

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

MAGASHEGYI TURISTAUTAK GIS ALAPÚ KOCKÁZATELEMZÉSE

OTDK dolgozat

Készítette:

Iván Levente Botond

Geográfus mesterképzés

I. évfolyam

Geoinformatika specializáció

Témavezető:

Dr. Nagy Balázs

ELTE TTK

Természetföldrajzi Tanszék

Egyetemi docens

és

Jó Viviána

ELTE TTK

Természetföldrajzi Tanszék

PhD hallgató



**Budapest
2024**

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	3
1.1. Kockázatelemzés előzményei	4
1.2. Baleseti statisztikák.....	5
1.3. Mintaterület	6
2. ADATOK.....	7
2.1. Domborzatmodell	7
2.2. Műholdfelvételek.....	9
2.3. Kiegészítő adatok a térképhez	11
2.4. Baleseti statisztikák.....	12
2.5. A módszer felülvizsgálatához szükséges terepi adatok	12
3. KOCKÁZATELEMZÉSI MÓDSZER.....	13
3.1. Kockázati tényezők kategorizálása	13
3.2. Kockázati tényezőket meghatározó fizikai paraméterek	16
3.3. Alapállományok előkészítése	17
3.4. Völgyoldal kockázat meghatározás	17
3.5. Kicsúszás kockázat meghatározás	20
3.6. Speciális körülmények kockázatai	24
3.7. Területek és szakaszok egyedi kódolása	26
3.8. Végző kockázati értékelés	26
4. EREDMÉNYEK	30
5. DISZKUSSZIÓ	33
5.1. Módszer validálása.....	33
5.2. A módszert limitáló tényezők	34
6. ÖSSZEGZÉS	35

1. BEVEZETÉS

Napjainkban sok tanulmány foglalkozik a hegyvidéki, még inkább a magashegyvidéki területek állapotával, melyek a klímaváltozásra rendkívül érzékenyen reagálnak. Az elmúlt két évtized mérései és elemzései nyomán, mára egyértelművé vált, hogy a megváltozott klimatikus paraméterek a környezet átalakulását és így a természeti veszélyek fokozódását okozzák ezen területeken (SCHLÖGEL et al. 2020). A mérési adatokkal alátámasztott jelenségek és veszélyek újabb kérdéseket vetnek fel a problémák hosszútávú kezelésének tekintetében. Mivel a természet átalakulását nem tudjuk befolyásolni, így az elsődleges megoldás az alkalmazkodás és tájékozódás, melyet nagyban segít az alapos információnyújtás a magashegységi területeket felkeresők számára (RITTER et al. 2012, SALIM et al. 2023).

A tájékoztatás egyik legegyszerűbb és sokak számára értelmezhető, akár nagy területi áttekintést biztosító formája a térképi ábrázolás. A kockázatelemző és megjelenítő térképekkel, illetve természeti veszélyeket előrejelző modellek készítésével és azok ábrázolásával sok tanulmány foglalkozik, melyek közt nagy számmal találkozhatunk lejtős tömegmozgásos események (csuszamlások, villámáradások, törmeléklavinák és sziklaomlások) bekövetkezésének helyét és idejét valószínűsítő munkákkal (BAILLIFARD et al. 2003, LI et al. 2022). Azonban – *érthető módon* – a legtöbb tanulmány a témában az infrastruktúrára, településekre és úthálózatokra koncentrálnak. A hegyvidéki területek esetében a turistautak környezetében tapasztalható kockázatos jelenségek felmérésével és ábrázolásával kevés kutatás foglalkozik, annak ellenére, hogy napjainkban egyre nagyobb népszerűségnek örvend az outdoor turizmus. Ebből adódóan a túraútvonalak eltérő tulajdonságú és veszélyű szakaszait leíró egységes kockázatelemzési módszer még nem született. Kutatómunkám középpontjában az áll, hogy ezt a hiányosságot pótoljam. Egy olyan módszer kidolgozását tűztem ki célul, mely a térinformatika és a szabadon hozzáférhető adatok segítségével képes számszerűsített eredményt adni egy kiválasztott hegyvidéki útvonal várható és reális kockázati mutatóiról. A módszer során alkalmazott elemzéseket ArcMap 10.8 térinformatikai szoftverben végeztem, azonban ezek megismételhetők bármely más térinformatikai szoftverben is. A módszer lényege továbbá, hogy bár a Magas-Tátra területére fejlesztettem ki, Földünk jelentős területén alkalmazható, ahonnan rendelkezésre állnak a szükséges adatok (domborzatmodell és műholdfelvételek). Fontos azonban megjegyezni, hogy a bemenő adatok felbontása eltérő lehet, így a kapott kockázati térképek felbontása is eltérhet. Mindazonáltal a rosszabb felbontású adatokkal kapott eredmények is sokat elárulhatnak azon területek állapotáról és veszélyességéről, melyeket addig egyáltalán nem vizsgáltak. A kockázatelemzést továbbá olyan

területekre dolgoztam ki, melyek nem érik el a hóhatárt, így a módszer a nem állandóan hóval fedett területek nyári állapotának elemzésére alkalmazható. Mivel a legtöbb turista a nyári szezon során keresi fel ezeket a területeket a tájékoztatást ebben a periódusban tartom a legfontosabbnak.

1.1. Kockázatelemzés előzményei

2022-es TDK kutatásomban a Magas-Tátra környezeti átalakulását vizsgáltam. Az eredmények rávilágítottak arra, hogy a környezet gyors változása felerősítheti a hegységben tapasztalható kockázati jelenségeket (IVÁN 2023). Ilyenek a gyakoriságukban és intenzitásukban egyaránt növekedést mutató nyári zivatarok, a hirtelen időjárás-változások és a hőmérséklet növekedése (BIČÁROVÁ és HOLKO 2013, ŁUPIKASZA és SZYPUŁA 2018). Mindezek nem csupán az elsődleges hatásaik miatt okoznak problémát, illetve átalakulást, hanem olyan további velejáró jelenségek kialakulásához vezetnek, mint a lejtős tömegmozgásos folyamatok (sziklaomlások, kőpergések, törmeléklavinák, csuszamlások), amelyek nagymértékben képesek átalakítani a hegység érintett területeit (RĄCZKOWSKA et al. 2017). Ezek a jelenségek különböző mértékben ugyan, de mind-mind növelik a kockázatot a területen tartózkodó látogatókra nézve.

Korábbi kutatásom nemcsak a természeti folyamatok változását mutatta ki, hanem jól rámutatott arra is, hogy a témakört illetően a területen szinte nincsen semmilyen tájékoztatás. Az eltérő kockázatú helyszíneken semmi sem jelzi, hogy milyen körülményekre számíthat a látogató, és ezek alapján milyen felszerelésre van szüksége, mellyel biztonságosan továbbhaladhat, teljesítheti a szakaszt. A magas baleseti mutatók jól mutatják (DRUET 2021), hogy a látogatók felkészületlensége sokszor szerencsétlenséghez is vezet, így ezen figyelmeztetések fontossága nem elhanyagolandó.

Terepbejárásaim során tett megfigyeléseim, szakemberekkel végzett interjúk és kérdőívek alapján a térinformatika segítségével kategorizáltam az útvonalakat a különböző időjárási körülmények során felmerülő kockázatok szerint. Ez a módszer – *bár véleményem szerint jól leírja az adott helyszínre jellemző állapotokat* – erős hiányosságot mutatott néhány tényező tekintetében. A számszerűsítés hiánya és a sokszor szubjektív alapon adott vélemények kiértékelése megnehezítette az egyes szakaszok veszélyességnek megállapítását. Habár a szakértők megfigyeléseit továbbra is fontosnak és rendkívül hasznosnak tartom, a módszer komoly hátránya volt annak időigényessége és más területre való alkalmazásának nehézsége.

A mostani TDK kutatásom célja az volt, hogy a 2022-ben kidolgozott módszert tovább fejlesztve kizárjam az említett szubjektív tényezőket. Mindehhez kizárólag szabadon

hozzáférhető adatokra és térinformatikai adatszerzési eljárásokra támaszkodtam. Egy olyan módszert fejlesztettem ki, amely a valóságot a lehető legjobban megközelíti. Ennek megítélésére korábbi terepi bejárásaimnak köszönhetőn volt lehetőségem. Célom a kockázati kategóriák és paraméterek reális skálázásának megalkotása volt, hogy mind a végső képlet kiszámításához felhasznált veszélyességi mutatók, mind pedig a kapott végeredmény tekintetében számszerűsíthető eredményt kapjak a vizsgált terület egyes szakaszainak kockázatáról. Kutatásom végső eredménye egy olyan térkép, mely a hegyégben tapasztalható eltérő időjárási körülmények között is valós veszélyességi mutatókat tár föl, mindenki - *akár a laikusok számára is* - könnyen értelmezhető módon. Legfontosabb célom az volt, hogy olyan módszert alkossak, mely nem csupán a Magas-Tátra, hanem bármely olyan hegyvidék esetén alkalmazható, amely nem éri el a hóhatárt, de környezete és látogatottsága indokoltá teszi a kockázatelemzés elvégzését.

A kutatásommal kapott eredményeket, kockázati térképet hosszú távon szeretném szabadon elérhetővé tenni a Tátrát felkereső turisták számára, így ezeket a TANAP (szlovákiai tátrai nemzeti park) részére tervezem eljuttatni. A térkép alapján a látogatónak lehetősége lenne figyelembe venni egyéni képességeit, és hegyi útja során valóban a lehető legszebb emlékekkel gazdagodhatna biztonságos túraútvonalakon közlekedve.

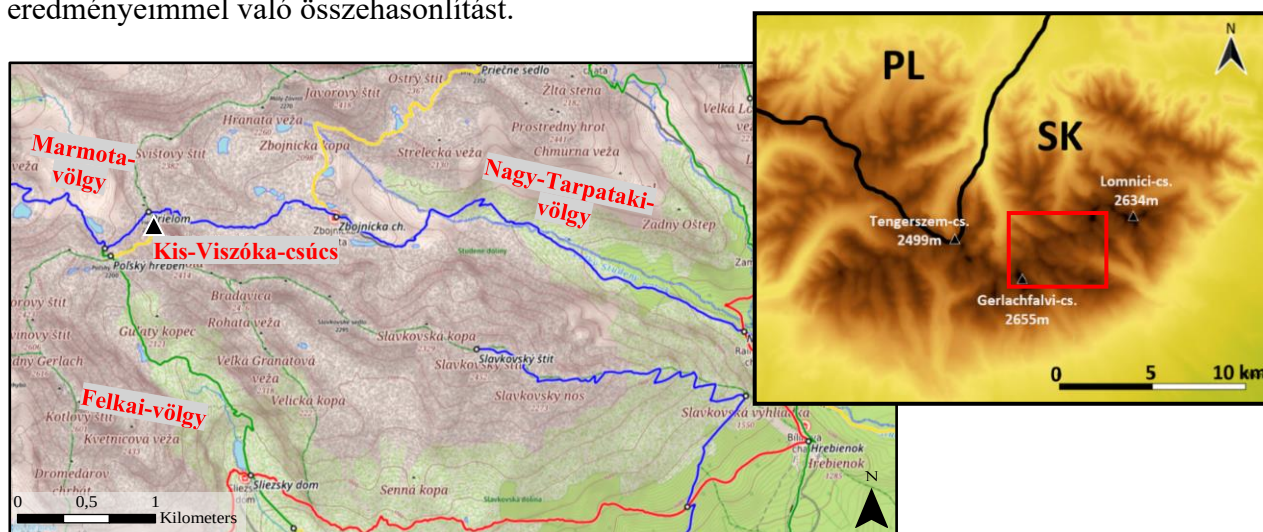
1.2. Baleseti statisztikák

A Magas-Tátrában a hegység kis kiterjedésű területéhez viszonyítva, évről-évre nagyon magas a balesetek és a tragikus halálesetek száma (SIMINSKA et al. 2016). Részben ezek a kimagasló baleseti mutatók indokolták a kutatásom témaválasztását, és adták a motivációt a probléma mérséklési lehetőségeinek kidolgozásához. Az említett hegység a magashegyi sportolók (sziklamászók, hegymászók, sálpinisták) által nagyon kedvelt és sűrűn látogatott terület, akik jól ismerik a kockázatokat, így a szerencsétlenségek javarészt a túrázók/kirándulók csoportját érintik, akik azonban sok esetben nem rendelkeznek alapos magashegyi ismeretekkel (DRUET 2021). A kockázatot jelentő objektív természeti veszélyek közt néhány jelenség, mint a sziklaomlások és törmeléklavinák, illetve az intenzív zivatarok és velejáróik (villámcsapás és villámáradás), az elmúlt másfél évtizedben erőteljes fokozódást mutatnak, esetszámok és intenzitás tekintetében is (KAPUSTA et al. 2010, NIEDZWIEDZ 2015). Ámbár kétségtelenül mindezek a jelenségek növelik a látogatókat érintő veszélyforrások mértékét, mégis nagyságrendi lemaradásban vannak a legnagyobb problémát jelentő az ösvényről történő „kicsúszás” és „zuhanás” okozta kockázathoz képest (JAKUBIS 2017). Az ilyen jellegű tragikus esetek sok esetben a magashegyi körülményekhez nem szokott látogatókat érintik, akik nem

ismerik saját fizikai korlátaikat. Az alkalmi jellegű tapasztalatlan kirándulók esetében nem ritka, hogy időjárással kapcsolatos ismereteik is hiányosak, így nem feltétlenül tudják felmérni az adott helyzet komolyságát. Mindez oda vezethet, hogy a látogatók sokszor „túl messzire” mennek, és csak akkor realizálják a problémát, amikor már késő. A balesetek szempontjából és az emberi felkészületlenségből adódó másik alapvető probléma a nem megfelelő felszerelés viselete. Sokak vágnak neki technikás útvonalaknak könnyű öltözetben, nem odaillő lábbeliben. Alapvetően meleg, tiszta nyári időjárási körülmények között erről úgy gondolkozhatunk, hogy nem jelent nagy felelőtlenséget, ám az oly sokszor kiszámíthatatlan hegyi időjárás miatt, egy-egy hirtelen bekövetkező „évszakváltozás” a nap folyamán, súlyos baleseti potenciállal bír az ilyen esetekben. A hegyvidéki területek megközelítésénél evidensnek kellene tekinteni a jól megválogatott öltözet viselését. Ez azonban gyakorta elmarad azon látogatók esetében, akik nem rendszeres hegyjárók.

