

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR
FÖLDRAJZ- ÉS FÖLDTUDOMÁNYI INTÉZET
TERMÉSZETFÖLDRAJZI TANSZÉK

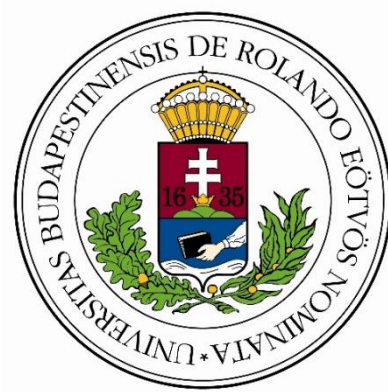
Szlovén völgyek morfológiai elemzése és webes megjelenítése SRTM és LiDAR alapján

KOMORÓCZKI ESZTER MÁRIA
Geográfus mesterszak

Diplomamunka

Témavezető:

DR. TELBISZ TAMÁS
EGYETEMI DOCENS



BUDAPEST, 2022

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	1
2. Kutatástörténeti és mintaterületi áttekintés.....	3
3. Adat és módszer	6
3.1 Alapadatok	6
3.2 Módszertan	6
3.2.1 Térinformatikai módszerek	6
3.2.2 Web-térkép készítése.....	17
4. Eredmények és diszkusszió	22
4.1 Térinformatikai elemzések	22
4.2 Web-térkép	40
5. Következtetések.....	45
6. Összefoglalás.....	47
7. Summary.....	48
8. Köszönetnyilvánítás	49
9. Irodalomjegyzék	50

NYILATKOZAT

Név: Komoróczy Eszter Mária

ELTE Természettudományi Kar, szak: Geográfus mesterszak


NEPTUN azonosító: YSPZS3

Diplomamunka címe:

Szlovén völgyek morfológiai elemzése és webes megjelenítése SRTM és LiDAR alapján

A **diplomamunka** szerzőjeként fegyelmi felelősségem tudatában kijelentem, hogy a dolgozatom önálló szellemi alkotásom, abban a hivatkozások és idézések standard szabályait következetesen alkalmaztam, mások által írt részeket a megfelelő idézés nélkül nem használtam fel.

Budapest, 2022. 05. 14.


a hallgató aláírása

1. Bevezetés

Szlovéniában először öt évvel ezelőtt túráztam, pont, amikor megtudtam, hogy felvételt nyertem földrajz szakra. Már ekkor elvarázsolt a gyönyörű karszt-vidék, azóta pedig visszatérő túrázó lettem a Júliai-Alpokban, így amikor kutatási téma választásra került sor, örömmel bólintottam rá, hogy szlovén völgyeket vizsgáljak, hiszen a számítógép előtt ülve végig lelki szemeim elé tárult a táj.

A völgyek morfometriai vizsgálata hosszú múltra tekint vissza, de a digitális terepmodellek (DTM) segítségével manapság új eszközeink vannak ezen vizsgálatok elvégzésére. Szlovénia egész területére ingyenesen hozzáférhető LiDAR (Light Detection and Ranging) alapú DTM áll rendelkezésre, ami nagyban hozzájárul a minél pontosabb GIS alapú morfometriai vizsgálatokhoz.

A kutatás során ötven szlovén völgyet vizsgáltam meg, és ennek során legfőképpen arra kerestem a választ, hogy igaz-e, hogy az utolsó eljegesedési maximummal érintett völgyek, melyeket a jég formált, valóban „U”, a folyóvízi völgyek pedig inkább „V” alakúak. Erre nem csak leíró jellegű, hanem matematikailag is megfogalmazható választ kerestem.

A vizsgálatok elvégzéséhez SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) digitális felszínmodellt használtam, azonban érdekelt, hogy az SRTM rossz felbontása, mennyire torzítja az adatokat, ezért öt különböző méretű és típusú völgyet sokkal jobb felbontású, LiDAR alapján is megvizsgáltam. A völgyeknek elkészítettem, a hossz- és keresztszelvényeit, melyekre függvényeket illesztettem, hogy megtudjam, hogy az azonos típusú völgyekre vajon ugyanaz a függvény illeszkedik-e a legjobban. Hipotézisem szerint a glaciális völgyeket másodfokú (vagy harmadfokú) polinommal lehet legjobban közelíteni, a fluviális völgyek oldalaira pedig a lineáris függvény illeszkedik legjobban. A szakirodalom alapján a völgyek hosszprofilját logaritmus függvénnyel lehet legjobban közelíteni, ezt is ellenőrizni kívántam.

A völgyek kiválasztásánál törekedtem arra, hogy minél sokszínűbb legyen a völgyek felhozatala, ezért van köztük hatalmas glaciális, és egészen kicsi folyóvízi völgy is, ezért az ország különböző, egymástól gyakran távoli pontjairól kerültek ki a választott vízgyűjtők. Hogy minél pontosabb következtetéseket tudjak levonni az eredményekből,

szükség volt rá, hogy minél több völgyet vonjak vizsgálat alá. Hogy a vízgyűjtők nagy száma és egymástól való távolsága ellenére a kapott eredményeket minél jobban be tudjam mutatni web-térképet is készítettem, így a kapott hossz- és keresztmetszvények az összes völgy esetében könnyen és gyorsan átláthatóak, így a hozzátartozó leírással együtt a web-térkép ismeretterjesztő célokra is alkalmas lehet.

2. Kutatástörténeti és mintaterületi áttekintés

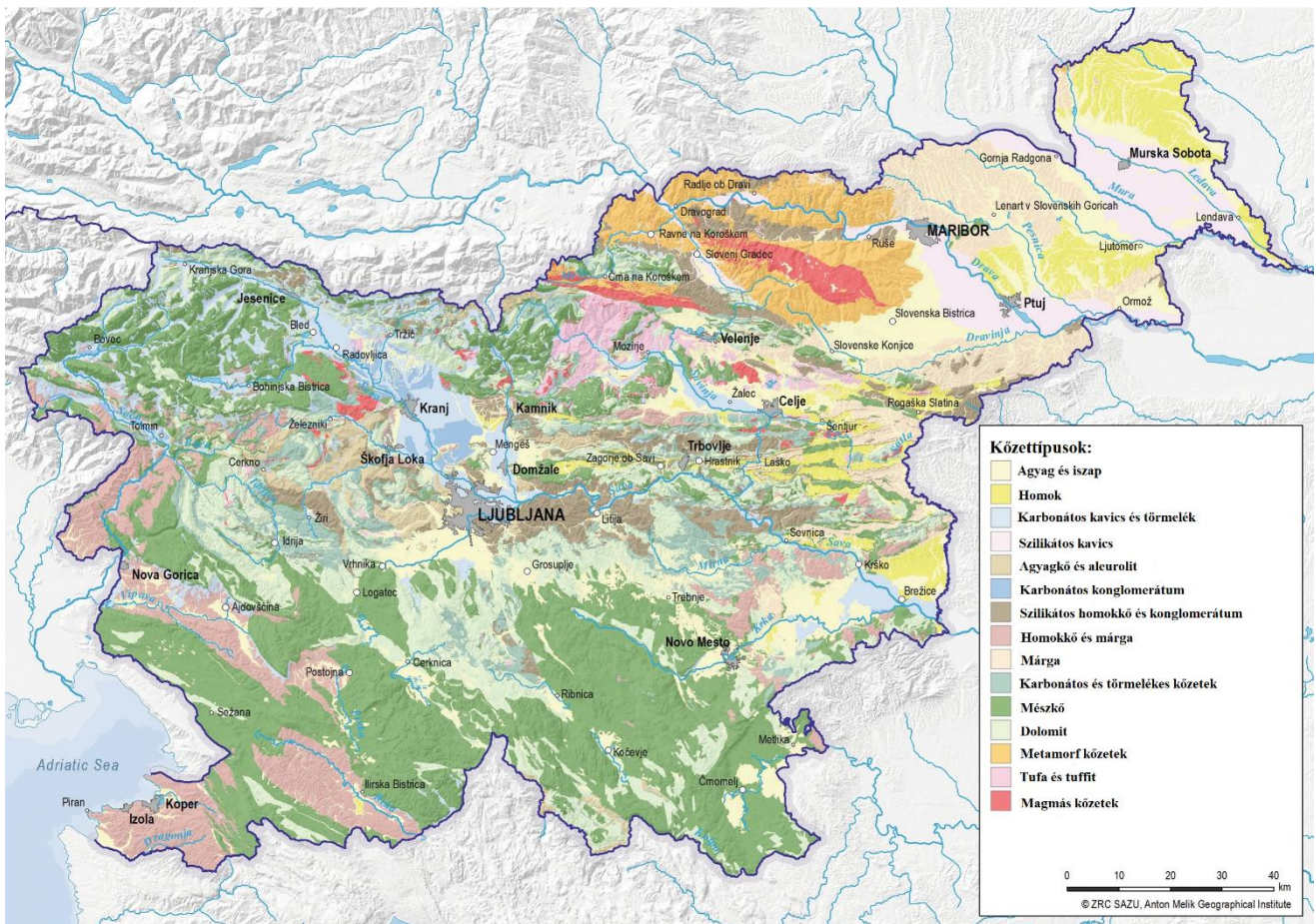
A völgyek morfometriai vizsgálata hosszú múltra tekint vissza. MCGEE W.J. az úttörőnek számító 1883-ban bemutatott (majd 1894-ben teljes terjedelmében is publikált) cikkében az első volt, aki felvázolta a főbb morfológiai különbségeket a glaciális és fluviális völgyek között (HARBOR J. M 1989). MCGEE W.J. volt az első, aki leírta, hogy a legfőbb alaktani különbség, hogy míg a folyóvízi völgyek keresztmetszete „V” alakú, egyenletes és mérsékelt meredek lejtőkkel, addig a glaciális völgyek „U” alakúak (MCGEE W. J. 1894). SVENSSON H. (1959) pedig az első, aki függvény közelítéssel kívánta meghatározni egy völgy keresztmetszetét, nevezetesen az észak-svédországi Lapporten glaciális völgy alakját, melynek során azt találta, hogy bár a völgy alakja nem teljesen szimmetrikus, egyértelműen parabola alakja van. Azonban, ahogy azt a szerző is megjegyzi, egyetlen völgy alapján nem lehet általános következtetéseket levonni, de az általa kapott eredmények alapján érdemes a völgyek alakját függvény illesztéssel meghatározni. Azonban míg SVENSSON H. hatványfüggvény illesztéssel próbálta meghatározni a glaciális völgyek alakját, addig WHEELER D. A. (1984) volt az első, aki másodfokú polinom illesztéssel próbálkozott.

A GIS módszerek térnyerésével és a digitális terepmodellek megjelenésével azonban manapság új eszközeink vannak völgyprofilok elemzésére. PRASICEK G. et al. (2014) a völgyek görbületéből (lejtőszögük 100 méterenkénti változásából) számoltak küszöbértéket, mellyel az automatizált DTM alapú modell meg tudja állapítani, hogy folyóvízi vagy glaciális-e az adott völgy. Ezt a szerzők azon feltevés alapján kívánták meghatározni, hogy míg a fluviális völgyek keresztmetszete egyenletesen meredek lejtőszögű „V” alakú, addig a gleccser völgyeké változékony meredekségű „U” alakú. A kutatás azokra az európai hegységekre terjedt ki, melyeket az utolsó eljegesedési maximum (LGM) érintett, valamint ennek segítségével tudták validálni is az értékeket, hiszen a modell akkor sikeres, ha az érintett területeken „U” alakú völgyeket találnak. A kutatás rendkívül nagy területre terjedt ki, hiszen a cél egy olyan módszer kidolgozása volt, mellyel egyszerre és arányaiban pontosan meg lehet állapítani egy nagyobb területről, hogy mely völgyei glaciálisak és melyek folyóvíziek.

A völgyek keresztmetszésvonaljaival ellentétben, melyek csak részben mutatják a völgy formáját, attól függően, hogy pontosan hol fut a kiválasztott vonal, az esésgörbék a völgyek teljes hosszában információval szolgálnak, igaz ez az információ más típusú. A hossz-metszvények alakját, a keresztprofilokéhoz hasonlóan, szintén függvény illesztéssel szokás számszerűsíteni. A völgyek esésgörbéjére általában a logaritmusos függvény illeszkedik legjobban (HACK, J.T. 1973). AYAZ S., KUTUBUDDIN DHALI MD. (2019) kelet-himalájai völgyek esésgörbéire lineáris, exponenciális, logaritmusos és hatvány függvényt illesztettek, azt keresve melyik függvény írja le legjobban a völgyek hossz-metszésvonalait. Azt találták, hogy a vizsgált 10 völgy közül 9-re az exponenciális függvény illeszkedik legjobban.

Kutatásom során elsősorban arra kerestem a választ, hogy igaz-e, hogy az utolsó eljegesedési maximummal érintett völgyek keresztprofilja, valóban „U”, a folyóvízi völgyeké pedig inkább „V” alakú, illetve, hogy milyen függvénnyel közelíthető legjobban az adott profil. A kutatás mintaterületéül Szlovéniát választottam, mivel az ország területének csaknem kétharmadát dombos és hegyvidéki alpesi és dinári tájak jellemzik, változatos kőzetekkel és tektonikai helyzettel (PERKO D et al, 2020), így sokféle típusú és méretű völgy közül volt lehetőségem választani. Szlovénia felszínének 65,1%-át üledékes kőzetek borítják, melyek közül a mészkő és a dolomit különösen gyakori. A tektonikus mélyedéseket és a folyóvölgyeket laza üledékek töltik ki, amelyek Szlovénia területének 29,2%-át borítják. Mészkő- és dolomitkarszt összesen az ország területének mintegy 44%-át alkotja (1. ábra). Az egyes kőzettípusok meglehetősen egyenlőtlenül oszlanak el az országban. Az alpesi hegyek elsősorban mészkőből és dolomitból épültek fel, míg a völgyekben nagy mennyiségű karbonátos kavics és törmelék halmozódott fel (HRVATIN M. et al. 2020).

Szlovénia területének több mint fele fluviális jellegzetességekkel rendelkezik, kétötödén pedig a karsztos domborzat jellemző. Bár a gleccservölgyek országos szinten nem gyakoriak, a Júliai- és Kamniki-Alpokban található néhány nagy kiterjedésű glaciális völgy. A folyóvízi tájak az alpesi makrorégióban a felszín több mint felét teszik ki. A hegyvidéki területeken a folyók helyenként keskeny és mély („V” alakú) szurdokokba vágják medrüket, ilyen például a Júliai-Alpokban a Mostnica folyó (ZORN M. et al. 2020).



1. ábra: Szlovénia geológiai térképe (HRVATIN M. et al. 2020, saját szerkesztés)

A glaciális tájak, melyek Szlovénia területének mintegy tizedét teszik ki, a negyedidőszakban glaciális erózió révén alakultak ki a hegyvidéki régiókban, mint például a Júliai- és Kamniki-Alpokban. A legjelentősebb völgyi gleccserek a Sava-gleccser és a Soča-gleccser voltak. Jelenleg Szlovéniában csak két gleccser van, a Triglav-gleccser a Júliai-Alpokban és a Skuta-gleccser a Kamniki-Alpokban, azonban mára mindkettő gyakorlatilag megszűnőben lévő mikrogleccsernek tekinthető csak. Az egykor gleccserrel borított területeken ma a fluviális erózió és a karsztosodás dominál. A gleccserek U alakú völgyeket vájtak, a glaciális erózió pedig hordalékot termelt. Szlovéniában mindenhol, ahol egykor gleccserek voltak, ma fenék-, perem- és végmorénák találhatóak (ZORN M. et al. 2020).

3. Adat és módszer

3.1 Alapadatok

Kutatásom során fő adatforrásként a 30 méter (1") felbontású SRTM digitális terepmodellt (DTM) használtam (usgs.gov), valamint öt völgy esetében az ország egész területére ingyenesen elérhető, 3 méter felbontású LiDAR pontfelhőből származó DTM-et is használtam (gis.arso.gov.si). A legutolsó eljegesedési maximumot (last glacial maximum, LGM) EHLERS J. et al. (2011) alapján vettem, mely a szerzők által üzemeltetett oldalon digitális (GIS) formátumban ingyenesen elérhető (booksite.elsevier.com). A völgyek közzétani azonosításához HRVATIN M. et al. (2020) „Rock types in Slovenia” ábráját (1. ábra) használtam. A folyókat és Szlovénia országhatárát pedig az Open Street Map-ről (OSM) töltöttem le.

3.2 Módszertan

A térinformatikai elemzéseket ArcGIS Desktop 10.4.1, QGIS 3.20 és Global Mapper 17 szoftver-környezetben, a hossz- és keresztmetszvény-elemzést pedig Microsoft Excel-ben végeztem el.

3.2.1 Térinformatikai módszerek

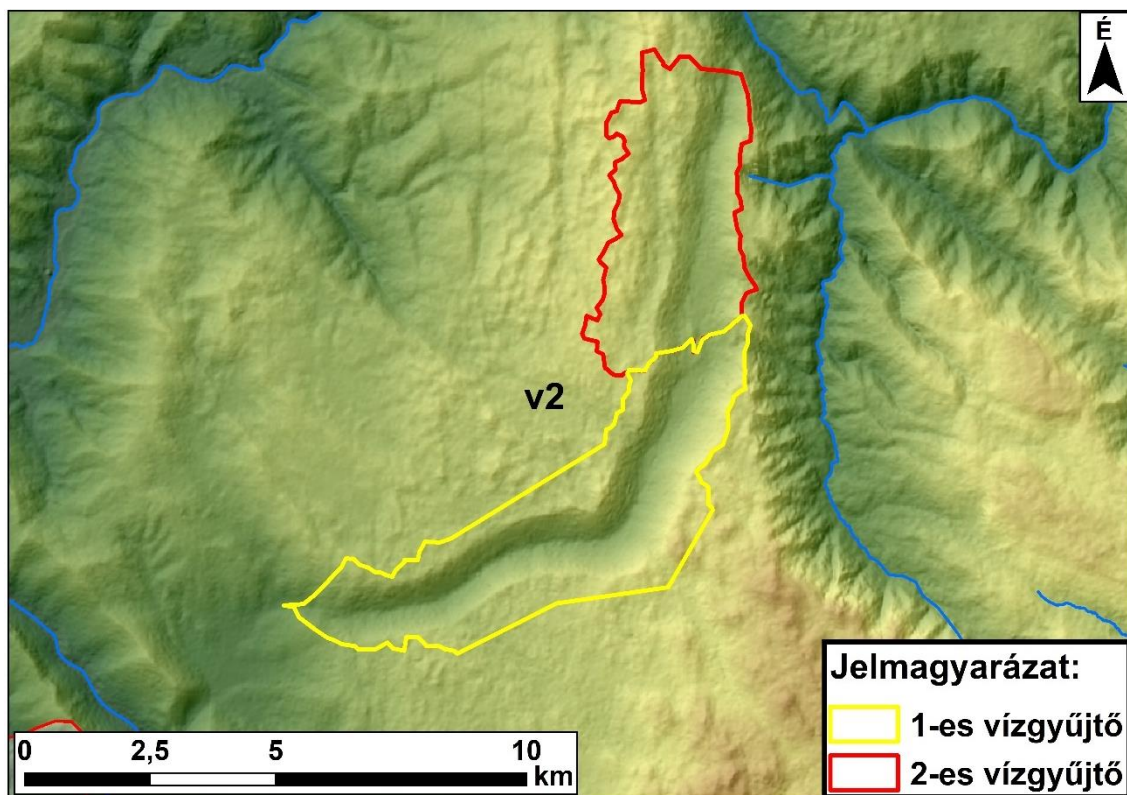
Először meghatároztam, hogy mely völgyeket szeretném megvizsgálni, igyekeztem minél különbözőbb kialakulású, elhelyezkedésű és méretű völgyeket választani. Összesen 50 völgyet választottam ki, melyből 26 a Júliai-Alpokban, 11 a Kamniki-Alpokban, 8 a Pohorje-hegységben, 5 völgy pedig a Dinári-hegységben található. A vizsgált völgyeket kategorizáltam aszerint, hogy melyik milyen eróziós folyamat révén jött létre. Glaciálisnak azokat a völgyeket tekintettem, melyeket érintett az utolsó eljegesedési maximum (EHLERS J. et al. 2011), karsztos völgynek pedig azokat a völgyeket, melyeknek uralkodó alapkőzete karbonátos kőzet (HRVATIN M. et al. 2020), egyes kialakulású völgynek azokat vettem, mely völgyeknek bár a magasabban fekvő részét érintette az LGM, a völgy alacsonyabban fekvő része azonban karsztos oldódás következtében alakulhatott ki, a többi völgyet pedig folyóvízi völgynek tekintettem, így az 50 völgyből 21 fluviális, 15 glaciális, 10 karsztos, 4 völgy pedig vegyes (egy része glaciális, egy része karsztos) kialakulású.

