

**Erőművi salakhányók környezetre gyakorolt
hatásainak és hasznosításuk lehetőségeinek vizsgálata
egy salgótarjáni mintaterület példáján**

Doktori (PhD) értekezés

Angyal Zsuzsanna

Témavezető: Dr. Szabó Mária
egyetemi tanár

Földtudományi Doktori Iskola
vezető: Dr. Monostori Miklós

Földrajz-Meteorológia Program
vezető: Dr. Gábris Gyula



ELTE TTK Környezettudományi Centrum

Budapest, 2009

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS.....	4
2. A MINTATERÜLET ÉS KÖRNYEZETÉNEK LEHATÁROLÁSA, TERMÉSZETFÖLDRAJZI VISZONYAI, A SALAKHÁNYÓK KIALAKULÁSA	8
2.1. A MINTATERÜLET LEHATÁROLÁSA ÉS JELLEMZŐI	8
2.2. A MINTATERÜLET TÁGABB KÖRNYEZETÉNEK TERMÉSZETI VISZONYAI	11
2.2.1. <i>Geológiai adottságok</i>	11
2.2.2. <i>Éghajlati adottságok</i>	12
2.2.3. <i>Vízrajzi adottságok</i>	12
2.2.4. <i>Talajtani adottságok</i>	13
2.2.5. <i>Növényzet</i>	13
2.3. A SALAKHÁNYÓK EREDETE: A SALGÓTARJÁNI ERŐMŰ	14
3. SZAKIRODALMI FELDOLGOZÁS.....	17
3.1. A SZILÁRD ÉGÉSI MARADÉKOK FOGALMA ÉS KEZELÉSE	17
3.2. A SZILÁRD ÉGÉSI MARADÉKOK MÁSODLAGOS NYERSANYAGKÉNT TÖRTÉNŐ FELHASZNÁLÁSA	19
3.2.1. <i>Építőipari hasznosítás</i>	20
3.2.2. <i>Útépítési alapanyagként történő hasznosítás</i>	21
3.2.3. <i>Energiaerdőként történő hasznosítás/rekultiváció</i>	23
4. AZ ERŐMŰVEKBŐL SZÁRMAZÓ SALAK ÉS PERNYE MEGJELENÉSE A JOGI SZABÁLYOZÁSBAN	25
4.1. A SALAKHÁNYÓK PROBLÉMÁJÁNAK MEGJELENÉSE SALGÓTARJÁN MEGYEI JOGÚ VÁROS KÖRNYEZETVÉDELMI PROGRAMJÁBAN	25
5. A SALAKHÁNYÓK KÖRNYEZETI HATÁSAINAK VIZSGÁLATI MÓDSZEREI	28
5.1. VIZSGÁLATI MINTÁK	28
5.2. MINTAVÉTELEZÉS ÉS A MINTÁK JELLEMZÉSE	28
5.3. MINTAELOKÉSZÍTÉS	33
5.3.1. <i>Száraz szitálás</i>	33
5.3.2. <i>A vizsgálati minták kiválasztása</i>	34
5.4. A GEOMORFOLÓGIAI VIZSGÁLATOK MÓDSZEREI	34
5.4.1. <i>A lepusztulás minőségi jellemzői</i>	34
5.4.2. <i>A lepusztulás mennyiségi jellemzői</i>	36
5.5. A LERAKOTT ANYAG GEOKÉMIAI VIZSGÁLATAINAK MÓDSZEREI.....	40
5.6. AZ ELEMENALITIKAI VIZSGÁLATOK MÓDSZEREI	41
5.6.1. <i>A totálreflexiós röntgenfluoreszcens spektrometria (TXRF) módszer</i>	41
5.6.2. <i>A klasszikus analitikai kémiai vizsgálatok módszerei</i>	42
5.7. A RADIOAKTIVITÁS VIZSGÁLATÁNAK MÓDSZEREI	43
5.7.1. <i>A mérés előkészítése és menete</i>	43
5.7.2. <i>A mért mintákban lévő elemek aktivitásának és aktivitáskoncentrációjának meghatározása</i>	45
5.8. A TERÜLETEN SPONTÁN MEGTELEPEDŐ NÖVÉNYZET FELMÉRÉSÉNEK ÉS ÖKOLÓGIAI VIZSGÁLATÁNAK MÓDSZEREI.....	46
6. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK	47

6.1. MINTAELŐKÉSZÍTÉS	47
6.2. A GEOMORFOLÓGIAI VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI	50
6.2.1. A terepi megfigyelések eredményei	50
6.2.2. A lepusztulás mennyiségi jellemzői	51
6.2.3. A lepusztult anyag mennyisége	52
6.2.4. Az eredmények értékelése	53
6.3. A LERAKOTT ANYAG ÁSVÁNYOSODÁSÁNAK VIZSGÁLATI EREDMÉNYEI	55
6.3.1. A salak ásványi összetétele	55
6.3.2. A salak szöveti szerkezete és összetétele	55
6.4. AZ ELEMENALITIKAI VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI	56
6.4.1. A vizsgálati minták kémhatása és vezetőképessége	56
6.4.2. A salakmintákban található elemek kimutatása	58
6.4.3. További elemek kimutatása	62
6.4.4. A salakmintákban kimutatott kalcium- és káliumtartalom	65
6.4.5. A három fúrás eredményeinek összehasonlítása	66
6.4.6. A salaklerakó közelében található kút-és felszíni vizek elemzése	67
6.5. A SALAKMINTÁKBÓL KIOLDHATÓ ANIONOK MENNYISÉGI MEGHATÁROZÁSÁNAK EREDMÉNYEI	71
6.5.1. Szulfátion-tartalom	71
6.5.2. Nitrátion-tartalom	73
6.5.3. Klóridion-tartalom	74
6.6. A SALAKMINTÁKBÓL KIOLDHATÓ ANIONOK MENNYISÉGI MEGHATÁROZÁSÁNAK EREDMÉNYEI	76
6.7. A LERAKOTT SALAKPERNYE RADIOAKTIVITÁS-VIZSGÁLATAINAK EREDMÉNYEI ...	78
6.8. A SALAKHÁNYÓK ÉS KÖRNYEZETÜK NÖVÉNYZETÉNEK TERMÉSZETVÉDELMI ÉS ÖKOLÓGIAI ÉRTÉKELÉSE	80
6.8.1. Salakhányók	80
6.8.2. A két kúp közötti lapály	86
6.8.3 Tavacska	90
7. A VIZSGÁLT SALAK EGÉSZSÉGI HATÁSAI ÉS FELHASZNÁLÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI AZ ELVÉGZETT VIZSGÁLATOK TÜKRÉBEN	95
7.1. A VIZSGÁLT SALAKPERNYE EGÉSZSÉGI HATÁSAI	95
7.2. AZ ÉPÍTŐIPARI HASZNOSÍTÁS LEHETŐSÉGEI	95
7.3. AZ ÚTÉPÍTÉSI ALAPANYAGKÉNT TÖRTÉNŐ HASZNOSÍTÁS LEHETŐSÉGEI	96
7.4. A VIZSGÁLT TERÜLET REKULTIVÁCIÓJÁNAK LEHETŐSÉGEI	97
8. ÖSSZEFOGLALÁS	100
SUMMARY	102
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	104
IRODALOMJEGYZÉK	105
MELLÉKLETEK	112

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS

Az emberi tevékenység hatása a környezetre ma már olyan mértékű, hogy a bekövetkező változások gyakran irreverzibilis folyamatokat indítanak el. A problémák napjainkban nemcsak helyi, hanem regionális, sőt globális szinteken is jelentkeznek, alapvetően veszélyeztetve a földi életet. A bioszférát fenntartó rendszert nem tudjuk eléggé értékelni, napjainkban a gazdasági és a politikai érdekek messze felülmúlják az ökológia érdekeit.

A különféle anyagok mozgása, átalakulása, átrendeződése, vertikális és horizontális áthelyeződése a különböző szférákba mind a tudományos kutatást, mind a mindennapos gyakorlatot régóta érdeklő és állandóan foglalkoztató problémák, azonban az egyes szaktudományok képviselői külön-külön képtelenek feltárni az igen összetett jelenségeket, folyamatokat. Az érdeklődés ezen kérdések iránt különösen megnövekedett napjainkban, amikor egyrészt az Európai Unió állít környezet- és természetvédelmi szempontból mind szigorúbb követelményeket hazánk elé, másrészt a növekvő környezethasználat okoz újabb és újabb terheléseket - sokszor nem várt és nem kívánatos hatásokat - az ország számos területén. Ezeknek a hatásoknak a jobb megismerése, kutatása alapvető fontosságú ahhoz, hogy az általuk okozott változásokhoz alkalmazkodni, illetve a kifejezetten káros hatásokat kivédeni lehessen.

A szennyeződések forrása alapvetően kétféle lehet; egyrészt természetes úton, például a kőzetek mállásával és a talaj képződése során halmozódhatnak fel, másrészt a mind nagyobb arányú antropogén eredetű környezetszennyezés révén juthatnak a környezetbe. Az emberi tevékenység által a szennyeződés többféle környezeti elemet érinthet (Kiss Á. et al. 1998). A szennyeződések jelleg szerinti csoportosítása a következő:

1. a légkörön keresztül az ipari és közlekedési forrásokból származó szennyeződést tartalmazó aeroszolok révén,
2. vízből; ipari, mezőgazdasági és kommunális szennyvizek közvetlen és közvetett hatásaként,
3. szilárd, folyékony és iszapszerű ipari hulladékokból,
- 4.a mezőgazdaságban alkalmazott adalékokból (növényvédőszeres, műtrágyák, stb.).

5. egyéb beavatkozás – pl.: helytelen mezőgazdasági területhasználat és művelés, bányászati tevékenység, erdőirtás, haváriák, stb.

Míg a geológiai és biológiai változások viszonylag lassúak, az emberi tevékenység hatására környezetünk romlása exponenciálisan növekedett az utóbbi néhány évtizedben. A mezőgazdasági tevékenység eredményeképpen például mesterséges agroökoszisztémák jöttek létre, a bányászat hatására világszerte nagy területek emlékeztetnek látszólag minden életet nélkülöző holdbéli tájra, az ipari üzemek pedig különféle szennyezéseket ontó betontömegeket hoztak létre a korábban természetes növénytakaróval borított felszínen. Bár az ember hatása a bioszférára már a kőkorszaktól számítható, – elsősorban az eddig nem látott népességnövekedésnek (népességrebbanás) köszönhetően – a környezetszennyezés és az ökoszisztémák degradációja az utóbbi két évszázadban gyorsult feltűzött módon (*Nánási I. 2005*).

A fenti tendencia Magyarországon is megfigyelhető, hiszen hazánk a 19.-20. század fordulójától kezdődően jelentős iparosodási folyamaton ment keresztül. Az ipartelepítés során a különböző eredetű, koncentráltágú és környezetkárosodást okozó üzemek telepítésénél azonban ritkán volt jelentős szempont a környéken élő lakosság egészségének megóvása, a természeti értékek (növényzet, állatvilág, élővizek) állapotának fenntartása. Ilyen módon jöhettek létre koncentrált ipari körzetek, melyek energetikai szempontból elsősorban szénbázisra épültek. Megerősödött az északkelet-délnyugat irányú középpegységi energiatengely gazdasági lokalizációs szerepe (*Perczel Gy. 2003*). Az ebben a vonalban elhelyezkedő bányák és a rájuk települt erőművek, illetve ipari üzemek már több évtizede szennyezik a környezetet, akár úgy, hogy különböző eredetű égéstermékeket juttatnak a levegőbe, akár pedig úgy, hogy a tevékenységük révén keletkezett hulladékokat a nem megfelelő tárolás és hulladékkezelés miatt a környék talajaiba, talajvízeibe, élővízeibe, levegőbe, illetve az emberi szervezetbe juttatják. Ha természetközeli állapotú az érintett terület, ahova a különböző bányászati és ipari folyamatok melléktermékeit elhelyezik, akkor a talaj és az élővilág elpusztítása az adott ökológiai rendszer típusától és állapotától függően különböző súlyosságú károkat okozhat az élő rendszerben. Szélsőséges esetekben akár fajok kihalásához is vezethet a nem megfelelő védelemmel ellátott lerakók szennyezése.

Nem szabad megfeledkezni a felhagyott meddőhányók és az erőműi salakhegyek tájképet romboló hatásáról sem. A sokéves erózió, a lerakókon és környezetükben megjelenő gyomtársulás mindig egy erősen erodált élőhelyre utal, amelynek

természetvédelmi, tájékológiai értékeiről nemigen beszélhetünk. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy bizonyos esetekben a lerakás speciális módja miatt egészen furcsa, érdekes, például vulkánokra emlékeztető alakzatok alakultak ki. Van olyan önkormányzat, amely ezeket turisztikai desztinációként kívánja felhasználni, legalábbis a megfelelő kármentesítésig (*Karancsi Z. 2002*).

Az észak-magyarországi nehézipari tengely egyik jelentős agglomerációja a Nógrádi-medence, amelynek szívében, a Tarján-patak mentén helyezkedik el a kistérség központja, Salgótarján. A város az ország egyik meghatározó ipari körzete volt, ahol a helyi barnaköszén-vagyonra alapozva az 1800-as évek végétől erőműveket és nehézipari üzemek sorát (acélgyár, síkvegygyár, öblösüvegygyár) hozták létre. Ezeknek a gyáraknak a nagy része az 1990-es években bezárt, vagy jelentősen csökkentett kapacitással és termékskálával folytatta tovább a termelést (*Perczel Gy. 2003*). A több évtizedig tartó „virágkor” nyomai azonban nem tűntek el a rendszerváltozással; a város környékén sok helyen találkozhatunk az egykori bányák felhagyott és részben leművelt telepeivel, az erőművekből kikerülő hulladék (salak, pernye) hányóival, illetve a városon belül az egykori iparterületek dűledező, sok esetben életveszélyesnek nyilvánított épületeivel.

Dolgozatomban a fent említett környezetkárosító hatások közül a széntüzelésű erőművekből a szén elégetése után visszamaradó hulladékokat vizsgáltam. Munkám célja az, hogy megvizsgáljam a kiválasztott mintaterületen lerakott anyag környezeti és egészségre gyakorolt hatását, illetve felmérjem lehetséges hasznosításukat. Dolgozatomban tanulmányozom, hogy:

1. a salakhányókon a lerakás óta milyen morfológiai változások mentek végbe, és ezek mennyiben befolyásolják a szennyezés terjedését,
2. a vizsgált salakpernyének milyen a mikroszerkezete és geokémiai jellemvonása,
3. a salakhányók tartalmaznak-e és ha igen, milyen és mennyi szennyező anyagot, továbbá ezek mennyire mozgékonyak vagyis mennyire jelentenek veszélyt a talajra, a felszín alatti vizekre, a környező területek felszíni vizeire és a környéken lakók egészségére,
4. a lerakott salakpernyének mekkora az aktivitáskoncentrációja, és ez hogy viszonyul hazánk többi területén vizsgált salakpernye aktivitáskoncentrációjához,

5. a salakhányókon megtelepedett növényzetnek milyenek az ökológiai igényei és a természetvédelmi értéke,
6. vizsgálati eredményeim tükrében milyen lehetőségek vannak az erőművi salakpernye hasznosítására a térségben?

A vizsgált salakhányók szerepének vizsgálata a környező területek szennyezésében, illetve a környéken lakók egészségi állapotának alakulásában a földrajzon kívül több más tudományág érdeklődési körébe is tartozik. Így vizsgálataimhoz szükségem volt kémiai (analitikai kémiai), fizikai (elsősorban atomfizikai), biológiai (növénytani, ökológiai), geokémiai, néhány esetben műszaki (mérnöki) munkák egy részének áttanulmányozására, mérési módszerek elsajátítására csakúgy, mint a levéltárak, könyvtárak, kutatóintézetek ipartörténeti forrásanyagainak feldolgozására. Munkám során nagyon fontos módszerek találtam a helybéli emberekkel készített interjúkat, sok esetben a leghasznosabb információkat tőlük sikerült beszereznem.

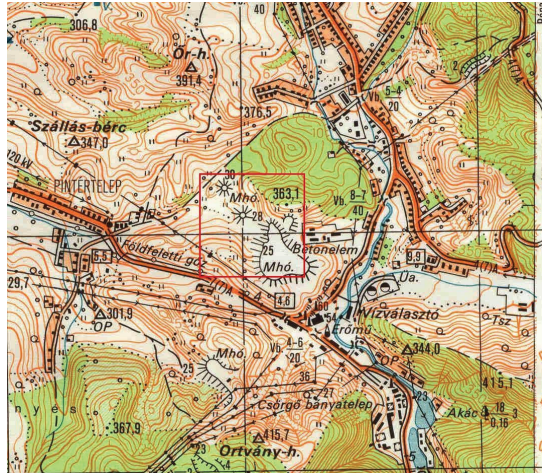
Értekezésemben mindvégig törekedtem a geográfus szemlélet megtartására, más tudományok eredményeit, módszereit annyiban használtam fel, amennyire az a mérések kivitelezéséhez, a kapott adatok megértéséhez feltétlenül szükséges volt.

2. A MINTATERÜLET ÉS KÖRNYEZETÉNEK LEHATÁROLÁSA, TERMÉSZETFÖLDRAJZI VISZONYAI, A SALAKHÁNYÓK KIALAKULÁSA

2.1. A mintaterület lehatárolása és jellemzői

Mint az előző fejezetben már utaltam rá, Salgótarjánban és tágabb környezetében számos erőműből és ipari üzemből származó salakhányóval lehet találkozni. Vizsgálataim tárgyául ezek közül két, tömegük és formájuk alapján is jelentős, az egykori Salgótarjáni Erőműből származó salakhányót választottam. A mintaterület Salgótarján központi részétől mintegy 4 km-re keletre, a Pintértelep nevű városrészben, az egykori bányaművelés egyik központjában található (1. és 2. ábra). A lerakó területe mindössze 1,5 km², jelenleg itt két salakhányó látható, amelyek nem mindennapi, vulkánokra emlékeztető alakjukkal és mintegy 60 méteres magasságukkal már a főútról is jól láthatók (*Angyal Zs. 2003*). A területen eredetileg három salakkúpot halmoztak fel, ám a legkorábban lerakott anyagot a 80-as években építkezésekhez, sportpályák borításához elhordták (*Varsányi S. 1987*). A jelenleg a területen levő salakhányók korára az irodalmi forrásokon kívül (*Varsányi S. 1987*), az elhelyezkedésükből és a lepusztulásuk mértékéből is következtetni lehet. Az idősebb kúp közelebb van az egykori erőmű területéhez és az erózió is előrehaladottabb, mint az erőmútól távolabbi, kevésbé erodált hányó.

Fizikai tulajdonságaik mellett választásom azért is erre a területre esett, mert a térségben nincs még egy olyan lerakó, amely ennyire közel helyezkedne el lakott területhez. Pintértelep legszélső házai alig 300 méterre épültek a kúp alakú képződményektől, amelyekhez a betonozott, majd földútba átmenő Salakhegyi út vezet (3. ábra).



1. ábra: A salakkúpok környékéről készült topográfiai térkép (1:10 000) (FÖMI)



2. ábra: A salakkúpokról 2002-ben készült fénykép

A salakkúpok közvetlen közelében, attól néhány száz méterre a Zagyva folyik, tehát környezeti szempontból elvileg ez a legnagyobb természetes vízfolyás, amelyre hatással lehetnek a hányókról el-, illetve lefolyó vizek. A terepbejárás során, illetve térképi megfigyelések alapján azonban megállapítható, hogy a kúpokat egy minden

oldalról zárt mélyedésbe rakták le (Angyal Zs. 2003). Déli és keleti oldalról, a település és a régi ipartelep felől egy füves domboldal határolja, melyet régen legelőként, manapság kaszálóként hasznosítanak (3. ábra). Kelet felé eltekintve még jól látszik a salak és pernye származási helyének, a Salgótarjáni Erőműnek a kéménye. A lerakó északi oldalát szintén egy domboldal határolja, amelyet a 80-as években erdei fenyvessal telepítettek be (3. ábra). A városközpont felé néző nyugati oldalon használaton kívüli, füves domboldal határolja a mintaterületet. A lerakó abszolút tengerszint feletti magassága 210 és 225 méter között változik, a határoló, magasabb térszínnek átlagos abszolút tengerszint feletti magassága 365 m (Karácsonyi S. 1981). Az a tény, hogy a lerakó egy medencejellelű térszínen lett kialakítva feltételezné, hogy néhány év alatt a csapadékvizekből, illetve a felszín alatti vizekből beltavak alakulhattak ki. Tavak nyomai azonban nem találhatóak, tehát valamilyen elfolyásnak kell lennie. Ezt a helyiek elbeszélése és saját megfigyelésem is megerősítette. Nagy esőzések idején sem áll meg a víz a hányók mellett, hanem elvezetődik a terület nyugati oldalán található árokban. Ennek a kis vízfolyásnak az útját azonban nehézkes követni, mivel a vizsgált terület északnyugati oldalán a felszín alatt folyik, majd egy kis tavacskát táplálva a felszínre kerül, végül a település keleti szélén levő kerteknél ismét a felszín alá bukik (Angyal Zs. et al. 2004). A terepi felmérés során a vízfolyás vizsgálatát az igen sűrű vegetáció is gátolta, a légi felvételen azonban szépen kirajzolódik futása (3. ábra).



3. ábra: A salakpernye-lerakó és környezete egy 2005-ben készült légi felvételen (FÖMI)

2.2. A mintaterület tágabb környezetének természeti viszonyai

A fent bemutatott kutatási területem közigazgatásilag Salgótarjánhoz tartozik, természetföldrajzi tájbeosztás szerint pedig az Északi-középhegység Medves-vidékéhez mint kistájhoz sorolható. A Medves-vidék kiterjedése mintegy 32 km². Területén található Közép-Európa legnagyobb kiterjedésű bazaltfennsíkja, a Medves-fennsík, – területének csak kb. 2/3-a esik Magyarország területére – és a hozzá kapcsolódó, bazaltcsúcsokkal (Salgó, 625 m, Boszorkánykő, 571 m) tarkított alacsonyabb területek (Horváth G. et al. 1997). A vidék 1989-től a Karancs-Medves Tájvédelmi Körzet részét képezi (Fancsik J.–Nyíri L. 2001). A területet északról, északkeletről a szlovák határ, nyugatról a Tarján-patak völgye, keletről és délről pedig Salgótarján és a hozzá csatolt településrészek határa szegélyezi.

2.2.1. Geológiai adottságok

Kutatási területem tágabb környezetét oligocén és miocén korú tengeri és szárazföldi üledékek, valamint vulkáni képződmények építik fel. A terület a pliocénban már szárazulat volt, amelyet az erózió alaposan lepusztított. Jellemzők voltak a mély vízmosások és völgybevágódások. Azokon a részeken, ahol az erózió erősebben működött, ott az üledékes rétegek nagy része hiányzik, néhol a miocénben keletkezett széntelep is lepusztult. A pliocénban – kb. 2-6 millió évvel ezelőtt működtek – a „nógrád-gömöri bazaltvulkánok”. (Prakfalvi P. és Balogh K. 1998). A pannon végén bekövetkező erős lepusztulás következtében ezek a fiatal bazaltképződmények ma már csak „vulkánromokként” (eredeti formájuk erősen átalakult, de azért még jól felismerhető, s megszabja a jelenlegi domborzat jellegét), illetve kisebb részben „vulkánroncsokként” (eredeti vulkáni formáik bizonytalanok, elmosódtak, azok csak geológiai, geofizikai módszerekkel kimutathatók) említhetők (Székely A. 1997). A pleisztocén kori üledéksorokat a folyók, patakok völgye mellett képződött teraszokon az áthalmozott kavicsos, homokos anyag, széncsíkok, homokkő- és löszrétegek építik fel. A holocénban a pleisztocén kori rétegekre hordalékként homok és agyag rakódott (Lassan J. 1987). A Magyar Geológiai Szolgálat salgótarjáni Területi Hivatala 1991-ben, kéziratos formában összeállította a terület komplex földtani területfejlesztési térképsorozatát, azzal a céllal, hogy a településfejlesztési elképzeléseknél azokat figyelembe tudják venni. A munka alapját egyrészt a térségben korábban zajló szénkutatás, szénbányászat, vízkutatás, építőanyag-bányászat következtében elkészült,

megfelelő részletességű (1:25 000) földtani térkép, másrészt az 1981-ben megszerkesztett 1:10 000 léptékű építésföldtani atlasz adta (Józsa G. 1991).

2.2.2. Éghajlati adottságok

A Medves-vidék éghajlatára kis mértékű kontinentális hatás a jellemző, emellett érezhető még a mediterrán és az óceáni hatás is. Az atlanti hatás az enyhe nyárban és a viszonylag szabályos csapadékeloszlásban mutatkozik meg, kontinentális vonásként a hideg tél és a kora nyári csapadékmaximum említhető, míg a déli, mediterrán hatást az őszi-téli esők mutatják. A viszonylag nagy átlagmagasság miatt a hőmérséklet ingadozása kisebb az országos átlagnál. Az évi középhőmérséklet 1-2°C-kal elmarad a 10°C-os országos átlagtól, ez 50 év átlagát nézve 9,1°C, a tenyészidőszakban 16°C. A téli középhőmérséklet átlagosan -1°C (Judik B. 2000/a). A Medves-vidék hazánkban nem tartozik a leghidegebb vidékek sorába, de a hideg időszak itt a leghosszabb; fagyokra szeptember elejétől májusig lehet számítani. A vidék változatos morfológiájú felszíne, de különösen az antropogén eredetű, bányaudvarok (bányaüregek) miatt a mikroklíma szerepe sem hagyható figyelmen kívül.

A felszínalakítás szempontjából az egyik legfontosabb tényező a csapadék. A térség évi csapadékmennyisége 550-600 mm, a magasabb hegyek nyugati lejtőin akár 650-700 mm is lehet. A csapadék maximuma kora nyáron van, mennyisége a magassággal fokozatosan növekszik. Évente 50-70 havas nap a jellemző. A térségben az uralkodó szélirány az északkeleti. (Judik B. 2000/a).

2.2.3. Vízrajzi adottságok

A Medves-vidék vízrajzi szempontból fontos határterületnek tekinthető, mivel a platón húzódik az Ipoly, a Sajó, a Zagyva és a Tarna közötti (ezáltal a Duna és Tisza közötti) vízválasztó. Felszíni vízhálózatát tekintve azonban igen szegényes.

A Medves-fennsíkon vízfolyás nagyon kevés van, a platót inkább lefolyástalan területek jellemzik. A terület vízfolyásai csak a peremeken kibukkanó, csekély vízhozamú forrásokból (Zagyva, Gortva forrásai, stb.) táplálkoznak. A források másik csoportja antropogén eredetű, ebben az esetben a felszínre kerülő víz a szénbányászat táráiból származik. Ezek vízhozama jelentős is lehet (100 l/perc). Kisebb, nagy esésű, szélsőségesen ingadozó vízjárású patakokat a fennsík peremébe bevágódott völgyekben találunk. A tél végi olvadáskor gyakran időszakos vízfolyások is kialakulnak.

A területen sok kis kiterjedésű, zömében időszakos tó is található. Ezek nagy részének kialakulása a bányászati tevékenységhez kapcsolódik, víziük meglehetősen szennyezett (Horváth G. et al. 1997).

2.2.4. Talajtani adottságok

A Medves-vidék üledékes kőzetein képződött talajok között az erdőtalajok túlsúlya jellemző: agyagbemosódásos barna erdőtalaj 22%, barna erdőtalaj 15 %, rozsdabarna erdőtalaj 32%, mechanikai összetételük a vályogtól az agyagos vályogig terjed. Gyenge vízvezető képességük miatt vízgazdálkodásuk kedvezőtlen. Az alacsonyabb térszíneken barnaföldek képződtek, amelyek mechanikai összetétele és vízgazdálkodása az előzőekkel azonos, termékenységé viszont jóval kedvezőbb azoknál (Judik B. 2000/b).

A néhol erős erózió miatt az igen gyenge termékenységű földes és köves kopárok részaránya is viszonylag magas.

A területről az utóbbi 15 évben tápanyagvizsgálatok nem készültek, mivel az 1990-es évektől az intenzív mezőgazdálkodás nem jellemző. A korábbi műtrágyahasználat nyomai azonban kémiai vizsgálatokkal a források vizében még kimutathatók. A talajok szennyezettségének vizsgálatára 1992-ben országos szinten létrehoztak egy információs rendszert (Talajvédelmi Információs és Monitoring rendszer), amelynek adatai bárki rendelkezésére állnak (Judik B. 2000/b).

2.2.5. Növényzet

A Medves és környéke florisztikai szempontból még viszonylag kevésé feltárt terület. A magyar flóratartomány (*Pannonicum*) ősmátrai flóravidékének (*Matricum*) mátrai flórajárásához (*Agriense*) tartozik (Soó R. 1937). A fennsíkeremi területeken még ma is megtalálhatók az ősi közép-európai és eurázsiai montán és szubmontán mezofil növények – mint pl. közönséges tölgyespáfrány (*Gymnocarpium dryopteris*) vagy a nyúlsaláta (*Prenanthes purpurea*). A terület különlegessége, hogy nagy részén azonos magasságban sík-, domb- és hegyvidéki fajok – pl. sárga nőszirm (*Iris pseudocorus*), hernyópázsit (*Beckmannia eruciformis*), kapcsos korpafü (*Lycopodium clavatum*) – is megtalálhatók egymás közelében, amiben persze nagy szerepet játszanak az antropogén hatások is (Csiky J. 1997).

A Medves klímazonális társulása a cseres-tölgyes (*Quercetum petraeae-cerris*), illetve a magasabb térszíneken a gyertyános-tölgyes (*Quercus petraeae-Carpinetum*), foltokban bükkös (*Fagetum*) konzociációja is előfordul. A meredek felszínnek könnyen

kilúgozódó savanyú talajain edafikus mészkerülő bükkösök (*Luzulo-Fagetum*), míg a peremletörések bazaltsziklás oldalain sziklagyepek (*Asplenio septentrionali-Melicetum ciliatae*) kicsiny állományai jelennek meg. A patak völgyek intrazonális fás társulásai a gyertyános-égeresek (*Aegopodio-Alnetum*); a mázgas éger (*Alnus glutinosa*) mellett sok ritka, védett faj, pl.: ikrás fogasír (*Dentaria glandulosa*) is megfigyelhető. A kőbányák falain, a meddőhányókon pedig átmeneti és másodlagos társulások, főleg töviskesek (*Pruno spinosae-Crataegetum*) alakultak ki, míg máshol az adventív akác (*Robinia pseudo-acacia*) alkot állományokat (Csiky J. 1997).