1.3. Mintaterület

A módszer kidolgozásához részmintaterületként a Nagy-Tarpataki-völgyet, a Rovátka-hágót (2290m), a Poduplaszki-Marmota-völgy völgyfőjét, a Lengyel-nyereget (2150m), a Felkai-völgyet és a Kis-Viszoka-csúcsot (2428m) választottam. Ez a terület rendkívül változatos, szinte felsorakoztatja a Magas-Tátrára [1. ábra] jellemző összes eltérő tulajdonságú úttípust. A terep alapos ismerete pedig lehetővé tette számomra a kidolgozott módszer alapján kapott eredmények értékelését, a hiányosságok feltárását és a korábbi módszerrel kapott eredményeimmel való összehasonlítást.



1. ábra: Jobb oldalon fent a Magas-Tátra térsége, a piros négyzet jelöli a hegység központi területét, melyen belül található a részmintaterület. A térkép SRTM adatok (FARR és KOBRICK 2000) alapján készült. Bal oldalon a részmintaterület turistatérképe, a Nagy-Tarpataki- és a Felkai-völgy.

A turistatérkép forrása: <https://mapy.dennikn.sk/>

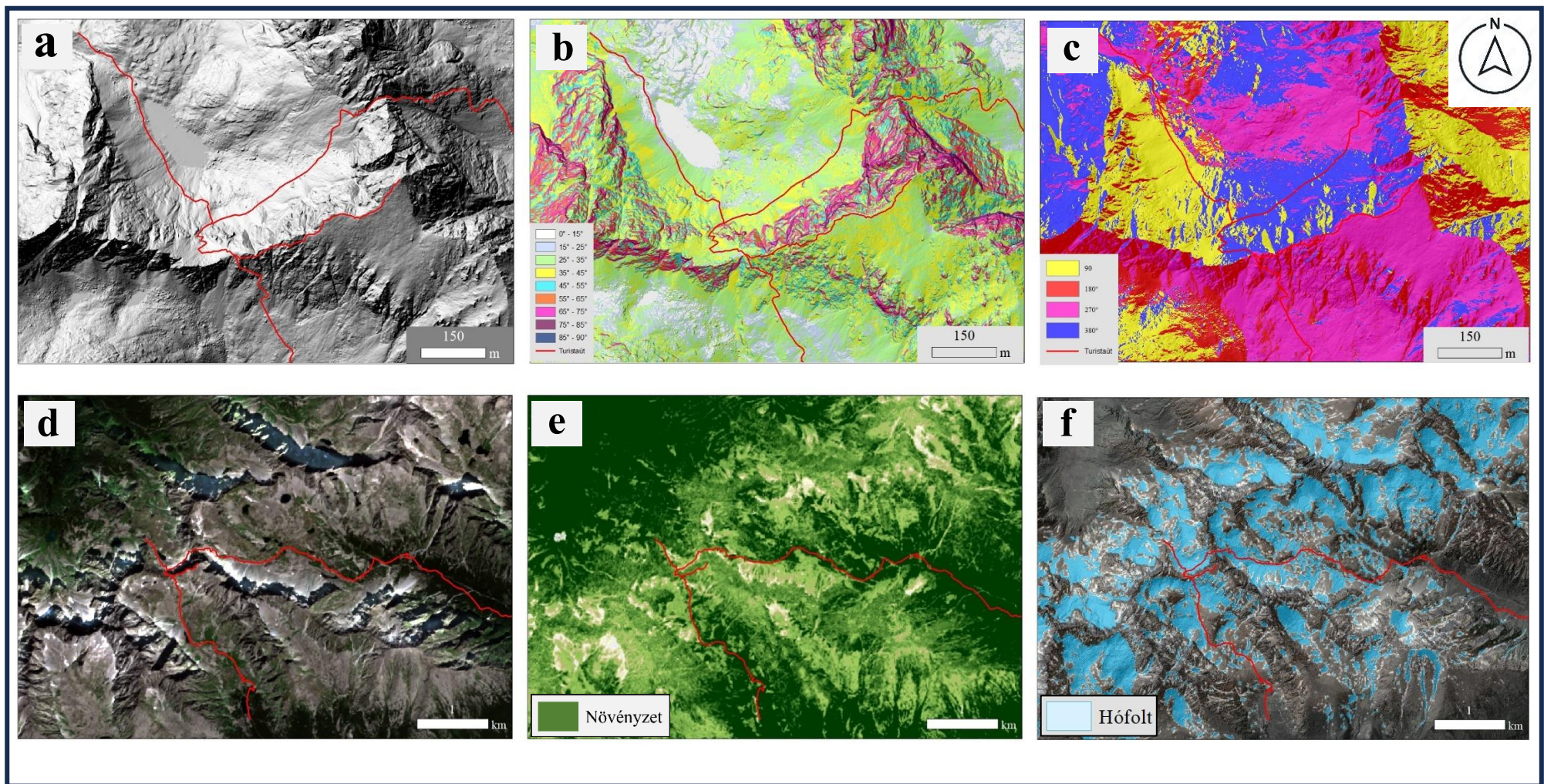
2. ADATOK

A kockázatelemzés során, olyan szabadon hozzáférhető adatokat használtam, melyek a Föld legtöbb hegyvidéki területére elérhetők. Ezt nagyon fontos szempontként kezeltem, mivel a dolgozatom egyik fő célja, hogy csupán a térinformatika adta lehetőségek kihasználásával – *a terep konkrét fizikai ismerete nélkül* – egy olyan kockázatelemzést készítsek, ami a legjobb közelítést adja a valós állapotokhoz és a Föld más területeire is elvégezhető.

2.1. Domborzatmodell

A vizsgálat alapját a Szlovák Köztársaság Geodéziai, Kartográfiai és Kataszteri Főhatósága által 2023-ban az egész ország területére szabadon nyilvánossá tett ÚGKK SR dmr 5.0 – 1*1 méter felbontású domborzatmodellje adta [2. ábra: a]. A felvételeket légi lézerszkenneléssel (ALS) készítették, mely lehetővé tette, hogy a végső domborzatmodellről (DTM) a növényzetet eltávolítsák, javítva ezzel a végeredményt a pontos számítások és raszterelemzések érdekében (INTERNET1). A DTM alapján az ArcMap szoftverben állítottam elő a terület lejtőszög [2. ábra: b] és lejtőkitettség [2. ábra: c] térképeit, melyek segítségemre voltak a későbbi elemzések során.

Fontos megjegyezni, hogy a Föld nem minden területére érhető el ilyen jó felbontású domborzatmodellek, habár egyre több ország végez LiDAR-os felmérést és teszi elérhetővé annak eredményeit (pl. Szlovénia, Svájc (INTERNET8, INTERNET9)). Ennek hiányában például a szabadon hozzáférhető SRTM 30 méteres felbontású domborzatmodell (FARR és KOBRICK 2000) alkalmazása nyújthat megoldást, mely az é.sz. 60° és d.sz. 56° között érhető el a Föld területére.



2. ábra: A DTM alapján előállított és az elemzés során felhasznált térképek: a=DTM domborzatárnyékolt színezéssel; b=lejtőszög térkép; c=lejtőkitettség térkép. Sentinel-2 felvételek a mintaterületről: d=valódi színes Sentinel-2 felvétel, 2023.08.15; e=NDVI Sentinel-2 felvétel alapján, 2023.08.15; f=NDSI Sentinel-2 felvétel alapján, 2023.06.03. Forrás (d, e, f): EO Browser.

2.2. Műholdfelvételek

A hegység eltérő tulajdonságokkal rendelkező területei, a különböző régiókban tapasztalható eltérő jelenségek, illetve a dinamikusan változó felszínének beazonosítására és időbeli nyomon követésére a Sentinel-2 A és B műholdak által készített RGB kompozit optikai felvételeket használtam. Az adatokat ingyenes regisztrációt követően a Sentinel Hub EO Browser (INTERNET2) oldalán keresztül töltöttem le. A felhasználni kívánt felvételek kiválasztásának paraméterei a következők voltak:

A nyári turistaszezon a Magas Tátrában minden évben egységesen június 15. napjával veszi kezdetét. Ekkortól szabadon látogathatóvá válnak a téli idényben a túlzott lavinaveszély miatt lezárt – a *menedékházak* „*feletti*” – csúcsok és hágók (ezek a hegység legkitettebb és legmagasabban elhelyezkedő területei). Ebből adódóan olyan felvételeket kerestem, amik ehhez a dátumhoz legközelebbi időpontban készültek, hogy a nyár eleji felszínborítási állapot legyen látható, a minimális felhőborítottságra törekedve. Az ilyen „tiszta időben” készült felvételek ritkák, így egy adott év nyári szezonjából átlagosan három-négy felvételt sikerült kiválasztani a vizsgálatok elvégzéséhez. A munka során öt évre visszamenően, azaz 2019-től 2023-ig gyűjtöttem ki ezeket a felvételeket. Az ötéves időtáv az egyszeri kiértékelésen túl lehetőséget nyújtott arra is, hogy az évek közötti eltéréseket, például a hóborítottság esetén (melyik évben mikor érkezett nagymértékű olvadás, mikor havazódtak be újra a magaslatok) kimutathassam. Minden dátum esetében a valós színezésű felvételek mellett két további, indexelt felvételt is letöltöttem:

I. Optikai felvételek (true color) [2. ábra: d]:

Ezen felvételek segítségével vizuálisan következtetni lehet a turistautak közvetlen környezetének tulajdonságaira. Közelítést adnak az aktív törmelékcsatornák területének meghatározásához, továbbá a sziklaomlások és törmelékklavinák bekövetkezésének nyomai is azonosíthatók rajtuk (több felvétel összevetése esetén).

II. NDVI - osztályozott felvételek (Normalized Difference Vegetation Index) [2. ábra: e]:

A növényborítottság típusának és meglétének, vagy éppen annak hiányának meghatározására alkalmas a vegetációs index. Ezen osztályozott felvételek segítségével lehatárolhatóvá váltak azok a területek, melyek a közelmúltban mozgásban voltak, és jelenleg is mozgásban vannak, melyeken ez által a növényzet nem vagy alig tudott csak megtelepedni.

A legalacsonyabb rendű vegetáció, ami legelőször megjelenik egy-egy konszolidált és stabilizálódott területen, a különböző zuzmó fajok. A zuzmók kolonizációs ideje (első megjelenés egy friss felületen) eltérő értékeket mutat Földünk különböző hegyvidékein, a Magas-Tátrában ez az érték a leggyakoribb térképzuzmó esetében nagyjából 10 év (KOTARBA 1988, LÁSZLÓ 2015). Tehát minden olyan felszín, ami nem mutat növényborítottságot, ennél fiatalabb kell legyen, vagyis a közelmúltban (vagy még jelenleg is) mozgásban volt. Az aktív területek meghatározásánál a valós színezésű képeket is felhasználtam a pontosabb eredmények érdekében.

Az NDVI felvételek azonban nem csak az aktív területek lehatárolásánál voltak segítségemre. Ennek oka, hogy bizonyos növények az útvonalak védelmét is szolgálhatják. Lágyszárú füves területek esetében, a növények gyökerekkel stabilizálni képesek az akár meredek hegyoldalakat borító mozgásra alkalmas törmeléket, így valamelyest védelmet jelentenek a törmeléklavinák kialakulásával szemben. Védelem szempontjából ennél nagyobb jelentőség tulajdonítható a fás szárú növényeknek. A Magas-Tátrában az erdőhatár nagyjából 1600 m magasságban húzódik (KACZKA et al. 2015). A hegyég magasabb területein található törpefenyves védelmet jelent a havon és a jeges köveken történő kicsúszás ellen, illetve a törmeléklavinákat és a sziklaomlások törmelékét is képes lassítani/megállítani, megakadályozva ezzel, hogy elérjék az ösvényeket (DORREN és BERGER 2005). A vegetáció a lefolyás mértékének és sebességének lassításával hasznos védelmet jelenthet a villámáradások kialakulásával szemben is. Fontos azonban kiemelni, hogy a stabilizálás mellett a fás- és lágyszárú növények is képesek a gyökerek folyamatos növekedésével hozzájárulni a kőzetben található repedések tágitásához, ezáltal bizonyos esetekben felelősek is lehetnek a sziklaomlások kiváltásában. A növényzettel nem borított, a lágyszárú és fás szárú növényzettel borított területek lehatárolására az NDVI osztályozott felvételek kitűnően alkalmasak.

III. NDSI – osztályozott felvételek (Normalized Difference Snow Index) [2.ábra: f]:

A kockázatelemzési módszert olyan területekre dolgoztam ki, melyek nem érik el a hóhatárt, így nem rendelkeznek egész éves hóborítottsággal. Az ilyen helyszínek magasan fekvő területein azonban, kisebb-nagyobb foltok formájában gyakran sokáig megőrződik a kemény csontthó. Ezek a negatív hőmérsékleti anomáliát mutató területek leginkább árnyas törmelékcsatornák és a lavinapályák akkumulációs területeinek árnyékos mélyedései, ahol a hegyoldal lejtőszöge megfelelő a hó felhalmozódásához (ÁRVAI 2011, 2013). Előfordul, hogy a jelzett turistautak keresztezik ezeket az ideiglenes foltokat, melyek tökéletes csúszópályát biztosítanak a szandált, tornacipőt viselő látogatók számára (sok esetben a hegyi terepre

megfelelő lábbeli sem jelent teljes stabilitást). A kockázatértékelés szempontjából ezek a dinamikusan változó, szinte minden nap más állapotú szakaszok kiemelt figyelmet kaptak. Az NDSI segítségével lehatárolhatók az útvonalak állandóan vagy nagyon hosszan hóval borított szakaszai, melyek az év egy adott periódusában magasabb veszélyességi mutatókkal rendelkeznek a többi területhez képest.

