ennek tudatában, eltérítik a lerakótól a biomasszát, hogy energiatartalmát hasznosítják. Pellet illetve brikett gyártása után, az erre a célra kifejlesztett vagy átalakított tüzelő berendezésekben eltüzelni, így családi házak vagy intézmények fűtésére vagy meleg víz előállítására lehet felhasználni. Az így keletkező CO₂ nem minősül szennyezésnek, mivel azt növények égetésből termelődött. Az ilyen technológia lehetőséget ad arra, hogy a biomasszával együtt más, esetleg önmagában a fent említett tüzelőberendezésekben nem égethető (finom szemcseméretű), ellenben nagy fűtőértékkel rendelkező anyaggal (pl. koks, termokatalitikus eljárás koks terméke) összekeverve, jelen esetben brikettált vagy pelletált formában elégethető és benne lévő energia kinyerhető. Így a finom szemcséjű anyag/koks is hasznosításra kerül, és nem növeli a lerakott hulladék mennyiségét. Ezen a tématerületen (szén-biomassza együtt brikettálás) a Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet korábban több kutatást is végzett.

A világban egyre nagyobb figyelmet szentelnek a megújuló, illetve alternatív energiaforrásoknak a szénhidrogén származékokkal szemben. Ezzel kapcsolatban különböző kutatásokat kezdtek biomasszával illetve a belőle gyártható pelletekkel.

2 Szakirodalom

Ebben a fejezetben bemutatom a témám törzsét képező biomasszát, illetve hogy milyen szisztéma alapján választottam ki a megfelelő alapanyagokat, tömörítési eljárásokat, valamint a kész termék minőségét szemléltető eljárásokat.

2.1 Biomassza

A biomassza szűkebb értelemben, a különböző elhalt növények részeit képző anyaghalmoz. Ennek függvényében létezik mezőgazdasági biomassza(pl. szalma, kukorica,erdőgazdasági biomassza, élelmiszeripari hulladék mely szintén biomasszának minősül).

A biomassza energetikai hasznosításának legegyszerűbb és az energiamérleg szempontjából is legkedvezőbb változata az eredeti vagy az eredetihez közeli állapotban történő energetikai felhasználása. Emellett azonban vagy az alapanyag tulajdonságai (pl. kis halmazsűrűségű melléktermék) vagy a felhasználás speciális technikái (pellettüzelő, látványkandalló) szükségessé teszik az energetikai tömörítvények előállítását is (hasonlóan a szénbrikett, a rúdszén stb. gyártásához).

A tömörítésnek fő célja a térfogati sűrűség növelése, ami kedvezően változtatja meg:

- tárolási helyigényt,
- rakodás feltételeit,
- a tüztérbe juttatás és az égés feltételeit,
- nagyobb térfogati sűrűség révén a fajlagos energiasűrűséget (GJ/m^3),
- esetenként a nedvesség tartalmat.

A tömörítés történhet:

- bálázással (hengerbála, kis és nagybála),
- brikettálással,
 - dugattyús préssel (egyirányú, kétirányú, háromirányú prés),
 - csigás préssel (nyomócsigás, órlócsigás),
- pelletálással.

A tömörítési eljárás alkalmazásával energetikai tömörítvényt állítunk elő. Az energetikai tömörítvény legfontosabb jellemzője a fajlagos térfogati sűrűsége (m^3/GJ), és a fajlagos energiatartalma (GJ/m^3). A biomasszát eredeti vagy homogenizálást (aprítás) követő állapotban lehet tömöríteni.

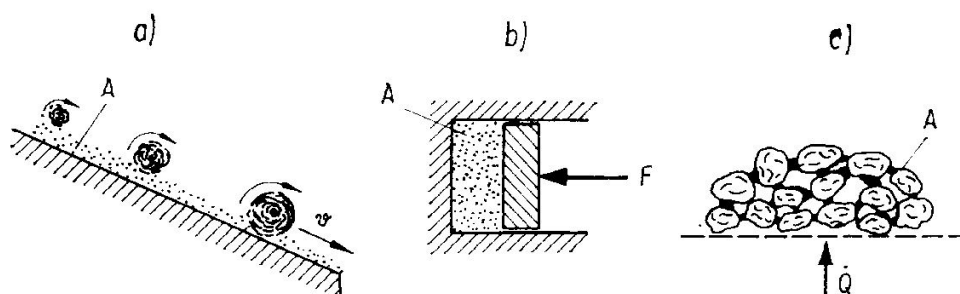
2.2 Agglomerálás

Az agglomerálás az eljárástechnikának egy olyan fajtája, amely ellentéte az aprításnak, vagyis az eljárás folyamán az anyagalmaz fajlagos felülete lecsökken. Előfordul nem szándékos agglomerálódás, amely a tárolás, szállítás, légszeparálás, szitálás, keverés, őrlés során léphet fel. Amikor célunk az agglomerálás, a következő eljárásokat alkalmazhatjuk: brikettezés, pelletálás, tablettázás, granulálás, pelletálás(felépítő agglomerálás) extrudálás és szinterezés(zsugorítás). Az agglomerálás során a finom szemcsés, szálás, rostos anyagok szemcseméretét növeljük préssel, sajtolással, termikus módszerrel, görgetéssel, szabályos illetve szabálytalan agglomerátumok előállításával. Ezen módszerek lényege, hogy a finom szilárd diszperz anyag (porok, zagy finom részecskéi) szemcsemérete a szemcsék közötti kötőerő segítségével nőjön. A szemcseméret növelést az ipar, különböző területein alkalmazzák, mint pl.: érc előkészítés, élelmiszeripar, vegyipar, agrártechnika, kerámiaipar, gyógyszeripar, környezetvédelmi technika, tüzelőanyaggyártás.

[DR.CSŐKE BARNABÁS: Darabosítás, Miskolci Egyetem-Eljárástechnikai Tanszék, tanszéki jegyzet]

Három fő agglomerálási csoportot különítünk el (1. ábra), hogy ezek közül melyiket választjuk, függ a feldolgozni kívánt anyag fizikai és kémiai tulajdonságaitól. Ennek megfelelően a következő eljárások használhatóak:

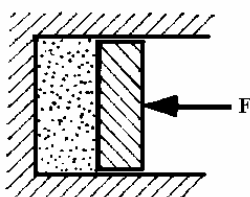
- Felépítő agglomerálás (pelletálás),
- Nyomással történő agglomerálás (brikettezés, tablettázás, pelletálás),
- Szinterezés.



1. ábra. Agglomerálás eljárásai

2.3 Nyomással történő agglomerálás fajtái

Ennél az eljárásnál a nyomással a laza anyag térfogata, a szemcsék átrendeződnek, elérjük hogy az érintkező szemcsefelületeken megfelelő kötőerők léphessenek fel 2. ábra. Egy adott szemcsehalmaznak a tablettázhatósága függ az adott anyag sajátosságaitól, szemcsemérettől, az eljárás körülményeitől, és nagymértékben attól, hogy tartalmaz-e kötőanyagot vagy sem. Az 6. ábra szemlélteti a nyomással történő agglomerálás (tablettázás, brikettálás, kompaktálás) módszerét.



2. ábra. Nyomással történő agglomerálás vázlata

A tablettázás az egyik leggyakrabban alkalmazott eljárás a darabosításra. Brikettek készíthetők ipari mennyiségben különféle anyagokból, mint pl.: szén, koksz, faszén, égetett mész, foszfátérc, vasérc, szálló pernye, szivacsos fém, öntöttvas forgács, sók, biomassa és egyéb anyagok felhasználásával. Szinte az összes finomszemcséjű anyag brikettálható, ha megfelelő körülményeket biztosítunk, illetve elérjük a megfelelő nyomást és a rendelkezésünkre áll a kellő kötőanyag. A megfelelő nyomás hatására elért vonzóerők a van-der-Waals ill. elektrosztatikus erők lehetnek, melyek kis érintkezési távolságoknál és felületszerű érintkezéseknél relatív nagyok lehetnek. Az alkalmazott nyomásértékek 10... 1000 MPa (az iparban ez 50-250 MPa jelent).

[ELTE-ME: „A hazai szén biobrikett gyártás megalapozását szolgáló kutatásfejlesztés” II. Kutatási Részjelentés, 2005.]

2.3.1 Brikettálás:

A tömörítvények egyik leginkább ismert változata a brikett. A brikettálásra alkalmas biomassa tulajdonsága, hogy a halmazsűrűségük viszonylag kicsi, ezért a szállítás, tárolás költsége fajlagosan nagy. Brikettálás hiányában speciális tüzelőberendezésre lenne szüksége a vásárlónak. Biobrikett alapanyaga általában fűrészpor, faforgács, energianövények örleménye, maghéjjak, fa szalma, stb. Ezt figyelembe véve, a brikettálás nem csak energiahordozó gyártása, hanem a növényi hulladékok hasznosításra alkalmas formára alakítása is egyben. A fentebb említett alapanyagok

felhasználása a lakossági tüzelőberendezésekben csak akkor lehetséges, ha biobrikettet gyártunk belőlük.

A biobrikettel szembeni elvárás:

- nagy fűtőértékű (18...18,5 MJ/kg),
- kis nedvesség tartalmú (8-14 %),
- kis hamutartalmú (0,8...7,5 %),
- nagy energiasűrűségű (22...24 MJ/dm³),
- közepes árfekvésű (850...1200 Ft/GJ),
- 20-100 cm² keresztmetszvényű,
- lakossági igényeket kielégítő (darabos, jól kezelhető és tárolható) tüzelőanyag.

A préseléshez felhasznált alapanyag

- nedvességtartalmának 14% alatt kell lennie,
- a leggyakoribb frakció mérete 0,5-1,5 mm között kell, hogy legyen, és 6 mm fölötti méretű az anyag 10-15%-a lehet,
- a tömörítési viszonyszáma frakcióeloszlás és fafaj függvénye.

A gyártás alapelve az, hogy:

- a brikettálandó alapanyagot a tömörítéshez mechanikai úton apró részecskékre bontják (vagy már kis frakcióból áll)
- a tömörítést megfelelő gépek felhasználásával és kötőanyag felhasználása nélkül végzik
- a présgépen fellépő 800-1600 bar nyomás, a préselés közben képződő vagy bevitt hő és a túlnyomás vízgőz hatására megfelelő hatásidő alatt a farészecskék kapcsolatba kerülnek egymással, miközben
- az alapanyag térfogata jelentősen csökken (tömörítési viszonyszám 1:4...1:12)
- a térfogati sűrűség jelentősen nő, meghaladja a természetes fa térfogatsűrűségét
- az alapanyag a kívánt idomú briketté alakul.

