

A természeti hatások által okozott közlekedési problémák vizsgálata a Dunakanyarban³

A közlekedési hálózat elemei az ország életében és védelmében kiemelt szerepet töltenek be. A hálózat egyes elemein lebonyolított katonai mozgatási-szállítási feladatok teljes körű elláthatósága megköveteli, hogy a közlekedési rendszer még sérülések és zavarok bekövetkezése esetén is el tudja látni a közlekedési igények támasztotta feladatokat. Sérülések és zavarok azonban bármikor előfordulhatnak, amelyeket az emberi tényező mellett sok esetben természeti hatások okoznak. Ilyen hatásként értelmezhető a Dunakanyar fő szállítási útvonalának természet általi sérülése, amikor a heves esőzések hatására a hegyoldalból lezúduló törmelékár zárta el a közlekedési lehetőségeket. Tanulmányunk tudományos alapossággal arra keresi a választ, hogy az ilyen természeti hatások ellen milyen geológiai (talajtani) és közlekedési kritikus infrastruktúra védelmi megoldások alkalmazhatók annak érdekében, hogy egy fontos közlekedési útvonal működőképességét biztosítani lehessen.

Kulcsszavak: közlekedési kritikus infrastruktúra védelem, védelmi célú felkészítés, erózió, Szent Mihály-hegy, törmelékfolyás

Investigation of the Traffic Problems Caused by Natural Influences in the Danube Bend

Transport network elements play a key role in the life and protection of the country. To fully complete the military movement and transport tasks performed on each element of the network it is required that the traffic system is able to meet the transport needs even in the event of damage or disruption. However, disruptions can occur at any time and are often caused by natural influences in addition to the human factor. One such effect is the natural damage to the main transport routes in the Danube Bend, where heavy rainfall caused debris falling that blocked the transport facilities. This study investigates what geological (soil) protection solutions and

¹ Szenior kutató, KTI Magyar Közlekedéstudományi és Logisztikai Intézet Nonprofit Kft.; doktori hallgató, Nemzeti Közzolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola; e-mail: levai.zsolt@kti.hu; ORCID: [0000-0003-2410-1730](https://orcid.org/0000-0003-2410-1730).

² Tudományos segédmunkatárs, ELKH ATK Talajtani Intézet; doktori hallgató, Nemzeti Közzolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola; e-mail: szucs-vasarhelyi.nora@atk.hu; ORCID: [0000-0002-7382-0697](https://orcid.org/0000-0002-7382-0697).

³ Jelen publikáció az Innovációs és Technológiai Minisztérium Kooperatív Doktori Program Doktori Hallgatói Ösztöndíj, illetve Kooperatív Doktori Program Nemzetvédelmi Alprogram Doktori Hallgatói Ösztöndíj elnevezésű programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

ones for critical transport infrastructure can be applied against such natural impacts in order to ensure the viability of an important route.

Keywords: critical transport infrastructure protection, training for defense purposes, erosion, Mount Saint Michael (Szent Mihály-hegy), debris flow

Bevezetés

A kritikus (jogszabályi megnevezése: létfontosságú)⁴ infrastruktúrák az ország működésségét biztosító hálózatok. Közéjük tartozik a közlekedés, amelynek elemei erekként hálózák be az országot, így biztosítva minden település megközelíthetőségét, illetve a települések között jelentkező helyváltoztatási igények kielégítését. A közlekedési rendszer elemeinek sérülése és kiesése a szükséges helyváltoztatások korlátozása vagy esetleges elmaradása miatt gazdasági és társadalmi károkat okozhat, célzott rombolásuk pedig jelentős emberi áldozatszámmal járhat, így egyes elemeit jogosan tekinthetjük a kritikus infrastruktúrák részének.

A károkozás szempontjából nincs jelentősége a kiváltó oknak, a cél mégis az, hogy ezeket az okokat megtaláljuk, és megtegyük ellenük a lehetséges óvintézkedéseket. A megelőzés fontos részét képezi a kritikus infrastruktúra védelmi folyamatának, különösen, ha a védelem a természeti hatások miatt válik szükségessé, mert azok ismétlődése ugyanazon a helyszínen jóval gyakoribb lehet, mint az emberi cselekedeteké.

Tanulmányunk a Dunakanyarban található Szent Mihály-hegy természeti eróziójából fakadó gyakori közúti, valamint vasúti pályaelzárások okait kutatja, és javaslatokat fogalmaz meg a lehetséges védelmi megoldásokat illetően. A Dunakanyarban futó vasútvonal, azon kívül, hogy jelentős személy- és áruforgalmat bonyolít, védelmi szereppel is bír, ugyanis Ausztria és Szlovákia irányába a Budapest–Győr–Hegyeshalom–Rajka-vasútvonal helyettesítő eleme, így kiesésének az országvédelem szempontjából is van szerepe. A közlekedési rendszerrel szemben megfogalmazott országvédelmi követelmények között megtaláljuk a kritikus infrastruktúra helyettesíthetőségét is.⁵ A Dunakanyar fő közlekedési útvonalán, amely egyszerre gazdasági, társadalmi és védelmi feladatokat is ellát, párhuzamosan több alágazat is halad, így a probléma részletes vizsgálatát indokoltnak tartjuk.

Vizsgálatunkat két szempont szerint végezzük el. Először megvizsgáljuk a törmelék-folyások okait geológiai/talajtani szempontból, majd a pályaelzárások következményeit a kritikusinfrastruktúra-védelem oldaláról. A természeti jelenségek elleni védekezés nehéz, ugyanakkor készülni kell rá. Tanulmányunkban bemutatjuk a védekezés lehetséges módjait geológiai és védelmi oldalról egyaránt. Vizsgálatainkkal rá szeretnénk irányítani a figyelmet a katonai műszaki tudományok különböző kutatási területei

⁴ 2012. évi CLXVI. törvény a létfontosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről.

⁵ TÓTH–HELMECZI 2006: 39.

közötti átfedések adta együttműködési lehetőségekre, amelynek segítségével egy fontos, az ország védelmi felkészítésével kapcsolatos problémát oldunk meg.

Publikációnk alapját egy BSc-szakedolgozat képezi,⁶ amely megfelelő alapot ad a probléma felvetésére, ugyanakkor a kérdést lehetőségek híján nem tudományos alaposággal járja körül. Most erre teszünk kísérletet: az első részben elemezzük szélsőséges időjárás hatásait a közlekedési infrastruktúrára, különös tekintettel a vasúti közlekedésre, majd pedig a tényleges problémát vizsgáljuk földtani/talajtani megközelítésből. A valós probléma közlekedési hatásainak vizsgálata után általánosságban foglalkozunk a kritikus közlekedési infrastruktúrák helyettesítési kérdéseivel. A dolgozat végén bemutatjuk a konkrét probléma lehetséges geológiai és védelmi megoldásait.

A Szent Mihály-hegy és környezetének bemutatása

Az általunk vizsgált terület a közép-magyarországi régió északi felén található, a Kárpátok belső vulkáni övezetében lévő Börzsöny hegységhez tartozik, így az Északi-középhegység legnyugatibb tagja (a Visegrádi-hegységgel együtt). A Szent Mihály-hegy Pest megyében, a Börzsönyi-peremhegység kistáj területén fekszik. Az 1. ábrán kékkel jelöltük a vizsgált területet.



1. ábra: A Szent Mihály-hegy elhelyezkedése a Börzsöny hegységben

Forrás: <https://bit.ly/3liY80r> (részlet)

⁶ BOKOR-SZABÓ 2020.