2.3. A salakhányók eredete: a Salgótarjáni Erőmű

A Nógrádi-szénmedence területén már 1910 előtt is működtek kisebb erőművek, amelyek egy-egy bányatelep villamosenergia szükségletét fedezték. A villamosság mint hajtóenergia az 1890-es években kezdett teret hódítani a salgótarjáni szénmedence területén. A bányászat fejlődésével a kiszolgáló berendezések mozgatására kezdetben hőenergiát használtak, és a fejlődés folyamán tértek át a gazdaságosabb villamos energiára (Varsányi S. 1987). Az 1910-es évek táján a műszaki fejlesztés egyre inkább követelte egy központi fekvésű, gazdaságosabb villamos erőmű létesítését, az akkori bányatelek helyzetéhez igazítva. Hosszas tárgyalások után a döntés a Salgótarjáni Erőmű telephelyére, Salgótarjától keletre esett. Az itteni létesítést több adottság indokolta:

1. A hely Salgótarjától 4 km-re helyezkedett el az akkori bányaműveléshez mérten központi helyen, és így az energia továbbításához aránylag rövid távvezetékre volt szükség.
2. Szénszállítás szempontjából is alkalmas volt a terület, mivel az erőmű mellett vonult el egy keskeny nyomtávú iparvasút és a Rónabányáról érkező szénszállító kötélpálya, amelynek csilléiből a szén közvetlenül az erőmű széntárolóiba ürítették.
3. A völgy, amelyben az erőmű épült, olyan természeti adottságú, hogy közel az erőműhöz az itt eredő Zagyva-patakot mesterséges gáttal el lehetett zárni, és ezzel az erőmű üzemeltetéséhez szükséges hűtővizét is biztosították. A kazánok

táplálásához szükséges vízellátást mélyfúrású kutak létesítésével igyekeztek megoldani.

A földterületek kisajátítása után már 1910-ben megkezdődtek az erőmű építési munkálatai, melyet aztán 1912. június 1-én adtak át.

Az első világháború időszakában az erőmű termelése fokozatosan növekedett, a hadiiparnak egyre több villamos energiára volt szüksége. A világháború után azonban az addig tüzelt szén minősége erősen kezdett romlani. A problémát műszaki fejlesztéssel, illetve új berendezések beszerzésével oldották meg, így a két világháború között az erőmű termelése, egyben a képződő salak és pernye mennyisége is folyamatosan emelkedett, mindaddig, míg 1944 decemberében a német csapatok fel nem robbantották az erőművet. Az újjáépítés után 1945 februárjában indult újra az energiatermelés. 1949-ben a Salgótarjáni Erőművet rákapcsolták az országos hálózatra, ami egyre több villamos energia termelését követelte meg. Az erőmű az ezt követő néhány évben érte el legnagyobb évi teljesítményeit. Az 50-es években egyre súlyosabb gondot jelentett a kazánok által mind nagyobb mennyiségbe termelt salak kiszállítása. Erre a célra korábban egy felvonó szolgált, amelynek javítása és üzemben tartása igen nehéz fizikai munkát igényelt. E berendezés helyett megindult a salakszállító gumiszalag-rendszer, a salakhegyi siklópálya helyett pedig egy korszerű kötélpálya, amely 65 méter magas oszlopaival az akkori évek kiemelkedő technikai eredménye volt. Ezek maradványai még ma is láthatók a salakkúpok közvetlen közelében (*Varsányi S. 1987*).

Az 1960-as években került sor a pernyeelválasztás és szállítás tervének kidolgozására, nem utolsósorban azért, mert a környezetre hulló nagy mennyiségű szállóhamu kezdett tűrhetetlenné válni az ott lakók és az erőmű mellett létrejött mezőgazdasági termelősövetkezet számára. Több éven keresztül az erőmű tekintélyes nagyságú pernyekárt fizetett a tsz-nek. Egy fejlesztési terv keretében elektrosztatikus porleválasztót helyeztek üzembe, míg a korábban épített elektrosztatikus pernyeelválasztó helyett multiciklonos leválasztást alakítottak ki. A leválasztott pernyemennyiség fogadására egy 20 vagonos pernyehombár épült, amely ciklonberendezésen keresztül fogadta a pernyét; a pernye kiszállítása a kötélpályán az erőmű melletti salaktérre a hombár alá épített nedvesített dobon keresztül történt (*Varsányi S. 1987*).

A 60-as évektől kezdődően a nógrádi szénbányákból felszínre hozott szén minősége rohamosan kezdett csökkenni, ennek megfelelően az erőmű termelése kezdett visszaesni. A szén minőségének romlása, a bányák egymás utáni kimerülése és a bányászati racionalizálási program előkészítői voltak annak, hogy 1973-tól a Salgótarjáni Erőmű a széntüzelésről áttért az olajtüzelésre (*Varsányi S. 1987*). Ettől az évtől kezdődően tehát leállt a salakpernye termelése és deponálása a vizsgált területre. Maga az erőmű még a 90-es évek elejéig működött egyre csökkenő kapacitással, majd 1992-ben végleg leállt a termelés.

3. SZAKIRODALMI FELDOLGOZÁS

3.1. A szilárd égési maradékok fogalma és kezelése

Hazánkban a szilárd tüzelőanyagok (feketeköszén, barnaszén, lignit) ma is fontos szerepet játszanak az energiatermelésben. A szilárd égési maradékok csoportjába tartoznak a különböző égetőművekből kikerülő anyagok. Ezeket méretük és kikerülési helyük szerint alapján salakokra és pernyékre szokás osztani. Magyarországon évente mintegy 4 millió tonna pernye és salak keletkezik, amelyből 3,5 millió tonna az elektrofilterekben leválasztott finom pernye (*Gáspár L. 2005*). A tárolt hulladék amellett, hogy környezeti kockázatot jelent, értékes földterületeket von el a településektől, a mezőgazdaságtól és az ipartól. Ugyanakkor a hányók értékes építőipari nyersanyagforrások is, hasznosításukhoz tehát jelentős környezetvédelmi és nemzetgazdasági érdek fűződik. Mind a salak, mind a pernye összetétele az adott tüzelőanyag (szénfajta) jellegéről függ, ami jelentősen meghatározza hasznosíthatóságukat (lásd később) (*Árvai J. 1993*).

Érdemes megjegyezni, hogy a szakirodalmak megkülönböztetnek származási helyüket illetően széntüzelésű erőművekből, illetve kohászati technológiai folyamatokból származó salakot és pernyét is. Én a továbbiakban a széntüzelésű erőművekből származó szilárd égési maradékokkal foglalkozom, mivel a mintaterületem ilyen salakhányók tanulmányozása történik.

A salak az égetőműben az égetés során visszamaradó, nagy tömegű, darabos anyag, amely a tüztér alján gyűlik össze, ahonnan nedves rendszerű eljárással távolítják el, majd hordják ki a lerakóra. Ezt a salakot nevezzük elsődleges salaknak (*Bódi D. et al. 1992*). A salak hűtése történhet átfolyó és elpárolgató üzem módban. A Salgótarjáni Erőműben az átfolyó technikát alkalmazták, amely révén a kikerülő anyagot bizonyos építőipari ágazatok még fel tudják használni, tehát értékesíteni lehet. A szénégetés után visszamaradó anyag nagyobbik része a füstgázzal halad a kémény felé, ám ebből a nagyobb szemcséjű részecskék még kihullanak (másodlagos salak). A salak szemcseeloszlása elsősorban a szén darabosságától függ, valamint a tüzelőberendezés és a tüzvitel szabályozásának megoldásától is. Az erőműből való kikerülés után éghetőanyag-tartalma még akár a 10-15%-ot is elérheti (átlagosan 8-9%), ennek kiegészése gyakran a lerakón öngyulladás formájában következik be. Vízoldható só-tartalma átlagosan 0,5-5% közötti, nehézfém-tartalom elemtől függően általában kicsi. A

viszonylag nagy szilikáttartalom miatt sok salakban a vízőldható komponensek vízben oldhatatlan szilikátos kötésbe mennek át, emiatt ezek a salakok a környezetükre nincsenek hatással, bárhol lerakhatók (Árvai J. 1993).

Ezzel szemben az erőművi pernye szemcsemérete a mikrométeres tartományba tartozik (0,2-120 ηm), és nem az égetőmű alján gyűlik össze, hanem a füstgázból a porleválasztóban marad. A leválasztó a pernye kb. 95-99%-át tartja vissza, ezt nevezzük leválasztott pernyének. A legfinomabb frakció az emittált pernye, amely a 100-200 méter magas kéményen a légkörbe jut, és a szemcsemérettől valamint az időjárási viszonyoktól függően különböző távolságokban kihullik (Bódisz G. et al. 1992). Mennyiségét tekintve a salak mennyiségének mindössze 5-10%-a, de lényegesen szélsőséesebb tulajdonságai vannak, mint a salaknak. Kiváló abszorpciós képessége miatt néhány tized százalékától akár néhány százalékig is tartalmazhat például nehézfémeket. Ennek a nagyfokú feldúsulásnak az az oka, hogy a gőz halmazállapotú szennyezők a füstgázok lehülése következtében kondenzálódnak a szilárd részecskék felületén. A szálló porra kondenzálódott nehézfémek zöme (jellemzően 80-90%-a) a 2 ηm -nél kisebb porszemcséken található. A pernyére kondenzálódott szennyezők természetesen a pernye leválasztásával a füstgázból eltávolíthatók. Az elemek részaránya a salakban, a füstgázban és a pernyében változó (1. táblázat) (Árvai J. 1993).

1. táblázat: A barnakőszénben és a különböző erőművi melléktermékekben előforduló elemek százalékos megoszlása

Elemek	Barnakőszénben (átlag g/t)	Salakban %	Füstgázban %	Pernyében %
Kén	5 000	35	40	25
Fluor	200	35	25	40
Klór	7 000	10	70	20
Vas	70 000	99	-	1
Réz	400	90	-	10
Cink	1 000	50	-	50
Ólom	800	60	5	35
Kadmium	10	10	10	80
Higany	4	-	75	25

Forrás: Deutsche Babcock Anlagen AG, 1989

Meg kell azonban jegyezni, hogy régebben inkább arra törekedtek, hogy a nehézfémek a salakban koncentráldjanak. Napjainkban viszont a megfelelő tüzeléstechnikai paraméterek beállításával azt kívánják elérni, hogy a szennyező

anyagok a füstgázba kerüljenek. Így viszonylag ártalmatlan salak keletkezik, a füstgát pedig nagy hatékonyságú berendezésekkel meg tudják tisztítani. Vízoldhatóanyag-tartalma is igen nagy, átlagosan 8-10%, de szélsőséges esetben elérheti akár a 35%-ot is. A szilícium-dioxid tartalom függvényében beszélhetünk bázikus (20-25%) és savanyú (45-60%) pernyékről (Árvai J. 1993). Ezek miatt a tulajdonságok miatt a pernye lerakása a salakénál sokkal nagyobb figyelmet követel.

A szilárd égési maradékok (salak és pernye) – elvileg – anyagi tulajdonságaik miatt környezetet nem károsító módon, kizárólag rendezett, illetve rendezett biztonsági lerakókon helyezhetők el. Ezt az elvet azonban a 70-es évekig nem igen vették figyelembe, így hazánk egykori nehézipari körzeteiben sok helyen műszaki védelem nélkül helyezték ki az erőművekből kikerülő maradékot. A salakot és a pernyét általában együtt, egy hányóra szállították és tárolták, mennyiségük és összetételük a hulladék jellemzőitől és a tüzelőberendezés üzemmódjától függ (Árvai J. 1993). A magyarországi erőművekből kikerült salak- és pernyelerakók felülete 2000-ben több mint 1000 ha volt, ami mintegy 180 millió m³ hulladékot jelent országszerte (Gáspár L. 2005).

3.2. A szilárd égési maradékok másodlagos nyersanyagként történő felhasználása

Az erőművekből kikerülő szilárd égetési maradékok felhasználása és újrahasznosítása a fejlett országokban már hosszú múltra tekint vissza. 2000-ben mintegy 50 millió tonna pernyét használtak fel a világon csak betonkészítésre, a többi felhasználás 10 millió nagyságrendjét nem is említve (Gáspár L. 2005). Csak Németországban, ahol a pernyehasznosítás 1939-ben kezdődött el, 1970 óta mintegy 4 millió tonna pernyét használtak fel (Feuerborn J. H. 2001). A gyakorlati hasznosítás során a salakpernyének lényegében két fő tulajdonságát hasznosítják, egyrészt a jó puzsolános aktivitását, vagyis hogy víz hatására a cementhez hasonlóan köt és szilárdul, másrészt pedig jó szorpciós kapacitását (nagy fajlagos felületét). A hazai gyakorlatban az elmúlt évtizedekben a következő hasznosítási eljárások terjedtek el (Árvai J. 1993):

- cementipari felhasználás: a cement egy részének helyettesítése pernyével, pernyecement előállítása,
- pernyeblokkok előállítása építőelemként: ezirányú kísérletek a Borsodi és a Gagarin Hőerőmű pernyéjével történtek az 1980-as években,

- salakpernye felhasználása útépitéshez: az elmúlt évtizedekben folyamatosan épültek alsóbbrendű utak ebből az anyagból, elsősorban Komárom-Esztergom megyében,
- salakpernye felhasználása töltőanyagként: főleg pinceüregek tömedékelésére hasznosítják például Egerben és Pécsen,
- pernyebeton alkalmazása ipari hulladékok beágyazására.

A már több évtizede lerakott hányóknak a sorsa elsősorban az adott település vezetésétől, a lerakó tulajdonosától és a gazdasági érdekektől függ. Az általam vizsgált salgótarjáni kistérségben a legtöbb esetben az erőművekből, ipari üzemekből származó szennyezők akár több évtizeden keresztül maradnak a lerakón, kitéve az időjárás, a természet hatásainak. A nem bányászati származó salaklerakókat (acélgyári salak- és páclélerakó, üvegyári salaklerakó) szakszerű kezelésére a 90-es évek elejétől fordítanak fokozott figyelmet, ezek műszaki védelme ma már kielégítőnek mondható, sőt, egyes esetekben már a terület rekultivációja is megkezdődött. A széntüzelésű erőművek salaklerakóira azonban ez a tendencia nem jellemző, a legtöbb helyen a területet néhány év alatt spontán visszahódította a természet. Ez a folyamat egyrészt kedvezőnek értékelhető, hiszen – legalábbis az avatatlan szemek előtt – eltűnt a tájseb, ugyanakkor a szennyezés nem szűnt meg, a növényzet térhódítása pedig jelentősen megnehezíti az esetleges későbbi hasznosítást

3.2.1. Építőipari hasznosítás

Számos külföldi kutatás foglalkozik az erőművi maradványok építőanyagként történő felhasználásának lehetőségeivel és az esetleges veszélyekkel. A 20. század második felében a lerakott salakot és pernyét elsősorban olcsó építőipari alapanyagként hasznosították, salakbetont állítottak elő belőlük (*Horváth Á. 2004*). A 80-as évek második felében azonban ez a felhasználási mód háttérbe szorult, mivel több kutatás is bebizonyította a salakból épült betonblokkok egészségkárosító hatását. Napjainkban az építőipar újra nagy mennyiségben használ adalékanyagként ipari melléktermékeket és megfigyelhető az olyan új építőanyagok gyártása, amelyek tartalmaznak (akár nagyobb koncentrációban is) természetes, vagy mesterséges folyamatok során az építőanyagba kerülő radioaktív anyagokat mint például a foszfogipsz vagy a salakpernye (*Mazzilli, B. et al. 2000; Karangelos, D. J. et al. 2004; Somlai J. et al. 2006*). A szakirodalomban elkülönítik a természetben előforduló radioaktív anyagokat (*naturally occurring*

radioactive materials, NORM), és a technológiai folyamatok által feldúsított természetben előforduló radioaktív anyagokat (*technologically enhanced naturally occurring radioactive materials*, TENORM) (Beretka J. et al. 1996; Dinelli G. et al. 1996; O'Brien R. S. et al. 1997). Ez utóbbiak egyike a széntüzelésű erőművekből származó salakpernye is, amely radioaktivitását a fűtőanyagként köszönheti. A szénben lévő radioaktív anyagok ugyanis a tüzelés során a salakban és a pernyében koncentrálnak, így a kikerülő szilárd égési maradékok radioaktivitása a szén minőségétől függően akár több tízszerese is lehet a talaj átlagos radioaktivitásának. A pernyében nagy az ^{238}U és bomlástermékeinek (^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{210}Po , ^{210}Pb) koncentrációja, ezért az ebből az anyagból épült házaknál ezek a bomlástermékek, elsősorban a radon jelent potenciális veszélyforrást. Mivel a radon egy nemesgáz, kémiaiilag nem, csupán fizikailag képes kötődni. Az építőanyagokból könnyen kidiffundál és zárt térben feldúsulhat. Egészségre káros hatását elsősorban úgy fejtí ki, hogy a belélegzett radon vagy gáz alakban vagy apró pernyeszemcsékkel, aeroszolokhoz tapadva a légutakon keresztül jut be a tüdőbe, vagy esetleg az elfogyasztott táplálékkal kerül az emésztőrendszerbe, ahol bomlástermékei (polónium, ólom) ott maradhatnak (Szabó I. 1991). Hazánkban jelenleg részleges korlátozó rendelet van érvényben a pernye építőanyagként történő hasznosítása terén, de a rendelet a szabadban történő hasznosítást nem tiltja, illetve a legnagyobb aktivitású ajkai pernye maximális adagolását 20%-ban állapította meg (Gáspár L. 2005).

3.2.2. Útépítési alapanyagként történő hasznosítás

Szilárd égési maradékok közül útépítési hasznosítás céljából elsősorban a pernyék jöhetnek számításba, miután a pernyének kifejezetten jó a puzzolánaktivitása, amint azt már korábban említettem. A gyakorlati hasznosítás során lényegében ezt a fő tulajdonságát, valamint jó szorpció kapacitását hasznosítják. A pernye útépítési felhasználását a műszaki alkalmasság mellett szervezési, ökológiai és gazdasági szempontok is befolyásolják. A természetes építőanyagokkal való műszaki egyenértékűség esetén mindig igazolni kell, hogy ökológiai szempontból nincs káros hatása.

A széntüzelésű erőművekben keletkező pernyét az útépítés és –fenntartás területén több technológiai folyamatban is gazdaságosan fel lehet használni. A hasznosítás történhet közvetlen módon, ebben az esetben a pernyét nem kezelik. Bizonyos esetekben azonban a pernyét fel lehet használni közvetett módon is kötőanyagként,

ekkor értékes elsődleges nyersanyagokat lehet helyettesíteni vele. A közvetlen felhasználás elsősorban a következő területeken jöhet számításba (*Gáspár L. 1977*):

- töltések és földművek építése durva és közepes szemcse nagyságú pernyéből és
- az aszfaltgyártáshoz a mészköliszt töltőanyag kiváltása pernyével.

A közvetett felhasználás során megfelelő technológiai előkészítés után vagy pedig aktiváló anyaggal keverve hasznosítják a pernyét. Ennek legfontosabb területei:

- nem hidraulikus savanyú pernyének bázikus katalizátor hozzáadásával kötőanyagként történő alkalmazása és
- savanyú és bázikus pernye keverékével, illetve más kötőanyag hozzákeverésével előállított kötőanyagként való alkalmazás.

A fejlett ipari országok már az 1930-as években elkezdték elemezni a keletkezett salak és pernye mennyiségének csökkentési lehetőségeit, ezen országok közül akkoriban (és most is) élen járt az USA, Németország, Franciaország és Nagy-Britannia. Ezen hulladékok felhasználási lehetőségeinek vizsgálatát komplex módon az állam, a beruházó, a vállalkozó és az előállító szempontjait figyelembe véve végzik) az ezredforduló környékén sikerült törvényi szabályozásban előírni a keletkezett pernyék mennyiségének csökkentését, a salakhányók tonnájára kivetett adók segítségével. A hányók csökkentésére tökéletes megoldásnak tűnt az építőanyagként történő felhasználás. Számos kutatás indult a lehető legoptimálisabb felhasználás kifejlesztésére, például Indiában a gázbetonok összetételét vizsgálták, és megállapították, hogy az erőművi pernye felhasználható a gázbeton gyártásához (*Narayana N. et al. 2000*). 2000-re a világon csak a beton készítésére felhasznált pernye mennyisége már meghaladta az 50 millió tonnát (*Vámos Gy. 2005*). Az akkori kutatásoknak mindmáig megvan az eredménye, hiszen sikerült jelentősen lecsökkenteni a keletkezett pernye mennyiségét. Magyarországon az 1960-as évektől kezdődtek a pernye hasznosításával kapcsolatos vizsgálatok. 1960-tól 1980-ig mintegy 900 ezer m²-nyi kísérleti útfelület elkészítésében használtak pernyét adalékként, amelyeket 2003-ban felülvizsgáltak (*Gáspár L. et al. 2004*). A vizsgálatok eredménye alapján a pernyeadalékkal készített útszakaszok megfeleltek az elvárásoknak (*Benke I. 2002*). Ennek ellenére a pernyék magyarországi hasznosítása nem terjedt el, sőt a 2000-es évek elején szinte teljesen le is állt. Pozitív, hogy egy 2001-ben megrendezésre került miskolci tudományos konferencia, és egy 2002-ben megjelent cikk (*Hórvölgyi L. 2002*) is született, amelyek felhívják a figyelmet a pernye felhasználásának fontosságára és a

hazai helyzet mielőbbi megváltoztatására (Gáspár L. 2005). A fejlett országok tehát állami támogatásokkal, adókedvezményekkel és környezetvédelmi szempontok figyelembe vételével, jelentős ellenőrzés mellett támogatják a hulladékok és melléktermékek felhasználását, ennek következtében a maradékanyagok felhasználása jelentősen felgyorsult szerte a világon. A probléma megoldása egy központi kérdés az Európai Unión belül is, ezért a nagy mennyiségű maradékanyagok felhasználására közösségi szintű stratégiát dolgoztak ki, amely a jövőben remélhetőleg Magyarországon is sikeresen végrehajtható lesz.

3.2.3. Energiaerdőként történő hasznosítás/rekultiváció

Az életszínvonal emelkedése a világ bármely pontján energiafelhasználás nélkül lehetetlen. A hazai energiaigény az utóbbi 3 esztendőben 1040 PJ körül alakult, amelynek közel 60%-át külföldről hozzuk be (Bai et al, 2002). A hazai fosszilis energiaforrások egyre szűkösebbek és egyre drágábban termelhetők ki, ezért a jövőben energetikai értelemben egyre kiszolgáltatottabb helyzetbe kerülhetünk az exportőr országokkal szemben. Magyarország természeti adottságait tekintve azonban lehetséges megoldás lenne az energia biomasszából történő előállítás. Főleg igaz ez akkor, ha figyelembe vesszük, hogy hazánkban az évente képződő növényi biomassza bruttó energiatartalma 1185 PJ (Bai A. et al. 2002), vagyis jóval felülmúlja a teljes energiafelhasználást. A biomassza energetikai hasznosításának elterjedése rövidtávon elsősorban gazdasági kérdés, ám hosszabb távon – a fosszilis energiaforrások kifizetésével párhuzamosan – a mai megítélésnél valószínűleg egyre fontosabb szerephez jut az energetikai hatékonyság (az előállított és a felhasznált energiamennyiség hányadosa). Ma a beruházási költségeket elsősorban a tőkehiány, vagyis a minél olcsóbban és gyorsan megtérülő technológiák iránti igény motiválja, a jövőben azonban a fosszilis energiaforrások dráguló kitermelése és a környezetvédelmi szempontok jobb érvényesülése (pl. környezetvédelmi adók bevezetése) a megújuló energiaforrásokat relatíve olcsóbbá teszi. A csökkenő energiakészletek miatt pedig előtérbe kerülnek az olyan energiaforrások, amelyek minél kevesebb energia felhasználásával minél többet képesek előállítani. Ilyen módon a távolabbi jövőben a biomassza-tüzelésnek nem a földgáztüzeléssel, hanem egyéb megújuló energiaforrásokkal kell majd versenyeznie.

Elengedhetetlen továbbá annak a felismerése, hogy a biomassza nemcsak potenciális energiahordozóként, hanem egyéb célra felhasználható alapanyagként (komposztálás és biogáz-termelés, takarmányozás) szintén számításba vehető.

Nem hagyhatjuk figyelmen kívül azt sem, hogy a valamilyen szempontból károsított, zavart területeken (pl. erőművi pernyehányók, meddőhányók) az energetikai célú növényültetés egyben a terület rekultivációját is jelenti.

4. AZ ERŐMŰVEKBŐL SZÁRMAZÓ SALAK ÉS PERNYE MEGJELENÉSE A JOGI SZABÁLYOZÁSBAN

Mielőtt rátérek a mintaterületen végzett vizsgálatok bemutatására, szükségesnek tartom rögzíteni, hogy a jogi szabályozásban a vizsgált anyag – az erőművekből származó salak és pernye – milyen megítélés alá esik, miként szabályozzák a rendelkezések, hogyan, milyen hangsúllyal kezelik a város környezetvédelmi programjában. A törvényi besorolás szempontjából 2000-ben fontos fordulat történt, egészen az ezredfordulóig ugyanis a környezetvédelmi rendelkezések szerint az erőművekből származó salak és pernye tette ki a legnagyobb részt a mennyiségét tekintve a veszélyes hulladékok osztályán belül. A *Környezetvédelmi Minisztérium 2/5/2000. számú 2000. február 6-i határozatában* azonban – a keletkező salak-pernye hulladékot a Hulladékértékelő Bizottság 1/2000. számú állásfoglalása alapján – kivette az eddigi minősítés alól, és nem tekintette többé veszélyes hulladéknak. Ezzel a határozattal statisztikailag természetesen jelentősen lecsökkent ugyan a veszélyesnek minősített hulladékok mennyisége hazánkban, de az átsorolás magát a problémát nem szüntette meg, az ország területén felhalmozott erőművi salak és pernye mennyisége nem csökkent. Sőt, mivel kevesebb figyelem fordul rá a szabályozásban, a kérdés még égetőbbé vált, amelyet minél hamarabb kezelni kell.

A legfelsőbb szabályozási szint minden jogi rendelkezés esetében az országos, nemzeti szint, amely azonban általánosan fogalmaz, nincs tekintettel a helyi specifikumokra, viszont egy átfogó, összegző programmal igyekszik egységesíteni az alsóbb szintű rendelkezéseket, egyszersmind iránymutatást adva. Az erőművi hulladékok szempontjából a Környezetvédelmi törvény a releváns jogszabály, amely azonban túl általánosan fogalmaz, és nem foglalkozik a dolgozatban felvázolt konkrét problémákkal. A salakhányók esetében a megyei, illetve a kistérségi szabályozás is túl általános, emiatt a következőkben csak a települési szintű szabályozást tekintem át.

4.1. A salakhányók problémájának megjelenése Salgótarján Megyei Jogú Város Környezetvédelmi Programjában

Az adott település önkormányzata a legkompetensebb a területén fellelhető környezeti problémák felderítésében, azok felmérésében és kezelésében. Az általam

vizsgált esetben Salgótarján önkormányzatának feladata a salakhányók kérdésének vizsgálata, regisztrálása és a hatékony megoldás keresése.

Hazánkban a környezetvédelmi tevékenység átfogó jellegű, önálló jogi szabályozása 1971-ben kezdődött, azonban az európai normáknak a megfelelő szabályozás alapjait „A környezet védelmének általános szabályairól szóló 1995. évi LIII. törvény” biztosítja. Ez a jogszabály előírja, hogy az önkormányzatoknak önálló települési környezetvédelmi programot kell kidolgoznia, amelyben különös figyelmet kell fordítani a környezetvédelmi problémákra.

Annak ellenére, hogy a közel egy évszázadig a környezetet roncsoló iparból élő Salgótarján több pontján is fellelhető salak- és pernyehányók, a város környezetvédelmi programjában meglehetősen kis hangsúllyal jelennek meg. A „Zöldfelület-gazdálkodás” című fejezeten belül a rekultiváció-földvédelem résznél alig fél oldalban említik meg a problémát, összevonva a felhagyott hulladéklerakók és meddőhányók rekultivációjával.

A salakmeddőekkel kapcsolatban több problémát is megemlítenek: egyrészt tájképileg jelent káros hatást, másrészt illegális szemét- és szennyvízlerakóként jelenthetnek problémát. E második veszélyt az általam vizsgált mintaterület példája is ékesen bizonyítja: a helyi lakosság hosszú évek óta illegális hulladéklerakóként használja a salakkúpok környékét. A város vezetői a Környezetvédelmi Program szerint a harmadik veszélyforrásnak azt tartják, hogy a hányók nyitott felszínüket tekintve jelentős mértékű eróziós és deflációs folyamatok színterei, amelyek jelentősen rontják a település levegőtisztasági (szálló és ülepedő por) helyzetét. Ezek miatt az okok miatt tartják a morfológiai és növényzeti rekultivációt – előzetes tervezés után – mielőbb indokoltnak. Ezen felül azonban nem rajzolódik ki konkrét cselekvési program, sem pedig olyan különleges hangsúly, amely kiemeltté tenné a városvezetés számára ezt a problémát.

Ugyanakkor szintén komoly gondot jelent, hogy a lakosok elmondása szerint őket senki nem tájékoztatja a salak esetleges egészségkárosító hatásáról. A Program erről nem tesz említést, a városvezetés nem figyelmeztette a közelben lakókat az esetleges veszélyekről. A területen végzett kutatásaim során kialakult személyes beszélgetések, interjúk kapcsán derült ki, hogy a lerakótól mindössze 300 méterre élők nem is gondolják, hogy a salak egészségügyi kockázattal járhat, számukra a legnagyobb problémát a nagyobb esőzésekkor történő salaklehorlás jelenti, mely járhatatlanná teszi az amúgy is rossz állapotban levő betonutat.

A salgótarjáni önkormányzat tehát nem sűrget lépéseket, még a környezetvédelmi rangsornak is csak a legvégén kap helyet a salakkúpok problémája. A helyzetet színesíti, hogy a salaklerakók egy része a rendszerváltást követően magánkézbe került. A tulajdonosok azonban elhanyagolják ezeket a területeket, nemhogy rekultivációjukról, de megfelelő őrzésükről sem gondoskodnak. Történik ez annak ellenére, hogy a város önkormányzata a lerakók területének védelmét – elsősorban hatósági úton – mindenképpen indokoltnak tartja. Környezetvédelmi kérdésekben egyébként irreleváns, hogy az adott terület állami- vagy magánkézben van, ha cselekedni kell, a város illetékesei akár a tulajdonos akarata ellenére is cselekedhetnek. Illetve cselekedhetnének, de úgy tűnik, a közeljövőben erre még nem kerül sor, hiszen a probléma nem képezi a salgótarjáni önkormányzat környezetvédelmi programjának és terveinek központi, sűrgősen megoldandó feladatát.

5. A SALAKHÁNYÓK KÖRNYEZETI HATÁSAINAK VIZSGÁLATI MÓDSZEREI

5.1. Vizsgálati minták

Vizsgálataimat a következő mintákon végeztem:

- *Salakminták*: a korábban lerakott kúp északnyugati oldalán mélyített három fúrásból összesen 17 darab minta, ebből 9 mintán történt részletes analízis;
- *Felszíni vízminták*: a lerakó nyugati oldalán lévő tavacskából, amelyet egy forrás táplál egy éven át háromhavonta vett minták;
- *Talajvízminták*: a lerakóhoz legközelebb eső családi ház kútjából egy éven át háromhavonta vett minták. A mintavételezés minden alkalommal pangó vízből és szivattyúzás utáni friss vízből is megtörtént.