2.3. Kiegészítő adatok a térképhez

A terület pontosabb felmérése érdekében kiegészítő adatokat is felhasználtam. A Google Earth Pro felületén hozzáférhető ortofotó felvételek nagy segítségemre voltak az elemzés során, mivel ezek felbontása messze túlszárnyalja a szabadon hozzáférhető Sentinel-2 műholdfelvételeket. Az itt elérhető ortofotók segítségével pontosítottam egy-egy kérdéses helyszínről tett megfigyeléseimet. A Google ezen szolgáltatása elérhető a világ valamennyi szegletére, így szintén olyan forrás, melyre minden esetben hagyatkozhatunk. Ennél is valamelyest részletgazdagabb légifotók a ZBGIS®, a Szlovák Köztársaság Geodéziai, Kartográfiai és Kataszteri Főhatósága által üzemeltetett oldalán is hozzáférhetők, melyeket szintén felhasználtam kutatásom során (INTERNET3).

A kockázatértékelés során fontos lehatárolni a speciális tulajdonságú területeket is, ahol valamilyen épített objektum segíti a turisták könnyebb és biztonságosabb haladását. Ezek közé tartoznak a patakok felett vezető hidak, valamint a meredek és kitett helyszíneken a sziklába/sziklához erősített fém segédeszközök (kapaszkodók, láncok, fém lépcsők és lépéshelyek). Sajnos az ilyen területeket ritkán és sok esetben hiányosan jelölik még a turista térképeken is, így nem áll rendelkezésre olyan forrás, ami a teljes valóságot mutatja. A Magas-Tátra esetében a mapy.cz (INTERNET4) egy olyan online térkép felület, ahol a legtöbb esetben jelölésre kerültek az említett területek. Ezen eltérések beazonosításával és figyelembevételével pontosítottam a módszer során végzett számításokat.

Mindenképp megemlítendő, hogy vannak olyan lokális adatbázisok, melyek egy-egy területen további hasznos információt szolgáltathatnak, ahogyan ez az általam vizsgált terület esetében is igaz. Így a módszer elvégzését követően más-más pontosságú eredményeket kaphatunk a Föld különböző területeire, kiegészítve a globálisan elérhető, szabadon hozzáférhető adatok tárházát néhány lokálisan elérhető informatív értékkel. Mindezek ellenére a módszer egységessége az alapvető adatok hozzáféréseben rejlik, melyeket kiegészítve csak tovább pontosíthatjuk a kapott értékeket.

2.4. Baleseti statisztikák

A kockázat valós felmérését a szlovák és lengyel hegyvidéki baleseti statisztikák alapján határoztam meg. Bár a mintaterület egésze a szlovák hegyvidékre korlátozódik, a balesetek szempontjából, mivel ugyanazon hegységről van szó – *mely azonos tulajdonságú környezettel rendelkezik* – a lengyel statisztikákat is figyelembe vettem. A statisztikák nem mutattak módszertani különbséget a két ország esetében, így a felhasznált források összevethetőek. Ilyen jellegű nyers és feldolgozott adatok mindkét ország esetében a területen működő hegyimentő szolgálat (HZS – szlovák (INTERNET5) és TORP – lengyel (INTERNET6)) éves jelentéseiben, illetve tudományos publikációkon keresztül érhetőek el (SIMINSKA et al. 2016, JAKUBIS 2017, DRUET 2023). Az statisztikák megismerése által azokra a területekre tudtam koncentrálni a módszer megalkotása közben, melyek valóban jelentős veszélyességi mutatókkal rendelkeznek. Sok esetben a köztudatban kockázatosnak vélt jelenségről (pl. sziklaomlások) pedig kiderült, hogy bár bekövetkezésük esetén valóban katasztrófát okozhatnak, százalékos arányban baleseti vonatkozásuk terén nagyon ritka jelenséggént definiálhatóak. Az 1. táblázat azokat a kockázatos jelenségeket vagy eseményeket mutatja be, amelyek a Magas-Tátra esetében a legtöbb balesetet és halálesetet okozzák, JAKUBIS 2017 és DRUET 2023 alapján.

1. táblázat: A magas-tátrai szerencsétlenségek okai

Szerencsétlenségek oka a Magas-Tátrában
lezuhanás
kicsúszás és lezuhanás
törmelékklavina
sziklaomlás
villámcsapás
eltévedés és kihűlés
fagyás
fulladás
megbotlás és esés

2.5. A módszer felülvizsgálatához szükséges terepi adatok

A korábbi terepi adatgyűjtést 2021, 2022 és 2023 nyári turistaidényeiben végeztem, melynek során részletes fotódokumentációt készítettem a hegység szinte valamennyi turistaút szakaszáról. Az archivált adatokon kívül leírást készítettem az ösvényeken található közettörmelék mennyiségéről és mérettartományáról, a jelölt turistautakat közvetlenül határoló sziklafalak repedezettségéről, stabilitásáról és omlásra való hajlamosságáról. Továbbá a hágók és technikailag – *a nem gyakorlott látogatók számára* – kihívást jelentő területekről, valamint a mesterséges segédeszközökkel (kapaszkodók, láncok, vas lépéshelyek) ellátott szakaszok

minőségéről, megbízhatóságáról és állapotáról. Mindez segítséget nyújtott számomra a térképezés folyamán, hogy meghatározzam mik azok a mutatók, melyekkel a térinformatika nyújtotta lehetőségek kihasználásával a legpontosabb számítások végezhetőek a valóság legjobb közelítésének megalkotásához.

3. KOCKÁZATELEMZÉSI MÓDSZER

A módszert, az adatok megjelenítésétől és azok elemzésétől kezdve a végső térkép elkészítéséig, az ArcMap 10.8 térinformatikai szoftverben dolgoztam ki.

3.1. Kockázati tényezők kategorizálása

A baleseti statisztikák és a hóhatárt el nem érő, periglaciális hegyvidéki környezettel foglalkozó szakirodalom ismeretében a soron következő kockázati elemeket vettem figyelembe a térképezés és a módszer kidolgozása közben. A kockázat valós becslésekor a lehetséges természeti jelenségek beazonosításán kívül, fontos tisztában lennünk azzal, hogy azok kialakulására milyen arányban számíthatunk, illetve bekövetkezésük esetén, mekkora mértékben okozhatnak súlyos vagy kevésbé súlyos balesetet. Mindez meghatározza az alábbiakban felsorolt kockázati tényezők jelenőségét.

I. Kicsúszás és zuhanás

A meredek hegyoldalon történő kicsúszás és a függőlegest megközelítő völgyoldalak esetében bekövetkező lezuhanás arányaiban az egyik legsúlyosabb baleseti potenciállal bíró jelenség magashegységi környezetben. A Magas-Tátrában ez okozza **az összes baleset felét** (JAKUBIS 2017), így az ott történő elemzés során kiemelt figyelmet érdemel! A kicsúszáshoz és zuhanáshoz elengedhetetlen feltétel a meredek hegyoldal és az ösvény kitettsége. Sok esetben maga az ösvény törmelékes borítottsága teszi alkalmassá ezen helyszíneket arra, hogy a rajtuk mozgó (általában kevesebb hegyi tapasztalattal rendelkező) túrázó egyensúlyát veszítse és tragédiával végződjön a kirándulása. Ennél gyakoribb helyzetet jelent, mikor még időszakos hóborítottság jellemzi ezen kitett útszakaszokat. Ilyen esetben a hó tökéletes csúszópályát jelent, amin megfelelő felszerelés (jégcsákány) hiányában nagyon kevés esélye van a lendületbe került személynek lefékeznie magát. Ezen csúszópályák sok esetben végződnek a lejtő aljában nagyméretű boulderek (akár több méter magasságú és átmérőjű kőtömbök) közt, amelyek nem jelentenek zökkenőmentes landolási feltételt.

Egy, általában ősszel, esetleg nyáron, csapadékot követő hirtelen hidegbetörések/lehűlés során kialakuló helyzetet jelenthet, amikor hóborítással ugyan nem találkozunk, azonban a

köveken egyfajta jégpáncél képződik „rájegesedés”. Ebben az esetben általánosan növekszik a lehetősége az egyensúlyvesztésnek, a meredek területeken pedig a komoly balesetek bekövetkezésének.

II. Sziklaomlás és kőpergés

A sziklaomlások és kisebb méretű kőpergések az egyik legnagyobb kockázatot magukban hordozó események a magashegyi területeken. Kialakulásuk előrejelzése nagyon nehéz, emiatt bekövetkezésük általában váratlanul éri a területen tartózkodókat. A mozgó kőzet energiájából adódóan képes nagyon súlyos balesetet okozni és sokszor menedék (pl. nagyobb méretű sziklatömb) hiányában a menekülés is nehézkes. Kialakulásuk forrásterületei a meredek sziklafalak, függőlegeshez közeli hegyoldalak (HELLMAN 2018). Emiatt sok esetben ezek a jelenségek távol zajlanak a jelzett turistautaktól. A faltól elváló és nagy energiával lefelé mozgó kőtörmelék (gyakran törmelékcsatornákon keresztül) eljut a falak tövében épülő törmelékkúpokig, ahol ugyan folyamatosan veszít a mozgási sebességéből, de eljuthat az emberek járta ösvényekig. Napjainkban a sziklaomlások kialakulását leginkább a repedésekben található örökfagy olvadása, a tavaszi és nyár eleji hó- és jégolvadás, a 0°C környéki hőingadozás és a nagy intenzitású esőzések okozzák (HELLMAN 2018, GADEK et al. 2023). Forrásterületük gyakran a vetőzónákhoz köthető, kőzetszerkezetileg meggyengült területek, melyek kevésbé ellenálló jellegükből adódóan a környezetüktől elkülönülve, negatív formaként, bemetszéseként jelennek meg a morfológiában. A hágókat, törmelékcsatornákat leggyakrabban ezek a zónák preformálják (GROCHOCKA-PIOTROWSKA 1970, KANIA 2013).

Bár a sziklaomlások száma napjainkban emelkedő tendenciát mutat, és így olyan jelenségről van szó, ami különös figyelmet érdemel, azonban a baleseti statisztikák alapján, általános kockázat tekintetében jóval alulmaradnak az előzőekben bemutatott kicsúszásokhoz és zuhanásokhoz képest. A kockázati értékelés során, ez alapján súlyoztam a hozzátársított veszélyességi mutatót.

III. Törmeléklavina és csuszamlások

A lejtős tömegmozgásos események másik, magas kockázati mutatóval rendelkező típusai a törmeléklavinák és a csuszamlások. Bekövetkezésük szintén nehezen jelezhető előre, és a területen tartózkodókra nézve egyaránt nagy veszélyt jelenthetnek a megmozgatott anyag tömege és energiája miatt. A Magas-Tátrában a két jelenség közül a törmeléklavinák a

jellemzők, ezek jelentenek igazán nagy kockázatot, melyek a törmeléklejtőkön, törmelékkúpokon és törmelékcsatornákon keresztül mozognak az alacsonyabb területek irányába. Kialakulásuk szoros összefüggésben van a fentebb említett sziklaomlásokkal, miszerint amikor a közel függőleges területekről érkező törmelék eléri a törmeléklejtőt, ott a becsapódási energiával további törmelék megmozgatását eredményezi, és indítja el a törmeléklavinát. Kialakulásuk másik gyakori körülménye és feltétele, ha megfelelő lejtőmeredekség megléte mellett ($25-45^\circ$ kialakulhat, $>45^\circ$ fölött pedig nagy eséllyel alakul ki (KOTARBA 2013)), nagy mennyiségű intenzív esőzés éri a területet. A Magas-Tátrára vonatkozóan ez a csapadékintenzitási érték nagyjából 30-35 mm/h (KOTARBA 1992). A törmeléklavinák a sziklaomlásokhoz hasonlóan, bár szintén komoly kockázatot jelenthetnek a területen tartózkodókra nézve, ritka jelenséggként definiálhatók (KOTARBA 2002), így nem tartoznak a potenciálisan leggyakrabban problémát okozó jelenségek közé. Meg kell azonban jegyezni, hogy jelenleg ezeknek az eseményeknek is növekszik a száma a területen (ŠILHÁN és TICHAVSKÝ 2016).

IV. Villámáradás

A villámáradások nagy intenzitású és nagy mennyiségű esőzések esetén alakulhatnak ki, melyekre a nyári zivatarok idején kerül leginkább sor. A Föld számos magashegységében az egyre hevesebb viharok növekvő esetszámot és intenzitást mutatnak, így ezek az áradások egyre gyakoribb jelenséggként definiálhatók (GRÓNIK et al. 2017). A turistautakon haladó látogatókra a völgytalpakon és a törmelékcsatornák keresztezéseinél jelenthetnek kockázatot. Az ilyen áradások sok esetben nemcsak nagy energiájú vizet, hanem görgetett kőzettörmeléket is szállítanak, amivel komoly balesetet okozhatnak. Veszélyességi potenciáljuk aszerint határozható meg, hogy a vizsgált területen milyen arányban találhatók jelzett ösvények az áradásokat, időszakos vízfolyásokat érintő területek közelében, illetve mekkora vízgyűjtő területtel rendelkezik az adott völgyszakasz.

V. Villámcsapás

A villámcsapások a hegyi viharok velejárói. Kockázati szempontból nagyon veszélyes jelenséggként határozhatóak meg, hiszen bekövetkezésük esetén szinte teljes bizonyossággal okozhatnak katasztrófát. A nyári viharok számának növekedésével ezen jelenségek is egyre gyakoribbá válnak, azonban figyelembe véve, hogy ilyenkor ritkán tartózkodnak a hegyeket felkeresők magas és nyílt területen, a villámcsapások okozta balesetek száma nem mutat kiugró értéket az eddigiekben felsorolt kockázati elemekhez képest.

VI. Szállókés

Kitett, nyílt és meredek turistaút szakaszok esetében a szél által okozott egyensúlyvesztés könnyen okozhat súlyos balesetet.