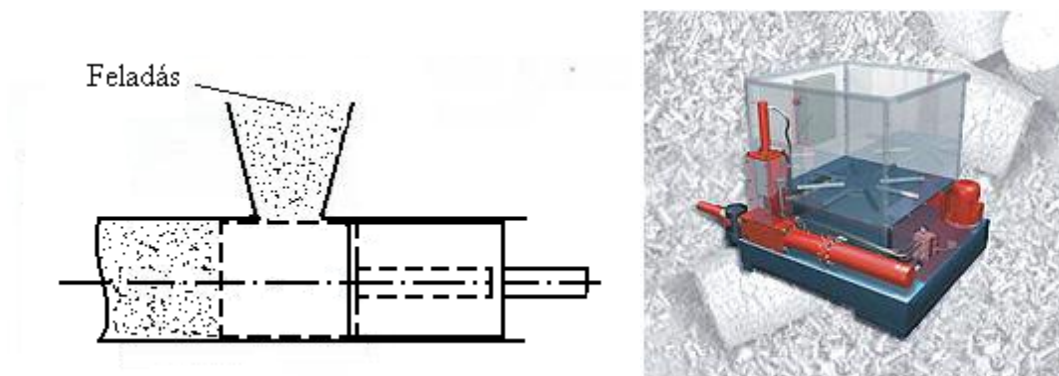
Alapvetően két fajta brikett gyártási eljárást ismerünk. A dugattyús prések melyek 1-2-3 irányú nyomást is kifejthetnek. A csigáspréseknél létezik nyomócsigás és örlőcsigás prés. Az örlőcsigásnál lényegesen nagyobb aprózódás következik be. A préselés 2 fázisban szokott végbemenni. Az elsőben a préscsatornába nyomjuk, ezáltal

előtömörítést hajtunk végre. A másodikban tengelyirányú és a préscsatorna szűkülő keresztmetszete miatt keresztirányú tömörítés is történik. Ha tömörítés során nem juttatunk be plusz hőt ,akkor hideg tömörítést hajtunk végre, melynek során a kapcsolatot a súrlódás tartja fenn. Míg meleg levegő betáplálása esetén a súrlódási erőn kívül, kémiai változások is bekövetkeznek, melyek szintén a brikett létrejöttét segítik elő, ellenben a biobriketthez nem használunk külön kötőanyagot.

Dugattyús prés

A dugattyús présekre általában az jellemző, hogy több dugattyúval és ütemben dolgoznak(3.ábra). Első lépésben előtömörítünk, ezt a kis tömörségű anyagot besajtoljuk a préscsatornába itt további több préselés is hat rá, a leszűkült keresztmetszet illetve keresztirányú préselés, illetve a kitolás irányába is történik egy préselés. A tömörítés közben a brikett és a prés között fellépő súrlódási munka miatt hő termelődik. Ezen felül előfordulhat, hogy plusz hő bejuttatására lesz szükség. A dugattyúk száma a préselések irányának számát adja meg, így az 1 dugattyús egy irányú, a két dugattyús két irányú, míg a három dugattyús három irányból préseli a tömörítvényt. Az egy dugattyús prés lökésenként présel ,azaz minden egyes lökésnél egy új brikettet állít elő, amely a préscsatorna alakját veszi fel, gyakorlatilag létrejön a rúdbrikett. Ahol a löket anyaga találkozik az előző kész brikett síkjával, ott lesz a törési felület ahol majd elválnak egymástól miután kiérnek a préscsatornából. E sík mentén fog szétesni a brikett a tüztérben. Ezen technológia hátránya, hogy igen nagy lökés számmal kell dolgozni a berendezésnek, hogy a kívánatos anyagáramot biztosítani tudja. A brikettálandó anyagnak igen kis szemcseméretűnek kell lennie. A 2 vagy 3 dugattyúból álló gépeket, a nagyobb méretű frakciókkal rendelkező alapanyagok brikettálásra használják. A feladott anyagot az előtömörítő térben 1vagy 2 irányból előtömörítik majd nem végleges keresztmetszetűre, majd ezt a keletkezett tömörítvényt nyomják be a préscsatornába. A hossz és keresztirányú préselés hatására elnyeri

végleges méreteit és sűrűségét. Ezen technológiákból kerül ki az igazi hasáb brikett.



3.ábra: Dugattyús prés[6]

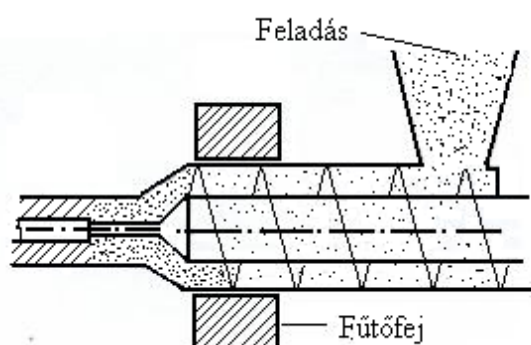
Csigás brikettáló

A csigás brikettáló, mint ahogy azt neve is sejteti, egy csiga segítségével juttatja előre ezáltal kényszerítve tömörödéssre az anyagot(4.ábra). Létezik 1 illetve 2 csigás rendszer. A nyomócsigás, csak 1 csigával van ellátva ezért csak tömörítési funkciója van, és csak minimálisan kisebbíti a szemnagyságot. A két csigás rendszer(másnéven őrlőcsigás brikettáló, ez a nyomócsigás rendszerek egy speciálisabb változata) ezzel szemben a feladott anyag frakció méretét jelentősen lecsökkenti így, a kész brikett alkotó szemcsék frakciói lényegesen eltérnek a feladott anyagétól.

Nyomócsigás

A folyamatos forgást végző csiga, a ház palástján beadagolt alapanyagra kompressziót fejt ki és kitolást. A préscsatorna irányába továbbított anyagra egy előtömörítést fejt ki. A csiga végén az anyag egy kúpos előcsatornába kerül, ezt követően kerül a préscsatornába. A tömörítés már a kúpos részben intenzíven tovább folytatódik. mivel a csiga csak egyik végén van rögzítve. A préselés közben fellép egy oldalirányú erő amely akaratlanul egy oldalirányú kitérést eredményez. Ezen erő egy idő után kárt tenne a berendezésben. Ennek kiküszöbölésére kialakítottak a csiga végén ez kúpos csapot, amely így benyúlik a préscsatornába és megtámaszkodik a brikettben mintha siklócsapággy volna. Ennek a kialakításnak az előnye még ,hogy ezáltal lecsökken a préselési keresztmetszet így szilárdabb brikett hozható létre. A kész brikettben egy folytonos lyuk lesz található, melyet a csigacsap okozott. A feladott anyagnak a leggyakoribb frakcióméretének 1-2,5 mm közöttinek kell lennie, melyet 15 % tartalmazzon, 10 mm feletti szemcsék lehetőleg ne tartalmazzon 10 mm fölötti

szemcséket. A nagy préserők hatására, nagymértékű sűrűsödés lép föl az anyagrészek, csiga-brikett között. Ezt az anyag, illetve csiga fűtésével tudják csökkenteni. Az alapanyagban lévő cellulóz és lignin a hő hatására meglágyul így könnyebben brikettálható, nem lépnek fel akkora préserők. A brikettálás során a frakciók szemnagysága csökken. Ahol eléri brikett hőmérséklete a 200 °C-ot, ott vízzel nem bontható kötések jönnek létre. A nyomócsigával gyártott brikettek nedvszívó képessége kisebb mint a dugattyús brikettálóval előállított.



4.ábra: Csigás prés [7]

Örlőcsigás technológia

Az egyszerű egy nyomócsigás(egy csigás) technológiától abban tér el, hogy itt 2 csiga van és ezek a tömörítésen kívül erőteljes őrlést is végeznek. A csigák egymással párhuzamos állásúak, a menetek egymásba illeszkedők, ezáltal nyírást és forgácsolást végeznek, mindeközben az anyagot a préscsatorna felé továbbítják. A csigák menetemelkedése a préscsatorna felé csökken, ezáltal szektorok jönnek létre a présben. Ez azt jelenti, hogy minden szektorban egyre kisebb menetemelkedésű részek találhatók. Az őrlés és az anyagtovábbítás következtében nagy sűrűsödások lépnek fel, melynek hatására az anyag felmelegszik. A magas hőmérséklet- amely elérheti akár a 150-200 °C-ot- elősegíti az anyag víztartalmának csökkentését. A keletkező vízgőz a préselő falán erre a célra kialakított réseken távozik. Egyes szektorokban az anyag kb. 10 % nedvességtartalmat veszít. A szektorok számát az alapanyag nedvességtartalmához állítják be, így nagy nedvességtartalmú alapanyagot is fel lehet adni, mivel a kész brikettnak megfelelő lesz a nedvességtartalma, mire elhagyja a préscsatornát. A extrudátum itt is a préscsatornában jön létre, ahol a kereszt és

hosszirányú erők fellépnek. A megfelelő csigák és termofokozatok kiválasztásával akár 15-60% nedvességtartalmú anyag is brikettálható. Fás alapanyag esetén(faforgács) akár előaprítás nélkül is feladható a rendszerre. A kész brikettet alkotó szemcsenagyságok, lényegesen kisebbek mint a feladáskori szemcsenagyságok. Az őrlés- préselés közben fellépő hő illetve ennek hatására felszabaduló vízgőz nagymértékben elősegíti az extrudátum létrejöttét.

2.3.2 Pelletálás

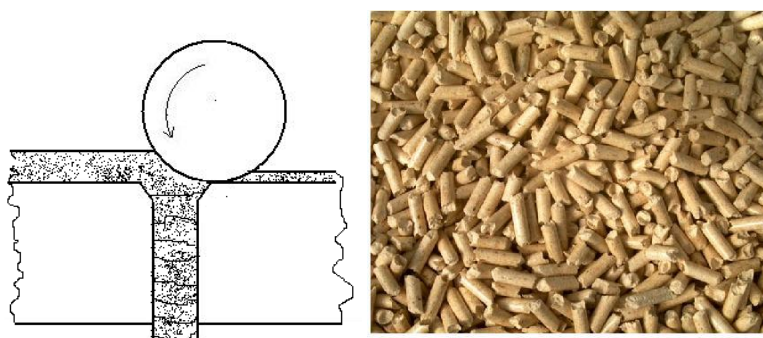
A nyomással történő agglomerálás másik fajtája pelletálás. Régebben a mezőgazdaságban használt, takarmány előállítására kifejlesztett gépeket, az általuk gyártott kedvező méretű pelleték miatt, manapság tüzipelletgyártásra használják(5.ábra). Ez a fajta technológia hivatott kiküszöbölni a brikettek egyik hibáját, mégpedig hogy a legyártott brikettek méretei miatt kis tüzelőberendezésekben nem vagy csak körülményes úton lehetett hasznosítani. Ezen kívül az automatizált betáplálást ezen okból szintén nehezen lehetett megoldani. A pellet gyártás során főleg 5-10mm átmérőjű és 10-25mm hosszúságú végtermék keletkezik, mely a fentebb leírt problémákat áthidalja(6.ábra). Két típusa létezik:a hengermatricás pelletáló és a sík matricás pelletáló. Mindkét esetben van egy járókerék, mely az anyagot átpréseli egy perforált felületen, mindeközben a görgők őrlést is végeznek. A pelletálás során kisebb sűrűségű végterméket($0,7-0,9\text{g/cm}^3$) állítunk elő mint brikettálás($1-1,1\text{g/cm}^3$)során.



5.ábra: Sík matricás pelletáló

A hengermatricás pelletálóban található egy forgó perforált henger, ebben helyezkedik el a bordázott felületű henger, mely a préselést végzi. A pellett sűrűségét a szétterített paplan vastagságával lehet befolyásolni, illetve a feladott anyag mennyiséggel. A paplan vastagságát terelő lemezekkel is lehet szabályozni. A síkmatricás pelletáló

felépítése nagyon hasonló, ugyanis itt a bordázott görgők perforált síkmatricán préselik át az alapanyagot. Az anyagágy (paplan) vastagságát itt is terelőlemezekkel befolyásolják. A középén található főtengelyhez vannak rögzítve sugárirányban a görgők, melyek a préselésen kívül nyíró igénybevételnek, ezáltal őrlésnek is kiteszik az anyagot. A furatokba bepréselt anyagra tengelyirányú illetve a matricafalra sugárirányú nyomást fejt ki, melynek hatására ismételt illetve tartós tömörítés következik be. A kész pelletet a főtengelyre megfelelő magasságban rögzített, a tengellyel együtt forgó törőélek törik le, majd hull a szállító berendezésre, mely elszállítja a gép alól.



6.ábra: Pelletálásgyártás vázlata, kész pellet

[Bai Attila: A biomassza energetikai hasznosítása, Dr. Tóth László, Dr. Sembery Péter
(szerk.): Hagyományos és megújuló energia]

A pellet préselése

A pelletálást megelőzően a biomasszához 1-2%-nyi kb. 70 °C hőmérsékletű gőzt adagolnak, a meleg hatására a biomasszában lévő lignin felszabadul mely elősegíti a pellet létrejöttét.

A síkmatricás pelletprésbe juttatott anyag a körpályán haladó görgők alá kerül, melyeknek feladata hogy átréseljék az alapanyagot a perforált síkmatricán. A görgők minden egyes fordulattal újabb anyagot préselnek a matrica lyukaiba, így létrehozva a pelletet. A matrica alján kések vagy törők forognak, melyek a kész pelletet leválasztását szolgálják.

A pellett minőségét befolyásoló tényezők:

- az anyag megfelelő homogenitása,

- a présmatrica súrlódása és fizikai paraméterei (lyukak száma, lyuk hossza, lyukak geometriai alakja és átmérője),
- a görgők és a matrica felületi jellemzői,
- a présmatricán lévő anyag vastagsága,
- a görgők fordulatszáma,
- a görgő és a matrica közötti távolság (ez a befektetett energia igényre is kihat).

A pelletprések típusai:

Létezik síkmatricás és gyűrűs pelletáló berendezések. A síkmatricás pelletáló, ahogy a neve is mutatja vízszintes helyzetű és ezen forgatnak 1-2-3 csonkolt kúp alakú, barázdált felületű görgő, melyek a préselést végzik. A hengermatricás pelletáló esetén a rendszer függőleges és a görgőket egy perforált palást fogja körül, ezen keresztül történik a pelletálás (8. ábra).



8. ábra Hengermatricás pelletáló

A pellet hűtése:

A kész pelletek magas hőmérséklettel rendelkeznek kb. 90 C, ilyenkor még sérülékenyebbek. A szilárdítást általában ellenáramú hűtéssel szokták megoldani, mivel így lassabban hűl, ezáltal a hirtelenhűlés hatására nem következik be minőségromlás. Ezután egy rázóasztalra juttatják a pelletet, így a ráakódott por, illetve selejt pellet leválasztásra kerül. Ezt visszajuttatják a gyártási folyamatba. A kész pelletek általános mérete 6-8 mm átmérőjű és kb. 2-3 cm hosszú.

Pellet csomagolása:

A csomagolás a felvevő igényektől függően különböző méretben történhet. 15-25 vagy akár 500-1000 kg kiszerelést is gyárthatnak.

2.4 Alapanyagok előkészítése

2.4.1 A pellet gyártás alapanyagának szárítása

A pellet alapanyagának szánt biomassza nedvesség tartalma meghaladja a kb.10-12%, akkor az anyag szárítást igényel. Erre azért van szükség, mert az anyag így könnyebben kezelhető, nem növeli a gyártás energiaigényét, illetve a kész termék minősége is javul ezáltal. Erre a feladatra használhatunk szalagos szárítót vagy kb.700 kg/h feletti anyagáram esetén dobszáritót(7.ábra), esetleg fedett, zárt helyen(száritó tároló pajta) természetes szárítással, vagy levegő befúvással(a nedvességtartalmat figyelembe véve akár forró levegőt).

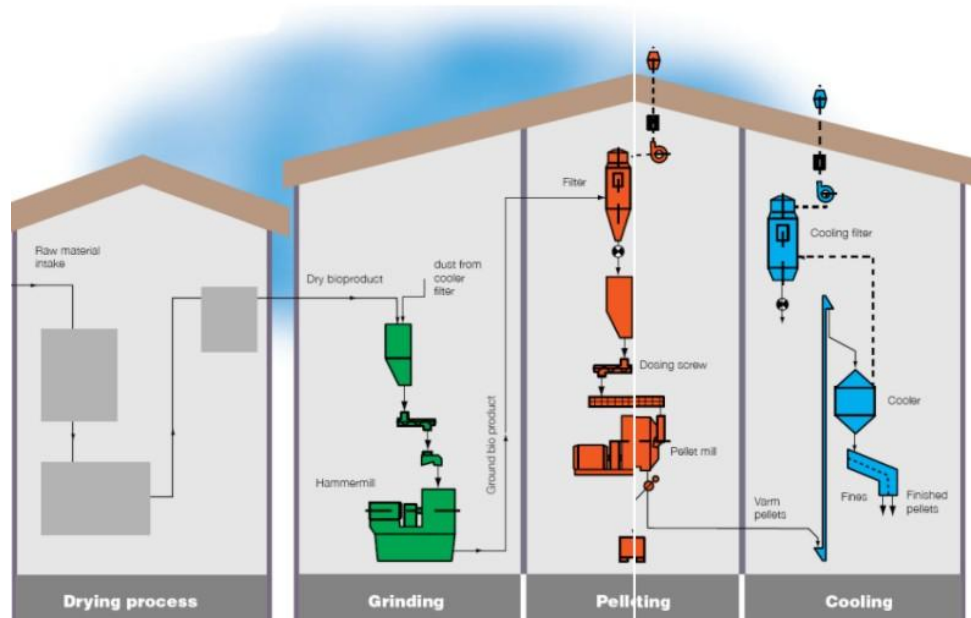


7.ábra Dobszáritó

2.4.2 Alapanyag tisztítása és aprítása

Az alkalmazott alapanyag(főleg ha újrahasznosított fáról van szó) tartalmazhat szennyeződések (pl. szögek, fém kapcsok), melyek károsíthatják a berendezéseket, így ezek leválasztása elkerülhetetlen. A mágneses szeparátorokat vagy egyéb leválasztókat, a szárítást követően célszerű beépíteni. Az anyagot a megfelelő homogenitás érdekében, illetve szemcsenagyság érdekében elő kell aprítani. Ez történhet 1 vagy több lépcsőben is, az így kapott termék 0,5-1,5 mm közötti méretű. Ez már alkalmas a pelletálásra. Az aprítóból pneumatikus úton kerül egy előtárolóba.

2.5 Működő technológiák



9.ábra: Technológia

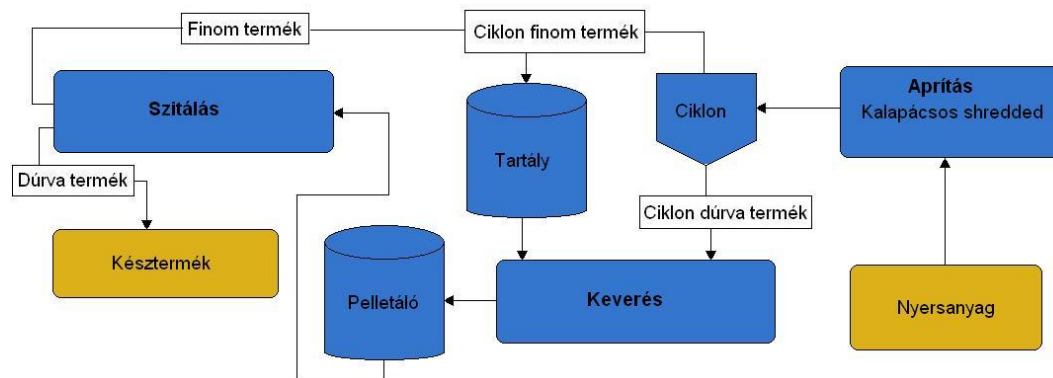
[Hollik és Társa Bt. - www.hollik.hu – 2011.10.20]

A brikettgyártás technológiai lépései közel azonosak a pellett gyártásával, viszont a feladott szemcsenagyság nem olyan apró, így nem igényel olyan szintű előaprítást(technológia és technológia között minimális eltérések lehetnek, pl. a késztermék szitálását követő, hűtőberendezés elhagyása).

Polgárdi pelletáló üzem technológiája:

1. Aprítás
2. Ciklon(finom termék leválasztása)
3. Keverés
4. Pelletálás
5. Szitálás(finom termék leválasztása, ez visszakerül a keverésbe)
6. Készpellet

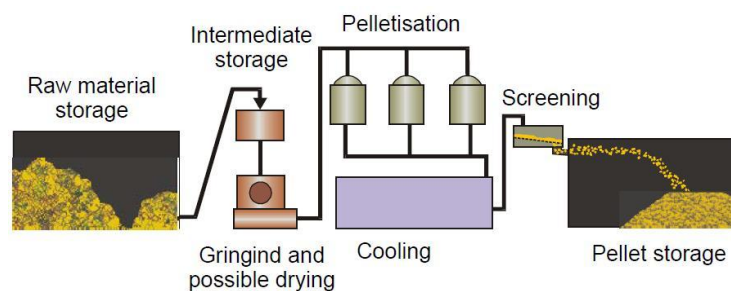
Az üzem kapacitása a feladástól függően 600...1000 kg/h.



10.ábra: Polgárdi pelletáló üzem technológia vázlata

Turenki Factory (Finnország):

1. Nyersanyag betárolás
2. Átmeneti tárolás
3. Örlés és esetleges szárítás
4. Pelletálás
6. Hűtés
7. Kész pellet tárolása



11.ábra: Turenki Factory technológia vázlata

[OPET_report5_june2002.pdf: Wood pellets in Finland –technology, economy, and market]

2.6 Brikettek minősítése

A brikett minőség jellemzésére a törési szilárdság és a brikett sűrűség a legalkalmasabb. Gyakorlati szilárdságvizsgálatok elvégzésére több lehetőség is adódik. A mindenkori szilárdsággal kapcsolatos követelményeknek megfelelően azok vizsgálatára technológiai tesztmódszereket alkalmaznak. Sokat a gyógyszeripar érdekének megfelelően fejlesztettek ki (tablettavizsgáló berendezés), viszont más termékek érdekében is alkalmazzák. Ezen felül meghatározó még a kész brikett hamutartalma, mely az égést követően visszamarad, így ez alapján a fűtőérték is meghatározható. A kész briketteket morzsolódás szempontjából is vizsgálják. A lemorzsolódás azt jelenti, hogy mennyi törmelék keletkezik bizonyos mechanikai terhelés hatására, ez is utal a kész brikett szilárdságára. A kémiai összetétel is fontos, mivel a kén illetve klórtartalom, égéstermökként kikerül a környezetbe, mely szennyező anyagnak minősül.

3 Berendezések bemutatása

A biohulladékok köztudottan alkalmasak briketálásra, kokszal való bekeverés után is megfelelő szilárdságú brikettek állíthatók elő. Az ezzel kapcsolatos kísérleteimet, ebben a fejezetben mutatom be.

3.1 INTÉZETI DUGATTYÚS PRÉS

A kísérleteimet a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézete által kifejlesztett, és legyártott hidraulikus brikettálóberendezéssel folytattam le, mely a 12.ábrán látható.. A berendezés működtetését egy hidraulikus tápegység végzi. Két darab hidraulikus dugattyú található benne, a préselésre használt felső dugattyú 200 kN maximális erő kifejtésére képes. Az alsó a kész brikett kiemelését végzi. A berendezés által mért adatokat, egy hozzá kapcsolt számítógép rögzíti, mely ezáltal lehetővé teszi az eredmények kiértékelést. A felső dugattyújában egy 20 tonnás Kaliber gyártmányú erőmérő cella van elhelyezve, az út mérését egy mágnes csíkos inkrementális elmozdulás mérő végzi. A présnek fokozatmentesen állítható a maximális nyomástartománya, a dugattyú sebessége(5-35 mm/s) és a hőmérséklete, az üzemi viszonyok megfelelő szimulálása érdekében- 20-140 °C tartományban szabályozható(1.táblázat).

[Nagy Sándor: Agglomeration of fine powders used in metallurgy, Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai intézet Előkészítéstechnikai Intézeti Tanszék, Miskolc]

1. táblázat: Dugattyús prés paraméterei

Fmax	200 kN
vmax	30 mm/s
Hőmérséklet tart.	20 - 140 °C
Tabletta átmérő	25 ill. 40 mm
Távolságmérés	Inkrementális
Adatfeldolgozás	PC, LabWindows



12. ábra: Intézeti dugattyús prés

3.2 Retsch vágó malom

Az egyik biomasszát vörösfenyő képezte, ennek aprítása szükséges volt. Az Retsch Heavy-Duty Cutting Mill SM 2000 -s vágómalomba adtam fel(13.ábra), amelynek a feladó garata egy másik garatba torkollik, ezáltal szabályozhatóbbá válik a feladás a rendszerre. A vágótérben egy vízszintes tengelyre van rögzítve egy henger, melyen egymáshoz képest 120°-ban álló 3 vágókés található. 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 kis méretű szemcsék jutnak át, melyek még nem megfelelőek, azok tovább aprítódnak.



13.ábra: Retsch SM 2000 vágómalom

3.3 A választott biomassák

A biohulladékok köztudottan jól brikettálhatóak. Ezen kívül adott is, mint a mai nagyméretű erdőirtásokból keletkező felesleges fahulladék (kisméretű ágak, levelek). A magas gyantatartalmat figyelembe véve alkalmasak lehetnek a fenyőerdők kitermelésekor keletkező vékony tűlevelek, ágak. Olcsó brikett alapanyag, mivel jó hatásfokkal(brikettálhatósággal), ezért jó az ár érték aránya. A kísérlet szempontjából 3 féle biomasszát választottam ki.

A legegyszerűbben beszerezhető és legnagyobb mennyiségben rendelkezésre álló, ezen kívül egész évben termelődő a fűrésztelepek vagy bútorgyárak által termelődött fűrészpor, mely számukra mellékterméknek minősül(bükk, tölgy).

Hasonló, ellenben speciálisabb anyagot is választottam a szemcseméret alapján különválasztott fűrészport(gőzölt bükk, kőris fa), amelynek az volt a szerepe, hogy nem egy a fűrészipar által előállított teljes szemcseméret tartomány lefed, hanem annak bizonyos méretű frakciói. Így egy gyártott fűrészport állítottam elő amelynek szemcseméret tartománya merőben eltér a hagyományostól, ugyanis csak 1 mm alatti, illetve 2 mm feletti szemcseméretű fűrészpor került bele arányosan 50- 50 % - ban.

A biomassza egy különleges képviselőjét is bevontam a kísérletbe mégpedig a vörösfenyőt. Ezt azért találtam fontosnak, mert az erdő írtások során termelődő, a törzsekről lecsupaszított ágak illetve tűlevelek nagy gyantatartalommal rendelkeznek. Ez a különleges, természetes anyag, ragasztó hatással rendelkezik, így a brikett gyártásánál ezt az előnyt kihasználva szilárdabb brikettek állíthatók elő ugyanakkora biomassza tartalom mellett.

A biomassza és a kokszt egyaránt elégethető, jó fűtőértékkel rendelkezik. Mivel a két anyagnak ugyanazok a hibái, jelen esetben szállítványozási nehézségek illetve a tüztérbe való bejuttatás, így a kettő keverékének brikettálása kézenfekvő megoldás. A biomassza ezen kívül segít a kokszt megkötésében is, úgy hogy a kokszt körül mátrixot képez. Ez a módszer azért is szükséges, mert a kokszt, jelen állapotában önmagában nem áll össze préselés után kész briketté.

3.4 Szemcseméret elemzések

A biomasszák szemcseméret eloszlását egységesen 4, 2, 1, 0.5 és 0.25 mm kézi szítasorral végeztem el.

A kokszt szemcseméret elemzését is szintén kézi szita sorral végeztem el. A mintát feladtam egy 3, 2.5, 1.6, 1, 0.8, 0.5, majd egy 0.25 mm-es szitára. A 0.25 mm frakciót további vizsgálatokra, amelyet lézeres szemcsenagyság elemző vizsgálóval végeztettem el.

4 Kísérleteim faipari biomassza brikettálása, pirolízis kokszt kísérletében

Az alábbi fejezetben szemléltetném a kísérleteim eredményét.

4.1 A kiinduló anyagok paraméterei

Alapanyagok nedvesség tartalma

Az anyagokból üveg mérő edény kimértem 2-2 mintát, majd 2 órára 105 °C-on szárítottam. Ezután a kivett mintákat kivettem hűlni fedővel együtt. Majd 10 percre fedő nélkül exikátorba helyeztem. Ezután a lemért tömegekből visszaszámoltam a tömeg veszteséget, mely a nedvesség tartalmat jelentette.

2. táblázat: Komponensek nedvességtartalma

Nedvességtartalom eredmények								
	Tanszéki minta		Fatelepi minta		Vörös fenyő		Koksz	
Tanszéki minta	m _I minta	m _{II} minta	m _I minta	m _{II} minta	m _I minta	m _{II} minta	m _I minta	m _{II} minta
m _{nedves} [g]	5,43	5,96	7,51	6,55	2,65	3,28	11,64	11,29
m _{száraz} [g]	4,8	5,34	7,05	6,16	2,11	2,61	11,52	11,16
Nedvességtartalom[%]	11,6	10,4	6,12	5,95	20,38	20,43	1,03	1,15
Átlagos nedvességtartalom	11 %		6,04 %		20,41%.		1,09%.	

Biomasszák szemcseméret elemzése

A biomasszák közül a vörösfenyőnek volt szüksége előkészítésre. A nagyméretű vörösfenyő mintát, 4-es majd 2 mm szitával ellátott Retsch Heavy-Duty Cutting Mill SM 2000 típusú vágómalommal aprítottam, 2 mm alá. A tömegáram kb. 1,2-1,5 kg/h anyagárammal lehet számolni.

3.táblázat: Biomasszák szemcseméret elemzése

	Tanszéki faminta			Fatelepi minta			Vörösfenyő		
Szítaméret (mm)	tömeg (g)	F(x)	Tömeg (%)	tömeg (g)	F(x)	Tömeg (%)	tömeg (g)	F(x)	Tömeg (%)
>4	15,97	1	3,2957	8,15	1	1,65	-	-	-
2-4	41,04	0,96704	8,4693	7,06	0,9835	1,44	nem mérhető		
1-2	79,42	0,88235	16,3897	27,55	0,9691	5,59	1,15	1	10,28
0,5-1	142,7	0,71845	29,4487	190,89	0,9132	38,81	5,18	0,89721	46,29
0,25-0,5	149,72	0,42396	30,8974	180,61	0,5251	36,72	3,66	0,4343	32,71
0-0,25	55,72	0,11499	11,4988	77,72	0,1579	15,79	1,2	0,10723	10,72
	Σ = 446,7		100	Σ = 491,98		100	Σ = 11,19		100

Koksz szemcseméret elemzése

A koksz szemcseméret eloszlását kézi szita sorral végeztem. 200 g mintát feladtam egy 3, 2,5, 1,6, 1, 0,8, 0,5, majd egy 0,25 mm-es szitára.

4.táblázat: A kokszpor szemcseméret elemzése

Szítaméret (mm)	Tömeg m_i (g)	—	F (x)	Tömeg (%)
>3	21,45	0,1105	1	11,05
2,5-3	6,1	0,0318	0,8895	3,18
1,6-2,5	18,6	0,097	0,8577	9,7
1-1,6	14,4	0,0751	0,7607	7,51
0,8-1	10,6	0,0553	0,6856	5,53
0,5-0,8	4,2	0,0219	0,6303	2,19
0,25-0,5	22,2	0,1157	0,6084	11,57
< 0,25	94,5	0,4927	0,4927	49,27
	$\Sigma = 191,8$			100

A nevezetes szemcse méretek a következők lettek:

- $X_{80}=1,95\text{mm}$
- $X_{50}=0,26\text{mm}$

4.2 Szisztematikus vizsgálatsor

A kokszot brikettálásra előkészített állapotban kaptam, így további előkészítést nem igényelt. Közvetlenül lehetett bekeverni a biomasszákkal és brikettálni. Az 5.táblázat mutatja a szisztematikus kísérleti terv alapján készült tablettafajtákat és mennyiségeket.

5.táblázat: Az elkészített brikettek nyomás és biomassza tartalma.

Elkészült tabletták						
db (darabszám)		Préselési nyomásérték [MPa]				
	Biomassza tartalom [%]	50	100	150	200	250
Fatelepi minta	20	4 db	4 db	4 db	4 db	4 db
	30	4 db	4 db	4 db	4 db	4 db
	40	4 db	4 db	4 db	4 db	4 db
	50	4 db	4 db	4 db	4 db	4 db
Vörösfenyő	30	0 db	0 db	4 db	0 db	0 db
	40	4 db	4 db	4 db	4 db	4 db
	50	0 db	0 db	4 db	0 db	0 db
Tanszéki minta	30	0 db	0 db	4 db	0 db	0 db
	40	4 db	4 db	4 db	4 db	4 db
	50	0 db	0 db	4 db	0 db	0 db

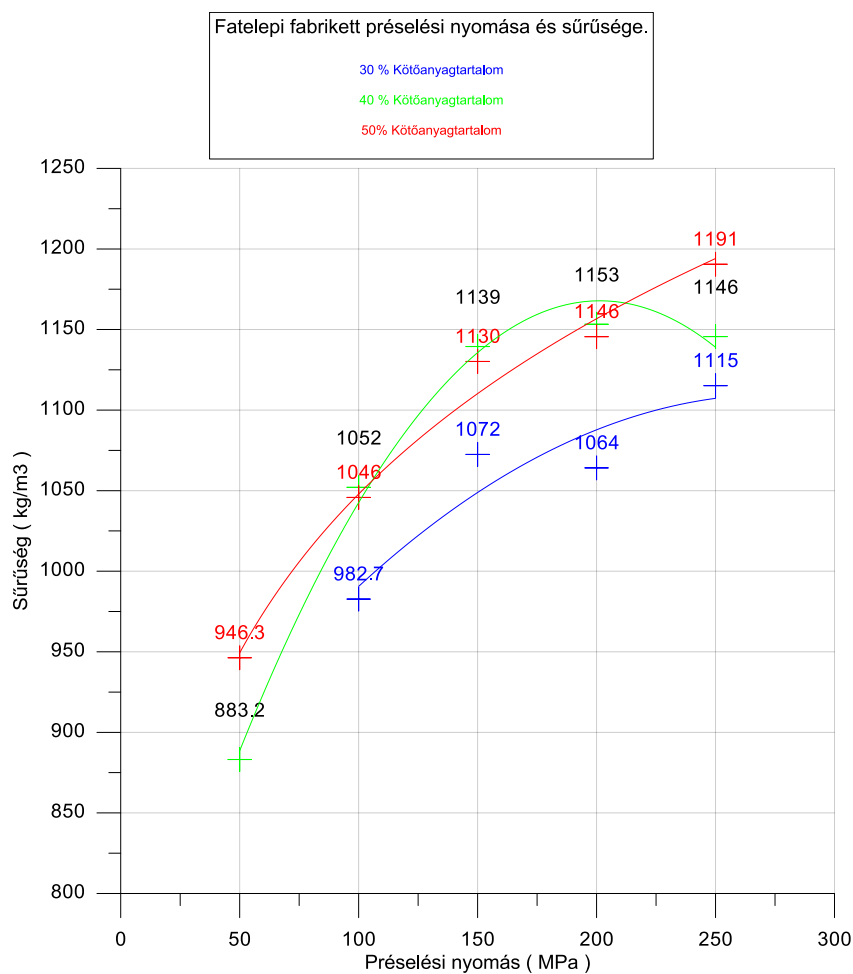
4.3 Elvégzett kísérletek eredményei

Fatelepi minta Sűrűség eredményei

6 .táblázat: Fatelepi faminta sűrűségei

Fatelepi faminta Sűrűségek (kg/m ³)			
Préselési Nyomás (MPa)	Biomassza tartalom (%)		
	30	40	50
50	-	883,1538	946,2992
100	982,7161	1052,064	1045,799
150	1072,487	1139,455	1130,195
200	1064,136	1153,276	1145,577
250	1115,175	1145,629	1190,519

A sűrűség növekedést a préselési nyomás emelésével értem el, 40 % biomassza tartalomnál a nagy nyomás után, a préselési erő megszüntetésével, a tablettá rugalmasan kitágult („visszarugózott”), valószínűsíthető, hogy emiatt a sűrűsége minimálisan de lecsökkent az előző nyomáson mérthez képest.



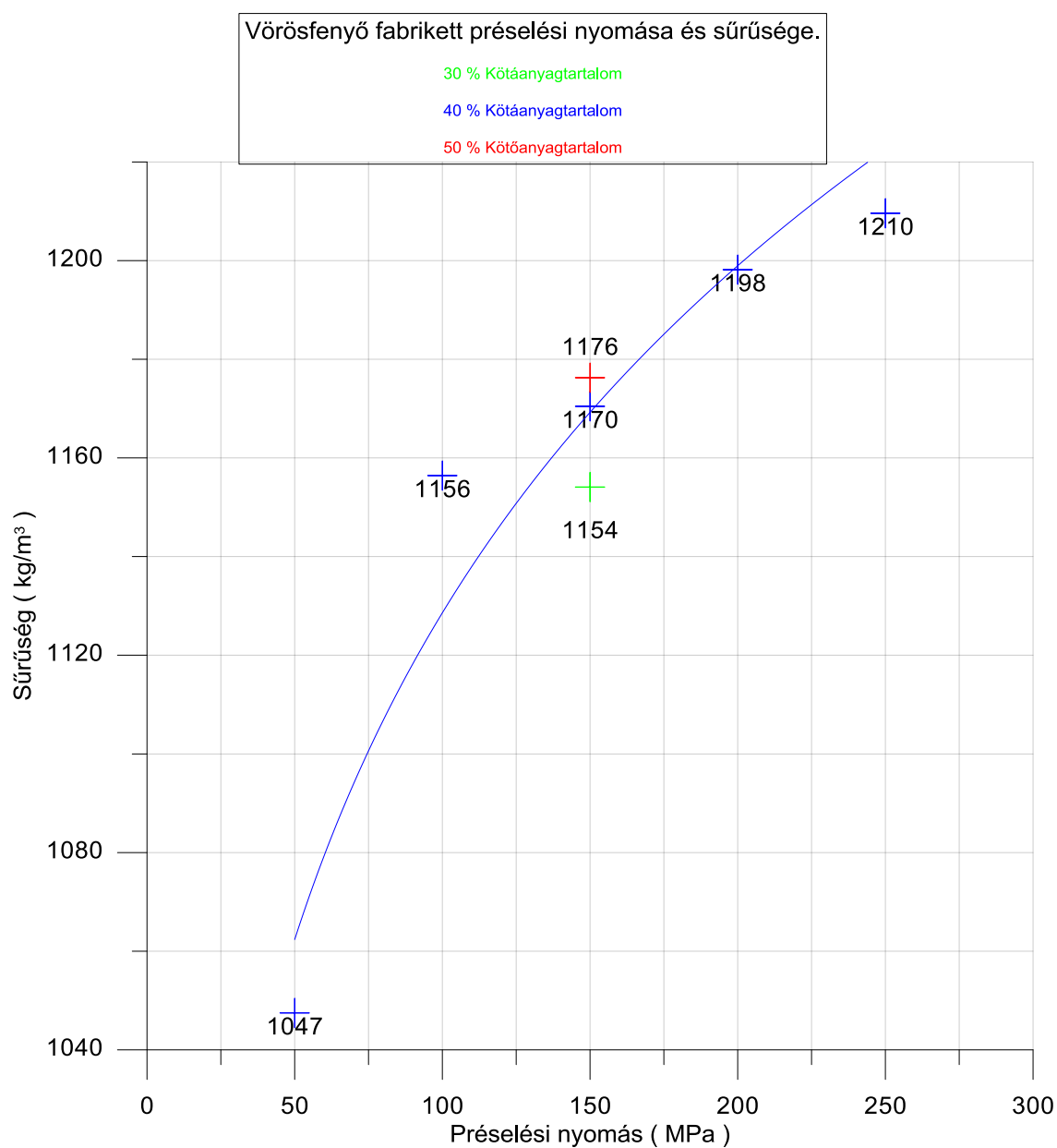
14.ábra: Fatelepi faminta sűrűségei

Vörösfenyő Sűrűség eredményei

7.táblázat: Vörösfenyő minta sűrűségei

Vörösfenyő Sűrűségek (kg/m ³)			
Préselési Nyomás (MPa)	Biomassza tartalom (%)		
	30	40	50
50	-	1047,484	-
100	-	1156,416	-
150	1154,089	1170,452	1176,258
200	-	1198,156	-
250	-	1209,589	-

Mint ahogy az várható volt, a préselési nyomás illetve a biomassza tartalom növelésével a legyártott tabletták sűrűsége nőtt.



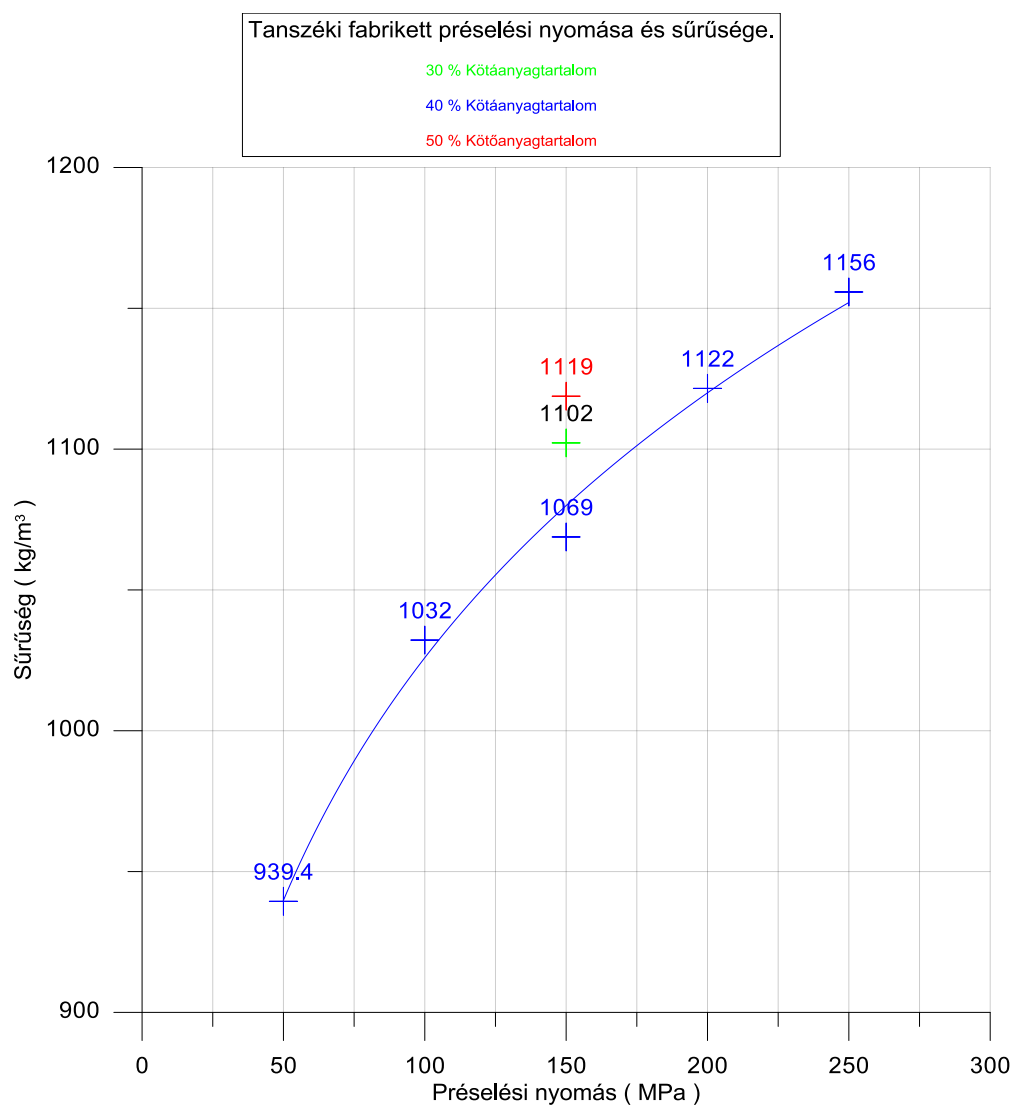
15.ábra: Vörösfenyő minta sűrűségei

Tanszéki minta Sűrűség eredményei

8.táblázat: Tanszéki faminta sűrűségei

Tanszéki faminta Sűrűségek (kg/m ³)			
Préselési Nyomás (MPa)	Biomassza tartalom (%)		
	30	40	50
50	-	939,44	-
100	-	1032,197	-
150	1102,206	1068,812	1118,793
200	-	1121,568	-
250	-	1155,795	-

Az alapanyag a bekeverést követően az edényben már szeparálódhatott, így több finomabb rész keveredhetett bele az egyes frakciókba, feltehetőleg emiatt lehet, hogy a 30 %-os biomassza tartalomnál magasabb értéket kaptam.



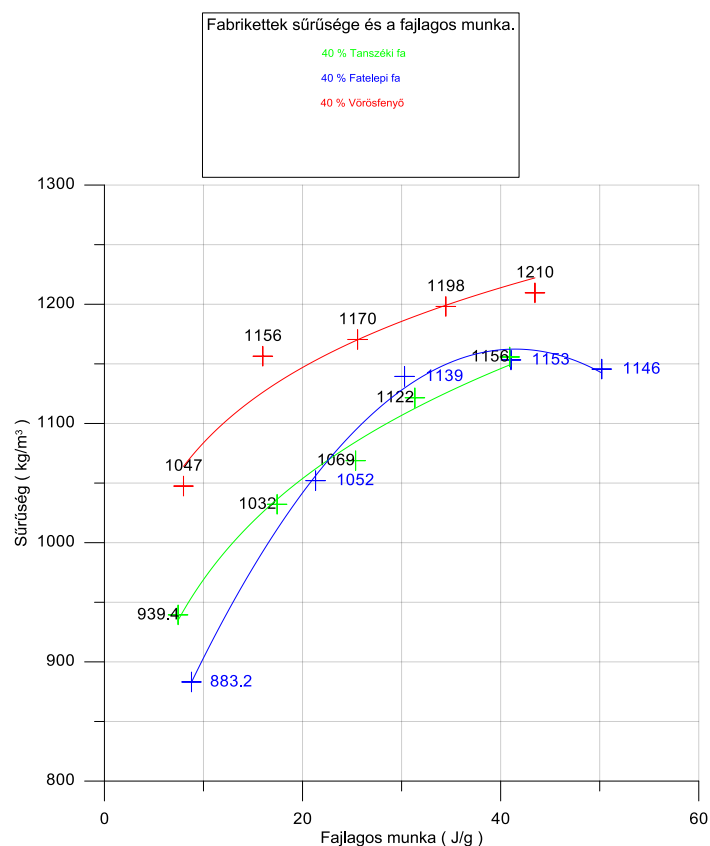
16.ábra: Tanszéki minta sűrűségei

40 %-os Fa brikettek sűrűség- fajlagos munka

9.táblázat: 40% biomassza tartalmú brikettek sűrűségei

Fa brikettek Sűrűség - Fajlagos munka						
Préselési Nyomás (MPa)	Biomassza tartalom (%)					
	40 % Fatalepi minta		40 % Tanszéki minta		40 % Vörösfenyő	
	Fajlagos munka (J/g)	Sűrűség (kg/m ³)	Fajlagos munka (J/g)	Sűrűség (kg/m ³)	Fajlagos munka (J/g)	Sűrűség (kg/m ³)
50	8,789382	883,1538	7,435472	939,44	7,982636	1047,484
100	21,31461	1052,064	17,43276	1032,197	15,98683	1156,416
150	30,29751	1139,455	25,35825	1068,812	25,55585	1170,452
200	41,04373	1153,276	31,33821	1121,568	34,46344	1198,156
250	50,20548	1145,629	40,91705	1155,795	43,46202	1209,589

A vörösfenyő esetében ahogy az várható volt(gyanta tartalom miatt is), a nagyobb sűrűség előállításához arányosan nagyobb fajlagos munka szükséges, ez az állapot minden egyes préselési nyomás érték mellett fennáll. Ugyanígy arányosan növekednek a tanszéki faminta fajlagos munkaiértékei is a sűrűség növekedésével, bár jóval kisebb mértékben. Azonos sűrűség (pl. 1050 kg/m³) eléréséhez a vörösfenyő esetén volt szükség a legkisebb munkára (8 J/g), a másik két anyag esetén a munkaszükséglet 19 ill. 21 J/g. A fatalepi minta a legmagasabb nyomás értéknél tapasztalható sűrűségcsökkenése a már említett préselési utáni rugalmas kitágulással magyarázható.



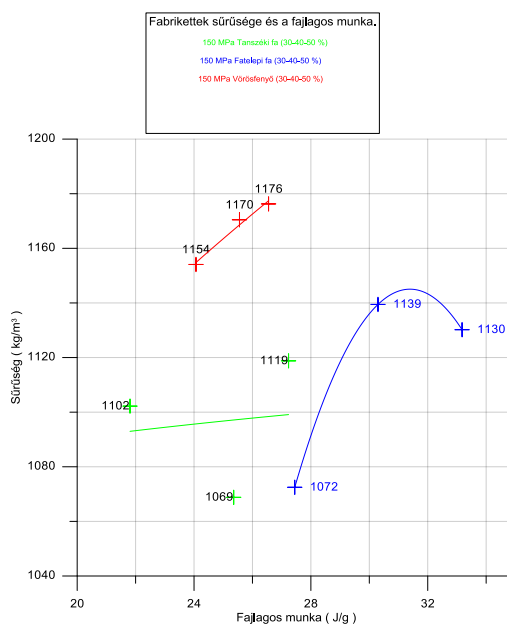
17.ábra: 40% biomassza tartalmú brikettek sűrűségei

150 MPa-os Fa brikettek sűrűség- fajlagos munka

10.táblázat: 150 MPa nyomáson előállított brikettek sűrűségei

Fa brikettek Sűrűség - Fajlagos munka						
Préselési Nyomás (MPa)	Biomassza tartalom (%)					
	150 MPa-os Fatelepi minta		150 MPa-os Tanszéki minta		150 MPa-os Vörösfenyő	
	Fajlagos munka (J/g)	Sűrűség (kg/m ³)	Fajlagos munka (J/g)	Sűrűség (kg/m ³)	Fajlagos munka (J/g)	Sűrűség (kg/m ³)
30	27,44809	1072,487	21,80856	1102,206	24,06708	1154,089
40	30,29751	1139,455	25,35825	1068,812	25,55585	1170,452
50	33,17552	1130,195	27,23603	1118,793	26,55128	1176,258

A tanszéki mintánál tapasztalható, hogy 30%-os biomassza tartalom esetén a sűrűség nagyobb lett. Ez a kis biomassza tartalommal magyarázható, mivel a több koks nagyobb tömeget eredményez, így a sűrűség is nagyobb lesz. A 40% biomassza tartalomnál a több fa ugyan a sűrűséget lecsökkentette, de nagyobb fajlagos munkára volt szükség. Az 50%-os keveréknél tapasztalható, hogy a biomassza megfelelő anyag a koksszal való brikettálásra, mert a koks beépült a biomassza által képződött mátrixba. A nagyobb biomassza tartalom miatt a több fűrészport összesajtolni nagyobb munkára volt szükség, ellenben kisebb és tömörebb lett ennek következtében. A fatelepi minta sűrűsége a már fentebb is említett préselés utáni rugalmas kitágulás miatt lett feltehetően kicsi, ellenben a nagyobb préselési nyomás miatt a fajlagos munka viszont nőtt. A vörösfenyőnél, mivel ez tűnik a legjobb biomasszának, így várható volt, hogy a biomassza tartalom növelésével a sűrűség és a fajlagos munka is egyértelműen növekedni fog.



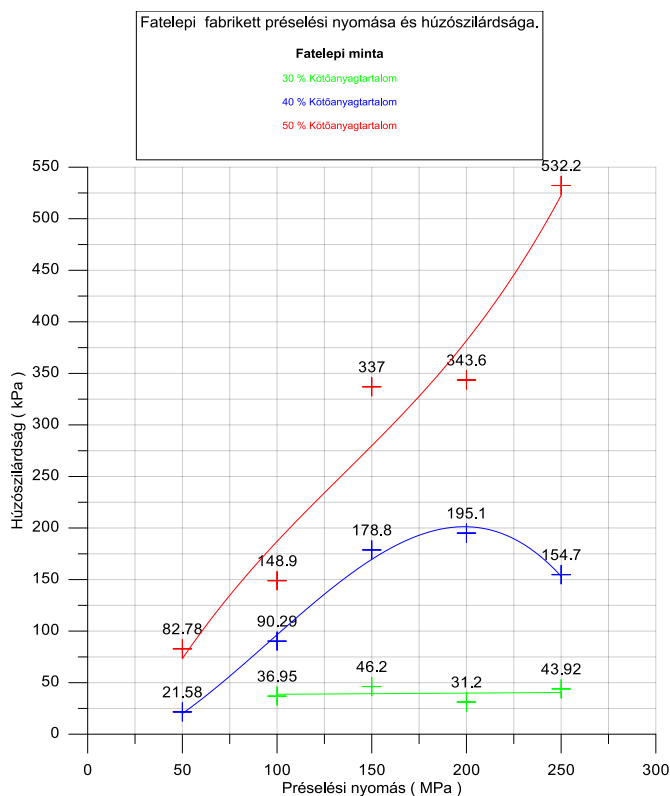
18.ábra: 150 MPa nyomáson előállított brikettek sűrűségei

Fatelepi minta húzószilárdság – préselési nyomás

11.táblázat: Fatelepi minta húzószilárdsága

Fatelepi faminta Húzószilárdság			
Préselési Nyomás (MPa)	Biomassza tartalom (%)		
	30	40	50
	Húzószilárdság (kPa)	Húzószilárdság (kPa)	Húzószilárdság (kPa)
50	-	21,5777	82,7794
100	36,9482	90,2861	148,88
150	46,1971	178,754	336,971
200	31,2048	195,087	343,586
250	43,9177	154,743	532,224

30%-os biomassza tartalomnál a növekvő préselési nyomás ellenére sem tapasztaltam szilárdságbeli növekedést, így ez a biomassza tartalom nem elegendő. Ezen felül a nagyobb nyomással csak a befektetett munka nő, a brikett minősége csak minimálisan javul. 40% biomassza tartalomnál jól láthatóan növekszik a húzószilárdság, ám a 250 MPa nyomással előállított brikettnél a tabletta már rugalmasan kitágul a préselő megszűntével, ezáltal mind a sűrűsége mind a húzószilárdsága csökken. Az 50% biomasszatartalomnál egyértelműen növekszik a húzószilárdság, bár a 150 és 200 MPa értéknél csak kis mértékben. Ez valószínűleg a keveréskor kialakuló nem tökéletes homogenitással magyarázható.



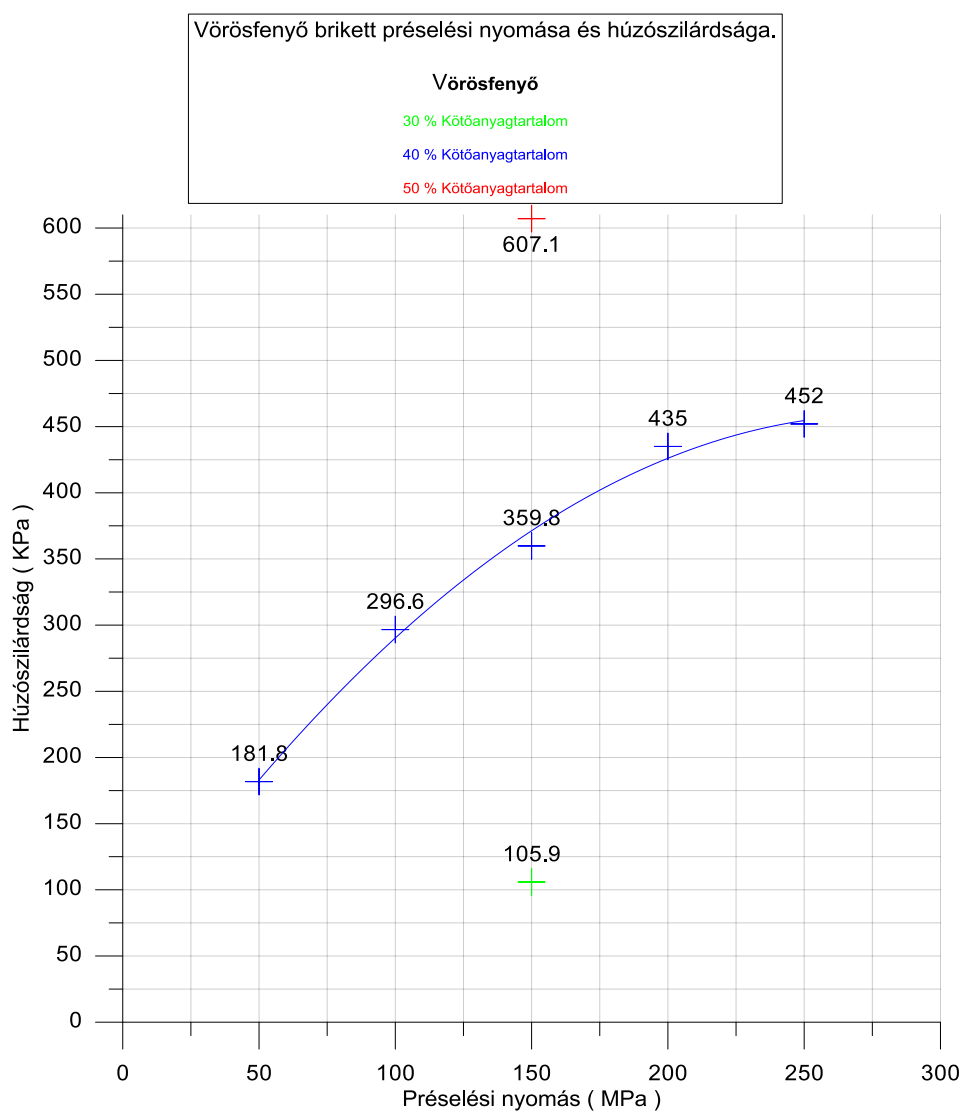
19.ábra: Fatelepi minta húzószilárdsága

Vörösfenyő minta húzószilárdság – préselési nyomás

12.táblázat: Vörösfenyő minta húzószilárdsága

Vörösfenyő minta Húzószilárdság			
Biomassza tartalom (%)			
Préselési Nyomás (MPa)	30	40	50
	Húzószilárdság (kPa)	Húzószilárdság (kPa)	Húzószilárdság (kPa)
50	-	181.758	-
100	-	296.633	-
150	105.914	359.845	607.091
200	-	435.016	-
250	-	452.016	-

A vörösfenyővel készült tabletták esetén nagyon szépen látható, hogy mind a préselési nyomás növelésével, mind a biomassza tartalom növelésével arányosan [ezen összefüggés szerint $Y = 49.4884 + 2.933149429 \cdot X - 0.005251171429 \cdot \text{pow}(X,2)$] nő a kész brikettek húzószilárdsága.



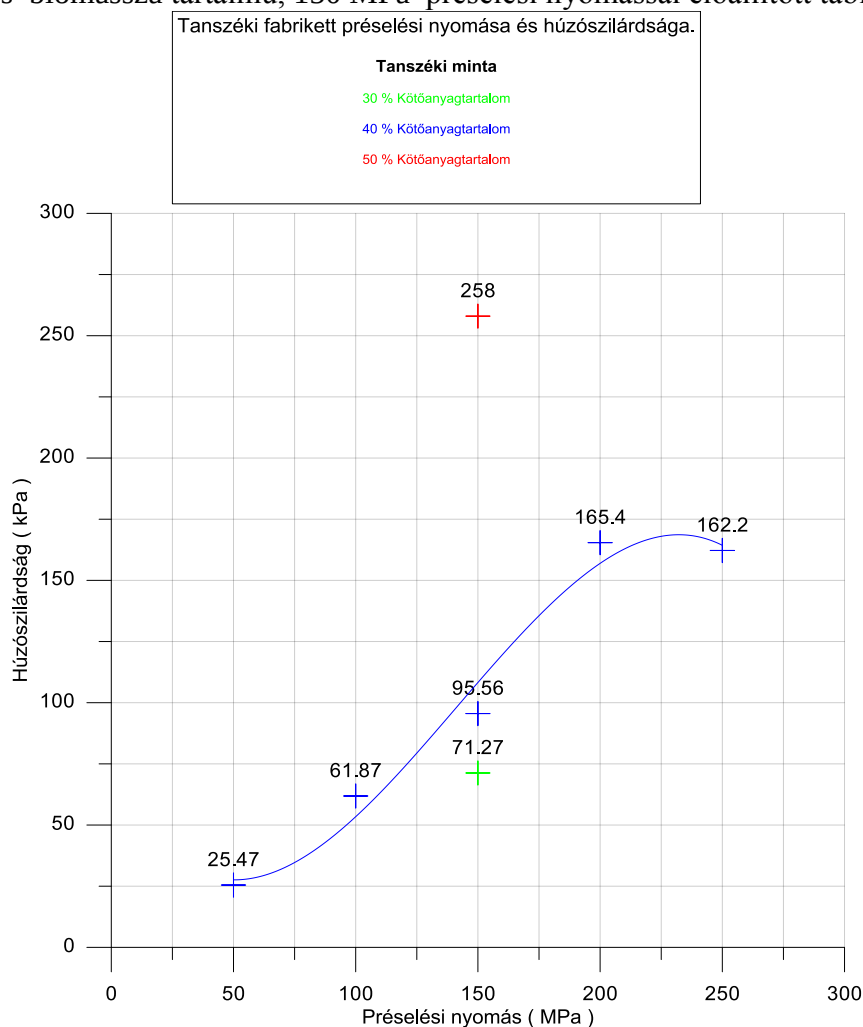
20 .ábra: Vörösfenyő minta húzószilárdsága

4.4 Tanszéki minta húzószilárdság – préselési nyomás

13.táblázat: Tanszéki minta húzószilárdsága

Préselési Nyomás (MPa)	Tanszéki minta Húzószilárdság		
	Biomassza tartalom (%)		
	30	40	50
	Húzószilárdság (kPa)	Húzószilárdság (kPa)	Húzószilárdság (kPa)
50	-	25.4746	-
100	-	61.8705	-
150	71.2738	95.5599	258.005
200	-	165.417	-
250	-	162.223	-

A 30% Biomassza tartalomnál csak kis mértékben nőtt a húzószilárdság a 40%-os hoz képest. Ellenben az 50% biomassza tartalom mellett és csak közepes nyomáson is lényegesen jobb húzószilárdságot értem el, mint a 40%-on. A 40% 250MPa préselési nyomásánál kapott értékek valószínű a préselés utáni rugalmas alakváltozással magyarázhatók, amely miatt a húzószilárdság csökkent. Érdeemes növelni a préselési nyomást 200 MPa-ig, mert így a kapott brikettünk húzószilárdsága nagyobb lesz, mint az 50 %-os biomassza tartalmú, 150 MPa préselési nyomással előállított tablettának.



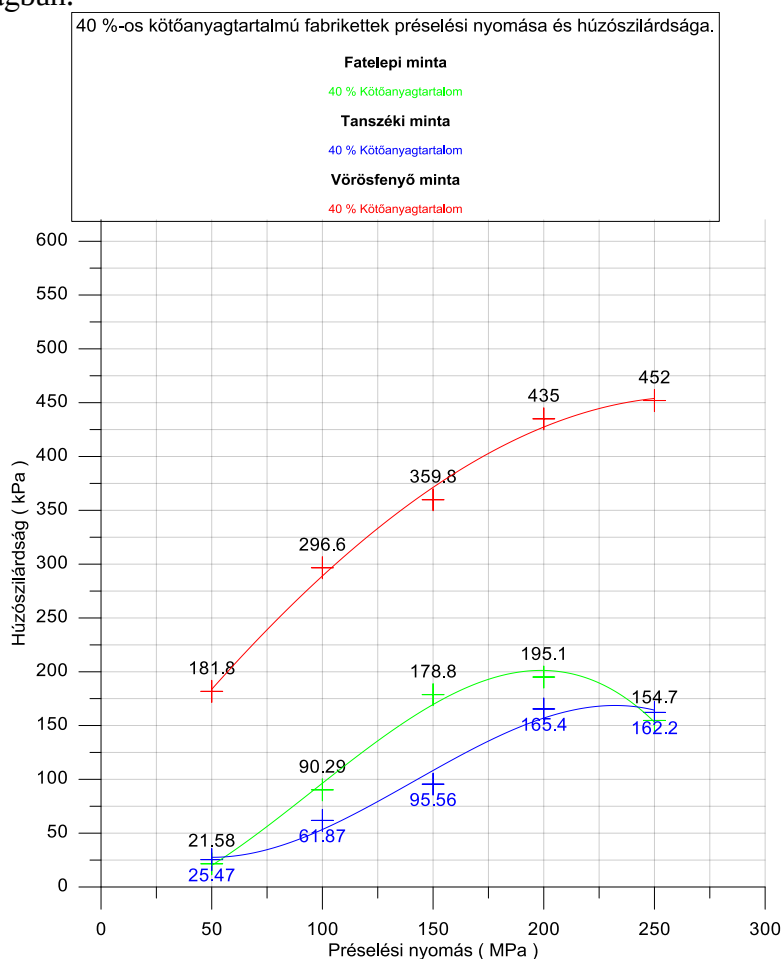
21 .ábra: Tanszéki minta húzószilárdsága

40 %-os fa brikettek húzószilárdság – préselési nyomás

14 .táblázat: 40% biomassza tartalmú brikettek húzószilárdsága

Préselési Nyomás (MPa)	Fa brikettek Húzószilárdság		
	Biomassza tartalom (%)		
	40	40	40
	Fatelepi minta	Tanszéki minta	Vörösfenyő
	Húzószilárdság (kPa)	Húzószilárdság (kPa)	Húzószilárdság (kPa)
50	21,5777	25,4746	181,758
100	90,2861	61,8705	296,633
150	178,754	95,5599	359,845
200	195,087	165,417	435,016
250	154,743	162,223	452,016

A tanszéki és fatelepi minták lényegesen elmaradnak a vörösfenyő mintától a húzószilárdságok vonatkozásában. A kisebb préselési nyomásoknál nagymértékű húzószilárdság növekedés tapasztalható, a nagyobb préselési nyomásoknál a növekedés lényegesen kisebb. A fatelepi minta normál üzemi körülmények között képződött, míg a tanszéki minta laboratóriumi körülmények között. A fatelepi minta szemcsemérete 0-3mm volt, a tanszéki minta 50-50 %-ban tartalmazott 1 mm alatti és 2 mm feletti méretű szemcséket. A szemcseméretek eloszlása közötti eltérés miatt lehet különbség a húzószilárdságban.



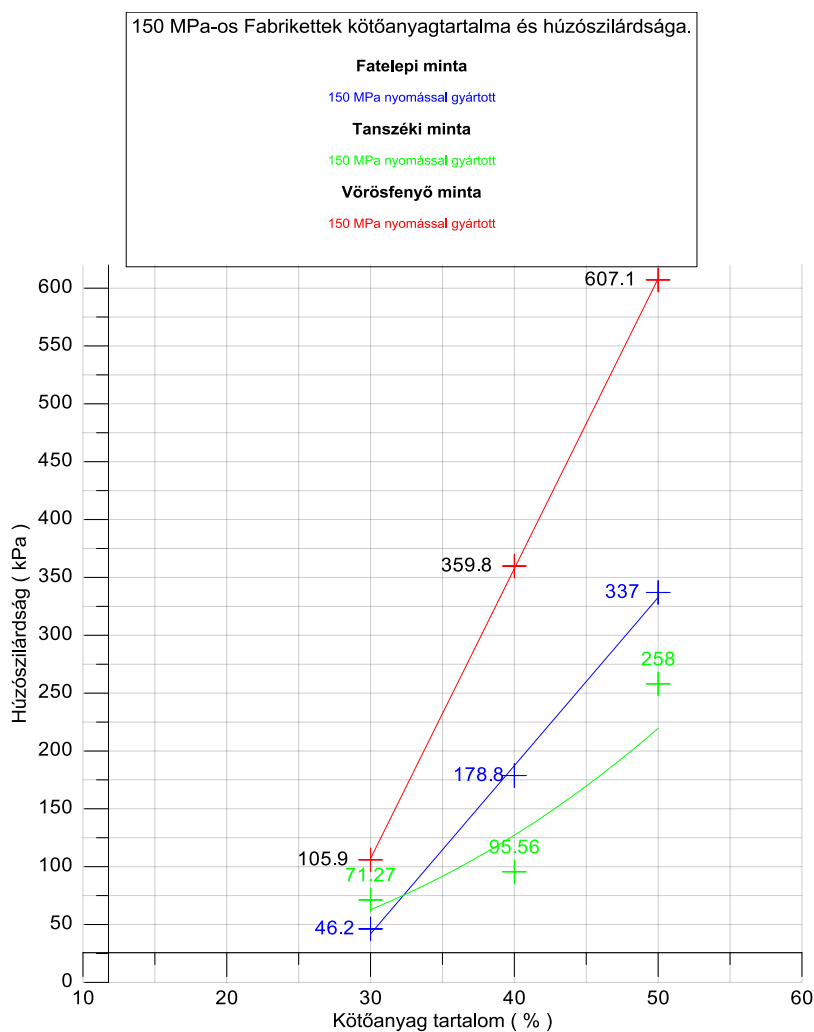
22. ábra: 40% biomassza tartalmú brikettek húzószilárdsága

150 MPa-os Fa brikettek húzószilárdság – préselési nyomás

15.táblázat: 150 MPa nyomáson gyártott brikettek húzószilárdságai

150 MPa-os Fa brikettek Húzószilárdság			
Préselési Nyomás (MPa)	Biomassza tartalom (%)		
	30	40	50
	Húzószilárdság (kPa)	Húzószilárdság (kPa)	Húzószilárdság (kPa)
Fatelepi minta 150	46,1971	178,754	336,971
Tanszéki minta 150	71,2738	95,5599	258,005
Vörösfenyő 150	105,914	359,845	607,091

A biomassza tartalom növelése egyértelműen a húzószilárdság lineáris növekedését jelenti. A tanszéki famintánál tapasztalható húzószilárdság nem lineáris növekedése a speciális szemcseméret eloszlással magyarázható. Ezért a tanszéki minta eredményeire, nem lineáris görbét illesztettem, hanem másod fokú polinom függvényt illesztettem.



23. ábra: 150 MPa nyomáson gyártott brikettek húzószilárdságai

5 Összegzés

A célom volt megkeresni a legmegfelelőbb biomassa tartalommal rendelkező brikettet, szem előtt tartva a szilárdságot és a fajlagos munkát, amelyet lényegében a préselési nyomás döntően befolyásol. Mivel a biomasszából önmagában is készíthető brikett, így a kokszipor mennyiségének növelésének hatását vizsgáltam.

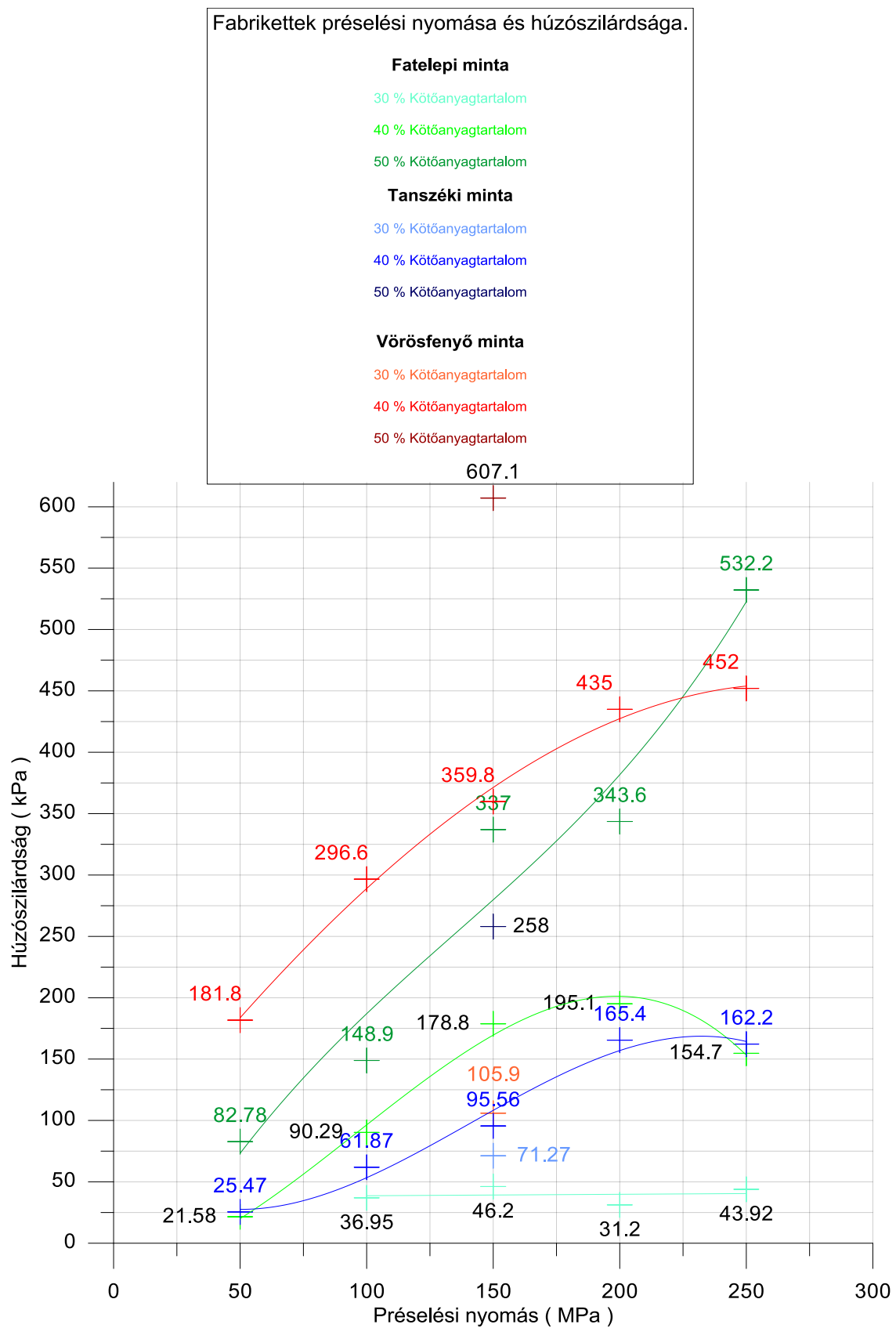
- Megállapítottam, hogy biomasszából és kokszból álló keverék a megfelelő körülményeket biztosítva megfelelő szilárdságú briketté állhat össze. A végzett kísérletek alapján elmondható, hogy a brikett alapanyaganyagához minél több koksziport keverünk (adott préselési nyomáson, a késztermék annál kisebb szilárdsággal fog rendelkezni. A préselési nyomás növelésével a szilárdság is növelhető a legtöbb esetben, azonban túl nagy préselési nyomások esetén a tabletta visszatágulása miatt a szilárdság romolhat (pl. 40%Fatelepi biomassa tartalmú brikett, 250MPa préselési nyomáson előállítva).
- Egyes kísérleteim során azt tapasztaltam, hogy a kevesebb biomasszát tartalmazó brikett, melyet nagyobb nyomáson állítottam elő, nagyobb húzószilárdsággal rendelkezik, mint azok a brikettek, melyeket nagyobb biomassa tartalommal, ám de kisebb nyomáson állítottam elő. Ez azt jelenti, hogy a nyomás növelésével a biomassa tartalom csökkenthető. (fatelepi 40% biomassa, 150 MPa → 178,754 kPa, míg az 50% biomassa, 100 MPa → 148,88 kPa).
- Üzemi méretű előállítás során meg kell találni az ideális egyensúlyt, ugyanis az alacsonyabb biomassa tartalmú, ám nagy nyomással előállított briketthez nagyobb fajlagos munka szükséges, mint a magasabb biomassa tartalmú kisebb nyomáson előállított briketthez. Egy adott üzem esetén figyelembe kell venni az alapanyagok és az energia helyszíni árát.
- Bizonyos briketteknél az 50 MPa préselési nyomással megnövelt nyomásérték gyakorlatilag nem jelent lényeges húzószilárdság növekedést, ellenben a fajlagos munka növekedése számottevő.
- Nagyon jól szemlélteti, hogy a 40%-os vörösfenyő biomassa tartalmú minta 50 MPa → 181,758 kPa húzószilárdságú lesz, míg a fatelepi 40%-os biomassa-minta 250 MPa nyomással is csak 154,743 kPa húzószilárdságú brikett állítható elő. Látható, hogy gyakorlatilag ötöd akkora préselési nyomással is lényegesen nagyobb húzószilárdságú brikett gyártható a megfelelő biomassa tartalom

kiválasztásával. Ennél a gondolatnál említeném meg, hogy az iparban lévő brikettálók nagy része nem dolgozik 150-200 MPa-nál nagyobb értékkel. Így ami kísérletben megfelelhette, ha eltekintünk a lényeges fajlagos munka növekedéstől, az iparban nem áll jelenleg rendelkezésre ilyen igénybevételre tervezett gép megfizethető áron.

Húzószilárdság és fajlagos munka viszonyában a vörösfenyő ideális biomassa, sajnos korlátozottabb mennyiségben áll rendelkezésünkre a fatelepen beszerezhető fűrészporral szemben. A 24. ábrán is jól látható, hogy a biomassa-kokszipor arányának 50-50%-ra állításával egy 150 MPa préselési erővel megpréselve megközelíti a 40% biomasszát tartalmazó szintén 150 MPa-os vörösfenyő brikett húzószilárdságát. Ezen megállapításokat szem előtt tartva javasolnám a szilárdság és alapanyag ellátottság vonatkozásában megfelelő fatelepi minta-kokszipor 50-50% összetétel mellett és 150 MPa préselési nyomáson előállított brikett további tüzeléstani vizsgálatát, és azok megfelelése esetén azok előállítását.

16. táblázat: Birkettek húzó szilárdsága

Brikettek húzószilárdsága									
Fatelepi minta biomassa tartalom (%)				Tanszéki minta biomassa tartalom (%)			Vörösfenyő biomassa tartalom (%)		
Préselési Nyomás (MPa)	30	40	50	30	40	50	30	40	50
	Húzószilárdság (kPa)								
50	-	21,5777	82,7794	-	25,4746	-	-	181,758	-
100	36,9482	90,2861	148,88	-	61,8705	-	-	296,633	-
150	46,1971	178,754	336,971	71,2738	95,5599	258,005	105,914	359,845	607,091
200	31,2048	195,087	343,586	-	165,417	-	-	435,016	-
250	43,9177	154,743	532,224	-	162,223	-	-	452,016	-



24 ábra: Birkettek húzó szilárdsága

6 Irodalomjegyzék

1. [DR.CSŐKE BARNABÁS: Darabosítás, Miskolci Egyetem-Eljárástechnikai Tanszék, tanszéki jegyzet]
2. [ELTE-ME: „A hazai szén biobrikett gyártás megalapozását szolgáló kutatásfejlesztés” II. Kutatási Részjelentés, 2005.]
3. [Bai Attila: A biomassza energetikai hasznosítása, Dr. Tóth László, Dr. Sembery Péter (szerk.): Hagyományos és megújuló energiák]
4. [www.hollik.hu 2011.10.20]
5. [OPET_report5_june2002.pdf: Wood pellets in Finland –technology, economy, and market]
6. [Nagy Sándor: Agglomeration of fine powders used in metallurgy, Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai intézet Előkészítéstechnikai Intézeti Tanszék, Miskolc]

"A 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"