

Miskolci Egyetem
Műszaki Földtudományi Kar
Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet

SZALMA PELLETTÁLHATÓSÁGÁT ÉS
BRIKETTÁLHATÓSÁGÁT BEFOLYÁSOLÓ
TÉNYEZŐK VIZSGÁLATA

EXAMINATION OF PARAMETERS
INFLUENCING STRAW PELLETTIZING ABILITY
AND BRIQUETTABILITY

TDK (Lezárás: 2014.04.03.)

Szerző: Szabó Ferenc
Környezettechnikai szakirány
Miskolci Egyetem
Konzulens: Dr. Nagy Sándor
Tudományos munkatárs

Miskolc, 2013

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, 2013 11. 01.

.....

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, 2013 11. 01.

.....

a konzulens aláírása

Tartalomjegyzék

1. CÉLKITŰZÉS	- 1 -
2. SZAKIRODALMI ALAPOK.....	- 2 -
2.1 A biomassa, mint megújuló energiaforrás, csoportosítása, ismertetése	- 2 -
2.2 biomassa hasznosítási lehetőségei az energetikában	- 3 -
2.3 A biomassa elégetés előnyei.....	- 6 -
2.4 A biomassa tüzelés hátrányai	- 7 -
2.5 Magyarországi szalmatermelés éves mennyisége, felhasználása, belőle előállítható fajlagos energia mennyisége	- 8 -
3. A NÖVÉNYI BIOMASSZA ELŐKÉSZÍTÉSE SZILÁRD TÜZELŐANYAGKÉNT TÖRTÉNŐ HASZNOSÍTÁSRA.....	- 9 -
3.1 Pelletezés	- 9 -
3.2 Brikettálás.....	- 11 -
4. MÉRÉSEKHEZ HASZNÁLT INTÉZETI BERENDEZÉSEK ISMERTETÉSE	- 12 -
4.1 Aprításhoz használt gépek.....	- 12 -
4.1.1 Retsch vágómalom	- 12 -
4.1.2 Függőleges tengelyű vágómalom.....	- 13 -
4.2 Intézeti síkmatricás pelletáló	- 14 -
4.3. Intézeti dugattyús prés.....	- 15 -
5. MÉRÉSEK ÉS EREDMÉNYEK	- 16 -
5.1 Szalma előkészítése – Aprítógépek vizsgálata.....	- 16 -
5.2 Brikett készítési kísérletek	- 17 -
5.3 Gőzmennyiség megmérése.....	- 28 -
5.4 Pelletkészítési kísérletek	- 30 -
6. ÖSSZEGZÉS – TECHNOLÓGIAI JAVASLATTÉTEL.....	- 34 -
6.1 Brikettek minőségét meghatározó tényezők összegzése	- 34 -
6.2 Technológiai javaslatétel Szalma brikett gyártásra.....	- 36 -
6.3 Pelletek minőségét meghatározó tényezők összegzése	- 37 -
6.4 Technológiai javaslatétel Szalma Pellet gyártásra	- 38 -
7. IRODALOMJEGYZÉK.....	- 40 -

1. CÉLKITŰZÉS

A mezőgazdaság jelentős mennyiségű hulladékot termel. Mellékterméke, a szalma felhasználása jelenleg főként almozásra és talajerő utánpótlásra irányul. Ellenőrzött és szakszerűen megtervezett körülmények között azonban környezetbarát tüzelőanyagot állíthatunk elő belőle. A növényi biomasszából előállítható szilárd tüzelőanyag termikus hasznosítása által nyerhető hő és villamos energia, a növekvő energiaárak miatt egyre inkább előtérbe kerül.

Az előállított energiahordozó, direkt elégetés általi hasznosításához bizonyos esetekben célszerű a biomasszát agglomerálni, a tüzelőberendezésbe történő adagolás és a tárolhatóság megkönnyítése érdekében. A munkám során a pelletálást és a briketálást választottam ki, mint két darabosítási eljárást. Megvizsgáltam, hogy milyen tényezők befolyásolják, és milyen mértékben az előállított anyag minőségét. A tüzelőanyag eladhatóságát jelentős mértékben befolyásolja a pelletek / brikettek szilárdsága, alakja, mert sem a tároláskor, sem a szállítás közben, sem a tüzelőberendezésbe adagoláskor nem mehet tönkre a tüzelőanyag. A nyersanyag előkészítése során bizonyos mértékben megváltoztatjuk az alapanyag fizikai tulajdonságait, illetve a darabosítási eljárás során is lehetőségünk van bizonyos körülmények beállítására. A munkám során bebizonyítottam, hogy mely jellemzők hatnak a késztermék minőségére, és melyek azok, amiket csak kényelmi, gazdasági vagy műszaki okokból módosítunk. Vizsgáltam a nedvességtartalom, a szemcseméret eloszlás, az anyagra ható nyomás, a préselési idő, a hőmérséklet, a hozzáadott gőz mennyiségének hatását az adott agglomerálási eljárások során. Az alapanyag minőségén kívül a felhasznált gépek műszaki paraméterei is befolyásolják késztermék minőségét.

A méréseim eredményeit felhasználva technológiai javaslatot tettem szalma brikett / pellet előállításra, a gazdaságosság figyelembevételével.

2. SZAKIRODALMI ALAPOK

2.1 A biomassa, mint megújuló energiaforrás, csoportosítása, ismertetése

A biomassa élő és élettelen szervezetek valamint a belőlük származó szerves vegyületek összessége. Biológiai eredetű szervesanyag-tömeg, a szárazföldön és vízben található élő és nemrég elhalt szervezetek (növények, állatok, mikroorganizmusok) testtömege. Az ipari szintű üzleti tevékenység (növényi, állati feldolgozóipar, fafeldolgozó ipar, ács műhelyek, építőipar, stb.) által keletkező melléktermék. Az általános vizsgálatának megkönnyítése érdekében a biomassa, mint fogalom tovább bontható. A keletkezésének eredete alapján a növényi eredetű biomasszát fitomasszának, az állati eredetűt zoomasszának nevezik. A termelési felhasználási láncban elfoglalt helyük alapján elsődleges, másodlagos és harmadlagos biomasszát különíthetünk el.

1. táblázat: Biomassa energiahordozók csoportosítás példákkal

Keletkezés helye szerint	Hasznosító berendezés szerint	Végtermék szerint	Tárolhatóság szerint
Elsődleges (mező és erdőgazdasági melléktermékek, energia növények, tűzifa)	Hőenergia termelő berendezés (szilárd biomassa égetés)	tűzifa biobrikett tűzipellet	Könnyen tárolható (biobrikett / pellet, tűzifa, biodízel, bioethanol)
Másodlagos (állattenyésztési hulladék)	Elektromos energia termelő berendezés (Légnemű biomassa égetés, biogáz)	depóniagáz bioethanol alkohol	Közepesen tárolható (bálázott szalma, szárított biomassa)
Harmadlagos (Ipari melléktermékek, hulladékok)	Mobil berendezések (Folyékony halmazállapotú biomassa égetés, repceolaj)	biogáz repceolaj szalma bála	Nehezen tárolható (biogáz, nedves biomassa, állati trágya)
	Hő- és villamos energia termelő berendezés (biogáz)	stb.	

A biomassa felhasználásának számos lehetősége van. Az energiatermelésben a hasznosítása termo- és biokémiai átalakítási technológiákkal történhet (elégetéssel, elgázosítással, kémiai – biológiai átalakításokkal, erjesztéssel). A napenergia által, fotoszintézis során keletkező és állandóan megújuló biomasszát brikettálás vagy pelletezés

által agglomerálhatjuk, anaerob rothasztás által biogázt állíthatunk elő belőle vagy felhasználhatjuk bioetanol készítéséhez. Az energetikai hasznosítás végterméke lehet a hő- és/vagy villamosenergia, illetve gépjárművek üzemanyaga. A termelés, előkészítés, felhasználás és hulladékgazdálkodás körfolyamatba illeszthető, így fenntartható energiagazdaságot hozunk létre. Ha a növényi biomasszát az energetikai felhasználásra termesztjük, akkor energianövényről beszélünk.

A megújuló energiaforrások felhasználási aránya folyamatos növekedést mutat; részben a fejlett országok környezetvédelmi irányelveinek köszönhetően, részben a növekvő energiafüggőség miatt. Ennek ellenére a fosszilis energiahordozók még mindig vezető szerepet töltenek be az energia iparban és ez a helyzet nem fog drasztikusan változni az elkövetkezendő éveken sem. Hazánkban viszont egyre több állami és önkormányzati beruházás irányul a megújulók alkalmazására a nyugathoz viszonyított hátrányunk ledolgozása, illetve az Európai Unió előírásai miatt.

A jelenleg ismert megújuló energiaforrásokat több szempont szerint is csoportosíthatjuk. Mérnöki szempontból célszerű nemcsak az alapvető energiahordozókat, forrásokat rendszerbe rendezni, hanem az alapanyagok átalakítása során nyert elsődleges, másod- és harmadlagos energiaforrások valamint ezek feldolgozási technológiáit is figyelembe venni a csoportosítás során (1. táblázat). [1,2,11,12]

2.2 biomassza hasznosítási lehetőségei az energetikában

A biomassza energia hasznosításának legelterjedtebb módja az égés, amely hőenergia felszabadulással járó folyamat, a különböző felhasználási területek attól különböznek egymástól, hogy mit, milyen formában és hogyan égetünk el.

A biomasszában található szén, hidrogén és egyéb éghető anyagok a közvetlen égés során oxidálódnak. A reakció közben felszabaduló kémiai energia további oxidáció révén hőenergiává alakul át. Ezt a hőenergiát tudjuk hasznosítani. Ha az égést vizsgáljuk, fontos szempont, hogy a felhasznált anyag a reakció során milyen határfokkal ég el. A befektetett energia egy része a tüzeléshez használt anyag felmelegítésére, a benne lévő folyadék elpárologtatására fordítódik. A számunkra hasznos energia fűtőértékben kifejezve meg kell, hogy haladja a járulékos veszteséget. Ellenkező esetben, vagy az anyag minősége, az égetés módja vagy a környezete nem megfelelő a gazdaságos működéshez.

A direkt tüzelés alkalmazására nagyszámú műszaki megoldás létezik. A technológia kiválasztása során figyelembe kell venni a jelenlegi korszerűségi követelményeket, melyek a

tüzelés minőségére, automatizáltságára és a berendezések hatásfokára vonatkoznak. A műszaki követelmények mellett a felhasználás sajátosságai is lényegesek. A kis háztartások, az önkormányzatok – iskolák és a biomassa tüzelő berendezések követelményei jelentős mértékben eltérnek egymástól, nem csak teljesítményben, de a tüzelőanyag minőségére vonatkozóan is.

2. táblázat: Hőtermelő rendszerek fő műszaki és költségadatai

Projekt csoport	Jellemző méret [MW]	Jellemző tüzelőanyag fajta	Éves csúcs-kihasználási óraszám	Jellemző élettartam [év]
Intézmények, vállalkozások hőellátása	0,03 – 2	Pellet, faapríték	1200 -1700	25
Távhőszolgáltatás	0,5 - 10	Faapríték (bálázott szalma)	2400 -3000*	25
Üzemek hőellátása	0,3 – 10 (20)	Fahulladék, faapríték, egyéb melléktermékek	1700-5000 **	20-25
Telepi hatásfok [%]	Beruházási költség [MFt/MW _{th}]	Működési költség [Ft/MJ] ***		
80	80-110***	Pellet: 3300 apríték: 2500		
80-85	70-100	2250		
80-85	60-110	1800 - 2500		