A választott völgyekhez tartozó vízgyűjtő-területeket az ArcGIS-ben az alábbiak szerint határoztam meg.

Először több kisebb részre vágtam a domborzatmodellt úgy, hogy az egymáshoz közel eső völgyek vízgyűjtői benne legyenek a kivágatban és ezekre vonatkozóan végeztem el a következő eljárásokat. Kóddal láttam el a völgyeket az alapján, hogy melyik DTM kivágatba esnek. Ahhoz, hogy a domborzatmodellbe be tudjam „égetni” a vízfolyások medrét, az OSM-ből származó Szlovénia folyói vektoros állományt raszterre alakítottam („polyline to raster” eszköz), majd az újraosztályozás eszközzel („reclassify”) meghatároztam, hogy a meder pixelek értéke 5 méter, a no data pixelek értéke pedig 0 méter legyen, majd a „raster calculator” segítségével kivontam a folyómedret a terepmodellből (MAIDMENT, 1996). A kutatás során ~30 m/pixel terepi felbontású SRTM digitális felszínmodellel dolgoztam, melynek magassági értékei hibával terheltek, ami egyrészt adódhat abból, hogy nem csak a szilárd kőzetburok magassági értékeit tartalmazza a modell, hanem a tereptárgyakét is, másrészt adódhat a rossz felbontásból is, továbbá – különösen karsztos területeken, de egykor eljegesedett vidékeken is – a természetes domborzat is számos zárt mélyedést tartalmaz. A fentiek miatt előforduló „gödrök” korrigálásához a feltöltés, vagyis „fill” műveletet alkalmaztam, mely a zárt mélyedéseket feltölti a perem legkisebb értékével. Ezt követően meghatároztam a lefolyásirányokat („flow direction”, FD), melyhez az ArcGIS eszköz a D8-módszert alkalmazza, ami csak a legalacsonyabb szomszédos cellába juttat vizet (JENSON, DOMINGUE, 1988). Ezt követően a lokális vízgyűjtő-területet („flow accumulation”, FA) is meghatároztam, ez azt adja meg, hogy mekkora az adott ponthoz tartozó vízgyűjtőterület, az alapján, hogy adott pixelen hány másik pixelről lefolyó víz halad át. Ahhoz, hogy megkapjam a völgy vízhálózatát, először meg kellett határoznom egy küszöbértéket, hogy mely FA pixel értéket tekintsem vízfolyás-pixelnek (JENSON, DOMINGUE, 1988). Ehhez megjelöltem a kis kivágaton belüli OSM vízfolyások réteg kezdőpontjait, majd egy 5 pixel (~150 méter) sugarú puffer zónát alakítottam ki ezek köré. A „zonal statistics” eszköz segítségével megnéztem, hogy a zónákban mi a FA értékek átlaga, majd ezeknek a medián értékét vettem küszöbértéknek. A vízhálózatot a „con” eszköz segítségével határoztam meg, minden völgnél a küszöbértéknél nagyobb FA értékeket vettem vízfolyásnak. Ezután meghatároztam a kifolyási pontot (pour point),

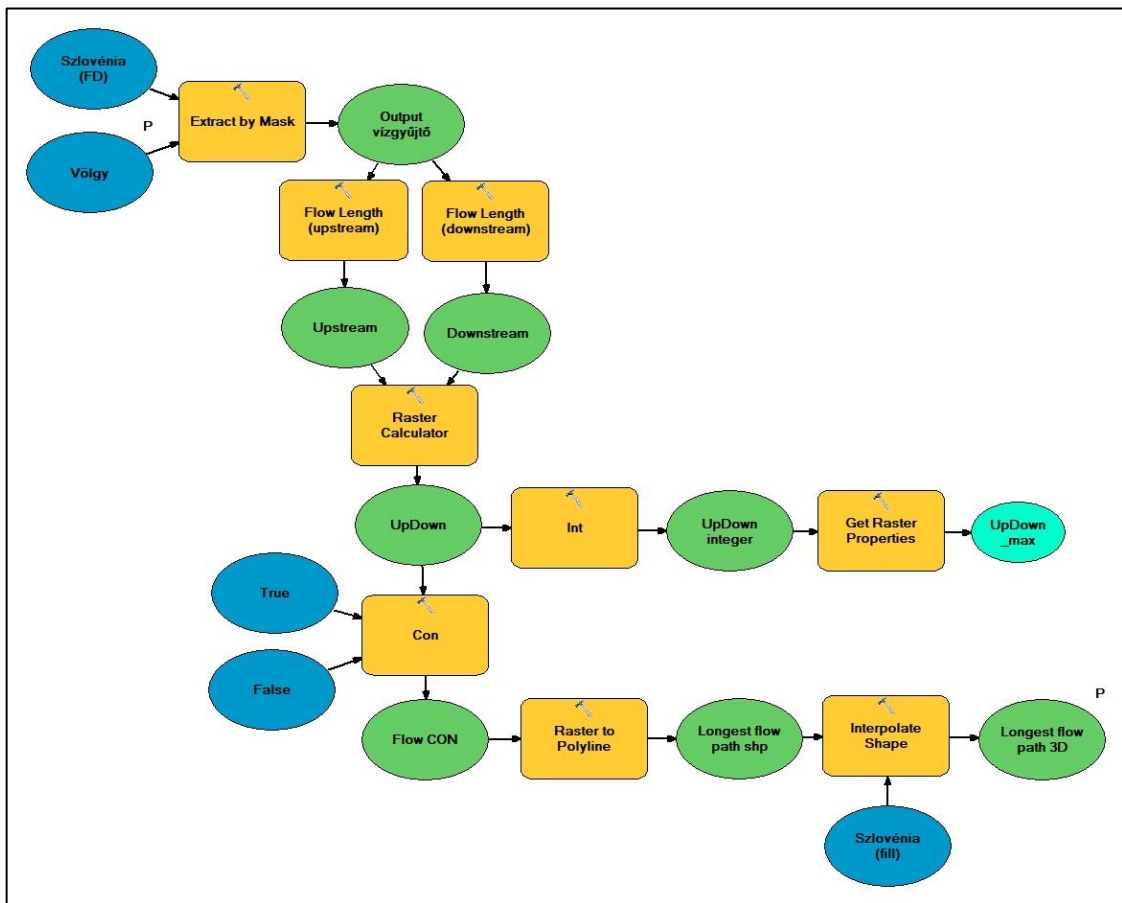
majd a „watershed” eszköz segítségével a vízgyűjtőterületet, melyet végül vektor réteggé alakítottam („raster to polygon”).

A vízgyűjtőterület-meghatározás során néhány völgnél nehézségekbe ütköztem. A v2-es kódú karsztos szárazvölgy esetében egy völgyi vízvásztó miatt az elkészült vízgyűjtő csak a völgy egy részét foglalta magába. Hogy később az egész völgyet elemezni tudjam, a völgyi vízvásztó másik oldalára is elkészítettem a vízgyűjtőt, majd ezeket egybeolvasztva megkaptam az egész völgyet magába foglaló vízgyűjtőt (2. ábra).



2. ábra: v2: A v2-es völgy két vízgyűjtője

Ahhoz, hogy megkapjam a völgyek hossz-szelvényét, a leghosszabb vízfolyás („longest flow path”) meghatározására volt szükségem. A gyorsabb munka érdekében ezt a folyamatot automatizáltam az ArcGIS Model Builder moduljával (3. ábra).

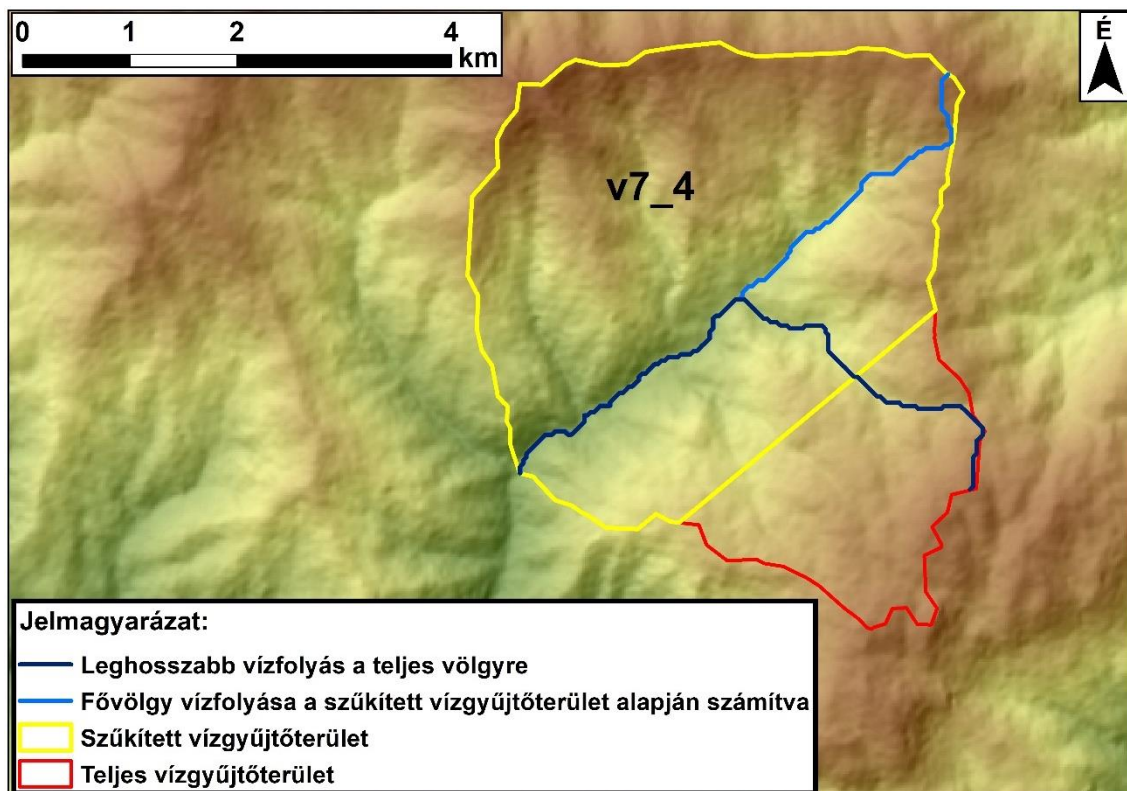


3. ábra: A leghosszabb vízfolyás meghatározásához készített modell

Először a teljes Szlovéniát magába foglaló DTM-re elvégeztem a „fill”, valamint a „flow direction” (FD) műveletet. A modell bemenő adatai a FD, valamint a völgy vízgyűjtőjét tartalmazó raszter. A modell elsőként az „extract by mask” művelettel megvágja a FD rasztert a vízgyűjtővel, hogy a további műveleteket csak az adott vízgyűjtőre végezze el. Majd az imént megvágott FD raszter alapján a „flow length” eszközzel kiszámítja a lefolyási útvonal mentén az egyes cellákhoz tartozó felfelé (a vízvásztóig) és lefelé (a kifolyási pontig) irányuló távolságot, és elkészíti az „upstream” és a „downstream” rasztereket, melyeknek cella értékeit a „raster calculator” eszközzel összeadja. A következő művelethez az imént létrejött raszter legnagyobb értékű cellájának egészrész értékére van szükség, ezért a modell először az összes cella értékét egész számmá alakítja, majd megkeresi a legnagyobb értéket. Ezután a modell a „con” művelet segítségével meghatározza a leghosszabb vízfolyást, úgy, hogy ahol a cella

értékek nagyobbak az imént meghatározott legnagyobb egészrész értéknél a cellák 1-es (true) értéket, amelyek pedig kisebbek 2-es (false) értéket kapnak. Az 1-es értékű cellák kirajzolják a leghosszabb vízfolyás vonalát. Végül ezt a „raster to polyline” eszközzel, vektoros réteggé alakítja a modell, majd a „fill” raszter alapján magassági értékeket rendel hozzá. Ezzel az eljárással megkaptam a völgyek hossz-szelvényeit, melyeket a Microsoft Excel-be exportálva tovább elemeztem.

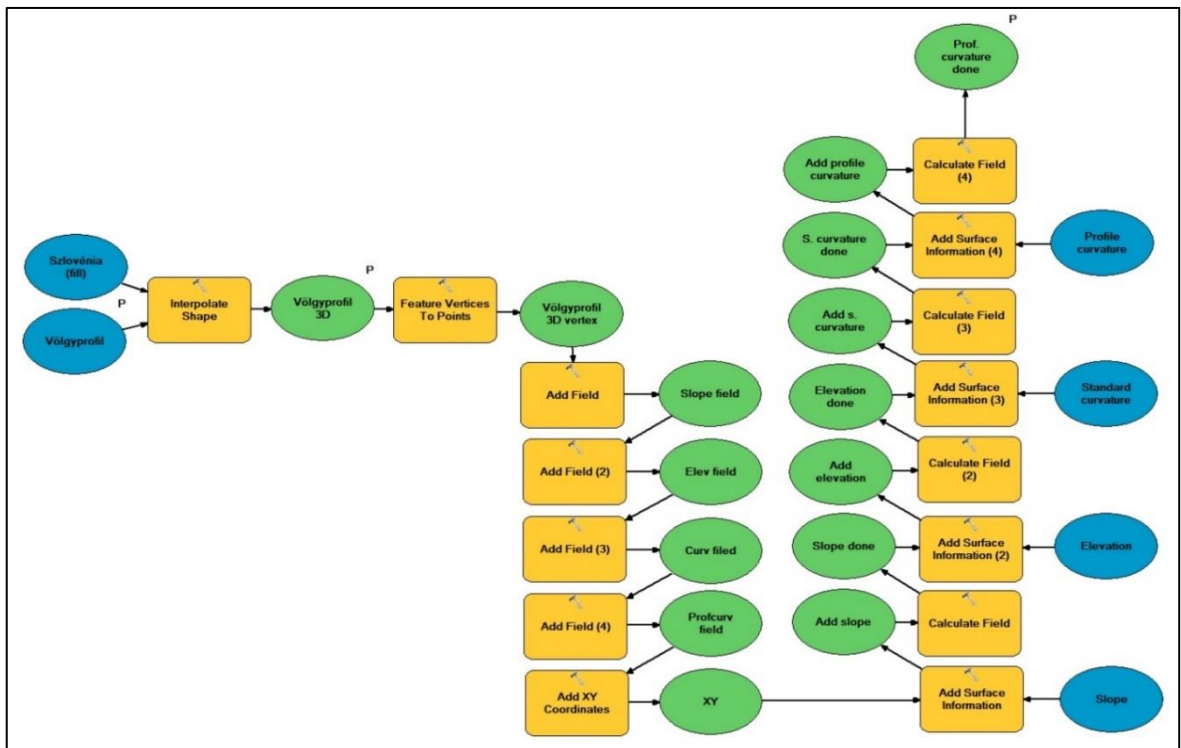
A leghosszabb vízfolyás elkészítésénél is akadtak nehézségek. A v2-es völgnél külön le kellett futtatni a modellt mindkét vízgyűjtőre, majd az így elkészült vízfolyásokat kézzel „összekötöttem” és így kaptam meg az egész völgyre vonatkozó hosszprofil. Néhány völgy esetében a modell nem a vizsgálni kívánt fővölgyet jelölte ki, mint leghosszabb vízfolyást a vízgyűjtőben, hanem elkanyarodva, egy mellékvölgyet. Ezekben az esetekben kézzel megvágtam úgy vízgyűjtőterületet, hogy abban a mellékvölgy ne, hanem csak a fővölgy legyen benne, és így újravéglettem a modellt (4. ábra).



4. ábra: Példa a leghosszabb vízfolyás kijelölésénél felmerült problémára

Excel-ben a magassági és távolsági értékekből esésgörbéket készítettem, melyekhez trendvonalakat illesztettem és a legjobban illeszkedő függvényt kerestem (exponenciális, lineáris, logaritmikus, harmadfokú vagy negyedfokú polinom).

Ezt követően völgyenként, mindig a vízgyűjtő peremei között, 4 keresztmetszelynyt határoztam meg, melyeket 1-4-ig, a legmagasabbtól a legalacsonyabban fekvőig ID-vel láttam el. A kívánt vizsgálatok elvégzéséhez értékeket kellett a keresztvonalakhoz rendelnem, a hatékonyabb munka érdekében ehhez is modellt készítettem a Model Builder modulban (5. ábra).

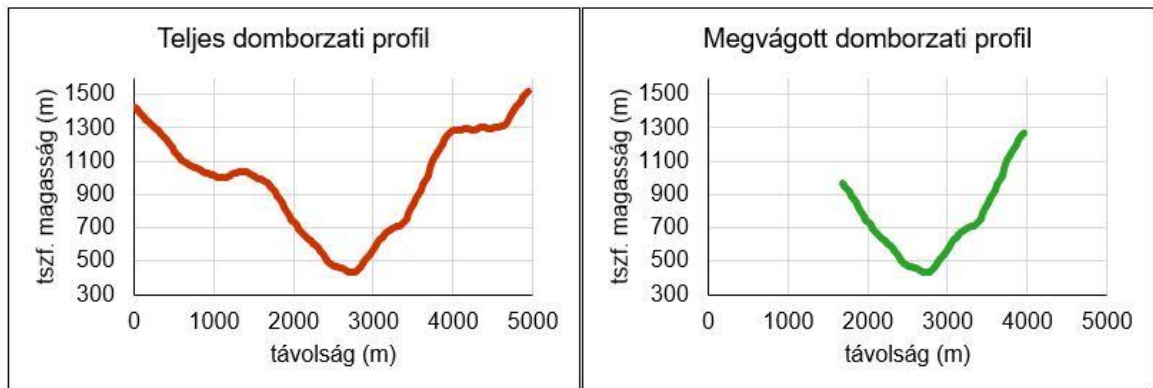


5. ábra: Az elemzéshez szükséges adatok keresztmetszelynekhez rendelését szolgáló modell

A modell futtatása előtt létrehoztam a „fill” raszter alapján a lejtőszög („slope”), az érintőirányú görbület („standard curvature”) és a lejtőirányú görbület („profile curvature”) rasztereket. A modell először az „interpolate shape” eszköz segítségével a „fill” raszter alapján magassági értékeket rendel a keresztmetszelyny vonalakhoz, majd pont állománnyá alakítja őket. Ezután a modell hozzáad a profilokhoz új mezőket „Slope”, „Elev”, „Curv”, „Profcurv” névvel, melyekbe majd a későbbiekben az értékek kerülnek.

Hozzáadja az „xy” értékeket a keresztmetszvények pontjaihoz, majd feltölti a megfelelő értékekkel a megfelelő mezőket (lejtőszög, magasság, érintőirányú görbület, lejtőirányú görbület).

