

SZENT ISTVÁN EGYETEM

**KALAPÁCSOS DARÁLÓ APRÍTÁSKINETIKAI
ÉS ENERGETIKAI VIZSGÁLATA**

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Korzenszky Péter

Gödöllő

2009.

A doktori iskola

megnevezése: **Műszaki Tudományi Doktori Iskola**

tudományága: **Agrárműszaki tudomány**

vezetője: Dr. Farkas István DSc
egyetemi tanár
SZIE, Gépészmérnöki Kar

Témavezető: Dr. Judák Endre CSc
egyetemi docens
SZIE GÉK Gödöllő, Folyamatmérnöki Intézet

.....
A programvezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK.....	3
BEVEZETÉS.....	4
1. KALAPÁCSOS DARÁLÓ VIZSGÁLATÁNAK KÖRÜLMÉNYEI ÉS MÓDSZERE.....	6
1.1. A vizsgálat előzményei	6
1.2. A vizsgálati körülmények	6
1.3. Az új mérési összeállítás	7
1.3.1. Kalibrálás és ellenőrzés a vizsgálat során.....	8
1.4. A vizsgálat menete	9
1.5. Vizsgálati módszerek	9
1.5.1. Mérési módszerek.....	9
1.5.2. Adatgyűjtés módszere.....	10
1.5.3. Kiértékelés módszere.....	10
2. KALAPÁCS KERÜLETI SEBESSÉG VÁLTOZTATÁS EREDMÉNYEI KALAPÁCSOS DARÁLÓN.....	12
2.1. Újszerű mérési eljárás kidolgozása	12
2.1.1. Frekvenciaváltó alkalmazásának lehetőségei.....	14
2.2. A mechanikai teljesítmény és a fajlagos felületnövekedés	15
2.3. Az átlag szemcseméret és a sűrűségfüggvény	16
2.4. Az átlag szemcseméret és a fajlagos felület	18
2.5. A fajlagos felület és a tömegáram	19
2.6. Az átlag szemcseméret és a többi nevezetes szemcseméret viszonya	20
2.7. A fajlagos energiaigény és a kerületi sebesség viszonya	21
2.8. A nem állandósult szakasz vizsgálata	22
2.8.1. A teljesítmény és töltet viszonya a nem állandósult darálás szakaszában..	22
2.8.2. A teljesítmény és tömegáram viszonya a nem állandósult darálás szakaszában.....	23
3. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	25
4. JAVASLATOK, KÖVETKEZTETÉSEK.....	27
ÖSSZEFOGLALÁS	29
AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK	31

BEVEZETÉS

A növénytermesztés és az állattenyésztés egymástól nem szétválasztható területek. A megtermelt növények jó része feldolgozást követően közvetlenül vagy közvetve, emberi vagy állati fogyasztásra kerül. Az állati fogyasztásra szánt termékek jelentős részét takarmánykeverő üzemekben dolgozzák fel, ahol adott receptúra alapján az állatfajnak megfelelő keveréktakarmányt állítanak elő.

A takarmánygyártás előkészítés egyik legjelentősebb művelete az aprítás. Az aprítás többféle módon történhet, az egyik legjobban elterjedt és kisüzemi felhasználás esetén is alkalmazható eljárás a darálás.

A darálás általában a szemes takarmányok, ritkábban a préselt szálas- és darabos takarmány-alapanyagok aprítása abból a célból, hogy tápanyagtartalmuk gyorsabban feltárható legyen, így emészthetőségük könnyebb, hasznosulásuk jobb legyen az adott állatfaj számára. A tyúkfélékkel és sertésekkel végzett kísérletekben a 0,7-0,8mm-es átlagos szemcseméretet találták optimálisnak. A darafinomság ezért kiemelkedő jelentőségű.

A mezőgazdaságban leginkább a szabad ütésen és ütköztetésen alapuló aprító gépek, a kalapácsos darálók terjedtek el. Működésük lényege, hogy a darálótérbe jutó szemet a gyorsan forgó lengőkalapácsok többszöri ütéssel, ill. a homloklemmezhez és az őrlőteret körülvevő rostaköpeny felületéhez való ütköztetéssel mindaddig aprítják, amíg a dara a rosta lyukain át nem hullik. Szinte valamennyi szemes és szálastakarmány aprítására alkalmasak. Szerkezetük egyszerű, kezelésük könnyű, üzemük megbízható.

A kívánt szemcseméret a korábbi hagyományos felszereltségű darálók esetében a cserélhető rosta lyukbőségétől függ.

A gyorsan forgó kalapácsok által keltett légörvény kifújja a darát a gépből. A szemcseméret attól is függ, hogy meddig kering az anyag a darálótérben. A kalapácsos aprítógépek munkáját befolyásolja az adagolás egyenletessége is. A legnagyobb szemcseméretet a rostalemez lyukmérete határozza meg. Adott darafinomság eléréséhez időnkénti leállással járó többszöri rostacsere szükséges, mely nem gazdaságos, időigényes és humán erőforrást köt le.

Az őrlés sok paramétertől függ, melyek a folyamat hatékonyságát és a takarmány minőségét jelentősen befolyásolják.

A hatékonyság növelése és a minőség javítása egyes gépi beállítások változtatásával és szemléletváltással érhető el. A korábbi állandó fordulatszám beállítása helyett fokozatmentesen állítható kalapács kerületi sebességet tesz lehetővé egy frekvenciaváltó beiktatása.

Kutatásom célja a daráló kalapács kerületi sebesség menet közbeni fokozatmentes állításával

- az aprítógépben zajló folyamatok vizsgálata olyan modellkísérletekben, melyek során a szokásos gyakorlattól eltérve a gépi konstrukcióba frekvenciaváltót iktatok be és nagy sebességű mintavételezésre alkalmas mérőrendszert alkalmazok,
- az őrlési folyamatot és végtermék minőséget befolyásoló gépi paraméterek változtatásának hatásvizsgálata, összefüggések feltárása, őrléskinetikai és energetikai analízise,
- tanulmányozni a sebesség növelés – tengelyen átvitt mechanikai teljesítmény – őrlemény felületnövekedésének összefüggéseit,
- feltárni a szemcseméret eloszlás alakulását különböző beállítások alkalmazásával,
- vizsgálni a mechanikai teljesítmény alakulását az aprítási folyamat különböző szakaszaiban,
- a dara fajlagos felülete és a halmaz átlag szemcsemérete közötti összefüggések elemzése,
- a fajlagos felület növelés korlátainak feltárása,
- a nevezetes szemcseméreték közötti összefüggések, átszámítási lehetőségek, függvények, empirikus összefüggések keresése,
- egységnyi új felület létrehozásához szükséges energiaigény vizsgálata,
- az aprítási folyamat nem állandósult szakaszában a töltet és mechanikai teljesítmény alakulásának elemzése
- a darálás tranziens szakaszában a tömegáram és felvett mechanikai teljesítmény viszonyának meghatározása.

Céljaim elérését egy olyan mérési összeállítás segíti, mely alkalmas lehet a szemléletváltás megvalósítására, online adatrögzítésre és tárolásra. Korszerű adatgyűjtő és szoftver alkalmazása segíti a számítógépes kiértékelést.

A feltárt összefüggések segítségével reményeim szerint az őrlési folyamat és a végtermék minősége teljesítményigény szempontjából optimalizálható lesz.

1. KALAPÁCSOS DARÁLÓ VIZSGÁLATÁNAK KÖRÜLMÉNYEI ÉS MÓDSZERE

1.1. vizsgálat előzményei

Az aprítás-elméleti vizsgálatok előzményeként áttanulmányoztam a közvetlen környezetemben – a Szent István Egyetem tudományos műhelyéhez kapcsolódó – hasonló témában elkészült Ph.D. dolgozatokat. Forráskutatást követően a tudományterület hazai elismert vezetőinek munkásságát kutattam fel, majd publikált cikkek gyűjtésébe kezdtem. A hazai irodalomban fellelt hivatkozások nyomán a külföldi szakirodalom neves kutatóinak eredményeit tekintetem át. A nemzetközi és hazai irodalom ismeretében megfogalmaztam az eddig nem kutatott, illetve pontosítást igénylő területek körét.

Az általam kutatott terület a kalapácsos darálók fokozatmentes fordulatszám szabályozásán alapul. A fordulatszám változtatást korábban diszkrét módon oldották meg, rendszerint leállással egybekötött, megbontással járó szereléssel, mely időigényes és nem gazdaságos.

1.2. A vizsgálati körülmények

A kísérletsorozatot a gyakorlatban jól ismert és elterjedt gépekhez hasonló, a hasonlóságelmélet szabályainak megfelelő, de a laboratóriumi kísérleti feltételekhez is illeszkedő méretű, Zenit Junior kalapácsos darálón folytattam le. A nyomon-követhetőség érdekében mérési naplót vezettem, amelyben rögzítettem az aznapi dátumot, az éppen aktuálisan változtatott paraméter nevét és értékét, és az adatgyűjtő berendezés által felkínált opciókat, beállítási lehetőségeket. Az alapbeállítástól való eltérést külön feljegyeztem és az adatmentés alkalmával ezt külön meg is jelöltem a file nevében.

A vizsgálatok nagy részét a Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Folyamatmérnöki Intézet laboratóriumában végeztem. A zavaró körülmények minimálisra csökkentése érdekében, illetve az esetleges korrekciók miatt, rögzítettem a külső hőmérséklet értékét. A vizsgálati anyagot mindig azonos helyről szereztem be, alapanyag-paraméterek, fajta, nedvességtartalom ismeretének birtokában. Fajtaazonos mintaanyagot használtam.

A szemes termény előkészítése minden esetben a külső helyszínen történt. A kimérés során az esetleges szennyeződések eltávolítása érzékszervi, szemrevételezéses vizsgálattal történt. A mintamennyiséget – előzetes próbadarálás és a korábbi kísérleti beállítások alapján – 10kg értékben határoztam meg.

1.3. Az új mérési összeállítás

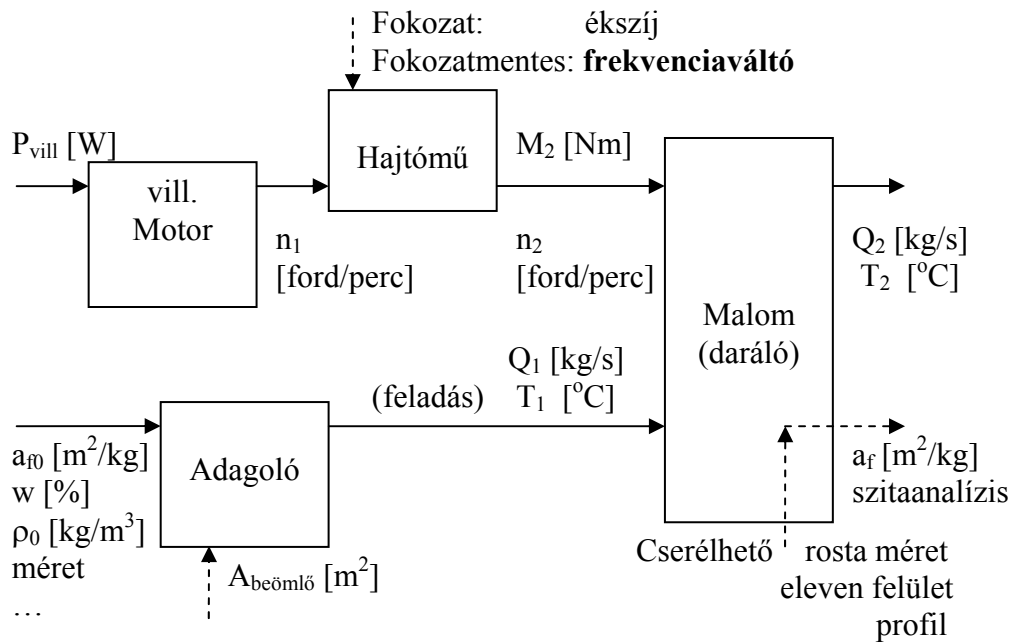
A Zenit Junior kalapácsos darálóra korábban alkalmazott mérési összeállítást átalakítva új mérőállást alakítottam ki. A pontosság és a nyomon-követhetőség érdekében korszerű, nagy mintavételi sebességű rendszert építettem. A vizsgálatok egyik fontos területe a korábban más kutatók által – állandó kalapács kerületi sebességen – vizsgált állandósult (stacioner) üzemállapot, a másik fontos területe a korábban nem kutatott terület, a nem állandósult (instacioner) üzemállapot vizsgálata.

A nem állandósult aprítási szakaszban viszonylag rövid idő alatt dinamikus változások játszódnak le. A nagysebességű tranziens folyamatokban (két állandósult állapot közötti átmenetben) egyes mért változók kezdeti értékük többszörösét is elérhetik, és a kialakított rendszernek, az átmeneti idő alatt, alkalmasnak kellett lennie a változók nagy felbontású, azonos pontossággal történő mérésére.

Vizsgálataimhoz az aprítógépet fel kellett műszerezni érzékelőkkel, melyeknek adatait pillanatról pillanatra rögzíteni kellett.

Kutatásom fontos célja a nem állandósult üzemállapotban felvett primer és származtatott kinetikai függvények összehasonlítása az állandósult tartomány megfelelő függvényeivel, ami általános vagy általánosítható jellegű görbék előállításának alapja.

A kísérleti új berendezés blokkvázlata (1.1. ábra) az általam kialakított új mérőállást szemlélteti a bemeneti és kimeneti paraméterek feltüntetésével.



1.1. ábra A kísérleti berendezés felépítése, kimeneti, bemeneti változók, paraméterek

A Leroy Somer (LS132ST) típusú, 5,5kW teljesítményű, egy póluspárú, háromfázisú aszinkronmotorhoz egy teljesítményben és terheltségben is hozzá illesztett frekvenciaváltót választottam. A frekvenciaváltó segítségével a névleges 2900ford/perc motor fordulatszámot fokozatmentesen tudtam állítani elméletileg 0-24000ford/perc (gépkönyv szerint: 0-400Hz) között. A motor kiviteléből és néhány ésszerű paraméterből adódóan, a névleges fordulatszámnál ugyan valamivel magasabb értéken, de korlátoztam a frekvenciaváltó kimenetét 3600 ford/perc-en (60 Hz-en). A motor áttételen keresztül hajtja meg a daráló tengelyét, így például 6500ford/perc, azaz 99m/s kalapács kerületi sebesség is elérhető az őrlő térben.

Az érzékelőkről, távadókról érkező adatokat SPIDER 8-típusú mérő-adatgyűjtővel rögzítettem. Az adatgyűjtő alapkiépítésben alkalmas 8 független paraméter egyidejű mintavételezésére. Az első két csatorna (0 és 1) alkalmas impulzus jellegű mennyiségek fogadására, a 6 és 7-es csatorna univerzális távadó kimenetek fogadására alkalmas (0-10 V, 4-20 mA), a többi csatornára teljes-hidat, fél-hidat és negyed-hidat lehet bekötni. Az 1.2. ábra felműszerezett darálót, frekvenciaváltót, a nyolccsatornás mérő adatgyűjtő berendezést és az adatrögzítéshez szükséges mérő számítógépet mutatja.



1.2. ábra A Zenit Junior kalapácsos daráló felműszerezve SPIDER 8 mérő-adatgyűjtő, Mérő számítógép, Frekvenciaváltó

1.3.1. Kalibrálás és ellenőrzés a vizsgálat során

A vizsgálatok előkészítéséhez hozzátartozott a különböző mérőeszközök kalibrálása.

A kalibrálások elvégzésekor a többször módosított aktuális mérésügyi törvény, és a nemzetközi szabványok voltak az irányadó rendelkezések.

Kalibrálnom azokat a mérőeszközöket kellett, melyek az összeszerelést követően nem az eredeti gyári beállításokat fogják mérni. Így a lapmérleg cellából

összeállított mérleget és a nyúlásmérő bélyegből kialakított nyomaték-mérő egységeket kellett kalibrálni.

Ellenőrzést igényeltek azok a mérőeszközök, melyeket megbontás nélkül alkalmaztam a méréseim során, ezeket félévente, illetve hosszabb szünetek (két hét) elteltével ellenőrzés alá vontam. Az ellenőrzés minden esetben azt jelentette, hogy a mérendő mennyiségnek megfelelő referencia jelet szolgáltatam a mérőműszer számára és néztem az eltérést a referencia jelhez képest.

Ellenőrzést igénylő eszközeim a következők voltak:

- fordulatszám mérő reflexiós optokapuk,
- hőmérő (K-típusú hőelem),
- a frekvenciaváltó távadó-kimenete,
- tolózárnítás-érzékelő induktív úvadó.

1.4. A vizsgálat menete

A méréssorozat megtervezése során számba vettem az általam ismert korábbi mérési beállításokat és azok eredményeit.

Több mérési összeállítást alakítottam ki az általam fontosnak ítélt paraméterek fordulatszám (n), nyomaték (M), hőmérséklet (T), be/kifolyó anyag mennyisége (m), garat méret, felvett áram (I), villamos- és mechanikai teljesítmény (P), rosta lyukátmérő vizsgálatára.

Az újonnan kialakított frekvenciaváltóval szerelt mérési összeállítással sikerült reprodukálnom korábbi kutatók hasonló gépeken történt eredményeit. Ennek az összehasonlíthatóság érdekében volt jelentősége.

Minden esetben előre meghatároztam a vizsgálat tárgyát, a paramétereket, a megvalósításhoz szükséges mérőeszközöket, körülményeket, feltételeket és a vizsgálat ütemtervét.

1.5. Vizsgálati módszerek

A vizsgálati módszerek közül megkülönböztettem a mérésnél, az adatgyűjtésnél és a kiértékelésnél használt eljárásokat.

1.5.1. Mérési módszerek

A mérési módszereknél alkalmaztam a Wheatstone-híd sajátosságaiból adódó előnyöket, tenzometrikus és fordulatszám-meghatározási eljárásokat. A mérések elvégzése során a következő mérési elveket, módszereket alkalmaztam: fordulatszám-mérés, nyomaték-mérés, teljesítmény-mérés, tömeg-mérés, tömegáram-mérés, hőmérséklet-mérés, nedvességtartalom-mérés.

A mérési módszerek esetében törekedtem az egyszerű, szabványos, gyors és

pontos algoritmusok alkalmazására.

Az aprítási kísérletekkel párhuzamosan szitaanalízist is végeztem a darahalmaz jellemzésére.

1.5.2. Adatgyűjtés módszere

Az adatok rögzítésére a SPIDER 8 típusú mérő- adatgyűjtő berendezést használtam Catman v4.5 mérőszoftverrel. A készülék alapkiépítésben több paraméter nyolc független csatornán történő egyidejű mérés lebonyolítását teszi lehetővé. Alkalmas nyúlásmérő bélyegek és induktív hidak, fél-hidak, impulzus jeladók, feszültség- és áramforrások jelének feldolgozására.

A mért jelekkel kapcsolatos „feladatok” a műszeren belül elvégezhetők pl.: passzív érzékelők meghajtása, jelek fogadása, erősítés, kalibrált jelkondicionálás, digitalizálás, illesztés a számítógép felé.

Az alkalmazott adatgyűjtő csatornáinak megnevezését és az általam mért tényezők megnevezését a 1.1. táblázat tartalmazza.

1.1. táblázat Az alkalmazott nyolc csatorna megnevezése

Csatorna száma	CH 4	CH 5	CH 6	CH 7
Megnevezés	Mérlegcella	Mérlegcella	Frekvenciaváltó	Hőmérő
Csatorna száma	CH 0	CH 1	CH 2	CH 3
Megnevezés	Fordulatszám	Fordulatszám	Nyúlásmérő bélyeg	Induktív útdó

Az adatfelvétel során 50Hz-es mintavételt alkalmaztam, azaz 20ms-onként vettem mintát a változó mennyiségekből. Egy-egy mérési beállítás körülbelül 5.000db jelet jelentett csatornánként, azaz összesen közel 45.000 adatot kellett rögzíteni – a későbbiekben kiértékelni – egy állományon, azaz egy mérési beálláson belül. A méréseket legalább háromszoros ismétléssel hajtottam végre. Az így rendelkezésre álló jelek sorozatát azonosítva és rendezve kaptam meg a kiértékelhető adatmennyiséget.

1.5.3. A kiértékelés módszere

Kiértékelés alá a különféle paraméterek alap adatsorait kellett bevonnom. Ezekből, mint alapadatokból határoztam meg a származtatott jellemzőket (fajlagos felület, töltet, tömegáram, kalapács kerületi sebesség).

A kiértékelés során a 45.000 adat/mérés feldolgozását előre meghatározott algoritmus alapján végeztem. A mérési adatokból ki kellett választanom a mérés technikai szempontból – mérési hibából adódó – nem relevánsakat. Meg kellett találnom az időben egymást követő értékek közötti kapcsolatot. Az adatok megjelenítését követően a tendenciák, jelenségek, esetleges függvény kapcsolatok

feltárása következett. Az előbbi „algorithmus” alapján minden mérési adatot feldolgoztam, majd a beállítások és eredmények közötti összefüggéseket kerestem meg. Az azonos jellegű mennyiségeket kiválogatva, rangsorolva, értékelve ábrázoltam azokat. Majd a kalapács kerületi sebességének változtatásának megfelelően sorba rendeztem az eredményeket és megállapítottam a tendenciákat, függvénykapcsolatokat.

A szitaanalízis kiértékeléséhez a konvencionális eljárásokat, jelöléseket és számítási metódusokat alkalmaztam. (Rittinger, RRB-eloszlás, X_0 , X_{50} , X_{80} , $X_{\text{átlag}}$)

2. KALAPÁCS KERÜLETI SEBESSÉG VÁLTOZTATÁS EREDMÉNYEI KALAPÁCSOS DARÁLÓN

Hazánkban a kalapácsos darálók terjedtek el a legnagyobb mértékben. E gépek szerkezeti egyszerűsége, megbízhatósága kiváló.

Az általam alkalmazott Zenit Junior kalapácsos daráló a szabad ütköztetés elvén működő kategóriába tartozik, az anyag adagolásának módját tekintve tangenciális feladású, a kifolyó tömegáram tekintetében szabad kifolyású. A kalapácsok száma tizenkettő – $3 \times 4 db$ $0,18kg/db$ kalapács helyezkedik el egy tengelykereszten –, a kalapácskör átmérője $290mm$, a rosta átfogási szöge 210° , a teljes rostafelület közel $470cm^2$, rés a rosta és a kalapácsok között 3 és $11mm$ között változik, az őrlőtér szélessége $80mm$.

A munkatérben forgó tengelykereszthez egy átmenő csapon keresztül lazán kapcsolódó lengő kalapácsok üzemi állapotban radiálisan helyezkednek el. Forgás közben – a feladás módjától függően – a belépő anyagokat és a már bent lévő anyagdarabkákat a kalapácsok lendületéből adódó erőhatásnak köszönhetően ütéssel aprítják. A kalapácsok elhelyezkedését a munkatérben – a burkolat eltávolítása után, szétszerelt állapotban – az 2.1. ábra mutatja. A folyamat további aprítási műveletek láncolata. Az aprítási folyamat egy pillanat felvételét mutatja a 2.2. ábra.



2.1. ábra A kalapácsok elhelyezkedése a daráló munkatérében

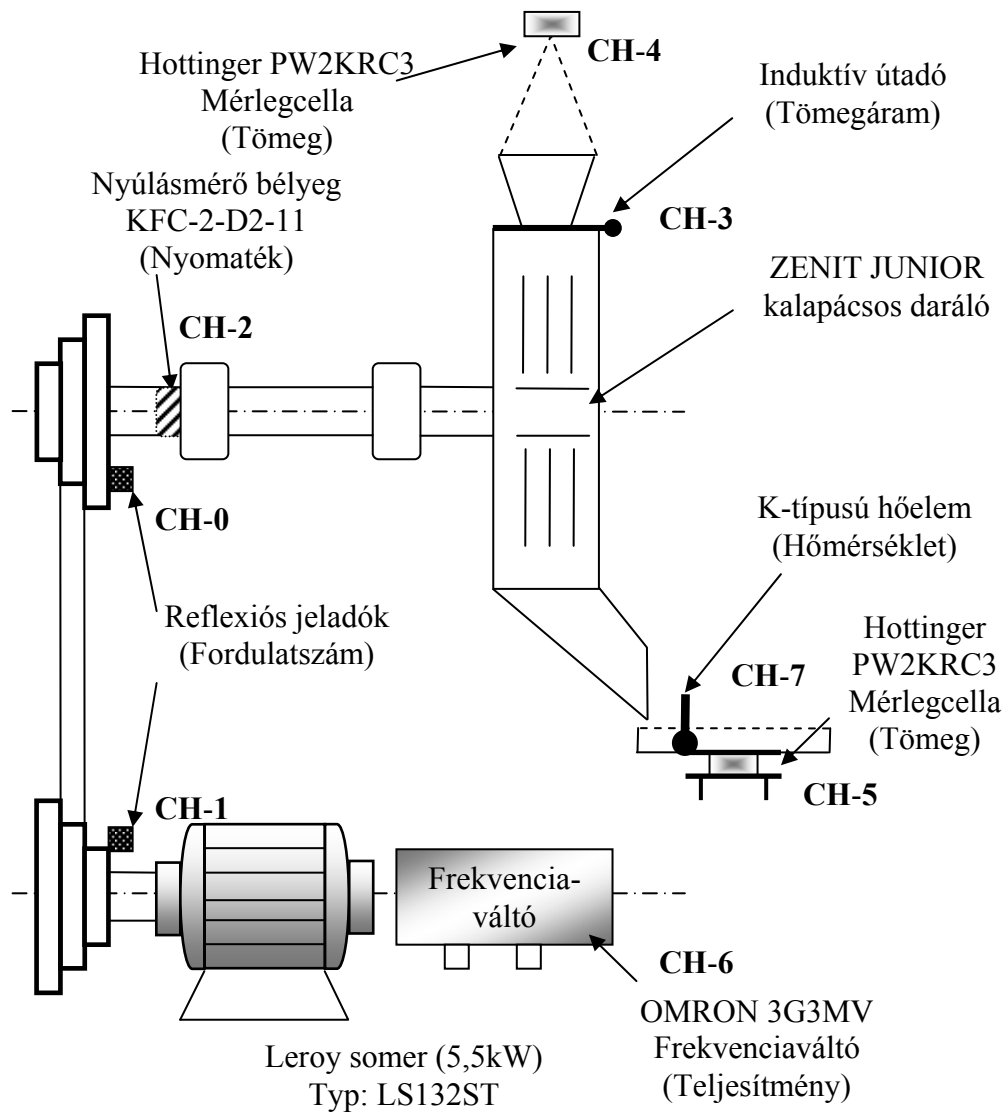


2.2. ábra Az aprózódás közbeni különféle igénybevételek nehezen szétválaszthatók

2.1. Újszerű mérési eljárás kidolgozása

Az irodalmi adatok és a korábbi mérési eredményeim alapján kialakítottam egy új mérési összeállítást. A kialakított mérőkör alkalmas gyorsan változó folyamatok nagysebességű mintavételes analíziséhez.

A korábbi mérésekhez, kísérletekhez a Zenit Junior kalapácsos darálót háromfokozatú, gyorsító ékszíj-hajtóművel szerelték fel. A gép hajtását átalakítottam, így vált lehetővé, hogy a kalapács kerületi sebesség fokozatmentes változtatása. A frekvenciaváltóval szerelt új mérőpad felépítését és a mérőpontok jelölését a 2.3. ábrán mutatom be.



2.3. ábra A frekvenciaváltóval szerelt új mérőpad felépítése a mérőpontok jelölésével

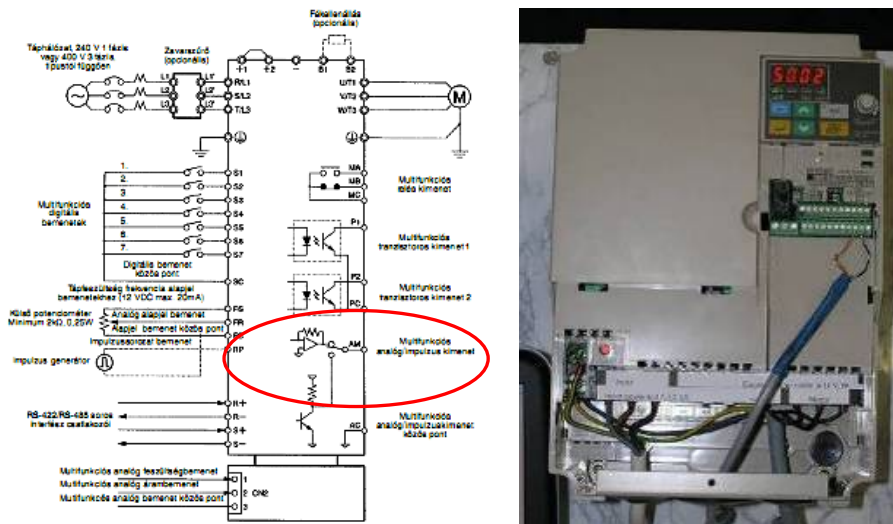
2.1.1. A frekvenciaváltó alkalmazásának lehetőségei

A különböző kalapács kerületi sebességek előállításához frekvenciaváltóval szerelt motort használtam.

Kihasználva a frekvenciaváltó adta lehetőségeket és az általa szolgáltatott jeleket, a berendezést úgy programoztam, hogy a kimenetén közvetlenül a teljesítménnyel arányos jelet kapjak. Ezt a távadós kimenetet az adatgyűjtő megfelelő moduljára kötöttem és rögzítettem a mért adatokat. A berendezés gépkönyve alapján korlátoztam a kimenő frekvencia tartományt $0-60\text{Hz}$ -ben, mivel az általam használt motor fordulatszámja 3000ford/perc (azaz 50Hz -es frekvenciának felel meg.) A villanymotor a névleges terhelésnél valamivel nagyobb teljesítményen járható mindenféle károsodás nélkül, ezért terjesztettem ki a fordulatszám határt 3600ford/perc értékig (60Hz).

A frekvenciaváltó alkalmazásával lehetőség nyílt leállítás és átszerelés nélküli fordulatszám változtatásra. A fordulatszám szabályozást a frekvenciaváltó impulzus szélesség moduláció (*PWM*) segítségével oldja meg.

Az OMRON 3G3MV-A4055 frekvenciaváltó bekötési vázlatát és képét mutatja a 2.4. ábra.



2.4. ábra Az OMRON gyártmányú frekvenciaváltó és bekötési vázlat

A villamos teljesítménnyel arányos jellemző a hálózatról felvett áram nagysága. A frekvenciaváltó a hálózatról felvett áram és feszültség értékek alapján határozza meg a felvett villamos teljesítmény értékét.

A mérések során a frekvenciaváltó teljesítmény kimenetét felhasználva, TrueRMS (valódi effektív érték) lakatfogó segítségével mértem a felvett áram és teljesítmény nagyságát. A speciális lakatfogó a frekvenciaváltó alkalmazása miatt szükséges, mivel itt hagyományos műszerekkel nem lehet pontos értékeket mérni, tekintettel a nagyfrekvenciás vezérlés alkalmazására.

2.2. A mechanikai teljesítmény és a fajlagos felületnövekedés

Az egységnyi időre jutó felületnövekedés nagysága jellemzi az adott darálási folyamatot és összehasonlítási alapul szolgálhat.

Fajlagos felület meghatározása egy adott szemcse esetében alkalmazva a kockamodellt, a sűrűség figyelmen kívül hagyásával:

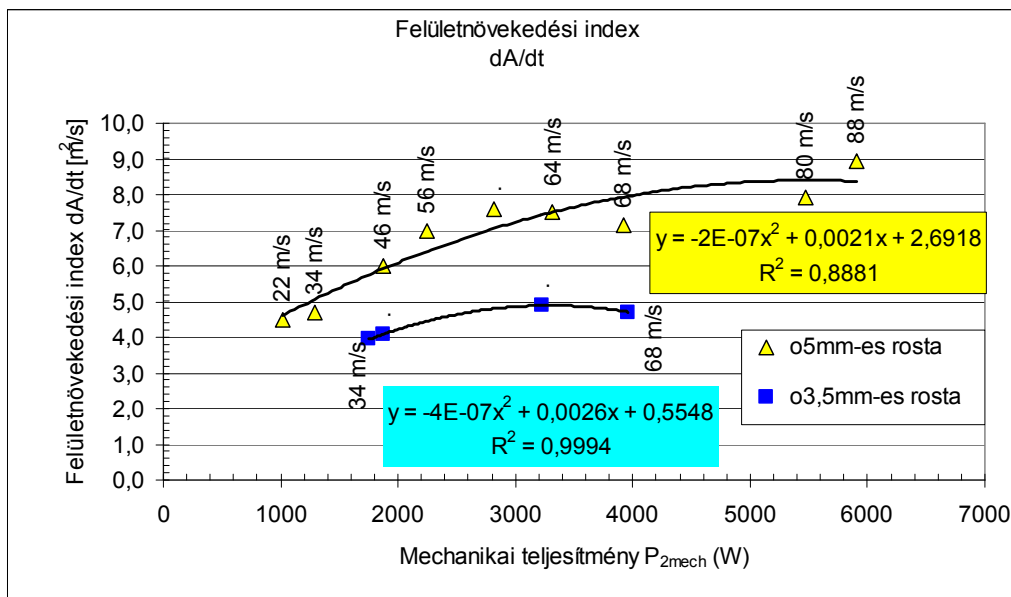
$$a_f = \frac{6}{x_i} \cdot f_i \quad [\text{m}^2/\text{m}^3] \quad (2.1.)$$

A fentiekből következően a fajlagos felület a_f mértékegysége m^2/m^3 , melyet a halmazsűrűség ρ [kg/m^3] ismeretében könnyű átszámítani m^2/kg alakra. A fajlagos felület a_f [m^2/kg] fogalmát a továbbiakban így használom.

A fajlagos felületnövekedési intenzitást dA/dt [m^2/s] – azaz az egységnyi időre jutó felületnövekedést – a tömegáram Q [kg/s] és a fajlagos felületnövekedés Δa_f [m^2/kg] szorzataként határoztam meg.

Különböző kalapács kerületi sebességen, ismert nedvességtartalom és rosta átmérő mellett szemes kukorica aprítása során rögzítettem a mérési eredményeket. A különböző kalapács kerületi sebességekhez különböző mechanikai teljesítmény ($P_{2\text{mech}}$) és tömegáram (Q) értékek tartoztak. A különböző tömegáramhoz pedig különböző felületnövekedési intenzitás tartozik.

A darálás állandósult szakaszban a felületnövekedési intenzitás dA/dt a – kalapács kerületi sebességének (v_{ker}) növelésével a – tengelyen mért mechanikai teljesítmény ($P_{2\text{mech}}$) függvényében másodfokú összefüggéssel jellemezhető kukorica aprítása esetén. Ezt szemlélteti a 2.5. ábra.



2.5. ábra A kalapács kerületi sebesség növelésével a felületnövekedési intenzitás a tengelyen átvitt mechanikai teljesítmény függvényében másodfokú

Az ábráról lokális maximum helyek olvashatók le, melyből azt a következtetést lehet levonni, hogy adott érték felett nem érdemes növelni a kalapács kerületi sebességet illetve a teljesítményt, mert nem párosul hozzá nagyobb felületnövekedési intenzitás.

A függvénykapcsolatot az alábbi egyenletekkel lehet leírni, kukorica aprítása esetén:

$$\text{Ø3,5mm-es rosta esetén: } \frac{dA}{dt} = -4 \cdot 10^{-7} P_{2mech}^2 + 0,0026 P_{2mech} + 0,5548 \quad (2.2.)$$

$$\text{Ø5mm-es rosta esetén: } \frac{dA}{dt} = -2 \cdot 10^{-7} P_{2mech}^2 + 0,0021 P_{2mech} + 2,6918 \quad (2.3.)$$

2.3. Az átlag szemcseméret és a sűrűségfüggvény

Az aprítási folyamat során, a különféle beállításokhoz távozóan, minden esetben mintát vettem a darált anyagból. A frakciósztérválasztást követően az egyes szitákon fennmaradó frakciótömeg (m_i) és a visszamért összes frakció össztömegének ($m_{össz}$) aránya adja meg a méretosztály gyakoriságát, azaz szitamaradék görbe (R-görbe) szerkeszthető.

Az $X_{\text{átlag}}$ szemcseméretet a két egymást követő szitaközön fennmaradt mennyiség és az összes rostált anyagmennyiség hányadosa adja meg.

$$X_{\text{átlag}} = \frac{\sum \left(\frac{X_i + X_{i+1}}{2} \right) \cdot m_i}{\sum m_i} \quad [\mu\text{m}] \quad (2.4.)$$

ahol,

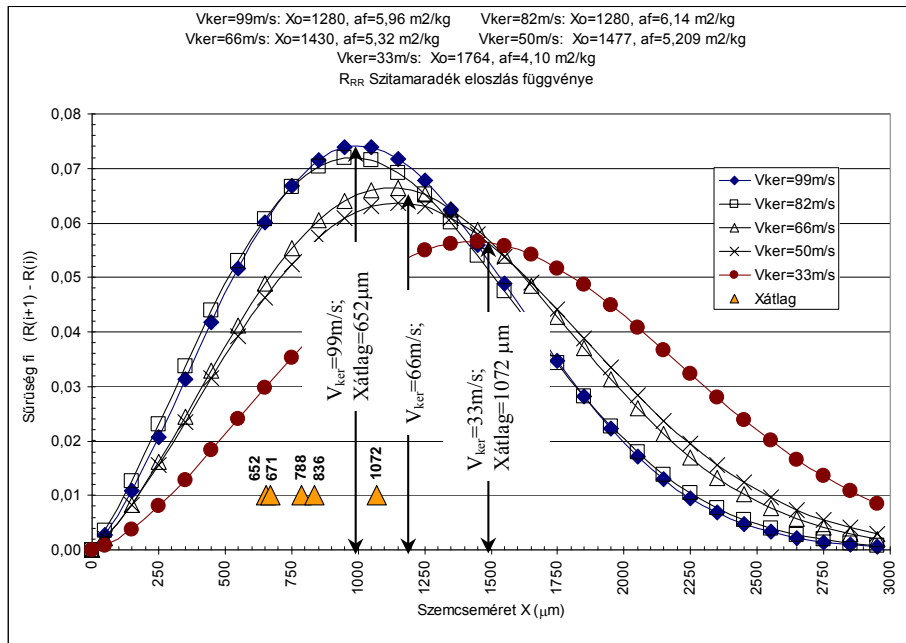
X_i és X_{i+1} – az i -dik és az $i+1$ -dik szita mérete [μm]

m_i – az i -dik szitán fennmaradt anyagmennyiség tömege [g]

Az egyes szitaméret (X_i , X_{i+1}) osztályközökön fennmaradó mennyiségekből szitamaradék sűrűség függvény (f_i) előállításával meghatározható hogy a közepes szemcseméretű frakció hány %-a a teljes őrleménynek.

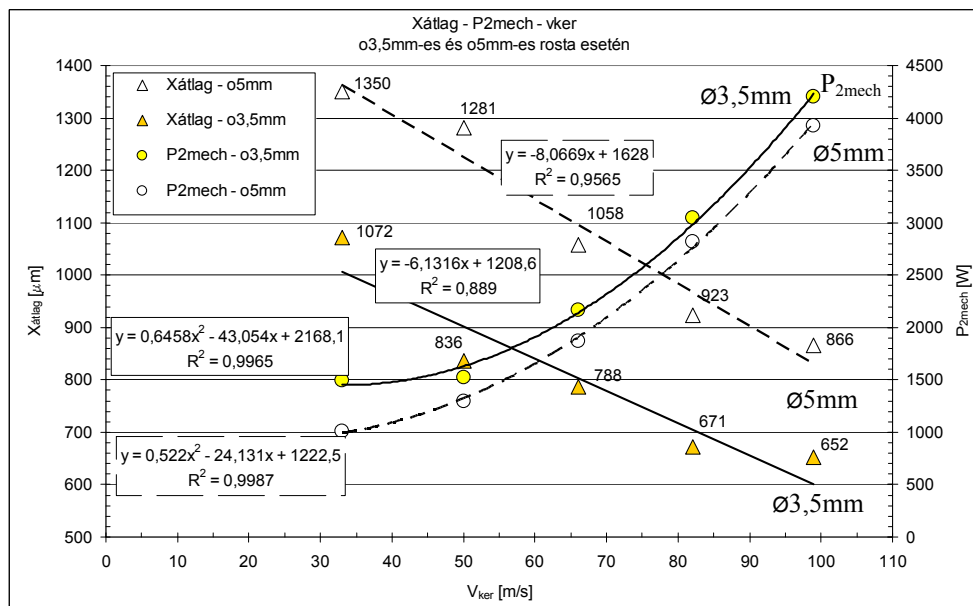
A 2.6. ábra mérési eredményeket mutat különböző kalapács kerületi sebességekhez tartozóan.

Az ábráról leolvasható, hogy szemes kukorica darálásakor, az adott fajtájú, adott nedvességtartalmú (w =áll.) és állandó tömegáramú (Q =áll.) anyagok, valamint adott rostaátmérő esetében a kalapács kerületi sebesség (v_{ker}) változtatása a szemcseméret-eloszlás függvényének maximumát és ezzel együtt az átlag szemcseméret ($X_{\text{átlag}}$) értékét eltolja. A kerületi sebesség növelésével az átlagos szemcseméret értékei csökkennek, azaz a darafinomság nő.



2.6. ábra A szemcseméret eloszlás sűrűség függvénye
 Különböző kalapács kerületi sebességekhez (v_{ker}) különböző átlag szemcseméret ($X_{\text{átlag}}$) tartozik Ø3,5mm-es rosta esetén

Az átlag szemcseméret ($X_{\text{átlag}}$) csökkentése kerületi sebesség (v_{ker}) növeléssel és teljesítményfokozással (P_{2mech}) érhető el. A szükséges teljesítmény szint másodfokú jellegének alakulását a 2.7. ábra mutatja.



2.7. ábra A kalapács kerületi sebesség v_{ker} növelésének hatása az átlag szemcseméretre $X_{\text{átlag}}$ és a teljesítményre P_{2mech}

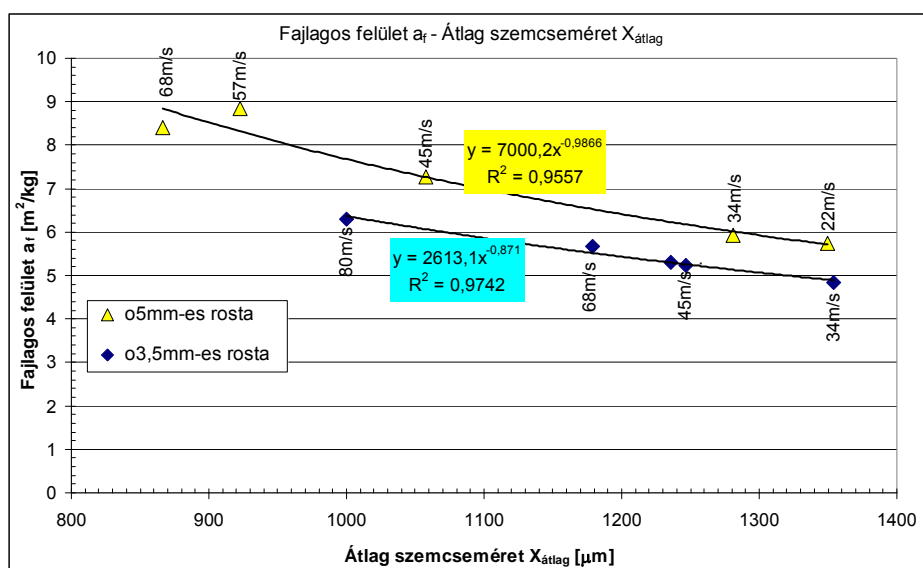
Egy takarmánytechnológiailag kívánt átlag szemcseméret ismeretében kiválasztható a megfelelő kalapács kerületi sebessége az optimális teljesítmény szinthez tartozóan.

2.4. Az átlag szemcseméret és a fajlagos felület

Egy szemcse felületének meghatározása a kockamodell alkalmazása esetén aprítást követően is viszonylag egyszerű.

Az egy szemcse fajlagos felület (a_f) meghatározásakor keletkező hiperbola – az aprózódott szemcsék összes felülete a méret csökkentésével hiperbola függvény szerint növekszik – több szemcse aprítása esetén összeadódik. Az összeadódó felületek és az átlag szemcseméret közötti összefüggés azonban nem egyértelmű.

Az általam mért adatok alapján a dara halmazra jellemző átlag szemcseméret ($X_{\text{átlag}}$) függvényében a fajlagos felület alakulása ugyancsak hiperbolikus összefüggést mutat. (2.8. ábra)



2.8. ábra Az átlag szemcseméret $X_{\text{átlag}}$ és a fajlagos felület közötti összefüggés, változtatva a kalapács kerületi sebességet hiperbola

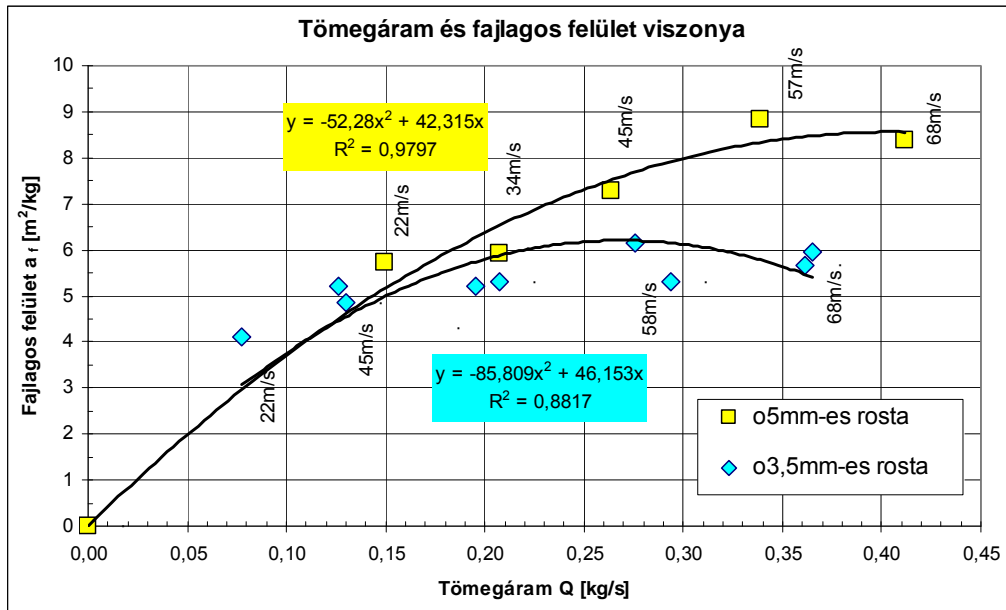
A kerületi sebesség növelésével a darafinomság is nő, ugyanakkor a keletkező új fajlagos felület nagysága is hiperbola függvény szerint növekszik.

Az átlag szemcseméret elfogadott és a gyakorlatban is alkalmazott, jól számítható és jellemző paramétere a darahalmaznak. Az új keletkező felület nagyság nehezen mérhető adat. A két jellemző közötti matematikai összefüggés lehetővé teszi az eddigi ismereteink pontosítását, mely a takarmányhasznosulási kísérletek területén is alkalmazható.

2.5. A fajlagos felület és a tömegáram

A fajlagos felület nagyságának alakulását sok tényező befolyásolja. A gyakorlatban már csak az aprítási művelet végén, közvetett úton tudjuk számolni a keletkezett új felület nagyságát. Ha előre meg tudjuk „jósolni” a várható fajlagos felületet, azzal takarmányhasznosulási, állatételtani kísérletekre alapozva befolyásolhatjuk az állatállomány gyarapodásának mértékét.

A kísérleti mérési eredmények alapján megállapítható, hogy a darálás állandósult szakaszában a kalapács kerületi sebesség növelésével a tömegáram nagysága növelhető és a tömegáram (Q) függvényében a fajlagos felület (a_f) másodfokú összefüggéssel adható meg.



2.9. ábra A tömegáram kalapács kerületi sebességgel történő növelése és a fajlagos felület alakulása másodfokú összefüggést eredményez

A 2.9. ábráról a maximális fajlagos felület eléréséhez szükséges tömegáram értékek olvashatók. Az $\varnothing 5$ mm-es rosta alkalmazása esetén a maximális fajlagos felület ($a_f=8,5m^2/kg$) a $Q=0,42kg/s$ tömegáram értékhez tartozik. A $\varnothing 3,5$ mm-es rosta alkalmazása esetén a maximális fajlagos felület ($a_f=6,2m^2/kg$) a $Q=0,28kg/s$ tömegáram értékhez tartozik.

A tömegáram növelése nem jelent korlátlan fajlagos felületnövekedést is egyben. A maximális fajlagos felület nagyságát egy optimális tömegáram értéket határoz meg, melyet a kalapács kerületi sebesség változtatásával pontosan be lehet állítani.

2.6. Az átlag szemcseméret és a többi nevezetes szemcseméret viszonya

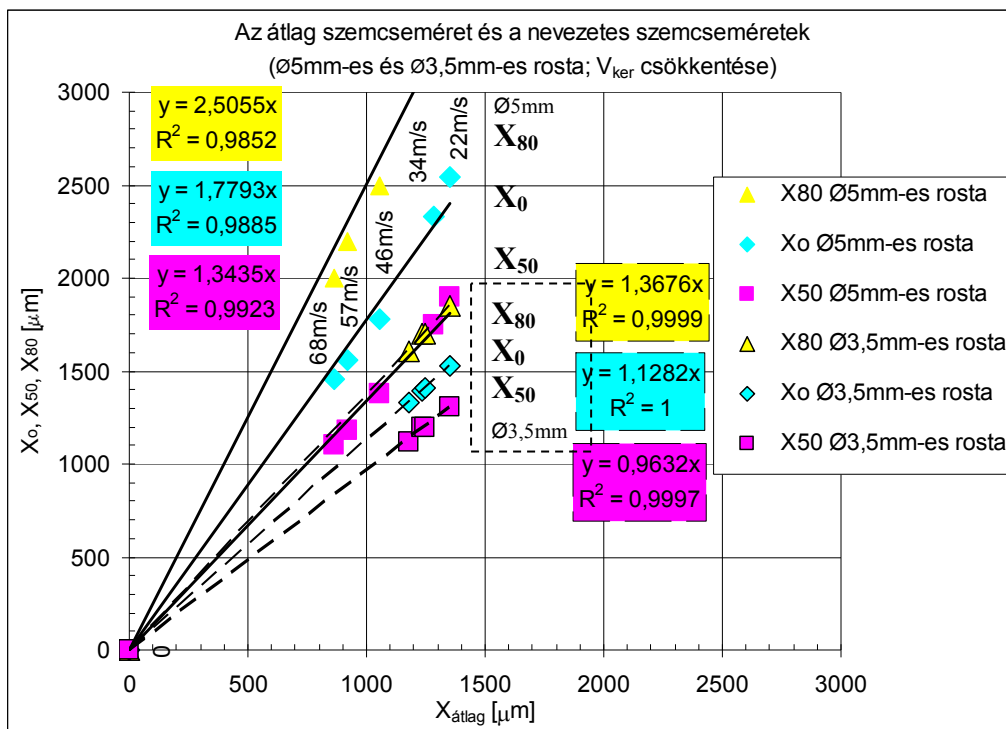
Az átlag szemcseméret összefüggése a szitamaradék $R(x)$ görbéről származtatható X_0 , X_{50} és X_{80} nevezetes szemcseméretekkel ezidáig nem volt egyértelmű.

Az átlag szemcseméret meghatározásának módja viszonylag egyszerű matematikai műveletekkel képezhető, egy szitaanalízist követően. Ha azonban kíváncsiak vagyunk például az X_0 nevezetes szemcseméretre – mert a technológiában ezt adták meg – összehasonlítás végett el kell végezni egy pár egyenletmegoldást és regressziót. Az így kapott – grafikusan megoldott – egyenletrendszerből következtetni lehet az X_0 értékére.

Ennél egyszerűbb megoldást jelent, ha rendelkezésre állnak mérési adatokból álló diagramok, melyek segítségével egy ismert szemcseméret könnyen átszámítható egy másik nevezetes szemcseméretre.

Az általam végzett mérési sorozat hagyományos numerikus kiértékelését követően rendelkezésre állt egy adathalmaz, melynek segítségével általánosíthatóak a tendenciák és trendek adott nedvességtartalmú ($w=10,5\%$) kukorica aprítása esetén.

Ezek alapján a nevezetes szemcseméret (X_0 , X_{50} , X_{80}) és az átlag szemcseméret ($X_{\text{átlag}}$) közötti összefüggést az origóból induló egyenesekkel lehet leírni. Az egyenesek egyenleteit a 2.10. ábra tartalmazza.



2.10. ábra Az átlag szemcseméret függvényében az X_0 , X_{50} és X_{80} szemcseméret változása különböző kalapács kerületi sebesség ismeretében

Alacsonyabb kalapács kerületi sebességhez nagyobb átlag szemcseméret, azaz durvább dara tartozik, melyből következően a többi nevezetes szemcseméret is növekedni fog. Az origóból induló egyenesek meredeksége határozza meg a viszonyszámot az $X_{\text{átlag}}$ és a nevezetes szemcseméretetek között.

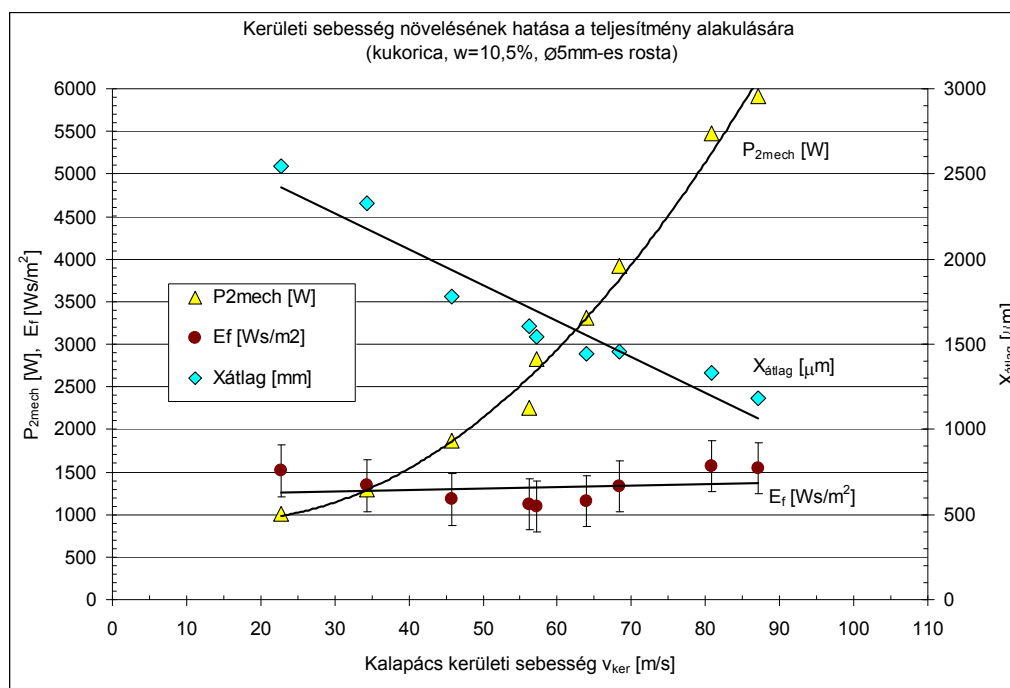
2.7. A fajlagos energiaigény és a kerületi sebesség viszonya

A mechanikai teljesítmény (P_{mech}) és a kerületi sebesség (v_{ker}) képletszerűen lineáris összefüggést mutat. Elméletileg az egyenes arányból az következik, hogy a fordulatszám növelésével a teljesítmény is lineárisan növekszik.

A mérési eredményeim alapján azt a következtetést lehet levonni, hogy a kalapács kerületi sebesség (v_{ker}) és a daráló tengelyen átvihető mechanikai teljesítmény ($P_{2\text{mech}}$) között másodfokú összefüggés mutatkozik.

Az $X_{\text{átlag}}$ szemcseméret a fordulatszám növelésével arányosan csökken.

A kalapács kerületi sebesség (v_{ker}) növelés függvényében a fajlagos energiaigény (E_f), teljesítmény ($P_{2\text{mech}}$) és az átlag szemcseméret ($X_{\text{átlag}}$) alakulását szemlélteti a 2.11. ábra.



2.11. ábra A kalapács kerületi sebesség függvényében az $X_{\text{átlag}}$ a tengelyen mért mechanikai teljesítmény $P_{2\text{mech}}$ és a fajlagos energiaigény E_f alakulása

2.8. A nem állandósult szakasz vizsgálata

A korábbi hagyományos vizsgálatok az aprítás állandósult, stacioner üzemállapotára vonatkoztak, mivel az aprítási művelet jelentős része itt történik. A nem állandósult üzemállapot a daráló tér feltöltődésének és kiürülésének a szakasza. Ezek a tranziens jelenségek a hagyományos aprítási gyakorlatban ezidáig nem játszhattak szerepet, mert állandó kalapács kerületi sebességet feltételeztek és az instacioner üzemállapotot szándékosan kerülték.

A mai gyakorlatban az aprítási művelet végeztével, mintavétel és szitaanalízis után tudjuk megmondani, hogy az adott dara megfelel-e az agrotechnikai követelményeknek vagy nem. Ha nem felel meg, akkor újra visszakerül az aprítási folyamatba, azaz kétszer dolgozunk egy adott cél elérése érdekében.

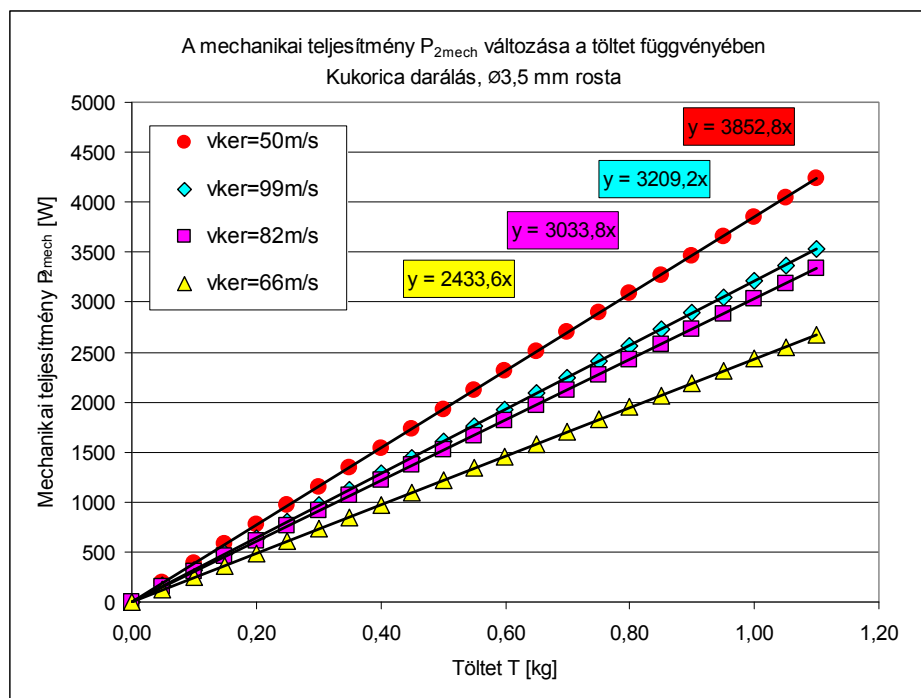
Az állandósult szakasz kibővítése a kerületi sebesség változtatásával és a nem állandósult szakasz vizsgálata lehetőséget adnak, hogy előre megmondjuk, mi fog bekövetkezni. A frekvenciaváltó alkalmazásával pedig a tranziens szakasz megfelelő ideig elnyújtható, amennyiben a technológia ezt kívánja.

2.8.1. A teljesítmény és töltet viszonya a nem állandósult darálás szakaszában

A nem állandósult szakaszban a töltet kialakulásának kezdetén a változás gyorsasága a berendezés saját tulajdonsága. A töltet nagysága függ a kalapács kerületi sebességtől, mivel az aprítási energia egy részét a kalapács ütése adja. A kerületi sebesség növelése több villamos energiát igényel, így nagyobb teljesítmény is adható le a daráló tengelyén. Különböző kalapács kerületi sebességhez különböző nagyságú mechanikai teljesítmény párosul.

A kerületi sebesség változtatásával a töltet és a tengelyen mérhető mechanikai teljesítmény lineáris összefüggést mutat. Az egyenesek az origóból indulnak, mivel az üresjáratú ismert teljesítmény szinteket levontam – offset kompenzáció – a mért teljesítmény értékekből. Az így nyert legyező diagram alapján az egyenesek meredeksége változik a kerületi sebesség függvényében.

A 2.12. ábra a mechanikai teljesítmény változását mutatja a töltet növekedés függvényében, különböző kalapács kerületi sebességek esetén.



2.12. ábra A töltet függvényében a mechanikai teljesítmény lineáris a darálás nem állandósult szakaszában

Az ábrán a $v_{ker}=50$ m/s kalapács kerületi sebességhez tartozó egyenes a legnagyobb meredekségű, holott a legkisebbnek várnánk.

Az aprítási művelet ezen a fordulatszámom is biztonságosan végbement, csak itt már nem gazdaságos az üzemeltetés. Az ennél alacsonyabb fordulatszámokon a tranzien szakaszban nem gazdaságos üzemeltetni a darálót.

Megállapítható, hogy a darálás tranzien szakaszban különböző kalapács kerületi sebességek esetében a töltet (T), a mechanikai teljesítményigény (P_{2mech}) között az origóból induló lineáris összefüggés írható fel.

2.8.2. A teljesítmény és tömegáram viszonya a nem állandósult darálás szakaszában

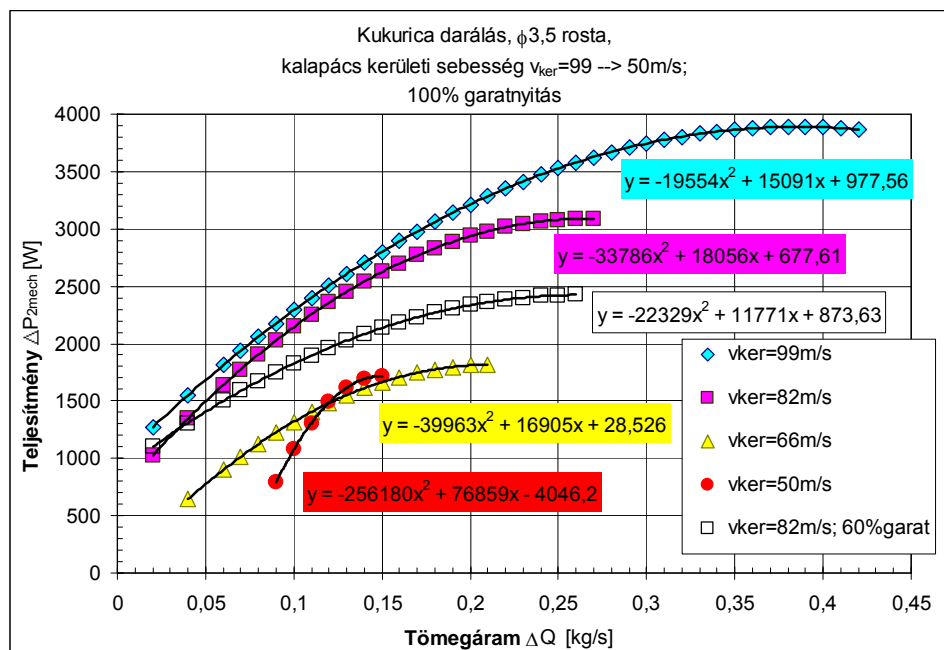
A darálás nem állandósult szakaszának vizsgálata dinamikai viszonyok megismerése szempontjából jelentős. A daráló feltöltődéséhez és kiürüléséhez tartozó karakterisztikák első lépést jelentenek a vezérlési paraméterek megismerése és kialakítása szempontjából.

Az aprózódás kezdeti és végszakaszainak dinamikája meghatározó egy – szemcseméret korrekció, vagy teljesítményoptimalizálás miatti – menet közbeni állítás szempontjából. Ha ismerjük az adott teljesítménynöveléshez tartozó tömegáram növekedést, akkor pontosan be lehet állítani a kívánt értéket.

A darálás kezdeti, feltöltődés és végső, kiürítési szakaszai gyorsan lefutó

folyamatok. Az új mérési összeállítás alkalmas arra, hogy a gyorsan változó paramétereket is megfelelő számú minta vételével le tudjuk írni. A feltöltődés, indulás szakaszát vizsgálva, különböző kalapács kerületi sebességeket beállítva, adott garat és rosta beállást alkalmazva rögzítettem a tömegáram és a teljesítmény változásának értékeit.

A tranziens szakaszban a tömegáram függvényében a teljesítmény alakulása másodfokú, különböző kalapácskerületi sebességek esetén is. Ezt szemlélteti a 2.13. ábra.



2.13. ábra A pillanatnyi tömegáram és a tengelyen mérhető mechanikai teljesítményváltozás viszonya különböző kalapács kerületi sebességekhez tartozóan a darálás nem állandósult szakaszában

A teljesítmény és a tömegáram alakulása telítődési görbe jelleget mutat, azaz a tömegáram nem növelhető a végtelenségig.

A tiszta mechanikai teljesítmény tömegáram szerinti parciális deriváltja – nem állandósult darálási szakaszban – lineáris. A kerületi sebesség növelésével az egyenes meredeksége fordítottan arányos.

3. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

- 1.) Megállapítottam, hogy légszáraz kukorica aprítása esetén a felületnövekedési index (dA/dt) az aprítási teljesítmény (P_{2mech}) függvényében **másodfokú** összefüggéssel jellemezhető – növekvő kalapács kerületi sebesség mellett.

Ø3,5mm-es rosta esetén: (2.5. ábra)

$$\frac{dA}{dt} = -4 \cdot 10^{-7} P_{2mech}^2 + 0,0026 P_{2mech} + 0,5548 \quad R^2=0,9994 \quad (3.1.)$$

Ø5mm-es rosta esetén:

$$\frac{dA}{dt} = -2 \cdot 10^{-7} P_{2mech}^2 + 0,0021 P_{2mech} + 2,6918 \quad R^2=0,8881 \quad (3.2.)$$

- 2.) Kimutattam, hogy légszáraz kukorica darálásakor, az adott fajtájú, adott nedvességtartalmú ($w=áll.$), és állandó tömegáramú ($Q=áll.$) anyagok, valamint adott rosta esetében a kalapács kerületi sebesség (v_{ker}) változtatása a szemcseméret-eloszlás függvényének maximumát eltolja. (2.6. ábra)

- a.) Kísérleti eredményekkel igazoltam, hogy a kalapács kerületi sebesség (v_{ker}) növelésével az átlagos szemcseméret ($X_{átlag}$) értékei **lineárisan** csökkennek.

Pl.: Ø5mm-es rosta esetén: $R^2 = 0,9565$; Ø3,5mm-es rosta esetén: $R^2 = 0,889$ illeszkedéssel. (2.7. ábra)

- b.) Bizonyítottam, hogy a kalapács kerületi sebesség (v_{ker}) növelésével a darafinomság nő, ugyanakkor az aprításra fordított **energiaigény négyzetesen** növekszik. (2.7. ábra)

- 3.) Mérési eredményekkel igazoltam, hogy az **egy szemcse** fajlagos felület (a_f) meghatározásakor keletkező **hiperbola** függvény **kiterjeszthető** a darahalmaz átlag szemcseméretére ($X_{átlag-ra}$) is. (2.8. ábra)

- 4.) Meghatároztam, hogy a tömegáram (Q) és a fajlagos felület (a_f) közötti összefüggés **másodfokú** – növekvő kalapács kerületi sebesség mellett.

A fajlagos felület nem nő a tömegáram növelésével korlátlan mértékig, a maximális fajlagos felület nagysága egy optimális tömegáram értéket határoz meg. (2.9. ábra)

- a.) Az Ø5mm-es rosta alkalmazása esetén légszáraz kukorica aprításakor a maximális fajlagos felület ($a_f=8,5m^2/kg$) a $Q=0,42kg/s$ tömegáram értékhez tartozik $v_{ker}=68m/s$ -os kalapács kerületi sebesség mellett.

- b.) A Ø3,5mm-es rosta alkalmazása esetén a maximális fajlagos felület ($a_f=6,2m^2/kg$) a $Q=0,28kg/s$ tömegáram értékhez tartozik $v_{ker}=58m/s$ -os kalapács kerületi sebesség mellett légszáraz kukorica aprítása esetén.

- 5.) Számszerűsítettem a nevezetes szemcseméretet (X_{80} , X_0 , X_{50}) és az átlag szemcseméret ($X_{\text{átlag}}$) közötti összefüggéseket, melyeket az **origóból induló egyenesekkel** lehet leírni. (2.10. ábra)

$$X_{80} = 1,3676 \cdot X_{\text{átlag}} \quad R^2 = 0,9999 \quad (3.3.)$$

$$X_0 = 1,1282 \cdot X_{\text{átlag}} \quad R^2 = 1 \quad (3.4.)$$

$$X_{50} = 0,9632 \cdot X_{\text{átlag}} \quad R^2 = 0,9997 \quad (3.5.)$$

Az egyenletek légszárak kukorica aprítására és $\varnothing 3,5\text{mm}$ -es rosta alkalmazása esetén érvényesek. Mérési adatok alapján egyszerű, empirikus összefüggést találtam közöttük.

- 6.) Bizonyítottam, hogy az egységnyi új felület E_f (Ws/m^2) létrehozásához szükséges energiaigény állandósága ($E_f = \text{áll.}$), melyet korábban igazoltak állandó kalapács kerületi sebesség esetére, **kiterjeszhető** különböző kalapács kerületi sebességek (v_{ker}) alkalmazása esetére is. (2.11. ábra) (légszárak kukoricaaprítás, $\varnothing 5\text{mm}$ -es rosta)

- 7.) Új összefüggést állítottam fel, mely szerint a darálás **tranziens szakaszban** – különböző kalapácskerületi sebességek (v_{ker}) esetén – a mechanikai teljesítményigény ($P_{2\text{mech}}$) a töltet (T) függvényében **lineáris**. (2.12. ábra)

$$V_{\text{ker}} = 66\text{m/s} \quad \text{esetén} \quad P_{2\text{mech}} = 2433,6 \cdot T_{\text{töltet}} \quad (3.6.)$$

$$V_{\text{ker}} = 82\text{m/s} \quad \text{esetén} \quad P_{2\text{mech}} = 3033,8 \cdot T_{\text{töltet}} \quad (3.7.)$$

$$V_{\text{ker}} = 99\text{m/s} \quad \text{esetén} \quad P_{2\text{mech}} = 3209,2 \cdot T_{\text{töltet}} \quad (3.8.)$$

Az összefüggések nem tartalmazzák az üresjáratú teljesítményigényt, légszárak kukorica, $\varnothing 3,5\text{mm}$ -es rosta esetén igazak.

8.)

- a.) Meghatároztam, hogy a darálás **nem állandósult** (tranziens) **szakaszában** a tiszta mechanikai teljesítményváltozás ($\Delta P_{2\text{mech}} / \Delta Q$) tömegáram szerinti parciális deriváltja **lineáris**.
- b.) Megállapítottam, hogy a darálás **tranziens szakaszában** egy kívánt mechanikai teljesítmény ($P_{2\text{mech}}$) szint esetén többféle tömegáram (Q) beállítása lehetséges a kalapács kerületi sebesség (v_{ker}) fokozatmentes állításával. (2.13. ábra)

4. JAVASLATOK, KÖVETKEZTETÉSEK

Az általam összeállított új mérőkör nem csak az eddigi hagyományos, általában szokványos alapbeállítások reprodukálására alkalmas, hanem nagy pontossággal a gyorsan változó aprítási folyamat részleteinek vizsgálatára is.

Az összeállítás adaptálható minden olyan helyre, ahol kalapácsos darálót vagy hozzá hasonló gépet, berendezést szeretnénk monitorozni, illetve vezérelni. Az összeállítás nagy előnye, hogy moduláris rendszerű, ezáltal csak az előre meghatározott alap adatokat rögzíti a rendszer. Javaslom felműszerezni a már meglévő technológiába beépített darálót, mivel modelltörvények segítségével és néhány ellenőrző méréssel kialakítható az adott üzemre vonatkozó vezérlési algoritmus.

A kísérleti méréseim során a mintavételi frekvenciát 50Hz-ben állapítottam meg, azaz másodpercenként 50db adatot rögzítettem csatornánként, a csatornák száma nyolc, melyeket egyidejűleg monitoroztam. Ha már egy beállított technológiát szeretnénk használni, a mintavételi frekvenciát javaslok csökkenteni, mert csak feleslegesen nagy adatállomány jön létre, ami nem hordoz új információkat.

Javaslok tovább pontosítva fejleszteni a rendszert egy visszacsatolt szabályozó körre, annál is inkább, mivel az alkalmazott frekvenciaváltók többsége képes PID-szabályozás alapján működni.

A hagyományos – nem frekvenciaváltóval szerelt – kalapácsos darálók esetén a kiegyensúlyozatlanságból adódó problémák nem mérhetők, de attól még azok jelen vannak és terhelik a rendszert. További fejlesztési és kutatási irányzat célkitűzésként javaslok – az általam összeállított mérőkör alkalmazásával – a dinamikai viszonyok nagyobb pontosságú feltérképezését, különös tekintettel a dinamikus kiegyensúlyozatlanságból adódó járásegyenlőtlenség kiküszöbölésére.

A frekvenciaváltóval szerelt motorok alkalmasak a direkthajtásra, ezáltal a hajtáslánc egyszerűsödik, néhány gépelemet – pl.: ékszíjtárcsák, ékszíz, feszítő szerkezet – ki lehet iktatni a hagyományos rendszerből. Néhány gépelem kiiktatásával jelentős súlycsökkenés érhető el egy adott gépnél, mely kevesebb veszteséget jelent, ezáltal nagyobb teljesítményt eredményezhet. Frekvenciaváltó alkalmazásával elérhető hatékonyabb működés, az üzem közbeni korrekciók révén nincs szükség leállásra és adott esetben rosta cserére, – ami gazdasági szempontból veszteség – a fordulatszám változtatásával befolyásolni lehet menet közben a szemcseméret nagyságát. Javaslok kísérleteim alapján frekvenciaváltók alkalmazását a kalapácsos darálók üzemeltetésénél.

További előny, hogy a névleges terheléstől eltérő üzemiállapotokban is indítható lesz a daráló motorja, ezáltal előre meghatározható a gyártani kívánt szemcseméret. A hagyományos csillag-delta indításból adódó indítási áram csúcsokat is ki lehet küszöbölni a frekvenciaváltó alkalmazásával.

Az általam összeállított mérőkört javasolom adaptálni az aprító gépek üzemi gyakorlatába, ahol a jelenlegi – szubjektivitást magában foglaló „kézi vezérlő” – eljárással szemben objektív adatok alapján vezérelve lesz a folyamat, az új módszer egyszersmind gazdaságosabb, üzemidő kímélő, s az őrlemény jobb minőségét segíti elő.

Kutatási méréseimből, megállapításaimból következtethető, hogy több paraméter egyidejű, megalapozottan megválasztott változtatásával, a folyamat monitorozásával, az elméleti kutatás eredményeinek a gyakorlatban történő alkalmazásával optimalizálni lehet és kell a takarmány őrlés folyamatát.

ÖSSZEFOGLALÁS

A darálás a szemes termények aprítása abból a célból, hogy a takarmányhasznosulás az adott állatfaj számára kedvezőbb legyen.

A kalapácsos darálók a takarmányanyagok feldolgozásának tipikus vezérgépei. E gépek (kalapácsmalmok, röpítőtörők) jellemzője a szerkezeti egyszerűség, emellett megbízhatóságuk kiváló.

Kutatásom célja az aprító térben zajló folyamat vizsgálata a paraméterek változtatásával, modellkísérletekre alapozott, örléskinetikai leírásának pontosítása, az örlési folyamat optimálisabbá tétele és a végtermék minőségének javítása.

Kialakítottam egy olyan számítógépes mérő-érzékelő és adatfeldolgozó rendszert, amely a kísérleti célok szolgálatán túl már egy automatikus vezérlő rendszer félüzemi (pilot-plant) példányának is tekinthető.

A kísérleti és mérési elv, a modellfüggvények a hasonlóság elvének figyelembevételével megfelelő adaptáció után kiterjeszthetők bármilyen más aprítási folyamatra vagy aprítógépre (malomra) is.

Az új rendszer alkalmas a korábbi állandó fordulatszámú beállításoktól eltérően a kalapács kerületi sebesség fokozatmentes változtatására – ezt frekvenciaváltó beépítésével biztosítottam –, továbbá lehetővé teszi a folyamatok dinamikus változásának menet közbeni figyelését – számítógép közbeiktatásával – a nagysebességű adatrögzítő egységnek köszönhetően.

A nagy sebességű adatfelvétel biztosítja a változó – nem állandósult – üzemszakaszok precíziós felvételét is, amely a tranziens folyamatok tanulmányozását teszi lehetővé.

A mérőrendszerrel az erősen kiszélesített és megnövelt fordulatszám tartományban lehetővé vált folytonos dinamikai függvények felvétele és a nevezetes értékek, értékpárok örléskinetikai analízise.

Kísérleteim során különböző mérési beállításokkal az örlés folyamatát, és végtermékének minőségét befolyásoló több paraméter változtatásának hatását vizsgáltam.

A kapott eredmények az örlési folyamat pontosabb kinetikai és energetikai megismeréséhez vezetnek.

Az 50Hz-es mintavételi frekvencia, a nyolc csatorna egyidejű monitorozása 400 adat feldolgozását jelenti másodpercenként. Átlagosan 100 szekundumot és a nyolc csatornát figyelembe véve 40.000 adat állt rendelkezésemre minden egyes mérési beállítás alkalmával.

A kísérletek során nyert nagyszámú mérési adat rendszerezést és csoportosítást követően került feldolgozásra. Az adatfeldolgozást a szakirodalomból nyert összefüggések felhasználásával végeztem el. A kiértékelést az általam szerkesztett többváltozós diagramok segítették. Az eredmények megfogalmazásánál összegzésként a kalapács kerületi sebesség változtatás hatásait tartottam szem előtt.

A daráló kalapács kerületi sebesség menet közbeni fokozatmentes állításával végzett kutatások eredményeként megállapítottam, hogy

a daráló tengelyén átvitt mechanikai teljesítmény és a felületnövekedési intenzitás milyen összefüggést mutat,
a sebesség növelésével a darafinomság illetve az aprítási energiaszükséglet hogyan változik.
az átlag szemcseméret és a fajlagos felület közötti összefüggés hiperbola,
a fajlagos felületnövekedésnek maximuma van,
milyen összefüggés mutatkozik az átlag szemcseméret és az ismert más nevezetes szemcseméretek között,
az egységnyi új felület létrehozásához szükséges energia állandósága kiterjeszthető különböző kalapács kerületi sebességek alkalmazása esetére is,
milyen a darálás nem állandósult szakaszában a töltet és a mechanikai teljesítmény viszonya, valamint a tömegáram és teljesítmény összefüggése.

Az elvégzett kísérletek analízise, a levont következtetések alapján kidolgozhatóvá válik az aprítás üzemi, napi gyakorlata számára is hasznosítható, géptani és energetikai szempontból is megalapozott vezérlési kör.

AZ ÉRTEKEZÉS TÉMÁJÁBAN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

Lektorált cikk világnyelven

1. Judák E., Kovács G., Fogarasi L., **Korzenszky P.** (2003): On Determination of the Heat Conductivity of Cereals and Agricultural Grist Materials, Hungarian Agricultural Engineering 16/2003, HU ISSN 0864-7410, 25-27. p.
2. Judák E., **Korzenszky P.**, Várszegi T. (2004): On Determination of the Heat Conductivity of Cereals and Agricultural Grist Materials, Hungarian Agricultural Research, HU ISSN 1216-4526, 17-22. p.
3. **Korzenszky P.**, Judák E. (2005): Measurement Assembly for Energetic Analysis of Comminuters (Mérési összeállítás aprítógépek energetikai analíziséhez), Hungarian Agricultural Engineering, 18/2005, HU ISSN 0864-7410, 72-74. p.
4. **Korzenszky P.**, Fogarasi L. (2006): Kinetic and Energetic Analysis of Grinders Faculty of Business Management at the University of Forestry, Journal of Management and Sustainable Development, 24-26. March 2006. ISSN 1311-4506, 90-94. p.
5. Fogarasi L., **Korzenszky P.** (2007): Particle-Size Distribution of Grinds, Theoretical and empirical discussion, Hungarian Agricultural Engineering 20/2007, HU ISSN 0864-7410, 48-50. p.
6. **Korzenszky P.** (2007): Effect of Hammer Speed on Particle Size Distribution in Hammer Mills, Hungarian Agricultural Engineering 20/2007, HU ISSN 0864-7410, 51-52. p.
7. **Korzenszky P.**, Judák E. (2009): (A szemcseméret változtatásának új technológiai lehetőségei a takarmányelőállítás folyamán), Hungarian Agricultural Research HU ISSN 1216-4526, 17-22. p.

Lektorált cikk magyar nyelven

1. **Korzenszky P.** (2008): Kalapácsos darálók tranziens üzemállapota, Gép 59. évf. 3. sz., 17-21.p

Nemzetközi konferencia proceedings

1. **Korzenszky P.**, Fogarasi L., Petróczki K. (2007): Qualitative Determination of the Charge – A Key-Question in the Theory of Impact Mills, 1st International Conference "Research People and Actual Tasks on Multidisciplinary Sciences" Bulgária (Lozenec), 06.-07. jun. 2007. Balkan agricultural engineering review ISSN 1312-5443

Magyar nyelvű konferencia proceedings

1. Judák E., Fogarasi L., **Korzenszky P.**, Balog M. Gángó Gy. (2000): Mérési összeállítás villamos motorok által hajtott aprítógépek dinamikus paramétereinek meghatározásánál, XXIV. Kutatási és fejlesztési tanácskozás az agrárgazdaság gépesítéséről, SZIE Gödöllő ISBN 963 611 367 7, 179-184. p.
2. Judák E., Váczy G., **Korzenszky P.** (2001): Számítógéppel támogatott mérési összeállítás mezőgazdasági anyagok hőtechnikai állandójának meghatározásához, XXV. Kutatási és fejlesztési tanácskozás az agrárgazdaság gépesítéséről, SZIE Gödöllő, ISBN 963 611 367 7, 15-19.p.
3. Pazsiczki I., Mátyás L., Kovács L., **Korzenszky P.** (2001): Gázemisszió a sertéstartás műszaki – technológiai megújulásának tükrében, VI. Fialal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, 2001. március 23-24. ISBN 973-8231-03-5, 51–56. p.
4. **Korzenszky P.**, Judák E. (2001): Forgó villamos gépek dinamikus teljesítmény analízise, VI. Fialal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, 2001. március 23-24. ISBN 973-8231-03-5, 39–42. p.
5. Judák E., Fogarasi L., **Korzenszky P.** (2002): Forgó villamos gépek hatásfok analíziséhez mérőrendszer kifejlesztése és tesztelése terménydarálón, XXVI. Kutatási és fejlesztési tanácskozás az agrárgazdaság gépesítéséről (2002. január 15-16.) SZIE Gödöllő ISBN 963 611 373 4, 53-55.p.
6. Judák E., **Korzenszky P.**, Hegyi K. (2002): Vékonyrétegű halmazok hővezetési tényezőjének meghatározása, VII. Fialal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, 2002. március 22-23. ISBN 973-8231-16-7, 79–82. p.
7. **Korzenszky P.**, Judák E., Kovács G., Fogarasi L. (2003): Mezőgazdasági szemestermények és őrlemények hővezetési képességének meghatározása mérőautomata segítségével, VIII. Fialal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, ISBN 973-8231-20-5, 165-168. p.
8. **Korzenszky P.** Judák E., (2005): Motor-gép kapcsolat teljesítmény átvitel analízise (Analysis of Motor-Machine Power Transmission), XXIX. Kutatási és fejlesztési tanácskozás az agrárgazdaság gépesítéséről (2005. január 18-19.) SZIE Gödöllő ISBN 963 611 423 4, 243-248. p.
9. **Korzenszky P.**, Fogarasi L. (2006): Aprítógépek őrlés-kinetikai és energetikai analízise, XXX. Kutatási és fejlesztési tanácskozás az agrárgazdaság gépesítéséről (2006. január) SZIE Gödöllő ISBN 963-611-438-2ö, 65-68. p.
10. Fogarasi L., Judák E., Petróczki K., **Korzenszky P.** (2006): Kalapácsos aprítógépek vezérlésének fejlesztése (Development of Control of Hammer mills), XI. Fialal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, 2006. március 24-25. ISBN 973-8231-50-7, 119-122. p.

11. Fogarasi L., Petróczki K., Judák E., **Korzenszky P.** (2008): Aprítógépek automatikus vezérlésének őrléskinetikai és energetikai megalapozása (Comminution-kinetic and energetic foundation of automatic control of grinders), XXXII. Kutatási és fejlesztési tanácskozás az agrárgazdaság gépesítéséről, SZIE Gödöllő, ISBN 963-611-439-0, 45-46. p.
12. **Korzenszky P.**, Fogarasi L., Petróczki K. (2008): A töltet meghatározásának lehetőségei kalapácsos daráló esetében. Összefüggés a töltet és az aprítás energetikai jellemzői között (Facilities of measuring the instantaneous values of charge in hammer mills. Relationship between the charge and the energetic properties of comminution), XXXII. Kutatási és fejlesztési tanácskozás az agrárgazdaság gépesítéséről (2008. január) SZIE Gödöllő ISBN 963-611-439-0, 65-66. p.

Nemzetközi konferencia abstract

1. **Korzenszky P.**, Fogarasi L. (2009): Comminution of cereal feed components – new technological facilities, International Conferences in Agricultural Engineering, Synergy and Technical development in the Agricultural Engineering, Gödöllő, ISBN 978-963-269-111-4, 135.p.

Magyar nyelvű abstract

1. **Korzenszky P.**, Judák E. (2002): Élelmiszeripari szemcsés anyagok hővezetési tényezőjének meghatározása (Determination of thermal conductivity of food grains), V. Nemzetközi élelmiszertudományi konferencia, Szeged, 2002. október, ISBN 973-8231-20-5, 133-134. p.
2. Judák E., **Korzenszky P.**, Fogarasi L. Kovács G. (2004): Mezőgazdasági szemestermények és őrlemények hővezetési képességének meghatározása mérőautomata segítségével, (On Determination of the Heat Conductivity of Cereals and Agricultural Grist Materials), VI. Nemzetközi élelmiszertudományi konferencia Szeged, ISBN 973-8231-20-5