

TARTALOMJEGYZÉK

1	A kutatási téma bemutatása	3
1.1	Bevezetés	3
1.2	A por fogalma és legfontosabb tulajdonságai	5
1.3	A környezetet terhelő por forrásai	6
1.4	A bányászati termelés következtében kiporzásnak kitett területek	8
2	A szakterület hazai és nemzetközi irodalmának áttekintése	10
2.1	Kísérleti kutatások	11
2.1.1	Hazai kutatások és tanulmányok	11
2.1.2	Nemzetközi kutatások és tanulmányok	12
2.1.3	Szennyezett területek és ipari területek kiporzása	15
2.1.4	A kiporzás és a defláció elleni védekezés hazai és nemzetközi kutatási eredményei	18
2.1.5	Eróziós modellek	20
2.2	A hazai és nemzetközi eredmények alkalmazhatósága és ezek korlátai	21
3	A kiporzás folyamata és az azt befolyásoló paraméterek	22
3.1	Az elhordást befolyásoló legfontosabb paraméterek	22
3.1.1	Szélesebbesség	22
3.1.2	Szemcsék alakja	22
3.1.3	A szemcsék között fellépő erők	23
3.1.4	Szemcseméret és a szemcsék mozgástípusai	25
3.2	A szemcsékre ható erők	26
4	A méréseknél felhasznált anyagok és elemzésük	31
4.1	Ércbányászati meddő anyaga	31
4.1.1	A gyöngyösoroszi ércelőkészítési technológiáról röviden	31
4.1.2	A minták elemzése	35
4.2	Salak- és pernyehányó anyaga	40
4.3	Felhalmozott ömlesztett anyag (homok, kavics)	42
4.4	Rekultivációnál használt takaróanyag	42
4.5	A felhasznált anyagok belső súrlódási szögének meghatározása	43
5	A kísérletek mérőrendszerének leírása	45
6	Kifúvási vizsgálatok	49
6.1	A szemcsenagyság hatása a kiporzásra a gyöngyösoroszi minták alapján	51
6.2	Visontai égéstermékek (salak és pernye) zagytéri deflációja	55
6.2.1	A technológia egyes égéstermékeinek deflációs jellemzői	55
6.2.2	A REA-gipsszel kevert anyag kiporzási jellemzői	58
6.2.3	A kevert minták kiporzási jellemzője	62
6.3	A síktálcás mérési eredmények összesítő kiértékelése	64
6.3.1	Kapcsolat az elhordott mennyiség és a szemnagyság között	64
6.3.2	Regressziós vizsgálat korrigált szemnagyság segítségével	69
6.3.3	A visontai anyagokkal végzett kísérletek adatainak bevonása a regresszióba	73
6.4	Rézsűk kiporzási tulajdonságainak vizsgálata	75
6.4.1	A felületet szemből érő szél hatása	75
6.4.1.1	A mérés leírása és a kapott eredmények	75
6.4.1.2	A fellépő erők vizsgálata	78

6.4.2	Lejtős terepet hátulról érő szél hatása a kihordásra	82
6.4.2.1	A mérés leírása és a kapott eredmények	82
6.4.2.2	A fellépő erők vizsgálata	85
6.4.3	Összehasonlítás	88
6.5	Kúpos anyagalmaz poremissziójának vizsgálata	92
7	<i>Defláció elleni védekezésre vonatkozó kísérletek</i>	95
7.1	Finom szemcsés anyag lefedése durva szemcsés anyaggal	95
7.2	Kihordás elleni védelem az anyagok szemnagyság szerinti szétválasztásával	98
7.3	Védekezés a durva szemcsés borítás tömörítésével	102
7.4	Kiporzás elleni védekezés nedvesítéssel	105
8	<i>Összefoglalás, az eredmények értékelése</i>	110
	<i>Summary</i>	115
	<i>Irodalomjegyzék</i>	116
	<i>Melléklet</i>	122

1 A KUTATÁSI TÉMA BEMUTATÁSA

1.1 Bevezetés

A kutatómunka megkezdésekor a bányászati tevékenységhez kapcsolódó rekultivációs területek porveszélyének számszerűsíthető értékelését tűztük ki célul. A mélyművelésű bányák termelése során a meddő kőzetekben történő vágathajtás, aknamélyítés során a teljes élettartam alatt folyamatosan termelnek olyan anyagokat, amelyek meddőhányóra kerülnek. Az érc- és ásványbányászatban a kitermelt anyagból az ásványelőkészítés során nagy mennyiségű meddőkőzet leválasztására kerül sor, amit a hasznos komponensek kinyerése érdekében törnek, aprítanak, őrölnek gyakran a mm tört részére. Egy olyan előfordulásnál, ahol az ércben a fémtartalom mindössze néhány százalék – mint pl. a gyöngyösoroszi, vagy a recski ércbányában, – ott a felszínre hozott teljes kőzetmennyiség 95-98 %-a a meddőhányóra ill. zagytározóba kerül. Szénbányákban kissé más a helyzet, mivel ott a vágathajtásokból kikerülő – a termelés 15-18%-át kitevő – meddő kőzetén kívül az előkészítésből sem származik 15-25%-nál több meddőkőzet, s ez sem a tartozik az előbb említett finom szemcsés tartományban, bár kiporzásra hajlamos része természetesen van [44].

Külfejtések esetén az előfordulás jellegétől és a külfejtés típusától függően többkevesebb meddő keletkezik, amelynek mennyiségére a letakarítási arány utal. A legnagyobb mennyiségű meddőre a felszíni típusú külfejtésekben kell számítani, ahol a letakarítási arány 5-10 m³/t között változik. Ez pl. hazánkban azt jelenti, hogy a két nagy lignit külfejtésben, Visontán és Bükkábrányban, évente mintegy 55 Mm³ meddő kőzetet termelnek ki és helyeznek el külső illetve belső hányókon. Ehhez társul még a célerőműben eltüzelt lignitből származó, több mint 2 Mm³-nyi salak és pernye évente [23].

A meddőhányók, zagytározók feltöltése a termeléssel párhuzamosan folyó, évtizedeken keresztül tartó folyamat, melynek során a bányák, erőművek közelében ill. a külfejtési gödrökben nagy kiterjedésű felületek jönnek létre, amelyek ebben a fázisban még nem rekultiválhatók, s ezért többnyire porzásra hajlamosak. A zagytározóknál ez a folyamat annyiban késleltetett, hogy a felületek a kiszáradás után válnak kiporzásra hajlamossá.

További problémát jelent a meddőhányók és zagytározók rekultivációja, amikor a lefedésük történik, többnyire ugyancsak porzásra hajlamos anyagokkal. Ilyen esetben a „csupasz” felületek viszonylag rövid ideig maradnak fenn (néhány hónap, legfeljebb egy év), mivel a rekultivációhoz a növénytelepítés is hozzátartozik.

A hányókra, depókra kerülő különféle anyagok kémiai, fizikai jellemzőik miatt nem egyformán veszélyesek a kiporzás során. A környezet terhelésének csökkentése, valamint az emberi

egészség védelme miatt alkalmazandó védekezési eljárásokat a gazdaságosság és a hatékonyság érdekében célszerű a kiporzási hajlam alapján meghatározni [45].

A PhD értekezésben ismertetett kutatási munkát ennek az alapvető célnak a jegyében folytattam, a hazai bányászat olyan területeihez kapcsolva, amelyek a porvesztély miatt megkülönböztetett figyelmet érdemelnek.

A dolgozat első felében a rövid bevezető után, összefoglaló áttekintés található a kérdéssel foglalkozó hazai és nemzetköz szakirodalomról. Ebből megállapítható, hogy a nagy terjedelmű szakirodalom a kérdésnek ezzel a szűk területével alig foglalkozik. A szakirodalom elsősorban a mezőgazdasági területek deflációs jelenségeit vizsgálja, erre vonatkozóan dolgoztak ki több deflációs egyenletet. Kutatják ugyan a talaj kiporzását befolyásoló tényezőket, ennek jellemzésére azonban nem adnak olyan általánosítható számszerű értékelést, ami a bányászati területekre is használható lenne. A szakirodalmi összefoglaló röviden érinti a kidolgozott védekezési módszereket is.

Az értekezés második részében a kiporzást befolyásoló legfontosabb tényezőket mutatom be. Az elemzések alapján kijelenthető, hogy a kiporzási folyamat összetettsége és a sok véletlen hatás miatt a deflációs jelenségek leírására és a felmerülő problémák megoldásához kísérleti mérésekre, megfigyelésekre kell támaszkodni. Ezek alapján kell meghatározni azoknak a paramétereknek a körét, amelyek alkalmasak a várható kiporzási jelenségek előrejelzésére

A később bemutatandó kísérletek és elméleti megfontolások megerősítik ezt a megállapítást.

A munka következő szakasza a vizsgált anyagok kiporzást befolyásoló tulajdonságait elemzi. A jellemző tulajdonságok megállapításánál a szakirodalomra támaszkodtam, az anyag jellemzők meghatározásának jelentős részét magam végeztem, de segítséget kaptam az ME MFK Eljárástechnikai Tanszékétől és az Ásvány és Kőzettani Tanszékétől a szemcseeloszlások, illetve az anyagok tulajdonságainak meghatározásakor. Az anyagok jellemzését kiegészítettem annak a technológiának a rövid ismertetésével, amely során az átalakulásuk megtörtént, s amire a kiporzásokban jelentkező különbségek megértésénél, értelmezésénél szükség van.

Az ötödik fejezet a kísérleti berendezés és a mérés körülményeinek ismertetését tartalmazza, majd a kísérletek leírása, elemzése, értékelése következik. A mérések sík területek kihordási jellemzőinek meghatározását célozzák, a gyöngyösoroszi és visontai hulladék anyagokra, valamint homok mintákra vonatkozóan. Speciális mérés sorozatot végeztem a kihordást döntően meghatározó szemcseméret, valamint a szélsősebesség hatásának tisztázására, a nagyobb szemcsék fokozatos leválasztásával.

A méréssorozat alapján regressziós vizsgálattal összefüggést határoztam meg a kiporzást befolyásoló tényezők és a kihordott anyag mennyisége között.

A vizsgált depó terek, tárolók alakja, a határoló részüik kiporzásának jellemzése érdekében ferde tálcás kísérleteket is végeztem, ahol a kapott eredmények értékelését ugyancsak dinamikai elemzésekkel támasztottam alá. Ezen vizsgálatsorozathoz kapcsolódnak a kúpos halmazok kihordási tulajdonságainak meghatározására végzett mérések, elemzések.

A dolgozat záró fejezete azokkal a védekezési eljárásokkal foglalkozik, amelyek alkalmazása a vizsgált területeken szóba jöhet. A védekezési eljárások hatékonyságát és szükséges mértékét kísérleti mérések alapján határoztam meg.

1.2 A por fogalma és legfontosabb tulajdonságai

A szilárd anyag okozta levegőszennyezés még akkor is egy sor káros következménnyel jár, ha nincs hatással az egészségre, mert érinti a láthatóságot, ami pl. a közlekedésbiztonságot rontja, porlerakódást okoz, ami többek között a gépek, eszközök működését, a kopásokat befolyásolhatja, hat a talaj termőképességére, ami a mezőgazdaságnak okoz gondokat, érinti a klimatikus viszonyokat, s az élet szinte valamennyi területén számos egyéb - többkevesebb kárral járó - kellemetlenséget okoz.

A por fogalmát a szakirodalomban más-más módon adják meg, de ezek mindegyike tartalmazza a szemnagyságot és/vagy a szemcsék süllyedési végsebességének maximális értékét.

A levegőt szennyező szilárd részecskéket általában poroknak nevezzük. Egyik, a vizsgálatunk szempontjából kielégítő definíció szerint: porszemcsének azok a részecskék tekinthetők, amelyek 101325 Pa nyomáson és 20 °C hőmérsékleten rövid gyorsulási szakasz után közel állandó, 0,3 m/s-nál nem nagyobb sebességgel ülepednek, és legnagyobb vetületi méretük 2000 µm-nél kisebb. [3]

A por kifejezést a következő három értelemben használhatjuk:

- levegőben található szilárd szennyeződés, (pordiszperzió),
- valamely porhalmaz vagy pordiszperzió egyedi szilárd részecskéje, (porszemcse),
- halmaz, amely különböző alakú és sűrűségű egyedi szilárd szemcsékből áll. (porhalmaz)

Ha az egyedi szilárd szemcsét vizsgáljuk, akkor a legfontosabb tulajdonságait a következő paraméterek jellemzik:

- fizikai tulajdonságok: mint pl. abrazív (koptató) képesség, mágnesezhetőség, elektromos vezetőképeség, sűrűség, szedimentációs (süllyedési) sebesség, agglomerátumképzési hajlam stb.,
- geometriai adatok: méret és alak (szálas, gömbszerű, tüskés stb.),
- kémiai tulajdonságok: anyagfajta, éghetőség, robbanásveszélyesség, oldhatóság, kémiai reakció-képesség,
- oleofób és hidrofób, vagy oleofil és hidrofil tulajdonságok (olaj- és víztaszítás, vagy vonzás).

Ha az egyedi szilárd szemcsékből álló halmazt tekintjük, akkor az alábbi jellemzők az elsődlegesek:

- halmazsűrűség (tömör, látszólagos, ömlesztett, rázott),
- a porhalmaz rézsűszöge,
- a porhalmaz csúszási szöge,
- szemcseméret-eloszlás, maradványgörbe.

1.3 A környezetet terhelő por forrásai

A szakirodalom a környezeti levegőszennyezés forrásaként megkülönböztet vonal, pont és területi (felületi) forrást. Vonalforrásról akkor beszélünk, mikor az emisszió egy jól lehatárolt vonal mentén (pl. autópálya) keletkezik. A pontforrás egy adott pontból (pl. gyár-kémény) kibocsátott szennyező anyag eredője. A területi forrást szokták diffúz (szórt) forrásként is említeni, és ide sorolják a több pontforrásból (pl. egy ipartelep gyárkéményei) származó légszennyeződés eredőjét is. Vizsgálataim a helyhez kötött területi forrásokkal foglalkozik.

A porszennyezés forrásaként megemlíthetünk minden olyan területet, ahonnan a szél vagy valamilyen mechanikai erő hatására természetes vagy műveleti (antropogén) eredetű por kerül a levegőbe. A mechanikai erő lehet minden olyan folyamat következménye, ami a szemcséket mozgásra készíti (ömlesztett anyagok egy bizonyos magasságból való leejtése, ütése, rázása, vagy pl. porzó felületen a gépkocsiforgalom). A szél hatására jelentkező kiporzás a szélerózió, a defláció következménye. A szél hatására történő részecskemozgás és a kiporzás folyamata rendkívül összetett, éppen ezért leírása fontos tudományos kutatási terület elsősorban a környezetvédelemben és az agrárszférában. A folyamat megértése és minél exactabb vizsgálata szükséges az előrejelzéshez és a védekezési rendszer kidolgozásához. A disszertációban elsősorban a szélerózió, a defláció, a kihordási szakaszával és az azt

befolyásoló tényezőkkel foglalkozom. A későbbiek során az értekezésben az erózió és defláció kifejezést ilyen értelemben használom.

A szennyeződések részecskéinek felszabadulását úgy definiálhatjuk, hogy az a szél (vagy mechanikai erő) hatására létrejövő folyamat, amikor szilárd szennyeződés kerül a levegőbe az érintett területek porzásából [10]. Ennél a jelenségnél az emisszió várható nagyságának meghatározása az egyik fő feladat, mivel a környezet porterhelésének, az imissziós állapot számszerűsítésének, időbeli változásának megadása csak ennek ismeretében lehetséges. A kiporzás mennyiségének elméleti meghatározása sok esetben lehetővé teszi egy-egy költséges mérési sorozat mellőzését.

A kiporzás és a légszennyező anyagok terjedése a légkörben a környezetvédelem egyik legfontosabb kérdése. A levegőbe kerülő légnemű és szilárd szennyező anyagok az időjárási viszonyoktól és az anyag jellemzőitől függően nagy távolságokra juthatnak el. Meg kell határozni a különböző légszennyező források emissziójából származó, a légtérbe jutó szennyező anyag eloszlását. Ezt a kérdést éppen a fontossága és a számítások bonyolultsága miatt Műszaki Irányelvekben, Szabványokban rögzítették (MI 21460, MSZ 21457, MSZ 21459). A szabványok pont és területi forrásokból származó szennyezőkre egyaránt megadják a számítási módszereket. Ezeknek a számításoknak az egyik legfontosabb bemenő paramétere az ülepedő szilárd részecske emissziója. Ennek az értéknek a meghatározása egy pontforrás esetén viszonylag egyszerű, hiszen elegendő hozzá egy, közvetlenül a pontforrásnál elhelyezett (pl. a gyárkémény belsejében lévő) mérőeszköz használata, mely akár folyamatos mérési adatokat szolgáltathat. Egy területi forrás esetében azonban, éppen a forrás nagy kiterjedése és az emissziós adatok heterogenitása miatt, ez csak több ponton elhelyezett mérőeszközzel és változatos mérési időpontok és körülmények mellett valósítható meg. A porkibocsátás ilyen esetben nem egy adott ipari technológia függvénye, mely sokkal ellenőrizhetőbb és kezelhetőbb, hanem egy bonyolult és összetett fizikai, mechanikai és aerodinamikai folyamat. Nehezíti az események leírását sok, a kiporzás folyamatát meghatározó, külső paraméter is. Kutatásaim megalapozzák az ömlesztett ipari anyagokkal, főleg bányászati meddővel fedett felszíni területek (lerakók, hányók, zagy tározók stb.) kiporzási hajlamának meghatározását.

A nagyobb kiterjedésű területek kiporzása a folyamat jellegétől és a kikerülő anyag minőségétől függően többféle lehet: kellemetlen jelenség, komoly biztonsági veszély vagy komoly gazdasági károkkal járó környezetterhelés. Ezeket a következményeket befolyásolják a kiporzott anyag fizikai, kémiai tulajdonságai, koncentrációja, mennyisége, esetleg szennyezettsége, illetve a szél intenzitása, időtartama és turbulenciája, a légköri, meteorológiai viszonyok. A kiporzás mértékét az előbb említetteken túl a terület egyes tulajdonságai is befolyá-

solják, mint a kiterjedés, a kitett anyag mennyisége és a kérgesedés. A kitett anyag mennyisége függ a terület helyi mechanika aktivitásától, a növényborítottságtól, a nem erodálható elemek mennyiségétől, elhelyezkedésétől és minden olyan jelenlévő tárgytól, mely a szemcséket megvédi a szél hatásától. A terület helyi mechanikai aktivitása, mint az állatlegeltetés, járműforgalom, gyalogos forgalom és a földfelszín egyéb mozgásai, nagymértékben hatással vannak a részecskefelszabadulási fokra. A szél által generált emisszió tehát függ az erodálható talaj megzavarásától, mert minden alkalommal, amikor a területet valamilyen mechanikai hatás éri, az eróziós potenciál növekszik, azaz a korábbi kiporzás miatti csökkent potenciálérték újra meg újra megnő [39]. A zavarást definiálhatjuk olyan eseményként, melynek az az eredménye, hogy új anyag kerül a szél hatása alá. Egy még használatban lévő meddőhányón, pernyetárolón, zagytározón a fent említetteken kívül ez akkor történhet meg, ha az adott területre új anyagot raknak le, vagy vesznek el onnan. Az eróziós potenciált tehát mindig két megzavarás közötti állapotra kell értelmezni, mert ennek értéke nem állandó, hanem változik a mechanikai aktivitástól függően.

1.4 A bányászati termelés következtében kiporzásnak kitett területek

Az egyes ipari technológiákhoz kapcsolódóan különböző kiterjedésű, alakú, és a felhalmozott anyag tekintetében változatos fizikai, kémiai tulajdonságú, kiporzásra hajlamos területek létesülhetnek. Olyan felhalmozott anyagokra kell itt gondolnunk, melyeknek szemcsemérete, nedvességtartalma, stabilitása (tömörsege) és kitettsége hozzájárul ahhoz, hogy a szél hatására a szemcsék megmozduljanak. Ilyen területek többek között a meddőhányók, ércdúsításból származó zagytározók, salak- és pernyehányók, felhalmozott ömlesztett anyagok (pl. kavicsbányák depói), a bányászat során megbontott külszíni felületek, (pl. bányaudvarok, részsúk, padkák), de lehetnek akár különböző fedőanyagok (pl. rekultivációnál), hulladéktárolók, földutak, mezőgazdasági területek stb.

Munkám során ércdúsítási zagy, erőműi salak és pernye, kavics depóból származó homok valamint rekultivációnál felhasznált fedőlösz széleróziós tulajdonságait vizsgáltam. Az osztályozott homokot kivéve, a vizsgált minták olyan területekről származnak, melyeknek anyaga heterogén szemcsézettségű, jelentős mennyiségű, a kihordásnak ellenálló durva (1 cm-nél is nagyobb) szemekkel. Valamennyi vizsgált anyag elméletileg kiporzásra hajlamos, mivel viszonylag nagy bennük a finom frakció aránya, a növényborítottság pedig az ilyen területeken nem jellemző.

Hazánkban a meddőhányók, felhagyott bányák, zagytározók száma becslések szerint ezres nagyságrendű, a Magyar Geológiai Szolgálat (MGSZ) [23] nyilvántartásában 1217

bányameddő és másodnyersanyag lelőhely szerepelt 2003-ban, azonban ez nem tartalmazza valamennyi meddőhányót. A hazai bányaterületek száma 3500, ebből mintegy 1200 működő, ebből lehet következtetni a meddőhányók, zagytározók több ezres számára, amelyek jelentős részét rekultivációs munkálatok nélkül hagyták fel.

A bányatérségek létesítéséből és a kitermelési folyamatokból eredően meddő kerül ki a külszínre, amelynek hányóba történő lerakása a környezetet több vonatkozásban is befolyásolja. A meddőanyag hatással van a levegőre, a felszíni és felszín alatti vizekre (mennyiségi és minőségi változások), a föld felszínére, közvetetten pedig az élővilágra is. A bányászati munka következtében ma már világszerte 10-20 km³-nyi haszonanyagot és meddőt mozgatnak meg évente. Ma hazánkban több mint 1 Mrd t-ra tehető a felszíni lerakókban elhelyezett meddőanyag teljes tömege (a nem teljes MGSZ nyilvántartásban közel 500 Mm³ szerepel). A külszíni- és mélyművelésű bányászat deponált hányói az ország területének kb. 1 %-át, mintegy 1000 km²-t érintenek [18].

A meddő anyagok közé tartozik az ércdúsításból származó zagy is. A dúsítás az ércszemcsék feltárással kezdődik, azaz aprítással ill. őrléssel, ezért az eljárásból származó zagy finomfrakciójú lesz. Az aprítás és őrlés mértékét, a szemcsék szükséges méretét alapvetően az ásványok összenövése és a szétválasztási eljárás (nehézsuszpenziós, ülepítés, szérelés, flotálás stb.) határozza meg.

A hazánkban található egykori vagy jelenleg is üzemelő szénerőművek lerakott égéstermékei jelentős hányadát jelentik annak a meddőanyagnak, amiről az előzőekben volt szó. A már nem üzemelő, vagy más fűtőanyaggal tüzelő erőművek környékén nagy kiterjedésű salak és pernyehányók maradtak vissza (Pécs, Kazincbarcika, Ajka stb.). A lignitnek, mint hazánk legnagyobb mennyiségben előforduló energiahordozójának a villamosenergia ipari hasznosítása során jelenleg is nagy tömegű szilárd szemcsés hulladékanyag, salak és pernye keletkezik.

A kavicsbányák esetében, mint oly sok más termelő vállalatnál, a termékek túlnyomó többsége nem ott és nem akkor kerül felhasználásra, ahol és amikor a termelési folyamatból kikerül. Ennek következtében az anyagok nagy részét, mielőtt azok felhasználásra, elszállításra kerülnének, sokszor hosszú időre tárolni kell. A kavics és homok tárolása a kitermelési hely közelében, a bánya területén, általában fedetlen helyen történik. Ezek a többnyire kúp vagy háromszög keresztmetszetű hasáb alakú halmok az időjárás hatására gyorsan kiszáradnak. Növényzet, nedvesség vagy más szél elleni védelem hiányában, ezekről a felületekről viszonylag hamar megindulhat a porzás.

2 A SZAKTERÜLET HAZAI ÉS NEMZETKÖZI IRODALMÁNAK ÁTTEKINTÉSE

A szélerózió kutatása kezdetben a Föld felszínének sivatagi, félsivatagi területeire korlátozódott. Vizsgálták és tanulmányokat jelentettek meg a szél által létrehozott formákról. A mozgásba került szemcsék koptató hatása során létrejött természeti alakzatokat és a felhalmozódás során kialakult különféle dűnéket számos tanulmányban, csodálatos képek kíséretében ismerhetjük meg.

Hazánkban *Cholnoky J.* 1902-ben megjelent tanulmánya volt az első olyan mű, mely a futóhomok mozgásával foglalkozott. Kutatásai során kezdetben a Kiskunság, Deliblát homokterületeit vizsgálta. Később (1910) a futóhomokformák vizsgálatait kiterjesztette az Alföld teljes felszínére is. Az ő követője volt Kádár László, aki további területeket is bevont a vizsgálatokba [29].

Lóczy D. művében [28] leírja a száraz, sivatagi területek tulajdonságait, lehatárolásokat és fajtáit, foglalkozik a szél fizikájával, és leírja a homokszemcse mozgását is.

A szemcsemozgás törvényszerűségeiről ír összefoglalóan, sok kutató eredményeit felhasználva, *Dr. Tarján I.* tankönyvében [37]. Ő folyadékban vagy szuszpenzióban lévő $1\text{ }\mu\text{m}$ -től nagyobb szemcsék mozgásáról ír. A szemcsét mozgásba hozó erők folyékony és légnemű közeg esetén azonosak. *Tarján I.* leírja, hogy a szemcsére többféle erő hat, ezért bonyolult mozgásjelenségek adódnak, de a folyamatok modellezésekor, bizonyos erők indokolt elhanyagolásával sokszor lényeges egyszerűsítésekre van lehetőség. A részecskére a járulékos erőkön kívül hat a tömegerő (pl. nehézségi erő), a felületi erő (ez az ellenállási és dinamikus felhajtóerőre bontható) és a felhajtóerő. A szemcsék mozgása ezen erők hatására jön létre, s nagyságuk, irányuk a szemcsék sebességét is meghatározza. *Tarján I.* azt is kimondja, hogy „nem helyes eljárás szabálytalan alakú részecskék mozgásának leírásakor a geometriai jellemzésre csupán egyetlen méret és egyetlen alaktényező alkalmazása, azonban más alkalmas módszer hiányában másképp nem tehetünk”.

A jelenség bonyolultsága, az erők összetettsége és a szemcsék méret és alaktani heterogenitása miatt végeztem én is laboratóriumi méréseket a kiporzási jellemzők tisztázása érdekében. A továbbiakban a méréseken, kísérleteken alapuló tanulmányokat ismertetem.

2.1 Kísérleti kutatások

Amíg kezdetben inkább geográfusok foglalkoztak a szél felszínalakító tevékenységével, ma már főleg agrárszakemberek folytatnak tanulmányokat, végeznek kísérleteket a defláció megismerése érdekében. Ez is jelzi, hogy a legszembetűnőbb, jelentős károkat a szél mezőgazdasági területeken okozza. A talajnak, mint termelőeszköznek az egyik legfontosabb tulajdonsága, hogy természetes körülmények között mennyisége adott és nem növelhető. A megboltygatott, felszántott felszínről a szél elhordja a talaj legértékesebb részét, a tápanyagokban gazdag felső réteget, akár meg is semmisítheti magát a talajkészletet. A humusz és egyéb szerves anyagok elhordódásával a talaj termőképessége nagy mértékben csökken. Éppen ezért sok hazai és külföldi tanulmány foglalkozik mezőgazdasági területekkel, és a védekezési eljárások vizsgálata is ezekre a területekre korlátozódik.

Sokkal ritkábban találunk olyan tanulmányokat, melyek szennyezett területekről (pl. hulladéklerakó, radioaktív terület) történő deflációt, kiporzást vizsgálnának.

A kiporzásos, széleróziós munkák szakirodalmi áttekintése alapján megállapítható, hogy a folyamat törvényszerűségeinek leírásához terepi megfigyeléseket, szélcsatornás és laboratóriumi méréseket végeztek a világ számos országában. A szélcsatornáknak két fajtáját különböztethetjük meg; a laboratóriumiakat és a hordozható, vagyis terepen használhatóakat. A törvényszerűségek leírása során széleróziós egyenleteket dolgoznak ki, melyeket felhasználnak a szélerózió előrejelzési rendszerek készítéséhez, ill. a védekezési eljárásokhoz. Az előbbiekhöz széleróziós modellek készülnek, melyek digitális feldolgozás után, esetleg GIS (Geographic Information System) rendszer bevonásával [21] modellezni próbálják a folyamatot.

2.1.1 Hazai kutatások és tanulmányok

Jóllehet a szél talajpusztító tevékenysége ismert volt, a veszélyeztetett területek védelmével az agrárszakemberek kezdetben csak gyakorlati tapasztalatok alapján foglalkoztak, nem végeztek méréseket, ezért nem rendelkeztek pontos mennyiségi mutatókkal [29]. A mai napig is csak kis számban állnak rendelkezésre hazai széleróziós tanulmányok, melyek konkrétan a szemcsék mozgásával és annak hatásával foglalkoznak.

Elsőként *Bodolay I.-né* (1965, 1966) kísérleteit említhetjük, aki terepi mérések során tanulmányozta az eróziós folyamatot. Az általa használt homokfogókat alkalmazta a Duna-Tisza közén *Dezsőné, Szeifrid E. és Kis L.* (1969) is. *Gál J.* 1966-ban már speciális homokfogókat használt, és a mérései alapján kimutatta, hogy a laza talajokból olyan mennyiségű finom

por kerülhet a környező levegőbe, hogy az már az egészségre is káros lehet. *Borsy Z.* a Debreceni Egyetemen 1962-től méréseket folytatott arra vonatkozólag, hogy a felszínen és a felszín felett az egyes magasságokban milyen összetételű anyag mozog. A függőleges homokfogók készítésénél külföldi tapasztalatokat használt fel. A Szegedi Tudományegyetemen kísérleti parcellákon végeznek évek óta hordalék-szállítási méréseket és szélróziós modell kidolgozásán fáradoznak [29].

Lóki J. 2003-ban megjelent MTA doktori értekezésében [29] átfogó tanulmányt nyújt a hazai és nemzetközi szélróziós kutatások eredményeiről. Saját eredményeit felhasználva és azok térinformatikai feldolgozása után meghatározta a talajok kritikus indítósebességének értékeit és a talajtípusok potenciális erodálhatóságát Magyarországon. *Lóki J.* eredményeit részben terepi mérésekből, részben szélcsatornában végzett mérésekből nyerte. Az ország különböző területeiről 123 talajmintát gyűjtöttek a laboratóriumi vizsgálataikhoz. A kísérleteket légszáraz és nedves talajokkal is végrehajtották. *Lóki J.* vizsgálta a növények ill. a felszíni kéreg jelenlétének hatását is. A sima és gyűrűs hengerrel megbolygatott talajfelszínre vonatkozó vizsgálatai a művelés alá vont területeket modellezte. Laboratóriumi kísérletei során a talajok kritikus indítósebességének értékét kereste, vagyis azt a szélesebességet, mely a szemcsét mozgásba hozza, vizsgálta egyúttal a felszín felett a szélprofil függvényeket is. Kimondta, hogy a kritikus indítósebesség elérése után a szél sebessége csökken, mivel a megmozduló, felpattanó szemcsék zavarják és így lassítják az áramlást. *Lóki J.* a talajok erodálhatóságának mértékét a talajok szemcseösszetételével hozta összefüggésbe. Az erodálhatóságot a szél által elhordott anyagmennyiséggel jellemezték. Mérései alapján a talajelhordás tömege és szélesebesség közötti kapcsolat exponenciális. Tudományos kutatást végzett a talajok víztartó képességére vonatkozóan is. *Lóki J.* és társai az ország 25 különböző helyéről származó talajminták, szélcsatornában mért, erodálási sebességeinek felhasználásával potenciális szélrózió térképet készítettek.

2.1.2 Nemzetközi kutatások és tanulmányok

Amíg hazánkban a szélróziós kutatások, a mozgási törvényszerűség leírása igen kis hányadát foglalja el a tudományos munkáknak, addig nemzetközi szinten a szélróziós folyamatokkal és az azokból kiinduló kiporzási vizsgálatokkal több intézmény foglalkozik. Az internet segítségével, nemzetközi adatbázisok felhasználásával számos információhoz és adathoz juthatunk. A „wind erosion” kifejezésre rákeresve 10 000 000 oldalnyi anyagot találtam. Ezek áttanulmányozás gyakorlatilag lehetetlen feladat. Éppen ezért a következőkben

csak a meghatározó kutató helyekről származó alap vizsgálatokat szeretném ismertetni a teljesség igénye nélkül.

Noha sok elmélet volt ismert a szélerózióról 1930 előtt, a modern széleróziós előrejelző technológia alapjainak kiépítése leginkább *Ralph Bagnold* 1941-ben publikált klasszikus könyvének megjelenésével kezdődött (*The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*). Bagnold írta le a szemcsék három mozgási formáját (kiporzás, ugrálás, gördülés) a széleróziós folyamat során.

Bonyolultabb a szemcse mozgások leírása mezőgazdasági területeken, mivel a talaj szemcseösszetétele, stabilitása, érdekessége, a mezőméret és a borítottság mind olyan tulajdonság, ami a sivatagi jellegű homokokat nem jellemzi. A széleróziós folyamat vizsgálatánál *William Chepil* a homok helyett már talajjal dolgozott. A mérései során a száraz talajaggregátumoknak és a különböző kötőanyagoknak a szerepét is vizsgálta [17]. Felismerte, hogy az aggregátumok méretbeli megoszlása fontosabb, mint a konkrét szemcsék ellenállása a szélerózióval szemben. *Chepil* és *Bisal* 1943-ban kifejlesztett egy száraz szitálási módszert a talajok szerkezetének vizsgálatára és a szélerózióval szembeni ellenállás tanulmányozására. Elemezték azokat a tényezőket, amelyek befolyásolják a talaj mechanikai stabilitását – mint például az agyagtartalom – illetve a talajszerkezet összetevőit. A talajok mechanikai stabilitását úgy definiálták, hogy az a talaj aggregátumok ellenállása a szántással, a homokverés okozta korrózióval és mállással szemben. *Chepil* (1951, 1952) egy exponenciális függvényt javasolt a talaj aggregátumok szétesésének jellemzésére a talaj mechanikai stabilitásának függvényében [29]. Szélcsatorna kísérletek és terepi vizsgálatok felhasználásával *Chepil* és *társai* az 1950-es évek közepén megalkották az első szélerózió előrejelző egyenletet, melyet ma is használ az NRCS (Amerikai Természetvédelmi Szolgálat) és más intézmény szerte az országban. A szélerózió általános egyenlete (WEQ):

$$E = f(I', K', C', L', V) \tag{1}$$

ahol E = az évi potenciális átlagos talajvesztesség,

I' = talaj erodibilitási index

K' = talaj érdekességi faktora

C' = klimatikus faktor

L' = kitett (védelem nélküli) távolságok a mezőn

V = ekvivalens növényborítottság

Az évi talajveszteségre vonatkozó összefüggés (E) meghatározását számos kísérlet előzte meg. *Chepil* 11 változót ismertet, amelyek együttesen tükrözik egy terület szélerózióra való hajlandóságát. A fent említett egyszerűsített (általános) széleróziós egyenletben a következő 5 fő tényező szerepel:

- I': a talaj erózió hajlandóságának mutatója. Az évi, területegységre eső potenciális talajveszteség értékét adja meg, egy széles, védelem nélküli területen, ahol a talaj csupasz, sima, barázdátlan felszínű. Értéke függ a talaj szemcseösszetételétől, a domborzattól és lejtős térségen, a terület hosszától.
- K': a talajfelszín durvaságának (természetes, vagy mesterséges érdességének) mértéke.
- C': a klimatikus faktor a szél sebességétől és a talajfelszín nedvességétől függ.
A talajmozgás mértéke közelítőleg fordítottan arányos a tényleges felszíni talajnedvesség négyzetével.
- L': értéke függ a vizsgált terület uralkodó szélirányban mért teljes hosszától, valamint a szélárnyékos, védett területek hosszától, amit a szélárnyékot okozó akadály magasságának 10-szeresében állapítottak meg.
- V: értékét a növényi maradványok (pl. tartló) össz mennyisége, az élő növényzettel való borítottság mértéke és a felszínt borító növényzet sűrűsége (elrendezése, magassága) befolyásolja.

Chepil meghatározta a különböző nagyságú, szerves anyagot nem tartalmazó, száraz talajszemcsék relatív erodálhatóságát. A tesztek során alkalmazott sebességeknél a 0,84 mm átmérőjű rögök már nem mozdultak.

A SIWE vagyis a Soil-Inherent Wind Erodibility című kutatási program az USDA-Agricultural Research Service's (USDA-ARS) észak-dakotai laboratóriumában folyik. *S. D. Merrill, A. L. Black, A. D. Halvorson* [31] a talaj felszínközeli szél hatására mutatkozó erodibilitását tanulmányozták 2001-ben és az eróziót befolyásoló tényezőket más csoportosítás szerint sorolták be. Két faktort különítettek el: a talaj- és a növényfaktort. A talajfaktor tartalmazza a nedvességet, a mikrotopográfiát (érdességet) és a talajerodibilitást. Ez utóbbit két egymással kapcsolatban álló paraméterrel fejezték ki, a szemcseméret eloszlással és a stabilitással.

Az Egyesült Államok mellett elsősorban Ausztráliában, de a világ sok más országában is komoly gondot okoznak a szélerózióból származó károk. A legnagyobb károkat a por- és homokviharak okozzák, amire 1983 februárjában, Melbourne környékén volt példa. A vihar által megmozgatott por tömegét 2 Mt-ra becsülték, és a károk helyreállításához több mint 4 millió dollárra volt szükség [30]. Kínában például a Tengger sivatag szélén épített vasútvona-

lat gyakran betemeti a homok [27]. Ennek a jelenségnek a megakadályozása érdekében szélcsatornás kísérleteket folytattak a Kínai Tudományos Akadémia Környezetvédelmi és Mérnöki Kutató Intézetének Laboratóriumában. A talajművelés, a kéreg jelenlét és a növényborítottság szélerózióra gyakorolt hatását vizsgálták.

Számos vizsgálatot végeznek mind a mai napig a PM_{10} és a $PM_{2,5}$ méretű porszemcsékre vonatkozóan, aminek elsősorban az ember porterhelése szempontjából van jelentősége. A sivatagi területekről évente nagy mennyiségű por kerül a magasabb légrétegekbe, a finom részecskék a magas légköri áramlatokkal a forrás helyszínétől több ezer km-re is eljuthatnak. *Cowherd és társai (1985)* határozták meg elsőként a szélerózióból származó, belélegezhető részecske-emisszió nagyságát. A szuszpenziós potenciál meghatározásához a szemcseeloszlást, a látszólagos érdesség méretét, a növényborítottságot, kéreg jelenlétét a talajon, és a nem erodálható elemeket használta. Az eljárásának eredményeként a talajokat korlátlan és korlátozott eróziós potenciállal ill. eróziós potenciál nélküliként jellemezte. Amennyiben a szemcsék kimozdításának küszöb súrlódási sebessége kisebb, mint 0,75 m/s, a terület korlátlan eróziós potenciállal rendelkezik, egyéb esetekben korlátozott az eróziós potenciál.

A columbiai mezőgazdasági területeken szélcsatornás kísérleteket végeztek [8], melyek során két fontos szemcseméretet határoztak meg. Kimutatták, hogy a szélerózió a 710 μm alatti szemcsék százalékos arányától függően növekszik. Poremisszió dominál, ha a talajban 63 μm -től kisebb szabadon elérhető szemcsék vannak. Munkájuk során hasznosították a *Kind (1992)* és *Loosmore and Hunt (2000)* tanulmányában közölt eredményeket, miszerint az ugráló aggregátumok és ásványi szemcsék a turbulens talajközeli szél hatására részecskék felemelkednek és részt vesznek a defláció folyamatában.

Többen vizsgálták az aeroszolok szemeloszlásának szélerózió hatására történő finomodását (*Gillette et al 1974, Gillette and Walker 1977, McTainsh et al 1997*), mások ennek matematikai modellezésén is dolgoztak (*Shao et al 1993, Marticonera and Bergametti 1995, Zobeck et al 1999*).

2.1.3 Szennyezett területek és ipari területek kiporzása

A por elleni küzdelem a bányászatban évszázados múltra tekint vissza. Csaknem minden fejlett országban folytattak kutatásokat a szilárd légszennyezőkkel kapcsolatban. Ezen kutatások között kiemelt szerepe volt a németországi és dél-afrikai munkáknak. Ezek a vizsgálatok túlnyomó többségben a mechanikai úton történő kiporzásra összpontosultak, mivel ez a jellemző a bányászatban. *R. Wollenberg, 2005*-ben arról ír [42], hogy kísérleteket végeztek a mechanikai hatás során létrejövő kiporzási tulajdonságok meghatározására. A kísérleteket

különböző szemcseméretű, különböző nedvességtartalmú, maximum 10 mm szemnagyságú anyagokkal (száraz barnaszén, káligranulátum, pellet, homok) végezték. Az anyagokat egy meghatározott magasságból ejtették le és mérték a kiporzást az ejtés közben és a földet érés-kor. Méréseik eredményeként kétféle anyagot különböztettek meg: az egyik csoportba azok az ömlesztett anyagok tartoznak, melyek igen könnyen és gyorsan kiporzódnak (pl.: káligranulátum), a másik csoportba, melyek kezdeti kiporzása (ejtés közben) kisebb, de a becsapódás, ütközés után kiporzásuk nagyobb, mint az előző csoporté (pl.: homok).

D. Eickepasch et al kutatásai során az ömlesztett anyagok rakodásánál fellépő poremissziót elemezték [11]. A modellvizsgálatok során egyrészt ömlesztett anyagokat (szén, vasérc, kalcium-foszfát, búzaliszt), másrészt „ideális” anyagokat használtak, amelyek szilárd gömbökből álltak. A poremissziót befolyásoló tényezőket két csoportra osztották: az ömlesztett anyag paraméterei, mint a részecskeátmérő és a részecskesűrűség; illetve a berendezés paraméterei, mint az ejtési magasság, rakodási tömeg és rakodási teljesítmény.

Dr. Vékény H. 1981-ben megjelent könyvében [40] a vizsgálja mélyművelésű bányák porforrásait, primer forrásnak tekinti a technológiai folyamatok során keletkező port, szekunder forrásnak a leülepedett és légáramok által felkavart ásványi porokat, a földtani zavargások porait, valamint a szénporrobbanás elleni védelmet szolgáló inert porokat.

