

Nyugat-magyarországi Egyetem
Geoinformatikai Kar

A Villányi-hegység térségének morfometriai és morfotektonikai vizsgálata

SZAKDOLGOZAT

Témavezető: **Prof. Dr. Márkus Béla**
intézetigazgató, egyetemi tanár
Nyugat-magyarországi Egyetem,
Geoinformatikai Kar, Területfejlesztési Intézet,
Térinformatika Tanszék
Konzulens: **Dr. Jordán Győző**
MÁFI Geokémiai Osztály vezetője

Készítette:
Petrik Attila
Levelező tagozat
Geoinformatikai szakmérnök

Székesfehérvár
2012



Továbbképző Tagozat
Geoinformatika szak
Szakdolgozat száma: T-362/2011.

Petrik Attila
szakdolgozati feladata

A szakdolgozat témája: A Villányi-hegység térségének morfológiai és morfológiai vizsgálat

A szakdolgozat célja: A Villányi-hegység morfológiai és morfológiai tulajdonságainak vizsgálata digitális terepmodell alapján, több tudományterület (geomorfológia, szerkezeti földtan, geoinformatika) nyújtotta eszközökkel és módszerekkel.

A feladat leírása:

1. Szakirodalom alapján mutassa be a korábbi geomorfológiai-szerkezeti földtani kutatások módszereit és világítson rá a térinformatikai rendszerek adta előnyökre az adott tudományterületeken. Részletesen ismertesse a digitális morfológiai-morfológiai elemzések módszereit, valamint mutasson rá a tudományok határterületeinek fontosságára, több diszciplína lehetőségeinek integrált használatára és mindezek térinformatikai háttérrel történő támogatására.
2. Tervezze meg a vizsgálat elemzési módszertanát és folyamatát, valamint a kialakítandó adatbázist, és a szükséges GIS erőforrásokat.
3. A dolgozat számos adatforrást használ fel a vizsgálatokhoz. A részletes terepi adatgyűjtés (szerkezetföldtani és geomorfológiai mérések) mellett, geofizikai, geodéziai, illetve a DTA-50 által kinyerhető elsődleges és származtatott adatokat integrál és elemez. Mérje fel a rendelkezésre álló adatforrásokat, és az integrálás során fellépő problémákat. Egészítse ki az adatbázis hiányzó elemeit terepi mérésekkel.
4. Alakítsa ki a mintarendszert.
5. A sokrétű adatforrásból a morfológiai-morfológiai széleskörű módszerei segítségével, hajtsa végre a térinformatikai módszerrel a vizsgálatokat, vonjon le következtetéseket. Verifikálja eredményeit a korábbi publikációk eredményeivel, valamint más adatforrásokból levont következtetésekkel.
6. Foglalja össze a vizsgálat eredményeit, mutassa be és értékelje a területre vonatkozó morfológiai-morfológiai modellt, valamint vázolja fel a terület fiatal szerkezeti geomorfológiai fejlődését.

Beadandó munkarészek:

- Műszaki leírás,
- A fentiekben említett munkarészek digitális formában.

Beadási határidő: 2012. március. 19.

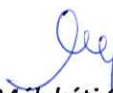
Tanszéki konzulens: Prof. Dr. Márkus Béla egyetemi tanár

Külső konzulens: Dr. Jordán Győző (MÁFI), osztályvezető

Székesfehérvár, 2011. október 30.


Dr. Pődör Andrea
tanszékvezető




Dr. Mélykúti Gábor
dékán



NYILATKOZAT

Alulírott Petrik Attila (any.neve: [REDACTED], lakcíme: [REDACTED]) jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a „A Villányi-hegység térségének morfometriai és morfotektonikai vizsgálata” című

szakdolgozat

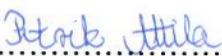
(a továbbiakban: dolgozat) **önálló munkám**, a dolgozat készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. tv. szabályait, valamint az egyetem által előírt, a dolgozat készítésére vonatkozó szabályokat, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében¹.

Kijelentem továbbá, hogy a dolgozat készítése során az önálló munka kitétel tekintetében a konzulenszt illetve a feladatot kiadó oktatót **nem tévesztettem meg**.

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy a dolgozatot **nem magam készítettem**, vagy a dolgozattal kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Nyugat-Magyarországi Egyetem **megtagadja a dolgozat befogadását és ellenem fegyelmi eljárást indíthat**.

A dolgozat befogadásának megtagadása és a fegyelmi eljárás indítása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Székesfehérvár, 2012. február 26.


.....

Hallgató

¹ 1999. évi LXXVI. tv. 34. § (1) A mű részletét - az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez híven - a forrás, valamint az ott megjelölt szerző megnevezésével bárki idézheti.

36. § (1) Nyilvánosan tartott előadások és más hasonló művek részletei, valamint politikai beszédek tájékoztatás céljára - a cél által indokolt terjedelemben - szabadon felhasználhatók. Ilyen felhasználás esetén a forrást - a szerző nevével együtt - fel kell tüntetni, hacsak ez lehetetlennek nem bizonyul.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	6
2. A földtani kutatási módszerek és térinformatikai lehetőségek.....	7
2. 1. A tektonikai vonalakkal határolt morfológiai elemek geometriai és térbeli elemzése	7
2. 2. Az adatrendszer kialakítása és az adatfeldolgozás menetének megtervezése, modellje.....	9
2. 2. 1. A magassági adatok elemzése	16
2. 2. 2. A különböző numerikus geometriai számítások.....	16
2. 2. 3. A vízhálózat elemzése	18
2. 2. 4. A digitális geomorfometriai elemzés	19
2. 2. 5. A lineamensek elemzése.....	19
2. 2. 6. A lineamens hálózatok valamint az osztályozott lejtőkitettségi térképek közötti eltérés számszerűsítése	20
2. 2. 7. Egyéb módszerek	21
3. A kutatási terület földrajzi és földtani leírása.....	23
4. A felszínelemzés eredményei	26
4. 1. A terület szintvonalas térképe	26
4. 2. A terület perspektív képe (3D képe).....	27
4. 3. A DDM-50 árnyékolt domborzatmodellje	27
4. 3. 1. Az árnyékolt domborzatmodell alapján készített digitális keresztmetszvények értelmezése	29
4. 4. A kutatási terület reliefenergia térképének értelmezése.....	35
4. 5. A különböző morfogenetikájú felszínek elkülönítése	36
4. 6. A terület lejtésviszonyai	38
4. 7. Az egyes geológiai képződmények morfolometriai tulajdonságai.....	44
4. 8. A lejtőkitettségi térkép	45
4. 9. A lejtőirányú görbületi térkép bemutatása	49
4. 10. A vízhálózat elemzése.....	50
4. 11. A lineamensek elemzése	55
4. 12. A kétváltozós elemzések	60
4.12.1. A magasság és a lejtőszög kapcsolata.....	60
4.12.2. A lejtőszög és a kitettség kapcsolata sztereogramon.....	61
4. 12. 3. A lejtőszög és a tektonikai lineamensek kapcsolata	62
4. 12. 4. A domináns kitettségi irányok kapcsolata a lineamensekkel illetve a tektonikus vonalakkal	63
4. 12. 5. Az egységes kitettségi iránnyal és meredek lejtőszögekkel rendelkező területek és a tektonikus vonalak kapcsolata	65
4.12. 6. A tektonikus vonalak környezetének morfolometriai változásai.....	66
5. Egyéb vizsgálatokból nyert adatokkal történő összevetés	68
5.1. Szeizmikus szelvények.....	68
5.2. A lineamensek, a tektonikus vonalak és a mikrotektonikai mérésekből származó feszültségterek összevetése	70
6. Eredmények összefoglalása, konklúzió.....	72
7. Köszönetnyilvánítás	77
8. Irodalomjegyzék.....	78

1. Bevezetés

Korábbi kutatásaim során a Villányi-hegység és tágabb környezetének mezotektonikájával foglalkoztam, ennek keretében különböző szerkezetalakulási fázisokat határoztam meg a késő-krétától napjainkig. Érdekelt, hogy a fiatalabb deformációs események (rövidülési-tágulási periódusok) mennyire járultak hozzá a mai morfológiai kép kialakításához. Ezért a terepi, geológiai megfigyeléseket digitális domborzatmodellezéssel egészítettem ki, így több tudományterület módszereit integrálhattam a terület morfotektonikai modelljébe.

A jelen tanulmány céljai a következők:

- a forrásadatok (földtani térképek, tektonikai térképek stb.) terepi adatokkal történő kiegészítése (elsődleges adatgyűjtés);
- a különböző forrásokból származó, eltérő formátumú adatok adatfeldolgozásának megtervezése, az elemzéshez és a modell kialakításához szükséges adatbázis létrehozása, a szoftverkörnyezet meghatározása;
- az összegyűjtött adatok térinformatikai feldolgozása, tematikus térképek készítése a morfotektonikai vizsgálati módszerek segítségével;
- a morfológiai elemek és a tektonika közötti kapcsolat feltárása, igazolása;
- az elkészített tematikus térképek összevetése a regionális tektonikai vonalakkal (lineamentekkel), korábbi értelmezésekkel, terepi adatokkal, azaz az elkészült modell verifikációja;
- az elkészített térképek, korábbi munkák szintézise alapján egy új morfotektonikai modell felvázolása.

2. A földtani kutatási módszerek és térinformatikai lehetőségek

2.1. A tektonikai vonalakkal határolt morfológiai elemek geometriai és térbeli elemzése

A kőzetekben lévő szerkezeti diszkontinuitások gyakran eredményeznek lineáris morfológiai elemeket a törési felület és a domborzat metszéseként. A törések lineáris morfológiai megjelenései a lineáris völgyek, gerincek, és lejtőtörések. Egy egyedülálló szerkezeti lineamens tulajdonságai közül az orientáció, a hossz (folytonosság), valamint a görbület a legfontosabbak (JORDÁN GY. - CSILLAG G. 2003).

A különböző stílusú tektonikai mozgásoknak eltérő felszíni megjelenései vannak. A normál vetők közel síkszerűen, 60° -os szögben metszik a domborzatot, amíg a feltolódások lefutása meglehetősen görbe, követik a domborzat változásait, hiszen általában 30° -os szögben metszik azt (PROST, G. L. 1994, DRURY, S. A. 1987, GOLDSWORTHY, M. - JACKSON, J. 2000).

A domborzat és a redőszerkezetek metszése szintén lineáris és sík megjelenésű elemeket eredményezhet, ami függ a redő és az eróziós felszín eredeti geometriájától és orientációjától (RAMSAY, J. G. - HUBER, M. I. 1987). A sík felszínek, mint például az egységes kitettségű völgyoldalak, szintén kialakulhatnak törések mentén. Ilyen esetekben a felület geometriáját az egységes lejtőkitettség, a meredek és állandó lejtőszög értékei írják le (1. ábra).

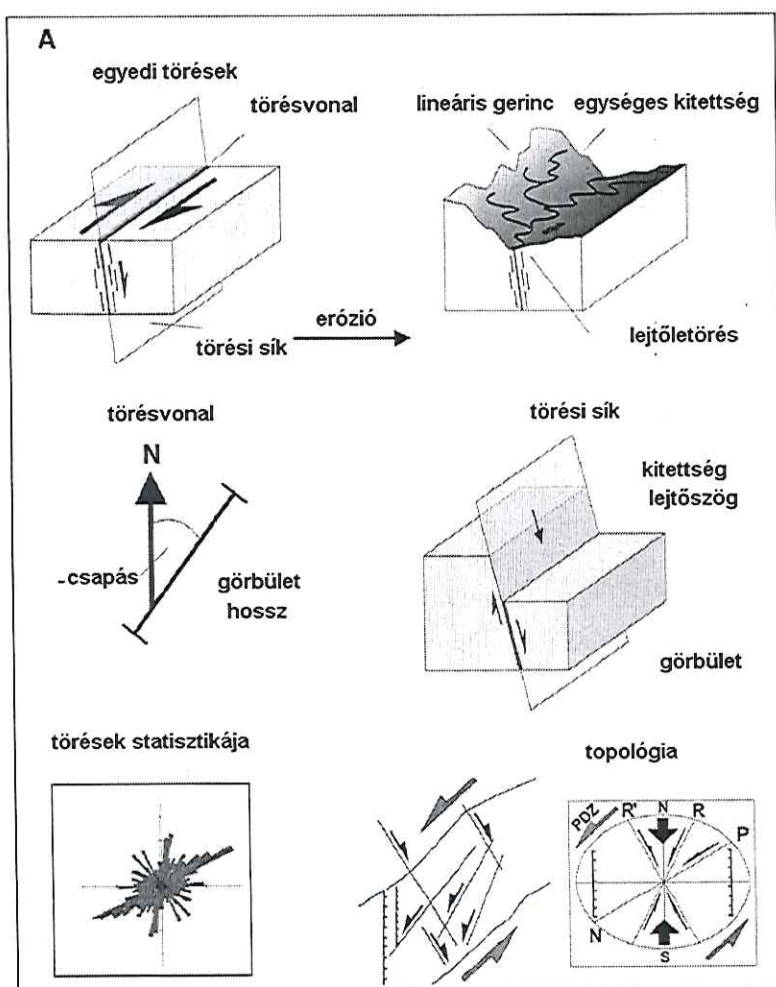
A hosszan elnyúlt, egységes kitettségű és lejtőszögű területeket gyakran lineáris, törésekhez kötődő határok övezik. A görbületek, a törésvonalak lefutásainak mérése, analízisa fontos feladat a komplex, egymást metsző törésrendszerek esetében. A különböző morfológiai elemek a törés geometriájától függően eltérő formákat öltenek (BURBANK, D. W. - ANDERSON, R. S. 2001). Jellegzetes felszínformák a depressziók, kúpok, kibillentett területek, amelyek gyakran köthetők tektonikus zónákhoz. A kúpok és mélyedések lokális maximumokat és minimumokat jeleznek. A kibillentett felszínek formája és lejtőszögei egyértelműen definiálják geometriájukat (KELLER, E. A. - PINTER, N. 1996). Ez utóbbi területek egységes domborzati gradiens értékekkel rendelkeznek.

Az említett morfológiai elemek, mint a lineáris völgyek, gerincek, aszimmetrikus lejtők és depressziók azonban nem mindig kapcsolódnak a tektonikához. A különböző geológiai képződmények, eltérő ellenálló képességük, így a szél, a víz, és az időjárás változó

mértékben formálhatja azokat. Bizonyos felszínformák gyakran csak atektonikus folyamatokkal értelmezhetők (meridionális völgyek).

Például eltérő konzisztenciájú geológiai képződmények határán az előbb említett folyamatok is kialakíthatnak lineáris morfológiai elemeket, vagy akár depressziókat és kúpokat is (WAY, D. S. 1973). A törésrendszerek topológiája, metszései, statisztikai irányeloszlásai hasznos információkat nyújtanak a területet ért egykori erőhatásokról (1. ábra).

A kézi digitalizálással nyert lineamens térkép morfológiai elemeinek topológiáját, irány-, és hosszirány eloszlását éppen ezért szükségesnek tartottam meghatározni. Különböző ablakméretű simításokat alkalmaztam a domborzatmodellen (DDM-50), hogy a kisebb méretű morfológiai elemeket kiszűrjem. A lineamensek hálózatokat alkottak, amelyeket eltérő törésrendszerekhez lehetett rendelni. A törésrendszerek esetében fontosak voltak a lineamensek metszései, az egymással bezárt szögük, irányuk és kapcsolataik, hiszen ezek alapján következtetéseket vonhatók le az egykori deformációról (RAMSAY, J. G. - HUBER, M. I. 1987).



1. ábra: A törések geometriai és térbeli elemzése. (JORDÁN GY. et al. 2005 alapján)

A geológiai képződményekben lévő szerkezetek azonban gyakran rejtve maradnak és nagyon fontos, hogy a felszín és a szerkezeti vonalak, valamint a különböző eróziós folyamatok összetett hatásait is figyelembe vegyük az értékelésnél. Az eltérő üledékek határán szintén kialakulhatnak lineáris elemek, amelyeket meg kell különböztetni a tektonikai és az egyéb eróziós hatásoktól.

Emellett vannak kiváló jelző szintek (alluviális síkságok, folyóteraszok, planációs szintek), amelyek segítséget nyújthatnak a terület tektonikai aktivitását illetően. A folyóvízi hálózat az egyik leggyakrabban használt indikátor. A vízhálózat rajzolata, lefutása alapján következtetéseket vonhatunk le a regionális tektonikára. A párhuzamos vízfolyások például gyakran köthetők kibillentett blokkokhoz, lisztikus normál vetőkhöz, amelyek csapása merőleges a lefolyás irányára. Nagy eltolódási zónákra utalhatnak a tavak és egyéb depressziók lineáris elrendeződései.

A morfotektonikai elemzéseknél nagyon lényeges, hogy egyéb adatforrásokat, szempontokat is figyelembe vegyünk és következtetéseinket ezek alapján vonjuk le. Éppen ezért vizsgálataim során felhasználtam a Magyar Állami Földtani Intézet (továbbiakban MÁFI) 1: 100 000-es fedett földtani térképét, az 1: 100 000 szerkezetföldtani térképét, a tektonikusok által értelmezett lineamenteket (BENKOVICS L. 1997, WÓRUM G. 1999, CSONTOS L. et al. 2002.), valamint a területről származó szeizmikus szelvényeket és saját terepi adataimat.

2. 2. Az adatrendszer kialakítása és az adatfeldolgozás menetének megtervezése, modellje

Az alapvető morfotektonikai módszerek megismerése után a kialakítandó adatbázis, valamint az adatok feldolgozásának megtervezése következett. A MÁFI rendelkezésemre bocsátotta a kutatási terület digitális domborzatmodelljét (DDM-50). A digitális domborzatmodell tartalmazza Magyarország területére vonatkozóan a tengerszint feletti magassági adatokat 50*50 m-es rácshálóban. Az adatforrást az 1: 50 000-es méretarányú, Gauss-Krüger vetületben készített katonai topográfiai térképek szintvonalai jelentik.

Az adatállomány EOVS vetületi rendszerben, raszteres formátumban (Golden Software Surfer grid formátumként) állt rendelkezésemre. Ez egy raszteres file formátum, tulajdonképpen egy rácsháló, amelynek csomópontjai tartalmazzák a magassági adatokat.

A domborzatmodell spline interpolációval készült, amely egy harmadfokú polinom segítségével képezi a valós domborzatot. Ez a domborzatmodell szolgált alapul a későbbiek során bemutatásra kerülő tematikus térképek elkészítéséhez.

A MÁFI szintén rendelkezésemre bocsátotta a kutatási terület digitális, shp formátumú földtani elterjedés, (az egyes földtani képződmények elterjedése), földtani vonalmű (a földtani képződmények határvonalait tartalmazó térkép), valamint tektonikai vonalműhálózat térképeit, 1: 100 000-es méretarányban.

Ezek a térképek a kétváltozós, valamint többváltozós elemzések alapjául szolgáltak. Emellett 1: 100 000-es méretarányban, shp file-ként megkaptam a terület topográfiai állományait (út-, vasúthálózat, településhálózat, vízfolyások) is (2. ábra).

Elsődleges adatok	DDM-50	Földtani vonalműhálózat, földtani elterjedés térképek (1: 100 000)	Tektonikai vonalműhálózat (1: 100 000)	Úthálózat, vasúthálózat, településhálózat (1: 100 000)	Vízhálózat (1: 100 000)	Szeizmikus szelvények	Gravitációs anomália térképek	Korábbi publikációkból származó vetők	Terepi mérések (vetők, törések, bányakoordináták stb.)
a domborzatmodell szintvonalas térképének előállítás	X								
a domborzatmodell ábrázolása, mint a tematikus térkép	X								
relief térkép előállítása	X								
a domborzatmodell derivatívaainak előállítása (lejtőtérkép, görbületi térképek stb.)	X								
kereszt-szelvények készítése	X								
a domborzat jellemző formáinak meghatározása	X				X				
a vetők, tektonikai vonalak és szeizmikus szelvényvonalak digitálizálása			X			X		X	
kétváltozós elemzések (földtani térképek-DDM 50, tektonikai vonalak- földtani térképek összevetése, terepi mérések-tektonikai vonalak, vízhálózat- DDM 50, gravitációs anomália térkép- tektonikai vonalhálózat)	X	X	X		X		X	X	X
megjelenítés	X	X	X	X	X	X	X	X	X
létezőzódás	X	X		X	X				X
szeizmikus szelvényértelmezés			X			X	X	X	X
teszt/szűrés/számlálás									X

(A)

Származtatott adatok	Keresztszelvények	Lineamentshálózat	A domborzatmodell derivátumai	A domborzatmodellből kinyert jellemző topográfiai formák	Szeizmikus vetők	Szintvonalas térkép	Relief térkép	Feszültségtér adatok
Elemzés, statisztika	X	X	X	X	X		X	X
Kétféle elemzés (derivatívumok-földtani térképek, derivatívumok-tektonikai vonalak, relief-derivátumok, lineamentek-derivátumok)		X	X	X	X	X	X	X
Részterületek lehatárolása		X	X			X	X	
Modellalkotás	X	X	X		X			X
Feszültségtér-adatbázis kialakítása								X
a lineamentek és a derivatívumok közötti kapcsolat megszerkesztése		X	X					

(B)

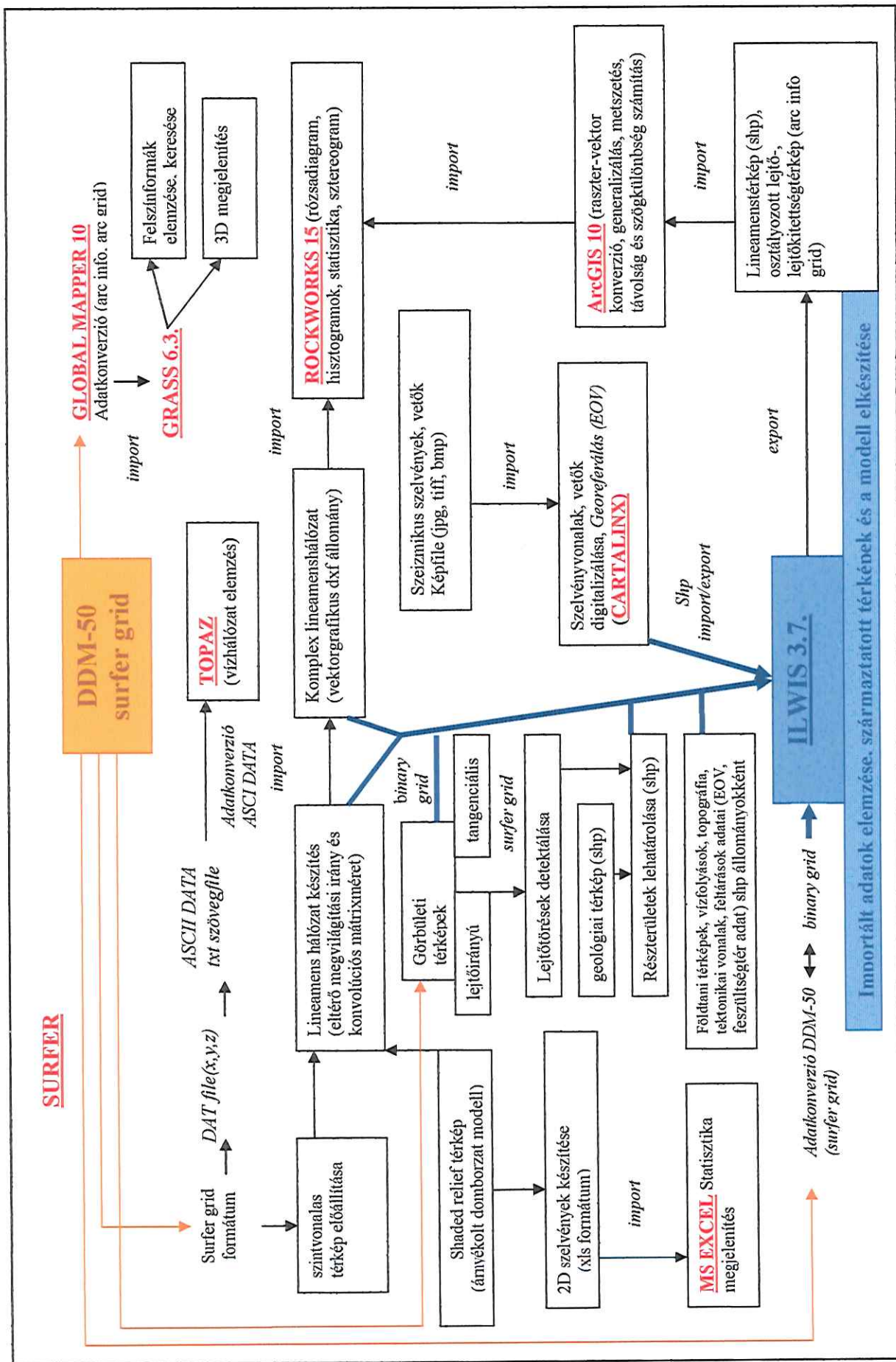
2. ábra: Adat-alkalmazás mátrix az elsődleges adatokra (A) és a származtatott adatokra (B).

Természetesen a területre vonatkozó korábbi szakdolgozatok, disszertációk, publikációk adatait, szelvényeit, értelmezéseit is felhasználtam a modell kialakításánál. WÓRUM GÉZA 1999-es szakdolgozatának szeizmikus szelvényértelmezései, vetői, gravitációs térképei nagy segítséget nyújtottak az elemzéseknel. BENKOVICS LÁSZLÓ, CSONTOS LÁSZLÓ, MAJOROS GYÖRGY szerkezeti értelmezéseit, adatait is integráltam az adatbázisba.

A munka során fontos fázis volt a terepi mérésorozatok elvégzése. A kutatási területen 13 feltárást kerestem fel. Több száz szerkezeti adatot (vetőkarcok, törések, gyűrődések stb.) rögzítettem a bányákban, egyéb feltárásokban, amelyekből kialakítottam a terület feszültségtér-adatbázisát.

Ez annyit jelentett, hogy minden feltárásnál a mért EOVS koordináták felvételén túl, a szerkezeti adatokból feszültségtér számításokat végeztem és az adatbázisban rögzítettem az egyes főfeszültségirányok (σ_1 , σ_2 , σ_3) dőlésirány és dőlésszög adatait. Ezeknek az adatoknak alapvetően a modell verifikálásánál volt fontos szerepük, hiszen a kérdés az volt, hogy a domborzatmodellezés során értelmezett felszínnek és vetők mennyire vannak összhangban a terepi adatokkal, valamint a korábbi publikációk eredményeivel.

Az alábbiakban kitérek az adatfeldolgozás menetére, az adatintegrációra, a GIS erőforrásokra, valamint a használt szoftverekre. Az adatfeldolgozás menetét, az adatintegrációt a 3. ábra mutatja be.



3. ábra: Az adatfeldolgozás sematikus modellje

A Golden Software által kifejlesztett SURFER 8 szoftver alapvető eszköznek bizonyult az elemzéseknel. Eleve a MÁFI-tól kapott DDM-50 is surfer grid formátumú volt. A program saját file formátumának importálása után a domborzat árnyékolását (különböző megvilágítási irányokkal, konvolúciós mátrixméretekkel), a szintvonalas térképek készítését, a görbületi térképeket (lejtőirányú, tangenciális), a 2D-s keresztmetszvényeket, valamint a lineamens hálózatot is ennek a programnak a segítségével készítettem. A lineamens hálózat létrehozásakor a már korábban kialakított szintvonalas térképeket és a különböző irányokból megvilágított árnyékolt domborzatmodelleket használtam fel. A komplex lineamens térképet vektorgrafikus dxf állományként exportáltam a RockWorks 15 szoftverkörnyezetébe a későbbi statisztikai elemzések (rózsadiagramok, hisztogramok készítése) miatt.

A SURFER 8 keresztmetszvények készítésére is alkalmas volt, több mint 200 digitális szelvényt készítettem. A digitalizált keresztmetszvények attribútum táblái tartalmazták a szelvény menti EOVS X, EOVS Y, valamint a tengerszint feletti magassági adatokat. Az adattáblákat xls formátumként lehetett exportálni és további adatfeldolgozás céljára felhasználni MS Excel környezetben.

A SURFER 8-ban létrehozott görbületi térképek file formátuma nem változott meg az eredeti DDM-50 állományhoz képest. A lejtőirányú görbületi térképek, valamint a geológiai térkép (földtani elterjedés shp állományú térképe) által készítettem el a kutatási terület részterületeit definiáló térképet. A lejtőirányú görbületi térképek kiválóan alkalmasak a lejtőletörések detektálására, vagyis ahol a morfológiai viszonyok alapvetően eltérnek egymástól. A részterületeket lehatároló térkép egy digitalizált shp vonalmű, amely a későbbi feldolgozás, elemzés során alapvető fontosságú volt, hiszen a morфомetriai paraméterek meghatározása nemcsak a teljes a területre, hanem a részterületekre is megtörtént.

Az eredeti Surfer grid formátumú DDM-50-t át kellett alakítanom binary grid vagy ASCII grid formátummá az ILWIS 3.7-es szoftverbe történő importálás miatt. Hiszen a morфомetriai elemzések döntő többségét az ILWIS-szel (www.ilwis.org) (Integrated Land and Water Information System) végeztem. A program nyílt forráskódú, és az egyik leghatékonyabb eszköz a raszteres térinformatikai elemzésekhez, ráadásul sokféle file formátumot ismer fel és exportál. Az adatkonverziót (surfer grid-binary grid) a SURFER 8-ban végeztem el.

A vízhálózat elemzést az ILWIS-ben is végre lehet hajtani, de hatékonyabb az elemzés a TOPAZ szoftverrel, amelyet kifejezetten erre a célra fejlesztettek ki. Nagymennyiségű

adat fogadására alkalmas szabadszoftver, amely a domborzatmodell preprocessálásán túl a vízhálózat elemeinek, a vízgyűjtőterület lehatárolásának, a vízválasztógerincek azonosításának egyik legjobb eszköze. Az elkészített vízhálózati elemek statisztikai feldolgozását is képes elvégezni a program, de csak ASCII txt szöveges file importálását engedi meg. Ezért a domborzatmodell surfer grid formátumát szöveges állománnyá kellett alakítanom. Ezt a SURFER 8-ban lehetett végrehajtani. Először dat file formátumúvá alakítottam a domborzatmodellt, amelynek 3 oszlopa a koordinátákat és a magassági adatokat tartalmazza. A dat file-ből már egyszerűen lehetett txt állományt létrehozni, szintén a SURFER-ben, amely már alkalmas volt a TOPAZ-ba való importálásra.

A SURFER 8 segítségével még egy adatkonverziót kellett végrehajtanom a domborzatmodellel, mert az egyes felszínformák elemzésének egy részét a GRASS 6.3 (Geographic Resources Analysis Support System) szabadszoftverrel végeztem el (www.grass.itc.it). Ehhez a surfer grid formátumot ascii grid-re alakítottam, amely már megfelelő a GRASS 6.3 számára. Az adatkonverziót gyakran a GLOBAL MAPPER 10 szoftver segítette, mert nagyon sok raszteres és vektoros file formátumot képes felismerni és átalakítani.

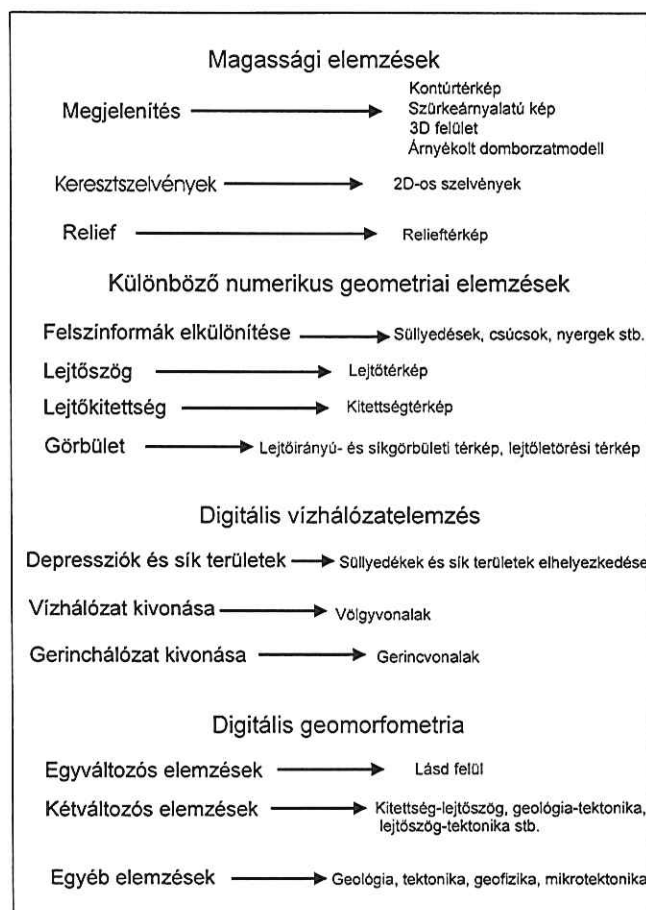
A további elemzések az ILWIS 3.7 szoftverrel történtek. Említettem, hogy a domborzatmodell eredeti file formátumát át kellett konvertálni binary grid-re, hogy alkalmas legyen az ILWIS-be történő importálásra. Ezt a konverziót a görbületi térképek esetén is elvégeztem. A lineamens hálózat, a részterületek határvonalai, a földtani térképek, a topográfiai térképek viszont shp állományok, amelyeket az ILWIS képes fogadni.

Az elsődleges adatforrások között szerepeltek a különböző szerzőktől származó vetőtérképek is. Ezek jórészt raszteres formátumú képfájlok (jpg, tiff, bmp), melyeket georeferáltam, majd digitalizáltam az egyes vetőket. A digitalizálás részben SURFER 8-ban, részben CARTA LINX-ben történt, majd a vetőtérképeket shp állományként elmentettem. A térképet így már lehetett az ILWIS-be importálni, ahol további elemzésekre is lehetőség nyílt.

A terepi adatokat (koordinátákat, feszültségadatokat) shp állományként (pontokként) hoztam létre és szintén importáltam az ILWIS-be, és ezzel már minden adat - egységes EOVS koordinátarendszerben - készen állt a további morfológiai vizsgálatokhoz, az egyéb származtatott térképek elkészítéséhez.

A vizsgálatokat JORDÁN GY. et al. (2005) modellje alapján végeztem el (4. ábra). A modell az egyszerű egyváltozós elemzésektől jut el a különböző geometriai felszínelemzéseken át a vízhálózat értékelésig és a többváltozós elemzésekig. A modell fő fejezetei is több részre oszlanak, minden újabb lépés az azt megelőző lépésből következik. Elsőként a magassági adatok elemzésére került sor (szintvonalas térkép, perspektív kép, árnyékolt domborzatmodell, relief térkép), majd a különböző numerikus geometriai elemek azonosítása következett (lejtőszög, lejtőkitettség, görbület, lejtőtörés, depressziók, csúcsok, nyergek), ezt a digitális geomorfometriai analízis követte (süllyedékek, sík területek, völgy-, és gerinchálózat detektálása, valamint a korábban elkészített térképek kombinálása).

A digitális képelemzés után megvizsgáltam a lineamens-hálózatot, statisztikai irányeloszlásokat határoztam meg, digitális keresztaszvénnyek (200 db) készültek a magassági modell és a lejtőszög térkép alapján. A konklúzió levonása előtt az egyéb forrásból (hidrogeológia, geofizika) származó adatokkal is kiegészítettem a kutatásomat.



4. ábra: A digitális domborzatmodell elemzések folyamatábrája a tektonikus geomorfológia szemszögéből. (JORDÁN GY. et al. 2005 alapján módosítva).

2. 2. 1. A magassági adatok elemzése

A spline interpolációval készült 50 m-es horizontális felbontású grides domborzatmodellből *szintvonalas térképet* készítettem. Ezen jól látszott, hogy a domborzatmodell a sík területeken meglehetősen rossz minőségű, a kontúrvonalak lefutása töredezett. A *perspektív képen* kirajzolódtak a különböző morfológiai elemek, különösen a túlmagasítások során. A *domborzati modell árnyékolásánál* többféle megvilágítási irányt használtam, igyekeztem az adott morfológiai elemre merőleges megvilágítást alkalmazni, hogy minél plasztikusabb képet kapjak a területről. A *digitális keresztshelvények* szintén az árnyékolt domborzatmodell alapján készültek. A *relief térképet* a lokális átlagos eltérés és az átlagos magasság hányadosaként számoltam ki, mozgó ablak segítségével.

2. 2. 2. A különböző numerikus geometriai számítások

A különböző morfológiai elemek (csúcsok, süllyedékek, nyergek, lejtőtörések) lokalizálása alapvető geomorfológiai elemzéseket kíván (PEUCKER, T. K. - DOUGLAS, D. H. 1975). A csúcsok és süllyedékek leválogatása a „*nagyobb, mint*” algoritmus alapján végezhető el (GARBRUCH, J. - MARTZ, L. W. 1995). A nyeregpontokat a gerincek menti lokális minimum (vízválasztók) alapján lehet azonosítani a vízhálózattérkép segítségével (JORDÁN GY. 2002). Egy másik megközelítés szerint a nyeregpontokat egy adott P pont és a pont körül meghatározott sugártávolságban lévő kerületi pontok negatív illetve pozitív magasságkülönbségeinek összege alapján lehet képezni. Mégpedig úgy, hogy ezek összege szimmetrikus a vízszintes tengelyre (ami az adott pont magassága), vagyis a magasságváltozások értéke 0-hoz közelít. A lejtő és a nyereg között az a különbség, hogy amíg a lejtő esetében a vízszintes tengelyen átmenő görbe periódikusan változva egy hullámot ad, a nyeregnél két hullámot ad (MÁRKUS B. 1985). Ezen kívül fontos az előjelváltások száma is a görbe esetében, a nyeregnél ez 4-nek adódik.

A lejtőtörések az osztályozott lejtőirányú görbületi térkép alapján határozhatók le, ahol a lejtőszög értékek hirtelen megváltoznak. A völgy-, és gerinchálózat pedig a vízhálózat elemzéssel válik meghatározhatóvá (JORDÁN GY. - CSILLAG G. 2001).

A lejtőszög térkép, ami a magassági modell elsőrendű deriváltja, a Prewitt-operátor segítségével készült el. Ez egy éldetektáló operátor, ami egyben konvolúciós mátrix és a gradiensvektor legnagyobb intenzitásváltozásának irányába mutat (GONZALEZ, R. C. - WOODS, R.E. 1993).

A lejtőkitettség térkép szintén a Prewitt-operátor segítségével készült, és az adott pixel körüli legnagyobb lejtőszög változás kitettségi irányait tükrözi.

A szintvonalakból előállított digitális domborzatmodell kétváltozós művelet $[z = f(x,y)]$ alapján és ennek a különböző differenciálgeometriájú elemzésével jön létre (MOORE, I.D. et al. 1993). A meggondolás és feltételezés az, hogy a létező f függvény második parciális deriváltjai folyamatosak (MITASOVA, H. - HOFIERKA, J. 1993). Ezek alapján:

$$\begin{array}{l} f_x = \frac{\partial z}{\partial x}, \quad f_y = \frac{\partial z}{\partial y}, \quad f_{xx} = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}, \\ f_{yy} = \frac{\partial^2 z}{\partial y^2}, \quad f_{xy} = \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} \end{array} \quad \text{és} \quad \begin{array}{l} p = f^2 x + f^2 y, \quad q = p + 1 \end{array}$$

A gradiens vektor magnitúdója $\Delta f = \text{grad} (f_x, f_y)$, ahol $\{\text{grad}\} = f^2 x + f^2 y)^{1/2}$ és a legmeredekebb lejtőszög $\gamma = \arctan \sqrt{p}$. A kitettség pedig $\alpha = 180 - \arctan (f_y/f_x) + 90$ ($f_x / |f_x|$), ahol az azimut fokokban értendő az óramutató járásával megegyező irányban északról.

A lejtőirányú görbületet (K_p) (a gradiens vektor lejtőirányú szögváltozásai) az alábbi képlet definiálja: $K_p = f_{xx} f_x^2 + 2f_{xy} f_x f_y + f_{yy} f_y^2 / p\sqrt{q}^3$

A síkgörbületet (K_t), ami merőleges a gradiensvektor irányára, az alábbi képlet határozza meg: $K_t = f_{xx} f_y^2 - 2f_{xy} f_x f_y + f_{yy} f_x^2 / p\sqrt{q}$

A lejtőirányú görbületi térkép segítségével lehet a lejtőtöréseket detektálni, amíg a síkgörbület a kitettségi irány változásait tükrözi. A gerinc-, és völgyvonalak magas síkgörbületi értékeket vesznek fel. A lejtők domborúságát a görbületi értékek változásai, éles törései jelzik.

A tematikus térképeket és digitális keresztaszvénnyeket az ILWIS 3.7, a SURFER 8, illetve GRASS 6.3-as szoftverek segítségével készítettem. A térképek osztályozása kumulatív hisztogramok „elválasztásával” történt, a görbe lefutásában tapasztalható hirtelen változás alapján. Az osztályozás előtt gyakran kellett simítást végezni, amit egy mediánszűrő (5RSSH) segítségével hajtottam végre, hogy a hirtelen kiugró csúcsokat, vagy minimumokat kiszűrjem és egy valósabb képet kapjak a területről. A szűrést a

STATGRAPHICS nevű szoftverrel végeztem, annak 5RSSH moduljával, ami egy nemlineáris szűrő és TUKEY, J. (1977) fejlesztette ki. Ez a szűrő alkalmas a hirtelen változások kiszűrésére, és jó alapot eredményez a további szűrés megkezdéséhez. A szoftver 5*5-ös konvolúciós mátrix ablakmérettel dolgozik, azon belül veszi a mediánt, a simított értékeket újrasimítja (R betű a névben), majd a futás során hajlamos elhagyni a sík és a hirtelen konkávba, vagy konvexbe hajló görbéket. Ezen túl a sík területeket megosztja, hogy jobb legyen a simítás, mint egyébként várható lenne (S betű a névben). Végül az adatok simításra kerülnek egy súlyozott átlaggal. Az elkészített térképekből iránystatisztikákat készítettem (rózsadiagram).

2. 2. 3. A vízhálózat elemzése

A vízhálózat elemzése egy alapvető eszköz a tektonikus geomorfológiában (DEFFONTAINES, B. - CHOROWICZ, J. 1991). A törésekkel tagolt kőzettesteken a gyengeségi felületek mentén az erózió intenzívebben hat, így gyakran alakulnak ki völgyek ezeken a területeken. A vízfolyások futásirányainak és a vízhálózat elemzésének segítségével következtetéseket vonhatunk le a regionális tektonikai viszonyokra (3. ábra). A vízhálózati elemek kivonására és elemzésére a TOPAZ szoftver az egyik legalkalmasabb (MARTZ, L. W. - GARBRECHT, J. 1992). Ez a program úgy végzi el a vízhálózat elemzést, hogy maga a vízhálózat teljesen kapcsolt, konvergens, egyirányú és az adott lejtésirány felé halad.

A vízhálózat lecsupaszítása matematikai-morfológiai módszerre épül, és két lépésben történik. Először el kell távolítani a hibás, párhuzamos csatornákat, amíg el nem jutunk egészen az 1 pixel széles csatornahálózathoz. Előtte azonban fel kell tölteni a lokális mélyedéseket a hibás, átlós, párhuzamos csatornák között, majd az eredeti csatorna forráspixeleit meghagyva végezzük el a számításokat (GONZALEZ, R. C. - WOODS, R. E. 1993). A depressziómentes domborzatmodellbe bele tudjuk égetni a recens vízhálózati elemeket, hogy a program által kiszámolt vízhálózat lefutása még pontosabb legyen. Először a vízfolyások iránytérképét, majd a vízfolyások akkumulációs térképét (hány pixelről kap vizet az adott pixel), végül a valódi vízhálózat térképét tudjuk elkészíteni. Ezt követően kerülhet sor a vízgyűjtőterületek elkülönítésére, valamint a vízfolyások rendűségének meghatározására.

A vízfolyások irányeloszlása mellett elemeztem a vízhálózat rajzolatát és megvizsgáltam a domborzat fiatal emelkedésének vízhálózatra kifejtett hatásait. Emellett megvizsgáltam, hogy a lefolyástalan depressziók milyen térbeli eloszlást mutatnak és milyen geológiai képződményekhez köthetők.

2. 2. 4. A digitális geomorfometriai elemzés

A magasság és annak különböző derivátumai jelentik az alapjait a geomorfometriai vizsgálatoknak. EVANS, I.S. (1972, 1980) szerint az öt alapvető paraméter az ilyen elemzéseknél a magasság, a lejtőszög, a lejtőkitettség, a lejtőirányú görbület és a síkgörbület. Az egyváltozós elemzések a statisztikai és térbeli eloszlásait mutatják az öt paraméternek. Ebben a tanulmányban, például a kitettségi irányoknál jelentkező csúcsok, gyakran kapcsolódtak lineamensekhez, amelyek erősen valószínűsítik a tektonikai aktivitás valamikori jelenlétét. A kétváltozós és többváltozós elemzések során a különböző származtatott térképek összevetésére került sor (lejtőszög-kitettség, magasság-lejtőszög, lejtőkitettség-lineamens, lejtőkitettség-tektonikai vonalak, lejtőszög-tektonikai vonalak, lejtőirányú görbület-lineamens stb.). A lejtőszög, és lejtőkitettség értékeket felső-félgömbi vetületű sztereogrammon ábrázoltam a póluspontjaikkal, ahol egységes kitettséget és meredek lejtőszöget tapasztaltam, ott a tektonika szerepe szintén valószínűsíthető.

2. 2. 5. A lineamensek elemzése

A lineamensek egyenes lefutású elemek, amelyek megjelennek a domborzatmodellen, és egy-egy geológiai, vagy geomorfológiai jelenséghez köthetők (CLARK, C. D. - WILSON, C. 1994). A morfometriában egy lineamens kötődhet pusztán csak egy geometriai eredethez, vagy valós terepi magasságváltozáshoz, mint a völgyek, gerincek, lejtőletörések, vagy inflexiós vonalak esetében. A digitális domborzatmodellezés terminológiája szerint, a lineamens olyan folytonos pixelekből álló vonal, amely azonos terepi tulajdonságokkal bír (KOIKE, K. et al. 1998). Minden vonalat a hossza és az orientációja jellemez (1. ábra), éppen ezért az árnyékolt domborzatmodell alapján bedigitalizált lineamenseknek, mind a hosszirány, mind az irányeloszlását előállítottam. Az árnyékolt domborzati megjelenítést 3*3-as, illetve 5*5-ös, 11*11-es, 21*21-es, valamint 41*41-es konvolúciós, mozgó

átlagos mátrixszal simítottam, hogy kiszűrjem a domborzat lokális változásait. A lineamensek nemcsak az alapmodell alapján lettek bedigitalizálva, hanem a simított domborzatmodellen is elvégeztem a vonalak berajzolását. A különböző morfológiai elemekből sűrűségi térképeket is készítettem (völgy-, gerinc-, lejtőtörés térképek), hogy megnézzem egy adott pixelre (1000*1000 m-esre növelt pixelre) mekkora völgy-, gerinc-, és lejtőtörés-hossz esik.

2. 2. 6. A lineamens hálózatok valamint az osztályozott lejtőkitettségi térképek közötti eltérés számszerűsítése

Próbáltam megoldani, hogy valamilyen számadattal is kifejezhető legyen az osztályozott lejtőkitettség térképek és a lineamens hálózatok eltérése. Az osztályozott kitettségi térkép 2 domináns kitettségi iránnyal rendelkezik (ÉNY,DK). A 2 fő kitettségi irány határai nagyon jól egybeesnek a lineamenshálózattal. Kísérletet tettem arra, hogy ezt számszerűsítsem. Ehhez a lineamens hálózat vektorgrafikus állományát exportáltam az ILWIS 3.7 –ből az ArcGIS 10 szoftverbe, emellett a raszteres osztályozott lejtőkitettségi térképet is exportáltam arc info grid állományként. Ebből a raszteres állományból vektoros poligonhálózatot alakítottam ki raszter/vektor konverzió segítségével. Ezt követően osztályoztam a poligonos térképet a 2 domináns kitettségi irány alapján. Miután az eredeti raszteres állomány is meglehetősen sok apró kis különálló pixelt tartalmazott, ezek a konverzió után is megmaradtak a nagyobb poligonoktól elkülönülve. Döntést kellett hoznom, hogy valójában ezeknek a kis poligonoknak van-e jelentőségük a nagyobb méretű, a valós trendeket jobban tükröző és a lineamensekkel jól láthatóan is párhuzamos poligonok mellett. Végül is arra a következtetésre jutottam, hogy érdemes ezeket a poligonokat aggregálni, összevonni egy bizonyos távolságon belül. Itt a hangsúly a távolságon van. De még a poligonok területe alapján is aggregálhatunk az ArcGIS/Cartography Tools/Generalization/Aggregate Polygons modul segítségével.

Végül a 100 m-es távolság mellett döntöttem, ami egyáltalán nem sok, hiszen az eredeti raszteres grid állomány is 50m-es pontosságú, ráadásul a lineamensek kézi digitalizálása is nyilvánvalóan nem hajszálpontos és hibákkal terhelt. Mindkét poligon hálózatra elvégeztem az aggregálást. De miután arra voltam kíváncsi, hogy a 2 eltérő kitettségi irányú poligonhálózat határa mennyire esik egybe a lineamensekkel, az összevont poligon hálózatokat kellett metszetnem (ArcGIS/Analysis Tools/Overlay/Intersect). A metszetük

egy görbe vonalhálózat, amelyet össze lehet már vetni a lineamensekkel. Az ArcGis/Analysis Tools/Proximity/Near Table funkció segítségével ki tudom számolni az egyes lineamensek és a poligonok metszése eredményeképpen előálló vonalhálózat eltéréseit mind a távolság, mind a szög tekintetében. A távolságnál szintén 100 m volt a felső korlát amit még elfogadtam, a szögműveletnél viszont probléma adódik, mert a metszések görbe vonalak, amelyek irányultságát így nehéz meghatározni. Ráadásul az ArcGis a szögműveletet a horizontális X tengelytől számítja úgy, hogy a bemenő vektoros vonalhálózat legközelebbi szomszédjához húzott vektor és az X tengely által bezárt szöget méri. Így ha 2 vonal közel párhuzamos, akkor is nagy szögműveletet számít a program, ha azok mondjuk 40-50°-os, vagy annál nagyobb szögben térnek el az X tengelytől. Így a szögszámításnak nem sok értelme van a kapcsolatkeresésnél. Ezt a problémát próbáltam megoldani úgy, hogy a metszési művelet során előállt görbe vonalhálózatot a generalizálás segítségével egyszerű vonalakká alakítottam úgy, hogy a jellegzetes pontokat megtartottam. Az így nyert most már egyenes vonalakat tartalmazó hálózatot össze lehetett vetni a lineamenshálózattal a RockWorks 15 program segítségével. Ehhez viszont a legközelebbi szomszédokat újra kellett digitalizálnom, mert a program csak így tudta kiszámolni a vonalak közötti szögeltérést. A szögeltérés az óramutató járásával megegyezően növekszik 0-180° tartományokban. Így most már nem csak a távolság, hanem a szögeltérések alapján is meg lehetett oldani a számszerűsítést. A számszerűsítés a tektonikai vonalak és a domináns kitettségi irányok határai, egy adott lejtőszögű területek és a tektonikai vonalak között is hasonló módszerrel történhet.

2. 2. 7. Egyéb módszerek

A korábbi publikációk (BENKOVICS L. 1997, WÓRUM G. 1999, CSONTOS L. et al. 2002) tektonikai vonalait bedigitalizáltam, hogy összevethessem őket az egyes geológiai képződményekkel, lejtőszög, és lejtőkitettség térképekkel, a domborzatmodellel stb. Megnéztem, hogy a tektonikai vonalak környezetében miként változnak a domborzat morfológiai tulajdonságai (lejtőszög, relief energia, lejtőirányú görbület).

Saját terepi adataimmal is kiegészítettem a vizsgálatokat. A mikrotektonikai mérések 13 helyszínen folytak és nagyban hozzájárultak a terület még pontosabb megismeréséhez. Kíváncsi voltam, hogy az egyes geológiai képződményeknek milyenek az átlagos lejtőszögei és relief energiái, így ezekből hisztogramokat készítettem.

Ezen kívül reflexiós szeizmikus szelvények is rendelkezésemre álltak WÓRUM G. 1999-es szakdolgozatából, amelyekre ráhelyeztem a domborzatot és megvizsgáltam, hogy mennyire tükrözi a felszín a mélyszerkezetet.

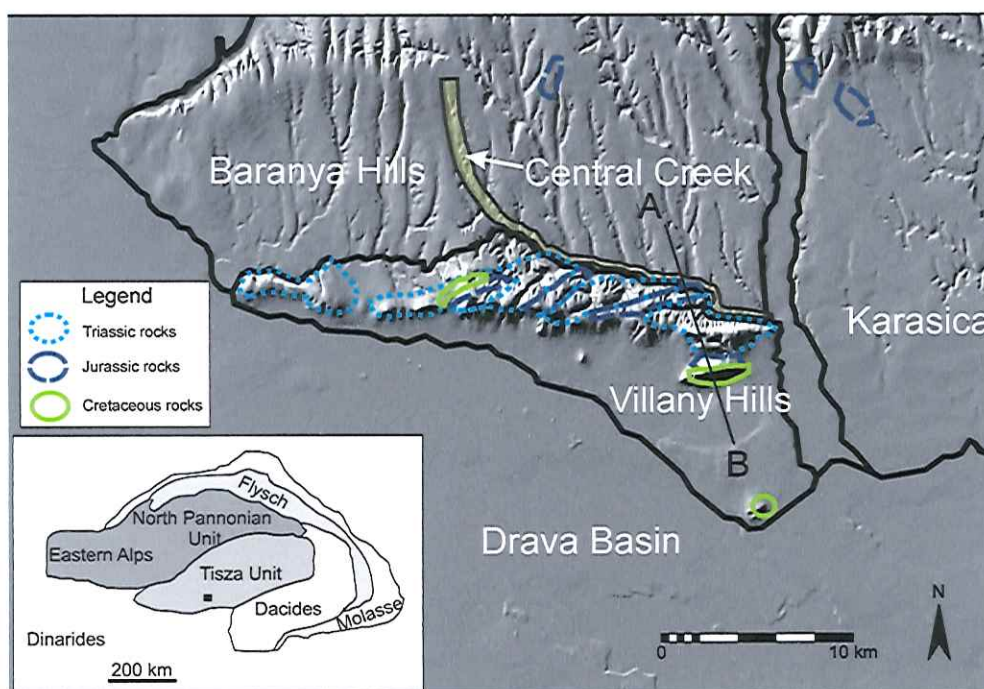
A szakirodalmi adatok alapján, különböző morfogenetikájú felszíneket különítettek el a Villányi-hegységben belül (WEIN GY. - LOVÁSZ GY. 1974). Érdekelt, hogy ezek a szintek mennyire azonosíthatók térinformatikai módszerekkel. A elemzés alapja az volt, hogy leválogattam a területre eső csúcsokat 3*3-as és 5*5-ös ablakméretek segítségével (az előbbi adta a jobb eredményt). Ezt követően megnéztem, hogy milyenek az adott csúcsok magassági értékei, majd hogy hány pixel tartozik az adott magassági értékkel bíró csúcshoz. Így kiugró értékeket kaptam bizonyos magassági szinteknél, amelyeket elkülönült felszínekként kezeltem. Az alkalmazott különböző módszerek alapján felállítottam a terület morfotektonikai modelljét.

3. A kutatási terület földrajzi és földtani leírása

A tanulmányterület a Dél-Dunántúlon található, délen a Dráva-medencétől észak felé, egészen a Pécsi-medencéig húzódik, nyugaton a Pécsi-víz völgye és a Villányi-hegység nyugati elvégződése, keleten a Mohácsi-sziget vonala jelenti a határt (5. ábra).

A vizsgálatba nem csak a Villányi-hegységet, hanem tágabb környezetét, a hegységtől északra található Baranyai-dombság jórészét - egészen a Duna vonaláig -, valamint délen a Dráva-medencét is bevontam.

A terület EOV koordinátái: X1= 564025, X2=615425, Y1=40025, Y2=75425.



5. ábra: A tanulmányterület földrajzi elhelyezkedése árnyékolt domborzatmodellen.

Jelmagyarázat: a napocska a megvilágítási irányt jelzi. Az aránymérték méterben értendő. Forrás: MÁFI.

Angol feliratok: Triassic rocks = Triász kőzetek, Jurassic rocks = Jura kőzetek, Cretaceous rocks = Kréta kőzetek. Eastern Alps = Keleti-Alpok, North Pannonian Unit = Észak-Pannon Egység, Tisza Unit = Tiszai

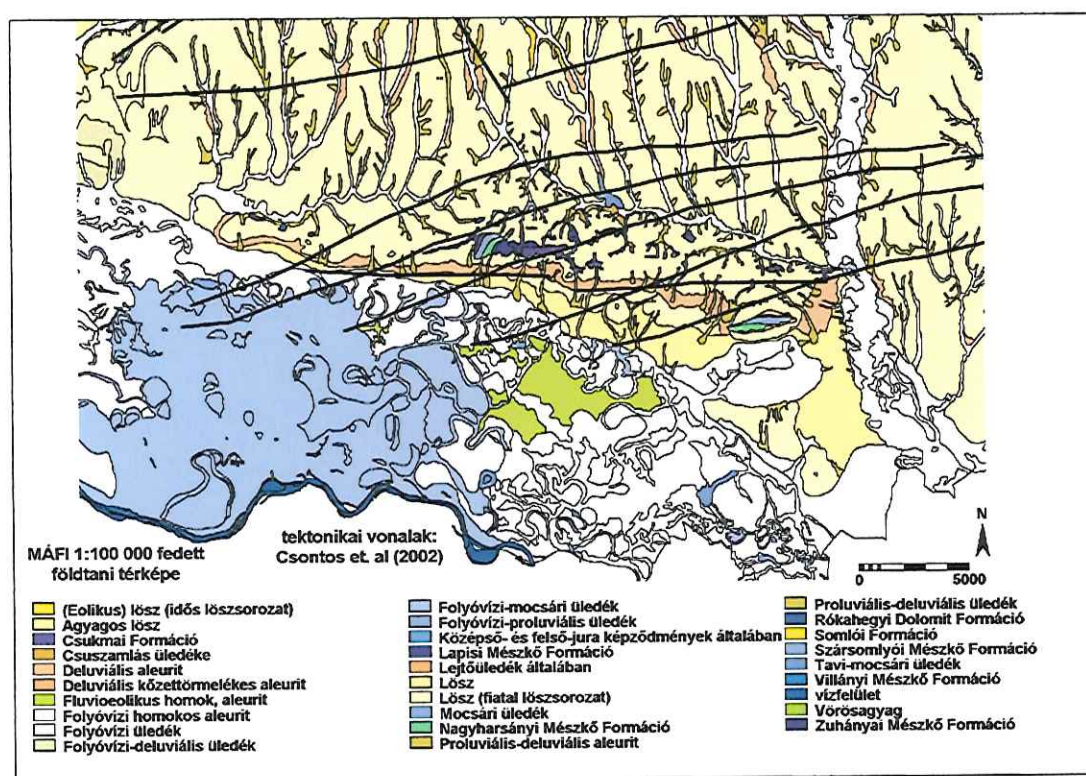
Egység, Dacides = Dacidák, Flysch = Flisöv, Molasse = Molaszöv, Dinarides = Dinaridák.

Baranya Hills = Baranyai-dombság, Central Creek = Központi-patak, Villány Hills = Villányi-hegység,

Drava Basin = Dráva-medence.

A morfometriai vizsgálatokból azonban ez utóbbit kizártam, miután sík a területe és a domborzatmodell is nagyon rossz minőségű volt (mesterséges tereplépcsők, értelmezhetetlen morfológia stb.).

Földtani szempontból a terület a Tiszai-nagyszerkezeti egység, mint összetett takarórendszerhez tartozik, azon belül is a Villányi, illetve a Mecseki-zónához. Aljzatában metamorf kristályos képződmények, perm törmelékes üledékek találhatók (CSÁSZÁR G. 2005). A mezozoos üledéksor (többnyire mészkő, dolomit) helyenként a felszínre bukkan (Villányi-hegység, Máriakéménd-bári vonulat), de többnyire vastag neogén üledékekkel takart. A kutatási terület főként eolikus lösszel, deluviális-, és lejtőüledékekkel, valamint ártéri és folyóvízi képződményekkel fedett. A mélyen bevágódó eróziós völgyek mentén helyenként felszínre bukkannak a pannóniai üledékek is (márga, agyagmárga). A kevésbé ellenálló, fiatal képződményeken mély, eróziós völgyek alakultak ki. A Villányi-hegységtől délre mutatkoznak a Dráva egykori medermaradványai (6. ábra).

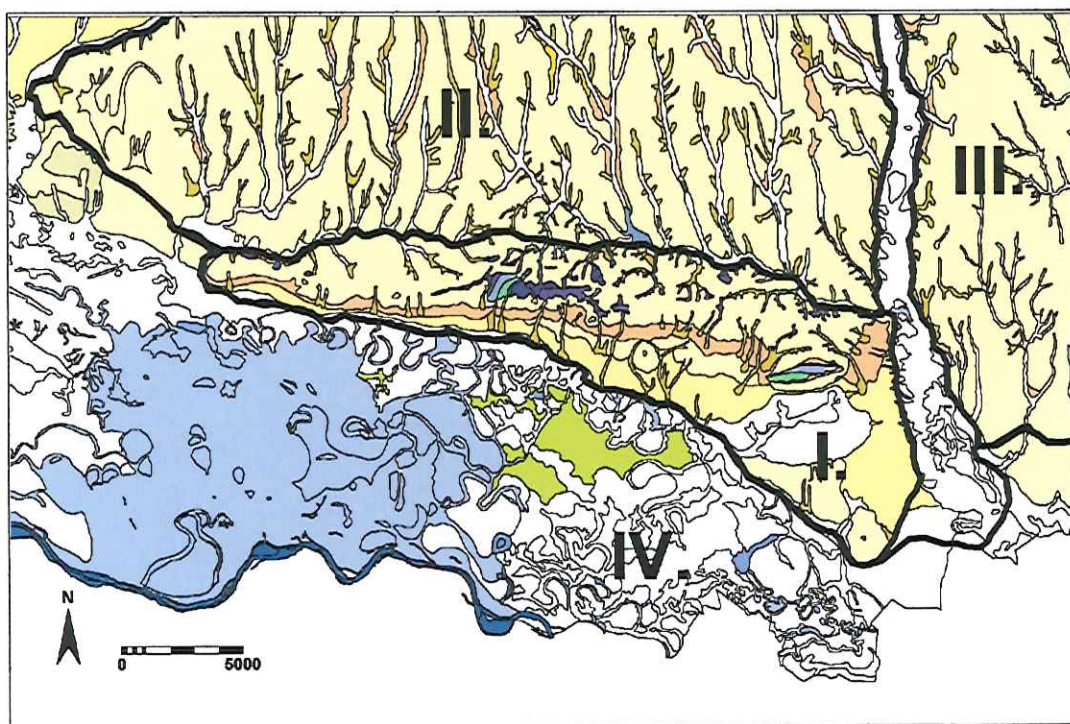


6. ábra: A vizsgált terület 1: 100 000-es fedett földtani térképe (MÁFI), a tektonikai vonalakkal (CSONTOS L. et al. 2002). Jelmagyarázat: az aránymérték méterben értendő.

A tektonikus vonalak kevésbé köthetők képződményhatárhoz, ez alól a Villányi-hegység déli, meredek oldalán látható deluviális aleurit és eolikus lösz jelent kivételt, hiszen a két képződmény határán vető húzódik. De ugyanez tapasztalható a Pécsi-víz völgye mentén is, ahol a folyóvízi üledékek és a lösz jelentik egyben a tektonikus határt (6. ábra).

A terület mai morfológiai képét és szerkezetét az inverzió határozza meg, amely a pliocéntől kezdődően transzpressziós mozgásokat eredményez. CSONTOS L. et al. (2002) szerint a Villányi-hegység és térsége egy fiatal transzpressziós virágszerkezetként értelmezhető. TÉGLÁSY Ö. (2006) diplomamunkájában a Villányi-hegységtől északra található közel párhuzamos völgyeket szerkezetileg preformálnak tartja és a CSONTOS L. et al. (2002) által megállapított transzverzális vetőkhöz köti őket. SEBE K. (2009) doktori disszertációjában a meridionális völgyek kialakulását deflációval magyarázza, míg a Pécsi-víz völgyét antecedens völgyként értelmezi. Tektonikával, pontosabban húzásos deformációval, csak a Görcsönyi-hátság északi, Pécsi-medencétől délre található É-D-i csapású völgyeit értelmezi, valamint a Mecsekalja-vonal menti vízfolyások völgyeit és kaptúráit magyarázza szerkezeti folyamatokkal.

A geológia és a lejtőirányú görbületi térkép alapján négy, morfológiailag homogén részterületet határoltam le, ahol mindegyik területre (kivétel a Dráva-medence) elvégeztem a módszereknél említett vizsgálatokat. A négy részterületet a 7. ábra mutatja.



7. ábra: A morfológiailag homogén részterületek elhelyezkedése.

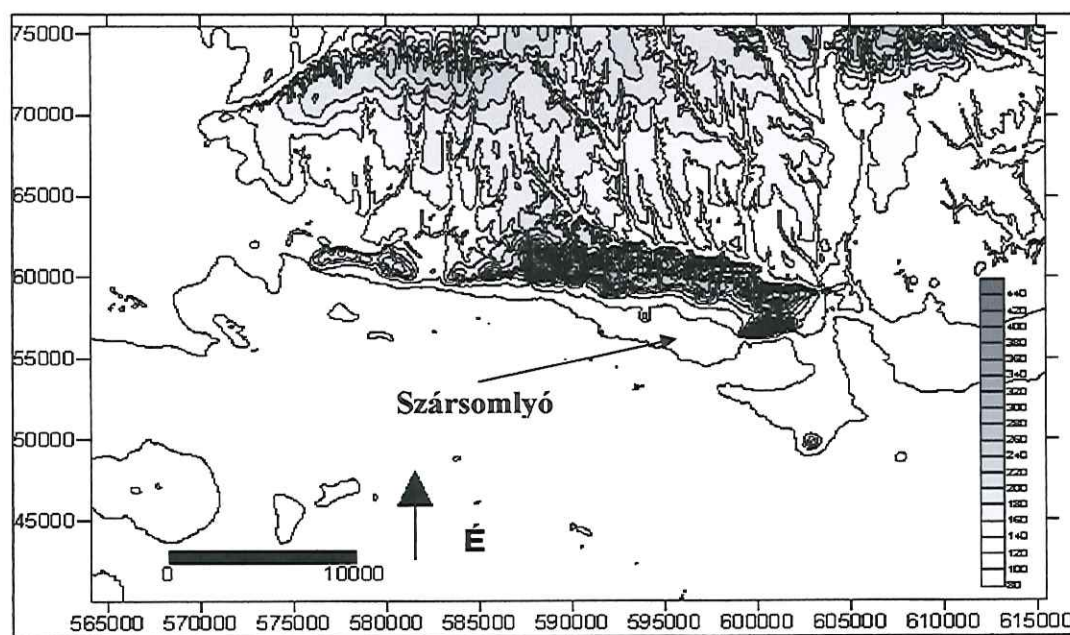
I = Villányi-hegység, II = Baranyai-dombság, III = Karasica, IV = Dráva-medence.

4. A felszínelemzés eredményei

4. 1. A terület szintvonalas térképe

A tanulmányterület szintvonalas térképe tükrözi a terület domborzati változásait (8. ábra). A Villányi-hegység területén sűrűsödnek a kontúrvonalak lefutásai, amelyek 20 m-es szintvonal közzel lettek ábrázolva.

Látszik, hogy a hegység területén intenzív a magasságváltozás, csak úgy, mint a hegységtől északra lévő völgyek, gerincek esetében. A térképen kitűnik, hogy a sík területek aránya nagy (50%), ami a Dráva-medencének, illetve a hibás interpolációnak köszönhető. A különböző magassági értékekhez rendelt pixelszámok 10 m-enként kiugró számban jelentkeztek, ami a forrástérképek 10 m-enként felvett szintvonalainak tudható be. A színskála tükrözi a magasságviszonyokat. A legmagasabb pont 435 m (Szársomlyó), a legalacsonyabb szintek ~82 m magasak (Dráva-medence).



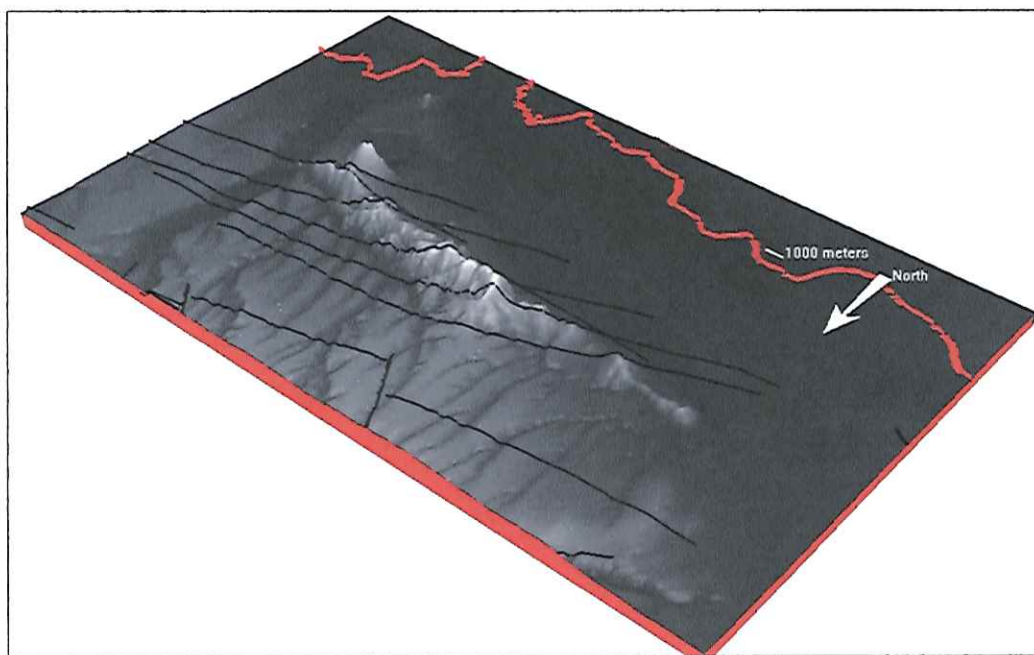
8. ábra: A vizsgált terület szintvonalas térképe.

Megjegyzés: a szintvonalak ábrázolása 20 méterenként történt. Az aránymérték méterben értendő.

4. 2. A terület perspektív képe (3D képe)

A madártávlat a domborzatmodell egyik látványos reprezentációja (8. ábra). Perspektivikus ábrázolás, amely a domborzatot valamilyen magassági torzítással mutatja be annak érdekében, hogy az egyes domborzati elemek jobban kivehetőek legyenek (a dolgozatban 5-szörös túlmagasítást alkalmaztam).

A perspektivikus ábrázolás rendkívül szemléletes, hátránya viszont, hogy nehezebb rajta a mérés. A nézőpont és a megvilágítási irány megválasztása lényeges. A képzeletbeli fényforrás szemből és balról jön, kb. 45° szögben, mert ez az elrendezés adja a legkontrasztosabb képet (9. ábra). A modellen jól látszik a Villányi-hegység hirtelen kiemelkedése, gerincei, vonulatai, a tőle északra lévő közel meridionális völgyek, valamint a Dráva-medence sík területei.



9. ábra: A kutatási terület perspektív képe, a fekete színnel jelölt tektonikus vonalakkal.

(A szerkezeti vonalak jól láthatóan harántirányban metszik a gerinceket.)

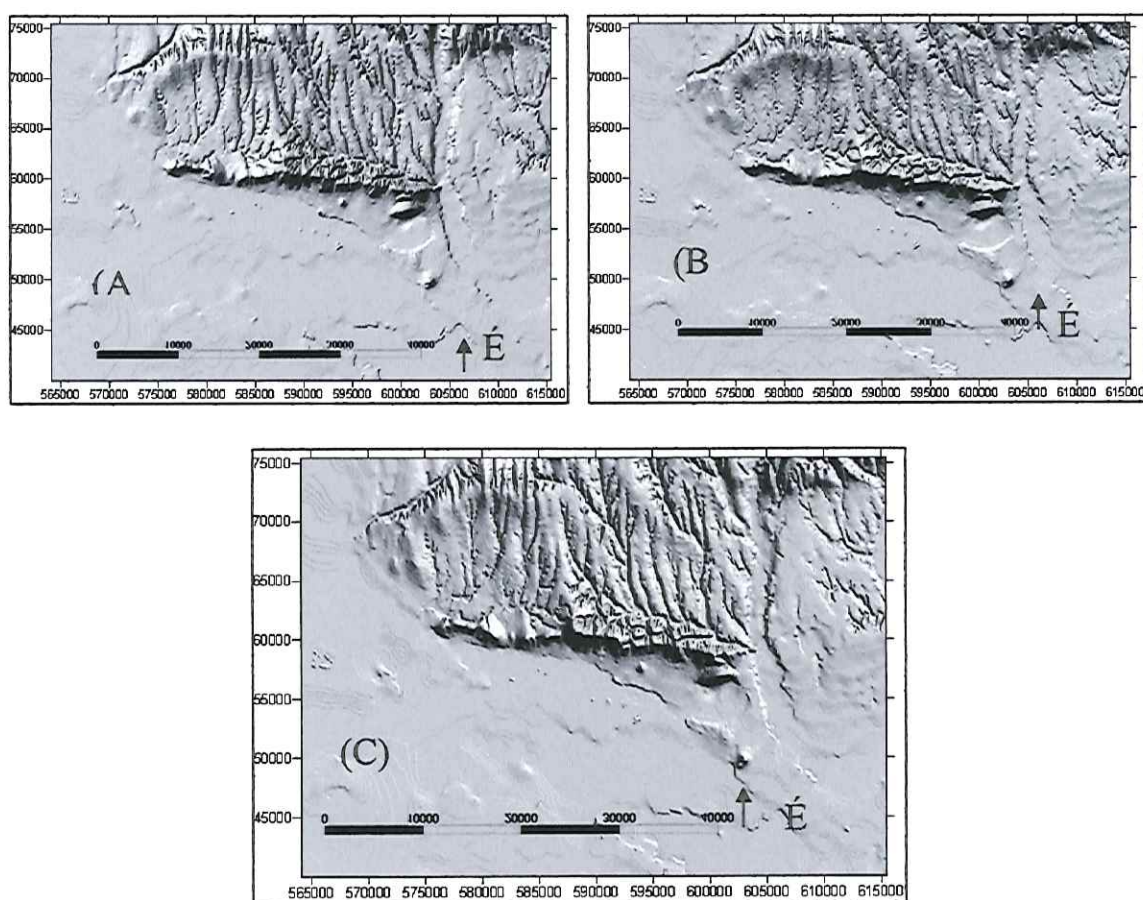
Jelmagyarázat: a piros vonal az országhatárt jelöli.

4. 3. A DDM-50 árnyékolt domborzatmodellje

Az árnyékolt domborzatábrázolás azt mutatja be, hogy mit látnánk, ha a földfelszínt adott irányból megvilágítva felülről szemlélnénk (10. ábra). Az árnyékolás segítségével

láthatóvá tehetünk olyan felszínformákat, amelyek az egyéb ábrázolásokban nem voltak észrevehetőek. Ez a módszer különösen alkalmas a felszínen is kivehető szerkezeti vonalak kimutatására. Itt is lényeges a megvilágítási irány, mert a hosszanti felszínformák közül azok a formák, amelyeket a megvilágítás körülbelül merőlegesen ér, jól kivehetőek lesznek, míg azok, amelyeket a fény hossz tengelyük irányából ér, alig, vagy egyáltalán nem látszódnak. Érdekes

ezért többféle megvilágítási irányt felvenni, a feltételezett szerkezeti vonalak függvényében. Én háromféle irányt alkalmaztam (ÉNy, É, ÉK), főként olyat, amelyek kifejezik a domborzat változásait.



10. ábra: A különböző megvilágítású árnyékolt domborzatmodellek. (A: ÉNy-i, B: É-i, C: ÉK-i megvilágítással.) Megjegyzés: az aránymértékek méterben értendők.

Jól látható, hogy a megvilágítás függvényében mennyire megváltozik a kapott kép. Az (A) jelű képen az ÉK-DNy-i csapású felszínformák jönnek ki a legjobban (pl.: Pécsi-víz völgye), a (B) jelű térképen a K-Ny-i felszínformák, tehát maga a Villányi-gerinc és az

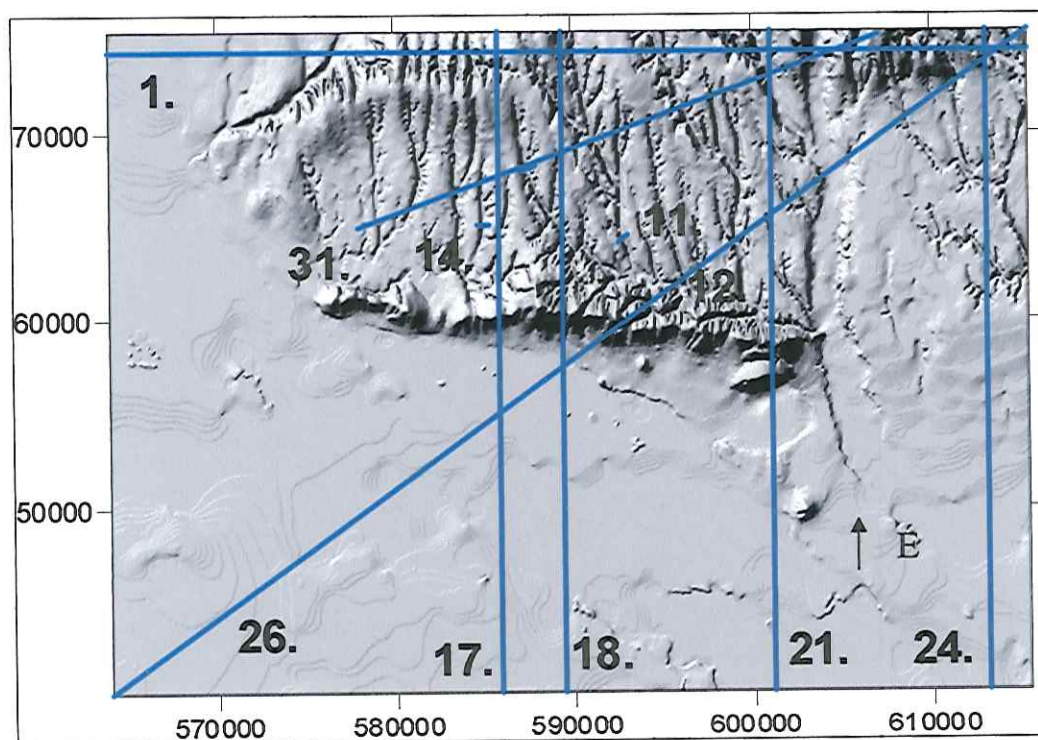
előtte lévő K-Ny-i irányú völgy, míg a (C) jelű képen az ÉNy-DK-i csapású völgyek a legplasztikusabbak. A domborzatmodelleken jól látható a Villányi-hegység meredek, déli kiemelkedése, a közel meridionális völgyhálózat a Baranyai-dombság területén, illetve a helyenként derékszögben meghajló völgyhálózat a Villányi-hegység északi előterében, a Karasica völgyétől nyugatra és keletre lévő lépcsősebb felszíneken.

A domborzatmodell mutatja a hibás, értelmezhetetlen felszíneket is, amelyek az interpolációból adódnak és elsősorban a sík területekhez köthetők, ahol gyakran mesterséges tereplépcsőket alkotnak.

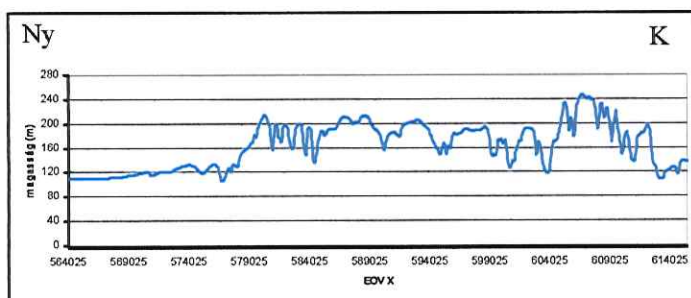
4. 3. 1. Az árnyékolt domborzatmodell alapján készített digitális keresztmetszvények értelmezése

Több mint 100 digitális keresztmetszvény készült a domborzatmodellen. Igyekeztem a különböző morfológiai elemekre merőlegesen behúzni őket, hogy a lehető legvalósabb képet kapjam az adott formáról. A dolgozatban csak a jellemző, leginkább árulkodó szelvényeket emelem be, helyhiány miatt. A 11. ábra mutatja a behúzott keresztmetszvények elhelyezkedését. Látható, hogy a Villányi-hegység gerincvonulatára, valamint a meridionális völgyekre minél több, rájuk merőleges irányú szelvényt fektettem

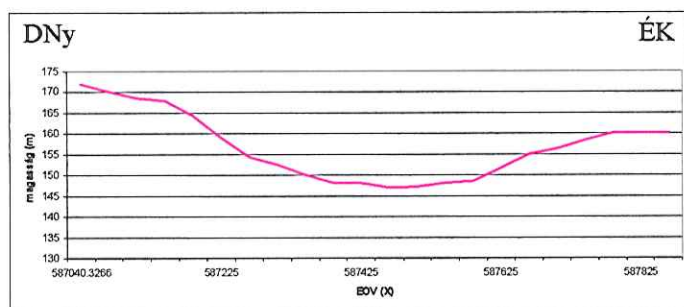
le.



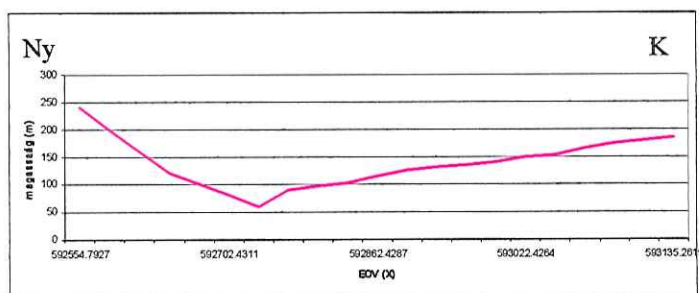
11. ábra: A keresztmetszvények nyomvonalai a vizsgált területen.



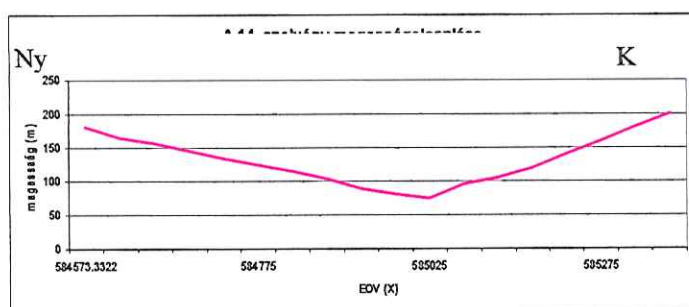
(A) 1. szelvény metszete



(B) 11. szelvény metszete



(C) 12. szelvény metszete



(D) 14. szelvény metszete

12. ábra: A vizsgált keresztaszelvények menti magasságváltozások. (1. blokk)

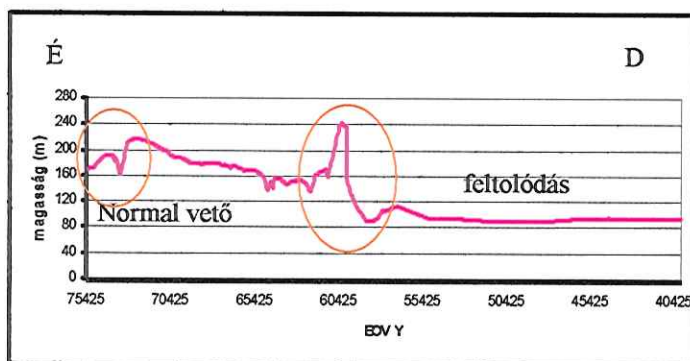
Az első blokk keresztaszelvényeit bemutató 12. ábra (A) jelű ábrarészletén, amely egy K-Ny-i lefutású szelvényt ábrázol a Pécsi-víz völgyétől a Máriakéménd-bári vonulatig (11. ábra). Jól látszik a Pécsi-víz völgyétől keletre lévő dombsági térszín hirtelen kiemelkedése, amely valószínűsíti a tektonikai aktivitás jelenlétét. A völgy irányában

geofizikai módszerekkel is igazolták a vető jelenlétét, sőt SCHWEITZER F. (1993) pleisztocénál fiatalabb tektonikus mozgásokat feltételez a völgy mentén.

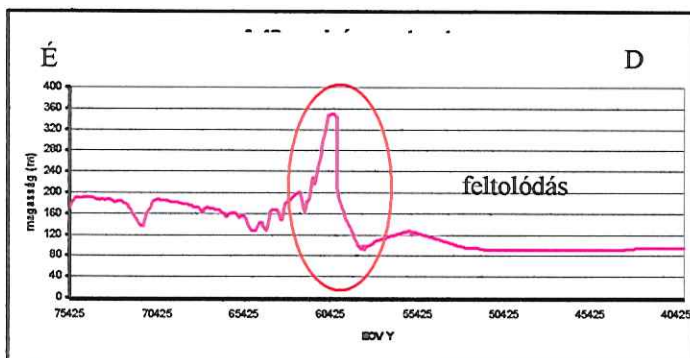
A völgytől keletre látható a Görcsönyi-hátság felszabdálódása, a meredek mély völgyeket kiemelt hátak tagolják. Ezek a völgyek a fiatal gyűrődések, emelkedések során a redőtengelyek közelében fellépő húzóerők következtében alakulhattak ki (SEBE K. 2009). A hirtelen változó magasságviszonyokat tükröző területektől keletre már szélesebb völgyközi hátak tagolják a helyenként 10-20 m mély völgyeket.

A (B) és (C) jelű ábrarészleteken érdekes aszimmetriát lehet látni. A Központi-patak (5. ábra) völgyétől keletre található völgyek keletre néző völgyoldalai a meredekebbek, míg a tőle nyugatra lévő völgyeknél (12. ábra, D), szintén erőteljes aszimmetria mellett, a nyugatra néző völgyoldalak a meredekebbek. Ezt a tényt a Központi-patakon keresztül húzott szelvények (15 db) mindegyike jelzi. Kialakulásuk, aszimmetriájuk tektonikus kibillenéshez köthető.

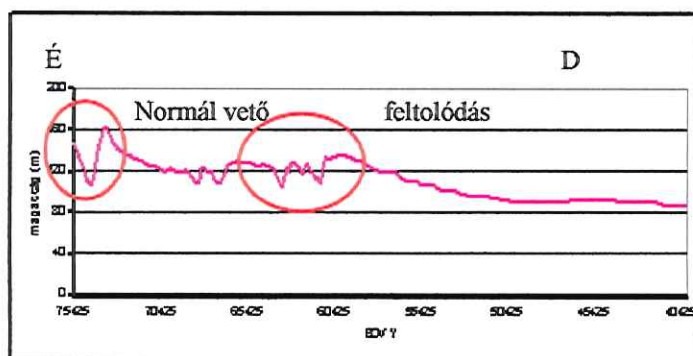
A második blokk digitális szelvényeit a 13. ábra szemlélteti. A 17. és 18. szelvények a Villányi-hegység fő gerincvonulatára merőlegesen lettek behúzva (11. ábra). Szépen látszik a Villányi-hegység meredek déli kiemelkedése és valamivel lankásabb északi lejtői.



(A) 17. szelvény metszete



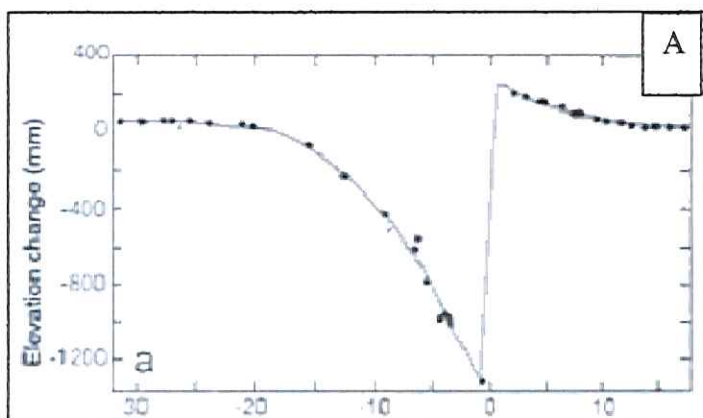
(B) 18. szelvény metszete



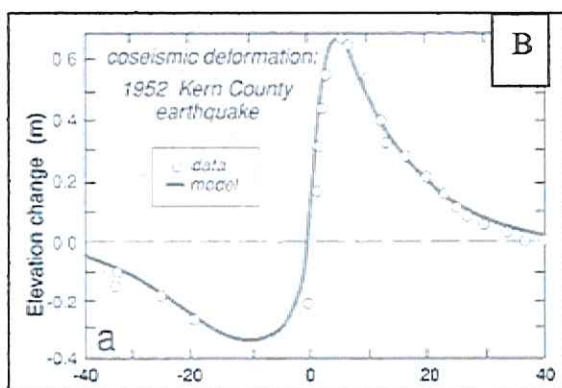
(C) 24. szelvény metszete

13. ábra: A vizsgált keresztaszelvények menti magasságváltozások (2. blokk).

A Villányi-hegység északi és déli részén is vetőket azonosítottak (WÓRUM G. 1999), amelyek, elnézve a déli oldalt, valószínűek. Amerikai kutatók megfigyelték, hogy a földrengések során a fedő-, és a fekvő blokkok eltérően mozognak egymáshoz képest, és ezek különböző morfológiát eredményeznek, attól függően, hogy normál vetőről, feltolódásról, avagy eltolódásról beszélünk (BURBANK, D. - ANDERSON, R. 2001). A normál vetőnél jóval gyakoribb jelenség, hogy a fedőblokk süllyed és ennek következtében a fekvőblokk emelkedik. Majd az emelkedését követően, a fekvőblokk erodálódni kezd és üledékei a fedőblokk előtéri süllyedékében halmozódnak fel (14. ábra A). A feltolódásnál a fedőblokk rátolódik a fekvőblokkra, ami ennek következtében süllyedni kezd és szintén egy előtéri medencét hoz létre (14. ábra B). Amíg azonban a normál vető előtt kialakuló medence meredek, domború lejtőkkel határolt, addig a feltolódásos süllyedéket lankásabb lejtők övezik (BURBANK, D. - ANDERSON, R. 2001). Ezeket a morfológiákat kerestem a keresztaszelvények vizsgálatánál, és sikerült is jó néhány fiatal tektonikára utaló jelet találnom. A 13. ábra szelvényein a Villányi-hegység déli részén feltolódásra utaló morfológiai formák láthatók. Érdekes, hogy a dél felé meredeken leszakadó hegység nem normál vetőt, hanem sokkal inkább reverz mozgásokat sejtet. A 13. (A) jelű ábrán egy normál vető és a völgyet határoló meredek, domború lejtők láthatók. A szelvény a tanulmányterület északi részén, a Görcsönyi-hátság É-D-i irányú felszabdalt völgyeitől K-re, egy K-Ny-i csapású völgyről készült (11. ábra). A Karasicától keletre található észak-déli csapású 13. ábra (C) szelvényen látszik a Máriakémed-bári vonulat meredek déli leszakadása és normál vetős aktivitást jelző morfológiája.



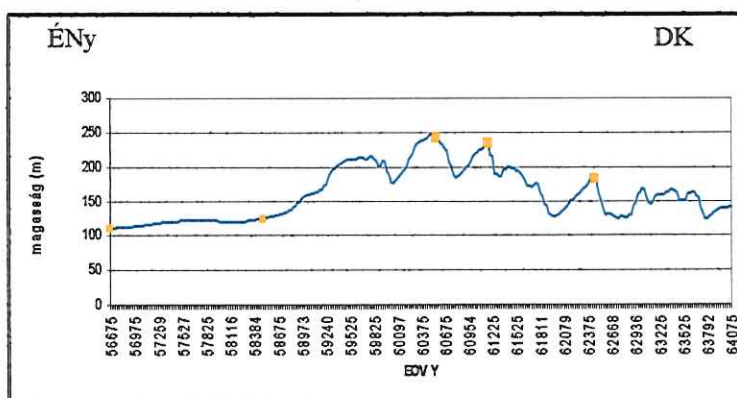
14. ábra: A normál vetős tektonikára utaló morfológia (A) és a feltolódást jelző morfológia (B). (BURBANK, D.- ANDERSON, R. 2001).



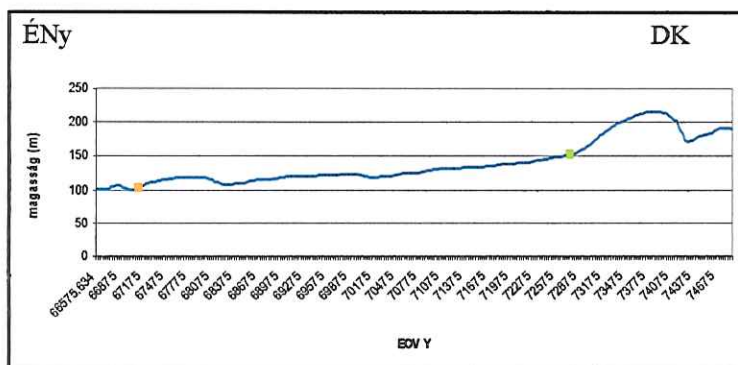
Jelmagyarázat: A fekete és fehér pontok a felvett adatokat jelölik.

Angol feliratok: Elevation change = Magasság változás; coseismic deformation = földrengéssel egyidejű deformáció

A harmadik blokk szelvényeit a 15. ábra mutatja. Ezeknél a szelvényeket a tektonikus vonalakra merőlegesen húztam be, hogy lássam, van-e valami változás a domborzatban a lineamentek környezetében. A szelvények nyomvonalát a 16. ábra szemlélteti.



(A) 36. szelvény metszete



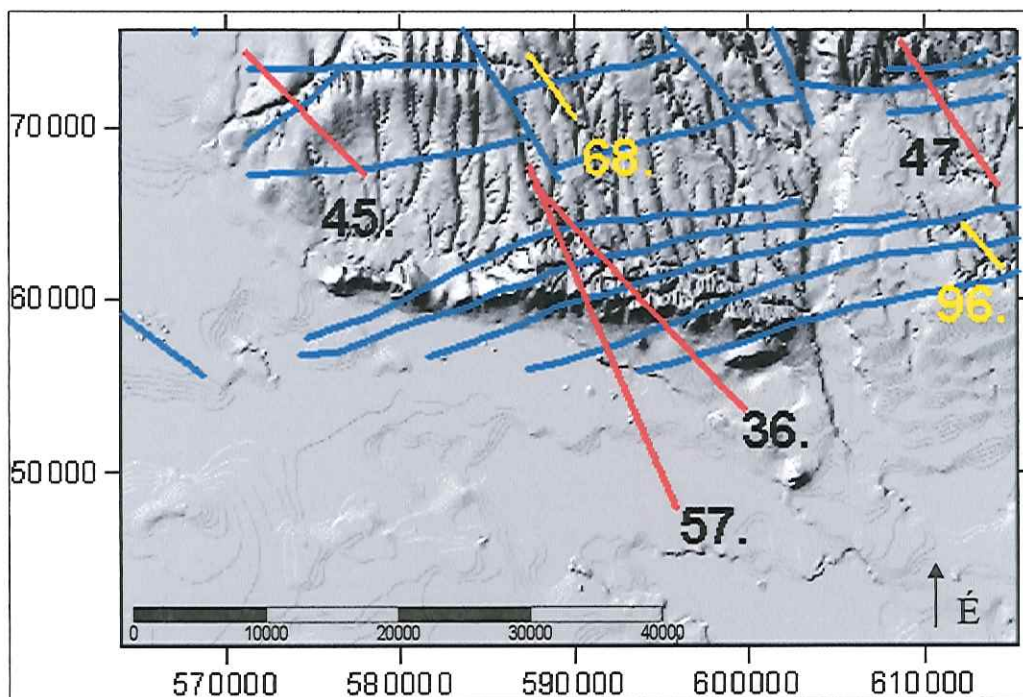
(B) 47. szelvény metszete

15. ábra: A tektonikus vonalakra merőlegesen lefektetett keresztmetszvények (3. blokk).

Jelmagyarázat: a színes négyzetek a tektonikus vonalak helyeit jelölik.

A 15. ábra (A) jelű szelvénye a Villányi-hegység pikkelyfrontjaira merőlegesen helyezkedik el (16. ábra). A pikkelyek a gerinceken futnak és előterükben található a feltolódásos tektonikára utaló süllyedékek. A völgyek kivétel nélkül a pikkelyvonalak előterében helyezkednek el, ezzel erősítve a tektonikai preformáltságot.

A 15. ábra (B) jelű szelvénye is feltolódásos morfológiát jelez a töredezett völgyek előterében, a Karasicától keletre lévő leszakadó, lépcsős domborzaton (11. ábra).

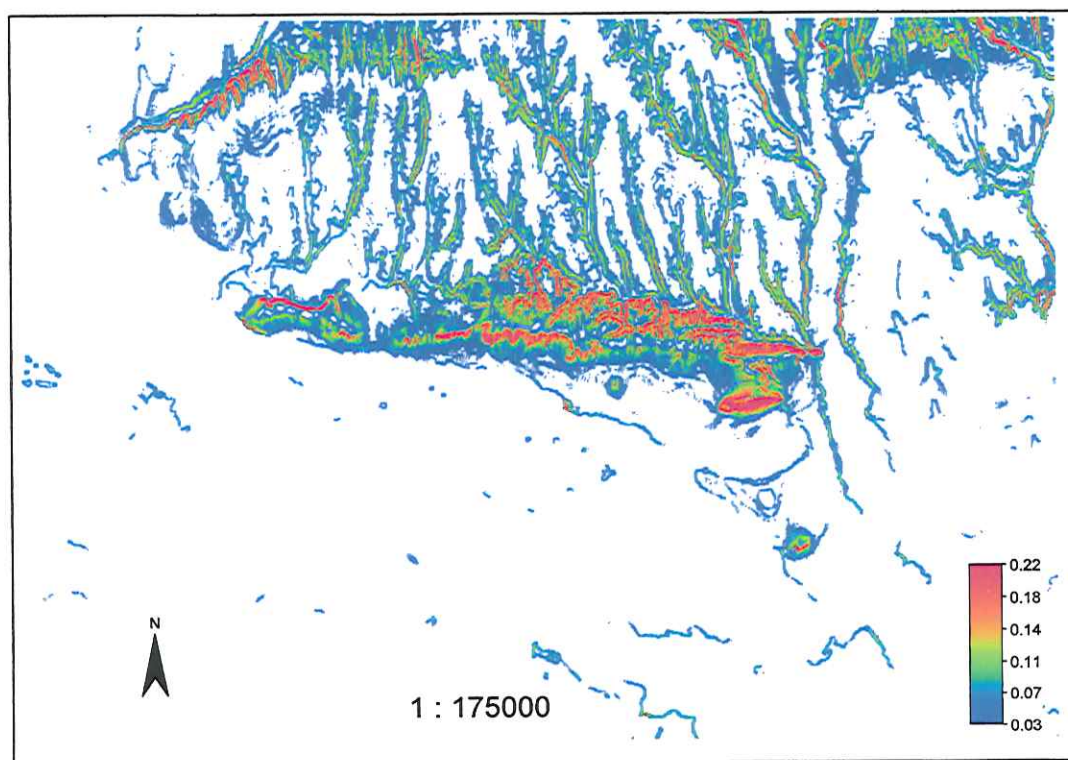


16. ábra: A tektonikus vonalakra merőlegesen behúzott keresztmetszvények nyomvonalai. Az aránymérték méterben értendő.

Jelmagyarázat: a sárga vonalak a transzverzális vetőkre merőleges, a piros vonalak a tektonikai vonalakra behúzott szelvényeket jelölik.

4. 4. A kutatási terület reliefenergia térképének értelmezése

A reliefenergia számítási módszerét már a morfológiai módszereknél ismerttettem (lásd 2.2.1.pontnál). A relief térkép szemlélteti, hogy a Villányi-hegység és a meredek, meridionális völgyek, valamint az őket határoló völgyközi hátságok mentén közepes, illetve magas reliefenergia jellemző ($0.5-0.6 \text{ m/m}^2$) (17. ábra). A Villányi-hegység esetében érthető is, hiszen a Dráva-medencéből hirtelen kiemelkedő szigethegységről van szó, amely igen mély, szurdokszerű völgyekkel tagolt. A hegység déli oldalán látható a tetőfelszínek meredek, déli irányú leszakadása. A Baranyai-dombság völgyeinek, gerinceinek magasabb értékei a fiatal üledékek kisebb ellenálló képességével magyarázhatók.



17. ábra: A tanulmányterület reliefenergia térképe.

Megjegyzés: A mértékegység m/m^2 . Az aránymérték méterben értendő.

Az eolikus lösszel borított térszínen igen nagy a vertikális tagoltság, köszönhetően a lösz vertikális állékonyságának. Gyakoriak a löszmélyutak, horhosok, amelyek helyenként 8-10 m mélyek (1. kép). A térképen az is látszik, hogy a mellékvölgyek sokszor tagoltabbak, meredekebbek, mint maguk a fővölgyek. A Dráva-medencében és dombságot övező lankásabb térszínen az alacsony reliefenergia uralkodik (17. ábra).



1. kép: 4-6 m-es lösz mélyút a Villányi-hegység déli előterében.

4. 5. A különböző morfogenetikájú felszínek elkülönítése

A domborzatmodell alapján leválogatott, csúcsokhoz rendelt magassági értékekhez tartozó pixelszámok szerint elkülöníthetővé váltak a különböző magasságokban található felszínek. WEIN GY. - LOVÁSZ GY. (1974) több geomorfológiai szintet is elkülönített a Villányi-hegység területén. 180 m-es magasságban - kutatásaik alapján - egy pleisztocén korú hegylábi félsík övezi a Villányi-hegységet. 240 m és 300 m-es magasságban feldarabolódott pannóniai korú abrázíós fennsíkokat feltételeznek, amelyek a fiatal tektonikai mozgások során különböző mértékben emelkedtek meg. Ez utóbbi felszíneket tartják a Villányi-hegység tetőszintjeinek.

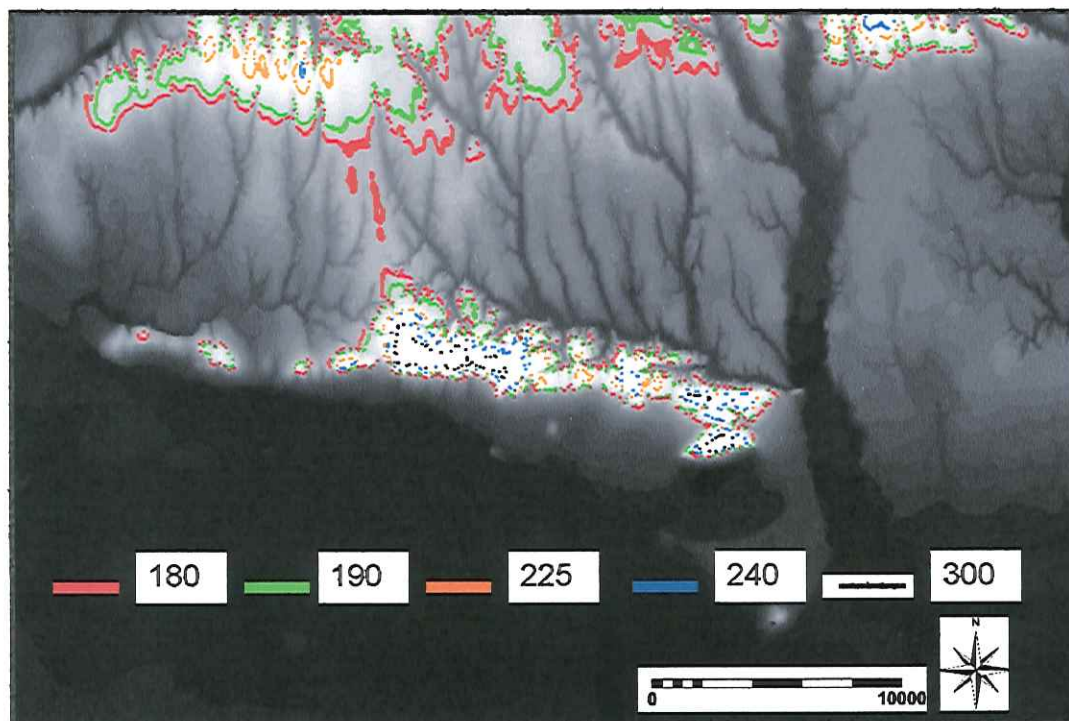
Az elvégzett műveletek alapján úgy tűnik, sikerült igazolni térinformatikai módszerekkel is ezeket a szinteket, amelyek jól egybeestek a WEIN GY. - LOVÁSZ GY. (1974) által azonosított különböző genetikájú felszínekkel. A 18. ábrán látszanak az egyes felszínek, amelyek különböző magasságokban helyezkednek el. A Villányi-hegységet övező piros pontok a 180 m magasságban elhelyezkedő hegylábi félsíkot jelölik. A 240 és 300 m magasságban lévő szintek pedig a szétdarabolt abrázíós felszíneket mutatják, amelyek egyben valóban a Villányi-hegység legmagasabb szintjeit jelentik (18. ábra).

A Baranyai-dombság területén elkülönített szintek kevésbé egyeztek a szerzők terepi megfigyeléseivel. Például a 180 m magasságban található szint sokszor 10 km-re is eltávolodott a dombság gerincvonulatától. Itt a csúcsok elkülönítése sem volt egyszerű feladat, hiszen a domborzat a völgyek kivételével kevésbé változatos, így ami egy-egy területen csúcsot jelentett, az a többi területen egyáltalán nem. Ezért kevésbé tudott

egységes, a valósághoz közelebb álló, „övszerű” megjelenés létrejönni. A módszer tehát főleg a hegységi területen volt alkalmazható, ahol viszont kihozta és igazolta az eltérő genetikájú szinteket.

A különböző felszínformák elkülönítését a GRASS 6.3. Raster/Terrain analysis/Terrain parameter/feature moduljával készítettem el. A GRASS 6.3. is több programcsomagból áll, ezt a modult WOOD, J. (1996) fejlesztette ki. 3*3-as illetve 5*5-ös ablakmérettel dolgoztam, a jobb eredményt az utóbbi mérettel kaptam. A nagyobb konvolúciós mátrix esetében láthatóvá váltak a domináns formák, a völgyek és a gerincek. Kisebb ablakméret esetén, átláthatatlan lett a térkép, a kisebb formák teljesen eltorzították a domborzat meghatározó elemeit.

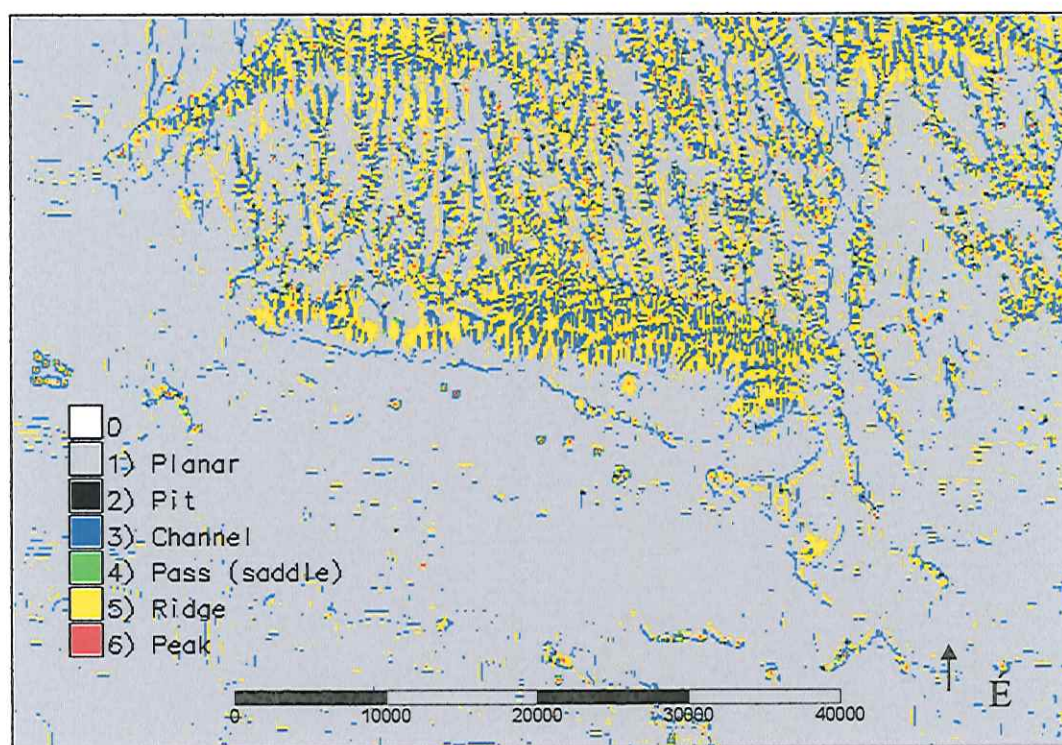
A nagyobb konvolúciós mátrix esetén kevesebb csúcs adódott, bizonyítván - amit a morfogenetikai felszíneknél kiemeltem -, hogy a hegységi és a völgyekkel szabdaltságot kivételével, nincsenek domináns csúcsok, nemcsak kisebb, hanem ennek megfelelően nagyobb ablakméret esetében sem. A modul hat felszínformát különített el: 0. ahol nincs adat, 1. a sík területek, 2. a süllyedékek, 3. a völgyek, 4. a nyergek, 5. a gerincek, 6. a csúcsok (19. ábra). A vizsgált terület 1 %-án nincsen adat, 78 %-a sík, 0,2 %-a süllyedék, 9 %-a völgy, 0,5 %-a nyereg, 11 %-a gerinc és 0,3 %-a csúcs.



18. ábra: A különböző morfogenetikájú felszínek elkülönítése. (Az aránymérték méterben értendő.)

A területeloszlás %-os arányai jelzik, hogy a felszín nagy része sík, vagy a rossz interpoláció miatt még adat sincs. A vizsgált terület Villányi-hegységtől északra lévő részein jelentek meg a változatos felszínformák. Főként a gerincek és a völgyek vonalait lehet követni. A Villányi-hegységben látszanak a fő gerincvonulatok, valamint a hegység előterében lévő meridionális völgyek, hátak.

A vízhálózat elemzésénél a süllyedékek és a sík területek elkülönítésére, feltöltésére egy másik módszert, a TOPAZ beépített függvényeit alkalmaztam, annak érdekében, hogy a vízfolyások lefolyása zavartalanabb legyen.



19. ábra: A tanulmányterület különböző felszínformái.

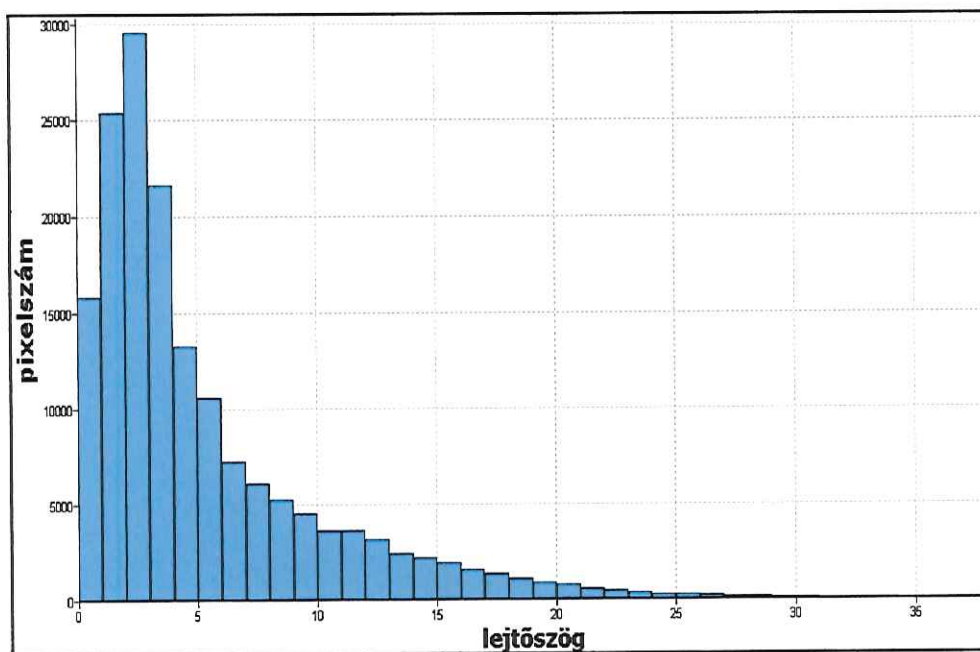
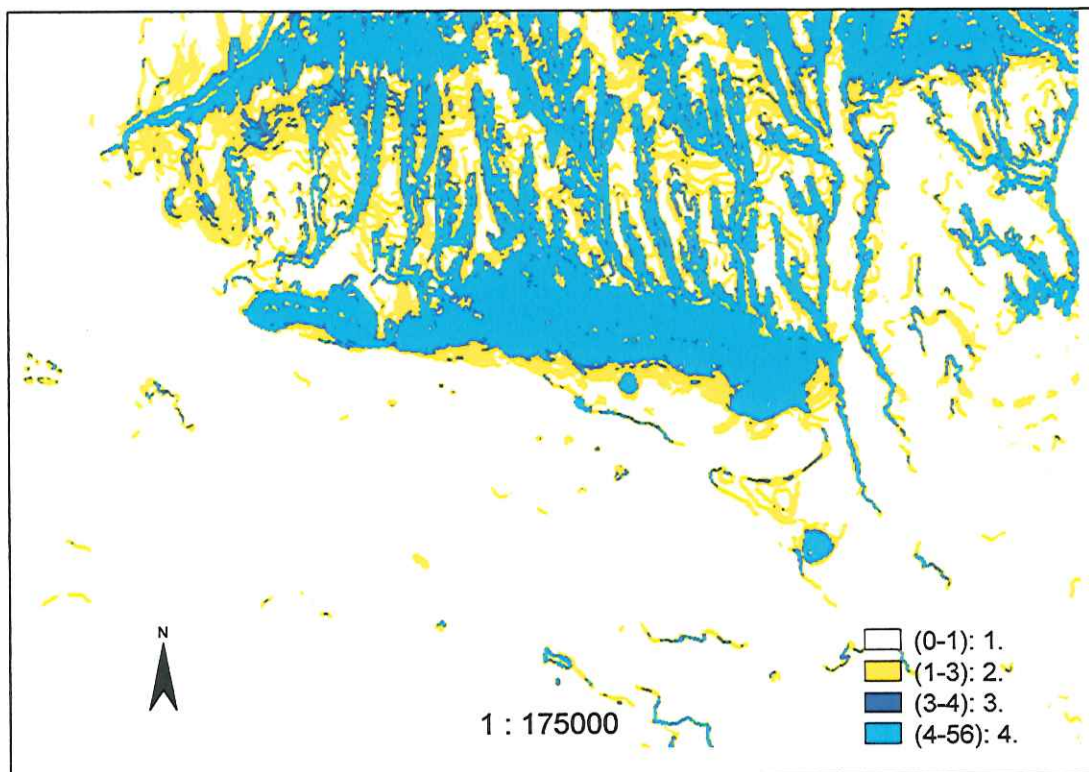
Jelmagyarázat: 0: nincs adat, 1): sík területek,

2): süllyedékek, 3): völgyek, 4): nyergek, 5): gerincek, 6): csúcsok). Az aránymérték méterben értendő.

4. 6. A terület lejtésviszonyai

A magassági értékek első parciális deriváltjai a lejtőszögek. A lejtőszögek kiszámításának módszerét már ismertettem. Ebben a részben már csak az eredménytérképeket mutatom be. Ismertetésre kerül a teljes és a részterületek osztályozott lejtőtérképe is. Az osztályozás a módszerek részben ismertett, simított kumulatív hisztogramok elvágásával

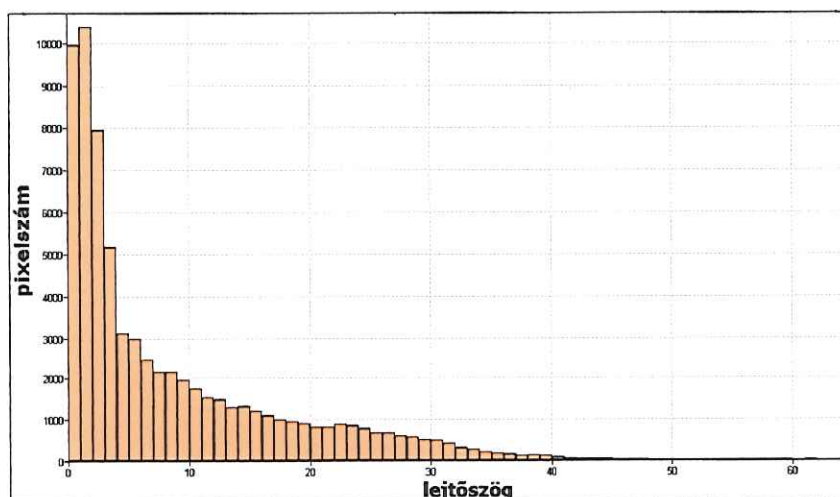
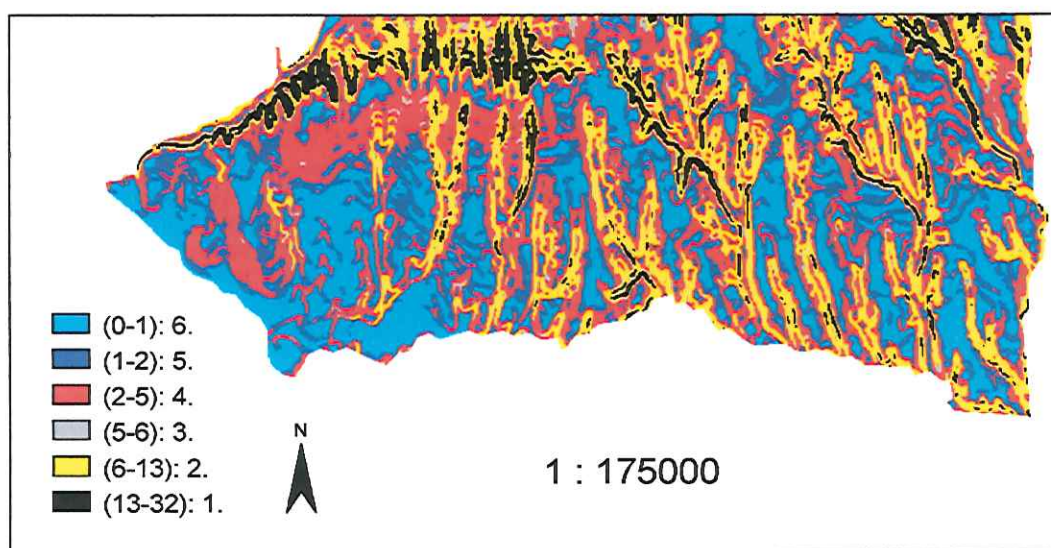
történt. A teljes terület esetében 4 kategóriát különítettem el. Viszonylag alacsony lejtőkategóriák adódtak (3 kategória is 4° alatt), köszönhetően a Dráva-medence sík területeinek (20. ábra). A legtöbb pixel is az alacsony lejtőszög értékeknél jelentkezett. Így a lejtőkategóriákat megvizsgáltam külön-külön az alterületekre is.



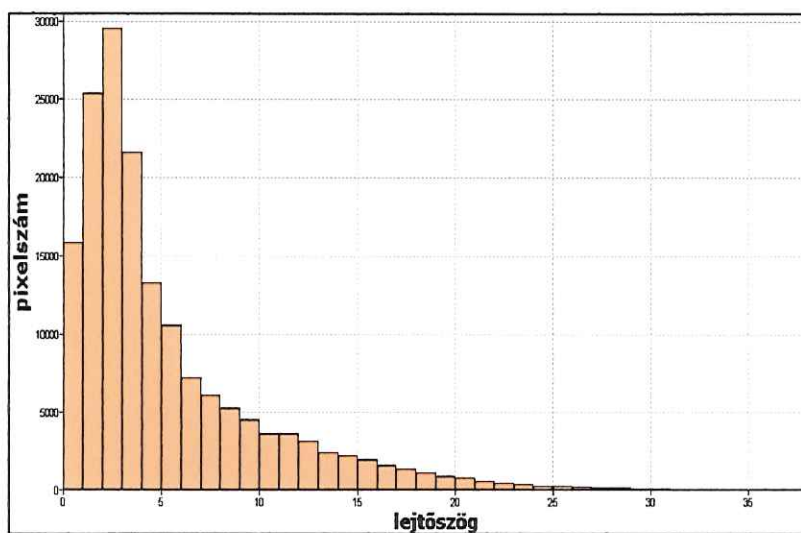
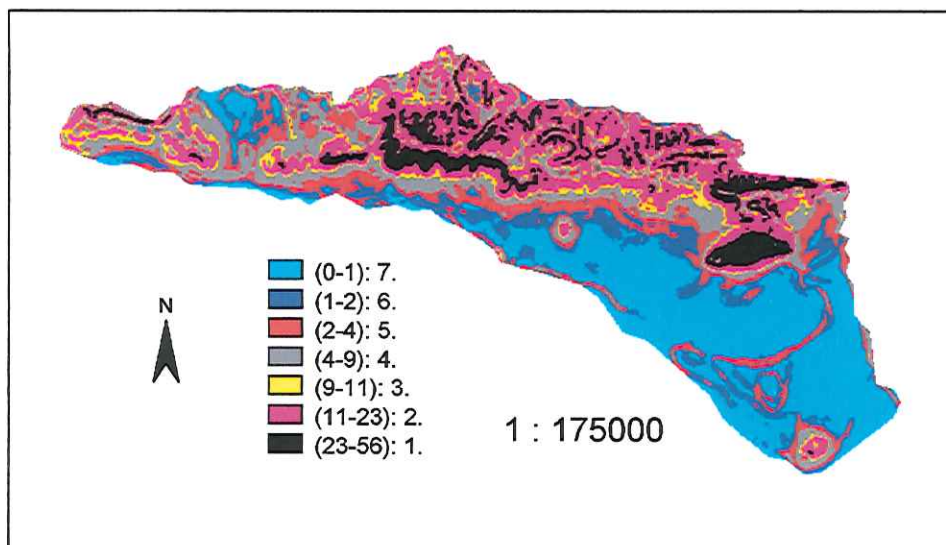
20. ábra: A teljes terület lejtőkategória térképe és hisztogramja. A lejtőszögek fokokban értendők.

A I. vizsgálati részterületen, a Villányi-hegységben, 6 lejtőkategóriát hoztam létre (21. ábra). A térképen láthatók a tetőfelszíneket határoló meredek lejtőkategóriák, amelyek a hegység déli oldalát sávszerűen övezik (2. kép). Jól láthatók a Szársomlyó meredek északi és déli lejtői ($23-56^\circ$), a beremendi rög hirtelen kiemelkedése a síksági tájból. Érdekes, hogy a Villányi-hegységhez tartozó Kis-hegynek (Villányi-hegység nyugati része) nem a déli lejtői, hanem az északi lejtői tűnnek a meredekebbnek (21. ábra).

A II. részterületen (7. ábra) a közel meridionális völgyek, eróziós, meredek lejtőszögekkel rendelkeznek ($13-32^\circ$). Itt is látható, ami a relief térképen is, hogy sokszor a mellékvölgyek még meredekebbek is, mint maguk a fővölgyek. A digitális szelvényeken kivehető az erőteljes völgyaszimmetria, ami a lejtőkategória térképen is jelentkezik. A Központi-pataktól (lásd 5. ábra) nyugatra lévő völgyek nyugatra néző völgyoldalainak lejtőszögei változnak intenzívebben (fekete sávok helyzete), amíg a pataktól keletre lévő völgyek kelet felé néző völgyoldalai a meredekebbek (21. ábra). Ezek a tények szintén erősíthetik a terület igen fiatal tektonikus kibillenését.



Baranyai-dombság



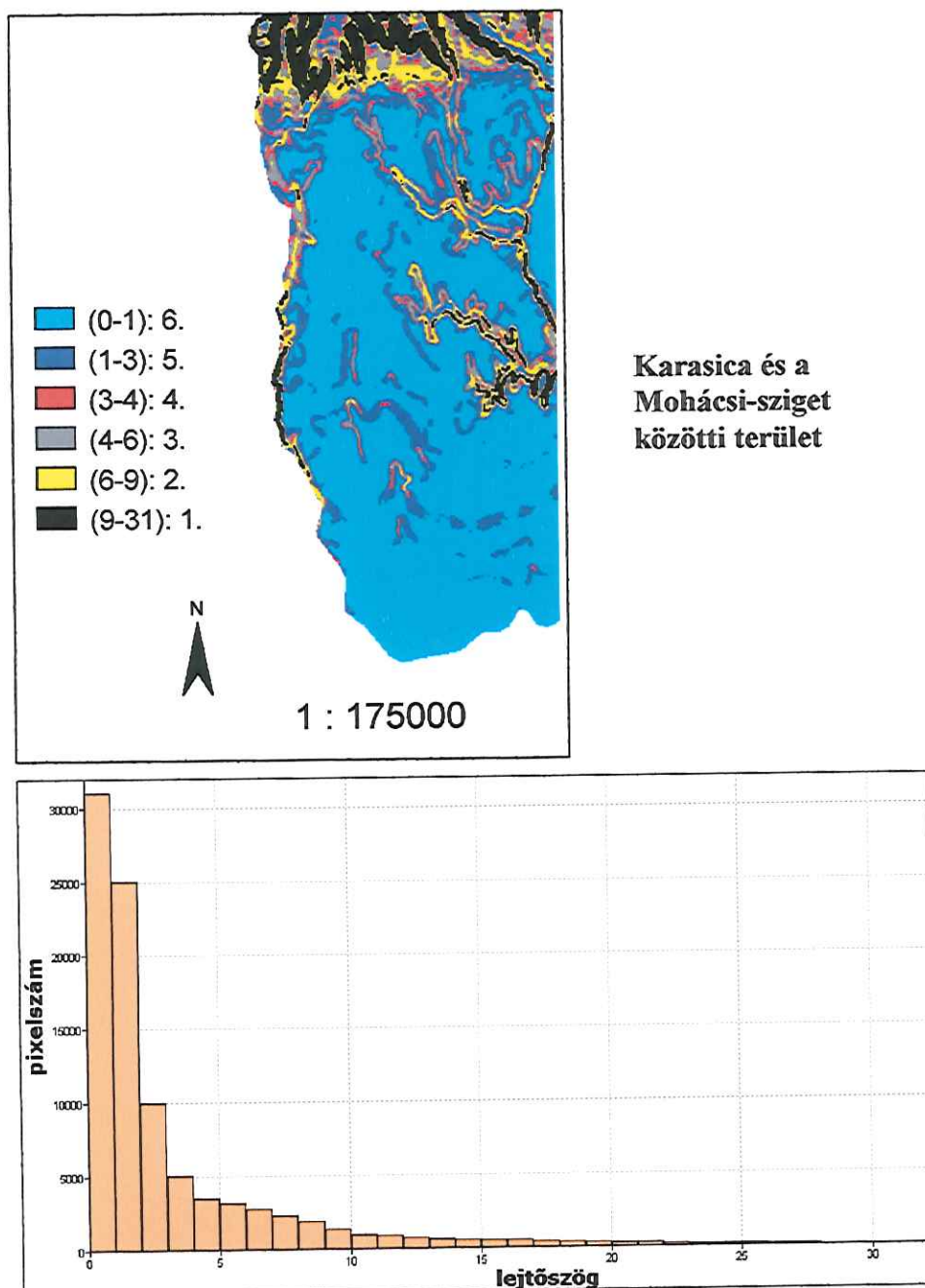
Villányi-hegység

21. ábra: (A) Az I. és a II. részterület lejtőkategória térképei és hisztogramjai. (A lejtőszögek fokokban értendők.)

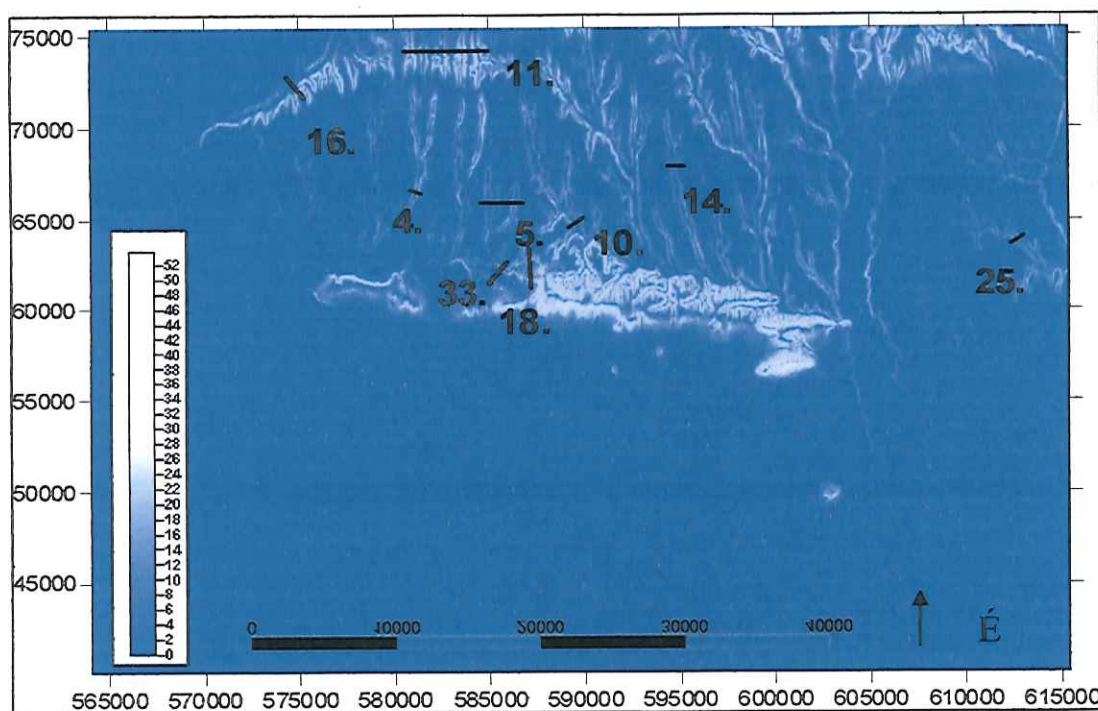


2. kép: A Villányi-hegység meredek, délies kitettségű lejtői.

A III. részterületen 6 kategóriát hoztam létre. A Karasicától keletre a Máriakéménd-bári vonulat dél felé meredeken leszakadó lejtőit láthatjuk ($9-31^\circ$) (22. ábra). Emellett feltűnik egy töredezett alakú völgy is a Mohácsi szigettől nyugatra, amely már csak a morfológia alapján is sugallja a tektonikus preformáltságot. A részterület dél felé lejt, nagy része alacsony lejtőszögekkel rendelkező terület ($0-1^\circ$).



22. ábra: A III. részterület lejtőkategória térképe és hisztogramja.
(A lejtőszögek fokokban értendők.)



23. ábra: A lejtőszög térkép és a szelvények nyomvonalai.

(A lejtőszögek fokokban, az aránymérték méterben értendő.)

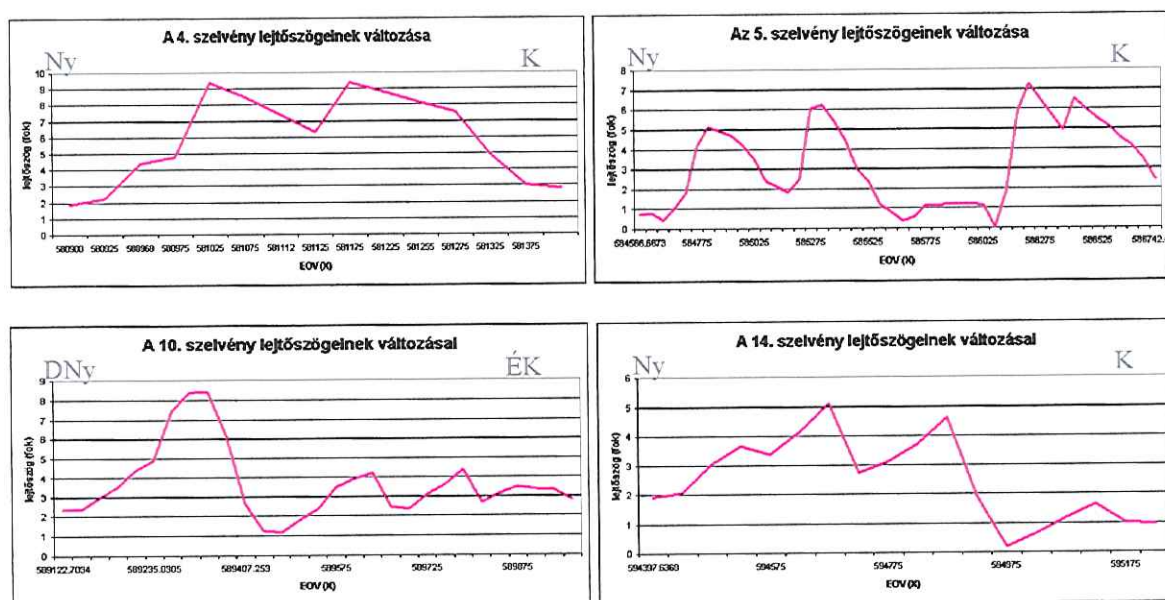
A teljes terület lejtőszög térképén is készítettem keresztshelvényeket, a különböző morfológiai elemek lejtőviszonyainak elemzéséhez. A 23. ábrán látható a szelvények nyomvonala, amelyek közül a Központi-patakon keresztül húzott, a pataktól nyugatra és keletre található egy-egy szelvényt mutatok be, hogy megnézzük, hogy a lejtőszögek tekintetében is tapasztalható-e az az aszimmetria, ami a magassági keresztshelvényeken látható volt.

Itt is igyekeztem a különböző morfológiai elemekre merőlegesen behúzni a szelvényeket, hogy a lehető legvalósabb képet kapjam a lejtőszög változásáról.

A domborzat alapján berajzolt keresztshelvényeken a Központi-pataktól (5. ábra) nyugatra lévő völgyeknek a nyugatra néző völgyoldalai voltak a meredekebbek, míg a keletre lévőeknek a keletre néző völgyoldalai. Érdekelt, hogy a lejtőszögtérképen behúzott szelvények is igazolják-e a változást. A kiválasztott 4. és 5. szelvény a Központi-pataktól nyugatra található (24. ábra). Kiválóan látszik, hogy a völgyek nyugatra néző völgyoldalai mentén sokkal intenzívebb a lejtőszög változása, mint a keletre néző völgyoldalak esetében. A 10. szelvény éppen az általam szerkezeti határnak minősített

Központi-patakon fut keresztül, és szintén igazolja a változást. A 14. szelvény is keletre található és hasonló képet mutat, mint az első váltást jelző 10. szelvény (24. ábra).

A pataktól kezdődően a keletre néző völgyoldalak lejtőszög változásai a jelentősebbek. Ugyan ez volt tapasztalható a magassági keresztmetszvényeken is, tehát a váltás a Központi-patak völgyétől bizonyítottan tűnik.



24. ábra: A keresztmetszvények lejtőszögeinek változásai.

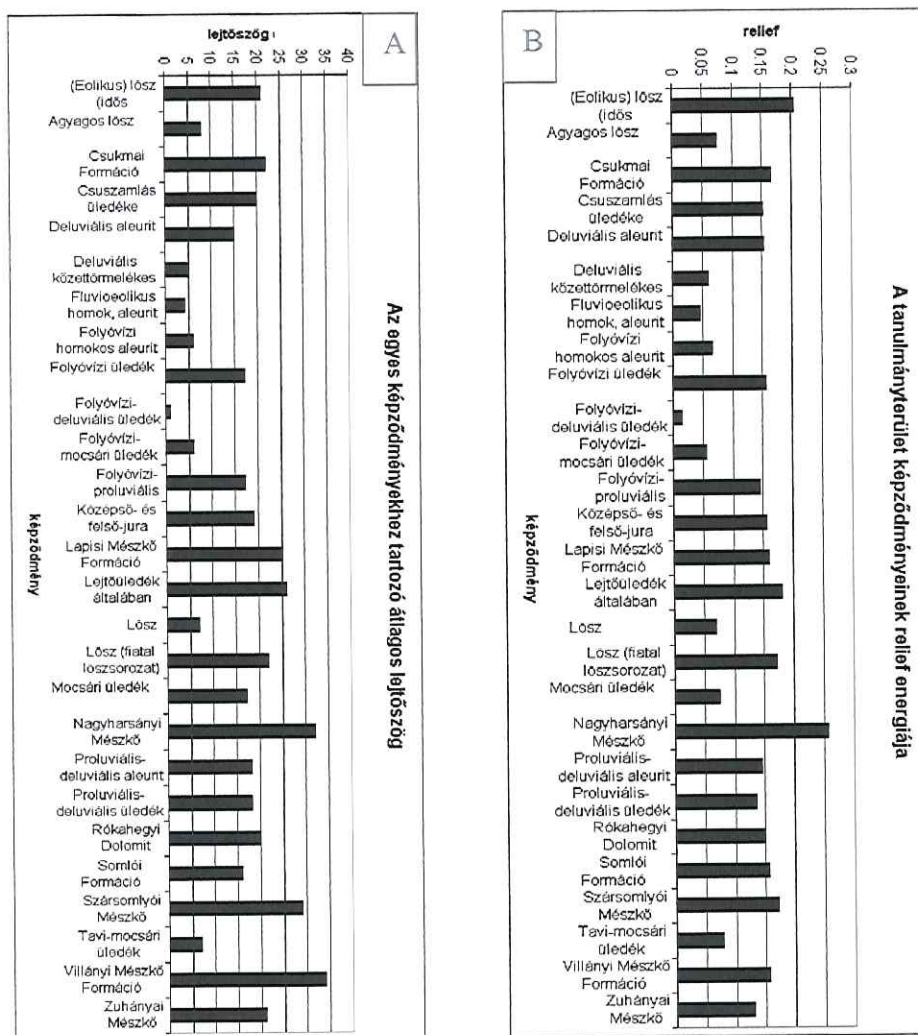
4. 7. Az egyes geológiai képződmények morfológiai tulajdonságai

A fedett földtani térkép alapján megvizsgáltam, hogy a tanulmányterületen belül miként változnak, illetve milyen morfológiai tulajdonságokkal rendelkeznek az egyes üledékek. Két paraméternek vettem az átlagát, az egyik a lejtőszög, a másik a relief energia volt. Hasonló eredményeket kaptam.

Az átlagos lejtőszög tekintetében a karbonátos képződmények kiemelkednek (25-35°-os lejtőszög), miután jóval konszolidáltabbak, ellenállóbbak, mint a fiatal, laza üledékek. A lejtőüledékek és a löszök is viszonylag magas értékekkel rendelkeznek (>20°). A folyóvízi és a tavi-mocsári üledékek rendelkeznek a legkisebb értékekkel (5-10°) (25. ábra, A).

A relief energia tekintetében hasonló a helyzet, elsősorban a karbonátos kőzetek értékei a kimagaslóak, de mellettük az eolikus lösz is jelentős relieffel bír, amely a lösz vertikális állékonyságával magyarázható (25. ábra, B).

Összefoglalva: az elvárásoknak megfelelő eredményt adtak az egyes kőzetek morfolometriai tulajdonságai, amelyek főként az üledékek konszolidációjától, ellenálló képességétől, szerkezetétől, összetételétől függenek.



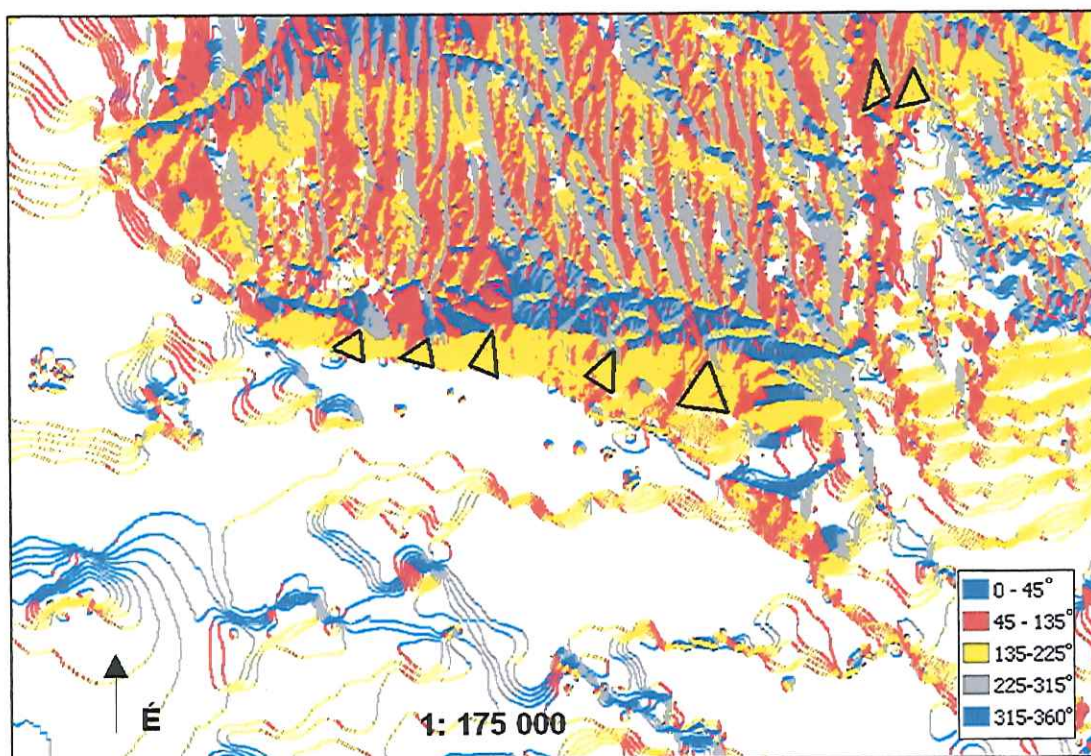
25. ábra: Az egyes geológiai képződmények morfolometriai paraméterei.

Megjegyzés: a lejtőszögek fokokban, a relief energia m/m^2 -ben értendő.

4. 8. A lejtőkitettségi térkép

Egy adott pixel körüli legmeredekebb lejtőszöggel bíró pixel orientációja maga a lejtőkitettségi irány. A kitettségi térkép prezentálja, hogy a Villányi-hegységben alapvetően az észak-déli, a Baranyai-dombság területén a K-Ny-i orientációjú lejtők dominálnak. A Villányi-hegység pikkelyeinek csapásiránya mentén kivehetők a kitettségi

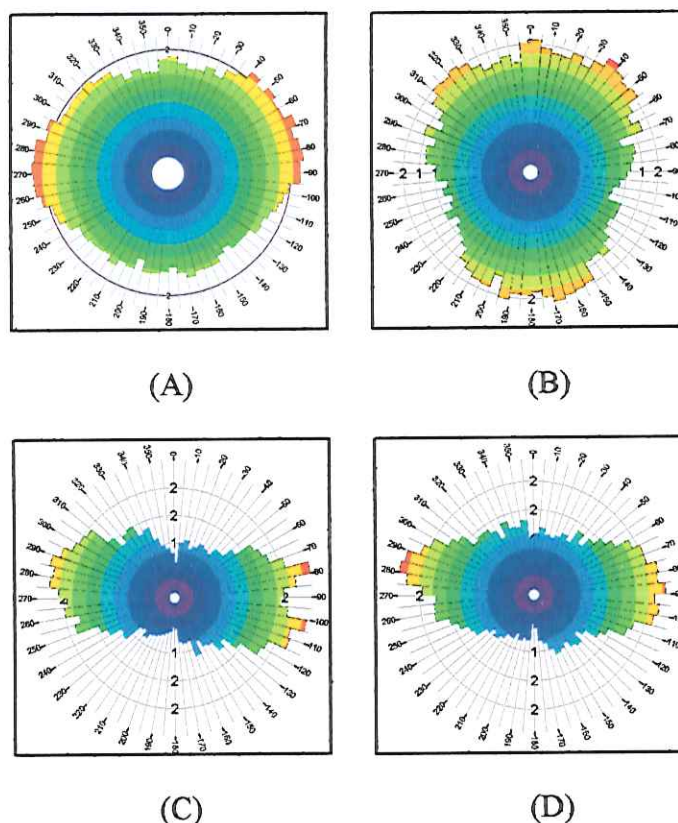
irányok változásai, jó az egyezés a pikkelyek tektonikus határai és a lejtőkitettség változásai között. Hasonlóan a Pécsi-víz völgye mentén is. A térképen feltüntettem az ún. háromszög alakú vasalótalpakat, amelyek kezdetleges, a hegységből kiszaladó vízfolyások által felszabdalt térszínek, és egységes lejtőkitettségi iránnyal és lejtőszöggel rendelkeznek. A lejtőkitettségi térképen lehet őket a legjobban azonosítani és megfiataluló domborzatra, kiemelkedésre utalnak (LÓCZY D. 2008). Ezek többnyire a Villányi-hegység déli, meredekebb lejtőin figyelhetők meg, de a Máriakéménd-bári vonulat déli irányban történő leszakadása mentén is előfordulnak (26. ábra).



26. ábra: A tanulmányterület lejtőkitettségi térképe. A kitettségi irányok fokokban értendők.

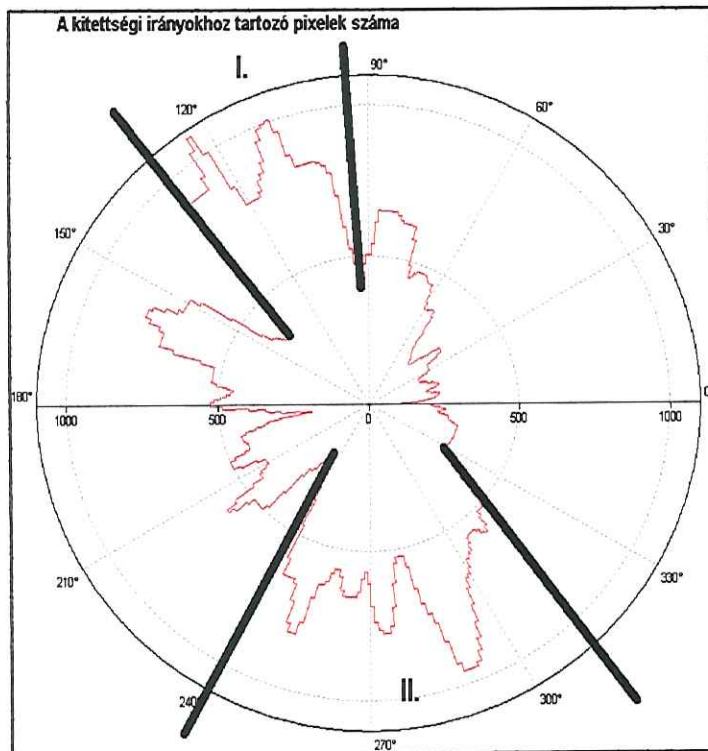
Jelmagyarázat: a fekete háromszögek az ún. vasalótalpakat jelölik.

A teljes területre és a részterületekre is elkészítettem a lejtőkitettségi irányok eloszlását (27. ábra). A rózsadiagramok alapján a teljes területen nagyjából 50-50% arányban az É-D-i és a K-Ny-i orientációjú lejtők a legjelentősebbek. Az első a Villányi-hegység K-Ny-i csapásirányának, míg az utóbbi a Baranyai-dombság területén található É-D-i csapású meridionális völgyek miatt dominál. A III. részterületen, vagyis a Karasícától keletre szintén a K-Ny-i kitettség a meghatározó.

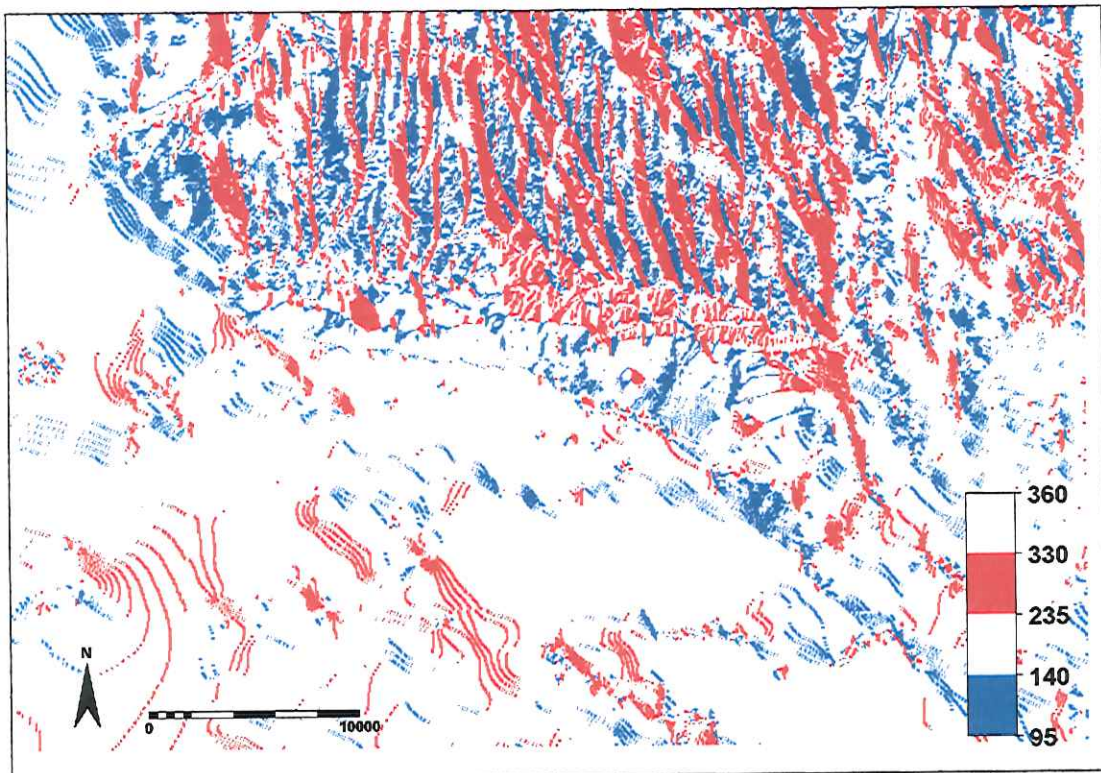


27. ábra: A teljes terület és a részterületek lejtőkitettség irányainak eloszlása.
 (A): teljes terület, (B): I. részterület - Villányi-hegység, (C): II. részterület - Baranyai-dombság,
 (D): III. részterület - Karasícától keletre lévő terület).

Elvégeztem a teljes terület lejtőkitettségi térképének osztályozását is. A domináns osztályok meghatározása a módszerek fejezetben bemutatott eljárással történt. A 28. ábrán látható, az 5RSSH módszerrel simított térkép alapján készített rózsadiagram, ami az egyes kitettségi irányokhoz tartozó pixelek számát mutatja. A két domináns kitettségi osztály a DK-i, illetve a Ny-ÉNy-i volt. Az egyes maximum irányokhoz több mint 1000 pixel tartozott. A 29. ábra térképe már csak a két fő osztályhoz tartozó területeket ábrázolja. Szépen látszanak a Baranyai-dombságnál található meridionális völgyek irányai, a Villányi-hegység pikkelyeinek pásztái, valamint a térkép ÉNy-i részén a Pécsi-víz völgye.



28. ábra: A simított
lejtőkitétségi térkép kitétségi
irányaihoz tartozó pixelek
száma a domináns osztályokkal.

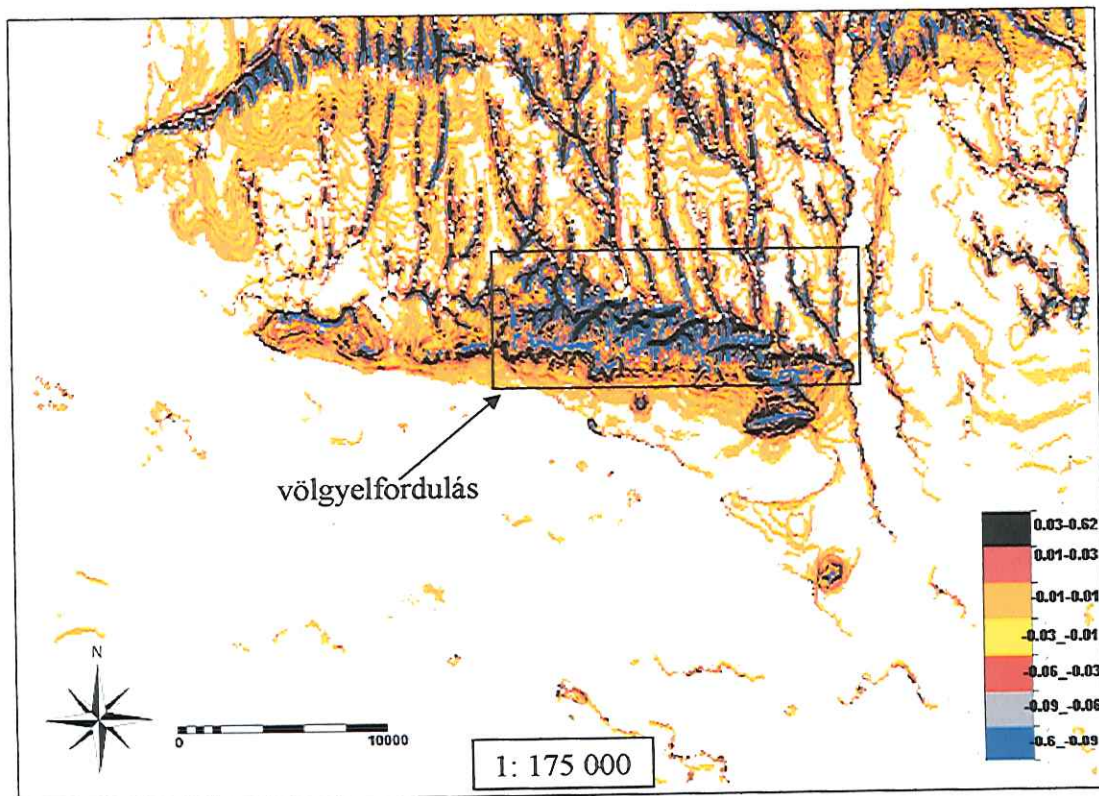


29. ábra: Az osztályozott lejtőkitétségi térkép, csak a domináns osztályokhoz tartozó irányokkal.
Megjegyzés: Az irányok fokokban értendők. Az aránymérték méterben értendő.

4. 9. A lejtőirányú görbületi térkép bemutatása

A magassági értékek második deriváltja megadja a felszín görbületét. Az általános görbület mellett a lejtőirányú- és az ún. síkgörbületet is szokás meghatározni. Mindhárommal számoltam, de a lejtőirányú görbületi térkép a legalkalmasabb a domborzat jellemzésére és a lejtőletörések detektálására (30. ábra).

Az eredeti térképet 3*3 cellás maszkkal simítottam, hogy a tendenciák jobban érzékelhetők legyenek. A lejtőirányú görbületi térkép alkalmas a különböző völgyformák elkülönítésére, az éles, bevágódó völgyek a homorú tartományban (negatív értékek), a feltöltődő sík talpúak és a sík területek 0-hoz közeli tartományokban vannak. A domború formák (pl.: gerincek, kúpok) görbületi értékei a pozitív tartományban helyezkednek el. A térképen érzékelhető, hogy a völgyek nagy része erősen bevágódó, konkáv jellegű (0.03 - 0.62 értéket vesz fel), a mellékvölgyek maguk is igen eróziós jellegűek (30. ábra). Helyenként a szakaszjelleg változása is tapasztalható a meridionális völgyek mentén. Szembetűnnek a Villányi-hegység gerincvonulatai és annak negatív görbületi értékei [-0.6-(-0.09)], valamint völgyei és annak pozitív értékei (0.03-0.62), valamint meredek déli lejtőletörései, amelyek sávyszerűen övezik a hegységet, és jó egybeesést mutatnak a lejtőkategória térkép osztályaival (30. ábra).



30. ábra: A kutatási terület lejtőirányú görbületi térképe. Az aránymérték méterben értendő.

Ezen a térképen is látszik, hogy a Villányi-hegység fő vonulatától elkülönülő Kis-hegy északi peremletörései az intenzívebbek. A Villányi-vonulat északi előterében kijönnek a töredezett alakú völgyek, de hasonló morfológiájú szögletes völgyek figyelhetők meg a Karasicától keletre lévő területen, közel a Mohácsi-szigethez, valamint a Karasicától nyugatra lévő területeken is, ahol helyenként S alakú elnyírásra utaló morfológia is megjelenik.

A Villányi-hegységben a kulissaszerűen elhelyezkedő S alakú völgyek nyugati irányban történő kinyílása, elfordulása, elnyíródása, és egy nyugati irányú völgyelfordulás is látható (30. ábra).

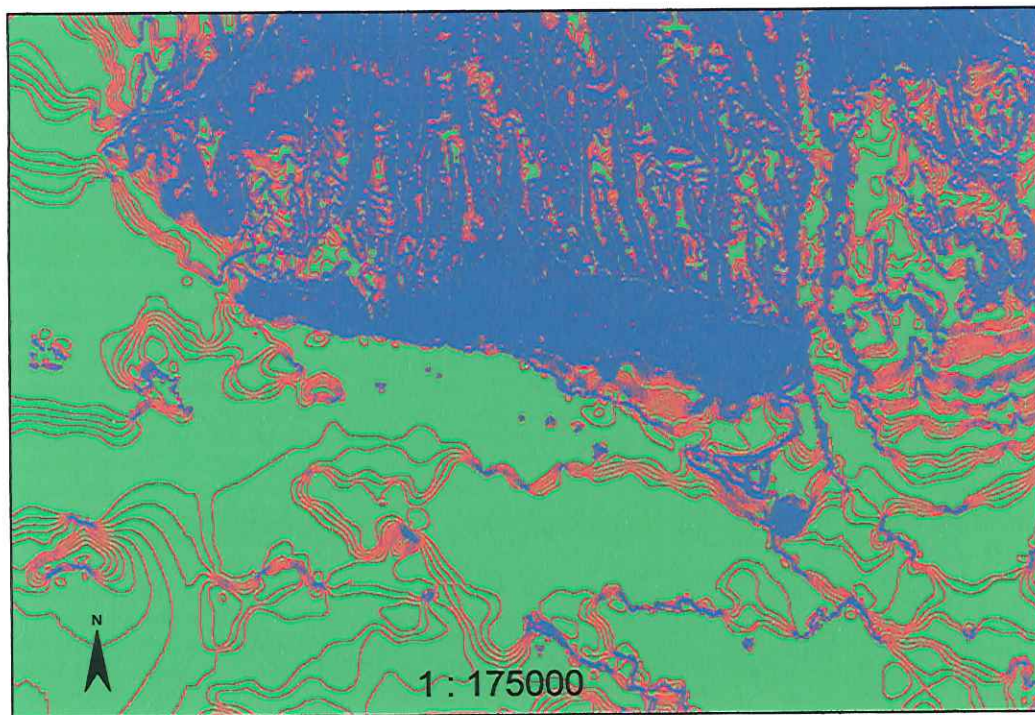
A felszingörbületi térképen a völgyek intenzívebben jelentkeznek, ami a DAVIS- féle eróziós ciklusban is a domborzat megfiatalodása, a régebbi tönkfelszínek újbóli kiemelkedése esetén jellemző.

4. 10. A vízhálózat elemzése

A vízhálózat elemzés előtt a legfontosabb feladat egy ún. depressziómentes DEM előállítás. Meg kellett keresnem a domborzatmodellen található sík területeket, ahonnan a víz nem tud elfolyni. Háromféle sík terület létezik:

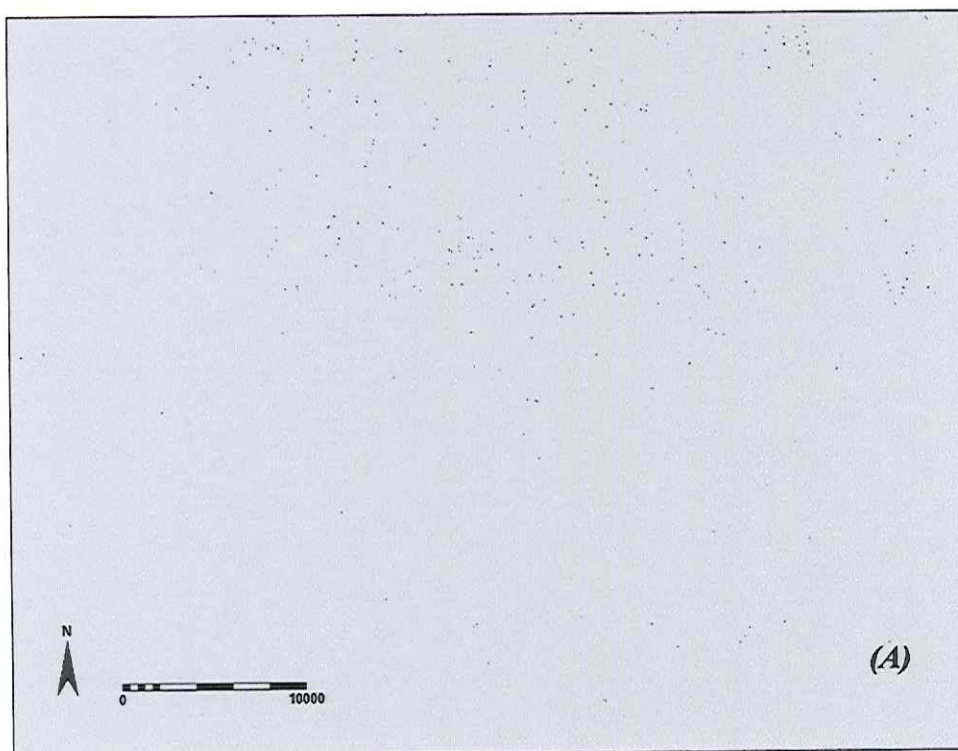
- a totál sík és a környezetében is sík terület
- az ún. inflow flat területek, amelyek vizet ugyan kapnak, de levezetni már nem tudják azt.
- az ún. outflow flat területek, amelyek vizet nem kapnak a szomszédos területekről, de levezetni képesek lennének azt.

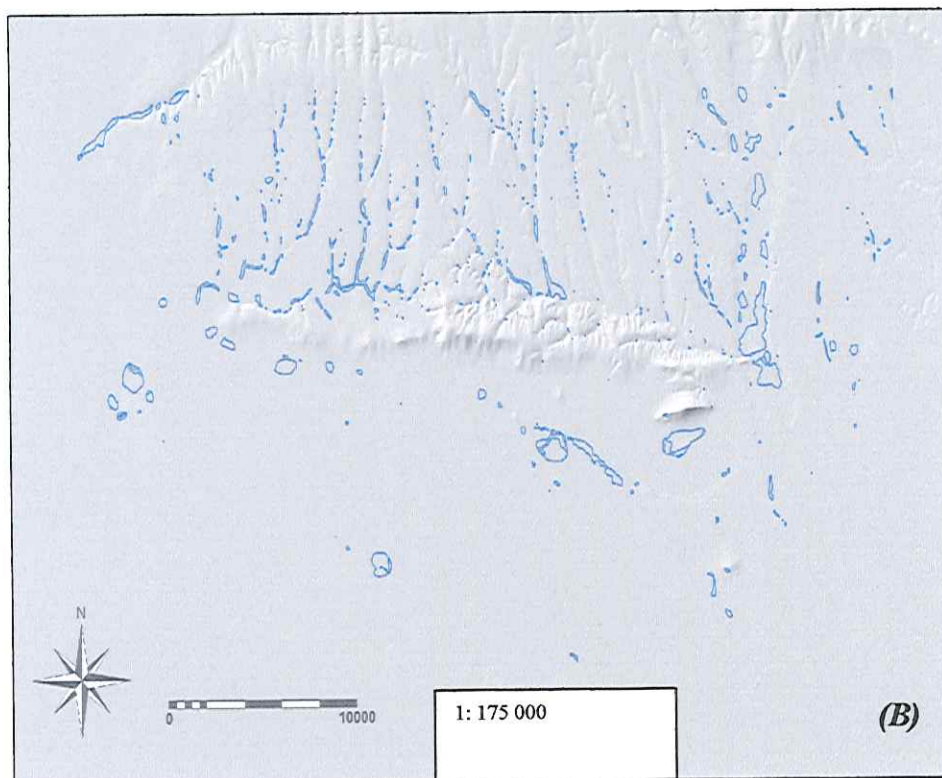
Az inflow és outflow felszínek jellemzően hegységek, kiemelkedések lábánál, élénkebb és sík felszínek határánál fordulnak elő. Tehát először a sík területeket azonosítottam (31. ábra). Ezek a területek a Dráva-medencére korlátozódnak elsősorban, az inflow-, és outflow területek pedig a dombsági és síksági tájak találkozásainál jelentkeznek. A vizsgálatok alapján a kutatási terület 70 % - a tartozik a sík területek körébe. Meg kellett vizsgálnom, hogy a lokális mélyedések hol helyezkednek el, hiszen a hidrológiai modellszámításnál ezek a tényezők is zavarólag hatnak, és befolyásolják a vízfolyások áramlási viszonyait. Ez a „nagyobb, mint” módszer alapján történt: megnéztem, hogy egy 3*3-as mátrixban az adott pixel értéke-e a legkisebb, ha igen, akkor azt lokális mélyedésként kezeltem. A lokális süllyedések elhelyezkedését mutatja a 32. ábra.



31. ábra: A sík területek elhelyezkedése. (Az aránymérték méterben értendő.)

Jelmagyarázat: zöld szín: teljesen sík terület, narancssárga: inflow flat, piros: outflow flat, kék: nem sík terület.





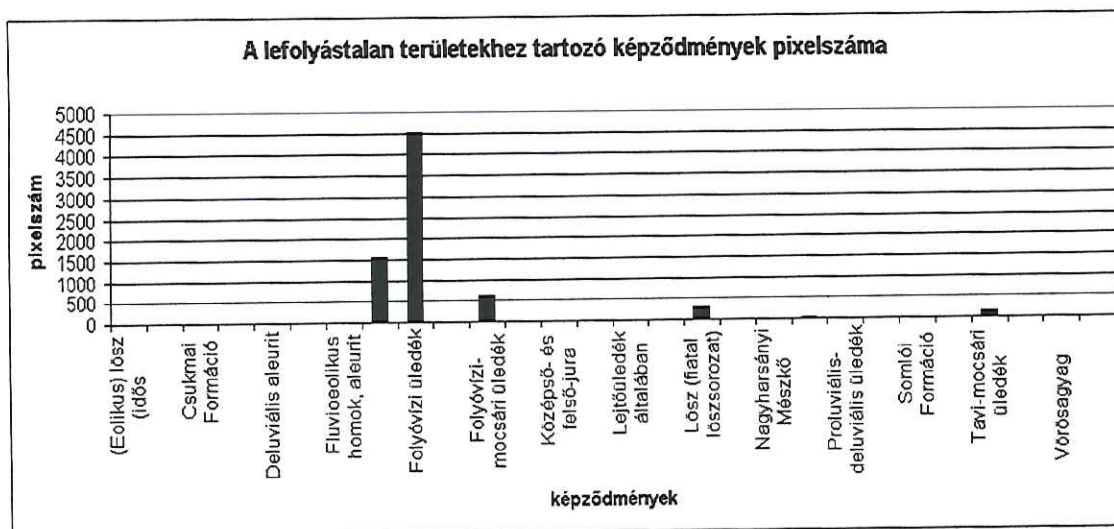
32. ábra: A lokális süllyedékek (A) és a lefolyástalan területek (B) elhelyezkedése.

(Az aránymérték méterben értendő.)

Jelmagyarázat: a fekete, apró pontok jelölik a süllyedéseket, a kék körvonalak a lefolyástalan területeket.

A lokális mélyedések 0,04 % - t alkották a teljes vizsgált területnek, jórészt a völgytalpak mentén fordultak elő. A sík és a lokális süllyedékek elkülönítése mellett meghatároztam, hogy hol helyezkednek el a lefolyástalan területek és milyen geológiai képződményekhez köthetők.

Ezek a területek elsősorban a völgytalpakhoz köthetők és többnyire folyóvízi üledékeken alakulnak ki (33. ábra). Ez érthető is, hiszen az agyagosabb, finomabb frakciójú, helyenként vízzáró folyóvízi üledékek és a völgytalpakon kifejlődött lágyszárú társulások, puhafa ligeterdők képesek a víz útjába állni és lassítani a lefolyást.



33. ábra: A lefolyástalan területek elhelyezkedése és a hozzájuk köthető üledékekhez tartozó pixelek száma.

A süllyedések, sík területek kiszűrése és feltöltése a *TOPAZ* szoftver segítségével történt. A program a domborzat alapján elkészítette a terület paleo-vízhálózatát (34. ábra). A vízhálózati térképen piros színnel feltűntettem a recens vízfolyásokat is.

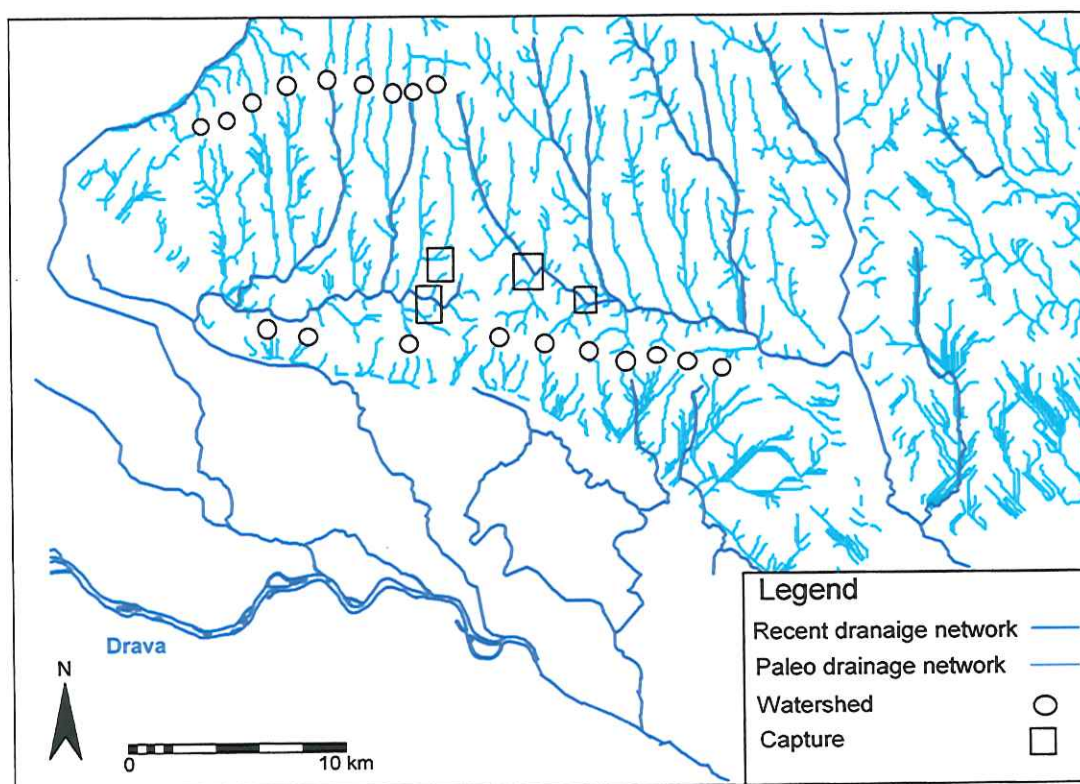
A Baranyai-dombságtól északra enyhén párhuzamos a hálózat, a Villányi-hegységben helyenként dendrikus, máskor szögletes, töredezett. A III. részterületen szintén töredezett, amely erősen sugallja a tektonikus preformáltságot.

A vízfolyások a Baranyai-dombságban - II. részterület - ÉÉNy-DDK-i lefutásúak, a Villányi-hegységben - I. részterület- változatos, de döntően ÉK-DNy-i orientációjúak, egy K-Ny-i másodlagos maximummal.

A modellen feltűntettem a domborzat fiatal emelkedésének következményeit és hatását a jelenlegi vízhálózatra. Látszik, hogy a Görcsönyi-hátság fiatal emelkedésének következményeként a II. részterület ÉNy-i részén egy vízválasztó jött létre (34. ábra), amely azt eredményezte, hogy a kiemelt háttól délre található É-D-i csapású völgyek aszóvölgyekként élnek tovább, és csak egy-két völgyben csordogál a víz. Valószínűleg az emelkedésnek tudható be a Pécsi-víz antecedens völgyének kialakulása is, a háttól nyugatra. A Görcsönyi-hátság fiatal kiemelkedése miatt a Pécsi-víznek el kellett hagynia eredeti futásirányát (ezt bizonyítják a Görcsönyi-hátság északi előterében megtalált mecseki eredetű folyóvízi hordalékok), így vette fel a ma is látható ÉK-DNy-i csapását,

majd a hátság további emelkedésével lépést tartva, a tektonikus mozgások következtében kialakította mai aszimmetrikus völgyét. A hátságtól délre található vízfolyásoknak szintén kapcsolata lehetett a mecseki területekkel, mert a hátság északi részén mecseki eredetű folyóvízi hordalékkúpokat találtak (SCHWEITZER F. et al. 1993)

Hasonló a helyzet a Villányi-hegység esetében. Az inverzió kezdetével (pliocén) a Kárpát-medence területét többirányú kompressziós erőhatások érik (BADA G. et al. 2007). Ennek következtében a hegységi területek emelkednek, amelyet GPS-es adatokkal is igazoltak (GRENERCZY GY. et al. 2005), míg a síksági területek laposszögű normálvetők mentén tovább süllyednek. Ennek következtében a Villányi-hegység a pannóniai korszaktól, illetve a pliocéntól kezdődően folyamatosan emelkedik, a pikkelyeződés felújul, amit egy ÉK-DNy-i irányú rövidülés kontrolál (PETRIK A. 2009). Így a korábban a Villányi-hegységet átvágó patakok, vízfolyások nem voltak képesek lépést tartani a hegység fiatal emelkedésével, és egy vízválasztó gerinc jött létre (34. ábra).



34. ábra: A paleo-, illetve a recens vízhálózat (sötétkek vonalak) a kaptúrákkal (fekete téglalapok), vízválasztókkal (fekete körök).

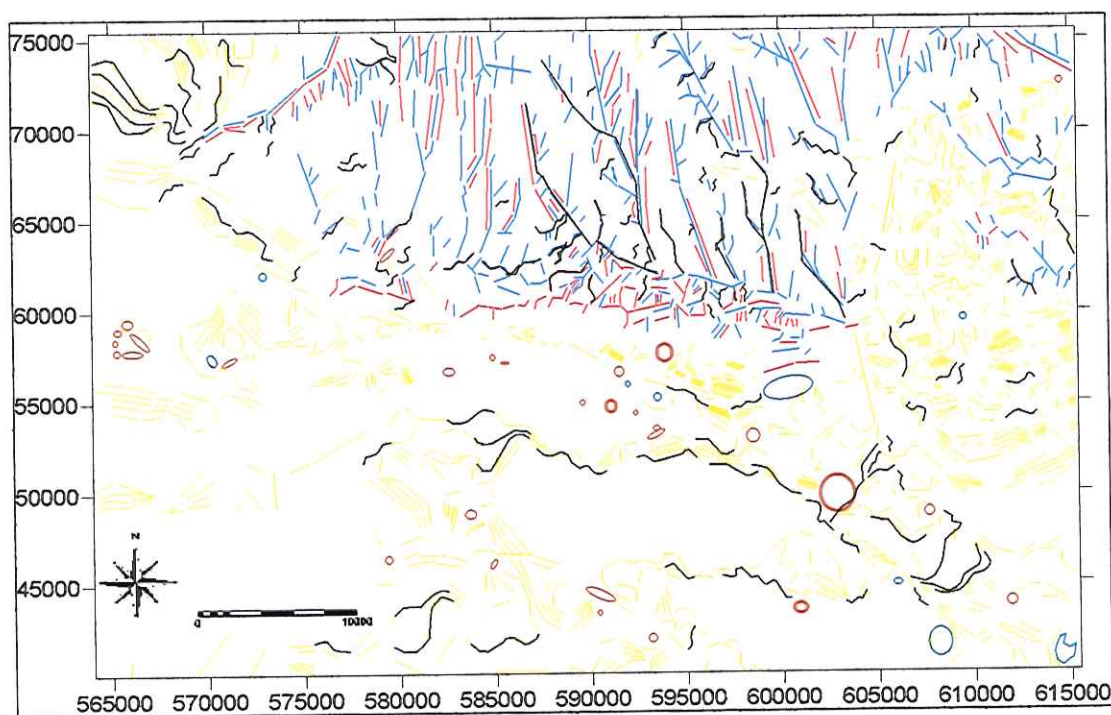
Angol feliratok: Recent drainage network = jelenkori vízhálózat; Paleo drainage network= paleo vízhálózat; Watershed=vízválasztó; Capture=kaptúra

A Központi-patak, mint szerkezeti határon folyó vízfolyás, gyűjti össze a Villányi-hegység előterében a vizeket. A vízfolyások helyenként el is vonszolódtak, sőt néhány kaptúrát is lehet látni. A Villányi-hegység ÉNy-i részén a töredezett völgyek mentén is láthatók a kaptúrák jelei, sőt a fiatal kiemelkedés miatt itt is kikerülnek a vízfolyások a hegység fő vonulatát.

4. 11. A lineamensek elemzése

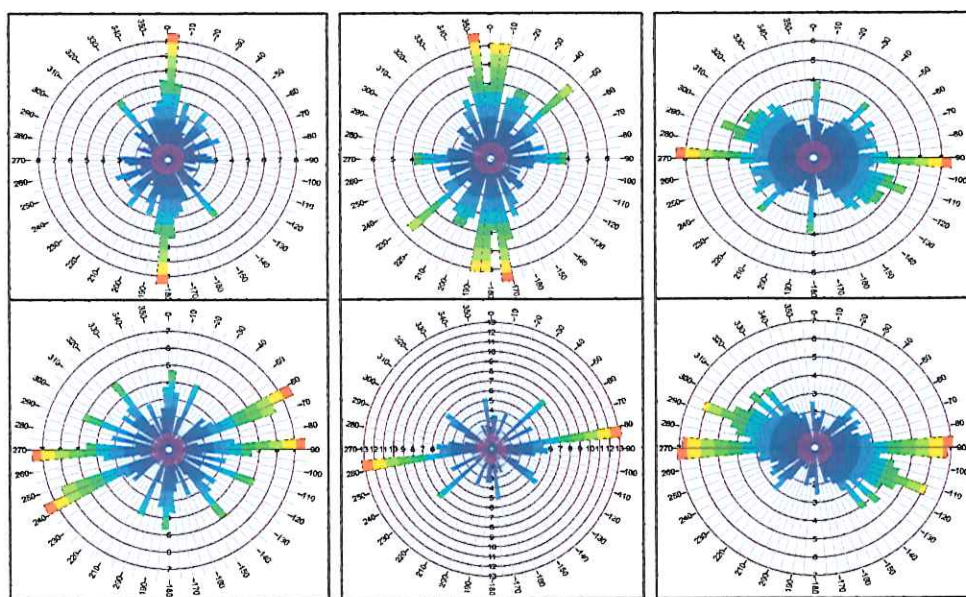
Az árnyékolt domborzatmodell alapján kézi digitalizálás során behúztam a völgyek, a gerincek, illetve a lejtőtörések vonalait. Különböző megvilágítási irányokat alkalmaztam.

Az árnyékolt domborzatmodell alapján kézi digitalizálás során behúztam a völgyek, a gerincek, illetve a lejtőtörések vonalait. Különböző megvilágítási irányokat alkalmaztam, majd összesítettem az így berajzolt lineamenseket egy egységes térképbe (35. ábra).



35. ábra: A tanulmányterület morfológiai lineamens-hálózata. Az aránymérték méterben értendő.
Jelmagyarázat: kék szín: völgyek, piros szín: gerincek, sárga szín: lejtőtörések, piros körök: kúpok.

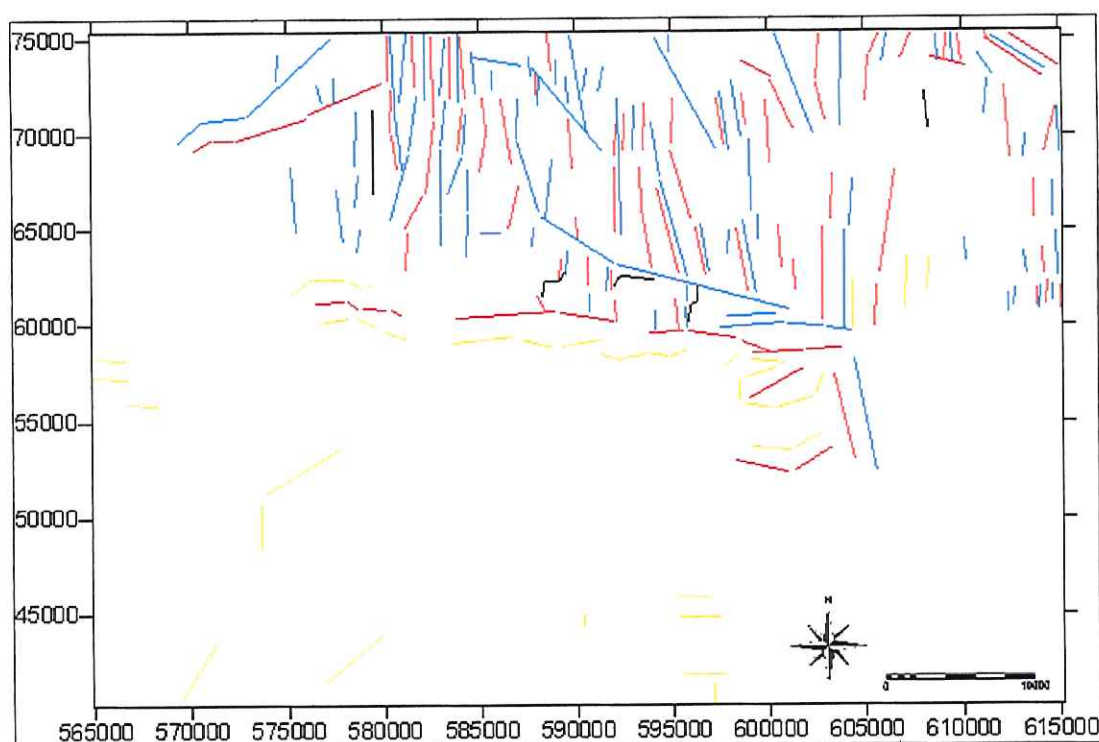
A völgyhálózat *lineamensei* nagy hasonlóságot mutatnak a 34. ábrán látható paleo-vízhálózati elemekkel (kék vonalak). A Baranyai-dombságban az É-D-i orientációjú, egymással párhuzamos völgyhálózat, a Villányi-hegységben az egymásra merőleges, helyenként rácsos, főleg É-D-i és erre merőleges völgyhálózat a tipikus (35. ábra). A Karasicától keletre lévő területeken (III. részterület) szintén megjelenik a rácsos, szögletes völgyhálózat. A teljes terület völgyeinek irányeloszlása É-D-i, hosszirányeloszlása ÉK-DNy-i irányt mutat (36. ábra). A gerincek esetében hasonló a helyzet, mint a völgyeknél. A meghatározó gerincvonulatok követik a mély, eróziós jellegű völgyhálózatot. Irányeloszlásuk É-D-i, hosszirányeloszlásuk K-Ny-i maximumot mutat, köszönhetően a Villányi-hegység hosszan elnyúló K-Ny-i csapású gerincvonulatának (36. ábra). A lejtőtörések döntően a Villányi-hegységtől délre lévő területeken, illetve a Karasicától keletre lévő lépcsős felszínek mentén jelentkeztek. Mind irány-, mind hosszirányeloszlásuk K-Ny-i maximumot jelez (36. ábra). Különösen a Villányi-hegység közvetlen déli előterében, a síksági terület és a hegység határán lehetett egy markáns kelet-nyugati orientációjú lejtőtörést detektálni.



36. ábra: A völgyek, a gerincek és a lejtőtörések irányeloszlásai (felső sor), és hosszirányeloszlásai (alsó sor).

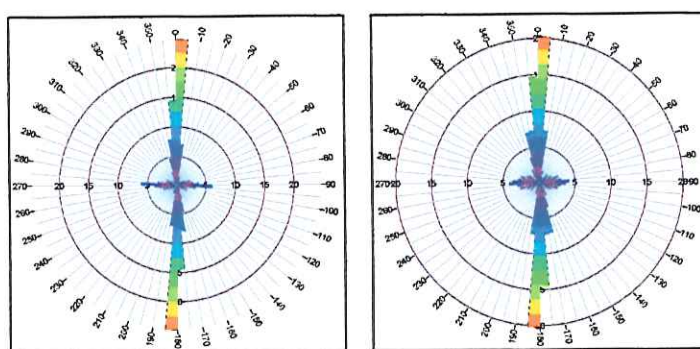
5*5-ös, 11*11-es, 21*21-es és 41*41-es mozgó átlagos simítással előállított domborzatmodellen is elvégeztem a lineamensek bedigitalizálást. A 11*11-es ablakmérettel elkészített domborzatmodellen már csak az 500 m-nél nagyobb morfológiai

elemek láthatók (37. ábra). Az így elkészített iránystatisztika szerint, az 500 m-nél nagyobb morfológiai elemek egyértelműen É-D-i irány-, és hossziránymaximumot mutatnak (38. ábra).



37. ábra: A tanulmányterület 500 m-nél nagyobb morfológiai lineamensei.

Jelmagyarázat a 35. ábránál.

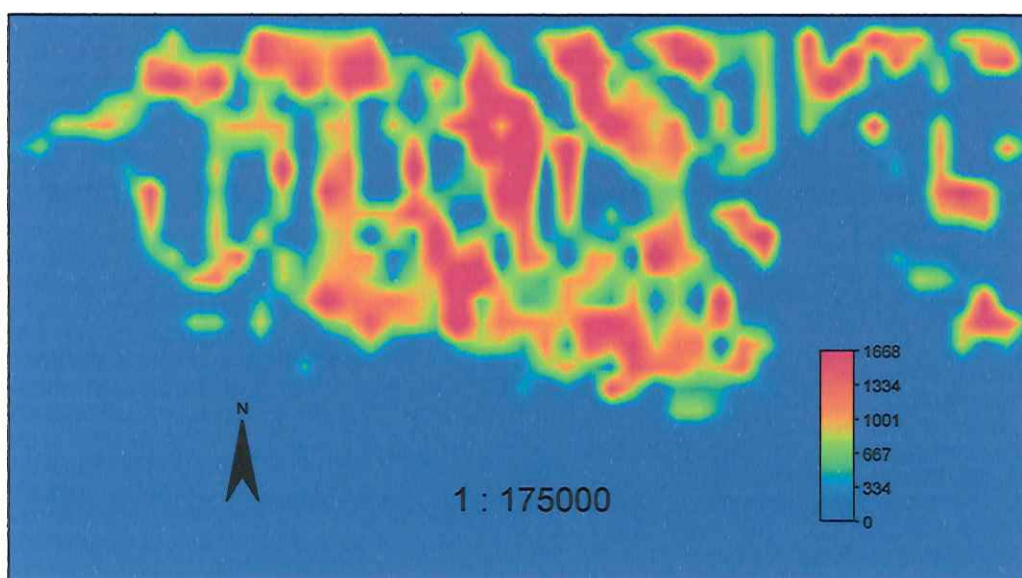


38. ábra: Az 500 m-nél nagyobb morfológiai lineamenseinek irány-, és hosszirányeloszlása.

A különböző morfológiai lineamenseknek elkészítettem a sűrűségi térképeit is. Megnéztem, hogy a megnövelt pixelméret (500*500 m-es pixel, 25 ha) esetében hány méter hosszú völgy, gerinc, illetve lejtőtörés esik az adott területre. Többféle

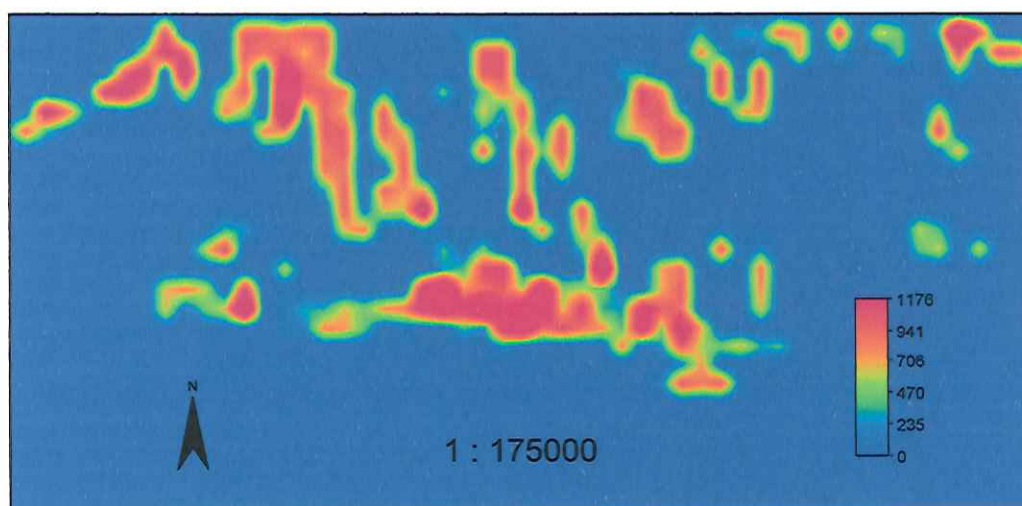
pixelmérettel dolgoztam, de a legjobb eredményt az 500*500 m-es mérettel kaptam. A nagyobb pixelméretek esetében teljesen szétesett a kép.

A *völgsűrűség* esetén főleg a Baranyai-dombság meridionális völgyhálózata és a Villányi-hegység magasabb völgsűrűsége figyelhető meg (39. ábra, A). Voltak olyan területek például a Baranyai-dombság területén, ahol egy pixelre 1.668 m völgyhossz esett. Ez a terület egyébként a Központi-patak menti térség. De az is látszik a völgsűrűség térképén, hogy nagyon sok az olyan terület (több mint 75 %), ahol egyáltalán nem tapasztalható völgy (Dráva-medence).



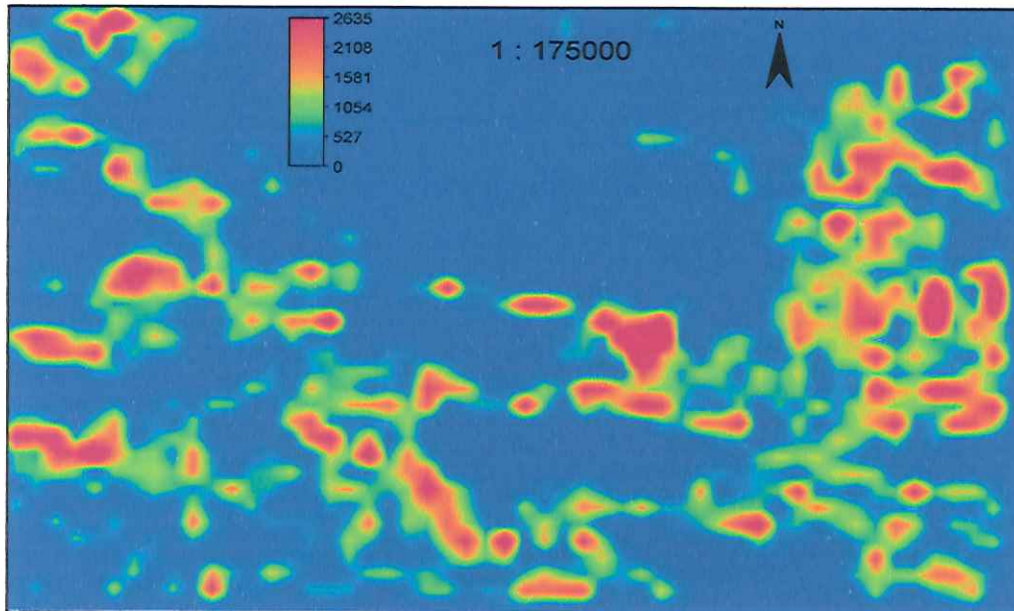
39. ábra
(A)

A *gerincsűrűségi térképen* kivehető a Villányi-hegység vonulata és fő gerinchálózata, valamint a Baranyai-dombság É-D-i csapású völgyeit követő völgyközi hátságok hálózata is (39. ábra, B). Itt egy-egy pixelre akár 1000-1100 m hosszú gerincvonal is adódott, jellemzően a Villányi-hegység területén. A tanulmányterület nagy részén egyáltalán nem tapasztalhatók gerincek (Dráva-medence).



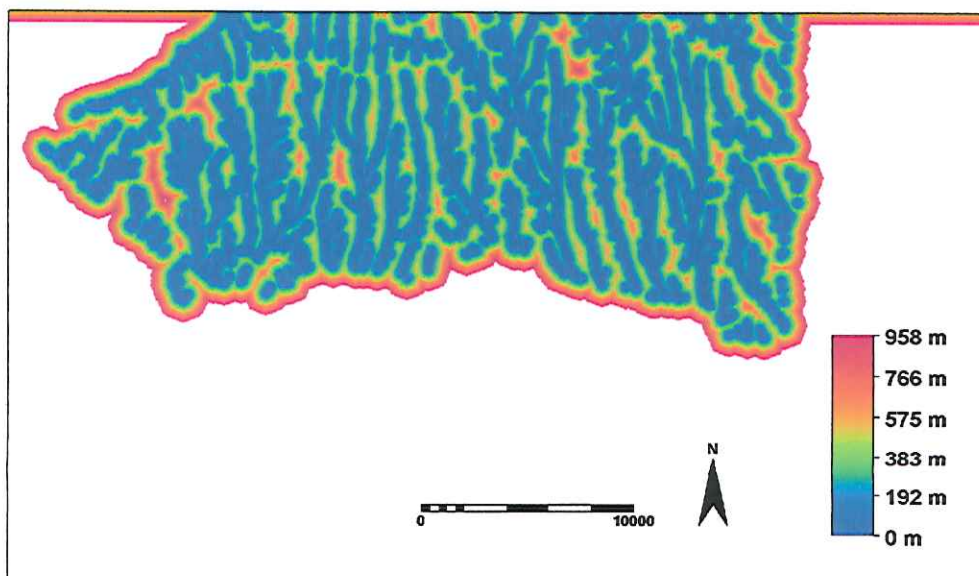
39. ábra
(B)

A lejtőletörés-sűrűségi térképen a Villányi-hegységtől délre lévő területeken, valamint a Karasicától keletre lévő lépcsős felszínnek mentén tapasztalható a legsűrűbb lejtőletörés-hálózat (39. ábra, C). Egy-egy pixelre több mint 900 m hosszú lejtőletörés is eshet, elsősorban a Villányi-hegység és a síksági tájak találkozásánál.



39. ábra
(C)

A domborzatmodellen már feltűnt, hogy a Villányi-hegységtől északra található, közel meridionális völgyek mintha ekvidisztálisak lennének. Ez azt jelentheti, hogy közös genetikájúak és esetleg valamilyen szerkezeti hatásra (kibillenés) alakultak ki. Ezért távolságtérkép segítségével megnéztem, hogy milyen távolságra vannak egymástól ezek a völgyek (40. ábra).



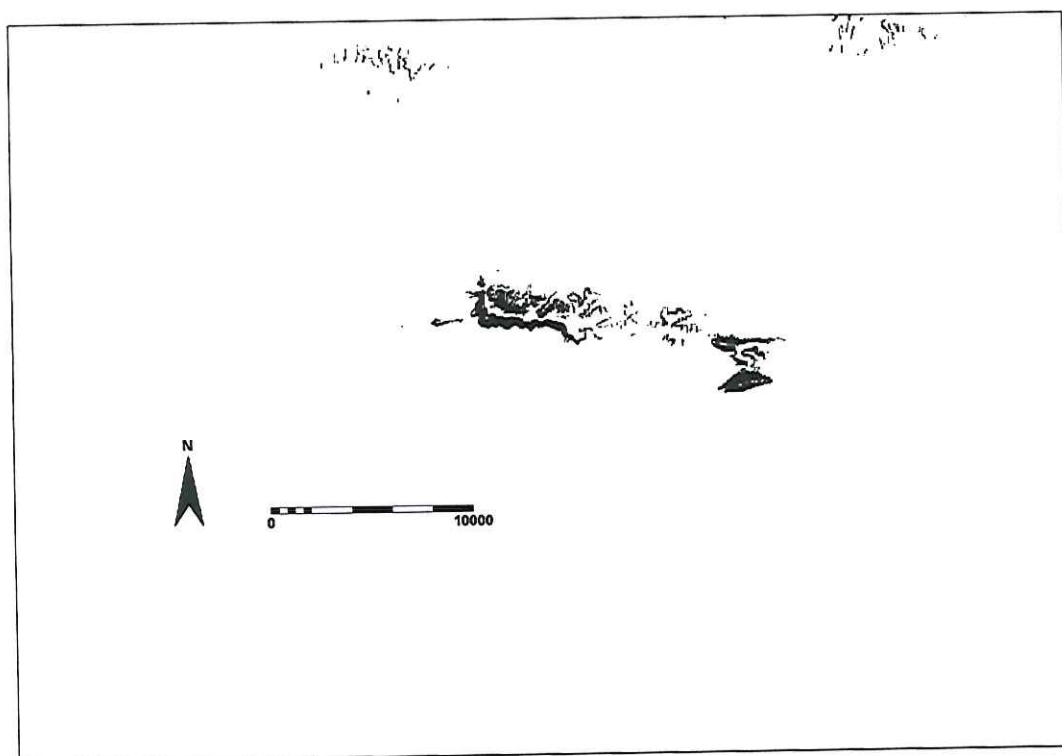
40. ábra: A
Baranyai-
dombság
völgyhálóza
tának
távolsági
térképe.
Az
aránymérték
méterben
értendő.

A térképen a különböző színek az eltérő távolságokat jelzik. Látszik, hogy valóban közel azonos távolságra vannak egymástól a völgyek (300-400 m), tehát kvantitatív módon is igazolható volt, amit már az árnyékolt domborzatmodell alapján is látni lehetett. A tektonikus kibillenést erősíti a lejtőszögtérképen és a domborzatmodellen áthúzott keresztzelvényeken látható aszimmetrikus völgyhálózat és a Központi-patak két oldalán tapasztalható eltérő morfológiai változások is.

4. 12. A kétváltozós elemzések

4.12.1. A magasság és a lejtőszög kapcsolata

Többféle variációt is kipróbáltam, de elsősorban arra voltam kíváncsi, hogy a magasabb területek valóban meredekebb lejtőszögekkel rendelkeznek-e? A Villányi-hegység déli része meredeken szakad le a Dráva-medence irányába, ezt lehetett látni a lejtőirányú görbületi térképen és a lejtőkategória térképen is. Vajon megfigyelhető-e ez a magasság és a lejtőszög együttes relációjában? Vagy a Szársomlyó meredek észak-déli lejtői láthatóvá válnak-e? A sok próbálkozás után a 250 m feletti és a 25°-nál meredekebb felszínek ábrázolása mellett döntöttem (41. ábra).

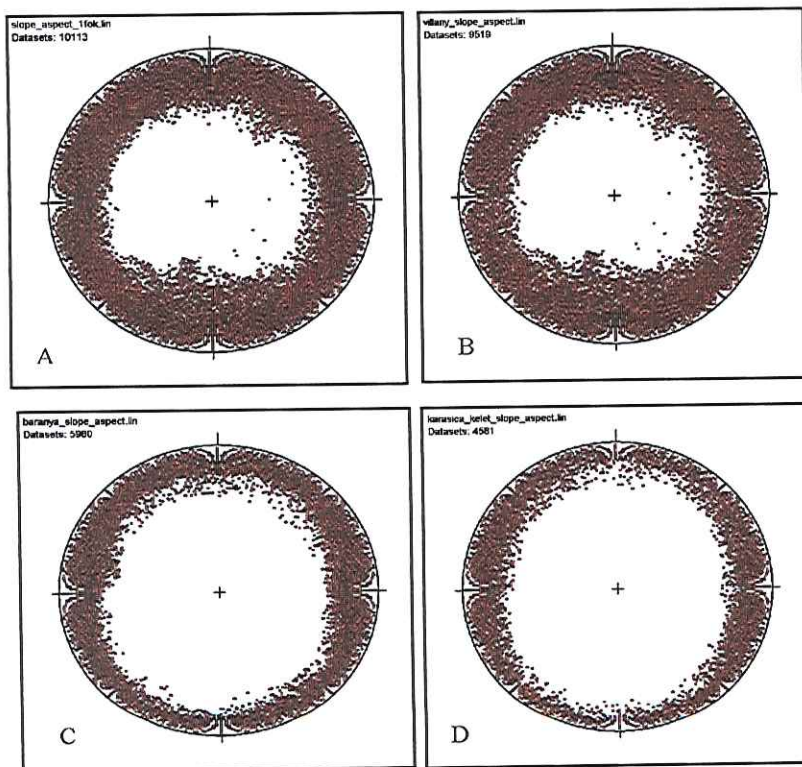


41. ábra: A 250 m-nél magasabb, 25°-nál nagyobb lejtőszöggel bíró felszínek elhelyezkedése.
(Az aránymérték méterben értendő.)

A térképen látszik a Villányi-hegység folytonos, meredek déli irányba történő leszakadása, a hegység tetőfelszínei, amelyek a különböző morfogenetikájú szintek azonosításánál már kirajzolódtak. Megjelennek a Szársomlyó meredek lejtőjű területei és a Baranyai-dombság É-D-i irányú erősen felszabdalt völgyközi hátai a Pécsi-medencétől közvetlen délre lévő területeken. Látszik még a Máriakéménd-bári vonulat déli irányú leszakadása is.

4.12.2. A lejtőszög és a kitettség kapcsolata sztereogramon

A meggondolás alapja az volt, hogy az 1° -nál nagyobb lejtőszöggel rendelkező pixeleknek megnéztem a kitettségi irányait, azaz összevettem a pixelek különböző kitettségi irányait a hozzájuk tartozó lejtőszögekkel. Az adatokat felső-félgömbi sztereografikus projekción ábrázoltam, mind a teljes területre, mind a részterületekre. A teljes területen egy déli és egy északkeleti csúcs látható, vagyis az ilyen orientációjú pixelek meredekebb lejtőszögekkel rendelkeznek (42. ábra, A). A Villányi-hegységben egyértelműen látszik, hogy a délies lejtőkitettséű területek meredekebb lejtőszögekkel bírnak (42. ábra, B). Ezt alátámasztják a lejtőkitettségi térképen ábrázolt vasalótalpak is, amelyek a meredek, megfiataluló domborzat jelei és ezek kivétel nélkül a Villányi-hegység déli, meredek leszakadó felszínein figyelhetők meg.



42. ábra: A kutatási terület lejtőkitettségi irányaihoz tartozó lejtőszögek sztereografikus projekciója. (Schmidt-vetület, felső-félgömb).

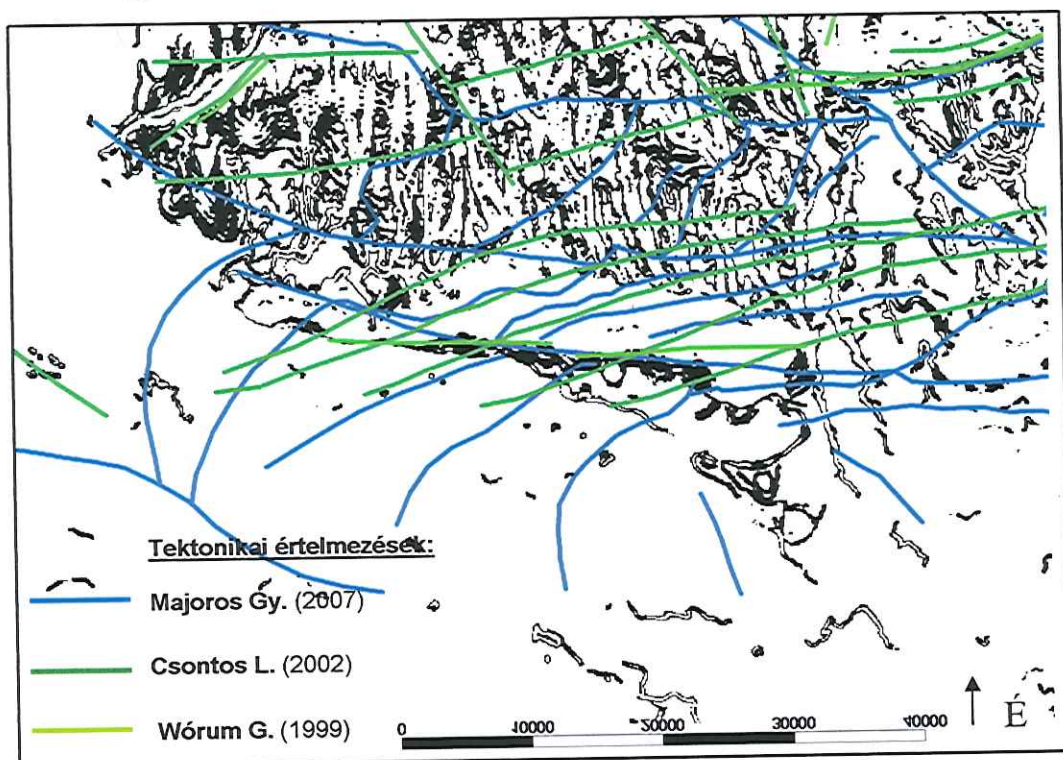
Jelmagyarázat: A barna pontok a projekciós pontokat jelölik. A: teljes terület, B: Villányi-hegység (I. részterület), C: Baranyai-dombság (II. részterület), D: Karasica (III. részterület).

A Baranyai-dombságban a kelet-nyugati kitettségű, elsősorban völgyoldalakat magában foglaló felszínek a meredekebbek, ami az É-D-i csapású meridionális völgyeknek köszönhető (42. ábra, C). A III. részterületen, a Karasícától keletre is a kelet-nyugati kitettségű lejtők a meredekebbek (42. ábra, D).

4. 12. 3. A lejtőszög és a tektonikai lineamensek kapcsolata

Ebben a relációban összevettem a területről származó különböző tektonikai lineamenseket, értelmezéseket (WÓRUM G. 1999, CSONTOS L. et al. 2002, MAJOROS GY. 2007) a kvázi sík (1-3°-os lejtőszögű), különböző genetikájú felszínekkel. A 43. ábrán látható térkép azt mutatja, hogy több esetben is a tektonikus vonalak képezik a határait e felszíneknek.

A Villányi-hegység déli részén húzódó kelet-nyugati csapású felszínt egy hasonló orientációjú vető határolja. A Villányi-hegység enyhe, közel sík tetőfelszínei is szépen pásztákba rendeződnek és követik a tektonikus pikkelyek frontjait. Hasonló a helyzet a Pécsi-víz völgye mentén is, ahol a lineamensek éppen a sík felszínek határain futnak.

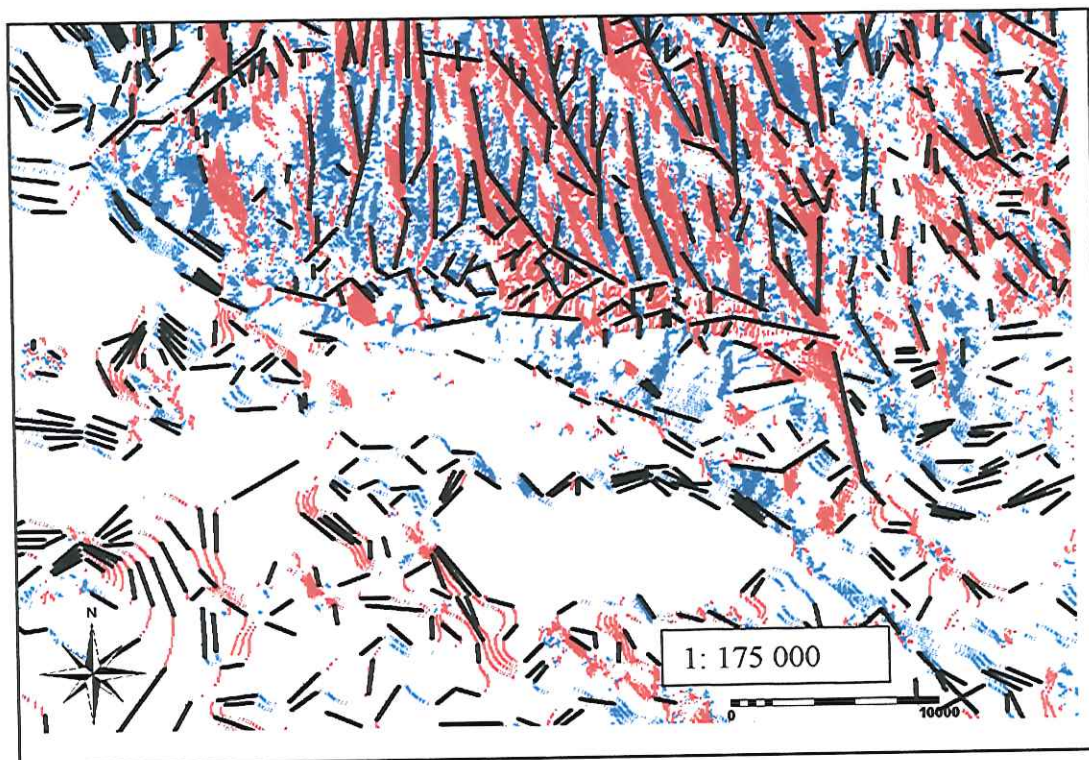


43. ábra: A tektonikus vonalak és a kvázi sík felszínek (1-3°-os lejtőszögű) kapcsolata.
(Az aránymérték méterben értendő.)

A Baranyai-dombság területén a felszínek követik a meridionális irányú völgyek orientációit és közel párhuzamosak a CSONTOS L. et al. (2002) által értelmezett transzverzális vetőkkel. A Máriakéménd-bári vonulat déli irányú leszakadása mentén a sík felszínek szintén követik a geofizikai módszerekkel detektált vetők vonalait. Úgy tűnik tehát, hogy az enyhe, közel sík szintek gyakran tektonikus határral rendelkeznek, egybeesések tapasztalhatók. Ezek alapján a tektonika és a morfológia között szoros kapcsolat feltételezhető.

4. 12. 4. A domináns kitettségi irányok kapcsolata a lineamensekkel illetve a tektonikus vonalakkal

Az osztályozott lejtőkitettségi térképen két domináns osztályt különítettem el (28. és 29. ábra). Az osztályozott térképet simítottam (3*3-as mozgó átlagos mátrixszal, majd az *Ilwis 3.6 majority* függvényének segítségével, összevontam a hasonló tulajdonságokkal rendelkező felszíneket). Megnéztem, hogy ezek a felszínek mennyire esnek egybe a bedigitalizált morfológiai lineamensekkel, valamint a tektonikus vonalakkal.

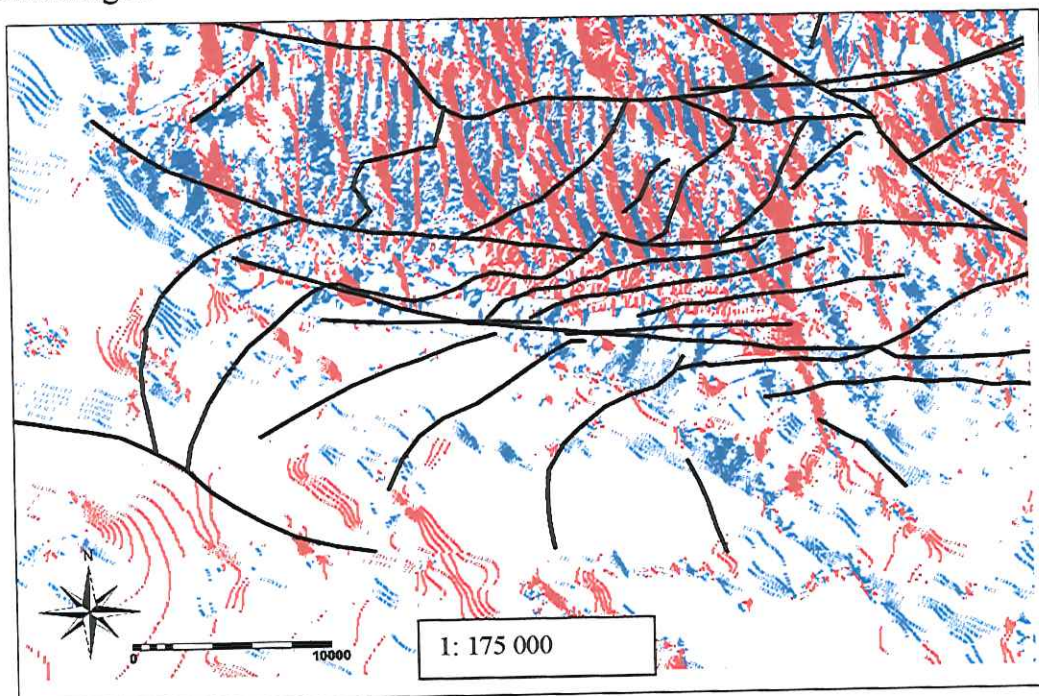


44. ábra: A domináns kitettségi irányokhoz tartozó felszínek és a lineamensek kapcsolata.
(Az aránymérték méterben értendő.)

Gyakorlatilag a domináns kitettségi irányok határain húzódnak a lineamensek, követik a meridionális irányokat a Baranyai-dombság mentén, de a Pécsi-víz völgye mentén és a Villányi-hegység pikkelyfrontjainál is jó egyezést jeleznek. A módszerek részénél (2.2.6 pontnál) ismertetett módon igyekeztem a lineamensek és a domináns kitettségi irányok határai között számszerű kapcsolatot is teremteni. Ha pusztán a távolságot vesszük figyelembe (max. 100 m eltérést), akkor a lineamensek 70%-a ezen belül helyezkedik el, vagyis elég közel a kitettségi irányok határaihoz. Ha a szögeltérést is figyelembe vesszük ($\pm 15^\circ$) már rosszabb a kép, ebben az esetben már csak 50%-uk esik egybe a határokkal. Vagyis egy szigorúbb határmegválasztás a látszólag jónak tűnő egyezést kevésbé jóvá minősíthet.

A kitettségi irányok a tektonikus vonalakkal is jól korrelálnak (45. ábra). A Villányi-hegységben a tektonikus pikkelyek csapásirányai közre zárják és kijelölik a domináns kitettségi irányok pásztáit, amelyek követik is a pikkelyek lefutását. A Pécsi-víz völgyében, a Karasícától keletre eső területeken a kitettségi irányok változása szintén tektonikus vonalakhoz köthető.

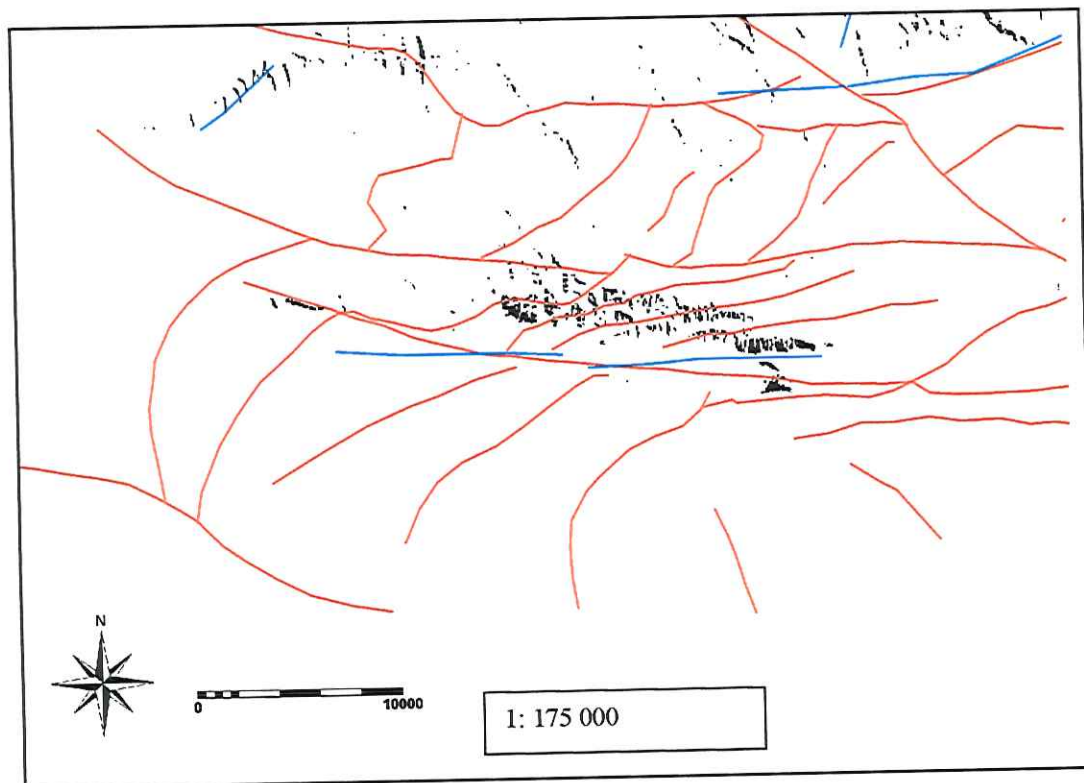
A tektonikus lineamensek követik tehát a domináns kitettségi irányokat mutató felszíneket, sőt gyakran a kettő határán futnak, erősítvén a tektonikus eredetet, illetve preformáltságot.



45. ábra: A domináns kitettségi irányokhoz tartozó felszínek és tektonikus vonalak kapcsolata.
(Az aránymérték méterben értendő.)

4. 12. 5. Az egységes kitettségű iránnyal és meredek lejtőszögekkel rendelkező területek és a tektonikus vonalak kapcsolata

Több lehetőséget is kipróbáltam ennél a vizsgálatnál. Végül a legjobb egyezést a tektonikus vonalakkal az ÉNy-i lejtőkitettségű ($300-330^\circ$) és a $30-40^\circ$ -kal rendelkező felszínek mutatták (46. ábra). A Villányi-hegységben ezek a területek követik a tektonikus vonalak csapásirányait, pásztákba rendeződnek. Ahol a meredek és egységes kitettségű felszínek egybeesnek a tektonikus vonalakkal, ott nagyon valószínű a tektonikus preformáltság (D. BURBANK, D. – ANDERSON, R. 2001).

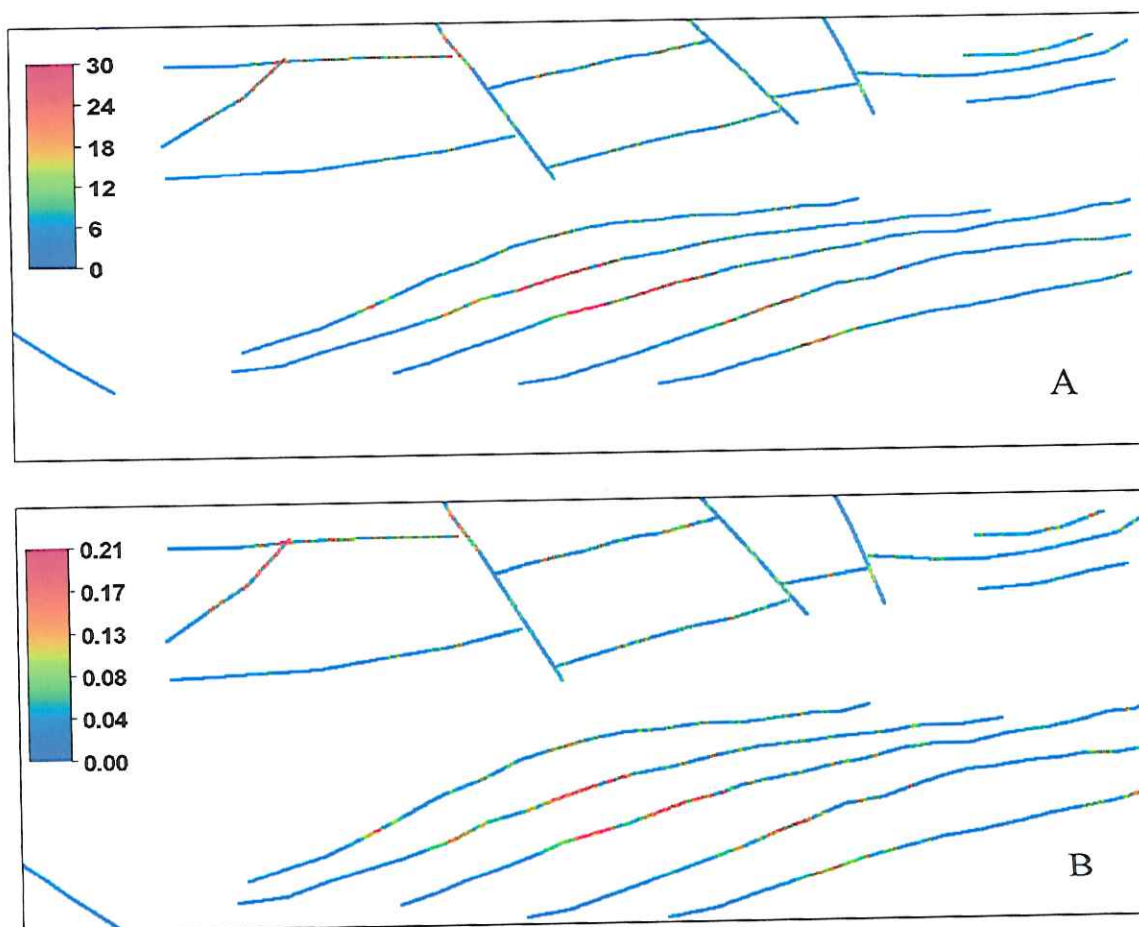


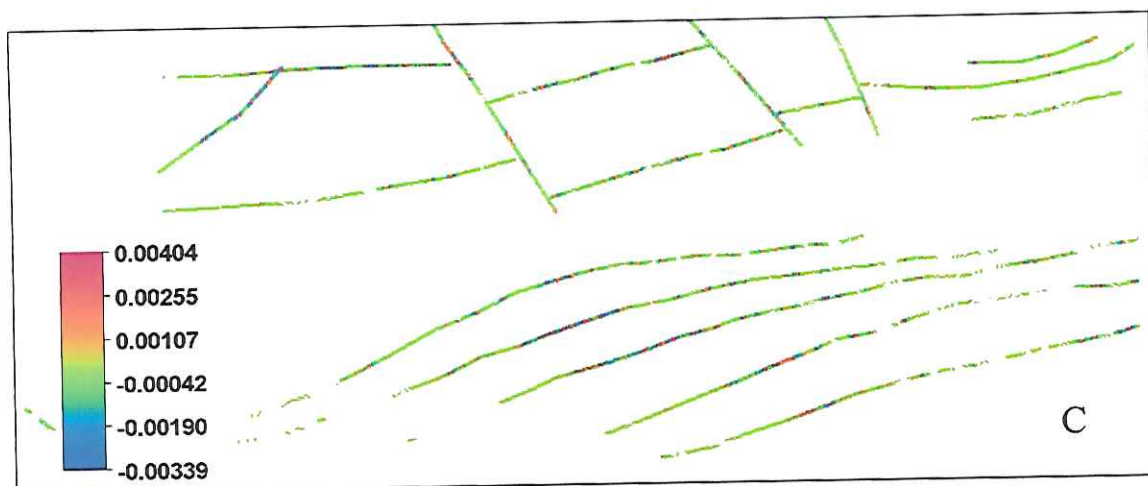
*46. ábra: A meredek lejtőszögű ($30-40^\circ$) és az egységes lejtőkitettségű ($300-330^\circ$) területek kapcsolata a tektonikus vonalakkal.
(Az aránymérték méterben értendő.)*

Véleményem szerint, ezek alapján tektonikailag előre jelzettnek tekinthetők a leválogatott területek, és a pikkelyeződés során kipréselődött felszínekként értelmezhetők. A Pécsi-víz völgye mentén szintén jó egyezés tapasztalható a meredek, egységes kitettségű felszínek és a vető között (46. ábra).

4.12. 6. A tektonikus vonalak környezetének morfolometriai változásai

Megnéztem azt is, hogy a tektonikai vonalak környezetében hogyan alakulnak a domborzat morfolometriai tulajdonságai. Elsőként a bedigitalizált tektonikus vonalakat kiszélesítettem, vagyis növeltem a pixeleik számát, hogy valósabb képet kapjak a vonalak környezetéről (*ILWIS 3.7 / Dilate* függvény segítségével). Ezt követően ráhelyeztem őket a lejtőszög, a relief energia és a lejtőirányú görbületi térképekre. Az *ILWIS 3.7. Isundef* függvénye képes arra, hogy a tektonikai vonalak alatti értékekkel töltsön fel a vonalak pixeleit. Ezek alapján láthatóvá váltak a vonal menti morfolometriai változások, amelyek a Villányi-hegység tektonikus pikkelyfrontjai mentén láthatóak a legszembetűnőbben. A késő-kréta pikkelyeződés ÉNy-i vergenciájú feltolódási síkok mentén történt. Ebben az irányban a pikkelyvonalak mentén intenzív változás tapasztalható mindegyik vizsgált paraméter (lejtőszög, relief energia, lejtőirányú görbület) tekintetében, azaz növekvő értékek adódnak a vonalak környezetében (47. ábra). A CSONTOS L. et al. (2002) által definiált transzverzális vetők mentén is mutatkoztak változások a vetők környezetében.





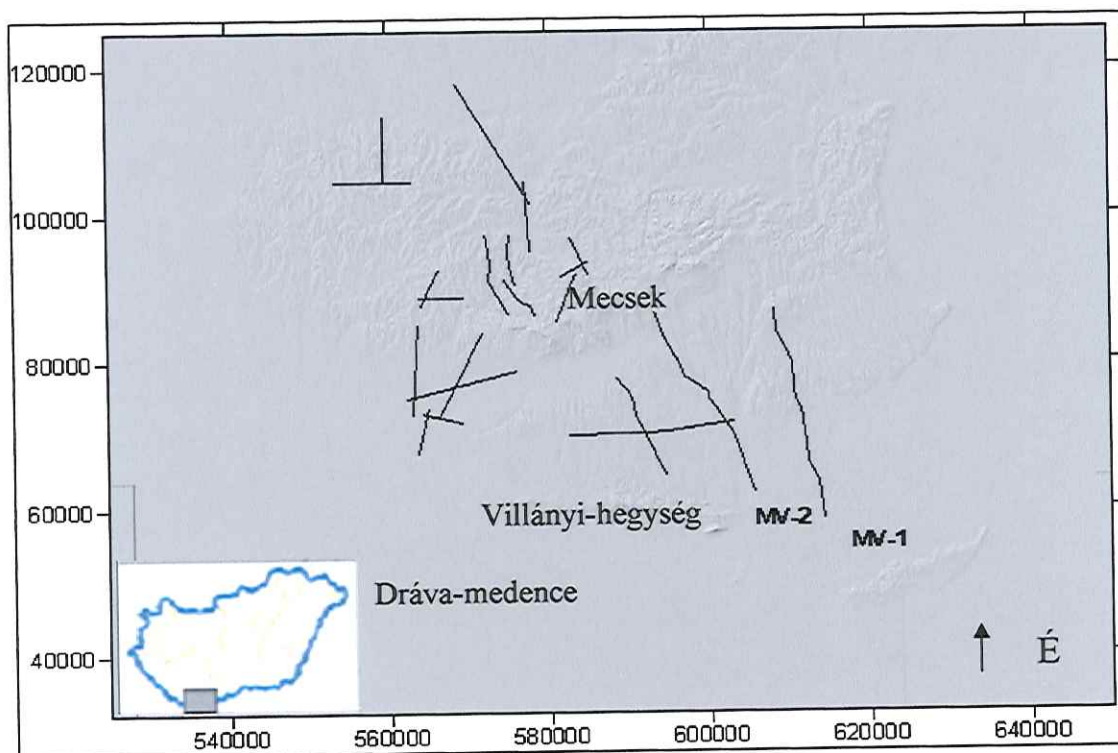
47. ábra: A tektonikai vonalak menti morfometriai változások. A lejtőszög fokokban, a relief energia m/m^2 -ben van megadva. A): lejtőszög változásai fokokban, B): relief energia változásai m/m^2 -ben, C): lejtőirányú görbületi értékek változásai.

Ezek alapján elmondható, hogy a tektonikus vonalak környezetében valóban változnak a domborzat morfometriai tulajdonságai.

5. Egyéb vizsgálatokból nyert adatokkal történő összevetés

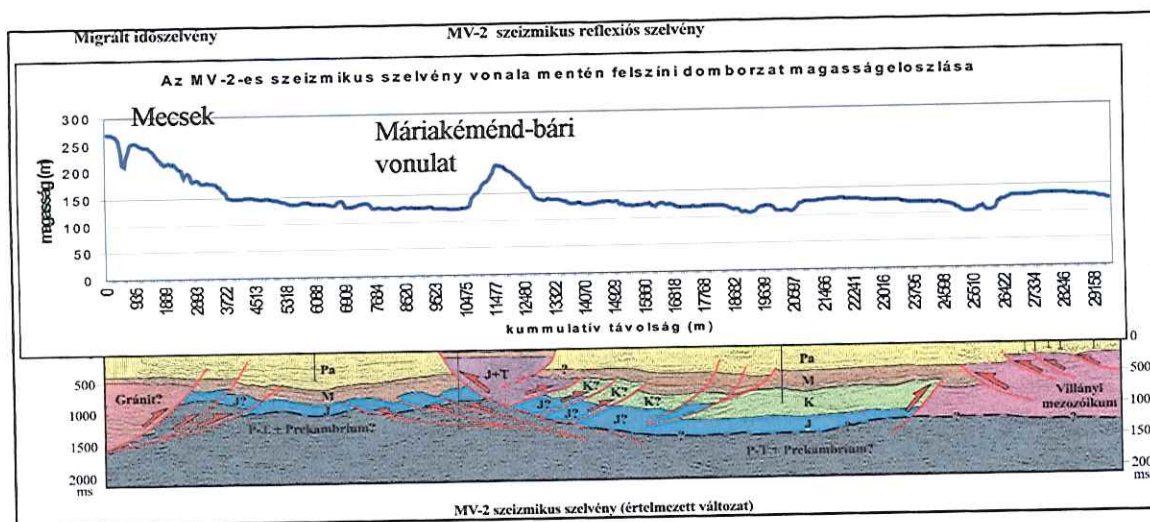
5.1. Szeizmikus szelvények

A vizsgált területen két reflexiós szeizmikus szelvény állt rendelkezésemre (MV-1, MV-2). Ezek WÓRUM G. (1999) által értelmezettek, és az Ellendi-medencén, a Máriakéménd-bári vonulaton, a Bólyi-medencén és a Villányi-hegységen haladnak át (48. ábra).

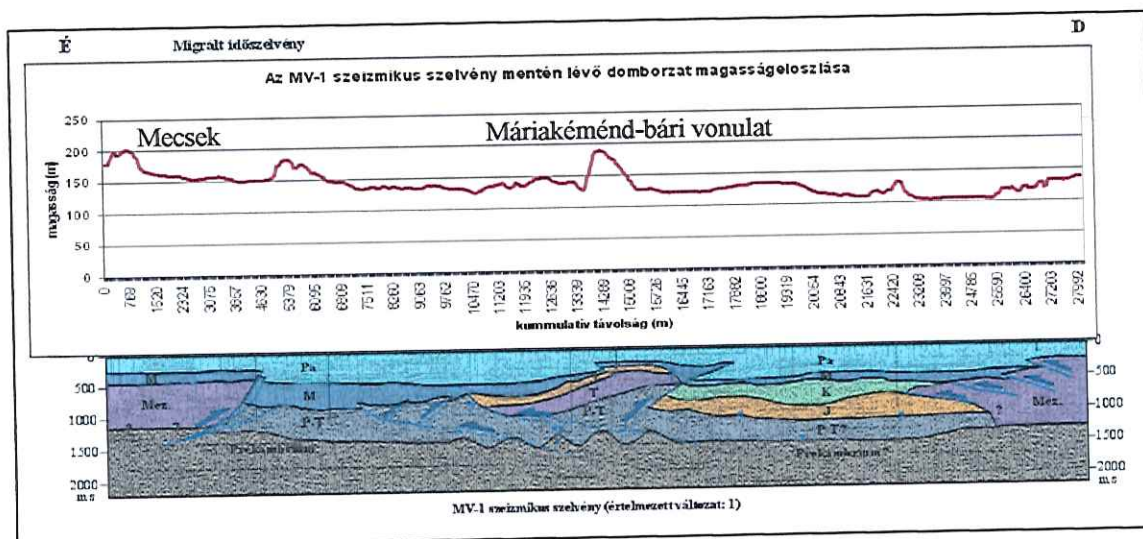


48. ábra: A szeizmikus szelvények nyomvonalai.

A szelvény nyomvonalait bedigitalizáltam, ráhelyeztem a domborzati modellre és megnéztem, hogy a mélyszerkezet változásait mennyire követi maga a domborzat. Mindkét szelvény mentén viszonylag jó egyezést kaptam, bár az MV-1-es szelvényen látható képződmények mind pannóniai üledékekkel fedettek (49. ábra, A). Az MV-2-es szelvényen a Máriakéménd-bári vonulat közei a felszínre bukkannak, ún. pop-up szerkezetet alkotnak (49. ábra, B) (WÓRUM G. 1999).



(A)



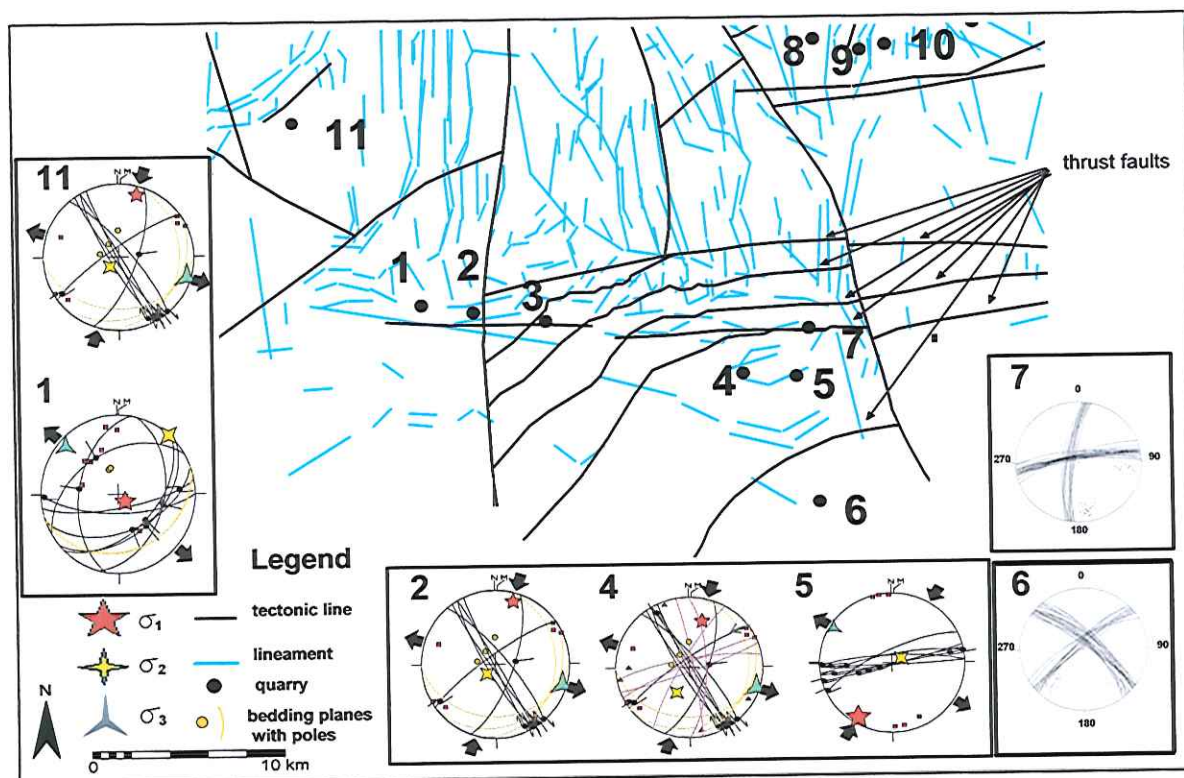
(B)

49. ábra: A WÓRUM G. (1999) által értelmezett szeizmikus szelvények és a felszíni domborzat kapcsolata. (A): MV-1-es szelvény, (B): MV-2-es szelvény.

A domborzat a felszín alatti kétirányú vergenciájú feltolódások fölött kiemelkedik és követi az északi vergenciájú feltolódás vonalát. A szelvényeken tapasztalható a Villányi-hegység északi vergenciájú, valamint a Mecsek déli vergenciájú feltolódásai feletti domborzat kiemelkedése is. Tehát, úgy tűnik, hogy a mélyben lezajlott többnyire vak feltolódások hatásait helyenként egészen jól leköveti a felszíni domborzat.

5.2. A lineamensek, a tektonikus vonalak és a mikrotektonikai mérésekből származó feszültségterek összevetése

Korábbi kutatásaim során a Villányi-hegység és tágabb térségének szerkezetalakulásával foglalkoztam. A késő-krétától kezdődően több deformációs eseményt határoztam meg. A legfiatalabb feszültségtér, amely a pliocéntől napjainkig megfigyelhető az ÉK-DNy-i irányú rövidülés és az erre merőleges tágulás (PETRIK A. 2009). Véleményem szerint ez a feszültségtér a felelős a mai morfológiai kép kialakításáért. A különböző morfológiai lineamensek nemcsak a tektonikus vonalakkal, hanem a feszültségtereket kialakító különböző eltolódási zónákkal és litoklázisokkal is párhuzamosak (50. ábra).



50. ábra: A vizsgált terület lineamensei, tektonikus vonalai és néhány jellemző feszültségtere, litoklázisa. A projekció alsó-félgömbi vetületben készült.

Jelmagyarázat: vastag fekete nyíl = fő rövidülési, tágulási irányok

Angol feliratok: Tectonic line = tektonikus vonal; lineament = lineamens; quarry = kőfejtő; bedding planes with poles = rétegdőlés a póluspontokkal; thrust fault = feltolódás

Ezek alapján a mai morfológiai hálózat kialakítását egyértelműen ez a legfiatalabb feszültségtér kontrolálta. A különböző geofizikai kutatások (recens S_{hmax} irányok) alátámasztják ennek a feszültségtérnek a recens voltát (BADA G. et al. 2007). A Baranyai-

dombságnál található meridionális, közel párhuzamos morfológiai hálózat hasonló orientációjú, mint a CSONTOS L. et al. (2002) által értelmezett transzverzális vetők, és egybe esnek az általam definiált mikrotektonikai mérésekből nyert eltolódási zónákkal, amelyek egy ÉK-DNy-i rövidülés hatására alakultak ki (50. ábra). A Villányi-hegységben lévő lineamentek szintén párhuzamosak a tektonikus pikkelyekkel (többnyire völgyek futnak a pikkelyfrontok előterében), csak úgy, mint a Pécsi-víz völgye a vetővel.

Az 50. ábrán látható térképen a 13 helyszín közül csak néhány bányafeszültségterét és litoklázisait tüntettem fel. E helyeken kivétel nélkül megjelentek a legfiatalabb feszültségtér nyomai.

6. Eredmények összefoglalása, konklúzió

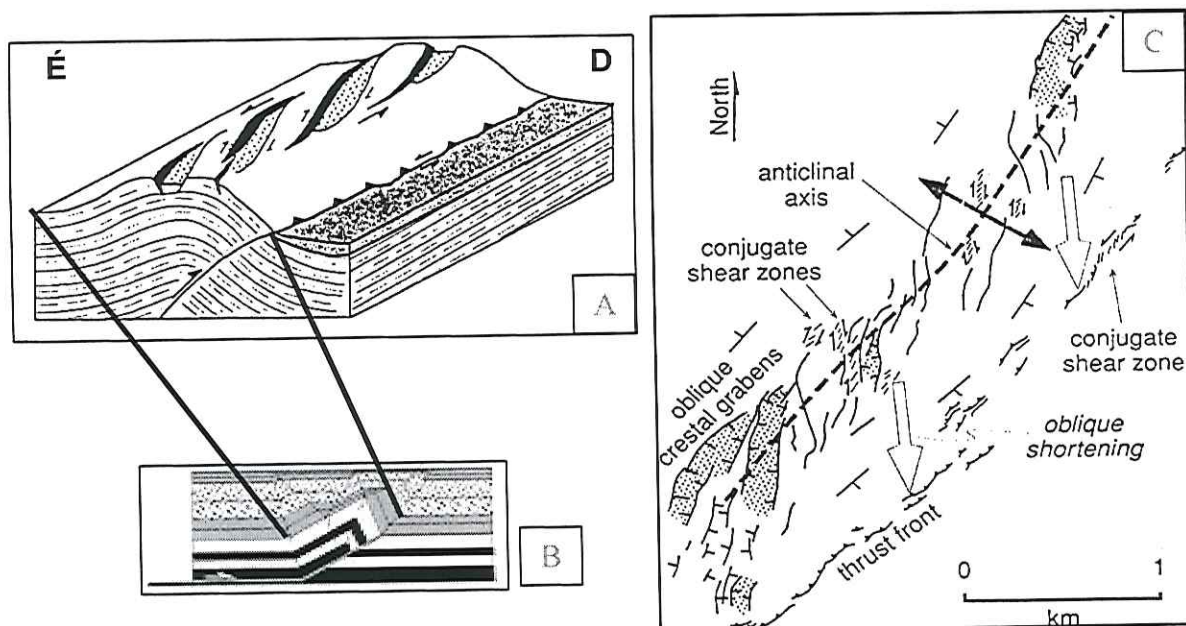
1. Kutatásom során a tanulmányterület többirányú morfometriai vizsgálatát végeztem el. Igazoltam a domborzat különböző morfometriai tulajdonságainak (magasság, relief energia, lejtőszög, lejtőkitettség, lejtőirányú görbület stb.) térbeli változékonyságait.
2. Négy, morfológiailag homogén részterületet határoltam le a geológiai, illetve lejtőirányú görbületi térkép értékeinek változásai alapján. Az egyes részterületekre is elvégeztem a módszerek résznél ismertetett (2. fejezet) különböző morfometriai vizsgálatokat.
3. A vizsgálatok során érdekes aszimmetriát tapasztaltam a Villányi-hegységtől északra található völgyhálózatban. A Központi-patak - véleményem szerint -, mint szerkezeti határ jelenik meg. A pataktól nyugatra lévő völgyek nyugatra néző völgyoldalainak nemcsak magassága, hanem lejtőszöge is intenzívebben változik (helyenként akár 10 fokos lejtéskülönbség is tapasztalható), mint a keletre nézőké. A pataktól keletre néző völgyoldalak esetében fordított helyzet tapasztalható. Itt a kelet felé néző völgyoldalak változásai jelentősebbek. Maga a patak párhuzamos a CSONTOS L. et al. (2002) által értelmezett transzverzális vetőkkel is.
4. A Villányi-hegységben a völgyek a tektonikus pikkelyek előterében futnak és nyugati irányban egy szép völgyelfordulást, elnyíródást mutatnak, amely egyértelműen jelzi a fiatal tektonikus mozgások szerepét.
5. A hegység előterében, de a Karasicától nyugatra és keletre lévő területeken is, töredezett alakú, szögletes völgyek figyelhetők meg, amelyek szintén erőteljes tektonikus preformáltságot jeleznek. A Görcsönyi-hátság északi részén tapasztalt É-D-i irányú völgyek, a rövidülés során, a redőtengely közelében fellépő tenziós feszültségek hatására alakulhattak ki.
6. A keresztshelvények alapján feltolódásokra és normál vetőkre utaló morfológiai elemeket sikerült azonosítanom például a Villányi-hegység déli részén, a Pécsi-víz völgye mentén, a Máriakéménd-bári vonulat déli irányú leszakadásánál is.
7. A területre elkészített morfológiai lineamens hálózat egybeesik a különböző tektonikus vonalakkal, sőt azokkal többnyire párhuzamosak is.
8. Több esetben is sikerült a morfológia és a tektonika között kapcsolatot találni. Az egységes kitettségű, meredek lejtőszögű területek, a sík felszínek, a domináns

kitettségi irányok mind-mind tektonikus vonalakat követnek. A szerkezeti vonalak mentén komoly morfológiai változásokat tapasztaltam, vagyis magára a domborzatra is hatást gyakorolnak a szerkezeti elemek.

9. Különböző morfogenetikájú felszíneket sikerült azonosítanom, amelyek szép egyezést mutattak a korábbi kutatók terepi megfigyeléseivel.
10. Elkészítettem a terület vízhálózati térképét, amelyen elemeztem a vízhálózattípusokat, és azonosítani tudtam a domborzat fiatal emelkedéseinek következményeit (kaptúrák, új vízválasztók megjelenése).
11. A geológiai képződmények kevésbé kötődnek tektonikai határokhoz, kivételt a Villányi-hegység déli részén és a Pécsi-víz völgye mentén tapasztaltam (deluviális aleurit és eolikus lösz határán).
12. A vizsgálataimat kiegészítettem korábbi kutatásaimból származó adatokkal, terepi megfigyeléseimmel, valamint a területről származó szeizmikus szelvényekkel. A morfológiai vizsgálatok, a lineaments-hálózat és a tektonikus vonalak konfigurációja alapján a terület mai morfológiai képét a legfiatalabb ÉK-DNy-i rövidülés és az erre merőleges táulás határozta meg. A Villányi-hegységtől északra található közel párhuzamos völgyek, de a Villányi-hegység völgyei és egyéb morfológiai elemei is szép egyezést mutatnak a feszültségterek nyírópárjaival.
13. A sokirányú vizsgálatok alapján kísérletet tettem a terület **morfortektonikai modelljének** felvázolására:

Kutatásaim alapján a Villányi-hegység egy ún. en-echelon árokszerkezettel írható le. Az árkok ferdén helyezkednek el a fő áttolódás irányára, és egy ÉK-DNy-i rövidülés, illetve egy erre merőleges táulás folyamán jöttek létre, nyíltak ki, amelyet egy K-Ny-i csapású balos eltolódás kontrollált (51. ábra).

Ezt bizonyítják a pikkelyfrontok előterében elhelyezkedő, a Villányi-hegység pikkelyeivel párhuzamos (ÉK-DNy-i csapású) völgyek helyzete és azok nyugati irányban történő óramutató járásával ellentétes irányú elfordulásai is. Hiszen, ha ellentétes eltolódásokat feltételeznénk a Villányi-hegység északi előterében, akkor éppen, hogy összezáródnának a völgyek és elfordulásuk sem lenne értelmezhető.



51. ábra: A Villányi-hegység morfotektonikai modellje (A). A felharapódzó redő modellje (B). A ferde árokszerkezetek felülnézeti képe (C).

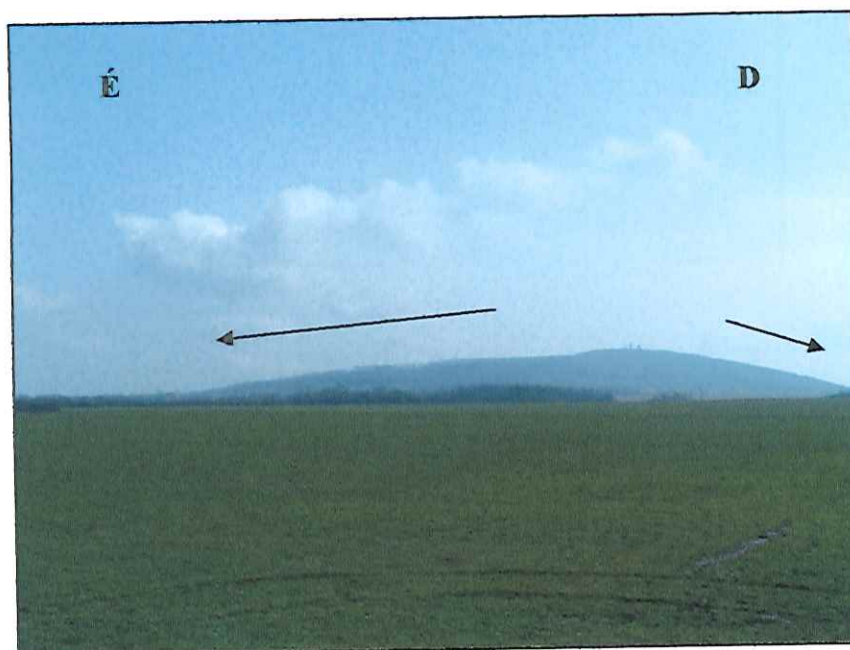
Angol feliratok: Anticlinal axis = antiklinális tengely; conjugate shear zones = konjugált nyírózóna; oblique crestal grabens = ferde árokszerkezete; thrust front = áttolódás frontja; oblique shortening = ferde rövidülés.

Ezek alapján a Villányi-hegység mai morfológiája egy ÉK-DNy-i rövidüléshez köthető, amely igen fiatal (pliocén-recens) a mikrotektonikai méréseim és a geofizikai kutatások alapján is.

A Villányi-hegységet hagyományosan ÉNy-i vergenciájú pikkelyek sorozataként ábrázolják. Kutatásaim alapján és más szerzők vizsgálataira alapozva úgy vélem, hogy a Villányi-hegységben nagyon fontos szerepe van a délies vergenciájú feltolódásoknak is (Villányalja-vonal?).

Már csak a morfológia alapján is bizonyítható lenne, egy déli vergenciájú feltolódás, hiszen a Villányi-hegység déli oldala meredeken leszakad, amíg észak fele lankásan lejt (3. kép)

Ez könnyen megmagyarázható és igazolható egy ún. felharapódzó redő modelljével (51. ábra B). A Villányi-hegységben több, összetett nagy amplitúdójú redő található. E redőknek a délies dőlésű redőszárnyai rendre meredekebbek, mint az északiak.



3. kép: A Villányi-hegység É-D-i látképe.

A vetőkarcok több kőfejtőben is jelzik a délies vergenciájú visszatorlódások jelentős szerepét. Így, maga a Villányi-hegység, mint több vak feltolódás, illetve rámpa felett kialakult kényszerredőként jelenik meg, amelynek meredekebb déli előrebukó szárnyai nyíróerők hatásai alatt állnak. A délies vergenciájú feltolódást, mint visszatorlódást a keresztshelvényeken tapasztalt, a Villányi-hegység déli részén kialakult morfológia is alátámasztja.

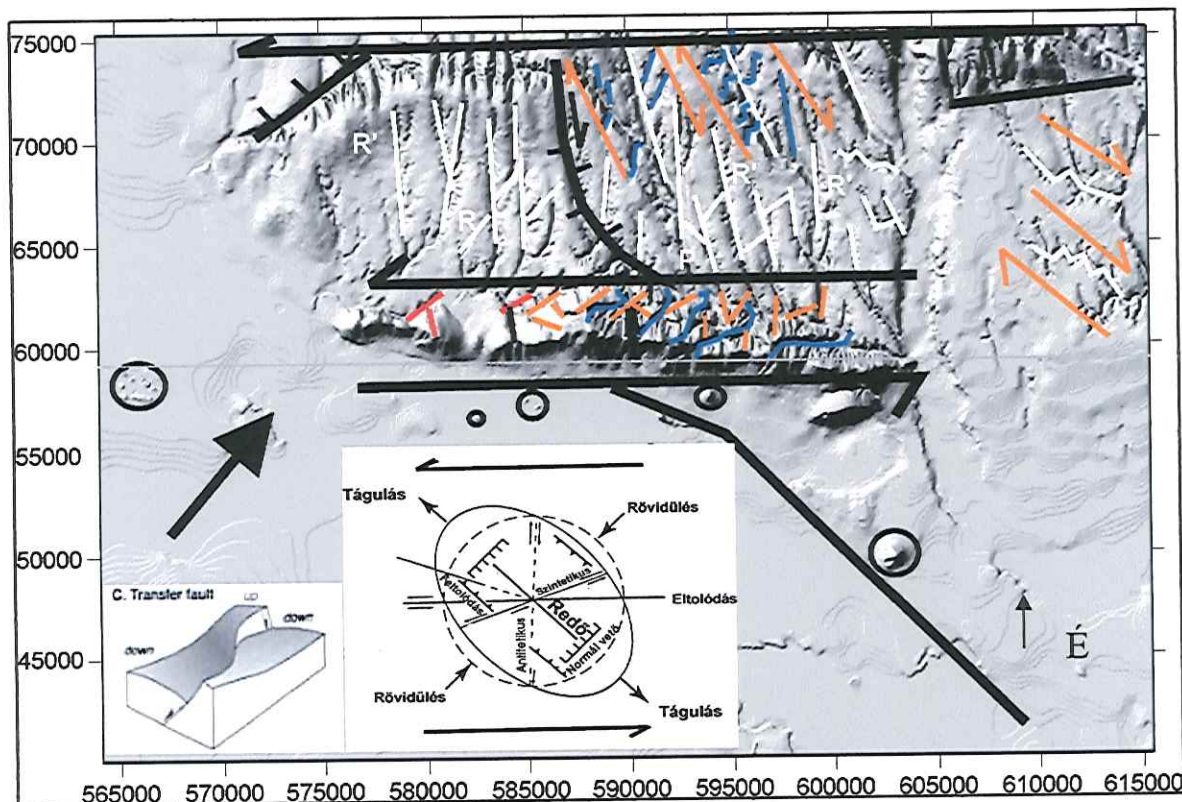
MAJOROS GY. (2007) szintén kiemelt vetőt feltételez a Villányi-hegység déli részén, amely még a villányi-hegységi karsztvizeket is elzárja a harkányi rögtől. WÓRUM G. (1999) az MV-2-es szeizmikus shelvény értelmezésénél is jelzi a Villányi-hegységtől északra található, délies vergenciájú feltolódásokat (51. ábra, A).

Összefoglalva: a Villányi-hegység a takaróképződés során, illetve az inverzió időszakában egy többszörös visszatorlódást is elszenvedett en-echelon árokszerkezetként fogható fel.

A teljes kutatási területre elkészített morfortektonikai modell az 52. ábrán látható. A teljes terület morfológiáját az ÉK-DNy-i rövidülés és a rá merőleges tágulás határozza meg. A Villányi-hegységet egy balos eltolódással kombinált transzpressziós kiemelkedés

jellemzi. Szépen látszik a balos eltolódás által okozott völgyek kinyílása és elfordulása (52. ábra).

A hegységtől északra lévő területek morfológiája is egy balos eltolódási rendszerhez igazodik. A közel párhuzamos völgyek antitetikus Riedel törésekként foghatók fel, amelyek mentén jobbos eltolódás tapasztalható. Ezt több helyen is igazoltnak vélem. A töredezett lefutású, helyenként S alakban elnyírt völgyek egyértelműen jelzik a nyírás jellegét (52. ábra).



52. ábra: A kutatási terület morfotektonikai modellje.

Jelmagyarázat: R: Riedel-törés, R': antitetikus Riedel-törés, P: P törés

eltolódás, elnyírt, kulisszás völgyek,
normál vető törés kúp

Ezek az eltolódások kiválóan illeszkednek a mikrotektonikai adatokhoz (jobbos eltolódásokat jelző vetőkarcok orientációjával). Az antitetikus töréseket szintetikus Riedel-törések és P törések kapcsolják egymáshoz, ezzel egy Riedel rendszert létrehozva. A szintetikus törések mentén balos eltolódás tapasztalható (mikrotektonikai mérésekkel

korrelálva), de maguk a törések csapásai is jelzik a balos elmozdulást (pl.: Villányi-hegység).

A Pécsi-víz völgye mentén korábban is jelezték a vető jelenlétét, de ez a vizsgálataim alapján is bebizonyosodott, sőt jellegét tekintve normál vetőként definiálható.

A Központi-patak, mint szerkezeti határ mentén kétirányú lebillenést feltételezek a kutatásaim alapján. Az ilyen jellegű ellentétes irányú lebillenések a transzverzális vetők tipikus megjelenési formái. Ezek a törések párhuzamosak a CSONTOS L. et al. (2002) által azonosított transzverzális vetőkkel, emellett kétirányú kibillenést és völgy aszimmetriát jeleznek a keresztshelvények lejtőszögei és magasságváltozásai is. Így igazoltnak látom a kétirányú normál vető berajzolását a patak mentén.

Fontos hangsúlyoznom, hogy egy kutatás első állomásának eredményeit ismerttettem, amelynek célja a terület morfotektonikai célú megközelítése volt. A továbbiakban újabb vizsgálatok (geofizikai, mikrotektonikai, geomorfológiai) és módszerek bevonását tervezem, hogy még átfogóbb képet kapjak a terület morfotektonikai fejlődéséről.

7. Köszönetnyilvánítás

Köszönöm témavezetőm Prof. Dr. Márkus Béla önzetlen segítségét, hasznos tanácsait, ötleteit, amelyek nagyban segítettek a dolgozat elkészítésében. Hálával tartozom Dr. Jordán Győzőnek, terepmodellezéssel kapcsolatos ismeretei, vizsgálati-elemzési tapasztalatai átadásáért, hasznos ötleteiért.

8. Irodalomjegyzék

1. BADA G. - DÖVÉNYI P. - HORVÁTH F. - SZAFIÁN P. - WINDHOFFER G. 2007.: Jelenkori feszültségtér a Pannon-medencében és alpi-dinári-kárpáti környezetében. *Földtani Közlöny*, 137/3, pp. 327–359.
2. BENKOVICS L. 1997: Etude structurale et géodynamique des Monts Buda, Mecsek et Villány (Hongrie). Doktori dolgozat, L'Université des Sciences et Technologies de Lille, pp. 79–203.
3. BURBANK, D.W. – ANDERSON, R.S. 2001: Tectonic geomorphology. Blackwell Science, Malden, 274 p.
4. CLARK, C.D. – WILSON, C. 1994: Spatial analysis of lineaments. *Comput. Geosci.* 20, pp.1237–1258
5. CSÁSZÁR G. (szerk.) 2005: Magyarország és környezetének regionális földtana. ELTE Eötvös Kiadó, pp. 213–214, 220–222, 241–248.
6. CSONTOS L. - BENKOVICS L.- BERGERAT, F. – MANSY, J.L. - WÓRUM G. 2002: Tertiary deformation history from seismic section study and fault analysis in a former European Tethyan margin (the Mecsek-Villány area, SW Hungary). *Tectonophysics* 357 (2002), pp. 81–102
7. CSONTOS L. - MÁRTON E. - WÓRUM G. - BENKOVICS L. 2002: Geodynamics of SW-Pannonian inselbergs (Mecsek and Villány Mts. SW Hungary): Inferences from a complex structural analysis. *EGU Stephan Mueller Special Publication Series* 3, pp. 227–245
8. DEFFONTAINES, B. – CHOROVICZ, J. 1991: Principles of drainage basin analysis from multi-source data: application to the structural analysis of the Zaire Basin. *Tectonophysics* 194, pp. 237–281
9. DRURY, S.A. 1987: Image Interpretation in Geology. Allen and Unwin, London.
10. EVANS, I.S. 1972: General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics. In: Chorley, R.J. (Ed.), *Spatial Analysis in Geomorphology*. Methuen, London, pp. 17–90
11. EVANS, I.S. 1980: An integrated system for terrain analysis for slope mapping. *Z. Geomorphology* 36, pp. 274–295
12. GARBRECHT, J. – MARTZ, L.W. 1995: Agricultural Research Service Publication NAWQL 95-3, in: TOPAZ: An Automated Digital Landscape Analysis Tool For

- Topographic Evaluation, Drainage Identification , Watershed Segmentation and Subcatchment Parametrisation: TOPAZ User Manual. US. Department of Agriculture, 95-3, Washington, DC.
13. GOLDWORTHY, M. – JACKSON, J. 2000: Active Normal Fault Evolution in Greece Revealed by Geomorphology and Drainage Patterns, 157. Geological Society, Special Publication, London, pp. 967–981.
 14. GONZALEZ, R.C. – WOODS, R.E. 1993: Digital Image Processing, Addison – Wesley Publishing Company, New York.
 15. GRENERCZY GY. - BADA G. 2005: GPS baseline length changes and their tectonic interpretation in the Pannonian Basin. Geophysical Research Abstracts 7, No. 04808
 16. JORDÁN GY. – CSILLAG G. 2001: Digital terrain modelling for morphotectonic analysis: a GIS framework. In: Ohmori, H.(Ed.), DEMS and Geomorphology. Special Publication of the Geographic Information Systems Association, vol. 1. Nibon University , Tokyo, pp. 60–61
 17. JORDÁN GY. – CSILLAG G. 2003: A GIS framework for morphotectonic analysis – a case study. Proceedings of Fourth European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems, 17-20 June 2003. Bologna, Italy. Proceedings, vol.2. Regione Emilia-Romana, Servizio Geologico, Bologna, pp. 516–519
 18. JORDAN GY.- MEIJNINGER, B.M.I. – HINSBERGEN, D.J.J.- MEULENKAMP, J.E..- DIJK, P.M. 2005: Extraction of morphotectonic features from DEMs: Development and applications for study areas in Hungary and NW Greece. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 7, pp. 163–182
 19. JORDÁN GY.- SCHOTT, B. 2005: Application of wavelet analysis to the study of spatial pattern of morphotectonics lineaments in digital terrain models. A case study. Remote Sensing of Environment.
 20. KELLER, E.A. – PINTER, N. 1996: Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landforms. Prentice Hall, New Jersey.
 21. LÓCZY D. 2008: Geomorfológia II. Földfelszíni folyamatok és formák. Dialóg Campus Kiadó, Budapest-Pécs, 441 p.

22. LOVÁSZ GY.- WEIN GY. 1974: A Délkelet-Dunántúl geológiája és felszínfejlődése. Pécs, 215 p.
23. MAJOROS GY. 2007: Villányi-hegység földtani, vízföldtani áttekintése. Mecsekérc Zrt. Pécs, pp. 1-15.
24. MARTZ, L.W. –GARBRECHT, J. 1992: Numerical definition of drainage networks and subcatchment areas from digital elevation models. Comput. Geosci. 18, 747-761 pp.
25. MITÁŠOVÁ, H. – HOFIERKA, J. 1993: Interpolation by regularised spline with tension: II. Application to terrain modelling and surface geometry analysis. Math. Geol. 25. pp. 655–657
26. PEUCKER, T.K. – DOUGLAS, D.H. 1975: Detection of surface-specific points by local parallel processing of discrete terrain elevation data. Comput. Graphics Image Process. 4. pp. 375–387
27. PETRIK A. 2009: A villányi-hegységi mezozoos képződmények mikrotektonikai méréseinek értelmezése. Földtani Közlöny 139/3, Budapest, pp. 217–236
28. PROST, G.L. 1994. Remote sensing for geologists. In: a Guide to Image Interpretation, Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam.
29. RAMSAY, J.G. – HUBER, M. I. 1987: The Techniques of Modern Structural Geology. Vol.2.Folds and Fractures. Academic Press, London.
30. SÁRKÖZY, F. – MÁRKUS, B. 1986: Geodéziai AMT, Tankönyvkiadó, Budapest, 475 p.
31. SEBE K. 2009: A Nyugat-Mecsek és környezete tektonikus geomorfológiai elemzése. Doktori értekezés, Pécs, 106 p.
32. SCHWEITZER F.(témavezető) 1993: Pleisztocénben aktív főbb törésvonalak és süllyedékterületek. MTA FKI, Budapest, 58 p. + 2 térkép melléklet
33. SCHWEITZER F. 1993: Domborzat formálódás a Pannóniai-medence belsejében a fiatal újkorban és a negyedidőszak határán. Akadémiai doktori értekezés. MTA, Budapest, 125 p.
34. TÉGLÁSY Ö. 2006: A Mecsek és a Villányi-hegység térségének morfológiai, morfometriai elemzése digitális domborzatmodell segítségével. Diplomamunka, ELTE, Budapest, 80 p.
35. TUKEY, J. 1977: Exploratory Data Analysis, Addison Wesley, reading, Massachusetts

36. WAY, D.S. 1973: Terrain Analysis. A Guide to Site Selection Using Aerial Photographic Interpretation. Dowden, Hutchinson & Ross Inc., Pennsylvania.
37. WÓRUM G. 1999: A Mecsek-Villányi térség szerkezete és fejlődéstörténeti eseményei szeizmikus szelvények alapján. – Szakdolgozat, ELTE Geofizikai Tanszék, pp. 9–60, 70–140