3.2. Kockázati tényezőket meghatározó fizikai paraméterek

A bemutatott lehetséges kockázatoknak, egy adott terület egyéni jellegének és veszélyességének meghatározásához szükséges tényezőket és paramétereket az alábbi táblázatban foglaltam össze [2. táblázat]. A sárgával jelzett mutatók esetében sajnos nem, vagy nem minden esetben rendelkeztem információval, ezek az adatok ugyanis a szabadon és globálisan rendelkezésre álló online adatbázisokból nem nyerhetők ki, csak a helyszín terepbejárásával juthatunk hozzájuk. A módszer kidolgozása közben igyekeztem a hiányos adatokat más eszközökkel meghatározni, hogy ezáltal a lehető legjobban közelítsem a valóságot. A végső kiértékelés során csupán akkor vettem figyelembe ezeket a paramétereket, ha a hozzáférhető adatok és adatbázisok alapján rendelkeztem róluk információval.

2. táblázat: A kockázati tényezőket meghatározó és befolyásoló körülmények

Az útszakasz tulajdonságai	Az útszakasz környezetének tulajdonságai
tengerszint feletti magasság: van-e permafroszt és milyen mértékű a hőingadozás	hegyoldal/sziklafal meredeksége és magassága
szakaszmeredekség	égtáj szerinti kitettség
szakadék az ösvény mellett (esély a zuhanásra)	környezet kőzetminősége
nyitottság (esély a villámcsapásra)	vízgyűjtő méret (villámáradás kialakulás)
törmelékcsatorna találkozás	friss sziklaomlás nyom
láncos szakasz	friss törmelékmozgás nyom
sziklafa közelség (sziklaomlás lehetősége)	környezet törmelékesség (mennyiség)
ösvény törmelékessége (mennyiség)	környező törmelék mérete
ösvényen található törmelék mérete	fás szárú növényzet (védő szerep)
útszakasz jelleg (pl. rakott kőút)	lágú szárú növényzet (stabilizáló szerep)
területi jellemző (pl. gerincút, hágó)	ösvényt betakaró hófolt

A turistautak kockázatelemzése során – *tehát annak meghatározásában, hogy hol, mennyire és milyen veszélynek van kitéve a látogató* – figyelembe vettem a kijelölt ösvény

környezetét, a rájuk ható természeti jelenségeket és magának az ösvénynek a fizikai tulajdonságait is. A kockázatot jelentő természeti jelenségek kialakulási feltételeinek és a baleseti statisztikákból kiolvasott kockázatok súlyozásának ismeretében, a módszerben mind az útvonalat, mind pedig annak környezetét különböző paraméterek és meghatározott kategóriák szerint osztályoztam. Mindennek eredményeképp egy összesítő veszélyességi értékelést tudtam társítani a részmintaterület valamennyi turistaútszakaszának adott pontjához.

3.3. Alapadatok előkészítése

Az elemzés kezdőlépéseként az ÚGKK SR dmr 5.0 – 1*1m domborzatmodell alapján raszterszámításokkal létrehoztam azokat az alapadatokat (térképeket), melyeken a későbbi elemzéseket végeztem [2. ábra: a, b, c]:

- **Lejtőszög térkép:** ArcMap „Slope” eszköz → meredekségi kategóriák meghatározása
- **Kitettség térkép:** ArcMap „Aspect” eszköz → égtáj szerint színezve
- **Domborzati térkép:** ArcMap → magasság alapján színezve

A módszerhez a domborzatmodell szlovák vetületi rendszerét választottam alapul (S_JTSK_JTSK03_Krovak_East_North – EPSG: 8353). Minden olyan állományt, mely más vetületi rendszerben volt, az ArcMap „Project Raster” eszköz segítségével alakítottam át.

A raszteres állományok előkészítése után – *OpenStreetMap* (INTERNET7) térkép alapján – vonalas shape fájlként digitalizáltam a részmintaterületen található jelzett turistaösvényeket, melyek mentén a későbbi vizsgálatokat végeztem.

3.4. Völgyoldal kockázat meghatározás

A turistautak környezetének kockázati besorolását az ösvényre ható teljes völgyoldal elemzésével végeztem. A környező völgyoldalak tulajdonságaiból adódó legjelentősebb veszélyforrás a lejtős tömegmozgásos eseményekből származik, melyek során a nagy energiával mozgó közettörmelék okozhat súlyos balesetet a rossz helyen tartózkodó látogató esetében. Mindez a turistautak felett elhelyezkedő völgyoldalak esetében vizsgálandó, hiszen az innen lepergő törmelék tudja elérni az alatti elhelyezkedő ösvényeket. A lejtőkitettség és magassági térképek alapján meghatároztam, hogy mely völgyoldal van hatással a vizsgált turistaút szakaszra (útbevágás esetén mindkét oldal). A turistautakra ható völgyoldalakat közel azonos domborzati paraméterek (lejtőszög és lejtő kitettség) esetén egy egységes poligonnal határoltam körbe és ezek kaptak kockázati besorolást. Minden poligon egy 1-től 5-ig terjedő értéket kapott az attribútum táblázatban, ahol az 1 a legkisebb, az 5 a legnagyobb kockázatot jelenti. Mindezen értékeket az alábbiak szerint határoztam meg:

I. Lejtőszög

A lejtőszög értékek alapján a következő alapvető kockázati besorolásokat feltételeztem az egyes poligonokra. Legveszélyesebbnek a 60°-nál meredekebb lejtésű területeket feltételeztem, ahol a legnagyobb az esélye a törmelékmozgások kialakulásának. A 60° alatti, de 45°-nál nagyobb lejtőszöget elérő területek azok, ahol szintén kialakulhat törmelékmozgás. A 45° alatti, de 35° feletti völgyoldalak, lejtős tömegmozgások kialakulására még éppen alkalmas területek. A 35°-nál enyhébb lejtőszögű területek azok, ahol a törmeléklavinák kialakulása nem várható. A legkevésbé veszélyes területek pedig, amelyek a domborzati viszonyokból adódóan védettek. A lejtőszögből fakadó kockázati besorolásokat azonban további tényezők árnyalták és módosították (pozitív és negatív irányba is), a végső érték meghatározásánál. Ezek a következők voltak:

II. Relief

A nagy kockázatú poligonok esetében kiemelt jelentőséggel bír az adott meredekségű szakasz vertikális kiterjedése is, melyet a magasságszínezéses domborzatmodell alapján ellenőriztem. Ahol a meredek hegyoldal csupán néhány 10 méter magasságban emelkedik az ösvény fölé, ott csekély esély mutatkozik kockázatos jelenségek kialakulására, így ezek esetében a meredekség ellenére néha kisebb kockázati besorolást határoztam meg.

III. Hőingadozás gyakorisága

A sziklaomlások és törmeléklavinák kialakulására alkalmas területek esetében figyelembe vettem a tengerszint feletti magasságból adódó jelenségeket. Éves átlagban 2200 méter felett leggyakoribb a 0°C környéki hőingadozás (ŁUPIKASZA ÉS SZYPUŁA 2018), mely nagy szerepet játszik az omlások előidézésében. A törmeléklavinák tekintetében az 1900 méter feletti területeket határozták meg a jelenség leggyakoribb forrászónájának a Magas-Tátrában (RACZKOWSKA 2006), így az ez alatti területek esetében szintén kevésbé várható lejtős tömegmozgás.

IV. Látható omlások a közelmúltban

Miután meghatároztam azokat a területeket, ahol a körülmények adottak arra, hogy kialakulhassanak a lejtős tömegmozgásos események, azokat a helyszíneket határoztam körbe, melyek esetében a közelmúltban valóban azonosíthatóak voltak omlások. A vizsgálat elvégzéséhez a domborzatmodellt vettem alapul, melyre 40%-os átlátszóságú lefedő réteggént

„rávetítettem” az NDVI (vegetációs index) és a valós színezésű Sentinel-2 optikai felvételeket, melyek segítettek lehatárolni a mozgásban lévő területeket. A növényzetborítottság hiánya esetén a felszín mozgását feltételeztem, melyen így a növényzet nem tudott még megtelepedni. A valós színezésű képek alapján pedig a friss sziklaomlások és törmelékmozgások után hagyott nyomokat tudtam detektálni, melyek világosszürke színükkel kitűnnek a törmelékkúpok sötétszürke egyhangúságából. Azokat a törmelékcsatornákat, ahol a mozgás nyomaira utaló jeleket azonosítottam „aktív törmelékcsatorna”-ként poligonokkal határoltam körbe. A Sentinel-2 műholdfelvételek felbontásából adódóan a vizsgálatot nem tudtam a legnagyobb részletességgel elvégezni, így kiegészítő adatként a Google Earth és a ZBGIS® online felületeken elérhető ortofotókat is felhasználtam. Ezek alapján ellenőriztem és javítottam az aktív törmelékcsatornák számát és kiterjedését.

V. Növényzet stabilizáló hatása

A vegetációs index segítségével lehetőségem nyílt rá, hogy meghatározzam a fás- és lágyszárú növényzet területi elhelyezkedését. Azon területek esetében, ahol a törpefenyves jelen van a völgyoldalak törmeléklejtőin, az természetes védő szerepet jelent a turistautakra és a rajtuk tartózkodó látogatókra nézve. Ezekben az esetekben hiába magasodik az út felé egy nagy méretű törmeléklejtő, ami akár fölfelé haladva törmelékcsatornában folytatódik a magaslatok irányába, nem jelent akkora kockázatot mint, ha csak alacsony rendű növényzet borítaná. A fásszárú növényzet védő szerepe a valós színezésű műholdfelvételek segítségével ellenőrizhető. Sok esetben találhatunk példát arra, hogy a lejtő ugyan még folytatódik, de a törmeléklavina által okozott „seb” és lerakott anyag a növényzet ölelésében nem terjed akkora távolságra, mint a vegetációmentes területeken.

Mindezek alapján az ösvényeket határoló hegyoldalak végső kockázati értékeit [3. táblázat] az alábbi kategóriák szerint határoztam meg:

- Az **5-ös**, legkockázatosabb területek közé azokat a helyszíneket soroltam, ahol a meredek és sok helyen függőlegest megközelítő sziklafalak közel helyezkednek el az ösvényhez, így, ha törmelékmozgás alakul ki az jó eséllyel hatást gyakorolhat az útra. Mindezen felül, ebbe a kategóriába kizárólag azon területek kerültek, melyek esetében beazonosítást nyertek recens tömegmozgásra utaló nyomok, így azt állíthatjuk, hogy ezen események, ha adottak a kialakulásuk feltételei, akármikor újra bekövetkezhetnek.

- A **4-es** kategóriába az ennél enyhébb lejtőszögű völgyoldalak kerültek, ahol szintén aktív mozgás állapítható meg. A kategóriába továbbá beletartoznak azok a területek is, melyek esetében nagyobb az ösvény/sziklafal távolság, ebből következően egy esetleges tömegmozgás nem feltétlenül érinti azonnal és közvetlenül az útvonalat, azonban még szintén komoly veszélyt hordoz magában.
- A **3-as** kategóriánál sem a lejtőszög nem produkál kiugró értékeket, sem az ösvény vonalvezetése nem közelíti meg túlságosan a meredek völgyoldalakat. Mozgásra utaló nyomok még azonosíthatóak a területen, illetve bár nagy a sziklafal-ösvény távolság, nincs kizárva teljesen, hogy aktivitást mutasson a helyszín. Ebbe a kategóriába tartoznak azon hegyoldalak is, ahol nagyarányú vegetáció stabilizálja a területet. Ez esetben szintén nem jelenthető ki a teljes védelem, de a konszolidált törmelék stabilitása, és az esetlegesen kialakult mozgás gyors lelassulása végett jó eséllyel feltételezhető az ösvény területének nyugodt környezete.
- A **2-es** kategória azon stabilizálódott völgyoldalakat foglalja magába, ahol jelentősebb szintkülönbség, illetve lejtőszög még tapasztalható.
- Az **1-es** kategória ennek szinte teljes hiányát sorakoztatja fel. Ide tartozik a völgytalpakon vezető és az alacsony tengerszint feletti magasságban található ösvényeknek a tágabb értelemben vett környezete.

3. táblázat: A Völgyoldalak kockázati besorolása során figyelembe vett paraméterek:

Völgyoldal paraméterei
hegyoldal lejtőszöge
sziklafal/hegyoldal magassága
tszfm (0°C környéki hőingadozás)
kitettség (lejtők, lejtőirányok lehatárolása, árnyékos, napos területek)
litológia (Magas-Tátra esetében granodiorit)
törmelékcsatornák aktivitása
törmelékkúpok és törmelék-lejtők recens mozgása
hegyoldal tagoltsága (törmelékcsatorna rendszerek, törmelékmozgás iránya)
sziklafal és ösvény távolsága
fás és lágyszárú növényzet megléte

3.5. Kicsúszás kockázat meghatározás

A hegyi ösvényekről történő kicsúszás – akár a mélybe zuhanás – mint bekövetkező folyamat nehezen meghatározható kockázat, épp emiatt nincs megfelelő és általánosságban elfogadott mutató, amivel egységesen leírható lenne. Mivel azonban ez a jelenség okozza a

hegyvidéki balesetek legnagyobb hányadát (a Magas-Tátra esetében az esetek felét), az elemzési módszer tekintetében kiemelt figyelmet érdemel, és megfelelően strukturált leírás kidolgozását kívánja.

Az általam alkalmazott kicsúszás-veszélyesség meghatározás az alábbi lépések szerint történt:

I. Meredekség

Lejtőkitettség alapján azonosítottam az adott ösvény hegy, illetve völgy felé eső oldalát. Ezt követően a lejtőszög térkép segítségével meghatároztam a szakasz közvetlen környezetének meredekségét és azt, hogy egyensúlyvesztés esetén a tágabb környezetben véve mekkora lejtőszögű és hosszúságú csúszópálya áll rendelkezésre. A 60° fölötti lejtőket tekintettem a legkockázatosabb területeknek. Itt a kicsúszás lehetőségének magas aránya mellett, a mozgás lelassulására is kevés az esély. Ez utáni kategóriába a 40° és 60° közötti lejtőket soroltam, majd a 40° és 25° -ig terjedő tartomány következett és végül a 25° alattiak csoportja.

