

DEBRECENI EGYETEM
Agrártudományi Centrum
Mezőgazdaságtudományi Kar
Géptani Tanszék

**INTERDISZCIPLINÁRIS AGRÁR- ÉS TERMÉSZETTUDOMÁNYOK
DOKTORI ISKOLA**

Doktori Iskola vezető:

Prof. dr. Nagy János

Az MTA doktora

Témavezetők:

Dr. Csizmazia Zoltán

CSc, egyetemi tanár

Dr. Patay István

PhD, egyetemi tanár

DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

**A MŰVELÉS HATÁSA A TALAJOK RÖGKÉPZŐDÉSÉRE ÉS A
RÖGAPRÍTÁS ENERGETIKAI ÖSSZEFÜGGÉSEI**

Készítette:

Virág Sándor

doktorjelölt

Debrecen

2005.

1. BEVEZETÉS, A KUTATÓMUNKA CÉLKITŰZÉSEI

A növénytermesztés eredményessége és a környezet védelme érdekében törekednünk kell arra, hogy ésszerű talajhasználattal megóvjuk, illetve fokozzuk talajaink termékenységét és mérsékeljük a termékenységet gátló tényezőket.

A „minőségbiztosítás” a talajművelésben meglehetősen problematikus még akkor is, ha a műveléshez minden szükséges ismeret és technika adott.

Számos feltételnek kell együttesen rendelkezésre állnia ahhoz, hogy egy-egy termesztési ciklusban a termesztett növény igényei szerinti talajállapotot tudjunk biztosítani úgy, hogy a talajdegradáló mellékhatások ne legyenek számottevőek.

Megállapítható, hogy mind a talaj, mind pedig az eszköz oldaláról optimális feltételek szükségesek ahhoz, hogy a művelet, vagy a művelés egész rendszere kiváló eredményt adjon.

A jó művelhetőség a talajállapot, ezen belül a nedvességtartalom függvénye. Pontosan tudjuk, hogy mely művelőeszköz, adott kötöttségű talajon milyen nedvességtartományban végezhet jó minőségű munkát.

A nyárvégi és őszi időszakban a talaj művelt rétegének nedvességtartalma általában kisebb a művelési optimumnál, illetve nagyon rövid az optimális művelésre alkalmas időintervallum.

Kötött talajokon a kiszáradás a talajellenállás megnövekedését okozza, ezért ezeken a területeken az őszi magágyak minősége rendszerint nem felel meg a követelményeknek. A problémát súlyosbítja, hogy a nagyfokú rögzösödés miatt a magágy készítésére fordított gépi műveletek száma – így energiaigénye is – igen magas. Ebben a helyzetben a hagyományos műveléstechnika és eszköztár felülvizsgálatra szorul, hiszen egy szárazabb, aszályosabb éghajlat mellett az egyébként bevált technika nem használható feltétlenül azonos biztonsággal. A nedvességmegőrzés, a talaj kiszáradásának megakadályozása a korábbinál is nagyobb jelentőséget kell, hogy kapjon, függetlenül egyéb technológiai elemek fejlesztésétől.

Az alkalmazkodás egyik útja, hogy olyan talajművelési eljárásokat, technológiákat honosítsunk, amelyek szárazabb klíma mellett is bizonyítottan biztonságos termelést tesznek lehetővé (minimum tillage, row-tillage, no tillage, dry farming, stb. módszerek).

A másik út az eszközfejlesztés. Művelőeszközünk munkaminősége érthető módon erősen talajnedvesség-függő. A konstrukciós paraméterek, szerkezeti megoldások megváltoztatásával elérhető, hogy a szerszámok alacsonyabb nedvességtartalom mellett is jó minőségű munkát végezzenek, vagy – amennyiben a hagyományos eszközökkel a szárazművelés nem biztosítható – új megoldásokat kell keresni.

A kötött talajok magágykészítési problémáinak megismerése, az okok és lehetőségek feltárása céljából vizsgálatokat végeztem Szarvas környéki gazdaságok területén. A szántóföldi vizsgálatok eredményei arra ösztönöztek, hogy behatóbban foglalkozzam a rögzapítás elméleti kérdéseivel, az elmunkáló eszközök energiamérlegével és egy újszerű száraz viszonyok között is jó munkaminőséget biztosító, de alacsony energiaigényű eszköz kialakításának lehetőségével.

A kutatómunka céljai a következők voltak:

- A talajművelés nemzetközi és hazai irodalmának feldolgozásával a kutatási téma aktualitásának igazolása, különös tekintettel az energiatakarékos, talajkímélő művelési eljárásokra és eszközökre.
- A hagyományos talajművelő eszközök rögzapító hatásának értékelése, összehasonlítása az aprózódást létrehozó fizikai főhatások alapján.
- Az alapművelést és az elmunkálást végző talajművelő eszközök rögzösítő hatásának összehasonlítása a hivatkozott irodalmi adatok és az elvégzett szántóföldi rögzfrakció-vizsgálatok eredményei alapján elsősorban kötött, száraz talajok figyelembevételével.

- A rögtörés vizsgálati módszerének kidolgozása, és a törési energia meghatározása különböző nedvességtartalmú, kötöttségű és átmérőjű talajrögökre.
- A kényszeraprítás elvének elemzése, az elméleti összefüggések és a tervezési alapadatok meghatározása.
- A folyamatos kényszeraprítás elvén működő kísérleti eszköz elkészítése, ill. a rögaprítás fajlagos energiaigényének egzakt meghatározásához szükséges mérési módszer kidolgozása és a mérőrendszer kiépítése.
- A rögaprítás fajlagos energiaigényének meghatározása különböző kötöttségű és nedvességtartalmú talajmintákra, valamint az aprítás minőségének és kísérleti eszköz funkcionális alkalmasságának vizsgálata.
- A mérési eredmények értékelése a matematikai statisztika módszereivel, a vizsgált paraméterek közötti összefüggések meghatározására.

2. VIZSGÁLATI ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. Szántóföldi vizsgálatok

Mint ismeretes, a rögzépződést kiváltó okok igen sokrétűek. Ezen okok közül a legfontosabbak: a talaj szerkezete, kötöttsége, műveléskori nedvességtartalma és az alkalmazott talajművelő eszközök, így vizsgálataimat e befolyásoló tényezők köré csoportosítottam.

A vizsgálatok közvetlen célja a jellemző rög méret (jellemző rögátmérő, D_j) és rögfrakció eloszlás meghatározása volt a Szarvas környéki térségre jellemző agyagos vályog (Arany-féle kötöttségi szám $K_A = 43-50$) és agyag ($K_A = 51-60$) fizikai féleségű talajokon különböző talajművelési eljárások után. A fenti jellemzők ismeretében nyomon követhető a folyamat és az adatok birtokában később prognosztizálható egy tervezett magágykészítési technológia várható eredménye.

A kiválasztott táblákon a műveleteket követően mérőhelyenként 10-10 mintát vettem a talaj felső, 10 cm-es rétegeből és véletlenszerűen kiválasztott helyeken fényképfelvételt készítettem a talajfelszínről 1 m²-es, dm beosztású felvevőkeret felhasználásával.

A jellemző rögátmérő meghatározásához

$$D_j = \frac{\sum_{i=1}^n (n_i \cdot D_i)}{\sum_{i=1}^n n_i} \quad [\text{mm}]$$

összefüggést alkalmaztam, ahol

n_i - az i -edik rögfrakció tömegszázaléka

D_i - az i -edik rögfrakció átmérőjének osztályközepe.

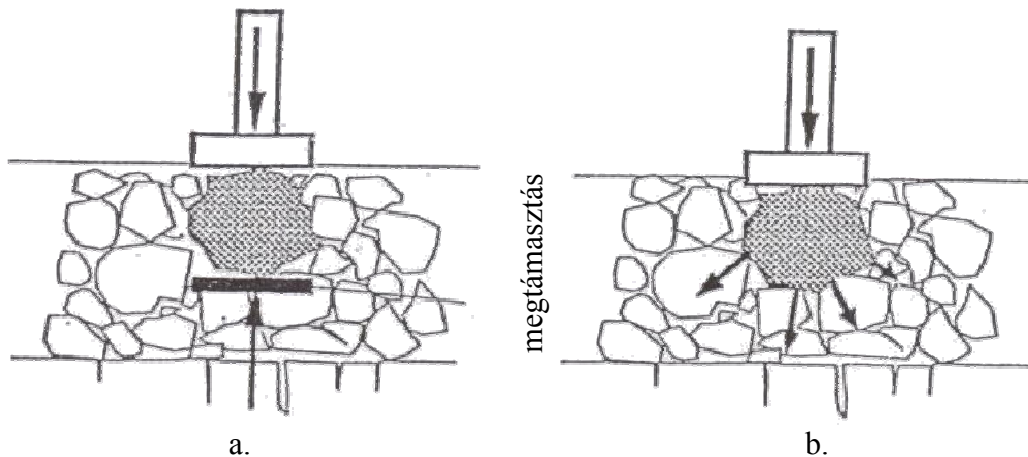
2.2. Rögtörési vizsgálatok

Az rögtörési vizsgálatok célja az alapművelés utáni állapotra jellemző rögök törőerőigényének meghatározása volt a művelésre szóbajöhető nedvesség-intervallumban. A mérések során a ténylegesen szükséges törőerő, illetve törési energia értékeit határoztam meg, amelyekből következtetni lehet a ma használatos elmunkáló eszközök aprítási energiájára. Ez utóbbi energia nyilván nagyobb, ugyanis az elmunkáló eszközök – működési elvükből adódóan – kisebb-nagyobb talajdeformációval dolgoznak, ami energiaelnyeléssel jár. E két energia ismeretében lehetőséget láttam az elmunkáló eszközök hatékonyságának számszerű jellemzésére.

A vizsgálatok előtt rögmintákat gyűjtöttem a talaj 0-20 cm-es művelt rétegéből (mérőhelyenként 20 minta). A vizsgált rögméret 15-65 mm között váltakozott, ügyeltem arra is, hogy a rögminták minél változatosabb nedvességtartományt reprezentáljanak. A mintagyűjtés után ismert módszerekkel meghatároztam a rögminták kötöttségét és nedvességtartalmát.

A energetikai méréseket az erre a célra készített rögtrő készülékkel végeztem két módszerrel (1. ábra):

- a rögök merev alátámasztásával, illetve
- a természetes rögaprítás körülményeit szimulálva, talajba ágyazott rögökkel.



1. ábra A rögtrőrés két módszere a törési energia meghatározásához

A rögtrő készülék regisztrálja a törőerő változását, a deformáció függvényében, azaz lerajzolja a törési diagramot, amely a rögaprítás teljes energiaigényének meghatározását teszi lehetővé.

2.3. A kényszeraprítás elvén működő kísérleti eszköz vizsgálata

2.3.1. A kísérleti eszköz szerkezete, működése

A kísérleti eszközt a 3.3. fejezetben leírt elméleti összefüggések és megfontolások figyelembevételével készítettem el (2. ábra).

A berendezés két fő része az adagoló és az aprító szerkezet (3. ábra).

Legfontosabb műszaki adatok:

Aprító szerkezet:

- Aprítódob átmérője: $D = 0,32 \text{ m}$
- Fogak száma: $k = 16$
- Fogmagasság: $z = 20 \text{ mm}$
- Aprítódob kerületi sebessége: $v_K = 1,68 \text{ m/s}$
- Hajtómotor beállított fordulatszáma: $n_m = 1428 \text{ 1/min}$
- Aprítócsatorna bemeneti nyílás: $h_1 = 120 \text{ mm}$
- Aprítócsatorna kimeneti nyílás: $h_2 = 25 \text{ mm}$
- Törőrács szöge: $\alpha = 15^\circ$
- Rácsnyílás: $a = 15 \text{ mm}$

Adagoló szerkezet:

- Hajtómotor fordulatszáma: $n_m = 940 \text{ 1/min}$
- Szállítószalag sebessége: $v_{SZ} = 1,4 \text{ m/s}$
- Szállítószalag hossza: $l = 1,4 \text{ m}$
- Adagolóvályú szélessége: $b = 200 \text{ mm}$



2. ábra A kísérleti eszköz szerkezete



3. ábra Az adagoló- és aprítószerkezet részei

2.3.2. A vizsgálatok menete és módszere

– **Mintagyűjtés**

Az energetikai vizsgálatokhoz szükséges talajmintákat szarvasi és békésszentandrási gazdaságok területén gyűjtöttük 2003. év nyárvégi és őszi időszakában. A mintavétel minden esetben a talaj felszíni 10 cm-es művelt rétegből történt, mérőhelyenként 25 kg-os tömegben.

– **Arany-féle kötöttség és a nedvességtartalom meghatározása**

A talajminták kötöttségét meghatároztam az ismert módszerrel. Az azonos vagy egymáshoz közel eső kötöttségű mintákat csoportosítottam, létrehozva öt kötöttségosztályt. Minden kötöttségosztályba hat, azonos kötöttségű minta került, melyeknek nedvességtartalmát a légszáraz talajállapotból ($w = 5$ tömeg %) kiindulva fokozatosan növeltem $w = 22$ tömeg %-ig. A nedvesítést a szétterített talajmintákon víz permetszerű hozzáadásával végeztem, ügyelve a vízfelvétel egyenletességére és eloszlására.

Az **1. táblázat** a talajminták sorszámát és nedvességtartalmát mutatja kötöttségosztályonként.

1. táblázat

A talajminták nedvességtartalma kötöttségosztályonként

Minták sorszáma	Nedvességtartalom (tömeg %)				
	I. $K_A = 36$	II. $K_A = 42$	III. $K_A = 46$	IV. $K_A = 49$	V. $K_A = 52$
1.	5	5	5	5	5
2.	10	10	10	10	10
3.	13	13	13	13	13
4.	16	16	16	16	16
5.	19	19	19	19	19
6.	22	22	22	22	22

– **Rögfrakcióvizsgálat**

A rögfrakció-vizsgálatokat az aprítás előtt és után is elvégeztem, melynek célja az aprítás során létrejött új felület meghatározása.

A vizsgálatokhoz 6 elemből álló rostasorozatot állítottam össze ($d_1 > 10$, $d_2 > 6$, $d_3 > 4$, $d_4 > 2$, $d_5 > 1$, $d_6 > 0,5$ és $d_7 < 0,5$ cm), létrehozva 7 egyenértékű átmérőosztályt.

Az egyes átmérőosztályokhoz tartozó tömegeket mérlegem megmértem és kiszámítottam talajmintánként az aprítás előtti (A_0) és utáni (A_0') összfelületet, a következő összefüggések alkalmazásával:

– Az n_i darabszámú frakció összfelülete (cm^2):

$$A_i = \frac{6 \cdot m_i}{\rho \cdot d_i} \left[\text{cm}^2 \right]$$

ahol m_i – a frakciónkénti tömeg (gr)

ρ – a talaj sűrűsége (gr/cm^3)

d_i – a jellemző frakcióátmérő (a rostasorozat alapján meghatározható)

- Az aprítás előtti összfelület:

$$A_{\delta} = \sum_{i=1}^j A_i \quad [\text{cm}^2]$$

ahol j – a frakciók száma.

Az aprítás utáni összfelület (A_{δ}') hasonló módszerrel számítható.

- Az aprítás során keletkező új felület:

$$A_u = A_{\delta}' - A_{\delta} \quad [\text{cm}^2]$$

- **Energetikai mérések**

Az előkészített talajminták aprítását és az energetikai méréseket a kísérleti eszközzel végeztük el. A mérőrendszer elemei (nyomatékmérő, fordulatszám-jeladó) az aprítódob tengelyén jelentkező pillanatnyi nyomaték és fordulatszám értékeket regisztrálják 50 Hz jelfrekvenciával.

A nyomatékmérő és a tachodinamo feszültségjelei egy csatlakozópanelen keresztül a mérőszámítógép adatgyűjtő kártyájára kerültek. Az adatok további feldolgozását számítógép segítségével végeztem.

A nyomaték-idő diagramok alapján meghatároztam talajmintánként a nyomaték és a fordulatszám átlagértékeit, illetve leolvastam az aprítási időket (Δt).

Az adatok alapján a következő számításokat végeztem:

- Az aprításhoz szükséges teljesítmény:

$$P = \overline{M} \cdot \overline{\omega} = \overline{M} \cdot 2\pi \cdot \overline{n} \quad [\text{W}]$$

ahol: \overline{M} - az aprítódob nyomaték átlaga (Nm)

\overline{n} - az aprítódob fordulatszám átlaga (1/s)

- Az aprításhoz szükséges energia:

$$E = P \cdot \Delta t \quad [\text{J}]$$

ahol: Δt - az aprítás ideje (s)

- Az aprítás fajlagos energiaigénye:

$$E_f = \frac{E}{A_u} \quad \left[\frac{\text{J}}{\text{m}^2} \right]$$

ahol: A_u - az aprításkor keletkezett új felület (m^2)

3. A VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI

3.1. A szántóföldi vizsgálatok eredményei

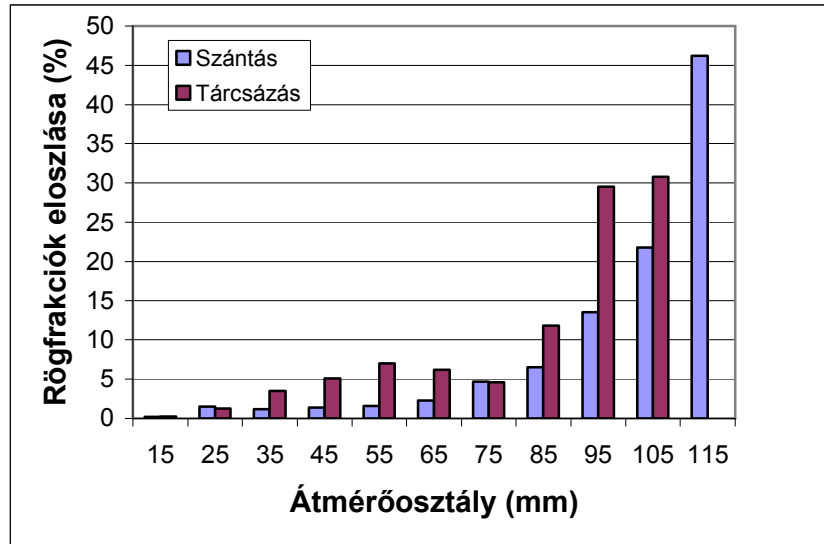
A vizsgálatok idejét megelőző krónikus csapadékhiány és a vele párosult aszály következtében olyan mértékű talajkiszáradás volt tapasztalható, hogy a művelt rétegben nem volt lényeges nedvességtartalom eltérés.

A művelt réteg határán (25-28 cm) 10-12, a talajfelszínen 5-8 tömeg % nedvességtartalom volt mérhető, ezért a talajnedvesség – mint befolyásoló paraméter – az egyes műveletek hatását illetően figyelmen kívül hagyható. A **1. és 2. ábrán** négy műveletet követő talajfelszíni rögfrakció-eloszlás vizsgálatának eredményét mutatom be, amely kiragadott ugyan, de jól jellemzi a térségi viszonyokat.

A szántás talajfelszíni rögfrakció struktúrája (**4. ábra**) még kötött agyagtalajokon ($K_A = 50-52$) is viszonylag kedvező eredményt mutatott ($D_j = 110-120$ mm). Ez azzal magyarázható, hogy a talaj kiszáradása közben fellépő térfogatcsökkenés a talajréteg erőteljes berepedésével

jár, így az eke porhanyító munkája – a nagyszámú mikrorepedés következtében – érvényesülni tud.

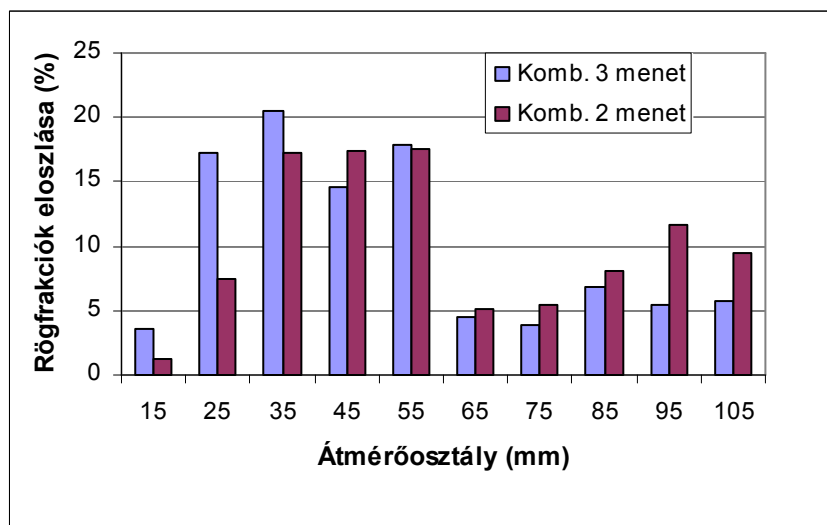
Nehéz tárcsásboronával történő elmunkálás után a jellemző rögátmérő 81 mm volt. A tárcsalevelek csak a nagyobb, 100 mm átmérő feletti rögök aprítását végezték. Az alacsony nedvességtartalom miatt az aprózódás minimális mértékű volt.



4. ábra Felszíni rögfrakció-eloszlás szántás és tárcsázás után

Nehéz kombinátorral végzett magágykészítés második és harmadik menete utáni rögfrakcióeloszlást a **5. ábra** szemlélteti. A jellemző rög méret második menet után 55 mm, a harmadik menet után 37 mm körül alakult. A rögök zöme a 25-55 mm méretosztályokba esett, a két menet között érdemleges eltérés csak a nagyobb méretosztályokban volt tapasztalható.

A harmadik menet után visszamaradó magágy rögfrakció eloszlása az adott körülmények között jellemző a kötött talajokra. A vizsgálati eredményekből megállapítható, hogy a hagyományos eszközökkel a menetszám növelésével sem érhető el kedvezőbb minőségű magágy. A felszíni réteg durva összetétele a vetés minőségét, a kelést és a növény kezdeti fejlődését hátrányosan befolyásolja.



5. ábra Felszíni rögfrakció-eloszlás nehéz kombinátorral végzett magágykészítés után

3.2. Rőgtörési vizsgálatok eredményei

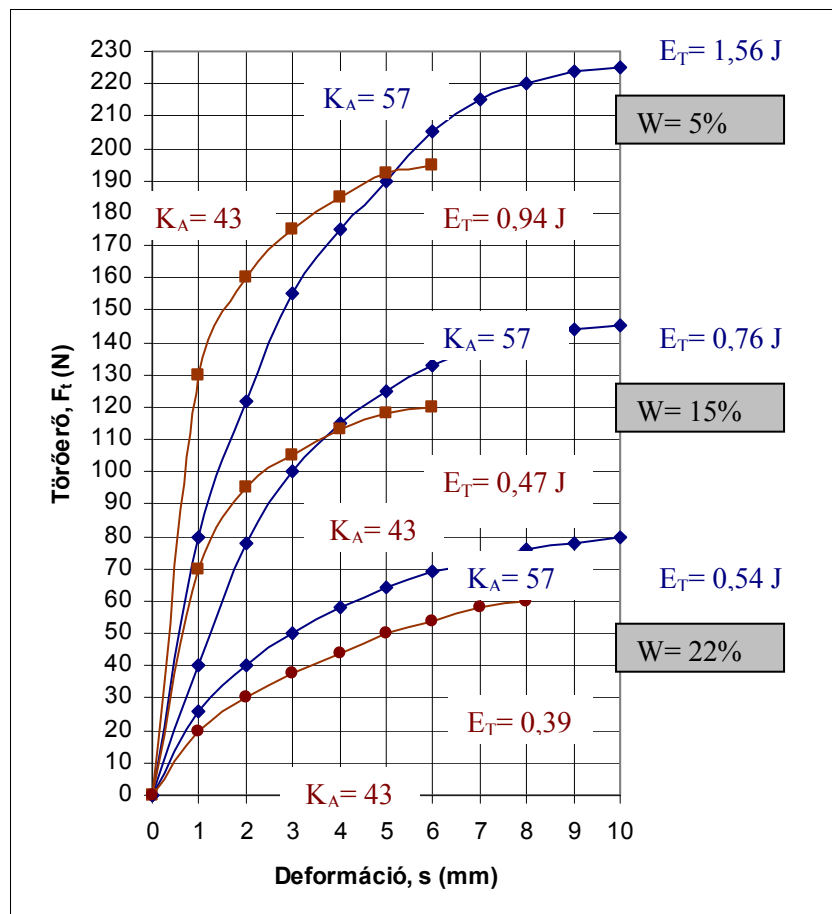
A **6. ábra** egy középkötött ($K_A=43$) és egy kötött ($K_A=57$) talajból származó rögök törési diagramjait szemlélteti különböző nedvességtartalmaknál. A törési kísérleteket alátámasztott rögökkel végeztem.

Az ábrából jól látszik, hogy a kötöttebb rögök nagyobb törőerő hatására roppannak szét és a deformációs szakasz is hosszabb, mint a kisebb kötöttségű rögök törésénél. Ennek megfelelően a diagram alatti területből származó energiaigény is nagyobb lesz minden nedvességtartalomnál.

A törési diagramokról az is megállapítható, hogy növekvő nedvességtartalomnál javulnak a törés feltételei.

A $w = 22$ tömeg % nedvességtartalomnál a töréshez szükséges energiaigény 2,5-3-szor kisebb, mint a száraz, $w = 5$ tömeg % nedvességtartalmú rögök törésénél.

Ha a rőgtörési kísérleteket talajba ágyazott rögökkel végezzük, akkor a megtámasztáshoz szükséges deformációs zóna kialakulása elnyújtja a törési diagramot. Így a rög töréséhez szükséges energia ($E_{\dot{A}}$) – a kötöttségtől és a nedvességtartalomtól függően – 2,5-3-szor nagyobb lesz, mint a merev alátámasztással mért energiaérték.

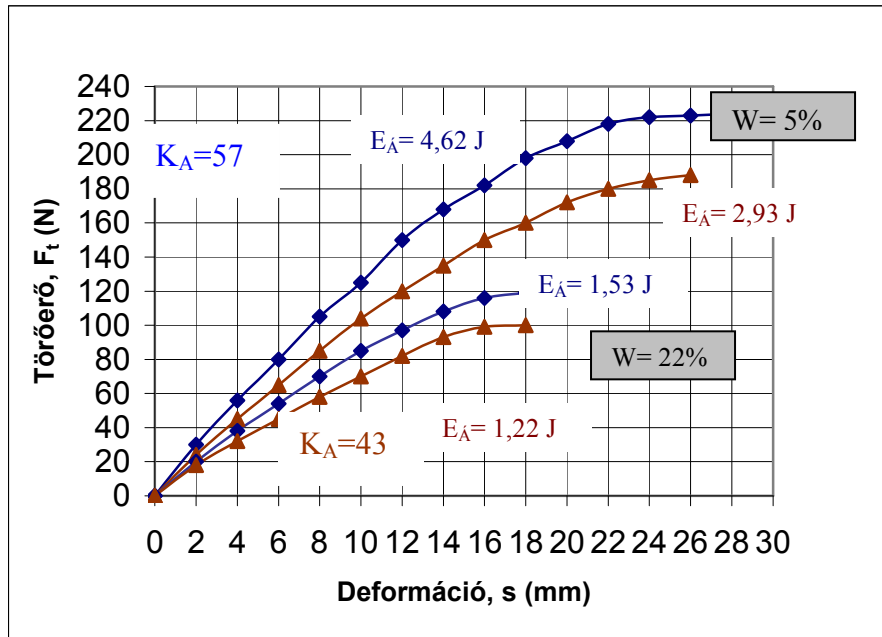


6. ábra Alátámasztott rögök törési diagramja

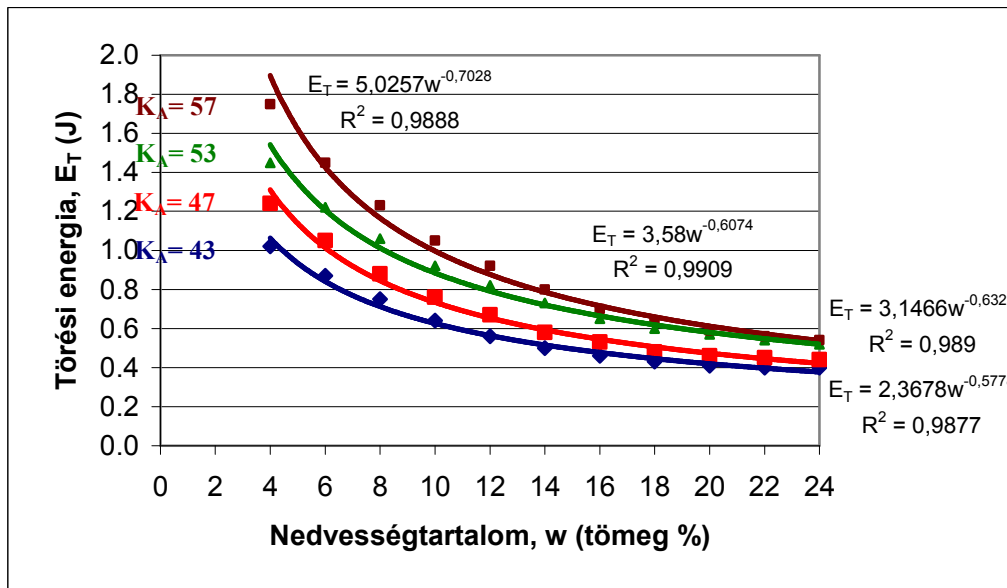
A **7. ábrán** példaként $w = 5$ és 22 tömeg % nedvességtartalmú, kötött ($K_A=57$) és középkötött ($K_A=43$) talajból származó rögök törési diagramjait mutatom be a hozzájuk tartozó törési energia értékekkel ($E_{\dot{A}}$).

A $D_j=50$ mm átmérőjű rögökre – a magágy készítését követően ez volt a legjellemzőbb méret – meghatároztam az energiaigény–nedvességtartalom függvényeket (**8. ábra**). A

regresszióanalízis eredményeként a vizsgált paraméterek között szoros pozitív összefüggést találtam ami hatványfüggvénnyel írható le.



7. ábra A talajba ágyazott rögök törési diagramja

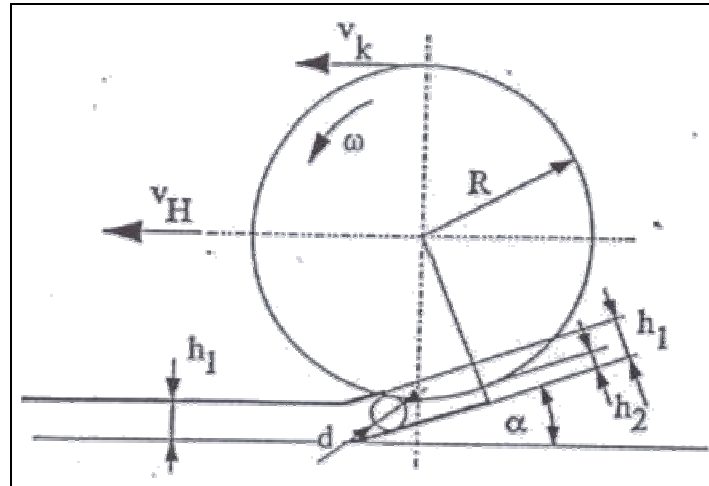


8. ábra. A törési energia változása a nedvességtartalom függvényében különböző kötöttségeknél

Megállapítottam, hogy a nedvességtartalom csökkenésével és a kötöttség növekedésével romlanak a rög-törés feltételei és a töréshez egyre nagyobb energiára van szükség.

3.3. A kényszeraprítás elvének módszertani eredményei

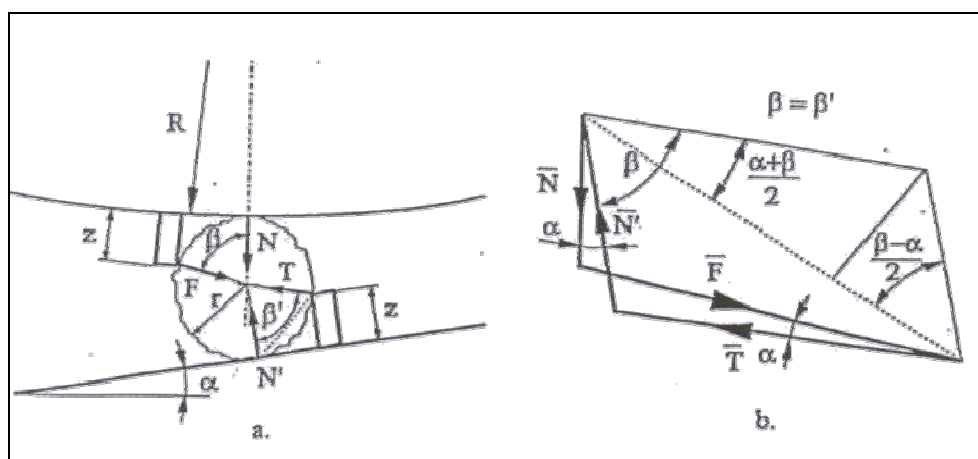
Ha a rögtörés alátámasztással megismert elvét folyamatossá tesszük, akkor a kényszeraprítás egy kételemes modelljével állunk szemben, melyet egy hajtott forgó elem (törőhenger) és egy áttört felületű támasztóelem (törőrács) segítségével hozhatunk létre (9. ábra).



9. ábra Kételemes sík törőrácsos modell

A tervezett kísérleti eszköz elkészítése előtt meghatároztam a kényszeraprítás elméleti összefüggéseit és a rögaprózódást befolyásoló konstrukciós tényezők legkedvezőbb értékeit, melyeket a tervezésnél és a kivitelezésnél figyelembe vettem. Ezek a következők:

- Ha a törőhengert a talaj felszínén járattjuk, a törőrács által meghatározott talajszelvény a szűkülő részbe kerül. A talajréteg előrehaladását a v_H sebességből származó tolónyomás (p_t) és a törőhenger forgó mozgása (v_k) segíti, ha fennáll a $v_k > v_H$ feltétel. Mivel a tolónyomás a haladási sebesség által erősen behatárolt, a talajréteg előrehaladását (és ezzel az aprózódását) a dob és a törőrács fogazásával célszerű kikényszeríteni (kényszertovábbítással) (10. ábra).



10. ábra Kényszertovábbítás elve és az erőviszonyok alakulása

- Az erőviszonyok vizsgálata során meghatároztam C arányossági tényezőt, amely felírható az erő- és aprítási viszonyokat befolyásoló konstrukciós tényezők (z/d), és α függvényeként (z/d = fogmagasság-rögtátmérő viszony, α = törőrács szöge).

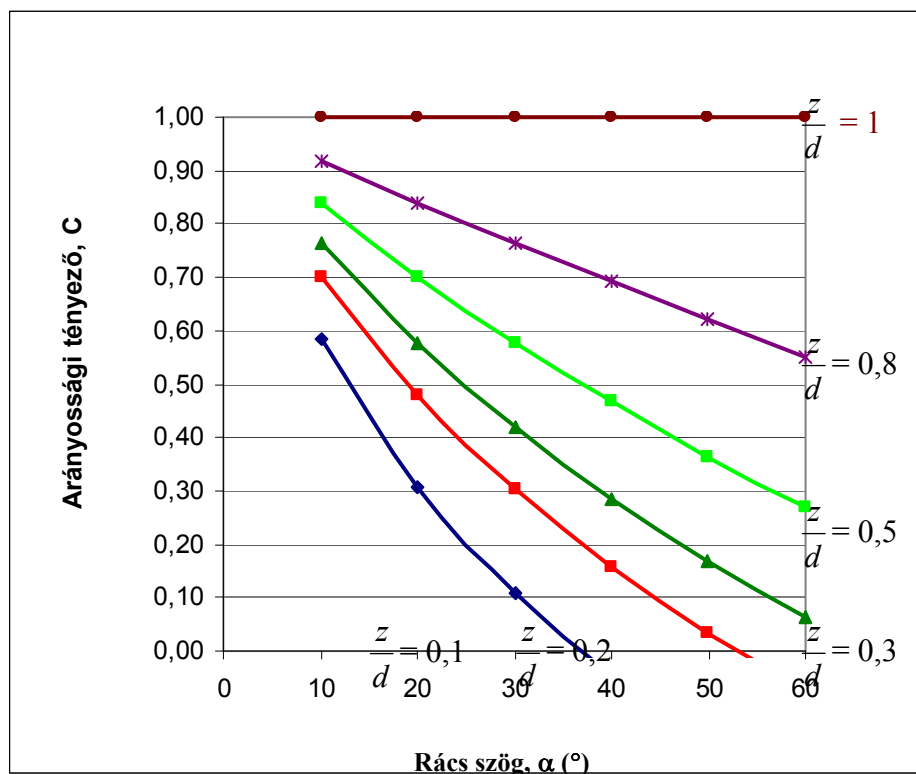
Megállapítottam, hogy az aprítás egyenletessége szempontjából a $C=1$ érték lenne kedvező, amit a növekvő $\frac{z}{d}$ arány, illetve kis törőrács szög (α) értékkel érhetünk el (**11. ábra**).

A vizsgált elvi modell aprítási egyenletessége kis törőrácsszögnél kevésbé érzékeny a fogmagasságra (pl. $\alpha = 10^\circ$ -nál C értéke még $\frac{z}{d}=0,3$ értéknél is 0,8 fölött van), az aprítás egyenletessége a rácsszög növekedésével rohamosan romlik.

- Az aprítórés szűkülése következtében a csatornába került rög természetesen többszöri aprózódáson mehet keresztül eredeti méretétől, a résgeometriától, a fogak magasságától, az átejtőfelület alakjától, méreteitől, stb. függően mindaddig, amíg távozik az aprítócsatornából vagy a támasztékul szolgáló törőrács perforációján vagy az aprítócsatorna végén.

A kényszeraprított talajréteg rögfrakcióeloszlását döntően a törőrács perforációjával (méret, alak), illetve a kimeneti résmagassággal (h_2) befolyásolhatjuk. A fogmagasság és a törőrácsszög – mint láttuk – együttesen elsősorban az aprítás egyenletességére gyakorol hatást.

- Az aprítás minőségét a töröhenger kerületi sebessége is befolyásolja. A túl nagy kerületi sebességgel forgó henger ütőhatása következtében megnő az általában nemkívánatos porfrakció aránya a művelt rétegben, ezért a fordulatszámot a biztonságos anyagtovábbítás feltételeinek teljesüléséig érdemes csak növelni.



11 ábra. A rácsszög hatása a rögaprózódásra különböző z/d értékeknél

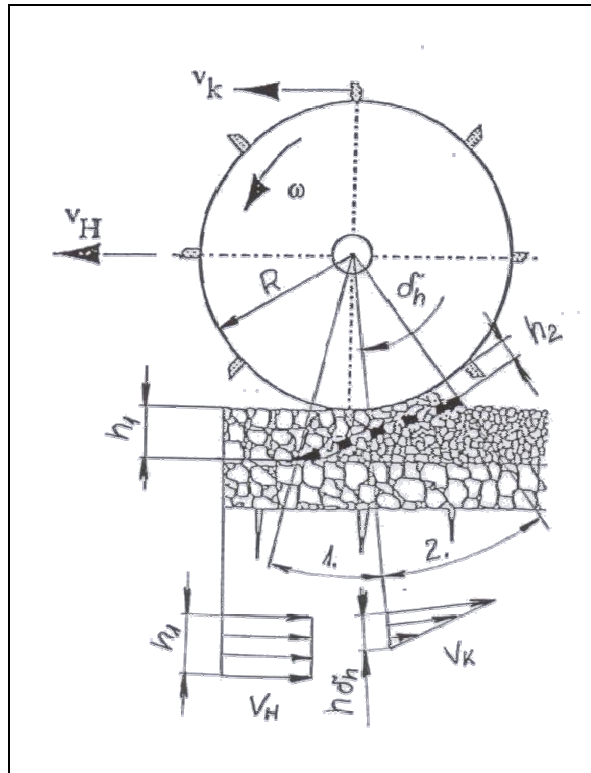
Az áramlási- és sebességviszonyokat vizsgálva a **12. ábra** alapján és alkalmazva a kontinuitási törvényt, a következő összefüggést vezettem le:

$$v_K \geq 1,5 v_H$$

ahol v_K – az aprítódob kerületi sebessége
 v_H – a haladási sebesség

A résfüggvényt elemezve viszont az állapítható meg, hogy a sebességviszony értéket nem szabad túl nagyra választani a porképződés miatt. Ezért az általam javasolt érték:

$$\frac{v_K}{v_H} = 1,2.$$



12. ábra Áramlási- és sebességviszonyok elemzése

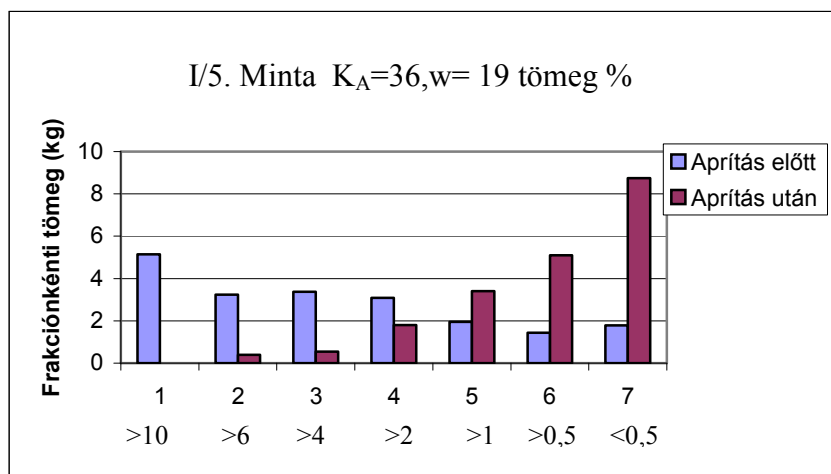
3.4. Rögfrakció vizsgálatok

Az aprítás előtti és utáni talajállapotot jellemző rögméretek és a frakciónkénti tömegek alapján meghatároztam talajmintánként az aprózódás mértékét és az aprítás során létrejövő új felületet. E két jellemző a talajállapot (rögösség) minősítésére és a vizsgált eszköz rögaprító munkájának értékelésére egyaránt alkalmas. A **2. táblázat** alapján megállapítható, hogy a kötöttségtől és a nedvességtartalomtól függően 2-4-szeres az aprózódás, sőt néhány esetben a 4-szeres értéket is meghaladja. Különösen azoknál a mintáknál tapasztaltam jelentős aprózódást, ahol az aprítás előtti vizsgálatnál a 8 cm-nél nagyobb rögök aránya a legmagasabb volt (pl. IV/1. és IV/6. talajminta). A felületnövekedéssel (aprózódással) az egyes rögfrakciók aránya is jelentősen megváltozott. Az aprítás előtt a 4 cm-nél nagyobb frakciók voltak túlsúlyban minden talajmintánál, az aprítás után ez az arány a 2 cm-nél kisebb frakciók irányába tolódott el (**13. ábra**).

2. táblázat

A rögrakció vizsgálatok összesített eredményei

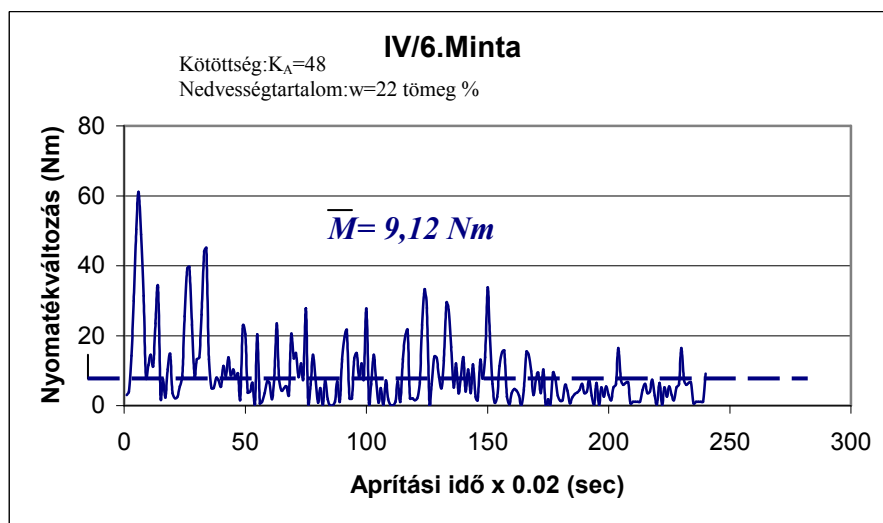
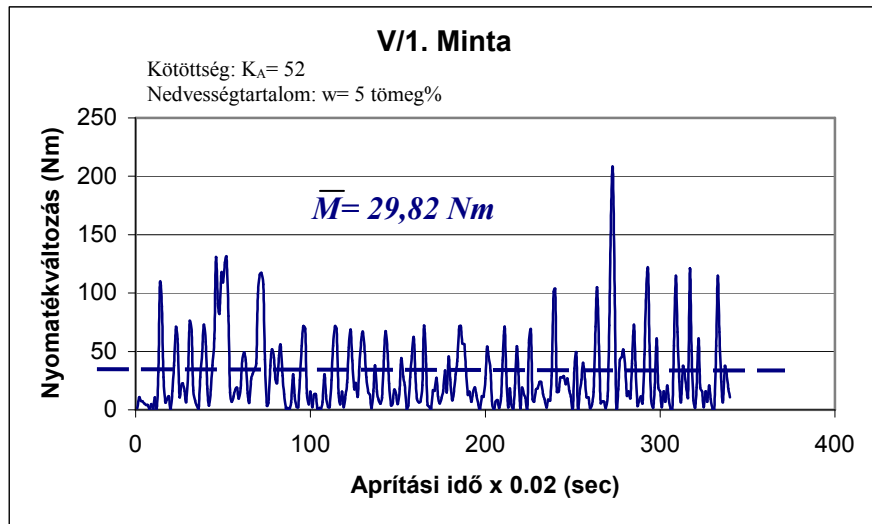
Minták száma	Kötöttség- átlag	Nedvesség- tartalom	Aprítás előtti összfelület	Aprítás utáni összfelület	Új felület	Aprózódás
	$K_A (-)$	w (tömeg %)	$A_{\bar{0}}(\text{cm}^2)$	$A_{\bar{0}}'(\text{cm}^2)$	$A_u(\text{m}^2)$	$A_{\bar{0}}'/A_{\bar{0}}(-)$
I/1	36	5	29798	89249	5,94	2,99
I/2		10	26425	89980	6,35	3,40
I/3		13	33797	90903	5,71	2,68
I/4		16	21620	84043	6,24	3,88
I/5		19	30897	107584	7,66	3,48
I/6		22	37118	122016	8,48	3,28
II/1	42	5	36856	90919	5,4	2,46
II/2		10	43926	106376	6,24	2,42
II/3		13	22438	85848	6,34	3,82
II/4		16	52506	114328	6,18	2,17
II/5		19	40692	102576	6,18	2,52
II/6		22	49872	114720	6,48	2,3
III/1	46	5	25067	92722	6,76	3,69
III/2		10	40163	77166	3,70	1,92
III/3		13	32364	84488	5,21	2,60
III/4		16	22022	82404	6,03	3,74
III/5		19	43271	90202	4,69	2,08
III/6		22	25547	93734	6,81	3,66
IV/1	48	5	21019	88972	6,79	4,23
IV/2		10	30004	76083	4,60	2,53
IV/3		13	23228	78784	5,56	3,39
IV/4		16	32334	80568	4,82	2,49
IV/5		19	43850	113514	6,96	2,58
IV/6		22	15382	81873	6,65	5,30
V/1	52	5	15404	63728	4,83	4,13
V/2		10	38320	80067	4,17	2,08
V/3		13	25278	83678	5,84	3,3
V/4		16	29983	91118	6,11	3,03
V/5		19	29206	87238	5,8	2,98
V/6		22	29650	71636	4,19	2,41



13. ábra Rőfrakciók eloszlásának változása az aprítás során

3.5. Energetikai vizsgálatok

A mérések után a nyomaték-idő diagramokat értékeltem. A **14. ábrán** két különböző kötöttségű és nedvességtartalmú talajminta nyomaték-idő diagramját mutatom be. Jól látható, hogy a nagyobb kötöttségű és a szárazabb talajmintánál nagy nyomaték csúcsok alakultak ki (az átlagnyomaték itt a legnagyobb) és hosszabb az aprításhoz szükséges idő is. Ebből adódik, hogy ennél a mintánál mérhető a legnagyobb aprítási energia.



14. ábra Nyomaték-idő diagramok

Az energetikai vizsgálatok összesített eredményeit a **3. táblázatban** foglaltam össze.

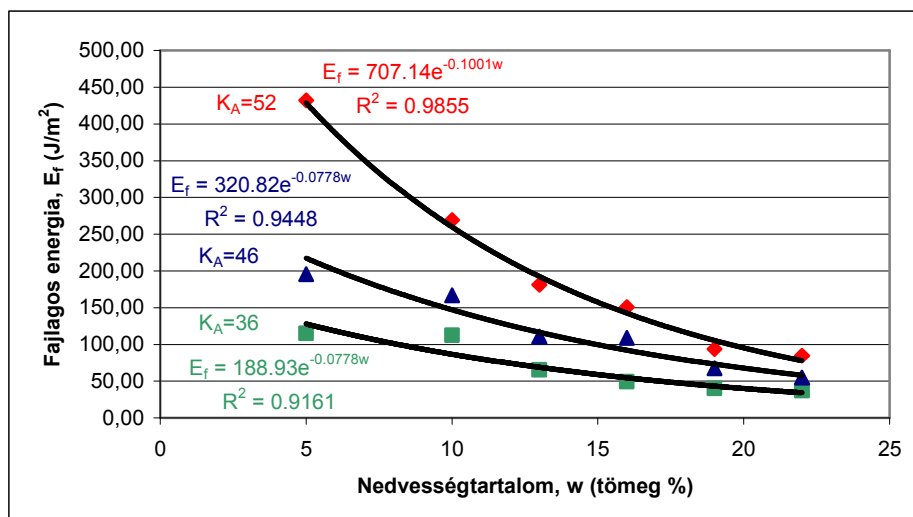
A továbbiakban vizsgáltam a fajlagos energia változását a kötöttség és a nedvességtartalom függvényében. Ennek eredményeként a fajlagos energia és a nedvességtartalom között igen szoros pozitív összefüggést találtam. A két változó kapcsolata exponenciális függvénnyel közelíthető (**15. ábra**).

A determinációs együttható (R^2) értéke minden vizsgált kötöttségnél 0,91 és 0,99 közé esett. Különösen szoros a kapcsolat a $K_A = 52$ kötöttségű talajmintánál, ahol R^2 értéke megközelítőleg 1.

3. táblázat

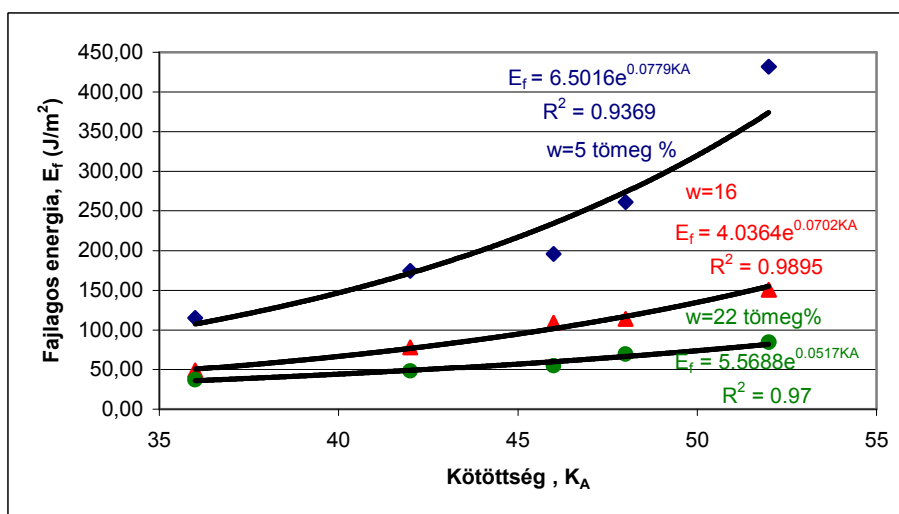
Az energetikai vizsgálatok összesített eredményei

Minta sorszáma	Kötöttség- átlag $K_A(-)$	Nedvesség- tartalom W (%)	Új felület A_u (m ²)	Energia E (J)	Fajlagos energia E_f (J/m ²)
I/1	36	5	5,94	684,94	115,31
I/2		10	6,35	715,83	112,73
I/3		13	5,71	371,52	65,06
I/4		16	6,24	306,04	49,04
I/5		19	7,66	305,47	39,88
I/6		22	8,48	313,75	37,00
II/1	42	5	5,4	942,09	174,46
II/2		10	6,24	1030,62	165,16
II/3		13	6,34	584,26	92,15
II/4		16	6,18	482,29	78,04
II/5		19	6,18	406,52	65,78
II/6		22	6,48	313,34	48,36
III/1	46	5	6,76	1322,46	195,63
III/2		10	3,70	617,22	166,82
III/3		13	5,21	576,80	110,71
III/4		16	6,03	659,36	109,35
III/5		19	4,69	301,63	64,31
III/6		22	6,81	373,57	54,86
IV/1	48	5	6,79	1771,24	260,86
IV/2		10	4,60	972,67	211,45
IV/3		13	5,56	745,63	134,11
IV/4		16	4,82	548,77	113,85
IV/5		19	6,96	595,58	85,57
IV/6		22	6,65	462,85	69,60
V/1	52	5	4,83	2091,71	433,07
V/2		10	4,17	1121,78	269,01
V/3		13	5,84	1059,96	181,50
V/4		16	6,11	921,07	150,75
V/5		19	5,8	543,68	93,74
V/6		22	4,19	354,40	84,58



15. ábra A fajlagos energia változása a nedvességtartalom függvényébe különböző kötöttségeknél

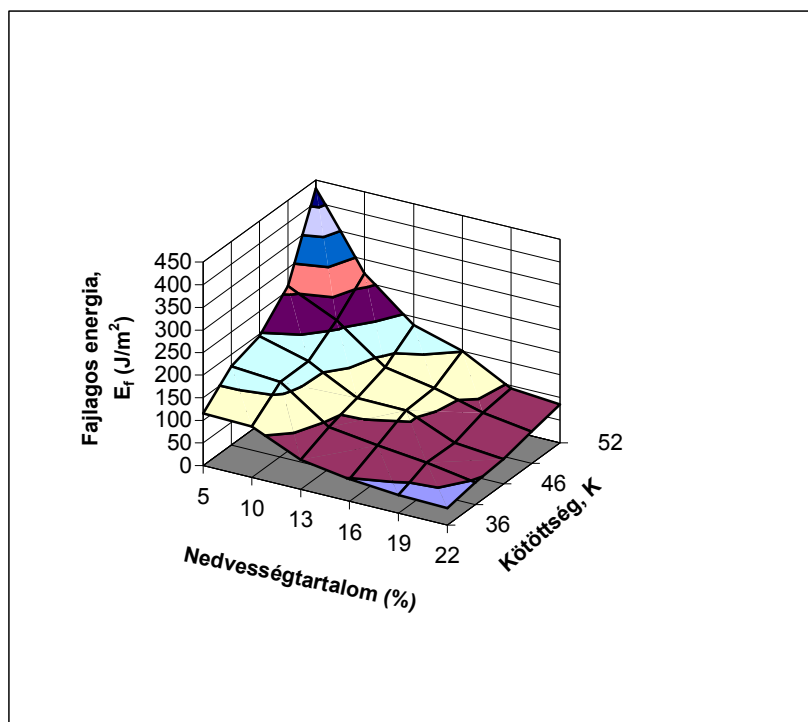
Vizgáltam a fajlagos energia és a kötöttség közötti összefüggést is. A regresszió vizsgálat eredményeként itt is igen szoros pozitív kapcsolatot találtam, amely exponenciális egyenlettel közelíthető (16. ábra).



16. ábra A fajlagos energia változása a kötöttség függvényében különböző nedvességtartalmaknál

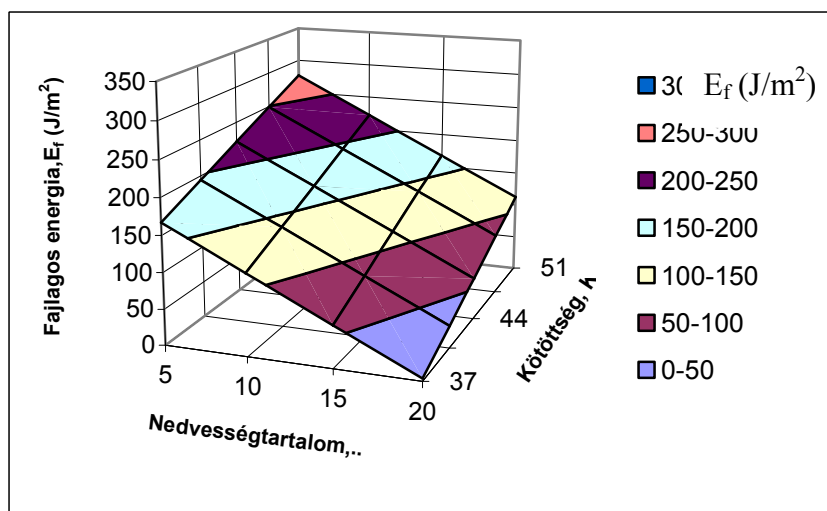
A determinációs együttható (R^2) értéke ebben az esetben is nagyobb 0,9-nél, sőt a 16 tömeg % nedvességtartalom esetén megközelíti az 1 értéket, amely lineáris kapcsolatot feltételez a vizsgált paraméterek között.

A két független változó együttes hatását a 17. ábrán bemutatott térbeli diagram szemlélteti, amelyről leolvashatók különböző talajkötöttségeknél és nedvességtartalmaknál a fajlagos energia aktuális értékei.



17. ábra A fajlagos energia változása a kötöttség és a nedvességtartalom függvényében

A két változó együttes hatásának meghatározására többszörös lineáris regresszió vizsgálatot végeztem. A felírt lineáris egyenlet és a többszörös determinációs együttható (R^2) alapján megállapítottam, hogy a nedvességtartalom és a kötöttség együttes hatása befolyásolja a fajlagos energia változását. A felírt összefüggés a statisztikai próba (F-próba) alapján $P = 0,1$ %-os szinten szignifikáns. A két független változó közül a nedvességtartalomnak közel 1,5-szer nagyobb a hatása a fajlagos energia alakulására, mint a kötöttségnek. Ha a függő és a független változók értékeit háromdimenziós koordináta-rendszerben ábrázoljuk, egy térbeli sík felületet (hatásfelületet) kapunk, amely meghatározza a vizsgált paraméterek összetartozó értékeit a vizsgálati tartományon belül (18. ábra).



18. ábra Két független változós lineáris hatásfelület a $K_A = 37-51$ kötöttség- és a $w = 5-20$ tömeg % nedvességtartalom-tartományokban

A térbeli diagram alapján megállapítható, hogy a vizsgált eszköz alkalmazása csak $w_{\max} = 21$ tömeg % nedvességtartalom – és $K_{\text{Amin}} = 37$ kötöttség határok mellett javasolt. Ettől eltérő – nagyobb nedvességű, illetve kisebb kötöttségű – talajállapot esetén a rögaprítás energiaigénye kicsi, az elmunkálás hagyományos eszközökkel is elvégezhető.

4. TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A kutatómunka első lépéseként meghatároztam különböző nedvességtartalmú és kötöttségű talajrögök törési energiáját az őszi magágykészítést követő talajállapotot jól reprezentáló 50 mm jellemző átmérőjű rögökre. A regresszióanalízis eredményeként a törési energia és a nedvességtartalom között igen szoros pozitív összefüggést találtam minden vizsgált kötöttségnél. A két változó regressziós kapcsolata hatványfüggvénnyel írható le a következő alakban:

$$E = a \cdot w^{-b} \quad R^2 > 0,91$$

ahol: E - a törési energia (J)

w – a talaj nedvességtartalma (tömeg %)

A determinációs együttható (R^2) értéke minden talajkötöttségnél nagyobb, mint 0,91, ami igen szoros illeszkedést mutat a vizsgált paraméterek között.

2. Részletesen elemeztem a kényszeraprítás elvét egy olyan eszközre, ahol a rögaprítást egy forgó aktív elem (töröhenger) és egy passzív támasztó elem (törőrács) végzi.

A vizsgálatok során a következő elméleti összefüggéseket és javaslatokat dolgoztam ki:

- A rögaprózódást és az egyenletes anyagáramot az aprító dob és a törőrács fogzásával (kényszerjavítással) célszerű kikényszeríteni.
- Az aprítócsatorna (rés- és fogazatgeometria) kialakítása döntően befolyásolja az aprítás minőségét, az aprítás utáni rögfrakciók eloszlását.
- Az erő- és aprítási viszonyokat meghatározó konstrukciós tényezők között a következő összefüggést írtam fel:

$$C = \frac{\sqrt{\frac{z}{d} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} - \sqrt{1 - \frac{z}{d}} \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}}{\sqrt{\frac{z}{d} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} + \sqrt{1 - \frac{z}{d}} \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}}$$

ahol: C - arányossági tényező (C=1-nél az aprózódás egyenletessége a legkedvezőbb)

z/d – a fogmagasság és a rögátmérő aránya

α - a törőrács szöge

- A sebességviszony (v_D/v_H) értékét az anyagáram és a rögaprózódás igényeinek megfelelően kell megválasztani, úgy, hogy az aprítás kíméletes legyen, ne okozzon jelentős porosodást. A javasolt sebességviszony érték: $v_D/v_H \approx 1,2$.

3. Az elméleti összefüggések és a tervezési alapadatok ismeretében olyan kísérleti berendezést készítettem, amely alkalmas különböző kötöttségű és nedvességtartalmú, rögös szerkezetű talajok aprítási energiájának meghatározására talajmintánként $m = 10$ kg-os tömegben. A kényszeraprítás elvét megvalósító kísérleti eszköz és a beépített mérés technika az aprítási folyamat tiszta energiaigényének pontos meghatározását teszi lehetővé.

4. Vizsgálatokat végeztem különböző kötöttségű és nedvességtartalmú talajminták aprítási energiájának és az aprítás fajlagos energiaigényének meghatározására. A fajlagos energia az aprítás során az egységnyi új felület létrehozásához szükséges tiszta energiát jelenti, azaz:

$$E_f = \frac{E}{A_u} \left(\frac{J}{m^2} \right)$$

ahol: A_u – az aprítás során létrehozott új felület, melyet a rögfrakció vizsgálatokból határoztam meg.

5. A vizsgálati eredmények alapján regresszióanalízist végeztem a vizsgált paraméterek közötti összefüggés meghatározására. A fajlagos energia-nedvességtartalom függvény exponenciális egyenlettel közelíthető minden vizsgált kötöttségnél.

Az egyenlet alakja:

$$E_f = a \cdot c^{-c \cdot w} \quad R^2 > 0,91$$

A fajlagos energia és a talaj kötöttsége között hasonlóan szoros pozitív összefüggést találtam. A regresszióegyenlet ebben az esetben is exponenciális függvénnyel írható le:

$$E_f = a \cdot e^{c \cdot K_A} \quad R^2 > 0,93$$

A determinációs együttható (R^2) értéke mindkét esetben nagyobb, mint 0,9, ami a fajlagos energiaigény és a vizsgált talajfizikai jellemzők közötti összefüggés szorosságát igazolja.

6. A talaj kötöttségének és nedvességtartalmának együttes hatását a fajlagos aprítási energiaigényre többszörös lineáris regresszióvizsgálattal bizonyítottam. A két független változós lineáris egyenlet a következőképpen írható fel:

$$E_f = 7,77 \cdot K_A - 10,9 w - 65,67$$

ahol: E_f – a rögaprítás fajlagos energiaigénye ($-J/m^2$)

K_A – a talaj kötöttsége

w – a talaj nedvességtartalma (tömeg %)

A többszörös korrelációs együttható értéke $R = 0,89$, ami $P = 0,1$ %-os szinten szignifikáns kapcsolatot jelent a vizsgált kötöttség- és nedvességtartalom tartományban.

Megállapítottam, hogy a regressziós állandók aránya $\left(\frac{10,9}{7,77} \approx 1,5 \right)$ szerint a

nedvességtartalomnak 1,5-szer nagyobb a hatása a fajlagos energiaigényre, mint a kötöttségnek.

5. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI ALKALMAZHATÓSÁGA

A művelőeszközök és a rögök fizikai kölcsönhatásait vizsgálva megállapítható, hogy a rögaprító hatás (különösen kötött talajokon) a talajnedvesség csökkenésével rohamosan csökken, az aprításhoz jelentős járulékos energia szükséges, ami a rendszerint felesleges helyváltoztatásra fordítódik.

A kényszeraprítás elve egy lehetőséget jelent a járulékos energiák számottevő csökkentésére és az aprózódás feltételeinek javítására.

A módszer és a vizsgált kísérleti eszköz újdonsága abban áll, hogy az eddig alkalmazott elmunkálóeszközökkel ellentétben a művelés mélységében jól szabályozható, irányított rög/morzsa-struktúrát képes létrehozni. Mindezt egy menetben tehát kis fajlagos

energiaigénnyel valósítja meg, így egy újszerű, száraz viszonyok között is jó munkaminőséget biztosító, de alacsony energiaigényű elmunkáló eszköz kialakítását teszi lehetővé.

Az általam javasolt eszköz szerkezeti felépítése (az aprítódob és a törőrács kiviteli alakja, az összeépítés módja, a hajtáselemek megválasztása) igen változatos lehet, amelyet a további fejlesztőmunka során célszerű kialakítani.

A kényszeraprítás elvét megvalósító talajelmunkáló eszköz bizonyos korlátokkal és átalakításokkal alkalmas lehet a következő feladatok elvégzésére.

- Önálló magágykészítő eszközként, kis munkaszélességben (max. 2-2,5 m) szántóföldi használatra, precíziós vetőágyat igénylő esetekben (pl. szántóföldi zöldségtermesztés).
- Alapművelő eszközhöz (pl. nehéz kultivátorhoz) kapcsolva jó kultúrállapotú talajon egymenetes magágykészítésre.
- Szemenkéntvető géphez kapcsolva kis munkaszélességben. Ebben az esetben az alapművelést követően elmaradhat a teljes felületre kiterjedő magágykészítés. A vetőágy csak a növény sorokban készül el precíziós kivitelben, a sorközök felülete durván megmunkált (de lezárt) maradhat. Ezzel a gépkapcsolással jelentős művelési költség takarítható meg és elkerülhető talajok túlművelése.

Az alkalmazások köre természetesen ennél bővebb is lehet, mint ahogy igen változatosak lehetnek az aprítóeszköz egyes elemeinek kiviteli alakjai és méretei. Ezeket a paramétereket a talaj állapotának (kötöttség, nedvességtartalom, stb.), a gépkapcsolási céloknak és a termesztett növény magágyigényének megfelelően kell a tervezés során meghatározni.

A kutatómunka eredményeként kapott rögaprítás-energetikai adatok mindenesetre segítik a kényszeraprítás elvének esetleges gyakorlati alkalmazását, amely bizonyos esetekben a hagyományos elmunkáló-magágykészítő eszközöknek alternatívája lehet.

6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

Tanulmány, cikk:

- Patay I.–Virág S.: 1994. Szántáselmunkáló-magágykészítő eszközök rögaprító hatásának vizsgálata
Járművek-Mezőgazdasági Gépek. 2. sz. 61-66 p.
- Virág S.: 1995. A rögaprítás energiaigényének vizsgálata kötött talajokon
Járművek-Mezőgazdasági Gépek 9. sz. 332-335 p.
- Patay I.–Virág S.: 1997. Kényszeraprító talajelmunkáló eszköz modellvizsgálata
Járművek-Mezőgazdasági Gépek 2. sz.
- Virág S.: 1998. A rögaprítás energiaigényének vizsgálata kötött talajokon
Mezőgazdasági Technika. 39. évf. 2-3 p.
- Virág S.: 2005. A rögaprítás fajlagos energiaigényének meghatározása kényszeraprítással
Mezőgazdasági Technika. XXVI. Évfolyam 4.sz. 3 p.

Előadás, poszter:

- Virág S.: 1994. Rögaprítás energiaigényének vizsgálata
Tiszántúli Tudományos Napok. Hódmezővásárhely. Poszter. 6 p.
- Virág S.: 1995. Kényszeraprítás elmélete.
I. Mg. PhD konferencia. Debrecen. Előadás
- Virág S.: 1997. Magágykészítés energiaigényének vizsgálata kötött talajokon
MTA AMB K+F Tanácskozás. Gödöllő. Poszter. 6 p.
- Virág S.: 1997. Rögaprítás növelése kényszeraprítással
Tiszántúli Mg. Tudományos Napok. Karcag. Poszter. 6 p.
- Virág S.: 1997. Őszi magágykészítés talajmechanikai problémái
I. Alföldi Tájgazdálkodási Tudományos Napok. Mezőtúr. Poszter. 6 p.
- Virág S.: 1998. The increasing of clod breahing effect by compulsory breahing system
International Machinery Faire '98 Nitra. Poszter. 4 p.
- Virág S.: 1999. A kényszeraprítás elméleti kérdései
MTA-AMB K+F Tanácskozás. Gödöllő. Poszter és előadás, 5 p.
- Virág S.: 2000. Az őszi magágykészítés minőségének vizsgálata
MTA-AMB K+F Tanácskozás. Gödöllő. Poszter. 5 p.
- Virág S.: 2000. A kényszeraprítás elve és megvalósítása
Magyar Tudomány Napja, TSF Szarvas. Előadás.
- Virág S.: 2001. Rögaprító hatás növelése kényszeraprítással
Tudományos Közlemények. TSF Szarvas. Tom.1.No.2. 273-279 p.
- Virág S.: 2001. Kényszeraprítás alkalmazása elmunkálógépeken
Magyar Tudomány Napja. TSF Szarvas. Előadás és poszter. 8 p