A külszíni művelés során a jövesztés célja a kőzetek aprítása, ezért a letakarási és kitermelési munkafolyamat – a jövesztett anyag nedvességtartalmától is függően – minden esetben por-képződéssel jár. A poremisszió nagyságát és annak csökkentését, a beavatkozások lehetőségét elsősorban az éghajlati, meteorológiai viszonyok (fagy, szél, stb. és pl. a talajvíz) befolyásolják.

A Miskolci Egyetem Hőenergiagazdálkodási Intézet Tüzeléstan Tanszékén folytak kutatások a kilencvenes évek végén a széntüzelésű erőművek által okozott légszennyezéssel kapcsolatban [35]. Ennél a kutatásnál vizsgálták az erőművek pernyetárolóinak porzásából származó levegőszennyezést is. A pernyetároló kiporzási intenzitása számos tényezőtől függ, (a szélesebbesség, szemcseösszetétel, a részecskék egyenértékű átmérője, a por sűrűsége, tapadóképesége és nedvességtartalma), megállapításuk szerint ezért az intenzitás elméleti úton kellő pontossággal nem számítható. Laboratóriumi méréseket végeztek, s a kiporzási intenzitást a bemért pernye fújás előtti és utáni tömegének különbségéből, a légfúvás időtartamából és a kiporzási felületből számították a következőképpen:

$$K = \frac{m_b - m_e}{t \cdot A} \quad (2)$$

ahol:

- K – kiporzási intenzitás [$\text{mg}/\text{m}^2\text{s}$]
 m_b, m_e – a modellezéshez bemért pernye tömege a mérés kezdetén és végén [mg]
 t – a légfúvás időtartama [s]
 A – a modellezéshez kialakított kiporzási felület [m^2]

A szél által felkavart és elragadott legnagyobb átmérőjű részecskék méretét abból a feltételezésből határozták meg, hogy az elhordódás során a levegő által a szemcse körül létrehozott áramlási ellenállásnak nagyobbak kell lenni a részecske súlyereje és a levegő sűrűségének eltéréséből adódó felhajtóerő különbségénél.

A mérési adatokból arra a következtetésre jutottak, hogy a szél sebességének növekedésével a kiporzási intenzitás a lineárisnál erősebben nő. Megállapították, hogy a száraz pernyét közel tízszer nagyobb intenzitással hordja el a szél a tározóból, mint a földnedveset.

A Pacific Northwest National Laboratory (U.S.A.) a szennyezőanyagok forrására, transzportjára, egészségügyi veszélyeztetésre és az expozícióra vonatkozóan végez kutatásokat. Ezen vizsgálatok alapján szoftvert fejlesztett, amely szennyezett talajok, hulladéklerakók, vagy radioaktív területek szélrózsiából adódó kiporzásának előrejelzését teszi lehetővé. Hasonló számítási módszert fejlesztett az ipari szélrózsiára vonatkozóan az EPA (*Environmental Protection Agency*), amivel meddőhányókat és egyéb ipari tevékenységekkel veszélyeztetett területeket analizáltak [39]. Szélcsatornás kísérleteket végeztek kéreg nélküli vagy gyengén kérgesedett szénbányászati meddővel és erőműi szénporral. Megállapították, hogy az adott területeken a jellemző szélesebesség nem haladja meg a küszöbsebességet, ennek ellenére a szállások olyan nagyságúak, hogy szélrózsiához, kiporzáshoz vezetnek. A vizsgált területen a szállások általában 2 percig tartanak és a mért maximális szélesebesség háromszorosa a jellemző átlagértékeknek (az átlagos érték 5 m/s, a maximum 15 m/s 15 cm-re a talajtól). A szélrózsió számításánál minden zavarást ill. minden saját jellemzővel rendelkező területrészt külön vesznek figyelembe, azaz a területenként és időintervallumonként külön súrlódási sebességet számoltak, ezekből pedig eróziós potenciált.

A súrlódási sebességet a logaritmikus sebességprofilra vonatkozó összefüggésből számítják, amivel gyakran lehet találkozni az eróziós számítások során:

$$u(z) = \frac{u^*}{0,4} \ln \frac{z}{z_0}, \quad (z > z_0) \quad (3)$$

ahol:

- u – szélesebbesség [cm/s]
- u^* – súrlódási sebesség [cm/s]
- z – a tesztterület feletti magasság [cm]
- z_0 – érdességi magasság [cm]
- $0,4$ – Kármán konstans

Az eróziós potenciál a száraz, korlátolt eróziós potenciállal rendelkező területre:

$$P = 58(u^* - u_t^*)^2 + 25(u^* - u_t^*), \text{ g/m}^2$$

$$P = 0 \text{ ha } u^* \leq u_t^* \quad (4)$$

ahol:

- u^* – súrlódási sebesség [m/s]
- u_t^* – küszöb súrlódási sebesség [m/s]

A szélleőkésék súrlódási sebességének számítására javasolt összefüggés:

$$u^* = 0.053u_{10}^+ \quad (5)$$

ahol:

- u_{10}^+ – a szélleőkés nagysága a 10 m-es referenciamagasságban [m/s]

2.1.4 A kiporzás és a defláció elleni védekezés hazai és nemzetközi kutatási eredményei

A szélerózió elleni védekezés alapjait hazánkban a futóhomok megkötése jelentette erdők, gyümölcsösök ültetésével. Az első országos érvényű rendeletet 1788-ban *II. József* bocsátotta ki, melyben a „homoksivatagok” felszámolása érdekében a megyéknek elrendelte a fásítást. A futóhomokkal borított felszíneknek erdővel, gyümölcsösökkel való megkötése különösen a XIX. század második felében vett nagyobb lendületet. Ebben az időszakban gyümölcsösök és akácosok telepítésével nagyon sok, korábban mozgó, teljesen elvadult futóhomokot sikerült megkötni, illetve mezőgazdaságilag hasznosítani.

Lóki J. 2003 készült MTA doktori értekezésében leírja, hogy *Bodolay I-né (1965)* a defláció elleni védekezés lehetőségeit kutatta az öntözött területeken, felhívta a figyelmet arra,

hogy a talajművelésnek jelentős szerepe van a szélerózió fellépésében. Tanulmányozta a talajfelszínen kialakuló kéreg eróziócsökkentő hatását. *Lóki J.* értekezésében szót ejt a szabadon mozgó homokfelszínek és egyéb területek védelméről, az értekezésében mégis a fő irányt a szántóföldi erózió elleni védelem jelenti. Nagy hangsúlyt fektet a növények illetve növényi maradványok jelenlétének deflációcsökkentő hatásaira, a táblaméret csökkentésére és a mezővédő erdősávok használatára [29].

A laboratóriumi és terepi kísérleteinek eredményei alapján, *Lóki J.* szerint a talaj felső 5-6 cm-es rétegének nedvesen tartásával sikeresen védekezhetünk a szélerózió ellen. *Vékény H.* (1981) szerint nagy hőmérsékletek esetében ez a módszer költséges, mert a nagy párolgási sebesség miatt gyakori utánnedvesítésre van szükség. A számítások szerint 1 m² felületről 1 óra alatt 60 % relatív páratartalmú és 25 °C hőmérsékletű levegő esetében 1 m/s légsebesség mellett 353 g, 2 m/s mellett 516 g víz párolog el. Ezek az értékek 30 °C levegőhőmérséklet esetében már 477, ill. 700 g-ra növekednek. *Vékény* a porcsökkentésre bányában speciális módszereket javasol só használatával, amelyek külszíni körülmények között nem alkalmazhatók [40].

Lóki J. kísérletei alapján kimutatta, hogy a szélesebb és az elpárologtatott vízmenynyiség közötti kapcsolat a szemcseösszetétel, a humusz- és a CaCO₃ tartalom függvénye. A nedves talaj kiszáradása során fellépő cementáló hatás nemcsak a kéreg kialakulásával véd, hanem a morzsás szerkezet stabilitásának megtartásával is. A felszín kedvező alakulása, a morzsaképződés, az érdességet elősegítő talajnedvesség már közvetett védőhatásnak tekinthető, csakúgy mint a gyorsabb növény fejlődés.

A hányótéren kiszáradó anyagok porzásának megszüntetésére *Vékény H.* a kémiai anyagokkal történő permetezést ajánlja. A hányó felületére kerülve ezek az anyagok a felső réteg szemcséit vékony filmmel vonják be, az érintkező szemcséket egymáshoz ragasztják és összefüggő kérget alkotnak. A kéreg így megvédi a hányót a szél hatásától, az eróziótól és a kimosásoktól. A szélerózió elleni védekezésnél a talaj felszíni rétegének rögzítésével, stabilizálásával, kéregképző szerek használatával többen foglalkoztak, eredményes laboratóriumi és terepi kísérleteket folytattak az 1940-es évektől kezdve. A kutatások során számos olyan anyag vált ismertté, amely képes egyrészt a talajszemcséket egymáshoz ragasztani, másrészt vízálló morzsákká tömöríteni. Ilyenek többek között: bitumen, aszfalt, latex emulziók, dextrán származékok, műanyaghabok, mézga anyagok, nátron-vízüveg, mosóiszap, keveréktrágya, vinax, melasz, stb. Hollandiában és Dániában iszappal és növényi olajokkal kísérleteznek. Hazánkban *Bodolayné* (1975) szintetikus anyagokkal és a műanyagokkal növelte a talajok aggregátumképző képességét. A kísérletek eredményei alapján megállapította, hogy a használt

anyagok alkalmasak voltak az érdes felszín kialakítására, az érdességet adó morzsák, rögök stabilizálására, nem akadályozták a beszivárgást, de csökkentették a párolgást. Általános alkalmazásukat nem sikerült bizonyítani.

Az előbb említett nehézségek és a kijuttatott anyagok környezeti kockázata miatt a kéregképző eljárások nem terjedtek el.

Az agrár szakterület nemzetközi szakirodalma, a szélerózió elleni védelmet is összekapcsolja a talajművelés, növénytelepítés speciális módjaival. A. W. Zingg, N. P. Woodruff és C. L. Englehorn (1952) a növény sorok irányának és sűrűségének változtatásával végeztek kísérleteket. A talajok szélerózió elleni védelméhez szükséges növényi maradványok mennyiségének meghatározásával is többen foglalkoztak; *Chepil, Armbrust, Siddoway, Skidmore, stb.*

Hasonló kutatásokat folytatnak az Egyesült Államokban napjainkban is, többek között a bakhátak közötti távolság, a növény maradványok, a borítottság és a szélárnyék hatását vizsgálják.

2.1.5 Eróziós modellek

A különböző kísérletek adatait felhasználva számos eróziós modell készült. Több szoftver is megjelent, melyekkel elvileg előre lehet jelezni az erózió nagyságát és a várható károkat. Mivel a szélerózió és a porzás folyamata rendkívül összetett, megbízható, bármilyen talaj és területi adottságok mellett alkalmazható, előrejelzésre alkalmas modell ismereteim szerint nem született. A már tárgyalt széleróziós egyenlet (1) széles körben alkalmazható eljárás a mezőgazdasági területek átlagos éves talajvesztésének becslésére. Az NRCS (*Natural Resources Conservation Service USA*) kutatói a fenti egyenletet számítógépes feldolgozásra alkalmatlannak ítélték, ezért megalkották a WEPS széleróziós előrejelző rendszert, mely folyamatalapú, naprakész modell, szimulálja az időjárást, a terület jellemzőit és az eróziót, figyelembe veszi a talaj és a növények hatását.

Gregory (1984) Chepil adatait felhasználva megalkotta azt a matematikai modellt, mely hosszú távú eróziós hatást modellez. Ezeket az ismereteket felhasználva hozták létre a TEAM programot [17], ami a széleróziót és a porképződést modellezi. Ausztráliában 1996 elején egy olyan számítógépes modellt dolgoztak ki, mely a szélerózió becsléséhez és az előrejelzéshez három alrendszerrel használ, a széleróziós, a por transzport és az időjárás előrejelző modellt. Az adott területi információkat GIS adatbázisból veszi a modell, ezáltal a terület heterogenitása miatt változó küszöbsúrlódási sebességet is lokális értékekkel tudja a számítások során figyelembe venni.

1997-ben Prágában rendezett „*Kísérletek talajeróziós modellekkel*” című Nemzetközi Workshop lehetőséget biztosított a kutatók, fejlesztők és a felhasználók számára, hogy a különböző modellekkel kapcsolatban szerzett tapasztalataikat megvitassák. A legtöbb előadás a különböző modellprogramok európai alkalmazhatóságával foglalkozott. Kiderült, hogy azok csak akkor adnak kielégítő eredményt, ha a használat előtt a helyi körülményekhez kalibrálják [26].

2.2 A hazai és nemzetközi eredmények alkalmazhatósága és ezek korlátai

- Mivel a külföldi szakirodalom főleg a mezőgazdasági területek széléroziós jellemzőit vizsgálja, ezeket az eredményeket a meddőhányók és zagytározók esetén korlátozottan vagy egyáltalán nem lehet felhasználni. A meddőhányókon, zagytározókön mezőgazdasági művelést csak befejezett rekultivációs munkák eredményeként lehet folytatni. A művelés alatt álló bányáknál és működő erőműveknél a lerakók területe még használat alatt van, folyamatosan új anyag kerül rá, vagy az anyag felhasználása esetén, kerül onnan el, ezen területek kiporzás elleni védelmét tehát növénytelepítés nélkül kell megoldani.
- A szakirodalomban található előrejelzési módszerek csak speciális esetekre és meghatározott körülmények esetén alkalmazhatók. Az általánosítás gyakran még egy-egy jellemző mezőgazdasági terület esetén sem megoldott.
- Az áttanulmányozott szakirodalomban a bányászati meddőhányók és zagytározók kiporzási kérdéseivel néhány speciális esetet leszámítva nem foglalkoznak. Vizsgálják a mechanikai hatásokra történő kiporzás kérdéseit, de alig lehet találni olyan munkát, ami a szél hatására kialakuló kihordást tárgyalja.
- A porlekötésre a tanulmányok zöme a nedvesítéses, permetezéses eljárást ajánlja. Ez a porlekötéses módszer a hányókban lévő anyagok veszélyessége miatt érzékeny területeken korlátozottan alkalmazható. A nedvesítés hatását vizsgáltam és a zagytározók, meddőhányók esetén hatékony eszköznek bizonyult (6.8 fejezet).
- *Lyles – L Woodruff (1963)* a talajerózió elleni védekezés módszereként a talaj tömörítését javasolták. Ilyen irányú kísérleteket is végeztem, de ellentmondásos eredményekre jutottam, amit az 6.7 fejezetben mutatok be.
- *Chepil* eredményeit kísérleteim több ízben is megerősítették. Egyik fontos eredmény az in situ szemcseeloszlás számításba vételére vonatkozik.

3 A KIPORZÁS FOLYAMATA ÉS AZ AZT BEFOLYÁSOLÓ PARAMÉTEREK

A kiszáradt zagy tározó, meddőhányó felszínéről a légáramlás és a fellépő erők hatására a szemcsék elmozdulnak. Az elmozdulást több erő befolyásolja, s ennek következtében a szemcsék között bonyolult kölcsönhatások léphetnek fel. A legfontosabb paraméterekkel és jelenségekkel a következőkben foglalkozom.

3.1 Az elhordást befolyásoló legfontosabb paraméterek

3.1.1 Szélesebesség

A kiporzás szempontjából alapvető paraméter a felszín közeli szél (nevezik talajszélnek is) sebessége. Mivel a szemcsék kimozdulását nem az átlagos szélesebesség határozza meg, hanem a maximális értékek, a széllelkések szerepe döntő. Ilyen adatokhoz meteorológiai megfigyelésekből és jelentésekből juthatunk, ahol pl. megadják a 10 percenkénti átlagos szélesebességeket, valamint az egy órán belüli maximális értékeket a szélirányokkal együtt.

A széllelkések nagysága többszöröse is lehet az átlagos szélesebességnek, az időtartama pedig akár 4 percig is tarthat [39]. Ez az intenzitás elegendő ahhoz, hogy kiporzás keletkezzen és a felkavart por elhagyja a forrás körzetét.

A széláramok turbulenciája lehetővé teszi, hogy a szemcsék egy látszólag szélárnyékos helyről is kimozduljanak. Olyan helyekre is eljut ugyanis a légáram, mely az eredeti (átlagos) szélirányból védve volt. Ilyen lehet pl. egy nagyobb rög mögötti szélárnyékos hely. Az irányvektor folytonos változása a már kimozdult szemcsék helyzetét is megváltoztatja.

3.1.2 Szemcsék alakja

A szilárd részecskék alakja a legkülönbözőbb lehet. Az osztályozás során általában három alakfajtát különböztetünk meg:

- *izometrikus részecskék*: a részecskék mérete mindhárom térbeli irányban megközelítően azonos,
- *lapos, lamináris részecskék*: két térbeli méret lényegesen nagyobb a harmadiknál, lemezek, lamellák, pikkelyek stb.,
- *szálas, fibrilláris részecskék*: ezek egy irányban erősen megnyúltak, szálak, pálcikák, tűk stb.

A por mozgását leíró összefüggésekben az egyszerűbb kezelhetőség érdekében gömb alakot és az ehhez tartozó átmérőt alkalmazzák, jóllehet tökéletesen gömbalakú részecskék a legritkább esetben fordulnak elő. A tényleges alak és a gömb alak közötti ekvivalencia megteremtésére vezették be az egyenértékű átmérő fogalmát és az alak tényezőket.

Az egyenértékű átmérő értelmezése is többféle:

- szitálás szerinti ekvivalens átmérő (d_{sz}):

$$d_{\pi} = \sqrt{d_1 \cdot d_2} \quad (6)$$

d_1, d_2 : szemcsefrakciót meghatározó sziták lyukátmérője,

- térfogat szerinti egyenértékű átmérő (d_v): a részecskével megegyező sűrűségű azon gömb átmérője, amelynek a részecskével azonos a térfogata,
- terület szerinti egyenértékű átmérő (d_A): a részecskével megegyező sűrűségű azon gömb átmérője, amelynek keresztmetszeti területe megegyezik a vizsgált részecske áramlási irányára merőleges vetületével,
- ülepedés szerinti ekvivalens átmérő (d_e): a részecskével megegyező sűrűségű azon gömb átmérője, amelynek ülepedési sebessége megegyezik a vizsgált szemcse ülepedési sebességével. A porleválasztási gyakorlatban szinte kizárólagosan ezt az átmérőt használják a szilárd szemcsék méretének jellemzésére,

A szemcsék alakja olyan jellemző, mely egzakt mérőszámmal nem határozható meg, így mérhető és összevethető tulajdonságként nem használható. A burkoló felület által meghatározható szemcse alak mellett annak felületi finomsága – érdes, horgos, sima stb. – is lényeges. A szemcsék alakjára jellemző a fajlagos felület is. A legkisebb fajlagos felülete a gömbnek van. Minél finomabbak, kisebb méretűek a szemcsék, annál nagyobb a halmaz fajlagos felülete.

3.1.3 A szemcsék között fellépő erők

Két érintkező szilárd test közötti elmozdulás lehetőségét az alábbi tulajdonságok befolyásolják:

- **kohézió:** a molekulák vagy atomok között fellépő összekapcsoló, összekötő erő. Kohéziós erők sugara kisebb, mint $6 \cdot 10^{-8}$ m [1],
- **adhézió:** két anyag a felületükön levő atomok vagy molekulák polarizálhatóságának köszönhetően tapad össze. A levegő – szilárd test vonatkozásában ez azért jelentős,

mert a szilárd test és levegő határfelületén kialakul egy olyan molekula- ill. atomréteg, amely szorosan tapad a szilárd test felületére és jóval nagyobb sűrűségű, mint a környező levegőréteg. Habár ennek az adszorbeált levegőrétegnek a vastagsága 10^{-7} - 10^{-6} mm nagyságrendű [1], mégis elegendő ahhoz, hogy megakadályozza két szilárd test közvetlen érintkezését.

- **belső súrlódás:** az egymással érintkező szemcsék relatív elmozdulásakor, ill. elmozdulási lehetőségekor fellépő erő, amely a nyomás nagyságától és igen sok egyéb heterogén tényező befolyásától függ.

Számos kísérlet bizonyította, hogy a szemcsék elmozdulással szembeni ellenállásának nagysága nagymértékben függ az adhézió következtében kialakuló film minőségétől. Minél simább a felület (pl. üveglap), annál kevésbé valószínű, hogy a szilárd testek közvetlenül érintkeznek egymással. Szokásos nagyságrendű nyomásértékek esetében sokkal inkább valószínű, hogy csupán a két filmréteg érintkezik. Ha a szemcsék nagyok, akkor nagyobb a valószínűsége annak, hogy a szemcsék csupán egy-két ponton érintkeznek és így a fellépő nagy nyomás miatt mintegy átdöfik az adszorbeált levegőréteget. Ez esetben az ömlesztett anyag belső súrlódása nagy lesz. Kis szemcséjű anyagok esetében a felület egységre eső érintkezési pontok száma megnő, a nyomás kisebb lesz, és így a filmréteg megvastagodhat. A viszonylag vastagabb adszorbeációs filmréteg miatt a súrlódási ellenállás csökken: az anyagszemcsék könnyebben elmozdulhatnak egymáson. Ilyen esetben viszont a filmrétegek között jobban érvényre jut a kohézió.

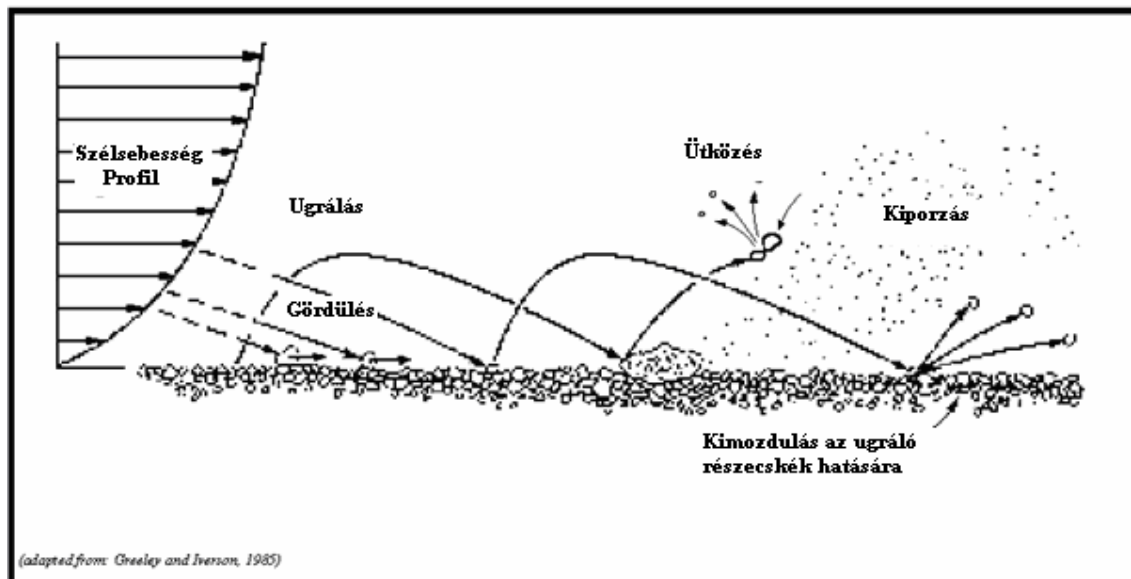
Gyakorlati, tapasztalati tény, hogy két szilárd test relatív elmozdulás után a súrlódási ellenállás csökken, vagyis a nyugalmi helyzetben jellemző tapadási tényező nagyobb a mozgás közben jelentkező súrlódási tényezőnél.

A tanulmányban szemcsehalmazokról van szó, amelyekben a szemcsék anyagukban, nagyságukban és alakjukban is igen heterogének lehetnek, és éppen ezért relatív elmozdulásuk közben fellépő jelenségek is összetettek, bonyolultak. A szemcsék nemcsak elcsúsznak egymáson, hanem egymáshoz képest elfordulhatnak, gördülhetnek, sőt egymásba kapaszkodhatnak. Így lerögzíthető, hogy egy szemcsehalmaz két részecskéjének egymáshoz viszonyított elmozdulásakor fellépő ellenállás csúszó és gördülő ellenállásból, valamint a szemcsék egymásba kapaszkodásából tevődik össze.

3.1.4 Szemcseméret és a szemcsék mozgástípusai

A szemcseméret és a mozgások között szoros összefüggés van.

A szilárd szemcsék elmozdulását három típusba sorolhatjuk: gördülés, ugrálás és lebegés.



1. ábra

A szemcsék mozgástípusai [41]

A porzás (kiporzás) vizsgálata szempontjából a három mozgástípus gyakorlatilag nem különíthető el egymástól. A lebegés (kiporzás, szuszpendálódás) a legkisebb szemcsék mozgástípusa, a másik két jelenség a nagyobb szemcsékre jellemző. A mozgástípusok nem határolhatók el élesen egymástól, mert egymással kapcsolatban vannak, az egyik mozgás fajtakiváltója lehet egy másiknak. A gördülés, főleg pedig az ugrálás esetében a szemcsék mozgási energiájukat más szemcséknek adják át és ezáltal újabb szemcsék mozgását indítják el. Az ütközések során a nagyobb szemcsék aprózódnak, a keletkezett kisebb méretűek lebegőképessé válhatnak, s a légmozgással nagyobb távolságokra is eljuthatnak. Egy szemcse elmozdulása felszabadíthat egy másik, eddig nyugvó szemcsét részben azzal, hogy megszűnik a támasztó (nyomó) ereje, részben azzal, hogy már nem biztosítja számára a szélárnyékot.

Ezen összetett folyamat során az elhordás (gördülés, ugrálás) és kiporzás (lebegés) jelensége együtt jelenik meg. Az, hogy melyik szemcse milyen mozgástípussal indul meg, az elsősorban a szemcseméret függvénye, de erős befolyással bír a légáram erőssége és iránya, valamint a szemcse halmazon belüli helyzete [46].

Chepil (1957) majd Gillette (1977) megállapította, hogy a lebegő szilárd részecskék mérete 0,002-0,1 mm között van. Chepil szerint a talajtól függően 3-38%, Gillette (1977,

1978) mérései alapján 10%, a *Colorado University Cooperative Extension – Agriculture* szerint 20% a szálló por hányada a teljes deflációt szenvedő tömeghez viszonyítva [20].

A szemcsék többsége ugrálva halad előre. Ezek hányadát a kutatók 50-80%-ra becsülik a teljes transzporthoz viszonyítva, de van aki [29] 80-90%-ot ír. Az ugráló szemcsék mérete 0,1-0,5 mm.

Görgetve halad Bagnold (1941), Chepil (1945), Horikawa-Shen (1960) szerint a teljes mennyiség 7-25 %-a, melyeknek szemcsemérete 0,5-2 mm.

Ezek az értékek közelítő jellegűek, mivel az elmozdulás formája, a szemcse méretén kívül a szélesebségtől, turbulenciától, a szemcsék szélnek való kitettségétől, alakjától, sűrűségétől és a szemcsék közt fellépő erőktől is függ.

3.2 A szemcsékre ható erők

A mérési eredményeim értékelése során a fellépő jelenségek magyarázatához szükségem volt a szemcsékre ható emelő erők hatásainak értelmezésére is, ezért foglalkozom ennek az elméleti alapjaival.

A szemcsék függőleges mozgását, vagyis a talajról való felemelkedést, a következő erők határozzák meg (az összefüggésekben az erők N-ban szerepelnek):

- tömegerő

$$F_g = V \cdot \rho_s \cdot g , \quad (7)$$

ahol:

ρ_s - a szilárd szemcse sűrűsége. kg/m³,

V – a szemcse térfogata, m³,

g – nehézségi gyorsulás, m/s²,

Mivel a folyamatokat gravitációs erőterben vizsgáljuk, ez az erő függőlegesen lefelé mutat.

- dinamikus felhajtóerő

$$F_D = C_a \cdot A_s \cdot \frac{\rho_l \cdot w^2}{2} \quad (8)$$

ahol:

C_a – a szemcse alakjától függő ellenállási tényező,

A_s – a szemcsének az áramlási irányra merőlegesen vett legnagyobb keresztmetszete, m^2 ,

ρ_l – az áramló gáz sűrűsége, kg/m^3 ,

w – a szemcse alatt és felett áramló közeg (esetünkben levegő) sebességkülönbsége, m/s .

A dinamikus felhajtóerő a szemcsét körüláramló elméletileg vízszintes áramlásból származik. Amennyiben a szemcse alakja az áramlási vonalra, felületre vonatkoztatva szimmetrikus, azaz az áramlás teljesen egyenletesen körülveszi a testet, ez az erő nem lép fel. Minden olyan esetben viszont jelentkezik, ha a test körül aszimmetrikus nyomáseloszlás alakul ki az aszimmetrikus körüláramlás következtében.

Az összefüggésben a w sebesség a szemcse alatt és felett áramló közeg sebességkülönbsége. Felszínen nyugvó szemcséknél ez maga a légsebesség (szélsebesség). A felszínen nyugvó szemcse esetén a szemcse felett v sebességgel áramló levegő a képlettel meghatározható nagyságú, függőlegesen felfele ható erőt fejt ki a testre.

- felhajtóerő

$$F_h = V_s \cdot \rho_l \cdot g \quad (9)$$

A felhajtóerő a szemcse és az áramló közeg sűrűségkülönbségéből adódik.

Az erő nagysága a szilárd test által kiszorított folyékony vagy légnemű közeg tömegével arányos. A levegőnél a felhajtóerő elhanyagolható a szilárd és légnemű anyag sűrűségének 3 nagyságrendet elérő különbsége miatt, a vizsgált közetszemcsék sűrűsége ugyanis $1600-2500 \text{ kg/m}^3$ között van, a levegőé pedig $1,2 \text{ kg/m}^3$.

- függőleges áramlási ellenállás

$$F_E = C_E \cdot A_s \cdot \frac{\rho_l \cdot v_f^2}{2} \quad (10)$$

ahol:

C_E – ellenállás-tényező

v_f – a szemcse függőleges irányú sebessége, m/s.

Ez az erő ugyancsak függőlegesen lefelé mutat abban az esetben, ha a szemcse v_f sebességgel függőlegesen felfelé elmozdul.

Egyensúlyi helyzetben tehát:

$$\vec{F}_g + \vec{F}_D + \vec{F}_h + \vec{F}_E = 0 \quad (11)$$

Ezen erők közül gravitációs erőterben az F_g és az F_E függőlegesen lefele, míg az F_D és az F_h függőlegesen felfelé mutat. Az adott mérettartományban a fent leírtak szerint, a felhajtóerőnek nincs jelentősége.

Amennyiben egy felszínen nyugvó szemcse elmozdulásának pillanatát vizsgáljuk, akkor az áramlási ellenállás sem játszik szerepet. Így csupán a tömeget és a dinamikus felhajtóerőt kell vizsgálnunk. A szemcse akkor kezd emelkedni, amikor a dinamikus felhajtóerő nagysága nagyobb lesz a tömegernél, azaz:

$$F_D > F_g \quad (12)$$

Mivel a gömb alakú szemcse legnagyobb keresztmetszete:

$$A_s = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}, \quad (13)$$

ahol: d – a szemcse egyenértékű átmérője, m,

a térfogata pedig:

$$V_s = \frac{d^3 \cdot \pi}{6}, \quad (14)$$

a 12) és (13) alapján a szemcsét függőleges irányban elmozdító erő tehát:

$$F_f = F_D - F_g = \frac{d^2 \cdot \pi}{2} \left(C_a \cdot \frac{\rho_l \cdot w^2}{4} - \rho_s \cdot \frac{d}{3} \cdot g \right). \quad (15)$$

Ezen összefüggések alapján tehát elméletileg meghatározható az az egyenértékű szemcseátmérő, ahol az F_f értéke 0. Ez a szemcseátmérő adja a függőlegesen kimozduló szemcse maximális méretét. Elméleti problémát jelent azonban a C_a és a C_E ellenállás-tényezők meghatározása.

A C_E ellenállás-tényezőt kísérleti úton, az áramlástan klasszikus kutatói (Prandl, Betz, Stokes, Nikuradse) és később sokan mások is meghatározták.

A C_a ellenállás-tényező alapvetően a szemcsealaktól, valamint a rááramlás irányától függ. Ez a tényező a szívónyomás és a felület szorzatából számítható erőt korrigálja. Nagysága sík lapnál 1, egyébként pedig 1 alatt van. Az értéke nyugvó szemcsénél állandó, a felemelt szemcséknél változhat a szemcse forgása következtében.

A szemcsék felemelése a szélsősebesség következtében fellépő dinamikus felhajtóerőnek köszönhető, de a mozgás azonnal erős ellenelő fellépésével is jár, azaz a tartós levegőben maradási, és ezzel a magasabb rétegekbe való emelkedést két tényező is gátolja:

1. a talajról elmozduló szemcsét az áramlás körülveszi, és így a szemcse feletti és alatti légsebesség-különbség jelentősen lecsökken, s emiatt a dinamikus felhajtóerő értéke is csökken, esetleg teljesen meg is szűnik,
2. a felfelé elmozduló szemcsére lefelé mutató súrlódási erő hat. Ez a sebesség növekedésével C_E csökkenése miatt elvileg csökken ugyan, de a holtpontra lefele hat.

Az egészen kis szemnagyság-tartományt kivéve ahol már egyéb erők hatása is számottevő lehet (diffúzió, Braun mozgás) a szemcse előbb-utóbb visszahullik. A nagyobb szemcsék gyorsabban visszaesnek, majd az aszimmetrikus áramlás miatt ismét fellép a dinamikus felhajtóerő, s folytatódik a már leírt folyamat, azaz a szemcsék ugrálnak (szaltáció).

A fentiek túl nehezíti ennek a folyamatnak a leírását, hogy a vizsgált esetekben a szemcsék nem feltétlenül gömb jellegűek, gyakori a szögletes, hasábos, sőt lemezes alak, amelyekre megfelelő szögállás esetén akkor is hat a dinamikus felhajtóerő, ha az áramlás a testre nézve szimmetrikus. Az aszimmetrikus szemcsealak miatt, a szemcsék forgatónyomaték hatásának is ki vannak téve. A szemcsékre a fentebb bemutatott függőleges erőkön kívül a légáramlási iránnyal ellentétes irányú súrlódási erő is hat. A C_E ellenállás-tényező értékét gömb szemcséken kívül elméletileg csak hengerre és sík körlapra írták le.

Tovább nehezíti a probléma egzakt tárgyalását, hogy egyenetlen a talajfelszín, valamint a szél erős turbulenciája miatt a talaj felszínén örvénylő mozgások alakulnak ki. Elvileg itt a határrétegben a talajfelszín közvetlen közelében zérus légsebességnek kell uralkodnia, a kísérletek azonban ezt általánosságban nem igazolják. Annyi mindenképpen kijelenthető, hogy gyakran áll elő olyan helyzet, ami a közvetlen felszínen, vagy annak egyes részein légmozgást eredményez. Ehhez a felszín kisebb és nagyobb felületű egyenetlenségein kívül az is hozzájárul, hogy a szemcsék a felszínen elmozdulnak, emelkednek, ugrálnak, gurulnak, azaz maga a felületi érdesség sem állandó – nem úgy, mint a szilárd felszín mentén történő áramlás esetén. Maga a szél pedig az erőteljes turbulencia miatt olyan sebesség-komponensekkel is rendelkezik, amelyek nem párhuzamosak a talajfelszínnel, azaz gyakori, hogy a szél „lecsap” a felszínre, örvények alakulnak ki a felületi egyenetlenségek következtében. Ez azt jelenti, hogy az elméletileg lamináris áramlással jellemezhető határréteg is folytonosan változó rétegvastagsággal, és változó sebességprofillal alakul csak ki, esetenként szinte teljesen eltűnik, elvékonyodik, majd újra kialakul, azaz véletlenszerűen, dinamikusan változik.

Az említett problémák miatt a deflációs jelenségek leírására és a felmerülő problémák megoldásához, minden konkrét esetben kísérleti mérésekre, megfigyelésekre kell támaszkodnunk. Ezek alapján kell meghatározni azoknak a paramétereknek a körét, amelyek alkalmasak a várható kiporzási jelenségek előrejelzésére.

A porszemcsékre ható erők elemzése alapján levonható az a következtetés, hogy a deflációs jelenségek értelmezését arra a pillanatra kell koncentrálni, amikor a szemcsék az elmozdulás határán vannak. A később bemutatandó kísérletek és elméleti megfontolások megerősítik ezt a megállapítást.

4 A MÉRÉSEKNÉL FELHASZNÁLT ANYAGOK ÉS ELEMZÉSÜK

A kísérletek során ércdúsításból származó zagytározó, salak- és pernyehányó, osztályozott kavics és rekultivációnál felhasznált fedőlösz anyagát vizsgáltam. Az anyagok bányászati tevékenység során keletkeztek, a lösz pedig zagytározó rekultivációjánál használták. Az anyagok változó szemcseeloszlásúak, eltérő a tapadókéességük illetve a tömöríthetőségük, s természetesen anyagi összetételük is különböző. A minták olyan helyekről származnak, melyek kiporzásra hajlamosak, nagy területen vannak jelen, és a szél ellen nem védi őket növényzet vagy egyéb nem erodálható anyag. A mérési eredmények értékelése érdekében szükség volt az anyagok legfontosabb tulajdonságainak meghatározására. Ilyen az ásványi összetétel, a szemcseeloszlás, a sűrűség, tömöríthetőség, belső súrlódási szög.

4.1 Ércbányászati meddő anyaga

Az ércbányászati meddő az egykori gyöngyösoroszi ércbánya zagytározójából származik. Mintát vettem a gát és a zagytározó belső területéről is. A gát esetében a minta a gáttestben korábban kialakított mintavételi helyről (a minta neve továbbiakban „gát”), a zagytározó belső területének mintái a felszínről erednek. A belső területről származó mintákat két helyről, a talaj felszínéről vettük, s nem kis meglepetésre jelentősen eltérő tulajdonságot mutattak. A minták kiszárítása és szemrevételezése után kiderült, hogy a mintahelyek szerint mindhárom különböző színű, szemeloszlású és ásványi összetételű, ezért röviden bemutatom a gyöngyösoroszi ércbánya előkészítési technológiáját, ami alapján az eltérések magyarázhatók. Ez a tapasztalat arra is figyelmeztet, hogy a látszólag egynemű anyagot tartalmazó zagytározók vizsgálatánál is tervszerűen kijelölt mintavételi helyekről kell mintákat venni, majd a kapott elemzési eredmények alapján az esetleges mintasűrítésről, ill. annak mértékéről kell dönteni.

4.1.1 A gyöngyösoroszi ércelőkészítési technológiáról röviden

Gyöngyösorosziban az 1700-as évek második felében indult az ércbányászati tevékenység, amelynek intenzívebb időszaka 1951-85 között volt, összesen mintegy 3,7 Mt ércet termeltek ki, melyből 35 kt ólmot és 102 kt cinket nyertek. A bányászat kezdeti szakaszában az ásványelőkészítés elsősorban kézi válogatásra korlátozódott. A nagyüzemi termelés megindulását követően elkészült az ércelőkészítő mű, ahol aprítást, őrlést követően szelektív flotálással nyerték ki a hasznos fémtartalmú alkotókat. A fejlesztések során az előkészítő rendszert

nehézsuszpenziós elődúsítással is kiegészítették, ezzel növelhető volt az előkészítő üzem kapacitása. Az előkészítés meddőjét a Száraz-ér völgyben kiképzett zagytárolón helyezték el. A hidrociklonnal kiválasztott durvább részből építették ki a meddőhányó-gátat, a finom iszap és a víz jelentős része a zagytér belső medencéjébe került. A tárolt meddő összterfoglata kb. 2,1 millió m³, a szárazvölgyi zagytároló területe: 24,6 ha. A zagytároló a gát folyamatos magasításával 28 méteres töltésmagasságot ért el [24]. A közelmúltban a völgyzáró gáttestet a megcsúszás veszélyét csökkentendő megerősítették, s a tároló körül a heves esőzések vízének levezetésére övárkokat készítettek.

Dúsítási technológia rövid ismertetése

A fejezet a [33] irodalom alapján készült. A gyöngyösoroszihoz hasonló komplex szinesfémérccek általánosan alkalmazott dúsítási technológiája a szelektív flotálás. A szulfid-ásványok (galenit, kalkopirit, szfalerit, pirit) szelektív kinyerésének alapja a megfelelően fel-tárt ásványszemcsék felületének eltérő hidrofobitása. A folyamat megvalósításához a szükséges szemnagyságúra őrölt ércből és vízből zagytot képeznek, abba finoman diszpergált, kellő-en stabilizált légbuborékokat juttatnak, melyek az érces szemcsékhez tapadva felemelik azt, habot képezve a zagy felületén. A kötődést, annak erősségét viszonylag kis koncentrációban adagolt vegyszerekkel lehet befolyásolni.

A nehézsuszpenziós dúsítás az ásványok, közetek sűrűségének különbözőségét használja ki. A gyöngyösoroszi komplex ércből a szulfidásványokat lehetett a módszer alkalmazásával 2,6 t/m³-es sűrűségnél leválasztani. A szulfidásványt nem tartalmazó meddő ásványok felúsznak. A nehézsuszpenziót a bromoform, finomszemcsés barit, flotált ólomkoncentrátum, vagy ferroszilícium bekeverésével állíthatják elő.

Az üzem technológiája az idők folyamán folyamatosan változott, fejlődött. Ismertetésénél elsősorban a törés, őrlés kérdéseit emelem ki, mivel ez befolyásolja a későbbi zagytéri állapotokat.

Törőüzem

A törőüzem fő berendezései: statikus rudas (korábban tárcsás) darableválasztó, egyin-gás pofástörő, 2 db kúpostörő és egy kétsíkú vibrációs osztályozó szita. A berendezéseket gumihevederes szállítószalagok kötik össze.

A tört érc a flotálási technológia szempontjából középterméknek minősül, amit tovább kell aprítani a nehézsuszpenziós üzem számára

Nehézsuszpenziós elődúsító üzem

A nehézsuszpenziós dúsítás előtt a szétválasztó közeg szennyezésének elkerülése érdekében az ércet iszaptalanítani kellett, s ezzel együtt leválasztani az 5 mm-nél kisebb szemnagyságot. Az előtört ércet először egy mosódobba adagolták, ahol az ércszemcsék felületére tapadt finom anyag zagyba kerül. Ezután egy szitán lemosták az iszapot, ill. megtörtént 5 mm-nél az elválasztás. Az iszaptalanított 1 – 5 mm-es frakció tovább feldolgozásra (örlés) került. Az 1 mm-nél kisebb anyagból a hidrociklonozás után a 60 µm feletti rész örlés után flotálásra került, a finomabb iszap és víz pedig a flotációs meddővel együtt a zagytárolóra.

A nehézsuszpenziós dúsítóra 5-20 mm-es szemnagyságú ércet adtak fel. A nagyobb sűrűségű dús termék a kónuszban lesüllyedt, a meddő pedig felúszott. A szuszpenzió eltávolítása után az érc a középtermék bunkerbe, a meddő szalagon és gépkocsin a meddőhányóra jutott, a ferroszilíciumot visszanyerték, s újra felhasználták.

A dúsító kónuszra feladott anyagra vonatkoztatva a meddőleválasztás 30 – 40 %-ot tett ki. A meddő fémtartalma kissé magasabb volt a flotációs meddőjénél, az elődúsítás fajlagos költségei viszont lényegesen alacsonyabbak voltak, mint a flotálásé. A veszteséget ellensúlyozta az a tény is, hogy az érc agyagásvány tartalma nem került örlésre és flotálásra, az elődúsított anyagból pedig magasabb fémkihozatal volt elérhető a flotálás során.

Örlés – osztályozás

Az örlést golyósmalmok végezték, szokásos módon osztályozókkal (Dorr sűrítő ill. hidrociklon) körfolyamban járattva üzemeltek a teljes örlés érdekében.

A nehézsuszpenziós elődúsítás során a leválasztott meddőt nem kellett örölni, azaz ezek 5-20 mm-es méret tartományú anyagként kerültek a zagytárolóra.

Az adott érc flotációs dúsításához 0,2 mm-es örlési finomság volt a legmegfelelőbb, ez azt jelentette, hogy ellenőrző méréskor az örlemény 90-92 %-ának át kellett hullani a 0,2 mm-es lyukméretű szitán. A technológiából következően, a flotálás optimális szemnagysága az adott esetben a 0,060 mm és 0,100 mm közötti tartományban volt, amit a fenti feltételek tudtak jó közelítéssel biztosítani. .

Flotációs üzem

A flotációs technológia lépcsői: alap, ellenőrző és tisztító flotálás. Az alap flotálásnál keletkező középtermék kerül a tisztító flotálásra, melynek alsó terméke visszajut az alap flotálásra.

Flotációs vegyszerek

Áttekintésük azért fontos, mert jelen lehetnek a zagyártározó anyagában. A flotációs reagenseket hatásuk, alkalmazási céljuk szempontjából lehet csoportosítani:

Habképző

Az üzem főleg Hoechst gyártmányú Flotolt alkalmazott habképzőként, amely biztosította a buborékok és a habágy szükséges állékonyságát. A több helyen (az egyes szelekciós lépcsők előtt) adagolt habképző mennyisége 20-30 g/t volt. A tömény reagens adagolása csepegtetési módszerrel történt.

Gyűjtőreagens

A gyűjtőreagensként adagolt nátriumetilxantogenát a szulfidásványok felületén adszorbeálódva fokozza a felület hidrofobitását, ezzel téve lehetővé a szemcse megtapadását a levegő buborék felületén. A reagens adagolása szakaszosan és osztott mennyiségben folyt, összesen 150-200 g/t mennyiségben.

Módosító reagens

Ebbe a csoportba tartoznak a nyomóreagensok, aktiváló reagensok, a pH beállító vegyszerek és a diszpergálók.

Az őrléshez adagolt cinkszulfát és nátriumcianid a szódával 8 körüli pH értékre beállított zagyban meggátolja a szfalerit felületének reakcióját a gyűjtőreagenssel, azaz a szfalerit kiúszását az ólomflotálásnál. A cinkszulfát mennyisége 60-100 g/t, a cianidé pedig 20-50 g/t volt. Az ólomflotálás után a szfalerit úsztathatóvá tételére aktivátorként rézszulfátot adagoltak a zagyba 300-500 g/t mennyiségben, majd gyűjtőreagenst. Ezzel egyidejűleg mészhidrátot (vagy oltott meszet) is adtak 9,5-10 pH értékig, ami meggátolta a pirit kiúszását, ill. javította a szfalerit flotálását (3000 g/t).

A pirit semleges vagy inkább savas közegben flotálható jól. Ezért a cinkflotálás meddőjét hidrociklonnal besűrítették, eltávolítva belőle a víz jelentős részét és ipari vízzel újra hígították, így csökkentve a zagy pH-ját.

A vízüveg a szilikáttartalmú meddő szemcsék esetén részben nyomóreagensként működik, ezért adagolták az ólom-, és cinkflotálás tisztító celláiba. Fő alkalmazási területe azonban az agyagásvány tartalmú zagy viszkozitásának csökkentése volt, ezért az őrlés során 160-200 g/t mennyiségben az osztályozóba adagolták.

A szóda felhasználása a pH beállításához 2000 g/t körül volt.

A vegyszerek reakcióidejének biztosítására a Pb és Zn flotálás előtt agitátorokat alkalmaztak. A flotációs vegyszerek oldására, az oldatok tárolására külön vegyszerelőkészítő üzembrész szolgált.

Meddőkezelés

A flotációs meddőt és vele együtt a nehézsuszpenzióról származó vizet és iszapot szivattyúval szállították a szárazvölgyi flotációs meddőhányóra. A hányóképzés hidrociklonozással történt: a durvább anyagot tartalmazó besűrített anyagból épült a gát, a finomabb anyagot tartalmazó híg ciklonfelső pedig a gáton belüli zagytérben ülepedett. A hányó alatt a vízgyűjtő területéről származó csapadék elvezetésére beton gyűjtőcsatorna épült. A derített vizet a hidrociklonozástól lehető legtávolabb túlfolyással távolították el.

A bányauzem rendszeresen fizetett bírságot a kibocsátott víz minősége miatt. Szennyvízkibocsátó helyek: bányavíz, flotációs meddőhányó, késztermékszűrők (ezt a vizet egy időben a flotációs meddővel egyesítették) és a laboratórium. A fő szennyező komponensek: a magas oldott sótartalom, fémionok (Fe^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+}) és időnként lebegő szilárd anyag.

A zagytározóról származó mintáinkat – ahogy az már említésre került – három helyről vettük. A mérések előtt a mintákat teljesen kiszárítottam. A kiszárítás során az anyag a szárítószekrényben 105 °C-on 48 órán át száradt. Szárítás után már szemmel is látható volt a különbség a két, nem távoli helyről, a zagytározó belső területéről vett minta között. A minták jelölése:

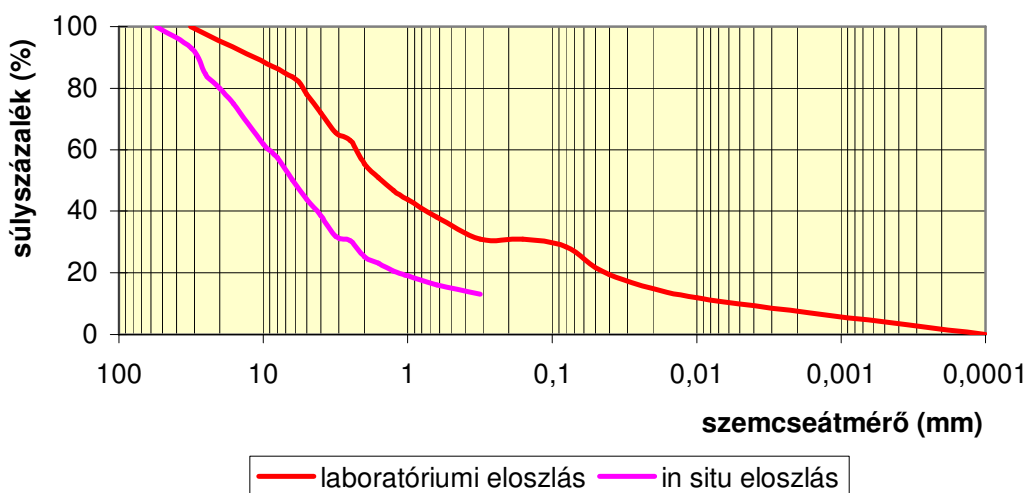
zagy1 a – szemcsék összetapadásából adódó – durvább, és a kézzel is érzékelhetően jobban tapadó anyag,

zagy2 a finomabb – homokszerű – anyag.

4.1.2 A minták elemzése

A szemeloszlási görbe meghatározását 0,35 mm-es szemcseméretig kézi szitálással végeztük, az ez alatti frakciók arányának meghatározása lézeres szemcsevizsgálattal történt a Miskolci Egyetem Eljárástechnikai Tanszékének „Fritsch” típusú, szemcseelemző műszerével. Száraz szitálással a 0,35 mm alatti frakciók meghatározása már hibával terhelt, ezért kellett a lézeres szemcseelemzést használni ebben a tartományban. Ez a készülék viszont folyadékban elkevert porszemek méretét vizsgálja és emiatt a zagytározón agglomerálódott szemek szétesnek. Az így kapott eredmények nem tükrözték a helyszíni állapot szerinti szemcseeloszlást, ezért meghatároztam az „in situ” eloszlásokat is száraz szitálással, s a lézeres módszerrel meghatározott teljes szemcsetartományt laboratóriumi eloszlásként kezeltem. Amint utaltam rá a második fejezetben a szakirodalom is foglalkozik ezzel a kérdéssel (*J. M. Gregory, Chepil, Bisal*), s a kiporzási vizsgálatok esetén jellemzőbbnek tartják az agglomerátumok mé-

retének megoszlását. A dolgozatban **in situ eloszlásként** említem azt az eloszlást, ami a helyszínen található anyag szemcseeloszlását jelenti (javaslom az elnevezés általános használatát), és melynek meghatározására egy „óvatos” szitálási módszert alkalmaztam [47]. Az ide vonatkozó szabvány kimondja, hogy a szitálást addig kell végezni, amíg átesés tapasztalható. Ennek eredményeképpen viszont teljesen szétverjük, szétmorzsoljuk az összetapadt szemcséket, és ez a defláció szempontjából hamis eredményt ad. Ezért választottuk a kevésbé szabványos, de számunkra pontosabb eredményt biztosító „óvatos szitálás” módszerét. Ennek eredményét tüntettem fel lila színnel (in situ eloszlás), míg a kék szín a 0,35 mm-ig szabványos száraz szitálás, 0,35 mm alatt pedig lézeres szemcseelemző készülék által adott értékeket mutatja.

2. ábra¹

A gyöngyösoroszi **zagy1** laboratóriumi és in situ szemeloszlási görbéi

¹ Az értekezésben szereplő ábrák és képek – azokat kivéve, amelyeknek forrását feltüntettem – a saját munkáim.

A **zagy1** volt a szemeloszlás tekintetében a legellentmondásosabban viselkedő anyag. Az anyag durva szemcsézettségűnek látszott, de a lézeres szemcsevizsgálóval történt mérés során ez a minta rendkívül finom eloszlásúnak mutatkozott. A 2. ábrán jól látszik a különbség a szabványos szitálással (kék görbe, továbbiakban laboratóriumi eloszlás) és az „óvatos” szitálással (lila görbe) meghatározott in situ szemeloszlási görbe között. Az Eljárástechnika Tanszéken történt elektronmikroszkópos vizsgálat is megállapította, hogy ez az anyag szignifikánsan finomabb szemű, mint a másik két minta, mely jól látszik a 3. ábrán. (Mikroszkóp: Zeiss, Axioskop2, MAT, Kamera: Zeiss, AxioCam MRc 5, a vizsgálatot Máдай Viktor végezte).

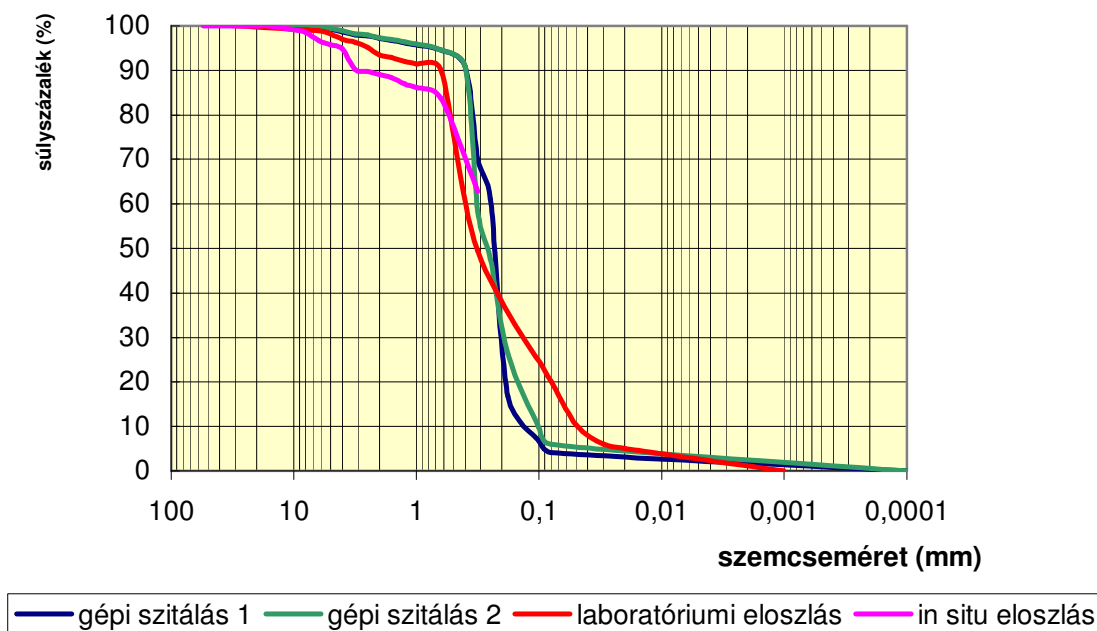


3. ábra

Zagy1 mikroszkópikus felvétele
(húszszoros nagyítás)

Ennek ellenére a **zagy1** minta durva in situ eloszlású, ami azzal magyarázható, hogy a 30% körüli 10 μm alatti szemcse mintegy 17%-a agglomerálódott és magasabb szemcsefrakció tartományokba került (2. ábra). A lapos szemeloszlás miatt az anyag sokkal jobban tömöríthető, ezt az egyenlőtlenségi együttható ($U = d_{60}/d_{10}$) értéke is alátámasztja, ugyanis $U = 400$ -nak adódott.

A zagyter belső területéről vett másik mintánál (**zagy2**) nem volt látható agglomerálódás. A szemcsék szabad szemmel is láthatóan különállóak voltak, amit a szemcseelemzés is bizonyított. (4. ábra)



4. ábra

A gyöngyösoroszi **zagy2** szemeloszlási görbéi

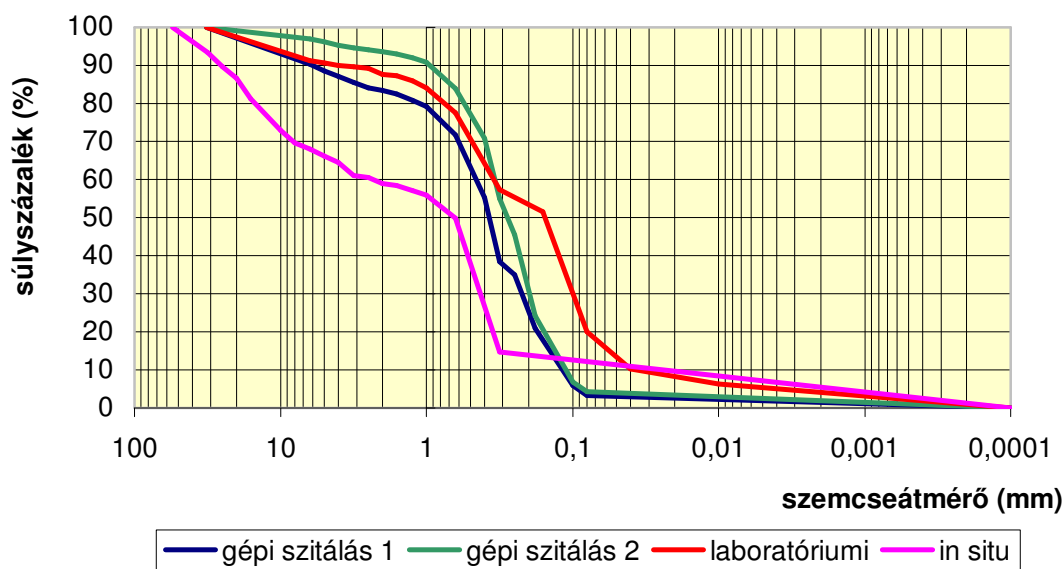
A **zagy2** esetében az egyenlőtlenségi együttható $U = 8$ volt. A későbbi kísérletekkel kapcsolatban elvégzett szemeloszlások alapján az U érték jellemzően 2-3 között volt. Ez azt jelenti, hogy az anyag kevésbé tömöríthető jól.

Az elektronmikroszkópos felvétel (5. ábra) is jól mutatja a szemcsék nagyobb méretét, illetve azok egymástól való elkülönülését.



5. ábra

Zagy2 mikroszkópikus felvétele
(tízszeres nagyítás)



6. ábra

A gyöngyösoroszi **gát** mintájának szemeloszlási görbéi

A gát területéről vett minta esetében inkább csak az 1 mm-nél nagyobb szemeknél tapasztalhatunk rögzösödést, de nem olyan mértékben, mint a zagy1 esetében. A 2 mm-től kisebb átmérőjű szemcséknél a szemek egyértelműen külön álltak. A négy szemeloszlás közül egy laboratóriumi és egy in situ elemzés. A közbenső két eloszlást pedig a szabvány szerint előírt szitálással, rázógép segítségével készítettem. Az eloszlások lefutása tükrözi az elemzési módszerek közötti különbséget. A mérések kiértékelésénél mind a négy eloszláshoz tartozó elemzési értékeket felhasználom, mivel a gyakorlatban is előfordulhat, hogy az in situ állapothoz képest a minta finomodik. A laboratóriumi szemcseeloszláshoz tartozó U érték (=8,75) közelítőleg azonos a zagy2 U értékével (=8).



7. ábra

Gát mikroszkópikus felvétele
(ötszörös nagyítás)

A szemcseelemzés és a mikroszkópos vizsgálat tükrözi az előkészítési és a zagy lerakási technológiából adódó különbségeket, de jelzi, hogy a lerakás után is olyan folyamatok mentek végbe, elsősorban agglomerálódás, melyek a kiporzást befolyásolják [48].

Sűrűség meghatározása

A minták anyagának átlagos sűrűségét három mérésből, piknométeres eljárással határoztuk meg. Ez alapján az alábbi értékeket kaptuk.

A **zagy1** sűrűsége: $\rho = 2,56 \text{ g/cm}^3$,

a **zagy2** sűrűsége: $\rho = 2,68 \text{ g/cm}^3$,

a **gát** sűrűsége: $\rho = 2,72 \text{ g/cm}^3$.

A fentiek alapján valószínűsíthető, hogy a **zagy1** anyaga főleg $2,6 \text{ t/m}^3$ alatti sűrűségű meddő kőzetet tartalmaz, a finom frakció feltehetően flotálásból származik, esetleg nehézsuszpenzió előtti iszaptalanításból.

4.2 Salak- és pernyehányó anyaga

A hőerőművi melléktermékek (salak, pernye) lerakása jelentős nagyságú, növényzettel nem borított területeket eredményez. Ezeknek a hányóknak az anyaga is olyan, hogy szemel-
oszlásuk miatt kiporzásra hajlamosak.

A Mátrai Erőmű Részvénytársaság visontai hőerőművében a visontai és a bükkábrányi bányákból termelt lignittel tüzelnek. Az erőműi kazántechnológiából adódóan a füstgázok mellett nagy tömegben szilárd halmazállapotú égéstermékek is keletkeznek. A szilárd égési maradékok keletkezési helyük szerint osztályozva, általában az alábbiak [9].

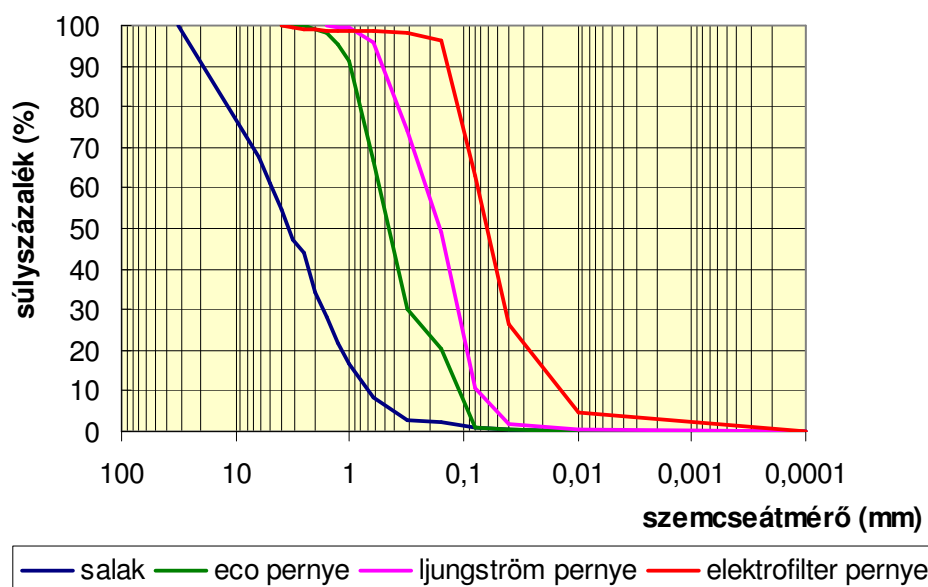
1. **Salak:** Az égéstérből gravitációs úton lehulló szilárd halmazállapotú szemcsés anyag.
A salak a kazánok égésteréből vízzel telt medencébe kerül, a vízzel keveredve lehül, majd speciális kihordó szerkezet segítségével jut az elszállító csővezetékbe.
2. **ECO pernye:** A füstgáz áramlási iránya az ECO léghevítőn megtörik, e folyamat során válik le az ún. ECO pernye.
3. **Ljungström pernye:** A Ljungström léghevítőn iránytörést szenvedő füstgázáramból kiváló szilárd anyag.
4. **Elektrofilter pernye:** Korábbi leválasztások után a füstgázáramban maradt finom szilárd anyag, amit az elektromos pernyeleválasztó távolít el a kéményen távozó füstgázból.

A **salak**, az **ECO** és a **Ljungström pernyék** keletkezési helyükről vizes elmosatással jutnak a kiszállító csővezetékbe, az **elektrofilter pernyét** száraz leválasztás után egy ún. fluidizációs csővezetéken juttatják el a pernyetároló tartályig. A vizes közegben szállított égéstermékek üleptetés és részleges víztelenítés után keverednek a száraz pernyével. A keverési művelet után

keletkező homogén zagy közelítőleg 1:1-es szilárd:víz arány mellett, ún. sűrűzagy formájában csővezetéken jut a zagyterre.

A visontai erőműben 2000-ben üzembe állított ún. füstgáz-kéntelenítő rendszer beépítését követően a füstgáz SO_2 tartalmát megkötve ún. REA-gipsz és mosóvíz (REA-víz) keletkezik. Ezek a „termékek”, az értékesítésre kerülő gipsz kivételével a fentebb említett szilárd égéstermékekkel (salak, pernye) együtt, sűrűzagyként a zagy tározóba kerülnek.

A kiporzási eredmények vizsgálatához ebben az esetben is szükség volt az egyes anyagok szemeloszlásának meghatározására (8. ábra).



8. ábra

Erőművi égéstermékek szemeloszlási görbéi

A kiporzási vizsgálatokat az egyes égéstermékekre külön-külön is elvégeztem, de a kutatás alapvető célja annak vizsgálata volt, hogy a zagyterren tárolt erőműi égéstermékek megszilárdulása után a kiporzás milyen mértékben terheli a zagy tározó környezetét. A tárolóba kerülő zagy ugyanis a szállítóközegként szereplő víz döntő részét elveszti – a víz elszivárog, a talajvízzel keveredik –, a zagy felszínéről a légköri hatásokra (napfény, szél) a maradék víz elpárolog, a zagy megszilárdul. Éppen ezért a kiporzási vizsgálatokat az özse-völgyi zagy tározó felső rétegéből vett mintákkal is elvégeztem.

Mivel a gipsz jelenlétének kiporzást csökkentő hatását is vizsgáltam, a kísérletekhez a fent említett keletkezési helyekről származó anyagok megfelelő arányú összekeverésével is készí-

tettem mintát. Ezzel az volt a cél, hogy a mintában ne legyen gipsz, szemben a helyszínről vett, felaprózódott mintával.

4.3 Felhalmozott ömlesztett anyag (homok, kavics)

Amint a bevezetőben említettem, jelentős a kiporzása a kitermelt anyag helyben tárolt halmazainak (depók), amelyek esetenként 100 ezer t nagyságrendű anyagot is jelentenek egy-egy bányauzemben. Ezek a kúpos, vagy ékes keresztmetszetű hasáb alakú depók osztályozatlan és osztályozott anyagot is tartalmazhatnak. Kavics- és homokbányákban a legkisebb szemnagyság osztály 0-1 vagy 0-2 mm is lehet, ritkán ennél is finomabb.

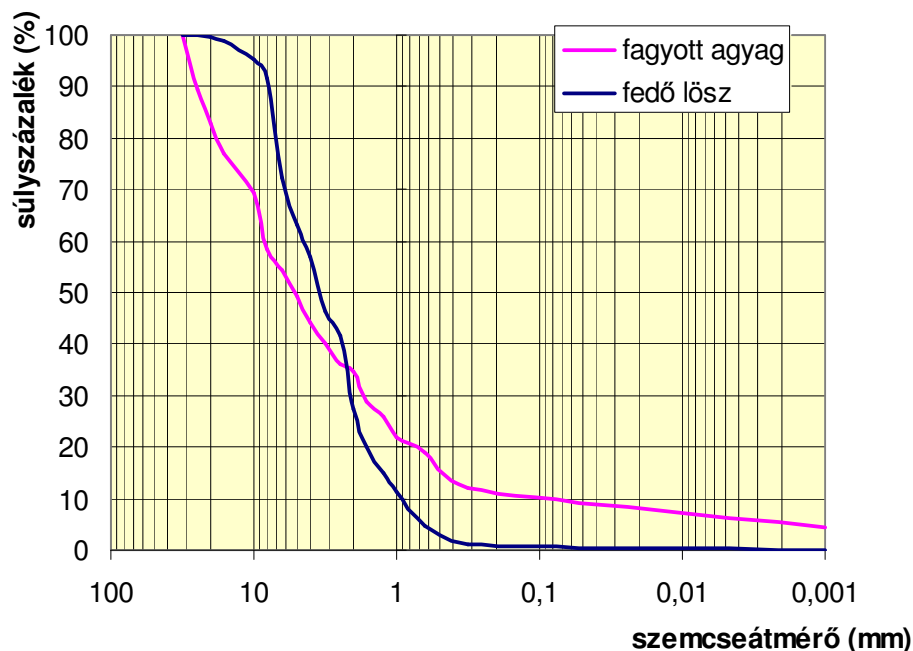
A nagyon finom szemnagyság esetén gyakori a fedett, zárt térben történő tárolás, mivel az 1 mm alatti szemcsékből a szél rendkívül nagy mennyiséget képes elszállítani, ami a komoly környezetterhelés mellett már jelentős gazdasági kárral is jár.

Az osztályozott kavicsanyagokkal azért tartottuk fontosnak elvégezni a kiporzási vizsgálatokat, mert így lényegesen szabályozottabb szemeloszlású anyagokkal dolgozhattunk.

Ezen anyagoknál száraz állapotban egyáltalán nincs rögzösödés a szemek közt, a tapadás is minimális. A szemcsék alakja többnyire a gömbhöz hasonlít, mivel folyami hordalékról van szó. Kevés az ékes, hasáb alakú szem, melyek a szemcsék elmozdulást akadályozhatnák.

4.4 Rekultivációnál használt takaróanyag

A Mecseki uránbánya zagyártározó végső rekultivációjánál a sugárbiztonság és a kedvező növénytelepítési lehetőségek megteremtése érdekében a tározót 1-2 m vastagon lefedték, amihez döntően pécsváradai lösz, valamint helesfai agyagot használtak. Mivel az elhúzódo rekultivációs munkálatok közben ennek az anyagnak a kiporzása is problémákat okozott, ezzel is végeztünk vizsgálatokat. Ezek az eredmények azért is fontosak, mert hasonló anyagokat gyakran használnak a rekultivációs munkálatok során. A szemeloszlási görbéket a 9. ábra mutatja.



9. ábra

A fedőlösz és a fagyott agyag szemeloszlási görbéi

Kiporzási vizsgálataim során kiderült, hogy a két anyagnál még 12 m/s-os légsebességnél sem történt számottevő elhordás. Fagyott anyagnál nem történt kiporzás és a fedőlösznél sem érte el a kihordás értéke az 1%-ot.

4.5 A felhasznált anyagok belső súrlódási szögének meghatározása

A mérések kiértékeléséhez szükség volt az egyes anyagok belső súrlódási szögének ill. a tapadási súrlódási tényezőjének a meghatározására. Belső súrlódási szög alatt a következőben leírt mérési módszerrel meghatározott anyag ill. halmaz jellemzőt értjük, s ennek a szögnek a tangense a tapadási tényező. Azért kell ezt leszögezni, mert a különböző tudományterületek nem teljesen azonosan értelmezik a fogalmakat (belső súrlódási szög, rézsűszög, csúszási szög stb), s gyakran használnak eltérő megnevezéseket azonos tartalmakra. Mivel a kiporzási vizsgálatok esetén a szemcsék egymáson történő elmozdulása a meghatározó, ezért erre értelmezzük a belső súrlódási szöget. A szemcsék egymáson való elmozdíthatóságára utaló tényező megállapításához a következő mérést végeztük: egy érdes falpra hordtuk fel a mintát kb. 3 cm-es vastagságban, ügyelve arra, hogy a felületén az alaplappal párhuzamosan legalább a 10x10 cm-es sík felület jöjjön létre. Lassú ütemben növelve a falap vízszintes síkkal bezárt

szögét, figyeltük, hogy a sík felszínen mikor mozdul meg az anyag. Az ehhez a helyzethez tartozó szög a belső súrlódási szög. A mérés során, különös figyelmet fordítottunk arra, hogy az anyag ne csúszhasson meg az alaplapon.

Az eredményeket az 1. táblázat mutatja:

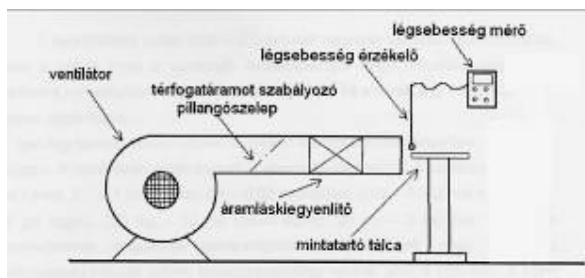
A minta neve		Belső súrlódási szög, °	Tapadási tényező
Égéstermékek	ECO pernye	30,5	0,59
	Ljungström pernye	29,7	0,57
	Elektrofilter pernye	48,7	1,14
Gát	eredeti halmaz	28,6	0,54
	d _{max} = 1,6 mm	30,6	0,59
	d _{max} = 0,25 mm	31,2	0,61
	tömörítve	32,2	0,63
Zagy2	eredeti halmaz	31,5	0,61
	d _{max} = 0,25 mm	35,0	0,70
Zagy1	eredeti halmaz	30,9	0,60
	d _{max} = 1,25 mm	40,2	0,85
	d _{max} = 0,63 mm	40,2	0,85
	tömörítve	45,6	1,02

1. táblázat

Az egyes minták belső súrlódási szöge, és az ebből számolt tapadási tényező

5 A KÍSÉRLETEK MÉRŐRENDSZERÉNEK LEÍRÁSA

A kiporzási hajlam meghatározásához speciális mérőrendszert állítottunk össze a Miskolci Egyetem műhelycsarnokában (10. ábra).



10. ábra

A mérésekhez használt rendszer

A légáramlást létrehozó radiális ventilátorhoz 6 m hosszú, 0,5 m átmérőjű fém légcső-rakat csatlakozik, amelyben egy légáramlás rendező elem található. A légsebességmérő műszerek hitelesítésére használt rendszerben egy pillangó szeleppel szabályozható a légáram nagysága, amit a mérések során nem használtunk, pontosabban állítható külső fojtást építettünk be, amellyel a kívánt légsebesség beállítható volt. A légsebesség méréshez egy Trisens típusú hődrótos anemnometert használtunk, amelynek a kérdéses tartományban a mérési pontossága 0,5 %.



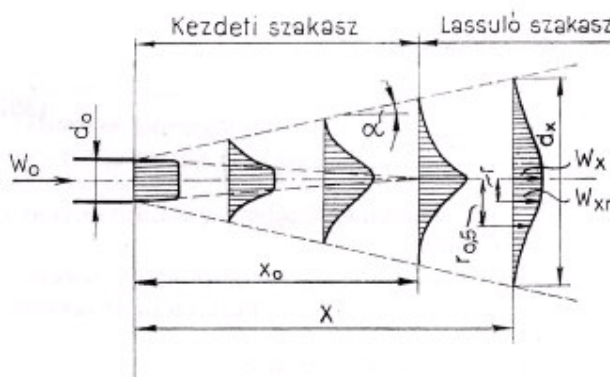
11. ábra

A légsebesség szabályozása

A pormintát tartalmazó tálcát a légcsőakat végétől 20 cm-re helyeztük el a csőátmérő keresztmetszetének középsíkájában.

A légáram állandó sebességű tartománya

A kifúvónyílásból vízszintes irányban kilépő, a környező levegővel azonos hőmérsékletű levegősugár –izotermikus légsugár – két fő szakaszra osztható: kezdeti illetve lassuló szakaszra (12. ábra)



12. ábra

Izotermikus szabad légsugár áramlása [13]

A kezdeti szakaszt az jellemzi, hogy annak kúp alakú magjában végig megmarad a kifúvónyílásban uralkodó sebesség. A magon kívül, a légsugár széle felé haladva csökken a sebesség. A lassuló szakaszban az áramlási irányra merőleges keresztmetszetben a sebességeloszlás a Gauss-féle normális eloszlást követ. A sebesség-profil bármely keresztmetszetben közelítőleg az

$$\left(\frac{r}{r_{0,5}}\right)^3 = 3,3 \log \frac{w_x}{w_{xr}} \quad (16)$$

összefüggés írja le, ahol

r	légsugár középvonalától mért távolsága [m]
$r_{0,5}$	a légsugár középvonalától mért azon távolság, ahol a sebesség fele a tengelysebességnek, [m]
w_x	tengelysebesség, [m/s]
w_{xr}	sebesség a tengelytől r távolságban, [m/s].

A légsugár főbb jellemzőire Fekete – Menyhárt kísérleti vizsgálatok alapján nyert összefüggéseket közöl [13].

Kör keresztmetszetű kilépő nyílás esetén a kezdeti szakasz hossza:

$$\frac{x_0}{d_0} = \frac{0,335}{a}, \quad (17)$$

x_0 a kezdeti szakasz hossza, [m],

d_0 a kifúvónyílás átmérője, [m],

a a turbulencia tényező, nagysága a nyílás kiképzésétől függ (a mi esetünkben az értéke 0,076)

A kezdeti szakasz hossza a fentiek alapján $x_0 = 2,20$ m.

A kezdeti szakaszban a légsugár átmérője

$$\frac{d_x}{d_0} = 1 + 6,8 \frac{ax}{d_0},$$

$$\frac{d_x}{0,5} = 1 + 6,8 \frac{0,076 \cdot 0,5}{0,5},$$

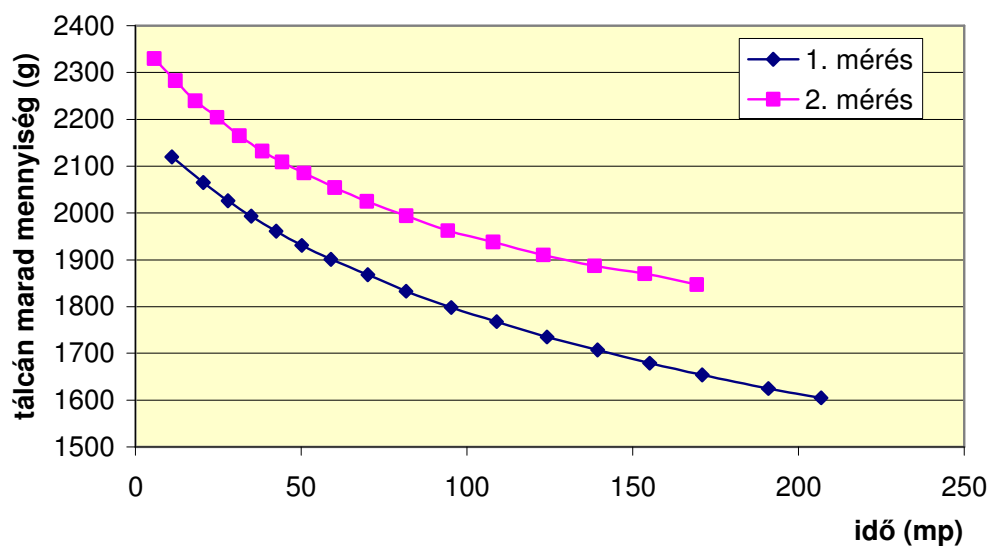
$$d_x = 0,5 + 6,8 \cdot 0,076 \cdot 0,5 = 0,76 \text{ m}$$

A kezdeti szakaszban a magban a légsugár átmérője $x=0,5$ m-es távolságban:

$$d_{mx} = \frac{d_0 \cdot (x_0 - x)}{x_0} = \frac{0,5 \cdot (2,2 - 0,5)}{2,2} = 0,38 \text{ m}.$$

A pormintát tartalmazó 30x30 cm-es tálca tehát a kezdeti légsugárban, annak magján belül helyezkedik el, s így a kísérletek során a tálca teljes területén azonos légsebesség uralkodik. Ezt méréssel is ellenőriztük, s a sebesség eltérés 1-2 % volt. A kimutatható hiba elhanyagolható, s nem haladja meg az áramlástani modellezések és mérések hibahatárát. A mért sebesség értékek 30 másodperces átlagértékeket jelentenek, a turbulens áramlásban mért pillanatnyi légsebesség értékek természetesen ingadoznak.

A mérések időtartamát 3 percben határoztam meg, ez elegendőnek mutatkozott, a teljes kiporzási folyamat végbemenetelére. A mérések elkezdése előtt megvizsgáltuk, hogyan változik a deflálódás az eltelt idő függvényében, amit a 13. ábra mutat. Ezt a kísérletet a legfinomabb szemnagyság-tartományú anyaggal, pernyével végeztem. Amint az látható, az elhordás az első 3 percben lényegesen intenzívebb, mint az azt követő szakaszban.



13. ábra

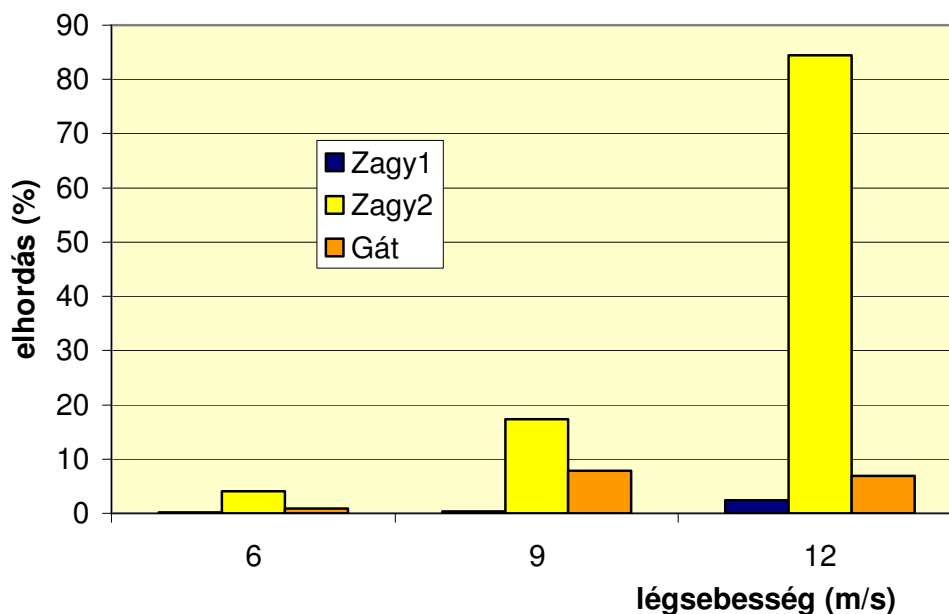
Tálcán visszamaradt mennyiség az idő függvényében

6 KIFÚVÁSI VIZSGÁLATOK

A vizsgált anyagok elhordási hajlandóságának a meghatározására olyan mérési és vizsgálati eljárás kidolgozását tűztem ki célul, amely összehasonlításra alkalmas, jól tükrözi a valóságban kialakuló viszonyokat és egyszerű laboratóriumi vizsgálatokkal elvégezhető. Ehhez az alábbi szempontokat mérlegeltem:

1. A zagytározók és a meddőhányók anyaga a felszíni néhány mm-től legfeljebb néhány 10 cm-ig terjedő vastagságban képes a kiporzásra, az alsóbb rétegek tömörek. A 3 cm-es mintavastagság jól modellezi a hányók és zagytározók felszínét.
2. Olyan vizsgálati időtartamot kellett választani, amelynél a mintaanyag teljes mennyiségű kihordása csak a deflációra legérzékenyebb anyagoknál fordul elő.
3. A mért értékek összehasonlításra használhatók, ezt az azonos vizsgálati időtartam mellett, az állandó vastagság, az azonos felület és a közelítőleg azonos tömeg biztosítja.
4. A kihordásnak a vizsgált területeken (zagytározókon, meddőhányókon) felső korlátja van, ezért vizsgáltam a bemért anyag százalékos kihordását.
5. Olyan mérési módot kellett választani, amelynél a kellő pontosság biztosítható, ebben az esetben ez a tömegmérés.
6. Amennyiben a vizsgált anyagok körét bárki bővíteni kívánja, az értekezésben kidolgozott mérési eljárást kell követnie.

A kiporzásra a szélesebbesség nagyságának döntő hatása van, ezért több légsebesség értéknél vizsgáltam a kiporzást. Az első mérések során kiderült, hogy 6 m/s alatti légsebességeknél a minták kiporzása gyakorlatilag nem értékelhető. Végeredményben a kísérletek során három légsebességnél (6, 9, 12 m/s) analizáltam az említett minták kiporzását, oly módon, hogy a tálcán lévő anyag tömegét mértem a megfújás előtt és után. A kifújtt anyag mennyiségét az eredeti tömeg százalékában adtam meg. A 14. ábrán példaként néhány gyöngyösoroszi minta kiporzási értékeit mutatom be a három légsebesség értéknél.



14. ábra

Gyöngyösoroszi minták elhordási arányai a légsebesség függvényében

Az ábráról leolvashatjuk, hogy a legfinomabb in situ eloszlású anyag, a **zagy2** szállt el a legnagyobb mértékben, majd ezután a **gát** anyaga következett, ami logikus, hiszen a gátra a durvább frakciót hordták ki. A szélnek a legjobban a **zagy1** állt ellen, annak ellenére, hogy ez a minta csakúgy, mint a zagy2 a zagy tározó belső részéről származott.

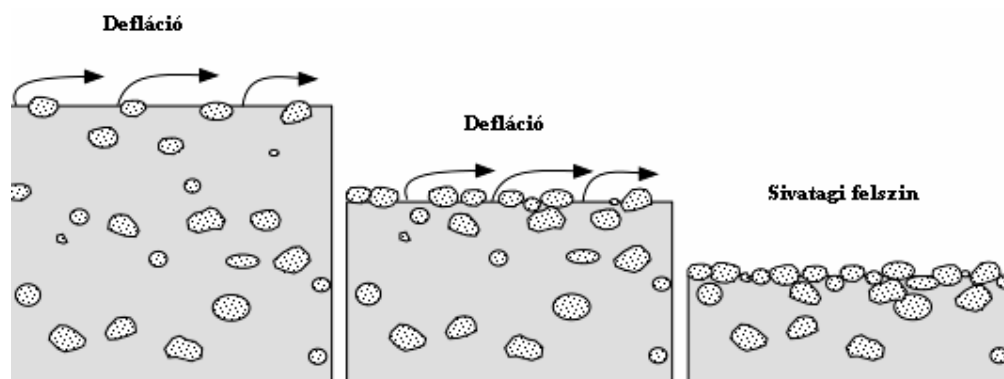
Az 14. ábra alapján egyértelmű, hogy a finomabb szemcséket nagyobb arányban tartalmazó mintáknál nagyobb az elszállt mennyiség. A kiporzásnál azonban meghatározó szerepe van a nagyobb szemcsék arányának is, mivel a nagyobb szemcsék akadályozzák a levegő áramlását, mintegy leárnyékolják és egyúttal meg is védik a nagyobb szemcsék közé beékelődött kisebb szemcséket a széleróziótól. Ezt jól mutatják a **gát** anyagával végzett kísérleteim, melynek során a már korábban bemutatott, egymástól jelentősen eltérő eloszlású anyagok kiporzása között – magas légsebességeknél – jelentős eltérések voltak (pl. 12 m/s-os légsebességnél, nagy szemcsék hiányában mértem 50% körüli kihordást is). A 15. ábrán a **zagy2** minta látható fújás előtt és fújás után (légsebesség 6 m/s).



15. ábra

Zagy2 a 6 m/s-os fújás előtt és után

A 16. ábra igazolja a fenti megállapításokat, könnyen felfedezhető a hasonlóság az elhordási folyamat elvi ábrája és a **zagy2**-ről készült fénykép (15. ábra) között.

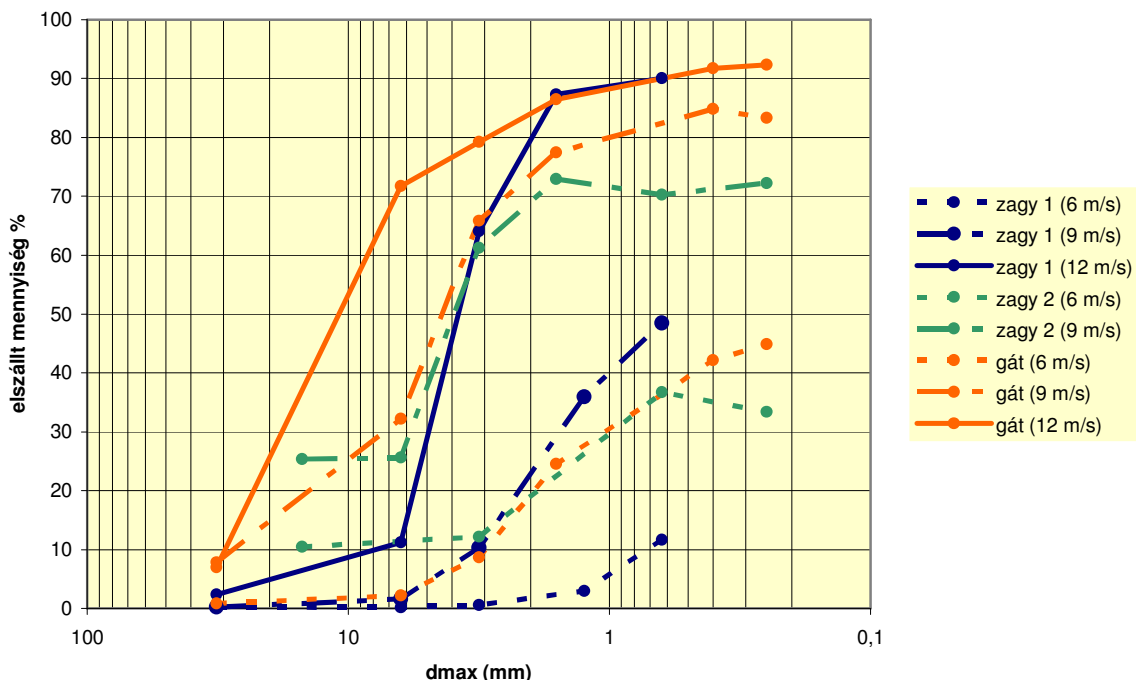


16. ábra

Az elhordás folyamata [32]

6.1 A szemcsenagyság hatása a kiporzásra a gyöngyösoroszi minták alapján

Az előző kísérletek és elemzések alapján egyértelmű volt, hogy a durva frakciók arányának hatása van a kiporzásra, de a várható kiporzási jellemzők meghatározásához szükség van a kapcsolat mennyiségi jellemzésére is. Ennek érdekében olyan kísérletsorozatot végeztem, ahol fokozatosan csökkentettem a mintákban a maximális méretű szemcsék nagyságát, azaz minden egyes fújási kísérlet előtt finomítottam a mintát. Az eredmény a következő diagrammon (17. ábra) látható, ahol az abszcisszán a leválasztott szemcsefrakció található, azaz a mintában található maximális szemcse mérete ($d_{\max}$), az ordinátán pedig az elszállt anyagmennyiség az eredeti tömeghez viszonyítva %-ban.



17. ábra

Defláció változása a halmazok maximális szemnagysága függvényében

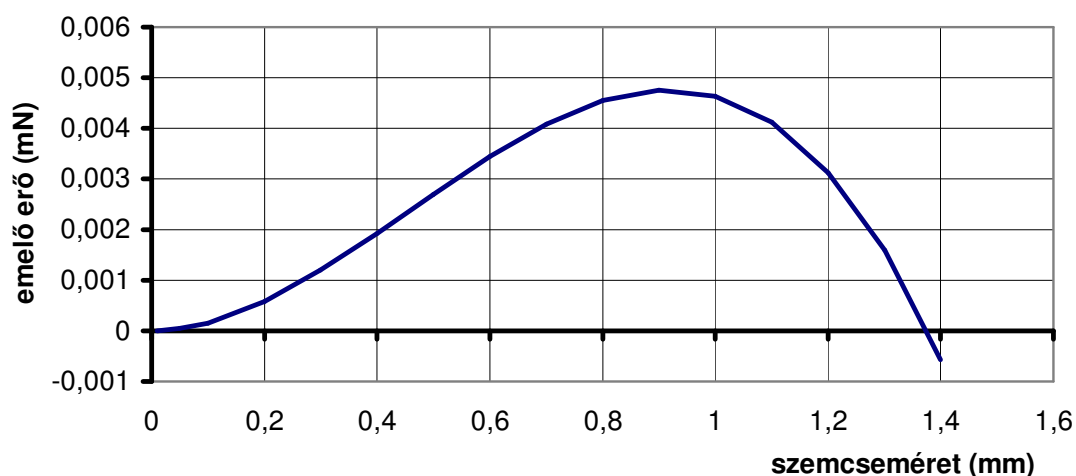
Azonos légsebességeknél a legnagyobb arányban minden $d_{\max}$ értéknél a **zagy2**, vagyis a legfinomabb in situ eloszlású (a szemcsék nincsenek összetapadva), anyag szállt el, olyannyira, hogy ezzel az anyaggal 12 m/s-os fújást nem is tudtam végezni. Ezt követte a **gát** anyaga, amelyből rendre kisebb mennyiség szállt el (erodálódott), legjobban a **zagy1** állt ellen a kiporzásnak.

A diagrammok jól elhatárolhatóan három részre oszthatók: az első szakaszon (a nagyobb $d_{\max}$ tartományban) a görbe lapos, a kihordott anyag mennyisége lassan növekszik a szemnagyság csökkenésével, ezt követi egy meredek emelkedés (ugrás), itt lehet meghatározni azt a szemcseméretet, amely alatt erősen megnő a kihordás, a görbék végén pedig az látható, hogy stagnálás ill. csekélyebb mértékű visszaesés következik be, azaz a minta finomításával a kihordott mennyiség ugyanazon légsebesség esetén akár csökkenhet is. Elméletileg a kihordás a 100 %-hoz, azaz a teljes kihordáshoz tart (ez 12 m/s-nál a **zagy2** mintánál be is következett). Mindhárom anyag lényegében hasonlóan reagál a durvább frakciók fokozatos eltávolítására, a görbék mégsem esnek egybe, mivel a minták szemcseeloszlása és egyéb anyagi tulajdonságaik eltérőek. Ilyen tulajdonság a tapadás, a belső súrlódási szög és a sűrűség.

A 3.2 fejezetben már volt arról szó, hogy a szemcsék akkor mozdnak el a felszínről, ha a dinamikus felhajtóerő nagyobb, mint a szemcsére ható tömegerő. Ez azt jelenti, hogy a felhajtó erő (F_f) az elmozdulás pillanatában a következőképpen alakul:

$$F_f = F_D - F_g = \frac{d^2 \cdot \pi}{2} \left(C_a \cdot \frac{\rho_l \cdot w^2}{4} - \rho_s \cdot \frac{d}{3} \cdot g \right) \quad (18)$$

A 18. ábrán ábrázoljuk az emelő erőt a szemcseméret függvényében.



18. ábra

Felhajtóerő a szemcseméret függvényében

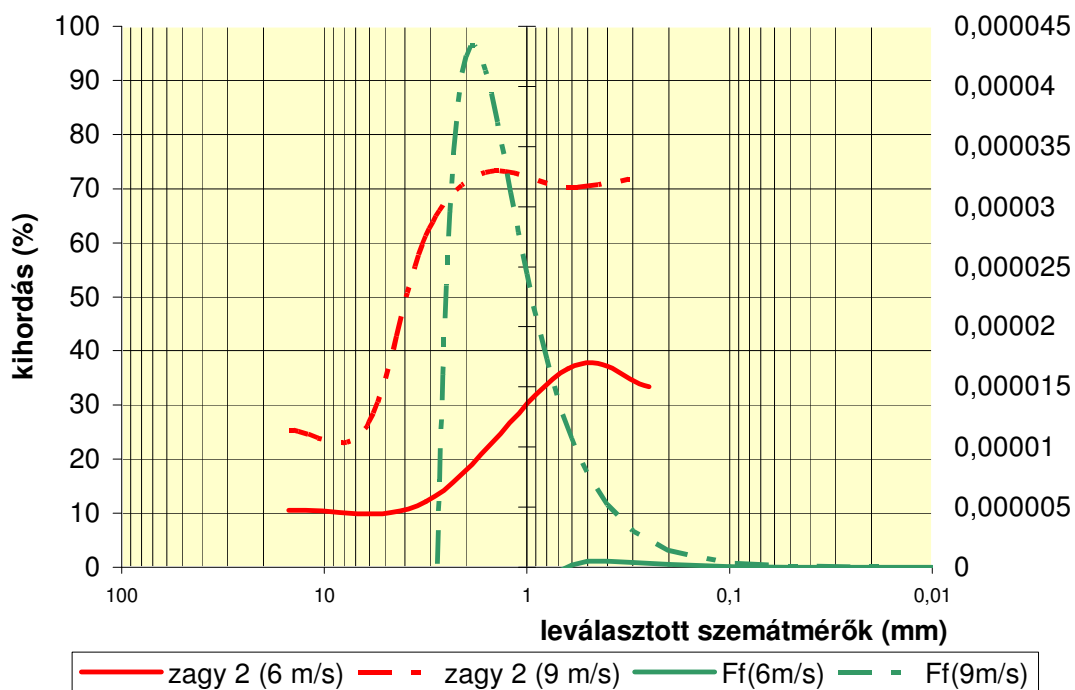
A görbéhez tartozó értékek: sűrűség 2400 kg/m^3 , légsebesség 6 m/s , a C_a tényező 1 .

A függvénynek maximuma van, a szemcseméret növekedésével tehát egy darabig nő a felhajtóerő, majd csökkenni kezd, végül az értéke negatívvá válik a tömegerő növekedése miatt. Ennek egyszerű magyarázata van, mivel a dinamikus felhajtóerő a szemcseméret négyzetével, a tömegerő pedig a szemcseméret köbével arányosan változik. A maximális felhajtóerőhöz tartozó szemcseméret értéke szélsőérték számítással meghatározható:

$$d_0 = C_a \frac{\rho_l w^2}{\rho_s g} \quad (19)$$

Azonos anyag és közelítőleg azonos szemcse alak esetén a d_0 értéke csak a légsebességtől függ.

Azok a kísérleti eredmények, amelyek az anyag szemeloszlásának finomításával a szemnagyságnak a kiporzásra gyakorolt hatását mutatják, összhangban vannak a felhajtóerő elméletileg levezetett változásával, amint ezt a 19. ábra tükrözi, ahol a zagy2 anyagra vonatkozó elméleti és mérési görbéket együtt tüntettem fel.



19. ábra

A **zagy2** minta kihordási értékei és az elméleti felhajtóerő változása a szemnagyság függvényében

A fentiek alapján megállapítható, hogy a maximális kiporzás értéke és a felhajtóerő görbéjének maximuma egy-egy légsebességnél, ugyanazon anyagnál közelítőleg ugyanazon szemcsemérethez tartozik. Az elhordás mennyisége is addig a pontig nő, amíg a felhajtóerő eléri a maximumot. A nagyobb szemcsék kihordása csökken, mivel a tömeget növekedésével csökken, majd negatívvá (lefelé mutatóvá) válik a felhajtó erő. A kis szemcsék esetén az egész tartományban megmarad a pozitív érték, azaz valamilyen mértékű felhajtó erő végig hat ezekre a szemcsékre, csupán egyre csökkenő mértékben. Ez mutatkozik meg a kísérleti eredményekben, amikor a kisebb $d_{\max}$ értékeknél a kihordás mértéke csökken. A kísérleti görbék és az elméleti görbék lefutás közötti kisebb eltérések oka az, hogy a véletlen hatások nem küszöbölhetők ki teljesen, nem homogén a minta, a $d_{\max}$ -tól kisebb szemcsék teljes spektruma

megtalálható a mintában. Az elméletileg is alátámasztható eredmény két szempontból is lényeges:

1. a legkisebb szemcsék tartományában a kiporzásra való hajlam a felhajtóerő csökkenése miatt csökken, de nem szűnik meg,
2. megadható az a szemcseméret, amelyre adott viszonyok esetén még hat felhajtóerő (kiszámolható a $d_{0\max}$ értéke az $F_f=0$ összefüggésből). Ezt az eredményt a védekezésnél lehet kihasználni, amint erre később rátérek.

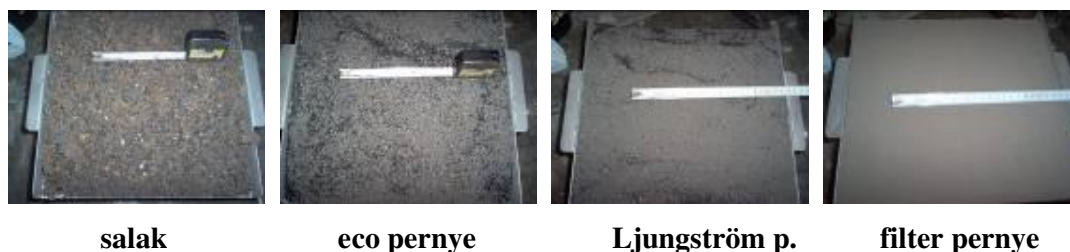
6.2 Visontai égéstermékek (salak és pernye) zagytéri deflációja

A kutatás alapvető célja annak vizsgálata, hogy a zagytéren tárolt erőműi égéstermékek megszilárdulása után milyen mértékű kiporzás jelentkezhet, a kiporzás milyen mértékben terheli a zagytároló környezetét. A vizsgálatot indokolja, hogy a füstgáztisztítás bevezetésével meghatározzuk, a füstgáz-kéntelenítésből származó REA-gipsz és –víz hányótérre szállítása a tárolt anyag kiporzását milyen módon, ill. mértékben befolyásolja.

A zagytérre kerülő anyag a szállítóközegként szereplő víz döntő részét elveszti. A víz részben elszivárog, keveredik a talajvízzel, részben pedig a zagy felszínéről a légköri hatásokra (napfény, szél) elpárolog, a zagy megszilárdul [52].

6.2.1 A technológia egyes égéstermékeinek deflációs jellemzői

A visontai anyagra vonatkozó vizsgálatok első részében a szilárd égéstermékek kiporzásának mértékét határoztuk meg, külön-külön égéstermékenként. A 20. ábra a mintatartó tálcára helyezett salak, **ECO pernye**, **Ljungström pernye** és **elektrofilter pernye** anyagokat szemlélteti. A mérési eredményeket az 2. táblázat tartalmazza, az elhordás mértékét a légsebesség függvényében a 21. ábra mutatja.



20. ábra

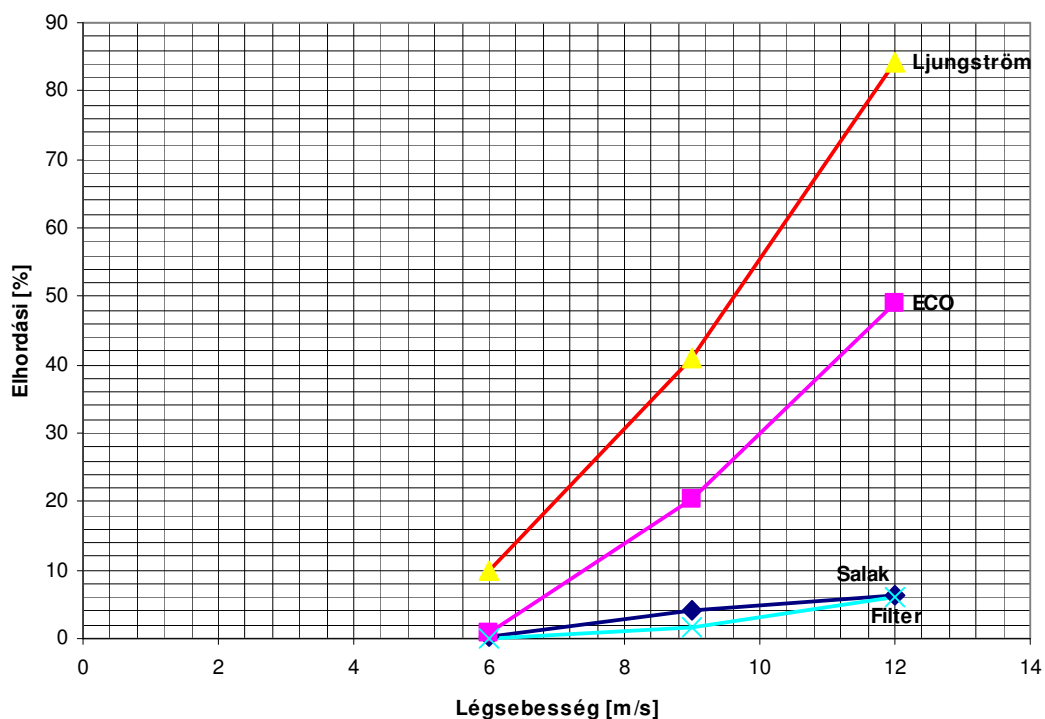
A Visontai erőmű égéstermékei

A mintaanyagok a zagytározóra történő csővezetékes szállítást megelőző helyről származtak, a csővezetékben létrejövő aprózódás és nedvesítés hatása tehát még nem jelentkezett. Az aprózódás elsősorban a salakanyagnál jelentkezhet a csővezetékiállítás során, mivel a **salak** viszonylag alacsony sűrűségű, üreges, porózus szemcsékből áll, a könnyű részecskéket körülveszi egy üvegszerűen megszilárdult aprószemcsékből álló burok. A csővezetékiállítás előtt – keletkezési állapotban – az önálló darabok alakja ágas-bogas, csápszerű, emiatt nagyfokú az érdessége, a szemek egymásba „kapaszkodnak”, ez az állapot akadályozza a légáram hatására történő elmozdulást. Aállítás nélküli, aprózódás mentes salak elhordása viszonylag kismértékű. (2. táblázat, 21. ábra)

Anyag	Légáram sebessége [m/s]	Elhordott (kiporzott) mennyiség [%]
Salak	6	0,34
	9	4,02
	12	6,41
ECO pernye	6	0,84
	9	20,44
	12	48,94
Ljungström pernye	6	9,92
	9	41,12
	12	84,16
Filter pernye	6	0,13
	9	1,56
	12	6,13

2. táblázat

Kiporzási (elhordási) adatok szilárd égéstermékeknél



21. ábra

A szilárd égéstermékek elhordása különböző légsebesség értékeknél

A kísérletek meglepő eredménye, hogy a salakanyag kiporzása mellett hasonlóan kis-mértékű az **elektrofilter pernye** elhordása is. A filterpernye a legfinomabb szemeloszlású égéstermék. Az elhordás mennyisége azért csekély, mert a finom szemcsék jól tapadnak egymáshoz, emiatt a várakozással ellentétben az elhordás mértéke kisebb, mint a „durvább” **ECO** és **Ljungström pernyénél**. A tapadás jellemzésére meghatároztuk a belső súrlódási szöget, ebből pedig a tapadó súrlódási tényezőt az anyagokra: ez az **ECO pernye** esetén 0,59, míg az **elektrofilter pernyénél** 1,14, azaz csaknem kétszeres. A filter pernyének az elhordással szembeni jelentős ellenállását az elektromos erőterben történő leválasztása és a kiszállítás előtti pneumatikus szállítása is magyarázza, szemben a többi égéstermék mechanikus leválasztásával és a tárolóig történő nedves szállításával.

Az **elektrofilter pernye** kiporzási tulajdonságainak tisztázása érdekében olyan mérést is végeztünk, amikor az anyag felületét barázdáltam, illetve a pernyét 0-2 mm szemcsenagyságú kavicsal kevertem.

A finom szemcsék „tapadása” a barázdálás ellenére is megmarad, 6 m/s-os légsebességnél a kihordás nem növekedett. (22. ábra). A felszín mechanikai úton történő megbontása

során az anyag tapadása tehát számottevően nem csökkent. A finom szemcsék tapadását elméletileg csökkentheti, ha durvább, kevésbé tapadó anyaggal keverjük. Ezért a finom filter pernyébe 0-2 mm szemnagyságú „durva” anyagot kevertem (22. ábra), ennek ellenére az elhordás mennyisége tovább csökkent, 12 m/s légsebesség mellett 6,13%-ról 1,24%-ra. A filter pernye esetén tehát a durva szemcsék nem csökkentették a finom szemcsék közötti tapadást, érvényesült viszont a durva szemcsék szélárnyékoló hatása. A nagyobb méretű szemcsék kiporzásra gyakorolt hatásáról később lesz szó, itt annyit meg kell említeni, hogy a kapott eredmény egybevág a többi anyaggal végzett hasonló mérések eredményeivel.



22. ábra

Elektrofilter pernye kavics bekeverésével és barázdált felszínnel

Az **elektrofilter pernye** szemcséi között fellépő jelentős mértékű tapadást a nagyon finom, egyenletes eloszlású szemcsézettség mellett – mint említettem – az okozza, hogy a szemcsék elektromos töltést kapnak a leválasztás során. Ez az erős tapadás, vonzás az elektrofilter tisztításánál is gondot okoz, a tisztítást többnyire mechanikai úton, rázással oldják meg [53].

6.2.2 A REA-gipsszel kevert anyag kiporzási jellemzői

A sűrűzagyként a zagytérre kiszállított salak, pernye és a füstgáztisztításból származó gipsz keveréke az iszapolódás (víztelenedés) és a természetes kiszáradás következtében összeáll és megkeményedik. Mivel a visontai salak-pernye anyagok hidraulikus tulajdonságait meghatározó $\text{CaO}+\text{MgO}$ tartalma viszonylag alacsony, a megszilárdult zagytéri anyag szilárdsága viszonylag kicsi. A zagytéren összekeményedett in situ anyagból kivágott minták szilárdsága is alacsony, az anyag könnyen törik, aprózódik.

A zagytéri viszonyok szimulálására a mintakészítés során az összeállt anyagból szeleteket vágunk. A zagy szeletelése során jelentős mennyiségű finom frakció is keletkezett, de ennek csak kis hányadát használtuk fel a mintához, mivel a megszilárdult, kissé összetört felszín viselkedését kívántam meghatározni.



23. ábra
A minták előkészítése

Az összeállt anyagból kialakított mintainak (23. ábra) a kísérlet következtében létrejött felületi állapot változását a 24. ábra fényképei szemléltetik. A kiporzási vizsgálat során megfigyelhető volt, hogy az anyag – a lerakódási mód és a deponálás során lezajló ülepedés következtében – réteges, lemezes szerkezetű. A légáram hatására ezek a lemezek felszakadnak és a vékonyabb, kisebb tömegű leszakadt részek el is szállnak. A légáram a finom frakció jelentős részét kifújja a nagyobb „tömbös” részek közül. (24. ábra) Ez természetesen függ a rések, felületi törések vonalának a szélirányhoz viszonyított helyzetétől is. A „hosszirányú” réseket az egyre magasabb légsebesség „kitakarítja”, a keresztirányú résekben főleg a nagyobb szemcsék a kísérlet végén is megmaradnak.



eredeti minta



6 m/s légseb. után



9 m/s légseb. után



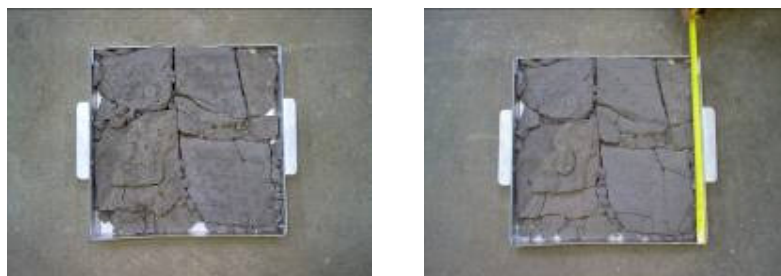
12 m/s légseb. után



21,5 m/s légseb. után

24. ábra
Fokozatos elhordás a légsebesség emelésével

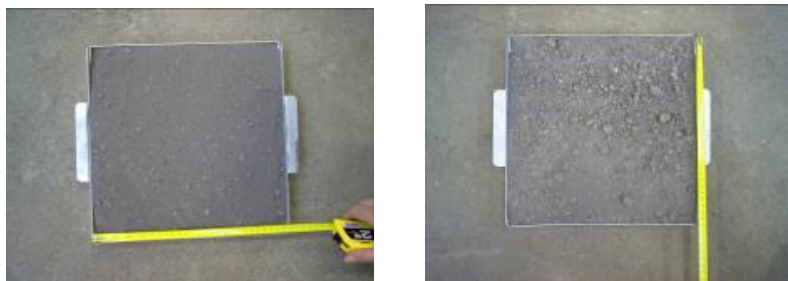
A 21,5 m/s-os légsebességgel teljesen „kifúj” anyag maradékának felszínét barázdáltuk és újbóli kísérletnek vetettük alá (25. ábra). A légáram elfújta a megbontott felszínen levő finom frakciót, ennek során 2,75 % volt az elhordott anyag, lényegében véve a megbontott, finom hányad teljes mennyisége.



25. ábra

A barázdált minta fújás előtt és után

Külön mérést végeztem a mintakészítés során szétmorzsolódott tömbös zagy anyagával is, mivel ez a jelenség különböző mechanikai hatásokra a zagyterületén is kialakulhat. A mintaanyagok kiszárítása után látható volt, hogy az anyag két eltérő tulajdonságú halmazból áll. Az egyik mintában több a salak összetevő, ebből készítettük az ún. durva mintát (26. ábra), a finomabb frakció anyagából állt össze az ún. finom anyag. (27. ábra). A zagy tározóról véletlenszerűen vett minták alapján kijelenthető, hogy a keveredés nem tekinthető teljesnek, a kiszállított anyag inhomogén, hasonlóan a gyöngyösoroszi zagy tározóban szerzett tapasztalatokhoz. A méréseket kezdetben kisebb (2-3 m/s) légsebességekkel végeztük. Számottevő elhordás (a fújás előtti és utáni tömeg különbsége) azonban csak a 6 m/s-os sebességnél jelentkezett (korábban említettem, hogy a többi anyag esetében hasonló tapasztalatot szereztem).



26. ábra

A „durva”anyag fújás előtti és utáni állapota



27. ábra

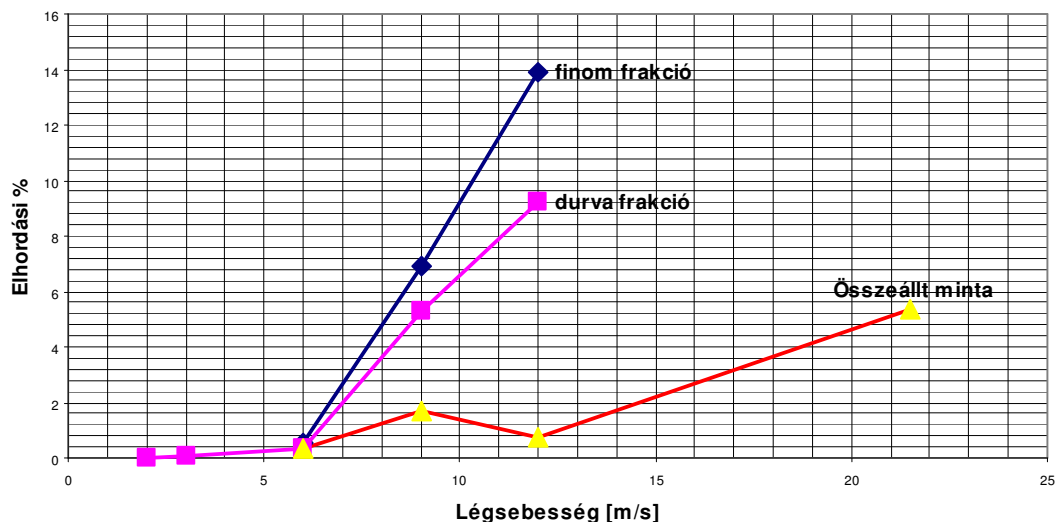
A „finom” anyag 6 m/s utáni és 12 m/s utáni állapota

Anyag	A légáram sebessége [m/s]	Elhordott (kiporzott) mennyiség [%]
Összeállt minta	6	0,36
	9	1,67
	12	0,73
	21,5	5,39
Durva frakció	2	0
	3	0,06
	6	0,32
	9	5,3
	12	9,20
Finom frakció	6	0,55
	9	6,92
	12	13,86

3. táblázat

A zagyteri – REA-gipszet tartalmazó – minták kiporzási (elhordási) adatai

Az elhordási (kiporzási) értékeket a 3. táblázat, ill. a 28. ábra tartalmazza. Az adatok jól mutatják, hogy ha a zagyter megszilárdult felületét érő különböző hatások (erős szél, élőlények mozgása, közlekedés) megbontják, akkor a kiporzás mértéke a felületi aprózódás mértékének megfelelően fokozódhat.



28. ábra

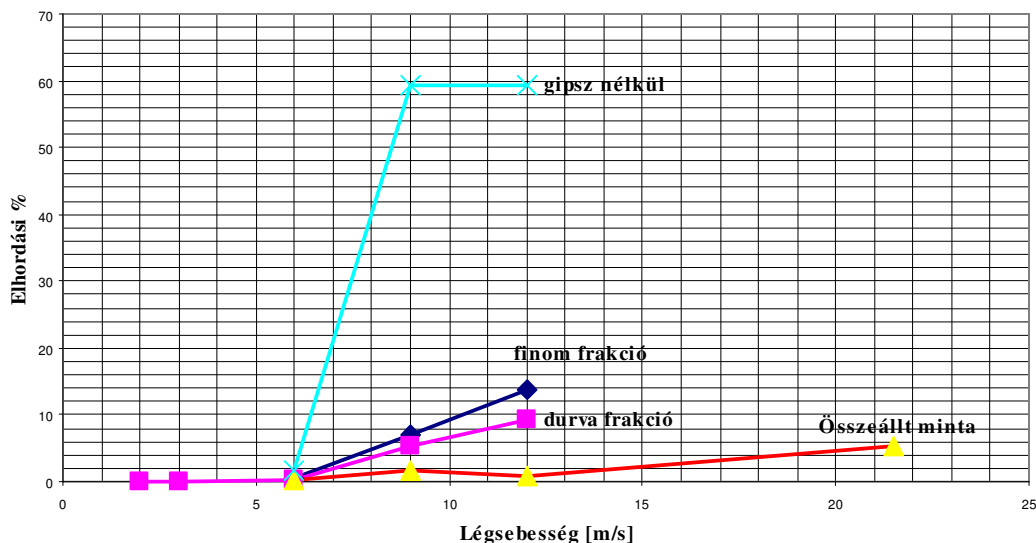
A zagyteri minták kiporzási adatai

6.2.3 A kevert minták kiporzási jellemzője

A fejezet elején bemutatott első vizsgálati csoportnál a gipszel nem keveredett a technológiából csaknem érintetlenül kikerült égéstermékek kiporzási jellemzőit határoztam meg. (2. táblázat, 21. ábra). Második lépésként a REA-gipszel együtt a zagyterre szállított maradék anyagok elhordási adatait elemeztem. (3. táblázat, 28. ábra)

A gipsz „bekeverés” kiporzást befolyásoló hatásának elemzéséhez szükség volt egy gipszet nem tartalmazó, kevert égéstermékekből álló minta létrehozására. A mintát „mesterségesen” állítottam elő, mivel az új füstgáztisztítási technológiát megelőzően létrejött, 2000 előtti zagyteri felület már nem hozzáférhető. A kevert mintában az egyes égéstermékek (salak és a 3 különböző pernye) tömegaránya ugyanaz, mint a zagyteri összletben [54].

A 29. ábra diagramja mutatja, hogy a gipsz nélküli minta kiporzása 9-12 m/s légsebességnél eléri az 50-60%-ot. A 28. ábrán szereplő gipszes anyag kiporzási értékeihez viszonyítva megállapítható, hogy a gipsz nélküli kevert minta értékei, **jelentősen meghaladják a „gipszes” minták 10-14 %-os kiporzási értékeit.**



29. ábra

Kiporzási értékek a légsebesség függvényében

A mérési eredmények alapján több következtetés vonható le:

1. Megállapítható, hogy a REA-gipsz égési maradékokkal együtt történő kiszállítása (deponálása) **jelentős mértékben – kb. egyötödére – csökkenti a zagytározó felületének kiporzási hajlandóságát.**
2. A kapott eredmények arra is figyelmeztetnek, hogy célszerű a kiszállított zagy homogenitásának megőrzésére, különösen a gipsz egyenletes bekeverésére figyelmet fordítani.
3. Törekedni kell a tárolón megszilárdult zagyfelszín mechanikai sérüléseinek a lehetőségét minimálisra csökkenteni.
4. Célszerű megvizsgálni, hogy a REA-gipsz (zagy) nem használható-e fel más lera-kóknál a kiporzási hajlam csökkentésére.

6.3 A síktálcás mérési eredmények összesítő kiértékelése

A felszínről elhordott anyag mennyisége több tényezőtől függ, amelyek között kitüntetett szerepe van a felszínen található por szemcseeloszlásának, szemcsenagyságának, a szélességnek, az anyag sűrűségének, a szemek közötti adhézióknak, tapadásnak, valamint a nedvességnek és a felszín mikroformáinak.

A zagytározók, meddőhányók, égéstermékek anyagával és a homokkal végzett kísérletek alapján az egyes tényezők szerepét kívánom meghatározni, annak érdekében, hogy a helyszín és az anyagok tulajdonságainak ismeretében becslések legyenek készíthetők a várható kipurzásra.

A kísérletek alapján a kihordott tömeg mennyiségét elsősorban a szemnagyság és a légsebesség függvényében vizsgáltam, mivel ez a két paraméter tűnik a kihordott mennyiség szempontjából meghatározónak, és a szakirodalmi áttekintés is ezt támasztja alá. A szemcseeloszlási vizsgálatok alapján megállapítható volt, amint már szóltam róla, hogy a gyöngyösoroszi ércelőkészítőben alkalmazott kétféle technológiából kikerülő zagyok szemnagyság-eloszlása között jelentősebb különbségek is kialakultak, amint ezt a visontai égéstermékek esetén is bemutattam. Elvileg meghatározható egy adott szélesség hatására elmozduló szemcse mérete ill. adott méretű szemcse kimozdítására képes szélesség, ez csak tájékoztató érték lehet, mivel a zagytározók felszínén a szemcseeloszlás nem egyenletes. Az előzőek miatt a kihordott por tömege még az azonos anyagú és közelítőleg azonos szemcseeloszlásúnak tekinthető mintákban is ingadozik. A defláció jelenségét csupa olyan tényező befolyásolja, amelyek sztochasztikusnak tekinthetők az anyagokat és a körülményeket jellemző értékek véletlenszerű tér és időbeli eloszlása miatt. Ilyen esetekben segíthet a függvényszerű kapcsolatok feltárásában a regresszió analízis, amit ebben az esetben is használtam.

6.3.1 Kapcsolat az elhordott mennyiség és a szemnagyság között

A mérési eredmények alapján egy olyan regressziós függvény, függvények meghatározásra törekedtem, amellyel meghatározható a bányászati és energetikai meddő anyagok kipurzási hajlandósága a jellemző paraméterek függvényében. A regresszió analízis során a Gausstól származó, közismert eltérések négyzetösszegének minimumán alapuló függvényillesztést használtam. Mivel a függvények illesztésének a megfelelőségét is vizsgálni kell, röviden bemutatom a regresszió analízis során ehhez használt paraméterek értelmezését és számítását.

A korrelációs index és a becslés becslött hibája

A regresszió analízis statisztikai módszer, amellyel elemezhető, hogy egy változó értékeinek változása milyen mértékben követi egy másik változó értékeinek változását. Amennyiben sok véletlen hatás befolyásolja a két változó közötti kapcsolatot, akkor a regresszió analízissel az átlagos kapcsolatot határozzuk meg.

Amennyiben a függő és a független változó közötti kapcsolat nem lineáris, akkor a függvénykapcsolat szorosságát a korrelációs indexszel jellemezzük, amit az alábbi összefüggéssel számíthatunk [12]:

$$I = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - y_a)^2}}, \quad (20)$$

ahol y_i és x_i – az i -edik összetartozó értékpár,

$f(x_i)$ – a regressziós függvény i -edik x értékhez tartozó értéke.

A korrelációs index értékének négyzetét nevezik determinációs indexnek is, és azt fejezi ki, hogy a függő változó értékének változását milyen arányban magyarázza meg a vizsgálatba bevont független változó változása. A 100 %-os tökéletes korrelációhoz viszonyított elmaradást más - a regresszióba be nem vont - tényezők függő változóra gyakorolt hatása okozza.

Az y értékek x értékekből történő becslésének hibáját az alábbi szórás jellegű mennyiséggel becsüljük:

$$D_{\Delta y} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2}{n - m}} \quad (21)$$

ahol n - az értékpárok (pontok) száma,

m – a regressziós függvény konstansainak a száma.

A becslés becslött hibáját az y értékek dimenziójában kapjuk, s arra ad felvilágosítást, hogy átlagosan milyen hibával tudjuk egy x értékből a regressziós függvény segítségével y értékét megbecsülni.

Regresszió analízis

Amint a 6.1 fejezetben bemutatam, különböző szemnagyságoknál leválasztva a mintákat, vizsgáltam a kihordott mennyiséget. Ahogy csökkent a mintákban a maximális szemcseméret egyre nőtt a kihordott mennyiség.

Az első vizsgálatok során a gyöngyösoroszi zagytározókról származó mintákat külön-külön vizsgáltam egy-egy légsebesség értéknél, s kerestem a kapcsolatot a szemnagyság és a kihordott tömeg között. A kísérleti eredmények alapján több függvénytípus illeszkedését vizsgáltam, a legjobbnak az alábbi exponenciális függvény bizonyult, amely elméletileg is alátámasztható függvényforma, s jól közelíti a mérési eredményeket.

$$m = b \cdot e^{-ad_{\max}} \quad (22)$$

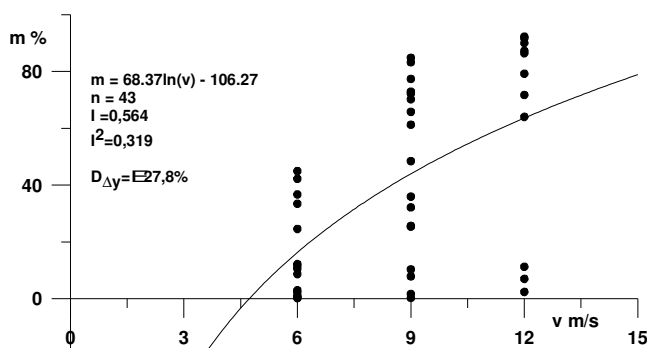
A korreláció minden esetben szoros, ami részben a kevés adattal is magyarázható. Az I értékek között a legrosszabb 0,871, a legjobb 0,999. Az I^2 értékei is általában jók, két kivétellel mindegyik 0,95 fölött van, az alacsonyabb értékek: 0,76 és 0,85. Ez azt jelenti, hogy a kihordott portömeg nagysága egy adott anyagfajtánál és adott légsebesség értéknél 95 %-ban a mintában lévő maximális szemnagyságtól függ. A két leggyengébb mintában ez a függés 76 ill. 85 százalékos.

Megvizsgáltam ugyanezt a függvénykapcsolatot a kihordott tömeg és a porminták átlagos szemnagysága között is. Csekély eltéréssel hasonló eredményt kaptam.

A függvénykapcsolat általánosítása érdekében megkíséreltem az összes gyöngyösoroszi mérés **adatait együtt vizsgálni**, s valamennyi minta adatából meghatározni a függvénykapcsolatot a kihordott tömeg és a szemnagyság között, azaz eltekintettem a légsebesség szerinti csoportosítástól. A korrelációs index négyzetének értéke a korábban vizsgált exponenciális függvény esetén (22) a maximális és az átlagos szemnagyságnál is 0,4 körül van, ami azt jelzi, hogy **csak a szemcseméret függvényében nem határozható meg a kihordott tömeg nagysága még egy meghatározott tározó esetén sem**.

A különböző mintákon végzett mérések eredményei egyértelműen arra utalnak, hogy a szemnagyságon kívül más tényezők befolyását is figyelembe kell venni. Mint említettem az elméleti megfontolások is a **légsebesség** jelentős befolyására utalnak, ezt a változót vontam be a vizsgálatba a következőként.

Három légsebesség értéknél tudtam érdemi méréseket végezni, mivel 6 m/s alatti sebességek esetén por kihordás nem, vagy alig volt mérhető. Egy-egy adott minta esetén tehát három sebesség értéknél mértem, ami alapján függvény kapcsolatot önmagában nem vizsgálhattam a kevés adat miatt. A légsebesség függvényében 6 és 9 m/s között erősebb a kihordott pormennyiség növekedése, a magasabb tartományban (9 és 12 m/s között) az emelkedés meredeksége csökken. Ez azzal magyarázható, hogy magasabb légsebességeknél a finom szemek viszonylag gyors kihordása után visszamaradó szemcsehalmazban megnőtt a nagyobb szemek hányada, s ezek a teljes tömeg csökkenésével a halmaz felszínére kerültek, s egyre erősebben gátolták a kihordást, a finomabb szemcsék mozgását. Ezt a hatást a később bemutatott módon a szemcsenagyság szórásával vesszem majd figyelembe.

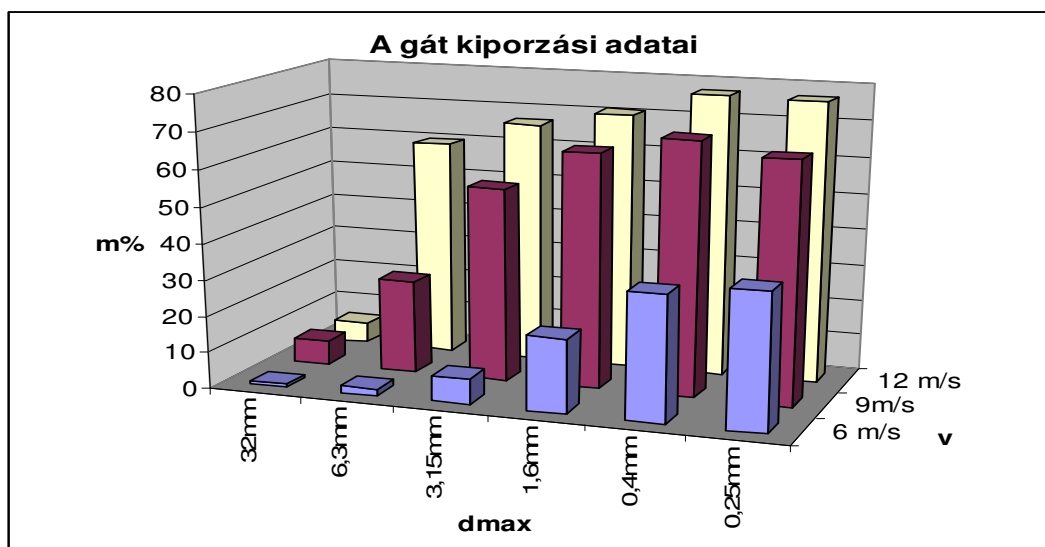


30. ábra

A kihordott por tömege és a légsebesség közötti kapcsolat

Az összes mérési adatot együtt vizsgálva másodfokú ill. logaritmikus függvényt illesztve, gyenge korreláció mutatkozott a tömeg és a légsebesség között, $I^2 = 0,3$ körül van, ami egyértelműen arra utal, hogy más tényezőknek lényegesen erősebb hatása van a kihordásra, mint a légsebességnek. (Ez látszik a 30. ábrán is, hiszen nagyon nagy a pontok szórása egy-egy légsebesség értéknél.)

Vizsgáltam a függvénykapcsolat szorosságát kétváltozós regresszióval is, kerestem az $m=f(d,v)$ függvénykapcsolatot.



31. ábra

A gát kiporzási adatai

A 31. ábrán 3D-s oszlopdigrammon ábrázoltam a gát anyagával végzett kísérletek eredményeit, s látható, hogy az értékek elhelyezkedése megfelel a várakozásoknak, csökkenő szemmagysággal és növekvő sebességgel nő az elhordott anyag mennyisége. Több függvény típust vizsgálva a legjobb eredményt az alábbi függvény adta:

$$m = be^{-ad_a} + c \cdot \ln v + f \quad (23)$$

Ebben az esetben 0,78 volt az I^2 értéke, ami ugyan jelentős javulás, a korábbi vizsgálatokhoz képest, de abszolút értelemben még mindig alacsony a korrelációs index értéke.

Vizsgáltam az

$$m = c \cdot \left(\frac{1}{d}\right)^a \cdot v^b \quad (24)$$

függvényt is, amely a pontok elhelyezkedése alapján jól illeszkedőnek tűnt, de a kapott korrelációs index nem igazolta a várakozást ($I^2 \approx 0,7$).

6.3.2 Regressziós vizsgálat korrigált szemnagyság segítségével

Mivel az egyszerű regressziós elemzések nem vezettek eredményre, és egyértelmű volt, hogy több paramétert kell bevonni a vizsgálatba, más eljárást kerestem. A kiporzást befolyásoló tényezőket a regressziós vizsgálatban dimenzió nélküli paraméterként veszem figyelembe, olyan módon, hogy az átlagos szemnagyság értékét korrigálom. Az elemzések kezdetén a légsebességgel együtt vizsgáltam a finom szemek közötti tapadás hatását is, ami a kísérleti vizsgálatok alapján meghatározó tényezőnek mutatkozott. Ennek jellemzésére a korábban már ismertetett φ belső súrlódási szöget használom, amelynek a tangense a tapadó súrlódási tényező. A szemnagyság értékét tehát korrigáltam egy sebesség és egy tapadási tényezővel. A sebesség korrekció a $9/v$ értékkel történik, mivel a vizsgált légsebesség tartomány középértéke 9 m/s , a φ szög középértéke pedig 34° , ezért itt a korrekció értéke $\varphi/34$ lesz. A korrigált szemcseméret ennél a vizsgálatnál:

$$d_{\text{kor}} = d_a \cdot \frac{\varphi}{34} \cdot \left(\frac{9}{v}\right)^2 \quad (25)$$

A már ismertetett exponenciális függvényben a továbbiakban független változóként a d_{kor} szerepel. Az

$$m = b \cdot e^{-a d_{\text{kor}}} \quad (26)$$

függvény regressziós elemzéséből az I^2 értéke $0,8806$. Amint látható, a kihordott por tömege három tényező (átlagos szemnagyság, sebesség, belső súrlódási szög) függvényében már viszonylag jól meghatározható, a kihordás változásának 88% -a magyarázható a felsorolt három tényező változásával. A becslés pontossága bár nagyon sokat javult, nem kielégítő ($D_{\Delta y} = \pm 11,8\%$), a pontosság növelése érdekében további elemzésekre van szükség.

A korábban jobbnak talált maximális szemcseméretet használva a szemnagyság átlagos értéke helyett, a korreláció jóval gyengébb, $I^2 = 0,56$ körül van. Ez azt jelenti, hogy a maximális szemnagyság a dimenzió nélküli analízist alkalmazva nem tekinthető jól jellemző tényezőnek.

A regressziós függvény formáját változtatva, valamivel jobb korrelációt mutat az

$$m = b \cdot e^{c \cdot d_{\text{kor}} - a \cdot d_{\text{kor}}^2} \quad (27)$$

összefüggés, $I^2=0,8824$. A javulás nem jelentős, ezért ezt a függvényt a továbbiakban nem használtam a vizsgálatához, mivel elméletileg csak egy szűkebb szemcsetartományban lenne alkalmazható. Ez a görbe a kis szemcsék tartományában elméletileg nem írja le jól a várható függvénykapcsolatot. (lásd később a jó függvényformát).

A minták átlagos sűrűsége között kisebb eltérés van, s mivel elvileg a sűrűség is befolyásolja a mozduló szemcse méretét, ezért ezzel is korrigáltam az átlagos szemcseméretet. A korreláció kis mértékben javult, azaz megállapítható, hogy a sűrűség hatása kis eltérések esetén is kimutatható. (A visontai minták később sorra kerülő vizsgálata is bizonyítja, hogy a sűrűség nem elhanyagolható paraméter.)

Korábban láttuk, hogy a nagyobb szemcsék jelentősen befolyásolják a kiporzást, amit az átlagos szemnagyság önmagában nem tud figyelembe venni, ezért meghatároztam az eloszlások szórását is, és ezt is bevontam a regresszióba. Ennél a paraméternél a dimenzió nélküli tényezőt a szemnagyság várható értékével való osztással teremtettem meg, ez jobb eredményt adott, mint az átlagos szóráshoz való viszonyítás.

Ezen tényezők bevonása a korrelációba egyre csökkenő mértékben ugyan, de javított a regresszió. Az egyes korrekciós tényezők súlyát elméleti megfontolások és számítások alapján határoztam meg.

A korrigált szemcseméretet az alábbi összefüggéssel határozhatjuk meg.

$$d_{korr} = d_{vh} \cdot \left(\frac{9}{v}\right)^{2,5} \cdot \frac{\varphi}{34} \cdot \frac{2,64}{\rho} \cdot \left(\frac{\sigma}{d_{vh}}\right)^{0,25}, \text{ mm} \quad (28)$$

A korrekciós tényezők:

v- szélesség, m/s,

φ - belső súrlódási szög, °

ρ - sűrűség, t/m³,

σ - szemcseeloszlás szórása, mm

A függvény

$$m = b \cdot e^{-a \cdot d_{korr}} \quad (29)$$

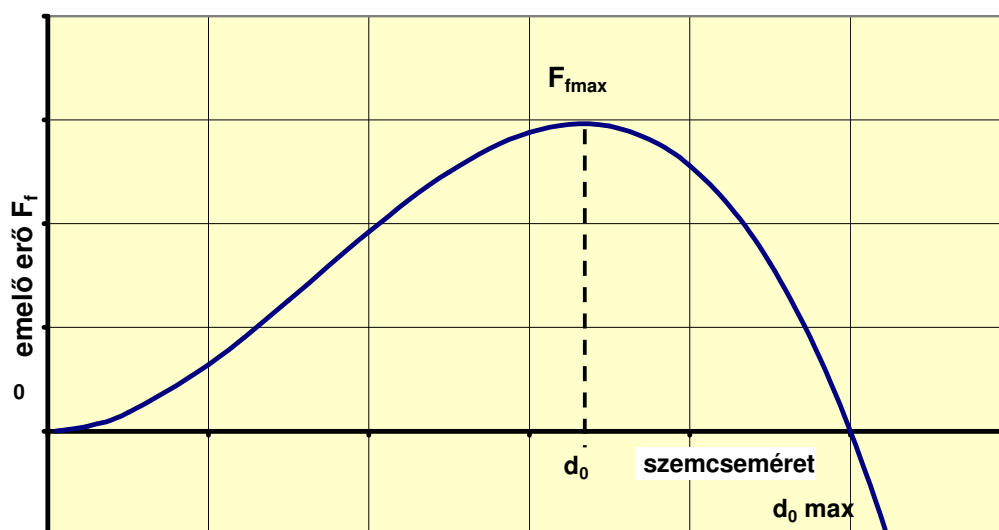
b=104,92 , a=2,57, n=43, $I^2=0,9167$, $D_{\Delta y} = \pm 9,84 \%$.

A kiugró mérési adatot elhagyva, javuló eredményt kapunk.

$b=106,82$, $a=2,75$, $n=42$, $I^2=0,9332$, $D_{\Delta y} = \pm 8,75 \%$.

Amint ezt a 6.1. fejezetben bemutattam, a kis szemcseméreték tartományában a szemcse nyugalmi helyzetében a szemcsékre ható, felfele mutató eredő erő a legkisebb szemcseátmérőtől egy ideig növekszik, majd később csökken, sőt negatívvá válik, azaz lefele irányul.

Ez a hatás a szemcsék kimozdulását befolyásolja (19. ábra), ezért ennek a korrekciójával is számoltam.



32. ábra

A felhajtó erő változása a szemcsenagyság függvényében

Az emelő erőt figyelembe vevő korrekciót a (15) elméleti összefüggés alapján a következő módon számíthatjuk (jelölések a 32. ábrán):

- ha $d_a \geq d_{0 \max}$ $\rightarrow f = 1$,
- ha $0 < d_a < d_{0 \max}$ $\rightarrow f = 1 - k \cdot \frac{F_f}{F_{f \max}}$,

ahol $k = 0,2$.

(30)

F_f – a (15)-ből számított erő értéke,

$F_{f \max}$ – a d_0 -hoz tartozó erő értéke (15) alapján.

Az f tényezővel az emelő erő hatását is figyelembe véve, kisebb javulás tapasztalható a korrelációban:

$b=106,59$; $a=2,81$; $n=43$; $I = 0,962$; $I^2=0,9205$; $D_{\Delta y} = \pm 9,61 \%$.

Mivel a görbe elméletileg nem emelkedhet 100% fölé, ezért a teljes szemcsetartományra érvényes regressziós egyenlet végül a következő lesz:

$$m = 100 \cdot e^{-a \cdot d_{\text{kor}}^b} \quad (31)$$

A görbe jobb illeszthetőségét a d_{kor} tényező hatványkitevőjének (b) regressziós meghatározásával biztosítom.

A felsorolt valamennyi tényezővel korrigált szemcsenagyság és a kihordott tömeg közötti összefüggés a vizsgálatba bevont 43 adat alapján:

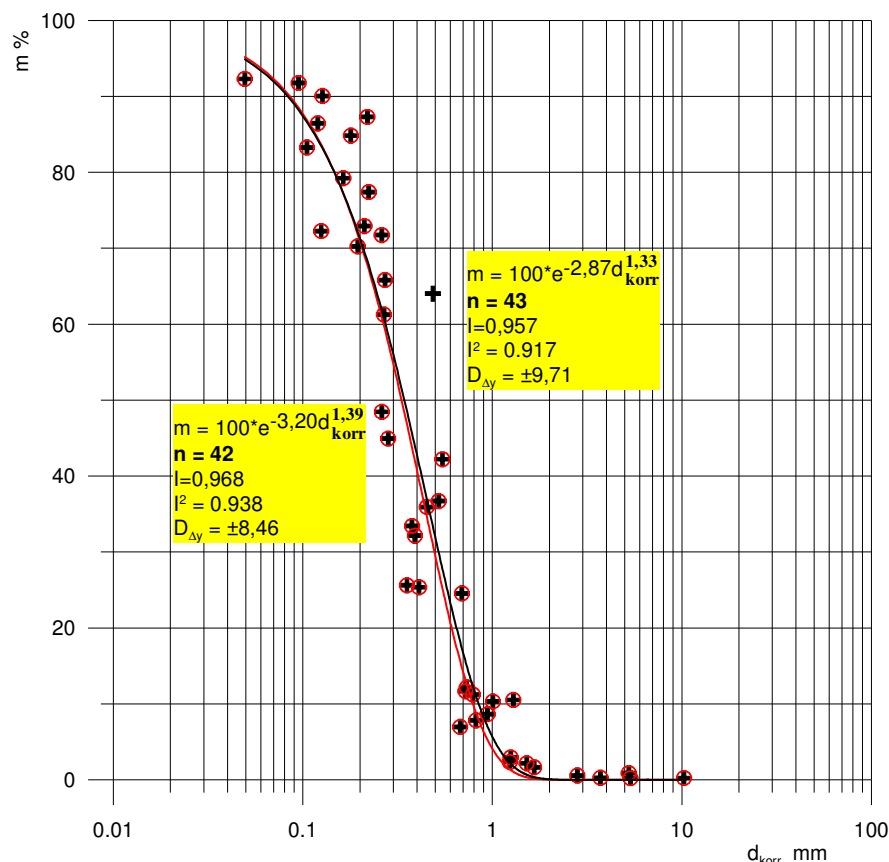
$$m = 100 \cdot e^{-2,98 \cdot d_{\text{kor}}^{1,36}} \quad (32)$$

Ehhez az egyenlethez tartozó korrelációs index $I= 0,959$, a becslés becsült szórása $D_{\Delta y}= \pm 9,5\%$. Figyelembe véve az erősen változó természeti és fizikai paramétereket, a korreláció szorossága nagyon jónak mondható, a becslés megbízhatósága pedig elfogadható. A vizsgálatba bevont változók a korrelációs index négyzetének értéke alapján a kihordás nagyságának 92%-át magyarázzák meg.

Amint erre már utaltam egy erősen eltérő pont található a mérési eredmények között. A **zagy1** minta 0,8 körüli átlagos szemcsemérethez tartozó kihordási értéke jóval magasabb, mint a regressziós görbe alapján ill. a többi adat alapján várható lenne. Ezt utólag nehéz magyarázni, okozhatta a szemcseeloszlás jelentős eltérése az elemzett mintától, a minta esetleges tömörödése, vagy nem arányos kiterítése a tálcára. Ezt az egy értéket kihagyva, minimális mértékben módosul a regressziós függvény, és kissé javul a becslés pontossága:

$$m = 100 \cdot e^{-3,21 \cdot d_{\text{kor}}^{1,39}} \quad (33)$$

A korrelációs index $I=0,967$, $I^2=0,929$ a becslés becsült hibája $D_{\Delta y}= \pm 8,6\%$.



33. ábra

A gyöngyösoroszi adatokra illesztett regressziós görbék (a piros görbe mutatja az egy pont kihagyásával illesztett görbét)

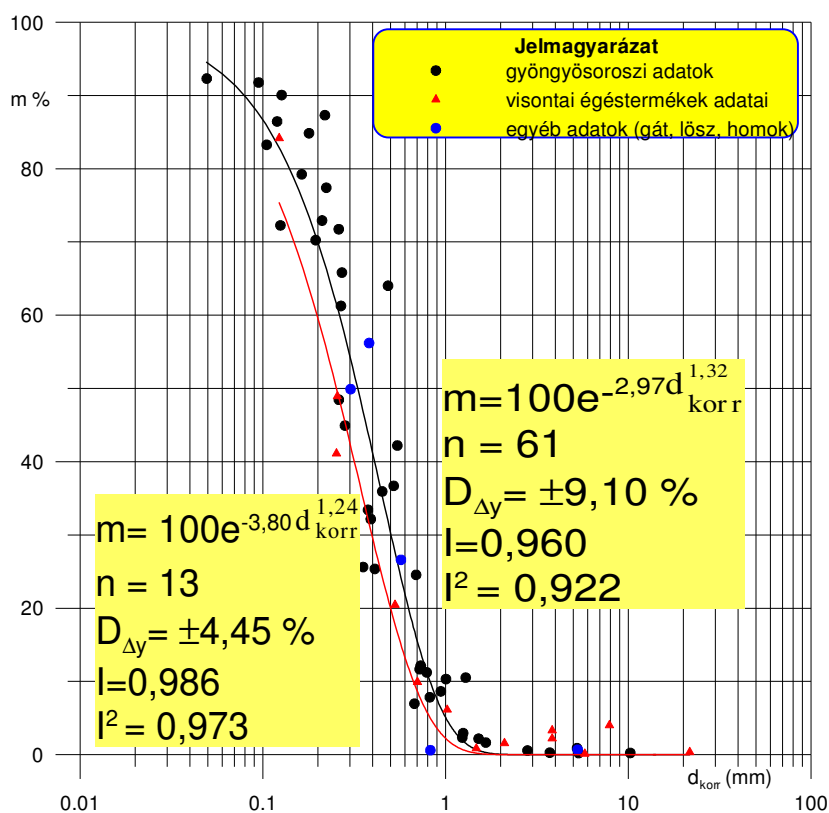
A 33. ábra jól mutatja, hogy a két görbe a vizsgált tartomány középső szakaszán együtt fut, csupán a 0,5-1mm közötti szemcseméret tartományban tér el nagyon kis mértékben, s a becslés pontossága szélsőséges esetektől eltekintve jóval 10 % alatt van. Ez azt jelenti, hogy a közelítés jól használható becslésre, hiszen a szélsőséges (esetleg mérési hibával is terhelt) adatok nélkül nagyon szoros függvénykapcsolat és alacsony becslési hiba valószínűsíthető.

6.3.3 A visontai anyagokkal végzett kísérletek adatainak bevonása a regresszióba

A visontai erőmű salak és pernye mintáinak kísérleti adatait is bevonva a vizsgálatba, a becslési módszer ill. a függvény általánosíthatóságára következtethetünk. A 13 visontai mérési adat ugyan kissé elkülönül a többi adattól, amint az a 34. ábrán látható, de benne marad abban a sávban, amely a gyöngyösoroszi adatokat tartalmazza. Fontos szerepet kap ebben az esetben a sűrűség korrekció, hiszen a visontai salak és pernye sűrűsége lényegesen kisebb ($1,67\text{--}2,04 \text{ t/m}^3$), mint a gyöngyösoroszi zagyoké ($2,56\text{--}2,72 \text{ t/m}^3$).

Egy újabb korrekciós tényezőt kellett bevezetni a visontai mintáknál: amint erről már volt szó, a filter pernye olyan erős tapadást mutatott a többi anyaghoz viszonyítva, hogy be kellett vezetni egy p tényezőt, ami az elektrofilteres leválasztás hatását tükrözi. A tárolóba történő szállítása pneumatikusan történik, nem hidraulikusan, mint a többi pernye esetén, a filter pernye tehát nem veszíti el a töltését. Az elektrofilterből kikerülő pernye egyébként is a legfinomabb szemnagyságú, s emiatt magas a belső súrlódási szöge. A visontai adatokhoz akkor illeszkednek jól a filter pernye adatai, ha itt egy korrekciós tényezőt vezetünk be (p), melynek értéke 5. A filter pernye viselkedése további vizsgálatot igényel.

A visontai adatok mellett, annak érdekében, hogy a kapott összefüggés minél szélesebb körben használható legyen, további adatokat vontam a vizsgálatba, a gát mintának más-hol nem használ két mérési adatát, a felsőzsolcai kavicsbánya homokmintáinak elhordási értékeit, valamint az uránbányánál lefedésre használt lősz adatait. Ezzel összesen 61 pontból számítható a regresszió. Az egyenlet kis mértékben módosul, a korrelációs index gyakorlatilag nem változik, a becslés becslt hibája minimális értékkel még javul is. A kapott eredmények (külön a visontai regressziós görbe és az összes adatra együtt illesztett görbe) a 34. ábrán láthatók.



34. ábra

A visontai minták adataira és az összes minta adataira illesztett regressziós görbe

A visontai adatokra vonatkozó nagyon kedvező regressziós eredménynek az az oka, hogy a visontai minták a zagytározóra történő kihordás előtti gyűjtő helyről származnak, a mintákat véletlen hatások kevésbé befolyásolták, jól szabályozott technológia végtermékei.

A regressziós vizsgálat végeredményeként megállapítható, hogy a vizsgált anyagok esetén (ércbányászati zagy, lignit égéstermék, homok, lösz) a lerakók ill, depók kihordása két meghatározó paramétertől függ: **átlagos szemnagyság** és a **szélsebesség**, de a pontosság érdekében figyelembe kell venni a **sűrűséget**, a **belső súrlódási szöget**, a **szemcseméret szórását** és esetleg a **felhajtóerő változását** is. Eltérő tulajdonságú anyagok esetén a kihordott mennyiség várható értékének meghatározásánál két lehetőség között választhatunk:

1. A vizsgálandó terület (zagytározó, meddőhányó) anyagait jellemző paraméterek ismeretében, az értekezésben szereplő mérések alapján meghatározott regressziós egyenletből számítható a várható kiporzás mennyisége. Ennek a becslésnek a hibája $\pm 9-10\%$ körül van, ami a sok véletlen hatás miatt megfelelő pontosságot jelent.
2. Amennyiben pontosabb értékekre van szükség, akkor az értekezésben bemutatott kísérleti vizsgálatok elvégzésével meghatározható az adott anyagra jellemző regressziós egyenlet. A becslés várható pontossága ebben az esetben $\pm 5-8\%$.

6.4 Rézsűk kiporzási tulajdonságainak vizsgálata

A szélróziót nemcsak a korábban vizsgált paraméterek, hanem a domborzati viszonyok is befolyásolják. A lejtők meredeksége, hosszúsága, alakja és kitettsége befolyásolja a talajpusztulást [6]. Eltérő hatása van a por elhordására a lejtőt szemből, illetve hátulról érő szélnek, ezért ezt a két esetet külön tárgyalom.

6.4.1 A felületet szemből érő szél hatása

6.4.1.1 *A mérés leírása és a kapott eredmények*

A „ferde tálcás” kísérleteket két hajlásszögnél végeztem. A tálcát a légcsőakat vége elé 15° -os és 30° -os szögben helyeztem el. Ezeknek a beállítását mutatja a 35. és a 36. ábra:



30°



15°

35. ábra

A ferde tálcás mérések tálcabeállításai

30°-nál meredekebb dőlést nem volt értelme kialakítani, hiszen a zagytározók, meddőhányók részsűit sem alakítják ennél meredekebbre.



zagy 30°



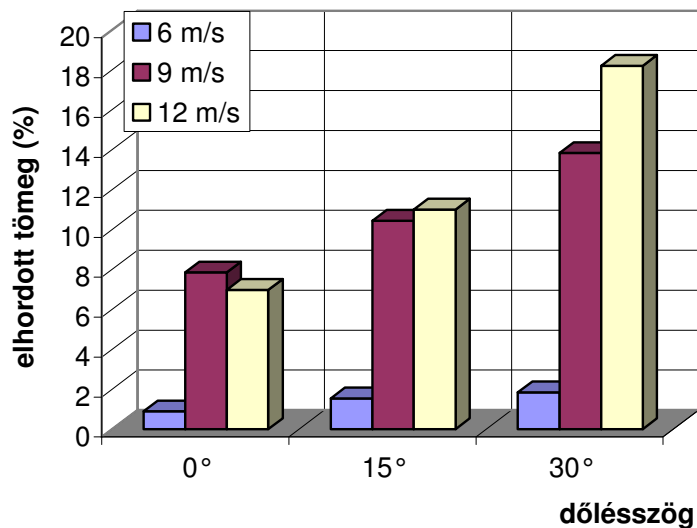
gát 30°

36. ábra

A ferde tálcák elhelyezése a mérés során

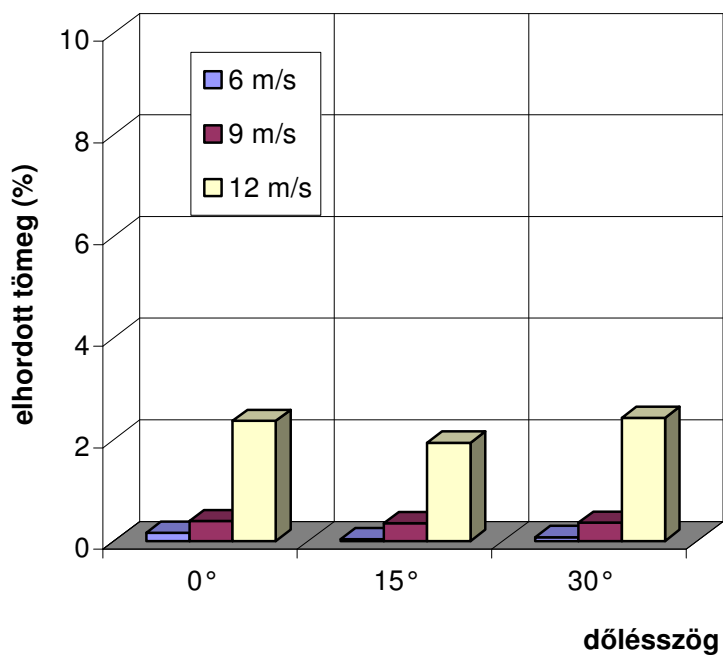
A méréseket három légsebességgel (6, 9, 12 m/s) végeztem, kivéve a **zagy2** mintát, amelynél a 12 m/s-os légsebességnél a sík tálcás elhelyezés esetében sem tudtam mérni.

A 37., 38, és 39. ábrákon bemutatom a gyöngyösoroszi minták kihordási adatait különböző lejtőszögek esetén.



37. ábra

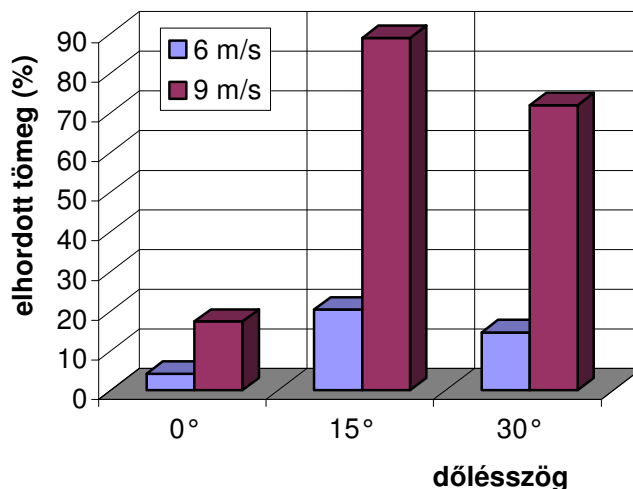
A **gát** mintáinak kihordási adatai ferde terepi méréseknél, szemből érkező légáram esetén



38. ábra

A **zagy1** mintáinak kihordási adatai ferde terepi méréseknél, szemből érkező légáram esetén

A **zagy1** minta kiporzása nagyon csekély, gyakorlatilag függetlennek tekinthető a dőlésszögtől.



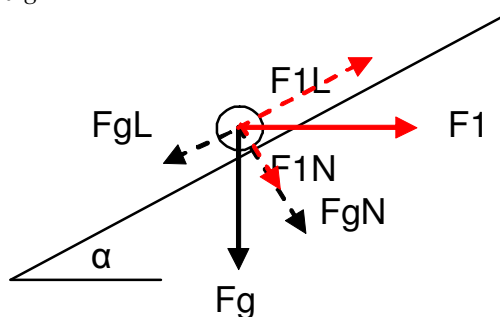
39. ábra

A **zagy2** mintáinak kihordási adatai ferde terepi méréseknél, szemből érkező légáram esetén

A **zagy2** esetén nagyobb a kiporzás a lejtő 15°-os dőlésénél, mint 30°-nál.

A mérési eredmények mutatják, hogy a három anyag eltérően viselkedik [50]. A **gát** esetén a dőlésszög növekedésével az elhordott mennyiség arányosan növekszik. A mérések alapján az látható, hogy a légsebesség növekedésével, a dőlésszög függvényében egyre intenzívebb a kihordás mértéke. A **zagy2** esetén a korábbi vizsgálatoknak megfelelően a légsebességgel minden dőlésszögnél jelentősen növekszik a kihordás. A dőlésszög függvényében mindkét légsebességnél a 30°-os dőlésnél kisebb a kihordás, mint a 15°-nál. Ennek magyarázatát a kihordást befolyásoló erők tárgyalása után adom meg. A 0-4 szemcsefrakciójú **homok** esetében ferde tálcás kísérletnél meglepően kis értékeket kaptam. 15°-os tálcadőlésnél a minta kevesebb, mint 1,5%-a szállt el.

6.4.1.2 A fellépő erők vizsgálata



40. ábra

A ferde síkú felszínen lévő szemcsére ható erők, szemből érő légáram esetén

A ferde síkú felszínt szemből érő szél hatása a felszín dőlésszögétől, a szemcsék méretétől és a légsebességtől függően eltérő hatást vált ki, de az alapösszefüggések azonosak. A szemcsére ható erők a 40. ábrán láthatók. A tömegelő és a szél torlónyomásából származó erő lejtőirányú komponensei ellentétes irányúak, de a lejtőre merőleges komponenseik azonos irányúak. Emiatt a szemcsék elmozdulásánál nem lehet a súrlódástól, pontosabban a tapadó súrlódási tényezőtől eltekinteni. Az összefüggésekkel az erők és az elmozdulások kapcsolatának a jellegét mutatom be, ami alapján magyarázatot adhatunk a kísérleti eredményekre.

A tömegelő nagysága gömb alakú szemcsét feltételezve (a jelölések megegyeznek a korábbiakban alkalmazottakkal):

$$F_g = V\rho_s g = \frac{d^3 \pi \rho_s g}{6} \quad (34)$$

Az F_1 erő a szél torlónyomásából származik, s ugyancsak egyenértékű d átmérőjű szemcsére hat:

$$F_1 = C_D A \frac{\rho_l v^2}{2} = C_D \frac{d^2 \pi \rho_l v^2}{8} \quad (35)$$

ahol: C_D – homlokellenállási tényező.

A lejtős felszínen a szemcsére ható két erő komponensei:

lejtőirányú:

$$F_L = F_1 \cos \alpha - F_g \sin \alpha \quad (36)$$

a lejtőre merőleges hatásvonalú erő:

$$F_N = F_g \cos \alpha + F_1 \sin \alpha \quad (37)$$

A szemcse kimozdulását akadályozó tapadó súrlódási erő:

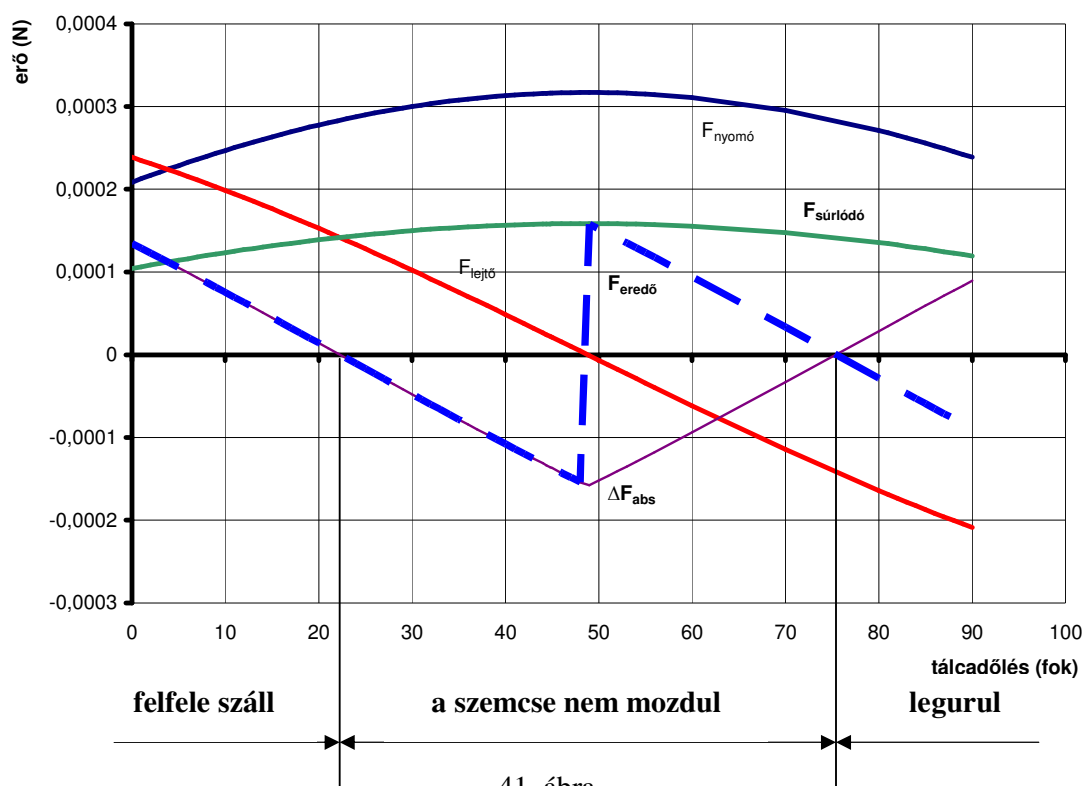
$$F_s = \mu F_N = \mu (F_g \cos \alpha + F_1 \sin \alpha) \quad (38)$$

ahol: μ – tapadási súrlódási tényező.

Ennek az erőnek az a jellemzője, hogy mindig az elmozdulási iránnyal ellentétesen hat, azaz akadályozza az elmozdulást. Amikor a szemcse megmozdul a súrlódási tényező értéke lecsökken mivel már nem a tapadás határozza meg a nagyságát.

Nagyobb tömegű anyag esetén a tapadási súrlódási tényező nagysága egy porhalmazra meghatározható abból a belső súrlódási szögből, amelyet a tapadás jellemzésére meghatároztam (lsd. 4. fejezet). A súrlódási tényező, amint erről volt szó, a rézsűszög tangensével adható meg egy adott szemcseösszetételű és állapotú anyagra. A belső súrlódási szög többek között függ az anyag tömörítettségétől, nedvességétől, a szemcsenagyság változékonyságától. A jellemző értékek a vizsgált száraz anyagok esetén 0,5-0,8 között vannak, de finom szemcséjű, kicsit tömörített anyagnál az értéke akár 1,2-1,4 is lehet.

A számított erők jellemző diagramjai a 41. ábrán láthatók, ahol az eredő erő pozitív értékénél hat az erő a lejtő síkjában felfele ($d=2,5$ mm, $v=9$ m/s, $C_D=1$).



41. ábra

A szemcsére ható erők ferde felületet szemből érő légáramnál

Abban a dőlésszög tartományban, ahol a lejtőirányú erő ($F_{lejtő}$) és az eredő erő ($F_{eredő}$) előjele azonos létrejöhét a szemcse elmozdulása. Ezeket a szögeket mutatja az $F = |F_L| - |F_S|$

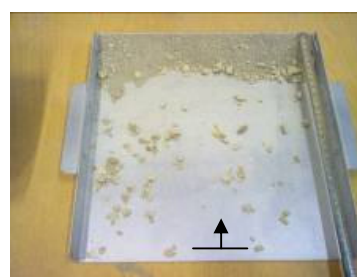
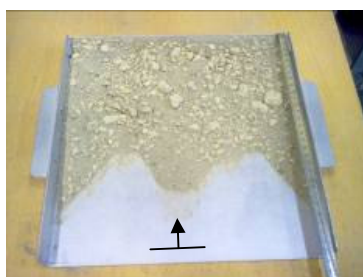
függvény pozitív értékei (ábrán: ΔF_{abs}). Az ábra alapján látható, hogy a kisebb dőlésszögek esetén arra lehet számítani, hogy a szemcsék felfele elmozdulnak a lejtőn. A következő táblázat néhány szemcsenagyságra, és légsebesség értékre megadja annak a dőlésszögnek a határértékét, amíg a szemcsék felfele képesek elmozdulni.

	d_{max} (mm)				
Légsebesség (m/s)	0.5	1	2	3	5
6	35	19	-	-	-
9	45	37	22	10	-
12	49	44	35	26	12

4. táblázat

A szemcsék felfele mozgulásának felső határszöge különböző szemcsenagyságok és légsebességek esetén [$^{\circ}$]:

Ezek az eredmények azt jelentik, hogy ennél meredekebb lejtők esetén (nagyobb szög értékeknél) az adott szemnagyságú szemcsék nem elszállnak, hanem legurulhatnak a lejtőn. Ezt a megállapítást támasztja alá a zagy2 mintával végzett kísérletekről készült fénykép (42. ábra), ahol 9 m/s légsebességnél, a 15°-os dőlésű lejtőn alig maradt por a mérés végén, míg a 30°-os lejtő alján jelentős hányadban maradt vissza nagyobb szemcséjű anyag.



42. ábra

A **zagy2** mintájának fújás utáni állapota 15° és 30°-os tálcadőlésnél

Az ugyanezen anyag méréseiről készült diagramm (39. ábra) meg is mutatja, hogy 30°-os szögnél visszaesik kissé a kihordott anyag mennyisége.

Nem mutatkozik ez a hatás a sokkal durvább in situ eloszlású **zagy1**-nél, ahol alig van kihordás, a szemcsék nem tudnak elmozdulni az erős beágyazódás és tapadás valamint a nagy szemcseméret miatt.

A közepes szemcsézetű **gát** anyagából – ahol a finom szemek aránya nagyobb, a tapadás azonban nem jelentős – a dőlésszöggel egyenletesen nő a kihordás mennyisége, bár abszolút értékben nem számottevő, 10-20 % közötti érték. Amikor a nagyobb szemcsék legurulnak a tálcán, szabadon hagynak apróbb szemcséket, amelyek addig szélárnyékban voltak. A védettség megszűnése után a szemeket a légáramlás elszállítja. A **gát** esetén a dőlésszög növekedésével növekvő kihordás tapasztalható, ami részben a szemből fújó légáramlat szemcsét támadó erejéből következik, részben pedig abból, hogy a finom szemek kihordása következtében csökken a nagyobb szemek beágyazódása és legurulnak a lejtőn. Ez a hatás a növekvő dőlésszöggel nő, azért lesz az kihordás mennyiségének növekedése progresszív jellegű a magasabb légsebességnél.

A szemből fújásnál tehát van egy tartomány a felfele történő elmozdulás és a lefele gurulás határszöge között, ahol csökken az anyag elszállítása, mivel felfele már nem tudnak a finomabb szemek elmozdulni, a nagyobbak pedig még nem tudnak legurulni. Ez természetesen folyamatos átmenet szakadások nélkül, hiszen az anyagban a teljes szemcsetartomány jelen van. Az már az anyag szemcséinek a mintafelületen való eloszlásától (azaz többnyire véletlen hatástól) függ, hogy ezen hatások közül melyik érvényesül jobban. Ezzel magyarázható a mérési eredmények szórása is.

Olyan rézsűk esetén, amelyeknek rézsűszöge közel azonos az anyag belső súrlódási szögével, szembefújás esetén, ingadozó szélesebségnél előfordulhat, hogy az erősebb szellőkéseknél felfele mozduló finom szemcsék szabaddá tesznek, egyébként a szél miatt nem mozduló, nagyobb szemcséket, amelyek gyengülő vagy megszűnő szélnél lefelé gurulnak. Ez azt jelenti, hogy egy ingadozó sebességű szél egy lejtős felületen nagyobb deflációt okoz, mint egy egyenletesen fújó, erősebb szél.

6.4.2 Lejtős terepet hátulról érő szél hatása a kihordásra

6.4.2.1 *A mérés leírása és a kapott eredmények*

Méréseket végeztem ellentétes elhelyezkedésű tálca esetén, vagyis amikor a mintát a légáramlás hátulról éri (43. ábra). Ilyen esetben csak a légsebesség-különbségből adódó nyomáskülönbség fejt ki szívó hatást a szemcsékre illetve a lejtő felületére, a szélnyomás nem illetve korlátozottan érvényesül.



zagy 1 15°

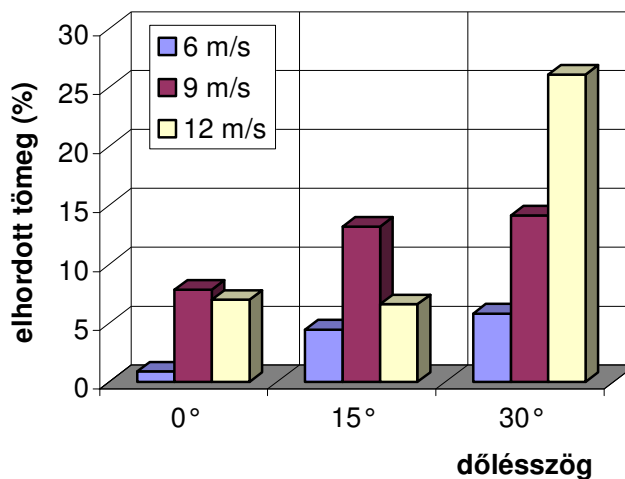


zagy 1 30°

43. ábra

Tálcaelhelyezés a mintát hátulról érő szél vizsgálatára

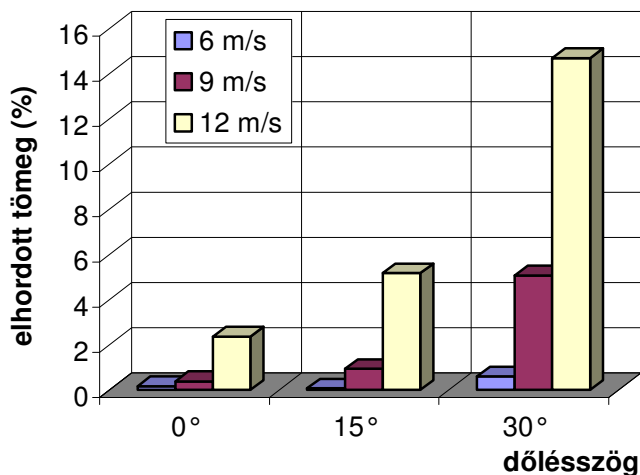
A mérési eredményeket a 44. és a 45. ábra mutatja.



44. ábra

A **gát** mintáinak kihordási adatai ferde terepi méréseknél, hátulról érkező légáram esetén

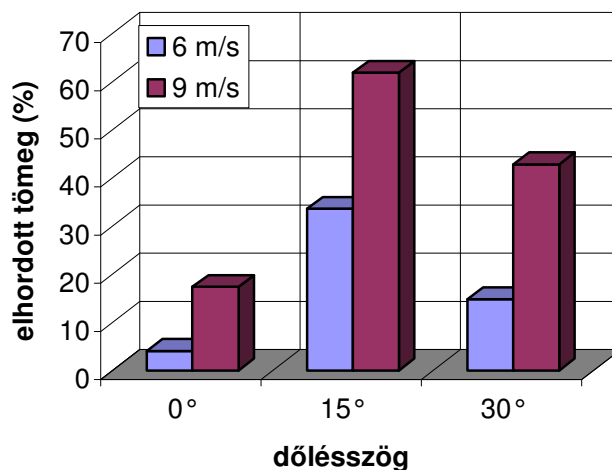
A **gát** anyagával végzett kísérletek eredményei alapján meg lehet állapítani, hogy a növekvő dőléssel stagnál, vagy növekszik a kihordás. Kisebb légsebességek esetén (6-9 m/s) dőléstől kevésbé függ a kihordott mennyiség. 30°-os dőlésnél és 12 m/s-os szélsébségnél jelentősen megnő a kihordott mennyiség.



45. ábra

A **zagy1** mintáinak kihordási adatai ferde terepi méréseknél, hátulról érkező légáram esetén

A **zagy1**-nél míg szemből érkező légáramlat esetén alig volt elhordódás, addig hátulról érkező légmozgásnál 30°-os dőlésnél, 12 m/s-os légsebességnél több, mint 14%-os defláció volt tapasztalható. Habár ez az érték a másik két minta kihordásainál alacsonyabbnak mondható, ez a mennyiség a zagy1 esetében jelentősnek tekinthető. A mintánál a szélesebbesség és a dőlés növekedésével az elhordódás egyenes arányban nő.



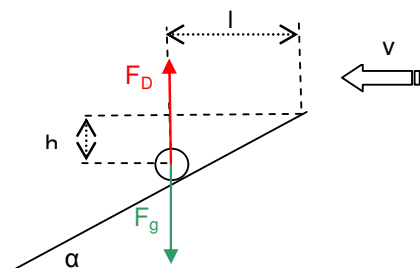
46. ábra

A **zagy2** mintáinak kihordási adatai ferde terepi méréseknél, hátulról érkező légáram esetén

A **zagy2** esetén tapasztalható volt a szél felőli oldalhoz hasonló viselkedés, a 30°-os dőlésnél csökkent a kihordott mennyiség.

6.4.2.2 A fellépő erők vizsgálata

Ebben az esetben csak a szemcsékre ható függőleges irányú erőket vizsgálom, mivel a szemcsék mozgását döntően ez befolyásolja.



47. ábra

A ferde síkú felszínen lévő szemcsére ható erők, hátulról érkező légáram esetén

A 47. ábra alapján:

$$h = l \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (39)$$

ahol:

l – a koronaéltől való távolság, m,

h – a lejtő adott pontján a koronaéltől számított függőleges távolság, m.

A lejtős felszínen a szemcsére ható két erő eredője:

$$F_f = F_D - F_g \quad (40)$$

a függőleges irányú felhajtóerő:

$$F_D = f(h) = f(l \cdot \operatorname{tg} \alpha) \quad (41)$$

Amennyiben a szemcse a tálca tetején helyezkedik el, vagyis

$$h = 0, \text{ akkor } F_D = F_{D0}. \quad (42)$$

Abban az esetben, ha a szemcsé a tálca koronaélettől lejjebb van, akkor:

$$h > 0, \text{ akkor } F_D = F_{D0} \cdot e^{-h} = F_{D0} \cdot e^{-k \cdot l \cdot \tan \alpha} \quad (43)$$

ahol k - korrekciós tényező.

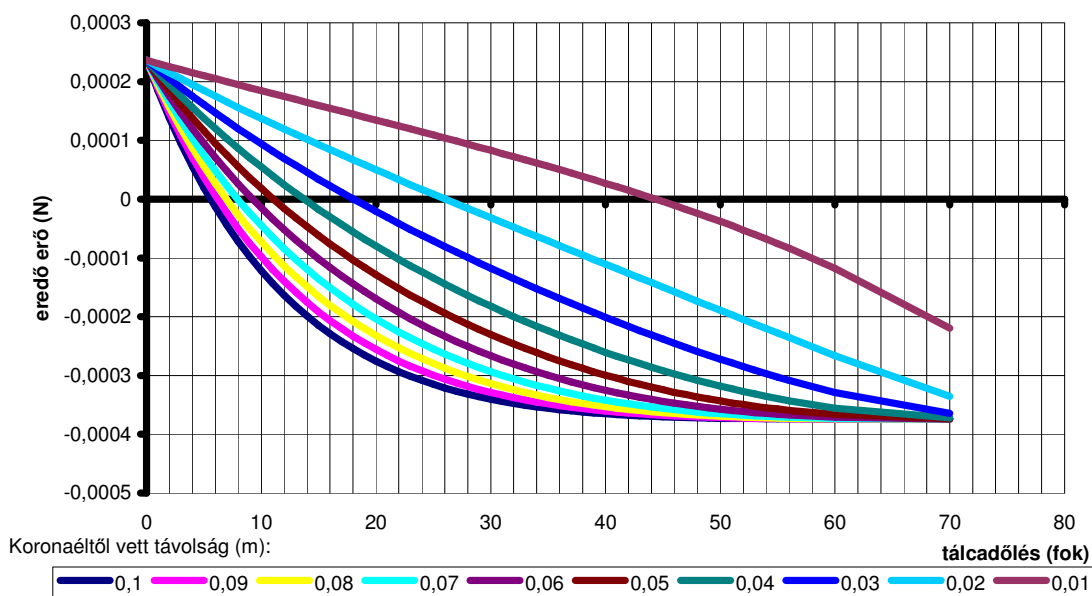
A (8) és (43) felhasználásával:

$$F_D = C_a \cdot \frac{d^2 \cdot \pi \cdot \rho_l \cdot v^2}{8} \cdot e^{-k \cdot l \cdot \tan \alpha}, \quad (44)$$

a függőleges irányú eredő erő:

$$F_f = C_a \cdot \frac{d^2 \cdot \pi \cdot \rho_l \cdot v^2}{8} \cdot e^{-k \cdot l \cdot \tan \alpha} - \frac{d^3 \cdot \pi}{6} \cdot \rho_s \cdot g \quad (45)$$

A (45) összefüggés alapján a szemcsére ható eredő erő, 3 mm-es szemcseméretnél a tálcadőlés (α) és a koronaéltől való távolság (l) függvényében, a 48. ábrán látható:



48. ábra

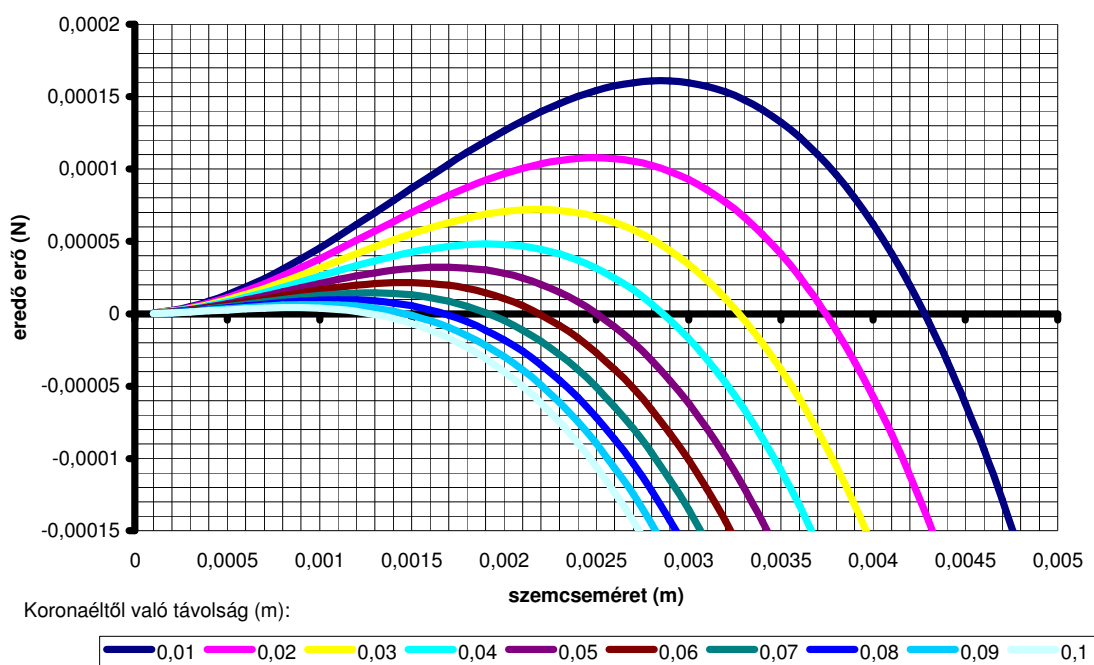
Függőleges irányú eredő erő a távolság függvényében

A tálca éléhez közeli pontokban nagyobb dőlésnél is felfelé ható erő jelentkezik. Ezt követően azonban az erő gyorsan csökken a távolság növekedésével.

Ezt mutatják a **zagy2**-nél kapott eredményeink is. Nagyobb dőlésnél kisebb volt az elhordódás, mint a laposabb tálcaelhelyezés esetében, mert nagyobb dőlésnél, már csak a koronaélhez közel álló szemekre hat az emelő erő.

Kisebb szemcseméreteknél az eredő erő értéke csökken, de nagyobb tálcadőlésnél is jelen van.

A szemcseméret függvényében ábrázolva az emelő erőt (49. ábra), a 18. ábrához hasonló lefutású görbéket kapunk.



49. ábra

Felhajtóerő a szemcseméret függvényében 15°-os terepi dőlés esetén

A 49. ábra azt mutatja, hogy a tálca élétől kis távolságokra a nagyobb szemek is képesek lehetnek függőlegesen felfelé mozdulni. A koronaéltől való távolság növekedtével egyre csökken az erő mértéke és már csak kisebb szemcsék képesek felfelé mozdulni. Az eredő erőre kapott összefüggés alapján meghatározható az a szemcseméret, amelyre a legnagyobb felhajtóerő hat.

A szemcsék lejtőirányú elmozdulását a gravitációs erőn kívül a tapadási súrlódás is befolyásolja. Durvább frakció esetén, amikor a légáramlás sebessége nem elegendő ahhoz, hogy a nagyobb szemcsét felkapja, de megmozdítani már képes, akkor a felület lejtős elhelyezkedése miatt, – ha a tapadási súrlódási erőt is meghaladja a lejtő irányú erő – a szemcse legurul a tálca aljára (50. ábra). Az átrendeződésből következően deflálható szemcsék válnak szabaddá. A lejtő irányú erőt a gravitáción kívül 15° -os dőlésig, a dőlésszög növekedésével egyre csökkenő mértékben a szélnyomás is növeli. A nagy külfejtésekben végzett megfigyelések ugyanis megállapították, hogy a koronavonaltól leváló légáram kb. 15° -os szögben hajlik a rézsú felé. Ez magyarázza azt, hogy a szél a rézsú alatti oldalon nagyobb deflációt eredményezhet. Ezt a megállapítást is természetesen véletlen hatások módosíthatják.

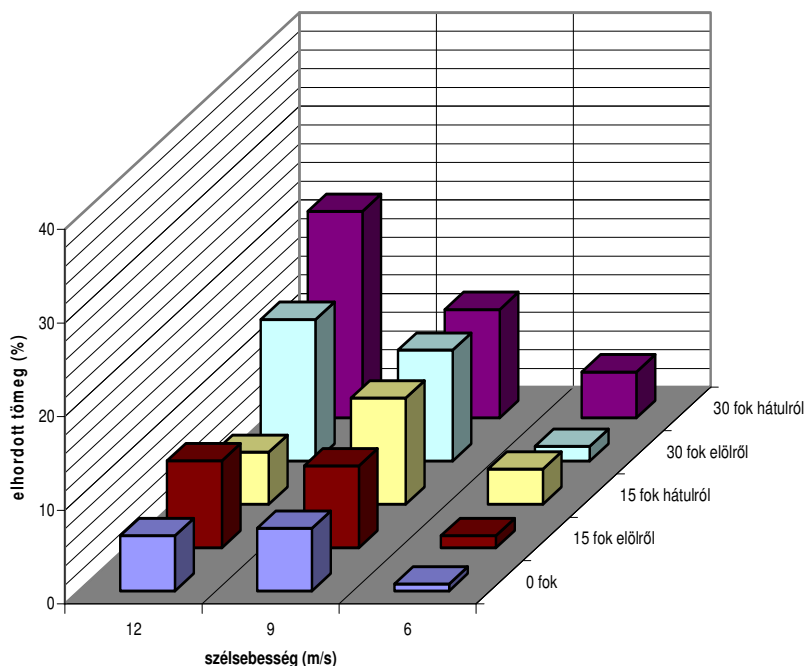


50. ábra

A durvább frakció a tálca alján halmozódik fel

6.4.3 Összehasonlítás

A szemből és hátulról fújó szél por-elhordási jellemzői között is megfigyelhető áramlástanilag magyarázható törvényszerűség.

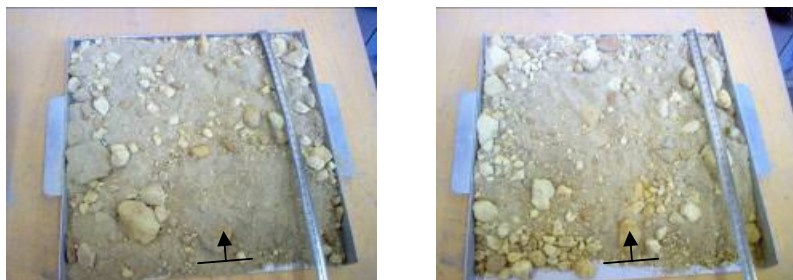


51. ábra

A **gát** minta elhordási értékei 15° -os illetve 30° -os dőlésnél, a tálcat szemből és hátulról érő légáram esetén

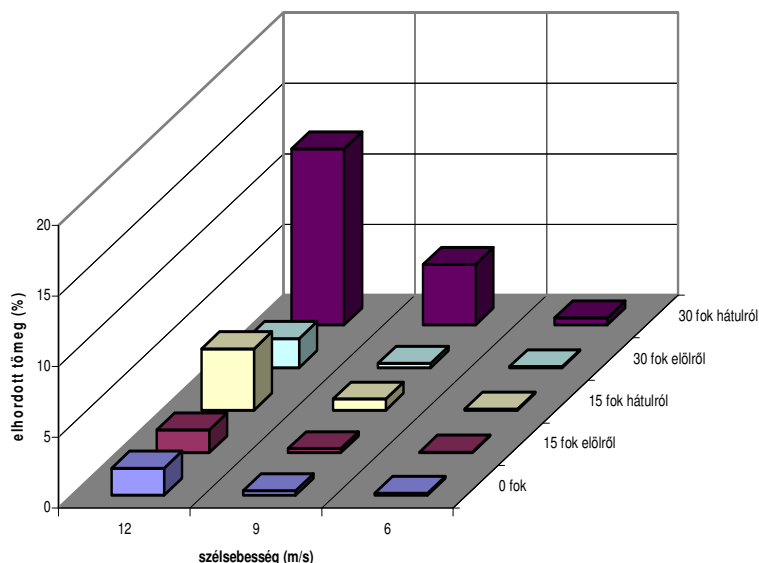
A **gát mintáinál** (51. ábra) a szemből fújás esetén rendre kisebbek, vagy közel azonosak a kihordások, mint a hátulról történő fújásoknál. Ebben az anyagban a gömbszerű alakot jobban közelítő nagyobb szemcsék fordulnak elő, amelyek mint láttuk hátulról fújás esetén kisebb dőlésszögnél is hajlamosak a legurulásra, nagyobb kihordást téve lehetővé. Itt is van egy ellentmondó mérés, 15°-os dőlésű tálcáról szemből fújó 12 m/s-os szél esetén nagyobb a kihordás.

Ez az anomália is a két minta felszínének eltérő fedettségével magyarázható (52. ábra). A hátulról történő fújás mintájában a tálca felső éle közelében nagyon kevés a finom szemcsésű anyag, ahonnan a kihordás nagyobb mértékű lehetne, ugyanakkor a dőlés még nem elegendő ezeknek a nagy szemeknek a megmozdulásához, azaz hiába a nagy légsebesség, a kihordás alacsony értékű marad.



52. ábra

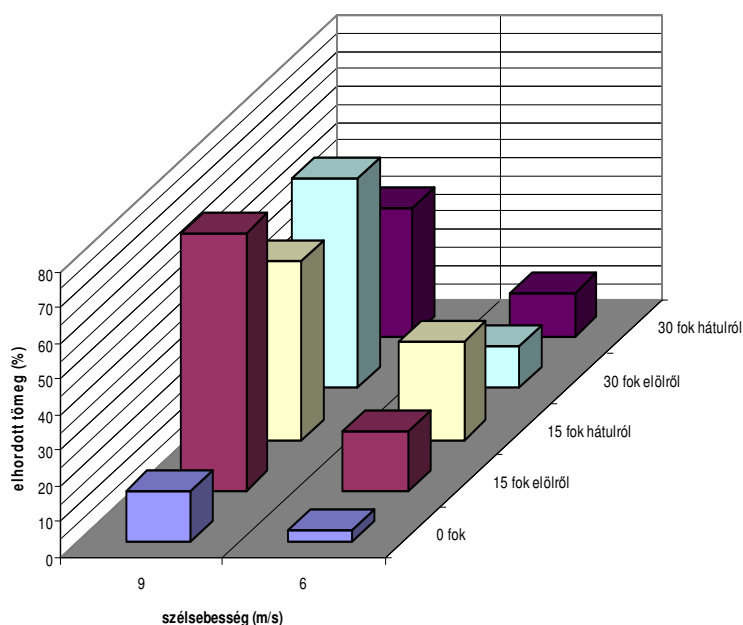
Gát minta 15 °-os dőlés, szemből és hátulról, fújás előtt



53. ábra

A **zagy1** minta elhordási értékei 15°-os illetve 30°-os dőlésnél, a tálcát szemből és hátulról érő légáram esetén

A **zagy1** mintára általában jellemző a kis kihordás, a nagy darabos lemezes jellegű szemcsék miatt (53. ábra). Szemből fújásnál alig haladja meg a kihordott anyag maximális értéke a tömeg 2%-át. Adott légsebesség esetén a dőlésszögtől gyakorlatilag független a kihordás, a légsebesség növekedésével csekély növekedés látható. A lejtőt hátulról érő szél egyértelműen és arányaiban az előzőeknél jóval nagyobb kihordást eredményez. Ez a kevés finom szemcsével és a lemezes szemcsealakokkal magyarázható, hiszen ezeknél a szemcse tömegére vonatkoztatva nagyobb F_D felhajtóerő alakul ki, mint a gömb szemcséknél.



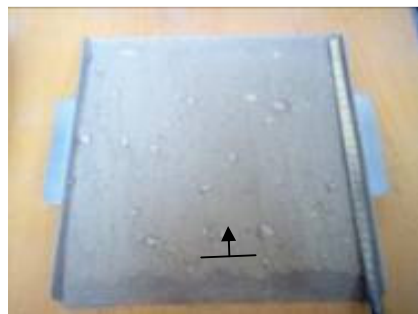
54. ábra

A **zagy2** minta elhordási értékei 15°-os illetve 30°-os dőlésnél, a tálcát szemből és hátulról érő légáram esetén

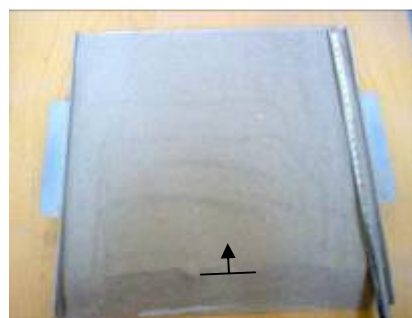
A döntően finom szemeket tartalmazó **zagy2** mintánál a szemből fújó szél nagyobb mennyiséget hord el, mint az ugyanolyan sebességgel hátulról fújó szél (54. ábra). Adott dőlésszögnél ennek alapvetően az az oka, hogy a szemből fújó szél a teljes felületen fejti ki a hatását, hátulról viszont csak a dőlésszögtől függően a felső élhez közelebbi szakaszon. Nagy szemek csekély mennyiségben vannak jelen a mintában, s legurulásuk is erősebben akadályozott, nagyobb a beágyazódásuk, a tapadási súrlódási tényező.

Ennek a megállapításnak látszólag ellentmond, hogy 15°-os dőlésnél 6 m/s-os szélsebesség esetén szemből fújásnál kisebb a kihordott anyag mennyisége. Ennek magyarázata az 55. ábra alapján lehetséges, s lényegében véve megerősíti az eddigi megállapításokat, mivel a

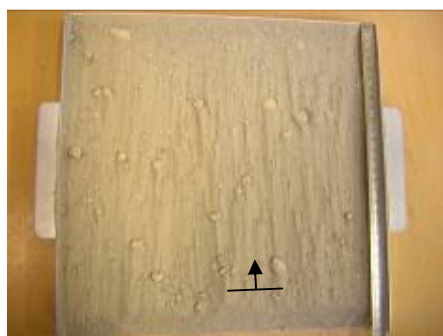
szemből fújásnál a tálca feltöltésekor – hangsúlyozni kell, hogy *véletlenül* – viszonylag sok nagyobb szemcse került a felszínre, hátulról fújásnál mindössze egy-két nagyobb darab látható. A hátulról való fújás utáni képen kb. másfél- kétszer annyi nagy szemcse van a minta felületén, mint a szembe fújásnál a kísérlet előtt, azaz a nagy szemcsék nem hiányoztak, de nem voltak a felületen.



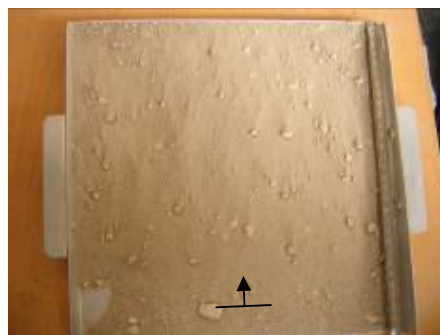
szemből fújás előtt



hátról fújás előtt



szemből fújás után



hátról fújás után

55. ábra

Zagy2 minta, 15°-os dőlés esetén, 6 m/s-os légáramlat mellett

Az 55. ábra fújás utáni állapotot mutató ábráin jól látható a szemből és hátulról fújó szél felszínre gyakorolt hatása közötti különbség. A szemből fújó szél esetén a minta teljes felületén látható a nagyobb szemcsék szélárnyékoló hatása, míg ugyanez a jelenség hátulról fújó szél esetén (55. jobb alsó ábra) csak a felület alsó felében, harmadában figyelhető meg. Ez alapján megállapítható, hogy a korábban is említett 15°-os áramvonal lehajlás a rézsú után nem azonnal történik meg, azaz a koronavonal közelében a felület szélárnyékban marad.

Végeztem lejtős mintákkal kihordási vizsgálatokat **osztályozott homokkal** is, 12 m/s-os légsebességnél. A 0-4-es frakciójú homokkal történt 15° dőlésű kísérletnél az elszállt mennyiség alacsony volt, szél felőli kísérletnél alig 1,5%, szél alatti kísérletnél csupán 0,14%.

A minta finomításával (1:1-es arányban kevertem bele 0-1-es frakciójú homokot) a kihordott mennyiség abszolút értékben megnő, de a szemből fújó szél esetén mutatkozó nagyobb kihordás megmaradt (5,6% az 1,3%-kal szemben). 25°-os dőlésű tálcánál a kihordás értékei alig változtak (6,7% és 0,6%).

A **homok** mintával végzett kísérletek alátámasztják a fenti megállapításokat, az egyenletes szemcseeloszlás miatt a különbségek még markánsabban jelennek meg.

A homok esetén szemből támadó szélnél, hasonlóan a zagy2-höz, nagyobb a defláció, mint ellenkező irányú tálcá-elhelyezésnél. A minta tovább finomításával ez a különbség tovább nő. A jelenség magyarázatát részben megadja az az elméleti elemzés, amit a fejezet első felében elvégeztem. A jelentős különbséget okozhatja még a durva frakció hiánya a homok mintában, valamint a szemek izometrikushoz közeli formája. Ebből kifolyólag a szemcse egységnyi tömegére eső felhajtó erő is kisebb lesz.

A ferde tálcás kísérletekből megállapítható, hogy a lejtős felületek kihordása mindig nagyobb, mint a sík terepi mérések esetén.

A vizsgálatok bizonyították, hogy a finom szemcsés anyagok esetén a szemből fújó szél több anyagot szállít el, mint a hátulról fújó. A durva szemeloszlású anyagoknál fordított a helyzet, a hátulról fújó szél okoz nagyobb kihordást.

6.5 Kúpos anyaghalmoz poremissziójának vizsgálata

A bányászati termelés során mind a letermelt meddőközetet, mind a haszonanyagot – akár ideiglenesen, de – tárolni kell. A hányók és zagytározókat határoló rézsűk dőlésszöge az esetek nagy részében 25-35° között van. A homok- és kavicsbányászatban a kitermelt és osztályozott anyagokat 10-20 m magasságig szállító gumihevederes szalagokról ejtik le, ezért a kialakuló tároló kúpok rézsűszöge az önbeálló rézsűszöghöz közeli értékű (28-32°).

A hányótestek kiporzási tulajdonságainak vizsgálatához egy felsőzsolcai kavicsbányából származó osztályozott anyagot használtam. A mintákat a kísérletek előtt kiszárítottam. A rézsű kialakításánál az anyagot (melynek tömege megegyezett a síktálcás méréseknél felhasznált mennyiséggel) fél méter magasról szórtuk a tálcára. A homok a tálcán így kúp alakú formát vett föl, és a halmaz kúpszöge közelítőleg az anyag önbeálló rézsűszöge. A felhalmozott kúp alakú anyaghalmoz alapköre a vizsgálati tálcá széleit érintette.



56. ábra

Anyag elhelyezése kúpos méréshez

A kiporzási vizsgálatnál kétféle szemcseméretű anyagot használtam. A finomabb frakció a 0-1 mm közötti szemcseméret, míg a durvább a 0-4 mm frakciójú osztályozott kavics volt. A finomabb minta a 9 m/s-os légsebességnél már nagyon-nagy mennyiségben elszállt, ezért 12 m/s-os mérést már nem végeztem vele. A 0-4 mm szemcseméretű minta 6 m/s-nál 0 kiporzási értéket adott és 9 m/s-os légsebességnél sem érte el a 2 %-ot az elszállt mennyiség. A durvább minta (0-4 mm) egyértelműen kisebb deflációt szenvedett. A mérési eredményeket az 5. táblázatban tüntettem fel:

A minta szemnagyság szerinti frakciója (mm)	Légsebesség (m/s)					
	6		9		12	
	Elhordott mennyiség (%)					
	sík	kúpos	sík	kúpos	sík	kúpos
0-1	-	14,75	49,92	59,81	-	-
0-4	-	0	0,18	2,07	0,6	17,32

5. táblázat

Kúpos anyaghalmoz és a síktálcás kísérletek elhordási értékei

Összehasonlítva az értékeket a sík tálcás mérésekkel, megállapíthatjuk, hogy a kúp alakú minták nagyobb deflációt szenvedtek. Ennek a magyarázata az eddig ismertett mérések alapján részben megadható, hiszen a kúpos felületeknek vannak olyan szakaszai, amelyek szél felőlinek és vannak olyanok, amelyek szél alattinak tekinthetők és viselkedésük követi a ferde tálcás kísérleteimnél tapasztaltakat. A kúpos alakú anyaghalmoz felülete egyébként is nagyobb, mint a sík felületé, aminek következtében a kihordott anyag mennyisége növekszik. Ugyancsak a kihordást növelő tényezőnek tekinthető, hogy a szélirányra közelítőleg merőleges kúpfelületekről a finom szemcsék kihordásának az intenzitása közelítőleg azonos a sík felületével, és ezen felül a nagyobb szemcsék a felszínre kerülésük következtében a lejtőn legurulhatnak a halmoz alá, emiatt nem tudják kifejteni a sík felületen észlelhető védőha-

tást. A képek (57. és 58. ábra) bizonyítják a fentebb leírtakat és további megállapítások tehetőek. A kúp magassága csökken, a felső részről történt intenzívebb kihordás miatt. Maga a kúp pedig szétterül, ami az alapsíkon is megfigyelhető.



57. ábra

0-1 mm 6 m/s-os fújás előtt, oldalról és felülről fényképezve



58. ábra

0-1 mm 6 m/s-os fújás után, oldalról és felülről fényképezve

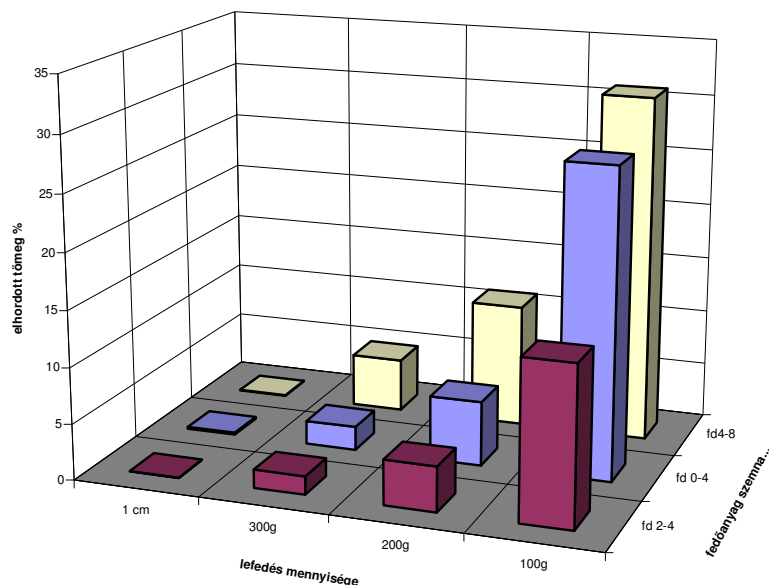
7 DEFLÁCIÓ ELLENI VÉDEKEZÉSRE VONATKOZÓ KÍSÉRLETEK

A kísérletek bizonyítják azt a gyakorlatban is megfigyelt tényt, hogy a bányászati meddőanyagok és erőművi égéstermékek tárolóterei átlagos időjárási körülmények között az év nagy részében jelentős környezeti terhelést okoznak. A kedvezőtlen tapasztalatok alapján szükség van a környezet porterhelésének csökkentésére, valamint a hányókon a deflációs jelenségek korlátozására. A gyakorlatban a védekezés a felületek locsolására szorítkozik.

Az elvégzett vizsgálatok alapján levonható törvényszerűségek, valamint az elméleti megfontolások alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a bányászatban (meddőhányókon, zagytározókon) alkalmazható lenne egy sajátos védekezési eljárás is, amit a mintán belüli széles szemnagyság-eloszlás tesz lehetővé. A kísérletek során tapasztalható volt, hogy folyamatos kifújásnál a nagyobb szemcsék helyben maradásával a finomabb szemek elszállítása is csökken, mivel azok a nagyobb szemcsék között „szélárnyékba” kerülnek. Vizsgálataim során ezt a jelenséget kívántam igazolni, ill. meghatározni a kiporzás mértékének változását a felszín durvaszemcse-borítottság függvényében. Olyan méréseket végeztem tehát, ahol a felszínre különböző mennyiségű nagy szemcséjű anyagot szórtam, és mértem az elhordódás mennyiségét.

7.1 Finom szemcsés anyag lefedése durva szemcsés anyaggal

A durva anyaggal való védekezési kísérleteknél finom frakciónak a 0-1 mm-es homokot használtam, míg durva frakciónak különböző nagyságú szemcséket választottam (0-4, 2-4 és 4-8 mm). Ezeknek a mennyiségét változtattam, mértem az elhordódást teljes (1 cm) borítás mellett és 100, 200 és 300 g-os durvafrakció hozzáadása mellett (59. ábra).



59. ábra

A homok minta elhordási eredményei, különböző szemcseméretű fedőanyag esetén

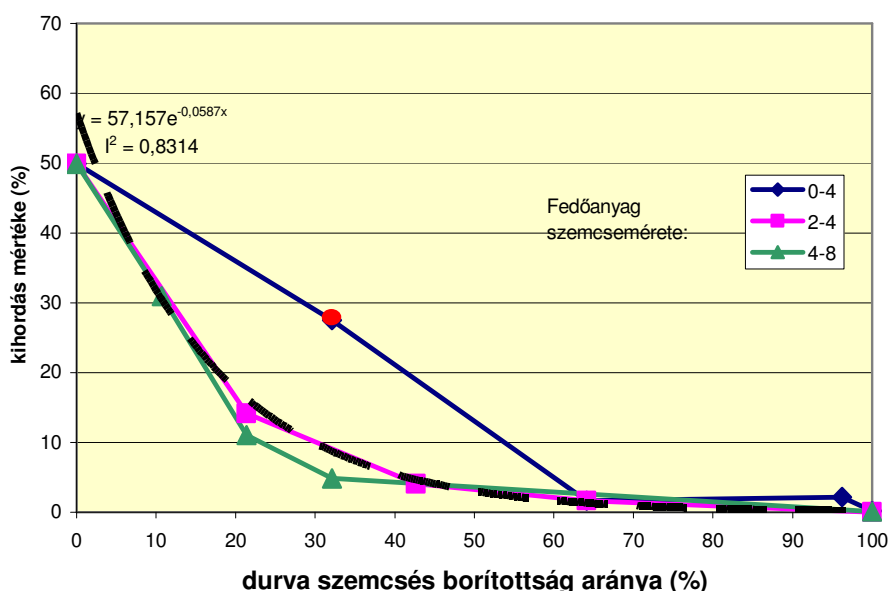
Természetesen a különböző anyagok és szemcseméret esetén, a különböző tömegű durvaanyag-borítás más-más fedettségi értéket jelent. Mivel a fedettség pontos mértékének meghatározására nem volt módom, ezért a borításra használt anyagmennyiséget tömegben határoztam meg, és a felület fedettségét átlagos szemnagyságú gömb alakú szemcse vetületi területéből számítottam. A kapott értékek a 6. táblázatban találhatók. A fedettség értéke közeli érték, mivel a kísérleteim során - bár törekedtem rá - mégsem tudtam biztosítani az egyenletes borítottságot. A gyakorlatban a teljes fedettséget kivéve, egyébként sem alakítható ki egyenletes fedettség.

szemcseméret (mm)	Fedettség mértéke (%)		
	100g	200g	300g
1	65,1	130,2	195,3
2	32,6	65,1	97,7
3	21,7	43,4	65,1
4	16,3	32,6	48,8
5	13,0	26,0	39,1
6	10,9	21,7	32,6
7	9,3	18,6	27,9
7,15	9,1	18,2	27,3
5,575	11,7	23,4	35,0
4,8	13,6	27,1	40,7
4,3	15,1	30,3	45,4

6. táblázat

A különböző szemcseméretrehoz tartozó fedettségi értékek

A 0-1 mm-es **homok** 9 m/s nagyságú légsebesség mellett, borítás nélkül közel 50%-ban hordódik el a tálcáról. Amennyiben az anyagot durvább szemcsékkel borítjuk, egyre csökken a kihordott anyagmennyiség, amit a 59. és a 60. ábrán bemutatott mérési eredmények is jól tükröznek. A kapott mérési adatok alapján az is megállapítható, hogy a felszínre juttatott darabos anyagban lehetőleg minimálisra kell csökkenteni a finom szemcse tartalmat. Ezt tükrözi a 0-4 mm-es szemcsefrakciójú 100 g-os borításnál a kihordás – a többihez viszonyított – kiugróan magas értéke (a 60. ábrán piros ponttal jelölve).



60. ábra

A homok minta elhordási eredményei, különböző mértékű fedettség esetén

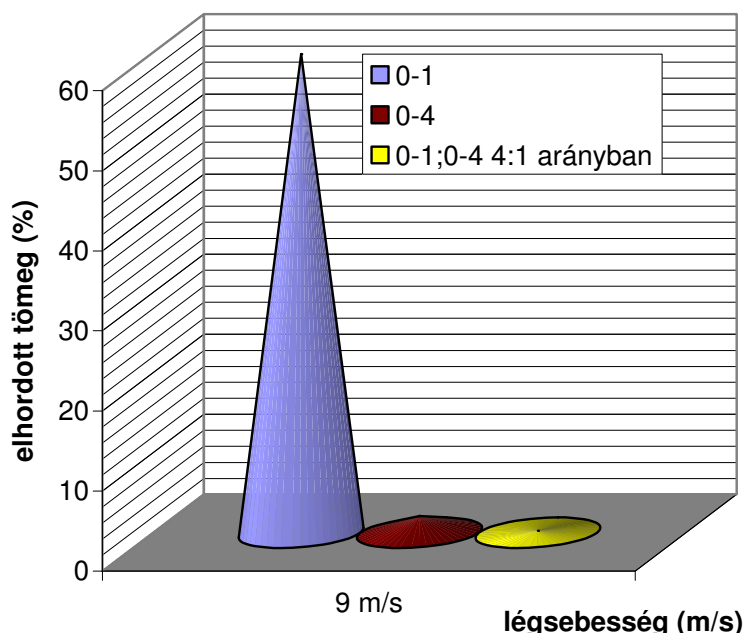
A fedettség és az elszállt mennyiség között jó korreláció van ($I=0.92$, $I^2=0.84$) a 0-4 mm-es borítottság később indokolt, kiugró értéke ellenére is.

A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy 20% körüli fedettséggel kb. ötödére csökkenthető a kiporzás mennyisége. Kisebb elhordáshoz viszont jelentős fedettség-növekedésre van szükség, amit az exponenciális regressziós görbe is mutat.

Elvégeztem a mérést a kúpos anyagalmaz kiporzására vonatkozóan is. A 0 és 1 mm közötti szemcseosztályú, kúpban felrakott anyag felületére 0 és 4 mm közötti szemcseátmérőjű kavicsot szórtam. Az anyagok aránya 4:1, vagyis 4 kanál finom frakciójú anyagra 1 kanál durvát szórtam, ami pont elegendő volt ahhoz, hogy a 0-1 mm-es anyagot befedje. Az elszállt mennyiség még a 0,3 %-ot sem érte el, ez kevesebb, mint a 0-4 mm frakcióból létrehozott

halmaz kiporzása, ami több mint 2 % volt. Ennek magyarázata, hogy a nagyobb szemcsék beleülnek a finomabb halmazba, jobban ellenállnak a légáramlatnak, és nem bomlik meg a felület.

A 61. ábrán feltüntettem a 0-1 mm-es szemcseosztályú kúpos anyag kiporzási eredményét is, ami 56 % körül van. A kísérlet alapján egyértelműen megállapítható, hogy depózott anyagok esetén is alkalmazható az eljárás, amennyiben az értékesítésnél ez nem okoz gondot (pl. hosszú ideig tárolt, eladhatatlan finom szemcsés készleteknél).



61. ábra

Kúpos anyaghalmoz elhordási eredményei durva szemcsés borítás nélkül és mellett

7.2 Kihordás elleni védelem az anyagok szemnagyság szerinti szétválasztásával

Ennél a kísérletsorozathoz a durva frakciót magából a vizsgált zagyból, szitálással készítettem. A méréseim során fokozatosan leválasztottam a durvább szemcséket, és ezeket a minta tetejére helyeztem, kísérletenként különböző mennyiségben (62. ábra). A tálcára 2 cm-es magasságig az adott szemcsenagyság alatti anyagot, vagyis a finomat helyeztem, felülre pedig a durvább frakciót. A szét-



62. ábra

Durva frakció elhelyezése a tálcán

választási szemnagyság csökkentésével az alsó réteg is egyre finomabbá vált, ami különösen a zagy1 minták vizsgálatánál eredményezett a sík és ferde tálcás kísérleteknél nem tapasztalt nagy mértékű kihordást. A zagy1 finom frakciója ebben a kísérletsorozatban a vizsgálat jellege miatt inkább a laboratóriumi szemcseeloszlást követte, mint az in situ-t. A durva frakció mennyiségét azért változtattam, hogy meg tudjam állapítani a felszíni borítottság és a kihordott mennyiség közötti kapcsolatot.

Négy különböző mérést végeztem, minden egyes leválasztás során. Vizsgáltam azt az esetet, amikor a finom anyagot teljes mértékben beborítja a durvább frakció. A további három esetben a korábbiakhoz hasonlóan tömegméréssel határoztam meg a felszínre kerülő durva frakció mennyiségét (300 g, 200 g és 100 g.) Ügyeltem arra, hogy a finom frakció mindig azonos magasságig töltse ki a tálcát. A nagyon durva felszíni fedettség elkerülése érdekében a zagy1 mintáknál a 8 mm-nél nagyobb szemcséket a mérések előtt leválasztottam. A durvább frakciót a finom anyagréteg tetejére kézzel szórtuk ki, ügyelve az egyenletességre. A zagy 1 esetében 12 m/s-mal a zagy 2-nél pedig 9 m/s-mal mértem a kiporzás intenzitásában mutatkozó különbségek miatt [51].

Az eredmények egyértelműen igazolták a homokkal végzett kísérletek tapasztalatait, vagyis a felület durva szemcsés borítottságát növelve, rohamosan csökken a kihordott finom szemcsék mennyisége. A 63. ábrán látható a borítottság mértéke a tálcára elhelyezett különböző tömegű durva frakciók esetében.