II. Csúszópályák

A zuhanás lefutási irányára – *a pálya profiljára* – a lejtőkitettség alapján tettem következtetést. Kockázat szempontjából a hosszú és meredek csúszópálya, illetve meredek letörésekkel rendelkező szakadékok környezete kapott magas értékeket. Kiemelt veszélyességet társítottam azon kitett helyszínekhez, ahol a turistautak a közel függőleges falak vízszintes lépcsőin/párkányin, illetve tetején haladnak. Ezeket a szakaszokat sok esetben (bár nem minden területen) fém eszközökkel (kapaszkodó pántok és láncok) biztosítják a könnyebb és biztonságosabb haladás érdekében. Kiértékelés közben csak azokon a területeken vettem figyelembe ezeket a mesterséges kiépítéseket, ahol azok helyzetéről találtam online térképi adatforrást. Sajnos ez nem foglalja magába az összes ilyen területet, de a módszertan lényege, miszerint kizárólag online elérhető adatok felhasználásával dolgozzak, nem tették lehetővé a terepi megfigyelésekből származó (pontosított) adatok alkalmazását. Ehhez tartozóan érdemes megemlíteni, hogy a módszertan szempontjából a kicsúszáskockázat meghatározhatóságán van a hangsúly. Sok magashegység tekintetében, melyek napjainkban válnak egyre népszerűbbé és így leterheltebbé, még nem épültek ki ezek a biztonsági eszközök, így azokra a területekre, ahol a magas kockázat miatt indokolt lenne a telepítés, a bemutatott elemzéssel rámutathatunk, így tervezhetővé válik a későbbi kiépítés.

III. Szintkülönbség

Magának az ösvény futásának az adott szakaszra jellemző meredeksége is meghatározhatja a kicsúszás lehetőségét. Ezt a magasságszínezéses térképről kiolvasható szintkülönbség, az azonos magassági pontok, illetve a turistaút vonalvezetése által bezárt szög mérete és iránya alapján határoztam meg. Mindezzel pontosítva és konkretizálva a csupán lejtőszög értékekből kiolvasható meredekségi értéket.

IV. Kőtömbök és közettörmelék mérete, elhelyezkedése

Ugyan nem minden esetben áll rendelkezésre annyira részletes domborzatmodell mint ezen elemzés esetében, de a mostani vizsgálat során alkalmazott 1*1 méteres felbontás lehetővé tette az ösvényeket szegélyező nagyméretű kőtömbök beazonosítását, képletbe integrálását. Ezek, mint védfal növelik a biztonságot a kicsúszásokkal szemben, akár nagyon meredek lejtésű környezetben is. Továbbá a magasrendű növényzettől mentes törmeléklejtők és törmelékkúpok esetében az „érdesség” által, vizuálisan következtetni tudtam a lejtőt borító törmelék méretére is. A kicsúszások szempontjából a minél egyenletesebb, tehát az apró törmelékkel borított hegyoldalak jelentik a nagyobb kockázatot. Sajnos ennek a vizsgálatnak az elvégzése, amennyiben pl. kizárólag SRTM 30 méteres felbontású domborzatmodell áll rendelkezésre, annak rosszabb felbontása miatt ez nem lehetséges.

A felsorolt paraméterek szerint elvégzett elemzés után, a nagyjából egységes tulajdonságokat mutató szomszédos területeket – *a völgyoldalak elemzésénél alkalmazott módszerhez hasonlóan* – poligonokkal határoltam körbe, és 1-től 5-ig terjedő kockázati értéket rendeltem hozzájuk.

Mind ezeken kívül további két jelenséget is vizsgáltam a kicsúszás-veszélyesség meghatározása során. Azonban mivel ezek olyan speciális körülmények, melyek csak ideiglenes hatásként érvényesülnek a nyári és kora őszi turistaszezon folyamán, ezért a turistautak végső – *minden paramétert összegző* – kockázati megállapítása során külön megjelenő „speciális, alkalmi jellegű” változóként adtam hozzá a képlethez. Jelölésükre „+” karaktert használtam. Ezek a speciális alkalmi jelenségek a következők:

Hófoltok és rájegesedés (+)

A kicsúszás lehetőségének nagyon jelentős módosító tényezője az ösvény területének ideiglenes hóborítottsága. A nyár elejére keményre tömörödött hófoltok a sima, egyenletes és

csúszós felszínükből következően nagyon nagy arányban növelik az érintett szakaszok esetében a kockázatot. Meredek lejtőszöggel párosulva, kicsúszás esetén, ha nem rendelkezik a hegypáró jégcsákánnyal (ami nyáron aligha tartozik a könnyű hétvégi kirándulók alapfelszerelése közé), elég csekély eséllyel tudja magát lefékezni, miközben tehetetlenül sodródik a mélység felé.

A hóborítottsági vizsgálat elvégzésére a Sentinel-2 felvételek NDSI (hóborítottsági index) állományát használtam, mindezt két fő időszakra levetítve. Először is a nyári szezon kezdetének időszakában, másodsorban a nyár közepéig megmaradó hófoltok esetében. A hófoltok mérete alapján rajzolt poligonokat dátum szerint egyesítettem (ArcMap Merge tool), és egymás után következő időpontok szerint rendeztem. Az így kapott területek sok esetben fedést mutattak egymással, így meg tudtam határozni a leggyakoribb akkumulációs területeket. Azon felül, hogy sikerült ezeknek a legtovább hóborította helyszíneknek az azonosítása, lehetőségem adódott arra is, hogy a különböző éveknek az oladási rátájáról visszajelzést kapjak. Ezen megfigyelés szerint, ugyan jelentős, akár egy-másfél hetes eltérés is mutatkozhat az egyes évek hóolvadási üteme között, mindez azonban leginkább csak a visszahúzódt kisméretű árnyas zugokban megbúvó foltok esetében volt hangsúlyos.

A nagy területeket lefedő, nyár eleji hóborítás átlagosan minden évben a szezon első hete során elolvad. Azonban ebben az időintervallumban jelentős kockázatnövelő hatásuk miatt indokoltnak tartottam jelölni (+) területiségület. A hófoltok esetében, ha nyár elején és nyár közepén is tapasztalható hóborítás, akkor a szakasz két „+” jelzést kapott.

Ritkán ugyan, de magashegységi környezetben előfordulnak nyári, illetve kora őszi időszak során fagypon alatti hőmérsékletet okozó hidegbetörések okozta lehúlések. Amennyiben csapadék kíséretében, esetleg csapadékot követően történik mindez, abban az esetben a sziklák felületén vékony jégpáncél képződhet. Ennek gyakran nem tulajdonítanak nagy jelentőséget a látogatók. Sajnos a baleseti statisztikák alapján azonban kiderül, hogy mindez nagyon nagy arányban növeli a kicsúszások és a velük járó szerencsétlenségek bekövetkezésének valószínűségét. Az ilyen kockázattal rendelkező területek leginkább a 2000 m feletti csúcsok környezetét jelentik, ahol adott „rossz” időjárási körülmények közt egységesen növekszik a terület veszélyessége.

Összegezve azokat a parmátéreteket, amik a szakirodalom, a tavalyi TDK kutatásom során gyűjtött szakértői vélemények és saját tapasztalataim alapján a leginkább meghatározzák egy adott terület kicsúszás-veszélyességét a következők. [4. táblázat].

4. táblázat: A kicsúszás-veszélyességét meghatározó paraméterek

Kicsúszás kockázatát meghatározó paraméterek
ösvény közvetlen környezetének meredeksége
ösvény melletti lejtő hossza és meredeksége
lejtő iránya
ösvény meredeksége (adott rövid útszakasz szintkülönbsége)
ösvényt szegélyező nagy méretű kőtömbök megléte
törmeléklető érdessége (mekkora az átlagos törmelék méret)
ösvény kitettsége (függőleges sziklafal oldalában/tetején vezető útszakasz)
ösvény hóborítottága (nyár elején/nyár közepén)

3.6. Speciális körülmények kockázatai

A soron következő kockázatok csak epizodikus jelleggel, adott időjárási körülmények közt változtathatják meg a „szokásos” körülményeket és növelhetik bizonyos területek veszélyességét, ilyenkor azonban akár nagyon nagy mértékben!

I. Villámcsapás (*)

Az érintett szakaszokat a nyílt, kitett és magasan fekvő területek esetén feltételeztem, illetve azokon a sokszor szintén kitett szakaszokon, ahol az ösvényeket fém lépésekkel, kapaszkodókkal biztosítják (láncos szakaszok). A villámcsapás lehetőségének helyszíneit egy új, vonalas shape létrehozásával jelöltem.

II. Villámáradások (*)

Ezek esetén azon területek érintettek, ahol a törmelékcsatornákon keresztül összefolyó és lezúduló (sokszor csak időszakos vízfolyás) keresztezi a kijelölt ösvényeket. A víz által görgetett közettörmelék ezeken a helyeken, nagy mennyiségű hirtelen áradás esetén magas kockázatot jelenthet. Kockázatértékelési szempontból azoknak a területeknek a veszélyességi mutatóját módosítottam az áradás okozta veszélyek figyelembevételével, melyek esetében jelentős mennyiségű víz összefolyását biztosítja a domborzati feltétel.

III. Láncokkal, fém pántokkal, lépéshelyekkel biztosított területek (*)

Ezek a szakaszok, általában kitett, meredek és szakadék közeli területeken találhatóak. A segédeszközökkel történő biztosítás ugyan csökkenti a kockázatot, ám ezen helyszínek továbbra is kitettek és zuhanásra alkalmasak maradnak, így sok esetben tapasztalatot igényel a rajtuk történő áthaladás. Viharok esetén a fém eszközök fokozottan csúszóssá válhatnak,

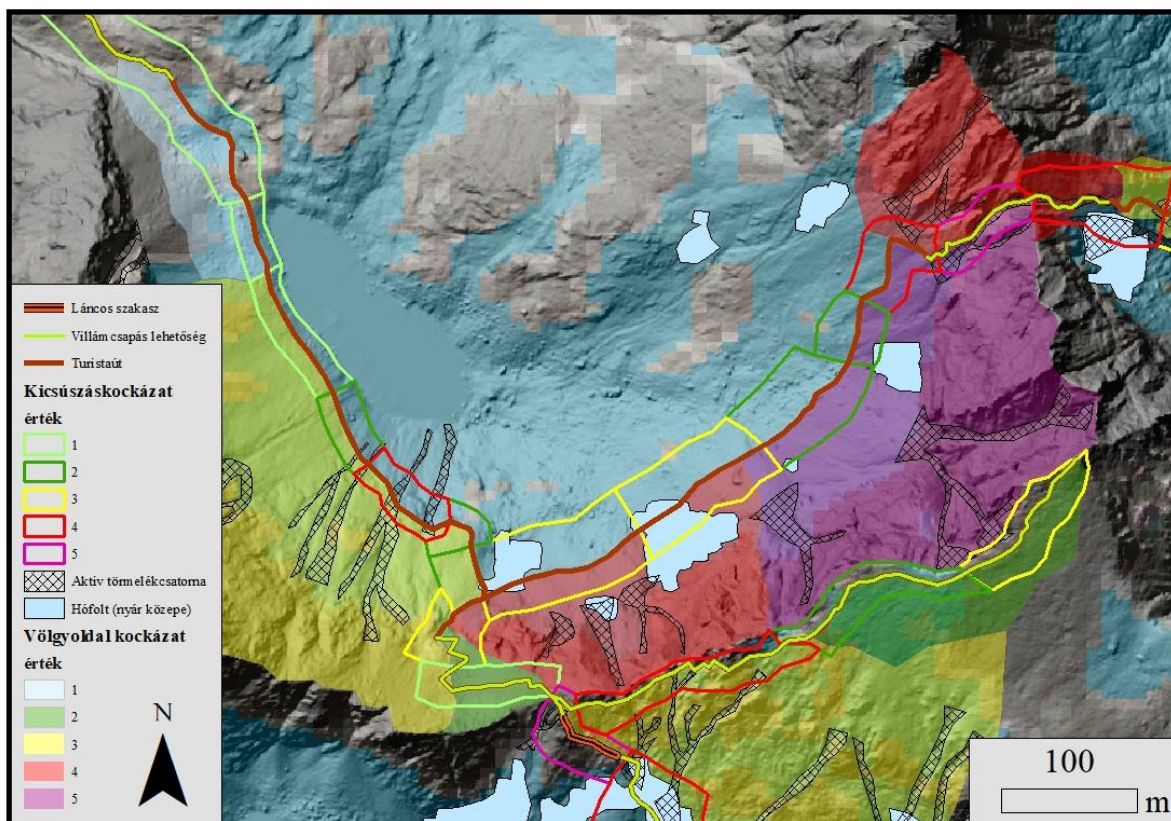
növelhetik a villámcsapás esélyét, így ilyen körülmények közt kiemelt kockázatú helyszínek lesznek. A láncos szakaszok területét az ösvénytől eltérő vonalas színezéssel jelöltem a térképen.

IV. Hófoltok

Ezekről az előző „kicsúszás veszély” fejezetben tettem részletes említést.

Az alkalmi jellegű kockázatokat a „hófoltok” esetében már felmerült, külön hozzáadott tényezőként számítottam hozzá a végső veszélyességi mutatóhoz. Ehhez hasonlóan a villámcsapás, a villámáradás és a láncos szakaszok is, külön-külön egy „*” jelzést kaptak. Azokat a területeket, ahol pl. láncos szakasz található és fennáll a villámcsapás lehetősége is, tehát „**” jelöléssel láttam el.

A végső kockázatértékelést – *a kockázatok összegzését* – egy a lehatárolt területeket és az összes külön réteggént hozzáadott befolyásoló tényezőt tartalmazó térképe alapján végeztem el. [3. ábra].