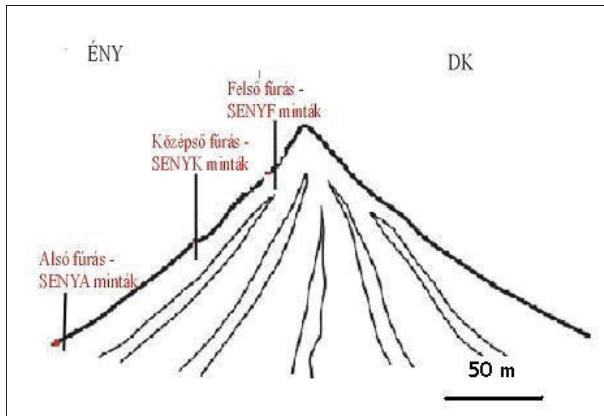
5.2. Mintavételezés és a minták jellemzése

A gyakorlati munkát terepi mintavételezéssel kezdtem. A mintavételek helyének kiválasztásakor a legalapvetőbb szempontnak azt tartottam, hogy megfeleljen a reprezentativitás követelményének. Miután a tanulmányozott szakirodalmi anyagokból egyértelműen kiderült, hogy a salak és pernye lerakásában semmiféle szabályszerűség nem volt, ezért a fúrási pontok kiválasztásakor a magasság és a növényborítottság különbségeit tartottam szem előtt. Ezen paraméterek tekintetében igyekeztem a lehető legkülönbözőbb zónákat kiválasztani. Ebből a szempontból az idősebb, jobban lepusztult salakhányó volt a megfelelőbb, ami teljesen bejárható volt. A másik kúp oldala ugyanis annyira meredek, hogy a csúcsa megközelíthetetlen. Növényborítottság szempontjából is az előző hányó tűnt kedvezőbbnek, mivel a nagyon meredek oldalak és az igen jelentős felárkolódás miatt a másik kúpnak csupán az alsó harmadára jellemző csekély fajszámú flóra. Ezek a tények indokolták azt, hogy a fúrások az idősebb kúp északnyugati oldalán, a növényzet felmérése pedig ugyanennek a kúpnak az északnyugati és délkeleti oldalán is megtörtént.

A salakból a *mintavételezés* talajfúróval történt három eltérő magasságú ponton. A legmélyebb pont, amelyet a fúróval sikerült elérni 4,2 m volt, ezt a legelső mintavételi helyen regisztráltuk. A középső fúrás mélysége volt a legkisebb, mindössze 1,7 méterig sikerült lehatolni. Ennek egyik oka az volt, hogy itt a növényzet már szinte erdőszerű, és

a fásszárúak gyökérzete lehetetlenné tette a mélyebb rétegek elérését. Másrészt ebben a régióban már nem volt olyan vizenyős a térszín, mint alul – bár csapadékos időszak után történt a fúrás -, és ez szintén megnehezítette a munkánkat. Legfelül a növényzet hiánya, illetve az átázott anyag tette lehetővé, hogy viszonylag nagy mélységig (4,0 m) sikerült lefúrunk. A lerakott salak vastagságához képest ezek a mélységek igen csekélyek, de úgy gondolom, hogy a felszíni zónára jellemző fizikai és kémiai folyamatok ilyen vékony rétegben is jól tanulmányozhatók, illetve a későbbi felhasználás, elsősorban a rekultiváció is ezt a réteget érinti.

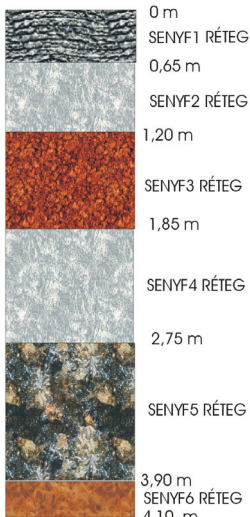
A legfelső fúrási pontot az összefüggő növénytakaró felső határánál, a legalsót a hányó aljának fás szárúakban igen gazdag, erdőszerű elvégződésénél, míg a középsőt egy, az előbbi két pont közötti, fúrára alkalmas területen jelöltem ki (4. ábra). A három fúrásból összesen 17 minta származik (fentről lefelé: 6, 4 és 7 darab minta). Az egyes fúrásokat kódokkal láttam el; az alsó fúrás kódja SENYA (Salakhegy Északnyugati oldal, Alsó fúrás), a középső neve SENYK, a felső pedig SENYF nevet kapta.



4. ábra: Salakmintavételi helyek az idősebb kúpon

Az egyes fúrásokból úgy választottam ki elemzésre a mintákat, hogy jellegzetes szín-, illetve szemmel látható szemcseméret-változás jelentkezett, az új mintának minősült. Az 5. ábra szelvényein mutatom be az egyes fúrások felépítését azokkal a mélységekkel, ahol a minták elkülönítése történt. Látható, hogy az egyes rétegek a felső és középső fúrások esetén szabályszerűen ismétlődnek, bár különböző vastagságban. A

legalsó fúrás esetén a rétegsorrend felbomlik, köszönhetően a lehordódásnak és az anyagok keveredésének. Ennél a fúrásnál tapasztaltam a legvastagabb rétegeket is, ami szintén a lehordódás, illetve az alsó régióban történő felhalmozódás tényét támasztja alá (Angyal Zs. 2006b.). A mintákat a kódok után fentről lefelé emelkedő számokkal jelöltem. A laboratóriumba történő szállítás után levegőn szárítottam a mintákat, majd a különböző méréseknek megfelelően előkészíttem.



SENYF1 réteg: szürke színű, porszerű minta, kisebb salakdarabokkal, talajosodásnak nincs

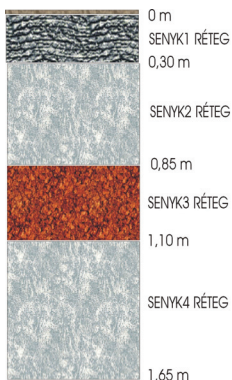
SENYF2 réteg: világosszürke színű, homokszerű anyag, kis kavicsdarabokkal

SENYF3 réteg: vörösesbarna színű, kisebb salakdarabokkal

SENYF4 réteg: a SENYF2 réteghez hasonló, világosszürke színű, homokszerű anyag, kis kavicsdarabokkal

SENYF5 réteg: barnás színű, törmelékes, fehér kiválásokkal

SENYF6 réteg: vörösesbarna színű, kisebb salakdarabokkal

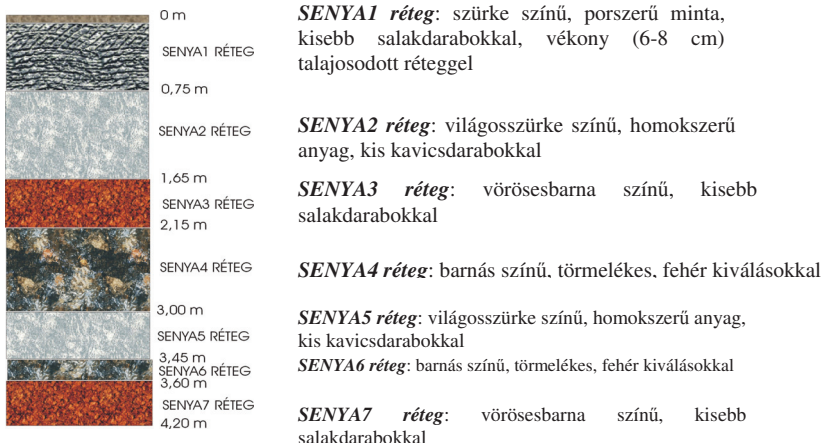


SENYK1 réteg: szürke színű, porszerű minta, kisebb salakdarabokkal, vékony (2-3 cm) talajosodott réteggel

SENYK2 réteg: világosszürke színű, homokszerű anyag, kis kavicsdarabokkal

SENYK3 réteg: vörösesbarna színű, kisebb salakdarabokkal

SENYK4 réteg: világosszürke színű, homokszerű anyag, kis kavicsdarabokkal



5. ábra: A fúrásokról készült szelvényrajzok és leírások

A lerakott salak összetételén kívül vizsgáltam a környékbeli felszíni és kútvizeket is. A felszíni mintavételt a már korábban, a területleírásnál bemutatott vízfolyásnak (3. ábra) abból a részéből vettem, ahol az tavacszkává szélesedik. Ebből az élővízből (6. ábra) vett minták összetételének meghatározására egy éven keresztül, negyedévente (2006. augusztus, 2006. november, 2007. február, 2007. május) került sor. A mintavételnél figyeltem arra, hogy olyan mintavételi helyet válasszak, ahol a víznek erős, turbulens áramlása van a jó elkeveredés biztosítására.



6. ábra: A lerakó nyugati oldalán lévő tavacska és környezete (Fotó: Virág, M.)

Hasonló megfontolásból, a tavacsikából történt mintavétellel megegyező időpontokban vettem alkalmanként két mintát a lerakóhoz legközelebb eső családi ház kútjából is (7. ábra). Az egyik minta a szivattyúzás előtti pangó kútvíz, míg a másik a szivattyúzás utáni, friss kútvíz volt. Ezeknek a mintáknak az elemzését azért is tartottam kiemelten fontosnak, mert a kút tulajdonosai ezt a vizet mindennapi életükhöz felhasználják, mosnak, mosogatnak és főznek is belőle.



7. ábra: A mintavételi helyül szolgáló kút (fotó: Virág, M.)

Először a vízszint meghatározására került sor, vagyis megnéztem a talpmélységet és a nyugalmi vízszintet, amelyből megállapítható, hogy milyen magas a vízoszlop. Ennek a vízoszlop és kútátmérő megszabta vízmennyiségnek a háromszorosát kellett kiszivattyúzni ahhoz, hogy az érvényben levő szabványnak megfeleljen a vízmintavétel (MSZ ISO 5667-10, 1995). Ez alapján pedig kiszámítható, hogy a szivattyúnak mennyi ideig kell működni. Mintavételezés a szivattyúzás előtt, a pangó vízből is történt, de természetesen ez a víz nem jellemzi korrekten az adott víztestet.

A vízszint mérése egy henger alakú vízszintmérővel történt, amire egy huzal volt feltekerve. Ennek a végén egy érzékelő található, ami sípoló hangot ad ki, ha vízzel érintkezik. 3 dióda található rajta – az egyik a levegőt érzékeli, először ez világít. Amikor az érzékelő eléri a vizet, a víz dióda kezd világítani, ha pedig felülülő is található a vízben, akkor az olaj dióda világít. Addig kellett a műszert a kútban tartani, amíg a levegő dióda világított, ekkor felhúztam, és ezzel megkaptam a nyugalmi vízszintet.

A vízszintmérő után a szivattyú került a kútba, aminek segítségével a vízoszlop és kútátmérő megszabta vízmennyiségnek háromszorosát kiszivattyúztuk. Erre a műveletre a mintavételezést megelőző napon került sor, hogy másnapra újra beálljon a nyugalmi vízszint. Maga a vízmintavétel csak ez után történt.

A kutakból történő vízmintavételhez egyszzelepes bailert használtam, ami a legegyszerűbb talajvíz-mintavételezési készülékek közé tartozik. A bailer egy szilárd, golyós cső, amelyben a golyót a kútba történő engedésnél a beáramló víz felnyom, a cső megtelik vízzel, kihúzásnál pedig a golyós szelep lezárja a nyílást, és a víz nem tud kifolyni. A bailer készülhet üvegből, teflonból és műanyagból is, nekem ez utóbbi állt rendelkezésemre. A mintavétel során olyan edényeket használtam, amelyek megakadályozták az adszorpcióból és az illékonyságból eredő veszteséget, valamint a minták idegen anyagokkal való szennyeződését. Fontos szempont volt az is, hogy a minták buborékmentesek legyenek. A mintákat feldolgozásig hűtőtáskában tároltam.

5.3. Mintaelőkészítés

5.3.1. Száraz szitálás

A mintáim szemcseméret szerinti tömegeloszlásának meghatározására **száraz szitálás** után került sor. A szitanyílások méretét talajoknál használt, tapasztalatokon alapuló forrás (*Stefanovits P. et al. 1999*) alapján választottam ki:

2 mm felett
1,6 mm – 2 mm
1,25 mm – 1,6 mm
1 mm – 1,25 mm
0,5 mm – 1 mm
0,063 mm – 0,5 mm
0,063 mm alatt

A leszitált anyag frakcióit digitális táramérlegem lemérve határoztam meg a minták tömeg szerinti szemcseméret eloszlását.

5.3.2. A vizsgálati minták kiválasztása

Miután a minták elemanalitikai vizsgálatára választott módszer (totálreflexiós röntgenfluoreszcens spektrometria, (TXRF) lásd leírását később) elég költséges, a salakminták esetében nem volt módom a teljes mintasorra (összesen 119 minta) az összes vizsgálatot elvégezni, így kiválasztottam közülük 18 mintát, kutatásom céljának leginkább megfelelőt, és a továbbiakban ezekkel dolgoztam. Két minta a felső fúrás legfelső rétegéből származik (SENYF1), ezek közül az egyik a szemcseösszetétel szempontjából teljes, szítálatlan (SENYF1_{teljes}), a másik pedig a legkisebb szemcseméretű frakcióból (0,063 mm alatt) (SENYF1_{0,063}) származik. A harmadik és a negyedik mintát a felső fúrás középső részéből vettem (SENYF4), szintén az előbb említett vegyes, illetve legkisebb szemcseméretekből (SENYF4_{teljes}, illetve SENYF4_{0,063}). A felső fúrás legalsó rétegéből is (SENYF6), ugyanabból a szemcseméret-tartományból választottam ki a vizsgálandó mintákat (SENYF6_{teljes} és SENYF6_{0,063}). Hasonlóan jártam el a középső és az alsó fúrás mintáinak kiválasztásánál is. A továbbiakban a salakminták egységes számozást kaptak, ezeket a 2. táblázatban foglalom össze.

2. táblázat: A salakminták számozása

	Felső fúrás		Középső fúrás		Alsó fúrás	
	Szítálatlan	0,063 mm alatt	Szítálatlan	0,063 mm alatt	Szítálatlan	0,063 mm alatt
Legfelső szint	SENYF1 _{teljes}	SENYF1 _{0,063}	SENYK1 _{teljes}	SENYK1 _{0,063}	SENYA1 _{teljes}	SENYA1 _{0,063}
Középső szint	SENYF4 _{teljes}	SENYF4 _{0,063}	SENYK3 _{teljes}	SENYK3 _{0,063}	SENYA4 _{teljes}	SENYA4 _{0,063}
Legalsó szint	SENYF6 _{teljes}	SENYF6 _{0,063}	SENYK4 _{teljes}	SENYK4 _{0,063}	SENYA7 _{teljes}	SENYA7 _{0,063}

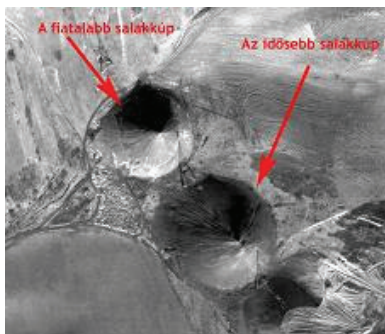
5.4. A geomorfológiai vizsgálatok módszerei

5.4.1. A lepusztulás minőségi jellemzői

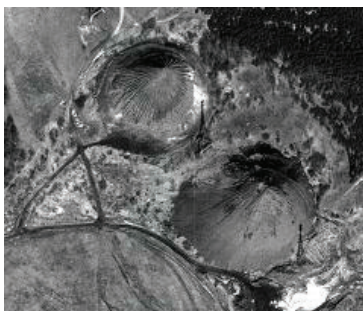
A Salgótarjáni Erőműből származó salakhegyeket a külső erők már felhalmozásuk közben elkezdték pusztítani. Ezeknek a folyamatoknak a megértése és az így létrejött formáknak részletes vizsgálata felszínalaktani módszerekkel történt. A geomorfológiai megfigyeléseknek kettős célja volt; egyrészt az erőmű működése által keletkezett, sima felszínű salakkúpoknak, lepusztulásuk folyamatának, és az így kialakult másodlagosan

átalakított formáknak a megismerése; másrészt pedig ehhez kapcsolódóan következtetések levonása a lerakott anyag mozgásának mennyiségi viszonyaira, irányára, fajtáira. Meg kell azonban jegyezni, hogy vizsgálataim kivitelezése nem egy rutinszerű feladat, hiszen a felméréshez szükséges módszereket – szakirodalom híján – a terepen dolgoztam ki és teszteltem (Angyal Zs. 2003).

Felszínalaktani kutatásaim során az első módszer a két salakhegy egyszerű, közvetlen összehasonlítása volt, vagyis megfigyelések alapján kerestem az alaktani hasonlóságokat. Ezt egészítették ki a különböző időpontokból (1973-ból, 1988-ból és 2000-ből) származó légi felvételek (8. a., b., c. ábra), melyek segítségével mintegy harminc év változásait lehet nyomon követni.



8.a. ábra. A salakkúpokról 1973-ban készült légi felvétel (FÖMI)



8.b. ábra. A salakkúpokról 1988-ban készült légi felvétel (FÖMI)



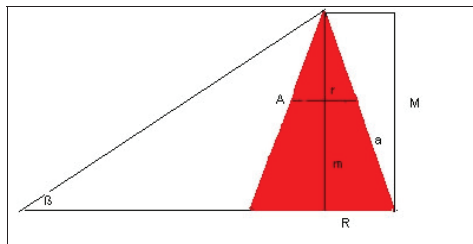
8.c. ábra. A salakkúpokról 2000-ben készült légi felvétel (FÖMI)

5.4.2. A lepusztulás mennyiségi jellemzői

Magasságmeghatározás. A salakhegyek magasságának meghatározását két okból tartottam szükségesnek; egyrészt két különböző időpont magasságadataiból meg lehet határozni az évenkénti átlagos lepusztulás mértékét, másrészt a térfogat és a felszín kiszámításához nélkülözhetetlen ez az adat. Tájékoztató adatnak a rendelkezésemre álló topográfiai térképet használtam, ám ennek magasságadatait (a nagyobbik kúpra 60 m, a kisebbikre 45 m) fenntartással kezeltem, valószínűsítettem, hogy kerekített értékek.

A korábbi időpontok magasságadatainál az 1980-ban kiadott *Nógrád megye meddőhányóinak katasztere* című felmérésre támaszkodtam.

A jelenlegi magasság meghatározása terepi módszerekkel, teodolittal történt. Három, a térképen jól beazonosítható felmérési helyről határoztam meg, hogy milyen szögben (β) láthatók a kúpok csúcsai. Az álláspontok és a salakhegyek középpontja közötti távolság (l) kiszámítása a térkép méretarányának segítségével történt (9. ábra).



9. ábra: Az álláspontok és a salakhegyek középpontja közötti távolság kiszámítása

Ebből a két adatból az alábbi képlettel már egyértelműen meghatározható a magasság:

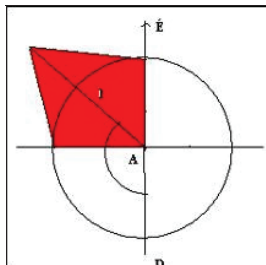
$$M = l * \operatorname{tg}\beta$$

Az alacsonyabb kúp esetén a lepusztulási öv magasságát is sikerült megmérni. Erre azért volt szükség, hogy meg lehessen határozni az öv feletti és alatti rész térfogatkülönbségét. A magasabb kúp esetén ilyen egyértelmű öv nem látható, így mérése nem történt meg.

A jelenlegi térfogat, felszín és magasság terepi felmérése a magassághoz hasonlóan, teodolit segítségével történt. A korábbi adatok meghatározására a légi felvételeken történő csillagászati földrajzi mérések (Gábris Gy. et al. 1996) adtak lehetőséget. Módszertani szempontból erre az 1973-ban készült fotó volt a legalkalmasabb, ami azért is kedvező, mert így – a rendelkezésemre álló eszközök mellett – a lehető legszelebbes időskálát sikerült felölelnem.

A magasság (H) kiszámításához a következő adatokra volt szükségem (10. ábra):

1. Deklinációra (δ): ezt az értéket a fénykép készítésének dátumából, egy táblázat segítségével lehet megtudni. A fénykép 1973. március 5-én készült, akkor a deklináció értéke $-6^{\circ}09'$ volt.
2. A földrajzi szélességre (φ): melynek értékét a rendelkezésre álló topográfiai térképről lehet leolvasni. $\varphi = 48^{\circ}05'$.
3. A kúpok középpontjának és az árnyék csúcsának távolságára (l): ezt az értéket a légifotó méretarányának ismeretében számítottam ki. Középpontnak a kúpok alapkörének geometriai középpontját vettem.
4. Az azimutra (A): mely a kúp középpontjának és az árnyék csúcspontjának összekötéséből származó egyenes és a déli irányt mutató egyenes által bezárt szög. Ez az érték az első kúp esetén $A_1 = +134^{\circ}$, a második kúp esetén $A_2 = +157^{\circ}$.



10. ábra: A salakkúpok 1973-as magasságának meghatározása csillagászati földrajzi módszerrel I.

A fenti adatok meghatározása után az értékeket az alábbi képletbe kell behelyettesíteni:

$$\sin \delta = \sin \varphi * \sin(m) - \cos \varphi * \cos(m) * \cos(A) \quad (\text{Gábris Gy. et al. 1996})$$

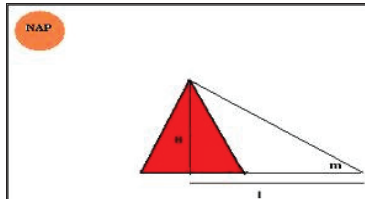
További egyszerűsítések és átalakítások után egy másodfokú trigonometrikus egyenlet adódik:

$$\sin(m)_{1,2} = \frac{2ab \pm \sqrt{4a^2b^2 - 4(b^2 + c^2)(a^2 - c^2)}}{2(b^2 + c^2)}$$

ahol $a = \sin \delta$, $b = \sin \varphi$ és $c = \cos \varphi * \cos(A)$.

A magasság (m) kiszámolása után már csak egy lépés a salakkúp magasságának (H) meghatározása (11. ábra). Ezt a következő képlettel lehet megtenni:

$$H = l * \text{tg}(m)$$



11. ábra: A salakkúpok 1973-as magasságának meghatározása csillagászati földrajzi módszerrel II.

Térfogat és felszín kiszámítása. A magasságszámítás után már könnyen meg lehet határozni a salakhegyek térfogatát és felszínét. Erre azért van szükség, mert amint a lepusztulás menetének ismertetésekor már utaltam rá, a jelenlegi térfogatból, illetve a kúpok felszínét behálózó barázdák térfogatából hozzávetőlegesen meg lehet határozni a lepusztult anyag mennyiségét. Ebben az esetben is modellezésre került sor. A salakkúpok alakja nem tökéletes kúp, de ez a korrigálás jelentősen megkönnyítette a geometriai számítást, és nagyságrendileg nem befolyásolta az eredményt.

A térfogat kiszámítására a kúpok esetén az alábbi képlettel történt (Hach F. et al. 1990):

$$V = \frac{\pi \cdot R^2 \cdot m}{3}$$

A második kúp esetén az előbb említett öv alatti térfogat kiszámítása az alábbi képlettel történt:

$$V^* = \frac{\pi \cdot m \cdot (R^2 + r^2 + Rr)}{3}$$

A kúpok felszínének kiszámítására alkalmazott képlet:

$$A = \pi \cdot r \cdot (a + r)$$

A második kúp esetén az öv alatti felszínt meghatározására az alábbi képlettel:

$$A^* = \pi \cdot [R^2 + r^2 + (R + r) \cdot a]$$

A lepusztulás kiszámítása. A kúpok (jelenleg elsősorban csak a fiatalabb kúp felső részén) pusztulásával keletkező barázdák szemmel láthatóan különböző méretűek. Kellő részletességű terepmodell (DEM) vagy légifelvétel híján a méretbeli eltérések megállapítására nem volt mód. Bár a barázdák mérete (mélysége, keresztmetszete) feltehetően fokozatosan oszlik meg, a hozzávetőleges számítás kedvéért három méretkategóriával dolgoztam. Az első csoportba a legnagyobb barázdák kerültek, amelyek átmérője 2,8 méter, mélysége pedig 2,3 méter. A terepen több ilyen nagy méretű barázdát is sikerült megmérni, és ezek átlagadataiból adódtak a fenti értékek. Hasonló módszerrel különítem el a közepes és kis méretű barázdákat is, előbbieik átmérője 1,4 m, mélysége 1,1 m, utóbbiak átmérője 0,7 m, mélysége 0,6 m. A barázdák hossza a két salakkúpon eltérő. Az idősebb kúp esetén ez az adat megegyezik a kúppalást hosszával, míg a második esetben ki kellett számolni a gyűrű alatti és feletti rész palásthosszát is.

A terepi felmérések során egy tíz méteres palástszakaszon a nagy, közepes és kicsi árok átlagát vettem, majd a palást felszíne ismeretében ezt kivettük az egész palástra. Az idősebb kúpon kis és közepes méretű barázdák hálózata figyelhető meg, ám ezek ritkábbak és sekélyebbek, mint a második (fiatalabb) kúpon. Az előbbit átlagosan háromméterenként, az utóbbit átlagosan négyméterenként lehet megfigyelni. Az egész

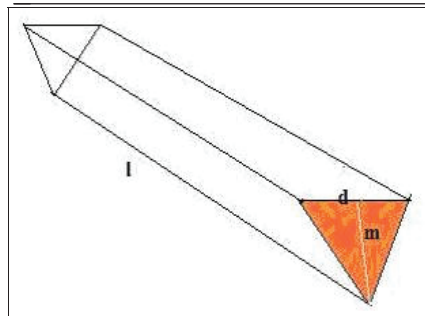
palástra kivetítve így 42 darab kis és 32 darab közepes méretű árokkal lehet számolni. A második esetben az öv alatt csak kis mértékben található felárkoldódás, ám az öv feletti részen a barázdák nagyok. Felül a nagy, közepes és kis barázdák öt-, négy-, illetve háromméterenként mérhető, az alsó részen található kis barázdák átlagos eloszlása hat és fél méter.

Az anyaghiány magállapításához ki kell számítani az összes barázda térfogatát és ki kell vonni a kúp eredeti térfogatából. A barázdák térfogatának kiszámításához ismét egy idealizált modellt használtam, így a fent ismertetett adatokat (mélység és átmérő) egy háromszög alapú hasáb térfogatának kiszámításához használtam fel (12. ábra).

A barázdák térfogatának kiszámítása a következő képlettel történt:

$$V_b = d \cdot m \cdot l, \text{ ahol}$$

d = a barázda átmérője, m = a barázda mélysége, l = a kúppalást hossza



12. ábra: A barázdák térfogatának kiszámítása

5.5. A lerakott anyag geokémiai vizsgálatainak módszerei

Munkám során lehetőségem nyílt a minták ásványosodási, illetve finomszöveti vizsgálatainak elvégzésére is. A méréseket nem egyedül végeztem, segítségemre voltak a Kőzettan és Geokémiai Tanszék doktorandusz hallgatói: Konc Zoltán és Marosvölgyi Krisztina.

*Sztereomikroszkópos vizsgálataimhoz a 0,25 - 0,125 mm közötti szemcsefrakcióból kiválasztott szemcséket használtuk. A további vizsgálhatóság érdekében a kiválogatott szemcsékből polírozott felszínű vékonycsiszolatokat készítettünk úgy, hogy a kiválasztott szemcséket pillanatragasztóval ragasztottuk fel a tárgylemezre, majd addig vékonyítottuk a preparátumokat, míg a legtöbb szemcse metszetét sikerült feltárni. Ezután felpolíroztuk a szemcsék felszínét, hogy ráeső fényben is vizsgálható legyen. Az elkészült preparátumokat közzetani polarizációs mikroszkóppal vizsgáltunk meg. A mintákból *röntgendiffrakciós elemzést* is végeztünk D 500-típusú Siemens-gyártmányú röntgen-diffraktométerrel. Ennek a vizsgálatnak az volt a célja, hogy megállapítsuk a mintákban fellelhető ásvány-fázisokat. A mintákat a <0,063 mm alatti frakciókból választottuk, mert így elkerülhető volt a vizsgálandó anyag porítása.*

Az *elektronsugaras mikroanalízis vizsgálatot* az ELTE Közzetani és Geokémiai Tanszékének EDAX PV 9800 energiadiszperzív röntgenspektrométerrel (EDS) felszerelt AMRAY 1830 IT6 típusú pásztázó elektronmikroszkópjával készítettük. Az elemzések során 20 (esetenként 15) kV-os gyorsírófeszültséget alkalmaztunk, a primer elektronáram pedig 1-2 nA közötti volt. A vizsgálat során a kiválasztott szemcsék finomszöveti sajátosságait, valamint összetételüket vizsgáltuk. Az elemzésre a minták 0,25-0,125 mm-es szemcseméret-tartományából válogattunk.

5.6. Az elemanalitikai vizsgálatok módszerei

A mintavételt és a minta-előkészítést elemanalitikai vizsgálatok is követték, melyek célja a salakhányók anyagának környezetre, illetve az emberi egészségre gyakorolt hatásának felmérése volt. Alapvetően kétféle módszerrel dolgoztam; egyrészt totálreflexiós röntgenfluoreszcens spektrometria (TXRF) módszerével, másrészt klasszikus analitikai módszerekkel.

5.6.1. A totálreflexiós röntgenfluoreszcens spektrometria (TXRF) módszer

TXRF vizsgálataimat az ELTE TTK Analitikai Kémiai Tanszékén végeztem Barkács Katalin és Szoboszlai Norbert segítségével. Vizsgálataim fő célja az volt, hogy a salakkúpból vett minták alkotóelemeinek minőségét roncsolásmentes magfizikai módszerekkel meghatározzam. Ezek ismeretében próbáltam kapcsolatot találni a különböző helyekről származó minták között és következtetéseket levonni a salakanyag

összetételének változásából az anyagvándorlásra vonatkozóan. Kiemelten fontos szempontnak tartottam a nehézfém-tartalom meghatározását, hiszen ez alapvetően befolyásolja a salakkúpok környezetre és az emberi egészségre gyakorolt hatásait, valamint a későbbi tereprendezés, rekultiváció eredményességét.

A méréshez a salakmintákból először szűrletet kellett készíteni, hiszen így tudtam csak megfelelően vékony mintákat előállítani ehhez a multieleemes, nagy érzékenységű, kis mennyiségű minták meghatározását is lehetővé tevő analitikai módszerhez. Meghatározott mennyiségű (5 g) légszáraz mintát 10 ml desztillált vízzel kevertetem 24 órán keresztül, közben bizonyos időközönként megmértem a szuszpenzió kémhatását és vezetőképességét, végül 0,45 mikrométer pórusméretű membránon vákuummal szűrtem az oldatot (Horváthné O. 1994). Ezt követte az oldat analízise, amellyel kimutathatóvá vált, hogy a salakhányókon a csapadékvíz milyen vízoldható komponenseket képes kioldani. Üvegelektóddal megmértem mindegyik minta kémhatását és vezetőképességét, majd intenzíven kevertetni kezdtem. Ezt követően meghatározott időközönként, összesen 24 órán keresztül újra feljegyeztem a két paramétert és az idő függvényében megrajoltam a kémhatás-, illetve a vezetőképesség-változás grafikonját.

Miután az elemanalitikai mérést csak néhány nappal a szűrés után volt lehetőség elvégezni, így a kapott szűrletet salétromsavval tartósítani kellett. Ez minden mintánál (MSZ ISO 5667-10, 1995) előírás szerint 5 csepp/10 ml minta 65%-os salétromsavval történt.

Ugyanezzel a módszerekkel elemeztem vízmintáimat is. A vizsgálat célja az volt, hogy kimutassam, hogy a salakhányókat érő szélerózió, a csapadék általi lehordódás, illetve a talajvízbe történő bemosódás mennyiben érinti a hányók közvetlen közelében lévő felszíni vizet és a lakosság által a mindennapokban használt kútvizet. Az eredmények kiértékelése után minden kapott adatot összevettem a jelenleg hatályos felszíni vizekre vonatkozó, illetve ivóvíz szabvánnyal.

A tavacskákból és a kútból származó, TXRF vizsgálatokra kerülő mintarészletek esetén a mintavételt követően szintén salétromsavas tartósításra került sor.

5.6.2. A klasszikus analitikai kémiai vizsgálatok módszerei

A TXRF vizsgálat mellett analitikai kémiai módszerekkel vizsgáltam a salakból kioldódó és a vizekben (tavacska és kút) található vegyületek mennyiségét és minőségét is. A vizsgálatokat szintén az ELTE TTK Analitikai Kémiai Tanszékén végeztem Barkács Katalin és Kardos Levente segítségével. Mivel az anionok meghatározása a

mintavételt követő napon történt, ezért a vizsgált mintarészletek tartósítására nem került sor.

Az anionok közül meghatároztam a nitrát-, a szulfát-, a karbonát-, a foszfát- és a kloridion mennyiségét, ugyanis a totálreflexiós röntgenfluoreszcens spektrometriával kimutatott elemek mobilitását, vándorlását éppen ezek az anionok befolyásolják. A nitrátion-koncentráció meghatározása reagens nélküli spektrofotométeres méréssel történt. A módszer lényege, hogy a minta fényelnyelését (abszorbanciáját) mérjük, amely arányos a szűrletben lévő nitrátion koncentrációjával. A szulfátion kimutatását turbidimetriás módszerrel végeztem. A mérés elve, hogy enyhén savas közegben a bárium-klorid reagens hatására keletkezett bárium-szulfát csapadék által keletkezett zavarosságot mérjük (Varga E. és Garay F. 1999). A karbonáttartalom meghatározására először sósavat cseppentettem minden mintára, de mivel pezsgést nem tapasztaltam, a további vizsgálatokat szükségtelennek ítéltam. A kloridion kimutatása és koncentrációjának meghatározása gyorsesztet segítségével történt, melynek elve az argentometriás titrálás, vagyis a minta kloridion tartalma az ezüst-nitrát mérőoldattal reagálva indikátor mellett színváltozást ad.

5.7. A radioaktivitás vizsgálatának módszerei

Radioaktivitásra vonatkozó vizsgálataimat az ELTE TTK Atomfizikai Tanszékén végeztem. A mérések elvégzésében és az eredmények kiértékelésében a tanszék munkatársai: Papp Botond, Csorba Ottó és Pávó Gyula voltak segítségemre. A lerakott salakpernye radioaktivitásának vizsgálatához ugyanazokat a salakmintákat használtam, mint az elemanalitikai vizsgálataimhoz, vagyis ebben az esetben is az idősebb salakhegy három különböző magassági szintjén történt fúrásokból vett mintákat elemeztem, ám ebben az esetben nem mind a 18 mintát vizsgáltam, hanem csak a 8 teljes, szítálatlant vizsgáltam (2. táblázat). A legfelső fúrásból származó legelső minta nem bizonyult elegendő mennyiségűnek, így annak vizsgálata nem történt meg.

5.7.1. A mérés előkészítése és menete

Mivel a nagy felezési idejű radioaktív anyaelemek (^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th), illetve radioaktív ^{40}K kimutatását és aktivitásának kiszámítását tűztem ki célul, minden, előzetesen porított mintát egy három hetes időszakra jól zárható fém edényben tároltam a mérés megkezdése előtt (13. ábra). Erre azért volt szükség, mert az előbb említett

anyaelemek bomlása során keletkezhet olyan leányelem (^{222}Rn , az urán-sor tagja), amely gáz halmazállapota révén eltávozhat a mintából, a soron következő leánymagok kimutatása pedig emiatt nem történhet meg. A ^{222}Rn felezési ideje 3,82 nap, ezért ahhoz, hogy a szekuláris egyensúly beállítását feltételezhessük, legalább három hétnek (öt leányelemnyi felezési időnek) kell eltelnie. A szekuláris egyensúly megléte tehát lehetőséget ad arra, hogy a leányelemek aktivitásából az anyaelemek aktivitását is meghatározhassuk.



13. ábra: A minták tárolására alkalmas edény (Fotó: Csorba, O.)

Az tárolóedény használata olyan szempontból is előnyös, hogy a nem meghatározható térbeli formával rendelkező minták, mint pl. talaj vagy salak esetében, jól mérhető és számolható alakot nyernek az edény segítségével.

A minták radioaktív anyaelem-, és K-tartalmának meghatározása gamma-spektroszkópiával történt, amelynél Ge-detektorral működő mérőrendszert használtunk. A kapott spektrumok a ^{238}U és ^{232}Th bomlási sorának leányelemei, illetve a ^{40}K által kibocsátott gamma-fotonok csúcsaiból épülnek fel.

Ahhoz, hogy az egyes minták felvett gamma-spektrumának energia értékeit azonosítani tudjuk, energiakalibráció szükséges. A kalibráció ismert spektrumú ^{232}Th -forrással történt, Th-ből származó energiaértékek és a csatornaszám megadásával egyenest illesztettünk a minták spektrumának meghatározott pontjaira, aminek alapján a minta csúcsaihoz a megfelelő energiaértékeket rendeli a program. A mérendő mintákat a szekuláris egyensúly beállításához szükséges idő letelte után helyeztük a mérőberendezésbe, majd elindítottuk a mérést meghatározott időre. Tapasztalataink

alapján a megfelelő mérési idő 24 óra volt. A mérési idő letelte után és a kapott spektrumot elmentve következhetett a kapott energiák beazonosítása.

5.7.2. A mért mintákban lévő elemek aktivitásának és aktivitáskoncentrációjának meghatározása

A kalibráció és a mérés után a kapott spektrumban található csúcsokhoz tartozó energiákról meg kellett állapítanunk, hogy melyik radioaktív izotópból származtak. A csúcsok beazonosítása egy DECAF elnevezésű programmal történt. A programban igen nagy számú gamma-foton energiája található meg a kibocsátó izotóp megnevezésével és a kibocsátás valószínűségével adott elemnél.

A spektrum különböző energiájú csúcsainak területe arányos a fotont kibocsátó elem aktivitásával, és azzal, hogy milyen valószínűséggel jelenik meg adott energiájú vonal. A csúcs területe összefüggésben áll a kibocsátó elem koncentrációjával is.

Az egyes energiákhoz tartozó csúcsok területét a CAMCOPR program segítségével határoztuk meg. A legnagyobb csúcsterületekből a következő összefüggés alapján számítható ki az egyes elemek aktivitása:

$$A = T / \square t,$$

ahol A az adott elem aktivitása, T a hozzá tartozó csúcsterület, \square a Monte-Carlo szimulációval megállapított határfok, I a leányelem adott energiájú gamma-foton kibocsátásának intenzitása a Decay programból, és t a mérési idő. Az egyes elemek aktivitásából, azok átlagával kaptuk meg az anyaelemek aktivitását. A ^{40}K esetében egyből az aktivitáshoz jutottunk.

Mivel az egyes radioaktív elemek fajlagos aktivitásának meghatározása volt a cél, ezért a különböző tömegű minták eredményeit 1 kg-ra vonatkoztattuk. Ezzel Bq/kg egységben kaptuk meg a fajlagos aktivitásokat. Minden vizsgált minta esetén az ^{238}U és ^{232}Th , illetve a ^{40}K koncentrációját is kiszámítottuk g/t egységben. Ehhez a radioaktív elemek felezési idejéből meghatározható bomlási állandóra és az anyaelemek aktivitására volt szükség. Az aktivitás és a bomlási állandó összefüggéséből ($A = \lambda N$) számítottuk ki a radioaktív magok számát (N) a minta tömegére, majd 1 tonnára. Ebből már adott anyaelem moláris tömegéből a radioaktív elemek koncentrációja meghatározható.

5.8. A területen spontán megtelepedő növényzet felmérésének és ökológiai vizsgálatának módszerei

A salakhányók növényzete két ellentétes kitettséű – ÉNy és DK – oldalán kijelölt keresztmetszvények mentén kerültek terepi felvételezésre (14. ábra), majd a két hányó közötti lapályon, végül a lerakóterület nyugati oldalán talált tavacska környékén határoztam meg a növényfajokat. A terepi megfigyelések azért nem kizárólag a salakkúpokra korlátozódtak, hogy össze lehessen hasonlítani a környező területek növényzetét a hányók növényzetével. Ez a felmérés választ adhat arra is, hogy honnan történt a kúpok kolonizációja és hogy a lerakás befejezése óta eltelt több mint három évtized alatt ez a betelepülés (szukcesszió) milyen fázisig jutott el.

A transztektek mentén két méter szélességű sávban történt a fajkészlet felmérése (Simon T. 2000) és a jellemző növényfajok dominancia viszonyainak meghatározása. A fajlisták alapján mindkét salakhányó két ellentétes lejtőjén kialakult növényzetet Borhidi A. (1993) javasolt módszere alapján elemeztem és hasonlítottam össze.



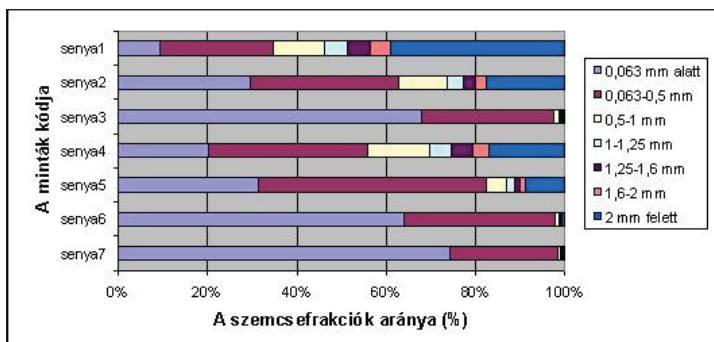
14. ábra: A növényzet felvételezése az idősebb kúp északnyugati oldalán (Fotó: Virág M.)

A keresztmetszvény mentén felvett fajokat a természetességi értékek (SBT) és a cönológia csoportok (Soc. Chr), valamint az ökológiai indikátor értékek közül a talajnedvesség (W) és a kémhatás (R) szerint értékeltem.

6. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

6.1. Mintaelőkészítés

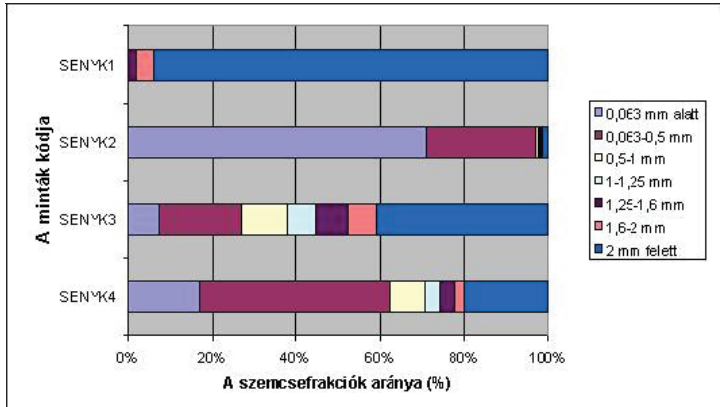
A vizsgált salakhányó fúrásaiban a szemcseösszetétel sokfélesége már első ránézésre is tapasztalható volt. Előfordult, hogy maximum 10 centiméteres szelvényhosszban megtaláltam a kisebb tömbökben álló salakszemcséket és a nagyon finom eloszlású pernyét is. Ezt a variabilitást a száraz szítálás eredményei megerősítették; az egyes mintákra megrajzolt eloszlás-diagramok változatos tömegarányt mutatnak (15.-17. ábra).



15. ábra: A SENYA fúrásból származó minták (n=7) szemcseméreteinek mennyiségi eloszlása %-ban megadva

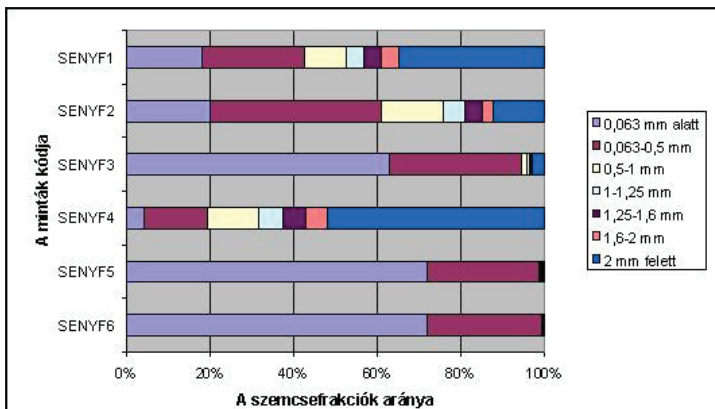
A 15. ábráról leolvasható, hogy az alsó fúrásból származó minták közül a SENYA1 mintában a 2 mm feletti szemcseméret tömegarányát tekintve a mintának több mint 1/3-át alkotja, addig a SENYA3. minta esetén ennek mennyisége elhanyagolható. Megfigyelhető az is, hogy azokban a mintákban, ahol a nagy szemcseméret dominál, itt a 0,063 mm alatti, vagyis a már pernye frakcióhoz tartozó szemcsék aránya kicsi. Ez a szabályszerűség fordítva is igaz. A köztes szemcseméretek arányát tekintve a 0,0063 mm – 0,5 mm közötti tartomány aránya viszonylag állandónak, 20% körülinek adódik. Ez alól a SENYA5 minta kivétel, itt az összes szemcse felét teszi ki ez a szemcseméret. Ha a szelvény egészét nézzük, elmondható, hogy a pernyefrakció a felszíni 8% körüli értékről a SENYA3 mintában 70%-ra ugrik, majd ismét 20% körüli értékre csökken,

azután ismét emelkedik. Ebből arra lehet következtetni, hogy a nagyobb szemcseméretű salak és a kis szemcseméretű pernye váltakozva, sokszor egymásra rétegezve történt. A szennyezés terjedése szempontjából ez meghatározó, hiszen az eltérő szemcseméretű és fajlagos felületű rétegekben az elemek mobilitása, mozgásának sebessége is más (Angyal Zs. 2006a).



16. ábra: A SENŸK fúrásból származó minták (n=4) szemcseméreteinek mennyiségi eloszlása %-ban megadva

A középső fúrás (16. ábra) értékelésekor szembevetendő, hogy a legfelső mintában hiányzik a legkisebb négy pernyefrakció (0,063 mm alatt – 1,25 mm), és szinte az egész (90% felett) anyag nagy szemcseméretű részekből áll. Ez azzal magyarázható, hogy a salakkúp legfelső rétegéből a víz- és szélérozó elhordta a könnyen mozdítható pernyeszemcséket a növénytakaró megjelenése előtt, ugyanakkor a 2 mm feletti, kevésbé mozgékony szemcsék és rögök ottmaradtak. Az alsó fúrásnál leírt eloszlási tendencia, vagyis, hogy a salakot és a pernyét váltakozva halmozták egymásra, itt is megfigyelhető, bár a szelvény kisebb mélysége miatt nem olyan következetes, mint lent. A köztes frakciók arányait tekintve itt is a 0,063 mm - 0,5 mm közötti frakció van jelen nagyobb arányban (a legfelső részt kivéve), míg a többi minden esetben 10% alatt van (Angyal Zs. 2006a).



17. ábra: A SENYF fúrásból származó minták (n=6) szecseméreteinek mennyiségi eloszlása %-ban megadva

A felső fúrás (17. ábra) mintáiban is jól kirajzolódik a szakaszos lerakás lehetősége, itt azonban nagyobb szélsőségeket lehet látni, mint az előző két fúrás esetén. A szecseméreték arányának változása nem annyira egyenletes, a felső két fúrás 0,063 mm alatti frakciójának aránya szinte megegyezik, majd hirtelen háromszorosára ugrik. Ez a különbség a SENYF4 és a SENYF5 mintáknál már több mint tízszeres. Ez a szélsőséges kép annak köszönhető, hogy a kisebb szecseméretű pernye lerakása időben nem egyenletesen történt. Ahol sok idő volt a két lerakás között, ott volt ideje az erózióknak a finom szecseméretű anyagot lepusztítani, és nagyobb arányban maradt meg a 2 mm-nél nagyobb frakció. A legnagyobb szecseméretű frakció két mintában teljesen hiányzik és további kettőnél 20% alatti, de a legnagyobb arány sem haladja meg az 50%-ot. A durva frakció hiánya azzal magyarázható, hogy a lerakás után a nagy szecseméretű rögök nagyobb tömegűek, és így nagyobb tehetetlenségük miatt azonnal legurultak a kúp meredek oldalán, és így nagyobb arányban maradt vissza a finomszemcsés pernye. A következő ráhordásig viszont nem telt el olyan hosszú idő, hogy az erózió a legfinomabb anyagot is el tudta volna hordani. Az előzőekhez hasonlóan ebben az esetben is a 0,063 mm – 0,5 mm közötti szecseméret van még jelen nagyobb arányban, a többi frakció minden minta esetén 10% alatt van (Angyal Zs. 2006a).

6.2. A geomorfológiai vizsgálatok eredményei

6.2.1. A terepi megfigyelések eredményei

Terepi megfigyeléseim alapján megállapítottam, hogy egyik hányó sem tökéletesen kúp alakú, a felhalmozás óta eltelt harminc év alatt a külső erők ezt az egykor szabályos alakzatot megbontották (18. ábra). Az erős barázdálódás, az anyagáthalmazódás, az eltérő meredekségű felszínnek és az azokat elválasztó markáns „gyűrűk” már első pillantásra is megfigyelhetők, de a lepusztulás folyamata a két kúpon más-más stádiumban van. A korábban lerakott, idősebb kúp felszíne ugyanis kevésbé meredek, maradványfelszínnel tarkított (19. ábra), vagyis az eróziós tevékenység hatása itt már szembetűnőbb, mint a meredek felszínű, a csúcsi részén erősen felárkolt fiatalabb kúpon (18. ábra).



18. ábra: A fiatalabb kúpon felárkolt teteje és a körbefutó jellegzetes csuszamlási öv



19. ábra: Az idősebb salakkúp déli oldalán kialakult maradványfelszín

6.2.2. A lepusztulás mennyiségi jellemzői

Magasságmeghatározás. A vizsgálati módszereknél ismertetett adatok és képletek felhasználásával a következő magasságadatokkal jellemezhetjük a kúpokat napjainkban és a lepusztulás kezdetén, 1973-ban (3. táblázat).

3. táblázat: A salakkúpok magasságának változása 1973-2003 között

	1973 (Namesánszki (1980) alapján)	2003 (terepi felmérés alapján)
Idősebb salakkúp magassága	56 m	56 m
Fiatalabb salakkúp magassága	46 m	48 m

A fenti adatokból azt a következtetést lehet levonni, hogy a salakkúpok magassága nemigen változott a felhalmozás óta, az éves átlagos lepusztulás mindössze néhány centiméternek adódott mindkét hányónál. Az eredmények értékeléséhez természetesen hozzá kell venni a különböző mérési és számolási pontatlanságokat, amit a kisebbik kúp látszólagos „méretnövekedése” is igazol. Összességében a magasságok mért értéke egybevág a kúpok csúcsi részénél megfigyelt maradványfelszínnek létevel. A salakkúpok jelenlegi adatait a 4. táblázat foglalja össze:

4. táblázat: A salakkúpok geometriai adatainak összefoglalása

	Idősebb salakkúp	Fiatalabb salakkúp		
		Az öv alatti rész	Az öv feletti rész	Összesen
<i>Alapkörének sugara</i> (körnek véve a kúpílabát)	66 m	51 m	23 m	-
<i>Magassága</i>	56 m	27 m	22 m	49 m
<i>Jelenlegi térfogata</i> (forgáskúpnak véve a salakhegyeket)	257 710 m³	121 802 m ³	11 790 m ³	133 593 m³
<i>A kúppalást hossza</i>	87 m	31 m	39 m	70 m
<i>Jelenlegi felszín</i>	31 937 m²	17 198 m ²	2 421 m ²	19 620 m²

A kapott térfogateredményeket összehasonlítva az 1973-as felmérés adataival (*Namesánszki K. 1980*) elmondható, hogy számításaim – az alkalmazott megközelítések ellenére – reálisak. A felmérésben szereplő 400000 m³-es salakmennyiséggel szemben az általam mért adat 391300 m³. A fogyás köszönhető egyrészt annak, hogy a 70-es évek végétől a 90-es évek elejéig évente mintegy 1000-3000 m³ salakot értékesítettek a területről (*Namesánszki K. 1980*). Másrészt a jelentés nem tartalmaz utalást a számítási módszerére vonatkozóan, ezért feltételezhetjük, hogy a feltüntetett érték kerekített.

6.2.3. A lepusztult anyag mennyisége

Idősebb kúp. A barázdák összes térfogata az első kúp esetén 2915 m³, ami a kúp egész térfogatának alig több mint 1%-a. A kúp egész felszínéről lepusztult anyag mennyisége 28768 m³, ez a kúp eredeti térfogatának több mint 10%-a. Az összes lepusztulás (31683 m³) a mostani térfogat 11%-a. Arányos visszszámolással ez azt jelenti, hogy évente átlagosan az összes anyagmennyiség valamivel több, mint 0,3 %-a pusztult le, számszerűen mintegy 1000-1100 m³. Természetesen ez csak egy átlagos adat, csapadékosabb években ennél nagyobb, aszályos években kisebb volt a pusztulás, és a csuszamlások pillanatszerű események lehettek (*Angyal Zs. 2007*).

Fiatalabb kúp. A másik kúp esetén a barázdák összes térfogata 7133 m³, ami többszöröse az idősebb kúp hasonló adatainak. A barázdák nagyságának aránya azonban eltér. Míg a legnagyobb barázdák az első, korábban lerakott kúpon már nem figyelhetők meg, addig a fiatalabb csúcsi részén ezek száma 29. A közepes méretű árkok száma ugyanitt 36, ez már közelít az első kúp adatához (32). A legkisebb barázdák száma szintén majdnem megegyezik (42, illetve 48). A barázdálódásból származó lepusztulás az össztérfogat 4%-át jelenti. A kúp alsó részének csuszamlásos lepusztulása 19427 m³,

ez az érték az összes anyagmennyiséghez viszonyítva 11%. Ez az idősebb kúp adatához hasonló. A fiatalabb salakkúp összes lepusztulására 26560 m³ adódott, ez az összes térfogat 15%-át jelenti. Ez mintegy 4%-kal magasabb adat, mint az első kúpon, de az esetleges számítási pontatlanságnál fontosabb az az eredmény, hogy az idősebb kútból mintegy 5000 m³-rel több pusztult le (Angyal Zs. 2007).

Számítási eredményeimet a 5. táblázatban foglaltam össze.

5. táblázat: A salakkúpokról lepusztult anyag mennyisége

	Idősebb salakkúp	Fiatalabb salakkúp		
		Öv alatti rész	Öv feletti rész	Összesen
<i>A lepusztulás előtti térfogat</i>	286 478 m ³	153 020 m ³	20 134 m ³	173 155 m ³
<i>Jelenlegi térfogat</i>	254 794 m ³ (88%)*	12 990 m ³ (85%)	16 687 m ³ (82%)	146 594 m ³ (84%)
<i>Az eredeti kúppalástról lecsuszamlott anyagmennyiség</i>	28 768 m ³ (10%)	19 427 m ³ (13%)	-	19 427 m ³ (11%)
<i>A legnagyobb árkokból kimosott anyag össz mennyisége</i>	-	-	2 439 m ³ (12%)	2 439 m ³ (1%)
<i>A közép méretű árkokból kimosott anyag össz mennyisége</i>	2 197 m ³ (1%)	2 766 m ³ (1%)	756 m ³ (4%)	3 686 m ³ (2%)
<i>A legkisebb árkokból kimosott anyag össz mennyisége</i>	717 m ³ (<1%)	920 m ³ (<1%)	251 m ³ (1%)	2 766 m ³ (2%)
<i>Az árkokból összesen kimosott anyag mennyisége</i>	2 915 m ³ (1%)	3 686 m ³ (2%)	3 447 m ³ (17%)	7 133 m ³ (4%)
<i>Az összes lepusztult anyag mennyisége</i>	31 683 m ³ (11%)	23 113 m ³ (15%)	3 447 m ³ (17%)	26 560 m ³ (15%)

* a százalékos értékek a lepusztulás előtti térfogathoz viszonyított arányt jelentik

6.2.4. Az eredmények értékelése

A kapott adatok alapján elmondható, hogy eltérések figyelhetők meg a két kúp csúcsi részének és alsóbb régióinak fejlődésben is. Az idősebb salakhegy esetén a legfelső régióban jól kivehető egy maradványfelszín (19. ábra), ami az egykori – de azóta lepusztult – felszínről tanúskodik. A terepi mérések azt mutatták, hogy e maradványréteg átlagos vastagsága 1,8 méter, vagyis átlagosan eredetileg ennyivel volt terebélyesebb a kúp. A másik kúp esetén azonban ez a csúcsi rész még érintetlen, az eredeti magasságot és felszínét mutatja, itt a lepusztulás az öv alatti régióra jellemző. Mindezekből a megfigyelésekből következik, hogy a térfogat csökkenése kevésbé a magasság csökkenésével járt, az erózió inkább a kúpok felszínét pusztította. Ezt a már korábban (1973) leírt, terepi mérésekből számított magasságadatok alá is támasztják.

Ezekből a megfigyelésekből modelleztem a salakkúpok sajátos lepusztulását és mai felszínük kialakulását (Angyal Zs. 2003).

A salakkúpok, eredetileg sima felszínén a külső erők – elsősorban a csapadék – hatására néhány év elteltével a vulkáni kúpokon megfigyelt folyamatokhoz hasonlóan (Cotton C. A. 1952, Ollier C. 1988) erőteljes felárkolódás kezdődik párhuzamos barázdák formájában. Ez a folyamat a későbbiekben dendrikus, ágas vízhálózat kialakulásához vezet. Az erózió által létrehozott felárkolódási öv (18. ábra) az idősebb kúpon magasabban látható, a gyűrű alatt viszont a csuszamlások után stabilizálódott lejtőn már csak szerényebb barázdák tudnak kialakulni, mivel a kevésbé meredek lejtők lehetővé teszik a növényzet megtelepedését. A később lerakott salakhegyen a felárkolódási öv még majdnem a kúp felére kiterjed, a gyűrű feletti részen pedig jelentős – az idősebb kúpon nem megfigyelhető – méretű barázdák találhatók. Ennek alsó részén is megindult a növényzet térhódítása, de ez a folyamat jóval kisebb mértékű, mint az idősebb kúp esetén. Megállapítható tehát, hogy az említett lepusztulási öv az erózió mértékétől függően felfelé vándorol a kúpok felszínén, az alatta kialakuló lankásabb térszínen pedig a megtelepedő növényzet gátolja a további lepusztulást.

A felárkolódás mellett a salakhányókra jellemzők a csuszamlások, amelyek kialakulása az árkos erózióval magyarázható. A felárkolódás miatt ugyanis egyrészt salakanyag mosódik ki főleg a barázdák alsó szakaszában, amely anyag a salakhegyek lábánál eltérő vastagságban szétterül, másrészt a kúp alsó része fokozatosan átnedvesedik és előbb-utóbb elveszti stabilitását. Megkezdődnek a csúszások, azaz hirtelen jelentősebb anyagtömeg szakad, csúszik le. A kúp lábához lecsúszó plasztikus tömeg többé-kevésbé szétterülve kiszélesedő nyelvformát képez. A nyelvet hosszanti, illetve sugárirányú repedések tagolhatják. Ha a lecsúszott tömeg a lejtő lábára telepszik, akkor elvben a későbbiekben a lejtő támasztó, csuszamlást gátló ellensúlyként szerepel (Szabó J. 1998), az általam vizsgált hányóknál azonban ez a jelenség nem figyelhető meg. Ha viszont az anyag (egy része) megáll a lejtő oldalában – az elmozdulás kicsi -, akkor a lejtőt megterhelve újabb mozgások kiváltója lehet (Szabó J. 1998). Az erómi salakhegyeken megfigyelt csuszamlások - anyagáttelepítő tevékenységük révén - összességében a lejtőt lankásító folyamatok, tehát ismétlődésükkel fokozatosan csökkentik az abban lévő nyírófeszültségeket, és hosszabb távon a lejtő egyensúlyának helyreállása irányába hatnak.

6.3. A lerakott anyag ásványosodásának vizsgálati eredményei

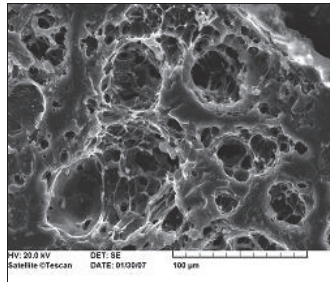
6.3.1. A salak ásványi összetétele

A sztereomikroszkópos vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy a szemcsék nagy része kvarc, a kisebbik hányada opak jellegekkel bíró ásványok/ásványagglomerátumok. A vizsgálat során a szemcsék nagy része kvarcnak és szilikátfázisnak a maradék pedig nagyobb reflexiójú fémfázisnak, opaknak bizonyult.

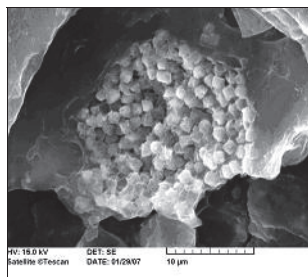
A röntgendiffrakciós vizsgálat során domináns fázisként szintén a kvarc jelent meg, de találtunk még hematitot, mullitot, és gipsz üvegfázist is.

6.3.2. A salak szöveti szerkezete és összetétele

A szemcsék morfológiája a mintavételezési ponttól függetlenül két alapvető csoportra bontható. Az egyik csoport a „hólyagüreges” szemcsetípus (20. ábra), amely teljes mértékig kisebb-nagyobb hólyagüregekkel átjárt és esetenként a hólyagüregekben pirit utáni pszeudomorfózákat vas-oxid jelenik meg (Szabó M. et al. 2007) (21. ábra).

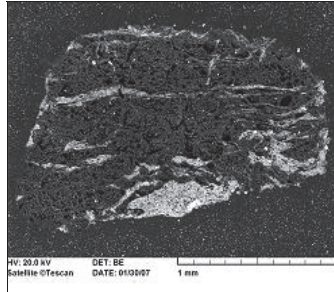


20. ábra: A hólyagüreges szemcsetípus (Fotó: Pekker P.)



21. ábra: Hólyagüregekben pirit utáni pszeudomorfa (vas-oxid) (Fotó: Pekker P.)

A másik nagy szemcse típus „szivacsos” morfológiát mutat (22. ábra), ahol a szemcsék az előzőhöz hasonlóan üreges megjelenésűek, de a kavernák mérete kisebb. Mindkét szemcsetípusról elmondható a szekunder elektronkép, valamint a visszaszórt elektronkép alapján is, hogy szerkezetük igen porózus és nagy fajlagos felülettel rendelkeznek (Szabó M. et al. 2007).



