



**Miskolci Egyetem
Műszaki Földtudományi Kar
Nyersanyagelőkészítési és Környezeti
Eljárástechnikai Intézet**



**Szemcsés anyagok és folyadékok keverésének vizsgálata,
kevertségi állapot jellemzése**

**Examination of mixturing of grained materials and liquids,
characterization of the mixtured state**

TDK dolgozat

Készítette:

Romenda Roland Róbert

I. éves környezetmérnök hallgató (MSc)

Konzulensek:

Dr. Faitli József *intézetigazgató, egyetemi docens*

Magyar Tamás *PhD hallgató*

Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet

**Miskolc
2014**

Eredetiségi nyilatkozat

Eredetiségi nyilatkozat

"Alulírott Romenda Roland Róbert, a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karának hallgatója büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem és aláírással igazolom, hogy ezt a dolgozatot saját magam készítettem, a benne leírt vizsgálatokat – ha ezt külön nem jelzem – magam végeztem el, és az ismertetett eredményeket magam értem el. Adatokat, információkat csak az irodalomjegyzékben felsorolt forrásokból használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem."

Miskolc, 2014. október 27.

.....
a hallgató aláírása

A konzulens nyilatkozata

Konzulensi nyilatkozat

"Alulírott Dr. Faitli József, a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetének intézetigazgatója és egyetemi docense a TDK dolgozatot beadásra alkalmasnak ítélem."

Egyéb megjegyzések, ajánlás:

Miskolc, 2014. október 27.

.....
a konzulens aláírása

Tartalomjegyzék

1. Bevezető	2
2. Szakirodalmi áttekintés.....	3
2.1. A keverés eljárástechnikai célja a kevertségi állapot jellemzése	3
2.2. Keverő berendezések	5
2.3. Erőműi pernyék.....	7
2.4. Autógumi hulladékok	8
3. Keverési vizsgálatok	11
3.1. Pernye alapú keverékek.....	11
3.1.1. Vizsgálatok vízszintes tengelyű keverőben	11
3.1.2. Vizsgálatok ferde tengelyű keverőben	21
3.2. Gumi alapú keverékek	32
3.2.1. Előzetes vizsgálatok	32
3.2.1.1. Szemeloszlás mérés.....	32
3.2.1.2. Sűrűségmérés	33
3.2.1.3. Viskozitás mérés.....	34
3.2.1.4. Előzetes minták.....	35
3.2.2. Vizsgálatok vízszintes tengelyű keverőben	37
3.2.3. Vizsgálatok ferde tengelyű keverőben	38
3.2.4. Vizsgálatok függőleges tengelyű keverőben	39
3.2.4.1. Teljesítményadatok meghatározása.....	39
3.2.4.2. Próbatetek elkészítése, minősítése	41
3.2.4.3. Gumi-Poliuretán keverési vizsgálat kiértékelése.....	46
4. Konklúzió	49
5. Összegzés.....	50
6. Köszönetnyilvánítás	51
7. Irodalomjegyzék.....	52

1. Bevezető

Az eljárás- és előkészítéstechnikában talán a leggyakrabban használt művelet az osztályozás és szeparálás, ahol az anyagok szétválasztása történik valamilyen fizikai paraméter szerint. Ám legalább ennyire fontos az, mikor az anyagokat az előbbivel ellentétben, homogenizálni szeretnénk. A homogenizálás vagy keverés során az elérendő cél, hogy a keverék minden alkotó eleme állandó koncentrációval legyen megtalálható a művelet végén a keverékben. Az elkészült keverékek jellemzésére a variancia számítás szolgál, ami megmutatja nekünk azt, hogy a keverék elérte már e azt az állapotot a keverés során, amikor már elmondható róla az hogy homogén a kapott anyag.

2014 nyarán és őszén két projektben is szemcsés anyagokat és folyadékok keverésével és azok jellemzésével foglalkoztam a Miskolci Egyetem Nyersanyagelő-készítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetében. Az előbbi esetben a Bajér Építőipari és Szolgáltató Kft. megbízásából pernye-víz, illetve pernye-víz-andezit keverését vizsgáltam, míg legutóbb az InnoSpectrum Innovációs, Kutató-fejlesztő, Tanácsadó és Szolgáltató Közhasznú Nonprofit Kft. megbízásából gumiapríték-uretán keverésével foglalkoztam. Dolgozatomban e két projektben végzett tevékenységemet mutatja be

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. A keverés eljárástechnikai célja a kevertségi állapot jellemzése

A keverés a mechanikai eljárástechnika alaplővelete, a szétválasztás fordított eljárása. A kiindulási, szétválasztott állapotban az összekeverni, elkeverni, bekeverni, egyesíteni, egyenlősitni, homogenizálni kívánt anyagok különböző fázisúak és összetételűek, két- vagy több komponensűek, eltérő fizikai tulajdonságúak lehetnek. A keverés sajátos jellemzője az, hogy a keverés során változik a keverék kevertségi állapota. A keverés célja a kívánt kevertségi állapot előállítása. Tökéletes az a keverék, amelyből tetszőleges helyről, tetszőlegesen kicsiny térfogatelemet kivéve, a vizsgált anyagkomponens koncentrációja azonos. Tökéletes keveréket nem lehet készíteni, mert a kiragadott térfogatelem nem lehet tetszőlegesen kicsi. Például ha a kiragadott térfogatelem kisebb, mint egy szemcse, akkor már nem lehet az anyagkomponensek szemcsearánya állandó ebben a kis térfogatban. Általában a keverés célja a sztochasztikusan (véletlenszerűen) homogén keverékállapot elérése. Sztochasztikusan homogén az a keverék, amelyben található olyan méretű diszkrét térfogatelem, amelyet bárhol kivéve a koncentráció azonos. Ez a diszkrét térfogatelem nem tetszőlegesen kicsiny és ellenőrizni úgy lehet, ha ez egyben a mintázási térfogat. Ha kisebb referencia térfogatelemet választunk, szigorúbb kevertségi állapot feltelt szabunk (Tarján Iván, 2003).

Bizonyos esetekben, – ha ismert a bekeverési koncentráció – a kevertségi állapot jellemzésére részben elméleti, részben empirikus jellemzőt, a varianciát kell meghatározni. A variancia speciális matematikai statisztikai jellemző. Általában kétkomponensű keverékeket jellemez, de több komponensű keverékeket is lehet úgy vizsgálni, hogy mindig kiragadunk egy komponenset, amelynek a koncentráció eloszlását vizsgáljuk a maradék komponensekhez képest. A valószínűségi változó az egyik komponens koncentrációja, jele c . Amennyiben egy korábban elkészített keveréket kell megvizsgálni és nem ismert a két anyag bekeverési mennyisége, azaz a bekeverési koncentráció, két kérdés merül fel. Az első kérdés az, hogy a vizsgált keverékben mennyi az egyik és másik komponens mennyisége. Ha több helyről veszünk mintát, amelyekben megmérjük a koncentrációt (c_i), a koncentráció átlaggal becsülhetjük a koncentráció várható értékét, amelyet megszorozva a keverék tömegével megkapjuk az egyik komponens becsült mennyiségét.

$$\bar{c} = \sum_{j=1}^m c_k \frac{k_j}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i}{n}$$

A másik kérdés, hogy milyen a kevertségi állapot, azaz mennyire inhomogén a keverék, amire a korrigált empirikus szórás és a relatív szórás kiszámításával adhatunk becslést.

$$S_n^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}{n-1}} \quad \frac{S_n^*}{\bar{c}}$$

Természetesen megbízhatósági intervallumot is számíthatunk mind a várható értékre, mind a szórásra.

Speciális az az eset, amikor a bekeverés előtt pontosan kimérjük a két komponens mennyiségét, majd összekeverjük őket. Ilyen esetben még a mintavételezés előtt ismerjük a koncentráció várható értékét, azaz a bekeverési koncentrációt ($p = M(c)$), ami az alapsokaság elméleti értéke és általában csak becslést lehet rá adni. Ilyen esetben egyetlen kérdés marad, hogy milyen a kevertségi állapot. (A keverés nagyon fontos művelete a gyógyszergyártásnak, ahol pl. néhány ezer hatóanyag szemcsét kell több milliárd inert szemcsével egy – egy tablettában összekeverni. Ha egy adott tablettában a hatóanyag mennyisége kevesebb, akkor a tabletta placebo, ha több, akkor mérgező. Ilyen esetben a vizsgált térfogat-rész célszerűen az egy tabletta.) A kevertségi állapot a *varianciával* jellemezhető (Tarján Iván, 2003).

$$V = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (c_i - p)^2}{n}}$$

A variancia részben empirikus jellemző, – mivel a kivett minták mért koncentrációi (c_i) – részben pedig elméleti jellemző alapján kell meghatározni, mert az a koncentráció várható értéke, azaz a bekeverési koncentráció (p). Jelöljük z -vel a referencia, vagy minta-

térfogatba beleférő szemcsék számát. A véletlenszerűen homogén kevertségi állapot határ variancia négyzete a következőképp írható fel:

$$V_z^2 = p(1-p) \frac{1}{z}$$

A kevertségi állapot jellemzésére a keverékből n helyről kell kivenni referencia térfogatú mintákat, amelyeket megelemezve a mintasorozat $c_1, c_2, \dots, c_n$ értékei meghatározhatók és a kevertségi állapotra jellemző variancia négyzet számítható. Ha az adott kevertségi állapothoz mért variancia négyzet kisebb, mint a határ variancia négyzet, a kevertségi állapot véletlenszerűen homogén, azaz megfelelő (Tarján Iván, 2003).

A keverés időbeli lefolyására általában az jellemző, hogy a beadagolást követően egy szétszeparált állapotból (V_0^2) indul a keverés, majd a keverés hatására az anyag homogenizálódik és a variancia négyzet csökken. Jellemző az is, hogy egy bizonyos keverési idő eltelte után a homogenitás már nem változik, sőt gyakran a túlkeverés hatására újra szegregáció indul meg. Ez semmiképp nem kívánatos az ipari keverőknél, ezért a keverési vizsgálatok egyik célja ennek a pontnak a kimérése (Tarján Iván, 2003).

2.2. Keverő berendezések

A keverések során az egyik legfontosabb az, hogy a keverék szempontjából milyen keverési feladatot akarunk elvégezni. Ezek alapján a következő három kategóriát különböztetjük meg ([http://www.emte.siculorum.ro/~alszep/... Keveres.pdf](http://www.emte.siculorum.ro/~alszep/...%20Keveres.pdf)):

- *Homogenizálás*, vagyis egymásba oldódó alkotórészek egyenletes elosztás, úgy koncentráció, mint hőmérséklet szempontjából,
- *Szuszpendálás*, azaz szemcsésanyagok egyenletes eloszlása egy szuszpenzióban,
- *Diszpergálás*, azaz a gázközeg egyenletes elosztása egy folyadékban,
- *Emulgálás*, egymásba nem oldódó folyadékok egyenletes eloszlása,
- *Anyag- és hőcsere gyorsítás*

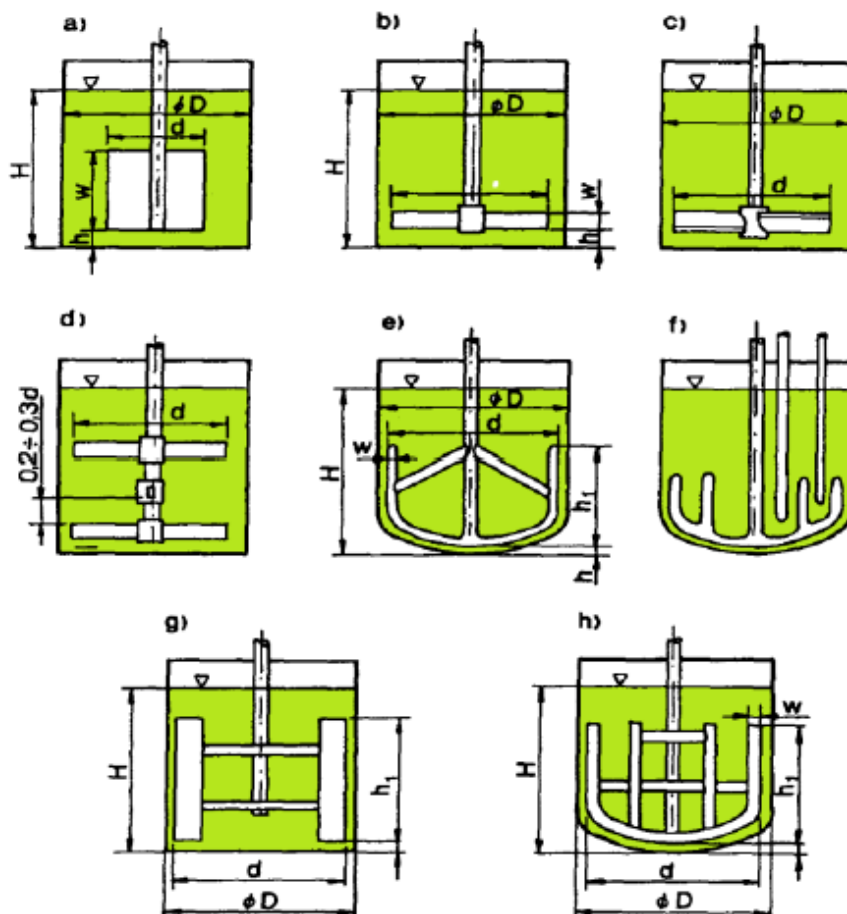
Az esetek nagy többségében a keverendő anyagok legalább egyik komponense szilárd halmazállapotú, ilyenkor a feladat a homogén szemcseeloszlás elérése. Ha a kompo-

nensek mindegyik alkotóeleme szilárd, akkor porkeverőkről beszélünk, ha pedig a szilárd anyag nedvességtartalommal rendelkezik, akkor dagasztóról vagy gyúrókról. Kis viszkozitású közegek esetén a keverési módszerek a következők lehetnek:

- Statikus állókeverés
- Gázkeverés vagy gáz befűvás
- Mechanikus keverés

Nagy viszkozitású anyagok esetében még használható mozgatható edénnyel rendelkező keverőket (<http://www.emte.siculorum.ro/~alszep/...> Keveres.pdf).

A különböző anyagfeldolgozó iparágak különböző keverő típusokat preferálnak, amelyeket a közeg minősége és azok áramlása szerint lehet osztályozni, amit az **1. ábra** mutat be.

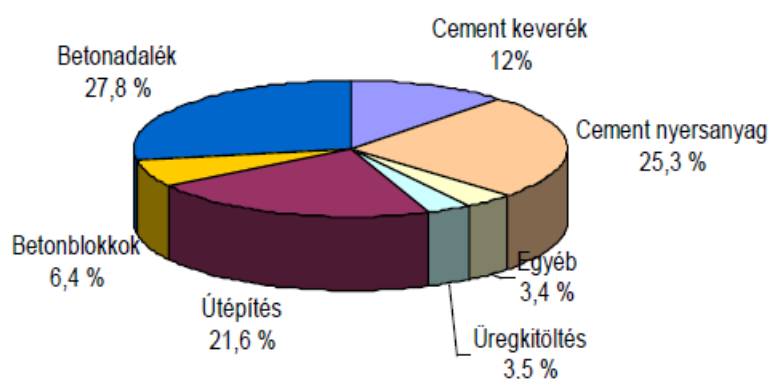


1. ábra: Lapátos keverőtípusok: a, lapkeverő; b-c, karos keverő; d, többkaros keverő; e, anker keverő; f, ujjkeverő; g, kalodás keverő síkfenekű edényben; h, kalodás keverő kosárfenekű edényben; H-folyadékszint, h1-keverő magasság, h-keverő-fenék távolság, w-keverő vastagság, D-edényátmérő, d-keverő átmérő (<http://www.emte.siculorum.ro/~alszep/...> Keveres.pdf).

2.3. Erőműi pernyék

Magyarországon az elektromos áram előállításához használt fosszilis energiahordozók közül legnagyobb arányban a barnakőszén és a lignit kerül felhasználásra, amelyek elégetése során a keletkező hőenergia mellett pernye, hamu és salak képződik. A szerves anyagok teljes elégetése során visszamaradó hamu – többnyire por alakban vagy nagyobb, összeolvadt darabokban – az oxidáció nem illékony termékeiből, szervesetlen sókból és oxidokból áll. Ennek finomszemcséjű része, ami a füstgázzal együtt a füstjáratokon át távozik a tüztérből a pernye. Ez a pernye a füstgáztisztítási folyamatok során az úgynevezett elektrofiltereken és más mechanikai porleválasztó folyamatokon fennakad, leválasztódik. Magyarországon megközelítőleg 4-5 millió tonna pernye keletkezik évente (Haidekker Borbála, 2004).

A betongyártás során pucolános aktiválását használják ki, amely a kalcium-hidroxid jelenlétében vízben oldhatatlan reakcióterméket képez, ezért előszeretettel használják adalékanyagként. Mind emellett számos más területen is alkalmazzák, amelyet a **2. ábra** mutat be.



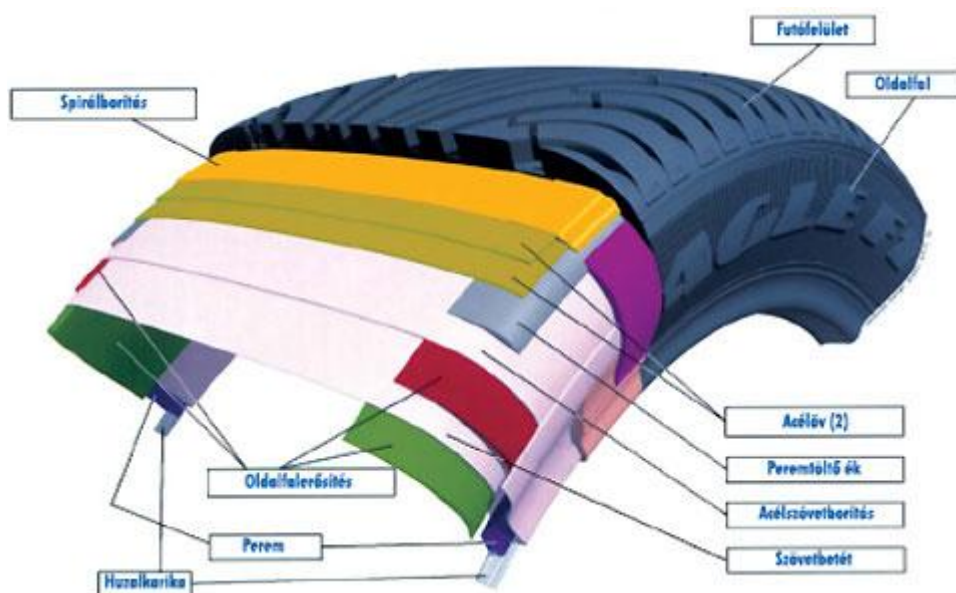
2. ábra: A pernye különböző felhasználási területei (Dr. Esztó Péter, 2005)

Az előbbi ábrából láthatjuk, hogy nem csak az építőiparban használják, hanem felhasználhatjuk útburkolatalapokhoz, töltések vagy földművek építéséhez. A bányászatban külfejtések és földalatti üregek tömedékelésénél játszik fontos szerepet. Emellett van még egy kevésbé ismert felhasználási módja, amely hazánkban még nem nagyon terjedt el. Ez a pernyéből kinyert szenoszferekből készített porózus szerkezetű anyagok, amik alkalmasak szennyeződések megkötésére, így a környezetvédelemben és kármentesítésben játszhat fontos szerepet. Azonban legnagyobb akadálya az alkalmazásának, hogy a hazai pernyék csak kis mennyiségben tartalmaznak szenoszfereket (Dr. Gáspár László, 2006).

2.4. Autógumi hulladékok

Hazánkban gumiabroncsokból hozzávetőlegesen 42-46 ezer tonna hulladék keletkezik, azonban a meglévő feldolgozó üzemek hasznosító kapacitása akár 60-70 ezer tonnányi anyag kezelését is lehetővé teszi. Az ETRMA – European Tyre and Rubber Manufacturer's Association – adataiból az derül ki, hogy a fejlettebb országokban akár 50%-kal több abroncshulladék keletkezik, mint nálunk. Ez az adat azt az előrejelzést mutatja, hogy amennyiben a magyar gazdasági fejlődés üteme élénkül, akkor hasonló változások történhetnek Magyarország gumiabroncs hulladék keletkezésében.

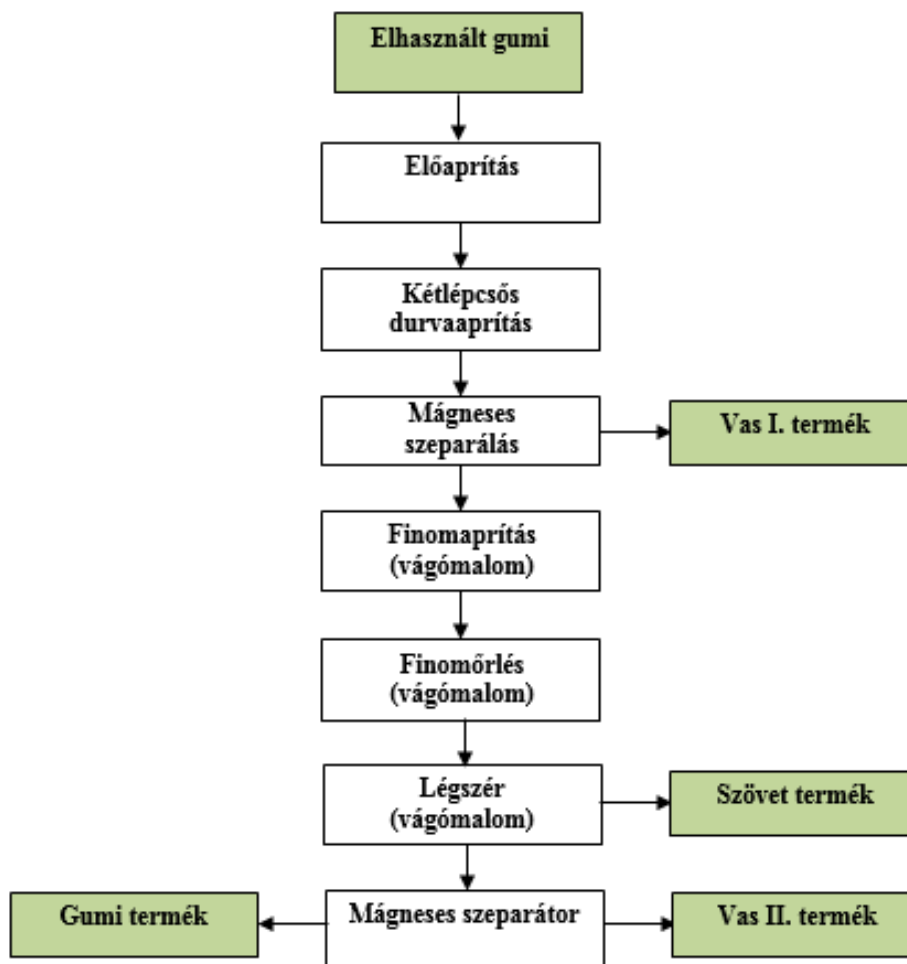
A gumiabroncsok összetétele szempontjából négy részt különböztetünk meg, ezek pedig a gumi, a kordszövet, különböző vegyi anyagok, illetve fém, amit az alább látható 3. ábra jól illusztrál (TYRE-TRANS KFT).



3. ábra: A gumiabroncs felépítése, szerkezete (<http://www.tyretrans.hu>)

A fenti ábrán látható részek mind-mind egy speciális funkciót látnak el, így felel meg a gumiabroncs az általa elvárt kívánalmaknak. A napjainkban előállított abroncsok tömegük szerint már csak 30-35% tömegszázalékban tartalmaznak gumit, aminek több mint 70 %-a a kőolaj felhasználásból származó szintetikus gumi. Bár a gumi külseje elsősorban gumi, a belső szerkezetébe különböző vegyi anyagokat kevernek, ami a futófelület jobb kopásállóságát, ez által nagyobb élettartamát segíti elő. A gumiréteg alatti kord szövet és fémhuzalok, lemezek a szilárdságát növelik, a huzalok emellett a felnihez való biztos kapcsolódásért felel.

A gumiabroncsok feldolgozása elsősorban egy 3-5 lépcsős aprítási folyamatból áll, amelyet szeparálási és előkészítési folyamatok előznek meg. Aprítás során a hőmérséklet-tartomány szempontjából két típust különböztetnek meg, a normál őrlést és a kriogén aprítást, amelyet hűtéssel, alacsony hőmérsékleten történik.



4. ábra: Egy tipikus gumiabroncs normál aprítási folyamatábrája (Gumill Kft.)

A normál aprítás során a megközelítőleg 500-600 mm átmérőjű gumit a kívánt végtermék függvényében 4-7 mm vagy az alá aprítják, mely aprítási lépcsők között több szeparációs rész található, a kord szövet eltávolítására légszér, míg a fém alkatrészek leválasztására mágneses szeparátorok.

A kriogén aprítás a gumiabroncsok feldolgozása terén egyre nagyobb teret hódít, hiszen manapság már egyre többször találkozunk olyan anyagokkal, amely a normál aprítás alkalmával nehezen vagy egyáltalán nem apríthatók. Emellett gondolni kell arra is, hogy az alkalmazott vágómalmok, forgó-nyíró aprítók, esetleg shredderek működésük során felmelegednek, ami által a gumi nehezebben aprítható, esetleg lágyulása miatt lehetet-

lenné is válik. Éppen ezért ezen rendszerek hűtése elengedhetetlenné válik, a megfelelő hatásfok elérése érdekében (Csőke B., 2011).

További, megoldandó problémát okozhat a gumiabroncsokban megtalálható fémhuzal kezelése. Egy-két aprító berendezéstől eltekintve, ezek a részek nem tudnak megfelelően áthaladni a gépeken, eltávolításukhoz külön eszközre van szükség. A legegyszerűbb talán az, ha az első aprítási lépcsőfok alkalmával nyíró-tépő aprítót alkalmazunk, amely el tud bánni a fémhuzalokkal is, és a teljes gumiabroncs tömeg a kívánt szemcsetartományba kerül át. Azonban ebben az esetben célszerű egy mágneses szeparátor alkalmazása rögtön ezután a művelet után, hogy a nagyobb fémdarabokat eltávolítsák. Persze választhatjuk azt a megoldást, hogy még a kezdeti aprítás előtt a huzalt valamilyen úton-módon eltávolítjuk az abroncsból. Erre külön eszköztípus specializálódik. Ezek a berendezések általában valamilyen kampó vagy horog segítségével egészben távolítják el a hulladékból a huzalokat, ezáltal egy komolyabb mennyiségű fém tömegáramától kímélve meg az aprítókat, szeparátorokat (Csőke B., 2011).

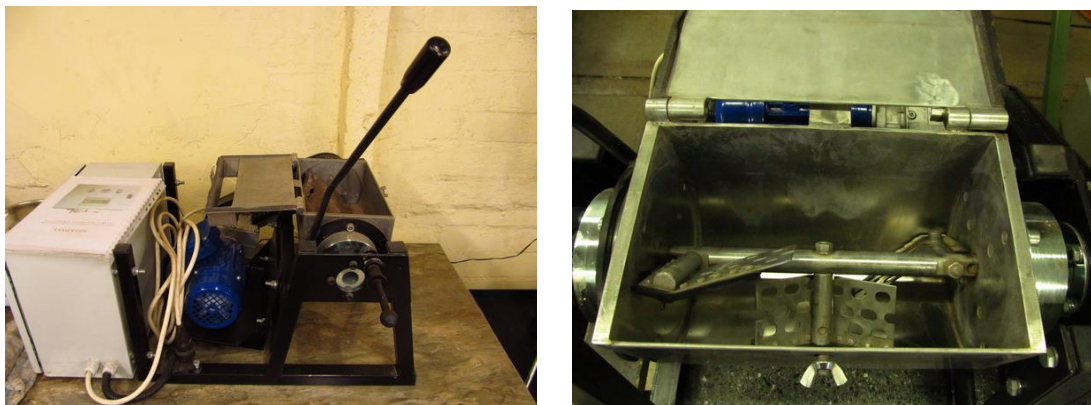
3. Keverési vizsgálatok

2014 nyarán és őszén két projektben is szemcsés anyagok és folyadékok keverésével, illetve azok jellemzésével foglalkoztam a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetében. Az előbbi esetben a Bajér Építőipari és Szolgáltató Kft. megbízásából pernye-víz, illetve pernye-víz-andezit keverését vizsgáltam, míg legutóbb az InnoSpectrum Innovációs, Kutató-fejlesztő, Tanácsadó és Szolgáltató Közhasznú Nonprofit Kft. megbízásából gumiapríték-uretán keverésével foglalkoztam.

3.1. Pernye alapú keverékek

3.1.1. Vizsgálatok vízszintes tengelyű keverőben

A bekeverés vizsgálatára a projekt keretében egy vízszintes tengelyű laboratóriumi méretű keverő berendezést készítettünk. A programozható vezérléssel ellátott keverő tengelyének maximális fordulatszáma 29 1/min, amelyet méréssel kalibráltunk. A keverési idő és a fordulatszám a vezérlő elektronika segítségével beállítható. A keverőben három gumírozott végű lapát végzi a keverést. A keveréket, ill. a nyersanyagokat a fedélen lévő nyíláson keresztül lehet be - ill. kiönteni. A vízszintes tengelyű laboratóriumi keverő a 5. ábrán látható.

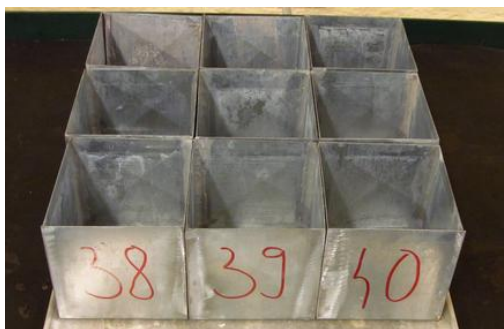


5. ábra: Vízszintes tengelyű keverő berendezés.

A szisztematikus keverési vizsgálatot a projektben általában használt anyagokkal végeztük. A vízszintes tengelyű keverőben visontai pernye ($\rho_{\text{szemcse}} = 1,93 \text{ g/cm}^3$; $\rho_{\text{halmaz}} = 0,73 \text{ g/cm}^3$) és csapvíz keverését vizsgáltuk.

A 2.1. pontban leírt elméleti metodika alkalmas a keverés vizsgálatára, azaz az elkészült keverék minősítésére, hogy az már kielégíti-e a véletlenszerűen homogén keverék-

állapotot, ill. a keverési idő függvényében elvégzett vizsgálattal az újbóli szegregáció határa is kimérhető. A módszer alkalmazásához az szükséges, hogy az elkészült keveréket a mintavételezési térfogatnak megfelelően n db diszkrét térfogatelemre bontsuk, és minden egyes térfogatelemben a vizsgált anyagkomponens koncentrációját megmérjük. A mintavételhez 51 db, horganyzott lemezből hajlított és hegesztett, 9 x 9 x 9 cm-es méretű mintavevő edényt készítettünk (A 6. ábrán 9 db látható).



6. ábra: Mintavevő edények (9 db).

A szisztematikus mérések elvégzése számos előzetes próbamérést igényelt, mivel az újonnan épített keverő berendezés, a mintavételi edények és segédberendezések működtetését ki kellett tapasztalni. A pernye – víz keverékek konzisztenciája nagyban függ a koncentrációtól. A technológiai vizsgálatok alapján a keverési vizsgálatokra meghatározott vizsgálati koncentráció 60 - 40 tömegarányú pernye - víz volt. A vízszintes tengelyű keverő optimális töltési mennyiségét figyelembe véve ez azt jelentette, hogy minden egyes keverési vizsgálathoz 1,2276 kg szárított pernyét és 0,8184 kg csapvizet kellett kimérni. A keverőbe először a pernyét, - majd rá a vizet - töltöttük be. A kezdeti mérések során, a fedélen lévő nyíláson keresztül történt a kiöntés, ám a berendezés kialakításából és a keverék konzisztenciájából adódóan ezt később el kellett vetni, mivel a keverék anyagának egy jelentősebb része ebben az esetben az indítást követően a fedél azon részére tapadt, ahová a lapátok nem értek el. Ezek után a keverési vizsgálatokat nyitott fedéllel végeztük el. Adott keverési vizsgálat után a keveréket a 9 mintavételi edénybe közel egyenletes mennyiségben kiöntöttük. A kiöntés után valamennyi anyag visszamaradt a keverőben, azonban a visszamaradt anyag fizikai jellemzőit is megmértük és ezt, mint 10. mintavételi edény szerepeltettem a táblázatokban. A tálkába kivett részmintákat mérlegeltük, majd szárítószekrényben, - szabványos - 105 °C-on történő szárítást végeztünk. A szárítást követően újabb mérlegeléssel a távozó víztartalmat meghatároztuk, amiből kiszámítható a kezdeti részmin-

ta koncentrációja. A következőkben az 1-5-15-25-150 keverőtengely fordulathoz tartozó, elvégzett szisztematikus mérőssor eredményeit közlöm:

1. táblázat: 1 fordulat utáni keverés adatok

Keverési idő: 1 fordulat						
Tálka száma	Tálka tömege [g]	Nedves tömeg [g]	Száraz tömeg [g]	Víz tömege [g]	Pernye tömege [g]	Koncentráció [-]
1	232,19	305,06	276,79	28,27	44,60	0,612049
2	227,36	353,71	305,46	48,25	78,10	0,618124
3	233,27	413,78	345,85	67,93	112,58	0,623677
4	242,99	402,59	340,83	61,76	97,84	0,613033
5	236,65	349,38	305,32	44,06	68,67	0,609155
6	229,95	393,36	330,12	63,24	100,17	0,612998
7	228,49	562,69	426,66	136,03	198,17	0,592968
8	232,65	460,78	371,74	89,04	139,09	0,609696
9	245,62	411,88	346,26	65,62	100,64	0,605317
+1				214,19	287,72	0,573254



7. ábra: A keverék állaga 1 fordulat után.

2. táblázat: 5 fordulat utáni keverés adatok

Keverési idő: 5 fordulat						
Tálka száma	Tálka tömege [g]	Nedves tömeg [g]	Száraz tömeg [g]	Víz tömege [g]	Pernye tömege [g]	Koncentráció [-]
10	230,69	320,37	285,04	35,33	54,35	0,606044
11	229,89	383,93	323,15	60,78	93,26	0,605427
12	230,86	389,04	326,56	62,48	95,7	0,605007
13	227,33	435,85	354,25	81,6	126,92	0,608671
14	228,72	344,48	299,46	45,02	70,74	0,611092
15	228,8	325,14	287,09	38,05	58,29	0,605045
16	233,34	343,1	299,83	43,27	66,49	0,605776
17	242,14	425,77	353,86	71,91	111,72	0,608397
18	231,15	387,54	327,38	60,16	96,23	0,615321
+1				319,7857	453,8785	0,586661



8. ábra: A keverék állaga 5 fordulat után.

3. táblázat: 15 fordulat utáni keverés adatok

Keverési idő: 15 fordulat						
Tálka száma	Tálka tömege [g]	Nedves tömeg [g]	Száraz tömeg [g]	Víz tömege [g]	Pernye tömege [g]	Koncentráció [-]
37	231,98	362,97	311,67	51,3	79,69	0,608367
38	232,34	416,21	344,13	72,08	111,79	0,607984
39	228,89	375,57	317,7	57,87	88,81	0,605468
40	228,12	383,63	322,41	61,22	94,29	0,606328
41	243,28	501,92	400,14	101,78	156,86	0,606480
42	229,7	380,07	320,81	59,26	91,11	0,605905
43	228,38	417,82	343,23	74,59	114,85	0,606261
44	230,62	423,98	347,84	76,14	117,22	0,606227
45	227,67	385,63	323,36	62,27	95,69	0,605786
+1				201,8757	277,2685	0,578674



9. ábra: A keverék állaga 15 fordulat után.

4. táblázat: 25 fordulat utáni keverés adatok

Keverési idő: 25 fordulat						
Tálka száma	Tálka tömege [g]	Nedves tömeg [g]	Száraz tömeg [g]	Víz tömege [g]	Pernye tömege [g]	Koncentráció [-]
46	229	331,22	290,77	40,45	61,77	0,604285
47	232,93	339,02	298,08	40,94	65,15	0,614101
48	225,56	304,02	272,99	31,03	47,43	0,604512
49	245,6	625,01	475,4	149,61	229,8	0,605677
50	228,14	369,15	313,47	55,68	85,33	0,605134
51	229,84	433,84	352,78	81,06	122,94	0,602647
32	225,47	369,5	312,54	56,96	87,07	0,604527
33	236,95	343,74	301,46	42,28	64,51	0,604083
35	230,48	382,98	322,54	60,44	92,06	0,603672
+1				259,9357	371,5185	0,588354



10. ábra: A keverék állaga 25 fordulat után.

5. táblázat: 150 fordulat utáni keverés adatok

Keverési idő: 150 fordulat						
Tálka száma	Tálka tömege [g]	Nedves tömeg [g]	Száraz tömeg [g]	Víz tömege [g]	Pernye tömege [g]	Koncentráció [-]
5	236,66	302,38	276,47	25,91	39,81	0,605752
2	226,84	322,6	284,87	37,73	58,03	0,605994
41	243,18	493,18	395,07	98,11	151,89	0,607560
45	227,56	452,3	364,03	88,27	136,47	0,607235
49	245,56	454,68	372,56	82,12	127	0,607307
43	228,17	430,87	351,09	79,78	122,92	0,606413
9	245,64	503,93	402,36	101,57	156,72	0,606760
8	232,66	295,02	270,44	24,58	37,78	0,605837
44	230,37	455,26	367,09	88,17	136,72	0,607942
+1				192,1457	260,2385	0,575260

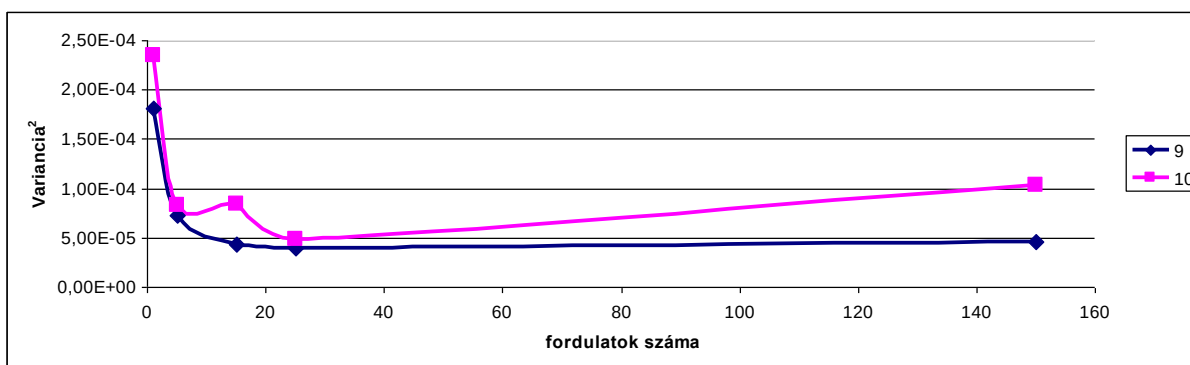


11. ábra: A keverék állaga 150 fordulat után

A 7.-11. ábrákon, amelyek a keverék állagának az időbeli (keverőtengely fordulát) változását mutatják, jól látható a változás, azonban a kevertségi állapot számszerű értékeléséhez ki kell számítani a mért variancia négyzetet minden egyes diszkrét állapothoz. A variancia négyzet értékeit kétféleképp is kiszámítottuk. Egyrészt a kiöntött anyag alapján, amely a 9 db mintavevő edénybe került. Másrészt úgy is, amikor a keverőben visszamaradt anyag koncentrációját is megmértük és ez a 10. minta.

6. táblázat: Számított variancia négyzet értékek

keverőtengely fordulatainak száma	1 fordulat	5 fordulat	15 fordulat	25 fordulat	150 fordulat
9 minta alapján	1,81E-04	7,26E-05	4,36E-05	3,93E-05	4,62E-05
10 minta alapján	2,34E-04	8,31E-05	8,47E-05	4,89E-05	1,03E-04



12. ábra: A kevertségi állapot változása a keverés során

A 12. ábrán jól látszik, hogy a kezdeti szétszeparált beadagolási állapot után kezdetben meredeken csökken a variancia négyzet értéke, azaz javul a kevertségi állapot. Már körülbelül 25 fordulat után eléri a minimum értékét, ami után újra emelkedni kezd, azaz újra szegregáció következik be. A 12. ábra alapján levonható a projekt számára az első igen fontos következtetés: a vizsgált vízszintes tengelyű keverő berendezéssel a keverő tengely fordulatainak optimális száma 25 – 40.

A másik kérdés az, hogy a 25 – 40 fordulat után elért kevertségi állapot kielégíti-e a technológiai követelményeket. Ezt egyrészt a keveréssel előállított termékek minősítése után lehet megállapítani. Ilyen szempontból - a projekt keretén belül - számos jó tulajdon-

ságokkal rendelkező terméket sikerült előállítani, amelyeknél a keverés is megfelelő volt. Tisztán keverési szempontból a mintavételezés útján becslést lehet adni arra, hogy a keverék kielégíti-e a véletlenszerűen homogén keverékállapotot. Ehhez a 2.1. pontban leírt határ variancia négyzetet kell kiszámítani. Megállapítottuk, hogy a határ variancia négyzet alapvetően két dologtól függ. Egyrészt a bekeverési koncentrációtól, amely ebben az esetben technológiai okokból adott (60 – 40 pernye – víz tömeg %), másrészt a mintavételi térfogattól és attól, hogy abba hány db szemcse fér bele. Ebből látszik az, hogy a megválasztott mintavételi térfogat és ez által a mintaelemek száma erősen befolyásolja a véletlenszerűen homogén keverékállapot kritériumot. A nagy mintaelem szám erősen megnöveli a laboratóriumi elemzési munkát, ugyanis minden egyes bekeverésnél, minden egyes mintát szárítani és elemezni kell. Mindezek alapján választottuk meg a mintaelemek számát 9-re a vízszintes tengelyű keverő vizsgálata során. Az egy bekevert adag figyelembe vételével egy – egy mintavevő edénybe jellemzően 350 g minta került. A kérdés az, hogy hány db szemcse található ebben a pont mintában, amelyben 210 g pernye található. Mivel ismert a vizsgált pernye empirikus szemcseméret eloszlása, gömb alapú szemcséket feltételezve ez kiszámítható.

7. táblázat: A felhasznált visontai pernye szemeloszlási adatai

szemcsefrakció osztályközép [μm]	tömeghányad [%]	tömeghányad a mintában [%]	egy szemcse térfogata [μm ³]	egy szemcse tömege [g]	szemcsék darabszáma [db]
3,409	0,000	0,000	20,743	4,00347E-11	0
3,905	0,173	0,363	31,179	6,01754E-11	6037349975
4,472	0,287	0,603	46,828	9,03777E-11	6668679961
5,122	0,461	0,968	70,359	1,35792E-10	7129278270
5,867	0,711	1,493	105,742	2,04082E-10	7316185351
6,720	1,049	2,203	158,894	3,06665E-10	7183416245
7,697	1,473	3,093	238,761	4,60808E-10	6712768198
8,816	1,955	4,106	358,768	6,92422E-10	5929190180
10,097	2,470	5,187	538,984	1,04024E-09	4986355612
11,565	3,002	6,304	809,908	1,56312E-09	4033082816
13,246	3,395	7,130	1 216,894	2,34861E-09	3035630376
15,172	3,589	7,537	1 828,635	3,52927E-09	2135542996
17,377	3,596	7,552	2 747,407	5,3025E-09	1424159539
19,904	3,484	7,316	4 128,761	7,96851E-09	918164338,4
22,797	3,331	6,995	6 203,428	1,19726E-08	584258310,4
26,111	3,205	6,731	9 321,142	1,79898E-08	374128577,7
29,907	3,148	6,611	14 006,098	2,70318E-08	244556682,8
34,255	3,186	6,691	21 046,047	4,06189E-08	164716543,1
39,234	3,350	7,035	31 621,785	6,103E-08	115271092
44,938	3,680	7,728	47 515,997	9,17059E-08	84269411,76
51,471	4,087	8,583	71 398,065	1,37798E-07	62284528,79
58,953	4,521	9,494	107 279,404	2,07049E-07	45854307,53
67,523	4,908	10,307	161 195,833	3,11108E-07	33129335,81
77,340	5,171	10,859	242 220,628	4,67486E-07	23228726,36
88,583	5,245	11,015	363 956,747	7,02437E-07	15680420,44
101,460	5,070	10,647	546 868,862	1,05546E-06	10087574,35
116,210	4,626	9,715	821 729,968	1,58594E-06	6125456,898
133,103	4,246	8,917	1 234 702,009	2,38297E-06	3741793,54
152,453	3,912	8,215	1 855 267,544	3,58067E-06	2294321,552
174,616	3,501	7,352	2 787 730,128	5,38032E-06	1366480,277
200,000	2,986	6,271	4 188 790,205	8,08437E-06	775645,326
229,075	2,364	4,964	6 294 072,020	1,21476E-05	408674,6976
262,376	1,707	3,585	9 457 382,251	1,82527E-05	196392,3487
300,518	1,134	2,381	14 210 523,983	2,74263E-05	86829,0298
344,206	0,630	1,323	21 352 755,716	4,12108E-05	32103,22064
394,244	0,350	0,735	32 084 398,358	6,19229E-05	11869,60127
Σ	100	210			65 * 10⁹

A határ variancia négyzet nagyon kis értékre adódik:

$$V_z^2 = p(1-p)(1/z) = 0,6 * 0,4 * 1/65 * 10^9 = 3,7 * 10^{-12}$$

A megválasztott mintatérfogot nagysága miatt a határ variancia négyzet értéke olyan kis értékű, hogy az 6. táblázatban közölt variancia négyzetek ettől lényegesen na-

gyobbak, azaz a vizsgálati metodika miatt a keverékek nem elégítik ki a véletlenszerűen homogén keverékállapotot, azonban a technológiai felhasználás szempontjából megfelelőek, amelyet már korábban említettem.

3.1.2. Vizsgálatok ferde tengelyű keverőben

A projekt megvalósítása során félüzemi keverési kísérleteket végeztünk. A keverési kísérletek legtöbbször részei voltak a technológiai célú vizsgálatoknak, ahol pl. az egyes komponensek adagolási sorrendjét és adagjait, ill. az adagolás módszerét vizsgáltuk. Különösen fontos kérdés volt a víz adagolásának a módszere, amelyet lehet egyben a keverés elején, közben vagy a végén elvégezni, ill. lehet porlasztani, amikor a víz diszpergálási jellemzői a fontosak. Mindezekről a technológiai fejezetek során számolok be. Kifejezetten a kevertségi állapot vizsgálatára irányuló kísérleteket ferde tengelyű, két „lapátos” betonkeverővel végeztünk.



13. ábra: A ferde tengelyű, két „lapátos” betonkeverő

A betonkeverő 230 V-os váltó árammal működik, tengelyének dőlésszöge változtatható, forgási sebessége állandó, a keverés idejét, vagy a keverési fordulatok számát a főkapcsoló ki-be kapcsolásával lehet beállítani.

A ferde tengelyű félüzemi méretű keverő berendezéssel elvégzett keverési kísérletek célja a technológiai vizsgálatok által meghatározott receptúra szerinti anyagok speciális keverési vizsgálata, amelyek során elsősorban az elért kevertségi állapotot jellemezzük. Ez

esetben három anyagtípusból állt a receptúra: 1. visontai pernye ($\rho_{\text{szemcse}} = 1,93 \text{ g/cm}^3$; $\rho_{\text{halmaz}} = 0,73 \text{ g/cm}^3$) 2. különféle méretű, precízen osztályozott andezit (1/4, 4/8, 8/11 és 11/22 mm szemcsefrakciók) és 3. csapvíz. A megadott receptúra a 70-15-15 tömegarányú andezit – pernye - csapvíz volt, amely a keverő méretét és optimális töltési fokát figyelembe véve 7,5 kg pernyét, 7,5 kg csapvizet és 35 kg andezitet jelentett. A vizsgálatokhoz azért használtuk ezeket az anyagokat, mert a víz koncentrációja szárítással, a pernye és az andezit méretfrakciók koncentrációja pedig egyszerű szitálást követően mérhető, mivel a pernye és az andezit méretfrakciók elkülönülnek egymástól szemcseméret szerint.

A tisztán keverési célú vizsgálat során elsőként a kimért tömegű vizet adagoltuk a keverőbe. Ezt követően a keverő állandó fordulatszáma mellett a technológiai vizsgálatok során alkalmazott normál munkatempó mellett a pernyét majd utolsóként az andezit frakciókat (növekvő méretfrakciók szerint) adagoltuk a keverőbe. Az adagolást követően a keverő még 10-et fordult majd leállításra került.



14. ábra: A keverőben lévő összlet állaga

A 2.1. pontban leírt metodika szerint ez esetben is a következő lépés az elkészült keverék pontmintákra való bontása. Ehhez a már bemutatásra került 51 db horganyzott acél mintavevő edényt alkalmaztuk. A keverőből a keverék kiöntését nem lehetett megoldani, ezért egy műanyag lapát segítségével töltöttük a pontmintákat az edényekbe. A kivett pontmintákat sorszám szerint jelöltük, mivel a mintavételi sorrendnek kitüntetett szerepe van, ugyanis az anyagok rétegződését, inhomogenitását jellemzi a sorrendbe rendezett

koncentráció. A keveréket az 51 mintavételi edényben közel egyenletes mennyiségben töltöttük ki.



15. ábra: Az 51 pontminta

A 15. ábrán a pontminták sorrendben láthatók. A képen jól látható a nedvesség csökkenése a kivételi sorrend szerint. A keverőben maradt anyagnak – mint 52. pontminta – csak a tömegét és nedvességtartalmát lehetett megbecsülni a betöltött anyagok mennyiségét figyelembe véve, mivel ez esetben nem lehetett teljesen szennyezés nélkül a bennragadt anyagot eltávolítani. A pontminták a mérlegelést követően szárítószekrénybe kerültek, ahol 105 °C-on tömegállandóságig szárítottuk őket. A szárítást követően 1, 4, 8 és 11 mm-es lyukbőségű szitákon történt a szilárd anyagok méret szerinti szétválasztása. Ezek mérlegelése után a pontminták minden egyes alkotójának a koncentrációja számítható volt.

8. táblázat: A pontmintákban tömegelemzése szárítást követően.

mintavevő edény sorszáma	mintavevő edény tömege [g]	összes nedves tömeg [g]	összes száraz tömeg [g]	víz töme- ge [g]	pernye és andezit tömege [g]
1	232,23	1057,86	903,59	154,27	671,36
2	225,89	1048,95	884,88	164,07	658,99
3	233,19	1218,65	1020,30	198,35	787,11
4	243,01	1257,46	1065,12	192,34	822,11
5	236,71	1111,20	956,27	154,93	719,56
6	229,92	1537,33	1290,77	246,56	1060,85
7	228,55	1223,08	1048,07	175,01	819,52
8	230,99	1131,78	970,25	161,53	739,26
9	245,84	1182,79	977,00	205,79	731,16
10	230,69	1360,68	1149,30	211,38	918,61
11	229,82	1323,20	1127,32	195,88	897,50
12	230,94	1123,53	960,31	163,22	729,37
13	227,39	1069,58	920,75	148,83	693,36
14	228,68	1286,34	1127,03	159,31	898,35
15	228,44	1170,43	1030,39	140,04	801,95
16	234,07	1038,45	910,75	127,70	676,68
17	242,15	1053,40	910,58	142,82	668,43
18	231,02	1133,39	1025,51	107,88	794,49
19	237,33	1222,63	1042,93	179,70	805,60
20	233,49	1261,94	1122,94	139,00	889,45
21	228,75	1186,88	1070,56	116,32	841,81
22	229,82	1020,77	881,11	139,66	651,29
23	226,84	1122,91	1005,23	117,68	778,39
24	229,21	1047,50	942,86	104,64	713,65
25	232,35	1271,96	1115,97	155,99	883,62
26	233,26	1188,69	1073,20	115,49	839,94
27	229,26	1278,47	1135,26	143,21	906,00

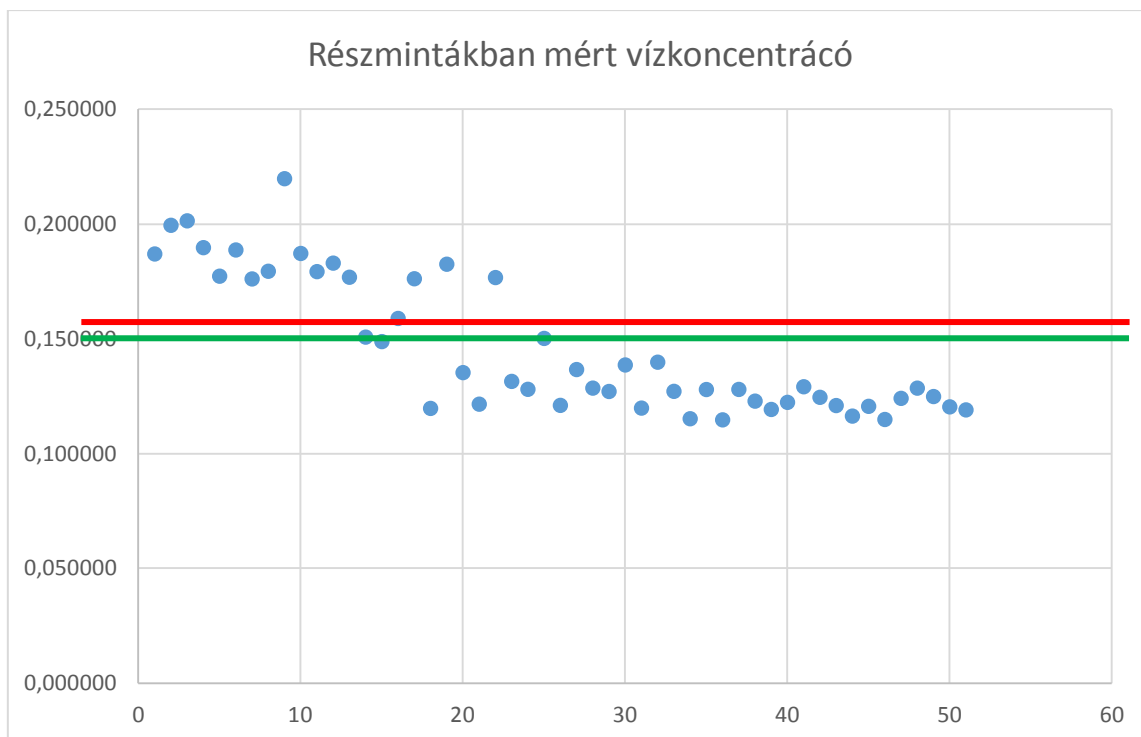
mintavevő edény sorszáma	mintavevő edény tömege [g]	összes nedves tömeg [g]	összes száraz tömeg [g]	víz töme- ge [g]	pernye és andezit tömege [g]
28	229,58	1125,19	1010,19	115,00	780,61
29	228,43	1094,07	984,19	109,88	755,76
30	229,04	1084,87	966,35	118,52	737,31
31	230,43	1047,77	949,94	97,83	719,51
32	225,43	1255,82	1111,88	143,94	886,45
33	236,22	1109,93	998,97	110,96	762,75
34	231,11	1247,33	1130,41	116,92	899,30
35	229,06	1193,16	1069,96	123,20	840,90
36	241,15	1269,05	1151,28	117,77	910,13
37	231,93	1489,64	1328,87	160,77	1096,94
38	232,21	1352,00	1214,57	137,43	982,36
39	228,78	1410,00	1269,31	140,69	1040,53
40	228,05	1320,40	1186,92	133,48	958,87
41	243,15	1395,56	1246,91	148,65	1003,76
42	229,76	1450,46	1298,62	151,84	1068,86
43	228,19	1362,17	1225,18	136,99	996,99
44	230,58	1060,29	963,87	96,42	733,29
45	227,54	1381,31	1242,33	138,98	1014,79
46	228,90	1240,48	1124,42	116,06	895,52
47	232,80	1392,31	1248,60	143,71	1015,80
48	225,50	712,08	649,61	62,47	424,11
49	243,51	711,16	652,83	58,33	409,32
50	228,10	1112,91	1006,53	106,38	778,43
51	229,70	894,67	815,60	79,07	585,90
+1	-	-	-	373,11	803,40
pontminták összesen				7126,89	41696,60
kimért mennyiség				7500,00	42500,00

9. táblázat: A pontmintákban lévő anyagok mennyisége

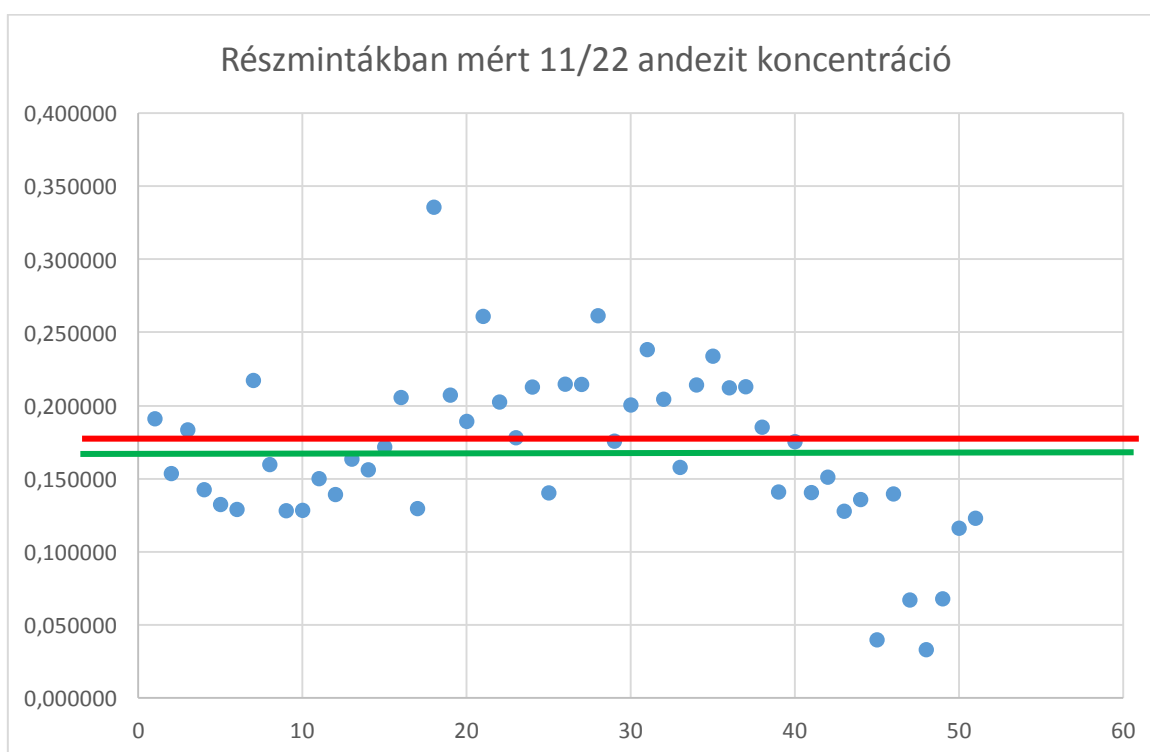
mintavevő edény sorszáma	víz tö- mege [g]	11/22 andezit tömege [g]	8/11 andezit tömege [g]	4/8 ande- zit töme- ge [g]	1/4 ande- zit tömege [g]	pernye tömege [g]
1	154,27	157,95	68,30	84,02	190,88	167,67
2	164,07	126,62	79,11	88,02	183,67	180,60
3	198,35	181,05	86,02	98,90	201,57	216,43
4	192,34	144,87	99,13	128,68	233,17	212,61
5	154,93	116,03	64,72	109,77	206,53	167,00
6	246,56	169,07	141,65	160,30	326,24	259,10
7	175,01	216,32	81,19	113,50	222,40	183,51
8	161,53	144,11	81,60	108,69	232,99	169,77
9	205,79	120,33	76,32	101,79	219,66	211,62
10	211,38	145,41	101,57	148,18	303,03	257,85
11	195,88	164,40	93,14	129,46	304,56	203,86
12	163,22	124,53	64,14	100,36	274,00	166,96
13	148,83	137,87	73,89	101,94	236,57	150,15
14	159,31	165,44	95,59	141,15	334,99	159,26
15	140,04	162,03	89,48	127,34	281,14	139,74
16	127,70	165,58	72,40	92,73	223,42	121,62
17	142,82	105,37	69,00	98,68	261,58	131,86
18	107,88	303,18	93,15	110,11	178,12	108,88
19	179,70	204,44	78,30	108,14	223,38	186,47
20	139,00	194,91	84,18	149,69	312,78	147,28
21	116,32	250,39	104,08	124,27	241,34	121,38
22	139,66	160,37	72,91	96,00	196,38	125,78
23	117,68	159,81	97,32	133,13	276,62	110,32
24	104,64	174,31	105,85	114,82	221,08	98,17
25	155,99	146,19	103,02	156,40	315,71	161,75
26	115,49	205,38	109,63	135,49	266,06	122,78
27	143,21	225,37	137,75	128,75	267,98	146,54

mintavevő edény sor- száma	víz tö- mege [g]	11/22 andezit tömege [g]	8/11 andezit tömege [g]	4/8 ande- zit töme- ge [g]	1/4 ande- zit tömege [g]	pernye tömege [g]
28	115,00	234,43	86,81	108,39	230,40	120,29
29	109,88	152,36	89,61	127,05	270,43	116,08
30	118,52	171,79	85,13	116,79	239,24	123,50
31	97,83	195,01	77,69	104,28	236,19	105,47
32	143,94	210,89	116,23	129,60	283,48	146,78
33	110,96	138,09	71,28	138,42	298,14	117,14
34	116,92	217,91	111,96	134,59	318,57	116,79
35	123,20	225,71	91,98	119,40	275,81	125,05
36	117,77	218,41	123,87	133,78	312,49	119,78
37	160,77	268,15	97,99	174,98	381,18	170,47
38	137,43	207,78	97,08	161,63	366,70	148,91
39	140,69	166,83	111,67	188,39	422,08	150,93
40	133,48	191,86	83,54	164,09	375,30	144,00
41	148,65	162,30	93,03	172,89	411,04	163,70
42	151,84	184,80	101,21	187,93	429,97	164,23
43	136,99	145,25	95,63	179,34	423,65	152,83
44	96,42	112,91	71,56	128,42	312,76	107,89
45	138,98	46,32	93,41	196,86	510,48	166,97
46	116,06	141,53	109,32	140,10	373,83	130,89
47	143,71	78,13	73,58	201,27	495,16	165,84
48	62,47	16,26	44,57	73,29	217,72	72,62
49	58,33	31,89	37,02	77,61	193,40	69,57
50	106,38	103,05	84,72	123,39	304,82	126,43
51	79,07	81,99	60,98	104,60	243,86	94,39
pontminták	7126,89	8274,98	4533,31	6577,40	14662,55	7549,51
kimért mennyiség	7500	8750	4375	4375	17500	7500

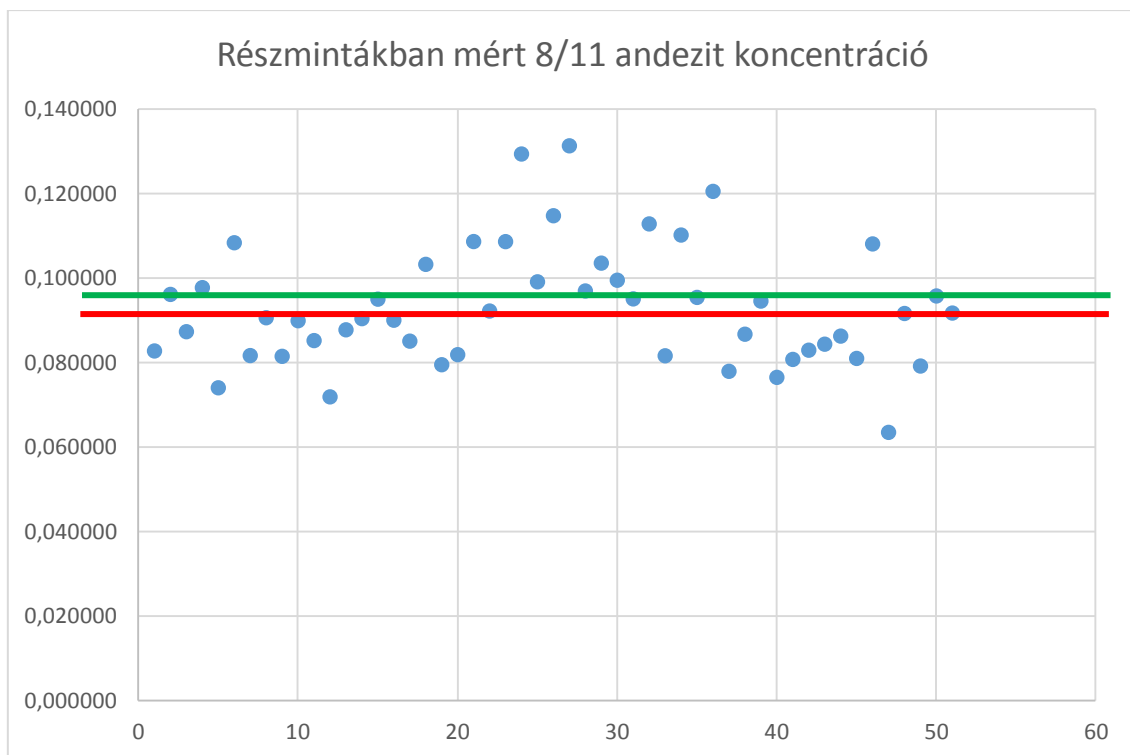
A táblázatokból kiderül, hogy az andezit a keverőben aprózódik, illetve a 16. ábrán látszik, hogy a részminták első részébe kerül nagymennyiségű víz. A megmért anyag komponens tömegek alapján a tömegkoncentrációk számíthatók, amely értékeket a következő ábrákon mutatok be. Minden egyes anyag esetén a szóban forgó anyagkomponens tömegét viszonyítjuk a keverék tömegéhez. A mérések kivitelezési módszere miatt ismertek az anyagkomponensek bekeverési koncentrációi. A mért 51 +1 pontminta alapján pedig átlag számítható, amelyeket szintén feltüntettem a következő ábrákon.



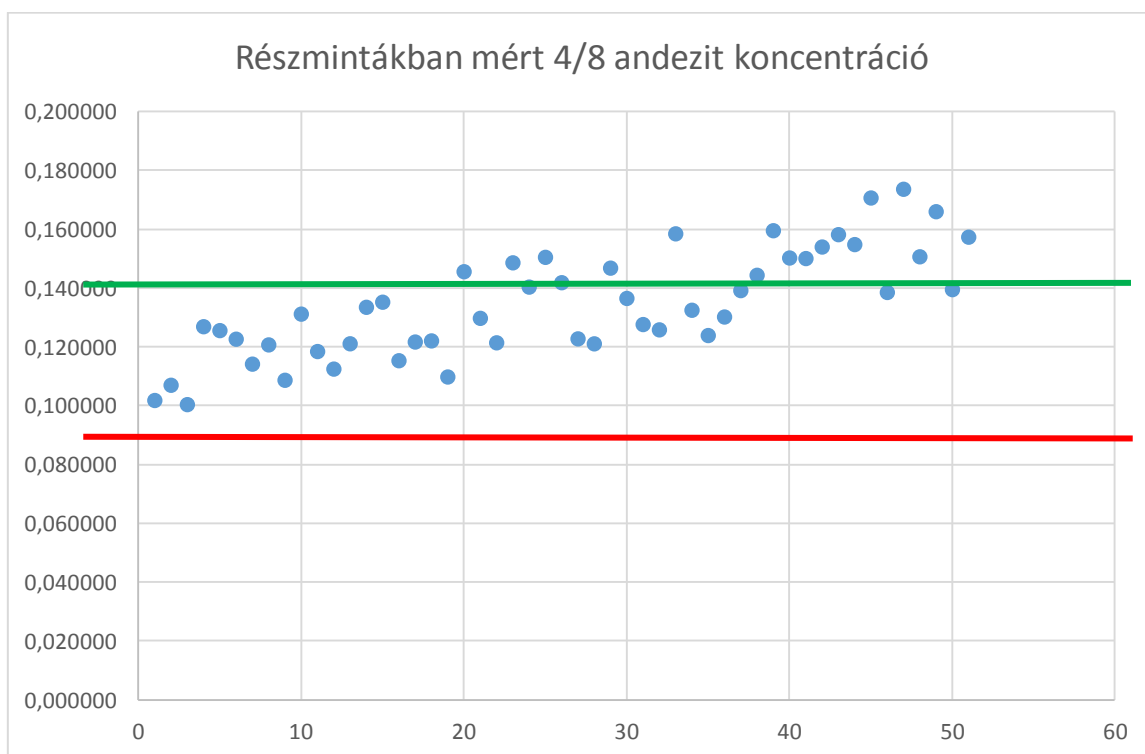
16. ábra: A víz koncentrációja a pontmintákban.
(kék pontok – pontminták, piros vonal – bekeverési koncentráció, zöld vonal – mért koncentrációk átlaga)



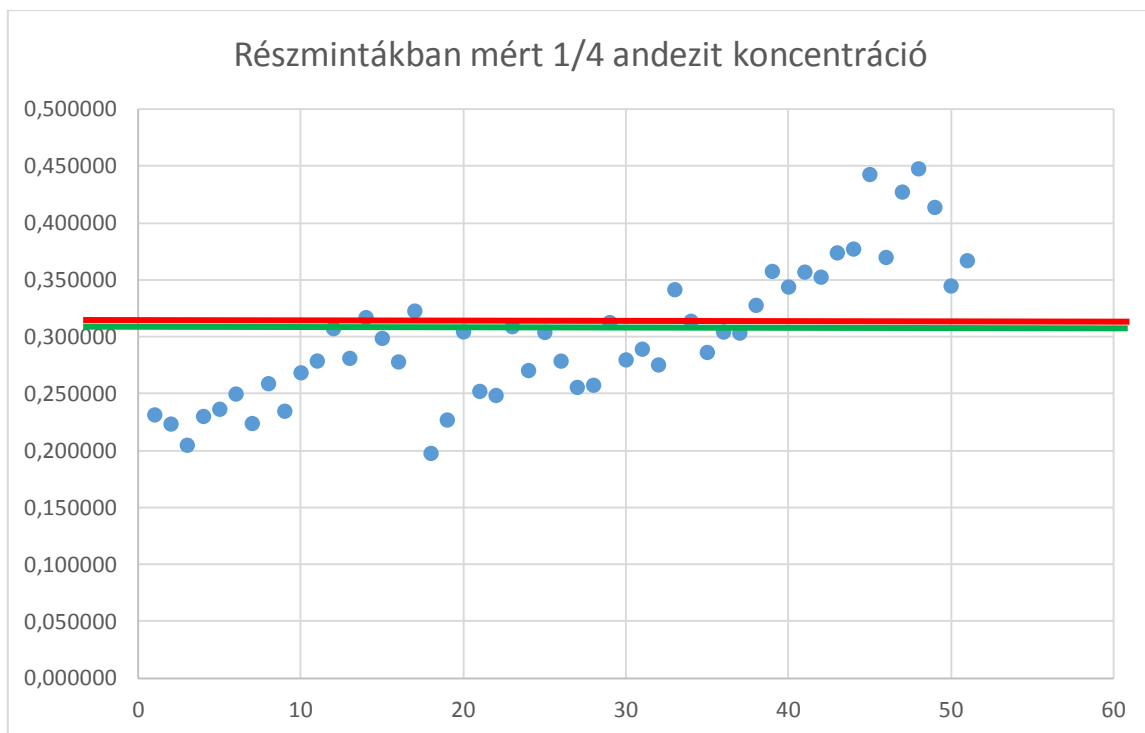
17. ábra: A 11/22 andezit koncentrációja a pontmintákban.
(kék pontok – pontminták, piros vonal – bekeverési koncentráció, zöld vonal – mért koncentrációk átlaga)



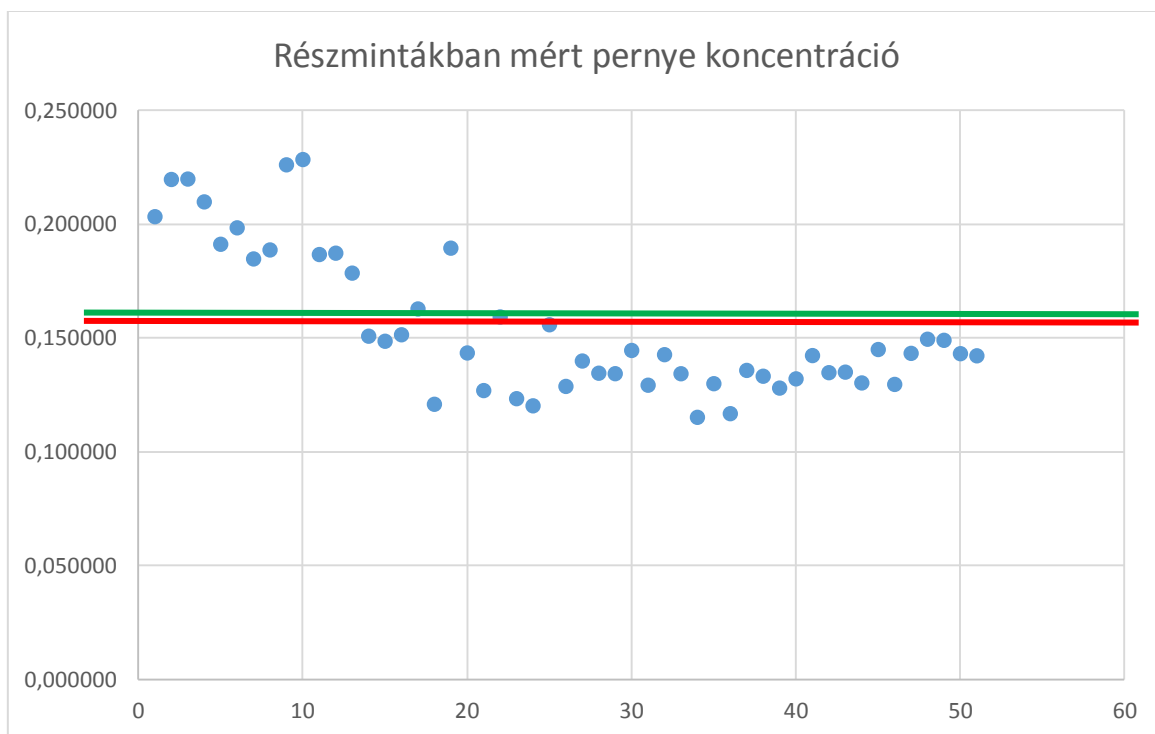
18. ábra: A 8/11 andezit koncentrációja a pontmintákban.
(kék pontok – pontminták, piros vonal – bekeverési koncentráció, zöld vonal – mért koncentrációk átlaga)



19. ábra: A 4/8 andezit koncentrációja a pontmintákban.
(kék pontok – pontminták, piros vonal – bekeverési koncentráció, zöld vonal – mért koncentrációk átlaga)



20. ábra: A 1/4 andezit koncentrációja a pontmintákban.
(kék pontok – pontminták, piros vonal – bekeverési koncentráció, zöld vonal – mért koncentrációk átlaga)



21. ábra: A pernye koncentrációja a pontmintákban.
(kék pontok – pontminták, piros vonal – bekeverési koncentráció, zöld vonal – mért koncentrációk átlaga)

A pernyére vonatkoztatva a határ variancia négyzetet a korábbiakhoz hasonlóan számíthatjuk, azzal a különbséggel, hogy ezúttal a pernye bekeverési koncentrációja 0,15 és a jellemzően 350 g pontmintákban lévő tömege 53 g, így a z pernye részecskeszám $16 \cdot 10^9$.

$$V_{z\text{ pernye}}^2 = p(1-p)(1/z) = 0,15 * 0,85 * 1/16 * 10^9 = 1,25 * 10^{-11}$$

Hasonlóképp elvégezhetjük a számításokat az andezit frakciókra is, azzal a becsléssel, hogy csak az osztályközép méretű gömb alakú szemcsékből állnak.

10. táblázat: Az andezit frakciók határ variancia négyzet értékei.

osztály közép [cm]	tömeghányad a mintában [g]	egy szemcse térfogata [cm ³]	egy szemcse tömege [g]	szemcsék darabszáma [db]	bekeverési koncentráció [-]	határ variancia négyzet
0,250	65,625	0,008	0,022089323	2970	0,1875	5,13E-05
0,6	65,625	0,113	0,305362806	215	0,1875	0,00071
0,95	65,625	0,449	1,212085351	54	0,1875	0,0028
1,65	65,625	2,352	6,350592105	10	0,1875	0,0147

11. táblázat: Mért és a határ variancia négyzet értékek

anyag	11/22 andezit	8/11 andezit	4/8 andezit	1/4 andezit	pernye
határ variancia négyzet	0,0147	0,0028	0,00071	5,13E-05	1,25E-11
mért variancia négyzet	3,0035E-03	1,9561E-04	3,1729E-04	3,5567E-03	9,6768E-04

Megállapítható, hogy az alkalmazott mintavételezési darabszám és pontminta térfogat, ill. az elkészített keverék jellemzői alapján a nagyobb méretű 11/22, 8/11 és 4/8 andezit frakciókra a keverék kielégíti a véletlenszerűen homogén keverékállapot kritériumot, míg a pernye és az 1/4 -es andezit tekintetében nem.

3.2. Gumi alapú keverékek

Ebben a részben három keverő berendezés típuson végeztem vizsgálatokat a megbízó kérése alapján – ferde, vízszintes és függőleges tengelyű keverőkkel. Ahogyan azt lentebb látható lesz, nem mindegyik keverő berendezés volt alkalmas a felhasznált gumiapríték és a poliuretán keverésére, előzetes próbavizsgálatok során választottuk ki a legmegfelelőbb keverő berendezést, majd ennek függvényében folytattuk tovább a már részletesebb vizsgálatokat. A felhasznált anyagok tekintetében a következő jellemzőket, tulajdonságokat határoztuk meg:

3.2.1. Előzetes vizsgálatok

Az elvégzendő kutatással az InnoSpectrum Innovációs, Kutató-fejlesztő, Tanácsadó és Szolgáltató Közhasznú Nonprofit Kft. bízta meg a Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetét. A megbízó gumiőrlemény és uretán homogenizálhatóságának vizsgálatát tűzte ki célul, amelynek része a megbízó által biztosított anyagok – a keverés szempontjából fontos – fizikai tulajdonságok (szemcseméret-eloszlás, sűrűség, folyadék viszkozitás) vizsgálata.

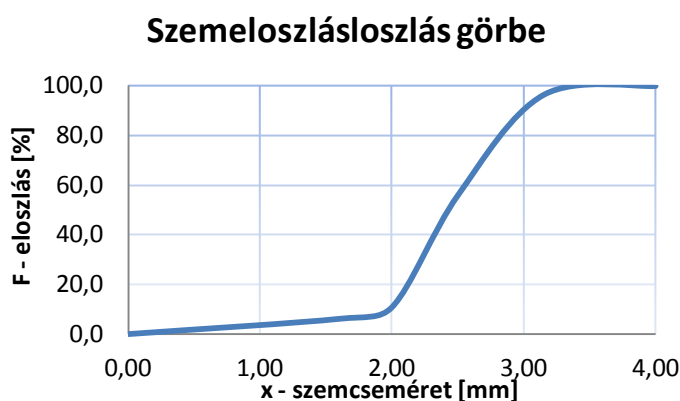
3.2.1.1. Szemeloszlás mérés

A megbízó által biztosított durvább szemcsézettségű minta az Euro-Rubber Hulladékhasznosító Kft.-től származó 2-4 mm szemcseméret tartományú autógumi őrlemény volt. Ezt a 25kg mennyiségű mintát negyedeléssel 4 kisebb mintára bontottam, hogy a későbbiekben a további vizsgálatok során elkerüljük a csomagolásban a gumiszemcsék osztályozódását, illetve hogy az ezt követő vizsgálatokhoz egyszerűbben vehessünk és kezelhessük a részmintákat.

A szemeloszlás-vizsgálathoz megközelítőleg 1 kg mennyiségű gumiőrleményt használtam fel, amit egy 7 tagú szitasoron leszítáltam. A kapott eredményt az alábbi táblázat és ábra mutatja:

12. táblázat: A felhasznált gumiapríték szemeloszlás vizsgálata

x_i	Δm_i [g]	Δm_i [%]	F [%]
0,00	1,01	0,097	0,000
1,25	63,04	6,058	0,097
1,60	48,92	4,701	6,155
2,00	469,50	45,120	10,857
2,50	420,65	40,425	55,977
3,00	17,31	1,664	96,402
3,15	20,10	1,932	98,065
4,00	0,03	0,003	99,997
	1040,56	100,000	-



22. ábra: A gumiapríték szemeloszlás görbéje

A szemeloszlás vizsgálat után elmondható az anyagról, hogy jól osztályozott az anyagalmaz, 85 %-a 2-3 mm közé esik.

3.2.1.2. Sűrűségmérés

A gumiörlemény sűrűségmérése során egyaránt vizsgáltam a halmaz-, szemcse-, valamint az anyagsűrűséget.

Halmazsűrűség:

A halmazsűrűséget egy 1000 ml-es átlátszó, műanyag mérőhenger segítségével végeztem. A mérőhengerbe beleszórt gumiörlemény rázás hatására azonnal összeesett így 3 különböző módon is megvizsgáltam a halmazsűrűségét. Először lazán beleszórtam a gumiörlemény, vigyázva arra, hogy ne érje rázkódás, majd ezután finoman megráztam, és újra az 1000 ml-es jelig töltöttem, végül egy mozsártörővel a hengerbe dörgöltem az anyagot. A kapott eredmények a következők lettek:

$$\text{Laza halmazsűrűség: } (656,96\text{g} - 204,76\text{g}) / 1000 \text{ cm}^3 = \underline{\underline{0,4522 \text{ g/cm}^3}}$$

$$\text{Rázott halmazsűrűség: } (764,15\text{g} - 204,76\text{g}) / 1000 \text{ cm}^3 = 0,5594 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Dörgölt halmazsűrűség: } (784,34\text{g} - 204,76\text{g}) / 1000 \text{ cm}^3 = 0,57,96 \text{ g/cm}^3$$

Szemcsesűrűség:

A szemcsesűrűséget 50 cm³-es piknométerrel és denaturált szesz segítségével mértem, amelyre a következő érték adódott:

$$\rho_{\text{szemcse}} = (47,89 \text{ g} - 30,79 \text{ g}) / (72,25 \text{ g} - 77,18 \text{ g} + 47,89 \text{ g} - 30,79 \text{ g}) * 0,81 \text{ g/cm}^3 =$$

$$= \underline{\underline{1,1381 \text{ g/cm}^3}}$$

Anyagsűrűség:

A vizsgálathoz egy kisebb gumiörleményt egy vágómalom segítségével 0,5 mm alá aprítottuk. A szemcsesűrűség méréséhez hasonlóan 50 cm³-es piknométer segítségével mértem, amelyre a következő érték adódott:

$$\rho_{\text{anyag}} = (41,58 \text{ g} - 31,16 \text{ g}) / (72,96 \text{ g} - 76,01 \text{ g} + 41,58 \text{ g} - 31,16 \text{ g}) * 0,81 \text{ g/cm}^3 =$$

$$= \underline{\underline{1,1452 \text{ g/cm}^3}}$$

3.2.1.3. Viszkozitás mérés

A poliuretán viszkozitását rotációs viszkoziméter segítségével mérték meg. A mérés lényege, hogy egy álló és egy forgó henger közé töltjük a folyadékot, amelynek viszkozitását a forgó hengeren fellépő fékezőnyomaték mérésével tudjuk megállapítani. A négy alkalommal elvégzett mérés eredményei a következők lettek:

13. táblázat: A poliuretán viszkozitás mérésének 4 adatsora.

1. mérés

Meas. Pts.	Shear Rate	Shear Stress	Viscosity	Torque
	[1/s]	[Pa]	[Pa·s]	[μNm]
1	172	738	4,28	125 000
2	174	738	4,25	125 000
3	174	738	4,23	125 000
4	175	738	4,22	125 000
5	175	738	4,21	125 000
6	176	738	4,2	125 000
7	176	738	4,2	125 000
8	176	738	4,19	125 000
9	143	602	4,21	102 000
10	97,9	414	4,23	70 100
11	67	285	4,25	48 200
12	45,9	196	4,26	33 100
13	31,5	135	4,28	22 800
14	21,7	93	4,29	15 700
15	15	64,2	4,29	10 900
16	10,4	44,6	4,3	7 550

2. mérés

Meas. Pts.	Shear Rate	Shear Stress	Viscosity	Torque
	[1/s]	[Pa]	[Pa·s]	[μNm]
1	175	738	4,23	125 000
2	176	738	4,2	125 000
3	176	738	4,18	125 000
4	177	738	4,17	125 000
5	177	738	4,16	125 000
6	178	738	4,16	125 000
7	178	738	4,15	125 000
8	178	738	4,15	125 000
9	143	596	4,16	101 000
10	97,9	410	4,19	69 400
11	67	282	4,2	47 700
12	45,9	194	4,22	32 800
13	31,5	133	4,23	22 600
14	21,7	91,9	4,24	15 600
15	15	63,5	4,25	10 800
16	10,4	44,1	4,26	7 470

3. mérés

Meas. Pts.	Shear Rate [1/s]	Shear Stress [Pa]	Viscosity [Pa·s]	Torque [μNm]
1	179	738	4,13	125 000
2	180	738	4,09	125 000
3	182	738	4,06	125 000
4	182	738	4,05	125 000
5	183	738	4,04	125 000
6	183	738	4,03	125 000
7	183	738	4,03	125 000
8	184	738	4,02	125 000
9	143	579	4,04	97 900
10	97,9	398	4,06	67 400
11	67	274	4,08	46 300
12	45,9	188	4,1	31 900
13	31,5	129	4,11	21 900
14	21,7	89,3	4,12	15 100
15	14,9	61,7	4,13	10 400
16	10,4	42,8	4,13	7 240

4. mérés

Meas. Pts.	Shear Rate [1/s]	Shear Stress [Pa]	Viscosity [Pa·s]	Torque [μNm]
1	182	738	4,07	125 000
2	183	738	4,04	125 000
3	183	738	4,03	125 000
4	184	738	4,02	125 000
5	184	738	4,01	125 000
6	184	738	4,01	125 000
7	185	738	4	125 000
8	185	738	4	125 000
9	143	575	4,02	97 400
10	97,9	396	4,04	67 000
11	67	272	4,06	46 100
12	45,9	187	4,08	31 700
13	31,5	129	4,09	21 800
14	21,7	88,7	4,1	15 000
15	14,9	61,3	4,11	10 400
16	10,3	42,5	4,11	7 200

A méréseket átlagolva a poliuretán viszkozitására **4,2 Pa·s** -ot mértek.

3.2.1.4. Előzetes minták

Azért, hogy átfogóbb képet kapjunk a gumiőrlemény, illetve az poliuretán keverhetőségéről, száradásáról és a keverék állagáról 3 db keveréket készítettünk, melyeket kézzel kevertünk be különböző tömegarányokban – 5/0,5 ; 5/1; 5/3. A gumi mennyisége minden esetben 50 gramm volt, a hozzá kevert PUR pedig rendre 5, 10 és 30 gramm. A keverékeket 1-1 papírdobozba öntöttünk, amelyet előzőleg átlátszó ragasztószalaggal béleltünk ki, hogy a száradás után a mintákat könnyebben kivehessük. Az elkészült próbatetek lentebb láthatóak:



5/0,5
gumi-uretán tömegarány



5/1
gumi-uretán tömegarány



5/3
gumi-uretán tömegarány

A fényképeken jól látható, hogy bár a legkisebb arányú poliuretánkeveréket lehetett a legkevésbé keverni, mégis állagra ez sikerült a legjobban. A poliuretán szemre egyenletesen oszlik el a próbatestben, amely a másik kettőhöz képest a legnagyobb rugalmassággal rendelkezett.

A közepes, 5/1-es próbatesten már látható, hogy a poliuretán egy része lefolyt a doboz aljára, amit csak a próbatest kivétele után lehetett észrevenni. Állagra még ez is megfelelőnek tűnt, rugalmassága az előzőnél kisebb volt, de a szemcsék a morzsolásnak jobban ellenálltak.

A harmadik próbatest szemmel láthatóan is túl volt telítve poliuretánnal, annak ellenére, hogy még ennek is meglehetősen nehézkes volt a kézi keverése. A poliuretán legnagyobb része a próbatest aljára süllyedt, viszont a rugalmassága ennek volt a legkisebb, a kézzel végzett erőhatásokra csak minimális alakváltozást produkált. Azonban megjegyzendő, hogy még 2 napos száradási idő után sem kötött meg teljesen a próbatest belsejében lévő poliuretán, amit a próbatest felvágása során vettünk észre.

A próbatesteket több módszerrel is megpróbáltuk felszeletelni. Próbáltuk kismogó fémfűrészszel, de a fogak még így is túl nagyok voltak ahhoz, hogy a szemcséket ki tudják forgatni a próbatestből. Ezt követően késsel és snitzerrel kezdtük vágni, ami megint csak nem bizonyult eredményesnek, mert egyik sem tudta a gumiszemcséket átvágni. Majd ezután sarokcsiszoló koronggal próbálkoztunk, ami viszont túlságosan felhevítette az anyagot, ami a vágás mentén részben megolvadt. Végezetül borotvapengével valamilyen szinten sikerült elvágni ugyan, de a vágott felület még így sem volt alkalmas arra, hogy a mintát a poliuretán és gumi kevertsége szempontjából jellemezni tudjuk.

3.2.2. Vizsgálatok vízszintes tengelyű keverőben

A Gumi-Poliuretán keverést, a megbízó kérésére, három különböző keverőn vizsgáltam, elsőként a korábban már használt vízszintes tengelyű laboratóriumi keverőn. A pernye-víz keverésnél nyert tapasztalatok azt sugallták, hogy ez a keverő nem lesz alkalmas erre a célra.

A vizsgálatokhoz beszerzett 1,5 dm³-es edényekhez mérten 750 grammnyi gumiőrleményt és 150 grammnyi poliuretánt kevertem be az első keveréshez, amely a későbbiekben sem változott. A 900 g-nyi anyagot 1 percen át kevertem, majd az említett öntőformába beletöltöttem a keveréket.

A keverék - szemmel látható módon – meglehetősen rossz minőségű lett, ahogyan azt vártuk. A keverés során az öszlet egy része feltapadt a keverőlapátokra, másik része pedig a keverő oldalfalára. A formába öntés során az volt tapasztalható, hogy a keverőben maradt anyagtól csak nehezen lehetett megtisztítani a keverő lapátokat, a berendezés kialakításából adódóan, ami az üzemi működtetések során is gondot jelentett volna – két bekeverés között meglehetősen hosszú idő telne el, folyamatos üzem nehezen képzelhető el. Végül, az öntőformába került keveréken száradás után látható volt, hogy a poliuretán az edény aljára ült ki a rossz keverés miatt. Emiatt a későbbi vizsgálatokat elvetettük ezzel a keverővel.



23. ábra: A keverék öszlete a keverőben



24. ábra: A keverőben maradt anyag

3.2.3. Vizsgálatok ferde tengelyű keverőben

A kutatás elején az volt a projektben résztvevőknek az elképzelése, hogy egy ilyen keverőt fogunk javasolni a megbízó részére – kialakítás egyszerű, tisztítása könnyűnek mondható. A vizsgálatokhoz a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetének pelletező tányérját alakítottuk át erre a célra. A keverő berendezés működése szerint hasonlóan működött, mint egy pelletáló – az edényszet forgott egy frekvenciaváltó által beállított sebességgel, míg benne egy álló lapát miatt keveredett az anyag –, de az átmérő-magasság arány jóval kisebb lett, hogy a pelletálódást elkerüljük.



25. ábra: A vizsgálatokhoz kialakított ferde tengelyű keverő

Az első kísérlet során bebizonyosodott, hogy ez a keverő sem lesz megfelelő a célra, mert bár próbáltuk a pelletálódást, aggregálódást elkerülni, a keverőben kialakult anyagáram mégis azt idézte elő, hogy keveredés közben egy „gumi-poliuretán rög” alakult ki a felszínen, amit sem forgási sebesség változtatásával, sem a tengely dőlésének változtatásával, de még kézi beavatkozással sem lehet a keverékbe bedolgozni. Ugyan kialakítása alkalmas volt a keverés végén az összetétel kijáratására a forgási irány megváltoztatásával és a tengely megdöntésével, de az aggregálódás miatt a kevert minta használhatatlan lett. A kiöntést követően a rög a forma aljára került, ami a megszilárdulást követően jól láthatóvá vált.



26. ábra: A ferde keverés során készült mintatest a benne szénnyomódott röggel

3.2.4. Vizsgálatok függőleges tengelyű keverőben

Az előző két sikertelen keverési kísérlet után végül a függőleges tengelyű bolygókeverőre esett a választás. Ez egy kétfokozatú keverő, amelynek a tölthető térfogata közel azonos volt a vízszintes és a ferde tengelyű keverőkével. Az első keverések azt mutatták, hogy már rövid, 20-30 másodperces keverési idővel viszonylag egyenletesen elkeveredett benne a gumi és az poliuretán.



27. ábra: A kísérletezés során használt függőleges tengelyű bolygókeverő, habarcs mixer

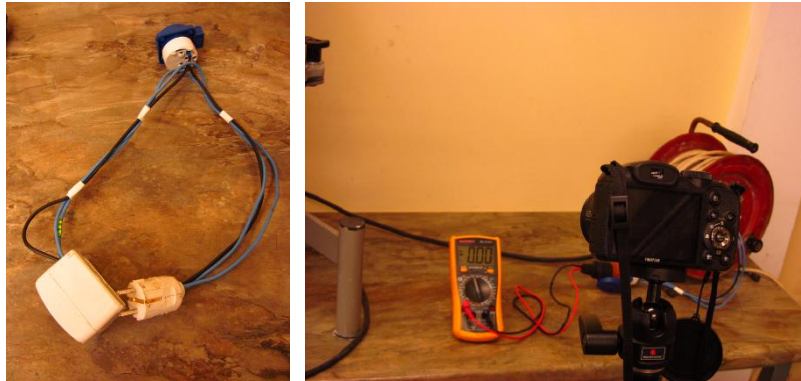
Főbb technikai adatok

Bolygómozgás sebessége:	60 fordulat/perc
Lapátforgás sebessége:	140 fordulat/perc
Névleges teljesítmény:	500 W
Tölthető térfogat:	5 dm ³
Tömeg:	~ 38 kg

3.2.4.1. Teljesítményadatok meghatározása

Az üzemi működés jellemzéséhez az üresjáratú teljesítmény és a normál működési teljesítmény összehasonlítása nélkülözhetetlen. Erre a célra egy az áramvezetékek közé iktatható toldat került elkészítésre, amelynek köszönhetően egy digitális multiméter segítségével működés közben leolvashattam a felvett áramerősséget. A jól ismert teljesítmény-

feszültség-áramerősség összefüggés segítségével könnyen kiszámolható volt a felvett energia. A leolvasás megkönnyítése érdekében kamerafelvételt készítettem a multiméter kijelzőjéről a berendezés működése közben.



28. ábra: A multiméterhez készített toldat és kijelzőjének videózása

A leolvasott értékek és a kapott eredmények a következők lettek:

Üresjáratban

Mért áramerősség:	1,17 A
Indulási csúcsérték:	2,17 A
Teljesítmény:	269,1 W

Töltve

Mért áramerősség:	1,23 A
Indulási csúcsérték:	2,49 A
Teljesítmény:	282,9 W

Látható, hogy a töltés miatt kialakuló teljesítmény növekedés nem számottevő, mindössze 12,8 W, de a videó elemzése során láthatóvá vált, hogy az idő előrehaladtával a mért áramerősség, lassan ugyan, de felfelé kúszott 1-2 század amperrel.

3.2.4.2. Próbatetek elkészítése, minősítése

Az első kísérletek után meghatároztuk, hogy 4-4 próbatetet fogunk elkészíteni 5/1 és 5/0,5 tömegarányban 20, 40, 60 és 80 másodperces keverési idővel. Az elkészítés során a tömegek két tizedes jegy pontossággal lettek bemérve a kitárazott keverő edénybe. Ezek alapján a mintatestek tömege, átlagsűrűsége és mérete mindig pontosan ugyanakkora volt – az 5/1-es tömegarány esetében 750g/150g, míg az 5/0,5-ös esetében 750g/75g.



29. ábra: A keverék komponenseinek bemérése és bekeverése

A pontosan bemért mennyiségeket stopper segítségével a korábban meghatározott ideig kevertük, majd formába öntöttük, tetejüket pedig elsimítottuk.



30. ábra: A keverékek mintatestbe öntése és tetejének elsimítása

Az elkészült próbatetek ezután 1-2 nap elteltével megkötöttek, megszilárdultak. A kötési folyamatban fontos szempont a levegő páratartalma, ugyanis szárazabb, jobban el-

szigetelt helyen a próbatestek lassabban kötöttek meg, mint egy páradús, jól szellőző helyen. A műanyag edényből száradás után már könnyen kipattinthatóak voltak a próbatestek, amit így már követhetett a keverékek minősítése.



31. ábra: A tálkából kiemelt 8 próbatest

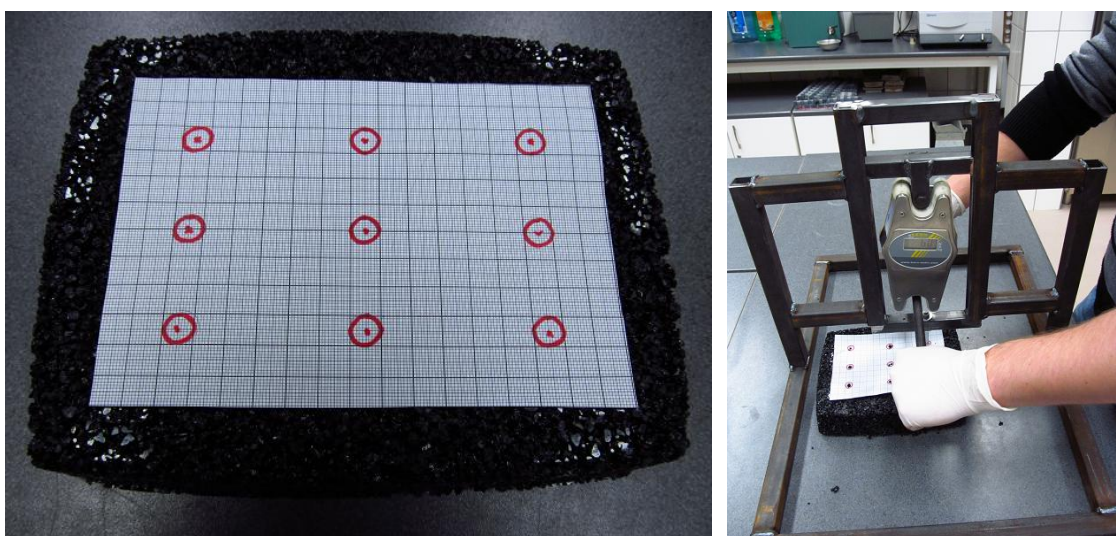
A próbatestek minősítését megtervezni nem volt egyszerű feladat. A korábbi pernyés vizsgálatoknál, amikor csak 2, esetleg 3 jól elkülöníthető alkotó elem volt, illetve az alkotóelemeket könnyen szét lehetett választani, bátran lehetett alkalmazni a variancia számítást. Ám ezek a próbatestek a formába öntés után megszilárdultak, megkötöttek, így a kézi szétválasztás már nem volt lehetséges. Ezért felvetődött az, hogy a testeket mind horizontálisan, mind vertikálisan felszeletelve képi elemzésnek vetjük alá, és a képmezőben lévő gumi és poliuretán metszetek arányával számolunk. Azonban a mintatestek felszeletelése sem kézi késsel, sem fűrésszel, sem szikével nem lehetett megoldani. A gumi rugalmassága és szemcsézettsége azt idézte elő, hogy a vágószerszám mindig a szemcsék között vágott vagy kifordította a szemcséket, esetleg még megolvasztotta, de egyik esetben sem sikerült a próbatestben lévő szemcsét átmetszeni. Ezért olyan megoldáson kezdtünk el gondolkodni, aminek nem szükséges része a szemcsék átszelése.

A problémára két megoldást találtunk. Először azt a lehetőséget vetettük fel, hogy egy bizonyos tárgy benyomódása ellen kifejtett ellenállást mérjünk. Ezért építettünk egy olyan állványzatra szerelt erőmérőt, amely azt mérte, hogy a keret aljára szerelt fém tűske

benyomásához mekkora maximális erőt kell kifejtenünk. Ezeket a maximális értékek összehasonlítva megkaphatunk egy olyan erőeloszlást, amely képes a keverés állapotát jellemezni. A próbatestek összehasonlíthatósága érdekében milliméterpapírral felrajzoltuk a benyomásokhoz megszabott helyeket az összehasonlíthatóság érdekében.

Megjegyzés:

- A milliméterpapírt az első mérés előtt átlukasztottuk, hogy az erőmérő ne vegye figyelembe a papír átszakításához szükséges erőt
- A próbatestek széleitől kellő távolságot hagytunk ahhoz, hogy az öntőforma alsó részének pereme ne befolyásolja a mérést



32. ábra: Milliméterpapírral bejelölt sablonpontok és az erőmérő állványzat

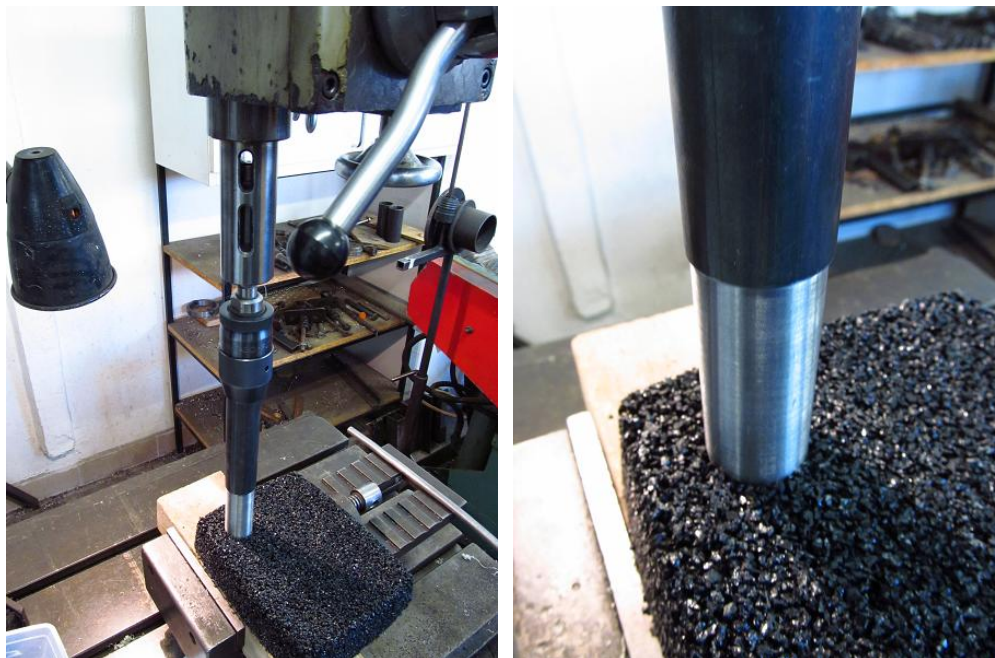
14. táblázat: A 8 próbatest 9-9 pontjában mért legnagyobb erőellenállás.

A vízszintes sorok a hosszanti oldallal, a függőlegesek a rövidebbik oldallal párhuzamban lévő értékek

5/1 tömegarányú Gumi-Uretán keverékek benyomódás mérése (Newtonban)											
20 sec			40 sec			60 sec			80 sec		
68	68	77	47	38	47	40	44	38	64	68	59
49	61	49	57	63	59	50	53	57	78	60	44
43	65	72	44	48	50	77	76	49	68	70	58

5/0,5 tömegarányú Gumi-Uretán keverékek benyomódás mérése (Newtonban)											
20 sec			40 sec			60 sec			80 sec		
28	25	19	34	38	32	44	36	39	52	46	53
33	26	35	40	41	36	46	41	44	58	59	52
26	24	36	36	39	35	33	36	40	50	49	35

A minősítés másik megoldása a próbatestből kilyukasztott részminták átlag hal-
mazsűrűségén alapult. Erre a célra egy 30 mm belső átmérővel rendelkező, peremén kiéle-
zett acélcsövet készítettünk, aminek a próbatestbe való benyomásával egy, az eredeti pró-
batest vastagságával megegyező magasságú és 30 mm átmérőjű részmintát kaptunk. Bár az
acélcső átnyomásánál felmerül a kérdés, hogy vajon a szemcsék a cső peremén a cső belse-
jébe vagy azon kívülre kerülnek, összességében nem számottevő mert elegendően nagy
ahhoz a cső átmérője, hogy a perem két oldalára kerülés valószínűsége egyforma legyen,
sokaságuk miatt pedig kiegyenlítődjenek az esetleges eltérések. A benyomást egy olyan
fűróberendezéssel csináltam, amelynek fűrópofájának magassága kézzel állítható, amibe a
csövet befogva – forgás nélkül – be tudtam nyomni, úgy hogy közben a cső merőleges ma-
radt.



33. ábra: A részminták sűrűségének megállapítására készült benyomó eszköz

A lyukasztás után a csőbe került részmintát a korábban kitarázott cső tömegével
lemérem, amiből megkapom a részminta tömegét. Ezután egy fémrúd segítségével ki-
nyomtam részmintát a csőből, majd egy tolómérő segítségével lemértem a henger magas-
ságát. A kinyomás közben tapasztalt morzsolódás miatt van szükség a cső és a részminta
együttes tömegének lemérésére, azonban éppen emiatt előfordultak olyan esetek, amikor a
kinyomáskor a részminta annyira szétesett, hogy magasságát már nem lehetett megállapí-
tani.



34. ábra: A rész minta mérlegelése és magasságának megállapítása

Amikor a rész minták magassága nem volt meghatározható, akkor a körülötte lévő többi rész minta magasságából 1-2 tizedes jegy pontossággal extrapolálni lehetett a kimaradt értékeket, és mivel a méretek milliméterben voltak, durva hiba nem adódott a becslésből. Ettől függetlenül a lentebb lévő táblázatban szereplő értékek közül a becsült értékek sárgával ki vannak emelve.

15. táblázat: A 8 próbatest 9-9 pontjában mért halmazsűrűség.

A vízszintes sorok a hosszanti oldallal, a függőlegesek a rövidebbik oldallal párhuzamban lévő értékek

5/1 tömegarányú Gumi-Uretán keverék rész minták átlagsűrűsége (g/cm ³)											
20 sec			40 sec			60 sec			80 sec		
0,507	0,544	0,538	0,506	0,522	0,491	0,510	0,503	0,510	0,520	0,507	0,504
0,500	0,521	0,482	0,498	0,503	0,504	0,492	0,495	0,550	0,528	0,501	0,503
0,463	0,514	0,478	0,495	0,514	0,489	0,519	0,503	0,548	0,492	0,495	0,517

5/0,5 tömegarányú Gumi-Uretán keverék rész minták átlagsűrűsége (g/cm ³)											
20 sec			40 sec			60 sec			80 sec		
0,542	0,510	0,529	0,482	0,505	0,512	0,552	0,549	0,529	0,524	0,575	0,539
0,526	0,532	0,523	0,502	0,490	0,487	0,558	0,526	0,537	0,518	0,562	0,527
0,501	0,524	0,504	0,470	0,473	0,515	0,536	0,533	0,528	0,566	0,581	0,561

3.2.4.3. Gumi-Poliuretán keverési vizsgálat kiértékelése

A kapott erőmérési és átlag halmazsűrűségi adatokból a részmintákra vonatkozó átlagok és a relatív szórás értékek mutatják meg nekünk a minták kevertségi állapotának változását. A szükséges számításokat elvégezve az alábbi eredményeket kaptam:

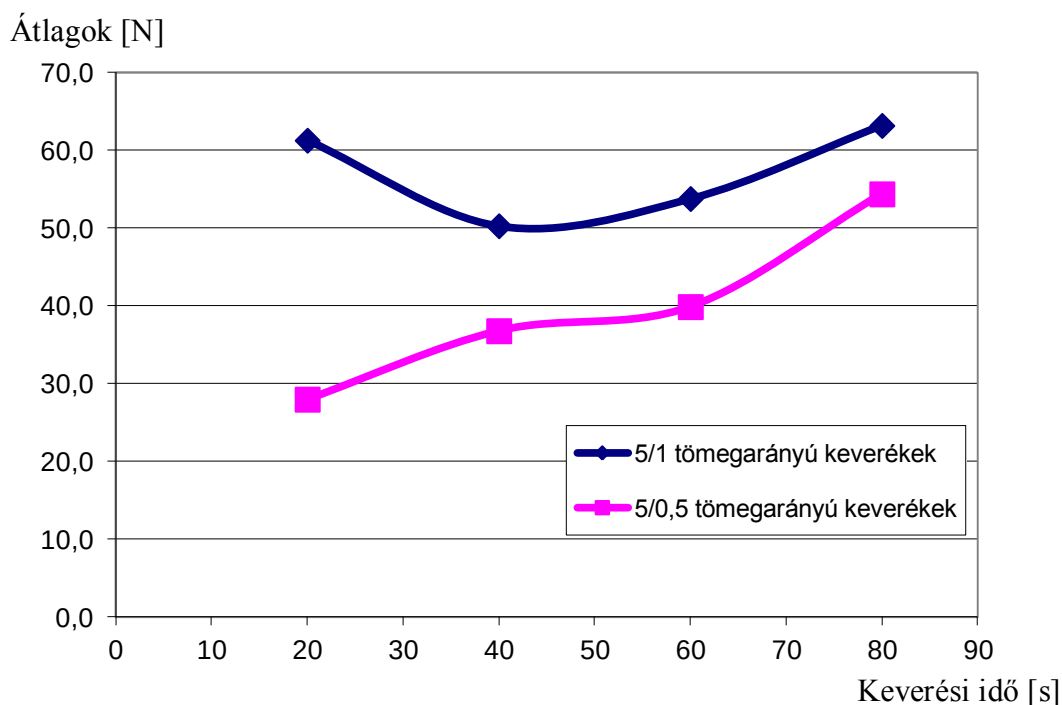
16. táblázat: Erő és halmazsűrűségi adatok átlagai és szórásai

Erőmérés (mért érték - Newton)				
	Keverési idő	Átlag	Kor. Emp. Szórás	Relatív Szórás
5/1 tömegarányú keverékek	20 sec	61,3	11,7	0,1915
	40 sec	50,3	7,9	0,1572
	60 sec	53,8	14,2	0,2641
	80 sec	63,2	9,6	0,1517
5/0,5 tömegarányú keverékek	20 sec	28,0	5,6	0,2004
	40 sec	36,8	2,9	0,0801
	60 sec	39,9	4,3	0,1088
	80 sec	54,4	7,1	0,1303

Sűrűségmérés (mért érték - g/cm ³)				
	Keverési idő	Átlag	Kor. Emp. Szórás	Relatív Szórás
5/1 tömegarányú keverékek	20 sec	0,51	0,0275	0,0544
	40 sec	0,50	0,0110	0,0219
	60 sec	0,51	0,0235	0,0457
	80 sec	0,51	0,0122	0,0241
5/0,5 tömegarányú keverékek	20 sec	0,52	0,0220	0,0421
	40 sec	0,49	0,0210	0,0426
	60 sec	0,54	0,0374	0,0694
	80 sec	0,55	0,0535	0,0973

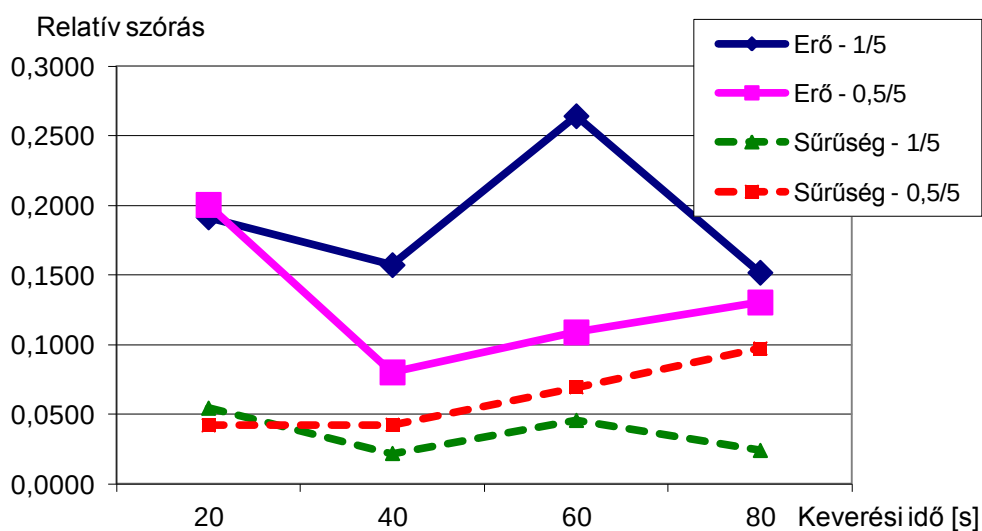
A kapott adatokból felrajzolhatók az 5/0,5 és az 5/1 tömegarányú Gumi-Poliuretán keverékekhez tartozó átlag és relatív szórásgörbék a keverési idő függvényében. A halmazsűrűségi átlagokból nincs értelme felrajzolni az átlaggörbét, mert az értékek mindkét alkalommal a bekevert anyagok halmazsűrűségi értékei mellett lesznek. Ezzel szemben az erőmérések esetében a növekvő átlagok, nagyobb kohéziót és jobb kevertségi állapotokat fognak mutatni.

A relatív szórásértékek nagyságai azt fogják mutatni, hogy minél kisebb egy adott keverési időnél ez az érték annál jobb a kevertési állapota.



35. ábra: Az erőmérési adatok átlagaiból rajzolt grafikon

Az ábráról egyértelműen látszik az, hogy a keverési idő növelésével javul a kevertési állapot. Az 5/1-es keverék 20 másodperces keverési idő mellett kapott értéke azonban meglehetősen kilóg a többi érték által mutatott tendenciájából. A görbék nagy keverési idő mellett sem változtatják meg monoton növekedésüket, ezért a kutatás egy későbbi szakaszában érdemes nagyobb keverési időkkel is megismételni a méréseket.



36. ábra: Relatív szórás változás a keverési idő függvényében

A relatív szórási adatok grafikonjából – egy-két kiugró értéktől eltekintve, ami a mérésből adódó hibakorlátból adódik –, szintén levonható a következtetés, hogy a keverési idő növekedésével javul a keverés minősége. Az halmazsűrűségi adatok a mért részminták esetében a teljes minta sűrűségi adataitól csak nagyon kis mértékben térnek, a relatív szórási értékek kis intervalluma jelez. A sűrűségek mérése esetében érzékenyebb műszerek használata lenne a célravezetőbb.

4. Konklúzió

A keverések vizsgálatánál az egyik fő szempont, hogy az egyes keverék komponensek függvényében milyen keverési eljárást alkalmazunk.

A komponensek mérete, halmazállapota és egyéb fizikai tulajdonságaik határozzák meg a keverési vizsgálatok kiértékelésének módszerét, nem használható mindegyik vizsgálatra ugyan az a módszer.

A kevertégi állapot jellemzésére célszerű minél egyszerűbb módszert találni, ami jó közelítéssel megmutatja, hogy a keverék jó vagy rossz minőségű, illetve ennek a módszernek olyannak kell lennie, amit az iparban is alkalmazni tudnak

A keverékekből vett részminták mérete befolyásolja a mérés pontosságát, minél kisebb a rész minta mérete a teljes minta méretéhez, annál pontosabb eredményt kapunk, de a kiértékelés ideje ezzel fokozottan nőhet.

Az egyik legfontosabb paraméter a keverékek előállítása esetén a keverési idő, és annak meghatározása. A keverési idő növelésével a keverékek egyre homogénebbek lesznek, kevertégi állapotuk javulnak, de egy bizonyos pont esetében a homogenizálás már jobban nem fokozható és a keverék minősége is romlani kezd.

Az üzemek költsége szempontjából a keverési idő több szempontból is fontos, egyrészt a fajlagos energiafelhasználás szempontjából, másrészt a keverékek mihamarabb értékesítése miatt.

5. Összegzés

A Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetében keverési vizsgálatokat végeztem a Bajér Kft. és az InnoSpectrum Kft. által folytatott közös projektben, előbbi esetében víz és pernye volt a keverék két fő komponense, míg utóbbinál a hulladék autógumi-abroncsokból származó gumiapríték, illetve poliuretán.

A projektekben folytatott kutatások során átfogó kísérleteket végeztem különböző keverő berendezéseken. Ezekből a kísérletekből a keverékek komponenseihez meghatározhatóvá vált egy optimális keverő berendezés.

A keverőkön végzett kísérletek főként az optimális keverési idő és a keverék minősítésének problémájára világítottak rá. A minősítés esetében kiderült, hogy nem alkalmazható minden keverék típuson ugyanaz a minősítési eljárás, mindegyikhez a keverék tulajdonságaitól függő módszert kell alkalmazni.

A keverési idő vizsgálata során bebizonyosodott, hogy a minél jobban növeljük a keverési időt, annál jobb minőségű keveréket fogunk kapni, de egy bizonyos pont esetében ez a tendencia megfordul, a homogenizálás javítása nem javítható a végtelenségig.

A mérések során levont következtetésekkel a kutatásban használt keverékekről sikerült egy átfogó képet alkotnom mind a keverés során és a belőlük készült mintatestek esetében tapasztalt viselkedésükről, mind a keverékek minősíthetőségéről.

6. Köszönetnyilvánítás

Köszönöm konzulenseimnek a lehetőséget, hogy a fent említett kutatásokban részt vehettem, illetve az utána következő problémák felmerülése után segítségemre voltak, nélkülük ez a dolgozat nem jöhetett volna létre.

Továbbá köszönöm barátaimnak a támogatást, akik bízattak a dolgozat megírásában, tanácsaikkal sokat segítettek a dolgozat összeállításában.

7. Irodalomjegyzék

- Dr. Gáspár László (2006): Másodlagos nyersanyagok az útéépítésben (IHU Kht., 2005)
- Haidekker Borbála (2004): Hamu és pernye, mint másodnyersanyag (BME OMIKK, Hulladékok... 2004/2)
- Dr. Esztó Péter (2005): A bányászati szakképzés kihívásai, kutatás-fejlesztés az energetika és a bányászat terén (Előadás, Magyar Bányászati hivatal, 2005. április 6. http://www.europauniversitas.hu/upload/Banyaszati_szakkepzes.ppt#29 (letöltve 2014. október 25.))
- Tarján Iván (2003): Keverés: Szemcsés anyagok és folyadékok keverése (Miskolci Egyetem, 2003)
- Országos Hulladékgazdálkodási Terv 2014- ig (OHT-II.) (2009): www.kvvm.hu/cimg/documents/OHT_II_SKV_ra.doc (letöltve: 2014. október 1.)
- TYRE-TRANS KFT.: http://www.tyretrans.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=33&Itemid=13 (letöltve 2014. október 16.)
- Prof. Dr. Csőke Barnabás: Műanyag és gumi hulladékok feldolgozása és hasznosítása (2011, <http://hulladekonline.hu/files/177/> letöltve: 2014. október 18.)
- <http://www.emte.siculorum.ro/~alszep/Muvelettan%202013%20PDF/3.%20Keveres.pdf> (letöltve: 2014. október 16.)