3. ábra: A értékelés során figyelembe vett összes kockázati tényező

3.7. Területek és szakaszok egyedi kódolása

A létrehozott poligonokat és vonalas elemeket az egyszerűbb beazonosíthatóság érdekében egyedi kódokkal láttam el, melyek betűket, számokat és speciális karaktereket tartalmaznak. A kódokat minden esetben három „részből” állítottam össze:

- **Vizsgált paraméter:** (Völgyoldal → VO; kicsúszás → KCS; láncos szakasz → LSZ)
- **Területi elhelyezkedés:** (pl. Marmota-völgy → MAR; Felkai-Völgy → Fel)
- **Adott poligon/szakasz száma:** (a völgy legmagasabb (tszfm) pontjától növekvő számozás pl. csúcs esetén a tető → 1; hágók esetében, ha több hágó tartozik egy völgyrendszerhez, akkor a magasabban helyezkedő hágó esetében kezdődik a számozás)

A végső kód tehát a következőképp értelmezendő:

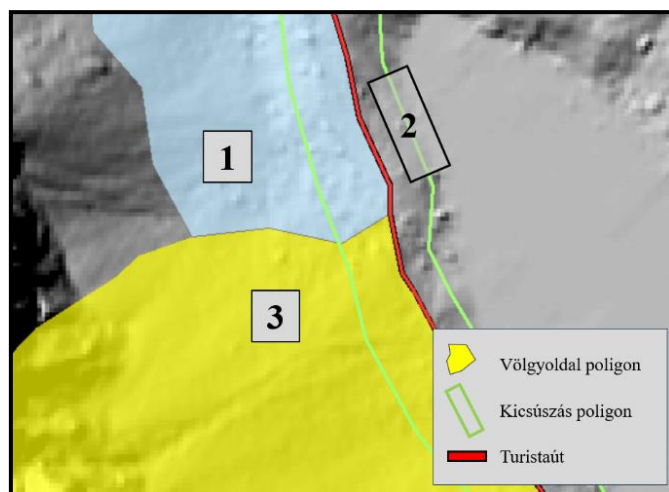
„Kicsúszási paraméterek a Marmota-völgyi Rovátka-hágó tetejének környezetében” → KCS-MAR1; „Völgyoldal jellemzői a Nagy-Tarpataki-völgy alsó szakaszán” → VO-NTP27
A kódolás feloldását az 5. táblázat tartalmazza.

5. táblázat: Területek és szakaszok egyedi kódolása

Lehatárolt területek neve	Kód
völgyoldal	VO
kicsúszás	KCS
útvonal (végső kockázat)	ÚT
Völgyek neve	
Marmota-völgy	MAR
Felkai-völgy	FEL
Nagy-Tarpataki-völgy	NTP

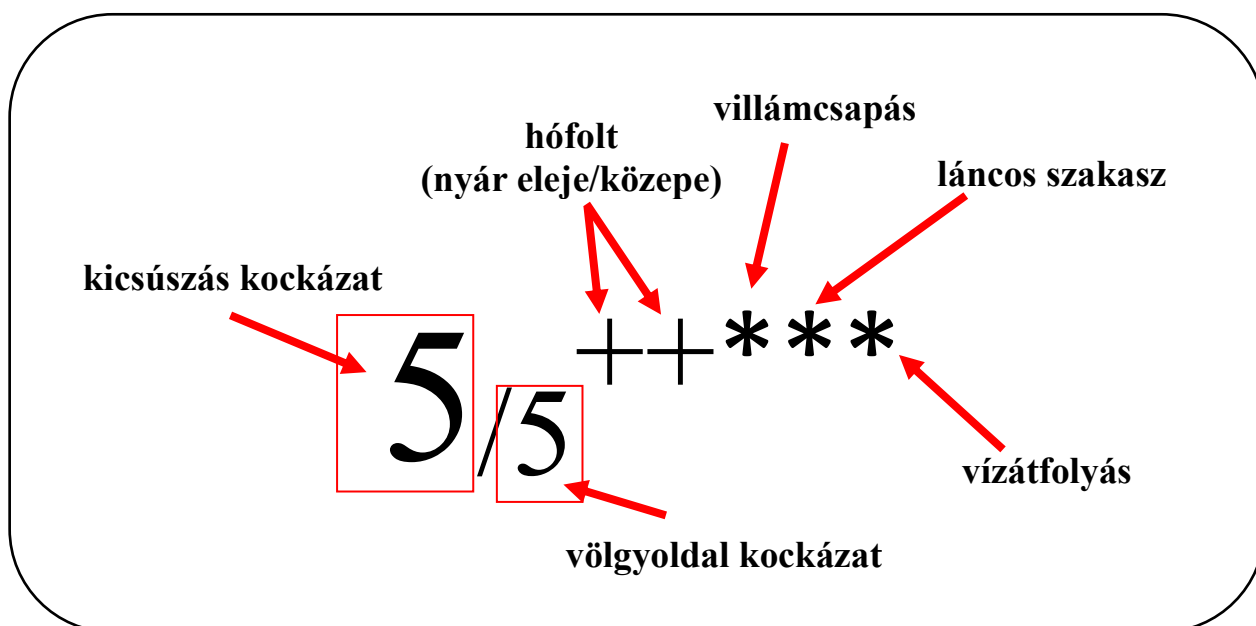
3.8. Végző kockázati értékelés

A végző kockázati értéket az eddigiekben bemutatott paraméterek összegzésével határoztam meg. A hegységet átszelő turistautakat szakaszokra osztottam, melyekhez a völgyoldal kockázat és a kicsúszás kockázat értékeit, illetve a „speciális kockázatokat” társítottam. Mivel arányaiban a kicsúszás jelenti a legnagyobb veszélyességi faktort a Magas-Tátrában, ezért a turistautak – *azonos kockázat szerinti felosztását* – a „kicsúszás érték (KCS)” poligonok szerint végeztem el. Ha a területhez több, a völgyoldal tulajdonságait értékelő poligon is tartozott, abban az esetben a magasabb érték szerint jellemeztem a szakaszt [4. ábra].



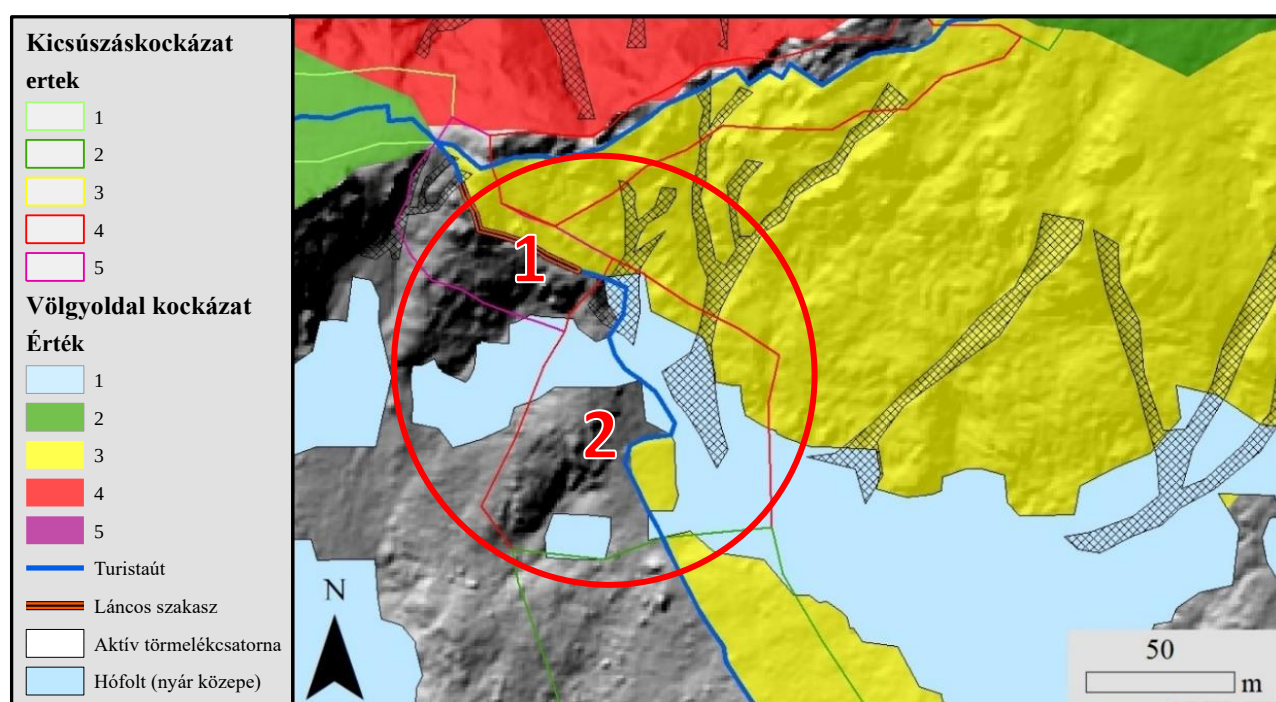
4. ábra: a szakaszra „ható” völgyoldalkockázat érték = 3

Az értékek könnyen értelmezhető leírására egy egyedi képletet alkalmaztam, mely figyelembe veszi és hierarchikusan ábrázolja az eltérő kockázati elemek egymáshoz viszonyított súlyát, illetve az alkalmi jellegű speciális kockázatok meglétét is feltűnteti. Maga a képlet a következőképp áll össze [5. ábra]:



5. ábra: A végső kockázati értéket összefoglaló képlet

A térkép értelmezését a példa ábra segítségével bemutatott folyamat szerint végeztem [6. ábra]:



6. ábra: A végső kockázatértékelés folyamata „példa ábra”

Az 1-es ösvényszakasz esetében leolvasható a térképről, hogy a „kicsúszáskockázat poligon” értéke **5**, a „völgyoldalkockázat poligon” értéke **3**. Továbbá található rajta „láncos szakasz” (piros vonal jelzi a térképen), mely így egy „*”-ot ad hozzá a képlethez. Mindezek alapján a szakasz végső értéke: **5/3***

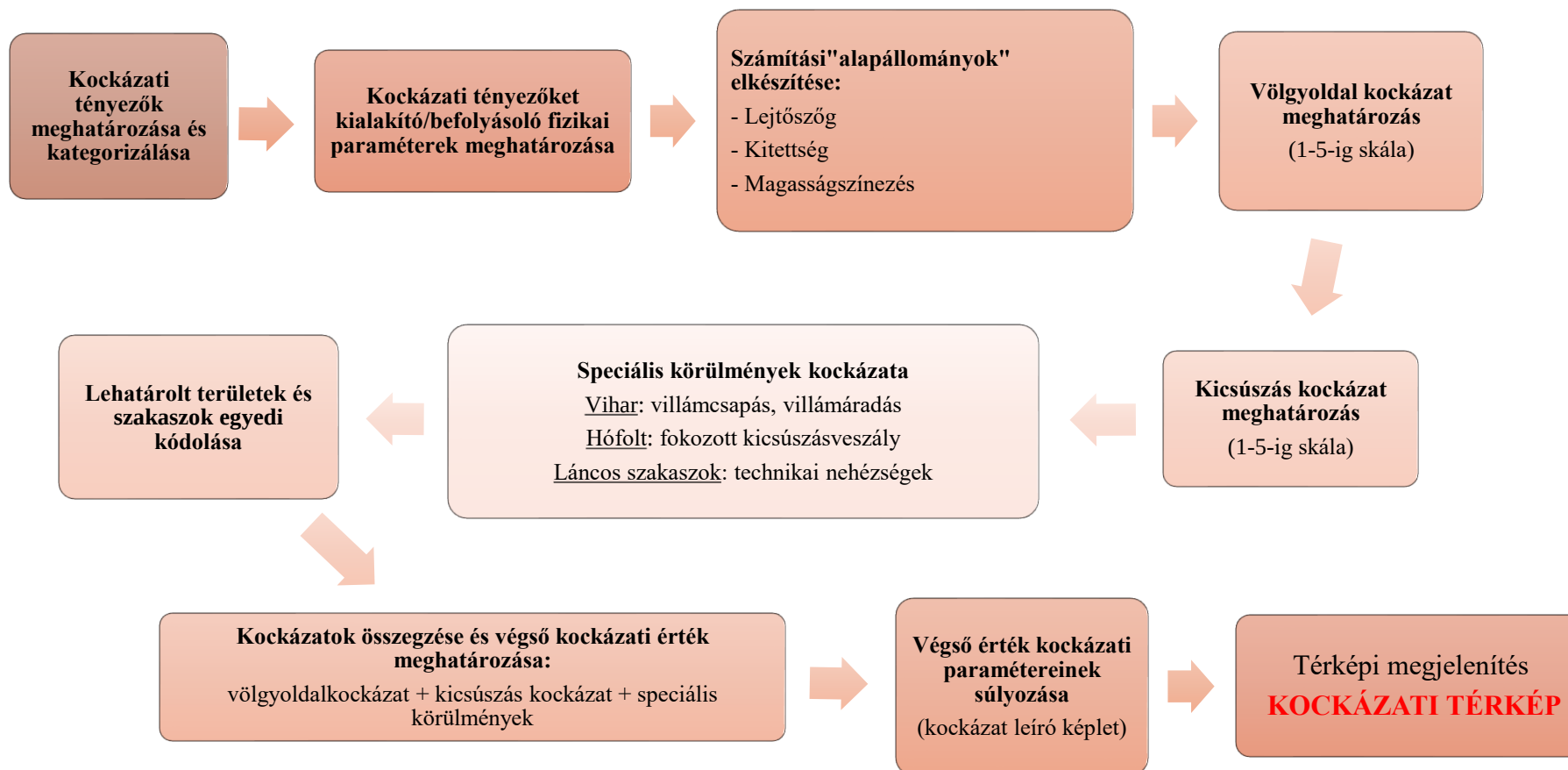
A 2-es ösvényszakasz esetén a „kicsúszáskockázat poligon” **4**, a „völgyoldalkockázat poligon” **3**. Továbbá található rajta a nyár közepén is „hófolt”, mely így egy „+” -t ad hozzá a képlethez. A törmelékcsatorna miatt pedig eső esetén lehetséges „vízátfolyás” is, mely egy „*”-al növeli az értéket. A végső érték tehát: **4/3+***

A szakaszok egyesével kiszámított értékeit egy összesítő táblázatban [6. táblázat] foglaltam össze, ami magában is értelmezhető egyfajta kockázatileírásként.