Domborzat

A kistáj domborzatának egyik jellegzetessége a pleisztocén kori periglaciális domborzatalakulás, amelynek a hatására az 500 m tengerszint alatti területeken jellemzően hegylábi lépcsők alakultak ki. A hegyláb felszínek tagoltak, erősen felszabdaltak és erózióveszélyesek. A radiális oldallejtők átlagos egységnyi területre vonatkozó relatív felszíni magasságkülönbség értéke (relatív relief) 151 m/km^2 .⁷

Földtan

Eredetét tekintve a Szent Mihály-hegy a Visegrádi-hegység része, attól az Ős-Duna választotta el. A két terület kőzetanyaga megegyezik, túlnyomó részt vulkanikus eredetű kőzetek (miocén kori andezittufa, agglomerátum) alkotják. A kistáj déli részén, ahol a Szent Mihály-hegy is található, előfordul még lösszel és harmadkori agyagos üledékek egyenetlen eloszlásban borított bádeni lajtmáteszkő, valamint középső-miocén slír.⁸

Éghajlat

A kistáj éghajlata mérsékelt hűvös és mérsékelt nedves. Az évi középhőmérséklet 10°C körül van, ami a vegetációs időszakban $15\text{--}16^\circ\text{C}$ közé emelkedik. A napsütéses órák száma megközelítően 1900 óra/év. Az évi abszolút hőmérsékleti minimum -16°C , a maximum 32°C . Az évi átlagos csapadékmennyiség 712 mm. Télen körülbelül 40 napig borítja hótakaró a tájat, az átlagos maximális hóvastagság 20 cm. A fagymentes időszak 170 napra tehető. A Péczely-féle egyszerűsített ariditási index alapján számítva a terület mérsékelt száraz (az ariditási index $1,1\text{--}1,17$ között van). A jellemző szélirány ÉNy-i.⁹

Vizek

A Börzsönyi-peremhegység vízháztartását több tényező is jelentősen befolyásolja, köztük a magasság, domborzat, kőzetminőség, az uralkodó légáramlatokhoz viszonyított fekvés vagy a kitettség. A vízfolyások bevágódott mederben futnak, vízhozamuk az évi csapadékmennyiségtől és a vízgyűjtők felépítésétől erősen függ.¹⁰

⁷ DÖVÉNYI 2010.

⁸ DÖVÉNYI 2010; KOCIS 2018; STEFANOVITS–FILEP–FÜLEKY 1999; illetve: www.dunaipoly.hu/hu/barlangleso/remete-barlang-nagymaros

⁹ DÖVÉNYI 2010; BOKOR-SZABÓ 2020.

¹⁰ DÖVÉNYI 2010.

Talajok

A pleisztocén agyaggal és lösszel borított, nagyobb részben andezittufa, kisebb részben mészkő és slír képezi az alapját a peremhegységen képződő talajoknak. Ezeken a talajképző kőzeteken körülbelül 80%-ban agyagbemosódásos barna erdőtalajok (ABET) képződnek. Fizikai féleségüket tekintve ezek vályogtalajok, a terület tagoltsága miatt erősen erodáltak. Az eróziós hatásnak leginkább kitett részekén az ABET helyett köves sziklás váztalajokat, ranker talajokat találunk. A heglábakon a löszborítottság miatt barnaföldek és csernozjom barna erdőtalajok fordulnak elő. Az erózió sújtotta területek vízgazdálkodása nagyon szélsőséges a csekély termőréteg mennyisége miatt.¹¹

Növényzet

A Szent Mihály-hegy két flóraidék határán fekszik, ezért egyedi vegetáció alakult ki rajta. A terület északkeleti irányból határt szab egyes kárpáti és kontinentális faj elterjedésének, míg délnyugat felől a szubmediterrán és nyugat-balkáni populációk elterjedési területe tart eddig. A növényborítás 80%-a melegkedvelő társulásokkal jellemezhető erdő. A sziklás, déli tájolású lejtős területeken, amilyen az általunk is vizsgált Szent Mihály-hegy, azonban már sok szubmediterrán növényfaj is előfordul. A déli lejtőkön a sajmeggyes bokorerdők, melegkedvelő tölgyesek, illetve az árvalányhajas lejtősztyepppek a jellemző társulások, míg a lágyszárúak közül megtalálható itt például a hosszúfűzérű harangvirág (*Campanula macrostachya*), a magyar perje (*Poa pannonica subsp. scabra*), a leánykökörücsin (*Pulsatilla grandis*), a hosszúlevelű árvalányhaj (*Stipa tirsia*). A Szent Mihály-hegy egyedi jellegzetessége az endemikus magyarföldi husáng (*Ferula sadleriana*) a pirosló hunyor (*Helleborus purpurascens*) és a dudafürt (*Colutea arborescens*). A hegy lábánál az emberi tevékenység hatására megjelent többek között az akác (*Robinia pseudoacacia*), az erdeifenyő (*Pinus sylvestris*) és a szelídgesztenye (*Castanea sativa*).¹²

Természetvédelem

A Szent Mihály-hegy a Duna–Ipoly Nemzeti Park területén fekszik, az Országos Ökológiai Hálózat egyik úgynevezett magterülete, és a különleges madárvédelmi, illetve a különleges természetmegőrzési terület (Natura 2000-es területek) besorolást is megkapta, így mindenképpen kiemelt figyelmet érdemel.¹³

¹¹ DÖVÉNYI 2010; KOCSIS 2018; STEFANOVITS–FILEP–FÜLEKY 1999.

¹² DÖVÉNYI 2010; KOCSIS 2018; HORTOBÁGYI–SIMON 2000.

¹³ KOCSIS 2018.

Egyes természeti események hatásai a magyarországi közlekedési infrastruktúrára

A közlekedési infrastruktúrák pályaelemei a szabadban helyezkednek el, ezért a természet viszontagságainak kitéttek. Ez egyrészt közvetlen hatást jelent, vagyis amikor a pályák egyes elemeit éri időjárási hatás, továbbá közvetett, amikor a természeti esemény következtében más terepelemeket ér közvetlen hatás, de azok sérülése (például a lejtős tömegmozgás) a közlekedési pályák működésére is kihat. A közlekedési pálya általában mindkét esetben sérül, vagy üzeme ellehetetlenül, így az adott útvonalat helyettesíteni kell.

Magyarországon az országos katasztrófakockázat-értékelési dokumentum¹⁴ szerint a természeti események közül: 1. a szélsőséges időjárás; 2. a vizek kártételei; továbbá 3. a földtani kockázatok lehetnek hatással a közlekedési pályákra. A szélsőséges időjárási eseményeket is tovább bonthatjuk a következők szerint: 1. nagy mennyiségű csapadék hirtelen lezúdulása; 2. viharos vagy orkán erejű szél ($> 90 \text{ km/h}$); 3. extrém hideg ($< -25^\circ\text{C}$) vagy extrém meleg ($> +40^\circ\text{C}$) hőmérsékletek, hideg-, illetve hőhullámok.¹⁵

A vizek kártételei közé sorolhatjuk az árvizeket és a belvizeket, a földtani kockázatok közé pedig a földrengéseket, földcsuszamlásokat, talajeróziót, illetve a tömegmozgásokat. Cikkünk témája szerint a talajerózióval és a tömegmozgásokkal foglalkozunk részletesebben.

Talajerózió

A talajképződés folyamatait, illetve a talajok fejlődését negatívan befolyásolhatják bizonyos környezeti hatások.¹⁶

A talajromlás (talajdegradáció) a talaj egészségi állapotának olyan negatív irányú megváltozása, amelynek hatására az többé egyáltalán nem, vagy csak korlátozottan képes ökoszisztéma-szolgáltatásokat nyújtani. A talajdegradáció több formája ismeretes, úgymint:¹⁷

- vízerózió;
- szélérozió;
- kémiai degradáció;
- fizikai degradáció.

