

**Nyugat-Magyarországi Egyetem
Erdőmérnöki Kar
GEVI**

**Szerző: Csáfordi Péter, V. okmh
Konzulens: Dr. Kalicz Péter, egyetemi adjunktus**

A BRENNBERGI-TÁROZÓ FELTÖLTŐDÉS-VIZSGÁLATA GEOINFORMATIKAI ÉS MÁS MÓDSZEREKKEL

(TDK DOLGOZAT)

Sárvár, 2007

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS	2
1. AZ ERÓZIÓ	2
1.1 AZ ERÓZIÓ KIALAKULÁSA, FORMÁI, FOKOZATAI	2
1.2 AZ ERÓZIÓ FORMÁI ERDŐTERÜLETEKEN	5
1.3 A TALAJVESZTESÉG BECSLÉSE	6
2. VÍZFOLYÁSOK HORDALÉKSZÁLLÍTÁSA	7
3. VÍZTÁROLÓK FELISZAPOLÓDÁSA, SZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK	8
4. A BRENNBERGI-TÁROZÓ KIALAKULÁSÁNAK TÖRTÉNETE, KÖRNYEZETI ÁLLAPOTA, ÉS VÍZGYŰJTŐJÉNEK GEOLÓGIAI-BOTANIKAI JELLEMZÉSE.....	10
4.1 A BRENNBERGI-TÁROZÓ KIALAKÍTÁSA	10
4.2 A VÍZGYŰJTŐ TERÜLET JELLEMZÉSE	11
4.3 A BRENNBERGI-TÁROZÓ ALAKTANA ÉS FONTOSABB MÉRETEI	14
5. A TÓ ÉS KÖRNYÉKE DOMBORZATÁNAK FELMÉRÉSE: A TEREPI MÉRÉS MÓDSZEREI ÉS ESZKÖZEI	16
6. AZ ADATOK FELDOLGOZÁSA TÉRINFORMATIKAI MÓDSZERREL	17
6.1 A CÉLOK ÖSSZEFOGLALÁSA	17
6.2 A FELDOLGOZÁS LÉPÉSEI	18
6.2.1 Az adatok feldolgozásra alkalmassá tétele	18
6.2.2 Műveletek a Digiterra Map programmal	19
7. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK	22
7.1 A TÉRINFORMATIKAI FELDOLGOZÁS EREDMÉNYEI ÉS ÉRTÉKELÉSE: HORDALÉKSZÁMÍTÁS ÉS FAJLAGOS ÉVI ERÓZIÓS VESZTESÉG SZÁMÍTÁSA SAJÁT FELMÉRÉS ALAPJÁN	22
7.2 A 2006-2007-ES MÉRÉSKOR MEGHATÁROZOTT TÁROZÓTÉRFOGAT ÉS AZ 1981-BEN TERVEZETT TÁROZÓTÉRFOGAT KÜLÖNBSÉGÉNEK SZÁMÍTÁSA	24
7.3 A 2006-OS MÉRÉSKOR MEGHATÁROZOTT HORDALÉKFELSZÍN ÉS AZ 1981-ES HELYSZÍNRAJZ ÁBRÁZOLTA TÓFENÉK MAGASSÁGÁNAK ÖSSZEHAJONLÍTÁSA	25
7.4 TÓFELTÖLTÖDÉS SZÁMÍTÁSA A VÍZTÁROLÓK FELISZAPOLÓDÁSÁNAK SZÁMÍTÁSÁRA ALKALMAS MÓDSZERREL	25
BEFEJEZÉS, ÖSSZEFOGLALÁS	26
CONCLUSION, SUMMARY.....	27
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	28
MELLÉKLETEK	28
IRODALOMJEGYZÉK.....	31

BEVEZETÉS

Már évezredek óta sújtja Földünket a talajerózió környezeti problémája. Hatására súlyos környezeti-gazdasági károk következnek be.

Hazánk mintegy 55%-nyi domb- és hegyvidéki területéből a kedvezőtlen természeti viszonyok és a helytelen talajhasználat következtében 2,3 millió hektár veszélyeztetett az erózió által különböző mértékben. A környezeti tényezők kedvezőtlen alakulása miatt azonban nemcsak a domboldali területek károsodnak, hanem a feliszapolódás, a talajvízáramlás és egyéb okok miatt a völgyfenéki területek is, amelyekből közel 200000 hektár elvizenyősödött. (Thyll 1992)

Jelen dolgozatomban a völgyfenéki feliszapolódást valamint - ezen túlmenően a víztározók adott időtartam alatt bekövetkező feltöltődését vizsgálom a Sopron melletti Brennbergi-tározó példáján. A vizsgálat előzménye, hogy a Pisztráng Horgászegyesület a halastóként funkcionáló víztározót a túlzott mértékű feliszapolódás miatt ki szeretné kotortatni. Az ehhez szükséges pályázathoz szintvonalas helyszínrajzra volt szükség, mely a tó hordalékvastagságát és vízoszlopmagasságát ábrázolja. A felméréssel a Nyugat-Magyarországi Egyetem Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézetét bízták meg.

A mérési eredmény alátámasztására és összehasonlítására több tudományos, víztározók feltöltődésének számítására használatos módszert alkalmazok dolgozatomban.

1. AZ ERÓZIÓ

1.1 AZ ERÓZIÓ KIALAKULÁSA, FORMÁI, FOKOZATAI

Az erózió kialakulásához legalább három feltételnek együttesen kell fennállnia:

- a leeső és a talajba beszivárgó csapadék különbségeként lefolyás keletkezzen,
- a talaj fedetlensége vagy nem kielégítő mértékű borítottsága növényzettel,
- a terület nagy reliefenergiája.

A három feltétel együttes kedvezőtlen alakulásán túl a hidrológiai, hidraulikai, talajtani és geomorfológiai okok sok esetben kölcsönhatásban vannak. Hidrológiai okok közé soroljuk a felszíni lefolyás intenzitását, vízhozamot, a megelőző csapadék nedvesítő hatását, a vízgyűjtő alakját, az összegyülekezési időt, az esőfüggöny hullámsűrűségét, az esőcseppek energiatartalmát. Hidraulikai okok a talajfelszín érdességi viszonyai, az elmosást megindító kritikus vízsebesség, a vízmozgás típusa. Talajtani okok a talajállapot, a talajfelszín peptizációval, valamint kimosással szembeni ellenálló képessége, a talaj vízáteresztő

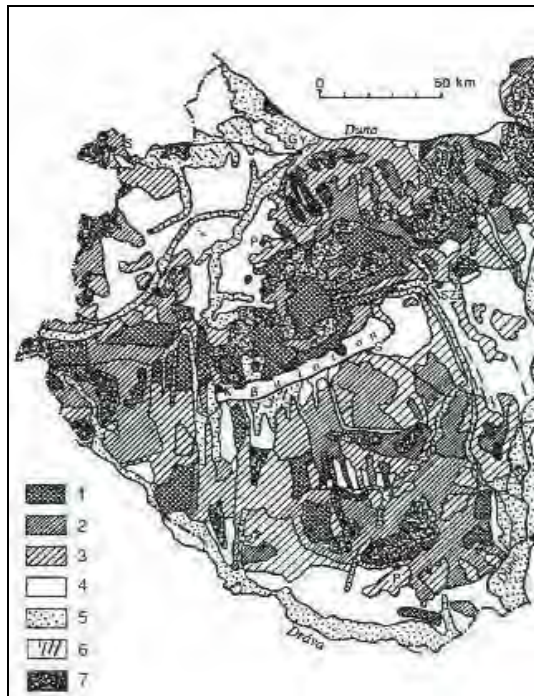
képessége. Geomorfológiai tényezők a lejtők égtáji kitettsége, a felszín makro- és mikrodomborzati adottságai, a reliefenergia, a lejtők hosszúsága, az alapkőzet minősége, rétegződése. (Láng 2002)

Az erózió lehet természetes és mesterséges. A természetes erózió a Föld szilárd kérgének kialakulásától kezdve hat és napjainkban is érvényesül. A folyamat zavartalan természeti körülmények között lassan megy végbe úgy, hogy az elhordott anyagot a kőzetek mállási terméke pótolja, és természetes vegetáció mellett egyensúlyi állapot alakul ki. (Thyll 1992) Amíg a természetes vagy normális/geológiai erózió esetén a talajvesztesség legfeljebb a talajképződés mértékét éri el, addig a mesterséges erózió értéke meghaladja azt, és az ember helytelen gazdálkodásának eredménye. (Kucsara és Rácz 1988) Az emberi tevékenység hatására ugyanis a természetes vegetáció megbomlik, a természetes állapot megszűntével a lejtőn lefolyó víz több anyagot tud magával ragadni, mint amennyit a természetes mállás pótolni képes. A természeti erőkhöz kívül az antropogén tevékenység által is befolyásolt, fokozott mértékű talajpusztulási folyamatot más néven gyorsított erózióknak nevezzük. (Thyll 1992)

A talajpusztulásnak két válfaját különböztethetjük meg a kiváltó okokat (közeg és energia) tekintve, a vízeróziót és a széléroziót vagy deflációt. Dolgozatomban szempontjából kiemelt szerepet a vízerózió játszik. Ennek formái a felületi rétegerózió, amely csoportba azok a jelenségek tartoznak, amelyek a vízszintes vagy majdnem szintvonalas talajművelést nem akadályozzák. Fokozatai a talajpusztulás százalékos értéke, azaz a területre jellemző, nem erodált talajszelvények alapján határozhatók el. A nem erodált talajszelvény szintjeit együttesen tekintjük 100%-nak, és ehhez viszonyítjuk a vizsgált erodált talajszelvény szintjeinek együttesét. (Stefanovits, Filep és Fülek 1999)

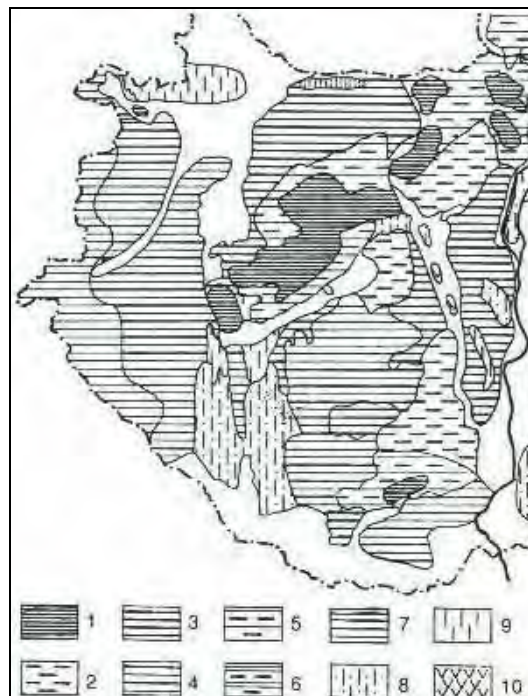
A mélységi vagy vonalas erózió kezdeti formája a barázdás erózió. Mélysége meghaladja a művelt réteget. (Thyll 1992) Ekkor a felszínen képződött kisebb vízerek egymással egyesülnek, és összefüggő vízlepleken, valamint sekély, kis energiájú érhálózatokon kívül nagyobb vízfolyások is képződnek. Fokozatait a barázdákból kimosott talaj mennyisége alapján határozhatjuk meg egy, a terület átlagát képviselő mintaterület alapján (t/ha). A vízmosásos erózió a vonalas erózió erősebben fejlett formája, amely a felületen összegyűlemllett víz egyesülése útján folytonosan mélyülő és terjedő vízmosáshálózat alakját tölti ki. Ez a talajpusztulási forma már nem szüntethető meg talajművelő eszközökkel, a szintvonalas talajművelést akadályozza. Mértékét – melynek alapja a vízmosás hossza - nagyobb területegységre adják meg, m/km²-ben kifejezve. (Stefanovits, Filep és Fülek 1999)

Az 1. és 2. ábrákon a hazai talajpusztulás mértéke követhető szemmel. Látható, hogy a vizsgált területen, a Soproni-hegységben az erdők jellemzők. Az erózió dinamikája pedig úgy alakul, hogy kezdeti gyors talajpusztulás után lassul a felületi rétegerózió, majd ismét fokozódik és vízmósások jelennek meg.



1. ábra: Talajpusztulás Magyarországon (Stefanovits, Filep és Fülek 1999)

1. erős, 2. közepes, 3. gyenge vízerózió, 4. nem erodált mg.-i területek, 5. szedimentáció, 6. szélrózió által gyakran sújtott területek, 7. erdők



2. ábra: Talajpusztulás dinamikája (vízerózió, defláció) (Stefanovits, Filep és Fülek 1999)

1. Gyors pusztulás, kis eróziós ellenállás, nagy felületi lefolyás. 2. Erősödő fokozatokkal rohamosan gyorsuló vízerózió. 3. Gyenge erodáltság esetén lassan, közepes erózióval erősen gyorsuló vízerózió. 4. Kezdeti gyors talajpusztulás után lassul a felületi rétegerózió, majd ismét fokozódik és vízmósások jelennek meg. 5. A vízerózió előrehaladásával fokozatosan erősödő talajpusztulás, a vízmósásformák uralkodnak. 6. Nagy ellenálló-képesség, az erózió előrehaladásával fokozatosan fejlődő talajpusztulás enyhe formákkal. 7. Vízerózió előrehaladásával fokozatosan fékeződő talajpusztulás enyhe formákkal. 8. Szélrózió, por- és homokviharok. 9. Defláció, fekete viharok. 10. Padkásodás

Amint már említettem, a növényborítottság jelentősen szabályozza a vízeróziót. A növényzet hatása kettős: részben megtartó, részben fejlesztő. A megtartás a szél és víz elleni védelem, melynek elsőrendű hatása, hogy a növényzet felfogja az esőcseppeket, - mintegy abszorbeálva kinetikai energiájukat - megszüntetve a nagy intenzitású esők „záporozó” hatását (talajmorzsák felrobbantását, a felületi vízlepel turbulenciájának fokozását.) Egyben közvetve megelőzi a talajfelszín eliszapolódását, tömörödését, s ezzel a beszivárgási sebesség csökkentését. A fejlesztés a talaj további kedvező alakulási feltételeinek javítását jelenti, s ezzel a jó művelhetőség elérését. A beszivárgási sebesség fenntartása a szerves kolloidok humuszos frakcióinak talajba jutását segíti elő, s így kedvező morzsás-rögös szerkezet jöhet létre. A növénytakaró mérsékli a tápanyag- és szerves anyag veszteségét is. (Salamín 1982)

A jól kezelt erdő talajvédő hatása nagyon kedvező. Az erdő képes egyedül a meredek területek erózióra érzékeny talaját a lepusztulástól tartósan és hatásosan megvédeni. Az erdőterületről származó fajlagos évi eróziós talajveszteség értékét a talajvédelmi tervezésnél az állománykezelés módjától függően 0,5-1,5 t/ha/év nagysággal veszik számításba, ami a megengedhető 15 t/ha/év talajveszteség kis része. Ennek ellenére mégis kell foglalkozni erdőterületeken is a főként helytelen erdőgazdálkodás következtében bekövetkező mesterséges erózióval, mert ez túlnyomóan medererózióból származik és a lepusztult talaj értéke is nagyon nagy, mivel pótlása bonyolult módon – a szántónál sokkal nehezebben – oldható meg. (Kucsara és Rácz, 1991)

1.2 AZ ERÓZIÓ FORMÁI ERDŐTERÜLETEKEN

A vizsgált terület vízgyűjtőjét legfőképp erdő borítja, ezért fontos az eróziós formák erdőterületekre jellemző speciális változatainak bemutatása.

Habár bolygatatlan, természetes viszonyok között az erdővel való fedettség jobban gátolja az eróziót, mint a mezőgazdasági művelés, az erdő vegetációjának eltávolításával az eróziós folyamatok spektruma, a meredekebb lejtők és a sekélyebb talajok következtében nagyobb az erdőterületeken, mint a legtöbb mezőgazdasági területen. (Gribovszki 2000)

Az 1.1 fejezetben felsorolt eróziós formák közül mind a felszíni, mind a mélységi erózió (talajtömegek eróziója) előfordul. Gribovszki szerint (2000) a talajtömegek eróziója számos talajrészecske egy tömbben, egyszerre való mozgását jelenti. A legjellemzőbb formái a sekély, hirtelen keletkező földcsúszások (pl. földomlás, sziklaomlás, törmelékfolyás); valamint a lassabb, de mély kúszás, földcsuszamlás; illetve olyan felszíni jelenségek, mint a sziklagörgeteg. A mély ágyazatú csúszások szempontjából, melyek sekély lejtésű részeket is érinthetnek, a magas kohéziós együttthatóval jellemezhető kőzetek veszélyesek (pl. átalakult vulkáni kőzetek, üledékes kőzetek, agyagpalák). A sekély, hordalékos jellegű földcsúszások általában a talajpaplanra korlátozódnak és alacsony kohéziós együttthatójú talajokon jellemzőek. A vegetáció gyökérzetének védő hatása ilyen területeken különösen lényeges szerepű.

A felszíni erózió egyedi talajrészecskék mozgása, okozója általában a víz. Zavartalan erdős területeken meglehetősen ritka a mérsékelt övben, de a fakitermelési műveletek talajzavarásának közvetlen következménye. Ez a fajta talajpusztulás – becslését tekintve – általában jobban kezelhető, mint a földtömegek eróziója, hiszen az időpont és a befolyásoló tényezők sokkal inkább előreláthatóak. Mértéke eleinte magas, majd fokozatosan csökken a

vegetáció növekedése és az erodálhatóbb anyag területről való eltűnése révén. (Gribovszki 2000)

1.3 A TALAJVESZTESÉG BECSLÉSE

A talajvédelmi munkák tervezésénél nélkülözhetetlen az adott terület évi talajveszteségének ismerete. Becslésére több kutató javasolt összefüggést, de világszerte legelterjedtebb Wischmeier és Smith, az Egyesült Államok vezető talajvédelmi szakemberei által javasolt összefüggés. (Thyll 1992)

Stone (2007), Thyll (1992), az USDA-ARS-MWA NSERL és Gribovszki (2000) nyomán ez az úgynevezett USLE (Universal Soil Loss Equation) egyenlet, mely az esőzés mértékét, a talajtípust, terepviszonyokat, növényborítást, és gazdálkodás módjait veszi alapul. Az összefüggés abból indul ki, hogy az erózió a csapadék erodálóképességétől és a terület erodálhatóságától függ. Az USLE-t eredetileg szántóföldi kultúrákra és gazdálkodási módokra határozták meg, de alkalmazható nem szántóföldi művelés alatt álló területekre is. A talajveszteség öt faktor szorzataként számítható ki az alábbi módon:

$$A = R * K * LS * C * P$$

Az egyenletben R az esőt és a lefolyást jellemző faktor, mely földrajzi helyhez kötött. Az esőcseppek E kinetikai energiájának és az eső I intenzitásának szorzata (30 perces intenzitási érték cm/órában kifejezve) az erózióindex, ezek éves összege átlagos évben az esőtényező. K a talajerodálhatósági tényező, mely a talaj szerves anyag tartalmától, szerkezetétől és áteresztőképességétől függ. LS a topográfiai tényező, mely az L a lejtőhosszúsági tényező és az S a lejtőhajlási tényező szorzata; C a növénytermesztés és gazdálkodás tényezője; P a talajművelés tényezője.

Később az egyenletet többféleképp módosították, hazánkban az erdőterületekre igazított tényezőket először Rácz határozta meg. A Brennbergi-tározó vízgyűjtőjén észlelhető talajpusztulás számítására ez az egyenlet kevésbé alkalmas, mert a túl sok tényező és kevés rendelkezésre álló adat nagy bizonytalanságot és pontatlan eredményt adna. Habár Kucsara és Rácz (1988 és 1991) foglalkozott ilyen számításokkal a közeli Tacsai-árokban (Szalamandra-tó), de ez munkámban legfeljebb csak a végeredmény viszonyítási alapjaként szolgálhat (ld. 7.1. fejezet). Ezért az USLE helyett a Digiterra Map térinformatikai szoftverrel állapítom meg a felhalmozódott hordalék mennyiségét (most feltérképezett hordalékszint – fenékszint). Majd a 2006-2007. évi felmérés eredményét összevetem az 1981-es helyszínrajz mutatta állapottal (2006-ban felmért hordalékszint - 1981-ben felmért fenékszint), illetve a víztározók

feltöltődésének számítására alkalmas Bogárdi (1953) féle megállapításokat használom, és ebből következtetek a vízgyűjtőn 1981 óta bekövetkezett talajvesztés mértékére.

2. VÍZFOLYÁSOK HORDALÉKSZÁLLÍTÁSA

A vízgyűjtőről az erózió során a talaj a tóba belekerülhet közvetlenül, de jellemzőbb, hogy a tavat tápláló patakba jut, onnan pedig nagy része a tározóba szállítódik, ahol kiüledik. Ezért a vízfolyások hordalékszállító tevékenységét is érinteni kell a dolgozat bevezetéseként. Mivel azonban saját számításokat ezzel kapcsolatban nem végeztem, a vonatkozó matematikai összefüggéseket dolgozatomban nem említem. A tározótó feliszapolódása szempontjából fontos eredményeket Gribovszki (2000) nyomán közlöm.

A vízfolyások által szállítható hordalékmennyiség kisebb vagy egyenlő a teljes erodálódott talajmennyiséggel, a kettő aránya a hordalék-szállítási arány, mely függ a vízgyűjtőterület sajátosságaitól és a klimatikus viszonyoktól is. A Brennbergi-tározó vízgyűjtője esetében a képződött hordaléknak mintegy 50%-a hagyja el a vízgyűjtőt. (Gribovszki 2000)

A hordalék mozgása a folyóvízben lehet görgetett, lebegtetett és ugráló-lüktetésszerű. A görgetett hordalék érintkezése a mederfenékkal rövid szakaszokat kivéve állandó. Mozgásának fizikai leírásánál fontos a megindulási határállapot meghatározása. Mennyisége változó, függ a vízfolyás keresztmetszélyétől, és a vízjárástól is. A lebegtetett hordalék a vízben lebegve mozog a vízsebességgel megegyező sebességgel. Mennyisége a lebegésben tartó erőtől függ, és mivel az átmenettel állandóan változik, így a lebegésben tartott hordalék mennyisége és szemcseméret-eloszlása is folyószakaszonként változik. (Bogárdi 1954)

Hordalékanyagok jellemzésénél legfontosabb a szemcsenagyság megállapítása, melyet a szemátmérővel jellemezzünk. A hordalékszemeket jellemezhetjük még alakjuk szerint (alaki tényező, felületi állandó, kopás mértéke, gömbölyűség, szögletesség), de jellemző tulajdonságuk még többek között a fajsúly, hézagterfogat, tömörség, ásványi összetétel, ülepedési sebesség is. (Bogárdi 1954)

A Brennbergi-tározót tápláló Rák-patak hordalékszállítását a felső vízgyűjtő területeken Gribovszki (2000) vizsgálta 1996-1999 között. Megállapította, hogy a referencia-időszakban leérkezett teljes görgetett hordalékhozam $12,25 \text{ dm}^3/\text{ha}$, míg a lebegtetett hordalék és a görgetett hordalék aránya a vizsgált nyári hónapokban 30-40-szeres, télen pedig 2-3-szoros, vagyis a vízhozamok emelkedése a lebegtetett hordalékforma jelentőségét emeli. E megállapítások konkrétan azt eredményezik, hogy 1996-1999 között átlagosan 240-300 kg/ha/év hordalékmennyiség távozott a Rák-patak felső vízgyűjtőjéről.

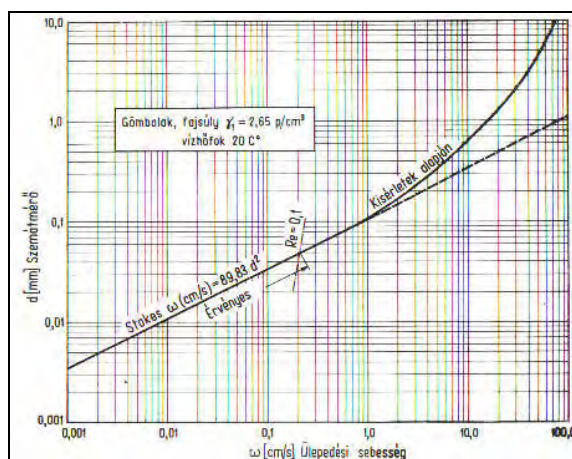
3. VÍZTÁROLÓK FELISZAPOLÓDÁSA, SZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK

Bogárdi (1954, 1971) írja, hogy minden víznél nehezebb részecske a gravitáció hatására lefele irányuló mozgást végez, ülepedik, mely mozgást a víz viszkozitása és sűrűlési ellenállása hátráltatja. A hordalékszemek tiszta vízre vonatkoztatott ülepedési sebessége ω (cm/s). Az ülepedési sebességet először a Stokes-törvény adta meg, mely szerint a részecskére lefele ható erő egyenlő a nehézségi erő hatása a részecskére mínusz a folyadék által a részecskére kifejttet felhajtó erő:

$$\frac{1}{18} g \frac{(\rho_1 - \rho) d^2}{\mu} = \frac{2}{9} \frac{\rho_1 - \rho}{\mu} g r^2 = \omega$$

ahol ρ_1 a részecske, ρ a folyadék sűrűsége ($\text{ps}^2 \text{ cm}^{-4}$); g a nehézségi gyorsulás (cm s^{-2}), r a részecske sugara cm-ben, μ az abszolút viszkozitási együttható (ps cm^{-2}).

Az ülepedési sebesség azonban csak bizonyos feltételek esetén határozható meg.



3. ábra: Gömb alakú, $\gamma_1 = 2,65 \text{ g/cm}^3$ fajsúlyú hordalékszemek ülepedési sebessége 20°C -ú vízben (Bogárdi 1971 nyomán)

A tározóba állandóan érkezik hordalék. A víztárolók feltöltődésénél az évenkénti lebegtetett (G_l) és görgetett (G_g) hordalékmennyiségek összegével kell számolni, azaz: $G = G_l + G_g$. Legyen V a tározó térfogata, F a duzzasztómű keresztzelvényéhez tartozó vízgyűjtőterület és G a tározóba évenként érkező hordalékmennyiség. E jelölések mellett a tározó feliszapolódása az alábbi mértékszámokkal jellemezhető. G érkező hordalékmennyiségből évenként G_0 hordalékmennyiség ülepedik le, így a $\frac{G_0}{G} 100$ érték megadja százalékosan a leülepedő hordalékmennyiséget. A $g_0 = \frac{G_0}{F}$ érték a vízgyűjtőterület egységére eső évenkénti hordalékfeltöltődést jelenti. Ugyanez kifejezhető a tározó térfogatszázalékában is. $(\frac{G_0}{V} 100)$. A tározási magasság, „s” mm-ben adja meg a

tározótérfogatnak az egész vízgyűjtőterületre való elosztása esetén az elméleti tározási vízoszlopmagasságot: $\frac{V}{F * 1000}$, ahol V m³-ben, F km²-ben helyettesítendő be. A vízgyűjtőterület 1 km²-ére eső tározótérfogat a V/F érték. A víztárolók feliszapolódásánál a legfontosabb mértékszám a G_0 / V , vagy ha G_0 ismeretlen, akkor G / V érték. (Bogárdi 1953)

A víztárolók feliszapolódása összefügg azzal is, hogy a duzzasztott víznél csökkennek a sebességek. Ez befolyásolja a lebegtetve szállított hordalék leülepedését, és megszabja azt a határt, amelynél megszűnik a görgetett hordalék szállítása. Így megközelíthető a várható feltöltődés nagysága. Samov és Velikanov (in Bogárdi 1953) eljárásának lényege, hogy bizonyos ω ülepedési sebességű hordalékszemek által megtett út L , ha H a vízmélység és v a vízfolyás sebessége, amely a víztároló mentén változik: $L = t * v = H / \omega * v$. Vagyis a sebességek változásának figyelembe vételével kiszámolható, milyen szemnagyságok ülepednek le a tározótérben, amíg a hordalékot szállító víz a duzzasztóműig elér. A leülepedhető szemnagyságokat, illetve ezek alsó határát ismerve, és ebből a szemnagysághoz tartozó súlyszázalékot kiszámítva megkapjuk, hogy a vízfolyás által szállított hordalékmennyiség hány százaléka fog leülepedni a tározóban. (A hordalék-lerakódás növekedésével a tározó hordalék-visszatartó képessége fokozatosan csökken.) Bogárdi (1953) még további számítási módokat is említ, de dolgozatomban ezek részletes bemutatásától eltekintek.

A víztárolók feliszapolódása a duzzasztómű felépülte utáni első években a legnagyobb mértékű. Megfigyelték, hogy a durvaszemű hordalék lerakódása a duzzasztótér felső határánál megáll. E lerakódások kis kiterjedésűek, de magasak. A duzzasztási határ környékén lerakódó fenékhordalékok jelentős vízszintemelkedéseket is eredményezhetnek. A finomszemű hordalék ülepedése az egész medencében egyenletesebb. A tározók feltöltődését befolyásolja a medence nagysága, a folyó hosszában való helyzete (felső, középső vagy alsó szakasz), valamint a duzzasztómű kezelése. (Bogárdi 1953)

Bogárdi (1953) kétféle módszert ír még le a víztárolókban lerakódott hordaléktérfogat megállapítására. Az elsőnél a felvétel időpontjában meghatározott tározótérfogat (illetve munkám során a hordalékfelszín) és az eredeti tározótérfogat (dolgozatomban az eredeti tófenék) különbsége adja az eredményt. Itt tehát az eredeti tározótérfogat ismerete a feltétel. A módszer hamis eredményt ad, ha az eredeti állapotról készült rétegvonalas felvételek pontatlanok, vagy ha a lerakódott hordalék túl kevés az eredeti térfogathoz képest. A második módszer a közvetlen hordaléktérfogat-mérés, melyet különböző eszközökkel végezhetünk el.

Munkám során mindkét módszert megpróbáltam alkalmazni, és a kapott eredményeket összevetni (ld. az 1.3, 5., 6. és 7. pontban).

4. A BRENNBERGI-TÁROZÓ KIALAKULÁSÁNAK TÖRTÉNETE, KÖRNYEZETI ÁLLAPOTA, ÉS VÍZGYŰJTŐJÉNEK GEOLÓGIAI-BOTANIKAI JELLEMZÉSE

4.1 A BRENNBERGI-TÁROZÓ KIALAKÍTÁSA

A Brennbergi-tározó (másnéven Pisztrángos-tó vagy Fehér úti tó) mai formában a Rák-patak völgyében létesült az - akkori - Országos Környezet és Természetvédelmi Hivatal megbízásából, tájesztétikai célból, a volt brennbergi bányavasút töltésének felhasználásával 1981-1982-ben. Az 1981-ben készült rekonstrukcióról szóló műszaki leírás szerint 1965-ben már végeztek ideiglenes kísérleti duzzasztást a völgyben, melynek érdekében egy ideiglenes zsilip épült.

A VIZITERV 1965-ben készített tanulmánytervében elemezte a tárolási lehetőségeket és megállapította, hogy megfelelő altalaj és gátszigeteléssel 8 m-es vízoszlopmagasság mellett 220000 m³ tározótér létesíthető. Az OKTH 1981. évi, tájesztétikai szempontú duzzasztási igénye azonos volt az 1965-ös kísérleti duzzasztás 327,55 mAf szintjével, ami 3,00 m vízoszlopot jelentett. Kiszámították, hogy kiegészítő duzzasztás (324,55 mAf – 327,55 mAf, illetve 323,875 mBf – 327,875 mBf szintek között) esetén a tározótérben 50030 m³ víz gyűlné össze, mely a meglevő gát tömegével biztonságosan megfogható és megtartható. A fölös vízhozam a zsiliptábla fölötti szabad átbukással a meglevő átereszen és medren elfolyik.

A rekonstrukció kivitelezése során a tófenéken felhalmozódott iszapot a mocsarasodás miatt nád és sás gyökérzettel együtt lefejtették és az erdőoldalon deponálták. A leszikkasztásra ideiglenes vízelvezető árok létesült. Az iszapdepóniát termőfölddel fedték le. A mederben felnőtt égererdő egy részét kiirtották, felső részét meghagyták. Gondoskodni kellett a töltés vízzáróvá tételéről is. A szivárgások megakadályozására a meglevő vízoldali rézsűn 20 cm vastagságban lefejtették a humuszt, melynek laza gyökérmentes részét külön deponálták a későbbi visszateríthetőség és füvesíthetőség érdekében, majd a töltés rézsút lépcsőzték a vízoldalon. A fogazott rézsűoldalra vízszigetelő fóliát és agyagot helyeztek. A gátudvarban agyag résfalat építettek szigetelő agyagterítéssel. A vízzáró agyagékra 10 cm vastag homokos kavics került a duzzasztási szintig, efölé pedig 10 cm vastag humusz, melyet füvesítettek később. A duzzasztáshoz a következő műtárgyak készültek el: csőáteresz betonzsilippel, amely átbukással vezeti el a vízhozamot az átereszen keresztül; duplahálós vasbeton vízláda és utófenék, illetve egyhálós betonnal kiképezett fenéklemmez az átbukó víz

energiájának megtörésére, kimosások megakadályozására; oldalrésekbe helyezett vízzáró fábetét; mentett oldalon kétoldali, kőszórással biztosított övások a szivárgó vizek mederbe vezetésére. (A Kapuvári Vízgazdálkodási Társulat 8-1/1981 munkaszámú műszaki leírása alapján)

4.2 A VÍZGYŰJTŐ TERÜLET JELLEMZÉSE

A Brennbergi-tározó - Magyarország kistájainak katasztere (1990) alapján - a Nyugat-magyarországi peremvidék nagytáj, Alpokalja középtáj és a Soproni-hegység kistáj része, hiszen a víztározót közvetlenül tápláló, az Ikva vízgyűjtőjéhez tartozó Rák-patak vízgyűjtő területe Sopron várostól nyugatra, a Soproni-hegységben található. A vízgyűjtő domborzata változatos, több kisebb részvízgyűjtőre tagolódik. Az oldalvölgyek egy részében található csak állandó vízfolyás. Legfelső részét, a Hidegvíz-völgyet a vízvásztón húzódó magyar-osztrák határ szinte körül öleli. Mivel határátkelő nincs a vízgyűjtőt övező határszakaszon, a mélyművelésű barnaszénbánya 1952-ben történt felhagyása után – az erdőgazdálkodástól és turizmustól eltekintve – komolyabb zavarás nem érintette a völgyet. Részben ennek köszönheti a terület természeti értékekben való gazdagságát, amelynek okán a terület a Soproni Tájvédelmi Körzet része.

A Soproni-hegység fő tömegét a földtörténeti ókorból származó kristályos tömbök (gneisz, muszkovit, csillámpalák: pl. leukofillit) adják. A vízben való viszonylagos gazdagságot is a közettani felépítés magyarázza. A hegység Magyarországra eső területének nyugati részén (ld. Brennbergi-medence) a metamorfitek eltűnnek a felszínről a miocénban rájuk rakódott, Alpokból származó, folyó-, és félsósvízi kavicsos hordalék alatt (Rakonczay 1996 és Kalicz 2006). A vízgyűjtő nagy részén ez az osztályozatlan agyagos-kavicsos összlet képezi az alapkőzetet. A holocén idején a löszporszórás ezeket a rétegeket is befedte, s a jelenkori talajképződés ezen indult be. A kristályos kőzetek nyugat felé haladva a felszínen a Köves-patak völgyéig találhatók meg. Itt a jobb völgyoldal meredek fala kristályos palából áll, a lapos bal oldalon a már említett kavicsos alapkőzetet találhatjuk meg. A kristályos alapkőzetre öt réteg települt, melyeket két formációba tagoztak be a geológusok.

1. Ligeterdői Kavics Formáció (Felsőtödli Kavics Tagozat; Magasbérci Homok Tagozat; Felsőligeterdői Kavics Tagozat; Alsóligeterdői Kavics Tagozat)

2. Brennbergi Barnaköszén Formáció

A vizsgált térségben a kristályos pala aljzatra települt üledéksorozat vastagsága jelentős. A teljes vízgyűjtőben ez alkotja az alapkőzetet. A Hidegvíz-völgyben csak a Ligeterdői Kavics Formációba sorolható két tagozat jelenik meg a felszínen. A durvább

szemcseösszetételű Felsőtödli Kavics vastagsága nem túl nagy, így alóla a völgyek alján a finomabb összetételű Magasbérci Homok bukkan a felszínre. Ebbe a rétegbe a völgyfenékek erősen berágódtak. A közetrétegeket számos vetődés szabdalja szét, amelyek meghatározzák a vízhalózat kialakulását. A Rák-patak vonala egy nagyobb törést követ. E törés mentén a rétegek úgy billentek meg, hogy a déli részen a patak felé, az északi részen pedig a pataktól elfelé lejtjenek. Az oldalvölgyek a Rák-patak vonalára merőleges törések vonala mentén alakultak ki. Az alapkőzetbe települt kevésbé vízáteresztő agyagos rétegek a víz mozgását meghatározzák, így a déli részen bővizű, állandó-, az északin pedig időszakos vízfolyások alakultak ki.

A Soproni-hegységre jellemzően a vizsgált vízgyűjtőkön is podzolos barna erdőtalajok (PBE), erősen savanyú nem podzolos barna erdőtalajok (SBE), agyagbemosódásos barna erdőtalajok (ABE), a völgyek alján pedig lejtőhordalék erdőtalajok (LHE) találhatók meg. A részvízgyűjtők talajadottságai között tehát lényeges eltérés nem tapasztalható. A podzolosodás miatt a PBE talajtípus vízgazdálkodása nem olyan kedvező, mint az ABE típusé és szerkezeténél fogva erózióra hajlamos. A Vadkan-árokban a lankásabb völgyfenéknek köszönhetően megjelenik a LHE, ami egyes völgyekből hiányzik vagy csak igen minimális mennyiségben található meg. A meredek partoldalakon főként a patakmeder közelében az erózió jól látható módon jelentkezik a kisvízgyűjtőben.

A vizsgált terület az erdészeti tájosztályozás szerint a Brennbergi-medencében található, ahol az évi középhőmérséklet 8-8,5 °C, a januári középhőmérséklet -2,0, a júliusi 19,0 °C. Az északkeleti és az adriai ciklonok, főleg a nyári időszakban, jelentős mennyiségű vízgőzt szállítanak az Alpok előterébe. A brennbergi megfigyelőállomás adatai szerint, 40 év átlagában (az 1920–60 közötti időszakra), az évi átlagos csapadék 917 mm, amelyből 584 mm a tenyészidőszakban hullik. Ez a csapadékmennyiség az 1960 óta eltelt időszakban 650 mm körüli értékre csökkent. (Vig Péter szóbeli közlése nyomán) Az erdészeti gyakorlatban használt Járó-féle osztályozás szerint, a Rák-patak vízgyűjtő területe legfőképp a bükkös klímába tartozik. A hidrológiai viszonyok tekintetében pedig, az üzemtervi adatok szerint, a többletvízhatástól független osztályba sorolható. Ez azonban a teljes területre nem igaz, mert a völgyfenéken a szivárgó vizes termőhelyek jelentős területet képviselnek. (Kalicz 2006)

A kistáj, így a vízgyűjtő is, növényföldrajzi viszonyait tekintve a kelet-alpesi flóratartomány (Noricum) Sopron-kőszegi flórajárásához (Ceticum) tartozik. Jellemzőes potenciális erdőtársulásai a jegenyefenyves-lucosok (Bazzanio-Abietum), a gyertyánelegyes bükkösök (Melico-Fagetum) és a gyertyános-kocsánytalan tölgyesek (Quercus petraeae-Carpinetum). (MTA Földrajztudományi Kutató Intézet 1990)

Gribovszki (2000) írja, hogy a növénytakaró jellegzetes képét az emberi kultúra évezredek óta jelentősen megváltoztatták. Egykor kiterjedt szubmontán bükkösök (*Cyclamini-Fagetum*) álltak a hegyvidéken, de ezek ma már csak a Brennbergi-medencében találhatók meg. Helyüket legtöbbször a lucfenyvesek, erdei fenyvesek, száraz termőhelyen pedig mészkerülő tölgyesek (*Castaneo-Quercetum*) és nyíres csarabosok foglalják el.

A Rák-patak völgyének természetes erdőtársulása az égerliget (*Aegopodio-Alnetum*), amely nagyon sok fiatal egyedből áll. Jól megfigyelhető ez a Brennbergi-tározó felső, torkolati vidékén is. Az égeren (*Alnus glutinosa*) kívül gyakori fajok a törékeny fűz (*Salix fragilis*), magas kőris (*Fraxinus excelsior*), hegyi és korai juhar (*Acer pseudoplatanus*, *Acer platanoides*). A cserjeszintben kutyabenge (*Frangula alnus*), kánybangita (*Viburnum opulus*), mogyoró (*Corylus avellana*), zselnicemeggy (*Padus avium*), fordul elő. E fajokat Gribovszkihoz (2000) hasonlóan saját terepbejárásaim során is megfigyeltem, akárcsak az aljnövényzet fő fajait, mint a madársóska (*Oxalis acetosella*), aranyos veselke (*Chrysosplenium alternifolium*), salátaboglárka (*Ficaria verna*), fehér zászpa (*Veratrum album*), rezgő sás (*Carex brizoides*), nagy csalán (*Urtica dioica*), földi szeder (*Rubus fruticosus*), ciklámen (*Cyclamen purpurascens*), illatos ibolya (*Viola odorata*), erdei szamóca (*Fragaria vesca*), borostyán (*Hedera helix*). Néhány tipikus tóparti faj például a vízi peszérce (*Lycopus europaeus*), a farkasfog (*Bidens tripartitus*), vízi hídör (*Arisma plantago-aquatica*), gyékény (*Typha* sp.).

Ez az aljnövényzet a vízmosásokban és oldalfalain megjelenve csökkenthetik a talajerózió veszélyét, ám mozgó árkok földcsúszásainak felületén és a patak folyamatosan változó medrű, nagysebességű szakaszain lágyszárú növényzet nem tud megtelepedni. (Gribovszki 2000)

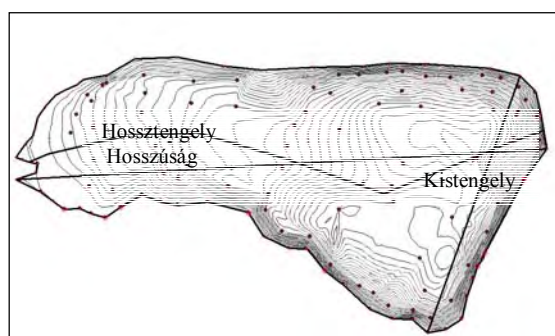
Az alpin-kárpáti, illetve montán flóraelemek csoportjába sorolhatjuk a felső részvízgyűjtőn, a Hidegvíz-völgyben élő védett struccharasztot (*Matteuccia struthiopteris*), a hegyi páfrányt (*Oreopteris limbosperma*), az erdei zsurlót (*Equisetum sylvaticum*), a farkasboroszlánt (*Daphne mezereum*), a már említett fehér zászpát (*Veratrum album*), a fehér acsalaput (*Petasites albus*), az enyves aszatot (*Cirsium erisithales*) és az országban csak itt növő havasi palástfüvet (*Alchemilla alpestris*). A Brennbergi-tározó fölötti rét védett őszi faja az őszi kikerics (*Colchicum autumnale*), de ugyanitt számos gombafaj is honos. E fajok is indokolták a terület fokozottan védetté nyilvánítását.

A Soproni Tájvédelmi Körzet legjáratabb völgye, a régi kisvasúti töltés (Felső-Tódl) és az Asztalfő között van. Ezen a 496,8 hektárnyi területen folyik végig a Hidegvíz és a Rák-patak. A tanulmányozott víztározó másik nevét (Pisztrángos-tó) onnan kapta, hogy a

patakokban eredetileg sok rák és szivárványos pisztráng élt. A környező hegyi kaszálórétek a közeli Alpokból leszállt szubalpin flóraelemeinek megőrzői. Mocsárrétjein az óriás zsurló (*Equisetum telmateia*), ujjas kosborok élnek. (Rakonczay 1996)

4.3 A BRENNBERGI-TÁROZÓ ALAKTANA ÉS FONTOSABB MÉRETEI

A tómedencék változatos kialakulási módja miatt alakjuk sokféle lehet. Limnobiológiai kutatások is megkövetelik, hogy ismerjük jellemző méreteiket, melyek közül a Brennbergi-tározóra általam kiszámolt értékeket Felföldy (1981), Koris és Józsa (2001) és Lovász (2000) alapján tekintek át. Habár e tulajdonságokat elsősorban természetes tómedencékre határozták meg, a mesterséges tavakra is érvényesek.



4. ábra: A Brennbergi-tározó hosszúsága (l), hossz tengelye és kistengelye

A meder tükrenek két legtávolabbi pontját összekötő egyenes hossza a tó hosszúsága, értéke a Brennbergi-tározó esetében: $l = 288$ m. A tó hossz tengelye 291 m, mely a szemközti partok közti felezőpontokat összekötő vonal. A tó szélessége a hosszúság vonalára merőleges, parttól partig húzható egyenes. Az általános szélesség $b = A / l = 90$ m, ahol a tó felülete $A =$

25772 m^2 . (ld. 4. ábra) A tó területe a víztükrő felülete is egyben. Gyakran meg kell adni az egyes mélységvonalakhoz tartozó területet is (A_z), hiszen a tófelület az aktuális vízállástól függően nagymértékben változhat. Ugyanakkor a tó szélének kijelölése lapos, vízínövénnyel borított partú medence esetén gyakran bizonytalan; a mi felmérésünket is nehezítette ez a körülmény.

A vízmélység (z) legfontosabb tényező a tavak jellegének, élővilágának, vízmélységének kialakulása szempontjából. A vízmélység aktuális értékét a - jelen esetben a 2006. 08. 30-i - vízállás szerint értékeljük. A tározóra jellemző legnagyobb mélység z_m (vagy z_{Max}) = 2,9 m, de itt ezalatt a legnagyobb vízoszlopmagasság értendő, a lágy mederanyag vastagságát nem adtam hozzá. A tó térfogatának és a tófelszínnek a hányadosa – szintén a 2006. 08. 30-i vízállás mellett – a tó átlagmélységét (közepes mélységét) határozza meg: $z_k = V / A = 2$ m, ahol a tó térfogata már magában foglalja a hordalék térfogatát is:

$$V = V_{\text{víz}} + V_{\text{hordalék}} = 41079 \text{ m}^3 + 9983 \text{ m}^3 = 51062 \text{ m}^3.$$

A relatív mélység (z_r) megadja, hogy a legnagyobb mélység hány százaléka a tó közepes átmérőjének:

$$z_r = \frac{50z_m * \sqrt{\pi}}{\sqrt{A}} = 1,6\%.$$

Ez az érték kisebb 2 %-nál, tehát sekély, kevésbé jól rétegzett tóról van szó. A meder térfogata (V) meghatározását szintvonalas batimetrikus, másnéven mélységvonalas térkép alapján végezzük el.

A part hosszúsága $L = 754$ m. A partindexek jelentősége abban áll, hogy a part a víz és szárazföld érintkezőhelye. Legegyszerűbb ezek közül a tóhossz és parthossz aránya, mely a vizsgált tározónál: $L/l = 2,6$. A part tagoltságát (D_L) (másként: part futásfejlettsége, tó fejlettsége) a tó felületével azonos területű kör kerületének a part hosszához való viszonya fejezi ki:

$$D_L = \frac{L}{2\sqrt{\pi A}} = 1,3.$$

Koris és Józsa (2001) írja, ha ez az érték 1-hez közelít, akkor a tó kör alakú, ha 1-nél sokkal kisebb, akkor igen fejlett partvonalú tóról beszélünk. A Pisztrángos-tó partjának futásfejlettsége tehát csekély. Azonban ez az eredmény megtévesztő, hiszen a felmérés során – a már említett körülmények miatt - pontosan nem tudtuk követni a partvonalat, hanem inkább a töréspontokhoz igazítottuk a mérést (ld. még 5. és 7.3 fejezet). Így a parthossz a valóságban észlelhetőnél rövidebb lett. A partvonal hosszának és a tó víztömegének viszonyát a part-víztömeg index adja meg (D_V). Ez a valódi part hosszúságának és a tó vízmennyiségével egyenlő térfogatú félgömb legnagyobb köre kerületének aránya:

$$D_V = \frac{L}{2\sqrt[3]{1,5\pi^2 V}} = 4,5 \text{ (itt } V_{\text{viz}}\text{-zel számoltam).}$$

Kerekes (1974 in Felföldy 1981) parthossz-térfogat indexe a parti tényezők befolyását mutatja a meder térfogatára. Számítása úgy történik, hogy a parthossz-felület arányt osztjuk a közepes mélységgel: $(L / A) / z_k = L / V = 0,015$. Ez az index sekély tavakban > 10 , nagy, mély tavakban $< 0,001$. Így megállapítható, hogy vizsgálatom tárgya sekély tó. A tómedence állandósági indexe ennek reciproka: $V / L = 67,7$.

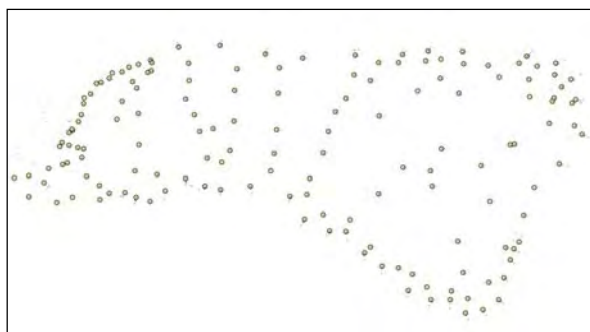
Megjegyzem még, hogy a számítások eredménye (pl. V, A) eltérhet néhány, a 7.1 fejezetben is megtalálható értékektől, ennek oka a Digiterra Map szoftver jellegzetességeiben rejlik (pl. számítás más cellamérettel). Számításaim a mért partvonallal és az azzal körülhatárolt területre végeztem, a lekerekített partvonal (ld. 6.2.2 pont) csupán esztétikai célokat szolgál.

5. A TÓ ÉS KÖRNYÉKE DOMBORZATÁNAK FELMÉRÉSE: A TEREPI MÉRÉS MÓDSZEREI ÉS ESZKÖZEI

A terepi mérést Trimble gyártmányú elektronikus mérőállomással végeztem el. A felméréshez egy hat alappontból álló szabad sokszögvonalat létesítettünk több részletben, majd a sokszögpontokból mértük be a többi részletpontot. A sokszögvonal országos (EOV) hálózatba illesztése még folyamatban van, egyelőre csak a pontok magassági (Z) koordinátáit számoltam át a helyi rendszerben mértről EOV magassági koordinátákra. E méréshez GPS-t, a koordináta-transzformációhoz pedig a GPSurvey 2.35 szoftvert, illetve az (EHT)² számítógépes programot vettem igénybe.

Először a partvonal felmérését végeztük el. A vízszint változásai a legtöbb helyen három jellemző törésvonalat/partvonalat alakítottak ki, ezért erre is figyelemmel kellett lennünk a terepi mérés során. Helyenként négy töréspontot is bemértünk. Egyes részletpontokon az aktuális vízszint rögzítése is megtörtént.

A tó területén a hordalékszint és fenékszint felméréséhez a Pisztráng horgásztársaság bádogcsónakját használtuk. A tavi részletpontok 15X15m-es négyzethálók sarokpontjait



5. ábra: A felmért pontok halmaza

képezték volna. Azonban a felméréskor uralkodó erős szél, a felső harmadban az erőteljes feliszapolódás, a mély részeken pedig a nehéz prizmatot mélybe való lebocsátása, megtartása miatt a könnyű csónakot nem lehetett a partról történő irányba intésnek megfelelően mozgatni. Sokszor a parti iránykijelölés sem volt pontos. Utólag már

látni, hogy célszerűbb lett volna egy előzetesen GPS-szel bemért pontháló alapján tájékozódni és felmérni a terepfelületet.

A kevésbé mély részeken, ahol 3 méter alatt maradt a vízszint, egy 3 méter hosszú, speciális hordalékszintmérő rúddal dolgoztunk, melyre prizmat szereltünk fel. A kitámasztott csónakból úgy történt a tófenék magasságának, majd a hordalék vastagságának meghatározása, hogy a prizmás rúd hegye a tófenékre illeszkedett, míg a rúdra felszerelt tolólapot az iszap tetejére bocsátottuk le. E munkaszakasz során bebizonyosodott a feltételezés, hogy a legnagyobb hordalékvastagság a Rák-patak torkolati helyénél alakult ki. Helyenként itt a csónak evezővel történő mozgatása is gondot okozott.

Ahol a vízmélység a 3 métert meghaladta (ez leginkább a zsilip környékén jelentkezett), más módszerre volt szükség. Itt egy 4,5 méteres prizmabottal mértük a tófenék szintjét, míg a hordalékszintet egy fél méteres beosztásokkal ellátott kötéllel az iszap tetejére lebecsátott merülőkoronggal (Secchi-korong) állapítottuk meg.

A patak torkolata előtti, a nyár végi mérés óta már szárazra került hordalékkúp és a Rák-patak itteni szakaszának felmérésére 2007 februárjában került sor. 2007. március elején a hordalékszint-fedvény tökéletesítése volt a cél. Ez a 106-os sokszögpontról beosztásokkal ellátott prizmarúddal történt úgy, hogy a prizmát addig szúrtam az iszapba, míg lehetett, ezt a vastagságot leolvastam, majd hozzáadtam a mért Z-koordináta-hoz. A terepi munkálatok folytatásaként bemérésre került egy medence a tározótól délre, amely esetlegesen a később kitermelt hordalék elhelyezésére szolgálhat. A medence domborzatának szintvonalról-szintvonalra haladva rögzítése a már említett szabad sokszögvonallal 107-es számú sokszögpontjából történt.

6. AZ ADATOK FELDOLGOZÁSA TÉRINFORMATIKAI MÓDSZERREL

6.1 A CÉLOK ÖSSZEFOGLALÁSA

A terepi adatok feldolgozását a Digiterra Map nevű térinformatikai szoftver 3.6.9.5.-ös verziójának segítségével végeztem el. A Digiterra Map programmal munkám fő célja az volt, hogy ábrázoljam a terepet hordalék nélkül és hordalékkal, majd e két réteg magasságkülönbségét alapul véve kiszámoljam a kitermelendő hordalék hozzávetőleges mennyiségét. A pontosabb számolás érdekében később elkészítettem még ugyanezen fedvényeknek csak a tó – felmérés időtartama alatt - állandóan vízzel borított területére vonatkozó változatait. A térképen fel kellett tüntetni a jelentősebb part –és tereptöréseket, a Rák-patakot, a létesített műtárgyakat (híd, zsilip). A hordalékmennyiség minél pontosabb meghatározásához a tófenék és a hordalékfelszín csak a tó területére értelmezett térképét minél nagyobb arányú fedésbe kellett hozni, amelyet több tény is akadályozott. A csónakos mérés során a torkolat táján túl magas hordalékszint és a tóba benyúló sarjégeres miatti nehéz megközelíthetőség gátolta meg a tökéletes hordalékszint-fedvény elkészítését és a pontos partvonal-bemérést, míg a partról, a hordalékkúpon történő terepi hordalékszint-mérést szintén a sarjeredetű égeres és a süppedős talaj jelentett problémát a pontthálózat sűrítésében.

A Digiterra Map programmal való művelet következő szakaszában a hordalék vastagságát és a vízoszlop magasságát is térképeztem a fenti két változatra. Végül a

hordaléktároló medence pontjainak ábrázolása, szintvonalas és magasság alapján színezett térkép készítése történt meg.

6.2 A FELDOLGOZÁS LÉPÉSEI

Az elektronikus feldolgozás módja és folyamata a Digiterra Map szoftver kézikönyvében és a Mellékletben ugyan olvashatók, de néhány vizsgálati lépésről fontos konkrétan is beszámolni.

6.2.1 Az adatok feldolgozásra alkalmassá tétele

A mérőállomás elektronikus adatgyűjtőjéből kinyert pontok egy *.csv kiterjesztésű fájlba kerültek mentésre. (A pontok kinyerésének módja az adatgyűjtőből a mellékletben olvasható.) Ezt Microsoft Excelben, majd a Jegyzetömbben tovább módosítottam. Ahhoz, hogy a térképi ábrázolás helyesen legyen, a műszer által megadott X és Y koordinátákat fel kellett cserélni a helyes térképi ábrázolás érdekében.

A hordalékszint térképezéséhez a fenékszint koordinátáinak magasságát is módosítani kellett, melyhez a Microsoft Excel nevű táblázatkezelőt használtam. Itt az „f”-betűjelű pontok Z koordinátáihoz hozzáadtam a hordalékvastagságot (a speciális tolólapos-prizmás rúddal és a beosztásos prizmas rúddal mért esetekben), illetve a mélyebb részeknél az aktuális vízszint magasságából vontam ki a Secchi-koronggal mért vízoszlop magasságát, megkapva ezzel az iszapfelszín magasságát (Z’).

A terepi mérés során az adatgyűjtőben rögzítettük a pontok kódjait is, mely szám és betű kombinációjából áll. Jelöléseim az 1. táblázat tartalmazza.

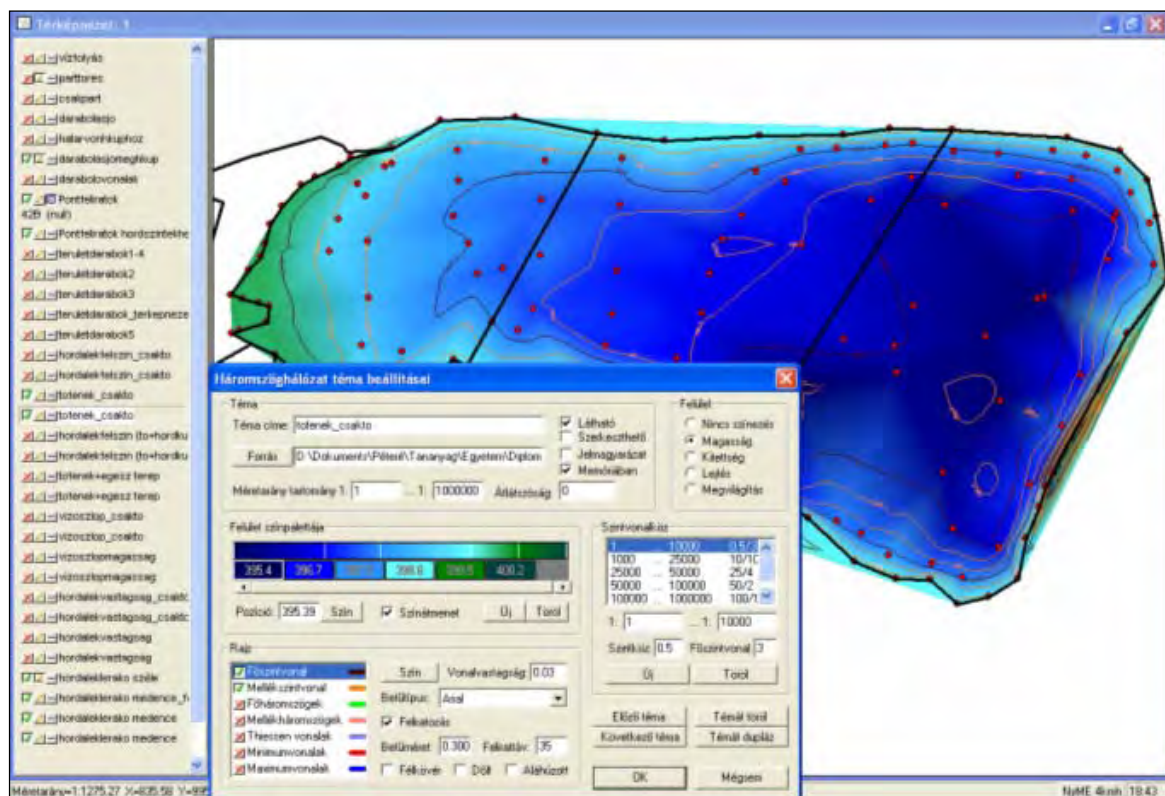
sp	a sokszögpontok betűjele
p	partvonal töréspontjai, melyekkel igyekeztünk - lehetőség szerint – négy szintsíkot kijelölni a part mentén
f	tó fenékszintje, illetve a hordalékvastagságokat mutató fedvényen a hordalékszint tetejét alkotó pontok
vsz	a mérés napján aktuális vízszintet jelölő pont
t	tereppontok (többnyire a hordalékkúpon)
pv	a Rák-patak partja
v	a hordalékkúpon átfolyó Rák-patak partvonalának töréspontjai
h	a Rák-patak hídjának tó fele eső két sarokpontja
z	a műtárgy (zsilip) sarokpontjai
T	hordaléktároló medence tereppontjai
D	vízmosás vége
hv	tó- és tereppontok, ahol hordalékvastagságot mértünk
vo	tó- és tereppontok, ahol a vízoszlop magasságát számoltam
UT	Út pontjai

1. táblázat: A felmért pontok betűkódjának jegyzéke

6.2.2 Műveletek a Digiterra Map programmal

A térkép készítésének első lépése a Digiterra Map programban a pontok importálása volt. A megfelelő lépésekkel kapott eredményfájlok aktív térképnézethez történő hozzáadásával jelenítettem meg a tófenék és az azon kívüli terep, illetve a hordalékfelszín pontjait. A tó vizsgálati időszak alatt állandóan vízzel borított részére külön elkészítettem a pontok halmazát tartalmazó témákat mind a tófenék, mind a hordalékréteg felszínére nézve. E pontok alapján készítettem el aztán a tófenék és a hordalékfelszín szintvonalas és magassági színezéssel ellátott térképét (Delaunay-lefedések). A tófenék szintvonalas ábrázolásánál figyelemmel kellett lennem arra, hogy a zsilip pontjait („z” betűkóddal ellátott pontok) kiszűrjem, amikor generálom a Delaunay-féle háromszögelést, mert a műtárgy magassága kiugró értékeket eredményezett volna a szintvonalak és a magassági színezés esetében.

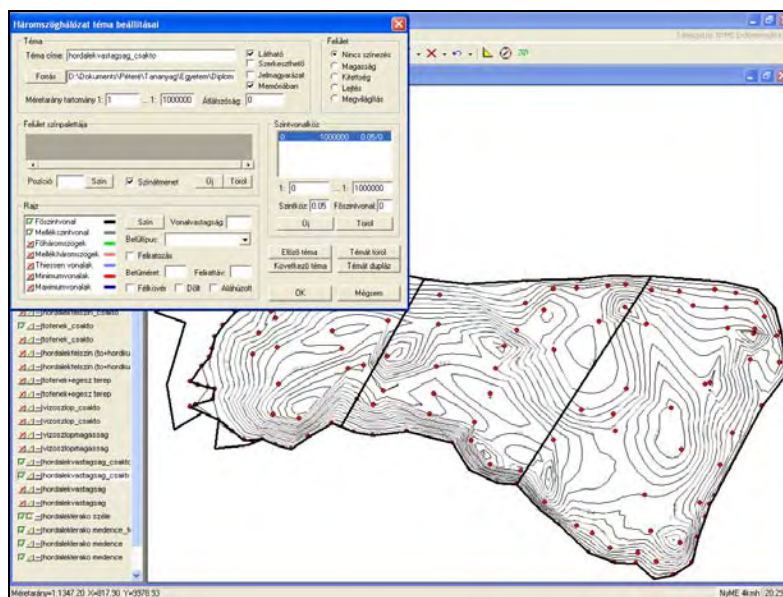
A témák legkedvezőbb alkalmazhatósága végett az alábbi beállításokat kellett elvégezni a hordalékfelszín fedvényeknél: az $M=1:1$ és $M=1:10000$ méretarány-tartományok között minden 3. szintvonalat főszintvonalnak állítottam be, a szintközt pedig 0.35 méternek vettem.



6. ábra: Delaunay-típusú lefedések beállításai a „tofenek_csakto” téma esetében

A tófenék fedvényeknél pedig ugyanezen mérettartományok között a szintköz 0.5 méter, és szintén minden 3. szintvonal főszintvonal. A 6. ábrán a Delaunay-típusú lefedések beállításait láthatjuk a „tofenek_csakto” téma esetében. Hasonló módon hoztam létre a többi Delaunay-típusú lefedést is.

A vízszlop és hordalékvastagság térképezésénél célszerűbb volt elhagynom a magassági színezést, itt csak feliratos szintvonalakkal ábrázoltam a magasságot. Továbbá az adatleolvasás megkönnyítése érdekében a hordalékvastagság rétegnél minden méretaránytartományban 0.05 m-es szintközt (szintvonalak távolsága) állítottam be, a főszintvonal mezőben pedig 0 érték áll (ez a szám mutatja, hogy hányadik szintvonal főszintvonal). A „hordalekvastagsag_csakto” rétegnél a szintköz 0.1 m, 0 főszintvonal érték mellett. Ezt mutatja a 7. ábra.



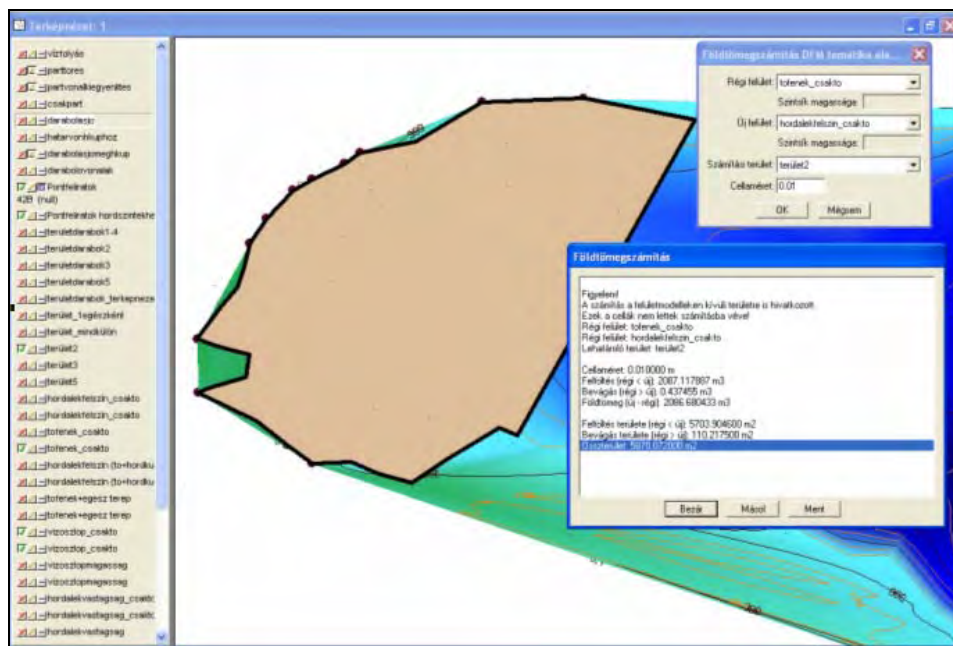
7. ábra: Háromszöghálózat téma (*.tin) beállításai a „hordalekvastagsag_csakto” fedvénynél

A térkép a pontok 1. táblázatban feltüntetett betűkódjait is tartalmazza. A következő lépésben a vonalas fedvényeket hoztam létre. A part törésvonalainak megjelenítéséhez a közel azonos szintűket kijelölő „p” és „t”-jelű pontokat kötöttem össze. Kijelöltem a Rák-patak vonalát is. (A Rák-patak a 2007. februári felmérés óta változtatta medrét és torkolati helyét!) A négy törésvonal közül az alsó a tó partvonalát jelenti, ezt külön rétegben kiemeltem. A partvonal lekerekítése csupán esztétikai szerepű. A hordalékkúp lehatárolásához ugyancsak egy külön vonalas réteg szolgál. A vonalas témák szerepe a darabolásnál jelentős. Megfigyelhető, hogy a tó feltöltődése nem egyenletes, a torkolat környékén rakódott le a legtöbb hordalék, legkevesebb pedig a zsilip környékén van. A tervezett iszapkotrás így valószínűleg csak a tó felső harmadát fogja érinteni. Ezért célszerű volt a tó felületét két darabolóvonallal három részre osztani.

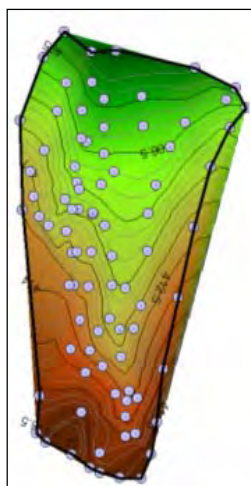
Ahhoz, hogy a hordalékkúpot a tótól elkülönítve, valamint a tó felületét is valóban, három részletben, egymástól szeparálva tudjuk tanulmányozni, az egyesített határolóvonalak segítségével öt különböző területdarabot kellett felépítenem, melyek lefedik a vizsgált

felületeket. Ez alapján a hordalékkúpra eső két terület száma É-D-i irányban „1” és „4”, míg a tóra esőké Ny-ról K-i irányba haladva „2”, „3”, „5”.

Az egyes területrészek külön-külön történő megjelenítéséhez „Szűrést” kellett végrehajtanom, melyhez a „Filter” ablakban mindig azt a sorszámú területrészt írtam a függvénybe, melyet megjeleníteni szeretnék. (A függvény általános alakját ld. a Mellékletben!) Magyarázként: az elkészített területek egy „leplet” képeznek a szintvonalas térkép felett. A szűréssel onnan távolítunk el belőle darabokat, azokat a sorszámokat írjuk a függvénybe, amelynek szintvonalas és magassági színezéssel ellátott térképét szeretnénk látni.



8. ábra: A földtömegszámítás művelete a 2. szektorra



9. ábra: A hordaléktároló medence szintvonalas térképe

A földtömegszámításhoz (8. ábra) külön elő kellett állítani a lehatároló területeket. A felhalmozódott hordalék mennyiségét a - tó állandóan vízzel borított területére érvényes - hordalékfelszín (új felület) és tófenék (régi felület) különbségeként kaptam. A másik módszer, hogy „régi felületként” egy 0m magasságú szintsíkot veszek, „új felületnek” pedig a hordalékvastagságot. Mindkettő számítási mód ugyanazokat az értékeket eredményezi. (Eredményeket ld. a 7. fejezetben!)

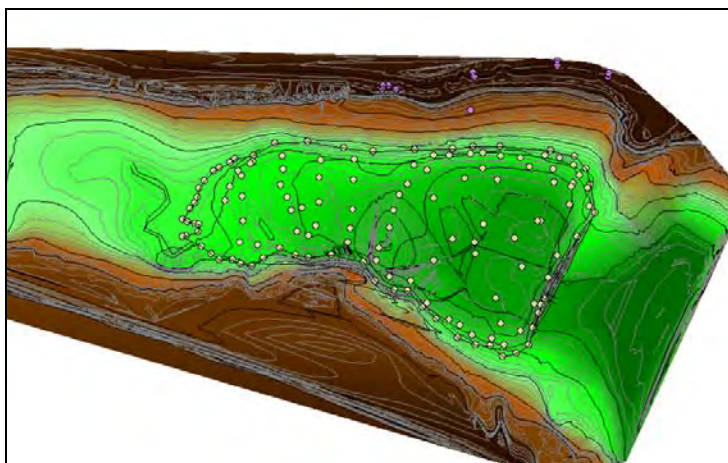
A szeptemberben felmért pontokat szintén importáltam a Digiterra Map-be, elkészítettem a medence szintvonalas térképét, melyet magassági színezéssel is elláttam. Beállítottam, hogy az M=1:1 és M=1:10000000 méretarány-tartományok között minden 3. szintvonal főszintvonal legyen, a szintköz pedig 0.5 méter. A térképen a

főszintvonalakat és a mellékszintvonalakat tüntettem fel és feliratoztam őket. A medence szélét lehatároltam egy vonalas réteggel. A 9. ábra a hordaléktároló medence szintvonalas és magassági színezéssel ellátott térképét tartalmazza.

Az 1981-ben készült szintvonalas helyszínrajzot a feldolgozáshoz előbb digitalizáltam, majd tájékoztam a saját készítésű szintvonalas térképnézethez (lépeseit ld. Mellékletben). Utóbbi ekkor már a GPS-szel meghatározott és megfelelően transzformált magassági koordinátákkal jelenítettem meg. Mivel a korábbi helyszínrajzon a szintvonalak magassága Adria feletti értendő, ezt az összehasonlíthatóság végett át kellett számolni Balti magasságba az alábbi képlet szerint:

$$M_{\text{Balti}} = M_{\text{Adriai}} - 0,675 \text{ m (Sárdy 1977)}$$

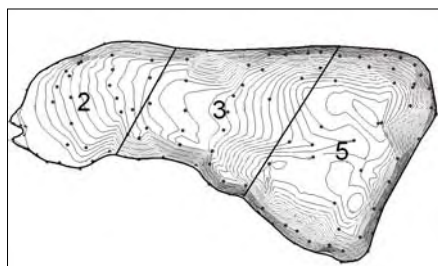
A munkarész végét a földtömegszámítás elvégzése jelentette, ahol a 2006-ban felmért hordalékszint magasságából (új felület) kivontam az 1981-ben felmért fenékszintet (régí felület). Az eredményről a 7.3 fejezetben adok tájékoztatást.



10. ábra: A saját szintvonalas térkép és az 1981-es helyszínrajz digitalizált változata tájékozás után

7. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

7.1 A TÉRINFORMATIKAI FELDOLGOZÁS EREDMÉNYEI ÉS ÉRTÉKELÉSE: HORDALÉKSZÁMÍTÁS ÉS FAJLAGOS ÉVI ERÓZIÓS VESZTESÉG SZÁMÍTÁSA SAJÁT FELMÉRÉS ALAPJÁN



11. ábra: A tó 3 részre osztott területe

A 6.2.2 fejezetnek megfelelően, gyakorlati okokból célszerű volt a tó állandóan vízzel borított területét – a 11. ábrán látható - három részre osztani. A földtömegszámítást erre a három részre külön-külön elvégezve az alábbi adatokat kaptam a felhalmozódott

hordalék vastagságára, illetve a 2006. 08. 31-i víztérfogatra nézve:

	Terület 2*	Terület 3*	Terület 5*	Terület 2, 3, 5 együtt*
Feltöltés (régi < új) [m ³]	2087	3653	4246	
Bevágás (régi > új) [m ³]	0,4	1,6	0,1	
Földtömeg (új - régi) [m ³]	2087	3651	4246	9983
Feltöltés területe (régi < új) [m ²]	5704	8539	11287	
Bevágás területe (régi > új) [m ²]	110	69	12	
Összterület [m ²]	5870	8608	11295	25773
Átlagos hordalékmagasság [cm]	35,5	42,4	37,6	38,7
Víztérfogát [m ³]	2942	13181	24957	41079
Átlagos vízmélység (Víztérfogát/Összterület) [m]	0,5	1,5	2,2	1,6

2. táblázat: A térinformatikai feldolgozás eredményei a tó területére nézve

*: az adatokban – összevetve az attribútumtábla adataival - 1% eltérés észlelhető (oka lehet az eltérő cellamérettel való számítás)

A 6.1 fejezet szerint a feliszapolódás geoinformatikai számításával kapott eredmény pontosításához a cél a mindenkori „Új felület” és „Régi felület” minél jobb fedésbe hozása volt. A pontosabb fedés elérése és a számítások megkönnyítése végett, illetve mivel a tervezett kotrási munkálatok valószínűleg csak a tó Ny-i harmadát fogják érinteni, egyrészt eltekintettem a hordalékkúpon felhalmozódott üledék földtömegszámolásától, másrészt a partvonal pontjait mindenütt üledék-lerakódástól mentesnek vettem, így magasságuk korrekció nélküli (Z koordináták). Mindezek úgy nyilvánulnak meg a térképezésben, hogy:

1. csak a tó megközelítőleg állandóan vízzel borított területére végeztem földtömegszámítást;

2. a „tófenék” és „hordalékfelszín” felületét határoló partvonal („csakpart”) mindkét témánál X, Y, Z koordinátaiban ugyanaz;

3. „hordalékvastagság” és „vízoszlop” rétegeknél a határoló partvonal pontjainak Z koordinátája 0, vagyis a partvonal már a 0 m-es szintsík része.

Így sikerült elérni, hogy a Rák-patak befolyásánál a hordalék vastagsága a helyszínrajzon látható módon (11. ábra) nullára fusson ki. Ezáltal a 2. szektorban a hordalék mennyisége alábecsült. Azért, hogy ezt az alábecslést ellensúlyozzam, később kiszámítottam a hordalékkúpon felhalmozódott hordalékmennyiséget is („hordalékvastagság” téma és 0 m-es szintsík különbsége 0,01 pixeles cellamérettel).

Feltöltés (régi < új) [m ³]	486
Bevágás (régi > új) [m ³]	2
Földtömeg (új - régi) [m ³]	484
Feltöltés területe (régi < új) [m ²]	1218
Bevágás területe (régi > új) [m ²]	96
Összterület [m ²]	1314

3. táblázat: A térinformatikai feldolgozás eredményei a hordalékkúpra nézve

A terepi hordalékmérés néhol (pl. 1320-as pont) kiugróan kicsi értéket eredményezett (Oka lehet pl., hogy túlzottan besüllyedt a mérőrúd/prizmarúd, de lehet egy eredetileg egyenetlen, gödrös terep is.). E pontot kiszűrve, a hordalékvastagság szintvonalas térképét módosítva a 3. szektorra ismét elvégeztem a földtömegszámítást, amely szerint a 3. területdarabon $3770,72 \text{ m}^3$ hordalék van, a feltöltés térfogata $3769,16 \text{ m}^3$. A térinformatikai számítás eredményét terhelő további hibákról az 5. és 6. fejezetekben már tájékoztatást adtam.

A 2. és 3. táblázatban megadott összes hordalékmennyiséget ($9983 \text{ m}^3 + 484 \text{ m}^3$) megközelítőleg helyesnek véve és azt feltételezve, hogy az erodálódott talaj 100%-ban a tározó területén halmozódott fel, azt kapom, hogy a vízgyűjtő fajlagos évi eróziós talajvesztése $0,4 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{év} = 0,6 \text{ t}/\text{ha}/\text{év}$. Rácz (1984, in Kucsara és Rácz 1988) szerint a megengedhető talajvesztési érték $15 \text{ t}/\text{ha}/\text{év}$, vagyis a Brennbergi-tározó vízgyűjtője és az ott folytatott erdőgazdálkodás az elmúlt 26 évben talajvédelmi szempontból megfelelően működött.

A számítás során $F_{\text{vízgyűjtő}} = 10051403 \text{ m}^2 = 1005 \text{ ha}$ és $\rho_{\text{talaj}} = 1470,6 \text{ kg}/\text{m}^3$ adatokat használtam. A vízgyűjtő területét ($F_{\text{vízgyűjtő}}$) a Digiterra Map programmal való lehatárolás és területszámítás alapján, a sűrűségadatot pedig Kucsara és Rácz (1988) Tacsai-árokban végzett kísérleteiből, azok eredményeit erre a területre is érvényesnek feltételezve vettem át. A vízgyűjtő területnagysága ugyanakkor nem teljesen pontos, mert az országhatáron túli területekről – habár a vízvásztó nagyjából az országhatáron húzódik – nem álltak adatok rendelkezésemre. A sűrűség- és szemeloszlási vizsgálatok szintén a jövő vizsgálati munkarészei közé tartoznak.

7.2 A 2006-2007-ES MÉRÉSKOR MEGHATÁROZOTT TÁROZÓTÉRFOGAT ÉS AZ 1981-BEN TERVEZETT TÁROZÓTÉRFOGAT KÜLÖNBSÉGÉNEK SZÁMÍTÁSA

Bogárdi (1953) írja, hogy a víztárolókban lerakódott hordaléktérfogat megállapítható a felvétel időpontjában meghatározott tározótérfogat és az eredeti tározótérfogat különbségének kiszámításával (3. fejezet). A 4.1 fejezetben, a Kapuvári Vízgazdálkodási Társulat 8-1/1981 munkaszámú műszaki leírása alapján leírtam, hogy az 1981-ben tervezett víztérfogat 50030 m^3 . Ezzel szemben a 2006-os felmérés idején már csak 41079 m^3 a mért víztérfogat. A kettő különbsége 8951 m^3 , mely a feltöltődés mértékét jelenti. Az így kapott eredmény jól közelíti a saját mérés eredményét, eltérése nem is tűnik olyan soknak, még akkor sem, ha figyelembe vesszük, hogy saját mérésünket sok hiba terhelte, és a tervezett duzzasztás sem pontosan 50030 m^3 , hanem ennél kevesebb (a tervek később már csak 50000 m^3 vízzel számolnak) (10-11%-os eltérés).

7.3 A 2006-OS MÉRÉSKOR MEGHATÁROZOTT HORDALÉKFELSZÍN ÉS AZ 1981-ES HELYSZÍNRAJZ ÁBRÁZOLTA TÓFENÉK MAGASSÁGÁNAK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Az eredeti rétegvonalas térképet (Kapuvári Vízgazdálkodási Társulat 8-1/1981 munkaszámú műszaki leírása) a Digiterra Map programmal digitalizáltam és a saját készítésű szintvonalas térképhez tájékoztam (6.2.2 pont), majd a 2006-ban felmért hordalékfelszínnel az akkori tófenék szintjét összehasonlítottam. A két felület különbsége (számítás 0,01 pixeles cellamérettel):

Feltöltés (régi < új) [m ³]	12404
Bevágás (régi > új) [m ³]	5044
Földtömeg (új - régi) [m ³]	7359
Feltöltés területe (régi < új) [m ²]	13882
Bevágás területe (régi > új) [m ²]	11889
Összterület [m ²]	25772

4. táblázat: Az általam felmért hordalékfelszín és az 1981-ben felmért tófenék összehasonlítása

A tó állandóan vízzel borított felülete alatt a 4. táblázat adatai szerint 7359 m³ hordalék halmozódott fel. Ez már 26%-os eltérést jelent a saját felméréshez képest, valamint a feltöltés és bevágás nagy földtömege is hibára utal, melynek oka többféle lehet. A saját mérési adatunkat terhelő hibákon kívül említhető, hogy az eredeti szintvonalas térkép két térképszelvény összeragasztásával készült, a lapszélek találkozásánál több esetben nem ugyanazok a szintvonalak folytatódtak, hanem 1-2 m-rel eltérő magasságú szintvonalra csúsztak rá. Ez gondot jelentett a pontos digitalizálásnál. Nincs adatunk az eredeti felmérés hitelességéről sem. Nem tudni, hogy akkor valóban felmérték-e a terepet, vagy egy másik térképről a szintvonalak átrajzolásával készült a helyszínráajz. A tájékozás precízisége pedig ott szenvedett csorbát, hogy meglehetősen kevés pontos illesztőpontot tudtunk bemérni. (Az illesztőpontok maximális eltérése 15,63 m, átlagos eltérése 6,74 m.) Talán egy jobb minőségű eredeti felvétel feldolgozásával és az illesztőpontok sűrítésével hitelesebb eredményt kaptam volna. Bogárdi (1953) gondolata (3. fejezet) beigazolódott, miszerint a régi helyszínráajzok felhasználása sokszor hamis adatokat eredményez.

7.4 TÓFELTÖLTŐDÉS SZÁMÍTÁSA A VÍZTÁROLÓK FELISZAPOLÓDÁSÁNAK SZÁMÍTÁSÁRA ALKALMAS MÓDSZERREL

A 3. fejezetben bemutatott, a víztárolók feliszapolódásának számítására alkalmas módszert elvégeztem. A számoláshoz – saját adatok hiányában – nagyon sok feltételezést kellett alkalmazni. Gribovszki (2000) vizsgálatai alapján (ld. 2 fejezet) a felső vízgyűjtőterületről 1996-1999 között évenként 240-300 kg/ha/év hordalékmennyiség távozott a Rák-patak felső vízgyűjtőjéről. Ezt általánosítva a többi évre is azt kapom, hogy 26 év alatt

(1981-2006 között) a vízgyűjtő területéről 7839000 kg = 5331 m³ hordalék távozott. (A vízgyűjtő területének számítását és a sűrűségadatot, illetve az azokat terhelő hibákat ld. a 7.1 fejezetben!) Az 5331 m³ hordalékmennyiségből a tározóban valóban leülepedett mennyiség ismeretlen, mert az ülepedés sebességére nincs adat.

További számítási eredmények:

- A feliszapolódás a tározótérfogathoz viszonyítva: $G / V = 0,11$ ($V = 50030 \text{ m}^3$, a terveknek megfelelően),
- A vízgyűjtő 1 km²-ére eső tározótérfogat: 4978 m³
- Tározási magasság: $s = 5 \text{ mm}$.

Az így, a feltöltődésre kapott eredmény nagyon pontatlan (47 %-os eltérés a saját felméréshez képest). Ahhoz, hogy a számolási mód helyes eredményt adjon, rendkívül sok mérést, megfigyelést kellene még elvégezni. Gribovszki (2000) is írja, hogy a csapadékesemények, illetve erdészeti munkák jelentősen hatnak a szállított hordalék, illetve erodálódó talaj mennyiségére. Ezért 26 évre 4 év megfigyelései nem általánosíthatók. (További hibalehetőségeket ld. még 7.1 fejezetben!)

BEFEJEZÉS, ÖSSZEFOGLALÁS

Napjainkban, amikor szélsőséges időjárási – és ezen belül – szélsőséges csapadékesemények, ivóvízhiány, árvíz, aszály sújtja a Földet, különösen felértékelődik a víztározók szerepe. Létesítésükön túl azonban gondot kell fordítani fenntartásukra is, mely használhatóságuk feltétele. A természetes feltöltődésen túl komoly környezeti problémaként jelentkezik a gyorsított erózió, mely leginkább csökkenti a tározók élettartamát.

Az elmúlt 26 évben a Brennbergi-tározó is erőteljesen feliszapolódott. A hordalék-felhalmozódás mértékének megállapításához elvégeztük a helyszíni felmérést, majd az ezzel nyert adatokat térinformatikai módszerrel (Digiterra Map szofver) dolgoztam fel. Terepi munkánk azonban számos hiba terhelte, ezért – a bemutató célzaton túl – több módszerrel is kiszámítottam a hordalék mennyiségét, és az így kapott eredményeket összehasonlítottam a saját felméréssel. Rámutattam e módszereknél elkövetett hibákra is.

Megállapítható, hogy az eredmények eltérése széles skálán mozog (10-46,6%-os eltérés a saját felméréshez képest), és a soktényezős számítási módszereknél a feltételezések, általánosítások meghamisítják az eredményt. Éppen a csapadékeloszlás és a vele összefüggő mértékű erózió szélsőségessége miatt nem általánosíthatók 26 évre más kutatók néhány évre érvényes megfigyelései (Kucsara és Rácz 1988, 1991), (Gribovszki 2000).

A pontos hordalékmennyiség minden kétséget kizáró megállapítása tehát még további kutatásokat igényel (szemeloszlási vizsgálatok, sűrűségvizsgálatok, Rák-patak által szállított hordalék mennyisége további években, ponthálózat sűrítése, stb.). De ha elfogadjuk a térinformatikai feldolgozással kapott, 10467 m^3 hordaléktérfogatot (beleértve a hordalékkúpot is), mely a Rák-patak völgyében halmozódott fel, a tározó területén, kijelenthető, hogy az erdősült vízgyűjtő erózióvédelmi szempontból az elmúlt negyed évszázad alatt jól működött. (Ez a maximális összeg, a többi módszer ennél kisebb eredményt adott!) Ez pedig jelentős környezetvédelmi tény mind talajvédelmi, mind vízgazdálkodási szempontból.

CONCLUSION, SUMMARY

Nowadays, when the Earth is being smitten by extreme weather-conditions, including the precipitation-conditions, flood, drought and the lack of drinking-water, the roll of the reservoirs will be more valorized. But it is not enough to create a reservoir, it must be maintained too. Because the suitable maintenance is the condition that these ponds can be used for a long time. Apart from the natural erosion there is a serious environmental problem the man-made erosion what principally reduces the lifetime of the reservoirs.

In the last 26 years the Brennberg-reservoir alluvied forcefully too. We accomplished the surveying in the field to establish the rate of the sedimentation then the results of this measurement were worked up with a geoinformatical software (named Digiterra Map). But our surveying in the field troubled by several mistakes therefor I figured out the amount of alluvion with more other methods. That is to say my aim with this methods was not only to introduce them but also compare their results with the results of my surveying. I pointed at to the committed failures by these methods.

It is to establish, that the deviation of the results moves on a wide scale (10-46,6% deviation compared to own surveying) and the presumptions sophisticate the results by the multi-factored counting methods. Even the extreme distribution of precipitation and the connected range of erosion can not be generalized the observations of other researchers for 26 years that are valid for some years (Kucsara and Rácz 1988, 1991), (Gribovszki 2000).

So the establishment of the correct result of amount of alluvion needs more research to exclude every doubt (e.g. to complete the network of the surveyed points, distribution of granules, examination of density, the amount of transported deposits by the Rák-stream in the other years). But if we accept the geoinformatical result that the amount of the sedimentation is $10466,9 \text{ m}^3$ (including the alluvial fan), what accumulated in the valley of the Rák-stream, on the territory of the pond, we can make a statement that the forested catchment worked

good during the last quarter century in the point of view of erosion-protection. (This is the maximal amount, the other methods resulted less sedimentation.) This is a significant fact in the point of view of the soil protection and the water management.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet szeretnék mondani mindenkinek, aki a dolgozat elkészülésének ideje alatt segített, biztatott, támogatott és elviselt.

Legfőbb köszönet illeti Kalicz Pétert, konzulensemét, aki fáradtságot nem kímélve segített mindenben, ötleteket adott, fontos dolgokra és szükségtelen részekre hívta fel a figyelmemet, biztatott és támogatott. Köszönet Polgár Antalnak, külső konzulensemnek, aki fontos vízépítési szakirodalmakkal volt segítségemre. Kucsara Mihály tanár Úrnak, aki pótkonzulens szerepét betöltve segített, szakirodalmakat biztosított, irányította a felmérést. A terepi munkában segédkező Gribovszki Zoltán tanár Úrnak, Primusz Péter tanszéki mérnöknek, barátaimnak: Bíró Adriánnak és Kálovits Gábornak.

A térinformatikai feldolgozásban nélkülözhetetlen segítséget nyújtott Czimber Kornél tanár Úr és Brolly Gábor doktorandusz, akiknek szintén köszönetet mondok. Hála családomnak, akik biztosították a háttérrel és megértő türelmükkel, biztatásukkal voltak segítségemre dolgozatom elkészítésében.

MELLÉKLETEK

Koordináták kinyerése az adatgyűjtőből:

Files -> Point manager, Open job: „to” kiválasztása-> Export/Import: Export custom format files -> File format: Comma delimited with attributes -> Accept (könyvtárba mentés) -> szövegformátum (.txt.) (kód, koordináta, magasság)

Kapcsolódás a számítógéphez (Microsoft Activesync) -> a to.csv fájl megnyitása (új partnerség: nem) -> Survey Controller (ACU)

Biztonsági másolat készítése: Add: nyersformátum -> ***.job** (innen minden újratekinthető)

Trimble: (DC 10.7 formátum)

Geoprofi -> *sdr*

sc exchange – koordináták

Megnyitás -> Transfer all

to.csv -> Excel (angolszász verzió) -> másolatát átnevezni **to.txt**-re, hogy a Digiterra értelmezni tudja: 1. sor végére Tab, kijelölése, kivágása -> Csere: keresendő: ,

Csere: CTRL+V -> összes cseréje

to.txt -> *.xls

Excelben a vessző helyett tizedespont legyen! Mivel az adatgyűjtőből kinyert koordinátáknál X és Y fordítva van, ezeket fel kell cserélni, mielőtt a Digiterrában elkezdenénk a munkánkat. Ezt követően az Active Sync – et bezárjuk, az adatgyűjtőt kikapcsolhatjuk. Ezzel az adatok elmentésének folyamata bezárult.

Térképkészítés Digiterra Map v3.6.9.5 segítségével

1. a pontok importálása:

Új térképnézet -> Térkép -> Import: Importfájl: *.txt kiterjesztésű fájl-> importálandó objektumforma: „pont”-> Eredményfájl: *.map kiterjesztésű fájl -> Hozzáadás az aktív térképnézethez

2. a vektoros fedvényt (Delaunay-lefedés) elkészítése

DFM -> Háromszögháló ponthalmazból -> megfelelő *.txt kiterjesztésű fájl megnyitása -> Delaunay-típusú lefedés mentése: *.tin kiterjesztésű fájl -> Új téma hozzáadása -> adott *.tin fájl megnyitása

A Delaunay-típusú lefedések beállításai: „Háromszöghálózat téma beállításai” ablakban (Megfelelő fedvényre duplán bal klikk)

Beállítások: minimális és maximális megjelenítési méretarány; szintvonalköz; szintköz; főszintvonal

Főszintvonalak és a mellékszintvonalak feltüntetése és feliratozása: „Háromszöghálózat téma beállításai” ablakban, „Rajz” keretben kipipálni a főszintvonalat és mellékszintvonalat -> „Feliratozást” kipipálni + betűtípus, betűméret, felirattáv, vonalvastagság, szín beállítása

A magassági színezés beállítása: „Háromszöghálózat téma beállításai” ablak -> „Felület” keretben „Magasság” aktív -> „Felület színpalettája” keretben „Pozíció”, „Szín”, „Új”, „Töröl” funkciókkal módosítások, beállítások

3. Pontfeliratok létrehozása

Pontok importálása (ld. fenn) ->...-> *.map kiterjesztésű fájlok létrehozása -> Hozzáadás az aktív térképnézethez -> „Vektoros téma jellemzői” ablak (dupla bal klikk a fedvényre) -> „Felirat” típus beállítása -> „Rajzelemek, feliratok méretarány független megjelenítését” -> „Felirat” gombra kattintás -> „Felirat” ablak -> „Adatmezők” között „TEXT” sorra dupla bal kattintás -> OK gomb

A feliratozás beállításai: „Osztály jellemzői” ablakban (Típus nevére („17C”) történő dupla bal klikkkel hozható be)

4. Vonalas fedvények létrehozása:

Lépései: „Térkép” menü -> „Réteg létrehozása” menüpont -> „Térképfedvény létrehozása” ablak, itt a „Vonal” objektumforma kiválasztása és a térképfájl elnevezése (*.map) és elmentése. (Pontok összekötésekor fontos, hogy a téma szerkeszthető legyen, vagyis a megfelelő ikon be legyen kapcsolva!)

A vonalas fedvények beállításai: „Vektoros téma jellemzői” illetve az „Osztály jellemzői” ablakokban

A rajzoláshoz szükséges toleranciaértékek beállítása: a „Nézet beállításai” ikon -> „Térképnézet beállításai” ablakban

5. A tó területének darabolása, darabolóvonalak:

Első lépésként a szükséges vonalak meghúzása: ld. 4. pontban -> Vonalak egyesítése: „Térkép” menü -> „Topológia” menüpont, itt: első forrás + második forrás -> Eredmény: Vonal: *.map

6. Területdarabok felépítése az egyesített határolóvonalak segítségével:

Lépései: „Térkép” -> „Réteg létrehozása” -> „Terület” típus + Térképfájl neve („*.map”) és mentése. A térképfájl létrehozása után legyen ez a fedvény és a határoló vonalas téma is aktív! -> „Területet körbejár” ikon -> területbe kattintás -> „Új attribútum panel” ikon: a területdarabok adattáblája megjelenik

Egyes területrészek inverzeinek külön-külön történő megjelenítése: „Nézet beállításai” -> Tolerancia értékének megnövelése + „Rácshoz igazítás” mértéke 100 -> „Rajzol” ikon -> Befoglaló téglalap rajzolása -> „Területet körbejár” ikon -> területbe kattintás -> Előtér színének megváltoztatása: -> „Osztály jellemzői” ablakok -> Előtér színe sárga. -> visszalépés: „Vektoros téma jellemzői” -> „Szűrés” nyomógomb -> „Filter” ablak: A szűrés során mindig azt a sorszámú területrészt írom a függvénybe, melynek színezett és szintvonalas térképét megjeleníteni szeretném. A függvény alakja: [Adattábla neve.Adatmező neve] /= Érték& [Adattábla neve. Adatmező neve] /= Érték&...

7. Lehatároló területek („Számítási terület”) elkészítése a földtömegszámításhoz:

Lépései: „Térkép” -> „Topológia”, itt: „Első forrás” megadása + „Felépít” művelet kiválasztása + „Terület” nevének beírása -> OK gomb -> Létrehozott réteg aktív + „Új attribútum panel” ikon -> „Adattábla struktúrájának módosítása” ikon: felesleges „Adatmezők törlése” + „Új adatmező” létrehozása + „Adatmezők típusának” és „Kijelzés” beállítása -> OK -> „Csoportos módosítás” ikon: „Adatmező”: terület és „Kifejezés”: area („Kiválasztott rekordokat” kikapcsolni) -> a területek kiszámítása megtörtént

A felesleges területdarabok törléséhez: „Törlés” ikon + a réteg aktív

1-1 területrész (későbbi számítási területek) létrehozása: Megfelelő területréteg aktív legyen -> 1-1 területrész kijelölése „Kiválaszt egyesével” ikon segítségével -> „Térkép” -> „Kiválasztott elemek kiírása” -> *.map kiterjesztésű fájlok -> Réteg hozzáadása
Részterületek összesítéséhez: „Térkép” -> „Topológia”, itt: „Első forrás” megadása + „Felold” művelet kiválasztása + „Kifejezés”: 1 + „Terület” nevének beírása -> OK gomb

8. Földtömegszámítás

„DFM” menü -> „Földtömegszámítás” menüpont, itt: „Régi felület” és „Új felület” megnevezése + „Számítási terület” megadása

A földtömegszámítás eredményét az „Új felület” és a „Régi felület” különbségeként kapjuk.

9. Tájékozás

2, tájékozni kívánt térképnézet egymás mellé rendezése: Ablakok -> Ablakok egymás mellé -> „Tájékozás” ikon -> „Illesztőpontok” fül -> „Új pont” -> bal térképnézetben bal klikk, jobb térképnézetben jobb klikk; cél: a szelvény sarkaihoz közeli illesztőpontok keresése -> Illesztőpontok mentése (*.ori) -> Transzformáció (adott témának megfelelően: Vektor/TIN/Raszter; esetemben: TIN) -> Térképnézethez a transzformált fedvény hozzáadása -> további feldolgozás

IRODALOMJEGYZÉK

Bogárdi János: Folyószabályozással kapcsolatos hordalékvizsgálatok, Felsőoktatási Jegyzetellátó Vállalat, Bp., 1953, ps. 1-31.

Bogárdi János: A hordalék szerepe a folyószabályozásban, Felsőoktatási Jegyzetellátó Vállalat, Bp., 1954, ps. 3-56.

Bogárdi János: Vízfolyások hordalékszállítása, Akadémiai Kiadó, Bp., 1971, ps. 49-74.

Felföldy Lajos: A vizek környezettana (Általános hidrobiológia), Mezőgazdasági Kiadó, Bp., 1981, ps. 24-30.

Gribovszki Zoltán: Erdősült kisvízgyűjtők vízfolyásainak hordalékszállítása (Vizsgálatok két soproni kisvízgyűjtőn; doktori (Ph.D.) értekezés), NYME, Sopron, 2000, ps. 4-104.

Kalicz Péter: Hidrológiai folyamatok modellezése a Sopron melletti Hidegvíz-völgyben (Doktori (Ph.D.) értekezés), NYME, Sopron, 2006

Kapuvári Vízgazdálkodási Társulat: Brennbergi-tározó (Pisztrángos-tó) rekonstrukciója - műszaki leírás, munkaszám: 8-1/1981

Koris Kálmán - Józsa János: Tóhidrológia I., Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, ÉMK, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, Bp., 2001, p. 6.

Kucsara Mihály - Rácz József: A fajlagos évi eróziós talajveszteség vizsgálata a Tacsai-árok erdővel borított vízgyűjtő területén in Erdészeti és Faipari Közlemények, 1988. 1-2. sz. (ps. 81-88.)

Kucsara Mihály - Rácz József: Eróziós talajveszteség vizsgálata erdőterületeken in Hidrológiai Tájékoztató, Magyar Hidrológiai Társaság, 1991. áprilisi szám (ps. 22-24.)

Láng István: Környezet- és természetvédelmi Lexikon, akadémiai Kiadó, Bp., 2002, ps. 294-295.

Lovász György: Általános vízföldrajz, University Press, Pécs, 2000, ps. 90-92.

Magyarország kistájainak katasztere, MTA Földrajztudományi Kutató Intézet, 1990, ps. 379-382.

Rakonczay Zoltán: Szigetköztől az Őrségig (A Nyugat-Dunántúl természeti értékei), Mezőgazda Kiadó, Bp., 1996, ps. 165-177.

Robert P. Stone: Universal Soil Loss Equation (USLE), Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2007, <http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/00-001.htm>

Salamin Pál: Erózió elleni küzdelem és környezetvédelem, Budapesti Műszaki Egyetem Mérnöki Továbbképző Intézet, Bp., 1982, ps. 21-22.

Sárdy Andor: Geodéziai alapismeretek II., Tankönyvkiadó, Bp., 1977, ps. 305-307.

Stefanovits Pál - Filep György - Fülek György: Talajtan, Mezőgazda Kiadó, Bp., 1999, ps. 321-346.

Thyll Szilárd: Talajvédelem és vízrendezés dombvidéken, Bp., 1992, ps. 11-64.

USDA-ARS-MWA National Soil Erosion Research Laboratory:
<http://topsoil.nserl.purdue.edu/usle/index.html>