6. táblázat: az értékeket összefoglaló táblázat (részlet)

Szakasznév	kicsúszás kockázat	völgyoldal kockázat	Hófolt nyár eleje	Hófolt nyár közepe	Láncos szakasz	Villámcsapás lehetőség	víz átfolyás	végső kockázati érték
UT-MAR1	5	5	nem	nem	nem	igen	nem	5/5+*
UT-MAR2	5	5	igen	nem	nem	nem	igen	4/5+*
UT-MAR3	2	5	igen	igen	nem	nem	nem	3/5+
UT-MAR4	3	5	igen	igen	nem	nem	nem	3/5+
UT-MAR5	3	4	igen	igen	nem	nem	nem	3/4++

A kockázatelemzés folyamatábrája:



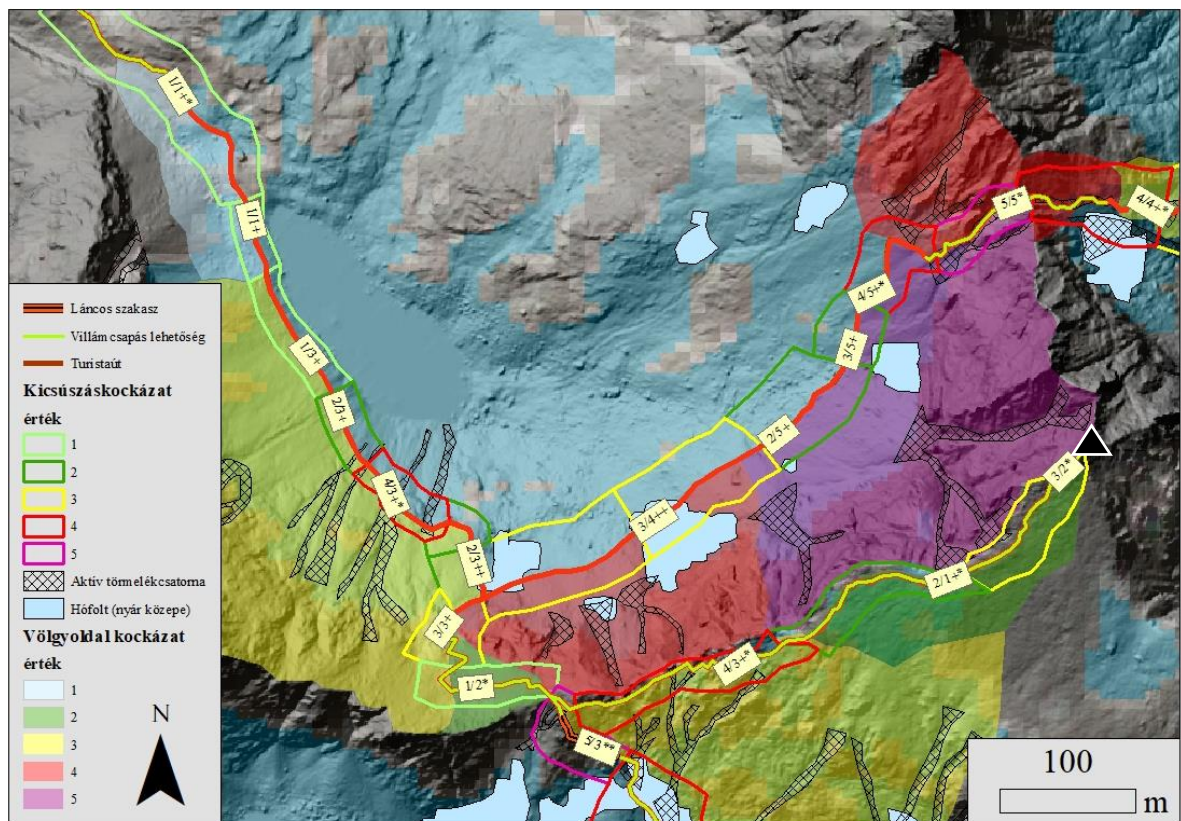
4. EREDMÉNYEK

A kutatásom fő eredménye a módszertani fejezetben foglaltak, mivel maga a kockázatelemzési módszer kidolgozása volt a kutatásom tárgya/célja. Az eredmények fejezetben emiatt csak rövid összefoglalásként magát a végső értékelés eredménytáblázatát [7. táblázat] és az ott számított kockázati értékek vizuális megjelenítésére készített „elemző” térképet mutatom be [7. ábra]. A térképen alaprétegeként az ÚGKK SR dmr 5.0 – 1*1m domborzatmodell domborzatárnyékolt színezést használtam, amin a kockázatértékekkel ellátott ösvényszakaszokat jelenítettem meg. A kockázati térképből a részletek feltüntetésének igénye miatt egy kivágatot mutatok be, a Kis-Viszoka-csúcs környezetéből. A bemutatott részlet csupán az elemzési módszer végeredményét jeleníti meg, tehát az alábbi forma nem a végső felhasználóbarát térkép.

7. táblázat: A részmintaterület turistaút szakaszainak végső kockázatértékelési táblázata

Szakasznév	kicsúszás kockázat	völgyoldal kockázat	Hófolt nyár eleje	Hófolt nyár közepe	Láncos szakasz	Villámcsapás lehetőség	víz átfolyás	végső kockázati érték
UT-MAR1	5	5	nem	nem	nem	igen	nem	5/5+*
UT-MAR2	5	5	igen	nem	nem	nem	igen	4/5+*
UT-MAR3	2	5	igen	igen	nem	nem	nem	3/5+
UT-MAR4	3	5	igen	igen	nem	nem	nem	3/5+
UT-MAR5	3	4	igen	igen	nem	nem	nem	3/4++
UT-MAR6	3	4	igen	igen	nem	nem	nem	3/4++
UT-MAR7	3	3	igen	nem	nem	nem	nem	3/3+
UT-MAR8	1	2	nem	nem	nem	igen	nem	1/2*
UT-MAR9	2	3	igen	igen	nem	nem	nem	2/3++
UT-MAR10	2	3	igen	nem	nem	nem	nem	2/3+
UT-MAR11	4	3	igen	nem	nem	nem	igen	4/3+*
UT-MAR12	2	3	igen	nem	nem	nem	nem	2/3+
UT-MAR13	1	3	igen	nem	nem	nem	nem	1/3+
UT-MAR14	1	1	igen	nem	nem	nem	nem	1/1+
UT-MAR15	1	1	igen	nem	nem	igen	nem	1/1+*
UT-FEL1	3	2	nem	nem	nem	igen	nem	3/2*
UT-FEL2	2	1	igen	nem	nem	igen	nem	2/1+*
UT-FEL3	4	3	igen	nem	nem	igen	nem	4/3+*
UT-FEL4	5	3	nem	nem	igen	igen	nem	5/3**
UT-FEL5	4	3	igen	igen	nem	igen	igen	4/3+++*
UT-FEL6	2	3	igen	nem	nem	nem	nem	2/3+
UT-FEL7	2	1	igen	nem	nem	nem	nem	2/1+

UT-FEL8	2	2	nem	nem	nem	nem	nem	2/2
UT-FEL9	1	2	nem	nem	nem	nem	nem	1/2
UT-FEL10	1	2	igen	igen	nem	nem	igen	1/2++*
UT-FEL11	1	2	nem	nem	nem	nem	igen	1/2*
UT-FEL12	3	2	nem	nem	nem	nem	igen	3/2*
UT-FEL13	1	2	nem	nem	nem	nem	nem	1/2
UT-FEL14	1	2	nem	nem	nem	nem	nem	1/1
UT-NTP11	4	4	igen	nem	nem	igen	nem	4/4+*
UT-NTP12	3	3	igen	nem	nem	nem	nem	3/3+
UT-NTP13	1	3	igen	igen	nem	nem	igen	1/3++*
UT-NTP14	1	2	igen	nem	nem	nem	nem	1/2+
UT-NTP15	1	2	igen	igen	nem	nem	igen	1/2++*
UT-NTP16	1	1	igen	nem	nem	nem	nem	1/1+
UT-NTP17	1	1	igen	nem	nem	nem	nem	1/1+
UT-NTP18	2	2	nem	nem	nem	nem	nem	2/2
UT-NTP19	1	2	nem	nem	nem	nem	nem	1/2
UT-NTP20	2	2	nem	nem	nem	nem	nem	2/2
UT-NTP21	2	2	nem	nem	nem	nem	nem	2/2
UT-NTP22	2	1	nem	nem	nem	nem	nem	2/1
UT-NTP23	2	1	nem	nem	nem	nem	nem	2/1
UT-NTP24	2	2	nem	nem	nem	nem	nem	2/2
UT-NTP25	1	1	nem	nem	nem	nem	nem	1/1
UT-NTP26	1	2	nem	nem	nem	nem	nem	1/2
UT-NTP29	1	1	nem	nem	nem	nem	nem	1/1
UT-NTP27	1	3	nem	nem	nem	nem	igen	1/3*
UT-NTP28	1	1	nem	nem	nem	nem	nem	1/1
UT-NTP30	1	2	nem	nem	nem	nem	igen	1/2*
UT-NTP31	1	1	nem	nem	nem	nem	nem	1/1



7. **ábra:** Az elemző térkép kivágata, melyen megjelennek a turistaút szakaszokhoz rendelt végső kockázati értékek és az elemzés során számított poligonok. A Kis-Viszóka-csúcs, a Rovátka-hágó és a Lengyel-nyereg környezete

*(A domborzatárnyékolt színezésen látható sötétkék réteg a nyár eleji behavazottság állapotát mutatja)

5. DISZKUSSZIÓ

5.1. Módszer validálása

A kidolgozott kockázatelemzési modellre, a végeredményül kapott táblázatra és az abban összefoglalt adatokat megjelenítő térképre reflektálva a legfontosabb szempont elsősorban az értékek validitásának megállapítása. Annak érdekében, hogy ezt elvégezhessem, a kutatás mintaterületéül egy általam jól ismert helyszínt választottam, melyről részletes fényképdokumentációval és terepi megfigyelésekkel rendelkezek. A felülvizsgálat során a terepen tapasztalt állapotokkal könnyen összehasonlíthattam a GIS környezetben modellezett értékeket.

A terepen írt jegyzet és a fényképdokumentációk alapján az új módszerrel kapott eredmény képes a terület akár aprólékos sajátosságait is azonosítani. A kockázat meghatározásának a pontosságára – *mivel, hogy korábbi szakirodalomban meghatározott értékek szerint végeztem a számítást* – a felhasznált tanulmányok adnak biztosítékot. A kidolgozott módszer szerint a környezet leírása sikeresnek mondható, ami alapján a kockázatra vonatkozó számítások is elvégezhetőek. A részmintaterületen csak ott találtam eltérést a valós állapot és a módszerrel leírt helyzet között, ahol nem rendelkeztem az online adatbázisokban elérhető kiegészítő adatokkal, ezek azonban összességében nem sokat módosítottak a végső értékeken. Ezen adatok leginkább csak részletesebbé teszik a modellt.

Az elemzésből konkrét helyzeteket kiemelve: A nyáron sokáig el nem olvadó hófoltok okozta probléma – *a leírtak szerint, az év egy bizonyos időszakában* – valóban komoly kockázatomódosító hatással van az érintett területekre. A területi meghatározás tekintetében a jelölt útszakaszok esetén magam is találkoztam a nyár derekán még nagy kiterjedésű hófoltokkal. Személyes tapasztalatom ezekről a területekről, hogy a jelen lévő túrázók, a korábban megemlített „jelenséghez” hasonlóan, nem voltak feltétlenül tisztában a helyzettel, váratlanul érte őket a hó jelenléte. Többen viseltek könnyű sportcipőt, akár szandált, ami nem ideális a havas terepen történő biztonságos mozgáshoz. Ebben az esetben elkélt a tapasztaltabb túrázók segítsége, hogy baleset nélkül áthaladjanak a szakaszon.

A domborzatmodell alapján meghatározott „törmelékletítő érdekesség”, amit a közettömbök/törmelék mérete szab meg, a terepi ellenőrzés alapján szintén sikeresen megállapíthatónak bizonyult. Ez által a kicsúszás utáni továbbzuhanás/továbbcsúszás esélye is a valóság jó közelítésével mérhető fel.

5.2. A módszert limitáló tényezők

Az ilyen jellegű elemzési modellek tekintetében alapvetően meghatározó és limitáló tényezőt jelent az elérhető adatok minősége, sokfélesége és azok objektív/szubjektív mivolta.

Az általam bemutatott folyamat során például sajnos nem állt módomban néhány alapvetően fontosnak vélt paramétert figyelembe vennem, mert az ezekre vonatkozó adatokat sem a műholdfelvételek, sem a domborzatmodell és az azon elvégzett elemzések nem biztosították. Ilyen hiányzó adat volt az ösvényeket borító közettörmelék mennyisége és mérete. Mivel ezek a paraméterek a kicsúszás lehetőségének szempontjából – *ami a baleseti statisztikák alapján a legsúlyosabb kockázati tényező a területen* – nagy jelentőséggel bírnak, fontosnak tartom megemlíteni, mint olyan adathiányt, mely nagy valószínűséggel limitáló tényezője a modellemnek. Mindez azonban nem jelenti azt, hogy ennek hiányában ne lehetett volna jó közelítéssel megadni az ösvények „kicsúszásveszélyességét”. Az adott szakaszt határoló lejtő meredeksége és hossza, illetve magának az ösvénynek a meredeksége és kitettsége alapján magabiztosan el lehet dönteni, hogy mekkora jelentősége lehet az adott kockázatnak a vizsgált ösvény tekintetében. Megfigyeléseim és véleményem szerint az ösvény „törmelékessége” a legtöbb esetben nehezítő körülményt jelent, aminek hatására egy eleve kockázatosnak ítélt szakasz, még inkább veszélyessé válik. A sík és könnyen járható területek esetében a törmelékesség ugyanakkor nem növeli olyan mértékben a kockázatot, mint az eleve veszélyes területek esetén. Tehát ha pontosan nem is adható meg az adott szakasz értéke, nagyságrendileg eldönthetővé válik, hogy „veszélyes”, „nagyon veszélyes” vagy „egyáltalán nem veszélyes” besorolást kap a terület. Mindezen felül a törmelékességre vonatkozó adat nem módosítja ellenkező irányba a végső értéket. Tehát a kiszámítható értékek a térkép átlagos használatának szempontjából véleményem szerint elegendők.