A talajeróziót vagy talajpusztulást előidéző tényezők vizsgálatakor különbséget kell tennünk az antropogén behatás miatt kialakuló erózió és a természetes folyamatok eredményeként létrejött talajpusztulás között. Az általunk vizsgált esetben környezeti hatás által kiváltott talajerózió okozza a kártételt. A természetes talajerózió, a talajnak a fel-

¹⁴ Magyarország nemzeti katasztrófakockázat-értékeléséről szóló jelentése 2020.

¹⁵ TEKNŐS–ENDRŐDI 2014.

¹⁶ STEFANOVITS–FILEP–FÜLEKY 1999.

¹⁷ Global Symposium On Soil Erosion 15-17 May 2019 – Rome, Italy Outcome Document. 2019.

színen lefolyó víz vagy szél által kiváltott eróziója. A vízerózió a talaj felső rétegének, de extrém esetben a teljes termőrétegnek a megsemmisülését eredményezheti. Az erózió mértékét nagyban befolyásolja a csapadék mennyisége és intenzitása, valamint a domborzati adottságok.¹⁸

Tömegmozgások

Tömegmozgásnak az olyan felszínformáló folyamatokat nevezzük, amely során szállítóközeg nélkül, a nehézségi erő hatására a talaj, kőzettörmelék vagy egyéb anyag (például növényi maradvány) mozog. Típusait tekintve az alábbiakat különböztetjük meg:

- beszakadás vagy roskadás (talajsüllyedés);
- lejtős tömegmozgások;
 - omlás,
 - csuszamlás,
 - kúszás,
 - folyás.

A lejtős tömegmozgások a gravitációs erő által generált nyírófeszültség hatására alakulnak ki. Mozgás akkor indul el, amikor a nyírófeszültség mértéke nagyobb lesz a nyírószilárdságénál. A lejtős tömegmozgásokat az agyagtartalom, kohézió, lejtőszög és a talaj víztartalma egyaránt befolyásolja.¹⁹

Problémafeltárás

Ebben a fejezetben a talajmozgások által okozott problémákat vizsgáljuk geológiai és kritikusinfrastruktúra-védelmi oldalról.

A Szent Mihály-hegyen keletkezett eróziós térszín kialakulásának okai

A talajpusztulás okait kutatva meg kell vizsgálnunk az eróziót kiváltó és befolyásoló tényezőket egyaránt. A kiváltó tényezők közé soroljuk a csapadék- és a lejtőhatásokat. A csapadékviszonyokon belül a pusztító hatást a cseppnagyság, az eső hevéssége, az időtartam, a hó mennyisége és az olvadás ideje egyformán eredményezheti, illetve befolyásolhatja. A lejtőviszonyokat vizsgálva figyelembe kell vennünk a terület meredekségét, a lejtő hosszát és alakját, valamint a kitettséget. A megfelelő műszaki megoldások kidolgozásához, a befolyásoló tényezők közül pedig érdemes figyelmet fordítani a talaj

¹⁸ STEFANOVITS–FILEP–FÜLEKY 1999; KOCSIS 2018.

¹⁹ FÖLDESSY 2011.

nedvességi állapotára, vízgazdálkodására, szerkezetére, a talajfelszín érdességére, valamint a növényborítottság mértékére.²⁰

A lejtős területeken zajló tömegmozgások lehetnek lassúak (például kúszás), vagy bekövetkezhetnek hirtelen, valamilyen külső hatás eredményeként. A hirtelen bekövetkező ilyen események komoly veszélyforrások lehetnek, hiszen rendszertelenül jelentkeznek, és méretüktől függően veszélyeztethetik az emberi életet, valamint komoly kártétellel járhatnak együtt.

A lejtős tömegmozgások kiváltó okai:

- lejtő anyagának vízzel telítődése (intenzív eső, hirtelen hóolvadás, fagyott talaj gyors ütemű felmelegedése);
- rezgés (földrengés/vulkánkitörés/antropogén hatás);
- mállott közettörmelék térfogatváltozása;
- lejtőszög megváltozása;
- növényzet eltávolítása;
- emberi tevékenység (terhelés, mérnöki létesítmények, települések stb.).

A lejtős tömegmozgásokat elsődlegesen befolyásoló tényezők a lejtőszög, az agyagtartalom, a kohézió és a víztartalom lehetnek.

Lejtőszög

A lejtőt borító anyagra a gravitációs erő (F_g) az anyag szilárdsága és a kohéziója ellenében hat. A nehézségi erő a lehetséges csúszófelületre merőleges normál erőre (F_n) és az azzal párhuzamos tangenciális (nyíró-) erőre (F_t) bontható, amelyeknek az aránya (F_t/F_n) a lejtőszög növekedésével változik és az anyag mozgásának irányában hat. A lejtőre ható normál és nyíróerő egyaránt feszültséget generál a csúszófelületen (A). A tömegmozgás kialakulását a nyírófeszültség idézi elő (amely arányos a nyíróerővel) és a nyírószilárdság gátolja.

A nyírófeszültség (τ) és a normálfeszültség (σ) kiszámítása az alábbi képletekkel lehetséges:

$$\tau = \frac{F_t}{A} \quad \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{F_n}{A} \quad \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] \quad (2)$$

²⁰ STEFANOVITS–FILEP–FÜLEKY 1999.

Agyagtartalom

A lejtők stabilitását erősen befolyásolja a kőzet/talaj agyagtartalma és az agyagásványok tulajdonságai. Egy nagy esőzést követően a lemezes szerkezetű agyagásványok struktúrája metastabillá válhat, aminek hatására megváltozik kőzet/talaj állaga (konzisztenciája). A konzisztencia az anyag nyírószilárdságát meghatározó egyik tulajdonsága.

Kohézió

A kohézió az anyag elemi részecskéit összetartó erő, amely az anyag elmozdulása ellenében hat. A kohézió és a nyírószilárdság közötti összefüggés a Coulomb-egyenlet alapján meghatározható.

$$\tau = c + \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (3)$$

ahol:

τ : nyírószilárdság

c : kohézió

σ : normálfeszültség

$\operatorname{tg} \varphi$: a belső súrlódási együttható (φ a belső súrlódási szög, a lehetséges csúszófelület vízszintessel bezárt szöge)

Víztartalom

A kőzet és a talaj pórusaiban víz (és levegő) van, ami úgynevezett pórusvíznyomást (u) generál az anyagban, ezáltal befolyásolva a kohéziót. A pórusvíznyomás a talajvíztükör felett negatív, alatta pedig pozitív. A pozitív pórusvíznyomás eredményezheti az anyag megcsúszását, ugyanis a talajvíztükör alatt a pórusvíz megszünteti a felületi feszültséget és felhajtóerőt fejt ki a szemcsékre. A pórusvíznyomás a talajvízoszlop magasságától (m) függ, ami talajvízkút létesítését követően mérhető. A pórusvíznyomás az alábbi egyenlettel számítható ki:²¹

$$u = \rho \cdot g \cdot h, \quad (4)$$

ahol:

ρ : a víz sűrűsége.

²¹ FÖLDESSY 2011.

A probléma megközelítése a közlekedési kritikus infrastruktúrák rendszere felől

Egy ország gazdaságának működéséhez elengedhetetlen a megfelelő közlekedési rendszer rendelkezésre állása. Ugyanez mondható el az országvédelem megszervezésekor is. A közlekedési infrastruktúra biztosítja a felmerülő szállítási igények, mozgatási feladatok kielégítését. Az infrastruktúrának vannak olyan elemei, amelyek kiesése jelentősen megakaszthatja ezeket a folyamatokat, mert adott helyen a pótlás (helyettesítés) vagy a működőképesség helyreállítása jelentős erőforrásokat igényel, illetve hosszabb ideig tarthat. Az ilyen, létfontosságú rendszerelemek esetében már normál időszakban vizsgálni kell a sérülés, kiesés esetén a forgalmi áramlatok levezetésének, illetve levezethetőségének módzatait. Szászi Gábor doktori értekezésében meghatározta a működőképesség biztosításának lehetőségeit, amelyek többek között:²²

- az irányítási információs rendszer biztonságának növelése;
- a túlélőképességet növelő műszaki megoldások alkalmazása;
- a helyettesíthetőség feltételeinek megteremtése, amelyek az alábbiak lehetnek:
 - más alágazatra történő áttérítés;
 - alternatív útvonalak biztosítása;
 - mobil hídszerkezetek rendszerbe állítása, üzemeltetési feltételeinek megteremtése.

Szászi Gábor csak a vasúti alágazatra határozta meg ezeket a feladatokat, ugyanakkor ezek a közúti közlekedési rendszerre is alkalmazhatók. Dolgozatunk szempontjából mindkét alágazat vizsgálata szükséges, mert a vasúti és a közúti pálya közvetlenül egymás mellett halad a Dunakanyarban. A geológiai problémát jelentő talajerózió így mindkét infrastruktúrát közvetlenül veszélyezteti, a lezúduló föld és sár képes egyszerre mindkét pályát elzárni, így a Dunakanyar közlekedését ellehetetleníteni. E mellett, miután a közút szomszédságában közkedvelt kerékpárút is halad, így a kerékpáros forgalom sem biztosítható az említett útszakaszon.

Vizsgálati módszerek és megállapítások

Az előző pontban ismertetett problémát kétfelől vizsgáltuk meg. Talajtani és geológiai szempontból vizsgáltuk az erózió mérséklésének lehetőségeit, kritikus infrastruktúra védelmi szempontból pedig a Szászi Gábor által definiált vizsgálatot folytattuk le.

Talajtan, geológia

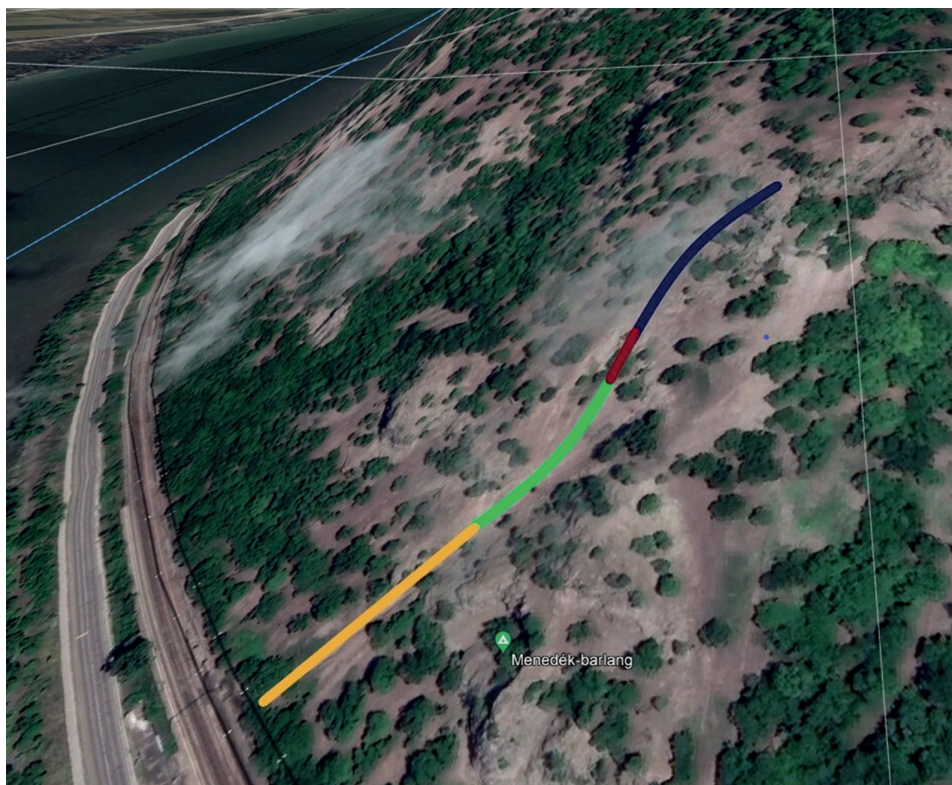
A *Problémafeltárás* című részben bemutatott jellemzők mentén elemző vizsgálatokat végeztünk, hogy megfelelő műszaki megoldási javaslatokat tehessünk az erózió megál-

²² SZÁSZI 2013.

lítására. A megállapítások megfogalmazásánál csak azokat a tényezőket tárgyaljuk meg, amelyek jelentős szerepet játszanak az általunk vizsgált területen kialakult talajpusztulási folyamatokban. A kiváltó, illetve a befolyásoló tényezőket és ezeknek a hatásait vizsgálva, valamint a talajképző folyamatokkal való szoros kapcsolatrendszerre kitérve az alábbi megállapításokat tesszük.

A hegyoldalt komplex, egymást erősítő környezeti és antropogén hatások érik, ami végső soron talajpusztuláshoz vezet.

A lehulló csapadék mennyisége mellett ennek hevéssége és tartóssága az egyik meghatározó tényezője az erózióknak. Ez a hatás azért alakulhatott ki a területen, mert a lejtő talajának vízbefogadó képessége nem elegendő a lehulló csapadékmennyiség elvezetésére így egy intenzívebb esőt követően felületi lefolyás képződik. Az eróziós hatást erősíti, hogy a Szent Mihály-hegy délnyugati domboldala az erősen lejtős/meredek lejtő lejtőkategóriába tartozik, amely a nagy mennyiségű csapadék miatt kialakuló felületi lefolyás energiáját megnövelve több talajrészt képes elszállítani, ezáltal pedig fokozza a víz pusztító hatását. Mivel ezeken a lejtőkategóriákon a legerősebb a víz romboló hatása, ezért a felületi rétegerózió mellett itt megfigyelhető a vízmosásos erózió és a barázdás erózió.



2. ábra: A vizsgált terület lejtőformái és az inflexiós sáv: domború (kék), homorú (zöld), egyenes (sárga), inflexiós sáv (piros)

Forrás: Google Earth Pro

A másik eróziót okozó meghatározó tényező a talaj szerkezete és a talajképző kőzet típusa. A Börzsönyi-peremhegység egészére, így a Szent Mihály-hegyre is főként a vulkanikus kőzet jellemző, amely az erózióknak ellenáll ugyan, de sok helyen erózióra érzékeny lösszel borított. A löszvályogon alakult ABET-talajon pedig már gyenge és közepes erózió esetén is hamar kialakul a barázdás eróziós forma. A talajpusztulás előrehaladásával, azaz miután az erózió elszállította az egyes talajszinteket, a felszínre kerül a talajképző kőzet. Ezek a kritikus területeken, ahol már ilyen mértékben erodálódott a felszín, a köves, sziklás váztalaj a jellemző. Ezen a talajtípuson pont a felszín folyamatos változása miatt az alapkőzet aprózódása és mállása nem tud olyan szintig eljutni, hogy azon megtelepedhessenek a növények, ami segíthetne a további erózió megállításában.

A területen megfigyelhető erózió harmadik kiváltó oka az érintett lejtő hossza és alakja. A domboldal délnyugati lejtője több mint 150 m hosszú. A lejtő alakja összetett, azaz az egyenes, domború, illetve homorú lejtőalakzatok váltják egymást. Az általunk vizsgált lejtőn megfigyelhető a lejtőalakok egy gyakori formája, az úgynevezett S alakú lejtő. A felső szakaszon domború lejtőt egy alacsonyabban fekvő, homorú lejtő váltja fel. A kettő határán inflexiós sáv van. A 2. ábrán látható, hogy az erózió az inflexiós sávban kezdődött el, és hosszú távon felfelé halad.

A lejtő délnyugati tájolása miatt az erózió szempontjából erősítő hatást fejt ki a nap-sugárzás. A besugárzás a déli lejtőkön nagyobb mértékű, ami a talajt jobban felmelegíti és kiszárítja. A száraz talajt érő esőcseppek pedig könnyebben károsítják a talaj aggregátumait, ezáltal szerkezetromlást eredményezve. A kialakuló szerkezetromlás, majd beiszapolódás pedig növeli a felületi lefolyást, ami végső soron fokozza az eróziót.²³

A lejtőt borító anyag a nagy mennyiségű vízfelvétel hatására képlékennyé válik és lamináris vagy turbulens áramlással mozog lefelé a lejtőn. A lejtős tömegmozgások közül az általunk vizsgált területen a törmelékfolyás jelensége a jellemző. A mozgás sebessége széles tartományban változhat, és akár a 20–40 km/h sebességet is elérheti.²⁴

Kritikusinfrastruktúra-védelem

A meghatározott szempontok szerint összehasonlító és analitikus vizsgálatokkal állapítottuk meg a helyettesíthetőség lehetőségeit, illetve szakirodalmi elemzéssel kerestünk megoldásokat a túlélőképesség növelését elősegítő műszaki megoldásokra és az irányítási rendszer fejlesztésére. Vizsgálatunk alapján az alábbi megállapításokat tesszük.

A vasúthálózat szempontjából vizsgálatunk a 70. sz. Budapest – Szob oh.²⁵-vasútvonal Vác–Szob szakaszára irányul. E szakasz vasúti helyettesítése nehézségekbe ütközik. A menetrendi szerkezetet²⁶ elemezve megállapítottuk, hogy a vonal forgalma három

²³ STEFANOVITS–FILEP–FÜLEKY 1999.

²⁴ FÖLDESSY 2011.

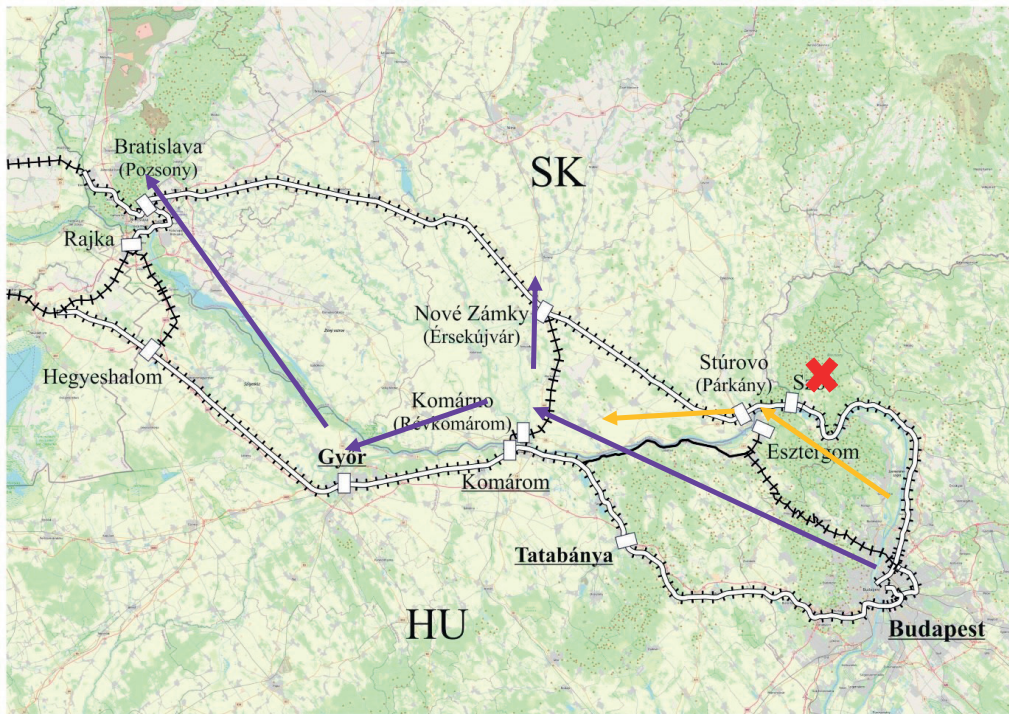
²⁵ oh.: országhatár, nemzetközi vonalak esetében a vonal magyarországi végpontja.

²⁶ A menetrendek elérhetősége: https://www2.vpe.hu/menetrendi_abrak/2021_2022_eves_potlolasos;www.mavcsopot.hu/sites/default/files/upload/page/70_v1119.pdf

pilléren nyugszik: 1. a belföldi elővárosi személyszállítás; 2. a nemzetközi személyszállítás; 3. a nemzetközi áruszállítás.

Közülük legerősebb a belföldi személyszállítás, a vonatok ütemes menetrendi struktúrában közlekednek, 60 perces alapütem szerint. A nemzetközi személyszállító vonatok Szlovákia, Csehország, Németország és Lengyelország irányába közlekednek, alapvetően 120 perces alapütem szerint. A tehervonatok száma alacsonyabb a személyszállító vonatokénál és nem ütemes rendben közlekednek, vagyis a menetvonalak²⁷ a megrendelői igényeket követik, és így felelnek meg az üzemi lehetőségeknek. A tehervonati menetvonalak döntő többsége nemzetközi menetvonal, csak néhány belföldi menetvonal található a menetrendábrában.²⁸ Vizsgálni kell tehát a belföldi és a nemzetközi helyettesíthetőséget is.

A vasúti hálózat szempontjából a belföldi helyettesíthetőség nem megoldható. A 3. ábrán jól látható, hogy nincs a közelben másik vasútvonal, amelyekre az elővárosi forgalom ráterelhető lenne. A Vác–Szob-vonal kiesése esetén a vasúti helyettesíthetőség egyértelműen a más alágazatra való terelést jelenti.



3. ábra: A Budapest – Szob oh.-vasútvonal helyettesíthetősége

Forrás: KTI-adatbázis alapján a szerzők szerkesztése

²⁷ Menetvonal: a vasútvonal kapacitásából a megrendelésre jogosult által lefoglalt kapacitáshányad.

²⁸ Menetrendábra: a megrendelt vagy felajánlott menetvonalakat vasútvonalanként tartalmazó út-idő grafikon.

Nemzetközi forgalomban már rendelkezésre állnak kerülő útirányok, azonban minden esetben szükséges a szlovák partner hozzájárulása, ugyanis a terelés a szlovákiai vasúti forgalmat is érinti. A térképen látható, hogy a helyettesítő útvonalak (lila nyilak) a MÁV 1 sz. fővonalán haladnak és két határátmenetben csatlakoznak a szlovák hálózathoz. A Komárom–Révkomárom (Komárno) átmenet igénybevételekor az útvonal a következőképpen alakul: Budapest–Tatabánya–Komárom–Révkomárom–Érsekújvár (Nové Zámky). Ebben az esetben a szlovák hálózaton a vonatok nem érintik Párkány (Štúrovo) állomást, amely jelentős személyszállítási és áruforgalmi csomópont. A szlovák partnerek számára szükséges lehet a nemzetközi személyszállító vonatok Párkány–Érsekújvár-szakaszának pótlására, illetve a tehervonatok esetében operatív elegytovábbítási intézkedések bevezetésére. A másik útvonal a Rajka–Oroszvár (Rusovce) átmenetet használva Pozsonyban csatlakozik a fővonalhoz, így jelentős kerülőt jelentve a szlovák szakaszon is. Az útvonal: Budapest–Tatabánya–Győr–Rajka–Oroszvár–Pozsony. Ebben az esetben már a Párkány–Pozsony-szakaszon szükséges a nemzetközi személyvonatok szlovákiai pótlása, illetve ugyanúgy szükségesek az elegytovábbítási intézkedések. Az útvonalak előnye, hogy végig 25 kV 50 Hz rendszerrel villamosítottak, így nem szükséges külön (másik áramrendszerű) vontatójármű felhasználása. Hátrányuk, hogy a szlovák szakaszok egyvágányúak, ezáltal kapacitásuk alacsonyabb.

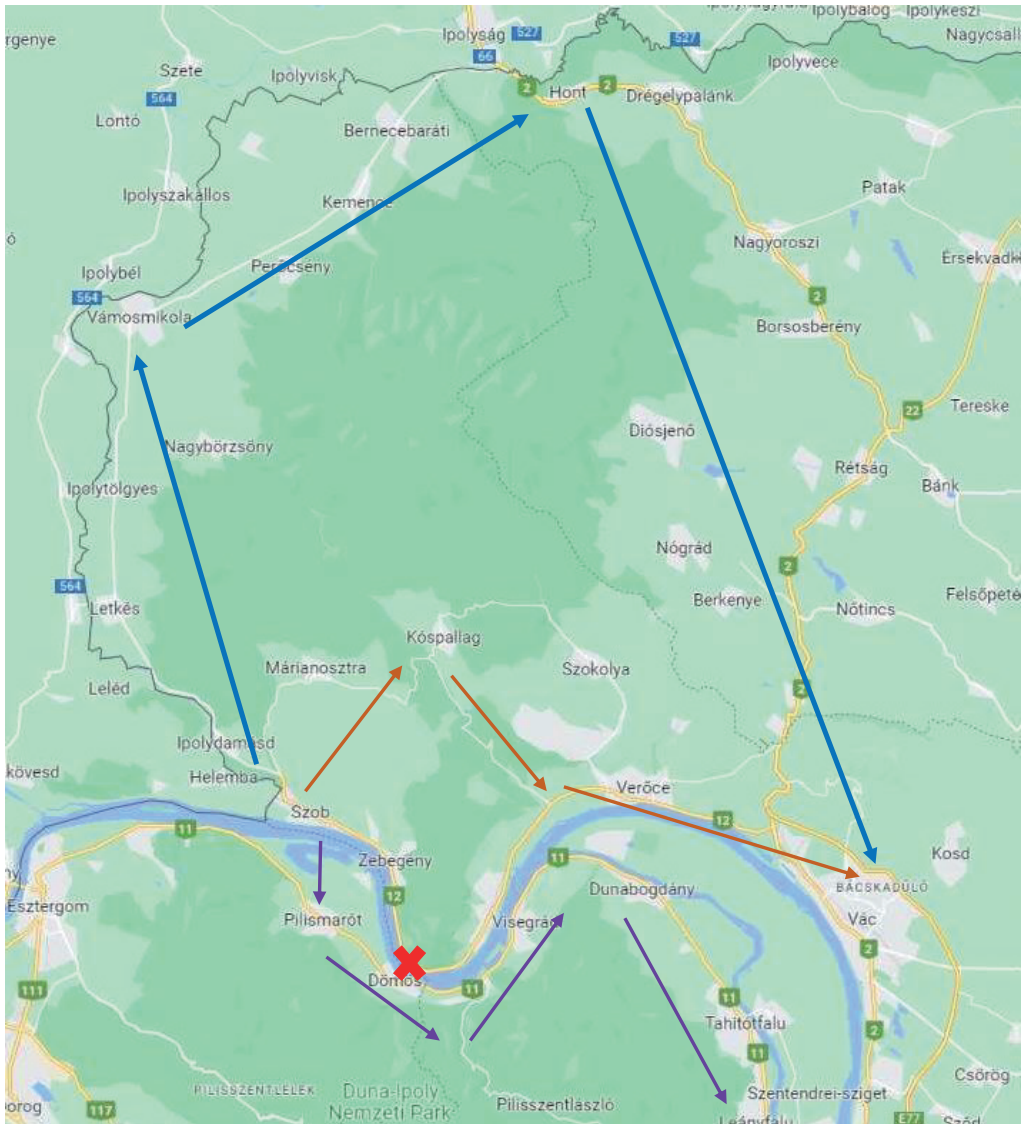
A térképen (3. ábra) feltüntetett Budapest–Esztergom–vasútvonalak (narancssárga nyilak) kapacitása elégtelen a Budapest–Szob-vasútvonal forgalmának levezetésére (részben egyvágányú és nem villamosított pálya, állomástávolságú közlekedési renddel).²⁹

A közút esetében a 12-es út pótlása kétszámjegyű úttal nem oldható meg (4. ábra). A Szent Mihály-hegy elkerülhető a 12106 és 12108 sz. utakon a Kismaros–Kóspalag–Márianosztra–Szob útvonalon (barna nyilak). Ez a kerülő 6 km többletet jelent (16,5, illetve 22,5 km), ugyanakkor az utak minősége alacsonyabb, illetve kialakításuk már inkább hegyvidéki jellegű, sok hajtókanyarral és emiatti sebességkorlátozással. Az útvonaltervező alkalmazás³⁰ szerint a 6 km-es kerülő 13 perc menetidő-növekedést eredményez (17, illetve 30 perc), amely 56%-kal több az eredeti menetidőnél. A közút helyettesítését vizsgálva további két kerülési lehetőség adódik:

1. Szob – révátkelés – Pilismarót – 11-es út – Szentendre – Budapest, Göncz Árpád városközpont metróállomás (54 km, 72 perc, lila nyilak)
2. Szob – Letkés – Vámosmikola – Hont – 2/M2-es út Budapest, Göncz Árpád városközpont metróállomás (122 km, 102 perc, kék nyilak)

²⁹ A követő vonat csak az elől haladó vonat következő állomásra történő megérkezése után indítható. A legalacsonyabb átbocsátóképességet biztosító közlekedési rend.

³⁰ Lásd: [google.com/maps](https://www.google.com/maps) (mérés időpontja: 2021. 12. 25.).



4. ábra: A 12-es út kerülő útirányai

Forrás: google.com/maps alapján a szerzők szerkesztése

Összehasonlítva az alapesetrel, a 12-es út – M2 autópályát – Budapest, Göncz Árpád városközpont metróállomás útvonallal (56 km, 56 perc) látható, hogy a Börzsöny megkerülése (2. eset) jelentős többlet km és menetidő, éppen ezért nem reális alternatíva, míg a 11-es út felé (1. eset) az útvonal rövidebb ugyan, de a menetidő hosszabb, és a komp sem közlekedik egész évben, illetve további várakozás merülhet fel a rév menetrend szerinti indulására várva.

Visszatérve a vasúti személyszállítás közúti pótlására megállapíthatjuk, hogy a kerülő útirányok jelentősen megnövelik az utasok eljutási idejét. A vonatok rövidített útvonalon Budapest és Nagymaros között közlekedhetnek, a zebegényi és szobi utasok átszállása a vonatpótló autóbuszra Verőce állomáson lehetséges. A busz menetideje Szobig 50 perc, Zebegényig 58 perc, míg a vonat menetideje Verőcétől Zebegényig 18, Szobig 24 perc. Látható, hogy még a legrövidebb távolságú buszpótlás is 26–40 perccel növeli meg az eljutási időt.

Szükségmegoldásként jelentkezett a vonatok vízi úton, hajóval történő pótlása Szob és Nagymaros között. A hajók a két város közötti utat, figyelembe véve a kikötési szabályokat, völgymenetben 30 perc, hegymenetben 40 perc alatt teszik meg, ami elvben megfelelő megoldás lehet a 14 perces vonatút minimális többletidejű pótlására, ugyanakkor az egyes vonatok pótlásához szükséges 100–150 férőhely és ennek megfelelően a szükséges jármű darabszám nehezen biztosítható, illetve a szélsőséges időjárás okozta alacsony vízállás sem minden esetben teszi lehetővé a hajók közlekedését. A hajóval való személyszállítási pótlás továbbra is csak végső szükségmegoldásként vehető figyelembe.

Megoldási javaslatok

A megoldási javaslatokat is geológiai és kritikusinfrastruktúra-védelmi szempontok alapján tesszük meg.

Talajtani/geológiai megoldások

A hegyoldal stabilizálása érdekében komplex megoldásban kell gondolkozni, mivel az eróziót és az ebből kifolyólag bekövetkezett törmelékfolyásokat kiváltó okok is összetettek. A megfelelő megoldás kidolgozásához egyrészt csökkenteni kell a kiváltó tényezők hatását, másrészt a befolyásoló tényezőket irányítottan kell megváltoztatni, hogy mérséklődjön az erózió kialakulásának valószínűsége.

A csapadék mennyiségét és intenzitását, esetünkben az egyik fő kiváltó okát az erózió kialakulásának, nem befolyásolhatjuk, viszont a tervezésnél – figyelembe véve és megfelelő vízelvezetésről gondoskodva – megelőzhető a felszíni lefolyás kialakulása. A lejtő stabilizálásakor drénezés³¹ alkalmazásával elősegíthetjük a felületen elfolyó víz elvezetését.

Az egyenes alsó és az enyhén domború felső lejtőszakasz felszíne georács alkalmazásával megerősíthető. A georács lefektetésével párhuzamosan javasoljuk a biotechnikai stabilizálásban rejlő lehetőségek kihasználását. Ennek során a telepített növényzet gyökérzete hosszú távon segít stabilizálni a lejtőt és lassítja a víz áramlási sebességét. A megfelelően megválasztott növények telepítése (figyelve, hogy sekélyen és mélyen gyökerező növényeket egyaránt ültessünk) az ökológiai egyensúlyhoz is jobban hozzá-

³¹ Talajcsövezés: magas vízállású területek víztelenítése a talajban elhelyezett lyukacsos vízelvezető csövek segítségével.

járul, mint más műszaki megoldások, továbbá védi a felszínt a besugárzástól és a talajaggregátumokat a csapadék üté hatásától.

A lejtő aljánál és a homorú szakasz kezdeténél gabionok³² elhelyezését javasoljuk a lejtő megtámasztása céljából. A homorú szakasznál a gabionok felhasználásával terasz kialakítását javasoljuk, amely csökkentené a lejtőszöget, így a felszínen elfolyó víz energiáját.³³

A terület erózióinak leginkább kitett részére vonatkozóan, a fent leírt beruházás kivitelezési költségét ~0,5 Mrd Ft-ra becsüljük.

Fontos azonban megjegyeznünk, hogy az általunk javasolt műszaki megoldások szakirodalmi kutatás és analízis eredményeként, a terepen vagy laboratóriumban elvégzett műszeres mérések nélkül fogalmazódtak meg. A területen elvégezni kívánt bármilyen megelőzést, kockázat-csökkentést célzó beavatkozás megkezdése előtt alapos mérnök-geológiai vizsgálatokat szükséges elvégezni. A végrehajtani kívánt műszaki beruházás alapját mindenképpen méréseken alapuló tervezés kell hogy megelőzze.

Megoldások a közlekedési infrastruktúra védelmére

A közlekedési infrastruktúra helyettesítésénél megállapítottuk, hogy vasúti pótlás csak nemzetközi forgalomban értelmezhető, belföldi forgalomban csak a más alágazatra terelés jöhet szóba. Ugyanakkor a közúti helyettesíthetőség vizsgálatánál bemutattuk, hogy a buszpótlás duplájára növeli az eljutási időt, illetve a buszokkal a hegyi jellegű utakon nem egyszerű a közlekedés. Mindez azt sugallja, hogy az infrastruktúra működőképességének biztosítása leginkább a túlélőképességet biztosító műszaki megoldások keresésében rejlik. Ezért ebben a pontban megvizsgáljuk a szakirodalmat, hogy milyen megoldásokat javasol az ilyen jellegű veszélyek ellen, és bemutatjuk egy valós megoldás adaptációját a veszélyeztetett szakaszon.

Első megoldásként egy új alagút létesítése jöhet szóba, amely a minimális úthosszon furja át a Börzsöny hegységet Verőce és Szob között (körülbelül 11 km). Ez a megoldás csak részben elégíti ki a szállítási igényeket. A gazdaság és az országvédelem igényeit megoldja, mert a nemzetközi vonatok részére biztosítja a határ elérhetőségét a hegyomlás veszélyének elkerülésével, így kielégíti azt az országvédelmi követelményt, hogy a határok gyorsan és biztonságban elérhetőek legyenek. További közlekedési előny, hogy az így elérhető magasabb (160 km/h) sebesség jelentősen, mintegy 15 perccel lerövidíti az országhatárig tartó vonatutat, amely nemzetközi forgalomban versenyképesség-növelő beruházás, ugyanakkor az új vonalszakaszt belföldi vonatok nem tudják használni. Az így kialakuló kapacitástöbbletet nem lehetne kellőképpen kihasználni sem az új, sem a régi pályán, ami vélhetően az igen magas költségek (400–500 Mrd Ft)³⁴ miatt kérdésessé teszi a beruházás szükségességét.

³² Terméskövel töltött drótfonat vagy drótkosár.

³³ STEFANOVITS–FILEP–FÜLEKY 1999

³⁴ SZABÓ-BOKOR 2020: 33.

A legnagyobb utasforgalmi elővárosi vonatok továbbra is a régi pályán közlekednének, így a legtöbb utas számára a veszély továbbra is fennáll, hogy a hegyről leömlő sárlavina elzárja a vasúti pályát. Ezen túl az alagút építésének magas költsége miatt megtérülése hosszú időt vesz igénybe. Továbbá ez a megoldás csak a vasúti pályát védené, a közút kiesése továbbra is nyitott kérdés maradna.

Olyan műszaki megoldás javasolható tehát, amely egyszerre nyújt védelmet a vasút, a közút és a kerékpáros forgalom számára. Ilyen megoldás lehet a kritikus szakaszon megépített, hegyhez csatlakozó galéria, amely védelmet nyújt a lezúduló törmelékektől, ugyanakkor csak kevésbé zavarja a csodálatos panorámát. A galériaműtárgy megépítésének egyik nehézsége, hogy a vasút és a közút között körülbelül 3 méter szinteltérés van, illetve a két pályatest között növényzet is található (5. ábra). További műszaki kérdés a galéria tetejéről a törmelék elhordása.



5. ábra: Szintkülönbség a Budapest – Szob oh.- vasútvonal és a 12 sz. út között

Forrás: google.com/maps

Alapvetően két megoldás lehetséges ennek kivitelezésére. Az első, amikor a galériát úgy alakítjuk ki, hogy a teteje a Duna irányába lejtessen. Ez esetben a sár és kötőrmelék egyenesen a Dunába esik, így az eltávolítással nem kell külön foglalkozni. Ehhez mindenképpen szükséges a galéria kiépítése a Dunáig, viszont ekkor az ártérbe is kell építkezni, így jelentős többletbeton felhasználása szükséges, amely egyrészt megemeli a költségeket, másrészt a táj flórájába és faunájába is beavatkozik. A megoldás közlekedési nehézsége, hogy ezen a szakaszon található a dömösi révátkelés, és a folyóba hulló kődarabok veszélyeztethetik a hajóforgalmat és a kikötő biztonságát is.

A második megoldás, hogy a galéria tetejét „V” alakban alakítjuk ki, így a legördülő törmelék nem esik le, hanem a tetőn marad. Ebben az esetben meg kell tisztítani

a tetőszerkezetet és elvezetni a csapadékvizet. A víz elvezetése az erózió miatt mindenképpen szükséges, a tisztítás a folyamatosan rakódó törmelék egyre nagyobb tömege miatt válik szükségessé. Miután a galéria a vasúti és a közúti pályát is befedi, azokról nem megoldható a törmelék elszállítása. A művelet elvégezhetőségéhez a tisztító- és szállítóeszközöket fel kell juttatni a galéria tetejére, és számukra közlekedési lehetőséget kell biztosítani. Ebből következően a pusztán V alak nem alkalmazható, mert a tisztítást végző eszközök a dőlt felületen nem tudnak stabilan megállni a művelet végrehajtásához. Ezért javasoljuk, hogy a galéria tetőszerkezete fordított gyökjel ∇ formájú legyen, ahol a vízszintes felületen kialakítható a műszaki út. Ezt úgy kell méretezni, hogy a lezúduló kömennyiség elférjen a vályatban, és ne repüljön ki a műszaki útra, megakadályozva a tisztító egységek működését. Ennek elérése érdekében a galériára felvezető utat kell kialakítani, amely miatt szükséges a kerékpárút lesüllyesztése a szintbeni keresztezés elkerülése érdekében. A galéria kiépítésének költsége körülbelül 100 Mrd Ft.³⁵

Összegzés

A Dunakanyar természeti szépségei miatt közkedvelt turistacélpont, illetve egyben a budapesti agglomeráció része is. Ezek miatt a térséget sokan keresik fel egész évben, illetve az ingázó forgalom is jelentős. Az idelátogatók és az itt élők életét nehezíti meg a heves esőzések után a Szent Mihály-hegyen kialakuló kő- és sárfolyás, amely eltorlaszolja a térség közlekedését biztosító 12-es utat és a Budapest–Szob-vasútvonalat. A természeti hatás okozta forgalomkiesés akár több hónapos is lehet, addig a közúti, illetve leginkább a vasúti pálya nem használható. Az emiatt szükséges kerülő útirányok használata a közlekedés költségeit – beleértve az externális költségeket is – megnövelik.

Az utóbbi időszakban sajnálatos módon egyre többször fordul elő e természeti károkozás, amely az országhatárok gyors megközelíthetőségének korlátozása révén országvédelmi kérdéseket is felvet. Magyarország védelmi felkészítése megköveteli, hogy az egyes fő közlekedési útvonalak ellenállóbbak legyenek az emberi és természeti rombolásokkal szemben.³⁶

Ennek jegyében fontosnak tartjuk, hogy az egyre gyakrabban előforduló természeti hatásra megfelelő válaszokat tudjunk adni. Vizsgálatunk ezért kétrétű volt: egyrészt vizsgáltuk a hegy természeti adottságait annak érdekében, hogy a törmelékfolyások kiváltó okait megtalálhassuk és megelőzhetőségükre adekvát válaszokat adhassunk, másrészt a közlekedési alágazat tekintetében vizsgáltuk a védelmi célú felkészítés egyik alappilléreinek számító helyettesíthetőségi lehetőségeket, illetve a pályák elzáródását megelőző műszaki védelmi megoldásokat.

Vizsgálataink eredményeképp megállapítottuk, hogy talajtani szempontból drénezéssel, georácsok kihelyezésével, megfelelő talajfogó képességű növények ültetésével, gabionok építésével csökkenthető a talajmozgások kialakulásának veszélye. A közlekedés

³⁵ BOKOR-SZABÓ 2020: 37. becslésének felhasználásával.

³⁶ BODA et al. 2016.

területén a pótlás nehézségei rámutattak arra, hogy elsősorban a nagyobb biztonságot nyújtó műszaki megoldások, mint az alagút és a galéria építése jelenthetik a megoldást. Az alagút alacsonyabb hasznossága és magasabb költsége leginkább a galériaműtárgy kiépítése felé terelik a műszaki megoldást. Ennek műszaki kialakítására tettünk javaslatot.

Cikkünkben bemutattuk, hogy a katonai műszaki tudományok két kutatási területének milyen együttműködése lehetséges egy valós probléma feltárása és megoldása során. Az általunk megfogalmazott javaslatok a gyakorlatban hasznosíthatók, amelyekkel a Dunakanyar lakói, turistái, valamint Magyarország gazdasága és honvédelmi rendszere is jól járhat.

Felhasznált irodalom

2012. évi CLXVI. törvény a létfontosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről.

BODA József et al. (2016): A hadtudományi kutatási irányok, prioritások és témakörök. 2016. In *Államtudományi Műhelytanulmányok*. 16, 1–23. Budapest: Nemzeti Közszolgálati Egyetem.

BOKOR-SZABÓ Anikó (2020): *A Szent Mihály-hegy eróziója okozta közlekedési krízishelyzet komplex megoldási lehetősége a Dunakanyarban*. Győr: Széchenyi István Egyetem Építész-, Építő és Közlekedésmérnöki Kar.

DÖVÉNYI Zoltán szerk. (2010): *Magyarország kistájainak katasztere*. Budapest: Magyar Tudományos Akadémia Földrajztudományi Kutatóintézet.

FÖLDESSY János (2011): *Környezetföldtan*. Veszprém: Pannon Egyetem Környezetmérnöki Intézet. *Global Symposium On Soil Erosion 15-17 May 2019. Rome, Italy Outcome Document* (2019) Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Online: www.fao.org/ca5697en/ca5697en.pdf

HORTOBÁGYI Tibor – SIMON Tibor szerk. (2000): *Növényföldrajz, társulástan és ökológia*. Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó.

KOCSIS Károly (2018): *Magyarország Nemzeti Atlasza – Természeti környezet*. Budapest: Magyar Tudományos Akadémia, Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földrajztudományi Intézet.

Magyarország nemzeti katasztrófakockázat-értékeléséről szóló jelentése (2020). Budapest. Online: www.katasztrofavedelem.hu/application/uploads/documents/2020-12/73162.pdf

MyHome decoratex 2020. Online: <https://myhome-hu.decoratex.biz/obustrojstvo/georeshetka-dlya-ukrepleniya-sklonov>

Remete-barlang (Nagymaros) [é. n.]. Online: www.dunaiopoly.hu/hu/barlangleso/remete-barlang-nagymaros

STEFANOVITS Pál – FILEP György – FÜLEKY György: *Talajtan*. Budapest: Mezőgazda.

SZÁSZI Gábor (2013): *A vasúti hálózati infrastruktúrával szemben támasztott újszerű védelmi követelmények kutatása, a továbbfejlesztés feltételrendszerének vizsgálata*. Budapest: Nemzeti Közszolgálati Egyetem. <https://doi.org/10.17625/NKE.2014.028>

TEKNŐS László – ENDRÓDI István (2014): A szélsőséges időjárás hatása a magyarországi közlekedési rendszerekre – kiemelten a közút és vasút alágazatokra. In HORVÁTH Attila – BÁNYÁSZ Péter – ORBÓK Ákos (szerk.): *Fejezetek a létfontosságú közlekedési rendszerelemek védelmének aktuális kérdéseiről*. Budapest: Nemzeti Közszolgálati Egyetem. 83–100.

A természeti hatások által okozott közlekedési problémák vizsgálata a Dunakanyarban

TÓTH Bálint – HELMECZI Gusztáv (2006): Védelmi követelmények a Gazdasági és Közlekedési Minisztérium közlekedési szakterületén. *Katonai Logisztika*, 14(2), 37–55.

VPE Kft. menetrendábrák. Online: https://www2.vpe.hu/menetrendi_abrak/2021_2022_eves_potlolagos