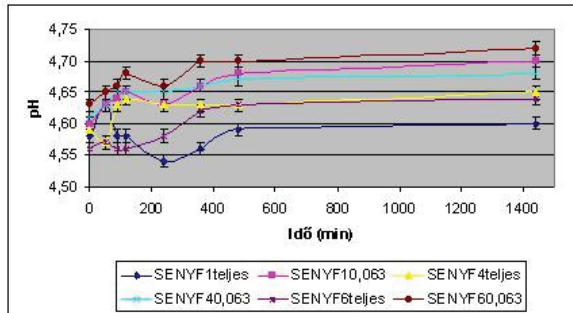
22. ábra: Vas-oxidos erekkel átjárt „szivacsos” szemcsetípus (Fotó: Pekker P.)

A szemcsék alapanyagának összetétele a mind két típusnál jellemzően szilícium, vas, alumínium, valamint kisebb mennyiségben magnézium, kalcium, kálium, kén, titán. Ez az eredmény egyezést mutat a szakirodalmi adatokkal, amelyek szerint a hazai pernyék legnagyobb részben szilícium, vas, alumínium, kalcium, és magnézium különböző oxidjaiból állnak (Árvai J. 1993). Esetenként a szemcséken belül vas-oxidos vázkristályok, valamint pirit utáni pseudomorfiák jelennek meg, ebben az esetben az EDS spektrum csak vas jelenlétét mutatja. A visszaszórt elektron képen kis kontraszttal megjelenő fázisok feltételezhetően széntartalmú anyag lehet.

6.4. Az elemanalitikai vizsgálatok eredményei

6.4.1. A vizsgálati minták kémhatása és vezetőképessége

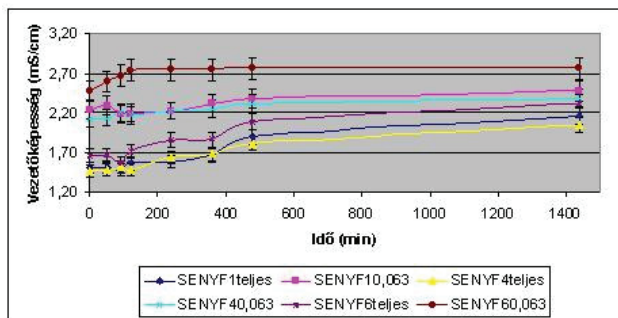
A kémhatás változására vonatkozó adatok közül itt csak a felső fúrásról (SENYF) készült diagramot mutatom be (23. ábra) a hasonló tendencia miatt, a másik két fúrás eredményeit az *I. melléklet* tartalmazza.



23. ábra: A felső fúrás (SENYF) mintáiból készített szuszpenzió kémhatás-változása

A diagramról (23. ábra) leolvasható, hogy minden mintánál a kezdeti ingadozás után kb. az 500. percben állt be az egyensúly és 4,6-4,72 érték között állandósult. A nagyobb értékeket a heterogén mintáknál regisztráltam, de összességében véve minimális az eltérés az egyes szintek és szemcseméretek adatai között.

A szuszpenziók vezetőképesség-változására vonatkozó tendenciákat a 24. ábra mutatja.



24. ábra: A felső fúrás (SENYF) mintáiból készített szuszpenzió vezetőképesség-változása

A 24. ábra alapján a vezetőképesség változásáról megállapítható, hogy kezdetben jól elkülönültek a heterogén és a 0,063 mm alatti szemcseméretű mintákból készült szuszpenziók adatai; az előbbi nagyobb, míg az utóbbi kisebb értéktartományban ingadozott. 600 perc után azonban minden mintánál beállt az egyensúly, és a homogén szemcseméretű minták értékei megközelítették a heterogén minták adatait, de még így is alatta maradt. A kémhatáshoz hasonlóan az összes mintát tekintve ebben az esetben is nagyon kicsi az eltérés a legnagyobb és a legkisebb érték között. A másik két fúrás eredményeit elemezve (*I. melléklet*), a középső fúrásnál ugyanez a tendencia figyelhető meg, míg az alsó fúrás mintáinál már kezdetben is kiegyenlítettebb a kép, csupán a SENYA7_{0,063} adatai kiugróan alacsonyak a többihez képest, és ez a mérés végéig megmarad.

6.4.2. A salakmintákban található elemek kimutatása

A totálreflexiós röntgenfluoreszcens spektrometriával nyert vizsgálatok adatait a 6-8. táblázatok tartalmazzák. Az elemzést 18 mintán végeztem, ám miután ezek eredményei, illetve az ezekből következő tendencia mindhárom fúrásban hasonló eredményt adott, itt csak a felső fúrás hat mintájára kapott eredményeket mutatom be. A másik két fúrás eredményei táblázatos formában, illetve a belőlük készített diagramok a *II-III. mellékletben* megtalálhatók. A meghatározásra került, kisebb-nagyobb koncentrációban jelenlevő elemek minőségi és mennyiségi viszonyainak összefoglalását a 6.-8. táblázatokban mutatom be. Miután a mérés a minták vízzel való kevertetése és leszűrése után kapott oldatból történt (lásd 5.1.2. fejezet), a kiértékelésnél az oldatba került komponensek koncentrációiból számoltam az eredeti minta száraz anyagára vonatkoztatva a kioldódott mennyiségeket, ezáltal mg/kg egységben kaptam meg az eredményt. A kapott értékek összehasonlíthatóvá váltak a szennyezettségi határértékkel ("B" érték) (*KöM-EüM-FVM-KHVM együttes rendelete, 2000*).

6. táblázat: A felső fúrás (SENYF) legfelső mintáinak TXRF módszerrel mért elemtartalma

Elem	SENYF _{1teljes}			SENYF _{10,063}			Szennyezettségi határérték („B” érték) (mg/kg)
	Mért koncentráció (ng/ml)	Száranyagra vonatkoztatott elemkoncentráció (mg/kg)	Hiba ±	Mért koncentráció (ng/ml)	Száranyagra vonatkoztatott elemkoncentráció (mg/kg)	Hiba ±	
Cu	106	212	3	49	99	6	75
Zn	841	1 683	79	450	900	50	200
Cd	303	607	54	□0,01	□0,01	0	1
Ag	64	128	8	162	323	21	2
Ba	1 060	2 120	204	922	1 845	181	250
Mo	114	228	4	98	196	8	7

7. táblázat: A felső fúrás (SENYF) középső mintáinak TXRF módszerrel mért elemtartalma

Elem	SENYF _{4teljes}			SENYF _{40,063}			Szennyezettségi határérték („B” érték) (mg/kg)
	Mért koncentráció (ng/ml)	Száranyagra vonatkoztatott elemkoncentráció (mg/kg)	Hiba ±	Mért koncentráció (ng/ml)	Száranyagra vonatkoztatott elemkoncentráció (mg/kg)	Hiba ±	
Cu	84	168	2	7	13	4	75
Zn	483	967	34	344	688	36	200
Cd	290	581	26	0	0	0	1
Ag	11	23	2	88	176	12	2
Ba	850	1 701	163	0	0	0	250
Mo	111	222	4	0	0	0	7

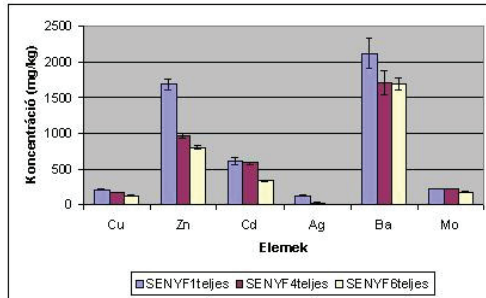
8. táblázat: A felső fúrás (SENYF) legalsó mintáinak TXRF módszerrel megmért elemtartalma

Elem	SENYF _{6teljes}			SENYF _{60,063}			Szennyezettségi határérték („B” érték) (mg/kg)
	Mért koncentráció (ng/ml)	Száranyagra vonatkoztatott elemkoncentráció (mg/kg)	Hiba ±	Mért koncentráció (ng/ml)	Száranyagra vonatkoztatott elemkoncentráció (mg/kg)	Hiba ±	
Cu	67	134	2	6	12	1	75
Zn	398	796	31	24	48	6	200
Cd	168	336	5	□0,01	□0,01	0	1
Ag	2	3	1	55	111	2	2
Ba	842	1 684	84	□0,01	□0,01	0	250
Mo	88	176	8	□0,01	□0,01	0	7

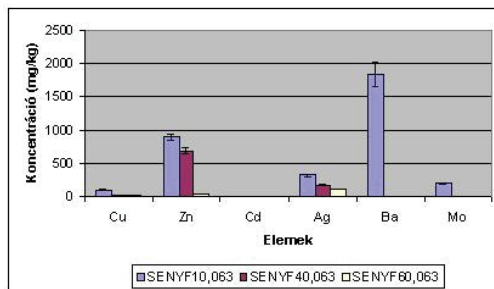
A 6-8. táblázatok adatait egymással összehasonlítva jól látható, hogy mindkét szemcseméret esetén a fúrás legfelső részéből származó minták elemtartalma a legnagyobb. Az is megfigyelhető, hogy az ezüst kivételével mindig a szítálatlan, teljes minták tartalmazzák nagyobb koncentrációban a kimutatott elemeket. Minden mintában

a bárium koncentrációja a legnagyobb az alsó és a középső mérési pontok finom azaz legkisebb szemcseméretű frakcióit kivéve, ahol kimutatási határ alatti mennyiségben volt jelen. Viszonylag nagy még a cink koncentrációja is, ebben az esetben is jellemző az adott mintavételi ponton a mintamélységgel csökkenő tendencia. Ellentétben a heterogén szemcse-összetételű mintákban nem tapasztaltam fúrásmélységtől függő változást a réz- és molibdénkoncentrációban. A kadmium a fúrás mindhárom mintájában csak a szitálatlan szemcsefrakcióban volt kimutatható, ami azzal magyarázható, hogy a kadmium illékonyságának köszönhetően az égetési folyamat során eltávozik a füstgázokkal, maradéka pedig csak a nagyobb szemcseméretű salakban dúsul fel (Árvai J. 1993). A kadmium talajban történő mobilitását erősen befolyásolja a talaj kémhatása (Stefanovits P. et al. 1999); legoldékonyabb 4,5-5,5 pH között, 7,5 pH felett azonban már szinte teljesen immobilis (Kabata-Pendias A. és Pendias H. 1984). A mért kémhatásadatok szerint a salakpernye vizes szuszpenziója 4,6-4,7 pH között van, vagyis éppen a legmozgékonyabb tartományba esik. Emiatt a kadmiumnak a mélyebb rétegekben is kimutathatónak kellene lennie, viszont a mért adatok alapján a szitálatlan mintáknál is jelentős csökkenés figyelhető meg a mélységgel, a 0,063 mm alatti szemcseméretű minták esetén pedig a koncentráció a kimutatási határ alatt volt. Ez azzal magyarázható, hogy a talajban található vas- és mangán-oxid irreverzibilisen lekötik a kadmiumot, ezzel mozgékonyágát jelentősen lecsökkentik (John M. K. 1972).

Ha az eltérő mélységből vett, ugyanolyan szemcseméretű mintákat hasonlítjuk össze, a 25. a.-b. ábrákat alapján elmondható, hogy a szitálatlan mintákban többféle elemet, nagyobb koncentrációban sikerült kimutatni, mint a legkisebb szemcseméret-tartományban. A fúrásban lefelé haladva pedig minden elem koncentrációja csökken. Azt mondhatjuk tehát, hogy a vegyes szemcseméretű frakció több szennyező anyagot tartalmaz, mint a 0,063 mm alatti, illetve az elemek olyan kémiai állapotban vannak, amely esetlegesen nem teszi nagymértékben lehetővé a lefelé vándorlást és a mélyben történő feldúsulást.



25. a. ábra: A szítálatlan minták elemkoncentrációjának összehasonlítása



25. b. ábra: A 0,063 mm alatti szemcseméretű minták elemkoncentrációjának összehasonlítása

A 10/2000 számú közös miniszteri rendelet (2000) eredményeképpen meghatározott szennyezettségi határértéket (B érték: olyan szennyezőanyag-koncentráció, amelyek bekövetkeztek a földtani közeg, a felszín alatti víz szennyezett minőségű) a minták többségében a legtöbb elem koncentrációja meghaladja, sok elem esetén több nagyságrenddel a meghatározott feletti értéket mutattunk ki (9.a.-b. táblázat).

9.a táblázat: Az egyes mintákból kimutatott elemek összehasonlítása a szennyezettségi határértékekkel (B-érték) (pirossal a határérték feletti, kézzel a határérték alatti adatokat jelöltem)

	SENYF1 _{teljes} (mg/kg)	SENYF4 _{teljes} (mg/kg)	SENYF6 _{teljes} (mg/kg)	B-érték (mg/kg)
Cu	212±3	168±2	134±2	75
Zn	1 683±79	967±34	796±31	200

Cd	607±54	581±26	336±5	1
Ag	128±8	23±2	3±1	2
Ba	2 120±204	1 701±163	1 684±84	250
Mo	228±4	222±4	176±8	

9.b. táblázat: Az egyes mintákból kimutatott elemek összehasonlítása a szennyezettségi határértékkel (B-érték) (pirossal a határérték feletti, kékkkel a határérték alatti adatokat jelöltem)

	SENYF1 _{0,063} (mg/kg)	SENYF4 _{0,063} (mg/kg)	SENYF6 _{0,063} (mg/kg)	B-érték (mg/kg)
Cu	99±6	13±4	12±1	75
Zn	900±50	688±36	48±6	200
Cd	□0,01±0	□0,01±0	□0,01±0	1
Ag	323±21	176±12	111±2	2
Ba	1 845±181	□0,01±0	□0,01±0	250
Mo	196±8	□0,01±0	□0,01±0	

A legnagyobb arányú eltérést a kadmium esetén tapasztalható, itt minden fűrásmélységben a heterogén szemcseméretben mért adat több százszorosán meghaladta a határértéket. Szintén viszonylag nagy a határértéktől való eltérés az ezüst esetén is. Legkisebb mértékben a minták réztartalma haladja meg a határértéket. A szennyezés szempontjából a legkedvezőbb a SENYF6_{0,063}, itt csak az ezüst koncentrációja haladja meg a határértéket, a többi elem koncentrációja alatta marad.

6.4.3. További elemek kimutatása

A fenti elemeken kívül a TXRF módszerrel egyéb fémeket is sikerült kimutatni. Ezek tárgyalására külön kerül sor, mert ezekre az elemekre nincs szennyezettségi határérték meghatározva, ugyanakkor minden mintában megtalálhatók kisebb-nagyobb koncentrációban (10-12. táblázat).

10. táblázat: A felső fűrás legfelső mintáinak (SENYF1) TXRF módszerrel megmért elem tartalma

Elem	SENYF1 _{teljes}			SENYF1 _{0,063}		
	Mért koncentráció (ng/ml)	Szárazanyagra vonatkoztatott elemkoncentráció (mg/kg)	Hiba ±	Mért koncentráció (ng/ml)	Szárazanyagra vonatkoztatott elemkoncentráció (mg/kg)	Hiba ±
Fe	418	837	9	174	348	6
Mn	1 155	2 312	49	232	464	26
Sr	968	1 936	24	212	423	24
Rb	114	229	12	15	31	3

11. táblázat: A felső fúrás középső mintáinak (SENYF4) TXRF módszerrel megmért elemtartalma

Elem	SENYF ₄ ^{teljes}			SENYF ₄ ^{0,063}		
	Mért koncentráció (ng/ml)	Szárazanyagra vonatkoztatott elemkoncentráció (mg/kg)	Hiba ±	Mért koncentráció (ng/ml)	Szárazanyagra vonatkoztatott elemkoncentráció (mg/kg)	Hiba ±
Fe	507	1 015	22	252	503	19
Mn	719	1 438	19	164	329	22
Sr	624	1 247	24	199	398	18
Rb	52	103	5	11	22	5

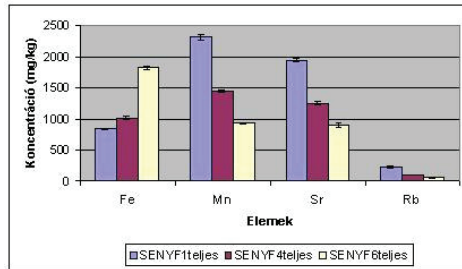
12. táblázat: A felső fúrás legalsó mintáinak (SENYF6) TXRF módszerrel megmért elemtartalma

Elem	SENYF ₆ ^{teljes}			SENYF ₆ ^{0,063}		
	Mért koncentráció (ng/ml)	Szárazanyagra vonatkoztatott elemkoncentráció (mg/kg)	Hiba ±	Mért koncentráció (ng/ml)	Szárazanyagra vonatkoztatott elemkoncentráció (mg/kg)	Hiba ±
Fe	910	1 820	18	416	832	30
Mn	466	933	10	150	300	45
Sr	450	899	39	62	125	12
Rb	28	56	9	4	9	1

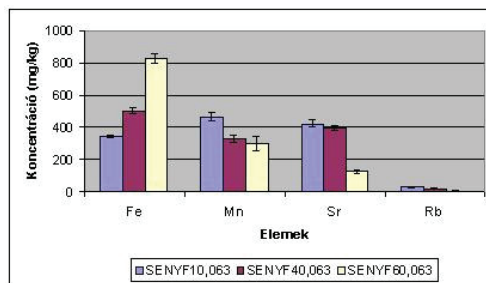
A 10-12. táblázatok adataiból leolvasható, hogy az előzőekhez hasonlóan, ebben az esetben is a szítálatlan, teljes minták elemkoncentrációja nagyobb, mint a 0,063 mm alatti frakcióké. Jól látszik az is, hogy a fúrás legfelső és középső mintájában legnagyobb koncentrációban a mangánt és a stronciumot mutattuk ki, míg a fúrás legalsó mintájában a vas koncentrációja volt a legnagyobb. Vagyis elmondható, hogy a mangán, a stroncium és a rubídium koncentrációja a mélységgel csökkenő tendenciát mutat, míg a vas mennyisége növekszik. Ezt egyrészt azzal lehet magyarázni, hogy a vas olyan kémiai formában lehet jelen, amely lehetővé teszi a vizes közegben való vándorlást, míg a másik három elem esetén a nem mozgékony forma lehet a meghatározó. Másrészt a felhasznált fűtőanyag minősége is változhatott az erőmű működése folyamán és ez a keletkező salakpernyében felhalmozott elemek eltérő mennyiségét eredményezheti. Az összes elem közül minden szinten a rubídiumot találtam legkisebb koncentrációban, sőt, a legalsó minta legkisebb szemcseméreténél már kimutatási határ alá esett a mennyisége.

Ha az eltérő mélységből vett, ugyanolyan szemcseméretű mintákat hasonlítjuk össze, a 26. a.-b. ábrák alapján elmondható, hogy mind a heterogén, mind a homogén

mintáknál a vas esetén tapasztaltam a mélységgel növekvő koncentrációt, míg a többi elemnél a legfelső, SENYF1 volt legnagyobb koncentrációjú és a fúrásban lefelé haladva csökkenő tendencia figyelhető meg. Összességében a szítálatlan minták koncentrációadatai a nagyobbak, itt a legnagyobb érték 2300 mg/kg felett van (az SENYF1_{teljes} vaskoncentrációja), míg a 0,063 mm alatti szemcsefrakcióban a legnagyobb érték alig haladja meg a 800 mg/kg-ot (SENYF6_{0,063} mangánkoncentrációja). Vagyis levonhatjuk azt a következtetést, hogy a szítálatlan minták koncentrációi minden kimutatott elem esetén nagyobbak, mint a 0,063 mm alatti szemcseméretű minták esetén. Arányait tekintve a szítálatlan mintáknál minden szinten a mangán, míg a legkisebb szemcseméretű mintáknál a SENYF4_{0,063} és SENYF6_{0,063} esetén a vas, a SENYF2_{0,063} esetén szintén a mangán a legnagyobb koncentrációjú. Mindkét szemcseméretnél a rubídium koncentrációértékei a legkisebbek.



26. a. ábra: A szítálatlan minták elemkoncentrációjának összehasonlítása



26. b. ábra: A 0,063 mm alatti szemcseméretű minták elemkoncentrációjának összehasonlítása

6.4.4. A salakmintákban kimutatott kalcium- és káliumtartalom

A salakmintákban található kalcium- és kálium-tartalom külön részben történő tárgyalása két szempontból is indokolt. Egyrészt ennek a két elemnek a koncentrációja volt a legnagyobb a többi kimutatott elemhez viszonyítva, másrészt a kúpokon élő növényzet szempontjából is nagyon fontos a salakpernye, illetve a rajta képződő talaj kalcium- és káliumtartalma (Stefanovits P. et al. 1999). Az elemzés eredményeit a 13-15. táblázat mutatja.

13. táblázat: A felső fűrés legfelső mintáinak TXRF módszerrel mért kalcium- és káliumtartalma

Elem	SENYF1 _{teljes}			SENYF1 _{0,063}		
	Mért koncentráció (ng/ml)	Száranyagra vonatkoztatott elemkoncentráció (mg/kg)	Hiba ±	Mért koncentráció (ng/ml)	Száranyagra vonatkoztatott elemkoncentráció (mg/kg)	Hiba ±
Ca	343 531	687 062	23 563	687 062	390 686	62 100
K	27 430	54 860	10 371	54 860	17 904	3 012

14. táblázat: A felső fűrés középső mintáinak TXRF módszerrel megmért kalcium- és káliumtartalma

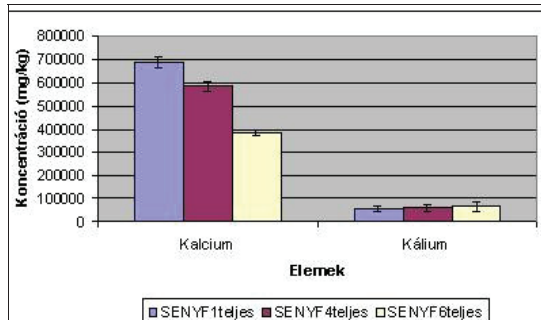
Elem	SENYF4 _{teljes}			SENYF4 _{0,063}		
	Mért koncentráció (ng/ml)	Száranyagra vonatkoztatott elemkoncentráció (mg/kg)	Hiba ±	Mért koncentráció (ng/ml)	Száranyagra vonatkoztatott elemkoncentráció (mg/kg)	Hiba ±
Ca	291 336	582 671	20 184	181 342	362 683	62 100
K	29 685	59 370	15 378	10 087	20 173	4 285

15. táblázat: A felső fűrés legalsó mintáinak TXRF módszerrel megmért kalcium- és káliumtartalma

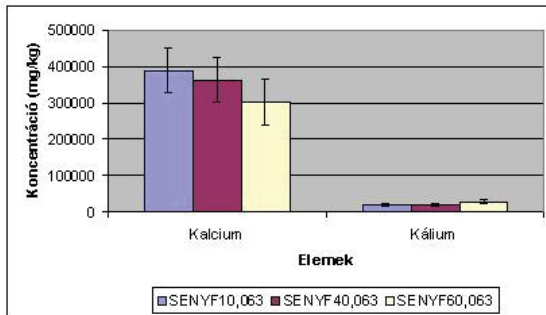
Elem	SENYF6 _{teljes}			SENYF6 _{0,063}		
	Mért koncentráció (ng/ml)	Száranyagra vonatkoztatott elemkoncentráció (mg/kg)	Hiba ±	Mért koncentráció (ng/ml)	Száranyagra vonatkoztatott elemkoncentráció (mg/kg)	Hiba ±
Ca	191 324	382 648	11 837	150 874	301 748	62 100
K	32 583	65 165	20 341	14 246	28 492	5 810

A 13-15. táblázat adataiból leolvasható, hogy a kalciumból nagyságrendekkel több van a salakmintákban, mint káliumból. Mindkét elemre jellemző tendencia, hogy a felső fűrés mintáiban, illetve a teljes, szítálatlan mintákban nagyobb a koncentráció.

Ha az eltérő mélységből vett, ugyanolyan szemcseméretű mintákat hasonlítjuk össze, a 27. a.-b. ábrák alapján elmondható, hogy mindkét fajta szemcseméretű mintáknál a kalcium koncentrációja jóval meghaladja a kálium koncentrációját. Megfigyelhető az is, hogy a kalcium mennyisége a mélységgel fokozatosan csökken, ugyanakkor a káliumtartalom minimális növekedést mutat a mélység felé.



27. a. ábra: A szítálatlan minták elemkoncentrációjának összehasonlítása



27. b. ábra: A 0,063 mm alatti szemcseméretű minták elemkoncentrációjának összehasonlítása

6.4.5. A három fűrés eredményeinek összehasonlítása

A felső fűrés mintáinak értékelését, eredményeit mutattam be, a másik két fűrés vizsgálatából származó adatok a *II-III. melléklet*ben található a hasonló tendencia miatt. Szükségesnek tartom azonban röviden összefoglalni a három fűrés egymáshoz

viszonyított értékeit, hiszen ezekből is következtetéseket vontam le a szennyező anyagok elterjedésére és vándorlására vonatkozóan. Mindhárom fúrásban a kúpok felszíne felől a mélyebb rétegek felé csökkenő koncentrációértékekkel találkozunk, ami arra utal, hogy az elemek vertikális vándorlása nem jellemző, illetve lassú. Szintén jellemző tendencia, hogy a teljes, szétszítálatlan salakpernye több szennyező anyagot tartalmaz, mint a 0,063 mm alatti szemcsefrakció. Abban az esetben, ha a különböző magasságban mélyített fúrások azonos szintjeit hasonlítjuk össze, elmondható, hogy a felső fúrás felől az alsó fúrás felé szintenként szinte kivétel nélkül egyre növekvő értékeket tapasztalunk, mind a szítálatlan szemcseméretű, mind pedig – igaz kisebb mértékben – a 0,063 mm alatti mintáknál. Vagyis ez azt jelenti, hogy a legnagyobb koncentrációértékeket minden szinten az alsó fúrás mintáinál tapasztalhatjuk. Ez a növekedés a legfelső, felszíni mintáknál a legszembetűnőbb, de a középső és az alsó minták esetén is jellemző ez a szabályszerűség. Azt mondhatjuk tehát, hogy a vertikális anyagvándorlás helyett inkább horizontális, vagyis ebben az esetben a lejtő mentén történő elmozdulás a jellemző. Ez a folyamat a lerakás már korábban ismertetett technikájával magyarázható. A felhalmozódás egy elnyúló terasz formájában jól kirajzolódik mindkét kúp körül. Ez a folyamat a lerakáskor – növényzet hiányában – akadálytalanul történhetett. A kisebb szemcseméretű salak és pernye lefelé irányuló mozgása is jellemző volt, ez azonban inkább a külső erők, főleg a csapadék pusztító hatásának volt köszönhető. Az erózió folyamata mind a mai napig folytatódik, mértéke azonban a növényzet megtelepedésével és főleg a fás szárúak megjelenésével jelentős mértékben csökkent.

6.4.6. A salaklerakó közelében található kút-és felszíni vizek elemzése

Az V.2. fejezetben leírt módszerrel 3, a salaklerakó területéről, illetve közvetlen közeléből származó vízminta elemzése történt meg. A vizsgálat eredményeit a 16-19. táblázat mutatja.

16. táblázat: A vizsgált vízmintákban 2006 augusztusában kimutatott elemek és a rájuk vonatkozó határértékek

Elem	A pangó és a friss kútvízben mért koncentráció (mg/l) 2006. augusztus		Ivóvíz határérték (MSZ 450/1-1989)	A felszíni vízben mért koncentráció (mg/l) 2006. augusztus	Felszíni vizek határértéke (MSZ 12749)
	Pangó kútvíz	Friss kútvíz	mg/l		mg/l
K	0,23±0,056	0,27±0,076	Nincs	0,34±0,071	Nincs megadva

			megadva						
Sr	0,29±0,031	0,21±0,025	Nincs megadva	0,36±0,12	Nincs megadva				
Zn	0,34±0,093	0,31±0,088	0,2 (1,0)*	0,33±0,082	I. 0,05	II. 0,075	III. 0,1	IV. 0,3	V. >0,3

*Az első adat a megfelelő, a zárójelben közölt adat a tűrhető határértéket jelenti.

17. táblázat: A vizsgált vízmintákban 2006 novemberében kimutatott elemek és a rájuk vonatkozó határértékek

Elem	A pangó és a friss kútvízben mért koncentráció (mg/l) <i>2006. november</i>		Ivóvíz határérték (MSZ 450/1-1989)	A felszíni vízben mért koncentráció (mg/l) <i>2006. november</i>	Felszíni vizek határértéke (MSZ 12749)				
	Pangó kútvíz	Friss kútvíz	mg/l		mg/l				
K	0,22±0,05	0,24±0,066	Nincs megadva	0,32±0,078	Nincs megadva				
Sr	0,26±0,025	0,2±0,018	Nincs megadva	0,31±0,099	Nincs megadva				
Zn	0,31±0,088	0,29±0,08	0,2 (1,0)*	0,3±0,066	I. 0,05	II. 0,075	III. 0,1	IV. 0,3	V. >0,3

*Az első adat a megfelelő, a zárójelben közölt adat a tűrhető határértéket jelenti.

18. táblázat: A vizsgált vízmintákban 2007 februárjában kimutatott elemek és a rájuk vonatkozó határértékek

Elem	A pangó és a friss kútvízben mért koncentráció (mg/l) <i>2007. február</i>		Ivóvíz határérték (MSZ 450/1-1989)	A felszíni vízben mért koncentráció (mg/l) <i>2007. február</i>	Felszíni vizek határértéke (MSZ 12749)				
	Pangó kútvíz	Friss kútvíz	mg/l		mg/l				
K	0,23±0,042	0,27±0,030	Nincs megadva	-	Nincs megadva				
Sr	0,29±0,022	0,21±0,014	Nincs megadva	-	Nincs megadva				
Zn	0,34±0,061	0,31±0,033	0,2 (1,0)*	-	I. 0,05	II. 0,075	III. 0,1	IV. 0,3	V. >0,3

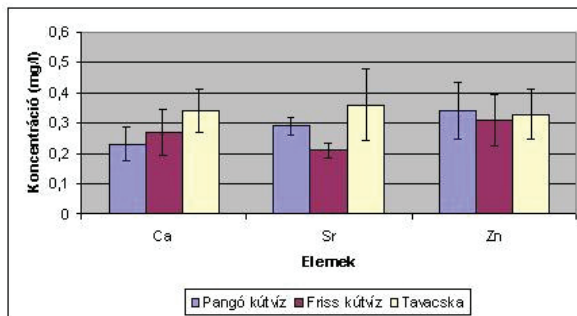
*Az első adat a megfelelő, a zárójelben közölt adat a tűrhető határértéket jelenti.