Összességében elmondható, hogy a hiányos adatok nem korlátozták a módszert abban, hogy alkalmazható elemzést lehessen vele készíteni. Azonban, ha van rá lehetőség, terepi adatokkal kiegészítve pontosabb közelítéssel adhatóak meg a valós körülmények. Ezek a terepi megfigyelésekből származtatott adatok nem növelik a módszer szubjektivitását, hisz nem megállapításokat tesz, csupán alap adatokat szolgáltat a további számítások elvégzéséhez.

A teljes körű kockázatelemzés véleményem szerint úgy készíthető el a leghatékonyabban, hogy ha egy területnek fel szeretnénk mérni a kockázati mutatóit, azt egyszerűen és gyorsan megtehetjük GIS környezetben a fent leírtak szerint. Az elemzést követően, ha az eredmények alapján úgy véljük, hogy kellően érdekes a helyszín és valóban meg lehet állapítani olyan jelentős kockázatot, amiről érdemes tájékoztatást nyújtani – *a területet felkereső társaink*

számára – abban az esetben célszerű egy „adatkiegészítő terepbejárást” is tennünk és az újonnan gyűjtött plusz információkat is integrálnunk a számításainkba.

Az értékelés tekintetében további nehézséget jelent, hogy a különböző veszélyességi rátával bíró jelenségek/események tekintetében (pl. a lejtős tömegmozgások, vagy akár a villámcsapás), nem lehet pontosan meghatározni azokat az időpontokat és helyszíneket, amikor és ahol biztosan számíthatunk kialakulásukra/bekövetkezésükre. Sziklaomlások és törmeléklavinák tekintetében a lejtők aktivitásának figyelembevételével (növényborítottság által), jóllehet valamelyest következtethetünk az események gyakoriságára egy-egy területen (ez az érték meg is jelenik a völgyoldalak kockázatának kategorizálásánál (módszertan fejezet)). Azonban még ez sem biztosítja a teljes előrejelezhetőség lehetőségét. ***A módszer épp ezért csupán a lehetséges kockázatok közelítését írja le a lehető legtöbb szempont figyelembevételével, de nem állítja, hogy ezek mindig és mindenkor ugyanolyan jelentőséggel vannak érvényben a különböző helyszínek és időjárási körülmények tekintetében.***

Ugyanakkor szükségszerű tudatni a látogatókkal, hogy melyek a hegység magasabb kockázattal bíró területei. Ezek a területek az elemzés alapján jól lehatárolhatóak. Az ismeretek és az az általi személyes odafigyelés sok esetben megelőzheti a baj kialakulását, hisz amennyiben van választási lehetőség és ismeret az adott turistaút szakaszról, abban az esetben felelősségteljesebben fog döntést hozni az terület megközelítéséről a látogató. Mindezen információ közlését segíti elő a kidolgozott és prezentált módszer.

6. ÖSSZEGZÉS

A hóhatárt el nem érő magashegységek, nyári körülmények között várható kockázatainak elemzését teljes egészében GIS környezetben végeztem, olyan adatok felhasználásával, melyek online adatbázisokon keresztül érhetőek el és nagyjából az egész Föld esetében rendelkezésre állnak. Azzal, hogy kizárólag ilyen adatokat használtam, lehetőség nyílik rá, hogy a kidolgozott módszer alkalmazható legyen szinte bármely hegyvidéki terület esetében.

Az elemzés során szakirodalom és baleseti statisztikák összegzésével meghatároztam és kategorizáltam a mintaterületre jellemző kockázati tényezőket és az azokat befolyásoló, illetve kialakító fizikai paramétereket. Ezt követően az egyes turistaútszakaszokra jellemző kockázatok meghatározása következett. Ezt két dolog befolyásolta leginkább, a turistaút fölé magasodó „völgyoldal tulajdonságai”: lejtős tömegmozgásos jelenségek lehetősége, és

villámáradás. Illetve a turistaút „közvetlen környezetének a tulajdonságai”: kicsúszáskockázat, technikai nehézségek. Mindezekkel szoros összefüggésben vannak és nehezen különválaszthatóak a speciális „alkalmi jellegű” körülmények és jelenségek, melyek esetenként jelentősen módosíthatják az adott szakasz paramétereit. Ilyenek például a sokáig, akár nyár közepéig is megmaradó „hófoltok”, az intenzív viharok közben kialakuló „villámáradások” és a „villámcsapás” lehetősége.

A számítások után a végső kockázati mutató leírására létrehoztam egy szám és szimbólumkombinációból álló leíróképletet, ami megjeleníti az állandó és alkalmi jellemzőit az adott turistaútszakasznak. A képlet előnye, hogy megjelenik benne a kockázati elemek hierarchiája, alá-fölé rendeltsége, és rámutat az eltérő kockázati paraméterek jelentőségére az adott terület tekintetében. A számszerűsítés lehetőséget nyújt továbbiakban arra is, hogy az egyes völgyek és turistautak külön-külön elemezhetőek legyenek az értékek összesítésével, így kockázati tulajdonságok tekintetében nem csak egy adott rövid ösvényszakasz írható le, hanem teljes völgyeket átlagolhatunk és hasonlíthatunk össze egymással.

A területelemzési módszertan fejlesztésére és bemutatására egy összesítő táblázatot és egy kockázati mutatókat megjelenítő térképet készítettem, mely prototípusként szolgál a további elemzések elvégzéséhez, ami segítséget nyújthat a biztonságosabb magashegyi túratervezésben.

Záróakkordként meg szeretném említeni, hogy a kockázatelemző modell (és bármely más modell) bár voltaképp jó közelítést ad a valóságról, azt mégsem tudja teljes mértékben leírni. A hegyvidéki kockázatok esetében továbbá az is figyelembe kell venni, hogy a lehetséges összes paramétert felsorakoztató és számításba vevő képlettel sem lehetne teljes bizonyossággal meghatározni egy-egy esemény bekövetkezésének pontos idejét és területiségét, hisz sok jelenség nem előre jelezhető. A természet folyamatosan és nagyon dinamikusan változó világában az ember, legyen birtokában akár a legjobb eszközöknek, mindig csak közelíteni fogja tudni, de sosem éri el a dolgok valódi mélységét. Így a TDK dolgozatomban bemutatott új módszertant is kellő óvatosság fenntartásával érdemes kezelni.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Mindenek felett hálával fordulok a JóIsten felé, aki megajándékozott ezen munka elvégzésének lehetőségével.

Köszönöm szépen témavezetőimnek Dr. Nagy Balázsnak és Jó Viviánának a konzultációkat, ötleteket és a mindenkori bizalmas támogatást. És nagy-nagy hálával köszönöm Jó Viviánának a rengeteg gondolkozást, a sok rám fordított órát, javítást és formai csiszolgatást. Köszönöm Krasznai Mártonnak, hogy mindig volt valami GIS-es tanácsa és meglátása, továbbá a köszönöm a terepen töltött napokat is. Végül hálás vagyok a családomnak, barátaimnak, társaimnak, oktatóimnak, hogy Ki-Ki, ott és akkor, amikor a legnagyobb szükség volt rá, fogta a kezemet... Köszönöm szépen!

Jelen kutatás a „Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-23-2 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.”

IRODALOMJEGYZÉK

- ÁRVAI M., 2011: Miről mesél egy 130 éves térkép? – Jégmaradványok nyomában a Magas-Tátra déli oldalán, *Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest 2011*.
- ÁRVAI M. 2013: Térinformatikával az utolsó magas-tátrai gleccserek nyomában, *térinformatikai konferencia és szakkiállítás, Debrecen 2013 05.23-24* pp 45-52.
- BAILLIFARD F., JABOYEDOFF M., SARTORI M., 2003: Rockfall hazard mapping along a mountainous road in Switzerland using a GIS-based parameter rating approach, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3: 431–438
- BIČÁROVÁ S., és HOLKO L., 2013: Changes of characteristics of daily precipitation and runoff in the High Tatra Mountains, Slovakia over the last fifty years, *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 43(2): 157–177.
- DORREN L. és BERGER F., 2005: Stem breakage of trees and energy dissipation during rockfall impacts, *Tree Physiology*, 26: 63–71.
- DRUET PAWEŁ 2023: Wypadki śmiertelne w Tatrach Polskich w latach 2016-2020, *Nauki humanistyczne i społeczne / Nyckowiak Jędrzej, Leśny Jacek (eds.), Badania i Rozwój Młodych Naukowców w Polsce*, pp. 95-102.
- FARR, T. G. és KOBRICK M., 2000: Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data. *Eos Trans. AGU*. 81, 583; <https://doi.org/10.1029/EO081i048p00583> (2000).
- GROCHOCKA-PIOTROWSKA, K., 1970: Fotointerpretacja i geneza struktur nieciągłych w masywie granitowym polskiej części Tatr Wysokich (Photointerpretation and genesis of the disjunctive structures in the granite massif of the Polish Tatra Mts), *acta geol pol* 20(2): 365–411.
- GÓRNIK M., HOLKO L., POCIASK-KARTECZKA J., BIČÁROVÁ S., 2017: Variability of precipitation and runoff in the entire high tatra mountains in the period 1961–2010, *Prace Geograficzne*, 151: 53-74.
- IVÁN L., 2023: Magas-Tátra - Recens természeti veszélyek és outdoor turizmus, *XXXVI. OTDK Konferencia FiFöMa, Veszprém 2023.04.10-11*.
- JAKUBIS M., 2017: Development of fatal accidents during the leisure activities in the High Tatras (Slovakia) in twentieth century, *Department of Landscape Management Faculty of Forestry and Wood Technology Mendel University in Brno, (Conference, May 01-03, 2017)*.
- KACZKA R. J., LEMPA M., CZAJKA B., JANECKA K., RĄCZKOWSKA Z., HREŠKO J., BUGÁR G. 2015: The recent timberline changes in the Tatra Mountains: A case study of the Mengusovská Valley (Slovakia) and the Rybi Potok Valley (Poland), *Geographia Polonica*, 88(2): 71-83.
- KAPUSTA J., STANKOVIANSKY M., BOLTIZIAR M., 2010: Changes in activity and geomorphic effectiveness of debris flows in the high tatra mts within the last six decades (on the example of the veľická dolina and dolina zeleného piesa valleys), *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 44: 5–34.
- KOTARBA A., 1988. Lichenometria i jej zastosowanie w badaniach geomorfologicznych w Tatrach – In: *Wszechświat* I. 89, 1/1988, Kraków, pp. 13-15.
- KOTARBA A., 1992: High-energy geomorphic events in the Polish Tatra Mountains, *Geografiska Annaler, Series A, Physical Geography*, 74(2-3): 123–131.
- KOTARBA A., 2002: Formation of High-Mountain Talus Slopes Related to Debris-Flow Activity in the High Tatra Mountains, *Permafrost and Periglacial Processes*, 8: 191-204.
- KOTARBA A., RĄCZKOWSKA Z., DŁUGOSZ M., BOLTIZIAR M., 2013: Recent Debris Flows in the Tatra Mountains, in Lóczy D. szerk. *Geomorphological Impacts of Extreme Weather*, pp. 221-236.
- LÁSZLÓ P., 2015: Jégárak geomorfológiai-glaciológiai rekonstrukciója térinformatikai és terepi módszerekkel a Radnai-havasok területén, *doktori értekezés, Budapest 2015*.
- LI C., Xiang B., Qian D., Zhang J., Cheng Y., 2022: GIS-Based Geological Hazard Mapping Using Statistical Analysis and Cell Assignment Method for Western Sichuan Region, China, *Earth Sciences*, 11(3): 50-62.
- ŁUPIKASZA E. és SZYPUŁA B., 2018: Vertical climatic belts in the Tatra Mountains in the light of current climate change, *Theoretical and Applied Climatology*, 136: 249–264.

NIEDŹWIEDŹ T., ŁUPIKASZA E., PIŃSKWAR I., W. KUNDZEWICZ Z., STOFFEL M., MAŁARZEWSKI L., 2015: Variability of high rainfalls and related synoptic situations causing heavy floods at the northern foothills of the Tatra Mountains, *Theor Appl Climatol*, 119: 273-284.

RĄCZKOWSKA Z., 2006: Recent geomorphic hazards in the Tatra mountains, *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 40: 45-60.

RĄCZKOWSKA Z., CEBULSKI J., RĄCZKOWSKI W., WOJCIECHOWSKI T., PERSKI Z., 2017: Using tifs for monitoring talus slope morphodynamics in the Tatra Mts, *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 51-52: 179-198.

SCHLÖGEL R., KOFLER C., GARIANO S. L., CAMPENHOUT J.V., PLUMMER S., 2020: Changes in climate patterns and their association to natural hazard distribution in South Tyrol (Eastern Italian Alps), *Scientific Reports*, 10(1): 5022.

ŠILHÁN K. és TICHAVSKÝ R., 2016: Recent increase in debris flow activity in the Tatras Mountains: Results of a regional dendrogeomorphic reconstruction, *Catena*, 143:221-231.

SIMINSKA J., PRZYBYLSKA S., ŚWIĄTKOWSKA A., DOMARECKA I., MISZEWSKI W., NOWACKA K., HAGNER W., 2016: Służby ratunkowe w Tatrach = Emergency services in the High Tatras, *Journal of Education, Health and Sport*, 6(11): 404-411.

INTERNETES HIVATKOZÁSOK

INTERNET1: <https://www.geoportal.sk/en/zbgis/download/>

INTERNET2: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>

INTERNET3: <https://zbgis.skgeodesy.sk/mkzbgis/en/>

INTERNET4: <https://en.mapy.cz/zakladni?x>

INTERNET5: <https://hzs.sk/smutna-statistika-za-rok-2022/>

INTERNET6: <https://topr.pl/>

INTERNET7: <https://www.openstreetmap.org/#map=15/49.1700/20.1454>

INTERNET8: <https://gis.arso.gov.si/geoportal/catalog/main/home.page>

INTERNET9: <https://www.swisstopo.admin.ch/en>

Pályamunka végső lezárásának időpontja: 2024.07.23.