

TDK-dolgozat

Varga Andrea

Pécsi Tudományegyetem
Természettudományi Kar
Gazdaságinformatika szak

Valósághű eső szimuláció

Varga Andrea

2.évfolyam

Konzulens: Horváth Zoltán
tanársegéd

Pécs, 2012.12.12.

1. Kivonat.....	4
2. Bevezetés	4
3. Anyag és módszer.....	5
3.1 Futtatási környezet:	5
3.2 Teszterület:.....	5
3.4 A Sierpinsky-szőnyeg.....	7
3.5 Menger szivacs	7
4. A modell felépítése.....	8
4.1 DEM, DTM	8
4.2 Csatornahálózat	9
4.3 Talaj.....	9
4.3.1 Talajtérkép.....	9
4.3.2 A talajok osztályozása:	9
4.5 Vegetáció térkép	11
4.6 Kataszteri térkép	11
4.7 Vízfolyás értékének kifejezése	12
4.8 Beszivárgás	15
4.9 Eső karakterisztika.....	15
4.10 Hóolvadás.....	18
5. A 3D-s modell geokorrekciója	18
6. Költség-haszon elemzés	23
6.1 Nettó jelenérték (NPV).....	24
6.2 Belső megtérülési ráta (IRR).....	25
6.3 Haszon-költség arány (BC).....	26
6.4 Beruházási költségek becslése	26
7. Eredmények	29
8. Irodalomjegyzék.....	32

1. Kivonat

Az utóbbi években egyre gyakrabban érik el gyorsan lezajló és nagy csapadékhozammal járó viharok a Mecsek hegységet és vízgyűjtőjét. Célunk egy olyan komplex eső szimulációs modell létrehozása, amely több meghatározó tényezőt vesz egyszerre figyelembe. Olyan tényezőket, mint a domborzati viszonyok, felszínborítottság, közúthálózat, beépített területek, talajtípusok, csatornahálózat stb. Ezáltal szeretnénk előre jelezni és így felkészülni, hogy a Mecseknél található lakott területeken, hol számolhatunk esetleges patak kilépésekkel, a városok mely részét öntheti el egy nagyobb zápor/zivatar, hol veszélyezteti ez esetlegesen a közlekedést, súlyosabb esetekben a mentési munkálatokat. Illetve mely lakóövezeteknél nincs megfelelő minőségű és mennyiségű csatornahálózat, ahol ennek következtében lakóingatlanok elöntésével valamint károsodásával kell számolni.

2. Bevezetés

Magyarországon és a Mecsek területén is mindig nagy vízhozammal járó záporokkal, heves zivatarokkal és felhőszakadásokkal kell számolni a nyári hónapokban. Sajnos az erdő nagy része beépítésre került, egyre inkább észre vehető az ember jelenléte. Ennek következtében a csapadék nagy része nem tud elszivárogni a talajba, hanem egyenesen lefolyik a város mélyebben fekvő részeibe. Mindeközben számos lakó- és középületet elöntve. A károsultak száma évről évre növekszik, holott egy kis odafigyeléssel ez az arány csökkenthető lenne. A modellünkkel szeretnénk megmutatni, hogy a parkosításokkal, mennyivel csökkenthető a lefolyó víz mennyisége, ebből kifolyólag mennyivel csökken a városi csatorna- és csapadékvíz elvezető hálózat terheltsége is. A lefolyó csapadék mellett másik probléma a sok hordalék. Sajnos ennek nagy része a közutakon áll meg az esőzés után [1]. Főleg a nem szilárd útburkolattal rendelkező utcákat, dűlőket viseli meg ez az erózió [4], [8] a leginkább. Egy kiadósabb zápor, zivatar után az utak 85% nehezen használható, mivel mély árkok, vízfolyások alakulnak ki. Másik oldalról pedig a főbb közlekedési útvonalakon jelennek meg kisebb-nagyobb kövek, kavicsok, sziklák, amelyek veszélyeztetik a közlekedést. A problémák sora azonban itt még korántsem ér véget. A gyalogosok gyakran észlelhetik, hogy a város mélyebb részein, hevesebb záporok után, akár 30-40cm mély víz áll, a hordaléktól eltömődött csatornák miatt. Ilyen tipikus gócpont például az Ágoston tér és környéke, de a kertvárosban is elég sok helyen találkozhatunk ilyen problémával. A modell újdonságát az adja, hogy

egyszerre több paramétert is szem előtt tartva modellezzük le akár az eddigi zivatarokat, akár az extrém, még be nem következett viharokat.

3. Anyag és módszer

3.1 Futtatási környezet:

A szimuláció során a Pécsi Tudományegyetem szuperszámítógépét használtuk, mivel az egyes szimulációk futtatásának számításigénye meghaladja a hagyományos PC-k teljesítményét. Az általunk használt gép paraméterei a következők:

/System/: *SGI Altix UV 1000*

(Shared memory system, NUMA architecture)

/processor /: cores: 1152

model name Intel(R) Xeon(R) CPU X7542 @ 2.67GHz

/memory /: MemTotal: 6352217972 kB

/OS /: SUSE Linux Enterprise Server 11 (x86_64)

VERSION = 11

PATCHLEVEL = 1

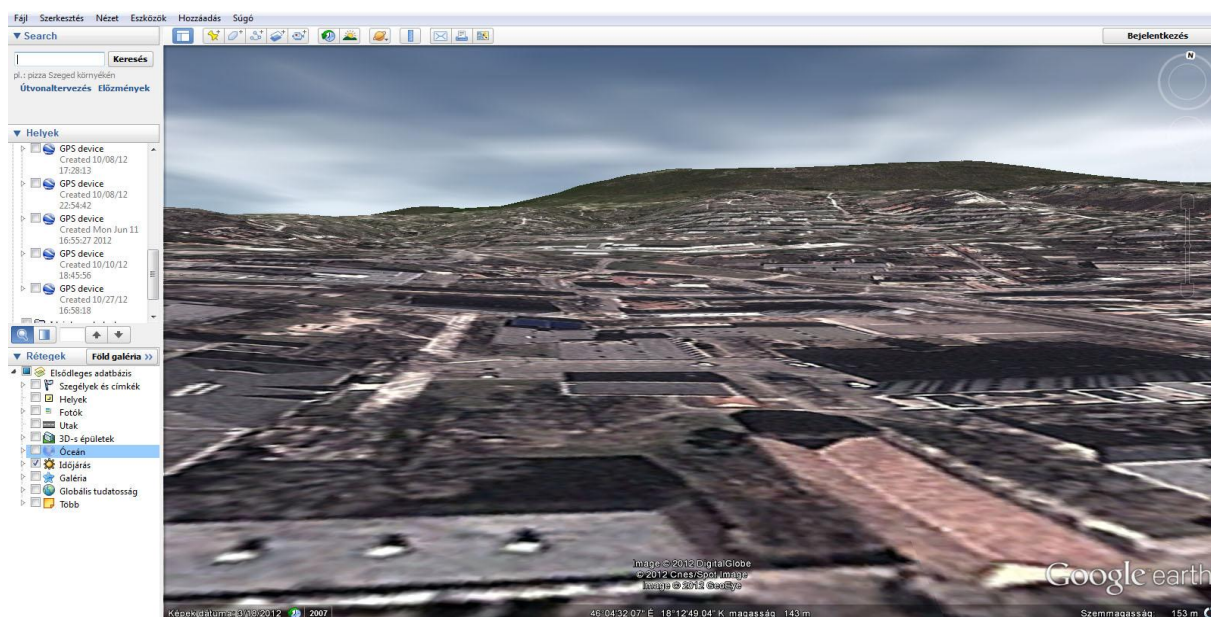
3.2 Teszterület:

Pécs Közép-Európában, a Kárpát-medencében fekszik. Magyarország déli megyéje, Baranya központjában, közel 165km² terület el. Északról a Mecsek határolja, délről sík vidék. Pécs koordinátái a következők:

- A leg északibb pont: 46.122495, 18.260522
- A leg délibb pont: 46.027466, 18.219666
- A leg nyugatibb pont: 46.060590, 18.143105
- A leg keletibb pont: 46.114404, 18.349786

Teszterületünk, amit első körben modellezni szerettünk volna, az Pécs városa. Mint, ahogy az a Google Earth térképen (fig. 3) is látható, a város a Mecsek hegység déli vízgyűjtő területén

helyezkedik el. Azon belül is az alsó harmadában és az aljában. Így könnyen kiszámítható, hogy egy eső után az összes víz a város legmélyebb pontja felé szeretne haladni.

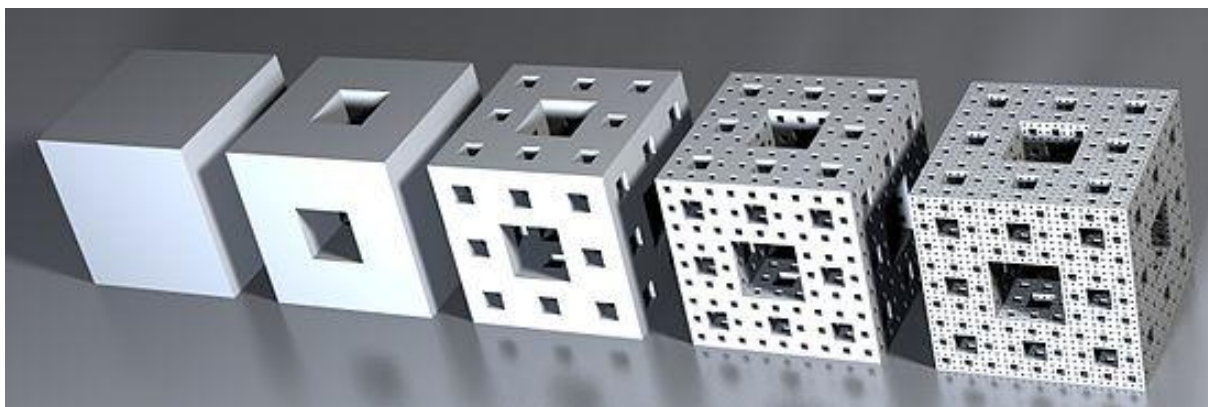


1. ábra. Pecs in the Google Earth

A város legmagasabb pontja a Misina (535m), ahol a TV torony található. A Mecsek hegység legmagasabb pontja a Tubes a maga 612 méterével, majd ezt követi a Jakab hegy 592 méteres magasságával. Ez utóbbi a nyugati Mecsekben található, közvetlen a város mellett. A Mecsekről leérkező vizeket az ÉK-DNY irányba futó Pécsi-víz gyűjti össze és vezeti a Fekete vízbe, ami a Drávába torkollik.

3.4 A Sierpinsky-szőnyeg

A Sierpiński-szőnyeg előállításánál egy négyzetből indulunk ki, amit kilenc egybevágó négyzetre osztunk, majd eltávolítjuk a középső négyzetet, azaz az eredeti négyzet kilenced részét. Majd a maradék nyolc-kilenced résznek is eltávolítjuk a közepét, és így tovább a végtelenségig.



2. ábra, A Menger szivacs grafikus ábrázolása

Jelölje T_n , ill. K_n a fenti eljárás n -edik lépése után kapott alakzat területét, ill. kerületét.

Ekkor $T_0 = 1, K_0 = 4$,

továbbá $T_n = T_{n-1} \cdot \frac{8}{9}, K_n = K_{n-1} + \frac{8^{n-1} \cdot 4}{3^n}$

Belátható, hogy $\lim_{n \rightarrow \infty} T_n = 0$ és $\lim_{n \rightarrow \infty} K_n = \infty$

3.5 Menger szivacs

Menger-szivacs (2.ábra) tulajdonképpen a Sierpinski-szőnyeg háromdimenziós változata. Egy kockát 27 egybevágó kockára bontunk, majd az eredeti kocka közepén és a lapközepeken elhelyezkedő, összesen 7 kockát eltávolítjuk. Az eljárást a megmaradt kisebb kockákkal folytatjuk a végtelenségig. A Menger-szivacs jó modellje a porózus közeteknek, mert bizonyos mérettartományokban képes megmagyarázni a permeabilitást nagy porozitás mellett, míg más mérettartományokban, ahol a felületi feszültség határa már nem számottevő, a nagy porozitású közetek viselkedését is jól leírja. Ez egy komplex rendszer, amire szükségünk van, hiszen a Cantor-halmaz és a Sierpinski-szőnyeg térbeli megfelelője, a szivacs minden lapja Sierpinski-szőnyeg, és minden (lap- és test-) átlója Cantor-halmaz.

A szivacs egy kompakt halmaz, Lebesgue-mértéke 0, topológiai dimenziója 1, Hausdorff-dimenziója [7], [14] $\frac{\log(20)}{\log(3)}$ (kb. 2,727). Zárt halmazok metszeteként zárt, és mivel befoglalható a kiindulási kockába, ezért véges halmaz.

A modell segítségével kiszámíthatjuk, hogy mekkora pórustér fog keletkezni az egyes rekurziós lépések után egy egység él hosszúságú kocka porozításának kiszámításakor.

A kiindulási lépés a kocka térfogata: $V_0 = 1$

Az n-edik lépés után a térfogat: $V_n = \frac{20^n}{27}$

A pórustérfogat tehát a n-edik lépés után: $1 - \frac{20^n}{27}$, melynek határértéke a végtelenben nyilvánvalóan 1.

A porózus közetek esetében gyakran lehet alacsony, sőt nagyon alacsony a permeabilitás. Ennek oka a közetanyag nagy felületében és a felületi feszültségben keresendő. Jelölje σ a felületi feszültséget.

$$\sigma = \frac{F_h}{A_h}$$

ahol:

F_h a határoló felületen ható erő

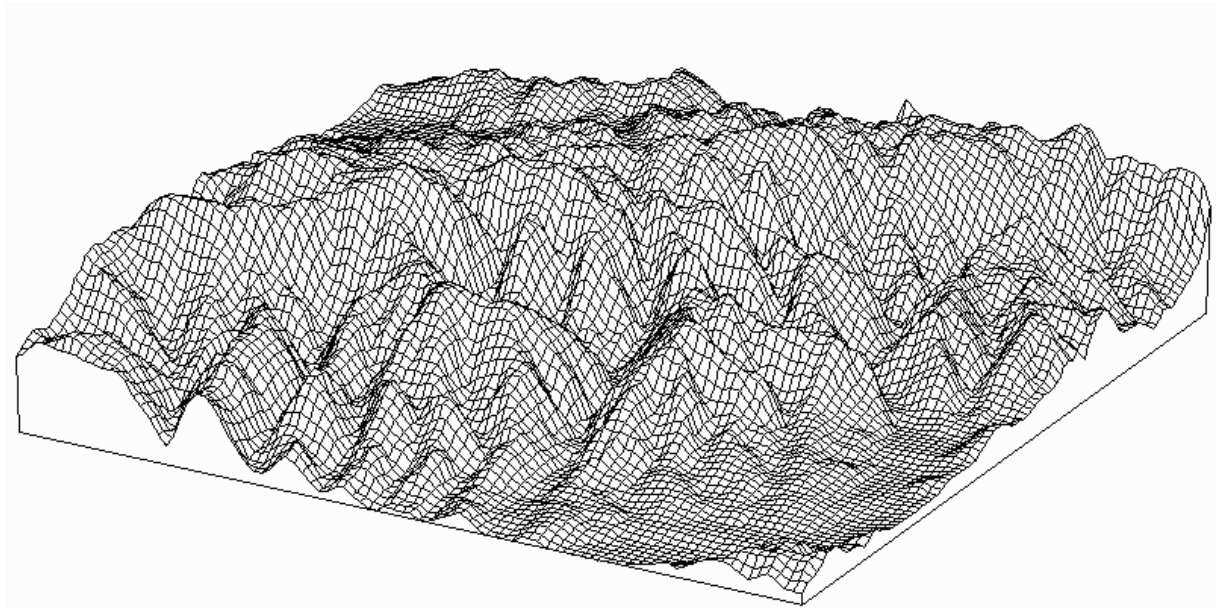
A_h pedig a határoló felület nagysága

Ebből látható, hogy annál nehezebb mozognia az adott viszkozitású folyadéknak a pórustérben, minél nagyobb felülettel rendelkezik a pórustér. Előfordulhat, hogy a közetben lévő folyadék nem lesz képes mozgásra.

4. A modell felépítése

4.1 DEM, DTM

A modell alapja egy 3 dimenziós valósághű terepi modell a Mecsek hegységről (3. ábra), ezen belül kiemelkedően fontos Pécs városa. A projekt során a modellünket terepbejárással tettük pontosabbá. Ennek során közel 4000km-t jártunk be a városban, valamint a környező erdős területen. Így egy viszonylag pontos modell kaptunk.



3. ábra DEM modell

4.2 Csatornahálózat

Pécs város csatornázásért felelős társaságától megkaptuk a várost behálózó csatornahálózatot, amit egy 3 dimenziós modellé alakítottunk át, hogy könnyebben rá tudjuk illeszteni a terepi modellre.

4.3 Talaj

A Mecsek főtömege: mészkő, amely gránit alapon nyugszik, továbbá homokkő, andezit, feketekőszén (antracit), márga stb., törésekkel, gyűrődésekkel szabdalt. Legmagasabb csúcsa a Zengő (680 m), Misina (635 m), Jakab-hegy (592 m).

4.3.1 Talajtérkép

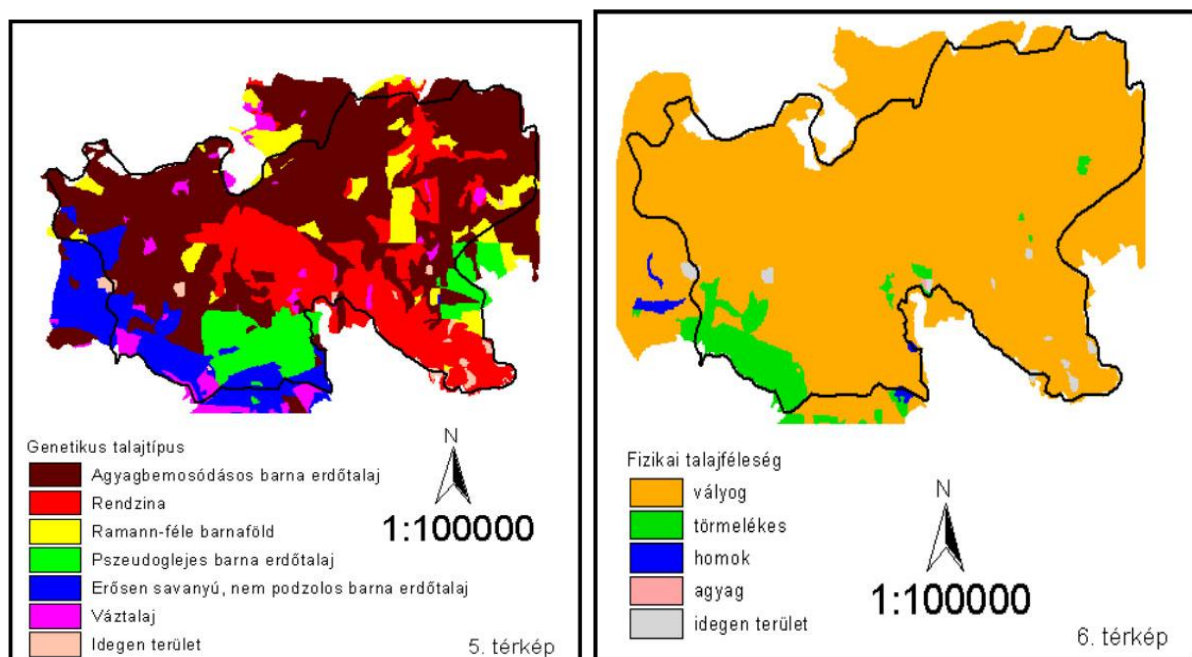
A 3. rétege a modellnek a talajtérkép [3]. Talán ez a legfontosabb számunkra, hiszen nagyon sok múlik, hogy hol és milyen szerkezetű és vízelnyelő képességgel rendelkező talajtípust találunk [2]. Ezt a térképet természetesen ki kellett egészíteni a közúthálózattal, hiszen a szilárd burkolatú úthálózat vízelnyelő képessége jelentéktelen. Ellenben a víz itt nagyobb sebességgel tud lefolyni. Ennek az lesz a következménye, hogy a gyenge részeket megbontja, illetve képes alámosni az út tartásáért és szilárdságáért felelős alapot.

4.3.2 A talajok osztályozása:

A hazai talajok osztályozásának alapját a következő genetikai főtípusok képezik:

- vázталaj,
- erdőталaj,
- mezőсégi (vagy csernozjom) talaj,
- szikes (szolonyec és szoloncsák) talaj,
- réti talaj,
- láptалaj,
- vízi üledék, öntés és hordalék talajok

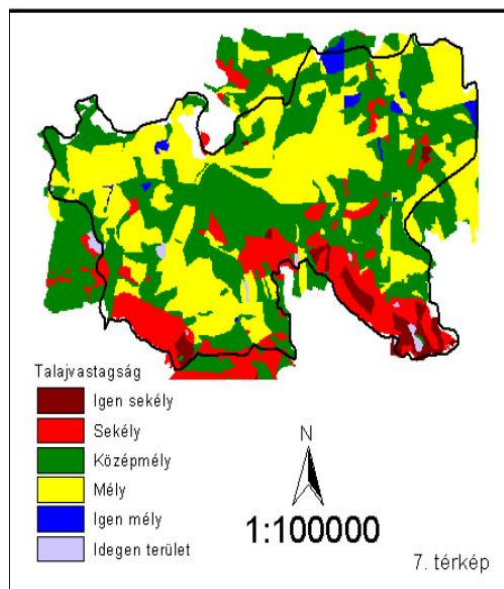
A főtípusokon belül elkülönítünk típusokat és vegyes összetételű altípusokat is, például réti szolonyec- vagy szolonyeces réti talajt. A Mecsek térségében a genetikai talajtípusok (4. ábra) közül az északi, mészkő alapkőzetű területen legnagyobb arányban agyagbemosódásos barna erdőtalaj, alárendelten barna rendzina, kisebb foltokban Ramann-féle barnaföld fordul elő. A homokkő alapkőzetű déli részen pszeudoglejes barna erdőtalaj és erősen savanyú, nem podzolos barna erdőtalaj jellemző [6].



4. ábra, Talajtípusok és tulajdonságaik

Ezen kívül a meredek részeken köves-sziklás valamint földes vázталajok is megjelennek. A fizikai talajféleség uralkodóan vályog, ezt csak foltokban váltja fel homokos vályog, agyagos vályog, ill. agyag. A termőréteg vastagsága (5. ábra) alapvetően mély (90-140 cm) és közép

mély (60-90 cm), a kettő nagyjából azonos arányban fordul elő. Nagyobb területen sekély, ill. igen sekély (60 cm-nél vékonyabb) termőréteggel csak a Jakab-hegy déli oldalán találkozhatunk.



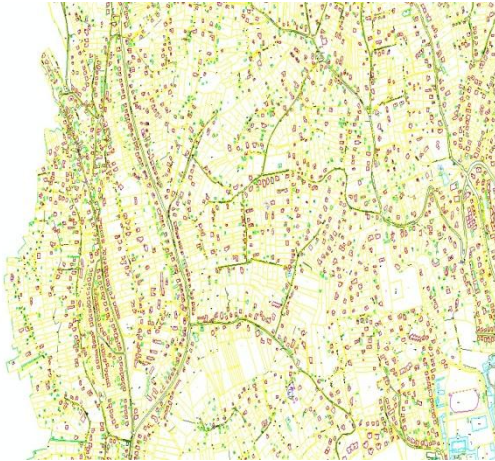
5. ábra, Talajvastagság

4.5 Vegetáció térkép

A Pécsi Tudományegyetem Természettudományi karán számtalan projekt és publikáció készült a város és a környék vegetációjáról. Ezen adatokból készítettünk egy vegetációs térképet, ami a modell 4. rétegét fogja biztosítani.

4.6 Kataszteri térkép

Pécs Város Földhivatala rendelkezésünkre bocsátotta Pécs, Észak- Nyugati városrészének kataszteri térképét (6. ábra). Ez az Ürögi-, Daindoli-, Donátus-, Bálics-, Makár városrészt tartalmazza. A térkép tartalmazza, az említett városrészek beépítettségét, talajborítottságát, EOVS koordinátáit, magassági adatait. Így könnyen rá tudtuk illeszteni a fentebb említett DTM-re. Az ArcGis segítségével el tudjuk különíteni a szilárd burkolattal rendelkező területeket, a beépítetlenektől. Így például tudjuk, hol található olyan rész, ahol van esély az elszivárgásra.



Részlet a kataszteri térképből



Szilárd burkolatú részek

6. ábra, Kataszteri térkép

4.7 Vízfolyás értékének kifejezése

A vízmennyiséget, amelyek egy vízgyűjtőn lefolynak, többféle képen lehet kifejezni, de viszonyításuk a záró szelvényre vagy a vízgyűjtő összterületére vonatkozik [9].

1, A vízhozam: jelölése Q [m^3/s], ha nagyon kicsi a vízhozam, akkor [l/s].

A vízhozam kifejezi a szelvényen áthaladó vízmennyiséget az időegység alatt (1sec)

$$Q = A \cdot v$$

ahol:

A- szelvény területe (m^2)

V az áthaladó víz átlagsebessége (m/s)

2. Fajlagos vízhozam: jelölése q [$\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$]

Kifejezi azt a mennyiséget, amely egy másodperc alatt tehát időegység alatt az egységnyi területről átlagban lefolyik. $q = Q/A$

A= vízgyűjtő területe

3. Vízterfogat: jele V [m^3]

Kifejezi egy szelvényen áthaladó vízmennyiséget egy hosszabb idő alatt, ami általában 1 év.

$$\frac{V}{Q \cdot T}$$

ahol, T az idő.

4. Vízréteg vastagsága: jelölése R [mm]

Kifejezi a vízgyűjtő területéről lefojt vízmennyiség átlagvastagságát

$$R = \frac{V}{A} = \frac{Q * T}{A}$$

A lefolyási tényező:

A vízgyűjtő területére érkezett vízmennyiség egy része lefolyik a felszínen, egy része beszivárog a talajba és egy harmadik része elpárolog. ha csak az első kettőt vesszük figyelembe, akkor meghatározhatjuk a lefolyási tényezőt, ami kifejezi a felszínen lefolyt vízmennyiség és a csapadék mennyiség arányát, ezt az adott vízgyűjtő területéhez és egy kiválasztott időhöz kell viszonyítani.

$$Q = C_{pot}(P - S_i - S_d) \left[\frac{\Theta}{\Theta_s} \right]$$

ahol:

Q: csapadéktöbblet [mm]

P: teljes csapadékmennyiség [mm]

Si: intercepció tározás [mm]

Sd: tározás a mélyedésekben [mm]

Θ : aktuális nedvességtartalom [-]

Θ_s : porozitás [-]

Cpot = fv (talajtípus, területhasználat, lejtés)

L lehet 1 természetes körülmények között, ha fagyott a talaj.

$$Q = L * \left(\frac{A * P}{T} \right)$$

A vízállás:

Jelölése, H (cm)

A vízállás nem a víz mélységét jelöli. A vízállást a vízmércén olvassák le, amely 2 cm beosztású, de a leolvasás 1cm pontossággal történik.

Mivel a lefolyási tényező önmagában nem veszi figyelembe a felszínborítottságot, ezért a fenti képletet még korrigálnunk kell. A lefolyást nagymértékben befolyásolja, hogy a felszín, erdő, kaszáló, tar vágás, stb. Kísérleteink során a következő korrekciós osztályokat különítettük el, mert ezek egyértelműen azonosíthatók, a földhivataltól kapott kataszteri térképen:

- Beton:10
- Erdő:1
- Kaszáló: 4
- Köves terület: 8
- Mészke (termőréteg nélkül): 9
- Mészke (5-10cm termőréteggel): 6
- Tar vágás: 6
- Földes út: 7
- Homokos talaj: 2

A lefolyás kezdetének idejét a következő képlettel számíthatjuk ki:

$$t = (h_m + h_n) / (i - v_o - p)$$

h_m : a mélyedések feltöltéséhez szükséges vízmennyiség (mm);

h_n : a növények által felfogott vízmennyiség (mm);

i : esőintenzitás (mm/perc);

v_o : beszivárgás sebessége (mm/perc);

p : evapotranszspiráció (mm).

A lefolyó víz sebességét nagymértékben meghatározza a felszín növényborítottságának jellege. Csupasz talajfelszín esetén a lejtőn lefolyó víz sebessége Dudkin szerint:

$$v = 20h^{0,8} \cdot 10^{-26}$$

h : csapadékmagasság (mm);

I : a terep esése.

Füves felszín esetén:

$$v=1070h^{1,5}I^{1,16}$$

A lefolyás mennyiségi kifejezésére a fajlagos lefolyást (q) használják.

4.8 Beszivárgás

$$I_r = \left(\frac{(C_s + S_c + S_t + S_x) S_d}{\Phi} \right) S_m$$

ahol:

C_s talaj tömörödöttség

S_c talajborítás

S_t talaj hőmérséklete

S_x talaj texturája

S_d Talaj vastagsága

S_m talaj nedvességtartalma

4.9 Eső karakterisztika

Modellünk egyik, ha nem a legfontosabb része az eső. Ehhez sok paraméterét kell ismernünk a csapadéknak. Erre legalkalmasabb az eső karakterisztika [11]. Az alábbiakban láthatjuk, hogyan is épül fel egy eső vízhozamának a leírása.

Első lépésben meghatározzuk az eső karakterisztikáját. Amit a csapadékintenzitás-idő függvény segítségével tudunk kiszámolni.

Csapadékintenzitás:

$$i(t) = \frac{dh(t)}{dt}$$

Fontosabb hidrológiai fogalmak

♦ Lefolyási idő: $t_i = t_{it} + t_{im}$ (min),

♦ Összegyülekezési idő: $t = \max t_i$ (min),

♦ Lefolyási hányad: $a = L/C$ (-) $0 \leq a \leq 1,0$

Értéke a felszín fedettségétől függ.:

belterület: $a = 0,7$,

rét, legelő: $a = 0,3$,

szántó: $a = 0,2$,

erdő: $a = 0,1$.

Méréseink során kísérletet tettünk a felszín fedettséghez tartozó állandók számítására, ellenőrzésére. A teszterületünkön, 4 helyen végeztük a méréseket. Az egyik mérési helyszínnek a város feletti erdős részt választottuk. Itt az erdőből az ég takarása 87%. Ennek oka az lehet, mert a méréseket ősszel végeztük, így a lombkorona, már nem annyira dús, mint nyáron. Az így kapott érték a forrásból származóval szinte megegyezik, mert méréseink során azt tapasztaltuk, hogy az egységnyi kontroll területen esett csapadék 22%-a érte el a talajfelszínt, aminek a 15%-a fojt le. A kontrol területünk a mérési helytől 250m lévő parkoló volt, ahol 100% égbolt láthatóság van.

A szántóknál 2 féle szántót vizsgáltunk. Az egyik egy teljesen friss szántás volt, ahol a barázdamélység 35cm volt. A másik pedig egy másfél hónappal korábban elvégzett szántás, ami már volt kitéve esőzésnek. Ebben az esetben már csak 19cm volt a barázda mélység, valamint a szántás során keletkező talajdarabok már kissé aprózódtak, nem voltak nagyméretű összefüggő tömbök. Itt szignifikáns különbséget nem tudtunk kimutatni.

Ahol nagy eltérést mértünk, az a beépített belterület volt. Ott elszivárgást szinte nagyon minimális mértékben érzékelünk. Itt az általunk vizsgált terület a földhivataltól kapott mintaterület volt. Déli része a TTK épületének déli része, délkeleti sarka az édesanyák útja és ifjúság útja kereszteződés, délnyugati sarka a magyarürögi út és szigeti út kereszteződése, északi határa pedig az erdész út fölött található piros jelzésű turistaút. A beépített területen, szinte alig található szabadon hagyott földrész, vagy növényzettel borított terület. A földes utak rendkívül tömörödtek, rossz vízelvezető képességűek. Ezen a területen mindössze 12% elszivárgásról számolhatunk be.

Ezek tükrében nézzük meg, hogyan is számszerűsíthető az eső.

Eső karakterisztikájának kiszámítása

$$h(t) = \int_0^t i(t) dt$$

ahol:

h: csapadékmagassága

i: csapadék intenzitása

Az eső során a talaj telítettsége [10] után lefolyás fog kialakulni a talaj számára befogadhatatlan vízmennyiségből. Ezt a következőképen tudjuk kifejezni.

A lefolyásképző csapadékmennyiség meghatározása

$$V_l(m^3) = \Sigma Q_i \left(\frac{m^3}{s} \right) * \Delta t = \Sigma Q_i \left(\frac{m^3}{s} \right) * 3600(s)$$

ahol:

t az idő

Q_i a tényleges vízhozam a fajlagos lefolyás figyelembevételével

$$Q_i = q_l * A_i = \alpha * q * A_i = \alpha * i * A_i$$

$$\alpha = \frac{q_l}{q}$$

De:

$$\Sigma Q_i \left(\frac{m^3}{s} \right) = L(mm) * A(km^2) * 10^3$$

Folytonossági egyenlet alapján:

$$L * A * 10^3 = \Sigma Q_i \left(\frac{m^3}{s} \right) * 3600(s)$$

ahol:

L a lefolyó víz mennyisége

A a felület

Q_i a tényleges vízhozam a fajlagos lefolyással

Azaz a lefolyt réteg vastagsága:

$$L(mm) = \frac{\Sigma_{i=1}^n Q_i \left(\frac{m^3}{s} \right) * 3600(s)}{A(km^2) * 10^3}$$

Beépített területen gyakran alakulhatnak ki kisebb nagyobb árhullámok a szilárd felületek jóvoltából. Ezt a jelenséget s következő formulával fejezhetjük ki.

Tetszőleges árhullám számítása:

$$Q(t) = h(t) * u(t) = \int_0^t h(\tau) * u(t - \tau) * d\tau$$

4.10 Hóolvadás

Másik jelentős tényező, ami befolyásolhatja a talaj, vízzel való telítettségét, az a hóolvadás [12]. Mint tudjuk, ez nem hirtelen és egyszerre következik be, hanem folyamatosan látja el a talajt nedvességgel. Ezáltal a talaj hosszabb ideig lesz telített, ami nagyba befolyásolja a lehulló csapadék beszivárgásának mértékét. Mivel a hó az erdőben a legegyszerűsebben fekszik, az erdőtalaj nem fagy meg oly gyakran s így a hóvíz jelentékeny része a talajba szivárog, ellenben a szabadban aránylag nagy mennyisége a talajon képződött jégkéreg fölött kénytelen folyni s így a völgypatakokat gyorsan éri el. A völgyekben a víz a hónap gyors olvadását mozdítja elő és az egész mennyiség gyorsan éri el a folyókat, és rögtön, de gyakran nagyon szabálytalan árvizet okoz, mert amint a lágú időt fagy követi, megszűnik a hozzáfolyás. Az erdőben a hóolvadás lassabban halad s később kezdődik, annál inkább, minél jobb az erdő védelme. Ezt a következő formulával tudjuk kifejezni.

$$\frac{dS}{dt} = P_{(T_{atm} < T_{thr})} - DC \cdot (T_{atm} - T_{thr})_{(T_{atm} \geq T_{thr})}$$

S: akkumulált hó mennyiség víztartalma [mm]

P: csapadékmennyiség (hó) [mm/d]

DC: napi olvadási ráta [mm/d/°C]

T_{atm}: léghőmérséklet [°C]

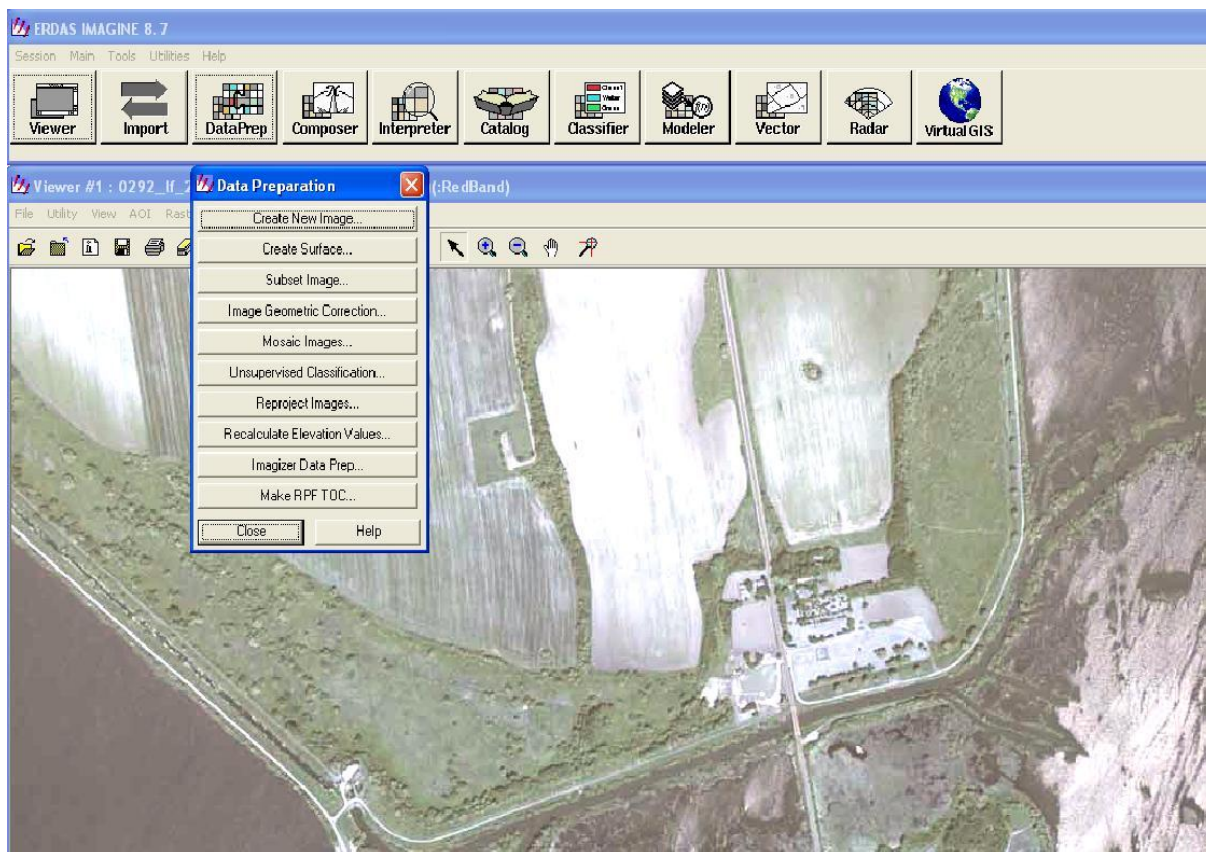
T_{thr}: hó-eső küszöbhőmérséklet [°C]

5 A 3D-s modell geokorrektúrája

Tekintettel arra, hogy itt több rétegről van szó, nem csak 3 rétegről ezért a képek feldolgozása geo korrektúrával kezdődött, hogy EOVRendszerbe tudjuk őket forgatni. Ezt a folyamatot az ERDAS 8.7, vagy az Esri szoftverével végezzük. Az Erdással való munkához első lépésként a

JPG felvételeket IMG formátumúvá kell konvertálni. A program „import” modulja segítségével.

Ezt követően a wiewerben (7. ábra) megnyitjuk a sikeresen átkonvertált képet. A geo kódolás első lépéseként megnyitjuk a datacrep modult.

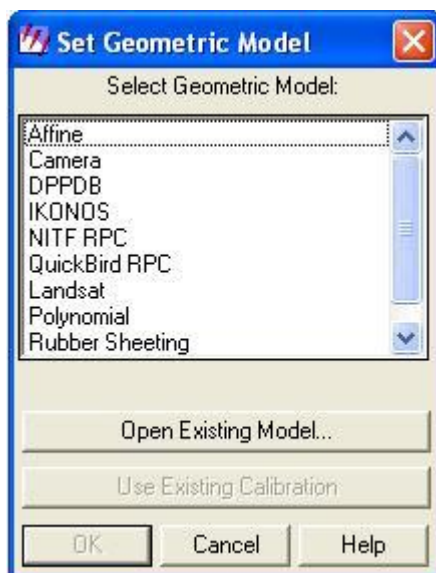


7. ábra, Az Erdas 8.7 Dataprep modulja és a wiewer

A create new image-el létrehozunk egy új kimeneti fájlt, hogy az eredeti megmaradjon, valamint, hogy tudjunk min tovább dolgozni. Ebben a modulban megadhatjuk a képek sarkainak pontos koordinátáit, valamint azt is beállíthatjuk, hogy a kimenő kép hány bites legyen.

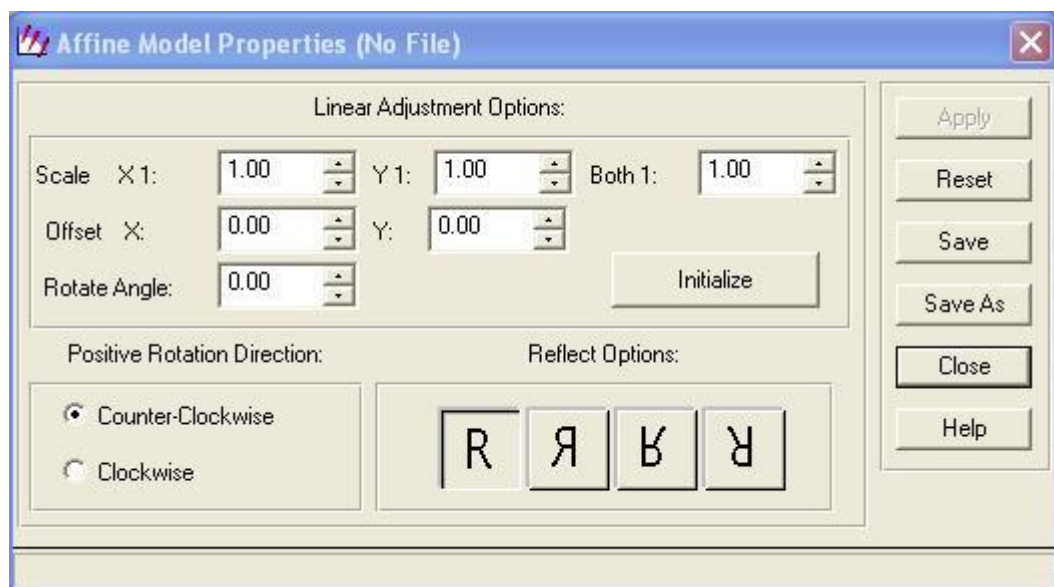
A Subset image-el ezt hasonlóképp el tudjuk végezni, de annyi különbséggel, hogy ott választhatunk, hogy hány sarok koordinátáját szeretnénk megadni. Természetesen csak az után, hogy megadtuk a bemeneti és a kimeneti képek nevét.

Amennyiben pontosabb korrekciót szeretnénk akkor az Image Geometric Correction kell választanunk. Itt eldönthetjük, hogy a pontosítandó területet img fájlból töltjük be, vagy pedig az egyik weiverben használt képet szeretnénk pontosítani. A választásunk után egy újabb kis ablak bukkan fel a Geometrical Model (8. ábra).



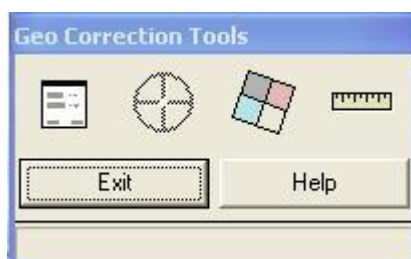
8. ábra, Geometriai model varázsló panelje

Mint láthatjuk a fenti képen további választási lehetőségek közül választhatunk. Itt választhatunk, hogy milyen típusú képünk van (pl.: Ikonos, Landsat, Spot), vagy is mit szeretnénk pontosítani, vagy, ha van modellünk, akkor azt is kezeli és pontosíthatjuk. Amennyiben nincsenek adataink célszerű az affine-t választani. Ezt követően két új panel jelenik meg:



9. ábra, Modell tulajdonságainak panelje

Ezzel a modullal (9. ábra) tudjuk forgatni a képet a kívánt irányba, valamint a készülő modellünket menthetjük is.



10. ábra, Pontosító panel

A pontosításnak legfontosabb modulja a Geo Corrections Tools (10. ábra). Az első ikonnal a beállításokat adhatjuk meg, ami a fenti képen látható kis ablakot nyitja meg. A második ikonnal tudjuk a pontokat pontosan meghatározni, majd hozzárendelni az általunk ismert koordinátákat. A pontosításhoz célszerű olyan pontokat keresni, amiket könnyen megtalálhatunk a felvételeken pl. templom, kereszteződés. Ha elvégeztük a pontosítást a harmadik (Resample) ikonnal, tudjuk kiszámítani a kimenő kép sarkainak értékeit, így a következő képeket pontosabban tudjuk az előzőhöz illeszteni. A negyedik ikonnal pedig a végső kalibrációt tudjuk elvégezni, ezzel le is ellenőrizhetjük, hogy a pontosítást mennyire „pontosan” végeztük el.

Ezt követően rétegekre bontással folytattuk az előfeldolgozást. Ezt az ENVI 4.2 szoftverrel végeztük el. Itt megadhatjuk, hogy a bontott rétegeket milyen formátumba mentjük el, mi a BMP (Bit Map Paint format) 32. *ábra* és TIFF (Tagged Image File Format) file formátumokat választottuk, mert a későbbiekben ezeket a típusú kiterjesztéseket könnyebben tudjuk, használni, mivel ezt a legtöbb képfeldolgozó szoftver kezeli.

6 Költség-haszon elemzés

Pécs városát évente többször sújtják nagy záporok, zivatarok, ami által a város egy részét akár 10 cm-t meghaladó csapadék borítja. Ilyen esetekben több milliós nagyságú kár keletkezik, a utak járhatatlanná, a lakóházak használhatatlanná válnak. A szélsőséges időjárás okozta károkról évente több, mint 500 bejelentés érkezik, a biztosítók felé. A 2011-es év második félévében az ügyfeleknek kifizetett károk összértéke eléri a 40millió forintot, ami meghaladja az előző év egész értékét. Arra keressük a legmegfelelőbb megoldást, hogy a károk helyreállítása milyen módon a leggazdaságosabb. A biztosító évente többször kifizeti a károkat, vagy az önkormányzattal együtt egy nagyobb beruházást végezve bővítik a csatornahálózatot, ezzel megakadályozva a csapadékmennyiség városra zúdulását. A leggazdaságosabb megoldást a költség-haszon elemzés segítségével fogjuk meghatározni. Először tekintsük át elméleti oldalról, hogy milyen módszerek állnak a rendelkezésünkre, majd egy való gyakorlati példán nézzük meg, hogyan is épül fel egy ilyen beruházás anyagi oldala.

A költség-haszon elemzés egy *döntéstámogató eszköz*, amelyben a releváns költségek és hasznok beazonosítása és becslése kiindulópontként szolgál az alternatív projektjavaslatok értékeléséhez. Ideális esetben a költség-haszon elemzés bebizonyítja, hogy egy javaslatról remélt hasznok meghaladják a becsült költségeket. A cél tehát, a nettó haszon bemutatása. Ha a nettó haszon pozitív, akkor a javaslatot érdemes lehet elfogadni és végrehajtani.

A költség-haszon elemzések három legfontosabb típusa:

- **Változatok elemzése**, amelynek célja annak alátámasztása, hogy a projekt a megvalósítható alternatívák közül a legjobb.
- **A pénzügyi elemzés**, amely a kiválasztott műszaki megoldásra vonatkozóan a beruházónál, kedvezményezettél felmerülő költségeket és bevételeket veszi számba és veti össze, pénzáram (cash-flow) szemléletben. Ennek keretében kell a pénzügyi fenntarthatóságot is vizsgálni.
- **A közgazdasági költség-haszon elemzés**, amelynek célja a kiválasztott műszaki megoldásra vonatkozóan a társadalmi hasznosság és költségek vizsgálata. Tekintettel arra, hogy ennek a vizsgálatnak a keretében a pénzügyi hasznokat és költségeket kell kiegészíteni vagy felváltani társadalmi költségekkel és hasznokkal, ezért ezt társadalmi-gazdasági elemzésnek is tekinthetjük.

Az említett költség-haszon elemzés azt számolja ki, hogy mekkora a csatornahálózat bővítés program befektetési küszöbe, azaz mekkora az az összeg, amely alatt a program megvalósítása még éppen költség-hatékony illetve költség-megtakarító volna. Ennek meghatározásához egy alap számítással kell kezdeni, ami nem más, mint a nettó jelen érték.

6.1 Nettó jelenérték (NPV)

A nettó jelenérték (NPV) a jövőbeli jövedelmek jelenértékének és a beruházási költségek különbsége. Különböző beruházások megtérülésének összehasonlítására használt mutató. A "0"- értékű NPV esetén a befektetés az alternatív befektetéshez képest nem eredményez többlethozamot, a pozitív NPV pedig azt mutatja meg, hogy az alternatív befektetéshez képest mennyi többlethozam érhető el. Mindig azt a beruházást választjuk, amelynek NPV-je nagyobb.

Ha már a projekt több időszakra vonatkozóan elkészítettük a cash-flow kimutatásokat, további kérdésként merül fel, hogy miként lehet az egyes projektjavaslatokat ténylegesen értékelni. A gyakorlatban számos módszer és mérési szakasz létezik, kvantitatív és kvalitatív módszerek egyaránt. Közülük a nettó jelenérték (net present value, NPV) az egyik leggyakrabban alkalmazott módszer, amely szinte minden projekt esetében használható.

A nettó jelenérték a vizsgált időszakra kalkulált diszkontált nettó pénzáramlások összege.

$$NPV = \frac{CF_0 + CF_1}{1 + IRR} + \frac{CF_2}{(1 + IRR)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1 + IRR)^2} = 0$$

ahol,

NPV = nettó jelenérték

CF_n = az n-edik időszak nettó pénzáramlása

r = diszkontráta

Ha helyesen alkalmazzák, akkor a nettó jelenérték elég objektív módszernek tekinthető, amely alkalmas arra, hogy megítéljék: mennyiben járul hozzá a projekt a hasznok (a projektgazda jövedelme) növekedéséhez. Mivel mechanikusan végrehajtható, nagyon fontos, hogy a képletben felhasznált tényezőkre vonatkozó alapfeltevéseket, feltételezéseket és becsléseket egyértelműen közöljék. Ha több lehetséges projektjavaslat hasznosságát akarjuk összevetni, és

kiválasztani közülük a leginkább költséghatékony megoldást, erre is alkalmas az NPV számítása.

6.2 Belső megtérülési ráta (IRR)

Az NPV a leginkább bevett és széles körben alkalmazható pénzügyi módszer, amely mellett, akár alternatívaként, akár azt kiegészítendő néhány más, az NPV-hez hasonló vagy ahhoz kapcsolódó elemzési módszert is alkalmazhatunk. Abban az esetben, ha az NPV már kiszámításra kerül, általában nagyon egyszerű a többi hasonló számítást is elvégezni. A belső megtérülési ráta (Internal Rate of Return, IRR) az egyik lehetséges alternatíva. Azoknál a projekteknél kifejezetten előnyös az alkalmazása, ahol meglehetősen bizonytalan vagy nehéz kalkulálni az NPV számításnál használatos diszkontrátát. Az IRR az a diszkontráta, amely mellett a várható pénzáramlások mellett zero nettó jelenérték keletkezik. A legtöbb esetben értelmezhető eredmény születik, s az alábbi képlet alapján számítható:

$$NPV = \frac{CF_0 + CF_1}{1 + IRR} + \frac{CF_2}{(1 + IRR)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1 + IRR)^n} = 0$$

ahol,

NPV = nettó jelenérték

CF_n = n-edik időszak nettó pénzáramlása

IRR = belső megtérülési ráta.

Azonban azt nem szabad figyelmen kívül hagynunk, hogy bizonyos esetekben az IRR kalkulálása megbízhatatlan, illetve nem értelmezhető eredményeket hoz. Így pl.

Időnként egyáltalán nem lehetséges az IRR-t kiszámolni, vagyis nincs olyan diszkontráta, amely mellett az NPV zérót adna.

Elméletileg az is lehetséges, hogy több IRR is számítható

Az IRR nem tesz különbséget a projektek mérete között (vagyis ha csupán az IRR-t alkalmazzuk a projektek közötti szelekcióra, akkor előfordulhatna, hogy a nagyobb hasznot, nagyobb NPV-t hozó alternatívához képest elnyben részesítenénk azt a projektjavaslatot, amely alacsonyabb NPV-vel, de magasabb IRR-rel rendelkezik.)

Az ismert módszertani problémák kezelése érdekében az IRR-számítások számos módosított változatát is kidolgozták már, de bonyolultságuk miatt csak kivételesen indokolt ezek

használata. Az arányosság alapelvét figyelembe véve nem indokolt, hogy az IRR mellett egy módosított, finomított IRR technikát alkalmazzanak, érdemesebb inkább az NPV-vel kiegészíteni.

6.3 Haszon-költség arány (BC)

Az NPV egy lehetséges alternatívája a haszon-költség arány számítása. Képlete a következő:

$$BC = \frac{\sum dBCF}{\sum dCCF}$$

ahol,

BC = haszon-költség arány

dBCF = a bevételek (pénzbeáramlások) diszkontált értéke

dCCF = a költségek (pénzkiáramlások) diszkontált értéke

A BC értéke zero és annál nagyobb pozitív szám lehet. Zero, ha nincs bevétel (ti. nem bevétel-generáló projektek esetében). Ha a $BC > 1$ akkor a projekt nettó jelenértéke nagyobb mint zero, vagyis a projektből nettó bevétel származik. Abban az esetben, ha a költség oldalon, csupán az első időszakban eszközölt jelentősebb kezdeti beruházás merül fel, akkor a BC-t nyereségességi-indexnek is nevezik. A haszon-költség arány számítása hasznos döntéstámogató eszköz lehet akkor, amikor sok megvalósítható projektjavaslat közül kell választani, amelyek mindegyike nettó jövedelmet termelne, azonban szűkösek a finanszírozási források ahhoz, hogy valamennyit támogatni lehessen. Ebben az esetben a BC – egyfajta hüvelykujj-szabályként – alkalmas lehet a szelekcióra: azt vagy azokat a projekteket érdemes támogatni, amelyek a legmagasabb BC-vel rendelkeznek, hiszen ezek ígérnek a források leginkább költséghatékony felhasználását.

6.4 Beruházási költségek becslése

A gyakorlati- és számszerűsített oldal megismeréséhez egy helyi építési vállalkozótól kértünk adatokat csatornázási beruházásra, hogy könnyebben átlássuk, milyen tételekből épül fel egy ilyen jellegű beruházás.

Megnevezés	2013	2014	Összesen	Részarány
1. Földvásárlás, terület előkészítés	8400	0	8400	0,56%
1.1 Földvásárlás	0	0	0	0
1.2 Területelőkészítés	8400	0	8400	0,56%
2. Építés	768634	332008	1100642	73,86%
2.1 Csatorna	640474	274489	914963	61,40%
2.2 Iszap kezelés	98110	42047	140157	9,41%
2.3 Hordalék kezelés	15050	6450	21500	1,44%
2.4 Tervezés	15000		15000	1,01%
3. Gép, Berendezés	0	216533	216533	14,53%
3.1 Csatorna	0	87250	87250	5,86%
gép, berendezés	0	87250	87250	5,85%
3.2 Iszapkezelés	0	110883	110883	7,44%
gép, berendezés		110883	110883	7,44%
4. Egyéb	0	0	0	0,00%
5. Nettó Kivitelezési költség	777034	545541	1322575	88,95%
6. Közbeszerzési költsége	12000		12000	81,00%
7. Mérnök költsége	28500	17900	46400	3,11%
8. Nyilvánosság biztosításának költsége	4000	2200	6200	0,42%
9. Projekt menedzsment	24200	14800	39000	2,62%
Általános PM feladatok	20200	11800	32000	2,15%
Könyvvizsgálat	4000	3000	7000	0,47%
10. Nettó Beruházási költség	845734	583441	1429175	95,91%
11. Műszaki tartalék	0	61000	61000	4,09%
12. Nettó beruházási összköltség	845734	644441	1490175	100,00%
13. Áfa	211434	161110	372544	
14. Bruttó beruházási összköltség	1057168	805551	1862719	
Nettó beruházási költségből			0	
elszámolható	845734	583441	1429175	
nem elszámolható	0		0	
Tartalékból				
elszámolható	0	61000	61000	
nem elszámolható	0	0	0	

A táblázat után már tisztán láthatjuk, hogy milyen adatokból tudjuk megtervezni és kiszámolni az elméleti résznél megismert összetevőket. Ezen kívül még szükséges számolnunk a működési költségekkel is, ami magába foglalja az üzemeltetés és karbantartás költségeit is. Valamint tartalmazza az alábbi változó és fix költségeket is:

- Anyagköltség: évi 1,0 %-os reálnövekedés
- Energiaköltség: évi 1,0 %-os reálnövekedés
- Egyéb anyagköltség: évi 1,0 %-os reálnövekedés

- Munkabér: évi 2 %-os reálnövekedés
- Karbantartás: nincs reálemelkedés
- Egyéb tételek: nincs reálemelkedés

Azonban még a fent említett költségek mellé be kell számítanunk az egyes elemek pótlási költségeit, valamint a maradványérték becslést is, hogy pontos képet kaphassunk a pénzügyi költségek összegzéséhez.

7 Eredmények

Modellünk összetettsége révén képes előre vetíteni, hogyan változik meg a csapadék lefolyásának iránya és a mennyisége a Mecsekről, az emberi beavatkozások tekintetében. Ilyen beavatkozás lehet a fenti példákon bemutatott tarvágás vagy pedig egy nagyobb terület beépítése, átépítése. A terepen mért eredményeket az 1 táblázatban láthatjuk. Az értékek szerint a modell 92%-os pontossággal képes megbecsülni a többlet vízhozamot és a nagyobb vízfolyások keletkezésének a helyét, az ilyen beavatkozások szimulációja során. Ez azt jelenti, hogy 1ha tarvágás esetén, közel 4,7szer gyorsabban kellene elnyelnie a talajnak a vizet, mint ép erdő esetén. Ez azt eredményezi, hogy már kisebb csapadék esetén hamarabb telítetté válik a talaj, ezáltal nagyságrendekkel több víz, fog lefolyni és hordalékot képezni. Ez a helyzet a hegyoldal beépítésnél is, talán annyival súlyosabb a helyzet, hogy itt nem, vagy csak minimális elszivárgásról beszélhetünk. Mert, a szilárd burkolattal ellátott részek vízelnyelése 0, sőt mi több, a lefolyó víz sebessége nő. Ezáltal a mozgási energiája is, ami azt okozza, hogy a mélyebben fekvő területeken, erősebb erózióval és nagyobb mennyiségű hordalékkal kell számolni. A kataszteri térképünkön jól látható, hogy egy beépített területen, mennyi természetes terület marad, ahol a víznek esélye lenne a leszivárgásra.

Az alábbi táblázatban láthatjuk, hogy milyen eredményeket mértünk a korábbiakban bemutatott módszerekkel, valamint, hogy az így kiszámított eredmények mennyire tükrözik a valóságban mért eredményeket. A 2. Oszlop neve kissé félre vezető lehet. Itt valójában azok a számított értékek szerepelnek, amik a beszivárgás modell szerint lefolynak a felszínről vagy is nem szivárognak be.

Mérési helyszín	Beszivárgás modell (mm)	Lehullott csapadék (mm)	Eső időtartam (perc)	Korrigált modell (mm)	Mért eredmény (mm)	Különbség %-ban (beszivárgás modell-korrigált modell)	Különbség %-ban (Korrigált modell-mért eredmény)
Erdő (többszintű erdőtársulások)	2	14	72	1	1	200	0
Tar vágás	8	20	87	11	10	72	10
Szántó (friss)	11	18	44	14	13	78	7,6
Szántó (1 hónapos)	12	18	44	10	10	20	0
Fagyott talaj	7	8	38	7	7	0	0

Az eredmények értékelése során szembeötlő tény, hogy a sima beszivárgási modell, ami nem tartalmazza a korrekciós tényezőket elég szignifikáns eredményt szolgáltat, szinte az összes esetben. A táblázat második sorában látható többszintű erdőtársulás egy négyszintes erdőt jelöl. Ez azért is fontos, mert így az esőcseppeknek sokkal nagyobb utat kell megtenniük, amíg eléri a földfelszínt. Ezáltal a cseppek átmérője is sokkal kisebb lesz, ami azt eredményezi egyfelől, hogy a vízmennyiség sokkal nagyobb területen oszlik el, másfelől, a kisebb becsapódási energiának köszönhetően nem lesz akkora eróziós jelenség, mint sima felszín esetén. A hegyoldalon lévő erdő, az esőmennyiség egész tömegét nem engedi egyszerre, hirtelen lefolyni, hanem bizonyos százalékát visszatartja s a lefolyást hosszabb időtartamra nyújtja el. Az erdő valamint a növényzettel sűrűn borított területek lassítják a víz lefolyását, így a lefolyó víz lassabban éri el a beépített és rosszabb elnyelési képességgel bíró területeket. Ennek köszönhetően, a víz elevezetését szolgáló tereptárgyak terhelése időben eloszlik és nem egy időpontban fog kicsúcsosodni a terhelési diagramjuk. A táblázatban

látható szántókat azért különítettük el, mivel friss szántás esetén a talaj aggregátumok sokkal nagyobb darabokban találhatóak a felszínen, mint egy már morzsálódott (régebbi) szántásnál. Ezáltal az összefüggő talajdarabok vízelnyelési képessége is sokkal gyengébb a porózusabb darabokénál és mint a Menger szivacs ismertetésénél kiderült ennek a tényezőnek nagy szerepe van a lefolyás számításánál.

Itt szeretném megemlíteni, hogy az eső időtartamánál látható értékek azért térnek el egymástól, mert nem egy időben történtek a mérések. Egyedül a szántó esetében volt lehetőségünk párhuzamosan végezni a méréseinket, mivel a két terület viszonylag közel fekszik egymáshoz, így nagyobb erőforrás és eszköz ráfordítás nélkül kivitelezhető volt a mérés.

Későbbi kutatásaim során szeretném városi környezetben is megvizsgálni a különböző módszerek alkalmazhatóságát. Városi környezetben azonban sokkal több befolyásoló tényező lesz, hiszen elég csak a csapadékvíz elvezető objektumokra gondolni, vagy pedig a beépített területek gondolni, hiszen a beton, különböző típusai is eltérő fizikai tulajdonságokkal bírnak. A nemzetközi irodalmak szerint, ezek eltérő beszivárgási értéket fognak szolgáltatni, ami nagyban megnehezíti egy valóság-hű modell készítését.

8. Irodalomjegyzék

1. Alemseged Tamiru Hailea, Tom Rientjesa, Ambro Gieskea, Victor Jettenb, Mekonnen Gebremichaelc, Satellite remote sensing and conceptual cloud modeling for convective rainfall simulation, *Advances in Water Resources*, Volume 34, Issue 1, Pages 26–37, 2011
2. C. B. Ogden *, H. M. van Es and R. R. Schindelbeck: Miniature Rain Simulator for Field Measurement of Soil Infiltration, *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 61 No. 4, p. 1041-1043, 1997
3. Hoyk Edit: A nyugat-Mecsek növényzetének értékelése optimalizációs térkép alapján, Földrajzi Konferencia, Szeged 2001.
4. J.F. Martínez-Murilloa, E. Nadal-Romero, D. Regüesc, A. Cerdà, J. Poesene: Soil erosion and hydrology of the western Mediterranean badlands throughout rainfall simulation experiments: A review, *CATENA*, Available online 19 June 2012
5. Marcus Schindewolf, , Jürgen Schmidt: Parameterization of the EROSION 2D/3D soil erosion model using a small-scale rainfall simulator and upstream runoff simulation, *CATENA*, Volume 91, Pages 47–55, 2012
6. Michel Rieu, Garrison Sposito: Fractal Fragmentation, Soil Porosity, and Soil Water Properties: I. Theory, *Soil Science Society of America Journal*, Vol. 55 No. 5, p. 1231-1238, 1991
7. P. A. P. Moran: Additive functions of intervals and Hausdorff measure, *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* / Volume42 / Issue01 / February 1946, pp 15-23 DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0305004100022684> (About DOI), Published online: 24 October 2008
8. S. Jomaaa, D.A. Barrya, A. Brovella, B.C.P. Hengb, G.C. Sanderc, J.-Y. Parlanged, C.W. Rosee: Rain splash soil erosion estimation in the presence of rock fragments, *CATENA*, Volume 92, Pages 38–48, 2012
9. T. Iserloha, W. Fisterb, M. Seegera, H. Willgera, 1, J.B. Riesa: A small portable rainfall simulator for reproducible experiments on soil erosion, *Soil and Tillage Research*, Volume 124, Pages 131–137, 2012
10. Tom J. Coulthard, Greg R. Hancock, John B. C. Lowry: Modelling soil erosion with a downscaled landscape evolution model, *Volume 37, Issue 10, pages 1046–1055*, DOI: 10.1002/esp.3226, 2012

11. Vincent Chaplota, Jacqueline Brownb, Phesheya Dlamina, Tarryn Eusticec, Jean-Louis Janeaua, Graham Jewittd, Simon Lorentzd, Lauren Martinc, Charmaine Nontokozo-Mchunue, Ernest Oakesd, Pascal Podwojewskia, Sylvain Revild, Cornelia Rumpelf, Nhlakanipho Zondid: Rainfall simulation to identify the storm-scale mechanisms of gully bank retreat, *Agricultural Water Management*, Volume 98, Issue 11, Pages 1704–1710, 2011
12. Wu H-J, Lee X: Effects of wetting on soil respiration in, Nebraska Cropland. Manuscript in preparation (2010)
13. Y. Schindler Wildhabera, D. Bänningera, K. Burrib, Ch. Alewella: Evaluation and application of a portable rainfall simulator on subalpine grassland, *CATENA*, Volume 91, Pages 56–62, 2012
14. Zhao Yanfen; Huang Jinghua: The Hausdorff Measure of Sierpinski Carpet on Rectangle, *Journal of Hubei University (Natural Science Edition)*, pp 42-48, 1992