19. táblázat: A vizsgált vízmintákban 2007 májusában kimutatott elemek és a rájuk vonatkozó határértékek

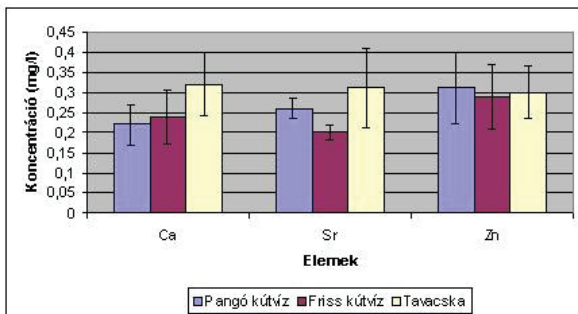
Elem	A pangó és a friss kútvízben mért koncentráció (mg/l) <i>2007. május</i>		Ivóvíz határérték (MSZ 450/1-1989)	A felszíni vízben mért koncentráció (mg/l) <i>2007. május</i>	Felszíni vizek határértéke (MSZ 12749)				
	Pangó kútvíz	Friss kútvíz	mg/l		mg/l				
K	0,23±0,09	0,27±0,04	Nincs megadva	0,34±0,033	Nincs megadva				
Sr	0,29±0,022	0,21±0,023	Nincs megadva	0,36±0,038	Nincs megadva				
Zn	0,34±0,011	0,31±0,039	0,2 (1,0)*	0,33±0,019	I. 0,05	II. 0,075	III. 0,1	IV. 0,3	V. >0,3

*Az első adat a megfelelő, a zárójelben közölt adat a tűrhető határértéket jelenti.

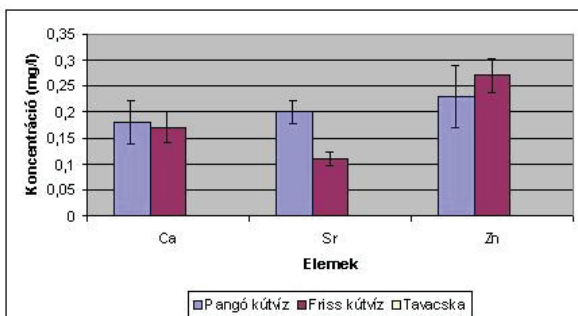
A 16-19. táblázatban és a 28. a.-d. ábrákon látható, hogy a vizsgált vízmintákban csak a kalcium, a stroncium és a cink volt kimutatható az alkalmazott analitikai módszerrel. Az egyes mintákban a kimutatott elemek koncentrációiban minimális, 0,1 mg/l körüli, vagy ilyen intervallumon belüli eltérést találtam. Az egyes évszakok között megfigyelhető különbség az időjárási viszonyok változásával magyarázható; a legnagyobb koncentrációt az augusztusban gyűjtött mintákban találtam, míg a februári hóolvadásnak, illetve a tavaszi csapadéknak köszönhetően a tél végi és a késő tavaszi minták elemkoncentrációja kisebb. A jelenleg hatályos határértékekkel összevetve elmondható, hogy kalciumra és stronciumra nem határoztak meg ilyen értékek, a cink esetén pedig az ivóvízre vonatkozó adatot tüntettem fel a diagramban. Ennek oka az, hogy a kútból származó vizet a lakosság mindennapi életében ivóvízként is használja. Látható, hogy mind a pangóvíz, mind a friss kútvíz esetén az általam mért adatok a határértéket jócskán meghaladják. A tavacska esetén a felszíni vizekre vonatkozó határértékeket használtam, a táblázat adataiból leolvasható, hogy ez a víz a vizsgált komponens esetén IV. (2006. november), vagyis szennyezett, illetve az V. (2006. augusztus, 2007. május), erősen szennyezett kategóriába tartozik (*KöM-EüM-FVM-KHVM együttes rendelete, 2000*).



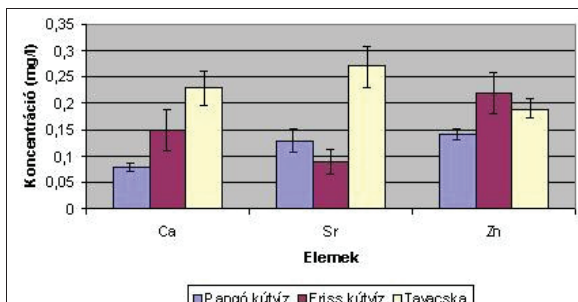
28.a. ábra: A 2006 augusztusában vizsgált vízmintákban kimutatott elemek



28.b. ábra: A 2006 novemberében vizsgált vízmintákban kimutatott elemek



28.c. ábra: A 2007 februárjában vizsgált vízmintákban kimutatott elemek



28.d. ábra: A 2007 májusában vizsgált vízmintákban kimutatott elemek

Összegzésként megállapítható, hogy a TXRF-vizsgálatra kiválasztott salakmintákban

nagy mennyiségben találtunk kalciumot és káliumot, továbbá tíz, a környezetre potenciálisan veszélyes fémeket (Cu, Zn, Cd, Ag, Ba, Mo, Fe, Mn, Sr, Rb) sikerült kimutatni. Ezek legtöbbje határérték feletti mennyiségben van jelen a mintákban, így az eredményekből arra lehet következtetni, hogy a lerakott salakhányók a bennük levő fémek miatt is jelentős veszélyt jelentenek a környezetre, illetve a környéken lakók egészségére.

A vizsgált vízminták elemzésekor csak a cinket találtam kimutatási határ feletti mennyiségben, ennek alapján ez az elem jelenthet komoly veszélyt (*KöM-EüM-FVM-KHVM együttes rendelete, 2000*).

Figyelembe kell venni azt a tényt is, hogy a salaklerakót már csaknem egy évszázada (1912-ben) megnyitották, tehát a talajra, a vizekre, illetve a környező élővilágra hosszú ideje hatással vannak a hányók. A lakosság esetén sem beszélhetünk egyszeri behatásról, hiszen vannak lakóházak, amelyek csupán néhány száz méterre épültek a lerakótól. Az itt élők tehát szintén folyamatos szennyezésnek vannak kitéve, elsősorban a finom szemcseméret deflációja, és a csapadék lehordó hatása miatt.

6.5. A salakmintákból kioldható anionok mennyiségi meghatározásának eredményei

6.5.1. Szulfátion-tartalom

A mintaelőkészítés során elkészített salakoldatból kimutatott szulfátion-tartalom eredményeit a 20. táblázat foglalja össze.

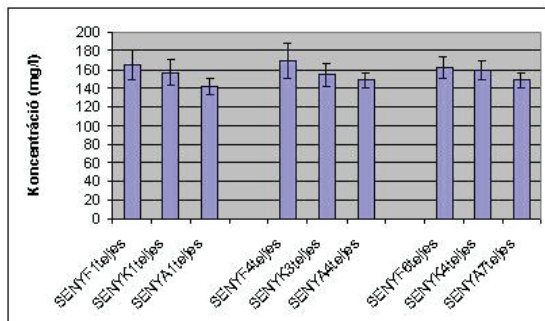
20. táblázat: A salakoldatból kimutatott szulfátion-tartalom eredményei

FÚRÁS	MINTÁK					
Felső fúrás	SENYF1 _{teljes}	SENYF1 _{0,063}	SENYF4 _{teljes}	SENYF4 _{0,063}	SENYF6 _{teljes}	SENYF6 _{0,063}
mg/l	165±16	172±14	169±19	179±21	162±12	174±14
Középső fúrás	SENYK1 _{teljes}	SENYK1 _{0,063}	SENYK3 _{teljes}	SENYK3 _{0,063}	SENYK4 _{teljes}	SENYK4 _{0,063}
mg/l	157±15	168±18	154±13	169±14	159±13	170±15
Alsó fúrás	SENYA1 _{teljes}	SENYA1 _{0,063}	SENYA4 _{teljes}	SENYA4 _{0,063}	SENYA6 _{teljes}	SENYA6 _{0,063}
mg/l	142±13	151±14	148±12	155±13	148±11	153±14

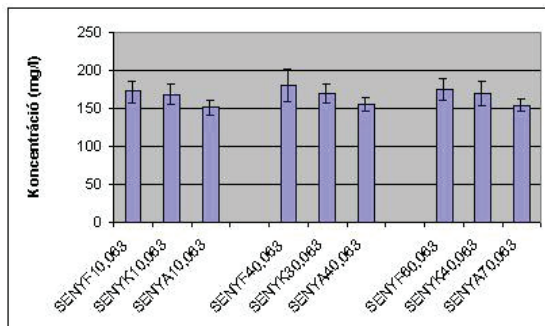
Ha az egyes fúrásokban a vertikális szulfáteloszlást vizsgáljuk, elmondható, hogy a szítálatlan minták szulfáttartalma minden fúrásban kisebb, mint a 0,063 mm alatti szemcseméretű mintáké. A koncentrációértékek között nincs nagy ingadozás, minden fúrás esetén 10% alatti eltérést kaptam a többi eredményhez képest. Összességében a legnagyobb koncentrációértékeket a felső fúrás mintáinál mértem, az alsó fúrás felé

haladva pedig mind a szítálatlan, mind a 0,063 mm szemcseméretű minták aniontartalma csökken.

Összehasonlítottam a különböző fúrások azonos szintjeinek szulfáttartalmát is, eredményeimet a 29. a.-b. ábrán mutatom be.



29. a. ábra: A szítálatlan minták szulfáti-on-tartalma



29. b. ábra: A 0,063 mm alatti szemcseméretű minták szulfáti-on-tartalma

Mind a szítálatlan, mind a 0,063 mm-es szemcse nagyságú mintánál minden fúrás esetén a felső szint tartalmazza a legtöbb szulfátot, és az alsó szint felé ez csökken. Az egyes szinteken belül a fúrások szulfáttartalmának eloszlása változó, de nem mutat túl nagy ingadozást, minden esetben 5% körüli.

Összességében tehát a szulfáttartalom változásáról elmondható, hogy a szítálatlan minták szulfáttartalma kisebb, mint a 0,063 mm alatti szemcseméretű mintáké, a fúrások felső szintjétől lefelé pedig növekvő szulfáttartalommal számolhatunk (Angyal Zs. 2006b).

A szulfát jelenték a salakpernyében a redukív markazit és pirit oxidációja magyarázza, amely a felszín közelében gipszként van jelen. Ezt támasztják alá a kúpok felszínén és a barázdákban megfigyelhető fehéres kiválások is. Eredményeimet a geokémiai vizsgálatok is megerősítik.

6.5.2. Nitrátion-tartalom

A salakmintákból készített szűrletek nitrátion-méréseinek adatait a 21. táblázat foglalja össze.

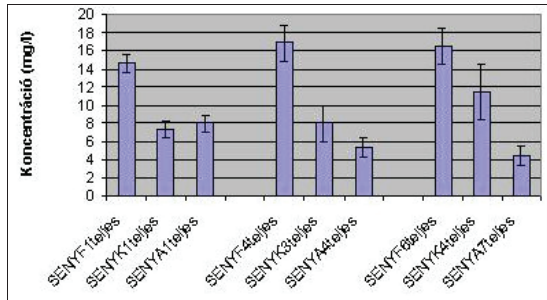
21. táblázat: A salakoldatból kimutatott nitrátion-tartalom adatai

FÚRÁS	MINTÁK					
Felső fúrás	SENYF1 _{teljes}	SENYF1 _{0,063}	SENYF4 _{teljes}	SENYF4 _{0,063}	SENYF6 _{teljes}	SENYF6 _{0,063}
mg/l	14±1	20±3	16±2	23±2	16±2	19±3
Középső fúrás	SENYK1 _{teljes}	SENYK1 _{0,063}	SENYK3 _{teljes}	SENYK3 _{0,063}	SENYK4 _{teljes}	SENYK4 _{0,063}
mg/l	7±1	8±2	7±2	8±2	11±3	13±3
Alsó fúrás	SENYA1 _{teljes}	SENYA1 _{0,063}	SENYA4 _{teljes}	SENYA4 _{0,063}	SENYA6 _{teljes}	SENYA6 _{0,063}
mg/l	7±1	8±2	5±1	5±1	4±1	4±1

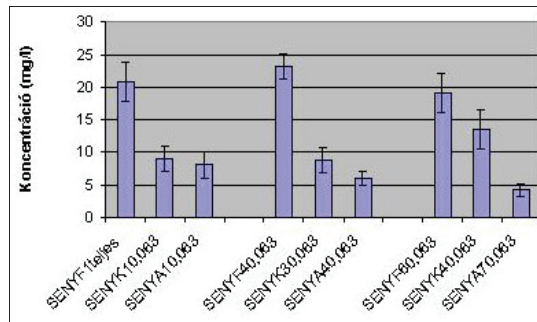
A 21. táblázat adatait, illetve a megvizsgálva jó látszik, hogy a szűrlet nitráttartalma esetén is hasonló a tendencia, mint a szulfáttartalomnál, vagyis a szítálatlan minták nitráttartalma kisebb, mint a 0,063 mm alatti szemcsetartományé. Ez a tendencia minden fúrára igaz, a különbség az egyes szemcseméret koncentráció között a középső és alsó fúrásnál csökken, olyannyira, hogy az alsónál a felső és alsó szinten megegyező koncentrációértékkel számolhatunk. Az egyes fúrások különböző szintjein nem látható egységes tendencia, míg a felső fúrásnál a középső (SENYF4_{teljes} és SENYF4_{0,063}), addig a középső fúrásnál a legalsó (SENYK4_{teljes} és SENYK4_{0,063}), az alsó fúrásnál pedig a legfelső szinten (SENYA1_{teljes} és SENYA1_{0,063}) mértük a legnagyobb koncentrációt.

A szítálatlan és a 0,063 mm alatti szemcseméretű mintákat szintenként összehasonlítva szintén hasonló tendencia rajzolódik ki, mint a szulfátion esetén, vagyis mindkét szemcseméretnél a mélységgel csökkenő koncentrációértéket mértem (30. a.-b.

ábra). A különböző fúrások azonos szintjein nem egységes a kép, viszonylag kis eltérések mellett hol az egyik, hol a másik fúrás mintái nagyobb koncentrációjúak.



30. a. ábra: A szítálatlan szemcseméretű minták nitrátion-tartalma



30. b. ábra: A 0,063 mm alatti szemcseméretű minták nitrátion-tartalma

6.5.3. Kloridion- tartalom

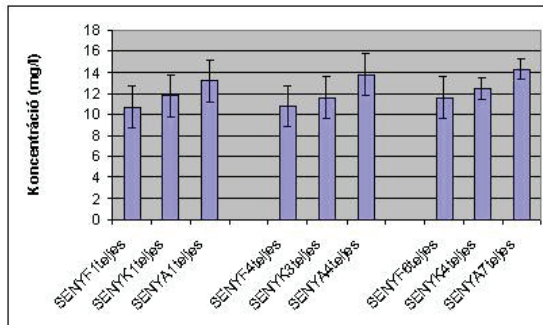
A mintákból készített szűrlet kloridion tartalmát a 22. táblázat foglalja össze.

22. táblázat: A salakoldatból kimutatott kloridion-tartalom adatai

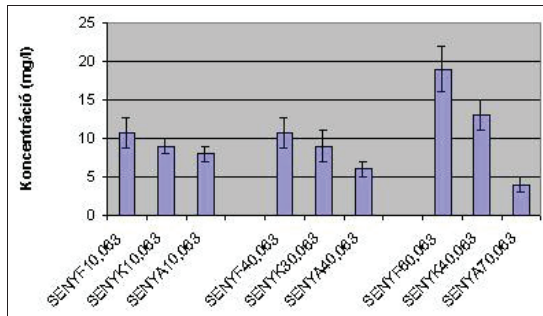
FÚRÁS	MINTÁK					
Felső fúrás	SENYF1 _{teljes}	SENYF1 _{0,063}	SENYF4 _{teljes}	SENYF4 _{0,063}	SENYF6 _{teljes}	SENYF6 _{0,063}
mg/l	11±2	11±2	11±2	11±2	12±2	19±3
Középső fúrás	SENYK1 _{teljes}	SENYK1 _{0,063}	SENYK3 _{teljes}	SENYK3 _{0,063}	SENYK4 _{teljes}	SENYK4 _{0,063}
mg/l	12±2	9±1	12±2	9±2	12±1	13±2
Alsó fúrás	SENYA1 _{teljes}	SENYA1 _{0,063}	SENYA4 _{teljes}	SENYA4 _{0,063}	SENYA6 _{teljes}	SENYA6 _{0,063}
mg/l	13±2	8±1	14±2	6±1	14±1	4±1

A 22. táblázatból és az adatokból készített jól látszik, hogy a felső fúrás szítálatlan és 0,063 mm alatti szemcseméretű mintákban kimutatott koncentrációk között minimális a különbség. Jól látszik az is, hogy a fúrás felső és középső szintjéhez képest az alsó szintben vizsgált mindkét szemcsetartomány kloridion-tartalma kiugró. A középső fúrásban is hasonló a tendencia, de a szítálatlan szemcseméretű minták kloridtartalma ebben az esetben valamivel nagyobb, mint a felső fúrásnál. Az alsó szint mintáinak kiugró értékei itt is jól látszanak. Az alsó mintáknál ez a kiugrás nem ennyire markáns, a különböző szintek koncentrációértékei ennél a fúrásnál kiegyenlítettebbek.

A különböző fúrások azonos szintjeit összehasonlítva látható, hogy minden szinten az alsó fúrásból származó minták kloridion-tartalma a legnagyobb (31. a.-b. ábra). A felső és középső fúrás mintáinál az alsó szintben mutatkozik különbség.



31. a. ábra: A szítálatlan minták kloridion-tartalma



31. b. ábra: A 0,063 mm szemcseméretű minták kloridion-tartalma

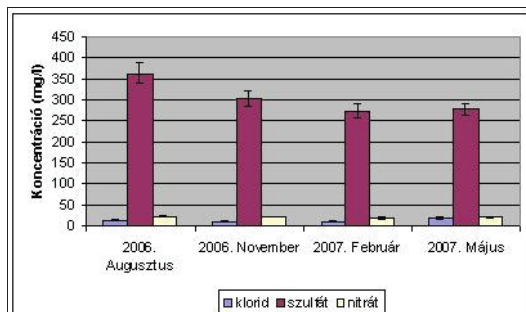
6.6. A salakmintákból kioldható anionok mennyiségi meghatározásának eredményei

A vízminták elemzésének eredményeit a 32. a.-d. ábrák foglalják össze.

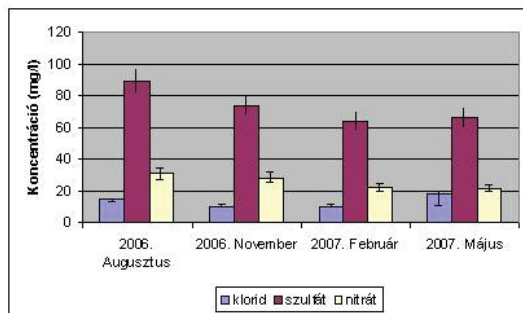
Látható, hogy a vizsgált anionok mennyiségi eloszlása évszakosan nagyon eltérő, ám a különböző anionok között hasonló tendencia fedezhető fel a koncentrációváltozás tekintetében. A szulfátiónnál szembetűnő a pangó kútvíz kiugróan nagy koncentrációja a többi mintához képest. A friss kútvíz és a forrásvíz koncentrációértékei között évszakosan alig mutatható ki különbség. Mindhárom mintára igaz, hogy a nyári szárazabb időszak nagy koncentrációértékei után a csapadékosabb őszi és téli, illetve tavasz miatt ezekre az évszakokra alacsonyabb aniontartalom jellemző. A forrásvíz adatainak téli hiánya azzal magyarázható, hogy ebben az évszakban a forrás és környéke be volt fagyva.

A nitrátió vizsgálati eredményei némileg eltérő képet mutatnak a szulfátióhoz képest. Ebben az esetben is jellemző a nyári nagy koncentráció és a téli minimum. A mintavételi helyek nitrátió koncentrációi azonban különböznek a szulfátiótól; ebben az esetben éppen a pangó víz koncentrációértékei a legkisebbek és a tavaszi minta kivételével a friss kútvíz értékei a legnagyobbak. Ez az eltérés azonban nem annyira kiugró, mint a szulfát esetén.

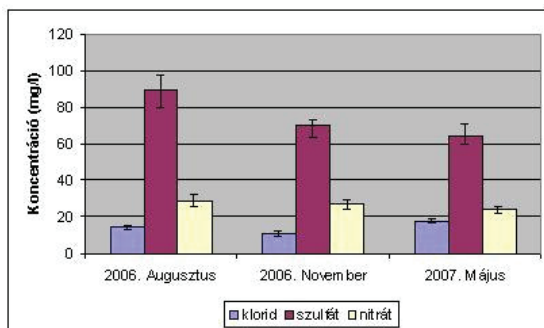
A kloridion esetén a diagramon feltűnő az egyes évszakokban vett vízminták koncentrációértékeinek egyezése. Ebben az esetben a legnagyobb értéket tavasszal mértem, de viszonylag nagy értékek jellemzőek nyáron is. Az őszi és téli minták koncentráció között lényegi különbség nincs.



32. a. ábra: A pangó kútvíz anion-koncentrációi a különböző mintavételi időpontokra



32. b. ábra: A friss kútvíz nitrátion-koncentrációi a különböző mintavételi pontokban



32. c. ábra: A tavacska kloridion-koncentrációi a különböző mintavételi időpontokban

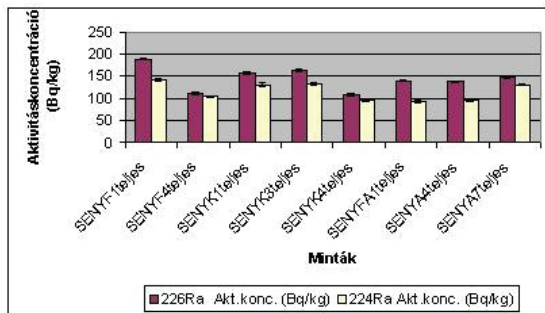
6.7. A lerakott salakpernye radioaktivitás-vizsgálatainak eredményei

A vizsgált salakpernye radioaktivitás-vizsgálatának eredményeit a 23. táblázat foglalja össze. A kapott eredmények és számításaink ennél részletesebb, összesített táblázata megtalálható a *CD-ROM mellékletben*.

23. táblázat: A vizsgált salakminták aktivitáskoncentrációja

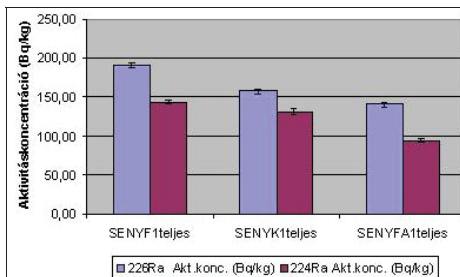
	Minta sorszáma	226Ra Akt.konc. (Bq/kg)	Hiba	224Ra Akt.konc. (Bq/kg)	Hiba
Felső fúrás	SENYF1 _{teljes}	190	3	143	3
	SENYF4 _{teljes}	112	2	103	2
Középső fúrás	SENYK1 _{teljes}	157	3	131	3
	SENYK3 _{teljes}	164	3	132	3
	SENYK4 _{teljes}	108	2	95	2
Alsó fúrás	SENYA1 _{teljes}	140	3	94	2
	SENYA4 _{teljes}	138	3	95	3
	SENYA7 _{teljes}	149	2	131	2

A 23. táblázat adataiból, illetve a 33. ábráról leolvasható, hogy a Ra-226-ból, vagyis az urán bomlási sorából származó aktivitáskoncentrációk minden esetben nagyobbak, mint a tórium bomlási sorából származó Ra-224-es aktivitáskoncentrációk. Az egyes fúrások eredményei között ismétlődő tendenciát nem fedeztem fel; míg a felső és a középső fúrásban a mélységgel csökken az aktivitáskoncentráció, addig az alsó fúrásban ez az érték növekedést mutat. Az egyes fúrások és fúrásszintek aktivitáskoncentrációi közti szabálytalan eloszlást a salakkúpok lerakásának technikájával, és ehhez kapcsolódóan az elégetett szén eltérő minőségével van összefüggésben. A drótkötélpályán kiszállított salakpernyét rázúdították az eddig meglévő rétegekre. A lejtős tömegmozgások, illetve az erózió miatt történő lepusztulás az eltelt évtizedek alatt a hányók anyagát alaposan átmozgatta, így az általam mélyített fúrások szelvényei akár több évnyi lerakás anyagát is tartalmazhatják. Ennyi idő alatt pedig megtörténhetett, hogy akár egy bányán belül is különböző radioaktivitású szenet hoztak a felszínre, illetve, hogy több nógrádi bánya is szállított az erőműnek fűtőanyagot (Varsányi S. 1987). Elképzelhető tehát, hogy más-más összetételű radioaktivitású erőművi salak és pernye képződött és a lepusztulás után ezek rétegei egymás közelébe kerülhettek.



33. ábra: A vizsgált salakminták aktivitáskonzentrációi

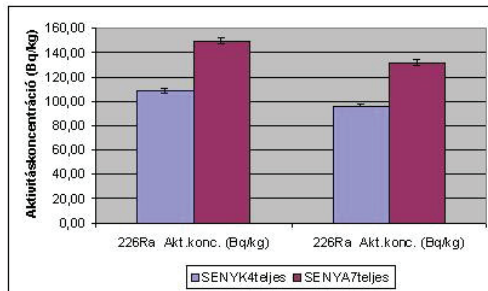
Ha a különböző fúrások azonos szintjeit vizsgáljuk (34. a.-c. ábra), elmondható, hogy a felső szintek esetén a kúp teteje felől lefelé csökkenő tendencia figyelhető meg. Az egyes fúrások középső szintjei közül a középső minta mutatja a legnagyobb értéket. Az alsó szintek eredményei pedig lefelé növekvő értékeket mutatnak. Ez a tendencia is a lepusztulás, illetve a növényzet elterjedésének speciális módja miatt alakult ki. Amikor a minták legelső szintjét deponálták, a salakpernye folyamatos kihordása miatt a növényzet még nem tudott megtelepedni, vagyis az eróziót nem gátolta semmi. Emiatt a felsőbb régiókban lerakott, nagyobb radioaktivitású anyag is a lejtőn lefelé vándorolhatott és a kúpok alján felhalmozódott. A salakpernye kihordásának, vagyis az állandó bolygatásnak a megszűnésével a növényzet a kúpok aljától fokozatosan meghódította a lejtő felszínét, és ezzel megakadályozta a felső régió anyagának a kúp aljáig történő lepusztulását (lásd VI.2. fejezet). Így a viszonylag nagy aktivitású réteg a kúpok tetején a felszínen maradhattak.



34. a. ábra: A fúrások felső mintáinak aktivitáskonzentrációi



34. b. ábra: A fűrások középső mintáinak aktivitáskonzentrációi



34. c. ábra: A fűrások alsó mintáinak aktivitáskonzentrációi

A vizsgált minták mérése után kapott eredményeimet összehasonlítva a szakirodalmi adatokkal, elmondható, hogy a Salgótarjáni Erőműből származó salakpernye aktivitáskonzentrációja az országos átlag (100-200 Bq/kg) között mozog, vagyis világviszonylatban magasnak mondható (Szabó I. 1991).

6.8. A salakhányók és környezetük növényzetének természetvédelmi és ökológiai értékelése

6.8.1. Salakhányók

A salakhányókon mint új élőhelyeken viszonylag gyorsan megindul a fajok betelepülése a környező élőhelyekről. Tájökológiai és természetvédelmi szempontból különösen fontos kérdés, hogy fajkészletüket, térszerkezetüket tekintve mennyiben

tekinthető természetesnek az itt kialakuló vegetáció, mikor alakulnak ki már a klasszikus értelemben vett növénytársulások (35-36. ábra), illetve ezek mennyiben lehetnek alapjai egy jövőbeli tájrehabilitációs, vagy akár élőhelyrekontstukciós tervnek. Fenti kérdések megválaszolásában fontos lépés a salakkúp növényzetének elemző vizsgálata.



35.ábra: Az idősebb salakkúp északnyugati oldalának jellemző növényzete

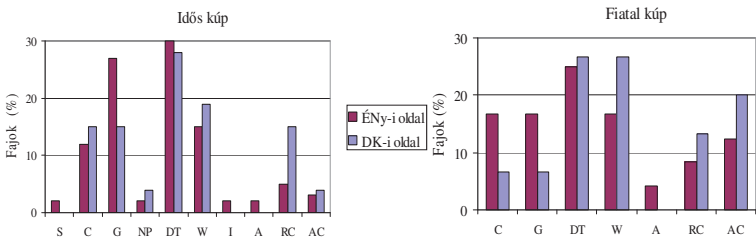


36. ábra: Az idősebb salakkúp délkeleti oldalának jellemző növényzete

6.8.1.a. Természetességi érték (SBT)

A vizsgált salakkúpok különböző kitettségi oldalainak növényfajai alapján készült természetességet, illetve a degradáltságot jelző fajok arányainak alakulásáról ad képet a 37. ábra.

A megtelepedett növényzet természetességi állapotát vizsgálva elmondható, hogy a salakhányók mindkét oldalán a zavarástűrő természetes fajok (DT) uralkodnak. A természetes gyomfajok (W) aránya is jelentős, különösen a fiatalabb kúp DK-i oldalán, míg a generalisták (G) inkább a salakhányók az ÉNy-i oldalán jellemzők. Említést érdemelnek még a ruderális kompetítorok (RC), amelyek aránya a DK-i oldalon jelentősen nagyobb, mint az ÉNy-i lejtőkön. A kompetítorok (C) inkább a fiatal salakhányó ÉNy-i oldalára jellemzők, ahol arányuk több mint kétszerese a délies kitettségi lejtő növényzetének kompetítor fajainál. A specialista (S), a természetes pionírok (NP), a honos idegen (I) és adventív (A) növények mindössze néhány fajjal képviselték. A gyakori zavarásnak kitett élőhelyekre jellemző ruderális kompetítorok (RC) közel azonos arányban képviseltetik magukat mindkét vizsgált mintaterületen. A tájidegen és agresszív inváziós fajok (AC) dominanciája a fiatal salakhányón szembevetendő, elsősorban a DK-i oldalon, míg az idősebb hányón mindössze néhány százalékot tesznek ki mindkét oldalon. Ennek valószínűsíthető oka az, hogy a másodlagos szukcesszió előrehaladtával a tájidegen inváziós fajokat visszaszorítják az idővel betelepült kompetítor és generalista növényfajok (Szabó M. et al. 2007).



37. ábra: A salakkúpok növényzetének természetességi értékei (SBT)

S: specialisták, a termőhelytípus érzékeny indikátorai

C: kompetítor fajok – természetes társulások domináns fajai, amelyek hosszú távon képesek stabilizálni a közösség összetételét

G: generalisták (vagy szűkebb értelemben vett kísérő fajok), amelyek sokféle társulásban és különböző élőhelyeken megélnek, de az antropogén zavarást rosszul tűrik

NP: természetes pionír fajok – újonnan kialakult élőhelyeken a meginduló szukcessziós sorok kezdő stádiumának fajai. Az abiotikus környezeti tényezők szélsőségeit jól tűrik.