Az így kinyert adatokat az Excel-ben a témavezetőmtől, Telbisz Tamástól kapott Excel makró segítségével elemeztem. Mivel a szelvények a vízgyűjtő peremei között vannak, sokszor a vizsgált völgyön kívül mást is (pl. mellékvölgy, fennsík) ábrázolnak. Ezek zavaró tényezők a völgy alakjának vizsgálatánál, ezért ezeket a részeket kézzel levágtam az adatsorból (6. ábra).



6. ábra: Képkivágat az Excel munkafolyamatból: a vízgyűjtő peremétől-pereméig tartó teljes völgyprofil (balra) és megvágott völgyprofil (jobbra)

Azt kerestem, hogy a profilokhoz melyik függvény (másodfokú-, harmadfokú polinom vagy kétoldali lineáris) illeszkedik legjobban, vagyis a völgy inkább parabola vagy inkább „V” alakú-e. Utóbbihoz a makró megkeresi a megvágott völgyprofil legalacsonyabb pontját, majd két oldalra bontva a szelvényt mindkét oldalra lineáris függvényt illeszt. Ezután mind a négy függvényillesztéshez tartozó determinációs együtthatót (R^2) értéket beírtam a munkalap megfelelő helyére az adott völgyprofilhoz.

Az SRTM rossz felbontása miatt az eredmények, különösen a szűk szurdokoknál, pontatlanok lehetnek, ezért 5 különböző méretű és típusú völgyet (Vrata-völgy, Vintgar-szurdok, Idrijca-völgy, Soča-völgy, Mostnica-szurdok) LiDAR alapú DTM-mel is megvizsgáltam, ugyanazon eljárás szerint, mint azt az SRTM-nél is tettem. A LiDAR alapján kapott eredményeknél a jobb felbontás miatt sokkal pontosabb eredményekre számítottam, hiszen míg az SRTM adatok pixelei csupán 30m x 30m-esek, addig a

LiDAR pixelei 3m x 3m felbontásúak. Mivel az SRTM adatnyerése radarral történik, ezért nem terep-, hanem felszínmodell, vagyis a tereptárgyak is benne vannak az adatokban, ezért pl. a fák lombkoronája bezavarhat a vizsgálat pontosságába. A LiDAR adatokból azonban ezek a "zavaró tényezők" már le lettek szűrve, emiatt az így megvizsgált völgyeknél sokkal pontosabb eredmények várhatók. Azonban a LiDAR alapú domborzatmodell másik előnye, a nagy adatsűrűség, egyben a hátránya is, mert a nagy adatmennyiség miatt az adattárolás és az eljárások futtatása komolyabb hardvert igényel. Ennek hiányában nem volt lehetőségem az összes völgyet megvizsgálni LiDAR alapján is. Az SRTM alapú vizsgálat során 4 völgy esetén anomáliákat tapasztaltam a kapott eredményekben, ilyen pl. a kapott profilok „lépcsős” megjelenése (sok “knickpoint”). Annak érdekében, hogy megtudjam, hogy ezeket az alapadatban rejlő pontatlanságok okozzák-e vagy pedig valóban ilyen alakja van-e a völgynek (pl. vízlépcső miatt), ezeket a völgyeket vizsgáltam meg LiDAR alapján is.

Ahhoz, hogy az eredményeket elemezni tudjam, egy átfogó táblázatba kellett összeszednem minden kapott eredményt. A munka gyorsítása érdekében írtam ehhez egy Python scriptet, melyhez fontos volt, hogy a korábban elkészült összes Excel fájl (melyek a hossz- és keresztmetszeteket tartalmazzák) ugyanúgy nézzen ki. A hossz-szelvényeket egyetlen Excel fájl tartalmazza, munkalapjait pedig a völgyek kódjai szerint nevezttem el. A keresztprofilok esetében egy Excel-fájl egy völgy keresztmetszet adatait tartalmazza, a munkalapok nevei pedig P1-P4-ig vannak elnevezve, aszerint, hogy hányas számú profil adatait tartalmazza. A völgyprofilokat tartalmazó Excel-fájlokat négy különböző mappába mentettem el, a völgy kialakulásának módja szerint (fluviális, glaciális, karsztos vagy vegyes). Ugyanígy tettem a LiDAR alapján nyert adatok hossz- és keresztmetszet adataival is. Előre elkészítettem azt a táblázatot, amit majd a program fog feltölteni adatokkal. A munkafüzetben négy munkalap van, az első a „hossz_profil”, ide elsősorban a függvény illesztéssel kapcsolatos eredmények kerülnek, a második a „slope_curv”, amit a keresztmetszelvények lejtőszög és görbületi értékeivel tölt ki a program, valamint két olyan munkalap, ami pontosan olyan, mint az első kettő, azzal a különbséggel, hogy ide a LiDAR adatok eredményei kerülnek majd. A 7. ábrán látható, a völgy nevét, kódját, uralkodó kőzetét, a hosszprofilra legjobban illeszkedő függvényt és annak R^2 értékét kézzel töltöttem ki a táblázatban.

1	A	B	C	D	E	Keresztszelvény				Hossz-szelvény							
						F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	
2	Völgy	Kód	Típus	Uralkodó kőzet	Völgy keresztmetszet	Másodfokú polinom R ²	Harmadfokú polinom R ²	Bal oldal R ²	Jobb oldal R ²	Függvény	R ²	Legmagasabb pont (m)	Legalacsonyabb pont (m)	Teljes esés (m)	Hossz (m)	Átlagos meredekség	
3	Vrata-völgy	triglav	Karbonátos kőzetek	triglav_1						Logaritmikus	0,9540						
4				triglav_2													
5				triglav_3													
6				triglav_4													
7	Vintgar-szurdok	vintgar	Karbonátos kőzetek	vintgar_1						Negyedfokú polinom	0,9798						
8				vintgar_2													
9				vintgar_3													
10				vintgar_4													
11	Loška Koritnica	v1_1	Karbonátos kőzetek és agyag	v1_1_1						Negyedfokú polinom	0,9975						
12				v1_1_2													
13				v1_1_3													
14				v1_1_4													
15	Bavšica-völgy	v1_2	Karbonátos kőzetek	v1_2_1						Harmadfokú polinom	0,9862						
16				v1_2_2													
17				v1_2_3													
18				v1_2_4													
19	Čepovanski dol (Karsztos szárazvölgy)	v2	Mészke és agyag	v2_1						Negyedfokú polinom	0,9717						
20				v2_2													
21				v2_3													
22				v2_4													

7. ábra: Kivágot a program által kitöltendő „kereszt_hossz” munkalapról

A táblázatok üres celláit feltöltő program két függvényből áll. Az első megnyitja (a második függvény által) a völgy kódja alapján azonosított keresztprofilokat tartalmazó Excel-munkafüzet megfelelő munkalapját, majd kiolvassa belőle, az L2, L3, N2, N3 cellákba beírt, a profilokra illesztett függvények R² értékeit, és beírja ezeket az adatokat a „kereszt_hossz” munkalap megfelelő celláiba. Majd kiolvassa a keresztszelvények lejtőszög és görbületi értékeit és beírja őket a „slope_curv” munkalap megfelelő celláiba (8. ábra).

```
def read_worksheet(kereszt_hossz, slope_curv, wb, ws_read_name, row):
    # Megnyitja a megfelelő keresztprofilokat tartalmazó Excel munkafüzet megfelelő munkalapját
    ws_read = wb[ws_read_name]
    # Kiolvassa a profilokra illesztett függvények R2 értékeit és beírja őket a kereszt-hossz munkalap megfelelő celláiba
    kereszt_hossz['F' + str(row)] = ws_read['L2'].value
    kereszt_hossz['G' + str(row)] = ws_read['L3'].value
    kereszt_hossz['H' + str(row)] = ws_read['N2'].value
    kereszt_hossz['I' + str(row)] = ws_read['N3'].value

    #Kiolvassa a keresztszelvények lejtőszög értékeit és beírja őket a slope_curv munkalap megfelelő celláiba
    for i in range(19):
        slope_curv.cell(row = row + 1, column = 6 + 2 * i).value = ws_read.cell(row = 13 + i, column = 12).value
        slope_curv.cell(row = row + 1, column = 6 + 2 * i + 1).value = ws_read.cell(row = 13 + i, column = 13).value
    #Kiolvassa a keresztszelvények görbületi értékeit és beírja őket a slope_curv munkalap megfelelő celláiba
    for i in range(22):
        slope_curv.cell(row = row + 1, column = 46 + 2 * i).value = ws_read.cell(row = 36 + i, column = 12).value
        slope_curv.cell(row = row + 1, column = 46 + 2 * i + 1).value = ws_read.cell(row = 36 + i, column = 13).value
    #Kiolvassa a keresztszelvények lejtőszög (gyakoróság szumma, <10°) értékeit és beírja őket a megfelelő cellákba
    slope_curv.cell(row = row + 1, column = 44).value = ws_read.cell(row = 33, column = 12).value
    slope_curv.cell(row = row + 1, column = 45).value = ws_read.cell(row = 33, column = 14).value
    #Kiolvassa a keresztszelvények görbületi (gyakoróság szumma, homorú, sík, domború) értékeit és beírja őket a megfelelő cellákba
    slope_curv.cell(row = row + 1, column = 90).value = ws_read.cell(row = 58, column = 12).value
    slope_curv.cell(row = row + 1, column = 91).value = ws_read.cell(row = 36, column = 14).value
    slope_curv.cell(row = row + 1, column = 92).value = ws_read.cell(row = 38, column = 14).value
    slope_curv.cell(row = row + 1, column = 93).value = ws_read.cell(row = 40, column = 14).value
```

8. ábra: Képkivágot, az első függvény a Python kódból

A második függvény megkeresi a fájlokat a keresztprofilok munkafüzetait tartalmazó mappában, valamint azt, hogy az adott fájlhoz melyik sor tartozik a kereszt_hossz munkalapon. Végig iterál a B oszlopon (vagyis a völgy kódokon) és megvizsgálja, hogy a völgy neve egyezik-e a fájl nevével, majd levágja a fájlnevről a .xlsx kiterjesztést. Ezután a gyökér változót felbontja, hogy megkapja a völgy típusát, majd annak a sornak a C oszlopába, amiben megtalálta a völgy nevét, beírja a völgy típusát mindegyik munkalapon. Majd meghívja az előző függvényt, hogy feltöltse az imént azonosított völgyeket a megfelelő adatokkal. A hossz profilokat tartalmazó Excel-fájl, a völgy kódja szerint azonosított munkalapjáról kiolvassa és beírja a „kereszt_hossz” munkalapra az értékeket (9. ábra).

```
def read_files_from_directory(directory_name, long_graph, kereszt_hossz, slope_curv, fill_type = False):
    # Megkeresi a fájlokat a kereszt mappában
    for gyoker, dir, filenevek in os.walk(directory_name):
        # Sorra veszi a fájlokat
        for f in filenevek:
            path = os.path.join(gyoker, f)
            print(path)
            wb = load_workbook(path, data_only=True)

            # Megkeresi, hogy az adott fájlhoz, melyik sor tartozik a kereszt_hossz munkalapon
            # Végig iterál az B oszlopon és megvizsgálja, hogy a völgy neve egyezik-e a fájl nevével
            for cell in kereszt_hossz['B']:
                # Levágja a fájlnevről a .xlsx kiterjesztést
                volgy_nev = f[:-5]
                if cell.value == volgy_nev:
                    row = cell.row
                    if fill_type:
                        # A gyökér változót felbontja, hogy megkapja a völgy típusát
                        splitted = gyoker.split('\\')
                        # Annak a sornak a C oszlopába, amiben megtalálta a völgy nevét, beírja a völgy típusát
                        kereszt_hossz['C' + str(row)] = splitted[1]
                        slope_curv['C' + str(row + 1)] = splitted[1]
                    # Meghívja az előző függvényt, feltölti az adatokkal a sorokat
                    read_worksheet(kereszt_hossz, slope_curv, wb, "P1", row)
                    read_worksheet(kereszt_hossz, slope_curv, wb, "P2", row + 1)
                    read_worksheet(kereszt_hossz, slope_curv, wb, "P3", row + 2)
                    read_worksheet(kereszt_hossz, slope_curv, wb, "P4", row + 3)

            # A hossz profilokat tartalmazó Excel fájl,
            # a völgy neve szerint azonosított munkalapjáról kiolvassa és beírja a táblázatba az értékeket
            ws = long_graph[volgy_nev]
            kereszt_hossz['L' + str(row)] = ws['E3'].value
            kereszt_hossz['M' + str(row)] = ws['E4'].value
            kereszt_hossz['N' + str(row)] = ws['E5'].value
            kereszt_hossz['O' + str(row)] = ws['E6'].value
            kereszt_hossz['P' + str(row)] = ws['E7'].value
```

9. ábra: Képkivágat, a második függvény a Python kódból

Végül a főprogram megnyitja az Excel-fájlokat és a munkalapokat és meghívja a második függvényt, ami feltölti adatokkal mind a négy munkalapot és elmenti a változtatásokat (10. ábra).

```
# Megnyitja az excel fájlokat
telejs_tablazat = load_workbook('teljes_tablazat.xlsx')
long_graph = load_workbook('long_graph.xlsx', data_only=True)
long_graph_lidar = load_workbook('long_graph_lidar.xlsx', data_only=True)

# Megnyitja a munkalapokat
kereszt_hossz = telejs_tablazat["kereszt_hossz"]
slope_curv = telejs_tablazat["slope_curv"]
lidar_kereszt_hossz = telejs_tablazat["lidar_kereszt_hossz"]
lidar_slope_curv = telejs_tablazat["lidar_slope_curv"]

# Beolvassa az adatokat a long-graph munkafüzetből,
# valamint a kereszt és kereszt_lidar könyvtárban található fájlokból
read_files_from_directory('kereszt', long_graph, kereszt_hossz, slope_curv, True)
read_files_from_directory('kereszt_lidar', long_graph_lidar, lidar_kereszt_hossz, lidar_slope_curv)
# Elmenti a teljes_tablazat változtatásait
telejs_tablazat.save('teljes_tablazat.xlsx')
```

10. ábra: Képkivágat, a főprogram a Python kódból

3.2.2 Web-térkép készítése

A kutatás során mind az ötven völgy esetében négy keresztmetszést, valamint az összes völgy esésgörbéjét is megvizsgáltam. Hogy ezt a sok adatot minél átláthatóbbá és a nagyközönség számára befoghatóbbá tegyem, készítettem egy web-térképet, melyen a kutatás legfontosabb eredményeit kívánom bemutatni. A weboldal elkészítéséhez HTML (Hypertext Markup Language) leíró nyelvet, CSS (Cascading Style Sheets) stílusleíró nyelvet és JavaScript programnyelvet használtam, a honlap térképi tartalmait Leaflet segítségével jelenítettem meg.

Első lépésként a térképen megjeleníteni kívánt rétegeket (LGM, vízgyűjtők, hossz-szelvények, keresztmetszvények, folyók és Szlovénia országhatára) QGIS-ben ESRI shape fájlból Geojson fájlra konvertáltam, majd feltöltöttem őket az egyetemi webszerverre. A megjeleníteni kívánt képeket, a hossz-szelvényeket és a völgyeket ábrázoló képeket mappákba rendeztem és elneveztem őket a völgykódok alapján, a keresztmetszvényeket ábrázoló képeket völgyenként külön mappába rendeztem (melyeket a völgy kódok alapján neveztem el), és 1-4-ig neveztem el őket a keresztprofil ID-je alapján, majd ezeket is feltöltöttem a webszerverre.

A web-térkép jobb felső sarkába rétegkezelőt helyeztem, melyben három alaptérkép közül választhat a felhasználó (rádiógombok segítségével): Google Satellite, OpenStreetMap és OpenTopoMap, a völgyek alakja utóbbinál látszik legjobban, ezért ez az alapértelmezett alaptérkép. Ezenkívül a felhasználónak lehetősége van a megjelenő rétegek közül is választania (itt azonban már többszörös választási lehetősége van), ehhez betöltöttem a Geojson fájlokat és beállítottam a megjelenésüket, alapértelmezetten a hossz- és keresztmetszvényeket, a vízgyűjtőket és Szlovénia határvonalát adtam hozzá a térképhez (11. ábra).

<pre>// alaptérképek megadása var googleSat=L.tileLayer('http://{s}.google.com/vt/lyrs=s&x={x}&y={y}&z={z}',{ maxZoom: 20, subdomains:['mt0','mt1','mt2','mt3'] }); var osm=L.tileLayer('https://{s}.tile.openstreetmap.org/{z}/{x}/{y}.png', { attribution: '@ >a href="https://www.openstreetmap.org/copyright">OpenStreetMap>/a> contributors' }); var otm=L.tileLayer('https://{s}.tile.opentopomap.org/{z}/{x}/{y}.png', { attribution: '@ >a href="https://www.openstreetmap.org/copyright">OpenStreetMap>/a> contributors'+ ' SRM Map tiles: >a href="http://opentopomap.org/">OpenTopoMap>/a>' }).addTo(map);</pre>	A
<pre>// LGM réteg megnyitása + szín és megjelenés beállítása var x=new XMLHttpRequest(); x.open('get','geojson_fajlok/lgm.geojson',false); x.send(); var d=JSON.parse(x.responseText); var lgm = L.geoJSON(d,{ fillColor: '#45ECDF', weight: 2, opacity: 0.5, color: '#139289', //Outline color fillOpacity: 0.3, weight: Number(2)});</pre>	B
<pre>//rétegkezelő létrehozása és hozzáadása a térképhez var alap={ "OpenTopoMap": otm, "OpenStreetMap": osm, "GoogleEarth": googleSat } var retegek={ "Keresztszelvény": keresztszelveny, "Hossz-szelvény": hosszszelveny, "Vízgyűjtők": vizgyujtok, "Utolsó eljegesedési maximum": lgm, "Folyók": folyo, "Szlovénia": szlovenia }; L.control.layers(alap, retegek).addTo(map);</pre>	C

11. ábra: Képkivágatok a html kódból: az alaptérképek hozzáadása (A), példa a rétegek stílusbeállítására és meghívására (B), rétegkezelő hozzáadása a térképhez (C)

Ahhoz, hogy a vízgyűjtőkre, kereszt- vagy hosszprofilokra kattintva megkapjuk az információkat a völgyekről felugró (pop-up) ablakokat készítettem. A vízgyűjtők pop-up-ja tartalmaz egy képet a völgyről, valamint a nevét, uralkodó kőzetét és típusát, amiket a „vizgyujtok.geojson” fájl attribútum táblájából olvas ki. A kép címének a kép linkjét állítottam be, így, ha a felhasználó a kép fölé tartja az egeret, láthatja a kép forrását. Beállítottam a réteg z-indexét is, erre azért volt szükség, mert a hossz- és keresztvonalak a vízgyűjtőkön belül helyezkednek el, ezért ezeknek ennél nagyobbra kell állítani a z-indexét, így e fölött fognak elhelyezkedni és kattinthatók lesznek (12. ábra).

```
function vizgyujtoPopup(layer) {
    var p=layer.feature.properties;
    return "<p style='text-align: center;font-size: 20px;'><b>" + p.real_name + "</b> </p>" + //kiírja a völgy nevét
    //betölti a völgyhöz tartozó képet, amit a NAME attribútum alapján keresett ki
    "<img class=\"center\" src=\"kepek/\" + p.NAME + ".jpg\" title=\"+ p.linkek +\">"+
    "<div style='text-align: left;font-size: 15px; color: #422721 ; '><b>Uralkodó kőzet:</b> " + p.rock + "</div>"+
    "<div style='text-align: left;font-size: 15px; color: #053913 ; '><b>Típus:</b> " + p.type + "</div>"
}
function onEachVizgyujto(feature, layer) { //alkalmazza ezt a pop-up az összes vízgyűjtőre
    layer.bindPopup(vizgyujtoPopup)
}

vizgyujtok_pane = map.createPane('vizgyujtok');
vizgyujtok_pane.style.zIndex = 650; //kisebb z-index
var x=new XMLHttpRequest();
x.open('get','geojson_fajlok/vizgyujtok.geojson',false);
x.send();
var d=JSON.parse(x.responseText);
var vizgyujtok = L.geoJSON(d,{
    pane: 'vizgyujtok',
    fillColor: '#white',
    fillOpacity: 0,
    color: "#921319",
    weight: Number(2),
    onEachFeature: onEachVizgyujto}).addTo(map);
```

12. ábra: Képkivágot a html kódból: a vízgyűjtőkhöz tartozó pop-up ablak elkészítése és a réteg hozzáadása a térképhez

Ezután elkészítettem a kereszt-szelvényekhez tartozó pop-up ablakot is. Hasonlóan az előzőhöz, ez is betölti először a völgy nevét (amit itt is a réteg attribútum táblájából olvas ki). Majd a program betölti a völgyprofilhoz tartozó képet, először megkeresi a völgy kód attribútuma alapján a mappát, majd az ID attribútum alapján kikeresi a megfelelő képet. Hogy a vékony vonalakra könnyebb legyen rákattintania a felhasználónak, 200 méteres puffer zónát vontam a réteg köré, ezt azonban átlátszóra állítottam, hogy a látványt ne zavarja. Beállítottam a vízgyűjtőkénél nagyobbra, a réteg z-indexét is, így ez a réteg a vízgyűjtők réteg fölött helyezkedik el, ezért kattintható (13. ábra).

```

function keresztPopup(layer) {
    var p=layer.feature.properties;
    return "<p style='text-align: center;font-size: 20px;'><b>" + p.real_name + "</b> </p>" + //kiirja a völgy nevét
    //a kép függőleges tengelye mentén feliratoz
    "<div style='white-space:nowrap;'>"+
    "<div style='display:inline !important; float: 'right' !important;'">"+
    "<span class='flipH' style='display: inline-block; margin: 0px; margin-top: 100px; "+
    "display:inline !important; white-space:nowrap !important;"+
    "vertical-align: top;font-size: 13px; color: black; writing-mode: vertical-rl; "+
    "text-orientation: sideways-right;'>tszf. magasság (m)</span>"+
    "</div>"+
    //betölti az adott keresztmetvonalhoz tartozó képet
    "<img src='kereszt/' + p.kereszt + '/' + p.Id + '.JPG\" width='500' height='300'>"+
    "</div>"+
    //a kép vízszintes tengelye mentén feliratoz
    "<div style='text-align: center;font-size: 13px; color: black'>távolság (m)</div>"+
    //kiirja a völgy kőzetét és típusát
    "<div style='text-align: left;font-size: 15px; color: #422721 ; '><b>Uralkodó kőzet:</b> " + p.rock + "</div>"+
    "<div style='text-align: left;font-size: 15px; color: #053913 ; '><b>Típus:</b> " + p.type + "</div>"
}

function onEachKereszt(feature, layer) {
    //puffer zónát von a réteg köré
    var buffered = turf.buffer(feature, 200, { units: 'meters' });
    var parcelbuf = new L.GeoJSON(buffered, { pane: 'szelvények', opacity: 0, fillOpacity: 0});
    parcelbuf.bindPopup(keresztPopup(layer), {
        minWidth: "500"
    }).addTo(map);
    layer.bindPopup(keresztPopup(layer)).addTo(map);
}

szelvények_pane = map.createPane('szelvények');
szelvények_pane.style.zIndex = 651; //nagyobb z-index
var x=new XMLHttpRequest();
x.open('get','geojson_fajlok/kereszt.geojson',false);
x.send();
var d=JSON.parse(x.responseText);
var keresztszelveny = L.geoJSON(d,{
    color: "#2C3E07",
    weight: Number(2),
    onEachFeature: onEachKereszt}).addTo(map);

```

13. ábra: Képkivágot a html kódból: a kereszt-szelvényekhez tartozó pop-up ablak elkészítése és a réteg hozzáadása a térképhez

Ezt követően az előzőkhöz hasonlóan, elkészítettem a hossz-szelvényekhez tartozó pop-up ablakot is. A hosszvonalak köré is készítettem puffert, illetve megemeltem a z-indexét is.

Végül hozzáadtam a térképhez egy dinamikusan változó léptékrudat és egy kattintásra beugró ablakot, ami informálja a felhasználót a térkép tartalmáról, valamint itt található a jelmagyarázat is. A léptékrúd stílusbeállításait CSS-sel állítottam be (14. ábra, A), míg az információs ablakhoz letöltöttem egy előre elkészített CSS fájlt és a szükséges stílus

változtatásokat (pl. háttér átlátszósága) itt végeztem el. Majd feltöltöttem szöveggel a panelt és hozzáadtam őket a térképhez (14. ábra, B).

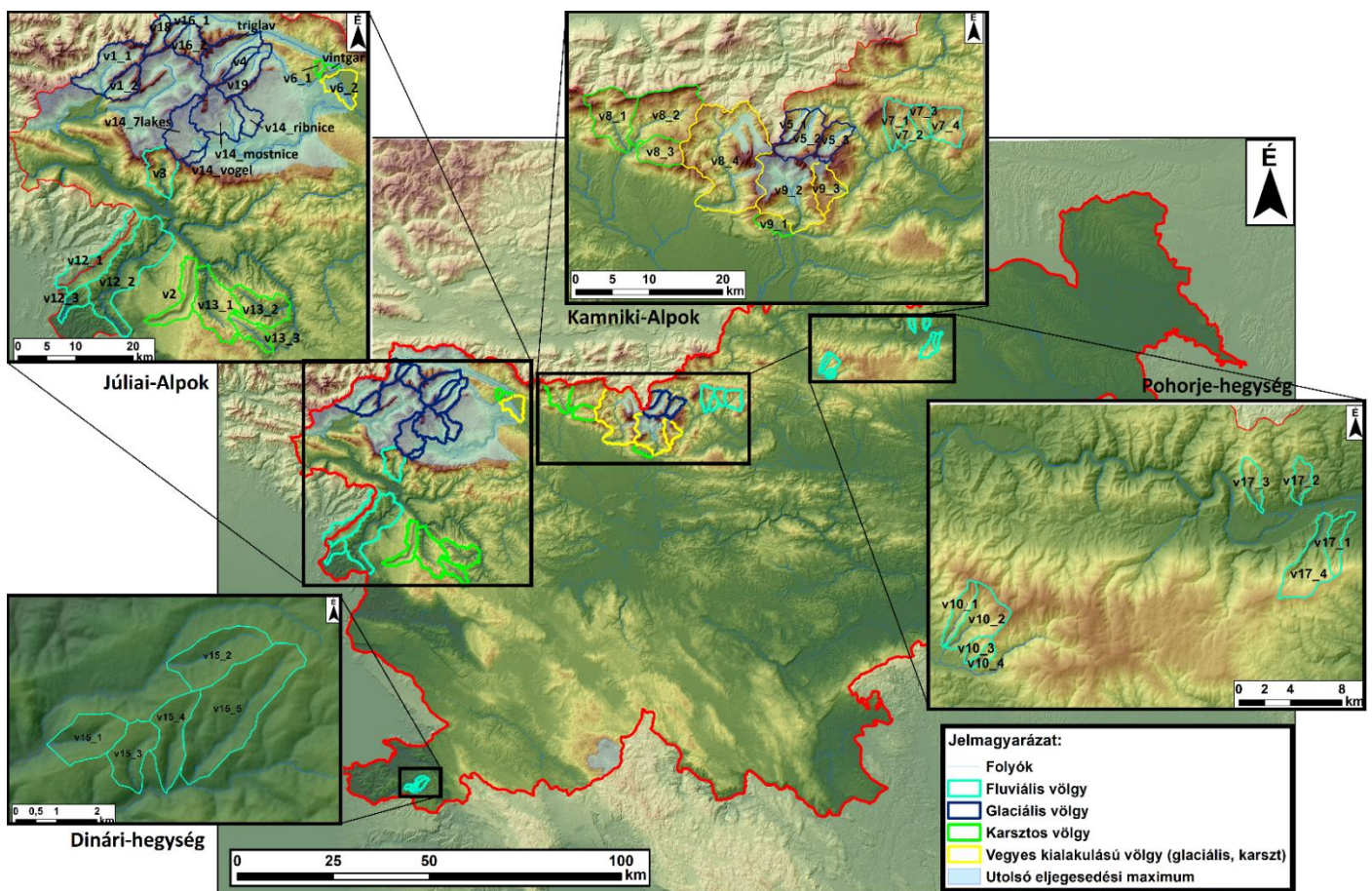
<pre>/* Léptékrúd stílus beállítása */ .leaflet-control-scale-line { font-family: Times New Roman; font-weight: bold; color: white; text-align: center; font-size: 12px; background-color: #3D7D57; opacity: 0.85; cursor: auto; }</pre>	A
<pre>//léptékrúd hozzáadása a térképhez var lepteckrud=L.control.scale({imperial: false}).addTo(map); //információs ablak hozzáadása a térképhez var sidebar = L.control.sidebar('sidebar', { position: 'right' }); sidebar.setContent('<center></br>U vagy V alakú, glaciális vagy fluviális völgy?</br>'+ 'Vizsgálatok 50 szlovén völgy alapján'); map.addControl(sidebar); function showSidebar(){ sidebar.show(); }</pre>	B

14. ábra: Képkivágatok a html kódból: a léptékrúd CSS beállítása (A), az elemek hozzáadása a web-térképhez (B)

4. Eredmények és diszkusszió

4.1 Térinformatikai elemzések

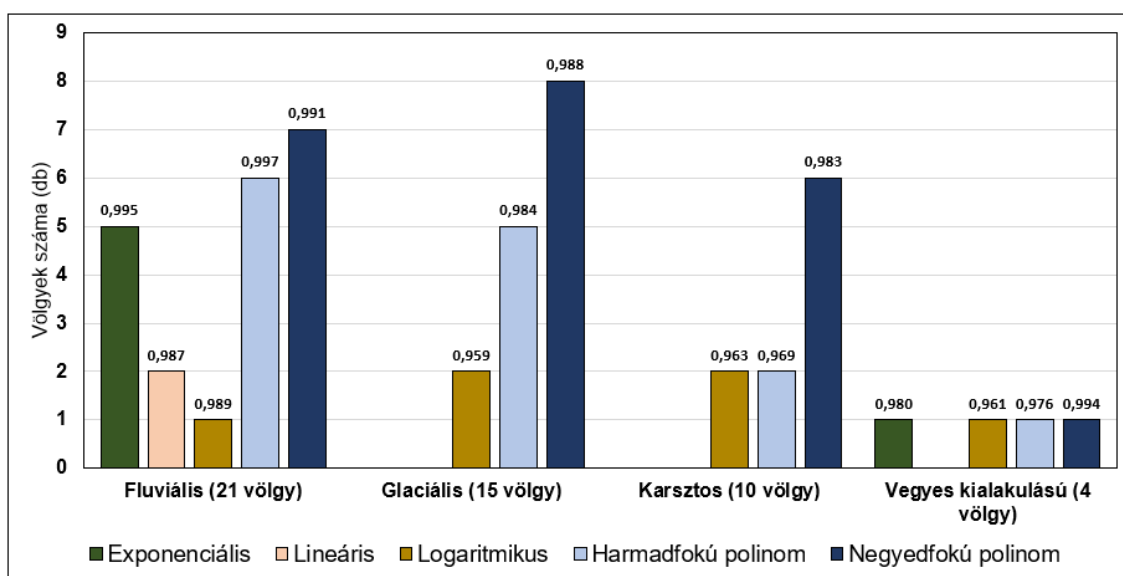
A kutatás során először kiválasztottam 50 völgyet, kategorizáltam őket kialakulásuk módja szerint és elkészítettem a vízgyűjtőterületüket lehatároló rasztereket, melyre a későbbi számításokhoz és az adatok megjelenítéséhez volt szükség (15. ábra).



15. ábra: A vizsgált völgyek vízgyűjtői kialakulásuk módja szerint tipizálva

Ezután megkerestem a vízgyűjtő területek leghosszabb vízfolyását, melyhez magassági értékeket rendeltem és így megkaptam a völgyek esésgörbéjét, melyeket egy Excel-munkafüzetbe exportáltam, azt kerestem, hogy melyik függvény illeszkedik a legjobban rájuk. Az összes völgy adatait egy Python scripttel összegyűjtöttem egy táblázatba, hogy azokat egymással összetudjam hasonlítani. A táblázatba kigyűjtöttem az esésgörbékre legjobban illeszkedő függvény nevét és a többszörös determinációs

együtthatót (R^2) ami azt mutatja, hogy a függvény mennyire magyarázza a görbe alakját, amennyiben a függvény tökéletesen igazodna hozzá az R^2 értéke 1 lenne. Az érdekelt, hogy vajon az azonos kialakulású völgyeket ugyanaz a függvény írja-e le legjobban. A 16. ábrán az látható, hogy mely típusú völgyeknél, mely függvények teljesítettek legjobban. A függvény illesztésnél, csak abban az esetben vettem negyedfokú polinomot, amikor a harmad és negyedfok között jelentős különbség volt, azonban a másodfokúnál a harmadfokú minden esetben jobbnak bizonyult.



16. ábra: A vizsgált 50 völgy esésgörbéjére illesztett függvények és R^2 értékeinek átlaga, függvény és völgy típus szerinti bontásban

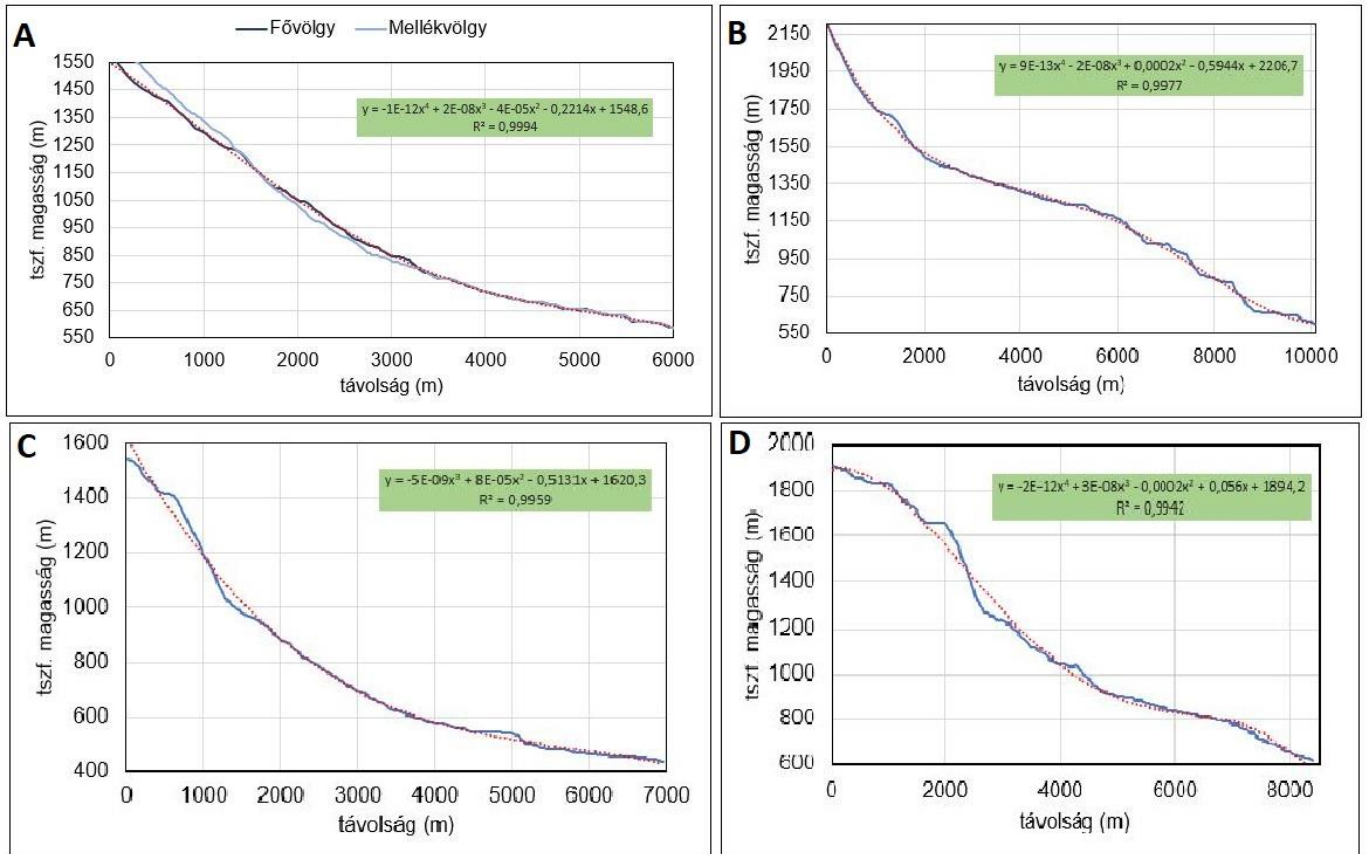
A völgyek majdnem felére, 22 esésgörbére, **a negyedfokú polinom illeszkedett legjobban**, R^2 értékeik 0,9643 és 0,9994 között mozognak (mindkét szélsőérték egy-egy fluviális völgy R^2 értéke). A második legtöbb esésgörbét (14 db) a harmadfokú polinom írja le legjobban, melynek értékei 0,9674 (glaciális) és 0,9992 (fluviális) közé esnek. A harmadik, ami még mind a négy típus esetében előfordult, a logaritmikus függvény, ami 6 völgy esésgörbéjénél bizonyult a legjobbnak, szélsőértékei 0,9540 (glaciális) és 0,9888 (fluviális). A lineáris függvény csupán két (fluviális) völgyre illeszkedett legjobban, az exponenciális függvény öt folyóvízi völgy mellett egy vegyes kialakulású völgnél is a legjobb R^2 értékű függvénynek bizonyult. **A folyóvízi völgyeknél a legjobb** átlag R^2 értéke

a harmadfokú polinomnak (0,997), majd ettől nem sokkal lemaradva az exponenciális függvénynek (0,995) van, a legtöbb folyóvízi völgyre azonban a negyedfokú polinom illeszkedett legjobban. A *glaciális típusnál* a legtöbb (8) völgnél *a negyedfokú polinom* volt a legjobban illeszkedő függvény, valamint ennek a legnagyobb az átlag R^2 értéke is, 0,9883. A *karsztos völgyeknél*, a glaciálishoz hasonlóan, *a negyedfokú polinom* bizonyult a legjobbnak 0,9830 átlag R^2 értékkel, valamint ez a függvény illeszkedik a legtöbb karsztos völgy esésgörbéjére (6 db) is a legjobban. Mind a négy *vegyes kialakulású völgyre* más-más függvény illeszkedett legjobban, a legjobb R^2 értéke a *negyedfokú polinomnak* (0,9942), míg a legrosszabb a logaritmusnak (0,961) volt. Összességében elmondható, hogy bár *a legtöbb völgyre a negyedfokú polinom* illeszkedett legjobban, *a legmagasabb átlag R^2 érték az exponenciális függvénynél* (0,9925) van, ami egybevághat AYAZ S., KUTUBUDDIN DHALI MD. (2019) eredményeivel, akik kelet-himalájai folyókat vizsgálva azt találták, hogy az exponenciális függvény R^2 értékei a legnagyobbak a legtöbb vizsgált folyó esetében, valamint RICE S. P., CHURCH M. (2001) eredményeivel, akik szintén az exponenciális függvényt találták a legjobbnak. Azokra a völgyekre, ahol a görbe meredeksége közel azonos a völgy nagy részén a lineáris függvény illeszkedik legjobban. A logaritmus és exponenciális függvény a szimplán homorú esésgörbéjű völgyekre illik, amelyeknek a felső szakasza meredek, majd fokozatosan egyre lankásabbak, de nincsenek bennük lépcsők. A harmadfokú polinomnak két, a negyedfokú polinomnak pedig három „hajlása” lehet, így az összetett, azaz lépcsőkkel tagolt esésgörbékre a negyedfokú polinom illeszkedik leginkább. Az esésgörbék összetettségét (lépcsős jellegét) közzétenni, szerkezeti okok mellett leginkább az eljegesedés növelheti, így nem meglepő, hogy a glaciális völgyekre (2 kivétellel) a harmad vagy negyedfokú polinom illik legjobban.

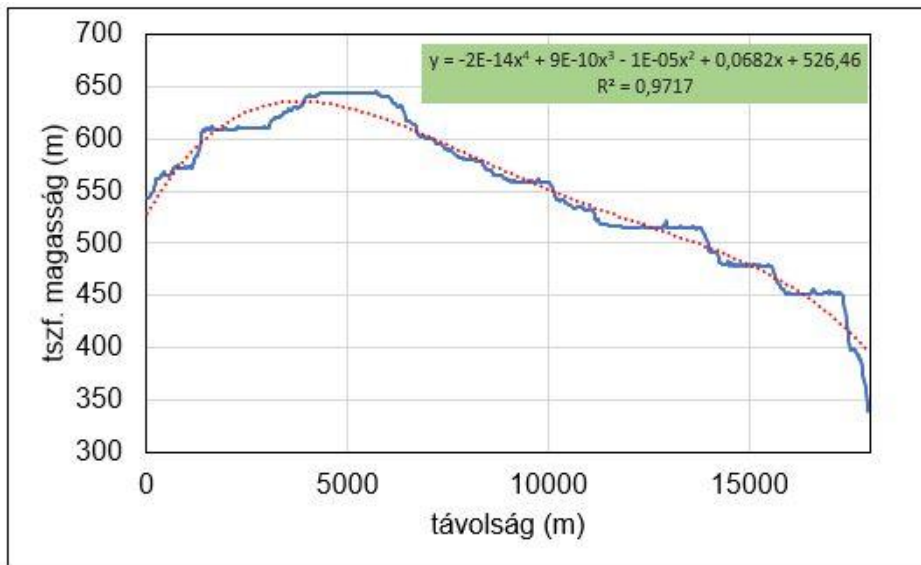
Megnéztem mindegyik völgytípusnál, hogy melyik völgnél volt a legnagyobb az R^2 érték, a négy típus közül háromnál (v7_4: Krumpah-völgy, v14_ribnice: Ribnica-völgy, v9_3: Lučka Bela-völgy) negyedfokú és egynél (v9_1: Bistričica-völgy), a karsztos kialakulásúnál, harmadfokú polinom (17. ábra).

A v2-es völgy esetében a völgyi vízvázlat miatt két vízgyűjtő területet kellett lehatárolnom és mindkettőre külön-külön lefuttatni a leghosszabb vízfolyást meghatározó

modellt, majd kézzel összeköttem őket, így kaptam meg végül a teljes völgyre vonatkozó hossz-szelvényt (18. ábra), melyen jól kivehető a völgyi vízvásztó. A völgy esésgörbéjére a negyedfokú polinom illeszkedik legjobban, 0,9717-es értékkel.

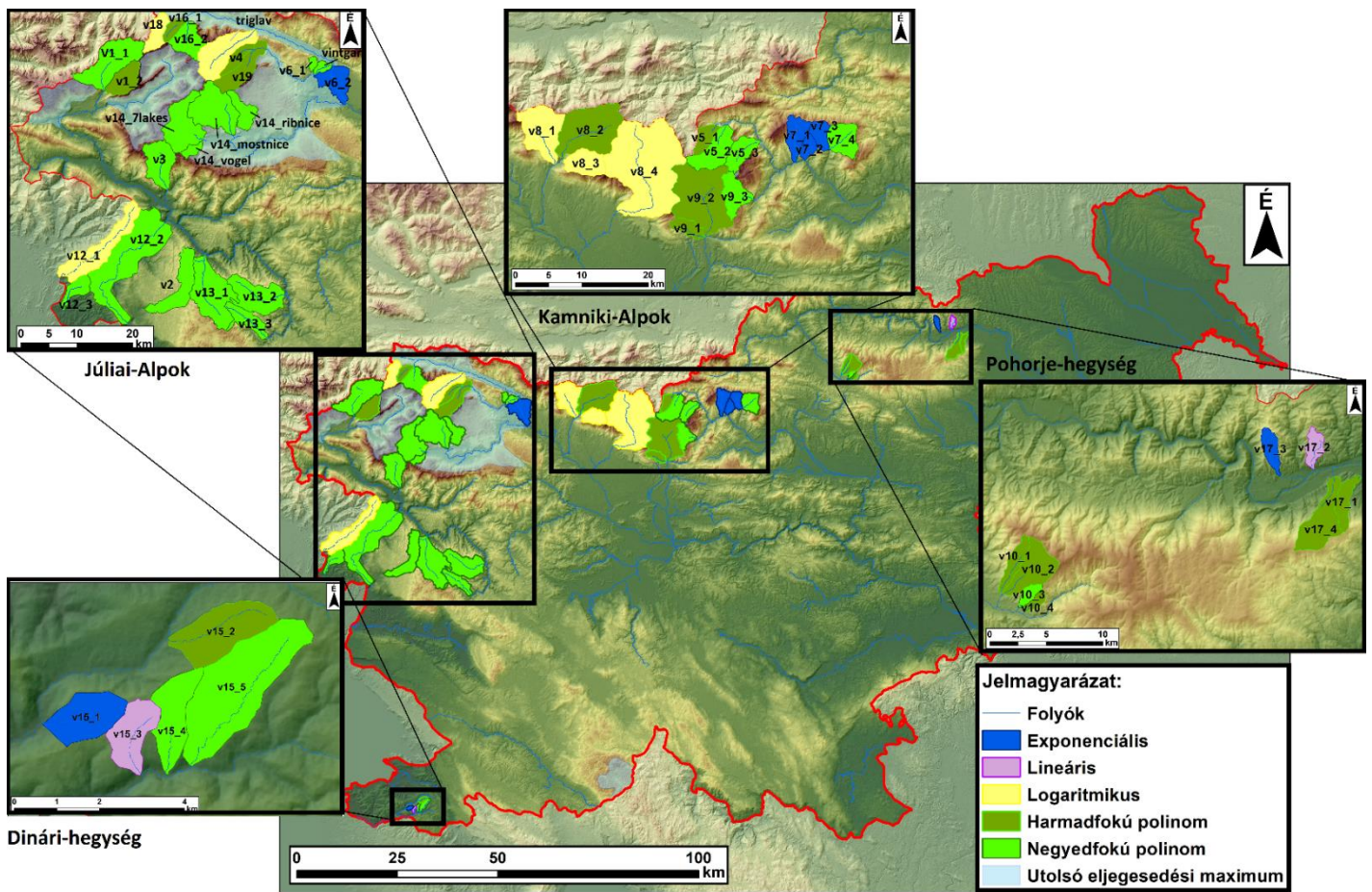


17. ábra: A Krumpah-völgy (A), Ribnica-völgy (B), Bistričica-völgy (C) és Lučka Bela-völgy (D) esés görbéje és az illesztett trendvonal



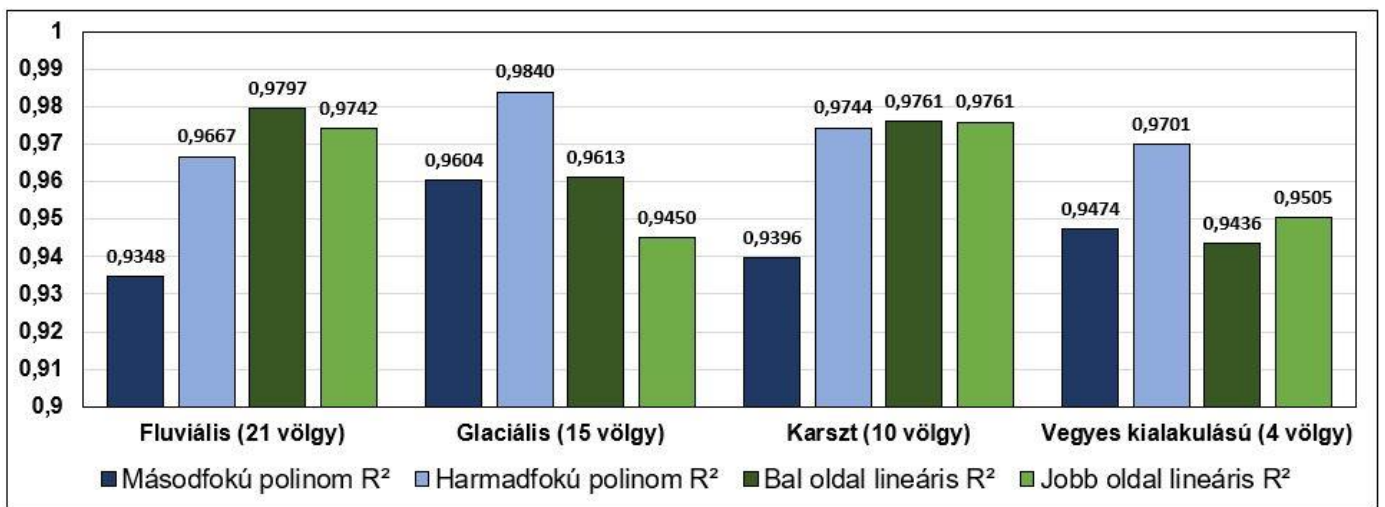
18. ábra: a v2-es, Čepovanski dol (karsztos szárazvölgy) hossz-szelvénye

Hogy az eredményeket ne csak típusuk szerint, hanem földrajzi eloszlásban is lássam, térképen is megjelenítettem az eredményeket. A 19. ábrán látható, hogy a Júliai-Alpokban 14 esésgörbére negyedfokú polinom illeszkedik legjobban. A Kamniki-Alpokban a harmad és negyedfokú polinom, valamint a logaritmus és exponenciális függvény hasonló arányban fordul elő a vizsgált völgyeknél. A Pohorje-hegységben a legtöbb esetben, 8-ból 5 völgynél, a legjobb R^2 értéke a harmadfokú polinomnak volt. A Dinári-hegységben tarka a völgyek típusa, 5 völgyből csak két völgynél ugyanaz, negyedfokú polinom, a többi exponenciális és lineáris függvény, valamint harmadfokú polinom.



19. ábra: Az esésgörbére legjobban illeszkedő függvény szerint színezett vízgyűjtők

Az esésgörbék után a völgyek keresztprofilját is megvizsgáltam, hogy megtudjam, van-e a völgy alakja és kialakulási módja között korreláció. A keresztmetszvény elemzésnek megvan az az árnyoldala, hogy csak részben mutatja a völgy formáját, ami függhet attól, hogy pont hol fut a kiválasztott vonal. Ezért völgyenként négy keresztmetszvényt készítettem, melyek mentén megvizsgáltam a völgyek domborzati, lejtőszög és görbület profiljait. Mivel a keresztmetszvényeket a vízgyűjtő peremétől pereméig rajzoltam, és ezek sok esetben átszelnek mellékvölgyeket vagy fennsíkokat is, ezért ezeket a részeket kézzel levágtam, így megkaptam a vizsgálni kívánt fővölgy keresztmetszvényeit, melyekre másodfokú és harmadfokú polinomot, valamint a völgy két oldalára külön-külön lineáris függvényt illesztettem, majd megvizsgáltam, hogy melyik völgyre, melyik függvény illeszkedik legjobban, vagyis melyik függvéynél a legmagasabb az R^2 érték. A kapott eredményeket a Python scripttel összegyűjtöttem egy táblázatba, majd összehasonlítottam a völgyprofilok átlag R^2 értékeit, hogy megtudjam melyik völgytípust, melyik függvény írja le legjobban (20. ábra).

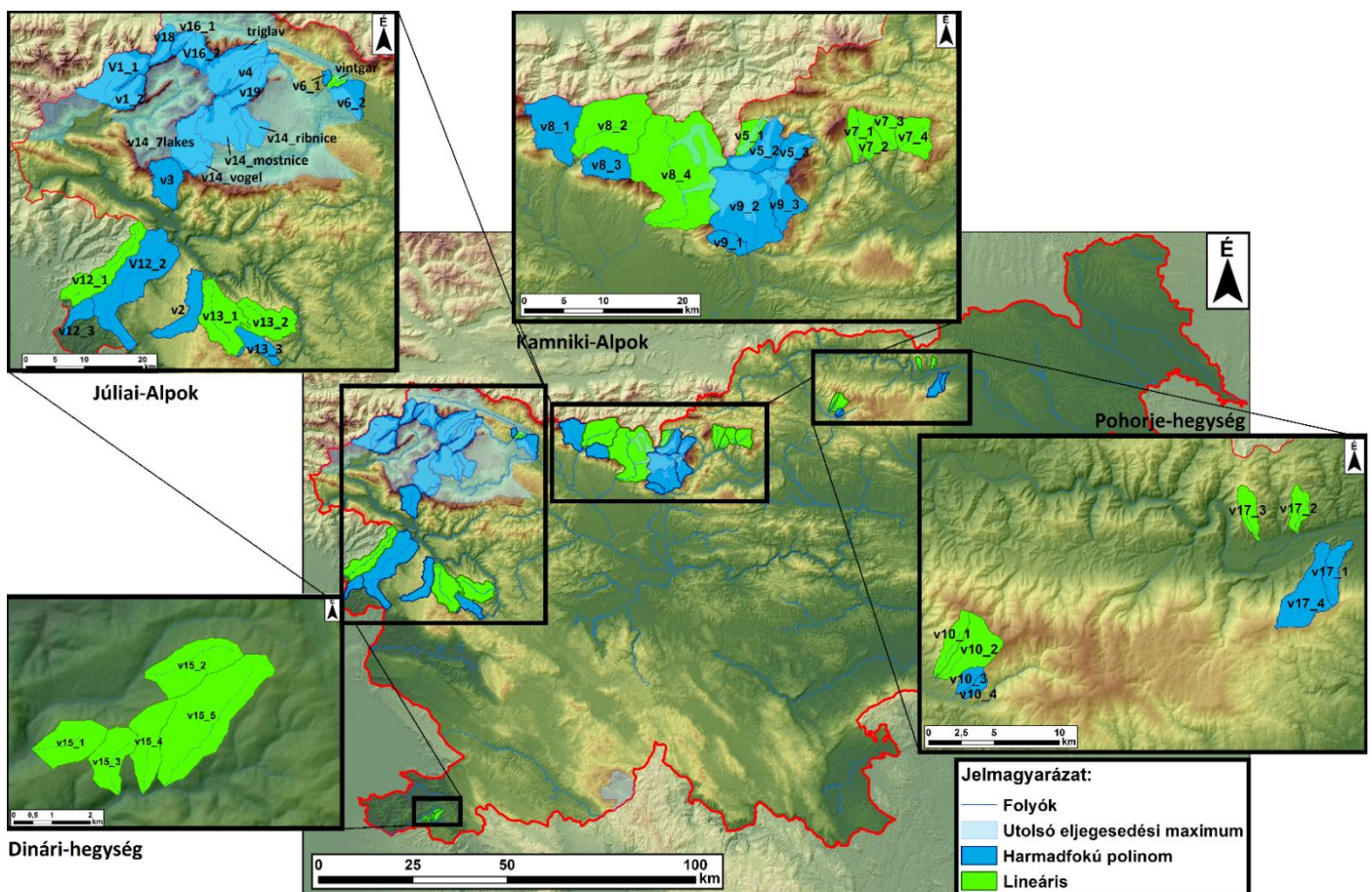


20. ábra: A völgyekre illesztett függvények átlag R^2 értékei kialakulásuk módja szerinti bontásban

A várakozásoknak megfelelően az eredmények azt mutatják, hogy *a fluviális völgyeknél a kétoldali lineáris függvény átlag R^2 értékei magasabbak, míg a glaciális völgyeknél a harmadfokú polinom illeszkedik kimagaslóan a legjobban a völgyprofilokhoz.* A karsztos völgyeknél a harmadfokú polinom és a lineáris függvény

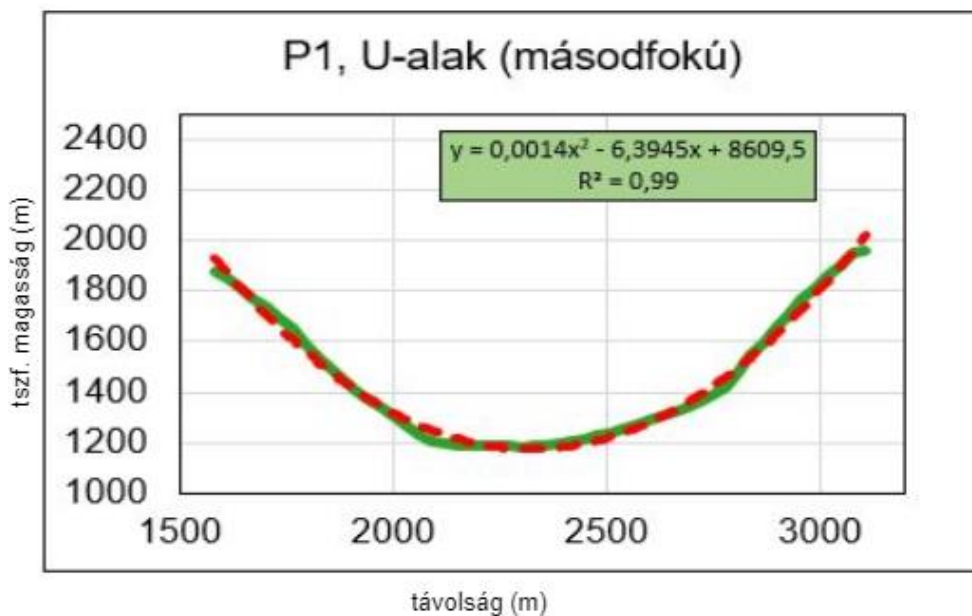
szinte ugyanannyira bizonyult jónak, utóbbi csak kicsivel illeszkedett jobban a völgyprofilokra, a völgyek két oldalának átlag R^2 értékei pedig pontosan megegyeznek. A vegyes kialakulású völgyekre a harmadfokú polinom illeszkedett legjobban, amiből arra következtettek, hogy e völgyek nagy részét jég formálta. A másodfokú polinom, ami matematikai értelemben a „parabola” alak precíz kifejezése, az összes típusnál jelentősen alacsonyabb átlagos R^2 értékeket mutat, így a továbbiakban kihagytam a vizsgálatból. Bár annyit érdemes megjegyezni, hogy legmagasabb értékeit a glaciális völgyeknél éri el.

Ezt követően térképre vittem az adatokat (21. ábra), hogy lássam a földrajzi térben, hogy hol vannak azok a völgyek, amikre a harmadfokú polinom és hol vannak azok, amelyekre a lineáris függvény illeszkedett legjobban. Ez utóbbihoz a lineáris függvény illesztésből kapott kétoldali értékeknek az átlagát vettem.



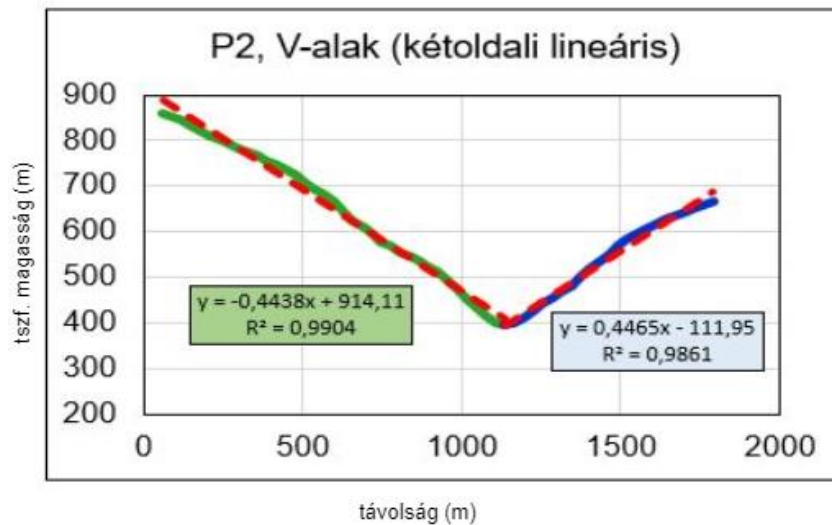
21. ábra: Az 50 völgy keresztmetszeteire legjobban illeszkedő függvény

A térkép alapján is szépen kirajzolódik, **hogy az LGM-el érintett völgyekre a harmadfokú polinom illeszkedik legjobban, vagyis U alakjuk van, de ez nem pontosan parabola, mert az a másodfokú polinomnak felelne meg.** A Kucnik-völgy (v5_1) kivételével az összes glaciális völgyre a harmadfokú polinom illeszkedett legjobban (22. ábra).



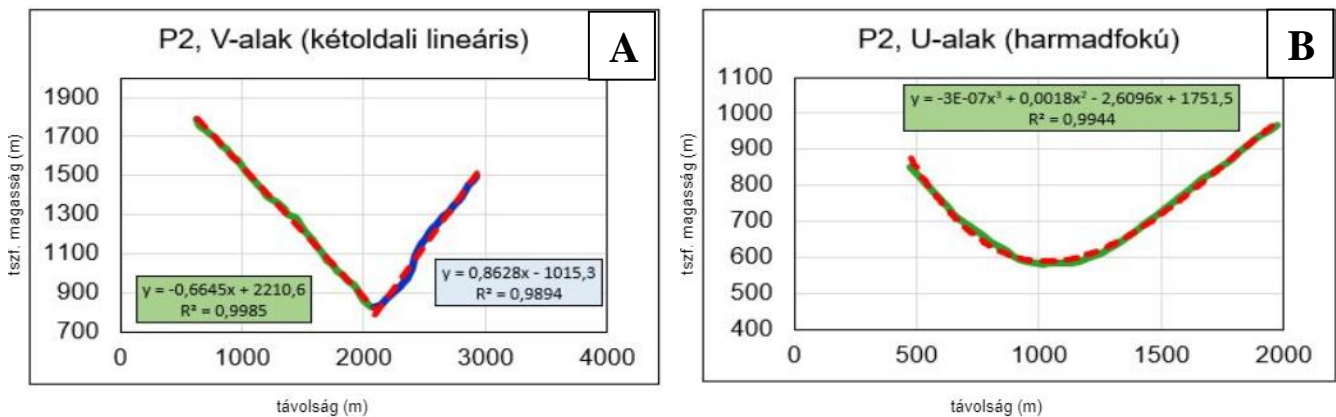
22. ábra: Példa valóban parabola alakú (azaz másodfokú polinom függvénnyel leírható) glaciális völgyre (Krma-völgy, v19)

Az eredmények azt mutatják, hogy **a folyóvízi völgyek inkább „V” alakúak** (23. ábra). A vizsgált 21 fluviális völgyből csupán 7 olyan volt, aminél nem a lineáris függvény illeszkedett jobban a profilra.



23. ábra: Példa „V” alakú folyóvízi völgyre (Idrija-völgy, v12_1)

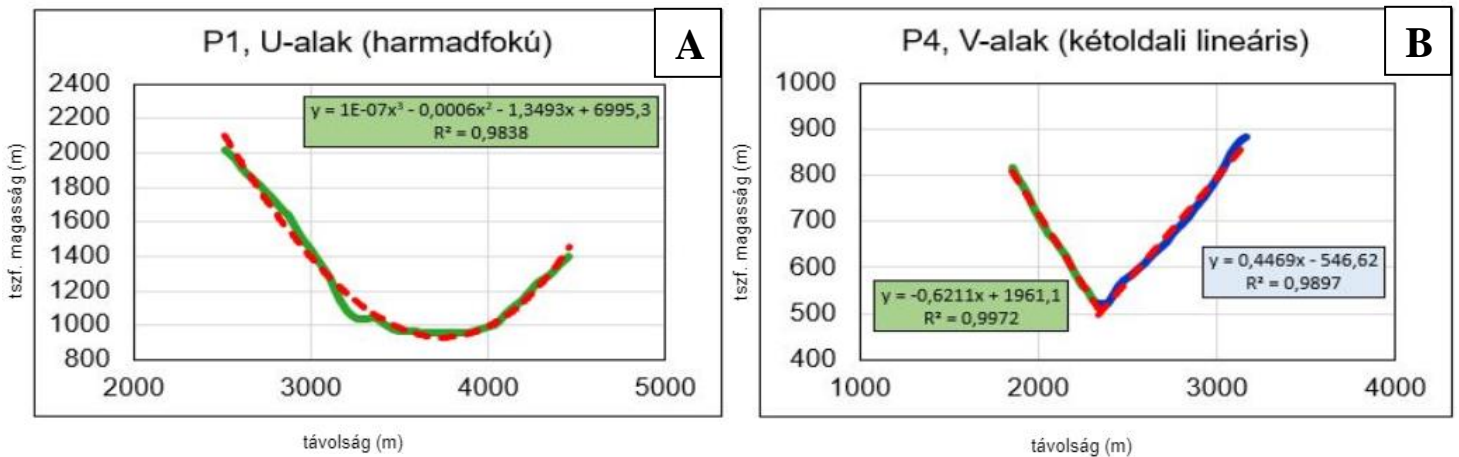
A karsztos völgyeknél az arányok elég kiegyenlítették, 10-ből 6 völgnél a harmadfokú polinom, 4-nél a lineáris függvény átlag R^2 értéke volt magasabb. A különböző kialakulású módok miatt mindkét alakra találni példát a vizsgált karsztos völgyek között. A Mošenik-völgy szép példa „V” alakú karsztos völgyre, míg a Čepovanski dol karsztos szárazvölgy tökéletes harmadfokú polinom alakú (24. ábra).



24. ábra: Példa „V” alakú (Mošenik-völgy, v8_1; A) és „U” alakú (Čepovanski dol, v2; B) karsztos völgyre,

A vegyes kialakulású völgyeknél pedig egy kivétellel a harmadfokú polinom volt a legmegfelelőbb. A vegyes kialakulású völgyek magasabban fekvő részét még érintette az LGM, azonban a völgy alacsonyabban fekvő részeit már nem gleccserek formálták. A kapott eredmények igazolják ezt, hiszen míg a völgyek magasabban fekvő részein átívelő

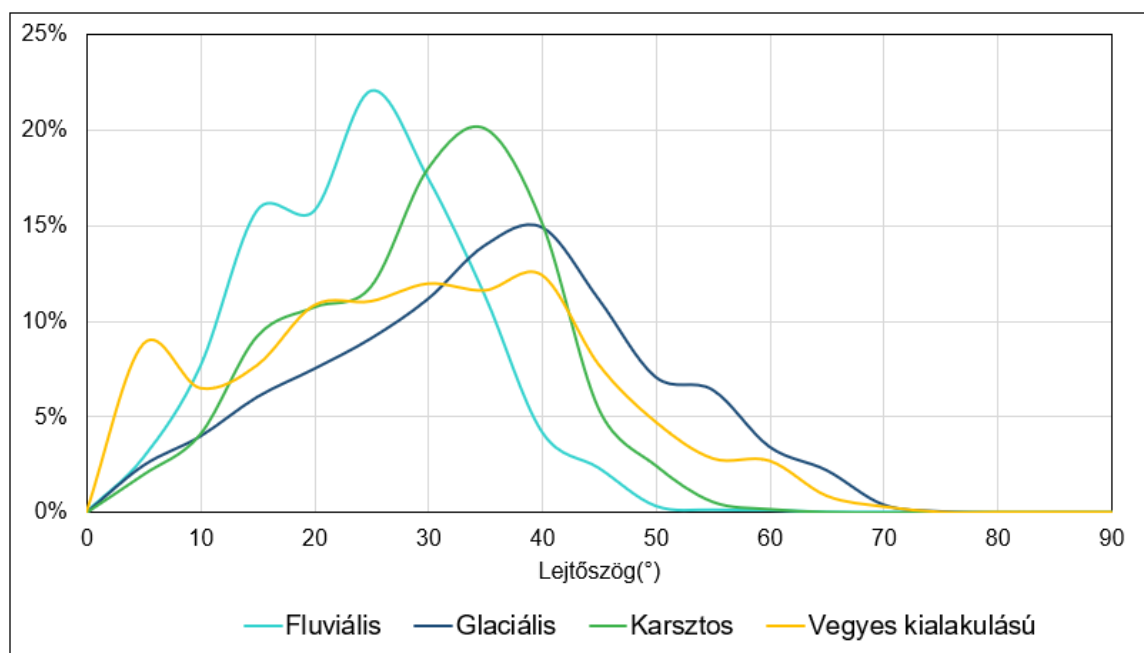
első egy-két keresztmetszetre inkább a harmadfokú polinom, addig az alacsonyabban fekvő részekre már inkább a kétoldali lineáris függvény illeszkedik jobban (25. ábra).



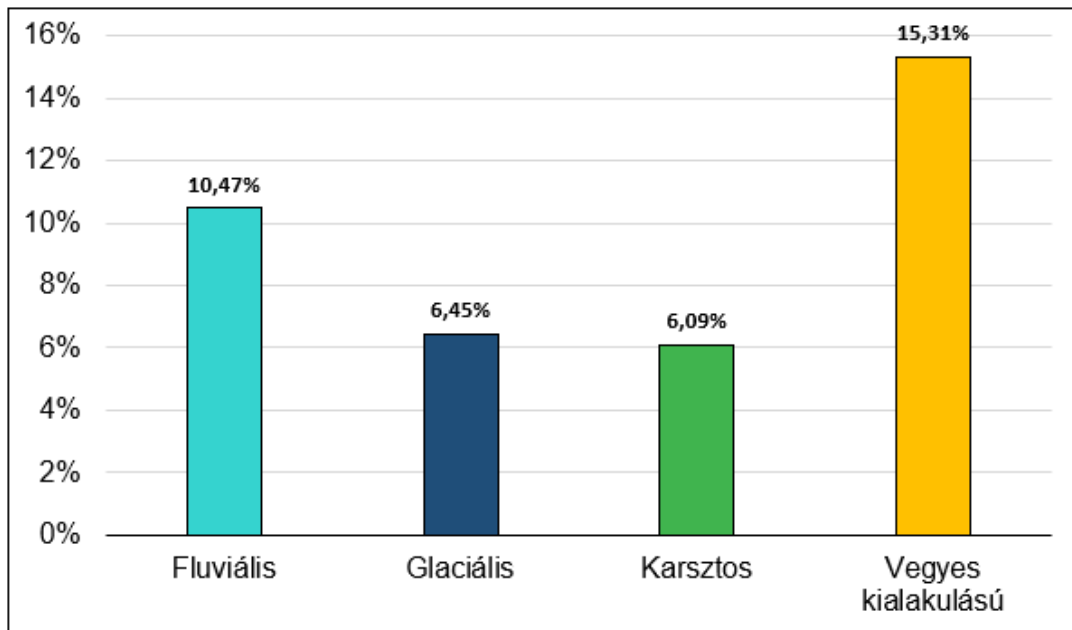
25. ábra: Példa vegyes kialakulású völgy keresztprofil alakjára, a völgy LGM-el érintett (A) és az LGM-en kívül eső (B) részein (Kamniška Bistrica-szurdok, v9_2)

Szlovéniában az LGM legnagyobb kiterjedése a Júliai-Alpokban volt, így itt a vizsgált völgyek jelentős többsége „U” alakú. A Dinári-hegység 5 vizsgált kis méretű fluvialis völgye közül mindegyik „V” alakú. **A vizsgált 50 völgyből 30-ra a harmadfokú polinom, 20-ra pedig a lineáris profil illeszkedett jobban.** A kapott eredmények egybevágnak azzal a régi geomorfológiai tapasztalattal, amit először SVENSSON H. (1959) írt le függvényillesztéssel, mely szerint a gleccservölgyek „U” alakúak, míg a folyóvízi völgyek inkább „V” alakúak. Ezt a képet azonban több szempontból is árnyalhatjuk. Egyrészt nem minden esetben tisztán „U” vagy „V” alakúak a völgyek, mert az oldalukba bevágódó mellékfolyók megtörhetik azt. Illetve a gleccser megszűnésével a völgy elkezdhet visszafejlődni fluvialis völgyé (COLES R. J., 2014), ebben az esetben a folyó elkezd az alapvetően parabola alakú völgybe „V” alakot vájni (pl. Mostnica-szurdok). Továbbá az „U” alak az esetek többségében nem a klasszikus munkákban gyakran emlegetett „parabola” alaknak feleltethető meg, hanem egy harmadfokú polinommal írható le.

Ezután megvizsgáltam, hogy a különböző típusú völgyek oldalai mennyire meredek (26. ábra). A kapott eredmények azt mutatják, hogy a vegyes kialakulású és a glaciális völgyek lejtőszög gyakorisági görbéje szélesebb tartományon oszlik el, és alapvetően meredekebbek. A fluviális és karsztos völgyek görbéje csúcsosabb, előbbi leggyakoribb értéke 20-30° közötti, utóbbié 30-40° között mozog. A kis lejtőszög értékek sík térszínre, vagyis völgytalpra utalnak (COLES R. J., 2014), ezért megnéztem ezeknek völgytípus szerinti arányát. A 27. ábrán látható, hogy a vegyes kialakulású völgyeknél a leggyakoribb a 10° alatti lejtőszög (15,3%), ezt a folyóvízi völgyek követik (10,5%). Ez alapján a vizsgált völgyeknél a fluviális és vegyes kialakulású völgyek esetében gyakoribb, a glaciális és karsztos völgyek esetében pedig ritkább a völgytalp jelenléte. Ez némiképp ellentmond annak a „sztereotíp” elképzelésnek, hogy a gleccservölgyeknek széles, lapos völgytalpa van. Legalábbis a vizsgált területekre vonatkozóan ez nem érvényesül. A meredekség értékeket a külső formáló tényezők mellett egy adott terület emelkedési üteme is erősen befolyásolja, erről azonban nincsenek közelebbi adatok.

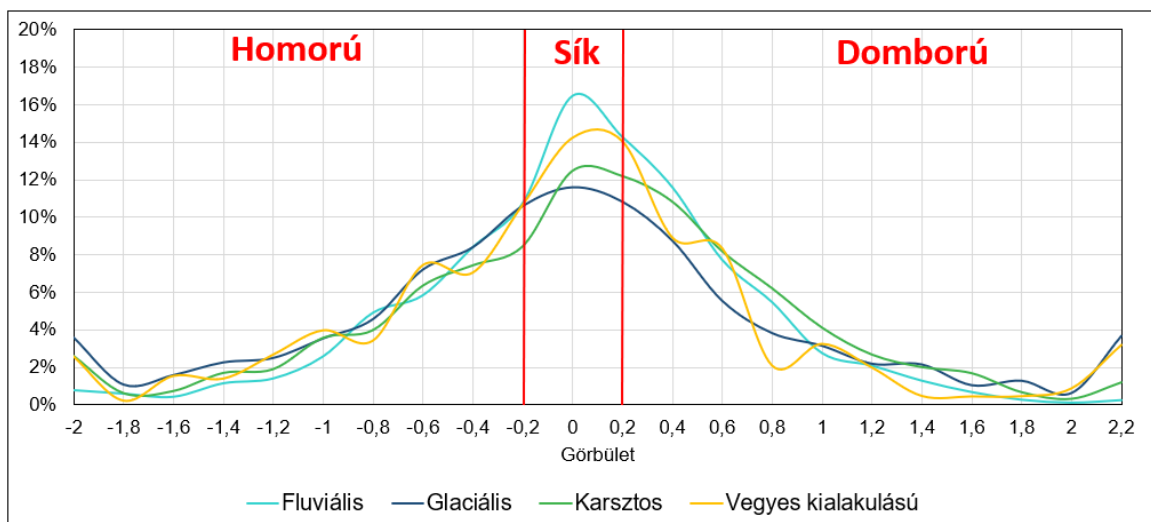


26. ábra: Az egyes völgytípusok átlagos lejtőszög-eloszlása



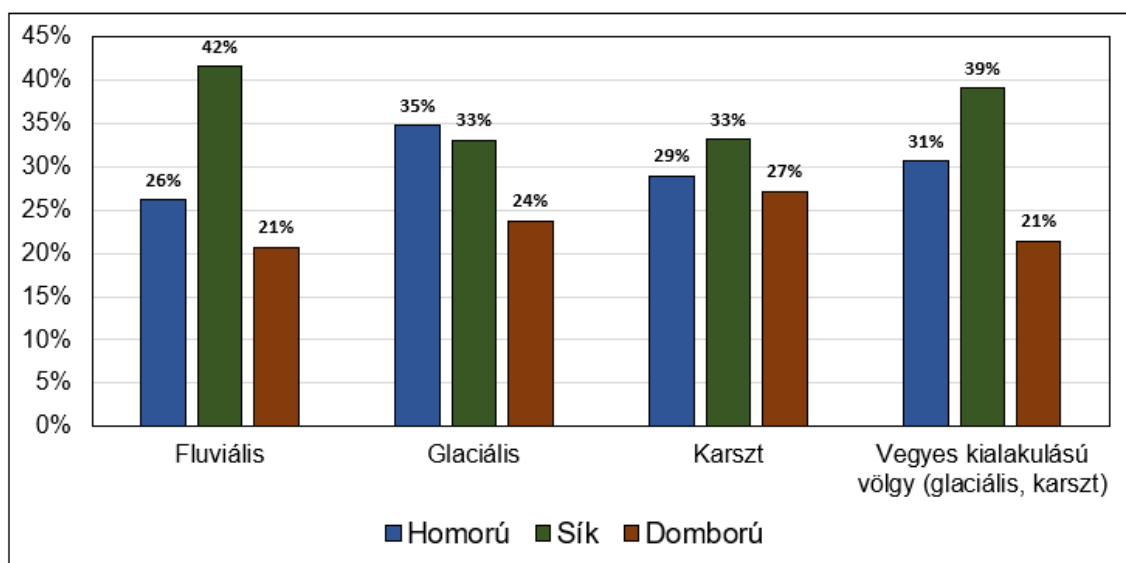
27. ábra: 10° alatti lejtőszög aránya

Ezután megvizsgáltam a völgyprofilok lejtőszög változását, az érintőirányú görbületet is, vagyis, hogy a völgyoldal melyik részén csökken és melyik részén nő a lejtőszög (28. ábra). Homorú a lejtő, ha lefelé haladva a meredekség csökken (-2-től -0,2-ig), sík, ha a meredeksége nem változik (-0,2-től 0,2-ig) végül domború, ha lefelé egyre meredekebb (0,2-nél nagyobb értékek). Megjegyzendő, hogy a sík szó itt korántsem azonos a vízszintessel, mert lehet ferde is a sík.