1,6-1cm

1,6-300g

1,6-200g

1,6-100g

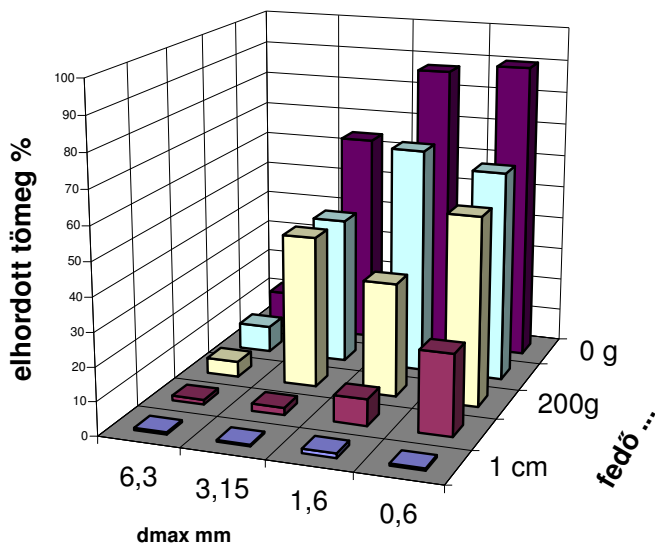
63. ábra

A borítottság mértéke különböző tömegű durva frakció elhelyezése esetén

(zagy 1)

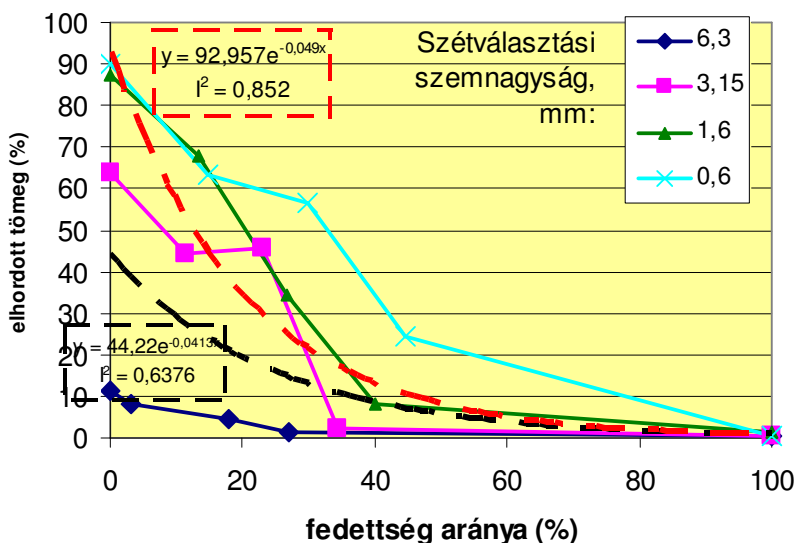
Az 64. és a 65. ábra a kihordás mennyiségét mutatja az eltérő fedettségi értéket jelentő durva anyag esetén. Amint látható az alsó rétegben elhelyezkedő szemcsék szemeloszlásának finomodásával nő a kihordott mennyiség, ennek ellenére a hézagos durvaszemcsés borítás kiporzást csökkentő hatása minden esetben egyértelműen jelentkezik.

A zagy1 esetén 1,6 mm-es szemcsenagyságnál történő szétválasztás 300 g-os borításnál 8 % körüli értékre csökkenti a kiporzást. Kisebb elválasztási szemcseméretnél a teljes borítás eredményezte a kiporzás gyakorlatilag teljes megszűnését (64. ábra).



64. ábra

A zagyterről vett durvább anyag (**zagy1**) eredményei

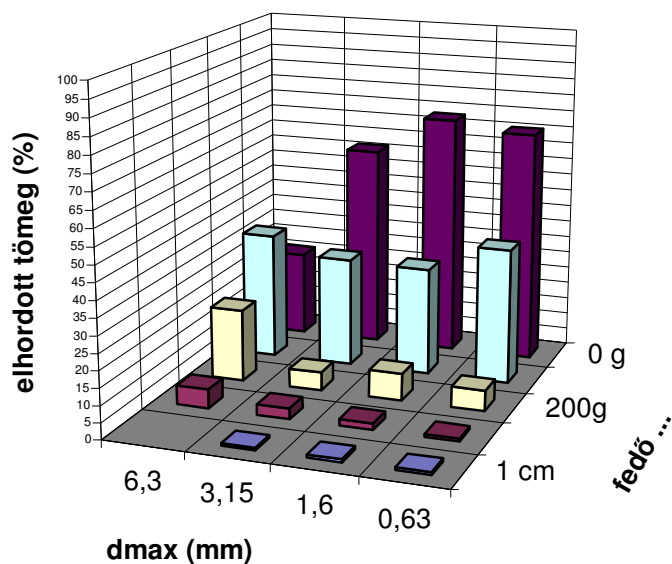


65. ábra

A zagy1 minta kihordási értékei a szétválasztási szemnagyság függvényében

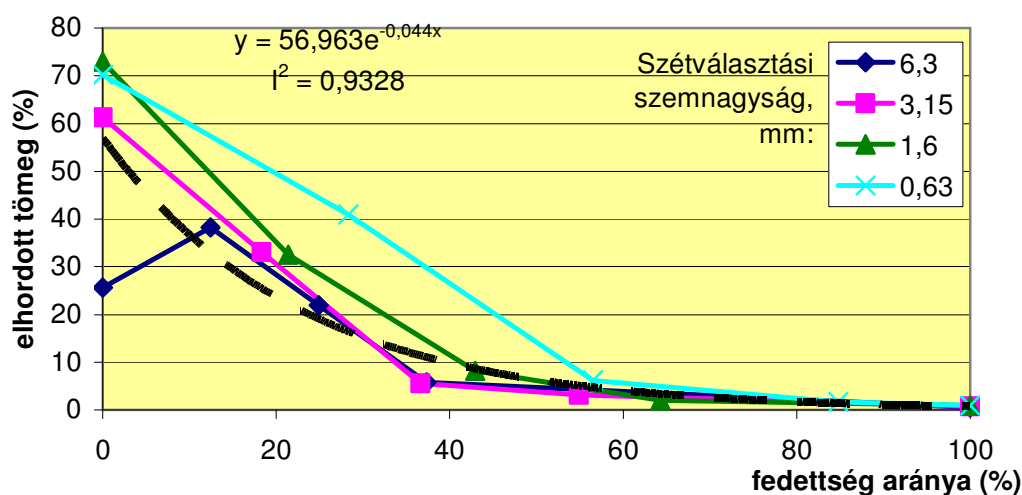
A zagy1 minta esetén a fedettség függvényében vizsgálva a kihordott mennyiség nagyságát, megállapítható, hogy a korábbi vizsgálathoz hasonlóan exponenciális a csökkenés.

A 6,3 mm-es szemmagyságú szétválasztáshoz tartozó görbe a többihez viszonyítva lényegesen alacsonyabban fut, ami azzal magyarázható, hogy az egyébként is durva in situ eloszlású anyag védendő alsó rétege is zömében kihordásnak ellenálló nagyszemcsékből áll. A 65. ábrán a görbék jobban szórnak, mint a homok esetén (60. ábra), ami azzal magyarázható, hogy az alsó réteg szemmagyság-eloszlása minden kísérletnél a szétválasztási szemmagyságtól függően más és más volt.



66. ábra

A zagytérről vett finomabb anyag (**zagy2**) eredményei 9 m/s-nál



67. ábra

A **zagy2** minta kihordási értékei a szétválasztási szemmagyság függvényében

A **zagy2** mintákban in situ eloszlás esetén a finom szemcsék aránya jóval magasabb, mint a **zagy1** mintákban. A védendő réteg szemeloszlása, a szétválasztási szemnagyság változásával, nem módosult nagy mértékben. Ez tükröződik a szétválasztásos védekezés kísérleti eredményeiben is (66. ábra), mivel itt a szétválasztási szemnagyságokhoz tartozó görbék szórása kisebb (67. ábra), mint a **zagy1**-nél (65. ábra) volt. Az ilyen típusú anyagoknál a várható kiporzás mértéke a szétválasztási szemnagyságtól függetlenül, a meghatározott regressziós függvény alapján becsülhető. Más anyag esetén kísérletekkel kell meghatározni a szükséges paramétereket.

Ennél a védekezési eljárásnál nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a teljes anyaghalmoz kiporzása nem haladja meg a legnagyobb szétválasztási szemnagysághoz tartozó finom minta kiporzásának a mértékét. Ennek oka, hogy az eredeti mintában a durva frakció is jelen van. A vizsgálat alapján megállapítható, hogy ennek a védekezési eljárásnak a **zagy2** anyag esetén kb. 30%-os, vagy annál nagyobb fedettségénél van értelme (szétválasztás nélküli minta kihordása: 25,36%). A **zagy1** mintánál az elvégzett kísérletek alapján megállapítható, hogy a szemcseszétválasztásos védekezés nem hatásos (szétválasztás nélküli minta kihordása: 2,34%). Ennél az anyagnál csak durvaszemcsés lefedés hozhat eredményt, amennyiben erre egyáltalán szükség mutatkozik.

A környezet porterhelése, a kiporzás mindig az anyag tárolóra történő kihordásakor illetve a felszín kiszáradásakor a legnagyobb. Az elvégzett kísérletek alapján javasolható védekezési eljárás akár a nagyobb szemcsés borítás, akár a szemnagyság szerinti szétválasztás a hányóképzés ezen fázisában alkalmazható sikeresen. A hányóképzés alatt ebben az esetben meddőhányók, zagytározók és salakhányók folyamatos kialakítása értendő.

7.3 Védekezés a durva szemcsés borítás tömörítésével

Sok esetben tapasztalható, hogy a tömörített, hengerelt felületek kiporzása csökken. Felmerült a durva szemcsés borítás hatékonyságának tömörítéssel történő növelése.

A kísérletek során az előzőekben vázolt módon, a finomabb frakció tetejére különböző mértékben durvább frakciót helyeztünk el. A fújások előtt tömörítettük az anyagot oly módon, hogy a tetejére egy kemény, a tálcával azonos méretű, nem hajlékony fa lapra súlyokat (4,7 kg/db) helyeztünk és 10 percig rajta hagytuk. (68. ábra)

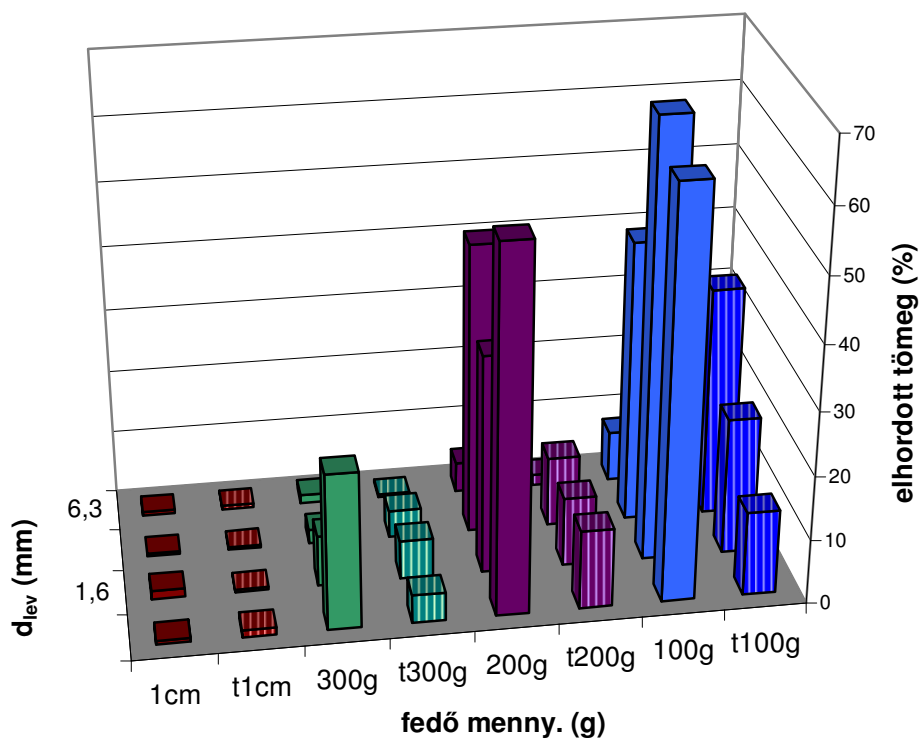


68. ábra

A minták tömörítése

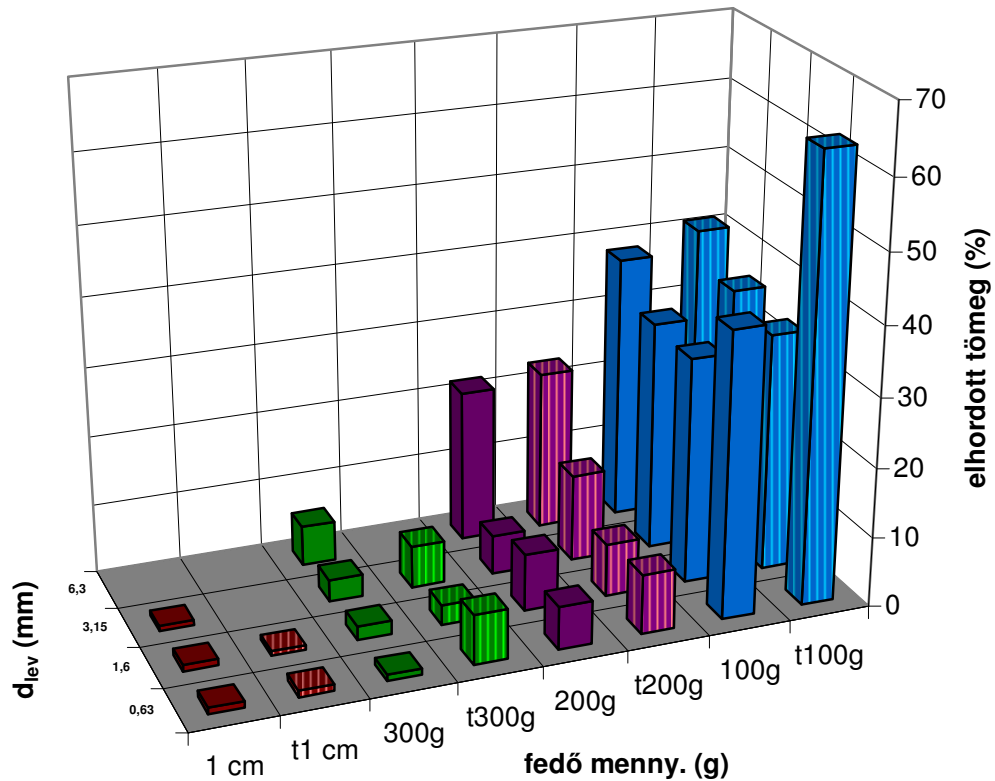
A feltételezés a **zagy1** anyag esetén igazolódott, a **zagy2** esetén viszont nem. Az eredmények részben az anyagok tömöríthetősége közötti különbségre vezethetők vissza, nagy az eltérés a d_{60}/d_{10} között ($U_{zagy1}=400$, $U_{zagy2}=2-8$).

Összevetve az értékeket a tömörítés nélküli és a tömörített minták értékei között, a következő (69. és 70. ábra) diagrammokat kapjuk:



69. ábra

A **zagy1** minta elhordási értékei különböző borítottság mellett, tömörítéssel és anélkül



70. ábra

A **zagy2** minta elhordási értékei különböző borítottság mellett, tömörítéssel és a nélkül

Amíg a **zagy1** mintára a kiporzás elleni védekezés szempontjából a tömörítés kifejezetten pozitív hatással volt, addig a **zagy2** esetében az összes eredmény kedvezőtlenül alakult.

A **zagy1** könnyen tömörödő, jobban tapadó anyag, ennek következtében az alsó, finomabb szemcséjű és a felső durvább szemcséjű réteg tömörödése a rétegeken belül zajlott le. A felső és az alsó réteg szemcséi kis hányadban jutottak át a másik rétegbe. Ennek következtében a felső rétegben viszonylag kis mennyiségben voltak finom szemcsék és ezeket is erősen árnyékkolták a nagy szemcsék. Az anyag tulajdonságai következtében a felső rétegben a szemcsék a terhelés hatására összetapadtak. A fentiek együttes hatására a kihordás jelentősen csökkent.

A **zagy2** anyagnál a tömörítés során a nagyobb szemcsék belenyomódtak a finom frakcióba, csökkentve ezáltal a durvább szemcsék által védett felületet. A zagy2 finom frakciójának meredek eloszlása miatt az egyenlőtlenségi együtthatója kicsi, de a szemcsehalmaz fluid jellege miatt a nagyobb szemcsék a terhelés hatására „belesüllyedtek” a finomabb réteg-

be. Ezek következtében a finomabb szemcsék jobban ki voltak téve a légáramlatnak, mint a tömörítés nélküli vizsgálatnál.

Kimondható tehát, hogy a tömörítés kiporzás elleni védelemben csak akkor vezet jó eredményre, ha

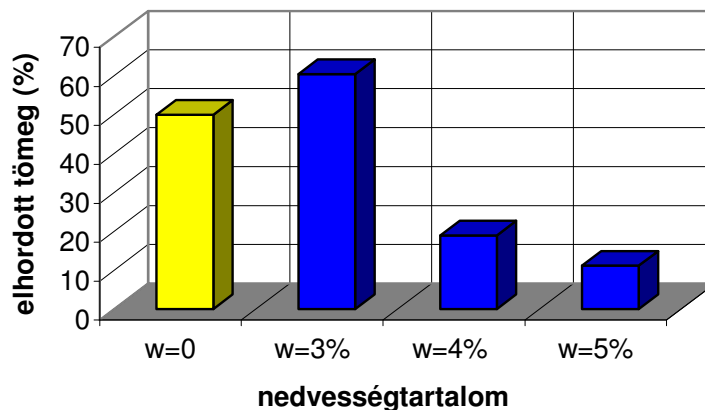
- az anyag jól tömöríthető,
- a rétegek között az anyagmozgás korlátozott,
- az anyag hajlamos az összetapadásra.

7.4 Kiporzás elleni védekezés nedvesítéssel

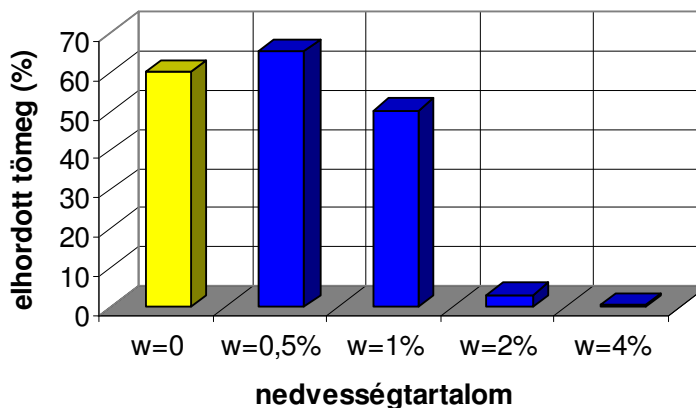
A porzásra hajlamos felületeknél a por emisszió intenzitásának locsolással történő csökkentése közismert és sok helyen használt megoldás. A nedvesítéssel történő védekezés nemcsak a környezetvédelemben, hanem a munkahelyi porvédelemben is jelentős szerepet játszik. Bányászatban különösen fontos a termelő gépek vágókéseinek, jövesztőfejének folyamatos permetezése, külfejtésekben a szállítási útvonalak locsolása stb.

Kísérleteimben, arra kerestem a választ, hogy a nedvességtartalom függvényében hogyan változik a minták kiporzása. Kétféle anyaggal végeztem a kísérleteket. A zagytározó gátjából vett mintából leválasztva a 3,15 mm-nél nagyobb szemcséket, az osztályozott homokból pedig a 0-1 mm közötti frakciót vizsgáltam. A homokminták (döntő a kvarc tartalom) esetén az agyagtartalom nem befolyásolja a kísérlet eredményét. A nedvességtartalom pontos megállapítása érdekében első lépésben kiszárítottam a mintákat, majd tömegarányosan kevertem a mintához a vizet és homogenizáltam a nedvesített mintát.

A légsebesség minden alkalommal 9 m/s volt.



71. ábra
A nedvesség hatása a **gát** anyagának kiporzására



72. ábra

A nedvesség hatása a homok kiporzására

Amint az várható volt a nedvességtartalom növekedésével rohamosan csökkent a deflálódott mennyiség (71., 72. ábra). A mérések két meglepő eredményt hoztak.

Mindkét minta esetén, több mérés eredményeként, megállapítható volt, hogy igen kis nedvességtartalmú mintából nagyobb anyaghányad szállt el, mint a szárazból. A védekezés szempontjából ennek nem volt jelentősége, ezért nem foglalkoztam részletesen a kérdéssel, de célszerűnek látszik a kérdés tisztázása.

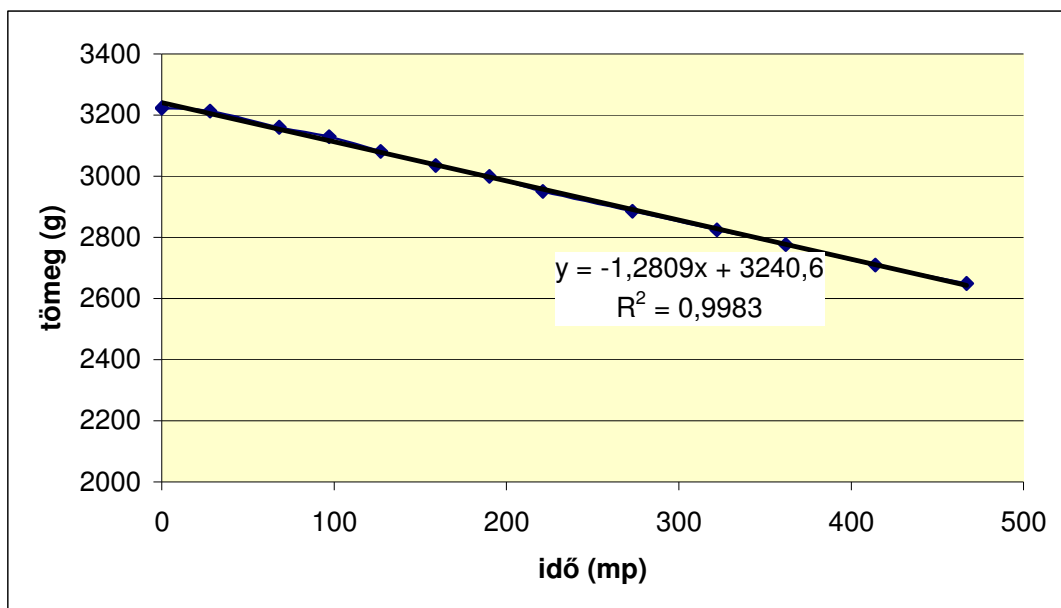
Ennél fontosabb eredmény, hogy viszonylag kis folyadék mennyiség már jelentős mértékben csökkenti a kiporzást. A csökkenés exponenciális jellegű, és a homok esetében már 2 %-nál alig van kiporzás, a gát anyagánál 5 %-os nedvességtartalom 10 % alá csökkenti a kiporzást a száraz anyag majdnem 50 %-os értékéről.

A fentiek alapján megállapítható, hogy a felületi rétegben nagyon alacsony nedvességtartalom elegendő a kiporzás jelentős csökkentéséhez. A gyakorlat mégis azt jelzi, hogy ennél magasabb nedvességtartalom eredményez csak megfelelő védelmet. Feltételezésünk szerint a nagyobb nedvességtartalomra azért van szükség, mert a magas szélesség gyorsan szárítja a talaj felszínét és rövid idő után megindul a kiporzás.

A vízzel való kiporzás elleni védekezésnek több hátránya is van. A legfőbb hátrány akkor jelentkezik, amikor olyan anyagról van szó, amely veszélyes anyagokat – pl. nehézfémeket – tartalmaz, amely a vízzel könnyen kioldódik, és így a mélyebb rétegekbe kerülve, bejuthat a talajvízbe. A másik fő hátrány a gazdaságosság. A víz pótlásának folyamatosnak kell lenni, mivel a légáramlás szárító hatásának köszönhetően a talaj nedvességtartalma egyfolytában csökken.

A légáramlásnak köszönhető kiszárító hatást méréseink közben tapasztaltuk:

A nedvesített anyaggal történt kísérletek bizonyítják, hogy az elszállt mennyiség és az eltelt idő között lineáris a kapcsolat, ellentétben a száraz anyagra vonatkozó mérésekkel, ahol a kihordott anyagmennyiség csökkenése az idő függvényében exponenciális jellegű (73. ábra).

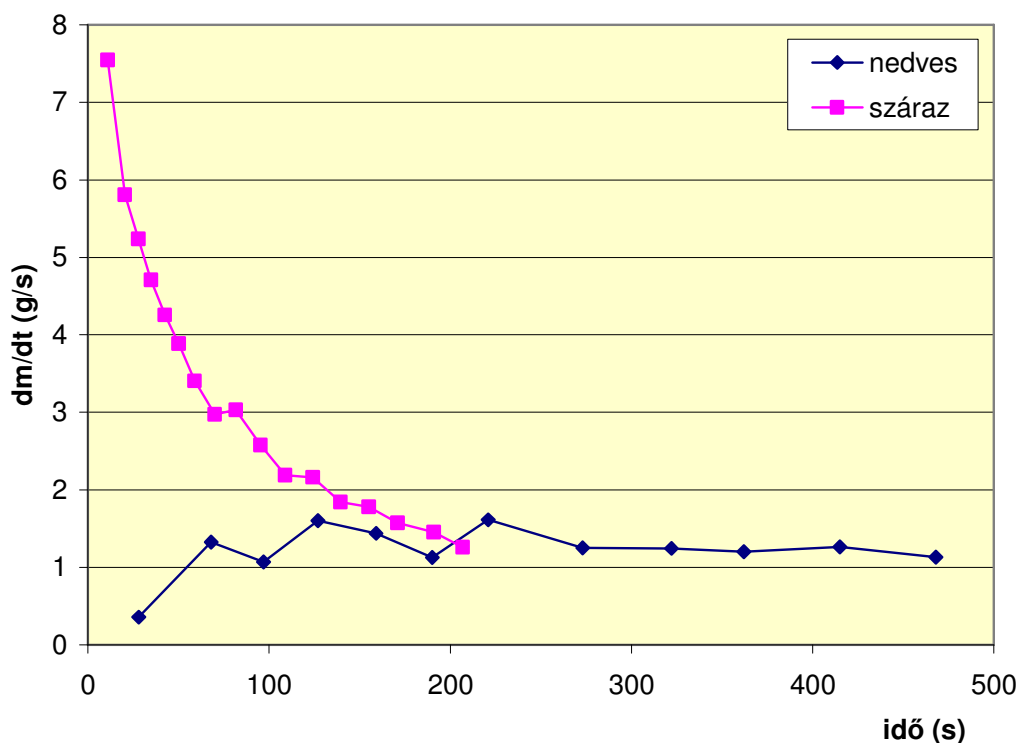


73. ábra

Kihordott anyagmennyiség az idő függvényében nedves minta esetén

A légáramlás hatására a tálca felületén lévő anyag folyamatosan száradt, ami elegendő utánpótlást jelentett a kihordáshoz. A kiporzás lineáris jellege másrészt a frissen felszínre kerülő rétegek azonos nedvességtartalmának köszönhető.

Jobban tükrözi a tényleges folyamatokat a kihordott tömegek idő szerinti differenciálgörbéje, ami a 74. ábrán látható. A száraz anyag esetén az időegységre eső kihordás rohamosan csökken, a nedves anyag esetén egy rövid felfele ívelés után stabilizálódik a kihordott mennyiség.



74. ábra

Kihordott tömeg idő szerinti differenciálgörbéje nedves és szárász minta esetén

A diagrammok alapján az látszik, hogy a szárász anyaggal végzett kísérletnél az időegység alatt kihordott anyagmennyiség folyamatosan csökken, elméletileg 0-hoz kell tartania. A nedves anyagnál ingadozóan ugyan, de a kísérlet első szakaszában növekszik a kihordás, majd egy kis visszaesés után a 200-300 másodperc között állandósul az egyensúlynak megfelelő értékeken. A nedves anyag esetén tehát kb. 100-150 s időre volt szükség a kísérlet során ahhoz, hogy a szél által kiszárított anyag



75. ábra

A minta a fújási kísérlet után

mennyiség egyenlő legyen az elszállított anyag mennyiségével, s így állandósult egy dinamikus egyensúlyi folyamat. A kísérletről készült kép (75. ábra) tanúsága szerint az anyag felülete nedves maradt a kísérlet végén is, azaz a feltételezés ezzel is igazolható.

A gyakorlat számára hasznosítható eredmény kettős:

1. nincs szükség a teljes anyag halmaz (laza felületi réteg) átítatására, csupán a felszíni néhány mm-es réteg nedvességének van jelentősége,
2. ennek a felszíni vékony rétegnek a nedvességtartalmát legalább 4-5 %-os szinten folyamatosan fenn kell tartani a kifújás mennyiségének meghatározó mértékű csökkenése érdekében.

Az időegység alatt kijuttatandó vízmennyiség pontos értéke helyszíni kísérletekkel határozható meg, mivel a meddőhányó anyagán kívül a szélesebbesség, a hőmérséklet, s a párolgást befolyásoló egyéb tényezők ezt befolyásolják.

8 ÖSSZEFOGLALÁS, AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

A különféle talajok kiporzásának kérdéseivel nagy terjedelmű szakirodalom foglalkozik, jelentős kutatóintézetek, egyetemi tanszékek folytatnak vizsgálatokat. A kutatások döntő hányada azonban mezőgazdasági területek deflációjával, valamint sivatagi területek kiporzásával és a sivataggal határos peremterületek porterhelésével foglalkozik.

A szakirodalom – érthető módon – elsősorban a mezőgazdasági területek deflációs jelenségeit vizsgálja, javaslatot tesz deflációs függvényekre, mivel a talajpusztulás megelőzése elsőrendű érdek. A javasolt védekezési módszerek is elsősorban a mezőgazdasági területek defláció elleni védelmével foglalkoznak. Kevés figyelmet kap az ipari, bányászati területek deflációja, és különösen az ott található anyagok kiporzási hajlandóságának értékelése, amire nem találtam általánosan alkalmazható összefüggést.

1. tézis

1.1 *A porszemcsékre ható erők elemzése alapján megállapítottam, hogy az értekezésben vizsgált deflációs jelenségek értelmezését arra a pillanatra kell koncentrálni, amikor a szemcsék az elmozdulás határán vannak. A kihordás mérőszámának, a függvényyszerű kapcsolat alakulásának pontosítása, a folyamatok ezen mozzanatánál fellépő erők figyelembevételével lehetséges.*

1.2 *Az elemzés rávilágít arra, hogy a szemcsékre ható erőknek a szemnagyság függvényében maximuma van, a gyakorlatban elterjedt felfogással ellentétben tehát nem a legkisebb szemcsék emelkedhetnek a legkönnyebben a levegőbe.*

1.3 *A dinamikus felhajtóerőre kapott összefüggés alapján a különféle tényezők függvényében megadható az a szemnagyságtartomány, amelyre még hat függőlegesen felfele mutató eredő erő.*

2. tézis *A kihordást jellemző tényezők számbavétele és a deflációs folyamatok elemzése alapján megállapítható, hogy a jelenségeket és a folyamatokat befolyásoló tényezők nagy száma és a véletlenszerű hatások miatt, azok csak sztochasztikus módszerekkel vizsgálhatók.*

Mivel sztochasztikus jelenségekről, folyamatokról van szó, elkerülhetetlenek a kísérleti vizsgálatok, amelyek alapján a véletlenszerű jelenségek jellemzői meghatározhatók.

3. tézis *A kísérleteim alapján igazoltam, hogy a hányókon és zagytereken uralkodó tényleges kiporzási hajlandóság meghatározásánál az ott észlelhető in situ szemcseeloszlást kell figyelembe venni.*

Ennek meghatározására egy „kíméletes” szitálási eljárást dolgoztam ki.

Az in situ eloszlásokat csakúgy, mint a többi vizsgált tényezőt, sztochasztikus adatként kell kezelni.

4. tézis *A kísérletileg meghatározott kiporzási hajlandóság tekintetében a gyöngyösoroszi minták közötti eltérések részben azok összetételének különbözőségével, részben az eltérő in situ szemcseeloszlásukkal magyarázhatók. Az egymáshoz képest kis távolságban vett minták közötti jelentős különbségek alapján megállapítottam, hogy még a meddőhányók, zagytározók felszíne sem homogén, ezért tervszerű mintavételre van szükség a kiporzási hajlandóság kellő pontosságú meghatározásához.*

A hányók, zagytározók anyaga hosszabb idő alatt olyan fizikai, kémiai átalakulásokon mehet keresztül, ami a fent említett inhomogenitást növelheti.

5. tézis

5.1 *Az elvégzett regressziós elemzés alapján bebizonyítottam, hogy a kihordás mértéke (m) az átlagos szemnagyság (d_a) és a szélesség (v) függvényében közelítőleg becsülhető. A korrelációs index négyzetének értéke alapján ($r^2=0,78$) megállapítható, hogy ez a két tényező a kihordás mértékét csak 78%-ban befolyásolja, 22%-ot egyéb paraméterek határoznak meg.*

5.2 *Kísérleteim alapján megállapítottam, hogy a pontosabb becsléshez független változóként szükség van a belső súrlódási szög (φ), a szemcsesűrűség (ρ), a szemcseeloszlás szórásának (σ), valamint az eredő emelő erőnek (f) a figyelembevételére.*

5.3 *Megállapítottam továbbá, hogy a felsorolt paraméterek és a kihordás közötti függvénykapcsolat dimenzió nélküli paraméterkorrekcióval pontosítható. A dimenzió nélküli paraméterek az átlagos szemnagyság értékét korrigálják az alábbi összefüggés szerint:*

$$d_{korr} = d_a \cdot \left(\frac{9}{v}\right)^{2.5} \cdot \frac{\varphi}{34} \cdot \frac{2,64}{\rho} \cdot \left(\frac{\sigma}{d_a}\right)^{0,25} \cdot f$$

5.4 Vizsgálataim alapján bizonyítást nyert, hogy a kiporzási hajlandóságot a korrigált szemcseméret függvényében az alábbi exponenciális összefüggés határozza meg a legpontosabban:

$$m = 100 \cdot e^{-a \cdot d_{kor}^b}$$

5.5 A vizsgált 61 minta alapján meghatározott regressziós függvénnyel kielégítő pontossággal becsülhető a kiporzási hajlamot jelző tömegarány ($I=0,960$, $I^2=0,922$, $D_{dy}=\pm 9,10\%$).

$$m = 100 \cdot e^{-2,97 \cdot d_{kor}^{1,32}}, \%$$

5.6 Bebizonyítottam, hogy pontosabb becslés akkor végezhető, ha a mintákat az előfordulási helyek ill. technológiák szerint csoportosítva határozzuk meg a regressziós egyenleteket.

Ezt bizonyítja a visontai mintákra külön illesztett regressziós egyenlet és annak szorossága ($I^2=0,97$, $D_{\Delta y}=\pm 4,45\%$).

6. tézis A kísérleteim alapján megállapítottam, hogy a visontai zagytározón a REA-gipsz égési maradékokkal együtt történő kiszállítása (deponálása) jelentős mértékben – kb. egyötödére – csökkenti a zagytározó felületének kiporzási hajlandóságát.

7. tézis A ferde tálcás kísérleteknél az eredmények értékelését segíti a szemcsékre ható erők vizsgálata. A ferde felületek deflációs jelenségeinek modellezése alapján megállapítottam, hogy szembe és hátulról fújó szél esetén a szemcsék viselkedése eltérő.

7.1 A szemből fújás esetére bizonyítottam, hogy adott szemnagyságú szemcsék a szélsebességtől és a dőlésszögtől függően elmozdulhatnak a lejtőn felfele is, de le is gurulhatnak. Szemből fújásnál meghatároztam a rézsű azon két határszögét, amelyek között az adott méretű szemcse nem mozdul. E tartomány alatti dőlésnél felfele mozdulnak, felette pedig lefele gurulnak a szemcsék.

7.2 Ebből következik, hogy a rézsűkön szembefújás esetén, ingadozó szélsébségnél nagyobb deflációval kell számolni, mint egyenletes erejű szélnél. Az erősebb széllelké-

seknél felfele mozduló finom szemcsék ugyanis szabaddá tesznek nagyobb szemcséket, melyek az adott szélsébségnél jellemzően a nem mozduló tartományba esnek, és ennek következtében gyengülő vagy megszűnő szélnél lefelé gurulnak a csökkenő tapadásnak, beágyazódásnak köszönhetően. Ez a felszín anyagának osztályozódását is eredményezi, aminek a rézsű állékonyságára is hatása lehet.

8. tézis Hátról fújó szél esetén a kísérletek és az elméleti megfontolások alapján az alábbi megállapítások tehetők:

8.1 *Egy adott dőlésű rézsű esetén a koronaéltől való távolság növekedésével egyre csökken az eredő emelő erő nagysága, és csak egyre kisebb szemcsék képesek felfelé mozdulni. Az eredő erőre kapott összefüggés alapján meghatározható egy adott távolságnál az a szemcseméret, amelyre a legnagyobb eredő emelő erő hat.*

8.2 *Egy adott szemcseméret esetén, növekvő dőlésszögnél a koronavonalhoz egyre közelebbi pontokban jelentkezik csak felfele ható eredő emelő erő.*

8.3 *A koronaéltől egy adott távolságra, a szemcseméret csökkenésével ugyan csökken az eredő erő nagysága, de nagyobb dőlésnél is jelen van.*

8.4 *Durvább frakció esetén, ha a légáramlás sebessége nem elegendő a szemcse fel-emeléséhez, a kisebb szemcsék távozása következtében csökkenő beágyazódás miatt, a lejtős felületen a szemcsék legurulnak a rézsű aljára. A felületen lévő szemcsék átrendeződésének következtében újabb deflálható szemcsék válnak szabaddá.*

9. tézis

9.1 *A kísérleteim alapján megállapítottam, hogy a lejtős felületeken a kihordás mindig nagyobb, mint a sík terepen. A vizsgálatok alapján nem tudtam szoros függvényszerű kapcsolatot kimutatni. A mért adatok és az elemzések alapján azonban a szemcseeloszlás, a szélsébség és irányok, valamint a dőlésszög függvényében egyedi kalkulatív elemzéssel becslés adható a kihordási hajlandóságra.*

9.2 *A vizsgálatok bizonyították, hogy a finom szemcsés anyagok ($d_a < 1\text{mm}$) esetén a szemből fújó szél több anyagot szállít el, mint a hátról fújó. A durva szemeloszlású anyagoknál ($d_a > 2\text{mm}$) fordított a helyzet, a hátról fújó szél okoz nagyobb kihordást.*

10. tézis *A kihordás elleni nedves védekezési eljárásra vonatkozóan megállapítottam, hogy a felületi rétegek szükséges és elégséges víztartalma 3-4%, mivel ez a víztartalom töredékére csökkenti a kiporzást.*

A védekezéshez szükséges víztartalom a kidolgozott módszertannal tetszőleges anyagra kísérletileg meghatározható.

11. tézis *A kísérletek alapján bizonyítottam, hogy a vizsgált anyagok esetén védekezési eljárásként alkalmazható a felületek durvaszemcsés borítása.*

11.1 *A finomabb szemcsés anyagok durva anyaggal történő borítása már akkor is hatásos, ha a felületi fedettség eléri a 30-40 %-ot.*

11.2 *A szükséges borítottság közelítő pontosságú meghatározása a fedettség és a kihordás csökkenése között megállapított regressziós függvények alapján lehetséges.*

12. tézis *A heterogén szemcseeloszlású deponálandó anyag esetén a durva szemcsés borítás, magából az anyagból, adott szemnagyságnál történő szétválasztással is előállítható. A kihordás nagyságának csökkenése a szétválasztási szemnagyság és a fedettség mértéke alapján, az anyagi jellemzők ismeretében, a számított regressziós függvényekből meghatározható.*

A hányókon a folyamatosan kiszállított anyag szétválasztásával és differenciált lerakásával folyamatos darabos fedettség alakítható ki.

Olyan esetben, amikor az anyag kihordása eredeti állapotban is alacsony, a szétválasztásos védekezés nem alkalmazható.

13. tézis *Meghatároztam azokat a feltételeket, amelyek megléte mellett a felszíni réteg tömörítésével a durvaszemcsés borítás védőhatása javul:*

- *az anyag jól tömöríthető,*
- *a rétegek között az anyagmozgás korlátozott,*
- *az anyag hajlamos az összetapadásra.*

Kisebb mértékben ront a durvaszemcsés-borítás védőhatásán a felszíni réteg tömörítése akkor, ha az alsó réteg finomszemcsés és gyengén tömöríthető.

Ez azzal magyarázható, hogy a felső réteg nagyobb szemcséi benyomódnak a finomabb alsó rétegbe, és csökken azok szélárnyékoló hatása.

SUMMARY

The basic aim of the research was to develop a model for the quantification of the aerial erosion character of stripped and reclaimed mining areas and tailings. Dust, blown away from huge quantities of dumped mine waste endanger their neighboring sites during a long period near operating and abandoned mines as well. Very few studies describing this problem and its elimination can be found.

Quantity of dust, blown away by wind is influenced by many factors. These factors, such as grain size distribution, density, mineral composition, internal angle of friction, etc. were determined and described in the thesis. Analyzing numerous reports the most important parameters influencing the quantity of the dust blown away (e.g. speed and direction of the wind, grain size distribution of the most upper layer covering the area and moisture content and inclination of the surfaces, etc.) were selected. As all of these parameters can be considered stochastic, statistical methods were developed. A series of experiments were designed and carried out to determine the quantity of dust as a function of the listed characters. Different maximum grain size samples were examined and various air speed were applied to blow them in order to determine the effect of grain size and wind speed on the measure of the erosion. The hazard of aerial erosion was characterized by the relative loss of mass of the sample. It was proved by the measurements that appropriate issues can be obtained only if loose agglomerations in the samples were not destroyed during the experiments.

Regression analysis complemented with certain dimensionless correction was used to determine the loss of mass of horizontal surfaces as a function of the most important factors, which can be used for relative exact estimations.

No general function was found for inclined surfaces, although results can be used for estimating relative loss of mass for the different types of materials.

A series of experiments were carried out to find effective methods reducing hazard of aerial erosion as well. Effects of moisturizing the upper layer of the samples furthermore covering them with coarse grains were analyzed. Significant reduction of erosion was resulted by moisturizing the upper layer (3-4 % moisture content). Similar effect was observed if 30-40 % of the area was covered by coarse grains.

Results can be used to quantify the hazard of aerial erosion of dump sites of mine wastes, coal combustion products and tailings. Loss of mass can be estimated using the model as a function of different variables, such as wind speed, average and standard deviation of grain size, internal angle of friction and average density of the grains.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **Andrási Gy. – Bán I. – Polonszky Gy. – Sozánski B. – Dr. Sente I. – Tóth Á.:** *Tárolás*, Műszaki Könyvkiadó, 1971.
- [2] **Dr. Balogh I. – Szűcs I. – Woperáné S. Á.:** *Levegőtisztaság-védelmi módszerek és berendezések*, Kézirat, Tankönyvkiadó, Budapest, 1981.
- [3] **Barótfi I.:** *Környezettechnika*, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 2000.
- [4] **Dr. Bobok E.:** *Bányászati áramlástan I.*, Kézirat, Tankönyvkiadó, Budapest, 1982.
- [5] **Bogárdi J.:** *Vízfolyások hordalékszállítása*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1970.
- [6] **Dr. Buócz Z.:** *Rekultiváció, tájrendezés*, Tanszéki segédlet, Miskolc, 2000.
- [7] **Buócz Z. – Janositz J.:** *A regressziós függvények meghatározásának és alkalmazásának néhány kérdése*, NME Közleményei I. sorozat Bányászat 22., 1976. pp. 197-213
- [8] **D. Chandler – K. Saxton:** *Developments in Measurement and Models for Suspension-Dominated Wind Erosion*, 10th International Soil Conservation Organization Meeting, 1999. pp. 688-692
- [9] **Dovrtel G.:** *Észak-magyarországi lignitek elégetéséből származó salakpernyék további felhasználását, deponálását megalapozó vizsgálatok*, Doktori értekezés, Visonta, 2003.
- [10] **Droppo, J.G. – J.W. Buck:** *The Multimedia Environmental Pollutant Assessment System (MEPAS): Atmospheric Pathway Formulations*. PNNL-11080/UC-602, 630, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington, 1996.
- [11] **Eickelpasch, D – Schecker H.-G.:** *Diffúz poremissziók elemzésének módszerei*, OMIKK – Környezetvédelem, 1999/17-18.

- [12] **M. Ezekiel – K. A. Fox:** *Korreláció és regresszió analízis Lineáris és nem lineáris módszerek*, Közgazdasági és jogi Könyvkiadó, Budapest, 1970.
- [13] **Dr. Fekete I. – Dr. Menyhárt J.:** *A légtechnikai elméleti alapjai*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1975.
- [14] **Fekete K. – Popovics M. – Szepesi D.:** *Légszennyező anyagok transzmissziójának meghatározása*, Országos Meteorológiai Szolgálat Hivatalos Kiadványai LV. kötet, Budapest, 1983.
- [15] **Dr. Fodor Gy.:** *Mérték egység lexikon*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1990.
- [16] **D. W. Fryrear – P. L. Sutherland – G. Davis – G. Hardee – M. Dollar:** *Wind Erosion Estimates with RWEQ and WEQ*, 10th International Soil Conservation Organization Meeting, 1999. pp. 760-765
- [17] **J. M. Gregory – R. Vining – L. Peck – K. Wofford:** *TEAM: The Texas Tech Wind Erosion Analysis Model*, 10th International Soil Conservation Organization Meeting, 1999. pp. 747-750
- [18] **Hahn Gy. – Siskáné Szilasi B.:** *Bányameddők és bányatavak rekultivációja Magyarországon*, in Dövényi Z. – Schweitzer F.: *Táj és környezet*, Tisztelet-kötet a 75 éves Marosi Sándornak, MTA FKI, Budapest, 2004. pp. 231-229
- [19] **Hütte:** *A mérnöki tudományok kézikönyve*, Springer Hungaria Kiadó, Budapest, 1993.
- [20] **T. A. James – R. L. Croissant:** *Controlling Soil Erosion From Wind*, Colorado State University Cooperative Extension – Agriculture, no. 0.518
(www.ext.colostate.edu/pubs/crosp/00518.html, 2004. 10 21.)
- [21] **A. Klik:** *Wind Erosion Assessment in Austria Using Wind Erosion Equation and GIS*, OECD Expert Meeting on Soil Erosion and Soil Biodiversity Indicators in Rome, Italy 2003.
([http://webdomino1.oecd.org/comnet/agr/soil_ero_bio.nsf/viewHtml/index/\\$FILE/Klik.PDF](http://webdomino1.oecd.org/comnet/agr/soil_ero_bio.nsf/viewHtml/index/$FILE/Klik.PDF))

- [22] **Dr. Koncz I.:** *Portalanítás és porleválasztás*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982.
- [23] **Központi Földtani Hivatal Földtani Felügyeleti Osztály:** *Magyarország bányameddő- és másodnyersanyag készlete*, Budapest, 1990.
- [24] **Dr. Kun Béla:** *A gyöngyösoroszi környéki ércbányászat*, Földtani kutatás, Budapest, 1998.
- [25] **L. D. Landau – E. M. Lifsic:** *Elmléleti fizika VI. Hidrodinamika*, Tankönyvkiadó, Budapest, 1980.
- [26] **László P.:** *Az eróziós folyamatok modellezése*, Talajvédelem, A Talajvédelmi Alapítvány kiadványa, Save our Soils, VI. évf. 3-4 sz.
- [27] **X.-Y. Li – J. H. Wang – L.-Y. Liu:** *Wind tunnel simulation experiment on the erodibility of the fixed aeolian sandy soil by wind*, ICAR5/GCTE-SEN Joint Conference, Texas, USA, 2002. pp. 40-43
- [28] **Lóczy D.:** *Geomorfológia*, Dialóg-Campus, Budapest, 2005.
- [29] **Lóki J.:** *A szélerózió mechanizmusa és magyarországi hatásai*, Doktori értekezés, Debrecen, 2003.
- [30] **H. Lu:** *An Integrated Wind Erosion Modelling System with Emphasis on Dust Emission and Transport*, PhD Dissertation, School of Mathematics The University of New South Wales Sidney, Australia, 1999.
- [31] **S. D. Merrill – A. L. Black – A. D. Halvorson:** *Soil-Inherent Wind Erodibility: Progress and Prospects*, Wind Erosion: An International Symposium/Workshop, Kansas, 1999.
(www.weru.ksu.edu/symposium/proceedings/merrill.pdf , 2004. 10. 21.)
- [32] **S. A. Nelson:** *Wind as a Geologic Agent*, Tulane University, Physical Geology
(www.tulane.edu/~sanelson/geol111/deserts.htm, 2004. 10. 19)

- [33] **Dr. Párkányi I. – Lovász A. – Sankovics L.:** *Gyöngyösorszi bányaművelési és ércfeldolgozási technológiák*, Gyöngyössolymos, 2004.
- [34] **Dr. Szabadka Ö.:** *Környezetvédelem analitikája III. Levegőszennyezők analitikája*, Kézirat, Budapest, 1975.
- [35] **Dr. Szűcs I. – Dr. Szemmelveisz T. – Woperáné Dr. S. Á. – Máté I.:** *Szénttüzelésű erőmű által okozott légszennyezés meghatározása számítógépi modellel*, Energiagazdálkodás, 40. évf. 1999. 4. szám, pp. 13-19
- [36] **Szűcs I. – Woperáné S. Á.:** *Levegőtisztítás*, Miskolci Egyetemi Kiadó, 2001.
- [37] **Dr. Tarján I.:** *A mechanikai eljárástechnika alapjai*, Miskolci Egyetemi Kiadó, 1997.
- [38] **К. З. Ушаков – В. А. Михайлов:** *Аэрология карьеров*, Москва, Недра, 1975.
- [39] **U. S. Environmental Protection Agency:** *Supplement C to Compilation of Air Pollutant Emission Factors*, Volume I. Stationary Point and Area Sources, 11. 2. 7 Industrial Wind Erosion, Fourt Edition, 1990.
- [40] **Dr. Vékény H.:** *Porártalom a bányászatban*, Műszaki Könyvkiadó, 1981.
- [41] **WERU: Wind Erosion Research Unit**, United States Department of Agriculture, Agriculture Research Service Kansas State University (http://www.weru.ksu.edu/new_weru/index.html)
- [42] **R. Wollenberg:** *Verfahren zur praxisnahen Bestimmung der Staubigkeitseigenschaften von feinkörnigen und kleinstückigen Schüttgütern*, Schüttgut, Nr. 1, Vol. 11, 2005.
- [43] **Dr. Zambó J.:** *Telepítéselmélet a bányászatban*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966.

- [44] **Gy. Szarka, M. Vadászi:** *Consideration over Rekultivation after the Mining*, VI. Bányászati Kohászati Földtani Konferencia, Petrozsény, 2004. május 20-23. „Konferenciakiadvány: 81.old.
- [45] **Gy. Szarka:** *Environmental Changes and Consequences Resulting from Abandoning Mines, the Necessity of Rekultivation*, Amireg2004, 1st International Conference, Advances in Mineral Resources Management and Environmental Geotechnology, Hania, 7 - 9 June 2004. Konferenciakiadvány: 467-471. old.
- [46] **Gy. Szarka:** *Deflációs jelenségek meddőhányókon és zagytereken*, Doktoranduszok Fóruma, Miskolc, Miskolci Egyetem, 2004. nov. 4-9., Konferenciakiadvány: 40-46 old.
- [47] **Gy. Szarka, V. Márai:** *Investigation of dusting-intensity of Gyöngyösoroszi flotation waste dump*, MicraCAD 2005 International Scientific Conference, Miskolc, Konferenciakiadvány: B szekció: Energiagazdálkodás és környezetvédelem, 69-74. old.
- [48] **Szarka Gy.:** *Meddő anyagok szemeloszlásának vizsgálata a kiporzás szempontjából* (Investigation of grain-size distribution of dead material point of view the dusting), VII. Bányászati Kohászati Földtani Konferencia, Nagyvárad, 2005. március 31.-április 3., Konferenciakiadvány: 40. old.
- [49] **Gy. Szarka:** *Analysis of dusting of bulk materials*, XIII International Scientific & Practical Conference „Information Technologies: Science, Engineering, Technology, Education, Health” MicroCAD, 19-20 May 2005, Kharkiv, Konferenciakiadvány: 187-190. old.
- [50] **Buócz Z., Szarka Gy.:** *Lejtős felületek kiporzási tulajdonságának vizsgálata*, „The 12th Symposium on Analytical and Environmental Problems”, Szeged, 2005. szeptember 26., Konferenciakiadvány: 306-310. old

- [51] **Buócz Z., Szarka Gy.:** *Meddőhányók és zagytározók kiporzása, és a védekezési lehetőségek*, Geotechnika 2005., Ráckeve, Savoyai kastély, 2005. október 18-19., <http://www.konferenciairoda.hu/geotechnika2005/indexmagyar.htm>
- [52] **Gy. Szarka:** *Lignittüzelésű erőmű égéstermékeinek kiporzás vizsgálata*, MicroCAD 2006 International Scientific Conference, Miskolc, 16-17 March, 2006., Konferenciakiadvány: C szekció Környezetvédelem-Hulladékgazdálkodás (Environmental Protection-Waste Management) 107-116. old.
- [53] **Gy. Szarka:** *Dusting Investigation of Deposited Slag-Scale-Rea Gypsum Materials*; Bányászat és Geotechnika A Miskolci Egyetem Közleménye A sorozat, Bányászat 68. kötet, Miskolci Egyetemi Kiadó 2006 pp.113-118
- [54] **F. Kovács Dr, B. Mang Dr, Gy. Szarka:** *Dusting Investigation of Deposited Slag-Scale-Rea Gypsum Materials*, XIV International Scientific & Practical Conference „Information Technologies: Science, Engineering, Technology, Education, Health”, 18-19 May 2006, Kharkiv, Konferenciakiadvány: 286-291. old.
- [55] **Dr. Z. Buócz – Gy. Szarka:** *Egyes anyagok kiporzási értékeinek előrejelzése regressziós vizsgálat alapján*, MicroCAD 2007 International Scientific Conference, Miskolc, 22-23 March, 2007., Konferenciakiadvány: megjelenés alatt

MELLÉKLET

1. melléklet mérési eredmények folyamatos időmérés mellett
2. melléklet szemeloszlási adatok
3. melléklet elhordási adatok a maximális szemcseméret arányában
4. melléklet homok minták elhordási adatai kúpos anyaghalmaznál és sík tálcás méréseknél
5. melléklet regressziós adatok
6. melléklet ferde és vízszintes elhelyezésű tálca elhordási adatai
7. melléklet homok minta elhordási adatai durva szemcsés anyaggal való borítás mellett
8. melléklet zagy1 minták elhordási adatai különböző szemnagyságnál történő szétválasztás, különböző mértékű borítás mellett
9. melléklet zagy1 minták elhordási adatai különböző szemnagyságnál történő szétválasztás, különböző mértékű borítás és tömörítés mellett
10. melléklet zagy2 minták elhordási adatai különböző szemnagyságnál történő szétválasztás, különböző mértékű borítás mellett
11. melléklet zagy2 minták elhordási adatai különböző szemnagyságnál történő szétválasztás, különböző mértékű borítás és tömörítés mellett

9 m/s légsebesség, visontai zagytéri minta, tömbös, finom frakció (1. mérés)			
idő, (s)	Σ idő, (s)	tömeg, (g)	különbség, (g)
0,00	0,00	2203	
11,00	11,00	2120	83
9,47	20,47	2065	55
7,45	27,92	2026	39
7,01	34,93	1993	33
7,52	42,45	1961	32
7,72	50,17	1931	30
8,81	58,98	1901	30
11,10	70,08	1868	33
11,54	81,62	1833	35
13,59	95,21	1798	35
13,71	108,92	1768	30
15,26	124,18	1735	33
15,20	139,38	1707	28
15,74	155,12	1679	28
15,89	171,01	1654	25
19,96	190,97	1625	29
15,86	206,83	1605	20

9 m/s légsebesség, visontai zagytéri minta, tömbös, finom frakció (2. mérés)			
idő, (s)	Σ idő, (s)	tömeg, (g)	különbség, (g)
0,00	0,00	2394	
5,75	5,75	2330	64
6,29	12,04	2283	47
5,97	18,01	2240	43
6,68	24,69	2204	36
6,67	31,36	2165	39
6,93	38,29	2132	33
6,00	44,29	2109	23
6,57	50,86	2085	24
9,26	60,12	2054	31
9,69	69,81	2025	29
11,88	81,69	1994	31
12,60	94,29	1962	32
13,62	107,91	1938	24
15,22	123,13	1910	28
15,38	138,51	1887	23
15,17	153,68	1870	17
15,66	169,34	1847	23

12 m/s légsebesség 0-1 mm homok, w=4%			
idő, (s)	Σ idő, (s)	tömeg, (g)	különbség, (g)
0	0	3223	
28	28	3213	10
40	68	3160	53
29	97	3129	31
30	127	3081	48
32	159	3035	46
31	190	3000	35
31	221	2950	50
52	273	2885	65
49	322	2824	61
40	362	2776	48
52	414	2709	67
53	467	2649	60

GÁT in situ				
Szita lyukméret (mm)	tömeg (g)	ΔSi (%)	S (%)	100-S%
55	0	0	0	100
31,5	177,22	6,57	6,57	93,42
25	101,69	3,77	10,35	89,65
20	82,77	3,07	13,42	86,58
16	146,99	5,45	18,87	81,13
10	223,42	8,28	27,16	72,84
8	86,07	3,19	30,35	69,64
6,3	42,20	1,56	31,92	68,08
5	52,08	1,93	33,85	66,15
4	44,69	1,65	35,51	64,49
3,15	92,83	3,44	38,95	61,04
2,5	15,75	0,58	39,54	60,46
2	39,93	1,48	41,02	58,98
1,6	13,65	0,51	41,53	58,47
1,25	36,29	1,35	42,87	57,13
1	31,85	1,18	44,05	55,94
0,63	163,89	6,08	50,13	49,86
0,315	946,26	35,11	85,24	14,76
alsó	397,8	14,76	100	0
össz:	2695,38			

GÁT gépi szítálás 1. mérés				
Szita lyukméret (mm)	tömeg (g)	ΔSi (%)	S (%)	100-S%
32	0	0	0	100
6,3	241,58	9,77	9,77	90,23
5	42,06	1,70	11,47	88,53
4	34,51	1,39	12,86	87,13
3,15	40,65	1,64	14,50	85,49
2,5	36,17	1,46	15,97	84,03
2	14,96	0,60	16,57	83,42
1,6	24,20	0,98	17,55	82,44
1,25	40,23	1,63	19,18	80,82
1	40,03	1,62	20,80	79,20
0,63	185,57	7,50	28,30	71,70
0,4	406,76	16,45	44,75	55,25
0,315	415,36	16,79	61,54	38,45
0,25	86,78	3,51	65,05	34,94
0,18	345,94	13,99	79,04	20,96
0,1	370,79	14,99	94,03	5,96
0,08	67,11	2,71	96,75	3,25
alsó	80,41	3,25	100	0
össz	2473,11			

GÁT gépi szítálás 2. mérés				
Szita lyukméret (mm)	tömeg (g)	ΔSi (%)	S (%)	100-S%
32	0	0	0	100
6,3	75,07	3,08	3,08	96,92
5	18,42	0,75	3,83	96,16
4	22,61	0,93	4,76	95,24
3,15	16,37	0,67	5,43	94,56
2,5	12,67	0,52	5,95	94,04
2	11,91	0,49	6,44	93,56
1,6	12,86	0,53	6,97	93,03
1,25	25,15	1,03	8,00	92,00
1	29,64	1,21	9,22	90,78
0,63	165,84	6,80	16,02	83,98
0,4	319,88	13,12	29,14	70,85
0,315	385,70	15,82	44,97	55,03
0,25	232,38	9,53	54,50	45,50
0,18	518,00	21,25	75,75	24,25
0,1	424,24	17,40	93,15	6,84
0,08	60,63	2,48	95,64	4,35
alsó	106,18	4,35	100	0
össz	2437,55			

GÁT laboratóriumi				
Szita lyukméret (mm)	tömeg (g)	ΔSi (%)	S (%)	100-S%
32	0	0	0	100
6,3	87,38	8,77	8,77	91,23
5	6,02	0,60	9,37	90,62
4	6,60	0,66	10,08	89,96
3,15	3,09	0,31	10,35	89,65
2,5	3,85	0,39	10,73	89,26
2	16,06	1,61	12,35	87,65
1,6	4,54	0,45	12,80	87,20
1,25	12,51	1,25	14,06	85,94
1	18,00	1,81	15,86	84,13
0,63	65,48	6,57	22,44	77,56
0,315	200,98	20,17	42,61	57,39
0,16		5,86	48,47	51,53
0,08		31,46		20,06
0,04		9,83		10,23
0,01		3,95	100	6,28
alsó	571,71	6,28		0
össz	996,22			

ZAGY2 laboratóriumi				
Szita lyukméret (mm)	tömeg (g)	ΔSi (%)	S (%)	100-S%
32	0	0	0	100
6,3	15,71	1,13	1,13	98,86
5	9,74	0,70	1,84	98,16
4	17,21	1,24	3,08	96,92
3,15	9,03	0,65	3,73	96,26
2,5	15,92	1,15	4,89	95,11
2	22,79	1,64	6,53	93,47
1,6	7,40	0,53	7,07	92,93
1,25	12,25	0,88	7,95	92,05
1	7,69	0,55	8,51	91,49
0,63	18,12	1,31	9,82	90,18
0,315	563,71	40,74	50,56	49,44
0,16		3,86	54,42	45,58
0,08		20,21	74,63	25,37
0,05		10,36	85,00	15,00
0,03		6,09	91,09	8,91
0,02		5,11	96,20	3,80
0,01		3,80	100	0
alsó	684,02	0	100	0
össz	1383,59			

ZAGY2 in situ				
Szita lyukméret (mm)	tömeg (g)	ΔSi (%)	S (%)	100-S%
55,00	0	0	0	100
31,50	0	0	0	100
25,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
16,00	0	0	0	100
10,00	11,71	0,92	0,92	99,08
8,00	6,71	0,52	1,44	98,56
6,30	22,96	1,80	3,24	96,76
5,00	12,71	0,99	4,23	95,77
4,00	11,72	0,92	5,15	94,85
3,15	59,19	4,63	9,78	90,22
2,50	6,06	0,47	10,25	89,75
2,00	8,30	0,65	10,90	89,10
1,60	9,08	0,71	11,61	88,39
1,25	18,12	1,42	13,03	86,97
1,00	10,00	0,78	13,81	86,19
0,63	30,80	2,41	16,22	83,78
0,32	267,60	20,94	37,16	62,84
alsó	803,24	62,84	100	0
össz	1278,20			

ZAGY2 gépi szitálás 1. mérés				
Szita lyukméret (mm)	tömeg (g)	ΔSi (%)	S (%)	100-S%
16,00	0	0	0	100
6,30	14,37	0,49	0,49	99,51
5,00	9,53	0,32	0,81	99,19
4,00	16,86	0,57	1,39	98,61
3,15	19,26	0,66	2,05	97,95
2,50	7,60	0,26	2,30	97,70
2,00	16,48	0,56	2,87	97,13
1,60	12,10	0,41	3,28	96,72
1,25	15,30	0,52	3,80	96,20
1,00	12,87	0,44	4,24	95,76
0,63	33,34	1,14	5,38	94,62
0,40	112,64	3,84	9,21	90,79
0,32	612,64	20,88	30,10	69,90
0,25	255,68	8,71	38,81	61,19
0,18	1303,55	44,43	83,24	16,76
0,10	294,37	10,03	93,27	6,73
0,08	75,35	2,57	95,84	4,16
alsó	122,03	4,16	100	0
össz	2933,97			

ZAGY2 gépi szítálás 2. mérés				
Szita lyukméret (mm)	tömeg (g)	ΔSi (%)	S(%)	100-S%
16,00	0	0	0	100
,30	6,71	0,21	0,21	99,79
5,00	10,59	0,33	0,54	99,46
4,00	16,93	0,53	1,07	98,93
3,15	22,04	0,69	1,77	98,23
2,50	9,75	0,31	2,07	97,93
2,00	19,18	0,60	2,68	97,32
1,60	12,60	0,40	3,07	96,93
1,25	17,76	0,56	3,63	96,37
1,00	14,93	0,47	4,10	95,90
0,63	40,67	1,28	5,38	94,62
0,40	123,44	3,88	9,25	90,75
0,32	1036,71	32,56	41,81	58,19
0,25	337,49	10,60	52,41	47,59
0,18	676,75	21,25	73,66	26,34
0,10	528,99	16,61	90,27	9,73
0,08	118,63	3,73	94,00	6,00
alsó	191,17	6,00	100	0
össz	3184,34			

ZAGY1 laboratóriumi				
Szita lyukméret (mm)	tömeg (g)	ΔSi (%)	S (%)	100-S%
32,00		0	0	100
6,30	133,23	16,25	16,25	83,75
5,00	46,74	5,70	21,95	78,05
4,00	50,29	6,13	28,09	71,91
3,15	53,26	6,50	34,58	65,42
2,50	20,09	2,45	37,04	62,96
2,00	62,41	7,61	44,65	55,35
1,60	35,23	4,30	48,95	51,05
1,25	35,72	4,36	53,30	46,70
1,00	23,24	2,83	56,14	43,86
0,63	47,61	5,81	61,95	38,05
0,32	57,82	7,05	69,00	31,00
0,16	254,15	0,00	69,00	31,00
0,08		2,55		28,46
0,04		9,01		19,45
0,01		7,60		11,86
alsó		11,86		0
össz	819,79			

ZAGY1 in situ				
Szita lyukméret (mm)	tömeg (g)	ΔSi (%)	S (%)	100-S%
55,00	0	0	0	100
31,50	220,44	6,98	6,98	93,02
25,00	267,29	8,46	15,44	84,56
20,00	144,20	4,57	20,01	79,99
16,00	162,46	5,14	25,16	74,84
10,00	410,46	13,00	38,15	61,85
8,00	138,20	4,38	42,53	57,47
6,30	231,11	7,32	49,85	50,15
5,00	198,19	6,28	56,12	43,88
4,00	167,64	5,31	61,43	38,57
3,15	216,07	6,84	68,27	31,73
2,50	38,28	1,21	69,49	30,51
2,00	165,02	5,23	74,71	25,29
1,60	69,23	2,19	76,90	23,10
1,25	81,08	2,57	79,47	20,53
1,00	46,18	1,46	80,93	19,07
0,63	95,43	3,02	83,96	16,04
0,32	93,92	2,97	86,93	13,07
alsó	412,74	13,07	100	0
össz	3157,94			

SALAK				
Szita lyukméret (mm)	tömeg (g)	ΔSi (%)	S(%)	100-S%
32,00			0	100
6,30	150,65	32,36	32,36	67,64
5,00	30,30	6,51	38,87	61,13
4,00	29,56	6,35	45,22	54,78
3,15	34,86	7,49	52,70	47,30
2,50	16,00	3,44	56,14	43,86
2,00	44,13	9,48	65,62	34,38
1,60	28,94	6,22	71,83	28,17
1,25	29,65	6,37	78,20	21,80
1,00	22,84	4,91	83,11	16,89
0,63	40,27	8,65	91,76	8,24
0,32	25,66	5,51	97,27	2,73
0,16		0,54	97,81	2,19
0,08		1,35		0,84
0,04		0,46		0,38
0,01		0,24		0,15
alsó	12,71	0,15		0
össz	465,57			

LJUNGSTRÖM PERNYE				
Szita lyuk- méret (mm)	tömeg (g)	ΔSi (%)	S (%)	100-S%
32,00	0	0	0	100
6,30	0	0	0	100
5,00	0	0	0	100
4,00	0	0	0	100
3,15	0	0	0	100
2,50	0	0	0	100
2,00	0	0	0	100
1,60	1,44	0	0	100
1,25	1,03	0,31	0,31	99,69
1,00	16,23	0,22	0,52	99,48
0,63	102,83	3,45	3,97	96,03
0,32		21,84	25,81	74,19
0,16		25,16	50,97	49,03
0,08		38,55		10,48
0,04		8,70		1,77
0,01		1,45		0,32
alsó	349,27	0,32		0
össz	470,80			

ECO PERNYE				
Szita lyuk- méret (mm)	tömeg (g)	ΔSi (%)	S (%)	100-S%
32,00	0	0	0	100
6,30	0	0	0	100
5,00	0	0	0	100
4,00	0,53	0	0	100
3,15	0,51	0,10	0,10	99,90
2,50	3,40	0,10	0,20	99,80
2,00	6,22	0,64	0,84	99,16
1,60	13,23	1,17	2,01	97,99
1,25	23,75	2,49	4,50	95,50
1,00	129,71	4,48	8,98	91,02
0,63	194,48	24,45	33,43	66,57
0,32		36,66	70,09	29,91
0,16		9,50	79,59	20,41
0,08		19,46		0,95
0,04		0,32		0,63
0,01		0,42		0,21
alsó	158,64	0,21		0
össz	530,47			

ELEKTROFILTER PERNYE				
Szita lyuk- méret (mm)	tömeg (g)	ΔSi (%)	S (%)	100-S%
32,00	0	0	0	100
6,30	0	0	0	100
5,00	0	0	0	100
4,00	2,14	0	0	100
3,15	0,36	0,66	0,66	99,34
2,50	0,78	0,11	0,77	99,23
2,00	0,54	0,24	1,02	98,98
1,60	0,33	0,17	1,18	98,82
1,25	0,35	0,10	1,29	98,71
1,00	0,67	0,11	1,39	98,61
0,63	1,55	0,21	1,60	98,40
0,32		0,48	2,08	97,92
0,16		1,78	3,87	96,14
0,08		32,96		63,18
0,04		36,91		26,27
0,01		21,66		4,61
alsó	315,96	4,61		0
össz	322,68			

ZAGY2							
6m/s				9 m/s			
d _{max} (mm)	fújás előtt	fújás után	elhordás %	d _{max} (mm)	fújás előtt	fújás után	elhordás %
15	2933,97	2625,4	10,51714912	15	3462	2584	25,361063
3,15	2582,9	2269,06	12,15068334	6,3	3162	2352	25,6166983
0,63	2194,87	1389,34	36,70057908	3,15	3077	1192	61,2609685
0,25	2057,23	1369,63	33,42358414	1,6	3313	897	72,9248415
				0,63	3264	971	70,2512255
				0,25	3360	932	72,2619048

GÁT									
6 m/s				9m/s				12 m/s	
d _{max} (mm)	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %
32	3110	3087	0,879877582	3329	3107	7,83621603	3223	3033	6,967363403
6,3	3113	3056	2,178066488	2505	1859	32,1553011	3026	1211	71,73913043
3,15	2890	2683	8,646616541	2617	1221	65,8180104	3168	1051	79,22904192
1,6	2940	2340	24,54991817	2974	1056	77,4011299	2761	803	86,44591611
0,4	2709	1775	42,20515138	2713	832	84,8443843	3156	715	91,76691729
0,25	2902	1821	44,92934331	2378	811	83,2624867	3004	689	92,3046252

ZAGY1									
6 m/s				9m/s				12 m/s	
d _{max} (mm)	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %
32	2557	2552	0,242600679	3070	3063	0,27195027	3396	3328	2,344827586
6,3	2894	2889	0,208507089	2858	2819	1,6511431	3007	2725	11,23058542
3,15	3130	3115	0,569476082	2862	2618	10,3127642	3100	1433	64,01689708
1,25	3075	2999	2,946878635	3070	2145	35,93629	3000	814	87,30031949
0,63	3093	2790	11,66730843	3088	1832	48,4567901	3140	759	90,05295008

KÚPOS ANYAGHALMAZ

0-1mm, 6 m/s			0-1mm 9 m/s		
fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %
3437	3003	14,75689	3059	1526	59,81272

0-4mm 6 m/s			0-4mm 9 m/s			0-4 mm 12 m/s		
fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %
3834	3834	0	3834	3765	2,067106	3839	3260	17,31977

0-1mm és 0-4 mm: 1:4 ARÁNYBAN 9 m/s		
fújás előtt	fújás után	elhordás %
3321	3314	0,247788

SÍK TÁLCA

durva nélkül 0-1mm 9 m/s			durva nélkül 0-4 mm 12 m/s		
fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %
3907	2204	49,92671	3808	3788	0,603865

minta csoport	minta jele	da	v	σd	φ	m	dmax	sűrűség	relatív	dkorr
		mm	m/s	mm	°	%	mm	t/m3	szórás	mm
gyöngyösoroszí	z1-6	3,808	6	5,183	30,9	0,243	32,00	2,56	1,361	10,261
	z1-6	1,637	6	1,747	36,7	0,209	6,30	2,56	1,068	5,358
	z1-6	0,826	6	0,840	38,9	0,569	3,15	2,56	1,017	2,810
	z1-6	0,343	6	0,307	40,2	2,947	1,25	2,56	0,895	1,249
	z1-6	0,213	6	0,139	40,2	11,667	0,63	2,56	0,653	0,722
	z2-6	0,423	6	1,175	31,5	10,517	32,00	2,68	2,779	1,290
	z2-6	0,287	6	0,271	33,5	12,151	6,30	2,68	0,942	0,733
	z2-6	0,246	6	0,100	34,1	36,701	3,15	2,68	0,406	0,521
	z2-6	0,186	6	0,053	35,0	33,424	1,25	2,68	0,285	0,377
	g-6	2,067	6	4,370	28,0	0,880	0,63	2,72	2,114	5,246
	g-6	0,667	6	1,049	28,9	2,178	32,00	2,72	1,572	1,518
	g-6	0,450	6	0,468	29,0	8,647	6,30	2,72	1,040	0,944
	g-6	0,357	6	0,235	29,7	24,550	3,15	2,72	0,658	0,691
	g-6	0,292	6	0,151	30,2	42,205	1,25	2,72	0,517	0,545
	g-6	0,157	6	0,056	31,2	44,929	0,63	2,72	0,355	0,282
	z1-9	3,808	9	5,183	30,9	0,272	15,00	2,56	1,361	3,724
	z1-9	1,637	9	1,747	36,7	1,651	3,15	2,56	1,068	1,662
	z1-9	0,826	9	0,840	38,9	10,313	0,63	2,56	1,017	1,006
	z1-9	0,343	9	0,307	40,2	35,936	0,25	2,56	0,895	0,451
	z1-9	0,213	9	0,139	40,2	48,457	15,00	2,56	0,653	0,261
	z2-9	0,393	9	0,888	31,5	25,361	6,30	2,68	2,260	0,411
	z2-9	0,362	9	0,583	32,0	25,617	3,15	2,68	1,609	0,354
	z2-9	0,299	9	0,284	32,9	61,261	1,60	2,68	0,950	0,268
	z2-9	0,266	9	0,144	33,4	72,925	0,63	2,68	0,539	0,211
	z2-9	0,255	9	0,115	33,6	70,251	0,25	2,68	0,450	0,195
	z2-9	0,157	9	0,061	35,0	72,262	32,00	2,68	0,387	0,125
	g-9	0,915	9	2,617	28,0	7,836	6,30	2,72	2,862	0,820
	g-9	0,467	9	0,750	28,8	32,155	3,15	2,72	1,605	0,390
	g-9	0,364	9	0,350	29,0	65,818	1,60	2,72	0,961	0,271
	g-9	0,320	9	0,215	29,5	77,401	0,40	2,72	0,673	0,223
	g-9	0,268	9	0,137	30,0	84,844	0,25	2,72	0,512	0,179
	g-9	0,163	9	0,057	31,2	83,262	32,00	2,72	0,348	0,105
	z1-12	3,808	12	5,183	30,9	2,345	6,30	2,56	1,361	1,235
	z1-12	1,637	12	1,747	36,7	11,231	3,15	2,56	1,068	0,790
	z1-12	0,826	12	0,840	38,9	64,017	1,60	2,56	1,017	0,485
	z1-12	0,343	12	0,307	40,2	87,300	0,40	2,56	0,895	0,219
	z1-12	0,213	12	0,139	40,2	90,053	0,25	2,56	0,653	0,127
	g-12	2,067	12	4,370	28,0	6,967	32,00	2,72	2,114	0,676
	g-12	0,667	12	1,049	28,9	71,739	6,30	2,72	1,572	0,261
	g-12	0,450	12	0,468	29,0	79,229	3,15	2,72	1,040	0,163
	g-12	0,357	12	0,235	29,7	86,446	1,60	2,72	0,658	0,120
	g-12	0,292	12	0,151	30,2	91,767	0,40	2,72	0,517	0,095
	g-12	0,157	12	0,056	31,2	92,305	0,25	2,72	0,355	0,049

minta csoport	minta jele	da	v	σd	φ	m	dmax	sűrűség	relatív	dkorr
		mm	m/s	mm	°	%	mm	t/m3	szórás	mm
visontai	s6	6,443	6	6,069	28,0	0,341		1,67	0,942	21,754
	s9	6,443	9	6,069	28,0	4,024		1,67	0,942	7,894
	s12	6,443	12	6,069	28,0	2,215		1,67	0,942	3,846
	s12	6,443	12	6,069	28,0	3,318		1,67	0,942	3,846
	lp6	0,250	6	0,196	29,7	9,919		2,00	0,784	0,701
	lp9	0,250	9	0,196	29,7	41,125		2,00	0,784	0,253
	lp12	0,250	12	0,196	29,7	84,159		2,00	0,784	0,123
	eco6	0,546	6	0,390	30,5	0,842		2,04	0,714	1,477
	eco9	0,546	9	0,390	30,5	20,444		2,04	0,714	0,530
	eco12	0,546	12	0,390	30,5	48,936		2,04	0,714	0,256
	ef6	0,114	6	0,334	48,7	0,127		2,02	2,942	5,791
	ef9	0,114	9	0,334	48,7	1,562		2,02	2,942	2,101
	ef12	0,114	12	0,334	48,7	6,128		2,02	2,942	1,024
egyéb	homok1	0,387	9	0,202	30,0	49,900		2,31	0,521	0,302
	homok4	2,615	12	2,820	32,0	0,604		2,56	1,078	0,827
	gát+1	2,067	12	4,370	28,0	26,600		2,72	2,114	0,571
	gát+2	1,146	12	2,914	27,0	56,200		2,72	2,543	0,382
	lössz	8,870	12	5,542	32,0	0,676		1,76	0,625	5,290

GÁT FERDE								GÁT SÍK			
FOK	SZÉLSEB.	SZEMBŐL			HÁTULRÓL			SZÉLSEB.			
	(m/s)	ELŐTT	UTÁN	ELSZ.%	ELŐTT	UTÁN	ELSZ.%		ELŐTT	UTÁN	ELSZ.%
15	6	3045	3006	1,530012	3150	3032	4,446119	6	3110	3087	0,879878
15	9	3038	2773	10,42486	3580	3173	13,19715	9	3329	3107	7,836216
15	12	3183	2888	10,97879	3168	2992	6,586826	12	3223	3033	6,967363
30	6	3214	3164	1,839588	3094	2943	5,812163				
30	9	3465	3055	13,80936	2720	2406	14,11871				
30	12	2939	2495	18,17438	3170	2472	26,10322				
ZAGY 1 FERDE								ZAGY 1 SÍK			
FOK	SZÉLSEB.	SZEMBŐL			HÁTULRÓL			SZÉLSEB.			
	(m/s)	ELŐTT	UTÁN	ELSZ.%	ELŐTT	UTÁN	ELSZ.%		ELŐTT	UTÁN	ELSZ.%
15	6	3381	3380	0,034662	3383	3381	0,069276	6	2898	2894	0,166528
15	9	3073	3064	0,349243	3065	3041	0,934216	9	3067	3057	0,388954
15	12	3028	2979	1,935229	3066	2933	5,175097	12	2696	2644	2,363636
30	6	2970	2968	0,080841	2985	2970	0,602652				
30	9	2973	2964	0,363343	3259	3119	5,066956				
30	12	3179	3114	2,422661	3259	2853	14,69417				
ZAGY 2 FERDE								ZAGY 2 SÍK			
FOK	SZÉLSEB.	SZEMBŐL			HÁTULRÓL			SZÉLSEB.			
	(m/s)	ELŐTT	UTÁN	ELSZ.%	ELŐTT	UTÁN	ELSZ.%		ELŐTT	UTÁN	ELSZ.%
15	6	2754	2294	20,37201	2764	2002	33,59788	6	3358	3241	4,08805
15	9	2667	739	88,807	2629	1310	61,83779	9	3219	2747	17,33382
15	12							12			
30	6	2755	2425	14,60823	2800	2460	14,75694				
30	9	2703	1118	71,81695	3096	1983	42,80769				
30	12										

Ferde 0-4 mm homok							
FOK	SZÉLSEB.	SZEMBŐL			HÁTULRÓL		
	(m/s)	ELŐTT	UTÁN	ELSZ.%	ELŐTT	UTÁN	ELSZ.%
15	9				3514	3509	0,167112
15	12	3505	3462	1,441502	3509	3505	0,133914
Ferde 0-4 mm + 0-1 mm							
FOK	SZÉLSEB.	SZEMBŐL			HÁTULRÓL		
	(m/s)	ELŐTT	UTÁN	ELSZ.%	ELŐTT	UTÁN	ELSZ.%
15	12	3366	3206	5,625879	3201	3165	1,343785
25	12	3176	2998	6,706858	3194	3177	0,636228

HOMOK**alul 0-1 mm, 9 m/s**

durva nélkül 0-1 mm, 9m/s			durva nélkül 0-4 mm, 12m/s								
fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %						
3907	2204	49,92671	3808	3788	0,603865						
0-4_1cm		fed:100%	0-4_300g		fed:96,2%	0-4_200g		fed:64,1%	0-4_100g		fed:32,1%
fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %
3718	3712	0,18622	3103	3047	2,148063	2879	2741	5,79102	2712	2102	27,52708
2-4_1cm		fed:100%	2-4_300g		fed:64,1%	2-4_200g		fed:42,7%	2-4_100g		fed:21,4%
fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %
3589	3588	0,032331	2866	2827	1,64557	2614	2529	4,01322	2600	2303	14,11597
4-8_1cm		fed:100%	4-8_300g		fed:32,1%	4-8_200g		fed:21,4%	4-8_100g		fed:10,7%
fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %
3784	3782	0,060827	2916	2800	4,793388	2932	2663	11,04269	2674	1999	30,99174

ZAGY1

8-6,3-1cm		fed:100%	8-6,3-300g		fed:26,9%	8-6,3-200g		fed:17,9%	8-6,3-100g		fed:9%
fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %
3135	3119	0,60629	2824	2792	1,37457	2684	2595	4,713983	2516	2356	7,920792
8-3,15-1cm		fed:100%	8-3,15-300g		fed:34,5%	8-3,15-200g		fed:23%	8-3,15-100g		fed:11,5%
fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %
3071	3060	0,427184	2770	2721	2,154793	2604	1779	45,63053	2393	1552	44,33316
8-1,6-1cm		fed:100%	8-1,6-300g		fed:40,1%	8-1,6-200g		fed:26,7%	8-1,6-100g		fed:13,4%
fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %
3248	3212	1,30814	2660	2488	7,948244	2583	1971	34,24734	2590	1167	67,95606
8-0,6-1cm		fed:100%	8-0,6-300g		fed:44,7%	8-0,6-200g		fed:29,8%	8-0,6-100g		fed:14,9%
fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %
3335	3318	0,598802	2698	2164	24,25068	2590	1577	56,466	2467	1220	63,26738

ZAGY1**TÖMÖR 12 m/s (3X súly)**

12-6,3											
fújás előtt	fújás után	elhordás %									
3098	3070	1,076095									
12-6,3-1cm			12-6,3-300g			12-6,3-200g			12-6,3-100g		
elhordás %	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %
2901	2886	0,623701	2499	2490	0,449326	2423	2395	1,720959	2363	2332	1,660418
12-3,15-1cm			12-1,6-300g			12-1,6-200g			12-1,6-100g		
fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %
3230	3219	0,402341	2641	2550	4,242424	2551	2360	10,88319	2236	1608	36,09195
12-1,6-1cm			12-3,15-300g			12-3,15-200g			12-3,15-100g		
fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %
3039	3029	0,393236	2248	2142	6,050228	2331	2166	10,74919	2449	2031	21,40297
12-0,63-1cm			12-0,63-300g			12-0,63-200g			12-0,63-100g		
fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %
3009	2982	1,074413	2483	2396	4,37846	2471	2265	12,29851	2345	2102	13,14224

ZAGY2

15-6,3-542g											
fújás előtt	fújás után	elhordás %									
2925	2759	6,834088									
15-6,3-1 cm		fed:100%	15-6,3-305g		fed:37,3%	15-6,3-200g		fed:24,9%	15-6,3-100g		fed:12,4%
fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %
3197	3181,5	0,57386	2782	2650	5,774278	2815	2307	21,90599	2848	1949	38,22279
15-3,15-1cm		fed:100%	15-3,15-300g		fed:54,9%	15-3,15-200g		fed:36,6%	15-3,15-100g		fed:18,3%
fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %
3186	3167	0,70632	2799	2726	3,169779	2834	2704	5,560308	2728	1990	33,06452
15-1,6-1cm		fed:100%	15-1,6-300g		fed:64,3%	15-1,6-200g		fed:42,9%	15-1,6-100g		fed:21,4%
fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %
3334	3308	0,916138	2932	2883	2,011494	2717	2536	8,149482	2609	1921	32,56034
15-0,63-1cm		fed:100%	15-0,63-300g		fed:84,8%	15-0,63-200g		fed:56,5%	15-0,63-100g		fed:28,3%
fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %
3062	3039	0,896337	3062	3039	1,7198	2789	2648	6,14915	2650	1767	40,9935

ZAGY2
TÖMÖR 9 m/s (3X SÚLY)

			15-6,3-200g			15-6,3-100g					
			fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %			
			2808	2277	22,96713	2813	1861	41,08761			
			15-3,15-300g			15-3,15-200g			15-3,15-100g		
			fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %
			2995	2843	6,082433	2798	2502	12,85838	2774	1947	36,30378
15-1,6-1cm			15-1,6-300g			15-1,6-200g			15-1,6-100g		
fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %
3173	3156	0,635039	3016	2943	2,896825	2841	2662	7,633262	2776	1996	34,21053
15-0,63-1cm			15-0,63-300g			15-0,63-200g			15-0,63-100g		
fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %	fújás előtt	fújás után	elhordás %
3250	3223	0,980392	3060	2877	7,137285	2733	2541	8,582924	2760	1319	63,64841