DT: zavarástűrő természetes növények – „mesterséges létesítmények”, esetünkben a salakkúp benépesítésében vezető szerepet játszó évelő fajok

W: természetes gyomfajok – tartós antropogén hatás alatt álló mesterséges termőhelyek társulásaira jellemzőek, jórészt egyéves fajok

I: meghonosodott idegen fajok - tájidegen növények, az élőhely természetessége szempontjából nem kívánatosak

A: behurcolt (adventív, jövevény) fajok – tájidegenek, általában másodlagos termőhelyeken kialakult növényzetbe illeszkednek be

RC: ruderalis kompetitorok – a természetes flóra jellemző gyomfajai, gyakoriak a zavarásnak kitett élőhelyeken

AC: agresszív tájidegen inváziós fajok – táj- és flóraidegen növények, agresszív terjedési stratégiájuk révén gyorsan uralkodóvá válnak, ezáltal gátolják a természetes szukcessziós folyamatokat

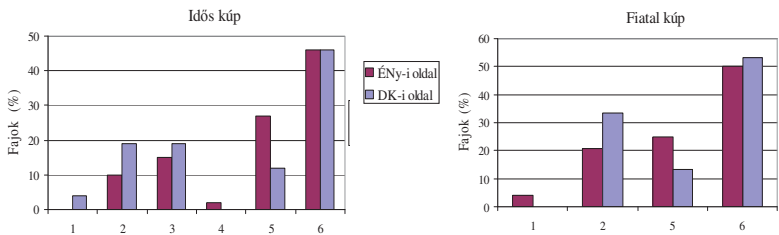
Összefoglalva elmondható, hogy a természetességet jelző fajok (S+C+G+NP) aránya az idős kúpon valamivel nagyobb, míg a fiatal kúpon az élőhely zavartságát, degradációját jelző fajok (DT+W+I+A+RC+AC) dominálnak. Mindkét esetben az ÉNY-i oldal növényzete áll valamivel közelebb a természetes állapothoz. Az is közös vonás, hogy a zavarástűrő természetes fajok (DT) az uralkodók, illetve különösen a fiatal hányón jelentős az aránya a mesterséges élőhelyekre igen jellemző természetes gyomoknak (W). Említést érdemelnek még a generalisták (G), a természetes élőhelyek növényzetének tágtűrűsű fajai, amelyek az antropogén zavarást jól tűrik. A ruderalis kompetitorok (RC) a fentebb említett természetes gyomokkal (W) együtt a gyakori zavarásnak kitett élőhelyeken hatékony terjedési stratégiájuk miatt válnak uralkodóvá. Az agresszív inváziós fajok (AC) táj- és flóraidegen növények, bekerülve egy élőhelyre gyors terjedésük miatt rövidesen uralkodóvá válnak. Gátolják a természetes szukcessziós folyamatokat, s ezúton akadályozzák a természetes élőhelyek regenerációját. Közéjük tartoznak pl. az aranyvessző-fajok (*Solidago gigantea* és *Conyza canadensis*), valamint a fehér akác (*Robinia pseudo-acacia*). A délies kitétségű lejtőkön elsősorban az abiotikus környezeti tényezők extremitásai, illetve szélsőségei érvényesülnek, amelyek korlátozzák bizonyos növényfajok megtelepedését, ami a fajszámban és a természetességi értékspektrumban is tükröződnek (Szabó M. et al. 2007).

6.8.1.b. Cönotípus szerinti értékelés (Soc. Chr)

A salakhányókon megtelepedett növényzet fajai különböző típusú társuláscsoportokból kerülnek ki. A fajkészlet jelenlegi, társulástani csoportok szerinti (ún. cönotípus) összetételéből következtethetünk a szukcesszió irányára és folyamataira. A társuláscsoport szerinti értékelést a 38. ábra foglalja össze, ami jól dokumentálja, hogy a vizsgált élőhelyen megtelepedett növénytakaré elemi jellegzetesen milyen típusú

társulásokra jellemzők. Az indifferens, vagyis egy konkrét cönológia csoportba sem besorolható fajok (6. kategória) fordulnak elő kiugróan nagy arányban mindkét kúp mindkét vizsgált (ÉNy és DK) oldalán. Ez arra utal, hogy még nem következett be a növényi populációk társulásokká szerveződése. Az ÉNy-i oldalakon figyelemre méltó a lombos erdőkre jellemző fajok 25%-os aránya, ami a távolabbi jövőben egy mezofil típusú erdő kialakulását eredményezheti.

A hányók mindkét oldalán nagy számban vannak jelen az állandó zavarásnak kitett élőhelyek jellemző fajai (2. kategória) különösen a DK-i oldalakon. A szintén zavarás által fenntartott, antropo- és zoogén élőhelyeken kialakult társulások fajai csak az idősebb hányón telepedtek meg, mert itt már elegendő idő állt rendelkezésre a megtelepedésére. A vízi növényzet egyetlen fajjal, a náddal képviselteti magát (*Szabó M. et al. 2007*).



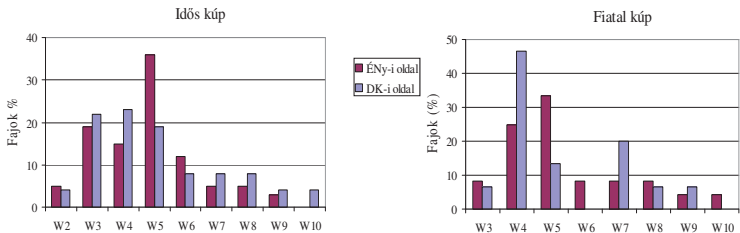
38. ábra: A salakkúpok növényzete cönológiai csoportok szerint (Soc.Chr.)

- 1: vízi, mocsári, lápi növényzet képviselői
- 2: zavart termőhelyek lágyszárú növénytársulásaira jellemző fajok
- 3: antropo- és zoogén félcserjések, gyepek és rétek fajai
- 4: erdőközeli cserjések és kóros rétek növényei
- 5: lombos erdők növényfajai
- 6: indifferens növényfajok

6.8.1.c. Vízigény szerinti értékelés (WB)

Az élőhely vízellátottsága a növényfajok WB-értékeiben, mint a fajok relatív vízigényét kifejező ökológiai értékszámokban nyilvánul meg. Az értékek jelzik a hányók két oldalán kialakult vízellátottsági viszonyokat (39. ábra). A W-értékek meglepően tág határok között alakulnak. Míg az extrém szárazságtűrők (W: 2, 3, 4) alapvetően a délkeleti kitettségű oldalakra jellemzők, addig a közepes vízigényű ún. mezofil fajok (W: 5, 6, 7) az északnyugati lejtőkre. A vízigényes fajok aránya (W: 8, 9, 10) a két kúp mindkét oldalán alárendelt, egyik kategória sem éri el a tíz százalékot.

A vízigényes fajok előfordulásának oka a lerakóhelyben keresendő. A két salakkúpot egy mélyedésben kialakult vizes élőhely két végében rakták le, ahonnan a természetes flóra elemei könnyen benépesíthették a hányókat, mint új mesterséges élőhelyeket. A két kúp közötti mélyedés még napjainkban is őrzi a hajdani mocsár egyes elemeit, a jellemzően vízigényes növényfajokat. Ezen túlmenően a hányók közelében (néhány száz méterre tőlük) egy forrás bukkan felszínre, amelynek környékén jórészt a mocsári növények uralkodnak (Szabó M. et al. 2007).

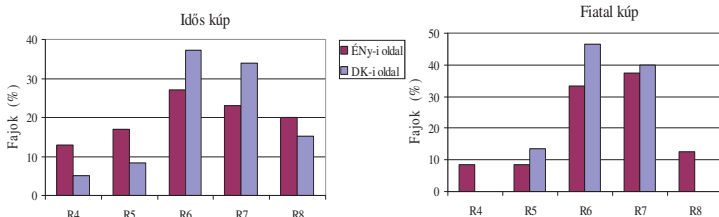


39. ábra: A salakkúpok növényzetének talajnedvesség-indikátor értékei (WB)

WB 2, 3, 4: szárazságtűrő- és tűrő növények
 WB 5, 6, 7: üle, ún. mezofil termőhelyek nedvességjelző fajai
 WB 8, 9, 10: vízigényes, ill. vízi növények

6.8.1.d. A kémhatás szerinti értékelés (RB)

Az aljzat/talaj kémhatásának indikációjára régóta ismert és használt az ott élő növények ún. talajreakció relatív értékszámai (RB) alapján készített spektrum, amit a 40. ábra foglal össze. Az ábrából leolvasható, hogy a neutrális talajok növényei, illetve a tágtűrű indifferens fajok (R6) és a gyengén bázikus élőhelyet jelzők (R7) uralkodnak a hányók mindkét oldalán. Mellettük, bár kisebb számban előfordulnak gyengén savanyú élőhelyre jellemző fajok is (R4, R5).



40. ábra: A salakkúpok talaj/subsztrát pH-indikációja (RB)

- R4: mérsékelten savanyúság jelző növények
- R5: gyengén savanyú talajok fajai
- R6: neutrális talajok fajai, ill. tágtűrősebb indifferent fajok
- R7: gyengén bázikus talajokat jelző fajok
- R8: mészkedvelő növényfajok

A laboratóriumi méréseim alapján a salakszűrlet kémhatása savanyúnak, $\text{pH} = 4,5\text{-}5$ körülnek adódott. Ez a savanyúság azonban – mint látható – nem jelentkezik ilyen markánsan a megtelepedett növényfajok pH indikációs értékeiben. Eredmények alátámasztják azt a tényt, hogy a szukcesszió során a növényzet idővel módosítja az aljzat pH -ját (Szabó M. et al. 2007).

6.8.2. A két kúp közötti lapály

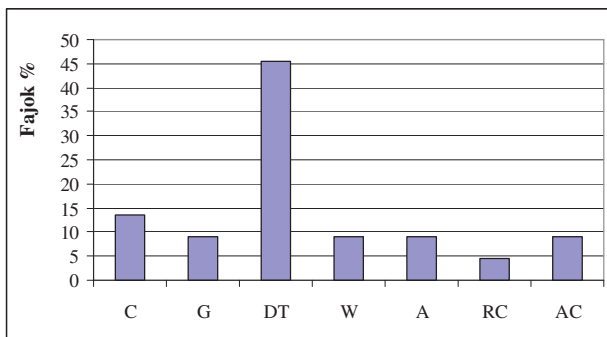
A terület növényzetének képe már első ránézésre is az idősebb kúp nyugati, fás szárúakban gazdagabb növényzetű oldalához hasonlít (41. ábra). A fajok meghatározása után ez a feltevés már a fajlistával is alátámasztható.



41. ábra: A két kúp közötti lapály jellemző növényzete

6.8.2.a. Természetességi érték (SBT)

A két salakkúp közötti lapály növényfajainak felmérése alapján készült természetességet és degradáltságot jelző fajok arányainak alakulását mutatja a 42. ábra.



42. ábra: A kúpok közötti lapály növényzetének természetességi (SBT) értékei

C: kompetitor fajok – természetes társulások domináns fajai, amelyek hosszú távon képesek stabilizálni a közösség összetételét

G: generalisták (vagy szűkebb értelemben vett kísérő fajok), amelyek sokféle társulásban és különböző élőhelyeken megélnek, de az antropogén zavarást rosszul tűrik

DT: zavarástűrő természetes növények – „mesterséges létesítmények”, esetünkben a lapály benépesítésében vezető szerepet játszó évelő fajok

W: természetes gyomfajok – tartós antropogén hatás alatt álló mesterséges termőhelyek társulásaira jellemzőek, jórészt egyéves fajok

A: behurcolt (adventív, jövevény) fajok – tájidegenek, általában másodlagos termőhelyeken kialakult növényzetbe illeszkednek be

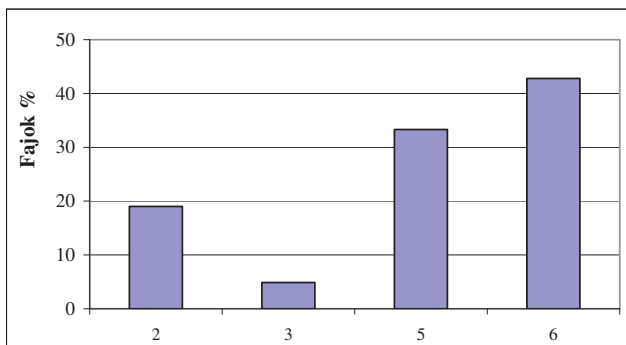
RC: ruderalis kompetitorok – a természetes flóra jellemző gyomfajai, gyakoriak a zavarásnak kitett élőhelyeken

AC: agresszív tájidegen inváziós fajok – táj- és flóraidegen növények, agresszív terjedési stratégiájuk révén gyorsan uralkodóvá válnak, ezáltal gátolják a természetes szukcessziós folyamatokat

A diagramról leolvasható, hogy a lapály növényzetében – akárcsak a salakkúpokon – túlsúlyban vannak a degradáltságot jelző fajok (DT), ezek a növények teszik ki az összes faj majdnem felét (46%). Az összes többi faj részaránya 15% alatt marad, közülük a legnagyobb arányban (13%) a kompetitor fajok (C) vannak jelen. A legkevesebb fajjal a ruderalis kompetitorok (RC) képviseltetik magukat, ezek részaránya nem éri el az 5%-ot sem. A természetességet jelző fajok (S+C+G+NP) közül specialistákat (S) és természetes pionfrokot (NP) nem sikerült meghatározni a vizsgált területen, így a természetességet jelzők mindössze 20%-ban vannak jelen, vagyis a zavarástűrő növények dominanciája a jellemző (Szabó M. et al. 2007).

6.8.2.b. Cönótípus szerinti értékelés (Soc. Chr)

A társuláscsoport szerinti értékelést a 43. ábra foglalja össze. Ebben az esetben is azt vizsgáltam, hogy a lapályon meghatározott növényzet elemei jellegzetesen milyen típusú társulásokra jellemzők.



43. ábra: A kúpok közti lapály növényzete cönológiai csoportok (Soc.Chr.) szerint

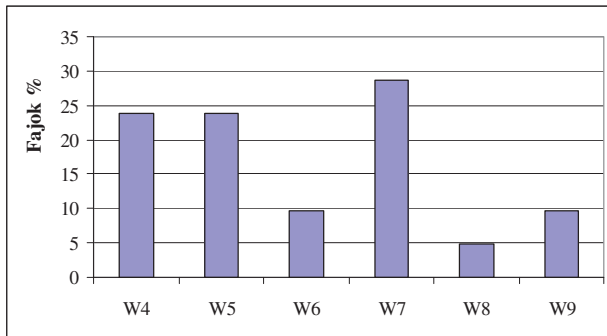
- 2: zavart termőhelyek lágyszárú növénytársulásaira jellemző fajok
- 3: antro- és zoogén félcserejések, gyepek és rétek fajai
- 5: lombos erdők növényfajai
- 6: indifferens növényfajok

Akárcsak a salakhányók növényzeténél, itt is az indifferens, vagyis egyértelműen egyik társulásba sem sorolható növényfajok aránya a legmagasabb (43%). Ez a nagy arány ebben az esetben is azzal magyarázható, hogy a salak lerakása óta eltelt több évtized nem volt elegendő ahhoz, hogy jól elkülöníthető társulás alakuljon ki. Ez összefüggésbe hozható a terület szélsőséges környezeti viszonyaival (pH, vízeloszlás). Figyelemre méltó a lombos erdők fajainak részaránya is (33%), amely közelít az indifferens fajok arányához. 20% körüli a zavart termőhelyekre jellemző fajok aránya, míg az antro- és zoogén félcserejések, gyepek és rétek fajai az összes növényfajnak csak 5%-át adják (Szabó M. et al. 2007).

6.8.2.c. Vízigény szerinti értékelés (WB)

Az értékek jelzik a hányók két oldalán kialakult vízellátottsági viszonyokat (44. ábra). A WB-értékek a salakkúpokhoz hasonlóan itt is tág határok között mozognak, bár ezen a területen nem talákoztam extrém szárazságjelző, illetve vízi fajokkal. A

legnagyobb arányban a mezofil termőhelyeket kedvező növények (W7) vannak jelen, ezek az összes faj majdnem 30%-át teszik ki. A salakhányókhhoz hasonlóan meghatározó a W4-W5-ös növények részaránya is. Az előzőekhez képest nagynak mondható a vízigényes (W9) fajok száma is, ez az eredmény alátámasztja azt a feltevést, hogy a lerakóterület egykor vizes élőhely volt (Angyal Zs. 2003). Az eredetileg itt megtelepedett természetes növényzet egy része képes volt meghódítani a lerakott hányókat, míg más részük nem tudta elviselni a salakon kialakult szélsőséges viszonyokat (Szabó M. et al. 2007).



44. ábra: A kúpok közötti lapály növényzetének talajnedvesség-indikátor (WB) értékei

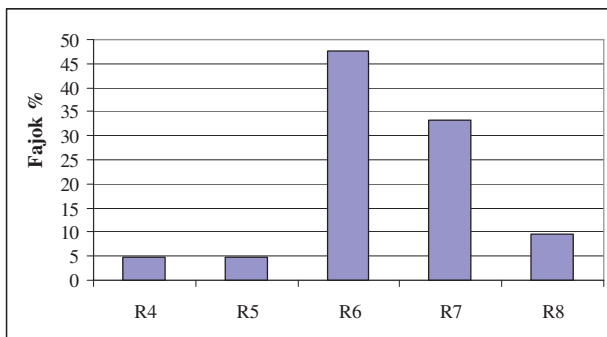
WB 2, 3, 4: szárazsággjelző- és tűrő növények

WB 5, 6, 7: üde, ún. mezofil termőhelyek nedvességjelző fajai

WB 8, 9, 10: vízigényes, ill. vízi növények

6.8.2.d. A kémhatás szerinti értékelés (RB)

Az aljzat/talaj kémhatásának a lapály esetében a 45. ábra mutatja. A meghatározott fajok kémhatás szerinti eloszlása megegyezik a hányókon talált fajok eloszlásával. Legnagyobb arányban a neutrális és gyengén bázikus kémhatást kedvelő növényfajok élnek a lapályon (R6 és R7), ez a két kategória teszi ki az összes faj közel 80%-át. A gyengén savanyú és mészkedvelő szubsztrátigényű fajok aránya 10% alatti (Szabó M. et al. 2007).



45. ábra: A kúpok közti lapály talaj-kémhatás relatív értékei (RB)

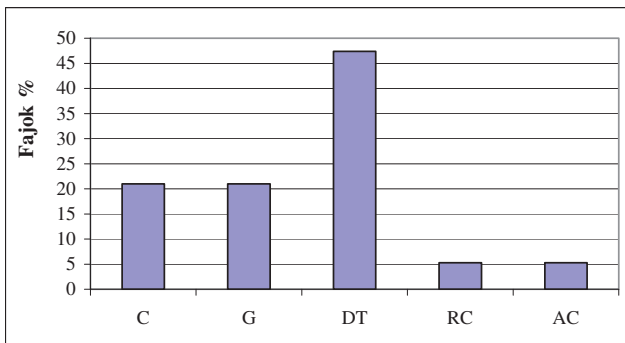
- R4: mérsékelten savanyúság jelző növények
- R5: gyengén savanyú talajok fajai
- R6: neutrális talajok fajai, ill. tágtűrési indifferens fajok
- R7: gyengén bázikus talajokat jelző fajok
- R8: mészkedvelő növényfajok

6.8.3 Tavacska

Végezetül a lerakóterület szélén, a salakkúpoktól távolabb felmért tavacska környezetében talált növényfajok besorolását végeztem el, hogy felmérjem, mennyire hasonlít ennek a területnek a növényzete a salakkúpok és szűk környezetük növényzetéhez (6. ábra). Ezzel választ kaptam arra is, hogy mekkora az a terület, ahonnan a növényzet betelepülése történhetett.

6.8.3.a. Természetességi érték (SBT)

A tavacska környezetében található növényfajok felmérése alapján készült természetességet és degradáltságot jelző fajok arányainak alakulását a 46. ábra mutatja.



46. ábra: A forrás növényzetének természetességi (SBT) értékei

C: kompetítor fajok – természetes társulások domináns fajai, amelyek hosszú távon képesek stabilizálni a közösség összetételét

G: generalisták (vagy szűkebb értelemben vett kísérő fajok), amelyek sokféle társulásban és különböző élőhelyeken megélnek, de az antropogén zavarást rosszul tűrik

DT: zavarástűrő természetes növények – „mesterséges létesítmények”, esetünkben a tavacska környezetének benépesítésében vezető szerepet játszó évelő fajok

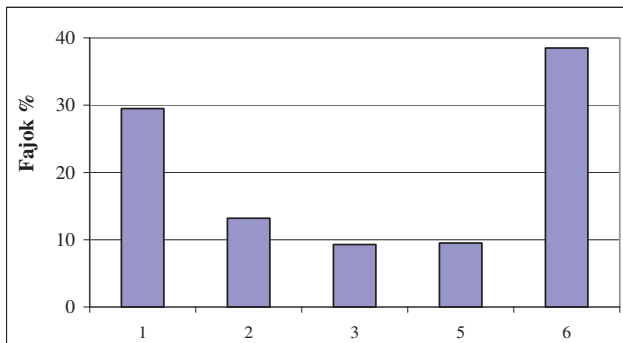
RC: ruderalis kompetítorok – a természetes flóra jellemző gyomfajai, gyakoriak a zavarásnak kitett élőhelyeken

AC: agresszív tájidegen inváziós fajok – táj- és flóraidegen növények, agresszív terjedési stratégiájuk révén gyorsan uralkodóvá válnak, ezáltal gátolják a természetes szukcessziós folyamatokat

A 46. ábráról leolvasható, hogy a kúpokhoz és a kúpok közötti területhez képest kevesebb kategóriát lehet megkülönböztetni a növényzet természetességi értékei alapján. Míg a salakhányókon az összes természetességi értékkategória megtalálható, addig a tavacska környezetének fajai mindössze 5 kategóriába sorolhatók. A természetességet jelző fajok közül csak a kompetítor fajokat (C) és a generalistákat (G) találtam, míg a zavarást jelzők közül a zavarástűrők (DT), a ruderalis kompetítorok (RC) és az agresszív tájidegen inváziós fajok (AC) vannak jelen. Arányaikat tekintve a fajok legnagyobb hányadát a zavarástűrők teszik ki (47%). A természetességet jelző fajok összaránya majdnem megegyezik ezzel (42%). A maradék két kategória (RC és AC) mindössze egy-egy fajjal képviselteti magát, ez 10-10%-ot jelent. Összességében tehát elmondható, hogy a tavacska környezetének növényzete természetességét nézve sokkal egyveretűbb, mint a salakhányók és a köztük lévő lapály növényzete. Ez valószínűleg azzal magyarázható, hogy a tavacska vizes környezete egyértelműbben meghatározza a környezeti viszonyokat, mint a lerakó középső részén mesterségesen megbolygatott környezet (Szabó M. et al. 2007).

6.8.3.b. Cönotípus szerinti értékelés (Soc. Chr)

A tavacska társuláscsoport szerinti értékelést a 47. ábra mutatja be. Ebben az esetben is azt vizsgáltam, hogy a forrás környezetében meghatározott növényzet elemei jellegzetesen milyen típusú társulásokra jellemzők.



47. ábra: A forrás növényzete cönológiai csoportok (Soc.Chr.) szerint

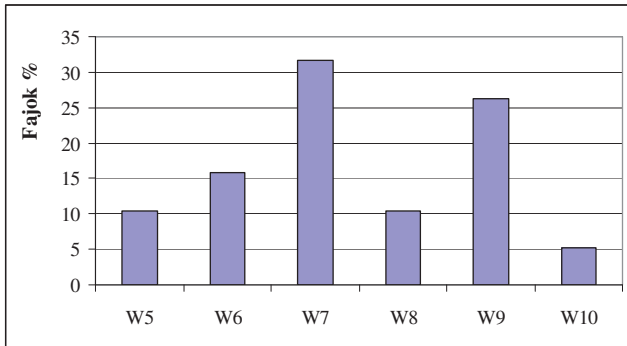
- 1: vízi, mocsári, lápi növényzet képviselői
- 2: zavart termőhelyek lágyszárú növénytársulásaira jellemző fajok
- 3: antro- és zoogén félcserjések, gyepek és rétek fajai
- 5: lombos erdők növényfajai
- 6: indifferens növényfajok

Az élőhelyen tapasztalható víz hatásának megfelelően kiemelkedően nagy a vízi, mocsári és lápi növényzet képviselőinek aránya (29%), ezek teszik ki az összes meghatározott növényfaj majdnem egyharmadát. Ugyanakkor még ennél is nagyobb arányban fordulnak elő az indifferens fajok. Hasonlóan a másik két vizsgált területhez, ez a arány itt is azt mutatja, hogy a terület sokféle társulásból betelepült, „vegyes” élőhely. Ezt támasztja alá a zavart termőhelyek növényzetének 10% feletti jelentléte is. Az erdők, csejések és gyepek jellemző fajai aránya 10% alatti (Szabó M. et al. 2007).

6.8.3.c. Vízigény szerinti értékelés (WB)

A forrás környezetének vízigény szerinti értékelése előtt már valószínűsíthető lehetett, hogy itt a nagy vízigényű fajok (WB 8-10) lesznek a dominánsak. A meghatározott fajok értékeinek kiértékelése után ez a feltevés csak részben igazolódott. A 48. ábráról leolvasható, hogy a W9-es értékű, vízigényes növények valóban az összes meghatározott faj több mint 25%-át adják, de még ennél is nagyobb a W7-sel jelölt

mezofil termőhelyeket kedvelő növények aránya. Ez azzal magyarázható, hogy a terület nem klasszikus értelemben vett nedves élőhely, hanem a bolygatás után visszamaradt, megváltozott környezeti feltételekkel rendelkező, kevert terület. A magasabb vízigényű fajok a lerakás előtti növényzet maradványai, míg a kisebb értékűekkel jellemezhető növények a bolygatott területre betelepült, kevert társulás tagjai (Szabó M. et al. 2007).



48. ábra: A forrás növényzetének talajnedvesség-indikátor (WB) értékei

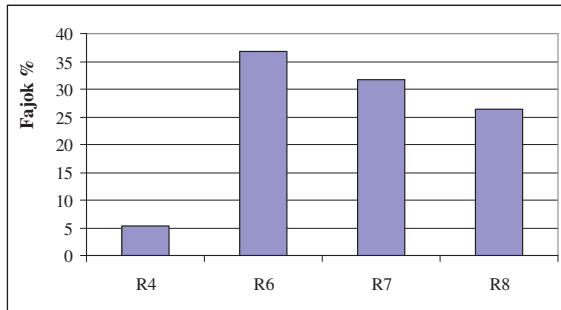
WB 2, 3, 4: szárazságjelző- és tűrő növények

WB 5, 6, 7: üde, ún. mezofil termőhelyek nedvességjelző fajai

WB 8, 9, 10: vízigényes, ill. vízi növények

6.8.3.d. A kémhatás szerinti értékelés (RB)

A növényzet ökológiai igényeivel kapcsolatos utolsó vizsgálatom a tavacska környezetében lévő növényzet aljzat/talaj kémhatás-igény vizsgálata volt. Az eredményeket a 49. ábra mutatja. Az előző területekhez (kúpok, lapály) hasonlóan, ebben az esetben is a neutrális és a gyengén bázikus talajokat kedvelő növényzet dominál, az összes növényfaj közel 70%-át ezek teszik ki. Az eloszlásarányt tekintve sincs változás az előzőekhez képest. Az egyedüli különbség, hogy a tavacska esetében nem találtam gyengén savanyú talajokat kedvelő fajokat (R5), és mérsékelt savanyúságjelzőket is csak 5% körüli arányban. Viszonylag nagy azonban a gyengén bázikus, illetve meszes talajokat kedvelő fajok (R7 és R8) aránya (32 és 27%) (Szabó M. et al. 2007).



49. ábra: A forrás növényzetének talajnedvesség-indikátor (WB) értékei

- R4: mérsékelten savanyúság jelző növények
- R6: neutrális talajok fajai, ill. tágtűrési indifferent fajok
- R7: gyengén bázikus talajokat jelző fajok
- R8: mészkedvelő növényfajok

7. A vizsgált salak egészségi hatásai és felhasználásának lehetőségei az elvégzett vizsgálatok tükrében

7.1. A vizsgált salakpernye egészségi hatásai

Az elemanalitikai vizsgálatok kimutatták, hogy a salakpernye tartalmaz néhány olyan elemet, amely nagy mennyiségben, vagy bizonyos kémiai formában veszélyeztetheti a környéken lakók egészségét, illetve az élővilág fennmaradását. A meghatározott szennyező anyagok, nehézfémek és egyéb elemeket ezek egy része meghaladja a jelenleg hatályban lévő rendelet által előírt határértéket. Ez figyelmeztet ugyan a potenciális veszélyre, de nem mond semmit az adott anyagok környezeti és egészségi hatásairól. A salaklerakó környékén élőket és a közvéleményt viszont éppen ezek az ismeretek érdekelnék leginkább.

A salakpernyében kimutatott elemek közül élettani szempontból a legveszélyesebb a kadmium, ám legnagyobb része a vas- és mangán-oxid irreverzibilis leköttése miatt kevésbé veszélyes, immobilis állapotban van.

A vizsgált anyagban legnagyobb mennyiségben a báriumot mutattuk ki.

7.2. Az építőipari hasznosítás lehetőségei

A salakpernye építőiparban történő felhasználás szempontjából – mint ahogy azt már a szakirodalmi feldolgozás fejezetben írtam – a legfontosabb tényezők a salakpernye aktivitás koncentrációja. A vizsgálati eredmények, - elsősorban a házak alapjául szolgáló salakbeton okán – sugáregészségügyi szempontból szolgáltat információt.

A különböző radioaktivitású pernyék sugáregészségügyi szempontból való alkalmazhatóságának eldöntése sokáig nehézségekbe ütközött, mivel hazánkban nem volt érvényben olyan szabvány, amely megadná a maximálisan megengedhető aktivitáskoncentráció mértékét a salakpernyére (éptőanyag) vagy a belőlük készült termékekre. 1994-ig Magyarországon sugárzási szempontból nem ellenőrizték a salakbetongyártás technológiáját, annak ellenére, hogy a világ más részein már a 60-as években felismerték ezeknek az éptőanyagoknak a veszélyességét. Ma már azonban hazánkban is szabvány határozza meg az építő anyagok radioaktivitásának mértékét.

Annak elbírálásához, hogy a szénerőművi salakpernyét tartalmazó építőanyagokból szabad-e lakóházat építeni, gázbetont gyártani, ismerni kell a salakpernyék aktivitáskoncentrációját. A nemzetközi gyakorlatban, a korlátlan felhasználás értékhatára 370 Bq/kg. Az új lakóépületek helyiségeiben a salakpernye radon aktivitáskoncentrációja nem haladhatja meg a 70 Bq/m³-t, az átépítettek helyiségeiben a 200 Bq/m³-t, a régiak helyiségeiben a 400 Bq/m³ értéket. Az Európai Unió csatlakozásunkkal a fenti határértékeket hazánk is átvette. Az általam mért értékek (108-191 Bq/kg között) bőven ezek alatt az értékek alatt maradnak.

Mindezek alapján azt mondhatjuk, hogy a kapott eredmények nem zárják ki a vizsgált salakpernye építőipari nyersanyagként történő felhasználását. Mérlegelni kell azonban a feldolgozásra váró salakpernye elszállításának és feldolgozásának lehetőségeit, ugyanis a salaklerakó igen nehezen közelíthető meg. A területre nem vezet betonút, a keskeny és igen rossz minőségű Salakhegyi út a nehéz tehergépjárművek számára jelenleg szinte járhatatlan (az illegális hulladékot ideszállító teherautók is csak lerakó széléig jutnak). A salak nagy tételben történő biztonságos elszállításához mindenképpen széles betonút kiépítése szükséges. A megnövekedett forgalom és zaj miatt mindezek mellett a többletköltségek mellett a beruházó a helyi lakosság ellenállására is számíthat. Amennyiben azonban ezeket a nehézségeket sikerül kiküszöbölni, a vizsgált salakpernye építőipari hasznosítása megvalósítható.

7.3. Az útépitési alapanyagként történő hasznosítás lehetőségei

A vizsgált salak útépitésben történő felhasználásának legfontosabb feltételei részben megegyeznek az építőipari felhasználás feltételeivel; ám itt a lerakott anyag radioaktivitásával, mint felhasználást gátló tényezővel itt nem kell számolni, hiszen a zárt épületeknél veszélyes radon diffundálása az utaknál nem okoz gondot. Nagy figyelmet kell azonban fordítani a beépíteni kívánt salakpernye szennyezőanyag-tartalmára, hiszen az az utat érő külső erők (hőingadozás, csapadék), illetve a forgalomból származó terhelés révén kikerülhet a környezetbe. Méréseim eredményeit értékelve, a pintértelepi salakpernyének több, környezetre káros komponense is van (pl. Cu, Zn, Cd, Ba), amelyek hosszú távú, nagy mennyiségű, folyamatos kijutása komoly veszélyt jelenthet a megépülő út közvetlen környezetére, illetve a bemosódás következtében a felszín alatti és feletti vízkészletre is. Vizsgálataim azt is bebizonyították, hogy a környezetre káros anyagok vízdoldható formában is jelen

vannak, vagyis a csapadék hatására történő kimosódásuk reális veszélyt jelent. A vizsgált salakpernye útéptési alap-, illetve adalékanyagként történő hasznosítását tehát csak a megfelelő műszaki védelem és megfelelő védőzóna kialakítása mellett javasolható.

Ebben az esetben is további nehézséget és költségemelkedést jelent a már korábban leírt szállítási infrastruktúra hiánya.

A hátrányok ellenére a salakpernye útéptéshez történő hasznosítása a többi hasznosítási formához képest több előnnyel is járhat. Egyrészt a salakpernye utakba történő beépítése mind hazánkban, mind a világ más tájain már több évtizedes múltra tekint vissza, így a salakpernye kedvezőtlenebb fizikai tulajdonságainak javítására és a védelmi rendszer kiépítésére vonatkozóan a szakemberek már viszonylag nagy tapasztalattal rendelkeznek (*Hórvölgyi L. 2001, Winter M. G. et al. 2001, Hartlén J. 1996, Johansson H. G. et al. 1999, Hjelmar O. 1996, Van der Zwan J. et al. 1997*). Másrészt az utóbbi években egész Nógrád megyében több nagy útéptési beruházás indult. Ezek közül kiemelkedik a Hatvant az országhatárral összekötő 21. számú főút Nógrád megyei szakaszának több ütemben történő kiszélesítése, illetve Salgótarján belvárosát elkerülő út építése. Mindemellett a jövőben több alsóbbrendű út korszerűsítését is tervezik. Jelentősen csökkentené a beruházások költségeit, ha a tervezett utakhoz az alapanyagot nem más megyéből szállítanák az építkezésekre, hanem helyi, maximum néhány 10 km-es távolságból származó ipari hulladékot használnának fel. Ennek a megoldásnak egy másik haszna is lenne; a salakpernye felhasználásával nem lenne szükség, vagy legalábbis kisebb mértékben az értékes természeti területek megbolygatására útéptési alapanyagért, ugyanakkor lecsökkenne a tájidegen, környezetszennyező és egészségkárosító salaklerakók száma.

7.4. A vizsgált terület rekultivációjának lehetőségei

Vizsgálataim harmadik célja annak a vizsgálata volt, hogy a pintértelepi salaklerakón milyen lehetőségei vannak a rekultivációnak és ebből kiindulva az energianövények termesztésének. Az erőművi salak- és pernyetározók, zagyterek rekultiválásának mindenhol elsődleges célja az elhelyezett hulladékokból eredő környezetterhelő légszennyező kibocsátások mérséklése vagy megszüntetése. A pintértelepi lerakó esetén azonban, annak különleges alakja miatt nemcsak a szélérózió elkerülése, hanem a csapadék által történő lemosódás mértékének csökkentése is fontos

célja lehet a rekultivációnak. Meg kell azonban jegyezni, hogy a lerakók rekultivációjára nincs szabványosan előírt, minden területre alkalmas és eredményes műszaki és agrotechnikai módszer, hanem a környezetvédelmi előírásoknak megfelelő, a helyi adottságokra kifejlesztett és alkalmazható, egyedi rekultivációs technológiák bevezetése szükséges. A salakhányók felszíni légszennyezőanyag-kibocsátásának és a salakanyag lehordódásának csökkentését eredményező növényborítottságot, illetve annak agrotechnikai feltételeit a salakpernye fizikai, kémiai és ökológiai tulajdonságait együttesen vizsgálva, valamint a helyi viszonyok figyelembevételével kell kialakítani. Világszerte, de hazánkban is számtalan kísérlet folyik a megfelelő növényfajták kiválasztására, a szükséges tápanyag- és vízpótlás technikai megoldására (*Bai A. et al. 2002*), amelyek eredményeként számos lerakóterület rekultiválása már megkezdődött.

A rekultiváció szempontjából a legfontosabb eredményeket a növényzet vizsgálata, ökológiai felmérése adta. A területen nagyon sokféle, spontán megtelepedő fajt sikerült meghatározni (IV. melléklet, 35-36. ábra, 41. ábra, 6. ábra), amelyek ökológiai értékei is igen változatos, néhány esetben szélsőséges körülményekhez való alkalmazkodást mutatnak. Mindez igen előnyös a rekultiváció szempontjából, hiszen a környezeti feltételek nagyobb ráfordítás nélkül is alkalmasak lehetnek a növényzet, ezen belül energianövények betelepítésére. Mindezek ellenére véleményem szerint a terület hasznosításának mégsem ez a leggazdaságosabb módja, mivel a növényzet szukcessziója már igen előrehaladott, annak végleges kiirtása nagyon megemelné a beruházás költségeit. A már említett infrastrukturális hiányok mellett a salakhányók kúp alakja is lehetetlenné tenné az energianövények iparszerű termelését, vagyis megfelelő tereprendezés, viszonylagos sík területek létrehozása nélkül elképzelhetetlen a sikeres beruházás. Bár erre vonatkozóan vizsgálatokat nem végeztem, de a természetű növények szennyezőanyag-akkumulációja miatt aggályos lehet azok elégetése is, hiszen ennek során a növényi szervezetben felhalmozott nehézfémek a füstgázzal távoznak, újabb légszennyező forrással terhelve a környezetet.

Összefoglalva a vizsgált salaklerakó hasznosításának lehetőségeit, eredményeim, illetve a terület adottságait figyelembe véve, véleményem szerint a hasznosításnak két reális útja van. Egyrészt az építőipari felhasználás, ezen belül is kiemelve az útpítést. Ehhez kapcsolódva, de jóval kisebb ráfordítással teniszpályák és egyéb sportlétesítmények borítása is megoldható lenne a lerakott anyagból, mint ahogy erre a múltban már volt példa (*Varsányi, 1987*). A másik lehetséges hasznosítása a területnek tulajdonképpen a fejlesztés lehetne. Tereprendezés, parkosítás után érdekes

idegenforgalmi látványosság válhatna egy, a területen kialakított ipartörténeti emlékparkból vagy tanösvény, melyben a térség másfél évszázados nehéziparát mutatnék be. A lerakó terepviszonyai kiválóan megfelelnek egy, napjainkban oly divatos kalandpark kialakításának is. A magasabb, benövényesedett salakkúpra egy kilátót lehetne építeni, amelyről nemcsak a másik „vulkán”, hanem a medvesi táj, a várral koronázott Salgó is látható.

Szeretném azonban hangsúlyozni, hogy javaslataimat kizárólag a környezeti, ökológiai és részben műszaki vizsgálataim eredményei alapján állítottam fel. Dolgozatomban nem vizsgáltam a hasznosítás gazdasági, szervezési és várospolitikai oldalát, így nem adhatok minden tényezőre kiterjedő véleményt. A hányók jövőbeni sorsáról dönteni illetékes városvezetést remélhetőleg a természettudományos, gazdasági és politikai érdekek egyenlő súllyal fogják befolyásolni döntésük meghozatalában.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Disszertációmban egy salgótarjáni mintaterületen vizsgáltam a lerakott salakpernye környezeti és egészségre gyakorolt hatásait, és vizsgálati eredményeim alapján javaslatot tettem a lerakott anyag hasznosítására.

Vizsgálataim eredményei, illetve tudományos megállapításai az alábbiakban foglalhatók össze:

1. Megállapítottam, hogy **a salakkúpok jelenlegi formájának kialakulása** elsősorban elsődleges alakjuktól, koruktól, a felépítő salakanyag ellenállóképességétől, valamint a külső erők átalakító tevékenységétől függ. A salakhányók a legnagyobb mérvű átalakulását az *erős barázdálódások, csuszamlások és suvadások* okozzák. Ezeknek a folyamatoknak köszönhetően a hányók a lerakásuk óta eltelt több évtized alatt jelentősen lepusztultak. Az erózió kevésbé a kúpok magasságát csökkentette, inkább a csapadék hatására kialakult barázdákból való kimosódás, lehordódás és a kúpok alján történő felhalmozódás volt a jellemző folyamat. A növényzet spontán megtelepedésével a felárkolódás és így az anyag áthalmazódása csökkent. A növényzet elterjedése a kúpok alsó részé felől, a csuszamlások után kevésbé meredekké vált felszíneken kezdődött meg. Ezekben a területeken a felárkolódás és az anyagmozgás jelentősége lecsökkent, míg a felső, növényzet által még meg nem hódított területeken mind az árkokban, mind pedig a defláció által folytatódik az anyag lepusztulása.

2. **A salakpernye geokémiai vizsgálatainak** eredményei szerint a kiválasztott salakminták szemcséinek összetétele a mintavételezés helyétől függetlenül azonos képet mutat. A szemcséket két fő morfológiai típusra tudtam osztani. Egy szemcsén belül több különböző fázis különíthető el. A vizsgált salakpernye geokémiai összetételét tekintve jó korrelál a több más hazai salakpernye összetételével, a hazai pernyék legnagyobb részben ugyanis szilícium, vas, alumínium, kalcium és magnézium különböző oxidjaiból állnak (*Árvai J. 1993*)

3. **Alemanalitikai** vizsgálatok kimutatták, hogy a lerakott salakpernye többféle elemet is tartalmaz (Cu, Zn, Cd, Ag, Ba, Mo, Fe, Mn, Sr, Rb) Koncentrációjuk a legtöbb mintában a talajoknál megengedett érték felett van. Külön vizsgáltam a

káliumot és a kalciumot, hiszen ezek az elemek fontos szerepet játszanak a talajosodás folyamatában és a talaj minőségének kialakításában. Eredményeim azt mutatják, hogy elegendő mennyiség van ezekből a talajképződéshez.

4. A vizsgált minták radon **aktivitáskoncentrációja** az országos átlag (100-200 Bq/kg) körül mozog, vagyis világviszonylatban nagyinak mondható.

5. A salakhányók két ellentétes kitétségű oldalán (ÉNy és DK), a két hányó közötti lapályon, illetve a lerakóterület szélén található tavacska mentén **meghatároztam a spontán megtelepedő növényfajokat és besoroltam őket ökológiai és természetességi érték kategóriákba**. A salakhányókra és környezetükre igen fajgazdag növényvilág jellemző, ám ez a flóra kevert, a környező területek növényvilágát tükrözi. Ugyanakkor egyfajta egyediség is felfedezhető, ami az élőhely szélsőséges viszonyaival magyarázható. Jelentős eltérést tapasztaltam a kúpok eltérő kitétségű oldalai és magassági szintjei között, mind a fajösszetételben, mind a növénytakaró kifejlődésében, tömegviszonyaiban és ökológiai értékében is.

6. A vizsgált salaklerakó **hasznosításának** két lehetséges útja van. Az egyik lehetőség az útépítésben adalékanyagként történő felhasználás, míg a másik a hányók helyben hagyása, körülöttük területrendezés megvalósítása, az infrastruktúra kiépítése, és egy lehetséges turisztikai desztináció létrehozása.

Summary

In the former heavy industrial regions of Hungary slag cones - originated from power plants or different factories and deposited many decades ago - can be found at several places even today. Several methods were used for their deposition; on one hand slag supplied from the plants was spread over or piled up in cones; however, the provision of an appropriate technical protection did not occur in almost any case. In addition to their disturbing landscape appearance it is possible that these cones contain contaminants of different quality and quantity – depending on their physical and chemical properties and - as a consequence - they mean a real danger to the natural and man made components and the living organisms in their surroundings. In my thesis I studied the influences of the deposited fly ash on the environment and health in a sample region of Salgótarján, and made suggestions for the utilization of the deposited substance on the basis of the results of my research.

On the basis of geomorphologic measurements I stated that the present form of the slag cones depended mainly on their primary shape, age, the resistance of the forming slag material, as well as the transformation activity of the external forces. Through my analytical studies of the components I presented that the deposited fly ash also contained different types of contaminations. Comparing my results obtained after the activity concentration measurement of the tested samples with data found in the literature it can be stated that the activity concentration of the fly ash was high on a world scale. The slag cones and their surroundings are characterized by a flora rich in different species, however this flora is mixed and not uniform – reflecting the flora of the surrounding areas. On this basis in my opinion the most rational utilization of the studied material would be its integration into a road bed.

Thus in the course of my research I succeeded in achieving my goal and got answers to my questions raised in the Introduction. As far as my possibilities allowed I completed the scientific and partly technical measurements concerning the utilization of the studied area and the deposited fly ash and worked up the literature, however I did not cover the economical and town planning aspects provided by the possibilities of utilization. However I think it is likely that in the course of working out the plans in the future these factors will be emphasized at least as much as the conditions of environment protection and engineering. In spite of this I hope that with my work –

even if to some extent only – I contributed to the expertise treatment of the slag cones, their utilization and thus the formation of a more comfortable environment.

Köszönetnyilvánítás

Eddigi tudományos munkám során elért eredményeimet és PhD disszertációm elkészültét számos kolléga és nem szakmabeli segítségének köszönhetem.

Mindenek előtt köszönetemet kell kifejeznem témavezetőmnek, Dr. Szabó Máriának támogató segítségével, valamint Dr. Horváth Gergelynek és Dr. Karancsi Zoltánnak, akik meghatározóak voltak tudományos orientációmban és akik elindulásomban különösen sokat segítettek.

Köszönettel tartozom Dr. Karátson Dávidnak, aki a geomorfológiai vizsgálatok elvégzésében volt nagy segítségemre.

Köszönöm Dr. Záray Gyulának, hogy lehetővé tette számomra a TXRF vizsgálatok elvégzését és Dr. Barkács Katalinnak, aki a klasszikus analitikai vizsgálatokban segített.

Köszönettel tartozom az Atomfizikai Tanszék munkatársainak, mindenekelőtt Dr. Kiss Ádámnak, aki lehetővé tette számomra a műszeres mérések elvégzését, valamint Pávó Gyulának, Csorba Ottónak és Papp Botondnak, akik segítettek a mérések elvégzésében és kiértékelésében.

Köszönettel tartozom Dr. Szabó Csabának, és hallgatóinak, Marosvölgyi Krisztinának és Konc Zoltánnak a geokémiai vizsgálatokban nyújtott segítségért, illetve a dolgozattal kapcsolatos hasznos észrevételeikért.

Köszönöm a Salgótarjáni Geológiai Szolgálat munkatársainak, elsősorban Prakfalvi Péternek a területről adott sok fontos információt és unokatestvéremnek, Ecsedi Lászlónak a terepmunkában nyújtott nélkülözhetetlen segítségét.

Végezetül, de nem utolsó sorban hálával tartozom szüleimnek, akiknek minden eddigi eredményeimet köszönhetem, férjemnek és kisfiamnak, akik munkámhoz a biztos háttérrel biztosították.

Irodalomjegyzék

- Angyal Zs. (2003): Salgótarjáni salakkúpok környezeti viszonyai és környezeti értékelésük. – Szakdolgozat. ELTE TTK Környezettan Kari Munkacsoport. Kézirat, Budapest, 110 p.
- Angyal Zs. (2006a): A szemcseeloszlás hatása a szennyezés terjedésére erőművi salakmeddőkön. – II. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. CD-ROM. Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kara, Pécs
- Angyal Zs. (2006b): Szennyezőanyag-tartalom mélységbeli függése erőművi salakhányókon. – A III. Magyar Földrajzi Konferencia tudományos közleményei. CD-ROM. Magyar Tudományos Akadémia Földrajztudományi Kutatóintézete, Budapest.
- Angyal Zs. (2007): Landforms and vegetation development on spoil-tip surfaces near Salgótarján (NE Hungary). – Geomorfologia Fisica e Dinamica Quaternaria 30. 1. pp. 155-159.
- Angyal Zs. – Szabó M. – Karátson D. (2004): Tájidegen elemek: a Salgótarján környéki salakkúpok. – Tájökológiai lapok 2./2. pp. 287-303.
- Árvai J. (szerk.) (1993): Hulladékgazdálkodási kézikönyv. – Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- Bai A. – Lakner Z. – Marosvölgyi B.–Nábrádi A. (2002): A biomassza felhasználása. – Szaktudás Kiadó Ház, Budapest 226 p.
- Benke I. (2002): Vegyes kötőanyagú keverékek és útburkolatok hosszú élettartam alatti megfelelőségének vizsgálata – Az ÁKMI Kht. 3810.3.4/2002. számú megbízására készített kutatási jelentés. 45 p.
- Beretka, J. – Cioi, R. – Maroccoli, M. – Valenti, G. L. (1996): Energy-saving cements obtained from chemical gypsum and other industrial wastes. – Waste Management 16. 1-3. pp. 231-235.

- Bódizs D. – Gáspár L. – Keömley G. (1992): Radioaktív emisszió széntüzelési erőművekből. – Fizikai Szemle 42. 4. p. 135.
- Borhidi A. (1993): A magyar flóra szociális magatartástípusai, természetességi és relatív ökológiai értékszámai. – Janus Pannonius Tudományegyetem, Szeged 93 p.
- Cotton, C. A. (1952): Volcanoes as landscape forms. – Whitcombe and Tombs Ltd., Christchurch 416 p.
- Csiky J. (1997): A Medves növényzete. – In: Horváth G. et al.: A Medves. Földrajzi Értesítő 46. 3-4. pp. 242-244.
- Deutsche Babcock Anlagen AG (1989) – Krefeld, Deutschland pp. 121-156.
- Dezső Z. – Papp Z. – Daróczy S. (1997): Hőerőművi eredetű radioaktív szennyezés és lakossági sugárterhelés Ajkán. – Fizikai Szemle 8. p. 244.
- Dinelli, G. – Belz, G. – Majorana, C. E. – Schreffer, B. A. (1996): Experimental investigation on the use of fly ash for lightweight precast structural elements. – Materials and Structures – Materiae et Constructions 29. pp. 632-638.
- EDAX Laboratories Energy and Wavelength Tables for Elemental X-Ray Emission and Absorption (1987)
- Fancsik J. – Nyíri L. (2001): Hegykoszorú a város körül. – Salgótarjáni Polgármesteri Hivatal, Salgótarján 33 p.
- Feuerborn, J. H. (2001): Pertyehasznosítás Németországban. – „Tiszta Környezetünkért” Szénerőművi pertyék hasznosításával foglalkozó tudományos konferencia. Miskolci Egyetem Közleményei 55. Környezetvédelem, eljárás technika pp. 17-36.
- Gábris Gy. – Marik M. – Szabó J. (1996): Csillagászati földrajz. – Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 275 p.

- Gáspár L. (1977): A hőerőművek pernyéinek és zagytéri anyagainak útéptési hasznosítása. – Mélyéptéstudományi Szemle, 5. pp. 18-23.
- Gáspár L. – Karoliny M. (2004): Erőművi pernyék gyorsforgalmú utak építéskor történő hasznosítása. – OMFB-00464/2003-as számú megbízása alapján készült jelentés
- Gáspár L. (szerk.) (2005): Másodlagos nyersanyagok az útéptésben. – IHU Kht., pp. 32-39, 41, 95-134.
- Hack F. – Kugler S. – Tóth G. (1990): Négyjegyű függvénytáblázatok. – Matematikai, fizikai, kémiai összefüggések, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest pp. 69.
- Hartlén, J. (1996): Waste management in Sweden. Cycle and Stabilization Technologies of MSW Waste-to-energy Residues. – Waste Management. 16. p. 516.
- Hjelmar, O. (1996): Waste management in Denmark. Cycle and Stabilization Technologies of MSW Waste-to-energy Residues. – Waste Management. 16. p. 518.
- Horváth Á. (2004): Környezetfizikai laboratórium jegyzet. – ELTE Eötvös Kiadó, Budapest 76. p.
- Horváth G. – Munkácsy B. – Pintér Z. – Csiky J. – Karancsi Z. (1997): A Medves. – Földrajzi Értesítő 46. 3-4. pp. 217-248.
- Horváthné O. (1994): Alkalmazott kémiai laboratóriumi gyakorlatok kémia tanár szakos hallgatók részére. –ELTE Eötvös Kiadó, Budapest pp. 19-33.
- Hórvölgyi L. (2001): Hazai tapasztalatok a pernyék útéptési hasznosításában. – „Tiszta Környezetünkért” szénerőművi pernyék hasznosításával foglalkozó tudományos konferencia. Miskolci Egyetem Közleményei, 55. Környezetvédelem, eljárás technika. pp. 79-94.
- Hórvölgyi L. (2002): Hazai tapasztalatok a pernyék útéptési hasznosításában. – Közúti és Mélyéptési Szemle. 4. pp. 142-149.

- Johansson, H. G. – Nilson, U. (1999): Increased usage of alternative materials in roads – international research project. – Nordic Road and Transport Research 3.
- John, M. K. (1972): Cadmium adsorption maxima of soils as measured by the Langmuir isotherm. – Canadian Journal of Soil Sciences, 52. p. 343.
- Józsa G. (szerk.) (1991): Salgótarján komplex földtani területfejlesztési térképsorozata. – Kézirat, Magyar Geológiai Szolgálat, Salgótarján pp. 10-13.
- Judik B. (2000/a): Klíma. – In: Karacs-Medves Tájvédelmi Körzet kezelési terve 2000-2010. Kézirat, Salgótarján pp. 10-11.
- Judik B. (2000/b): Talajtan. – In: Karacs-Medves Tájvédelmi Körzet kezelési terve 2000-2010. Kézirat, Salgótarján pp. 28-29.
- Kabata-Pendias, A. – Pendias, H. (1984): Trace elements in soils and plants. – CRC Press, Inc. Boca Raton. 315 p.
- Karancsi Z. (2002): Természetes és antropogén eredetű környezetváltozás a Medves-térség területén. – Doktori (PhD) értekezés, Szegedi Tudományegyetem Természeti Földrajzi tanszék 85 p.
- Karangelos, D. J. – Petropoulos, N. P. – Anagnostakis, M. J. – Hinis, E., P. – Simopoulos, S. E. (2004): Radiological characteristics and investigation of the radioactive equilibrium in the ashes produced in lignite fired power plants. – Journal Environment Radioactive 77., pp 233-246.
- Karácsonyi S. (1981): Salgótarján-Höerőmű pernyehányójának helyszínrajza – Bányameddők felmérése Nógrád megyében III. ütem 61. sz. melléklet. Földmérő és Talajvizsgáló Vállalat, Mérnökgeológiai Iroda, Budapest
- Kiss Á. – Szabó M. – Vermes L. – Molnár E. (1998): A Sajó-völgy talajainak nehézfémzennyezettségi állapotfelmérése, a degradáltság mértékének rögzítése. – Központi Környezetvédelmi Alap Kezelő Szervezet, Budapest 69 p.

- Lassan J. (1987): A nógrádi szénbányászat felszabadulás utáni műszaki története 1945-1985. II. – Nógrádi Szénbányák, Salgótarján 288 p.
- Mazzilli, B. – Palmiro, V. – Saueia, C. – Nisti, M.B. (2000): Radiochemical characterization of Brazilian phosphogypsum. – *Journal of Environmental Radioactivity*, 49., pp. 113-122.
- Namesánszki K. (1980): Nógrád megye meddőhányóinak katasztere. – *Nehézipari Műszaki Egyetem Ásvány- és Kőzettani Tanszék, Miskolc*
- Nánási I. (szerk.) (2005): Humánökológia. A természetvédelem, a környezetvédelem és az embervédelem tudományos alapjai és módszerei. – *Medicina Könyvkiadó Rt., Budapest* 543 p.
- Narayana, N. – Ramarurthy, K. (2000): Structure and properties of acrated concrete: a reiew. *Cement and Concrete Composites* No. 5. pp. 25-38.
- O'Brian, R. S. (1997): Gamma doses from phosphogypsum plaster-board. – *Health Physics*, 72. 1. pp. 6-96.
- Ollier, C. (1988): *Volcanoes*. Basil Blackwell. – Oxford–New York 228 p.
- Prakfalvi P. – Balogh K. (1998): Neogén vulkanitok a Kárpát-Pannon régióban. Észak-magyarországi bazaltok. – *Kézirat, MÁFI, Salgótarján* pp. 15-16.
- Perczel Gy. (2003) (szerk.): Magyarország társadalmi-gazdasági földrajza. – *ELTE Eötvös Kiadó, Budapest* 633 p.
- Salgótarján Megyei Jogú Város Környezetvédelmi Programja (2003). –. *Polgármesteri Hivatal Városfejlesztési és Üzemeltetési Iroda, Salgótarján* pp. 66-69.
- Simon T. (2000): A magyarországi edényes flóra határozója. – *Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., Budapest*.

- Somlai J. – Jobbágyi V. – Németh C. – Gorjánác Z. – Kávási N. – Kovács T. (2006): Radiation dose from coal slag used as building material in the transdanubian region of Hungary. – *Radiation Protection Dosimetry*, 118. 1. pp. 82-87.
- Soó R. (1937): A Mátra hegység és környékének flórája. – *Magyar Flóraművek* 1., Debrecen p. 12-89.
- Stefanovits P. – Filep Gy. – Fülek Gy. (1999): Talajtan. – *Mezőgazda Kiadó*, Budapest, pp. 206-209, 212-213, 220, 321-347.
- Szabó I. (1991): Az Ajkai Hőerőmű pernyéjének hatása a környezetre. – *Biotechnológia és Környezetvédelem Ma és Holnap*, 5/4, pp. 55-60.
- Szabó J. (1998): Tömegmozgások. – In: Borsy Z. (szerk.): *Általános természetföldrajz*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest pp. 269-293
- Szabó M. – Angyal Zs. – Szabó Cs. – Konc Z. – Marosvölgyi K. (2007): Erőművi salakhányók környezeti hatásai. – *Földrajzi Közlemények* 131. 4. pp. 303-317.
- Székely A. (1997): *Vulkánmorfológia*. – *ELTE Eötvös Kiadó*, Budapest pp. 139-154.
- Vámos Gy. (2005): Kohászati salakok (Másodlagos nyersanyagok az útéptésben). – (szerk: Gáspár L.) *IHU Kht.*, Budapest, pp. 31-55.
- Van der Zwan, J. – Henneveld, Th. R. J. P. (1997): Sustainable development and road construction. – *International Road Federation World Meeting*, Toronto, Canada
- Varga E. – Garay F. (1999): *Környezetkémiai analitika*. – *ELTE Eötvös Kiadó*, Budapest pp. 101-123.
- Varsányi, S. (1987): A Salgótarjáni Erőmű története. – *Gagarin Hőerőmű Vállalat*, Salgótarján 26 p.
- Winter, M. G. – Clarke, B. G. (2001): Specification of pulverised-fuel ash for use as general fill. – *TRL Report*, Crowthorne, 519. p.

- 19/1998. (IX. 24.) Korm. Rendelet: A területfejlesztési szempontból kedvezményezett térségekről. – Magyar Közlöny, 46: 567-589
2000. évi XLIII. Törvény: A hulladékgazdálkodásról. – Magyar Közlöny, 53: 3126-3145
- 2/5/2000. (II. 6.) KöM határozat a hulladékok osztályokba történő besorolásáról. – Magyar Közlöny, 11: 393-396
- 10/2000. (VI. 2.) KöM-EüM-FVM-KHVM együttes rendelet a felszín alatti víz és a földtani közeg minőségi védelméhez szükséges határértékekről. – Magyar Közlöny, 53: 3156-3167
- 16/2002. (XII. 12.) MeHVM rendelet: Az Országos Hulladékgazdálkodási Tervről. – Magyar Közlöny, 154: 8520-8551
- 15/2003 (XI. 7.) KvVM rendelet: A területi hulladékgazdálkodási tervekről. – Magyar Közlöny, 128: 9636-9763.
- 132/2003 (XII. 11.) OGY határozat: A 2003-2008 közötti időszakra szóló Nemzeti Környezetvédelmi Programról. – Magyar Közlöny, 142: 10942-11032
- Magyar Szabvány 450/1 (1989) Ivóvíz minősítés fizikai és kémiai vizsgálat alapján. – Magyar Szabványügyi Hivatal, Budapest 8. p.
- Magyar Szabvány (MSZ 12749) (1993): Felszíni vizek minősége, minőségi jellemzők és minősítés – Magyar Szabványügyi Hivatal, Budapest 12 p.
- Magyar Szabvány (MSZ ISO 5667-10) (1995): Vízmintavétel. Mintavétel. – 10. rész Magyar Szabványügyi Hivatal, Budapest 11 p.

MELLÉKLETEK

I.1. A középső és az alsó fűrés mintáiból készített vizes szuszpenzió kémhatásváltozása

I.2. A középső és az alsó fűrés mintáiból készített vizes szuszpenzió vezetőképesség-változása

II.1. A középső fűrés egyes szintjeinek elem tartalma I.

II.2. A középső fűrés egyes szintjeinek elem tartalma II.

II.3. A középső fűrés egyes szintjeinek kalcium- és kálium-tartalma

III.1. Az alsó fűrés egyes szintjeinek elem tartalma I.

III.2. Az alsó fűrés egyes szintjeinek elem tartalma II.

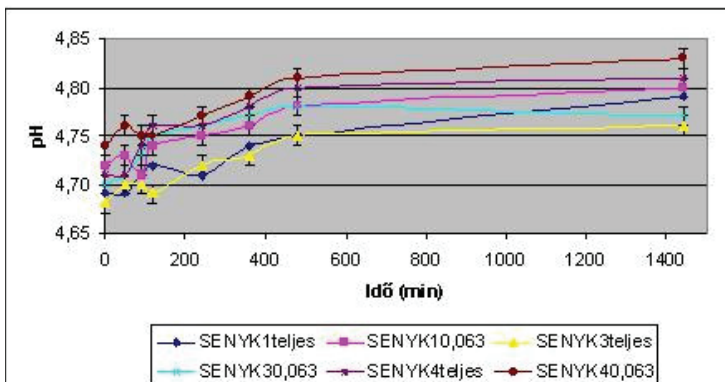
III.3. Az alsó fűrés egyes szintjeinek kalcium- és kálium-tartalma

IV.1. A salakkúpokon meghatározott fajok listája és a hozzájuk rendelt ökológiai és természetességi értékek

IV.2. A két kúp közötti lapályon meghatározott fajok listája és a hozzájuk rendelt ökológiai és természetességi értékek

IV.3. A tavacska környezetében meghatározott fajok listája és a hozzájuk rendelt ökológiai és természetességi értékek

I.1. melléklet



ERROR: undefined
OFFENDING COMMAND: f`~

STACK: