

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Informatikai Kar
Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék

Geomorfometriai alapú felszínmozgás-veszélyességi becslések
a Gerecse területére

Gerzsenyi Dávid
térképész szakos hallgató

Témavezető:

Dr. Albert Gáspár
adjunktus



Budapest, 2018

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	- 2 -
Motiváció és cél	- 2 -
A Gerecse földrajzi, földtani jellemzői, a mintaterület bemutatása	- 4 -
Felszínmozgásokkal foglalkozó térképek	- 5 -
A „likelihood ratio function” modell	- 6 -
Alapanyagok, korrekciók	- 9 -
Magasságmodell és morfometriai változók.....	- 9 -
Országos Felszínmozgás Kataszter	- 10 -
Földtani térképből levezetett adatok.....	- 11 -
Az elemzések.....	- 12 -
A paraméterek eloszlásának meghatározása	- 12 -
Relatív valószínűségi súlyok meghatározása	- 15 -
A relatív felszínmozgás-veszélyességi térkép.....	- 17 -
Terepi ellenőrzés	- 19 -
Eredmények.....	- 22 -
Összefoglalás.....	- 24 -
Irodalomjegyzék.....	- 25 -
Köszönetnyilvánítás	- 26 -

Bevezetés

Motiváció és cél

Munkám során azt vizsgáltam, hogy a különböző magasságmodellekből (SRTM-1 és TanDEM-X) levezetett geomorfometriai jellemzők és földtani adatok geostatistikai elemzésével milyen minőségű felszínmozgás-veszélyességi becslések adhatóak a Gerecse területére. A cél egyrészt annak megállapítása volt, hogy az így elkészített relatív felszínmozgás-veszélyességi térképek milyen mértékben segítik a felszínmozgások által már érintett, illetve a jövőben felszínmozgásos tevékenységekre hajlamos területek felderítését a Gerecsében, másrészt, hogy milyen javítások és módosítások szükségesek az alapanyagokon a pontosabb eredmény eléréséhez.

A téma aktualitását adja, hogy a Gerecse területén a különböző felszínmozgásos folyamatok (pl.: csuszamlás, suvadás, omlás, kúszás) ma is aktív felszínformáló erőként vannak jelen, különösen az Északnyugati-Gerecse főként lösszel és más laza üledékekkel borított, a Duna felé alacsonyodó lejtőin, magaspártjain és a patak völgyek meredek oldalai mentén. Ezek a folyamatok nem csupán földtudományos érdekességekként szolgálnak a területen, hanem akár művelés alá vont, vagy beépített területeket is veszélyeztethetnek (pl.: a 2010-es Dunaszentmiklósi csuszamlás, 1. fotó), ezért pedig fontos a felszínmozgásokra hajlamos, és így a veszélyeztetett területek pontos és naprakész ismerete.



1. fotó: A 2010-es dunaszentmiklósi csuszamlás során több családi ház, pincék, vezetékek és közút is megrongálódott (Albert, 2013).

A hegység felszínmozgásos folyamatai már régóta tárgyai különböző geomorfológiai és földtani kutatásoknak, valamint több, a témát is érintő vagy direkt a felszínmozgásokat dokumentáló földtudományi térkép is készült a területről (pl.: Neszmélyi földcsúszások, 1931; Ádám, 1985; Scheuer–Schweitzer, 1988; Schweitzer, 1989; Balogh–Schweitzer, 2011; Kis–Balogh, 2013), ám ezek többnyire csak egy-egy kisebb területre fókuszálnak, nem adnak átfogó képet a veszélyeztetett területekről. Az ország, és így a Gerecse felszínmozgásainak átfogó, rendszerezett dokumentálása az 1970-es években kezdődött meg az Országos Felszínmozgás Kataszter felvételezésének keretében. A kataszterbe a felszínmozgásokat egységes szempontrendszer szerint osztályozva vették fel, többek között a típusuk és az aktivitásuk megjelölésével. A kataszter felvételezése kisebb-nagyobb megszakításokkal ma is folyik, és már digitális formában, térinformatikai adatbázisként is elérhető, viszont a Gerecse területére nem teljes és a már felvett helyszínek esetében is tartalmaz pontatlanságokat.

A kutatás közvetlen előzményét a 2016-ban elkezdett tudományos diákköri munkám jelenti, melynek során a „likelihood ratio function” (Chung, 2006) modellel vizsgáltam a Gerecse területén található felszínmozgásokat (Gerzsenyi–Albert, 2018). Az Országos Felszínmozgás Kataszterben (MBFH) felszínmozgásokként jelölt területeket mintaként használva meghatároztam a rájuk leginkább jellemző morфомetriai (magasság, meredekség, kitettség) és földtani tulajdonságokat, majd ezek ismeretében becslést adtam az egyes területek felszínmozgásokra való hajlamosságára. E munkához a kb. 30 m felbontású SRTM-1 magasságmodellt, Magyarország földtani térképét és az Országos Felszínmozgás Kataszter adatbázisát használtam fel módosítások nélkül.

Jelen munkám során egy kisebb terület, a hegység északnyugati részének felszínmozgásait vizsgáltam hasonló módszerekkel, de az előzőleg használatnál nagyobb felbontású TanDEM-X magasságmodell felhasználásával. Emellett az alapanyagok bizonyos mértékű pontosítására, javítására is sor került: megtörtént a növényzet a magasságmodellben jelentkező magassági hatásának korrigálása és a felszínmozgás-kataszterben pontatlanul jelölt területek pontosítására, valamint a mintaként használt felszínmozgásos területek közé földtani térképen jelölt suvadások bevonására is.

A dolgozatban a jobb felbontású magasságmodellen alapuló felszínmozgás-veszélyességi térkép készítésének folyamatát ismertetem. Ezenkívül kitérek az alkalmazott módszer korlátaira és a felhasznált alapanyagok hiányosságaira, a rajtuk eszközölt javításokra és bővítésekre, továbbá az eredmények validációjára is. A becslések pontosságát több terepi

nap során ellenőriztük az Északnyugati-Gerecsében, ennek során a jelen munka előzményét képező diákköri kutatás során létrehozott térképpel is összevetettük a friss eredményeket.

A Gerecse földrajzi, földtani jellemzői, a mintaterület bemutatása

A Dunazug-hegyvidék legnyugatibb tagját adó Gerecse három részre, a Nyugati-, a Központi- és a Keleti-Gerecsére osztható. A hegységet északon a Duna, nyugaton az Által-ér, keleten a Dorogi-medence határolja, délen pedig a Tatai-árok választja el a Vértestől. Területe kb. 850 km², sasbércek észak-déli irányú sorai, hegyközi medencék és eróziós patak völgyek jellemzik.

A Gerecse legidősebb kőzeteit felső triász dolomit, Dachsteini Mészkö, jura és kréta időszaki mészkőformációk, valamint kréta durvatörmelékes összletek adják. Rájuk a középső eocénben agyagos, márgás és széntelepes tengeri üledékek rakódtak, kihantolódásuk pedig csak a miocénben kezdődött meg. Ma csak a magasabb sasbérceken bukkannak ki az üledéktakaró alól. A szerkezeti árkokban az oligocénben homok, márga és kavics rakódott le, peremükön pedig a miocén – kora pliocénben selfperemi deltakavics, homok, agyag és lignit képződött (Magyar et al., 2013). A hegylábi területek feltagolódása, ezzel együtt a hegylábi völgyek és medencék kialakulása a késő pliocénben kezdődött, többek között az eróziós völgyek és a Duna bevágódásának hatására. Ezeket a részeket későbbiekben a negyedidőszaki erózió és lejtős tömegmozgások formálták. A hegység legnagyobb részét ma negyedidőszaki édesvízi mészkő, lösz, folyóvízi kavics és homok borítja. Ez a lösztakaró a Duna mentén a legvastagabb, akár a 10–15 m-t is elérheti, a hegylábi részeken 5–10 m, a patak völgyekben és a magasabb, hegyi részeken pedig nagyjából 4–5 m vastag. (Scharek et al., 2000). A különböző felszínmozgások ma is aktív felszínformáló erőként vannak jelen a területen, különösen a többnyire löszös fedettségű hegylábi lejtőkön és a patak völgyek oldalában. A hegység északi részén fekvő, Duna-parti települések környezetében ez súlyos károkat okozó veszélyforrásként jelentkezhet (Albert, 2013; Kis-Balogh, 2013).

A felszínmozgás-veszélyességi elemzés mintaterületéül a hegység ennek az egyik leginkább felszínmozgásosnak mondható részét választottuk az Északnyugati-Gerecsében. A vizsgált és a térképen bemutatott területet nyugatról az Által-ér határolja, keleten Lábatlanig húzódik, Észak-déli irányban pedig a Dunától Szomód vonaláig tart. Ez magába foglalja az Északnyugat-Gerecse hegylábi lejtőit, a Dunaalmás és Neszmély környéki, meredek falú patak völgyeket, valamint a Bikol-patak mentét és a belé torkolló kisebb patakok völgyeit. A nem beépített részek jelentős hányada erdőművelés alá vont terület, emellett több szőlészet is található a környéken.

Felszínmozgásokkal foglalkozó térképek

A felszínmozgásokkal foglalkozó térképeknek négy fajtáját különböztethetjük meg (Parise, 2001):

- 1) felszínmozgás kataszteri térképek
- 2) felszínmozgás aktivitást vizsgáló térképek
- 3) relatív felszínmozgás-veszélyességi térképek
- 4) felszínmozgás-érzékenységi térképek.

A felszínmozgás kataszteri térképek és adatbázisok egy terület felszínmozgásainak helyét jelölik, emellett pedig az egyes felszínmozgások típusára, aktivitására vagy más tulajdonságaira vonatkozó információt is tárolnak. A felszínmozgások jelölése kisebb méretarányokban vagy információhiány esetén történhet csupán egy-egy pontra vonatkozóan, általában viszont a felszínmozgás kiterjedését, területét is jelölik. A felszínmozgás kataszterek tárolhatják a vizsgált terület összes felszínmozgásának helyét, de vonatkozhatnak egy konkrét eseményre, időtartamra is, ilyenkor csak az esemény (pl.: földrengés vagy heves esőzések) által előidézett felszínmozgásokat ábrázolják. Ezek a kataszteri térképek és adatbázisok szolgálnak alapul a felszínmozgás-veszélyességi és érzékenységi vizsgálatoknak. Magyarország területére rendelkezésre álló ilyen jellegű adatbázis az elemzéshez is felhasznált Országos Felszínmozgás Kataszter (MBFH).

A felszínmozgás aktivitást vizsgáló térképek egy adott felszínmozgás vagy egy felszínmozgásos terület fejlődését mutatják egy adott időtartam alatt. Elkészítésük történhet a területre vonatkozó felszínmozgás kataszter különböző verzióinak összevetésével vagy egy-egy konkrét felszínmozgás esetében a terület rendszeres vizsgálatával. Ez lehetséges például a területről készült (légi)fényképek kiértékelésével (Parise–Wasowski, 1999) vagy akár kontrollpontok elmozdulásának nagy pontosságú vizsgálatával is.

A relatív felszínmozgás-veszélyességi vagy más néven a felszínmozgásra való hajlamosságot vizsgáló térképek azt mutatják be, hogy az adott terület milyen valószínűséggel válik majd felszínmozgásos folyamatok színterévé. Ezt a helyi felszínmozgásos területekre jellemző terepviszonyok és földtani tulajdonságok vizsgálatával állapítják meg. Ilyen elemzés készült például a dolgozatban bemutatottaktól eltérő módszerekkel Seattle-ről is (Harp et al, 2006).

A felszínmozgás-érzékenységi térképek az előbbivel ellentétben nem pusztán azt mutatják be, hogy hol a legnagyobb az esélye a felszínmozgásos folyamatok aktivizálódásának, hanem

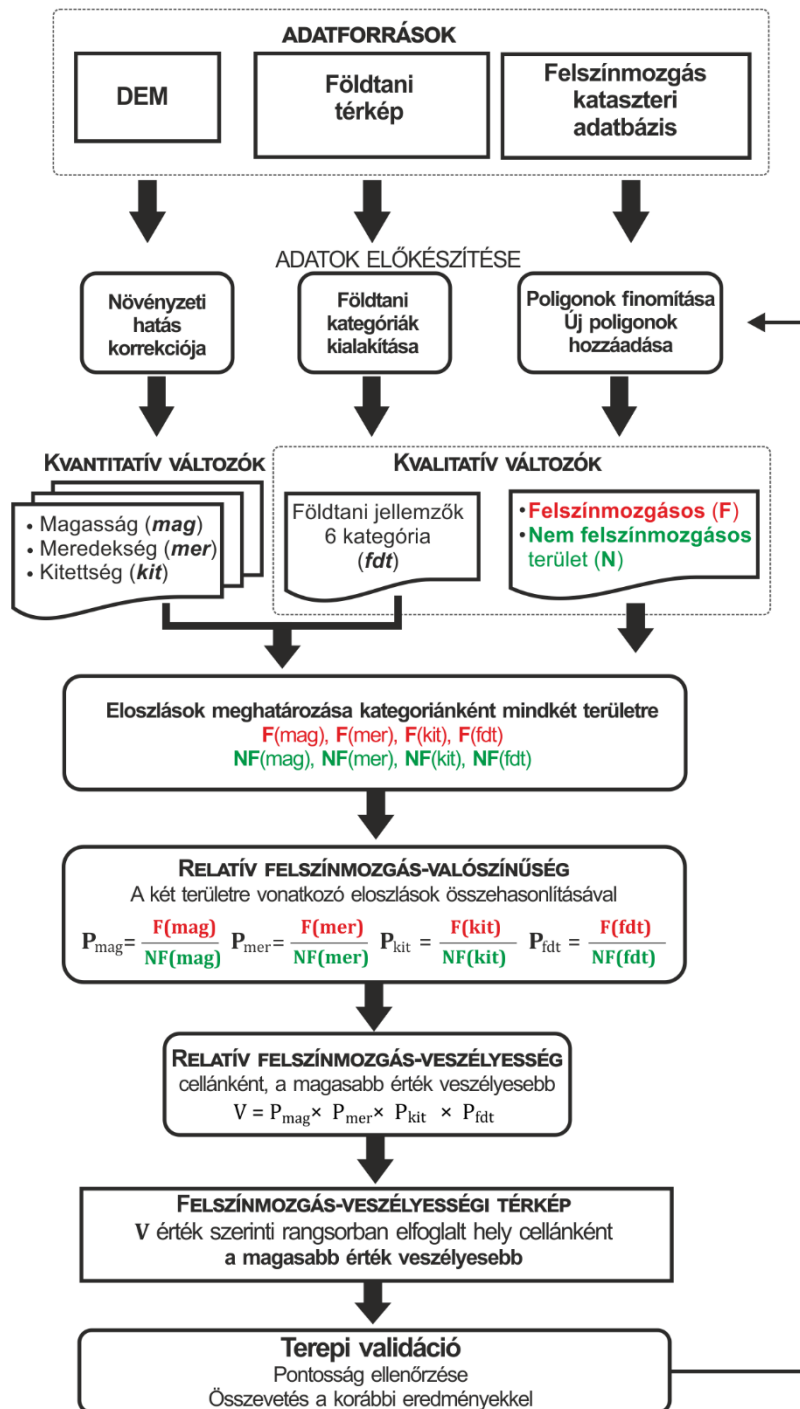
az általuk okozható kár mértékét is becsülik. Az ilyen elemzések és az eredményeiket bemutató térképek esetében előfordulhat, hogy egy különösen veszélyesnek ítélt, de az emberi létesítményektől távol fekvő területnek jóval kisebb lesz a felszínmozgásokra való érzékenysége, mint egy felszínmozgásos aktivitásra kevésbé hajlamos, de sűrűn lakott területnek. A felszínmozgás-érzékenységi vizsgálatok komplex volta miatt egy ilyen munka során elengedhetetlenül szükség van más tudományterületek szakembereinek bevonására is.

Munkám során földtani és morfológiai adatok mellett az első kategóriába tartozó Országos Felszínmozgás Katasztert használtam fel kéziratoss földtani térképről nyert adatokkal kiegészítve, hogy a harmadik kategóriába tartozó relatív felszínmozgás-veszélyességi térképét elkészítsem a területről. Az így nyert adatok egy komplex elemzés részeként a későbbiekben akár a negyedik kategóriába tartozó érzékenységi térkép előállításához is használhatók lehetnek, ezen kívül a terepi munka eredményeivel kiegészítve alkalmasak a kataszteri adatbázis bővítésére is.

A „likelihood ratio function” modell

Az elemzéshez felhasznált modell („likelihood ratio functions”, Chung, 2006, Davis et al., 2006) a terület a felszínmozgás kataszterben jelölt helyszíneinek földtani és morfológiai tulajdonságainak vizsgálatával állapít meg relatív veszélyességi értékeket a vizsgált területre. Az elemzés elvi munkamenetét az 1. ábra szemlélteti. A modell itt alkalmazott verziója ehhez két tematikus, minőségi (kvalitatív) és három mennyiségi (kvantitatív) változót használt. Kvalitatív változók a kategorizált formában felhasznált földtani adatok és a felszínmozgás kataszterben jelölt felszínmozgásos területek. A három kvantitatív változó a terület domborzatmodellje által szolgáltatott magassági adatok, illetve az ebből levezetett meredekségi és kitettségi értékek.

A modell grid típusú állományokkal dolgozik, azaz a területet lefedő grid háló minden cellájához változónként egy-egy számértéket rendel. A kvantitatív változók eleve grid formában állnak rendelkezésre, a kvalitatív rétegek esetében pedig a tematikus kategóriákhoz szükséges egy-egy a kategóriát jelző számértéket hozzárendelni. A felszínmozgások tematikus rétege esetében ez úgy történik, hogy a poligonok által lefedett grid cellák 1 értéket kapnak, a többi cella pedig NULL lesz, valamint létrehozandó ennek a rétegnek az inverze is a nem felszínmozgásos területek jelölésére. (A NULL azaz érvénytelen értékű cellák kimaradnak grid számításokból, tehát bármilyen gridek közötti művelet esetén a legalább az egyik tagban NULL-ként jelölt értéket az eredmény gridben is NULL értéket kapnak.)



1. ábra: A „likelihood ratio function” modell működésének elvi folyamata.

A földtani állomány esetében minden cella az öt lefedő poligon kategóriájához rendelt számértéket kapja (1–6, l. későbbi fejezet). Fontos továbbá, hogy a felhasznált gridek azonos (névleges) felbontásban, méretben és vetületben álljanak rendelkezésre, mivel a köztük végzett műveletek csak így értelmezhetőek. A vetület kiválasztásánál érdemes méter rendszerű, derékszögű koordináta-rendszert használni, mivel más esetekben nem biztos, hogy jól kezelik a választott rendszert a különböző GIS modulok. Különböző felbontású gridek esetében vagy a nagyobb felbontásút kell újramintavételezni, ilyenkor abból adat vesz el, vagy a kisebb

felbontását kell sűríteni. Ebben az esetben a sűrített gridnek csak a névleges felbontása változik, a tényleges adatsűrűsége nem.

Az alapanyagok előkészítése után az egyes paraméterek eloszlásának meghatározása következik, a felszínmozgások által érintett ($F_{\text{kategória}}$) és a nem érintett ($NF_{\text{kategória}}$) területekre. $F_{\text{kategória}}$ és $NF_{\text{kategória}}$ az egyes paraméterek egészre kerekített értékeinek eloszlását mutatják a felszínmozgásos és a nem felszínmozgásos területekre, Pl.: lösszel fedett (4. földtani kategória l. későbbi fejezet) területekre: $F_{\text{fdt}}(4)=74\%$, $NF_{\text{fdt}}(4)=63\%$, azaz a felszínmozgásos rész 74%-a, a nem felszínmozgásosnak pedig 63%-a löszös.

A csak a felszínmozgásos területekre vonatkozó adatokat tartalmazó gridek a felszínmozgásos területeket 1 értékkel jelölő griddel való szorzással jönnek létre. A komplementerével (érintett terület=NULL, nem érintett=1) való szorzással pedig a felszínmozgások által nem érintett területekre vonatkozó gridek állnak elő. A két terület eloszlási gridjeinek vizsgálatával kiszámítható, hogy az egyes *magassági* (F_{mag} , NF_{mag}), *lejtőszög* (F_{mer} , NF_{mer}), *kitettség* (F_{kit} , NF_{kit}) és *földtani kategóriák* (F_{fdt} , NF_{fdt}) szerinti értékek milyen arányban fordulnak elő a két területen. Ezeknek az arányszámoknak a hányadosa megadja, hogy az egyes értékek hányszor nagyobb eséllyel (*relatív valószínűséggel*, $P_{\text{változó}}$) fordulnak elő a felszínmozgások által érintett területeken:

$$P_{\text{mag}} = \frac{F_{\text{mag}}}{NF_{\text{mag}}}, \quad P_{\text{mer}} = \frac{F_{\text{mer}}}{NF_{\text{mer}}}, \quad P_{\text{kit}} = \frac{F_{\text{kit}}}{NF_{\text{kit}}}, \quad P_{\text{fdt}} = \frac{F_{\text{fdt}}}{NF_{\text{fdt}}}$$

$$\text{Pl.: } P_{\text{fdt}}(4) = \frac{F_{\text{fdt}}(4)}{NF_{\text{fdt}}(4)} = \frac{74\%}{63\%} = 1,6$$

A relatív valószínűségi eloszlások meghatározása után a gridek cellái az értéküknek megfelelő relatív valószínűségi értékeket kapják meg mindegyik változóra. Az így létrehozott négy állomány adatai tehát azt mutatják meg, hogy celláik az egyes paraméterek szerint mennyire hasonlítanak a felszínmozgásos területek értékeire.

A *relatív veszélyességi értékeket* (V) tartalmazó állomány ezek után a relatív valószínűségeket (P) tartalmazó gridek összeszorozásával áll elő:

$$V = P_{\text{mag}} * P_{\text{mer}} * P_{\text{kit}} * P_{\text{fdt}}$$

A relatív felszínmozgás-veszélyességek itt dimenzió nélküli számok, a nagyobb érték nagyobb relatív veszélyességet jelez a vizsgált területen belül. A térképen a cellák ezen értékek rangsorában elfoglalt helye került ábrázolásra százalékos formában. A 99–100%-os kategória

például a terület a becslések alapján leginkább veszélyeztetett 1%-át jelöli ki, azaz egy 1000 cellából álló területen a 10 legmagasabb értékkel bírót.

Alapanyagok, korrekciók

Az elemzés elvégzéséhez a morfolometriai változók levezetéséhez szükséges domborzatmodellre, valamint a terület földtani jellemzőit leíró és a mintaként használt felszínmozgásos területeket tartalmazó állományokra volt szükség. A morfolometriai paramétereket a TanDEM-X DEM alapján a SAGA (Conrad et al.) geoinformatikai szoftver moduljai segítségével nyertem. A földtani adatokat Magyarország Földtani Térképe szolgáltatta, a felszínmozgások helyét pedig az Országos Felszínmozgás Kataszter állománya és a területről készült a kataszternél frissebb kéziratok földtani térképek tartalmazták. A következőkben ezeket az állományokat ismertetem kitérve a rajtuk elvégzett módosításokra is.

Magasságmodell és morfolometriai változók

Az elemzés során a kb. 12 m-es felbontású (0,4") TanDEM-X globális lefedettségű magasságmodellt használtuk. A tudományos célokra pályázat útján hozzáférhető anyag a magasságmodell mellett többek között automatizált módon megállapított vízborítottsági maszkot is tartalmaz. A maszkot a valóban vízzel borított területek leválogatása után felhasználtuk a vizes területek kifizetéséhez. A modell felvételezéséhez az interferometrikus szintetikus apertúrájú radar (inSAR) X-sávját használták, ennek sajátosságiból adódóan az épített és a növényzeti fedettség hatása is jelentkezik a magassági adatokban (Wessel, 2016).

Az extra magassági hatás az erdőfoltok szélein akár 20 m hirtelen magasságkülönbséget is okozhat. Mivel az alkalmazott morfolometriai változók között a meredekség is szerepel, a modell korrekciója szükséges volt. A korrekció során a TanDEM misszióval közel azonos időben, 2010-ben készült légifelvételek felhasználásával kijelöltük az erdővel borított területeket, majd a poligonhatárok menti, kb. 30 m szélességű pufferező legkisebb és legnagyobb magasságának összehasonlításával meghatároztuk a határ menti magasságkülönbségeket. Az így becsült famagasság értékekből az erdőfoltok széleihez közel eső belső területekre (3 cella) interpoláltuk a kivonandó értékeket, az ettől beljebb eső területek pedig a határokon becsült értékek átlagát kapták. A maszkra egy simító szűrőt alkalmaztunk, majd korrigáltuk vele a modellt, végül az illesztéskor keletkezett egyenetlenségeket simító szűrővel is korrigáltuk. Az épületek okozta hatás az erdőkénél jóval csekélyebb volt, így azt külön nem korrigáltuk. Az így előkészített magasságmodell alkalmasabbá vált a morfolometriai

elemzésre, de az elemzés eredményeinek értelmezésénél szükséges a magasságmodell és a korrekciós módszer sajátosságainak a figyelembevétele is.

A korrigált magasságmodellből a SAGA GIS (Conrad et al., 2015) Slope, Aspect, Curvature moduljával (Zevenbergen– Thorne, 1987) vezettük le a lejtőmeredekség (0–90°) és a kitettség (0–360°, északról kelet felé számítva), azaz lejtőirány értékeket.

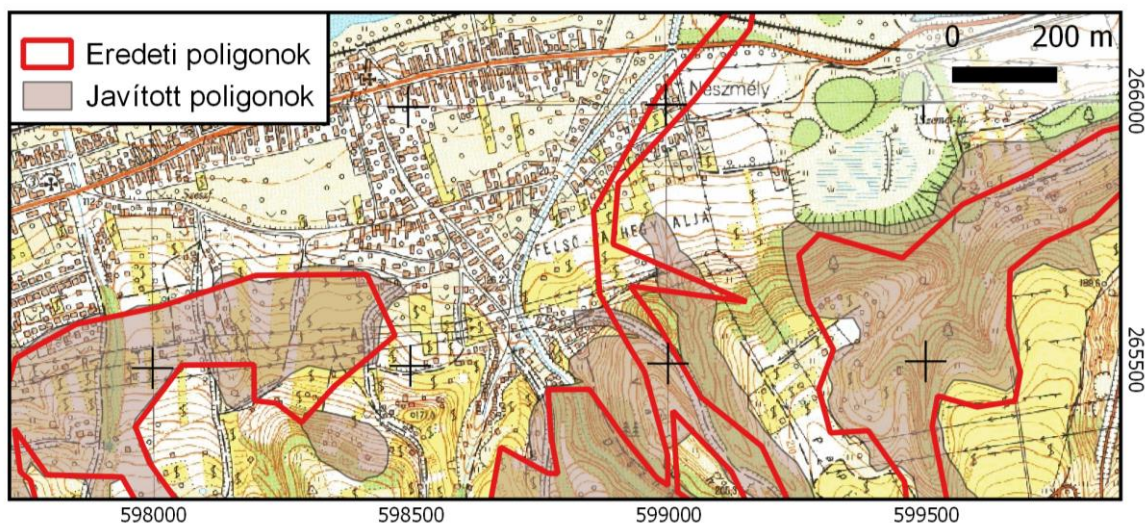
Országos Felszínmozgás Kataszter

Az Országos Felszínmozgás Kataszter (OFK) felmérése 1972-ben kezdődött a Központi Földtani Hivatal irányítása alatt, a munkába több hazai kutatóintézet, egyetem és állami vállalat szakemberei is bekapcsolódtak. A felmérés egységesített adatlapokra készült, az adatlapokra a felszínmozgások helye, ideje, az érintett terület kiterjedése és a mozgás típusa mellett felvitték az okozott kárt, a terület földtani és talajjellemzőit, a növényzeti fedettséget, beépítettséget, a lehetséges okokat és a javasolt védekezési munkálatokat is (Pécsi et al. 1976). Ezeket az adatokat a Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI) és területi szolgálatai az 1980-as évek közepére rendszereztek. A nyolcvanas években megkezdődött az eddig felmért adatok ellenőrzése. Ez már 1 : 2000 illetve 1 : 4000 méretarányú térképlapokon történt, a felszínmozgásos területek adatlapjai többek között a felszínmozgások jellegét, a területük talajtani adottságait, az eddig elvégzett és a javasolt védekező munkákat tárgyaló részletes leírással bővültek. Ezen kívül megtörtént a területek veszélyességi kategóriákba sorolása is (pl.: Baranya megyére: Várszegi, 1984). Ezeket a vizsgálatokat a következő években az összegyűjtött anyagot talajmechanikai fúrások mintáinak vizsgálatából származó adatokkal egészítették ki (MBFH). Később részben ezeknek az adatoknak alapján, mintegy a felmérés összefoglalásaként készültek el bizonyos területekre (pl.: Budapest építésalkalmassági térképe, 1979; Török, 1983) olyan településgeológiai térképek, melyeken a potenciálisan felszínmozgásos területeket is ábrázolják.

Az OFK digitális változata az eredeti kataszter adatai mellett a 2013–2014-es Somogy és Baranya megyei reambuláció és a Somogy megyei Országos Pince és Partfal Veszélyelhárítási Szakértői Bizottság adataival is kiegészült. Ezen kívül még légifotók és műholdképek elemzéséből származó új adatokat is tartalmaz. Ezek a vektoros formátumú, WFS/WMS réteggént elérhető adatok részben egy-egy pontra vonatkoznak, részben pedig poligonok által lehatárolt területek. Az adatbázis attribútumtáblájában a felszínmozgások helye (megye és település), lezajlásának ideje, periodicitása, típusa, állapota, szélessége, hosszúsága, a helyszín beépítettsége, a mozgás lehetséges oka és a megépített védművek szerepelnek. A felszínmozgásokat az adatbázisban aktivitás szerint öt kategóriába sorolták: ismeretlen,

nyugalomban, mozgásban, mentesített és részben mentesített. A kutatás során vizsgált gerecsei területen csak „ismeretlen”, „nyugalomban” vagy „mozgásban” állapotú poligonok találhatóak, ezek között a poligonok között jelentős az átfedés.

A Kataszter aktuális változata országosan 1650 felszínmozgást tartalmaz pont, illetve poligon formában. Az elemzéshez a gerecsei mintaterületre eső 28 poligont és 1 : 50 000 méretarányú kéziratot földtani térképről átvett, a Kataszterben még nem szereplő suvadásos foltokat használtam fel. Ezen kívül a témavezetővel közös terepi észleléseink és kéziratot földtani térképek alapján a kataszterben már szereplő, de durván, helytelenül rajzolt poligont is átalakítottam, hogy az jobban illeszkedjen a valóságban is felszínmozgásos területre és így jobb mintát szolgáltatasson (2. ábra).



2. ábra: Eredeti és javított felszínmozgás poligonok Neszmély környékén. Alap: EOTR.

Földtani térképből levezetett adatok

Az elemzésekhez szükséges földtani adatokat az ország teljes területének felszín földtanát leíró Magyarország 1 : 100 000 méretarányú földtani térképe (Gyalog–Síkhegyi, 2005) szolgáltatatta. Az MFGI weboldaláról elérhető térképes alkalmazás adatbázisában a felszíni földtani képződmények földtani indexe, neve és közetösszetétele is megtalálható. A mintaterületen található képződmények kategorizálása a térképhez készült magyarázó segítségével történt (Gyalog, 2005). Így összesen hat kategória került meghatározásra témavezetői segítséggel, Kis és Balogh (2013) munkáját is felhasználva:

1. Cementált (negyedidőszaknál idősebb) törmelékes üledékek
2. Folyóvízi üledékek
3. Cementált fiatal (negyedidőszaki) karbonátos kőzetek

4. Lössök
5. Idős karbonátok
6. Negyedidőszaki áthalmazott, lejtőn mozgó törmelékes üledékek

Ezután az adatbázisban az egyes képződmények a hozzájuk tartozó kategóriát és az ahhoz tartozó számértékeket tartalmazó attribútumokkal egészültek ki. A vektoros formában tárolt adatbázis raszteressé konvertálása során az egyes cellák az őket lefedő poligon kategória számát kapták értéként. A megállapított kategóriák némileg eltérnek más, hasonló módszert használó munkákétól. Davis és munkatársai (2006) öt kategóriát határoztak meg egy kansasi, a Missouri folyó menti mintaterületre: mészkövek („*limestone*”) glaciális üledékek („*glacial drifts*”), palás kőzetek („*shale*”), alluviális képződmények („*alluvium*”) és löszök („*loess*”). A különbségeket a vizsgált területek földtani különbözősége indokolja.

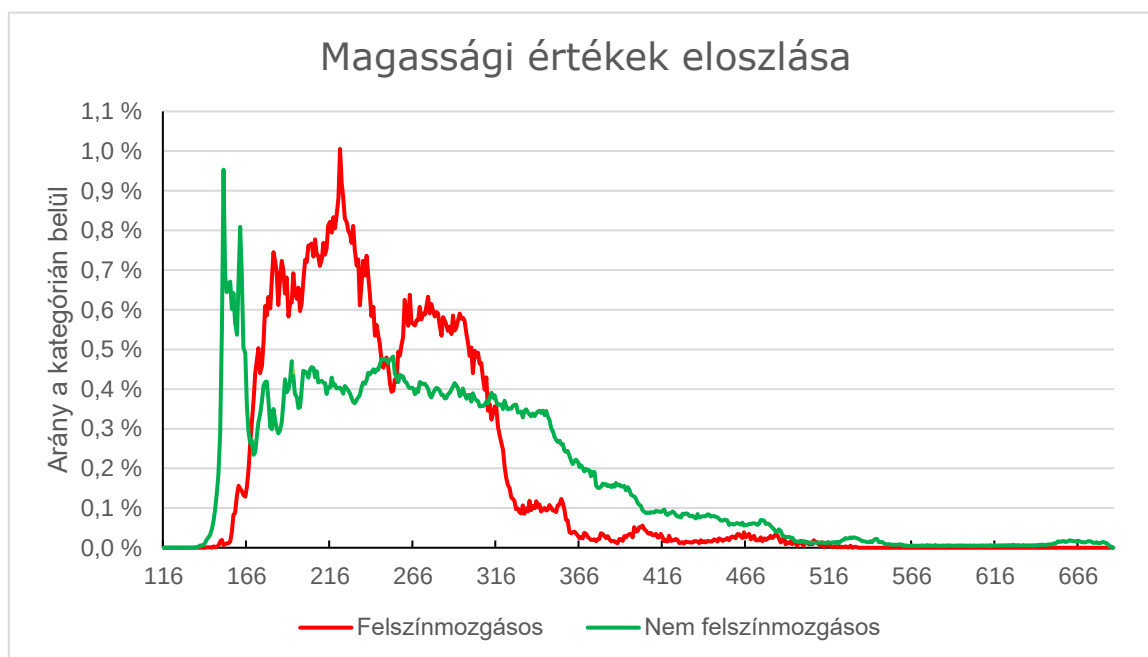
Az elemzések

Az elemzési módszer tehát **három adatforrásra** támaszkodik: a magassági adatokat szolgáltató, korrigált TanDEM-X magasságmodellre, a terület földtanát leíró Magyarország földtani térképének egyszerűsített, kategorizált változatára és az Országos Felszínmozgás Kataszter a területre vonatkozó, földtani térképek és terepi észlelések alapján bővített részére. A magasságmodell és a belőle levezetett geomorfometriai paraméterek (meredekség, kitettség), illetve földtani térképről vett kategorizált földtani adatok adták a **négy változót** grid formában, amelyek eloszlását vizsgálta a modell. A felszínmozgás kataszter adatai pedig azt a két területet különítették el, amelyekre az előbbi négy paraméter eloszlását meg kellett határozni, a **felszínmozgásos** és a **nem felszínmozgásos** részeket egy-egy területet jelölő grid formájában. Azaz kezdetben **összesen hat grid** állt rendelkezésre az alapanyagok bemutatásánál leírt formában, ezek között és az ezekből származtatott állományokon végeztem különböző geoinformatikai műveleteket, osztályozásokat és szűréseket a SAGA moduljaival, hogy az elemzés eredménye, a becsült felszínmozgás-veszélyességi értékeket tartalmazó grid előálljon.

A paraméterek eloszlásának meghatározása

A következő lépés a vizsgált paraméterek a felszínmozgások által érintett és a nem érintett területre vonatkozó értékeinek elkülönítése volt. A vizsgált változókat tartalmazó és a területeket jelölő gridek szorzatából ($[mag, mer, kit, fdt] \times [F, NF]$) így összesen nyolc grid állt elő. Ehhez a SAGA Grid Calculus modulját használtam. Ezután a négy paraméter értékeinek a két területre vonatkozó eloszlásainak meghatározása történt meg, azaz annak a kiszámítása,

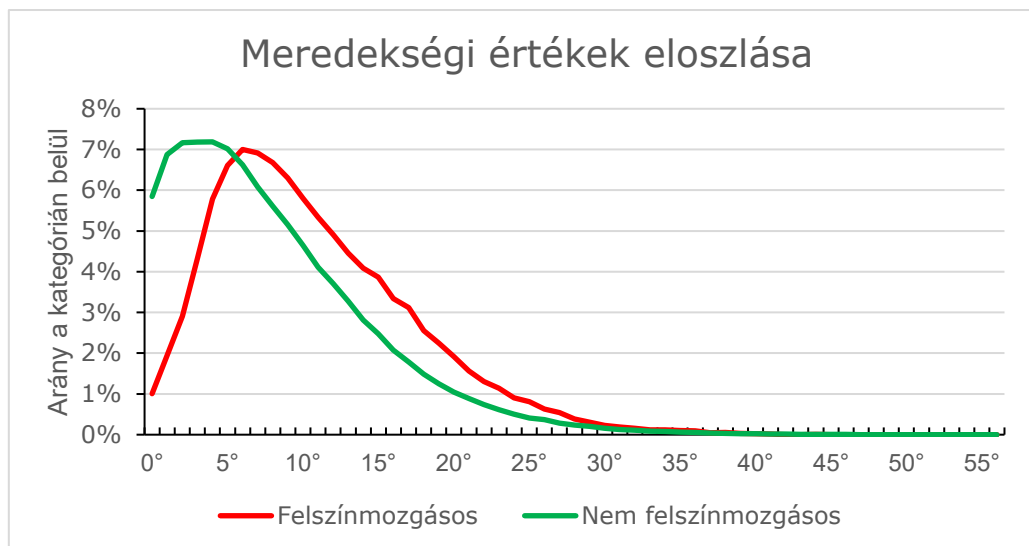
hogy a bizonyos értékekkel rendelkező cellák aránya mekkora a területen belüli összes cella számához képest. Például a folyóvízi üledékek kategória aránya a felszínmozgásos (F)területen 16%, a nem felszínmozgásoson (NF) pedig 22%.



3. ábra: Magassági értékek eloszlása a két területen.

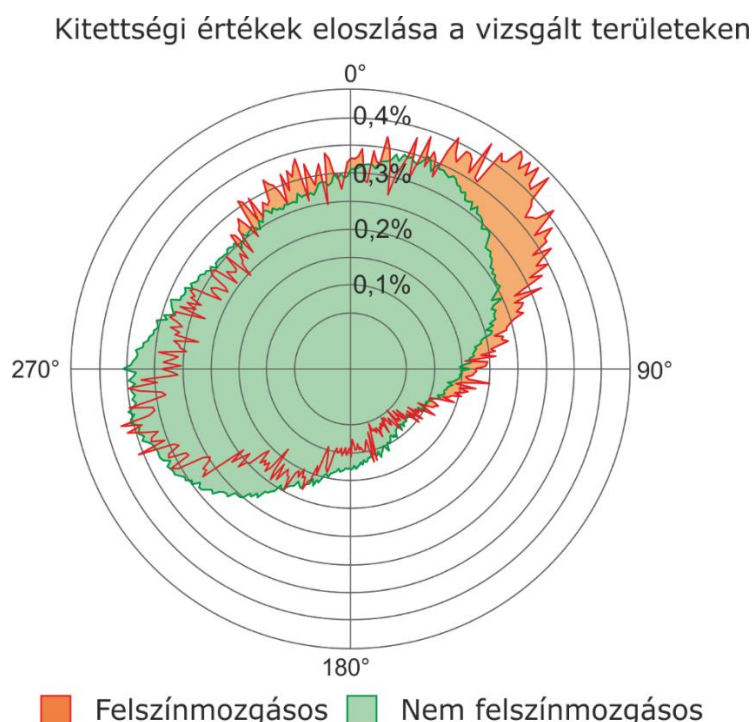
A magassági eloszlásokat a 3. ábra szemlélteti. Ez alapján a felszínmozgásos területek a 170 m és 310 m közötti magasságtartományon jellemzőbbek, de a felszínmozgásos területek megtalálhatóak a területen egészen 500 m környékéig. Bár ez a két eloszlás egymáshoz viszonyításánál nem okoz torzító hatást, megjegyzendő, hogy a TanDEM-X DEM magassági értékei a WGS84 ellipszoidra (dátum WGS84-G1150) vonatkoznak, így eltérnek a hazánkban használt balti alapszinthez viszonyított magasságoktól, illetve a korábban használt SRTM-1 magassági értékeitől is eltérhetnek.

A meredekségi (4. ábra) és kitettségi (5. ábra) értékeket a SAGA *Slope*, *Aspect*, *Curvature* moduljával vezettem le a domborzatmodellből Zevenbergen és Thorne (1987) módszerének alkalmazásával. A meredekségi értékek eloszlása jelentősen eltér a korábbi kutatás (Gerzsenyi–Albert, 2018) során a nagyobb, az egész Gerecsét felölelő mintaterületre megállapítottaktól, mivel itt már a kevésbé meredek értékek is inkább a felszínmozgásos területekre jellemzőek. Az eloszlásgörbék metszéspontja, azaz az a meredekség, ami fölött már a felszínmozgásos területekre jellemzőbbnek tekinthető az adott lejtő a kisebb mintaterületre vonatkozóan 7° , míg a korábbi kutatás nagyobb mintaterületén ez csak 14° fölött volt.

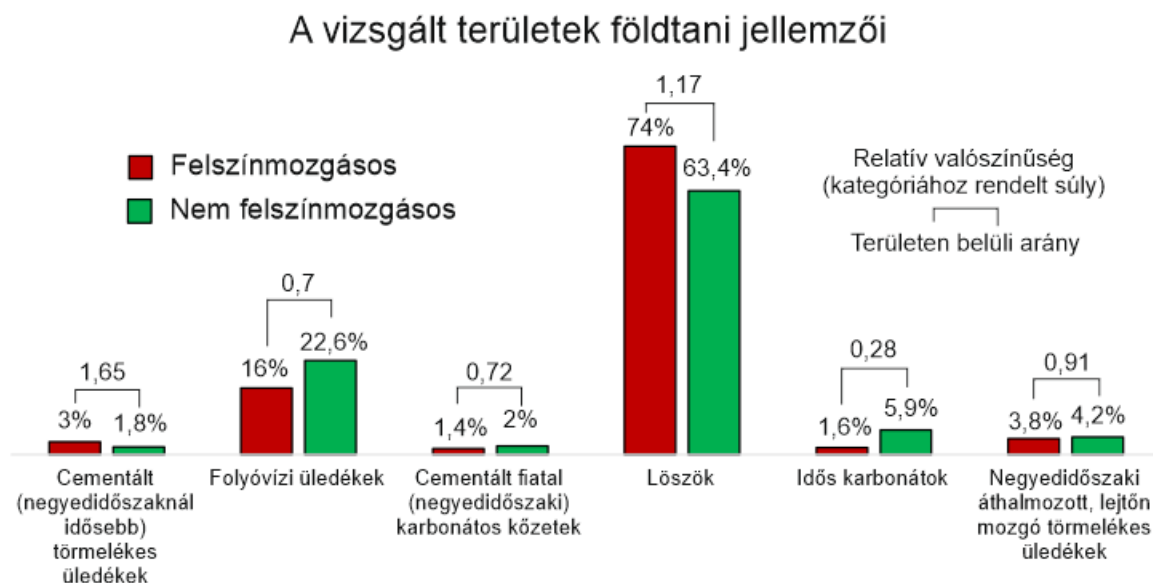


4. ábra: Merekségi értékek eloszlása a két területen.

A kitettségi értékek eloszlása (5. ábra) nem tér el a korábbi eredményektől olyan jelentős mértékben, mint a merekségi értékeké, mindkét esetben az északnyugati és keleti irány közötti értékekről mondható el, hogy inkább a felszínmozgásos részekre jellemzőbbek. Viszont a TanDEM-t használó modell esetében sincs a felszínmozgásos és a nem felszínmozgásos területek kitettségi eloszlásgörbéi között olyan jelentős különbség, mint az SRTM-et használó modellnél. Azaz még a modell eredményei szerint a déliesebb lejtőkön sem kizárható a felszínmozgások előfordulása, ezt a terepi észlelések is megerősítik.



5. ábra Kitettségi értékek eloszlása a két területen. Az irányok fokként, 0 és 360° között szerepelnek, északról (0°) kelet (90°) felé számítva.



6. ábra: A vizsgált területek földtani jellemzői a hat kategóriában.

A terület majd kétharmada löszös fedettséggű, a löszök aránya pedig a felszínmozgásos területen még nagyobb, közel háromnegyedük a löszös kategóriába esik (6. ábra). Jelentős számban találhatóak még a területen különböző folyóvízi üledékek is, a törmelékes üledékek és a karbonátok aránya már jóval kisebb mindkét területen.

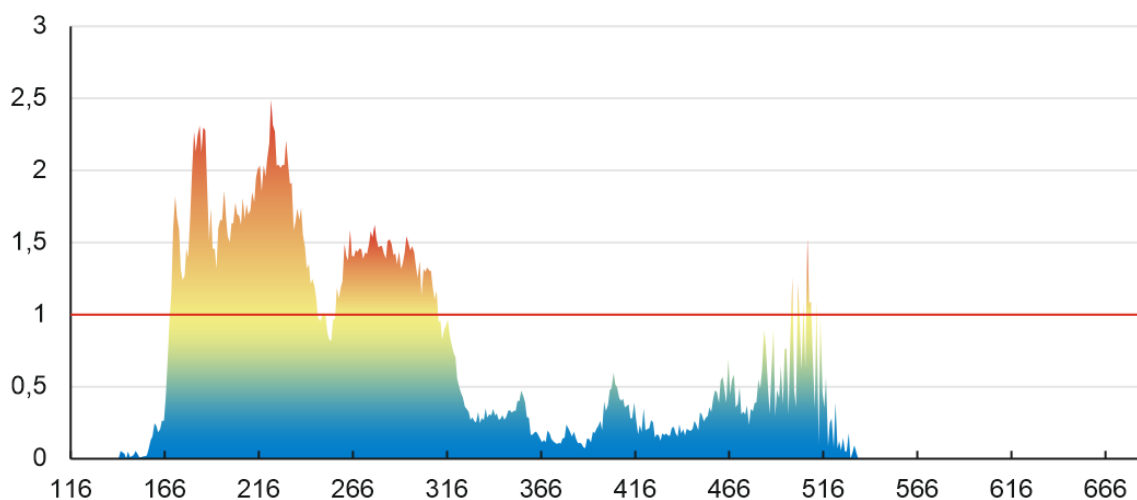
Relatív valószínűségi súlyok meghatározása

A négy vizsgált paraméter két területre vonatkozó eloszlásainak meghatározása után a relatív felszínmozgás-valószínűségi értékek kiszámítása következett a két területre vonatkozó eloszlások összehasonlításával. A paraméterek értékeihez rendelt relatív valószínűségek a minta felszínmozgásokhoz való hasonlóság mértékét kifejező súlyok. Megadják, hogy a felszínmozgás-veszélyességi becslésnél a cella az adott paraméterre vonatkozó értéke inkább növeli vagy csökkenti a relatív veszélyességet, illetve, hogy milyen mértékben. Az 1 alatti értékek azt jelentik, hogy a paraméter adott értéke inkább a nem felszínmozgásos területekre jellemző, az 1 fölöttiek pedig azt, hogy inkább a felszínmozgásos részekre, tehát veszélyesebb.

A földtani értékekhez rendelt súlyok a 6. ábrán szerepelnek. Egynél nagyobb súlyt két kategória, a cementált törmelékes üledékek (1,65) és a löszök (1,17) kaptak, különösen alacsony értéket pedig az idős karbonátok (0,28). Az idősebb és a fiatalabb karbonátos kőzetek kategóriáinak alacsonyabb értéke megfelel a várakozásoknak, itt már nem a különböző felszínmozgások jelentik a fő felszínformáló erőt. A cementált törmelékes üledékek a löszökénél is magasabb relatív valószínűségének hatása a veszélyességi értékek származtatásánál már nem jelentős, mivel ez a kategória az összterület kevesebb, mint 2%-át fedti csak le.

A magassági paraméter esetében jellemzően a 160 és 240 m illetve a 260 és 310 m közötti értékek kaptak egynél magasabb súlyt (7. ábra). Ezek közül pedig inkább az előbbi, alacsonyabb tartomány az, amelyikben kifejezetten magas, akár 2 fölötti értékek is szerepelnek. A tartomány magas súlyát magyarázza, hogy itt találhatóak azok a Dunaalmás és Neszmély környéki meredekebb falú patak völgyek, amelyek felszínmozgásai a legjobban dokumentálnak, és amelyek legnagyobb része ma is aktívan felszínmozgásosnak számít a terepi észleléseink és a szakirodalom szerint is (Schweitzer, 1989, Kis–Balogh, 2013).

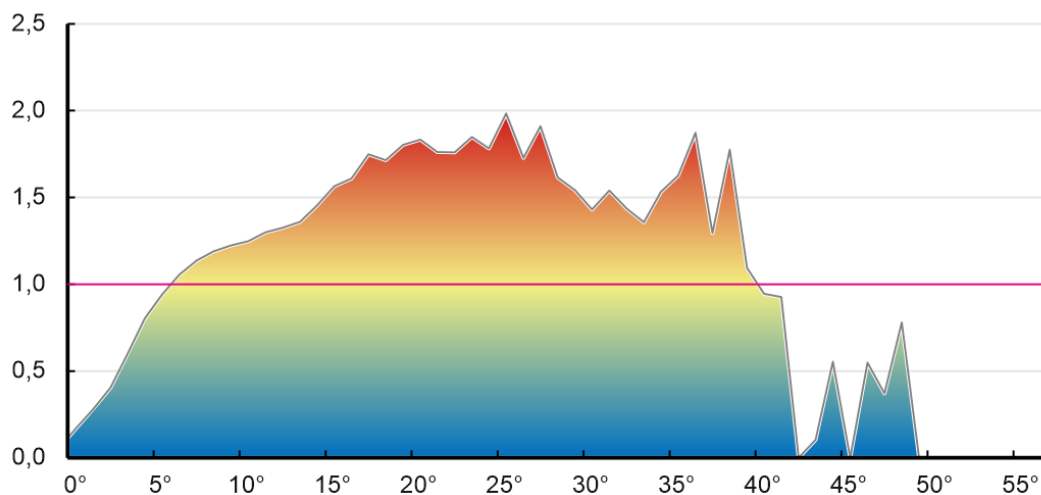
A magasságokhoz rendelt relatív valószínűségek



7. ábra: A magassági értékekhez rendelt relatív valószínűségek.

A meredekségi értékek már 6° -tól egészen 40° -ig 1 fölötti relatív valószínűségi értékeket kaptak (8. ábra). A különösen veszélyes kategóriába pedig főként a 16° fölötti és 40° alatti értékek kerültek.

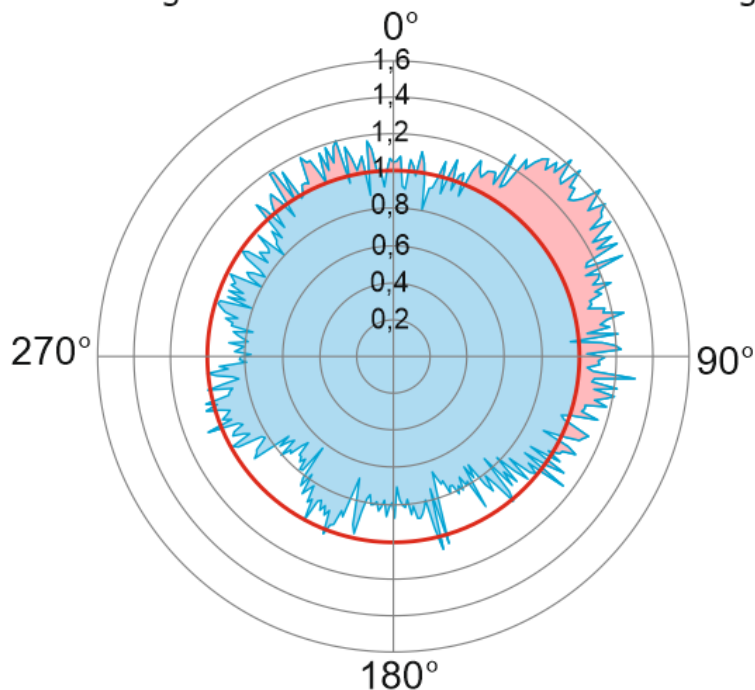
A meredekségekhez rendelt relatív valószínűségek



8. ábra: A meredekségekhez rendelt relatív valószínűségek.

A kitettségi értékek esetében az észak-északnyugat és a kelet-délkelet közötti tartományba tartozó lejtők kaptak veszélyesebbnek számító relatív valószínűségi súlyokat. A legmagasabb értékeket ezek közül pedig az északkeleti irányú lejtőkhöz rendelte a modell. Kiemelendő a kitettség szerinti súlyok eloszlásának kiegyensúlyozott volta is, a lejtők nagy része a 0,8–1,2 tartományban helyezkedik el, tehát kifejezetten magas vagy alacsony súlyt csak igen kevés lejtőirány kapott.

A kitettségekhez rendelt relatív valószínűségek



9. ábra: A kitettségekhez rendelt relatív valószínűségek. 0°: észak, 90°: kelet.

A relatív felszínmozgás-veszélyességi térkép

A négy paraméter értékeihez tartozó relatív valószínűségi súlyok először táblázatos formában álltak elő, ezért az elemzés folytatásához a SAGA *Reclassify grid values* moduljával a súlyokat a négy változó gridben tárolt adataihoz rendeltem, így létrehozva a súlyokat tartalmazó grideket is. A relatív felszínmozgás-veszélyességi értékek ennek a négy gridnek a cellánkénti szorzatából álltak elő. Értékük a mintaként használt felszínmozgásos területekhez való a négy paraméter szerinti hasonlóság mértékéről ad információt. A relatív-felszínmozgás veszélyességi térképen (10. ábra) ezek az értékek a rangsorukban elfoglalt helyük szerint, százalékban kifejezve vannak ábrázolva. A becslések összehasonlíthatósága céljából a térképen az SRTM-et használó modell szerint veszélyes részeket is ábrázoltam.

modell terepi ellenőrzése során is főleg ezeket a területeket ellenőriztük. Megjegyzendő viszont, hogy még a 75–90%-os tartományba eső lejtők üledékei is lejtős (nem csuszamlásos eredetű) tömegmozgások által jöttek létre. A 75%-nál alacsonyabb értékeket kapó területeket már a felszínmozgásos aktivitásra kevésbé hajlamosak közé soroltam.

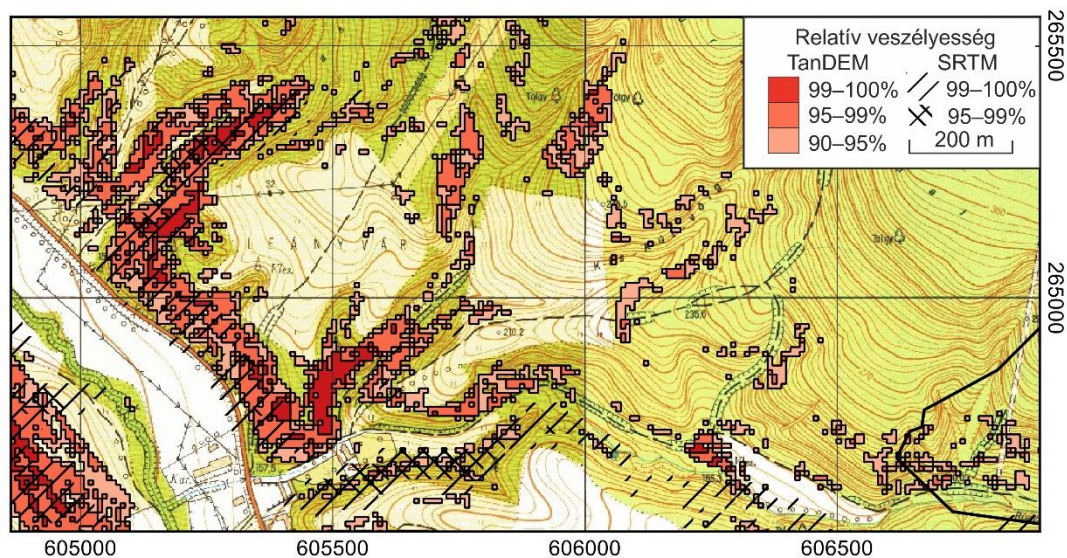
A veszélyesnek tekintett területek a modell szerint a Duna menti magaspartok és a folyó felé alacsonyodó kisebb, meredek patakvölgyek, a Bikol-patak völgye és néhány mellékága, és néhány Szomód környéki lejtő is. A Duna menti veszélyes részek sok esetben egybeesnek a mintaként használt területekkel mindkét modell becslése szerint. A Dunaszentmiklós és Szomód környéki mintaterületek földtani térképen jelölt suvadásai viszont többnyire nem a 90–100%-os veszélyességi tartományba estek. Ez egyrészt magyarázható azzal is, hogy ezek a területek többnyire inkább lankásabb és délies, tehát kitettség szerint kisebb súlyt kapó lejtőkön fekszenek. Másrészt ez utalhat arra is, hogy a felszínmozgás kataszter állományai mellett a földtani térképről átvett, felszínmozgásosnak tekintett területeket helytelenül jelölték ki a kéziratos földtani térképeken.

Terepi ellenőrzés

A kutatás egyik fő célja a TanDEM-X-et használó modellel adott becslések helyességének ellenőrzése és az SRTM-en alapuló modelleredményekkel való összehasonlítása. A relatív felszínmozgás-veszélyességi becslések validációjának sűrűn alkalmazott módja, hogy a területről rendelkezésre álló felszínmozgás kataszteri adatbázist két részre osztjuk: a modellben mintaként használt területekre és a kontrollterületekre. Majd pedig az első terület vizsgálatával vett adatokkal adunk veszélyességi becslést a mintaként használt területeket nem tartalmazó állományra. Ilyenkor könnyen számszerűsíthető a becslések pontossága a kontrollterületre és az azon kívül eső veszélyesnek tekintett cellák arányának vizsgálatával. Ez a validációs módszer olyan esetekben alkalmazható jól, amelyeknél rendelkezésre áll vagy könnyedén előállítható annyi felszínmozgás poligon, hogy a kontrollterületnek szántak kihagyásával is a felszínmozgásokat megfelelően jellemző mintát nyerjen a modell. A Gerecse területére a földtani térképekről átvett adatokkal kiegészített felszínmozgás kataszter sem tartalmaz elég adatot a modell a fenti módszerrel történő validációjához, ezért a modellek eredményeit a témavezetőmmel közösen több napos terepi munka során ellenőriztük az Északnyugati-Gerecsében.

A terepi ellenőrzés során felkeresett helyszíneknek két típusa különböztethető meg. Az első típusba azok a helyszínek tartoznak, amelyeket csak az egyik modell becsül veszélyesnek.

A felkeresett helyszínek második csoportját a mindkét modellben veszélyes területek adják. Mindkét fajta terület esetében elsősorban felszínmozgásos tevékenységre utaló nyomokat kerestünk a terepen, ezek lehetnek például suvadások, szakadások nyomai, hiányzó növényzet vagy a lejtővel ellentétes irányban dőlő, illetve görbén nőő fák. Helytelennek ítélt becslés esetén a lehetséges okokat jegyeztük fel. A terepi munkához nem a kisebb méretarányú, áttekinthető relatív felszínmozgás-veszélyességi térképet (10. ábra) használtuk, hanem 1:10000-es EOTR térképlapok részleteit a létrehozott felszínmozgásos tematikus rétegekkel (veszélyes kategóriába eső modelleredmények, minta felszínmozgások) kiegészítve. A topográfia térkép alapként való használata a nagyobb méretarány mellett a terepviszonyokat jól szemléltető domborzatrajz miatt volt előnyös, a magasságmodellekből generált szintvonalrajz az EOTR szintvonalrajzánál gyengébb rajzi minőségű.

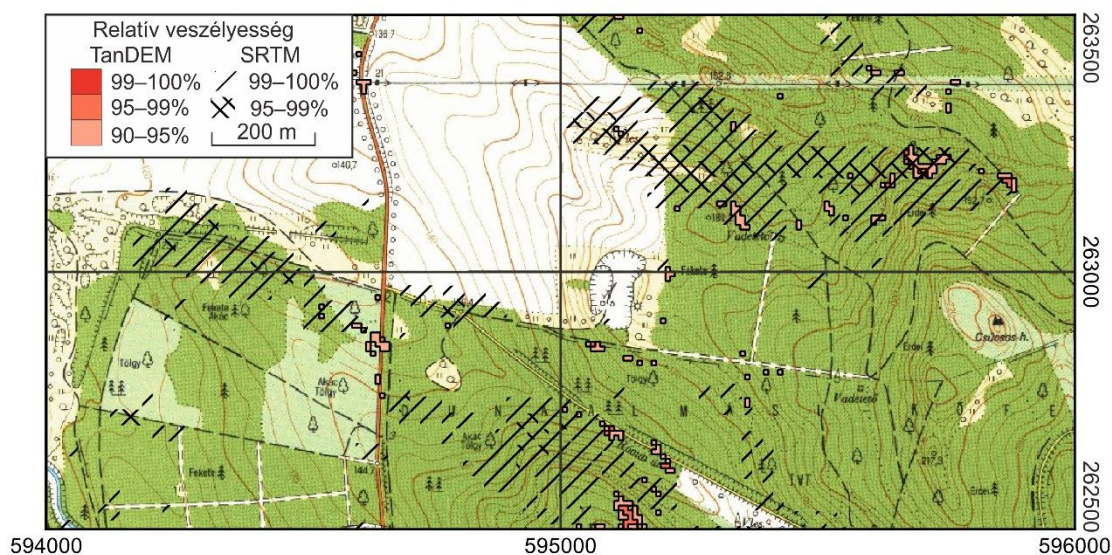


11. ábra: Helyes becslések a Leány-vár környékén (Bikolpuszta).

A három terepi nap alatt Dunaalmás, Szomód és Dunaszentmiklós között ellenőrzött helyszínek a *Dunaalmási-kőfejtők* környéke (*Római út* mente), a Szomód határában lévő *Kalács-hegy*, a tőle északnyugatra elterülő, szántóként használt *Borsós-diós* és *Nyáros*, a dunaszentmiklósi 2010-es csuszamlás helyszíne és a hozzá közeli *Bokros-dűlő* és az *Öreg-hegy* déli oldala. A *Bikol* mentén a *Süttő* belterületétől délre kezdődő (mészkőfeldolgozó), *Felsőbikol* környékéig húzódó részen kerestünk felszínmozgásokra utaló jeleket, pl.: az *Asszony-tető* a patak felé lejtő részén vagy a *Leány-vár* alatti mellékvölgyeiben (11. ábra). A *Bikoltól* keletre a *Büdös-patak* völgyét és a patak menti oldalakat (*Hajdú-tető*, *Szágodó-tető*), majd pedig a *Lábatlani-patak* menti lejtőket jártuk be. Ezen kívül a korábbi diákkori kutatáshoz kapcsolódóan, amely során az SRTM-en alapuló becslések készültek el a Dunaalmás és

Neszmély környéki patak völgyeket (*Izsány-völgy, Nyároska-völgy, Disznóskúti-völgy*) is bejártuk a kataszterben jelölt felszínmozgások aktivitásának ellenőrzése céljából.

A felkeresett és a TanDEM alapú modell által veszélyesnek ítélt helyszínek kb. négyötödében igazolható volt területen a lejtős tömegmozgás jelenléte annak ellenére, hogy az a minta felszínmozgások között nem szerepelt. Az SRTM-et használó modell csak az esetek mintegy 60%-ában szolgáltatott pontos becsléssel. A terepbejárások a modellek pontosságának ellenőrzése mellett rávilágítottak a kataszterben jelzett, illetve a földtani térképekről átvett felszínmozgásos területek hibáira is. A *Borsós-diós* és *Nyáros*, valamint a *Büdös-patak* mentén jelölt területek a terepi tapasztalatok alapján nem mondhatók felszínmozgásosnak, hiába jelölték őket felszínmozgásosnak a felhasznált források.



12. ábra: Helytelen becslések az SRTM alapú modellben Dunaalmás és Szomód környékén.

A helytelen becslések egyik jellemző oka a növényzeti fedettség miatt a magasságmodellekben jelentkező extra magasság. Az erdőfoltok szélein jelentkező hirtelen magasságváltozás meredek ál lejtőket hoz létre a DEM-ben, ezért az erdőfolt határa a meredekség szerint jelentősen nagyobb veszélyességi súlyt kap, mint amekkora valójában indokolt lenne. Az erdőfoltok északi és északkeleti határain lévő ál lejtők pedig a kitettségük szerint is magas súlyt kapnak, ez pedig már sok esetben elég, hogy az erdőfolt határát a modell a legveszélyesebb területek közé sorolja. Ilyenek terület volt például a Szomód és Dunaalmás között futó *Római út* környéke is (12. ábra) ahol az SRTM-et használó modell több olyan területet is veszélyesnek becsült, ahol nem találtuk nyomát felszínmozgásoknak és feltehetően a modellben jelenlévő ál lejtők miatt lettek veszélyesnek becsülve. Itt a már korrigált TanDEM-et használó modell jóval pontosabbnak bizonyult és csak néhány cellát becsült kérdéses

pontossággal veszélyesnek. Bár néhány esetben a TanDEM alapú modell is pontatlan becslést adott az ál lejtők miatt, de ez jelentősebb kisebb számban fordult elő, mint az SRTM alapú becsléseknél, ezért elmondható, hogy a magasságmodell korrekciója javította a becslések pontosságát, továbbá, hogy a korrekcióra szükség van.

Eredmények

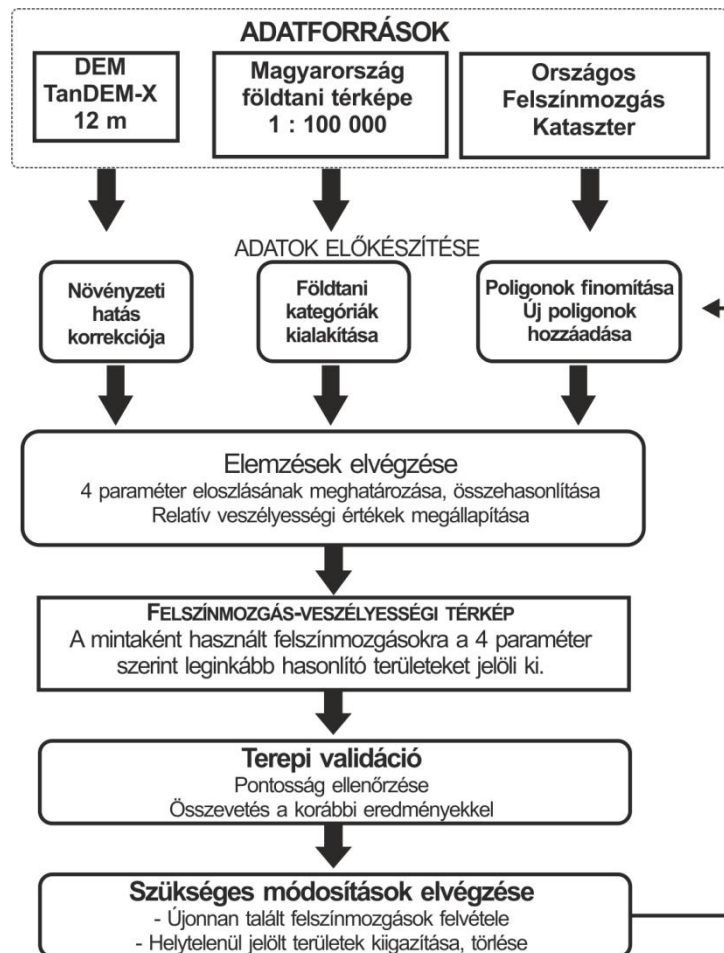
A relatív-felszínmozgás veszélyességi térkép elkészítése és a modellek becsléseinek terepi ellenőrzése után az alábbi következtetések vonhatók le:

A geomorfometriai változók elemzésére támaszkodó vizsgálatokhoz szükséges a digitális terepmodellek vagy az ahhoz közelítő minőségű, a terepviszonyokat jól leíró magasságmodellek használata. A felhasznált (kvázi) globális lefedettségű SRTM és TanDEM-X magasságmodellek a felvételükhöz alkalmazott technológia sajátosságai miatt bizonyos mértékig a növényzeti fedettség és a mesterséges objektumok magasságát is tartalmazzák. Morfometriai alkalmazásukhoz, így a pontos relatív felszínmozgás-veszélyességi becslések adásához is korrigálni kell a magasságmodelleket az erdőmagasságok kivonásával. A korrekció az erdőfoltok külső és belső határain mért magasságok különbsége alapján becslő módszerrel a TanDEM esetében többnyire sikeres volt. A korrigált modellre támaszkodó becslések kb. 30%-kal pontosabbak a nem korrigált SRTM-en alapulóknál a terepi validáció tapasztalatai szerint.

Az Országos Felszínmozgás Kataszterben már szereplő felszínmozgásos területek felhasználása mellett a megfelelő eredményhez szükséges volt korábbi terepi észlelésekre és újabb földtani térképekre támaszkodva javítani a kataszteri területeket, és újabb felszínmozgásosnak vélt területeket is bevonni a mintaterületek közé. A terepi tapasztalatok viszont rávilágítottak arra is, hogy a felszínmozgás kataszternél frissebb anyagok sem minden esetben jelölik pontosan a felszínmozgásos területeket. Bizonyos esetekben kérdéses volt, hogy a jelölt területek a valóságban tényleg felszínmozgásosnak tekinthetők-e. Ennek ellenére összességében elmondható, hogy a földtani térképekről átvett területek felhasználása inkább javította, mint rontotta a becslések minőségét.

A relatív veszélyességi becslésekhez alkalmazott *likelihood ratio function* modell egy iterációs folyamat részeként alkalmazva működik jól az olyan területeken, ahol a Gerecséhez hasonlóan nem minden esetben pontosak és naprakészek az elemzéshez szükséges alapanyagok. Ezekben az esetekben a megbízható becslésekhez a modell első eredményei alapján javasolt a mintaként használt területek pontosító átdolgozása a terepi (vagy távérzékelte) adatgyűjtésre támaszkodva. Az átdolgozás jelentheti egyrészt az újonnan megtalált

felszínmozgások felvételét a használt felszínmozgás-adatbázisba, másrészt pedig az adatbázisba már felvett területek határainak pontosítását. Az elemzés újbóli elvégzése a frissített alapanyagokkal javasolt. A javasolt folyamatmenetet a 13. ábra szemlélteti.



13. ábra: A relatív felszínmozgás-veszélyességi térkép elkészítésének valós, javasolt folyamata.

Összefoglalás

A Gerecse hegységben a felszínmozgások ma is aktív felszínformáló erőként működnek, különösen a Duna menti magasparton és a Duna felé alacsonyodó patak völgyek környékén, így veszélyt jelentve a környező lakott és a művelés alá vont területeken. E folyamatok kutatása régóta zajlik a területen, a gerecsei felszínmozgásokat az 1970-es évektől fogva gyűjtik az Országos Felszínmozgás Kataszter adatbázisába, azonban ez az adatbázis a hegység területére nézve még nem teljes és a felvett területek esetében is tartalmaz pontatlanságokat. A dolgozatban bemutatott munka során egy olyan felszínmozgás-veszélyességi térkép készült el Chung (2006) „*likelihood ratio function*” modelljének alkalmazásával a TanDEM-X magasságmodellre (12 m), amely becsléssel szolgál az egyes területek veszélyességére, és így segíti a kataszteri adatbázis frissítését és bővítését.

Az elemzéshez kvantitatív változóként a domborzatmodellből levezetett geomorfometriai paramétereket (magasság, meredekség, kitettség) használtam fel. Kvantitatív, tematikus változóként pedig a Magyarország Földtani Térképéből (1 : 100 000) nyert földtani adatok, valamint az Országos Felszínmozgás Kataszterben és földtani térképeken szereplő felszínmozgások helyszínei szolgáltak. Az alkalmazott módszerrel relatív veszélyességi értékek állapíthatók meg a vizsgált területre a domborzatmodellből levezetett morfológiai paraméterek és a terület földtani jellemzőinek vizsgálatával, annak függvényében, hogy felszínmozgásosként jelölt, illetve nem jelölt területekre vonatkozóan e paraméterek eloszlása között milyen különbségek tapasztalhatók. A relatív felszínmozgás-veszélyességi térkép a mintaként használt felszínmozgásos területekre leginkább hasonlító, tehát legveszélyesebb területeket jelöli ki.

A modell eredményeit terepi munka során ellenőriztük és összevetettük a korábban hasonló módszerek az SRTM-1 domborzatmodellre alkalmazásával készített veszélyességi térképpel. A nagyobb felbontású TanDEM-X felhasználásával készült térkép pontosabb becsléssel szolgált a területek veszélyességéről, de a megfelelő eredmény eléréséhez szükség volt a magasságmodell korrekciójára, továbbá kéziratos földtani térképeken jelölt felszínmozgások bevonására a mintaterületek közé. Az alapanyagok hiányosságai miatt a Gerecse területére az elemzést javasolt több iterációval elvégezni, amelyek során egyre pontosabb mintából dolgozik a modell. A kataszter bővítése mellett az eredmények a hegység felszínfejlődését vizsgáló vagy a felszínmozgások által okozható károk mértékét is becslő felszínmozgás-érzékenységi kutatásoknak is alapjául szolgálhatnak.

Irodalomjegyzék

- Albert Gáspár (2013): A köpatak völgye. *Természet Világa*, 144(2), pp. 85–86.
- Ádám László (1985): A Neszmély-Dunaalmás-Dunaszentmiklós közötti felszínmozgásos terület 1:10 000-es méretarányú geomorfológiai térképének magyarázója. In: Ádám László – Pécsi Márton (szerk.): *Mérnökgeomorfológiai térképezés*, Magyar Tudományos Akadémia – Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, pp. 108–167.
- Balogh János – Schweitzer Ferenc (2011): Felszínmozgásos folyamatok a Duna Gönyű-Mohács közötti magasparti szakaszain. In: Schweitzer Ferenc (szerk.): *Katasztrófák tanulságai: Stratégia jellegű természetföldrajzi kutatások*, Magyar Tudományos Akadémia – Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, pp. 101–142.
- Chung, Chang-Jo (2006): Using likelihood ratio functions for modeling the conditional probability of occurrence of future landslides for risk assessment. *Computers & Geosciences*, 32., pp. 1052–1068.
- Conrad, O. – Bechtel, B. – Bock, M. – Dietrich, H. – Fischer, E. – Gerlitz, L. – Wehberg, J. – Wichmann, V. – Böhner, J. (2015): System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geoscientific Model Development*, 8., pp. 1991–2007.
- Davis, John C. – Chung, Chang-Jo, – Ohlmacher, Gregory C. (2006): Two models for evaluating landslide hazards. *Computers & Geosciences*, 32., pp. 1120–1127.
- Gyalog László (szerk.) (2005): *Magyarázó Magyarország fedett földtani térképéhez (az egységek rövid leírása)*, Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI), Budapest.
- Gerzsenyi Dávid – Albert Gáspár (2018): Csuszamlásveszélyes lejtők helyének becslése a Gerecsében tapasztalati változók alapján. *Földrajzi Közlemények*, 142 (1), pp. 21–35.
- Harp, Edwin L. – Michael, John. A. – Laprade, William T. (2006): *Shallow-Landslide Hazard Map of Seattle, Washington*. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.
- Kis Éva – Balogh János (2013): A Gerecse felszínmozgásos területei. In: Kis Éva (szerk.): *Terresztrikus domborzatfejlődés a Vértes és a Gerecse környezetében a bérbaltaváriumtól a holocénig*, Magyar Tudományos Akadémia - Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Budapest. pp. 121–137.
- Magyar Bányászati és Földtani Hivatal (MBFH): Országos Felszínmozgás Kataszter. <http://www.mbfh.hu/home/html/index.asp?msid=1&sid=0&hkl=676&lng=1> Utolsó elérés: 2017.09.26.
- Magyar Imre – Dejan Radivojević – Sztanó Orsolya – Rastislav Synak – Ujszászi Katalin – Pócsik Márta (2013): Progradation of the paleo-Danube shelf margin across the Pannonian Basin during the Late Miocene and Early Pliocene. *Global and Planetary Change*, 103, pp. 168–173.
- Parise, Mario – Wasowski, Janusz (1999): Landslide Activity Maps for Landslide Hazard Evaluation: Three Case Studies from Southern Italy. *Natural Hazards*, 20, pp. 159–183.

Parise, Mario (2001): Landslide Mapping Techniques and Their Use in the Assessment of the Landslide Hazard. Physics and Chemistry of the Earth – Part C: Solar Terrestrial & Planetary Science, 26. (9.), pp. 697–703.

Pécsi Márton – Juhász Ágoston – Schweitzer Ferenc (1976): Magyarországi felszínmozgásos területek térképezése. Földrajzi Értesítő, 25. 2–4., pp 223–235.

Scharek, P. – Hermann, P. – Kaiser, M. – Pristaš, J. (2000). Map of genetic types and Thickness of Quaternary sediments. In: Császár, G. (szerk.): Dunube Region Enviromental Geology Program., 142.(4.), pp. 447–454.

Scheuer Gyula – Schweitzer Ferenc (1988): A Gerecse és a Budai-hegység édesvízi mészkőösszletei. Földrajzi Tanulmányok, 20., Akadémiai Kiadó, Budapest. 131 p.

Schweitzer Ferenc (1989): Surface movements of the Gerecse Mountain's northern part. Selected enviromental studies, Geographical Research Institute of HAS, Budapest, pp. 34–35.

Török Endre (1983): Budapest Mérnökgeológiai térképezése. Földtani Kutatás, 26., 4., pp. 26–38.

Várszegi Károly (1984): Baranya megye felszínmozgásos területeinek mérnökgeológiai értékelése. Mérnökgeológiai Szemle, 32., pp. 87–95.

Wessel, B. (2016): TanDEM-X Ground Segment – DEM Products Specification Document. EOC, DLR, Oberpfaffenhofen, Germany, Public Document TD-GS-PS-0021, Issue 3.1

Zevenbergen, Lyle W. – Thorne, Colin R. (1987): Quantitative analysis of land surface topography. Earth Surface Processes and Landforms, 12, pp. 47–56.

Térképek:

A neszemélyi földcsúszások helyszínrajza és földtani térképe 1931 április havában (1931 és 1945 között), 1 : 5000, Kézirat (szerk.: Vigh Gyula), Országos Földtani Szakkönyvtár, 8415.

Budapest építésalkalmassági térképe (1979), 1 : 40 000, (szerk.: Raincsákné Kosáry Zsuzsanna), Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.

Magyarország földtani térképe (2005), 1 : 100 000, (szerk.: Gyalog László – Síkhegyi Ferenc) Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest. <https://map.mfgi.hu/fdt100/> Utolsó elérés: 2017.06.26.

Köszönetnyilvánítás

Köszönöm Albert Gáspárnak a kutatómunkában – különösen a terepi munka során – nyújtott segítségét!

Az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-2 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.

A kutatás a Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) által rendelkezésünkre bocsátott TanDEM-X DEM felhasználásával készült. – ©DLR 2017

DIPLOMAMUNKA LEADÁSI és EREDETISÉG NYILATKOZAT

AlulírottGerzsenyi Dávid.....Neptun-kód: ...YK8DKW.....

az Eötvös Loránd Tudományegyetem Informatikai Karának, Térképtudományi és
Geoinformatikai Tanszékén

Geomorfometriai alapú felszínmozgás-veszélyességi becslések a Gerecse területére
című diplomamunkámat a mai napon leadtam.

Témavezetőm neve: Dr. Albert Gáspár

CD-t / DVD-t mellékelek *(aláhúzendó)*: **igen** nem

Büntetőjogi és fegyelmi felelősségem tudatában nyilatkozom, hogy jelen
szakdolgozatom/diplomamunkám saját, önálló szellemi termékem; az abban hivatkozott
szakirodalom felhasználása a szerzői jogok általános szabályainak megfelelően történt.

Tudomásul veszem, hogy szakdolgozat/diplomamunka esetén plágiumnak számít:

- szószerinti idézet közlése idézőjel és hivatkozás megjelölése nélkül;
- tartalmi idézet hivatkozás megjelölése nélkül;
- más publikált gondolatainak saját gondolatként való feltüntetése.

A témavezető által benyújtásra elfogadott szakdolgozat PDF formátumban való elektronikus
publikálásához a tanszéki honlapon

HOZZÁJÁRULOK

NEM JÁRULOK HOZZÁ

Budapest, 2018. június 11.

.....
hallgató aláírása