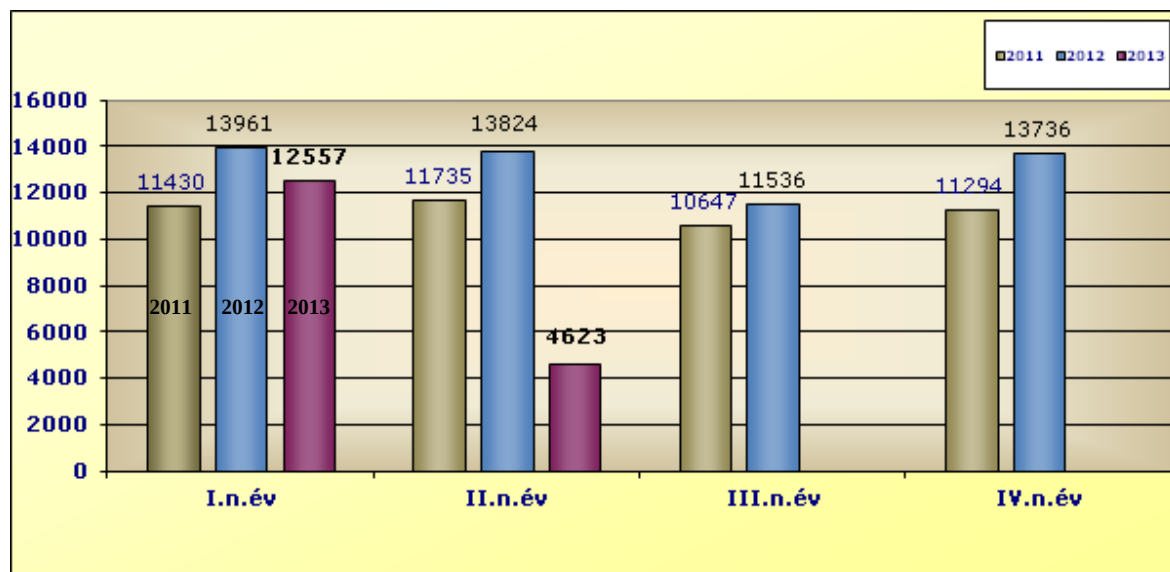
*alapüzemre beépítve

**technológiai igényektől függően

*** hőtvázeleték nélkül

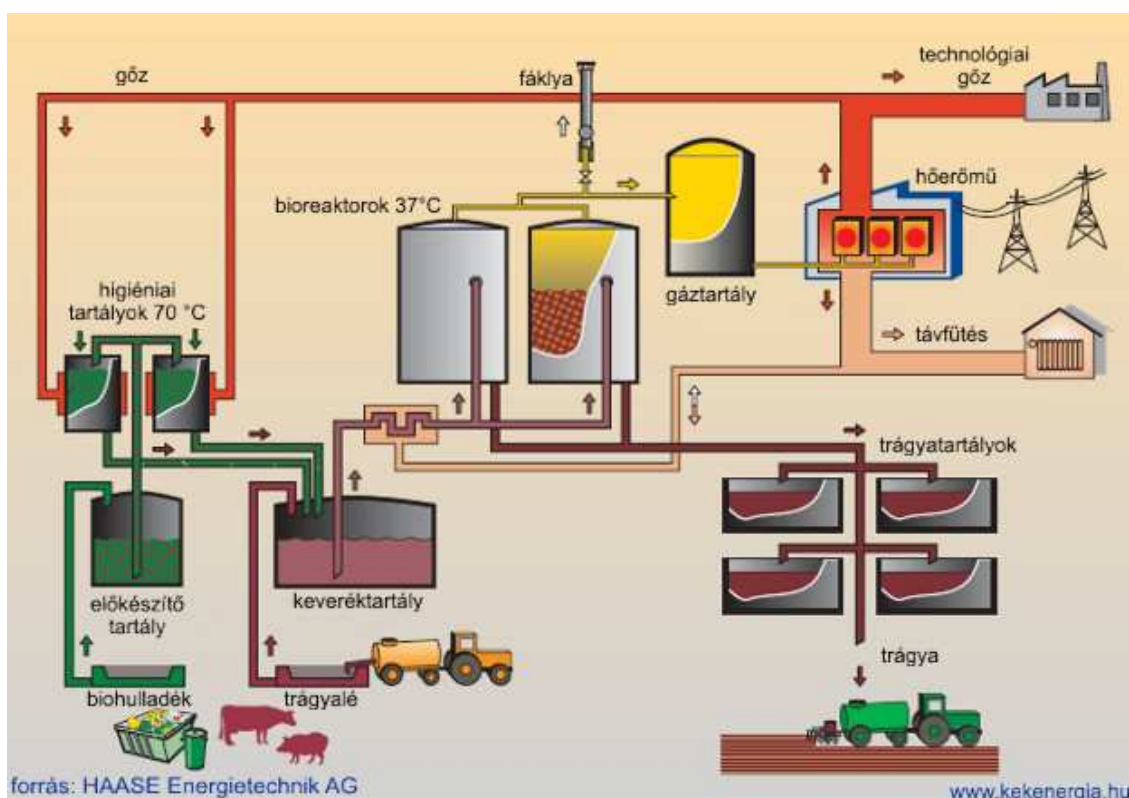
(A táblázat a 12. forrás adatait tartalmazza)

A kőolaj árának növekedése az üzemanyag árak növekedését is magában hordozza. A gazdasági válság következtében jelentősen visszaesett az új gépjárművek forgalomba helyezése Magyarországon (1. ábra), de a korábbi években jelentős növekedés volt megfigyelhető. Mivel a már használatban lévő üzemeltetése nagyon költséges, ezért az olcsóbb üzemanyagok kifejlesztése, illetve használata előtérbe kerülhet a közeljövőben. A bioetanol és a biodízel előállítása a biomassa felhasználás kiemelt részévé válhat, mert az alacsony ár mellett környezetkímélőbb is.



1. ábra: Személygépjármű forgalomba helyezések Magyarországon [17]

A biomassza energetikai felhasználása nem csak az energia szükséglet kielégítésére jelent jó megoldást, de a szerves kommunális, illetve ipari hulladék hasznosítására is. Anaerób mikroorganizmusok segítségével, levegőtől elzárt környezetben lebonthatjuk a hulladékot, így biogázt állítunk elő. Tehát a biogáz a biomassza másik felhasználási területe.



2. ábra: Biogáz előállítás [16]

A fejezetben felhasznált szakirodalom: [1,4,10,11]

2.3 A biomassza elégetés előnyei

A biomassza energiahordozóként történő alkalmazásának számos előnye ismert, a következő felsorolásban ezeket ismertetem.

- Egy átlagos energianövényből készült tüzelőanyag fűtőértéke a hazai barnaszenekének felel meg (15 500 - 17 200 kJ/kg), de azoknál tisztább.
- A szénégetésnél 15-25%-os hamutartalommal számolhatunk, ehhez képest az energiainövényeknél csak 1,5-8%-al. Ez a hamumennyiség később talajjavítás céljára felhasználható.
- Az ipari tevékenység általi nagy mennyiségű kén emisszió a savas esők legfőbb okozója, a savas esők pedig káros hatással vannak a bioszférára. A biomassza kén tartalma maximálisan 0,1-0,17%, amely a szén kén tartalmának 15-30-ad része.
- A CO₂ kibocsátás nem jelent komoly károsítást a környezet számára, hiszen a felszabaduló gáz egyenlő mennyiségű azzal, amit a tüzelésnél használt haszonnövény az élete során megkötött a fotoszintézis által. Vagyis egy állandó körfolyamat tarthatunk fenn, mely nem növeli a légköri CO₂ mennyiségét. Persze itt meg kell jegyeznünk, hogy a növény termesztése, feldolgozása és végül az értékesítéshez elengedhetetlen szállítása közben a munkagépek és a gépjárművek termelnek káros anyagokat. Tehát a biotüzelőanyag elégetése nem, de az előállításához szükséges munkafolyamat légszennyező hatású lehet. A megoldást az infrastrukturális fejlesztés jelentheti.
- A kibocsátott szerves gáztartalom is kevesebb a fosszilis energiahordozókhoz képest.
- Gazdasági szempontból is jó befektetést jelenthet, mert megoldást ad élelmiszer-túltermelés következtében felszabaduló földterületek hasznosításnak, illetve állami szinten megoldást jelenthet a szegényebb területek munkahely problémaira.
- A tudatos emberi tevékenység általi növénytermesztés nem befolyásolja olyan mértékben az élővilágot, mint az épített környezet.
- A modern biológiai kutatások a szalma méretének, mennyiségének csökkentésére törekednek, a kezelendő hulladék feldolgozóiparának hiánya miatt. A modern biomassza erőművek azonban megoldást jelenhetnek erre a problémára. [11]

2.4 A biomassza tüzelés hátrányai

A 2.3 fejezetben ismertetett előnyök mellett a biomassza tüzelésnek hátrányai is vannak, melyek akadályozzák az elterjedését. A mérnöki tervezéshez ezeket is figyelembe kell venni, melyeket a következő felsorolás tartalmaz.

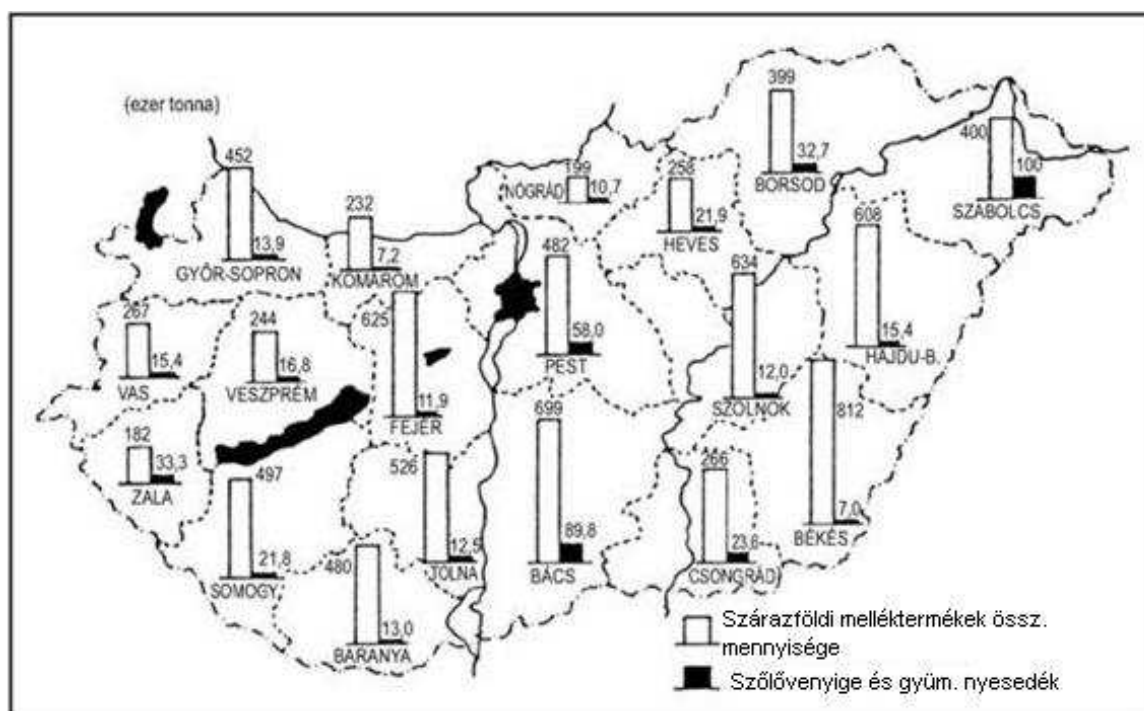
- A problémát jelent, hogy jelentős anyagi ráfordítást igényel az átállás a gázkazánok és a biotüzelőanyag égető kazánok között. Ez a befektetés persze idővel megtérül, de olyan épületekben, ahol központi fűtés van, ahol, nem lehet egy-egy lakást külön kapcsolni ott nem is nyílik lehetőség rá. Jelenleg nincs állami támogatás a környezetbarát fűtési lehetőség családi szintű beszerelésére.
- A kényelmi kérdés jelentős hátrányt jelent a földgáz felhasználáshoz képest, mert itt a tüzelőanyagot időközönként pótolni kell. Meg kell vásárolni, házhoz kell szállítani, több munkát igényel. (Bár érdemes számolni azzal, hogy ma 1 m³ földgázt átlagosan 2 kg fahulladékból előállított pellettel ki lehet váltani, ami lényegesen olcsóbb. A technológiai fejlesztés által már rendelkezésre állnak olyan pellet tüzelő kazánok, melyek beállítás alapján adagolják a tüzelőanyagokat, így nem szükséges a napi szintű újratöltés)
- Az elterjedést az is gátolja, hogy jelenleg még nincs elég tüzelőanyag gyártó üzem, hisz szükséges gépek beszerzése költséges és a felvevő piac hiánya nem jelent azonnali megtérülést.
- A talajokat kimerítheti a biomassza termelése, a tápanyagokat idővel pótolni kell. Ez történhet természetes anyagokkal, trágyázással, de mesterséges vegyszerekkel is. A mesterségesen pótolta anyagok, ha nem megfelelően alkalmazzák, akkor bekerülhetnek a talajvízbe is, ami károsítja a minőségét.
- A energia szektor ellátására történő mezőgazdasági termelés megkezdéséhez, anyagi befektetésre van szükség, hiszen az energianövények eltérő igényekkel rendelkeznek, mint az élelmiszeripari alapanyagok.
- A távhő szolgáltatás költsége függ a szállítási költségtől, mely nagyszámú felhasználó esetén eloszlik, azonban esetleges biomassza tüzelésre történő átállás által a kieső lakosság részarányát a többi fogyasztónak kell megfizetni. Emiatt jogi problémák is felvetődnek, a bérházsorok nem léphetnek ki a távhő rendszerből. [11]

2.5 Magyarországi szalmatermelés éves mennyisége, felhasználása, belőle előállítható fajlagos energia mennyisége

3. táblázat: A Magyarországon mezőgazdasági hulladékként keletkező szalma jellemzői

Jellemző adat	Termelt mennyiség [mt/év]	Eltűzelhető mennyiség, részarány [mt/év; %]	Nedvességtartalom (betakarításkor) [%]	Nedvességtartalom (tároláskor) [%]	Fűtőérték (18% nedvesség tart. esetén) [MJ/kg]
Mennyiség	4,5 – 7,5	1,5 – 2; 27 - 33	10 - 20	13 - 15	13,5

A szalma felhasználásának két módszere terjedt el az országban. A levágott szalma szántóföldön hagyása által a talajerő utánpótlása, illetve az állattenyésztésben, évente kb. 3 millió tonna szalmát alomként hasznosítanak. Bár egyes források szerint a legmegfelelőbb megoldás a szalma helyben hagyása, más források felhívják a figyelmet nagy cellulóztartalmú anyag általi talajveszélyeztetésre. Az úgy nevezett szénhidrát hatás kiváltása miatt, elengedhetetlenné válik a nagymennyiségű nitrogénműtrágya alkalmazása. A túlzott, vagy a nem megfelelő biztosítással végzett műtrágyázás veszélyt jelent az élővilág számára. A talajvízbe jutva az emberi egészségre is ártalmas lehet. A szalma fűtőértéként történő hasznosítása egyre inkább előtérbe kerül.



3. ábra: Mezőgazdasági hulladék mennyisége Magyarországon (2000) [18]

A fejezetben felhasznált szakirodalom: [9, 15]

3. A NÖVÉNYI BIOMASSZA ELŐKÉSZÍTÉSE SZILÁRD TÜZELŐANYAGKÉNT TÖRTÉNŐ HASZNOSÍTÁSRA

Az égés minőségét, hatásfokát számos műszaki és anyagi tényező befolyásolja. Az erőműi szintű égetés esetén viszonylag igénytelen kazánokat alkalmaznak, melyekbe a nagy és kis szemcseméretű anyag is könnyedén feladható, az esetleges szennyezők sem okoznak jelentős károsodást. Az eltérő nedvességtartalom sem jelent problémát, hiszen a nagyméretű tömegáram miatt a rosszabb minőségű anyag is kifizetődik.

A lakossági felhasználás azonban jelentős anyagelőkészítést kíván. Az égetőberendezések garatmérete kicsi, ezért a nagyméretű (pl: faapríték) szemcséket aprítani kell. Léteznek biomassza por égető kazánok, de ezek elterjedése nem jelentős a lakosság körében. A hagyományos kazánok esetében szükséges a kis szemcseméretű biomassza agglomerálása. A mezőgazdasági hulladékok esetében jellemző a szál- rostos szerkezet, a hatásfok növelése érdekében először aprítani, majd az aprított anyagot darabosítani kell. A darabosítás által a szállítás is egyszerűbb lesz. A kisméretű kazánokba kerülő vas és nem vas fém szennyezők károsíthatják a berendezést, ezért ezek eltávolítása ajánlott. Az elterjedéshez ismernünk kell a felhasználók igényeit. Az úgynevezett passzív házak esetén a fűtési rendszer automatizált, vagyis nem szükséges az állandó tüzelőanyag adagolás. A biomassza tüzelés esetén is léteznek önadagoló tüzelőberendezések, ezek működtetéséhez is darabosított biomasszát érdemes feladni.

Az anyag előkészítése tehát nélkülözhetetlen, azonban a túl sok előállítási lépés sem gazdaságos, hiszen az árat felviszi, és azért nem lesz gazdaságos a végtermék. Ezért fontos a szakszerű, pontos technológia megtervezése. [1]

3.1 Pelletezés

A biomassza tömörítésének egyik módszere a pelletálás. Korábban az állattenyésztésnél alkalmazták a pelletkészítési eljárást. A takarmányozásnál nagyon jól bevált módszer volt. Azonban kis mérete és kedvezőtulajdonságai miatt nagymértékben terjedni kezdett a tűzipelletgyártás is. Az 5-10 mm átmérőjű és 10-25 mm hosszú pelletek gyorsan és jó minőségben előállíthatók a megfelelő berendezés szakszerű beállítása mellett. Az egyre modernebb pellet tüzelő kazánok pedig lehetővé teszik a kényelmes adagolást és a nagy hatásfokkal történő eltüzelését. Csígas vagy cellás adagolóval kis teljesítményű berendezések

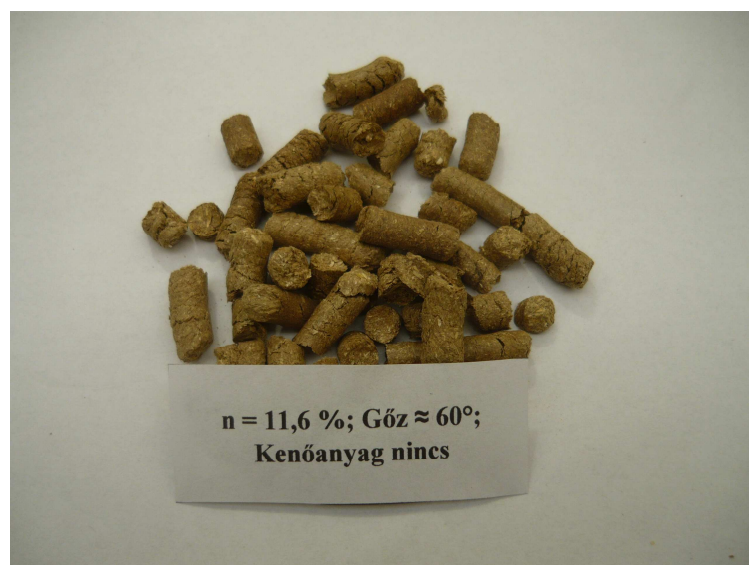
is jól üzemeltethetőek vele. Hátránya azonban a briketthez képest, hogy magasabb nedvességtartalma révén kisebb fűtőértékkel bír.

Az eljárást pelletáló gépben végezzük, melynek alapvetően két típusa van a sík és a hengermatricás pelletáló. Az eljárás megkezdése előtt, amennyiben szükséges, az anyagot leaprítjuk, majd a leaprített anyagot egyenletesen a gépbe adagoljuk, melyben folyamatos mozgást végző járókerekek (görgők) vannak, ezek préselik át a matricán és közben őrlik is a biomasszát. A kész pellet sűrűsége $0,7 - 0,9 \text{ g/cm}^3$. Az eljárás során a pelletező gépet egy gőzfejlesztővel is el szokták látni, a megfelelő nedvességtartalom, illetve az eljárás üzemi hőmérsékletének biztosítása érdekében.

Biopellet készíthető tisztán biomassza felhasználásával, de kevert anyagot is készíthetünk.

4. táblázat: A pelletgyártás során alkalmazott DIN és EN szabványok

Minőségi paraméter	Mértékegység	Szabványok			
		DINplus	ENplus – A1	ENplus-A2	EN-B
Átmérő	mm	$4 < D < 10$	6(+1)	6(+1) és $8(+1)^4$	6(+1) és $8(+1)^4$
Hossz	mm	$\leq 5D$	$3,15 \leq L \leq 40$	$3,15 \leq L \leq 40$	$3,15 \leq L \leq 40$
Sűrűség	kg/m^3	-	≥ 600	≥ 600	≥ 600
Nettó fűtőérték	MJ/kg	≥ 18	$\geq 16,5$	$\geq 16,5$	≥ 16
Nedvesség tartalom	W - %	< 10	< 10	< 10	≤ 10
Fines	W-%	≤ 1	≤ 100	≤ 100	≤ 100
Mechanikai összenyomhatóság	W-%	$\geq 97,7$	$\geq 97,7$	$\geq 97,7$	$\geq 97,7$
Hamutartalom	W-°%	$\leq 0,5$	$\leq 0,7$	$\leq 1,5$	≤ 3
Hamulágyulási tulajdonság	°C	-	≥ 1200	≥ 1100	≥ 1100



4. ábra: Saját készítésű szalma pelletek

3.2 Brikettálás

A darabosítás egyik alapvető módja a brikettálás, mely – akár csak a pelletálás - nyomás hatására végbemenő agglomerálás. A biobrikettre jellemző a nagy fűtőérték (18-18,5 MJ/kg), a kis nedvességtartalom (8-14%), a kis hamutartalom (0,8-7,5%) és a nagy energiasűrűség (22-24 MJ/dm³). A tömörítést kötőanyag felhasználása nélkül, prés gépben végzik. A prés gépben fellépő nyomás 800 – 1600 bar lehet, melynek változtatásával a termék sűrűsége és térfogata változik. A térfogati sűrűség jelentősen nő az eljárás által, mely kedvezőbb a természetes fához viszonyítva.

A nyomás, a túlnyomásos vízgőz és a munka közben bevitt hő hatására lépnek egymással kölcsönhatásba a részecskék, ez olyan erős kötést képez, mely lehetővé teszi a későbbi felhasználást. Az eljárás biztos, a kezdeti munkagép beszerzési költségen túl nem igényel túl nagy fenntartási költséget, de meglehetősen lassú folyamat és a brikett nagy mérete miatt nem, vagy csak nagyon nehezen oldható meg a tüzelőanyag automatizált betáplálása. Ez utóbbi elengedhetetlen tényező az üzemi felhasználásnál.

A folyamat lehet hideg, ilyenkor az anyagon belüli súrlódásos kapcsolatok tartják össze a részecskéket, de meleg eljárásról is beszélhetünk, ilyenkor kémiai folyamatok is fellépnek. A felhasznált prés gép lehet dugattyús és csigás is. A dugattyús préseknek több típusa is ismert, a nyomás irányának alapján. Ezek egyirányú, kétirányú, illetve háromirányú prések. A csigás prések lehetnek nyomócsigás és őrlőcsigások is. [1]



5. ábra: Saját készítésű szalma brikettek

4. MÉRÉSEKHEZ HASZNÁLT INTÉZETI BERENDEZÉSEK ISMERTETÉSE

4.1 Aprításhoz használt gépek

Az ideális pellet előállításához a választott biomasszának számos korábban említett anyagi paraméternek kell megfelelnie. Mivel a kapott anyag eredeti állapotában nem felelt meg ezeknek a jellemzőknek, eljárástechnikai módszerekkel módosítanom kellett rajta. Az első ilyen módszer az aprítás, a megfelelő szemcseméret elérése érdekében.

4.1.1 Retsch vágómalom

A vágómalom műszaki adatait az alábbi táblázat tartalmazza.

5. táblázat: A Retsch vágómalom műszaki adatai

Típus	Retsch Heavy-Duty Cutting Mill SM 2000
Alkalmazás	Vágás általi méretcsökkentés
Alkalmazhatóság	Lágy, közép-kemény, rugalmas, szál-aszós, szívós, kemény, kevert anyagok
Igénybevétel	Nyírás, vágás
Feladott anyag szemcsemérete	< 60 X 80 mm
Végtermék szemcseméret [mm]	0.25 - 20
A kések forgási sebessége (50-60Hz)	1500 1/min
A rotor kerületi sebessége	9.4 - 11.4 m/s
Rotor átmérő	129.5 mm
Rotor típus	Párhuzamos metszésű / 6 tárcsás
Örlő rész anyaga	Edzett acél, rozsdamentes acél, wolfram karbid
Szita lyukméret [mm]	Trapezoid lyukak: 0.25 / 0.50 / 0.75 / 1.00 / 1.50 Négyszögletes lyukak: 2.00 / 4.00 / 6.00 / 8.00 / 10.00 / 20.00
Gyűjtő egység kapacitás	Gyűjtő tartály: 5l /opcionális: 30l Gyűjtő egység: 0,25 /0,5l Ciklon-szívó kombináció: 0,25l - 0,5l
Meghajtás	3 fokozatos motor
Meghajtó teljesítmény	2.2 kW
Saját tömeg	Kb. 90 kg töltőrésszel nélkül

A táblázat a gyártó honlapján [7] található táblázat szöveg azonos fordítása.

A vágómalom hatékonyságát fokozza, hogy a feladó garat egy függőleges garatba torkollik, melyben egy adagolást segítő, tömörítő eszköz található. Az adagolás biztonsága érdekében a feladó garat zárt, ami elősegíti az egyenletes feladást. A vágótérben egymáshoz rögzített vágókések találhatók, a 3 kés egymással 120°-os szöget zárnak be. A vágótér aljára helyezhető be a kiválasztott szita, mellyel beállíthatjuk a maximális szemcseméretet. A megfelelő szemcseméretű anyag a berendezés alatt található tartájba kerül. Az aprításhoz 2 mm-es szitát használtam.

A fejezetben felhasznált szakirodalom: [7]

4.1.2 Függőleges tengelyű vágómalom

Az intézetben található berendezést a Lehel Gépgyár gyártotta 1989-ben. Az AGJ Aprítógépgyár KFT. hasonló műszaki paraméterekkel rendelkező gépet forgalmaz, melynek pontos leírása a cég honlapján megtekinthető (az alábbi táblázat adatai is onnan származnak) [5]

6. táblázat: A Függőleges tengelyű vágómalom műszaki adatai

Megnevezés:	Műanyagőrölő Gép
Típus	MD-200
Teljesítmény	Kb.: 100 kg/h
Energia igény	5,5 kW
Tömeg	210 kg
Szájnyílás	170 x 190 mm
Végtermék	3 – 5 mm *

* A végtermék szemcseméretét a gép vágótérébe helyezett szita lemezzel változtathatjuk. Az intézetben 2 mm-es szita is van.

A gép a Retsch vágómalomhoz képest nagy garattal rendelkezik, mely megkönnyíti az anyag feladását. A függőleges elhelyezkedésű garat nem rendelkezik tömörítést segítő eszközzel, így az adagolás a feladott anyagra ható súlyerő függvénye. Mivel az általam feladott biomassa kis sűrűségű nagy szemcseméretű rugalmas anyag, a feladás során összenyomható, így könnyen nagy mennyiségben lehet a gépbe adni. Mivel az anyag rugalmas, ezért a ráható erő megszűnése után visszanyeri eredeti alakját, a kis fajlagos tömege miatt a súlyerő kisebb lesz a gép falára ható súrlódásnál, így eltömődik, az aprítás ez által lehetetlenné válik.

A megoldást az aprítógépe helyezés előtti kézi előaprítás teszi lehetővé, 50 – 100 mm-es darabokra aprítás után a gép nagy hatékonysággal aprította le a kívánt szemcseméretre.

4.2 Intézeti síkmatricás pelletáló

A következőkben már nem az előkészítési munkához, hanem a tényleges mérésekhez használt gépekkel foglalkozom. Először a pelletprést, majd a dugattyús prést mutatom be, az őket jellemző adatok és az általam készített képek segítségével.

7. táblázat: Az intézeti síkmatricás pelletáló műszaki adatai

Teljes egység		Gyártója, összeállítója:	Classicmechanik Kft, Székesfehérvár
Teljes Egység részei:	Keverőtartály		
	Kondicionáló csiga		
	Pelletprés	Gyártó:	Anyang General International
		Típus:	ZLSP200B
		Kapacitás [kg/h]:	110-180
		Teljesítmény [kW]:	7,5
		Saját tömeg [kg]:	250
		Gép mérete [cm]:	100×43×95



8. ábra: Intézeti síkmatricás pelletáló



9. ábra: Intézeti síkmatricás pelletálóhoz tartozó kondicionáló csiga

A pelletálóhoz tartozik egy gőzfejlesztő gép, melyet a kondicionáló csigához csatlakoztattak. Ahogyan a pellet készítési kísérletek résznél már írtam, az átáramló gőz mennyiségét egy csap segítségével, itt szabályozhatjuk.

8. táblázat: Az intézeti síkmatricás pelletáló műszaki adatai

Gőzfejlesztő	
Gyártó:	Theobald, Budapest
Típus:	TJ Extra II.
Névleges teljesítmény [kW]:	17
Névleges feszültség [V]:	400V 50Hz
Saját tömeg [kg]:	90
Maximális nyomás [bar]:	6

A fejezetben felhasznált szakirodalom: [8]

4.3. Intézeti dugattyús prés

A Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetben található dugattyús prés hidraulikus tápegységgel van felszerelve. Két darab hidraulikus dugattyú található benne, a felső a préselést végzi, Két darab hidraulikus dugattyú található benne, a préselésre használt felső dugattyú 200 kN maximális erővel, az alsó az elkészült minta kiemelésére szolgál.

A felső dugattyújában egy 20 tonnás Kaliber gyártmányú erőmérő cella van elhelyezve, az út mérését egy mágnes csíkos inkrementális elmozdulás mérő végzi, melynek leolvasásához számítógép szükséges. A gép belső hőmérséklete is szabályozható 20 – 140°C között. Ennek szabályzására hőmérőt is csatlakoztattak a berendezéshez. A nyomásszintmérő is tartozik a géphez, de a leolvasása nem automatikus. A megfelelő nyomást manuálisan állíthatjuk be és a gép kezelése is teljesen kézi vezérlésű. A dugattyú sebessége 5-35 mm/s. A készíthető brikettek átmérője 25mm. A présről több kép található a mellékletben. [3]



10. ábra: Intézeti dugattyús prés és a mérőkártyás számítógép munka közben

5. MÉRÉSEK ÉS EREDMÉNYEK

A méréseim során az alapanyagomnak szalmát választottam. Származási hely: Alsózsolca. A mérés megkezdése előtt 1 évig raktárban volt, a nedvességtartalma 8,5 %.

5.1 Szalma előkészítése – Aprítógépek vizsgálata

Mivel a nyersanyag szemcsemérete nem felelt meg a mérésekhez szükséges értéknek, ezért aprítanom kellett. Először 2mm-es szitabetéttel aprítottam a **4.1 fejezetben** bemutatott aprítógépekkel. A két vágómalom hatékonyságának összehasonlításához, az aprított szalmával szitaelemzést végeztem, majd a nevezetes szemcseméret értékekkel jellemeztem a gépeket.

9. táblázat: Szemcseméret eloszlás (Retsch)

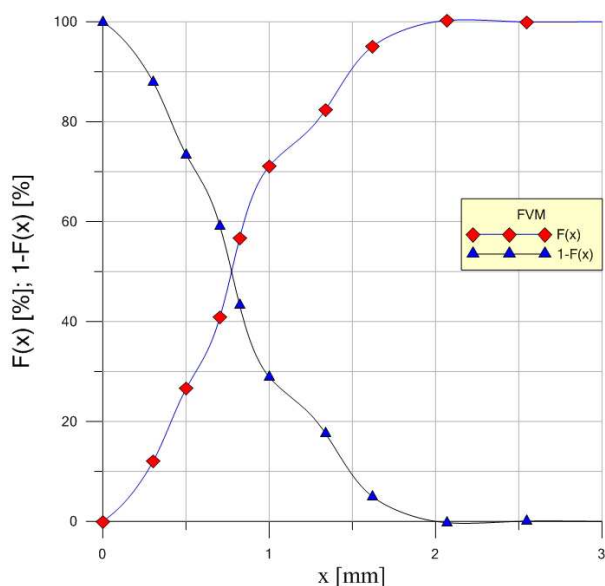
x_i [mm]	m_i [g]	Δm [%]	$F(x)$ [%]	$1-F(x)$ [%]
<0,4	19,5	15,726	15,726	84,274
0,4 – 1	62,8	50,645	66,371	33,629
1 – 1,25	19,7	15,887	82,258	17,742
1,25 – 1,6	18,6	15,000	97,258	2,742
1,6 – 2	3,1	2,500	99,758	0,242
2 – 2,5	0,2	0,161	99,919	0,081
2,5 – 3	0,1	0,081	100	0
>3	0*	0		
	$\Sigma m = 124g$	100		

*A mérleg tized gramm pontossága miatt nem jelzett szemcsét, de szabad szemmel látható minimális anyag az adott szitán.

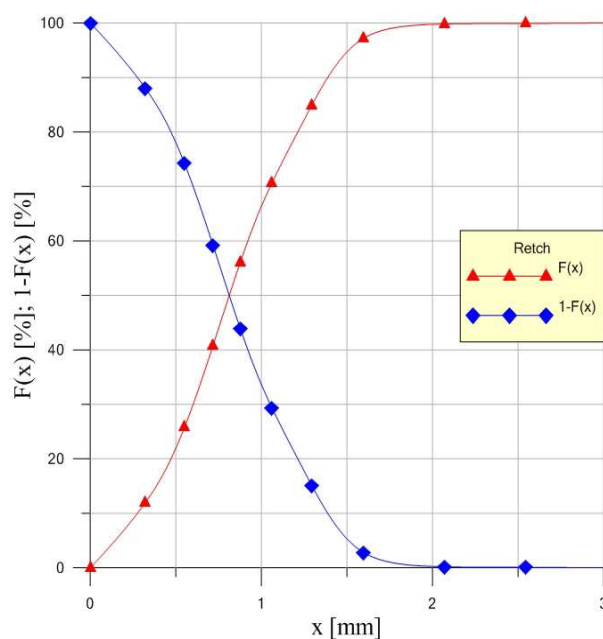
10. táblázat: Szemcseméret eloszlás (Függőleges tengelyű vágómalom)

x_i [mm]	m_i [g]	Δm [%]	$F(x)$ [%]	$1-F(x)$ [%]
<0,08	3	2,126	2,126	97,874
0,08 – 0,315	15,1	10,702	12,828	87,172
0,315 – 0,5	19,3	13,678	26,506	73,494
0,5 - 0,63	10,9	7,725	34,231	65,769
0,63 - 1	52,0	36,853	71,084	28,916
1 – 1,25	10,7	7,583	78,667	21,333
1,25 – 1,6	22,3	15,804	94,471	5,529
1,6 – 2	7,8	5,528	100	0
2 – 2,5	0*	0	100	0
2,5 – 3	0*	0	100	0
>3	0*	0	100	0
	$\Sigma m = 141,1g$	100		

*A mérleg tized gramm pontossága miatt nem jelzett tömeg értéket, de szabad szemmel látható minimális anyag az adott szitán. A mérések során ezeket kézzel eltávolítottam.



6. ábra: szemcseeloszlás (FTVM)



7. ábra: szemcseeloszlás (Retsch)

Az aprítógépek hatékonyságának összehasonlítását az alábbi táblázattal jellemeztem.

11. táblázat: X_{50} és X_{80} értékek

Retsch		Függőleges tengelyű vágómalom	
X_{50}	X_{80}	X_{50}	X_{80}
0,81 mm	1,2 mm	0,78 mm	1,25 mm

Megállapítható az x_{50} és x_{80} alapján, hogy a kapott aprítékok szemcseméreteloszlása gyakorlatilag megegyezik.

Mennyiség tekintetében meg kell jegyeznem, hogy a RETSCH, minta előkészítésre kialakított gép, néhány 100 g mintát, pl fűtőérték vizsgálatra ajánlott előkészíteni vele, de ipari méretű alkalmazásra nem alkalmas.

5.2 Brikett készítési kísérletek

A brikett készítési kísérleteim során a következő anyagot és technológiát jellemző paraméterek hatását vizsgáltam meg a brikettek sűrűségére és az elvégzett munka értékeire vonatkozóan:

- szalmára ható nyomóerő nagysága
- a dugattyús prés hőmérséklete a préselés alatt
- a préselés előtt, a préstérben eltöltött idő

- a préselés időtartama
- az alapanyag nedvességtartalma
- az alapanyag szemcsemérete

A nyomóerő hatásának vizsgálatához először, a **Függőleges tengelyű vágómalommal** 2mm-es szitabetéttel leprított szalmát használtam.

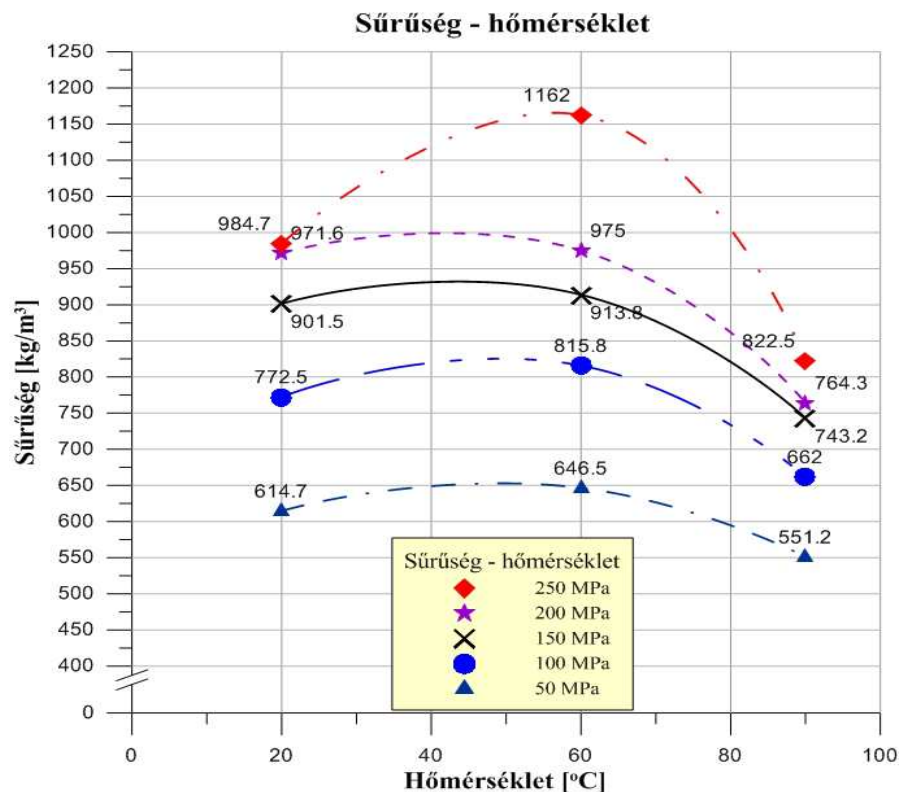
Az intézeti dugattyús prés segítségével készítettem el a briketteket, három különböző hőmérsékleten, öt különböző nyomásszinten, és mindegyik nyomás esetén 3 - 3 mintát készítettem.

A nyomásszintek az **50 MPa, 100 MPa, 150 MPa, 200 MPa, 250 MPa**, a hőmérséklet pedig **20°C, 60°C, 90°C**.

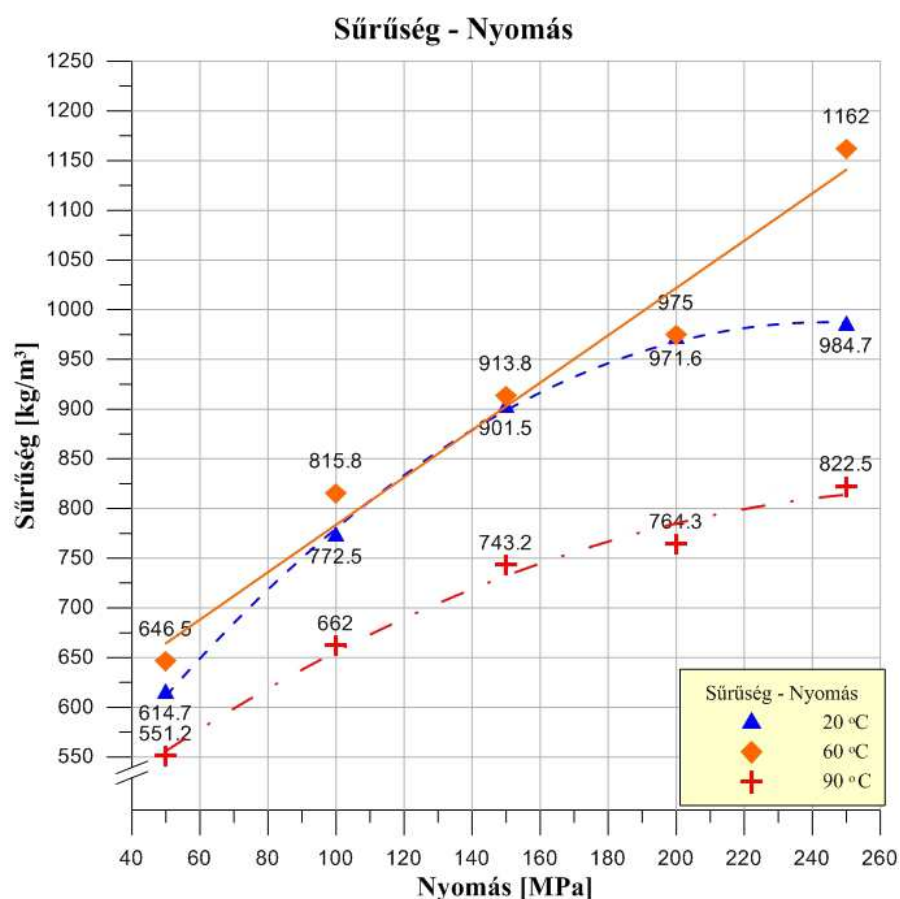
A hőmérséklet a présgép belsejében, a tömörítő térben mért hőmérséklet, hogy az anyag hőmérséklete is megfelelő legyen, szárítószekrénybe helyeztem a kimért mintákat a mérés előtt, majd a présbe helyezés és a munka megkezdése előtt 1 – 1 percet vártam.

Az általam készített brikett hengerek alapkörének átmérője minden esetben **25mm**, magasságuk a préselési nyomás függvényben **5,7...7mm** közt változott.

A mérési eredményeimet az alábbi táblázatok és diagramok tartalmazzák.



11. ábra: A brikettek sűrűségének változása a hőmérséklet hatására



12. ábra: A brikettek sűrűségének változása a nyomás hatására

Megállapítható, hogy a sűrűség értékek a nyomás függvényében polinómikus függvényre illeszthetők, melyek egyenletei a következők.

12. táblázat: sűrűség – nyomás értékekre illesztett polinómikus függvény értéktáblája

20 °C préselés		60 °C préselés	
$\rho = 393,12 + 4,863628571 \times P - 0,009951428571 \times P^2$		$\rho = 545,1 + 2,387142857 \times P - 1,714285714E-005 \times P^2$	
Nyomás, p [MPa]	Sűrűség, ρ [kg/m ³]	Nyomás, p [MPa]	Sűrűség, ρ [kg/m ³]
80	718,52	80	735,96
120	833,45	120	831,31
180	946,15	180	974,23

13. táblázat: sűrűség – nyomás értékekre illesztett logaritmikus függvény értéktáblája [90 °C]

90 °C préselés	
$\rho = 432,52 + 2,706657143 \times P - 0,004722857143 \times P^2$	
Nyomás, p [MPa]	Sűrűség, ρ [kg/m ³]
80	618,83
120	689,31
180	766,7

14. táblázat: Az általam készített brikettek sűrűség értékei a nyomás és a hőmérséklet alapján

Hőmérséklet [°C]	20	60	90
Nyomás [MPa]	Sűrűség [kg/m ³]	Sűrűség [kg/m ³]	Sűrűség [kg/m ³]
50	614,7	646,5	551,2
100	772,5	815,8	662,0
150	901,5	913,8	743,2
200	971,6	975,0	764,3
250	984,7	1162,4	822,5

A berendezéshez csatlakoztatott, mérőkártyával ellátott számítógép segítségével megmérhettem a brikett készítés során a feladott anyagra ható erőt és a dugattyú elmozdulását, a két adatból álló adatsorból meghatározható a befektetett munka. Ezeket a munka értékeket az alábbi táblázat tartalmazza.

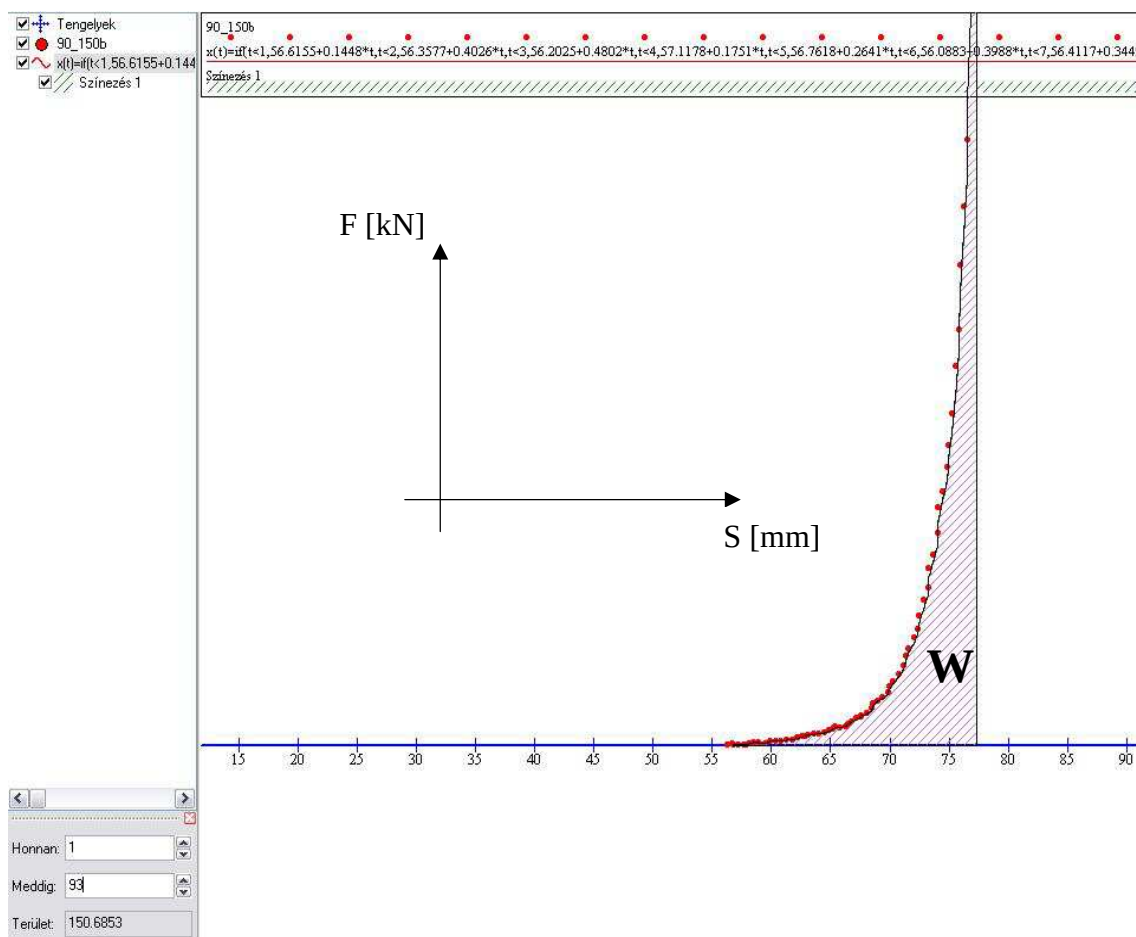
15. táblázat: Munka értékek a hőmérséklet és nyomás alapján

Mérés	Munka [J]	Mérés	Munka [J]	Mérés	Munka [J]
20_50	61,3	60_50	*	90_50	68,8
20_100	112	60_100	96,7	90_100	114,5
20_150	148,3	60_150	144,5	90_150	152,7
20_200	184,2	60_200	184,5	90_200	186,9
20_250	209,9	60_250	218,8	90_250	222,4

* Az adott pontban a mérőberendezés hibásan működött, így azt az adatot nem vettem figyelembe

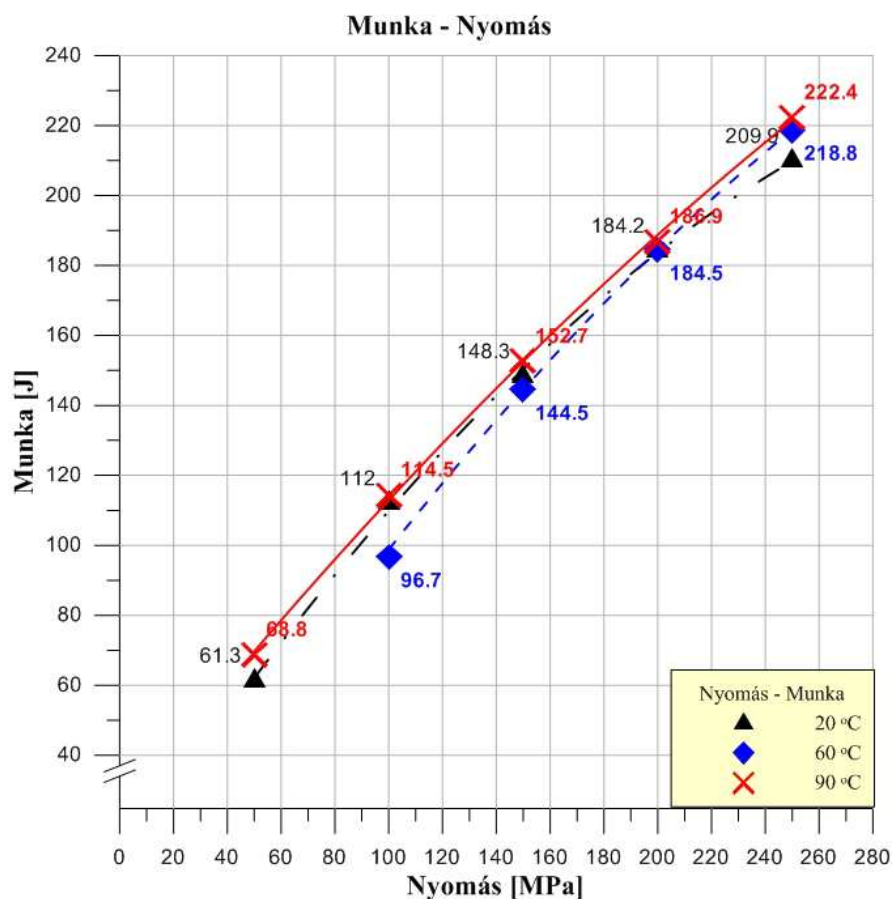
A táblázatban a „Mérés” oszlopokban látható kódok az adott hőmérsékletet jelzik [°C], amiken a méréseket végeztem, illetve a nyomásértéket [MPa] (pl.: 20_150: A mérést 20 °C-on végeztem és 150 MPa nyomáson).

A számítógép által rögzített erő és elmozdulás értékeket egy adott koordináta rendszeren pontsor formában felvettem, majd egy görbét illesztettem rá. A Graph 4.3 program segítségével kiszámíthatjuk a görbe alatti területet, vagyis megkapjuk a brikket elkészítése során végzett munka értékét Joule-ban.



13. ábra: A munka kiszámításának menete Graph 4.3 programmal

A következő diagramon az elvégzett munka értékeket a sűrűség függvényében láthatjuk. Megfigyelhető, hogy a görbék a hőmérsékletváltozás hatására eltértek egymástól, de itt meg kell jegyeznem, hogy a minta az előmelegítése során veszített a nedvességtartalmából, a nagyobb hőmérséklet elérése érdekében több időt töltött a szárítószekrényben. Az elkészült tabletta sűrűsége ezért is eltérő lehet.



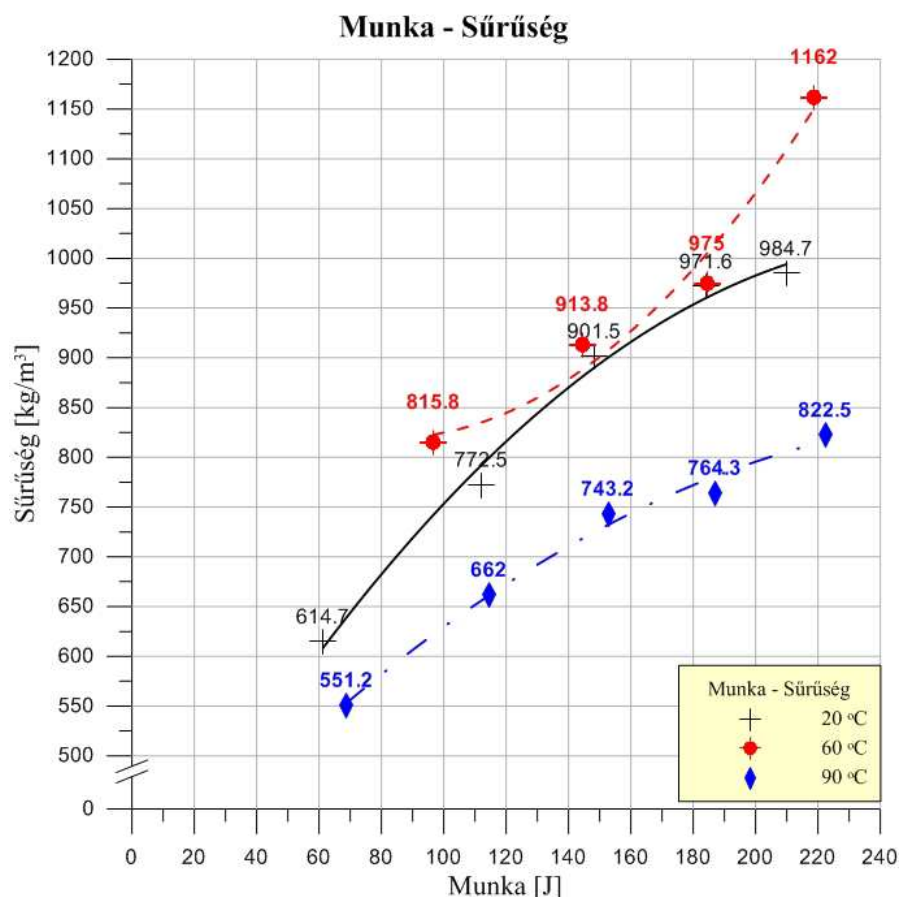
14. ábra: A munkaértékek változása a nyomás hatására

16. táblázat: munka – nyomás értékekre illesztett polinómikus függvény értéktáblája

20 °C préselés		60 °C préselés	
$W = 7,12 + 1,1708 \times p - 0,00144 \times p^2$		$W = -9,7 + 1,199 \times p - 0,00114 \times p^2$	
Nyomás, p [MPa]	Munka, W [J]	Nyomás, p [MPa]	Munka, W [J]
80	91,57	80	78,92
120	126,88	120	117,76
180	171,21	180	169,84

17. táblázat: munka – nyomás értékekre illesztett polinómikus függvény értéktáblája

90°C préselés	
$W = 22,98 + 0,9683428571 \times p - 0,0006971428571 \times p^2$	
Nyomás, p [MPa]	Munka, W [J]
80	95,99
120	129,14
180	174,69



15. ábra: A sűrűség értékek változása és a befektetett munka

18. táblázat: sűrűség – munka értékekre illesztett polinómikus függvény értéktáblája

20 °C préselés		60 °C préselés	
$W = 315,2484419 + 5,424813247 \times \rho - 0,01043823334 \times \rho^2$		$W = 938,7350557 - 2,913946656 \times \rho + 0,01774578817 \times \rho^2$	
Munka, W [J]	Sűrűség, ρ [kg/m ³]	Munka, W [J]	Sűrűség, ρ [kg/m ³]
80	682,43	80	819,19
120	815,92	120	844,6
180	953,52	180	989,19

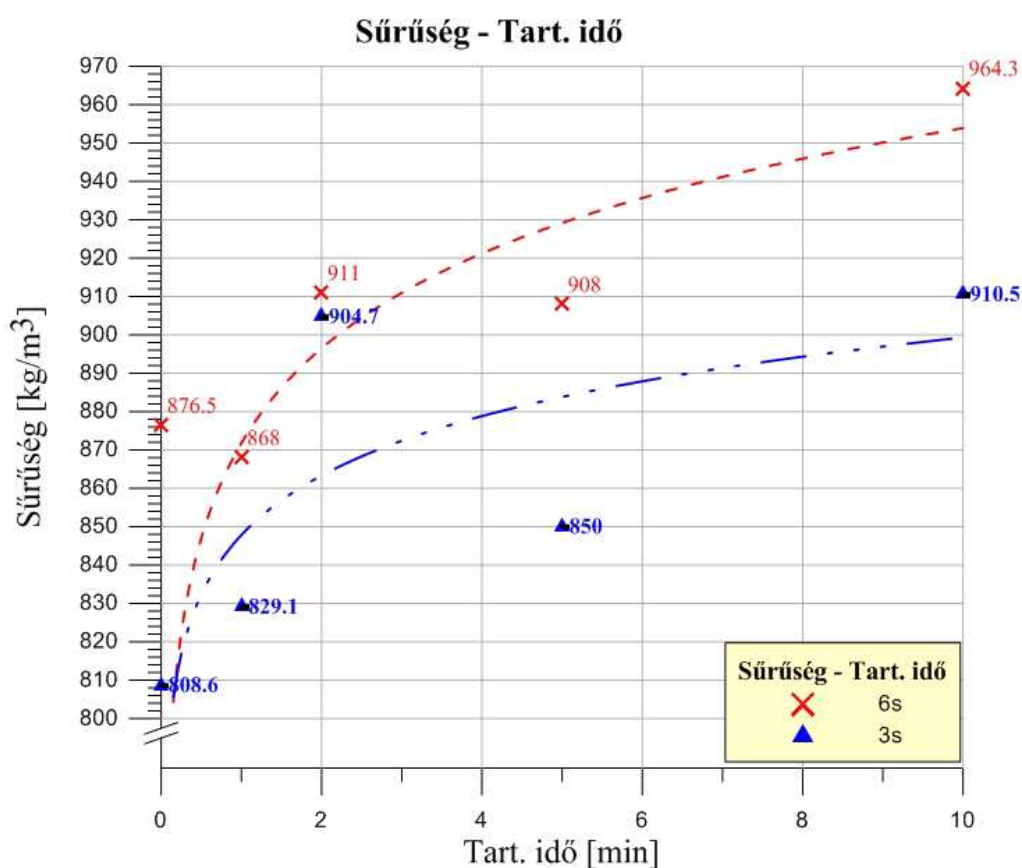
19. táblázat: sűrűség – munka értékekre illesztett polinómikus függvény értéktáblája

90 °C préselés	
$W = 342,5564276 + 3,475373368 \times \rho - 0,006051386586 \times \rho^2$	
Munka, W [J]	Sűrűség, ρ [kg/m ³]
80	581,86
120	672,46
180	772,06

A korábbi vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a 90 °C -on végzett agglomerálás nem felel meg az elvárt minőségi követelményeknek. Azonban az ipari termelés során hő termelődik, így nem valószínű, hogy tartani lehet sem a 20 °C, sem a 60°C-os hőmérsékletet a prés térben. Illetve a hőmérséklet tartása a termelési kapacitás csökkentése által érhető el, de a

termelékenység csökkenése veszélyezteti az üzem gazdaságosságát. Szükségessé válik a korábbi kísérletek folytatása, megfelelő minőségű brikettek 90°C-on történő előállításának érdekében.

A korábbi kísérletek sikertelenségének oka az volt, hogy a brikettek sűrűsége függ az alapanyag a nedvességtartalmától. Az anyag előmelegítése során a nedvességtartalma lecsökkent, ez hatással volt a rugalmasságára. A következő kísérlet során az anyagot nem szárítószekrényben, hanem a préstérben melegítettem. A zárt térben csak minimális mennyiségben vesztett a nedvességtartalmából, de az alapanyag felmelegedett. Mivel a nyomóerő hatását már igazoltam, ezért a következő kísérleteimet mind 150 MPa nyomáson végeztem.



16. ábra: Sűrűség – tartózkodási idő

A mérés során a préselés megkezdése előtt 0, 1, 2, 5, és 10 percig melegítettem az anyagot, majd 3 illetve 6 másodpercig nyomás alatt tartottam. Az alapanyag nedvességtartalma 11,5 % volt, az aprítást a függőleges tengelyű vágómalomban 2mm-es szitabetéttel végeztem. A kísérletek során mért, átlagolt sűrűség értékek az **16. ábrán** láthatók.

Megállapítható, hogy a sűrűség értékek a tartózkodási idő függvényében logaritmus függvényre illeszthetők, melyek egyenletei a következők.

20. táblázat: A sűrűség – tartózkodási idő értékekre illesztett logaritmus függvény értéktáblája

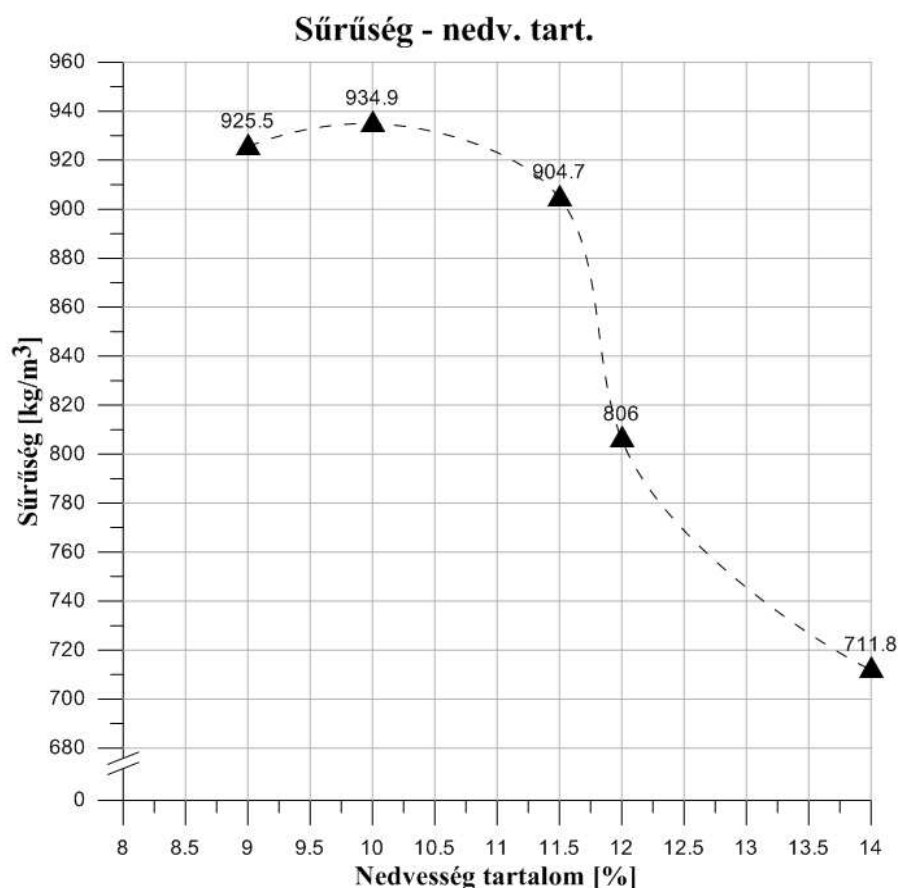
3 másodperces préselés		6 másodperces préselés	
$\rho = 22,35319214 \times \ln(t) + 847,8324365$		$\rho = 35,65375177 \times \ln(t) + 871,7846013$	
Tart. idő, t [min]	Sűrűség, ρ [kg/m ³]	Tart. idő, t [min]	Sűrűség, ρ [kg/m ³]
3	872,39	3	910,95
7	891,33	7	941,16
9	896,95	9	950,12

A kísérlet alapján megállapítható, hogy az anyag zárt térben történő melegítése közben eltelt idő növekedésével arányosan növekedik a brikettek sűrűsége és ez által a szilárdsága is. A **16. ábrán** látható, hogy a 2 perces tartózkodási időhöz tartozó átlagolt sűrűségértékek a 3 és a 6 másodperces munka során is kiemelkednek, majd egy rövid visszaesés után ismét növekedni kezdenek. Ez a jelenség az anyag hirtelen végbemenő rugalmasságát érintő változásával magyarázható. A felmelegedés mértéke nem egyenletes, először a felülete melegszik fel, ezt követően fokozatosan belső hőmérséklet is nő. 2 perc alatt ideális szintre juthat a felületi hőmérséklet, majd a folyamat lelassul, 10 perc alatt a belső hőmérséklete is ideális szintre kerül.

A feltételezésemet felületi hőmérő segítségével igazoltam, a 2 perces és a 10 perces melegítés esetén is **55-60 °C**-ot mértem az elkészült brikettek felületén.

A szárítószekrényben előmelegített anyaggal, 90°C-on végzett kísérleteim sikertelenségét a nedvességtartalom csökkenésével magyaráztam. A feltételezésem igazolására, azonos szemcseméretű /2mm/, de különböző nedvességtartalmú alapanyaggal 2 perc, tartózkodási, és 3 másodperces préselési idővel dolgoztam.

Az átlagolt értékek változása a **17. ábrán** látható. Megállapítható, hogy az ideális nedvességtartalom 10% és az a tény, hogy minimális különbség is jelentős eltérést jelenthet az anyag sűrűségét illetően.



17. ábra: Sűrűség változás a nedvességtartalom függvényében

8 és nagyon magas 25% nedvességtartalommal is kísérleteztem. Egyik mérés sem vezetett eredményre, a sikertelenség oka és megjelenése azonban eltérő volt. Az alacsony nedvességtartalmú minták esetén a brikettek összeálltak, a szobahőmérsékleten történő lassú hűtési folyamat során azonban szemmel látható mértékben repedezni, ez által növekedni kezdtek. Egyes minták maguktól szétestek, más minták a mintatartó zsákba helyezéskor mentek tönkre. Ezt a jelenséget figyeltem meg az előmelegítéssel kísérleteim során is, vagyis a nedvességtartalom csökkenés miatti minőségromlást igazoltam.

A magas nedvességtartalmú mérések esetén az anyag csak látszólag állt össze a préselés hatására, a dugattyús présben használt felső fémhenger eltávolítása után a brikett egyből szétesett a ráható erő megszűnése és a levegő hatására.

21. táblázat: A szemcseméret hatása a sűrűségre

Szemcseméret [mm]*	Nedv. Tart [%]	Sűrűség [kg/m³]
<0,5	10,62	950,9
<1	11,27	883,97
<2	10,21	929,7
<4	10,17	929,1
<6	9,47	955,1

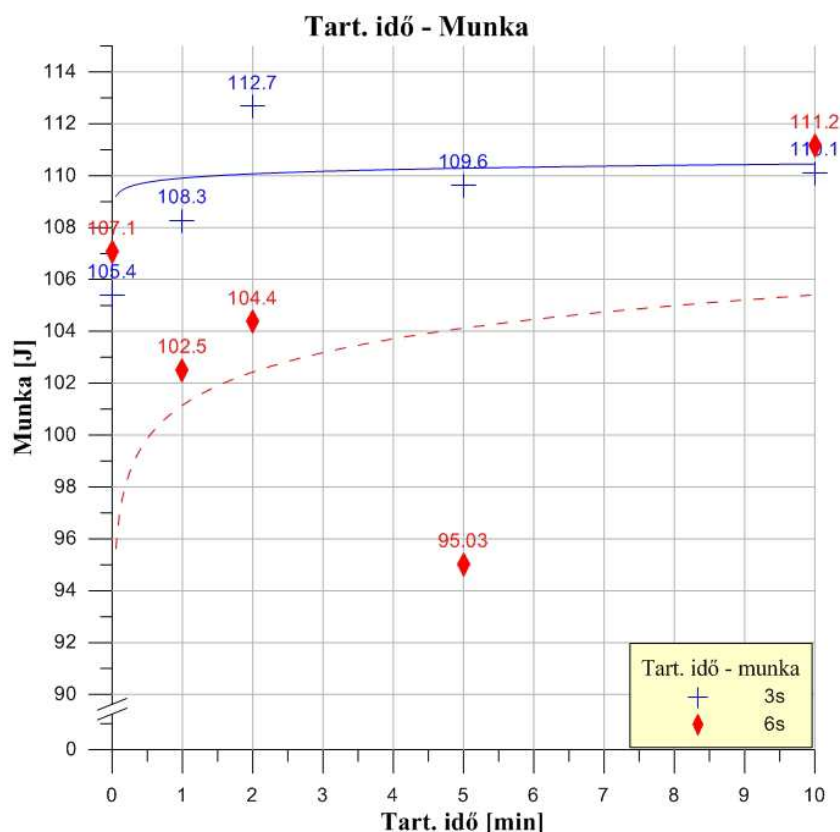
* Az aprítás során használt szitabetét lyukbőssége

A szemcseméret sűrűsége történő hatásának megvizsgálásához a Retsch vágómalommal 50-50g szalmát aprítottam le, majd beállítottam a nedvesség tartalmukat. A kis mennyiségű alapanyaghoz történő kis mennyiségű víz hozzáadása, illetve az egyenletes eloszlata nem egyszerű feladat. A **21. táblázat**ban látható a minták nedvességtartalma és az elkészült brikettek átlagolt sűrűség értékei.

A sűrűségértékek eltérése arányos a nedvességtartalom eltéréseivel, tehát megállapítható, hogy a feladott anyag szemcsemérete nincs hatással az elkészült brikettek sűrűségére. Az anyag leaprítása a présbe történő feladás szempontjából lényeges, az intézeti dugattyús prés kis garatmérete miatt a 2 mm és az alatti szemcseméretű anyag feladása ideális. Ipari szinten az üzemekben használt gépektől függ a feladhatóság.

22. táblázat: tartózkodási idő – munka értékek

Tart. idő [min]	3s préselés munka [J]	6s préselés munka [J]
0	105,4	107,07
1	108,29	102,52
2	112,68	104,38
5	109,64	95,03
10	110,12	111,17



18. ábra: Munka értékek a tartózkodási idő függvényében

23. táblázat: A munka – tartózkodási idő értékekre illesztett logaritmus függvény értéktáblája

3 másodperces préselés		6 másodperces préselés	
$W = 0,2362999042 \times \ln(t) + 109,9079497$		$W = 1,848093638 \times \ln(t) + 101,1473036$	
Tart. idő, t [min]	Munka, W [J]	Tart. idő, t [min]	Munka, W [J]
3	110,17	3	103,18
7	110,36	7	104,74
9	110,43	9	105,21

24. táblázat: nedvességtartalom – munka értékek

Nedvesség tartalom [%]	Munka [J]
8*	93,1
9	122,84
10	128,73
12	109,98
14	89,71

* A brikettek az elkészülés után rövid időn belül szétestek



19. ábra: Jó minőségű brikettek



20. ábra: rossz minőségű brikettek

5.3 Gőzmennyiség megmérése

A pelletálóhoz tartozik egy gőzfejlesztő gép, amely a kondicionáló csigához csatlakozik. Műszaki adatait a **8. táblázat** tartalmazza.

Az átáramló gőz mennyiségét egy golyós csap segítségével szabályozhatjuk, így a pelleteket elő tudom állítani, de nem tudom meghatározni, hogy hány m³ gőzt áramoltattam át a kondicionáló csigán. Mivel az intézetben nem állt rendelkezésemre, erre a célra kifejlesztett mérőeszköz, ezért felvettem a kapcsolatot egy gőztechnikával foglalkozó céggel.

Több megoldási lehetőséget is felkínáltak, melyek a következők:

- 1:4 átfogású mérőperem, feldolgozó egységgel és méretezett nyomáskülönbség távadóval

- Zavarótestes ún. Vortex-es mérőeszköz

- Spirax Sarco Ltd által gyártott Gilflo ilva gőzmennyiségmérő,

- Közvetett módszer a villamos munka mérése által. Mivel a bevitt villamos munka 100 %-ban hővé alakul, a gőzfejlesztő hővesztesége mérésekkel meghatározható és ismert az adott hőmérsékleten a párolgási hő, ezért a gőzmennyiség meghatározható.

A problémát tehát nem a műszaki megoldási lehetőségek hiánya jelenti, hanem az a tény, hogy az általam használt berendezés nagyon kismennyiségű gőzfelhasználással jár. Így a szükséges eszközök beszerzése költséges. Végül kevésbé pontos, de gazdaságos megoldást választottam. Vízórát szereltem a gőzfejlesztőbe érkező vízmennyiség mérésére, majd a következő kísérleteket végeztem el:

- Első vízfelvétel során felvett víz mennyisége

- 1 h folyamatos működés alatt felvett víz mennyisége

A mérések megkezdése előtt meghatároztam a készülék pontatlanságát, a mért és a számolt térfogat hányadosa 1,04.

A csap fölé felszerelésre került egy szögmérő, így mindig megfelelő szögben tudtam elfordítani a csapot, hogy a méréseim megbízhatóak legyenek. A méréseim során megfigyeltem, hogy a gép a víztároló tartályát tele tölti, majd forralni kezdi a vizet. A melegítés 6 bar nyomás elérése esetén véget ér, a maximális nyomás érték 6,4 bar. Amennyiben a víz mennyisége adott szint alá csökken, a fogyásnak megfelelő mennyiségű vizet vesz fel a rendszer. A csap megnyitása és az első vízfelvétel között eltelt idő függ a vízszint csökkenéstől, amit az határoz meg, hogy milyen mértékben nyitottam meg a csapot.

25. táblázat: Első vízfelvétel során felvett víz mennyiség meghatározása

Csap elfordítás	Első vízfelvételig eltelt idő [min]	Felvett víz mennyisége [m ³]
15°	9	1,73x10 ⁻³
20°	7,7	2,07x10 ⁻³
30°	5,5	2,41x10 ⁻³
40°	5,3	3,079x10 ⁻³
60°	5,3	3,92x10 ⁻³

26. táblázat: Egy óra alatt felvett víz mennyiségének meghatározása

Csap elfordítás	Felvett víz mennyisége [m ³]
15°	0,01690
20°	0,02271
30°	0,02186
40°	0,02571
60°	0,02012

A **26. táblázat** adatai alapján megállapítható, hogy a gép az első vízfelvételt követően egyenletesen állítja elő a kívánt gőzmennyiséget. Az eltérést az okozhatja, hogy pontosan 1 óra elteltével olvastam le a vízórárt, így a gépben nagyobb mennyiségű víz maradhatott. Ez azért jelent problémát, mert a nagyobb mértékű megnyitás láthatóan nagyobb gőzleadással jár, az első vízfelvételig, utána állandósul. A **25. táblázat** értékei, viszont felhasználhatóak a pellet készítési kísérleteim során, mivel a munkafolyamat ideje nem haladja meg ezt az időtartamot.

5.4 Pelletkészítési kísérletek

Az első mérésekhez a korábban, a Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet SM2000 típusú **Retsch vágó malmával**, 2mm-es szitabetéttel leprított szalmát használtam fel (szemcseméret eloszlás: **9. táblázat**).

Az utolsó méréshez a **Függőleges tengelyű vágómalommal** szintén 2mm-es szitabetéttel leprított szalmát használtam fel (szemcseméret eloszlás: **10. táblázat**).

Mivel a munka során keletkező pellet minőségét a feladott anyag összes víztartalma jelentős mértékben befolyásolja, ezért az anyag előkészítésében az első művelet ennek a víztartalomnak a meghatározása volt, majd annak beállítása.

Miként a **27. táblázat** adataiból is kitűnik az első kísérleteim nem vezettek olyan eredményre, mely alapján pontos következtetéseket tudtam volna levonni. A keletkező pelletek mennyisége és minősége sem volt megfelelő. Viszont megállapítottam, hogy a kenőanyag tartalom és a gőz mennyisége is segíti az agglomerálást. A kísérleteimet függőleges tengelyű vágómalommal, 4 mm-es szitabetéttel leprított szalmával folytattam. Az eredményeket a **28. táblázat** tartalmazza.

A mérések megkezdése előtt szükséges a pelletáló üzemi hőmérsékletre melegítése, ezt speciális keverékkel végeztem.

A keletkező pellet mennyiségét szitaelemzéssel határoztam meg. A 8 mm-es szitán fennmaradó, fényes, sima felszínű anyagot értelmeztem jó minőségű pelletként. A 8 és 6,3 mm-es frakciót tüzelőberendezésbe feladható, de nem jó minőségű pelletként értelmeztem. A 6,3 mm-es szitán áthulló frakció a nem agglomerálódott maradékanyag.

27. táblázat: Pellet előállítási kísérletek és azok eredményei (gőzmérés nélkül)

Aprítógép	Nedvességtartalom [%]	Gőz mennyiség [m ³]*	Kenőanyag tartalom*** [%]	Eredmény
Retsch vágó malom	11,6	-	nincs	Kezdetben kevés, feltehetően olajjal szennyezett pellet keletkezett, állaga hossza megfelelő, de a mennyisége kevés
				Az olaj már nincs jelen, rövid várakozási idő után az előző mérésnél több, de az elvárásokhoz képest még mindig kevés pellet keletkezett
		0		A gép nem termelt pelletet.
	≈15**	-	5	Kisméretű, puha és az elváráshoz képest kevés pellet keletkezett
			5	
Függőleges tengelyű vágómalom	7,4		7,5	Nem keletkezett pellet
			2,5	
			5	
	≈12**	0	7,5	

*Az első kísérletek során még nem állt rendelkezésemre az **5.3 fejezetben** ismertetett technológia.

**Az anyagot másodszor is feladtam, a gőz hatására a nedvességtartalma növekedett.

*** Olajszármazék

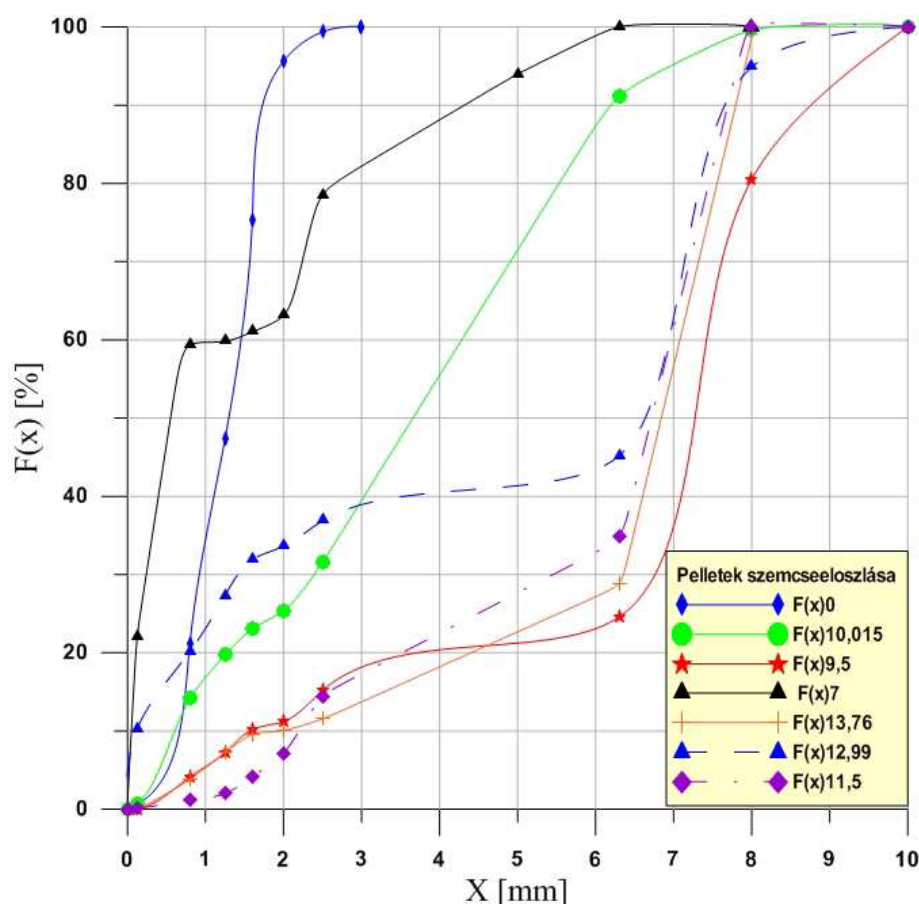
28. táblázat: Pellet előállítási kísérletek és azok eredményei (gőzméréssel)

Nedvesség-tartalom [%]	Gőz mennyiség [m ³]*	Pelletálás ideje [min]	Kenőanyag tartalom [%]	Eredmény
11,5	$1,16 \times 10^{-3}$	6	5	Nagy mennyiségű, de rossz minőségű, (puha, kis szemcseméretű) pellet keletkezett. $[F(x)_{11,5}]$
7	$1,75 \times 10^{-3}$	4	5	Kis mennyiségű és rossz minőségű pellet keletkezett. $[F(x)_7]$
13,76	$8,07 \times 10^{-4}$	3	5	Nagy mennyiségű, de rossz minőségű pellet keletkezett. $[F(x)_{13,76}]$
12,99	$1,08 \times 10^{-3}$	4	2,5	Jó minőségű, de kis mennyiségű pellet keletkezett, illetve rosszabb minőségű pellet keletkezett jelentős mértékben $[F(x)_{12,99}]$
10,015	$1,34 \times 10^{-3}$	5	1	A kevesebb kenőanyag tartalom által növekedett a jó minőségű pellet aránya. $[F(x)_{10,015}]$
9,5	$1,61 \times 10^{-3}$	6	0,5	**

* Az 5.3. fejezetben ismertetett technológia által, a felvett vízre vonatkoztatott mennyiség.

** A kísérleteim által megállapítható, hogy a 9,5 %-os nedvességtartalmú, 4-mm-es szitabetéttel leprított, 0,5 % kenőanyag tartalmú nyersanyag esetén keletkezik a legnagyobb mennyiségű, minőségi pellet. $[F(x)_{9,5}]$ A 8 mm-es szitán fennmaradó frakciót leválasztva ismét feladtam az anyagot, ezzel a jó minőségű pellet aránya növekedett. Megfigyelhető, hogy a jó minőségű pellet a pelletálás megkezdésekor keletkezik, majd az áthulló anyag mennyiségének növekedésével a minőség romlik. Másodszori feladásra szintén ez figyelhető meg. Vagyis a pelletálódást a megfelelő paraméterek mellett a feladott anyag mennyisége is befolyásolja. Laboratóriumi körülmények között, mivel nem állt rendelkezésemre megfelelő mennyiségű szalma, nem tudtam biztosítani az állandó anyagáramlást.

Feltételezhető, hogy a fent említett paraméterekkel rendelkező keverékből üzemi szinten is jó minőségű pelletet lehetne előállítani, azonban az ipari szintű anyagfeladás által nagy mennyiség keletkezne, a nem megfelelő maradékanyag ismét feladható a rendszerbe, vagyis az üzem megfelelő hatásokkal működhetne.



21. ábra: Pelletált anyag minta, szemcseeloszlása

A pelletált anyagból mintát vettem, majd a mintán szitaelméletet végeztem, az eredményeket a **21. ábra** tartalmazza. Látható, hogy a **28. táblázat**ban sikeresnek értékelt kísérletek esetén, a minták 6,3 mm-es szitán át nem hullott mennyisége nagyobb.

A 8-as és a 6,3-as szitán az egész anyagalmazt átszitáltam, az eredményeket a következő táblázat tartalmazza.

29. táblázat: Pellet termelékenységi hatások a kenőanyagtartalom és a nedvességtartalom függvényében

Nedvesség tartalom [%]	Kenőanyag tartalom [%]	Teljes pellet [>8 mm]	Hasznosítható pellet [6,3 – 8mm]
7	5	0	
13,76	5	0	60
11,5	5	0	70
12,99	2,5	5	65
10,015	1	20	60
9,5	0,5	30*	60*

*A 9,5 % nedvesség tartalmú és 0,5% kenőanyag tartalmú anyagot a 8 mm-es szitán fennmaradt (teljes) pelletet leválasztva ismét feladtam a berendezésre, így ismét keletkezett jó minőségű pellet. Másodszori feladással teljes pellet: **35%**; hasznosítható: **70%**.



22. ábra: Jó minőségű pelletek [$x > 8\text{mm}$]



23. ábra: Hasznosítható pellet [$6,3 < x < 8\text{ mm}$]



24. ábra: Rossz minőségű maradékanyag [$x < 6,3\text{ mm}$]

6. ÖSSZEGZÉS – TECHNOLÓGIAI JAVASLATTÉTEL

Az **5. fejezet**ben részletezett kísérleteim által igazolni tudtam, hogy mely tényezők befolyásolják a brikettek és a pelletek minőségét. Az iparban azonban nem elég csak a termékek minőségét vizsgálni, más szempontokat is figyelembe kell venni, mint a gazdaságosság, hatékonyság. A fejezetben ezen szempontokat is figyelembe vettem a javaslattétel során.

6.1 Brikettek minőségét meghatározó tényezők összegzése

Az **5.2-es fejezet**ben részletezett mérések alapján megállapítható, hogy mely tényezők befolyásolják a brikettek minőségét.

A **préselési nyomás** nagymértékben hat a brikettek szilárdságára. Nagyobb nyomás nagyobb sűrűséget eredményez, viszont a befektetett munka értéke is arányosan nő, vagyis gazdaságtalanná válhat az üzem működése. **150 MPa** nyomáson megfelelő szilárdság érhető el, és a befektetett munka értéke is elfogadható.

A **hőmérséklet** szerepe nem hanyagolható el a brikettálás során. Viszont adott szinten tartása ipari méretekben problémát jelenthet. A **60 – 90 °C** fokon történő agglomerálás jobb minőségű briketteket eredményezett, mint a szobahőmérsékleten végzett kísérletek, azonban nem ez a legfontosabb befolyásoló tényező.

A **préstérben eltöltött idő** fontos szempont, mert az alapanyag ekkor kerül üzemi hőmérsékletre. A legjobb minőséget 10 perc alatt értem el, de a termelékenységet erőteljesen visszaveti és nagyobb költséggel is jár. Az ideális időtartam **2 perc**.

A **préselés időtartama** szintén fontos tényező. Az idő elteltével arányosan növekszik a brikettek sűrűsége, viszont a hosszú préselési idő igénybe veszi a berendezést, tehát jelentős az amortizáció, illetve a befektetett munka is több. **6 másodperc** préselés ideális.

A nedvességtartalom az egyik legfontosabb befolyásoló tényező. A túl kicsi és a túl nagy nedvesség is problémát okozhat. Ideális mértéke **10%**.

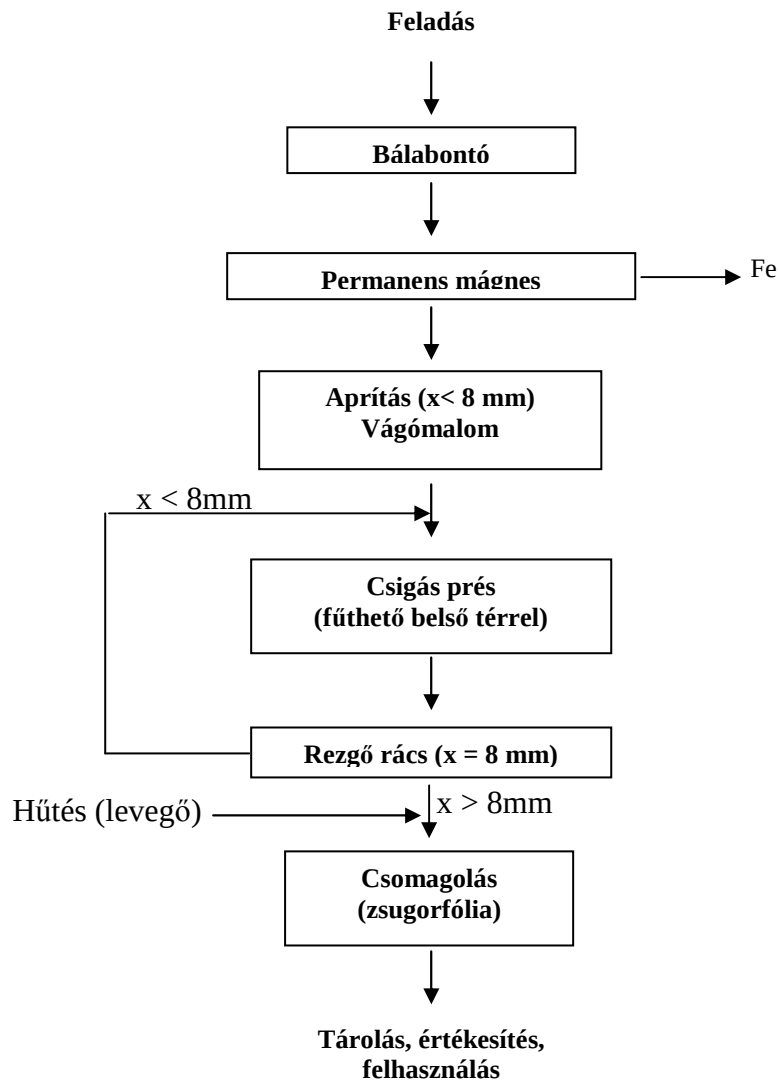
A feladott anyag **szemcsemérete** nem befolyásolja a brikettek minőségét, tehát prés garatmérete határozza meg az ideális szemcseméretet. Nem érdemes kis szemcseméretre aprítani a szalmát, mert nagyobb energia befektetéssel jár és a termelékenységre is kihat.

A vizsgált tényezőket és az általam vizsgált tartományban, az ideálisnak tartott értékeket a **30. táblázat** foglalja össze.

30. táblázat: Befolyásoló tényezők összegzése (brikett)

Tényező megnevezése	Ideális érték
Préselési nyomás	150 MPa
Hőmérséklet	60 – 90 °C
Préstérben eltöltött idő	2 min
Préselés ideje	2 s
Szemcseméret	Nem lényeges

6.2 Technológiai javaslattétel Szalma brikett gyártásra



Az általam javasolt technológia a szalmabálák bontásával kezdődik. Mivel nagyon kis mennyiségben, de vas darabok kerülhetnek a bálákba a bálázás során, ezért egy permanens mágnest helyezek az aprítógép elé, a berendezés védelme érdekében.

Az aprítás a csigás présbe történő adagolás miatt szükséges, a prés után az elkészült brikettek egy rezgő rácsra kerülnek, amivel leválasztom a lemorzsolódott, szemcséket. A csomagolás előtt a briketteket le kell hűteni, ezt levegőztetéssel oldom meg, 1 perc elegendő a kellő hőmérséklet elérésére. A kész termék, csomagolás után, tárolható, felhasználható, szállítható és értékesíthető.

6.3 Pelletek minőségét meghatározó tényezők összegzése

Az **5.5-es fejezetben** részletezett mérések alapján megállapítható, hogy mindegyik megvizsgált paraméter (szemcseméret, nedvességtartalom, kenőanyag tartalom, vízgőz) jelentős hatással van a szalma pelletálhatóságára.

A brikettálással ellentétben a pelletálásnál lényeges a feladott anyag **szemcsemérete**. Az ideális szemcseméret **4mm**.

A **nedvességtartalom** is fontos tényező, a kis nedvességtartalom esetén az anyag rugalmatlan, a feladott nyersanyag egy része áthullik a matrica furatain, a többi része eltömíti, ez által gátolja az agglomerálást. A nagy nedvességtartalom csökkenti a kész pelletek fűtőértékét, így rontja az eladhatóságát. Az ideális nedvesség: **9,5 - 10 %**.

A pelletprés eltömődését az agglomerálás során fellépő súrlódás okozza. A kenőanyag tartalom javítja a pelletálhatóságot, de a nagy mennyiségű idegenanyag az elégetés során károsanyag kibocsátást eredményezhet, illetve a pelletek minőségét is rontja. Kis mennyiségű kenőanyag elengedhetetlen a pelletálás során. Az ideális tartalom: **0,5 %**.

A **vízgőz** hozzáadás szükséges a pelletáláshoz, de az anyag nedvességtartalmára, csak kis mértékben hat. Az anyag szerkezetére gyakorol hatást, illetve a felületi tulajdonságaira. A nagy térfogatáram felgyorsítja az anyag áthaladását a furatokon, így nincs elég ideje összeállni, tehát romlik a minősége. A kis térfogatáram nem éri el a kívánt hatást. Az ideális mennyiség: **$1,61 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{h}$** (felvett vízmennyiségre vonatkoztatott vízgőz)

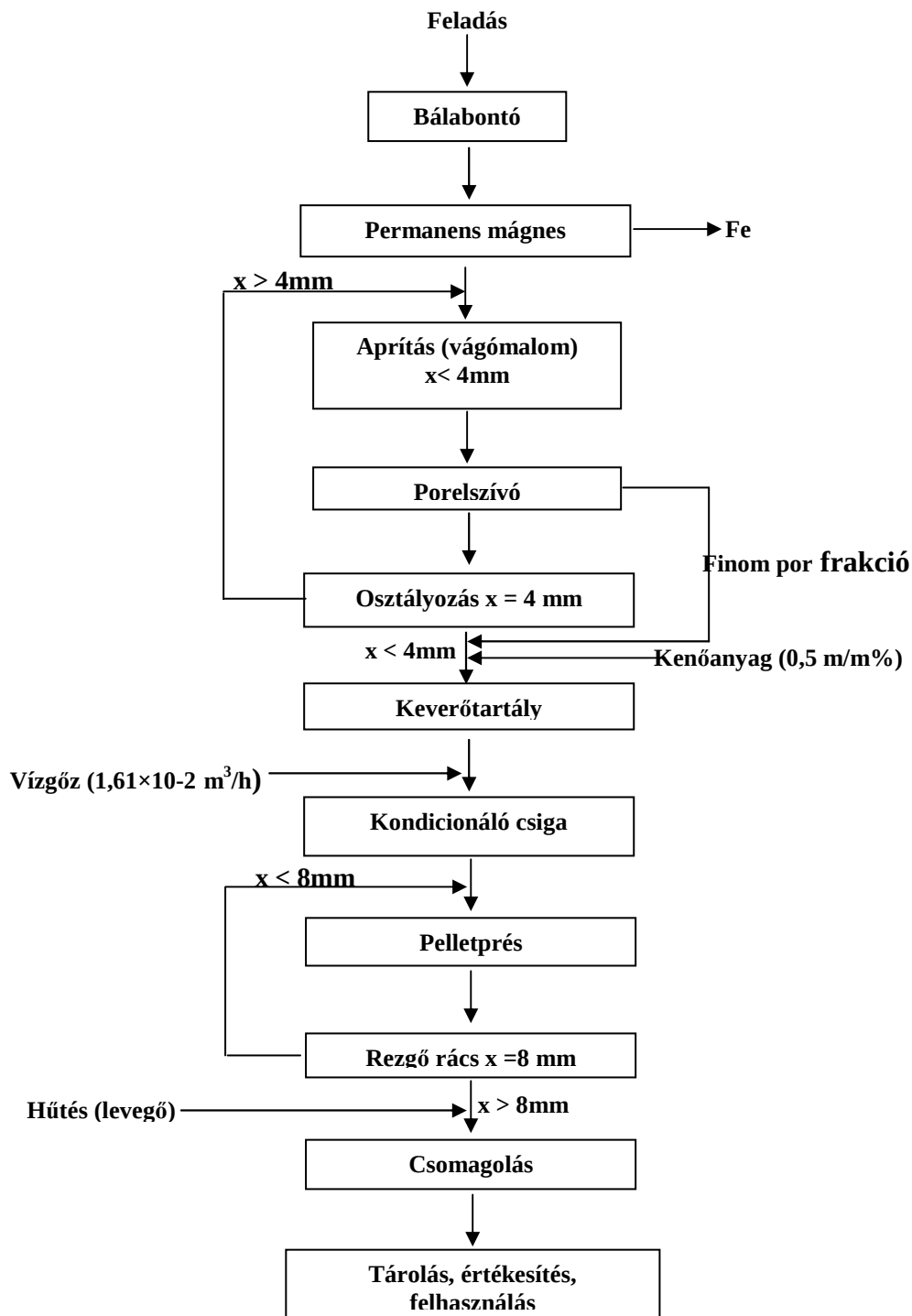
A méréseim során megállapítottam még egy befolyásoló tényezőt, ami nem az anyagot jellemzi, hanem az anyag mennyiségét. A pellet képződést befolyásolja a feladott anyag mennyisége. Állandó anyagfeladás esetén hatékonyan állíthatunk elő jó minőségű pelleteket, illetve a rossz minőségű visszavezethető a rendszerbe.

A vizsgált tényezőket és az általam vizsgált tartományban, az ideálisnak tartott értékeket a **31. táblázat** foglalja össze.

31. táblázat: Befolyásoló tényezők összegzése (pelet)

Befolyásoló tényező megnevezése	Ideális érték
Szemcseméret	4 mm
Nedvességtartalom	9,5%
Kenőanyag tartalom	0,5%
Gőz mennyiség (gőz halmazállapotban hozzáadott víz)	$1,61 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{h}$

6.4 Technológiai javaslattétel Szalma Pellet gyártásra



A pelletálálást a szalmabálák felbontásával kezdem, majd egy permanens mágnes segítségével eltávolítom a bálákban kis mennyiségben, de előforduló vas darabokat, a gépek védelme érdekében. 4mm-es szitabetéttel leaprítom a szalmát, majd a 4 mm-nél nagyobb szemcséket visszavezetem az aprítógépbe. A keverőtartályban kenőanyaggal keverem össze az aprított szalmát, majd a kondicionáló csigával a pellet présbe adagolom a keveréket, vízgőz áramoltatás közben. Az agglomerálás után egy rezgő rácsra kerül az anyag, ahol a 8mm-nél

nagyobb szemcsék hűtés után csomagolásra kerülnek. A hűtést levegőn végzem 1 perc elegendő. A 8mm-nél kisebb szemcséket visszavezetem a pellet présbe.

A csomagolás után az anyag tárolható, szállítható és árusítható. Üzemi célú felhasználás esetén Big Bag zsákokat, lakossági célú értékesítés esetben kisebb zsákokat alkalmazhatunk.

7. IRODALOMJEGYZÉK

1. **Bai Attila - Lakner Zoltán – Marosvölgyi Béla – Nábrádi András (2002):** A biomassa felhasználása
2. **Kacz Károly – Neményi Miklós (1998):** Megújuló energiaforrások
3. **Nagy Sándor:** Agglomeration of fine powders used in metallurgy, Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai intézet Előkészítéstechnikai Intézeti Tanszék, Miskolc
4. **Nagy Sándor:** Biomassa előkészítése, brikettálása és pelletézése, előadásanyag
5. **APRÍTÓGÉPGYÁR kft.:** <http://www.agj.hu/>; letöltés: 2012. 10.27
6. **Biomassa, mint Energiaforrás:** <http://www.agraroldal.hu/boietanol-biometanol-biodimetileter.html>; letöltés: 2012. 10.27
7. **Cutting Mill SM 200:** <http://www.retsch.com/products/milling/cutting-mills/sm-200/>; letöltés: 2012. 10.27
8. **Intézeti pelletáló:** <http://www.biodiesel-machine.com/flat-die-pellet-mill.html>; letöltés: 2012. 10.27
9. **dr. Barótfi I.** (2000): Környezettechnika; <http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/kornyezettechnika-eloszo/ch02s06.html> (letöltés: 2013.11.03.)
10. **Magyar Biogáz Egyesület:** <http://www.biogas.hu>; letöltés: 2012. 10.27
11. **Moniki Ákos: Biomassa Energia :** <http://www.nyf.hu/others/html/kornyezettud/meguujulo/Biomassa/Biomassa.html>; letöltés: 2012. 10.27
12. **Magyarország 2020-ig Hasznosítható megújuló energiaátalakító technológiáinak kiválasztása, műszaki – gazdasági mutatói adatbázisa; energetikai szaktanulmány:** http://www.mekh.hu/gcpdocs/49/NCST/NCST_A.pdf (letöltés: 2013.11.03)
13. **Pellet szabványok:** http://www.mapellet.hu/?_page=vocational.php&news_id=247 (letöltés: 2013.11.03.)
14. **Szamosi Z., Dr. Siménfalvi Z. Mezőgazdasági hulladékot feldolgozó pelletáló üzem létesítésének feltételei:** http://www.matarka.hu/koz/ISSN_2062-9737/2k_1sz_2012/ISSN_2062_9737_2k_1_2012_115-120.pdf (letöltés: 2013. 11. 03.)

15. Tüzelőanyagokról, szalmatüzelésről:

http://www.altherm.hu/hu/szakmai_hirek/tuzeloanyagokrol_szalmatuzelesrol-4.html

(letöltés: 2013. 11. 03.)

16. Biogáz erőmű kép: [http://www.fenntarthatofejloves.net/wp-](http://www.fenntarthatofejloves.net/wp-content/uploads/2008/04/biogaz_eromu2.jpg)

[content/uploads/2008/04/biogaz_eromu2.jpg](http://www.fenntarthatofejloves.net/wp-content/uploads/2008/04/biogaz_eromu2.jpg); (letöltés: 2013. 11.03)

17. Forgalomba helyezési adatok Magyarországon kép:

http://www.autostars.hu/sites/default/files/201304_PC_diagram2.png (letöltés:

2013.11.03.)

18. Mezőgazdasági hulladék mennyisége kép:

<http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/kornyezettechnika-eloszo/ch02s06.html>

(letöltés: 2013.11.03.)

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetének és minden dolgozójának, akik munkájukkal, tanácsaikkal hozzájárultak a TDK dolgozatom elkészüléséhez.

Külön szeretném megköszönni Vas László és Kövesi Viktor segítségét a gőzfejlesztő gép továbbfejlesztését illetően. Továbbá konzulensem, Dr. Nagy Sándor odaadó munkáját és hasznos tanácsait.