28. ábra: Érintőirányú görbület gyakorisági diagram

A gyakorisági diagramon látható, hogy a legtöbb érték mind a 4 típusú völgnél a sík kategóriába esik, tehát a völgyoldalak alapvetően egyenletesek, azaz kevésbé változik a lejtőszögük. Megnéztem, hogy a völgytípusok milyen aránya homorú, sík és domború (29. ábra). A fluviális völgyek a legegyszerűsebbek, völgyprofiljaiknak 42%-a a sík kategóriába esik, ami a lineáris alaknak felel meg. A glaciális völgyek kivételével, ahol a homorú formák a leggyakoribbak (35%), mindegyik típusnál a sík részek aránya a legnagyobb.

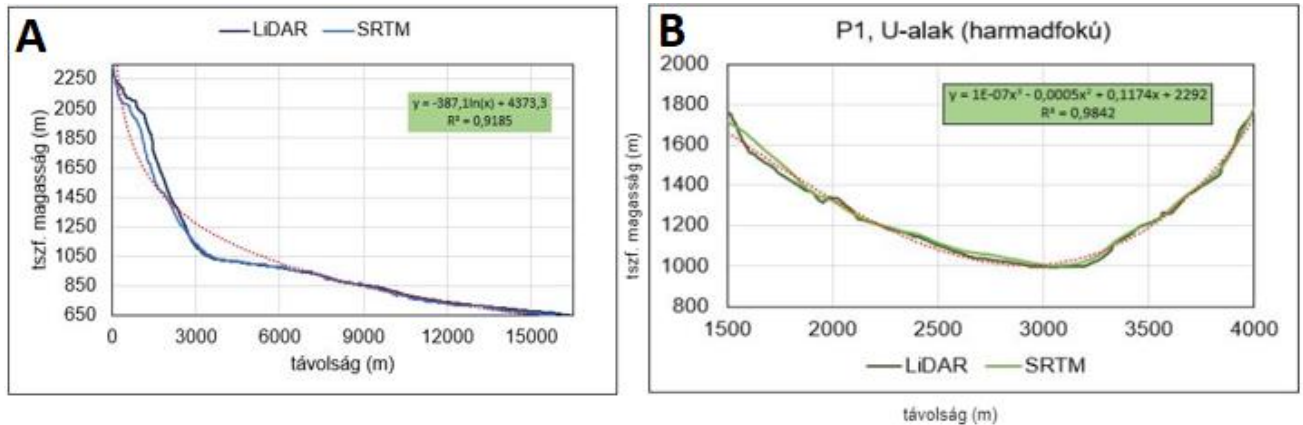


29. ábra: A keresztmetszvények különböző görbületű részeinek aránya

Az SRTM domborzatmodell csupán 30 méter felbontású, emiatt az eredmények pontatlanok lehetnek, ezért 5 völgy hossz- és keresztmetszvényeit LiDAR alapú 3 méter felbontású DTM-mel is elkészítettem. Az SRTM alapú vizsgálat során elkészült kereszt- és hosszprofiloknak a Vintgar- és Mostnica-szurdoknál, valamint az Idrijca- és Soča-völgynél erősen „lépcsős” megjelenése volt, vagyis sok látszólagos “knickpoint” tarkította őket. Hogy megtudjam, hogy ezeket a rossz felbontás okozza-e vagy pedig valóban ilyen-e a völgyek alakja (pl. vízlépcső miatt) ezeket a völgyeket megvizsgáltam LiDAR alapján is. Összehasonlításképpen az említett négy vízgyűjtőn kívül még a Vrata-völgyre is elvégeztem a LiDAR alapú vizsgálatokat.

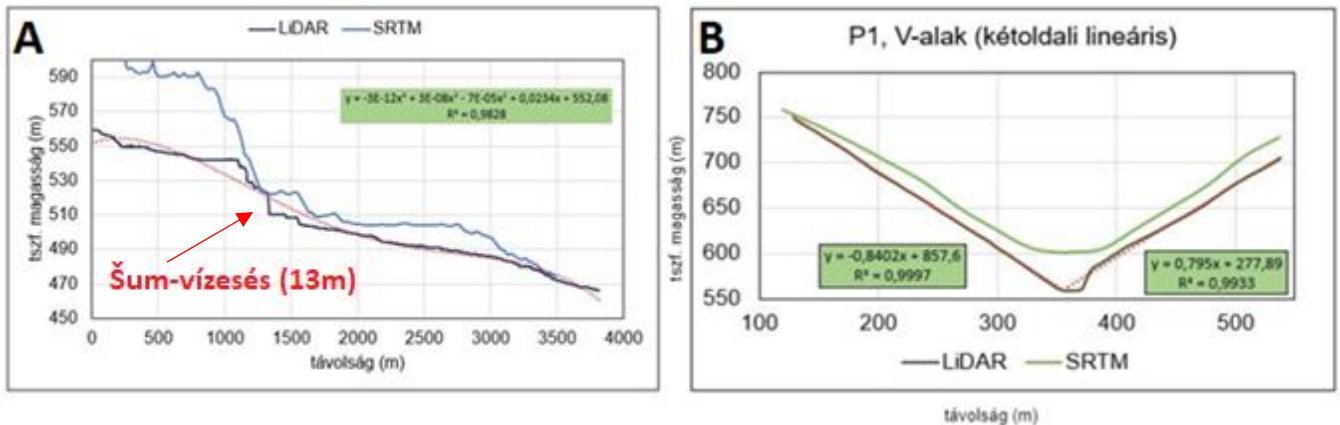
A Vrata-völgy egy nagy (teljes esése 1690 m, hossza 16 km) gleccser völgy, itt az SRTM és LiDAR alapján készült hossz- és keresztmetszvények között nincs számottevő

különbség (30. ábra). A Vrata-völgyhöz hasonlóan a szintén nagy kiterjedésű Mostnica-szurdoknál is arányaiban kicsi a különbség a profilok között.



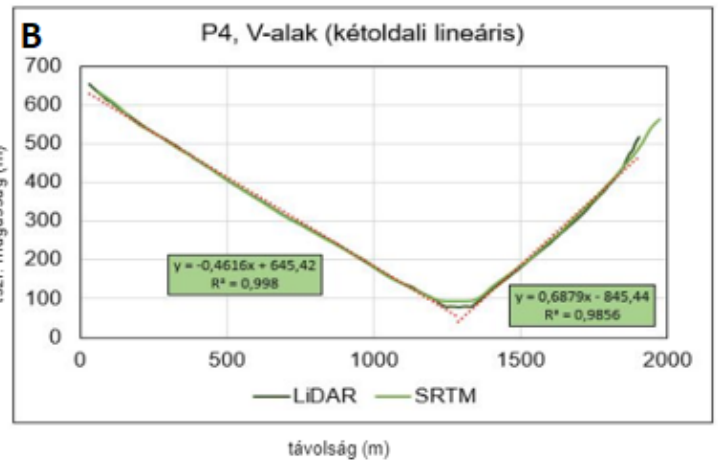
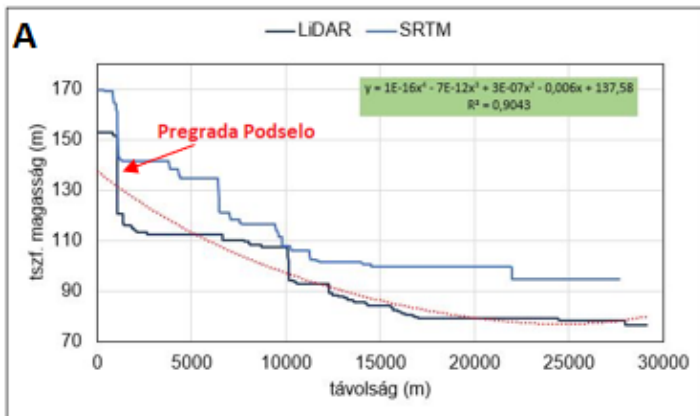
30. ábra: A Vrata-völgy hossz- (A) és keresztmetszévénye (B) LiDAR, illetve SRTM alapján

Azonban minél kisebb és szűkebb egy völgy, annál nagyobb különbségekre lehet számítani. A Vintgar-szurdok egy kicsi, keskeny szurdokvölgy, melynél az SRTM adatok pontosságába bezavar, hogy a völgy néhol keskenyebb lehet, mint az adatforrás 1 pixele, így a legmélyebb pont valójában nem a völgy legalját jelenti, valamint a szurdok fölé benyúló fák lombkoronája is okozhat pontatlanságot. A LiDAR alapú (10-szer jobb felbontású) DTM alapján elkészített szelvények magassági értékei 30-40 méterrel alacsonyabbak az SRTM alapján kapott eredményeknél, mert a lézerszkennerrel gyűjtött adatok a lombkoronákon áthatolva pontosabb eredményeket adnak a szűk szurdokvölgyek esetén (31. ábra). A Vintgar-szurdokhoz hasonlóan az Idrijca-völgynél is 30-40, sőt néhol akár 60-80 méter magassági különbség is van a két DTM között. Mindkét völgy LiDAR alapú esésgörbéjénél a töréspontok („knickpoint”) alapvetően kisimultak, ahol pedig továbbra is látható töréspont, az a terepen is jelen van, mint például a Šum-vízesés (31. ábra, A).



31. ábra: A Vintgar-szurdok hossz- (A) és keresztmetszvénye (B)

A Soča-völgy kivétel az öt völgy között, mert nagy kiterjedése (hossza 28 km) ellenére az SRTM és LiDAR hossz-szelvények között jelentős, 30-40 méteres különbség van. Keresztmetszvényei között azonban nincs számottevő különbség (32. ábra). A völgy mindkét esésgörbéjén sok a töréspont, melyek a felbontás javulásával nem csökkentek számottevően, ezért a hosszprofil tartalmazó ESRI shape fájlt KMZ formátumba exportáltam, és megkerestem a Google Earth Pro alkalmazásban, hogy a terep indokolja-e ezeket a töréspontokat. Az esésgörbe első nagy töréspontjánál (1000 méter, szelvénymenti távolság), a Pregrada Podselo vízlépcső miatt esik 30 métert a görbe (32. ábra, A). A völgy többi részén a töréspontokat azonban az adat pontatlansága okozza, bár a LiDAR pontosabb. A kanyargó, teraszos folyóvölgyben nem tudta az általam készített modell minden esetben pontosan kijelölni a folyó vonalát, így van, hogy a szelvény nem követi a kisebb folyókanyarokat, hanem azokat levágva a parton halad, illetve a folyót több híd is keresztezi, ami szintén töréspontokat okoz (33. ábra).

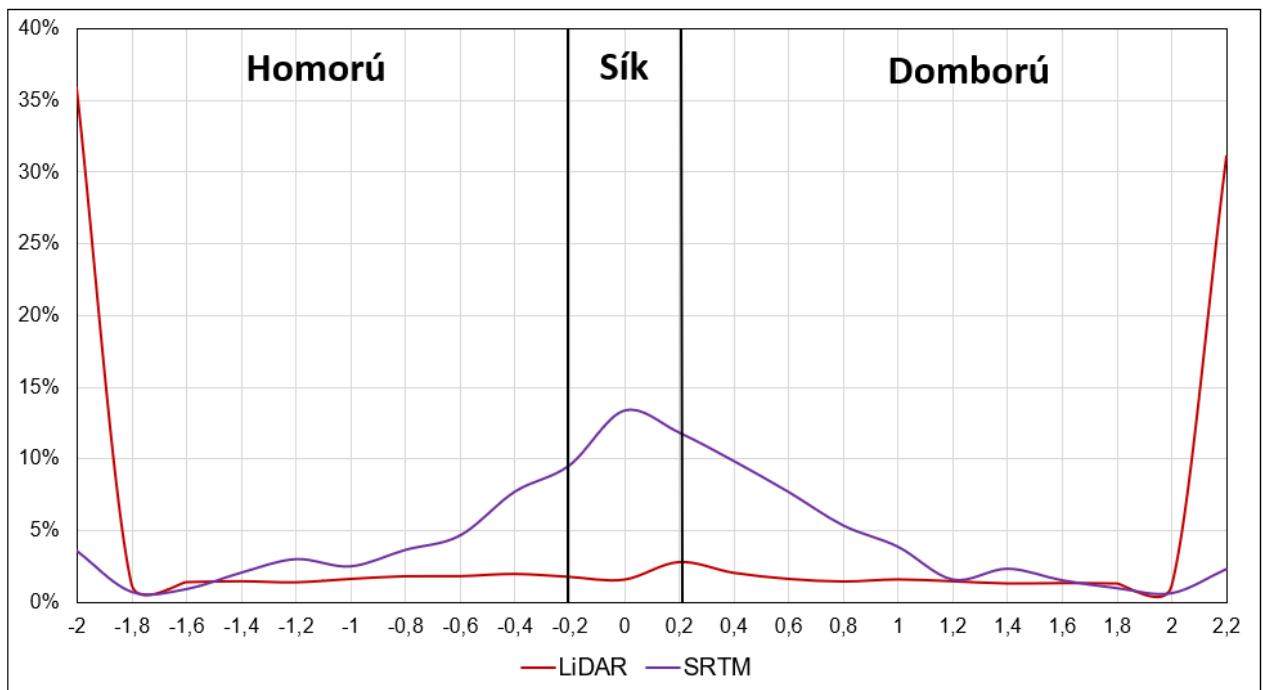


32. ábra: A Soča-völgy hossz- (A) és keresztmetszéve (B)



33. ábra: Az esésgörbe töréspontjait okozó pontatlanságok (képkivágat a Google Earth Pro alkalmazásból)

Végül mind az öt völgy esetében összehasonlítottam a két adatforrás keresztmetszeteinek érintőirányú görbületét (lejtőszög változását; 34. ábra). A gyakorisági diagram alapján elmondható, hogy az SRTM-nél a legtöbb érték a sík kategóriába, vagy ahhoz közel esik, tehát a völgyoldalak alapvetően egyenletesek, míg a LiDAR-nál az abszolútértékben nagyobb görbületértékek a gyakoribbak, ami a jobb felbontással magyarázható, hiszen emiatt jobban visszaadja a völgyek valódi alakját, az adatok olyan felszínformákat is tartalmaznak, amik kisebbek az SRTM pixeleinél, így abban nincsenek benne. Azonban a változékonyabb „mikrodomborzat” miatt többször változik a keresztmetszetben a lejtőszög, ami miatt a görbületértékek abszolútértékben nagyobbak lesznek.

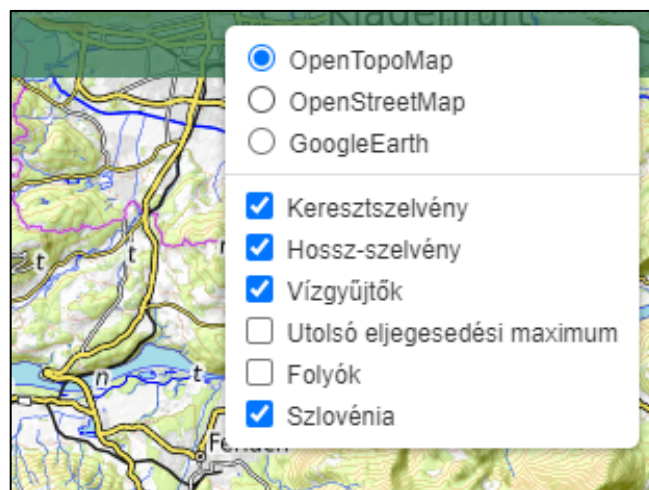


34. ábra: LiDAR és SRTM, érintőirányú görbület gyakorisági diagram

4.2 Web-térkép

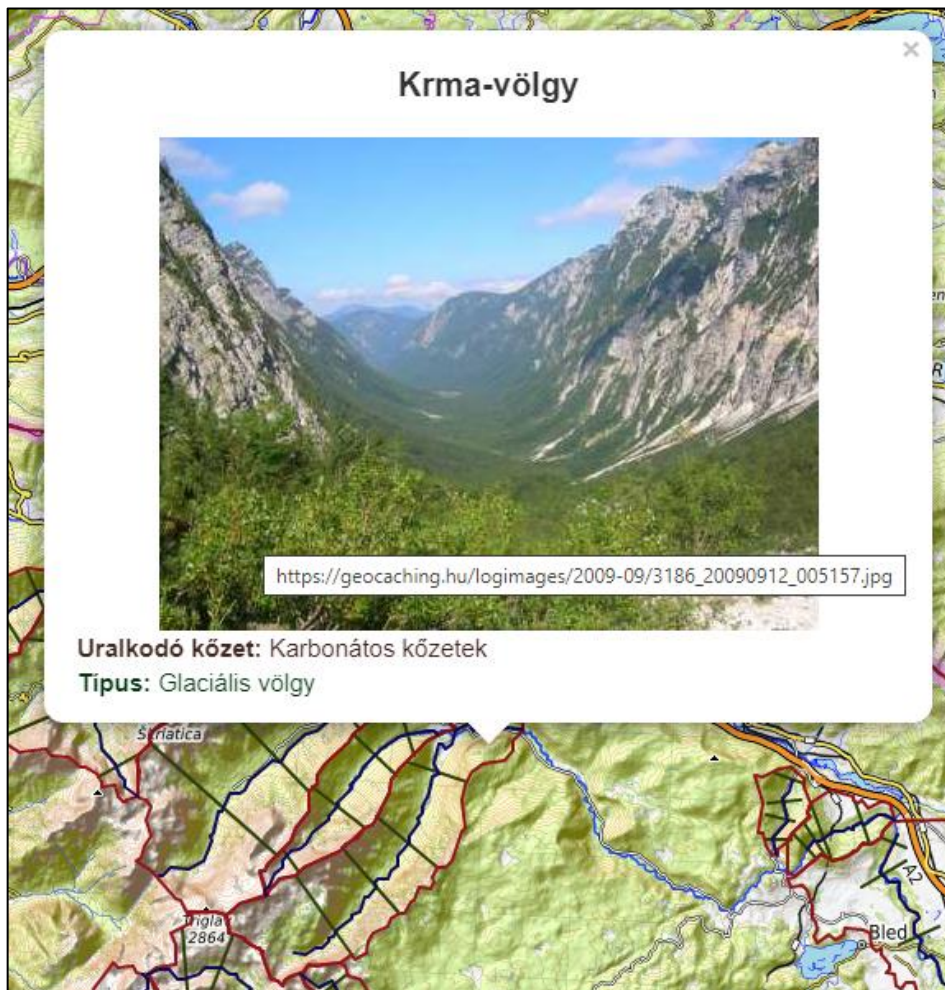
Az áttekintő elemzés során leginkább az 50 völgy vizsgálatából kapott eredmények átlagértékeiből következtettem a szlovén völgyek általános alakjára. Azonban, bár a statisztikai elemzések szempontjából előnyös a sok völgy, ebben a tömegben az egyéni eredmények, jellegzetességek eltűnnek, azért, hogy az összes kapott eredményt be tudjam mutatni, egy web-térképet készítettem, így egy helyen az összes völgy hossz- és keresztmetszéne megtekinthető.

Először feltöltöttem a megjeleníteni kívánt rétegeket a webszerverre és elkészítettem a rétegkezelőt, melyben a felhasználó választhat három alaptérkép közül, valamint megadhatja, hogy mely rétegeket szeretné bekapcsolni a térképen (35. ábra).



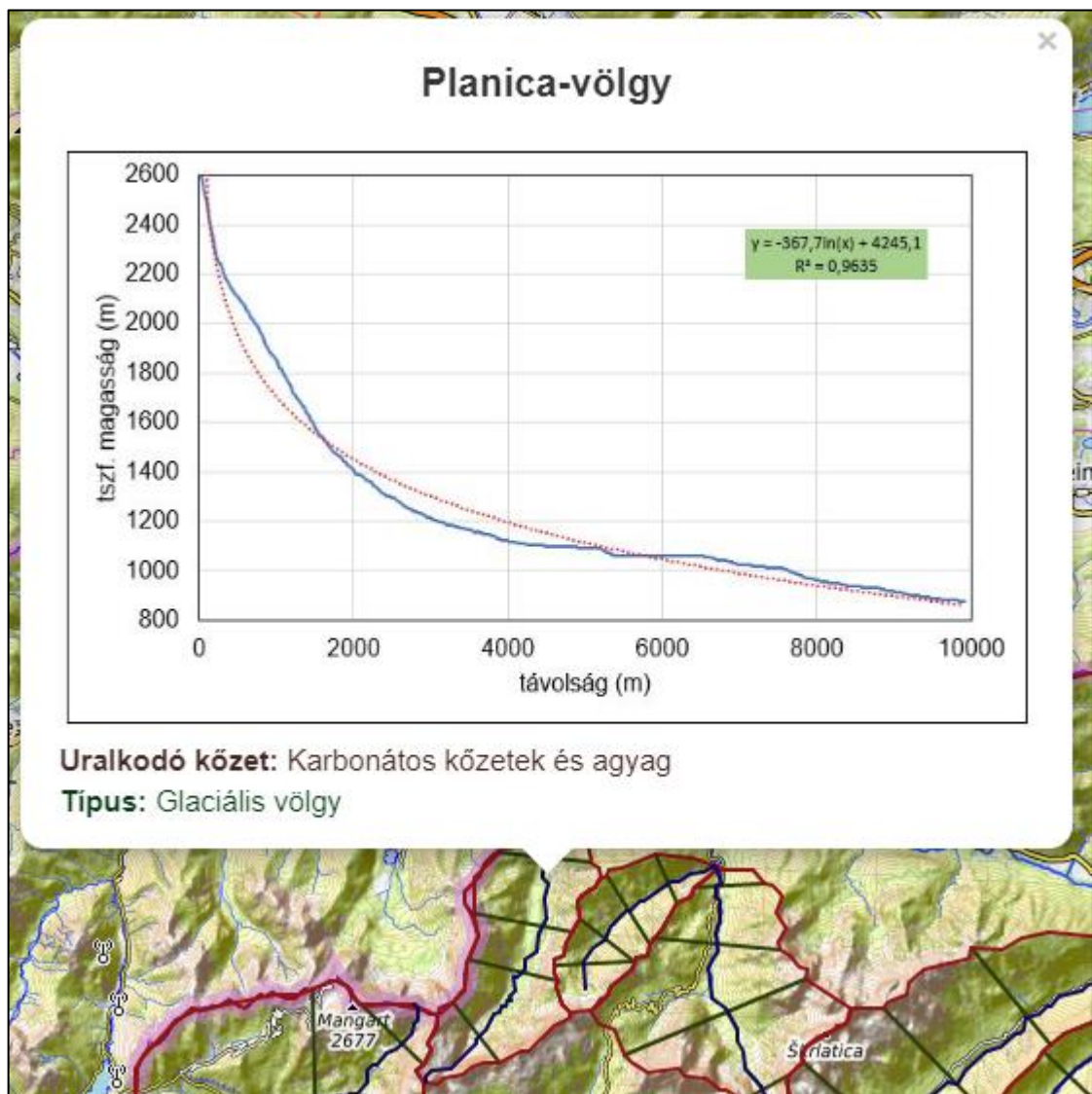
35. ábra: A web-térkép rétegkezelője

Ezt követően a vízgyűjtők, kereszt- és hosszmetsetek kattintásra felugró pop-up ablakjait készítettem el. Az összes pop-up tartalmazza a völgy nevét, típusát és uralkodó kőzetét, a három között a különbség a képekben van. A vízgyűjtőknél a völgyekről van egy-egy kép, ha pedig az egeret a képek fölé tartjuk, megjelenik a forrásuk (36. ábra).



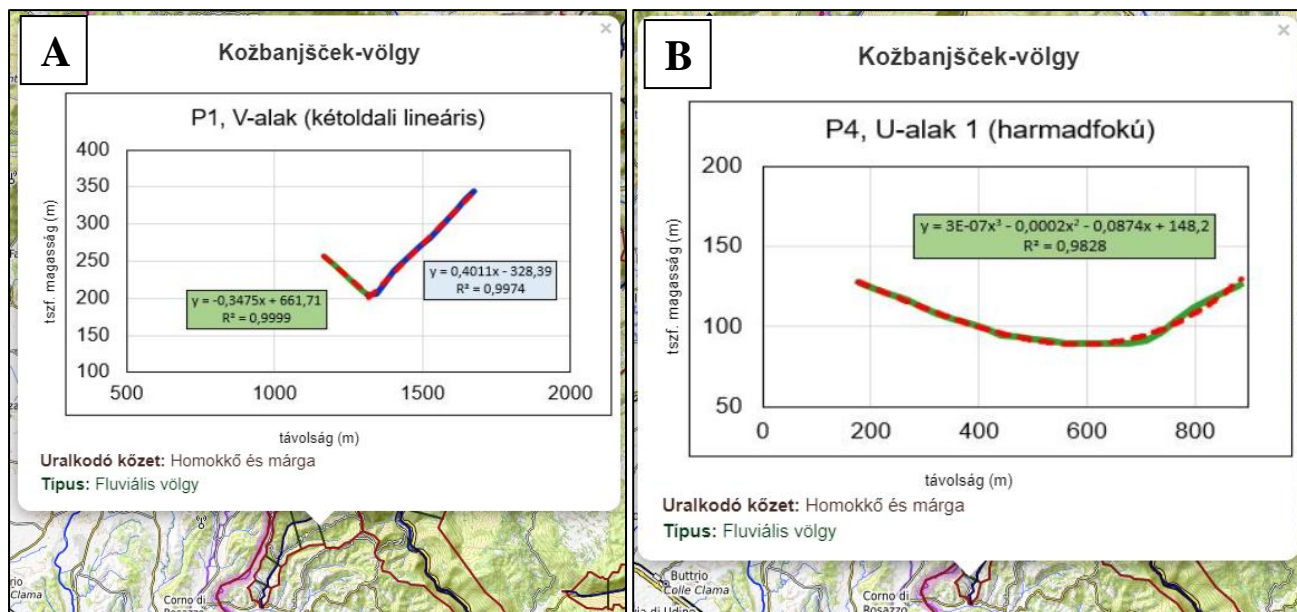
36. ábra: Példa a vízgyűjtők pop-upjára (Krma-völgy, v19)

Mivel a hossz és keresztmetszetek a vízgyűjtőkön belül helyezkednek el, azokat a vízgyűjtők fölé kellett elhelyeznem, hogy kattinthatóak legyenek, valamint egy teljesen átlátszó puffert is vontam a profilok köré, hogy a felhasználónak könnyebb legyen a vékony vonalakra kattintania. A hosszprofilokra kattintva a völgyek hosszmeteszete és a ráillesztett függvény jelenik meg (37. ábra).



37. ábra: Példa a hossz-szelvények pop-upjára (Planica-völgy, v18)

A keresztprofiloknál mind a négy keresztmetszetet meg lehet tekinteni attól függően, hogy melyik keresztvonalra kattint a felhasználó, így meg lehet figyelni, hogy a magastól az alacsonyabban fekvő térszín felé haladva hogyan változik a völgy keresztprofilja (38. ábra).



38. ábra: Egy völgy első (A) és negyedik (B) keresztmetszvényének pop-upja
(Kožbanjšček-völgy, v12_3)

Végül hozzáadtam a térképhez egy információs panelt is. Jobb oldalra rögzítettem egy gombot, amire kattintva előugrik egy szöveg, ami röviden ismerteti, hogy mi látható a térképen, továbbá itt található a jelmagyarázat is. Ha a felhasználó még több információhoz szeretne jutni a bemutatott völgyekről, akkor a szövegben a kék aláhúzott „táblázat” szóra kattintva letöltheti a kutatás eredményeit tartalmazó Excel munkafüzetet, a „diplomamunka” szóra kattintva pedig a böngészőben egy új lapon megnyílik a diplomamunkám pdf formátumban (39. ábra). A web-térképet az alábbi linken lehet megtekinteni: https://komoroczkie.web.elte.hu/diplomamunka/szloven_volgyek.html.

terepmódnak segítségével végeztem el, öt völgyet (Vrata-völgy, Vintgar-szurdok, Idrija-völgy, Soča-völgy, Mostnica-szurdok) azonban LiDAR (Light Detection and Ranging) alapján is megvizsgáltam. A két módszer eredményei között akár 30-40 méter eltérés is lehet. A LiDAR alapján kapott eredmények sokkal pontosabbak, ami a jobb felbontásnak köszönhető, hiszen míg az SRTM adatok pixeljei csupán 30m x 30m-esek, addig a LiDAR pixeljei (melynél radar helyett lézervény kibocsátásáról és visszaverődéséről van szó) 3m x 3m felbontásúak. Míg az SRTM esetében a fák lombkoronája is bezavarhat, a LiDAR adatokban ezek a "zavaró tényezők" már nincsenek benne.

A kattintásra felugró „pop-up” ablakok az alábbi információkat tartalmazzák (attól függően, hogy a vízgyűjtőre, a leghosszabb vízfolyásra, vagy a keresztvonalakra kattintunk):

- bemutatják a völgyek hossz- és keresztmetszvényeit (utóbbiak nem a teljes vonal menti részt, hanem csak a fővölgy keresztmetszetét ábrázolják),
- a völgyek típusát és uralkodó kőzetét,
- valamint egy-egy képet a környezetéről, mely segít, hogy lelki szemeink elé táruljon a táj.

Kellemes böngészést a lélegzetelállítóan szép szlovén völgyek közt, ha pedig felkeltettem érdeklődését figyelmébe ajánlom [diplomamunkámat](#), melyben részletesebb információkhoz juthat az itt bemutatottokról. Ha pedig a kutatás számszerű eredményeire kíváncsi, az alábbi [táblázatban](#) megtekintheti őket.

A web-térképet készítette: Komoróczy Eszter
ELTE TTK Geográfus szak

Jelmagyarázat:

- Keresztmetszvény
- Hossz-metszvény
- Folyók
- Utolsó eljegesedési maximum
- Vízgyűjtők

39. ábra: Részlet a web-térkép információs paneljéről

5. Következtetések

A vizsgált völgyek hosszprofiljainak közel felére a negyedfokú polinom illeszkedett legjobban, de a legmagasabb átlagos R^2 érték az exponenciális függvényekkel leírható hosszprofilok esetében volt. A kapott eredmények alapján nem találtam egyértelmű összefüggést a völgyek kialakulási folyamata és a legjobban illeszkedő függvény között. Alapvetően a vizsgált völgyek esésgörbéjének alakjából nem lehet egyértelműen következtetni a létrehozó folyamatokra. Azonban a lineáris függvény csak folyóvízi völgy esetén volt a legjobban illeszkedő függvény (melyeknél az esésgörbe meredeksége közel azonos a völgy nagy részén), valamint az exponenciális függvény (homorú esésgörbe) is elősorban (1 kivétellel) folyóvízi völgyeknél fordult elő. Az összetett, azaz lépcsőkkel tagolt esésgörbékre a (harmad vagy) negyedfokú polinom illeszkedik leginkább. Az esésgörbék összetettségét leginkább az eljegesedés növelheti, így nem meglepő, hogy a glaciális völgyekre (2 kivétellel) a harmad vagy negyedfokú polinom illik legjobban.

A vizsgált 50 völgy alapján szépen kirajzolódott, hogy a glaciális völgyek harmadfokú polinommal leírható „U”, a fluvális völgyek pedig inkább lineáris függvénnyel leírható „V” alakúak. Tehát matematikai értelemben a glaciális völgyek nem „parabola” alakúak. Az LGM-mel érintett völgyek közül csupán egy volt, aminek keresztprofiljára nem a harmadfokú polinom illeszkedett legjobban. A 21 fluviális völgyből 7-nél nem a lineáris függvény illeszkedett jobban a profilra. A karsztos völgyeknél nem lehet egyértelműen megmondani, hogy melyik függvény a legjobb, a vizsgált 10 völgyből 6 völgnél a harmadfokú polinom, 4-nél pedig a lineáris függvény átlag R^2 értéke volt magasabb.

A LiDAR alapú vizsgálatok azt mutatják, hogy nagy méretű glaciális völgyek esetén nem éri meg a nagyobb hardver igényű LiDAR adatbázissal dolgozni, hiszen ezeknél nincs számottevő különbség az SRTM és LiDAR alapú eredmények között. Azonban a kisebb völgyeknél és szűk szurdokoknál érdemes jobb felbontású adattal dolgozni, hiszen a kapott eredmények között helyenként akár 80 méteres különbség is volt.

Nagy elemszámú vizsgálat esetén, hogy az egyes elemek egyéni eredményei ne vesszenek el a tömegben, érdemes azokat egyenként is bemutatni, amihez geoinformatikusként egy honlap készítése kézenfekvő lehetőség, hiszen így gyorsan és rendezetten, átlátható formában, egyszerre és egy helyen megtekinthető az összes részeredmény.

6. Összefoglalás

Diplomamunkám keretében ötven szlovén völgyet vizsgáltam meg, mivel az érdekelt, hogy meg lehet-e jósolni a völgyek alakja alapján a létrehozó folyamatokat. Hipotézisem az volt, hogy az utolsó eljegesedési maximummal érintett völgyek „U”, a folyóvízi völgyek pedig „V” alakúak. Továbbá azt is vizsgáltam, hogy a völgyek esésgörbéjéből tudunk-e következtetni a völgy jellegére. Hogy ezekre választ kapjak, a völgyek hossz- és keresztmetszéveire legjobban illeszkedő függvényeket vizsgáltam. A kutatás során arra a következtetésre jutottam, hogy míg a keresztmetszetek alakja erős összefüggést mutat a völgy kialakulásának folyamatával, addig a hossz-szelvények alapján kevésbé lehet következtetni az eróziós folyamatokra. A völgyek keresztmetszvény elemzése alapján elmondható, hogy a jég által formált glaciális völgyekre legjobban a harmadfokú polinom illeszkedik, tehát valóban inkább „U” alakúak (de nem parabola alakúak), míg a folyóvízi völgyek alakját a kétoldali lineáris függvény írja le legjobban, ebből adódóan leginkább „V” alakúak.

A vizsgálatok elvégzéséhez 30 x 30 méter felbontású SRTM digitális felszínmodellt használtam, azonban öt különböző méretű és típusú völgyet 3 x 3 méter felbontású LiDAR alapján is megvizsgáltam, hogy megtudjam, hogy a völgyek morfológiai vizsgálatához érdemes-e jobb felbontású, de sokkal nagyobb hardver igényű LiDAR adatokkal dolgozni, vagy elég ezeket SRTM alapján vizsgálni. Az eredmények alapján kijelenthető, hogy nagy és széles vízgyűjtők esetén elegendő a rosszabb felbontású SRTM is, míg a kisebb és szűkebb völgyeknél érdemes jobb felbontású adatokkal dolgozni.

Végül készítettem egy web-térképet ([LINK](#)), melyen a kutatás során kapott eredményeket mutatom be Leaflet segítségével, így könnyen és gyorsan átlátható az összes völgy hossz-és keresztmetszvénye.

7. Summary

I analysed fifty Slovenian valleys, because I was interested in whether it is possible to predict the processes that create them based on their shapes. Is it true that the valleys formed by glaciers during the last glacial maximum are "U" shaped and the fluvial valleys are "V" shaped? Does the stream profile of the valleys give an indication of the valley character? In order to answer these questions, I looked for the best fitting functions for the longitudinal and transverse profiles of the valleys. My research led to the conclusion that while the shape of the cross-sections show a strong correlation with the process of the valley formation, the longitudinal sections are less suggestive of erosion processes. The cross-sectional analysis of valleys shows that glacial valleys formed by ice are best fit by the cubic polynomial function, and thus are indeed more "U" shaped (but not „parabola-shaped”), while river valleys can be best described by the two-part linear function, and thus are mostly "V" shaped.

I used a 30 x 30 m resolution SRTM digital surface model to carry out these studies, but I also examined five valleys of different sizes and types using 3 x 3 m resolution LiDAR data to see whether it is worth using better resolution and consequently much higher hardware demanding LiDAR data for morphometric analysis of valleys, or whether it is sufficient to examine them using SRTM only. The results show that for large and wide basins, the lower resolution SRTM is sufficient, while for smaller and narrower valleys, better resolution data is worthwhile.

Finally, I have created a web-map ([LINK](#)) showing the results of the research using Leaflet, so that the length and cross-section of all valleys can be easily and quickly viewed.

8. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni témavezetőmnek, Dr. Telbisz Tamásnak a rengeteg ötletet, tanácsot és türelmet, amit a munkám során kaptam.

Valamint köszönöm a családomnak és a vőlegényemnek a végtelen támogatást és megértést, amit a dolgozat megírásához kaptam tőlük.

9. Irodalomjegyzék

- AYAZ S., KUTUBUDDIN DHALI MD. 2019: Longitudinal profiles and geomorphic indices analysis on tectonic evidence of fluvial form, process and landform deformation of Eastern Himalayan Rivers, India. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 4:1, 11-22
- COLES R. J. 2014: The cross-sectional characteristics of glacial valleys and their spatial variability. PhD, Geography Department, University of Sheffield, 335
- EHLERS J., GIBBARD P.L., HUGHES P.D. 2011: *Quaternary Glaciations - Extent and Chronology - A Closer Look*. Elsevier, 1126 p.
- HACK, J.T. 1973: Stream-profile analysis and stream-gradient index. *Journal Research U.S. Geol. Survey* 1/4, 421-429
- HARBOR J. M. 1989: W. J. McGee on glacial erosion laws and the development of glacial valleys. *Journal of Glaciology*, Vol. 35, No. 121, 419 - 425
- HRVATIN M., TIČAR J., ZORN M. 2020: Rocks and Tectonic Structure of Slovenia – In: *The Geography of Slovenia*. Springer, 23-34
- JENSON S. K., DOMINGUE J. O. 1988: Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 54, No. 11, 1593-1600
- MAIDMENT D.R. 1996: GIS and hydrological modeling: An assessment of progress –The Third International Conference on GIS and Environment Modelling, 1996. január 22-26, Santa Fe, New Mexico
- MCGEE W. J. 1894: Glacial Canons. *The Journal of Geology*, Vol. 2, No. 4, 350-364
- PERKO D., CIGLIČ R., ZORN M. 2020: Slovenia: A European Landscape Hotspot – In: *The Geography of Slovenia*. Springer, 1-20
- PRASICEK G., OTTO J. C., MONTGOMERY D. R., SCHROTT L. 2014: Glaciated valleys in Europe and western Asia. *Journal of Maps*, Vol. 11, No. 2, 361-370

RICE S. P., CHURCH M. 2001: Longitudinal profiles in simple alluvial systems. Water Resources Research, Vol. 37, No. 2, 417-426

SVENSSON H. 1959: Is the cross section of a glacial valley a parabola? Journal of Glaciology 3, 362 - 363

WHEELER, D. A. 1984: Using parabolas to describe the cross-sections of glaciated valleys. Earth Surface Processes and Landforms 9, 391-394

ZORN M., FERK M., LIPAR M., KOMAC B., TIČAR J., HRVATIN M. 2020: Landforms of Slovenia – In: The Geography of Slovenia. Springer, 35-57

Internetes hivatkozások:

Quaternary Glaciations - Extent and Chronology:

<https://booksite.elsevier.com/9780444534477/index.php>

Szlovénia LiDAR, Atlasa okolja:

http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso&culture=en-US

USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)
1 Arc-Second Global:

https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects