Szent István Egyetem

Járvaszecskázók belső munkafolyamatainak analízise

Doktori (Ph.D,) értekezés tézisei

Kajtár Péter

Gödöllő
2010.

A doktori iskola

megnevezése:	**Műszaki tudományi doktori iskola**
tudományága:	**Agrárműszaki tudomány**
vezetője:	Dr. Farkas István egyetemi tanár, az MTA doktora Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Környezetipari Rendszerek Intézet
Témavezetők:	Dr. Szendrő Péter egyetemi tanár, az MTA doktora Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Mechanikai és Géptani Intézet Dr. Ingo Bönig tervezőmérnök CLAAS KGaA mbH, Harsewinkel

…… …….

Az iskolavezető jóváhagyása A témavezető jóváhagyása

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés, célkitűzések 4
2. Anyag és módszer 7
   2.1. Laboratóriumi vizsgálatok 7
   2.2. Szántóföldi mérések 11
3. Eredmények és értékelés 13
   3.1. Mérési eredmények szecskázott kukoricánál 16
   3.2. Szántóföldi mérések eredményei 19
   3.3. A CFD-DEM számítás eredményei 21
   3.4. Az eredmények értékelése és összefoglalása 23
   3.5. Új tudományos eredmények 26
4. Következtetések és javaslatok 29
5. Összefoglalás 30
6. Summary 32
7. Értekezés témakörében megjelent publikációk 34

1. Bevezetés, célkitűzések

A szecskázás a zöldtakarmány betakarítás egyik legelterjedtebb módja, ennek során a teljes növényt - kukoricát vagy füvet - adott hosszúságra felaprítják, majd összegyűjtve a felhasználás helyére szállítják, legtöbbször besilózzák. A technológia hosszú múltra nyúlik vissza, mely feltehetően egyidős a gabona betakarítással (SZENDRŐ, 1995). Kezdetben ezt a folyamatot késsel és egyéb vágóeszközökkel végezték, majd a 19. században megjelentek az első stabil kézi, majd később a gépi meghajtású szecskázók. A technika fejlődésével a 20. század elején napvilágot láttak a gépi meghajtású vontatott szecskázógépek, amelyek területteljesítménye és áteresztőképessége kezdetben alacsony volt. A múlt század 70-es éveiben jelentek meg az első önjáró járvaszecskázók (GRABERS és FRERICHS, 2001). Ezek első példányai kis motorteljesítményűek (60-80 LE) voltak és csak egy vagy két sort tudtak egyszerre betakarítani. Ahogy fejlődött a technika fokozódott a gépek áteresztőképessége, motorteljesítménye és ezzel összefüggően az egyszerre betakarított sorok száma is. E fejlődésnek köszönhetően ma már nem ritka a 400t/h vagy azt meghaladó áteresztőképességgel rendelkező szecskázógép. A szecskázógépekre napjainkban egyre nagyobb feladat hárul, hiszen már nem csak az állati takarmánykészítésben van kiemelkedő szerepük. A fokozódó környezetvédelem hatására a megújuló energiák alkalmazásánál különösen a biogáz egyes alapanyagainak előkészítésében is fontos szerepet kapnak, mivel jelentős mennyiségű energiaerdőt, energiafüvet, kukoricát és más egyéb mezőgazdasági melléktermékет kell felaprítani.

E növekvő igények kielégítésére a gépeknek hatalmas mennyiségű alapanyagot kell felaprítani időegység alatt, mely jelentősen igénybe veszi gép egyes egységeit. A konstruktőrök igyekeznek minél egyszerűbb megoldásokat kifejleszteni annak érdekében, hogy a lehető legkevesebb energia befektetés mellett maximumot tudják kihozni a gépekből. Ugyanakkor vannak fizikai határok, melyeket nem lehet áthágni. Létezik néhány kiváló konstrukciós megoldás, mely segítségével a gép áteresztőképessége fokozható anélkül, hogy a befektetett energiát növeljük. Ugyanakkor - és sajnos ez a meghatározóbb- az aprításra fordított energiát kell növelni. Ennek eredményeként láttak napvilágot néhány évvel ezelőtt a 700-800 LE motorteljesítménnyel rendelkező gépek. Majd nem sokkal azután megjelent a Krone cég által gyártott első két motoros szecskázógép, amelynek össz-motorteljesítménye eléri az 1000LE-t. Duplamotorral rendelkező szecskázógépnek jóval kedvezőbbek a fajlagos mutatói az egymotoros társához képest, ugyanakkor felmerül a kérdés, hogy ilyen teljesítményű gépnél, melynek áteresztőképessége 400 t/h-t meghaladja, mekkorák az anyagáramban fellépő veszteségek. Veszteség mindig is adódik, hiszen anyagaprításról és annak tovább szállításáról van szó. Így meg kell vizsgálni az itt

fellépő veszteségek nagyságát és átgondolni ezek csökkentésének lehetőségeit. A felaprított anyag vágása és szállítása energiába kerül. A vágási energia csökkentésére több ötletes megoldás is született. Ezzel párhuzamosan sajnos az anyag elszállításakor keletkező veszteségek, anyag mozgások feltárása mindig a háttérbe szorult. Ám nagy áteresztőképesség mellett már nem lehet figyelmen kívül hagyni a szállítására fordított energiát és az ebből keletkező veszteségeket, hiszen ez felesleges többletenergiát, azaz többlet üzemanyag felhasználást jelent. Amikor egy modern szecskázógép óránkénti üzemanyag fogyasztás eléri a 160 litert (!), csak a veszteségek 5-10%-os csökkentése jelentős energia, és ezzel együtt üzemanyag megtakarítást eredményez.

Munkám célja a szecskázógépen belüli aprítás energetikai és anyagáramlási veszteségeinek csökkentése annak érdekében, hogy a jövő szecskázógépei a lehető legkevesebb üzemanyag felhasználása mellett a lehető legnagyobb tömegáram teljesítménnyel rendelkezzenek. Ezért elemeztem a járvaszecskázó gépen belüli veszteség forrásokat különös figyelemmel a súrlódás által befolyásolt anyagáramlási folyamatokra.

A kutatómunka célja

A kutatásaim során arra kerestem a választ, hogy a szecskázógépen belüli anyagáramlásban milyen veszteségek keletkeznek.

Munkám célja volt, feltárni a szecskázógép belsejében keletkező veszteségforrásokat és azok nagyságát, majd olyan módosítások kezdeményezése, melylyel a gép hasznos teljesítménye tovább fokozható. Veszteség keletkezik a szállítás során a gyorsításból, hiszen a felszecskázandó anyagot közel 50 m/s-os átlagsebességre kell felgyorsítani. További veszteségek lépnek fel az ütközésekből, a nem megfelelő áramlási viszonyokból, és ami a legjelentősebb, a súrlódásból. A felaprított anyag egy csatornán halad végig, ahol folyamatosan érintkezik a csúszófelületekkel és így jelentős a falsúrlódás. Ennek következtében veszít kinetikus energiájából. A kutatásom során különös hangsúlyt fektettem a súrlódás okozta veszteségek meghatározására és mérséklésére. Így a gépek a veszteségeit mérsékelni az effektív teljesítményüket pedig növelni tudjuk.

A cél megvalósítása érdekében a következő feladatokat végeztem el:

1.: Az elméleti súrlódási veszteség nagyságának meghatározása minden egyes részegységnél. Az elméleti összefüggések alapján olyan konstrukciós módosításokat kezdeményeztem, melyek segítségével a súrlódási veszteség mérsékelhető.

2.: Szecskázott anyagok súrlódási tényezőjének mérésére alkalmas mérőberendezés készítése a laboratóriumi vizsgálatok elvégzéséhez. Méréseket tervezek különböző beállításokkal. A mérési eredmények alapján meghatározom

azokat az összefüggéseket, hogy a mozgás sebessége, a terhelés nagysága, a csúszófelület anyag, a szecskahossz, a felületi érdesség, valamint az aprított anyag nedvességtartalma, hogyan befolyásolja a súrlódási tényezőt. A méréseket szecskázott fű és silókukorica esetében is lefolytatom.

3.: Gépen belüli konstrukciós átalakítások elvégzése majd a szántóföldi mérések lefolytatása.

4.: A gépben lejátszódó szállítási folyamatot modellezése. Így betekintés nyerhető a sebesség és a nyomás viszonyokra a gépen belül ott is, ahol a mérésekkel ez nehezen kivitelezhető.

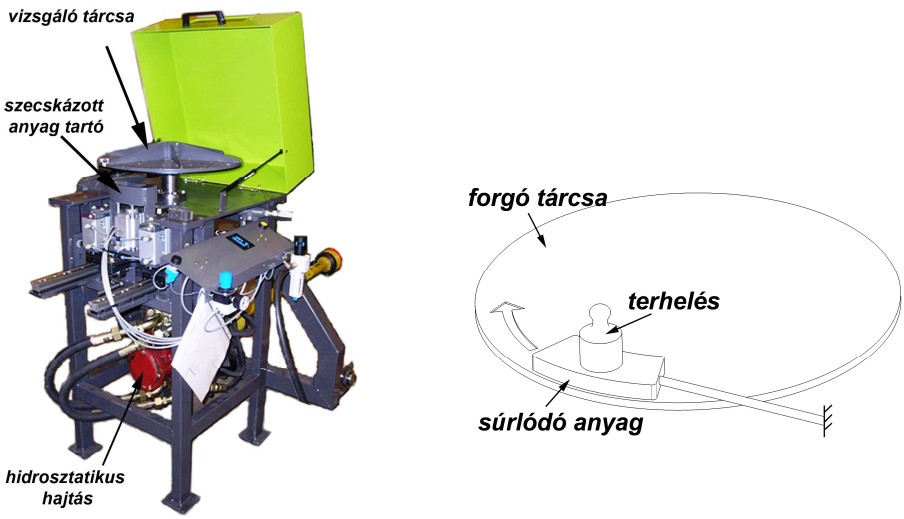
2. Anyag és módszer

2.1. Laboratóriumi vizsgálatok

A mérőberendezés

Szecskázott zöldtakarmányok súrlódási tényezőjének mérése nem egyszerű feladat, hiszen itt egy halmaz szerepel a súrlódásban részvevő egyik anyagként, míg a másik egy sík felület. Tovább bonyolítja a mérést, hogy tág sebességtartományt kell figyelembe venni és a maximális érték megközelíti a 40 m/s-ot. Ilyen nagy sebességű elmozdulást a tárcsás konstrukcióval lehet legegyszerűbben előállítani. Bár a tárcsa jellegéből adódóan van némi sebességeltérés a vizsgált sáv külső és belső sugara között, a vizsgált tartományhoz képes ez nem jelentős és kutatás szempontjából az egyenletes nyomáseloszlás fontosabb szempont a mérések során.

Ezen szempontokat figyelembe véve, a tárcsás kialakítású mérőberendezés mellett döntöttem. Működési elve megegyezik a tárcsafékkel, jelen esetben a „fékbetét” maga a szecskázott anyag. Az általam tervezett mérőberendezés a 1. ábraán látható.

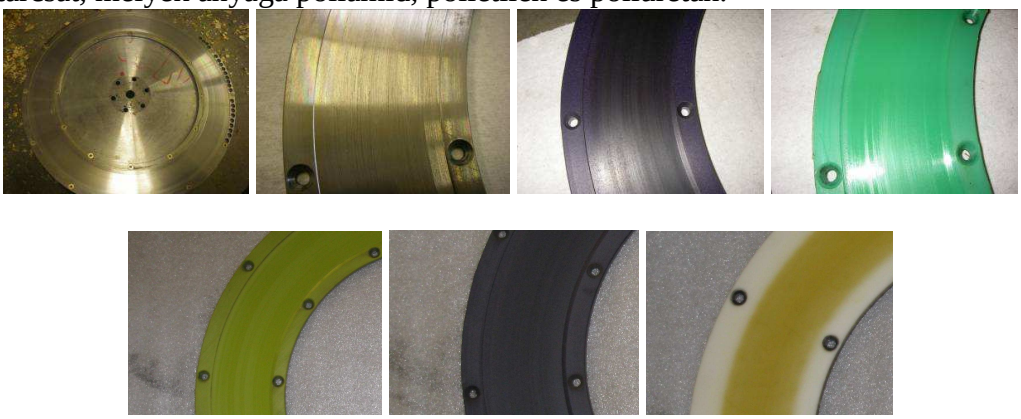


1. ábra: Szecskázott anyagok súrlódási tényezőjének mérésére alkalmas mérőberendezés és elvi rajza

Az alaptárcsára különböző kialakítású, és anyagú tárcsákat rögzítettem, melyekkel a méréseimet lefolytattam.

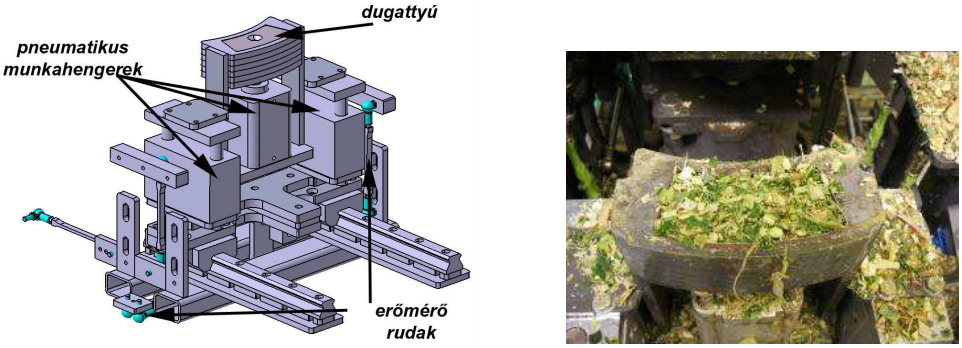
A tárcsákon egy 50 mm széles felület van megmunkálva, ez a súrlódó rendszer alapfelülete. A tárcsák 24 db süllyesztett fejű csavarral vannak az alaptár-

csához rögzítve, így az egyenletes felfekvés is biztosítva van. Vizsgálataim során 6 különböző anyagú tárcsával végeztem méréseket. Az alap ún. null tárcsa S355-ös szerkezeti acélból készült. Ehhez a tárcsához hasonlítottam a többi tárcsát, melyek anyaga poliamid, polietilén és poliuretán.



2. ábra: Különböző anyagú tárcsák melyekkel a méréseket végeztem (sorrendben: acél, poliamid, 3 különböző polietilén, poliuretán)

A szecskázott anyag az ún. anyagtartóban van elhelyezve, melyet egy pneumatikus henger nyomja neki a forgó tárcsának.



3. ábra: Anyagtartó

A súrlódási tényező vagy ellenállás rendszerfüggő, közvetlenül mérni nem lehet csak közvetve számítani. Ez az ellenállás kiszámítható a súrlódási erő és a normál erő hányadosaként.

$$\mu = \frac{F_{súrlódási}}{F_{normál}} \quad . \tag{1}$$

A súrlódási ellenállás kiszámításához a súrlódási- és normál erőket kell mérni. Az ún. anyagtartó erőmérő rudakon van felfüggesztve. Három erőmérő méri a tárcsa felületére merőleges irányba a normálerő nagyságát. Egy rúd méri a súrlódási erő nagyságát a tárcsa tangenciális irányába. Az erőmérő rudak végein

gömbcsuklók vannak, így azokban csak tiszta húzás ébred hajlító nyomaték nem.

Mérőberendezés főbb jellemzői:

- Tárcsa átmérője: 500 mm,
- Vizsgált felület szélessége: 50 mm,
- Elmozdulás sebessége: 5-40 m/s,
- Terhelés nagysága: 0,05-1 bar,
- Mérési idő: 0,2-3 s.

Vizsgálati paraméterek, súrlódási tényező meghatározása

A laborvizsgálatokat 2007-2008 tavaszán és őszén végeztem el Németországban, a CLAAS mezőgazdasági gépgyárban. A méréseim során szecskázott réti füvet és szecskázott kukoricát használtam. A fűvel végzett méréseknél egyszerre nagyobb mennyiségű füvet szecskáztam le, és azt több napon keresztül használtam fel. Így csak a nedvességtartalom befolyásoló hatását a súrlódási tényezőre úgy tudtam vizsgálni, hogy az alapanyag azonos volt. Ez azért fontos, mert ha különböző területről nyert fűvel végeznénk méréseket nem tudnám megállapítani, hogy a méréseknél jelentkező eltérésnek mi az oka. Az eltérés adódhat az eltérő nedvességtartalomból, de adódhat a növény struktúrájából is. Az általam választott módszernél csak a nedvességtartalomban volt eltérés az egymást követő napon végzett mérések között. A mérések megkezdése előtt a füvet egy betonkeverőben néhány percig kevertem, így a vizsgált anyag homogénebb lett. Silókukoricánál nincs lehetőség arra, hogy egy azon anyaggal több napon keresztül mérjünk. Ennek az oka, hogy a felszecskázott anyag rövid időn belül erjedésnek indul és két nap után már alkalmatlan a mérésre. A silókukoricánál végzett mérések során mindig frissen szecskázott alapanyagot használtam. Az eltérő nedvességtartalommal végzett mérések így elhúzódtak, mivel meg kellett várni, míg a kukorica lábon folyamatosan szárad. Mérések előtt a kukorica szecskát is betonkeverőben kevertem rövid ideig, hogy homogén anyagot kapjak. A szecskázott anyag nedvességtartalmának meghatározását a hagyományos kemencés módszerrel végeztem. Mértem adott szecskamennyiség tömegét szárítás előtt és 48 órás 105°C-on történő szárítás után. A kettő közötti tömegkülönbözet pedig az elpárolgott víz mely a nedvességtartalmat adja (w).

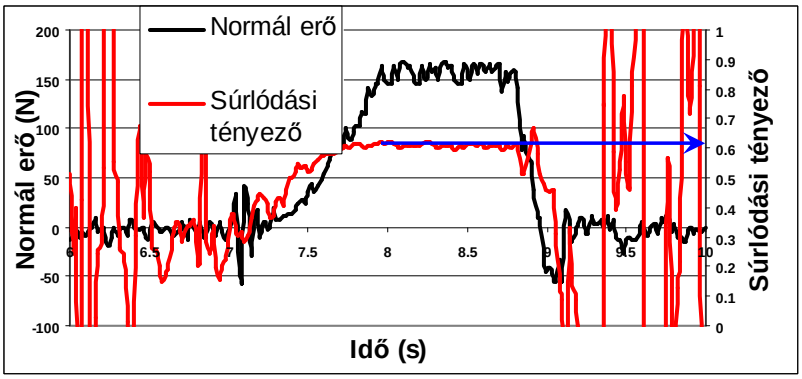
$$w = \frac{m_{nedves} - m_{száraz}}{m_{nedves}} \cdot 100 \quad [\%]. \qquad (2)$$

A súrlódási tényező nagyságának mérését több változó paraméter mellett végeztem el. A már említett nedvességtartalmon túl mértem a felületi terhelés, a csúszási sebesség, a szecskahossz, a felületi érdesség és más anyagú csúszófelü-

letek befolyásoló hatását. A felületi terhelést négy lépcsőben változtattam (0,05-0,03-0,01-0,005 MPa). A csúszási sebességet szintén négy lépcsőben változtattam (40-30-20-5 m/s). Így egy adott nedvességtartalom és szecskahossz mellett egy vizsgálati tárcsával 16 mérést végeztem el.

Terhelés nagysága [MPa]	0.05				0.03				0.01				0.005			
Csúszási sebesség [m/s]	40	30	20	5	40	30	20	5	40	30	20	5	40	30	20	5

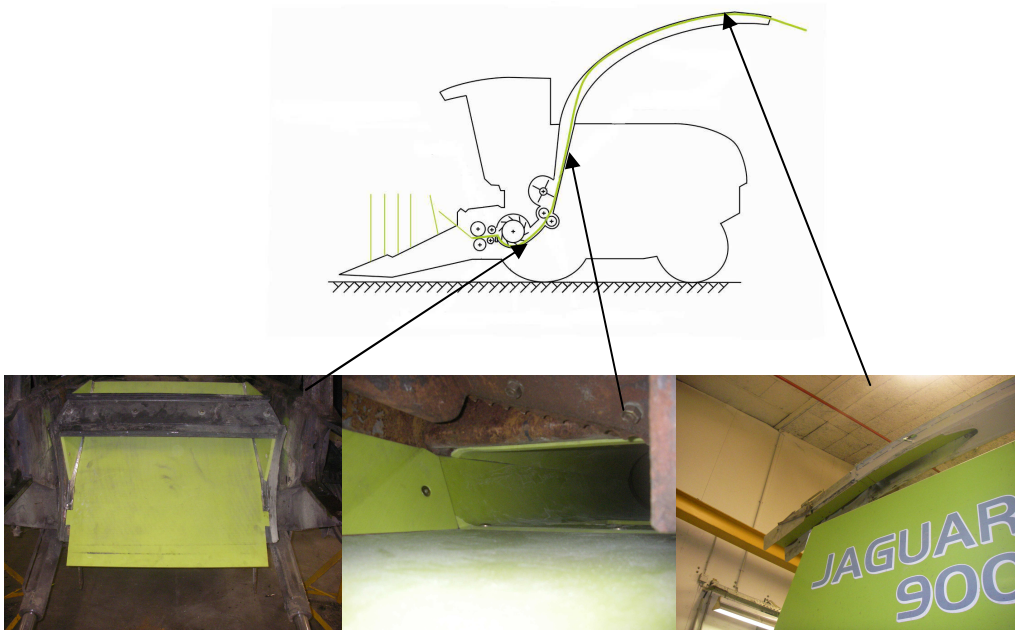
A terhelés nagyságát a pneumatikus körben elhelyezett nyomásszabályozó szelep segítségével állítottam be, a sebességet pedig a hidraulikus körben elhelyezett fojtószelep segítségével.
A méréseket fű esetén 4-9-14-17 mm-es szecskahosszal, kukorica esetén 4-9-17 mm-es szecskával is elvégeztem.
A mérést az alábbiak szerint végeztem el. A mérőberendezésre felszereltem egy adott anyagú és felületi érdességű tárcsát. Ezután belehelyeztem a szecskázott anyagot az anyagtartóba. Mindig annyi anyagot helyeztem bele az anyagtartóba, hogy a szecska a felső szintjéig töltse meg azt. Beállítottam a felületi terhelés és a csúszási sebesség nagyságát. Ezt követően elindítottam a mérést és a pneumatikus munkahenger a forgó tárcsának nyomta a szecskázott anyagot. A mérő rudak a reakcióerőket a SPIDER 8 mérő adatgyűjtőn keresztül a DIADEM mérőszoftvernek továbbították. A méréseket különböző anyagú tárcsákkal a fent említett paraméterek változtatásával többszörös ismétlés mellett folytattam le.
A mérések végeztével az adatok kiértékelés végeztem el. Kiértékelés során először elvégeztem a mért adatok simítását, majd kiszámítottam a súrlódási erő és normálerő hányadosát, azaz a súrlódási tényezőt.
A súrlódási tényező értékét a mérési eredményekből olvastam le. A következő ábra egy adott mérési eredmény kiértékelését szemlélteti. A vízszintes tengelyen az idő, a függőleges tengelyeken a normál erő és a súrlódási tényező van feltüntetve. Látható, hogy a terhelés ráadásakor a normálerő felfut majd közel állandó értéket vesz fel. A súrlódási tényező is kis mérési hibával konstans értékre áll be. A súrlódási tényező értékét abban a pontban olvastam le ahol a normál erő már nem változott (~konstans). Jelen esetben ez az érték ~0,61. Minden egyes mérésnél így határoztam meg a súrlódási tényező nagyságát.



4. ábra: A mérési adatok kiértékelése

2.2. Szántóföldi mérések

A laboratóriumi kísérleteknél elvégzett mérések alapján úgy döntöttem, hogy szántóföldi méréseket is végezek. A laboratóriumi mérések során a műanyag csúszófelületek alkalmazásakor szecskázott fű esetében a súrlódási tényező közel 10%-kal volt alacsonyabb az acél súrlódó felülethez képest (az eredmények fejezetben ezt részletezem). Ez lehetőséget nyújt arra, hogy a gép energiaszükségletét mérsékeljük. Ezért a vizsgálatok elvégzésére egy szecskázógép acél csúszó felületeit kicseréltem műanyagra. A műanyag lemezeket csavar és vezetősínek segítségével rögzítettem a gépben (5. ábra). A műanyag lemezeket hengerléssel alakítottam az adott görbületűre. A szűkítő egységnél lévő műanyag lemezeket 180°C-ra melegítettem fel és negatív formák segítségével alakítottam ki a végleges geometriát.



5. ábra: Műanyag csúszófelületek

A szántóföldi vizsgálatoknál két szecskázógéppel végeztük el a méréseket. A mérések fű esetében 3 különböző szecskahosszúság és 4 különböző áteresztőképesség mellett végeztük el.

A mérés során mértem a gép áteresztőképességét, és az egyes szerkezeti egységek teljesítmény felvételét, továbbá a szecskázott anyag nedvességtartalmát és a szecska sebességét a kifúvótorony végén. Az áteresztő képesség mérése úgy történt, hogy a szecskázógép egyenletes sebességgel haladt adott mérőszakaszon (~100 m), és a szakasz végén lemértem a gép mellett haladó szállítójárműre kerül aprított anyag tömegét (kg) és a mérőszakasz megtételéhez szükséges időt (s), ezek segítségével a tömegáramot (kg/s) meghatároztam. A teljesítményigény mérésekor nyomatékmérőket és fordulatszámmérőket alkalmaztam. Külön mértem az etetőszerkezet, a szecskázódob, a szemroppantó hengerek és a gyorsítódob nyomatékigényét. Majd kiszámítottam a fajlagos energiaszükségletet.

Az össz-teljesítmény igény:

$$P_{össz} = P_{szecskázódob} + P_{etetőtetőszerkezet} + P_{szemroppantó} + P_{gyorsítódob}\,. \qquad (3)$$

A fajlagos energiaigény:

$$E_{fajlagos} = \frac{P_{össz}}{Q}\left(\frac{kWh}{t}\right), \qquad (4)$$

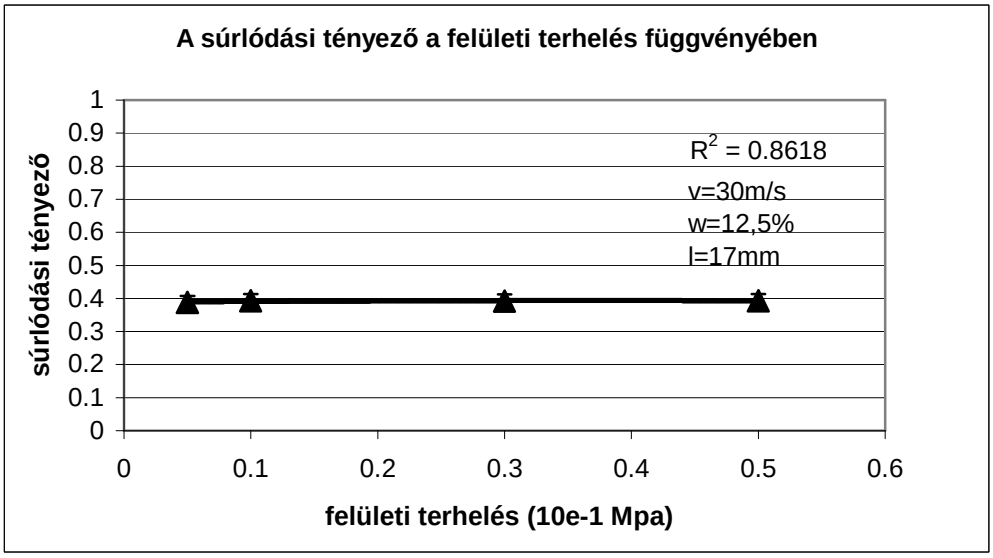
ahol: $P_{össz}$ - a szecskázás össz-teljesítmény igénye (kW),
Q - a mért áteresztőképesség (t/h).

Az általam módosított szecskázógép eredményeit viszonyítottam egy meglévő széria géphez.

3. Eredmények és értékelés

Súrlódási tényező a terhelés függvényében

Szilázs készítés céljából a rétifüvet 50-60% körüli nedvességtartalom mellett szokták szecskázni. Nagyobb nedvességtartalom esetében tömörítéskor kipréselődik a víz, és ezzel értékes tápanyagok vesznének el. A 2. tézis első ábrája szemlélteti a szecskázott fű súrlódási tényezőjét (p=0,005 MPa, v=30 m/s, l=17 mm, w=65% mellett), ami valamivel több mint 0,7. Ez a nagy súrlódási tényező jelentősen fékezi a szecskázott anyagot. Az ábrán az is megfigyelhető, hogy a terhelés növelése következtében 0,05 MPa terhelésnél a súrlódási tényező 0,5-re csökken, ami közel 25%-os mérséklődés. A terhelés változásával (minden más egyéb paraméter változatlan) jelentős mértékben változik a súrlódási tényező értéke. A változást több ok előidézheti. Egyik az irodalomban is említett adhézió és deformációs komponens mértékének megváltozása. Másik a növényben jelenlévő víz.
A 6. ábra a 12,5%-os nedvességtartalmú fűvel végzett mérés eredményeit szemlélteti. Itt a terhelés változásának hatására elhanyagolható mértékben változik a súrlódási tényező értéke.



6. ábra: A súrlódási tényező a felületi terhelés függvényében fűnél (w=12,5%)

A két mérési eredmény alátámasztja azt a feltételezést, hogy a magasabb nedvességtartalmú anyagnál kipréselődik a nedvesség az érintkezési felületen és ez lecsökkenti a súrlódási ellenállást. Ugyanakkor az is igaz, hogy nedves anyag puhább így a deformáció is jelentősebb, mint a száraz anyagnál, ami merevebb, keményebb. A nagy felületi terhelésnek kitett helyeken (pl: doblemez) a nagy

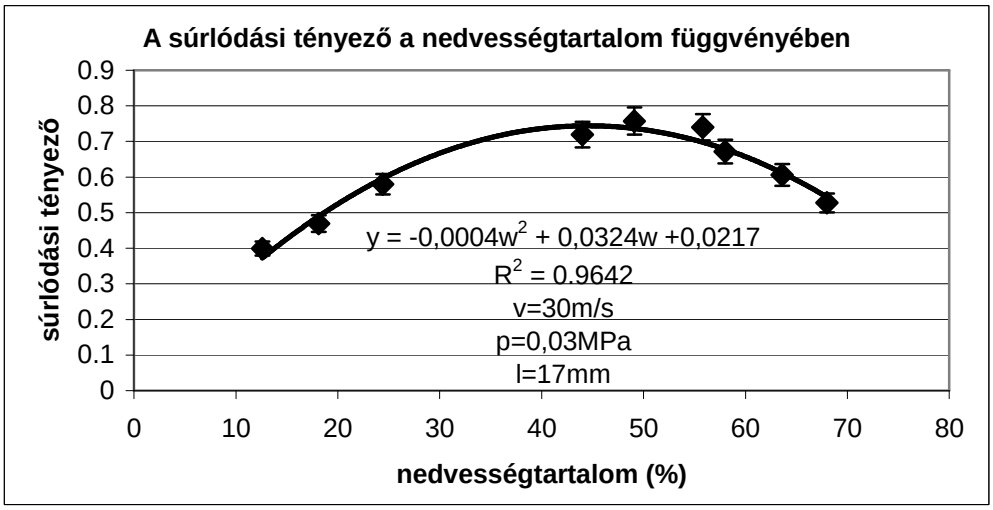
normálerő mellett a súrlódási erőt némiképpen kompenzálja a súrlódási tényező csökkenése. Így a súrlódási veszteség mérséklődik.

Súrlódási tényező a sebesség függvényében

A súrlódási tényezőt a csúszás sebessége is módosítja. Alacsony siklási sebességnél alacsonyabb súrlódási tényezőt mértem mely 0,03 MPa felületi terhelés mellett 0,4 míg a sebesség növekedésének következtében az érték kezd nőni (3. tézis első ábra). Itt is változás áll be a rendszer szerkezetében. Nagyobb csúszási sebességnél jelentősen megnő a súrlódás miatt keletkező hő. Az érintkező felületeknél keletkező hő hatására a nedvesség elpárologhat, ezzel leromlanak a súrlódási viszonyok és megnő a súrlódási ellenállás. Az eredmények alapján elmondható, hogy a súrlódási veszteség szempontjából kedvezőtlen a nagy sebességgel történő szecska szállítása. Ha az egyéb vizsgálati paramétereket (felületi terhelés, szecskahossz, felületi érdesség) állandónak tekintjük a csúszási sebesség szempontjából a kisebb értéknél lesz kedvezőbb a súrlódási veszteség.

Súrlódási tényező a nedvességtartalom függvényében

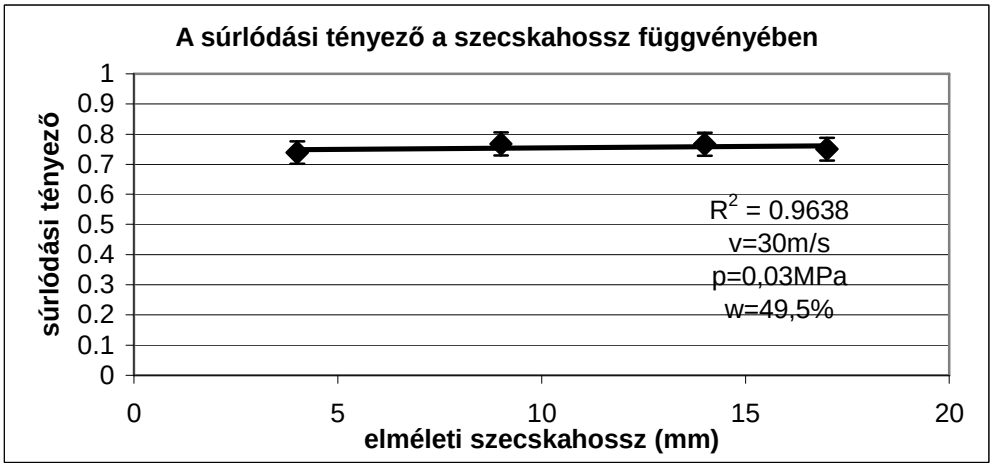
E fejezetben a nedvességtartalom befolyásoló hatását vizsgálom. Az 7. ábra a mérések eredményeit szemlélteti. Látható, hogy 68%-os nedvességtartalomnál 0,5 a súrlódási tényező nagysága, majd a nedvességtartalom csökkenése következtében elkezd nőni. A w=40-50%-os tartományban éri el a maximumot majd az érték elkezd csökkenni. Magas (w=55% felett) nedvességtartalomnál a víz kenőanyagkén szolgál, ezért csökken a súrlódási ellenállás. 10-20%-os nedvességtartalom mellet a fű száraz és keményebb, mint nedves formában. A víz a kenőhatása 45%-os nedvességtartalomnál nem érvényesül, azonban az adhéziót jelentősen befolyásolja. Ennek következtében a felaprított anyag tapad az ellenfelületre. Ezek az eredmények a gyakorlatban is igazolódtak, hiszen a 60% feletti nedvességtartalmú szecska egyenletesebben áramlik a szecskázógépen belül. Ugyanez elmondható a száraz fűre is. 45%-os nedvességtartalom körül jelentkezik a letapadás a csúszófelületekre. Ez a jelenség a fű cukortartalmával is összefüggésben áll, ami a gyakorlatban egy ismert probléma különösen a holland területeken. Ha a fű letapad a csúszófelületekre az gátolja a szecska áramlását és rövid időn belül eltömődik a csatorna amiben a szecska áramlik.



7. ábra: A súrlódási tényező a nedvességtartalom függvényében fűnél

Súrlódási tényező a szecskahossz függvényében

Méréseim során vizsgáltam a súrlódási tényező változását a szecskahossz függvényében. A mérések során a terhelés, a csúszási sebesség és nedvességtartalom állandó volt. Így egyetlen paraméter a szecskahossz változott. Az elméleti szecskahossz 4 mm, 9 mm, 14 mm és 17 mm volt. Az eltérő hossz nem eredményezett változást a struktúrában, ezért a szecskahossz megváltozása üzemszerű tartományon belül nincs hatással a súrlódási tényezőre.

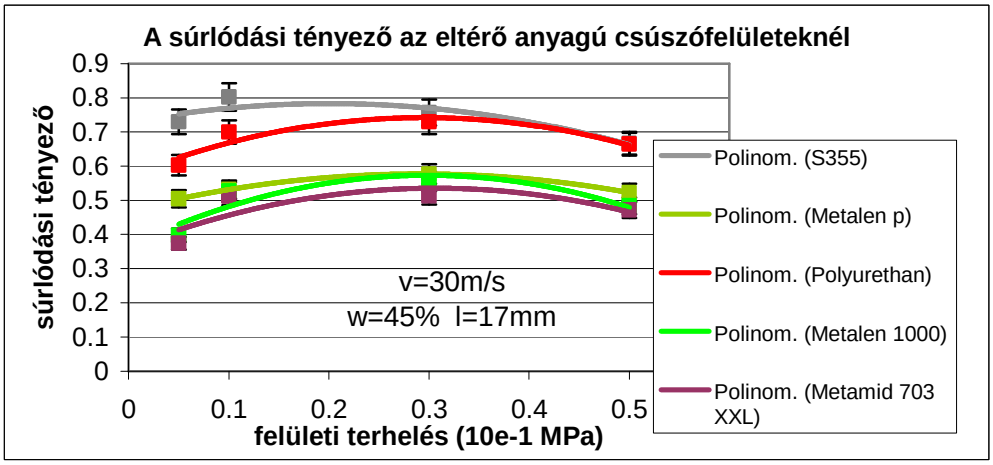


8. ábra: A súrlódási tényező a szecskahossz függvényében fűnél

Súrlódási tényező különböző anyagú csúszófelületek esetében

A korábbiakban már volt szó arról, hogy méréseim során az acél, mint referencia anyag mellett műanyagokkal is végeztem méréseket. A vizsgált mű-

anyagok között volt Metalen p és Metalen 1000, melyek az UHMW-PE-nek csoportjába tartoznak. A Metamid 703XXL műanyag egy poliamid, mely vakszot is tartalmaz. Továbbá végeztem méréseket poliuretán tárcsával is. Egy mérési beállításnál ismertetem a mérési eredményeket, de más mérési beállításoknál is megfigyelhető a műanyagok eltérő tribológiai tulajdonsága az acélhoz képest. Látható, hogy a poliuretán tárcsánál csak kis nyomástartományban volt a súrlódási tényező kisebb az acélhoz viszonyítva. Ugyanakkor a polietilén és poliamid tárcsákkal végzett méréseknél a súrlódási tényező átlagosan 40%-kal kisebb, mint ugyanazon pontban mért acéltárcsa esetében. A poliamid és polietilén tárcsák között nincs jelentős különbség különösen akkor, ha az 5%-os mérési hibát is figyelembe vesszük. Mérések igazolták azt a feltevést, hogy a polietilén és poliamid jóval kedvezőbb siklási tulajdonsággal rendelkezik szecskázott fű esetében is. A polietilén további előnye még az acélhoz viszonyítva, hogy nem, vagy csak nehezen ragasztható. Ezért a szecskázott anyag is nehezen tapad a felületére. Ez egy kedvező tulajdonság számunkra a jó siklási tulajdonság mellett. A negatív tulajdonságok közé a kopás tartozik, de erről a későbbiekben még részletesebben beszélek.



9. ábra: A súrlódási tényező alakulása eltérő anyagú csúszófelületeknél

3.1. Mérési eredmények szecskázott kukoricánál

Súrlódási tényező a terhelés függvényében

A siló készítése során a silókukoricát viaszérési állapotban takarítják be, ilyenkor a nedvességtartalom 65-70% között változik. Nagyobb nedvességtartalommal itt sem szerencsés a betakarítás, mert értékes tápanyagokat veszíthetünk el. A 2. tézis második ábráján látszik, hogy a szecskázott kukorica súrlódási tényezője 0,2-0,3 közötti érték, mely a beállítási paraméterek következtében kismértékben változik. Az kijelenthető, hogy az aprított kukorica súrlódási té-

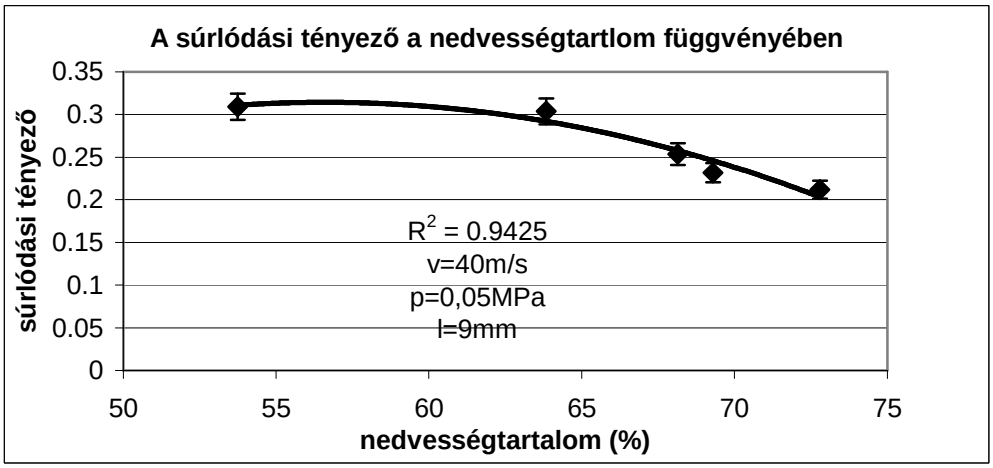
nyezője csak harmada a szecskázott fűhöz viszonyítva. Emiatt a kukorica kevésbé fékeződik a gépen belül és egyenletesebben áramlik, mint a fű. Ezt a gyakorlat is alátámasztja. Az ábrán a súrlódási tényező látható a felületi terhelés függvényében. Megfigyelhető itt is az a tendencia, hogy a felületi terhelés növelése következtében a súrlódási tényező csökken. Alacsony 0,005 MPa terhelés mellett az érték 0,3, 0,05 MPa-nál már csak 0,2 a súrlódási tényező értéke, ami közel 30%-os mérséklődés. A változás oka egyrészt az adhéziós és deformációs komponens arányának megváltozása. Másrészt a növényből kipréselődő víz. Azaz megváltozik a tribológiai rendszer, mely a szecska-acél kölcsönhatásakor keletkezik.

Súrlódási tényező a sebesség függvényében

A csúszási sebesség változásával megváltozik a tribológiai rendszer. Megfigyelhető itt is az a tendencia, hasonlóan mint a fűnél, hogy alacsony siklási sebességnél alacsonyabb a súrlódási tényező, míg a sebesség növekedésének következtében az érték elkezdett nőni (3. tézis második ábra). Megváltozik a tribológiai rendszer hő viszonyai, hiszen nagyobb csúszási sebességnél időegység alatt több hő keletkezik az érintkező felületek között. A hő hatására abban a zónában elpárolog a nedvesség, és ezzel leromolhatnak a súrlódási viszonyok.
A diagram arra enged következtetni, hogy a szecskát csak a szükséges mértékig gyorsítsuk fel. Ha túl nagy (~40 m/s) sebességgel halad a szecska megnő a súrlódási veszteség. Valamint a nagy sebességre történő gyorsítás is jelentős többlet energiát igényel.

Súrlódási tényező nagysága a nedvességtartalom függvényében

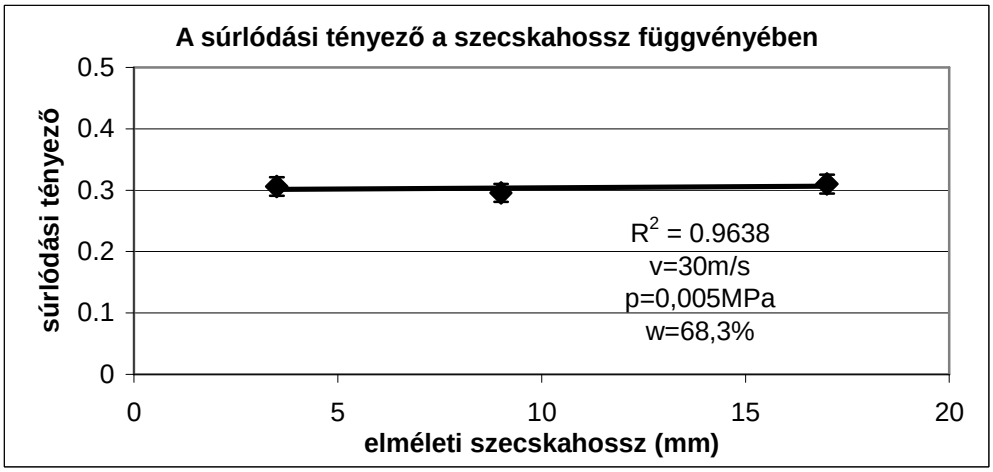
Az aprított kukorica biológiai anyag, ennek következtében a tribológiai tulajdonságát több más paraméter mellett annak nedvességtartalma jelentős mértékben befolyásolja. A kukoricát nem lehet szecskázott állapotban szárítani, mivel rövid időn belül a baktériumok miatt erjedni kezd és így mérésre teljesen alkalmatlan anyag lesz. A vizsgálatok elvégzésére a növény szárítását lábon végeztük. Így két-három naponta szecskáztuk a kukoricát. A szecska nedvességtartalma 73% és 54% között változott. Alacsony 54%-os nedvességtartalommal már nem készítenek silót, mert annyira száraz, hogy a tömörítésnél problémák adódnak. A nedvességtartalom csökkenése következtében hasonlóan, mint a fűnél, itt is elkezd a súrlódási tényező nőni. Magas nedvességtartalomnál a víz kenőanyagként szolgál. A nedvesség csökkenése következtében viszont az adhézió kezd dominálni, aminek következtében romlik a siklási tulajdonság.



10. ábra: A súrlódási tényező a silókukorica nedvességtartalmának függvényében

Súrlódási tényező a szecskahossz függvényében

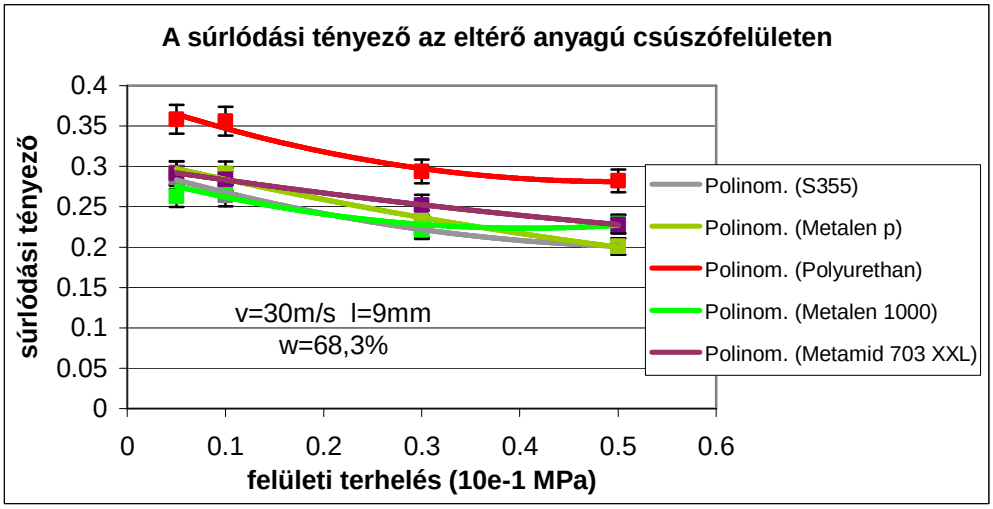
A mérések során a szecskahossz függvényében is vizsgáltam a súrlódási tényező változását. A méréseket hasonlóan, mint a fűnél állandó terhelés, csúszási sebesség és nedvességtartalom mellett végeztem el. Így csak egyetlen paraméter a szecskahossz változott. Az elméleti szecskahossz 4 mm 9 mm és 17 mm volt. A makro strukturális változás, sem az adhéziós sem a deformációs összetevőt nem változtatja meg lényegében a súrlódási rendszerben, ezért a súrlódási tényező sem változik.



11. ábra: A súrlódási tényező eltérő szecskahosszúság mellett silókukoricánál

Súrlódási tényező nagysága különböző anyag esetében

Kukoricával végzett méréseknél során itt is végeztem méréseket műanyag tárcsákkal. Az eddigi eredményekből egyértelműen kitűnik, hogy a kukorica szecska jóval kedvezőbb siklási tulajdonsággal bír, mint a fű. A 12. ábrán a mérésekből látszik, hogy kukorica szecskánál a nem mutatható ki különbség a polietilén és az acél tárcsa között. Ha a mérési hibát figyelembe vesszük, kijelenthető, hogy ugyan akkora a súrlódási tényező és ugyanazt a tendenciát követi. A poliuretán kivételt képez a polimerek közül, mivel annak 40%-kal nagyobb a súrlódási tényezője az acél tárcsához képest.

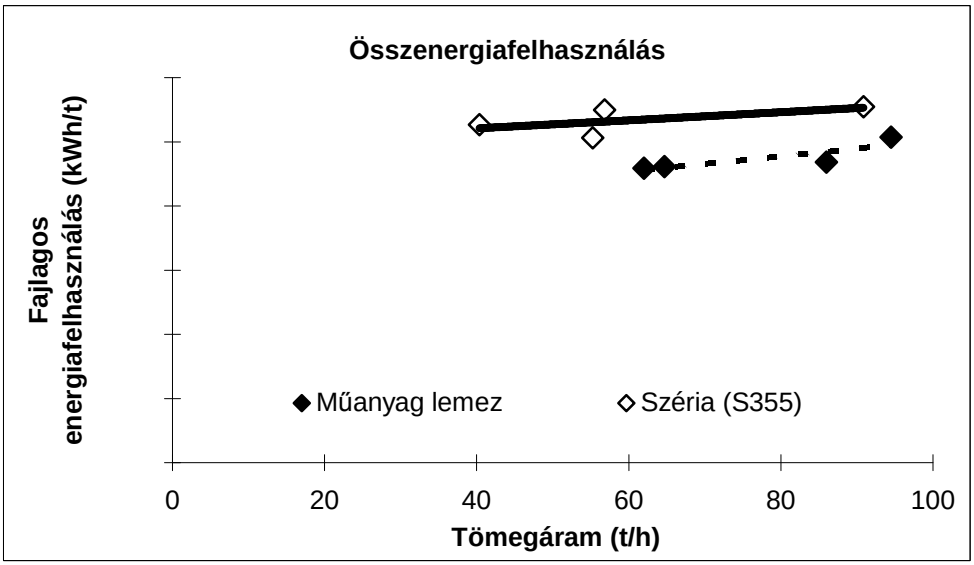


12. ábra: A súrlódási tényező az eltérő anyagú csúszófelületeken

A kukoricával végzett mérések során kijelenthető, hogy bár a polietilén alkalmazásával nem csökken a súrlódási tényező, de nem is nagyobb, mint az acél csúszófelület esetében.

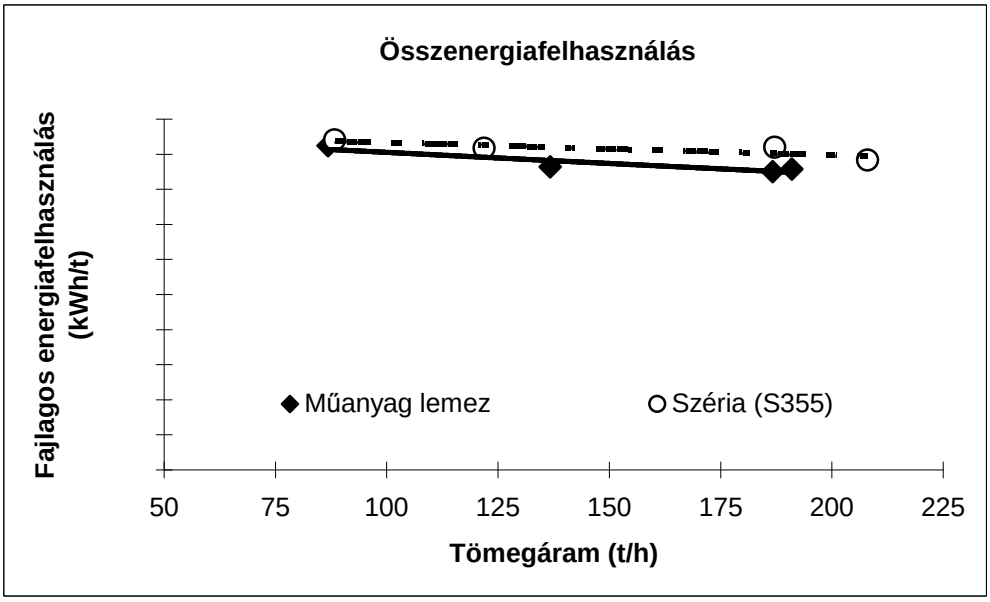
3.2. Szántóföldi mérések eredményei

A 13. ábrán a mérési eredményeket láthatjuk, melyek fű szecskázásakor mértem. A fekete pontok a műanyag csúszófelületekkel ellátott szecskázógép mérési eredményeit mutatja. A fehér pontok a széria géppel végzett mérések eredményeit szemlélteti. A Szántóföldi mérések során hasonló eredményeket kaptam, mint a laboratóriumi vizsgálatoknál, nevezetesen a műanyag csúszófelületnél a súrlódási ellenállás kisebb. Emiatt a szecskázás energia igénye is kisebb. A műanyag csúszófelülettel rendelkező gép fajlagos össz-energia felhasználása 10%-kal kevesebb volt a normál széria géphez. Ez a különbség a PE kedvező siklási tulajdonságának köszönhető.



13. ábra: Szántóföldi mérések eredményei fű szecskázásakor (l=17 mm, w=45,3%)

2008 őszén méréseket végeztem el silókukorica szecskázásakor is. A mérés hasonlóan történt, mint fű szecskázásakor. A műanyaggal bélelt gép és a széria gép egy azon táblán szecskázott. A mérési eredményeket a 14. ábra tartalmazza. Kukorica szecskázásakor hasonlóan, mint a laboratóriumi méréseknél már csak 1-2%-os különbséget mértem a műanyag javára. A mérési hibát figyelembe véve kijelenthető, hogy kukorica szecskázásakor a súrlódási veszteség acél és műanyag csúszófelület esetén azonos.

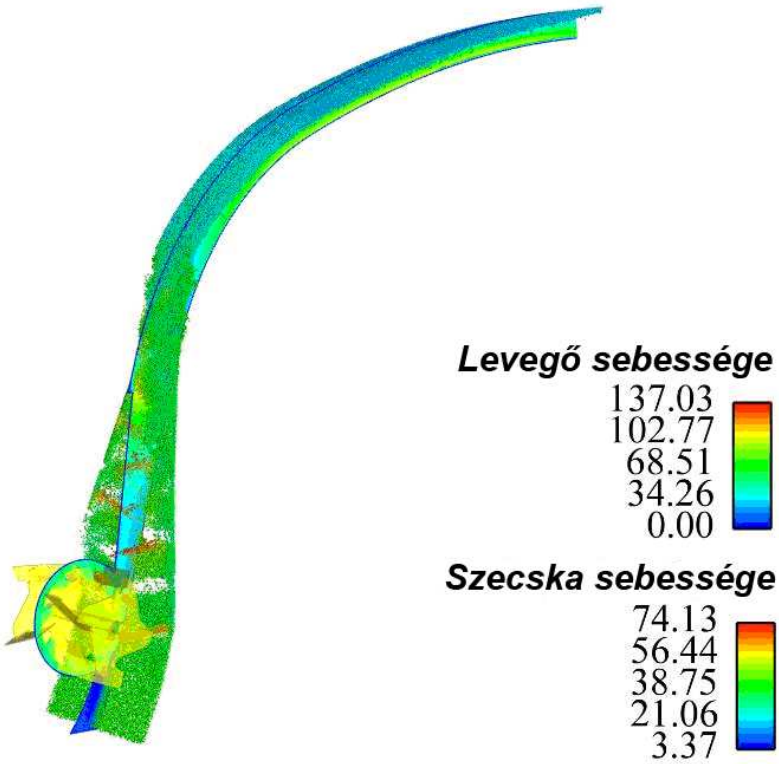


14. ábra: Szántóföldi mérések eredményei kukorica szecskázásakor (l=9 mm, w=64,6%)

A műanyag csúszófelület további előnye fű szecskázásakor, hogy nem vagy csak kis mértékben tapad a fű annak felületére.

3.3. A CFD-DEM számítás eredményei

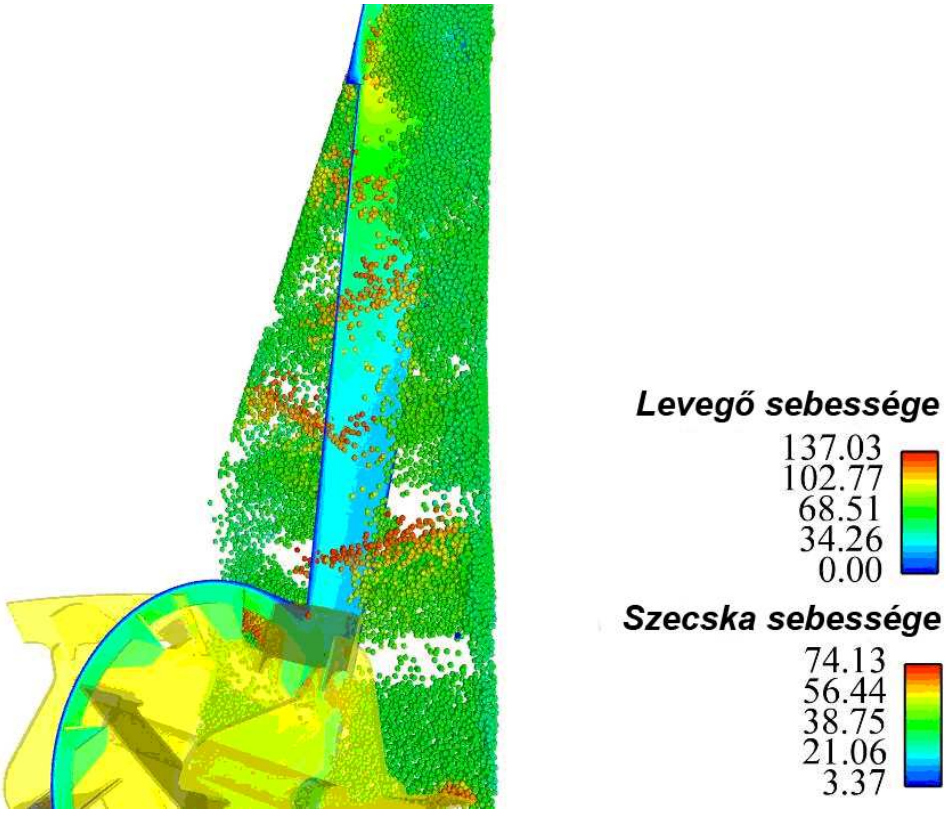
A CFD-DEM kapcsolt számítás elvégzése után elemeztem, hogy a gépen belül milyen a levegő sebesség és nyomáseloszlása, valamint milyen a szecska mozgáspályája. A CFD számítás eredménye alapján a levegő tömegárama 2,63 kg/s, melyből 1 kg/s érkezik a szecskázódob felől és 1,63 kg/s mennyiséget oldalról szív be a gyorsítódob. A 15. ábrán a levegő és szecska sebességeloszlását mutatja. A szecska ~20 m/s-os sebességgel lép ki a kifúvótoronyból, amelyet a mért átlagos 20,8 m/s-os sebességgel összevetve a számítás pontosnak mondható.



15. ábra: CFD-DEM számítás eredménye

A 16. ábrán a gyorsítódob utáni rész kinagyítása látható. A számításból látszik, hogy a szecska csak nagyon kis része gyorsul az elméleti 68 m/s-os sebesség fölé. A szecska jelentős hányada 50 m/s-os sebességgel hagyja el a gyorsítódob utáni részt. Megfigyelhető az is, hogy a szecska csak kis mértékben lassul le a szűkítőben. Ez azzal magyarázható, hogy mivel a szűkítő kilépő ke-

resztmetszete kisebb, mint a belépő, a kontinuitás miatt muszáj a sebességnek nőni, méghozzá a két fluid közül annak, melynek kisebb a tehetetlensége. Ez jelen esetben a levegő, és amennyiben az ábrát jól megfigyeljük, a kilépő részen a levegő sebessége meghaladja a 100 m/s-t. Ugyanakkor a légellenállás miatt a levegő magával próbálja gyorsítani a felaprított anyagot is, mely így ~40 m/s-os sebességgel lép be a kifúvótoronyba. A szecska nem csak a súrlódás miatt, hanem az ütközések miatt is veszít kinetikus energiájából. Mivel a gyorsítódobon a lapátok egymáshoz képes el vannak tolva így az anyagáram is eltolva jelentkezik. Az eltolás miatt a szűkítő első szakaszán az ütközési veszteség kisebb, mivel az üres helyeket könnyebben fel tudják tölteni a részecskék. A szűkítőben való előrehaladáskor a szűkülő rész miatt az ütközési veszteség erősödik.



16. ábra: Sebességviszonyok a szűkítőben (m/s)

3.4. Az eredmények értékelése és összefoglalása

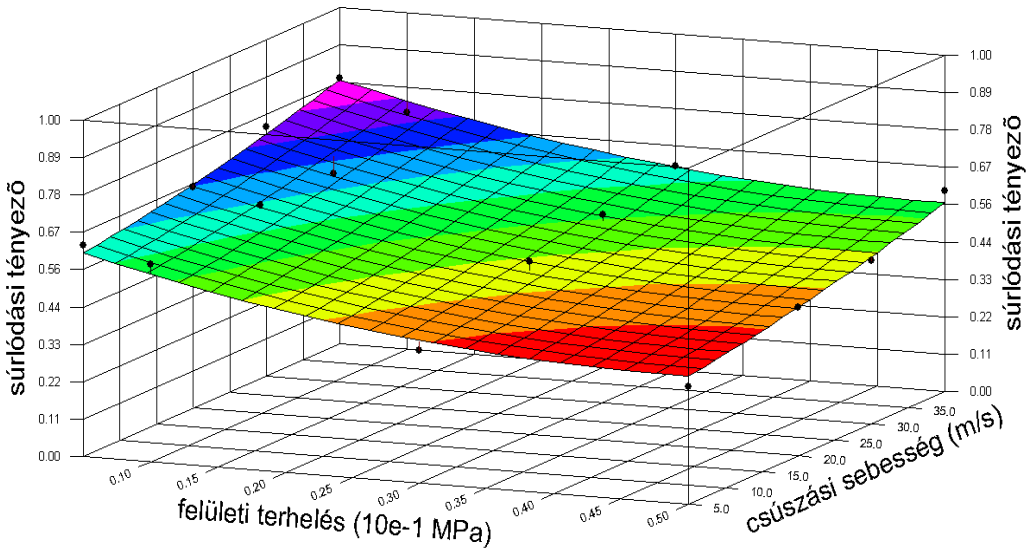
Az eredmények számos olyan lehetőségre világítanak rá, melyekkel mérsékelhető a súrlódási veszteség a járvaszecskázó gépekben, és ezzel javulhat a gép hatásfoka.

A laboratóriumi mérések szerint a fű súrlódási tényezője a betakarítási nedvességtartalomnál(~50%) 0,8 körüli érték, ami elég jelentős. Ezzel szemben silókukorica súrlódási tényezője csak 0,25 körüli érték. Látható, hogy a két növény között jelentős az eltérés. Ez a gyakorlatban is megmutatkozik, hiszen a kukorica szecska sokkal egyenletesebben és nagyobb sebességgel jön ki a gépből, mint a fű.

A csúszási sebesség növekedése kedvezőtlenül hat a súrlódási tényező alakulására. Növekedő sebesség mellett, nő a súrlódási tényező mind a fű mind a kukorica esetében. Ez a súrlódás okozta hővel magyarázható. A kontakt zónában a hő miatt megváltozik a nedvességtartalom és ezért az adhézió jelentősebb lesz. Az eredmények arra mutatnak rá, hogy célszerű a szállítási sebességet alacsonyan tartani, mivel így a súrlódási veszteség is kisebb. Ezzel összhangban, kevésbé kell a szecskát felgyorsítani így a gyorsítási veszteség is mérsékelhető. Mindez arra ösztönzi a konstruktőrt, hogy ne gyorsítsa fel az aprítékot a biztonságos belső anyagáramláson és kifúváson túli mértékben feleslegesen, mert az kihasználatlan többlet energiát igényel.

A felületi terhelés növekedésével a súrlódási tényező csökkenő tendenciát mutat. Ez elsősorban magas (50% feletti) nedvességtartalomnál igaz. A változás a súrlódás adhéziós és deformációs komponensének megváltozása miatt következik be. Az adhéziós komponens csökken, mivel a nedves anyagból az érintkezési zónában víz préselődik ki. Alacsony (20% alatti) nedvességtartalomnál ez a változás nem figyelhető meg. Ott a terhelés növekedés hasára nem változik a súrlódási tényező nagysága. Itt már nem tud víz kipréselődni a növényből ezért az adhéziós komponens sem változik. Bár a növekvő terhelés hatására csökken a súrlódási tényező értéke (nedves anyagnál) a nagy felületi terhelés miatt a súrlódási erő nagyobb mint kisebb felületi terhelésnél. Ezért célszerű arra törekedni, hogy a felületi terhelés, azaz a normál erő, a lehető legkisebb legyen.

A fenti eredmények alapján a fű súrlódási tényezőjét w=65%-os nedvességtartalom mellett a felületi terhelés és a csúszási sebesség függvényében a 17. ábrán ábrázoltam. Látható, hogy a mérési pontokra egy felület illeszthető. A legkisebb súrlódási tényező 0,05 MPa terhelésnél és 5 m/s sebességnél van, míg a legnagyobb 0,005 MPa terhelésnél és 40 m/s sebességnél.



17. ábra: A súrlódási tényező a csúszási sebesség és a felületi terhelés függvényében

A nedvességtartalom jelentős mértékben módosítja a súrlódási tényezőt. A fű esetében a nedvességtartalom görbének 45-50% nedvességnél van a maximum értéke. A magas nedvességtartalmú (>60%) fűnél a víz kenőanyagként csökkenti a súrlódási tényezőt. Ahogy csökken a nedvességtartalom az adhézió fokozódik, ezért nő a súrlódási ellenállás is. A nedvességtartalom további csökkenése következtében a víz adhéziós szerepe csökken és a súrlódási tényező is fokozatosan csökken. A silókukorica esetében is megfigyelhető az, hogy a nedvességtartalom csökkenése következtében nő a súrlódási tényező. A mérések alapján ~55% nedvességtartalomnál éri el a görbe a maximum értéket. Azután a súrlódási tényező kukorica esetén is csökken. Fű betakarításakor különöse ha szenázst készítünk a nedvességtartalomnak 50-55% között kell lennie. Ez kedvezőtlen a súrlódás szempontjából, mivel közel vagyunk a maximum ponthoz. Szilázs készítés esetén a nedvességtartalom 60% feletti. Itt a súrlódási tényező kisebb, ezáltal a súrlódási veszteség is alacsonyabb. Silókukoricát viaszérési állapotban szokták betakarítani, ilyenkor a nedvességtartalma 65-70% közötti. Ekkor a súrlódási tényező alacsony, ennek következtében a súrlódási veszteség is kisebb, mint alacsonyabb nedvességtartalomnál.

A szecskahossz változása az üzemszerű működési tartományon (3-20 mm) belül nem eredményezi a súrlódási tényező változását. A szecskahosszt mind fű mind kukorica esetén az szabja meg, hogy mire szeretnénk a szecskát felhasználni. A szecskahossz változása nem eredményez olyan változást, amely növelné a deformáció befolyásoló hatását, mivel ez makroszkopikus változás.

A felületi érdesség változása következtében módosul a súrlódási tényező. Kísérleteim során eltérő felületi érdességű tárcsákkal is végeztem méréseket. Az eredmények alapján egyértelműen látszik, hogy növekvő felületi érdesség-

nél a súrlódási tényező is nő. Ez abból adódik, hogy a súrlódás adhéziós és deformációs komponense közül az utóbbi változik. Hiszen nagyobb felületi érdességnél nagyobb a deformáció a növényben. A 400 t/h tömegáram mellett a szecska a csúszófelületeket folyamatosan koptatja. Emiatt sem és a mérési eredmények alapján sem indokolt a csúszófelület durvítása. A durva felület simára kopik, valamint jelentőse megnöveli a súrlódási ellenállást is.

Az eredmények alapján a műanyag csúszófelület alkalmazásával, különösen fű szecskázásakor, jelentős mértékben csökken a súrlódási tényező. A méréseim során UHMW polietilénnél közel 20%-kal kisebb volt a súrlódási tényező mint az acélnál. Ez a kedvező tribológiai tulajdonság a kisebb adhéziónak köszönhető. Ez a kedvező siklási tulajdonság sajnos kedvezőtlen kopási tulajdonsággal párosul. A szántóföldi kopásvizsgálatoknál megmutatkozott, hogy az üveggömbökkel adalékolt polietilén (Metalen p) rendelkezik a legjobb kopásállósággal. De még ez is elmarad az acél kopásállóságához. A poliamid siklási tulajdonsága hasonló jó, mint a polietiléné, ugyanakkor jóval rosszabbak a kopással szembeni ellenállása. A labormérések során egyértelműen igazolódott, hogy UHMW polietilén alkalmazásával a súrlódási veszteség csökkenthető. Egy szecskázógép acél csúszófelületeit kicseréltük Metalen p műanyagra. A szántóföldi mérések során egyértelműen mutatkozott az a különbség, hogy műanyag csúszófelület esetén kisebb a súrlódási veszteség. Ezáltal a szecskázás teljesítményigénye is kevesebb. A fű szecskázásakor 10%-kal volt kevesebb a fajlagos energiafelhasználás a műanyaggal felszerelt gépnek.
Üzemanyag megtakarításban ez akár 10 litert(!) is jelenthet. A kedvező siklási tulajdonság mellet további előny, hogy a felületére csak nehezen tapad a fű. Így az gép eltömődésének veszélye kisebb. Összességében a UHMW PE egy új lehetőséget nyújt arra, hogy a súrlódási veszteség mérsékeljük a szecskázás során. A pillanatnyi kedvezőtlen kopás tulajdonságai a jövőben adalék anyagok hozzáadásával és térhálósítással tovább fokozható.

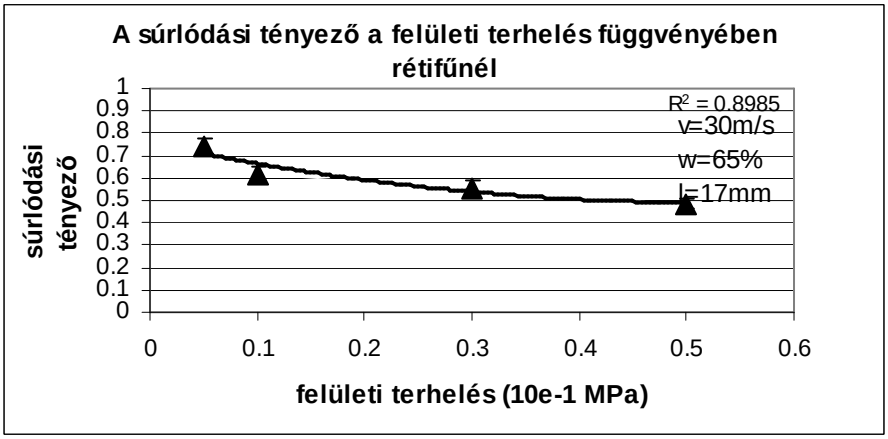
A CFD-DEM kapcsolt szimuláció elvégzésével láthatjuk, hogy a szecska miként mozog a gépen belül. Ugyanakkor azt is látjuk, hogy az áramló levegő, különösen a gyorsítódob után lévő szűkítőnél, némiképpen kompenzálja a súrlódás miatt keletkező sebességveszteséget. Ugyanis a gyorsuló levegő magával ragadja a szecskát és nem engedi, hogy a falsúrlódás miatt az jelentősen veszítsen a kinetikus energiájából.

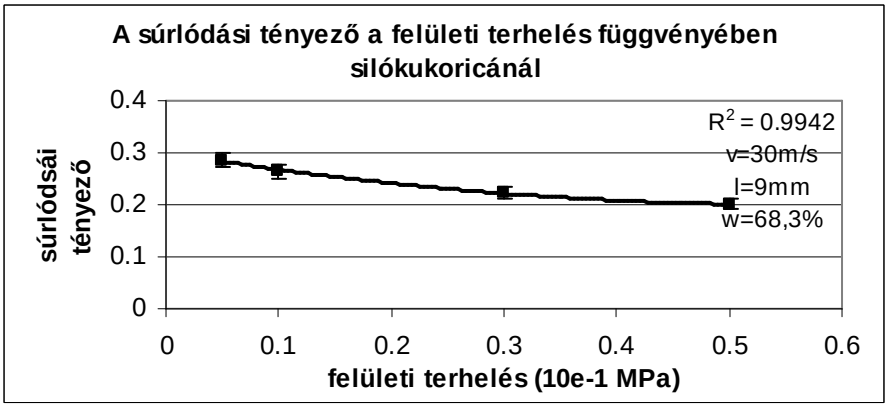
Hasonló számítások elvégzésével, valamint a görbületek geometriai optimalizálásával tovább mérsékelhető a súrlódási veszteség. A kifúvótorony geometriai optimalizálásával csökkent a súrlódás okozta veszteség ezáltal a szecska nagyobb sebességgel hagyja el a gépet. Ilyen optimalizálás minden egyes egységnél elvégezhető.

3.5. Új tudományos eredmények

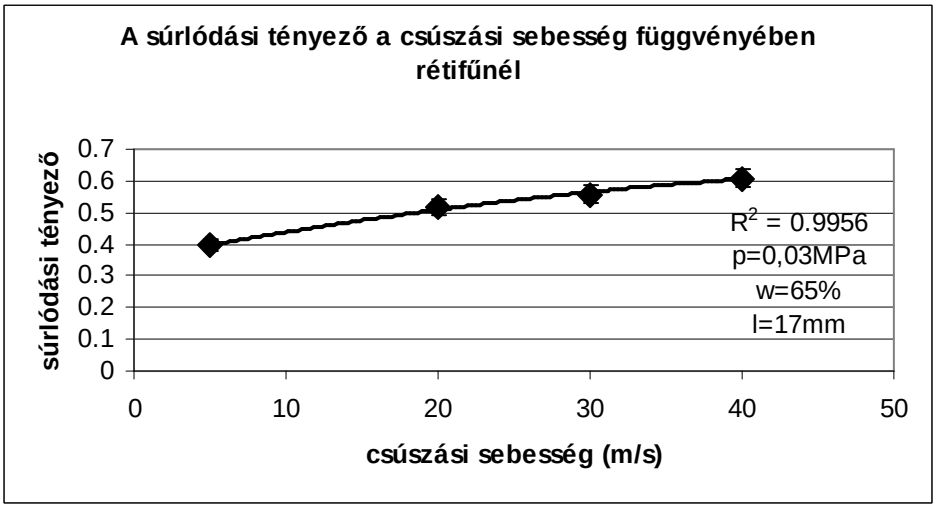
1. Megállapítottam, hogy a járvaszecskázókgép belső munkafolyamatainak energiaigényét az aprításon túl, jelentős részben a fémfelületek által irányított növényi anyagtranszport súrlódási veszteségei határozzák meg. Ezért a súrlódási tényező megállapítására vizsgálatokat végeztem az általam tervezett és kivitelezett mérőberendezéssel és szántóföldi mérésekkel (500 mm átmérőjű különböző anyagú tárcsákkal, szecskázott rétifűvel, valamint silókukoricával. A csúszási sebesség 5-40 m/s, a felületi terhelés 0,005-0,05 MPa között változott).

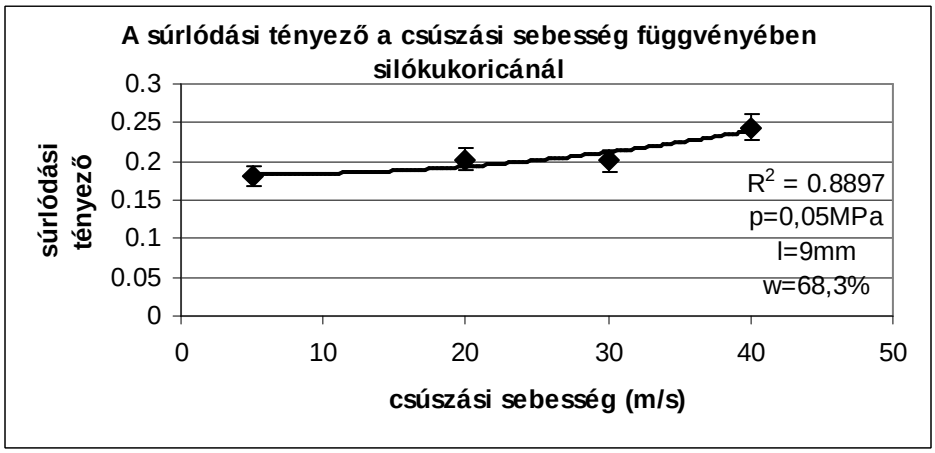
2. Igazoltam, hogy 50-70% közötti nedvességtartalom (w) tartományban 17 mm-es átlagos szecskahosszúságnál a rétifű súrlódási tényezője acél felületen a felületi terhelés növelésével (0,005-0,05 MPa) ~20%-kal, a 9 mm-es szecskahosszúságú silókukorica-szecska súrlódási tényezője pedig a felületi terhelés növelésével ~30%-kal csökkenthető. Nagyobb tömegáram esetén számottevő a fajlagos energiaigény csökkenés.





3. Bizonyítottam, hogy az 50-70% közötti nedvességtartalom (w) tartományban az átlagosan 17 mm szecskahosszúságú rétifű súrlódási tényezője acél felületen a csúszási sebességgel monoton növekszik. Ez 5 m/s-ról 40 m/s-ra történő sebességnövekedés esetén már ~50%. Ugyanez a jelenség megfigyelhető a 9 mm átlagos szecskahosszúságú silókukorica-szecska esetében is. Azonban a növekedés mértéke ugyanebben a tartományban kisebb, 30%. Mindezek alapján energia megtakarítás szempontból javasolható a gépen belüli zöldtakarmány áramlás sebességének csökkentése, pl. az átömlő keresztmetszetek növelésével.





4. A szecskázott rétifű súrlódási tényezőjének acél felületen nedves bázison mért változása a nedvességtartalom (w) függvényében közelíthető a

$$\mu(w)=-0{,}004w^2+0{,}0324w+0{,}0217$$

alakú másodfokú polinommal. A görbének 30 m/s, 0,03 MPa esetén 45%-os nedvességtartalomnál maximuma van. Áramlás energetikai szempontból csak a 45% feletti betakarítási nedvességtartalom tekinthető kedvezőnek.

5. Megállapítottam, hogy a járvaszecskázók üzemszerű működési tartományában 4-19 mm közötti átlagos szecskahosszúság változása nem eredményezi súrlódási tényező változását (0,005 MPa, 30 m/s, 70% esetén). Így a súrlódási méréseim és tapasztalataim ebben az értelemben is kiterjeszthetők.

6. Igazoltam, hogy fű és PE-UHMW műanyag anyagpárosításnál kisebb a súrlódási tényező, mint fű és acél anyagpárosításnál. A 45%-os nedvességtartalomnál (0,03 MPa, 30 m/s, 17 mm) ~40%-kal kisebb a súrlódási tényező PE-UHMW-nál, összehasonlítva az acéllal.
A szántóföldi méréseknél ez ~10%-kal kisebb fajlagos energiafelhasználást mutatott. A kisebb súrlódási tényező miatt a szecskázódob és gyorsítódob teljesítményfelvétele kevesebb, valamint a szecska is kevésbé fékeződött le.
Silókukorica és PE-UHMW, valamint silókukorica acél anyagpárosításnál nem volt mérhető a különbség.

7. Modelleztem a szecskázógépen belüli szecska és levegő kétfázisú áramlását CFD+DEM kapcsolt számítással. Az Eulerian kétfázisú áramlás szimulációval bizonyítottam, hogy a gyorsítódob utáni szűkítőben a szecska miközben azon keresztül halad csak ~5% veszít áramlási sebességéből. A falsúrlódás miatt fellépő jelentős fékező erőt a folyamatosan gyorsulva áramló levegő nagy mértékben kompenzálja.

4. Következtetések és javaslatok

A korszerű szecskázógépek áteresztőképességének növelése miatt az anyag szállításából keletkező veszteségek jelentősek. A felaprított anyagot először fel kell gyorsítani közel 60 m/s-os sebességre, ami önmagában is egy jelentős energia befektetés. Azonban e kinetikus energia jelentős része a súrlódás miatt elveszik, és átalakul hővé.

A kutatómunkám során végzett mérések alapján a szecskázott anyagok súrlódási tényezője a csúszási sebesség növekedése következtébe nő. Ezért is és az előbbiekben említett okok miatt, ha nem muszáj, ne gyorsítsuk fel az anyagot feleslegesen. Csak annyira gyorsítsuk fel a szecskát, ami még nem veszélyezteti a biztonságos anyagtovábbítást.

A súrlódás során a csúszófelület jelentős abrazív koptató hatásnak van kitéve. Mérések során láthattuk, hogy míg szilárd-szilárd test súrlódásakor általában a felületi érdesség növelése kedvez a súrlódási tényező alakulásának ez szecskázott zöldtakarmányok esetében nem így van. Ott a finomabb felületi érdességnél volt a súrlódási ellenállás a legkisebb. Ezért törekedni kell a minél simább csúszófelület kialakítására, amit a szecska és a rajta lévő por, homok segít is kialakítani.

A szecskázás betakarításának idejét általában azt határozza meg, hogy mire szeretnénk a későbbiek az aprítékot felhasználni. Szecskázott anyagok súrlódási tényezőjét jelentősen befolyásolja a nedvességtartalom nagysága, ezért ha a betakarítási technológia megengedi célszerű a maximumpontot elkerülni.

Mérési eredményeim alapján egyértelműen kijelenhető, hogy UHMW polietilén csúszófelület alkalmazásával a súrlódási veszteség jelentősen csökkenthető. A műanyag további előnye, hogy a felületére nehezen tud megtapadni más szilárd anyag, így fű aprítása esetén mindig tiszta sima felületen csúszik az apríték és annak mozgását nem gátolják a letapadások.

Kutatómunkám során rávilágítottam arra, hogy ezeknél a gépeknél, különösen nagy áteresztőképesség mellett nem szabad figyelmen kívül hagyni a súrlódási veszteség nagyságát. A súrlódási veszteség a fentebb említett javaslatokat figyelembe véve mérsékelhető. A görbületek optimalizálásával, mint pl: a kifúvótorony esetében, a veszteségek tovább mérsékelhetők. Így a szecskázógép üzemanyag felhasználása csökkenthető, valamint a gép hatásfoka javítható.

5. Összefoglalás

Zöldtakarmányok aprításos betakarítása nagy energia befektetéssel jár. A gépek szecskázó egységre jutó motorteljesítményének egy jelentős része az anyag felaprítására, másik része az anyag szállítására fordítódik. Az anyag szállítása során a súrlódás fékezi azt, és ez jelentős veszteség. Abban az esetben, ha a súrlódási veszteséget minimalizáljuk kevesebb energiafelhasználással végezhetjük a szecskázást és a gépek üzemanyag felhasználása is jelentősen mérséklődne.

Doktori kutatásom során azt vizsgáltam, hogy hogyan lehet mérsékelni a súrlódási veszteséget. A súrlódási ellenállás két komponensből tevődik össze. Az egyik az az erő, amely az anyagot a csúszófelülethez szorítja. A másik a súrlódási tényező, a mely a szecska és a csúszófelület között alakul ki. A normálerő nagyságát az egyes geometriák görbületének optimalizálásával mérsékelni lehet. A disszertációmban elvégeztem a kifúvótorony geometriai optimalizálását. Ennek eredménye, hogy az új alaknál a súrlódási veszteség ~10 %-kal csökkent. Ilyen optimalizálás a gép többi részénél is elvégezhető a geometriai korlátok figyelembevétele mellett. Ehhez a részhez kapcsolódik még a gépen belüli anyagáram szimulációja, mely segítségével betekintést kapunk a szecska és a levegő áramlási viszonyairól. Az általam készített kapcsolt DEM-CFD szimulációval nyomon követhető a szecska sebességének alakulása, illetve a levegő áramlása is.

A súrlódási tényező meghatározása bonyolultabb feladat, mivel több paramétertől is függ. Kifejlesztetem egy mérőberendezést, melynek segítségével aprított növények és adott anyagú csúszófelület között meg tudom mérni a súrlódási tényező nagyságát. A mérőberendezés alkalmas arra, hogy széles intervallumban változtatható csúszási sebesség, illetve változtatható terhelés mellett végezzük méréseket. Bármely anyagú csúszófelülettel tudunk méréseket végezni.

A méréseim során arra kerestem a választ, hogy a csúszási sebesség, a felületi terhelés, a nedvességtartalom, a felületi érdesség és a szecskahossz nagysága valamint az eltérő anyagú csúszófelület miként befolyásolják a súrlódási tényező nagyságát. A méréseket aprított fűvel és silókukoricával végeztem el. A mérések alapján egyértelműen kiadódott, hogy míg a fű viszonylag magas 0,7-0,8-as súrlódási tényezővel rendelkezik addig a silókukorica 0,2-0,3-as súrlódási tényezővel. Ez azt jelenti, hogy kukorica aprításakor kisebb a súrlódási veszteség és a szecska nagyobb sebességgel áramlik a gépen belül. A mérések, mint azt már említettem a beállítási paraméterek befolyásoló hatására is kiterjedtek. Ezek alapján megállapítottam, hogy a felületi terhelés növekedése következtében a súrlódási tényező csökken. A csúszási sebesség növekedése következtében a súrlódási tényező is növekszik. Ezek a tendenciák mind a fűnél mint a

silókukoricánál érvényesek. A nedvesség tartalomnak szintén jelentős a befolyásoló hatása. Fűvel végzett mérések során kiadódott, hogy a súrlódási tényező változása parabola jellegű és 40-50% közötti nedvességtartalomnál éri el a maximumot. Silókukoricával 53%-os nedvességtartalomig végeztem mérést és a tendencia az, hogy a nedvesség tartalom csökkenése következtébe a súrlódási tényező nagysága növekszik. A szecskahossz változási üzemi tartományon belül nem eredményezett mérhető súrlódási tényező változást. A csúszófelület felületi érdességének nagysága alapján az érdesebb felületnél magasabb súrlódási tényezőt mértem. Az eltérő anyagú csúszófelületekkel végzett mérések során egyértelműen látható, hogy poliamid és polietilén műanyagok esetén különösen a fűvel végzett mérések során a súrlódási tényező alacsonyabb mint az acélnál. A labormérések által kapott eredmények alapján különös tekintettel az UHMW polietilén kedvezőbb siklási tulajdonságait igazolva szántóföldi méréseket is végeztünk. A szántóföldi mérésnél teljesen kibéleltem egy szecskázógépet a Metalen p nevű polimerrel. Fű szecskázása esetén 10-15 %-os teljesítmény megtakarítást mértem, amit a labormérések is alátámasztanak. Silókukorica aprításakor, mint az várható volt nem tudtunk jelentős különbséget mérni acél és műanyag csúszófelület között. A szántóföldi vizsgálatok során a műanyag csúszófelület további előnye is megmutatkozott nevezetesen, hogy a fű nehezen vagy egyáltalán nem képes a felületre tapadni. Ez nagyon fontos, mert acél felületen hajlamos a letapadásra, mely rövid idő elteltével a gép eltömődéséhez vezet.

Kutatómunkám során feltérképeztem a szecskázott zöldtakarmányok súrlódási tényezőének alakulását az gép üzemi tartományon belüli paraméter változások figyelembevétele mellett. Emellett elkezdtem a gépen belüli áramlások elemzését és optimalizálását is, mely fejezet lezárásához további kutatások szükségesek.

6. Summary

Harvesting and comminuting green forage needs great energy investments. A significant portion of the forage harvester's engine's power per unit is devoted to comminuting the material and the rest of the power is used for transporting it. The friction of the product while transporting is a significant loss of energy. If we minimize this friction loss, we can harvest using less energy and the fuel-consumption of the machines would also decrease.

In my PhD research I examined the possibilities of reducing the friction loss. The frictional resistance has two components. One is the force which presses the product to the surface. The other frictional factor is the one between the chopper and the surface. The volume of the normal force may be reduced by optimizing the curvature of the different geometries. In my dissertation I optimized the geometry of the outlet spout. As a result the frictional loss was reduced by 10%. Such optimization can be done on other parts of the machine while the geometrical limitations are taken into account. The simulation of the product stream within the machine relates to this section which gives us a better understanding of the chopper's air-flow conditions. I created a DEM-CFD simulation which follows the chopper's speed and the air-flow as well.

To determine the friction coefficient is a more difficult task as it depends on multiple parameters. I developed a meter which can measure the friction coefficient between the chopped plants and certain types of surfaces. The meter is adjustable for measurements with different slide speeds and different load volumes. We can take measurements with surfaces made out of any kind of material.

During my measurements I tried to figure out how the relative slide speed, the surface load, the moisture content, the roughness of the surface and the cut length influence the friction coefficient. I used maize and chopped grass during my measurements. After the data was collected I could clearly see that while the grass has a relatively high (0.7-0.8) friction coefficient, the maize's is only 0.2-0.3. This means that when we are chopping maize the frictional loss is less and the chaff flows inside the machine at a higher speed. As I have mentioned before, the setting parameters' influence were all take into account while measuring. Based on these I could determine that increasing the surface load will reduce the friction coefficient. When the slide speed is increasing, the friction coefficient is also increasing. These tendencies are both relevant for chopping grass and maize. The moisture content is also significantly influential. When testing with grass it was seen that the alteration of the friction coefficient draws a parabola which peaks at 40-50% moisture content. With maize I tested up to 53% moisture content and I saw that as the moisture content decreased the friction coefficient increased. Any change in the cut length within the operating

range did not bring any significant friction coefficient change. According to the surface roughness, the rougher surface brought higher friction coefficient. Using surfaces made out of different materials during the testing showed clearly that polyamide and polyethylene plastics – especially when testing with grass – had lower friction coefficients than when using steel. Based on the laboratory test results we carried out field tests also, proving the better sliding attribution of UHMW polyethylene in particular. During the field testing I lined the inside of the forage harvester with Metalen p polymer completely. I measured a 10-15% savings when cutting grass which was confirmed by laboratory tests as well. As expected, we could not measure a significant difference between using steel or plastic surfaces when we were cutting maize. During the field tests another advantage of using plastic surfaces was discovered, namely that grass can hardly stick to the surface or cannot stick to it at all. This is really important as it sticks very well to a steel surface what leads to the jamming of the machine.

In my research I charted the conformation of the friction coefficients of the cut green forage while I took the machine's parameter changes into account within operating range. Besides this, I have started to analyze and optimize the flows inside the machine, but further research and testing is required.

7. Értekezés témakörében megjelent publikációk

Lektorált cikk világnyelven:

P. Kajtár, P. Szendrő Dr., A. Haffert Dr. Ing.: Reduction of Friction and Cutting Losses in Forage Harvesters. Hungarian Agricultural Engineering Gödöllő 2007/20 p 46-47.

P. Kajtár, A. Haffert, P. Szendrő: Messung des Reibbeiwertes von gehäckselten Materialien. Landtechnik Darmstadt 2009/1 p 33-35

P. Kajtár, A. Haffert, P. Szendrő: Measuring the coefficient of friction of chopped materials. Mechanical Engineering Letters 2009/Volume 2 p 255-259

Lektorált cikk magyar nyelven:

Kajtár P., Dr. Szendrő P.: Új lehetőségek az energiatakarékos terményaprításban. GÉP folyóirat LVII. Évfolyam, 2007/4 Budapest p 23-30.

Kajtár P., Dr. Szendrő P.: A járvaszecskázók belső veszteségeinek mérséklése. Mezőgazdasági technika Gödöllő 2009/12 p 2-3