

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
INFORMATIKAI KAR

Terepi útvonal és menetidő becslésének térképfüggőség-vizsgálata

DIPLOMADOLGOZAT
TÉRKÉPÉSZ MESTERKÉPZÉS

Készítette:

Sárközy Zsófia

Témavezető:

Dr. Albert Gáspár

egyetemi docens

ELTE Térképtudományi és Geoinformatikai Intézet

Budapest, 2023

SZAKDOLGOZAT / DIPLOMAMUNKA

EREDETISÉG NYILATKOZAT

Alulírott SÁRKÖZY ZSÓFIA.....Neptun-kód: D103BT.....

ezennel kijelentem és aláírással megerősítem, hogy az Eötvös Loránd Tudományegyetem Informatikai Karának, Térképtudományi és Geoinformatikai Intézetében írt,

Térkép-útonal és menetidő becsülésének térképfüggvény- vizsgálata

című diplomamunkám saját, önálló szellemi termékem; az abban hivatkozott szakirodalom felhasználása a szerzői jogok általános szabályainak megfelelően történt.

Tudomásul veszem, hogy szakdolgozat/diplomamunka esetén plágiumnak számít:

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

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

HOZZÁJÁRULOK

NEM JÁRULOK HOZZÁ

Budapest, 2023. V. 1.

Sárközy Zsófia

hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	5
1.1 Legkisebb költségű útvonal és menetidő számításának módszerei szoftverrel	6
1.1.1 Útvonalszámítás fedettség és úthálózat alapján	7
1.1.2 Útvonalszámítás domborzat és úthálózat alapján	11
1.1.3 Útvonalszámítás fedettség, domborzat és úthálózat alapján	12
1.1.4 Terepi útvonaltervezési algoritmusok összehasonlítása	16
1.1.5 Terepi útvonaltervezés felhasználása	21
1.2 Térképolvasás és a térképi megjelenítés közti összefüggések.....	21
1.2.1 A terepi térképhasználat.....	22
1.2.2 Kognitív képességek a térképolvasásban	23
1.2.2.1 Kognitív terhelés	23
1.2.2.2 Sémák használata	24
1.2.2.3 A térképi tartalom megfigyelése	24
1.2.3 Térképolvasási képességeket befolyásoló tényezők	25
1.2.4 Domborzatolvasás folyamata és befolyásoló tényezői	26
2. Alapadatok és módszerek.....	29
2.1 Térképek szerkesztése	29
2.2 Legkisebb költségű útvonal számítása és menetidőbecslés szoftverrel.....	32
2.3 Felhasználói tesztek	36
2.4 Tesztek elemzése	39
3. Eredmények.....	40
3.1. Térképolvasási jártasság mérése.....	42
3.2. Menetidőbecslés eredményei.....	42
4. Eredmények értékelése.....	46
4.1 Feladatsor értékelése.....	46
4.2. Útvonalak és menetidők értékelése	47

5. Összefoglalás.....	49
6. Hivatkozások.....	51
7. Ábrajegyzék	54

1. Bevezetés

A hétköznapi nyelvben használt "terepi körülmények" kifejezés az úthálózat hiányát vagy gyér jellegét jelentik. Ilyen körülmények között is szükség lehet a helyváltoztatásra, és annak gyorsasága, és idejének pontos becslése létfontosságú bizonyos helyzetekben. A terepi navigáció során hozott döntések komplexitása miatt eddig még nem sikerült megfelelően modellezni az emberi tájékozódást.

Tudományos diákköri kutatásom során terepi körülmények között a legkisebb költségű útvonal kiszámítására kerestem módszereket (Sárközy, 2022). Diplomamunkámat ezen dolgozat eredményeire építettem, azok kiegészítéseként jött létre.

Kutatásom során a szoftveresen kalkulált útvonalak helyességét, illetve a bemeneti paraméterek pontosítását felhasználói tesztek segítségével végeztem. Ezen tesztek során terepi térkép használatban jártas alanyok, többnyire tájfutó versenyzők adták meg grafikusan az általuk legkisebb időköltségű útvonalat. Az útvonalak berajzolása kizárólag tájfutótérképen történt, melynek nagy méretaránya és speciális jelkulcsa van, ahol a fedettség haladási sebesség alapján van osztályozva. A legkisebb költségű útvonal és a hozzájuk tartozó menetidő kiszámítására három módszert alkalmaztam. Ez a három módszer a terep különböző elemeit veszi figyelembe, így a térképi megjelenítésük is eltérő, azonban ugyanazt a helyszínt ábrázolják. Nem vizsgáltam ezen feladat során, hogy a tesztelésben résztvevő alanyok milyen menetidőt társítanak az általuk megadott útvonalhoz.

A diplomamunkámban megvalósuló kutatás fő kérdése, hogy lehet-e számszerűen vizsgálni, mely térképi megjelenítés segíti legjobban a térképolvasót a menetidőbecslésben. Vizsgálom, hogy az egyes térképrajzi elemeknek milyen szerepe van a térkép megértésében, valamint, hogy mely elemek szükségesek a terepi térképhasználathoz. A térképrajzi objektumok eltérő hangsúlyú megjelenítésének hatását is vizsgáltam egy online teszt segítségével. Ezen feladatsorban a térképi vizualizációkat a TDK során használt modellek alapján, az ott szerepet játszó térképrajzi kategóriák szerint terveztem, így összevethető volt a számítógépes modellekkel a kapott kérdőíves eredmény. A teszt kiértékelése során vizsgáltam, hogy a különböző demográfiai és jártassági mutatók mennyire szignifikánsan befolyásolják ezt a becslést.

1.1 Legkisebb költségű útvonal és menetidő számításának módszerei szoftverrel

A térbeli helyváltoztatás elemzési módszerei általában feltételezik, hogy minden ember azonos sebességgel halad, valamint az utazási körülmények - mint az időjárás vagy a napszak - állandóságát. Emiatt csak átlagos esetek modellezhetők. Az elemzéseket befolyásolja a használt metódus is: utazási modellek során általában vektoros úthálózatot elemeznek, amely komplex szabályrendszert képes kezelni, de nem veszi figyelembe az útról letérve való közlekedés lehetőségét, holott sokszor szükséges utakról letérve haladni a közlekedési infrastruktúra eléréséhez (Delamater és mtsai, 2012). Ezzel szemben a raszter alapú elemzés során minden egyes cellához társítható utazási sebesség. Ez lehetővé teszi az útvonaltervezést utakon és azokról letérve egyaránt, így gyér úthálózatú területeken ez tekinthető preferált módszernek. Ekkor a terület mindegy egyes pontján vezethet az útvonal. Így nem elég utakat figyelembe venni a leggyorsabb útvonal számításához, hanem meg kell adni a térkép minden pontjának a költségét, azaz az adott ponton való áthaladás idejét a többi ponthoz viszonyítva. Ezeket a költségeket egy raszteres rétegeken – egy költséggraszteren – tárolva kiszámolható két tetszőleges pont közötti leggyorsabb útvonal.

A raszter alapú útvonaltervezés számításigénye nagy, ami a módszer elterjedését korlátozza. Alkalmasak sok változó kezelésére, azaz számos mennyiségi vagy minőségi térbeli jellemző egyidejű figyelembevételére, amelyek a felszín fizikai tulajdonságait írják le. Azonban nagy felbontású térképeken vagy nagy távolságokban tervezve jelenleg nehéz modellt alkotni. Korábbi kutatásom során megvizsgáltam, hogy milyen modellekkel lehet jó közelítéssel optimális útvonalat tervezni az úthálózat megléte és minősége mellett más változót is figyelembe véve. A kutatás célja az emberi tájékozódási terepi körülmények között történő folyamatának vizsgálata volt a térképen ábrázolható terepi elemek függvényében. Ezek közé tartozik a domborzat, a vízrajz, a növényzeti és épített fedettség, valamint az úthálózat.

A kutatás részeként emberi alanyok önkéntes részvételével történt adatgyűjtés, ami az útvonalra és részben annak időköltségére is kiterjedt. A már létező útvonaltervező elvek és módszerek összehasonlító vizsgálatával megállapítottam, hogy melyik és milyen paraméterek felhasználásával közelíti meg legjobban a terepen mért és a tesztalanyok által produkált eredményeket. Az így kapott adatok segítségével a cél a létező algoritmusok összehasonlítása és azok erősségeinek és hiányosságainak értékelése volt. A következő fejezetekben ezen módszereket fogom áttekinteni.

A bemutatott három algoritmust azonos mintaterületen teszteltem, a Vértesben található Kápolnapusztai térségében. Az felhasználói adatok gyűjtése is ezen a területen történt, a szoftveres útvonalakkal megegyező kezdő- és végpontokat használva. Ez lehetővé tette az eredmények összehasonlítását. Az elemzésekhez a területről rendelkezésre állt közel naprakész tájfutótérkép (Sóti & al, 2021) valamint Lidar felvétel is, ami alapján a terület domborzatmodellje készült, 1x1 m felbontással.

1.1.1 Útvonalszámítás fedettség és úthálózat alapján

Fischer és Lassa kutatásukban nyílt forráskódú programokat és szabad felhasználású adatokat használva, az egészségügyi ellátásra szoruló lakosok terepen való mozgására optimalizálták az útvonaltervezést, elsősorban a vidéki Indonézia körülményeire fókuszálva (Fisher & Lassa, 2017).

Módszerük interaktív modulok segítségével támogatja a helyi tudás felhasználását és a felhasználói beavatkozást a tervezés folyamatába. Ehhez egy új módszert alkottak meg, melyet a vidéki Indonézia egy területére fejlesztették a kismamák halálozási arányának csökkentésére. Céljuk volt figyelembe venni a tervezés során az utazási időnek több változótól való függését, így a rendelkezésre álló (privát) járművek számát és az egészségügyi állapot hatását a mobilitásra, valamint a közlekedési és egészségügyi szolgáltatások elérhetőségének időbeli változását.

A nyílt forráskódú szoftverek és az ingyenesen elérhető adatok (műholdképek, magassági adatok) elterjedése lehetővé tette a kvantitatív elemzés kombinálását a kvalitatív helyi tudással.

Fisher és Lassa a SAGA GIS szoftveren belül fejlesztett egy eszközt, amely az elemzéshez szükséges folyamatokat egyszerűbbé teszi, de az utazási sebességre vonatkozó paramétereket a felhasználó adhatja meg, valamint diszkrét tényezőket – például akadályokat, új utakat – is hozzá lehet adni az elemzéshez. A modellezési paraméterek beállítását követően egyszerű lefuttatni az elemzést, amely gyorsan több változó szerinti eredményt ad a lehetséges helyzetekről.

Két fő részre bontható az elemzés: a felszínfedettségi raszter megalkotására és az utazási idő számítására. A két folyamat elkülönítésével a különböző helyzetek modellezéséhez nem szükséges a fedettséget újra számítani, ezzel lecsökken az elemzés ideje (Fisher & Lassa, 2017).

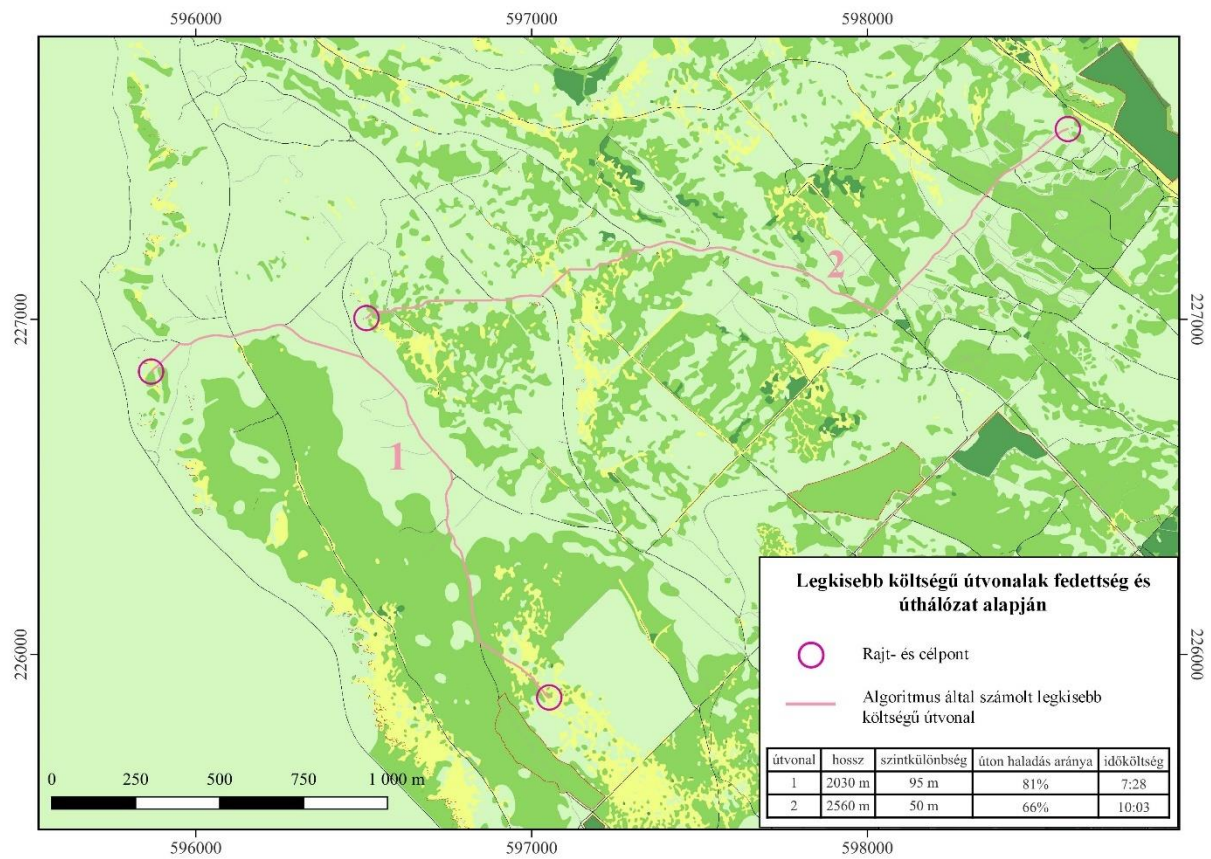
A felszínfedettségi raszter növényzetre, utakra és domborzati viszonyokra vonatkozó adatokat használ, melyek mind nyílt forrásokból származtak. A domborzati adatokból levezetve a

vízhálózatot határozták meg a kutatáshoz, amely az utazást nehezítő tényezőként szerepelt. Egy raster rácsot hoztak létre, melyben a műholdképek osztályozásával tizenkettő felszíntípust különítettek el, melyekhez meghatározott utazási sebesség tartozik. A következő lépésben a felszínborítottsági rácsból számították ki a vektoros adatként megadott célpontoktól való távolságot. Ehhez szükség volt az egyes felszíntípusokhoz társított utazási sebességeket tartalmazó táblázatra (1. táblázat, Fisher&Lassa (2017) nyomán oszlopai), így minden cella a célpontba utazáshoz szükséges idő szerinti értéket kapott (Fisher & Lassa, 2017).

Az előbbiekben leírt módszer során lehetséges a felszínborítottság szerkesztése, az egyes felszíntípusokhoz tartozó sebesség megváltoztatása és a célpont megadása, így könnyen személyre szabható az elemzés. A helyi ismeretek felhasználása tovább növelheti a modell pontosságát.

A módszer során lehetséges az egyes kategóriákba tartozó adatokat megadni és azokhoz tetszőleges költségértékeket rendelni egy táblázat segítségével, így az algoritmust a középhegységi mintaterületre optimalizált paraméterekkel is lefuttattam. Ennek során a tájfutótérképeken való útvonaltervezéshez publikált (Albert&Sárközy, 2021) kategóriák egy részét és a hozzájuk tartozó időkötségeket használtam. Mivel az elemzésben a kategóriák száma és típusa (vektoros, vonalas input adatok és egy raster felszín) nem változtatható, a kategóriákat szükséges volt részben összevonni, törekedve arra, hogy a fedettségi típusokhoz meghatározott költségértékek minél kevésbé változzanak (1. táblázat).

Az így létrejött kategóriák alapján kiszámítottam a legkisebb költségű útvonalakat és a menetidőt a két kiválasztott pontpár között, melyeket az 1. ábra mutat be. Az algoritmus által számított útvonal jelentős része utakon halad, a domborzati viszonyokat nem veszi figyelembe.



1. ábra: Legkisebb időkölségű útvonalak fedettség és úthálózat alapján számolva; az útvonalak hossza és szintkülönbsége, becsült időkölsége és az úton való haladás aránya (saját ábra)

1. táblázat: Kategóriák és hozzá tartozó időkölségek Fisher & Lassa (2017) és Albert & Sárközy (2021) nyomán történő elemzéshez

Fisher&Lassa (2017) nyomán				Albert&Sárközy (2021) nyomán		
azonosító	felszíntípus	utazási sebesség (km/h)	utazási idő (s)	ISOM2017-2 elem	ISOM2017-2 azonosító	időkölség tájfutás alapján (s)
1	erdő	1	180	Jól futható erdő	405	30
				Durva nyílt terület, durva nyílt terület elszórt fákkal	403, 404	
2	mező	2	90	Nyílt terület, nyílt terület elszórt fákkal	401, 401.001, 401.002, 402	20
3	csupasz, köves	3	60	Lassan futható erdő	406, 407, 407.001	40
				Nehezen futható erdő	408, 409, 409.001	
4	bozótos	0,75	240	Leküzdhető növényzet	410	75
101	vízfolyás 1. kategória	2	90	a területen nem meghatározó objektum		
102	vízfolyás 2. kategória	2	90			
103	vízfolyás 3. kategória	2	90			
104	vízfolyás 4. kategória	2	90			
105	vízfolyás 5. kategória	0	99999			
201	országos főút/autópálya	50	3	Széles út, kociút, gyalogút	502.001, 502.002, 503, 504, 505	10
202	másodrendű főút	25	7	Ösvény	506	15
203	mellékút/földút	10	18	Felhagyott ösvény, keskeny nyiladék vagy egyenes nyomvonal	507, 508	20
az elemzésben nem megjelenő objektumok				Áthatolhatatlan kerítés, Áthatolhatatlan sziklafal	518, 201.002	1000
				Kerítés	516	40
				Romos kerítés	517	30
				Sziklafal	202.001	70

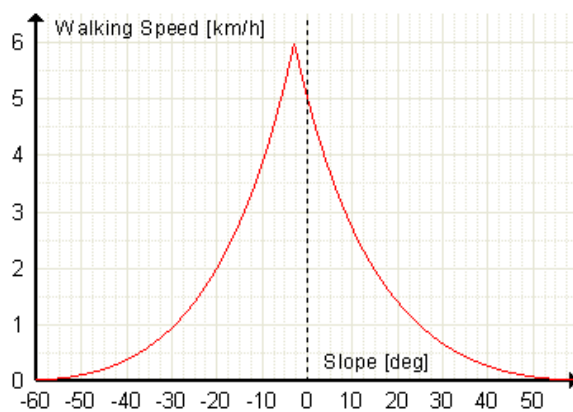
1.1.2 Útvonalszámítás domborzat és úthálózat alapján

Az egészségügyi ellátásra kidolgozott algoritmus hiányosságaként említett domborzati viszonyok figyelembevételére több módszer is létezik, amelyek közül az egyik első volt Tobler (1993) gyaloglási sebességet számító függvénye:

$$v = 6 \exp(-3,5 * \text{abs}(s + 0,05))$$

ahol v a keresett gyaloglási sebesség km/h-ban megadva, s pedig a lejtőmeredekség értéke radiánban.

Ezen függvény szerint elsősorban a terep meredeksége határozza meg a maximálisan elérhető gyaloglósebességet. Azonban a maximumát ez a függvény enyhén lejtő ($\sim 3^\circ$) terepen és nem

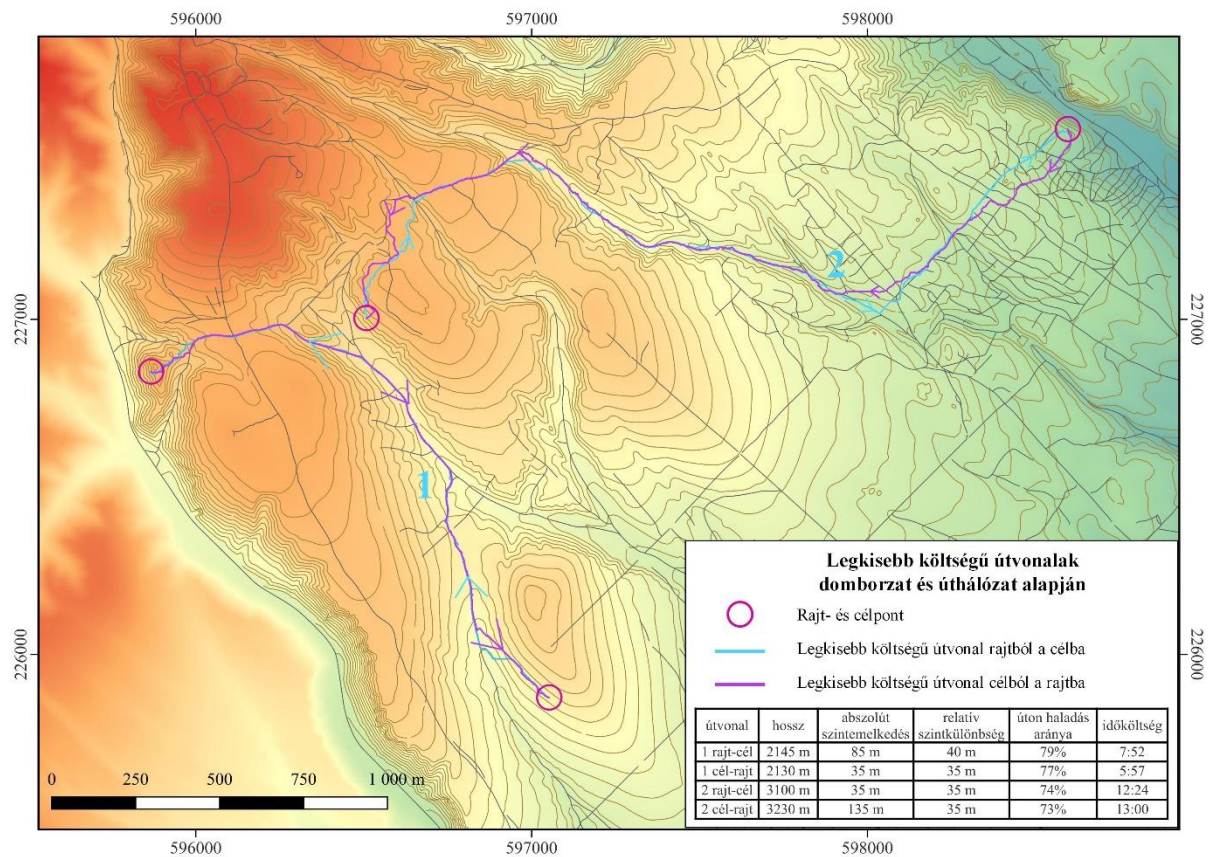


síkon éri el (2. ábra), így a lejtőmeredekségre anizotróp felületként lehet tekinteni, ahol az azonos meredekséghez tartozó sebesség lefele haladva magasabb, mint felfele gyalogolva. Ennek következtében az időkölsége is eltérő az adott szakasznak az ellentétes irányba haladva (Tobler, 1993).

2. ábra: Tobler függvénye: gyaloglási sebesség (km/h) a lejtőmeredekség ($^\circ$) függvényében (Tobler, 1993)

A fenti függvény értékei úton történő gyaloglásra vonatkoznak, utakról letérve a sebesség 0,6-szorosára, míg lóháton haladva 1,25-szeresére változik az eredeti értéknek Tobler szerint.

Fontos elkülöníteni az úton és arról letérve haladást megadó függvényeket. Mivel a vizsgált terület domborzatmodellje és úthálózata egyaránt rendelkezésemre állt, így a két függvényt kombinálva tudtam alkalmazni. A terület domborzatmodellje alapján a kiválasztott kezdő- és célpontok között kiszámítottam a legkisebb költségű útvonalat és a becsült menetidőt Tobler gyaloglási sebességet számító algoritmusai alapján. A számított útvonalak a 3. ábrán láthatóak.



3. ábra: Domborzat és úthálózat alapján tervezett irányfüggő modellezés által adott útvonalak a kiválasztott átmenetekre, azok hossza és szintkülönbség-adatai, becsült időkölsége és az úton való haladás aránya (saját ábra)

1.1.3 Útvonalszámítás fedettség, domborzat és úthálózat alapján

A tájfutásban való útvonaltervezés során a domborzati tényezők, a növényzeti fedettség, az úthálózat és az áthatolhatatlan terepi elemek kombinálására van szükség, mivel a versenyzők az útról letérve, terepen futva jutnak el a megadott ellenőrző pontokhoz (Albert & Sárközy, 2021). Az erre alkalmas költséggraszter vektoros digitális térképből és domborzatmodellből hozható létre, és az elsőként bemutatott egészségügyi ellátáshoz használt útvonaltervezéshez hasonlóan minden cellának van egy költségértéke, amely a rajta való áthaladás időkölségét tükrözi.

A módszer kidolgozására irányuló vizsgálatban a költségfelszín megalkotásához egy választott mintaterület tájfutótérképe szolgált alapul (Albert & Sárközy, 2021). A térkép elemcsoportjaiból létrejött egy-egy domborzati elemeket tartalmazó, és egy fedettségi és síkrajzi elemeket tartalmazó költségfelszín. Ezen felszínekhez a vektorosan tárolt térképi

elemek raszterré lettek alakítva, és minden cella a rajta való áthaladás sebessége alapján kapott költségértéket.

A haladási sebességet befolyásoló fedettségi és síkrajzi elemek költségét a 2. táblázat mutatja be. Ennek alapjául a tájfutó térképek nemzetközi szabványa szolgált (IOF, 2019), amely számos jelkulcsi elemhez konkrét haladási sebességet rendel. A terepen való haladás gyorsasága alapján az egyes elemek 0,1 és 1 közötti értéket kaptak, míg az áthatolhatatlan objektumok értéke 10 lett. A raszteressé alakított adatmodellben az utak is fedettségi elemek közé kerültek.

2. táblázat: Vonalas és felületi objektumok súlya a költségfelszín számolásában, az ISOM 2017-2 (IOF, 2019) jelkulcs alapján (Albert & Sárközy, 2021 alapján)

Típus	Térképi elem neve (ISOM 2017-2)	Súly
Vonalas	Sziklafal	0.7
	Áthatolható vízfolyás, keskeny mocsár	0.3
	Sövény	0.4
	Széles út, kociút, gyalogút	0.1
	Ösvény	0.15
	Felhagyott ösvény	0.2
	Keskeny nyiladék vagy egyenes nyomvonal	0.2
	Vasútvonal	0.15
Felületi	Nyílt terület, nyílt terület elszórt fákkal	0.2
	Durva nyílt terület, durva nyílt terület elszórt fákkal (bokrokkal; bozótokkal)	0.25 (0.45, 0.6)
	Jól futható erdő	0.3
	Lassan futható erdő	0.35
	Nehezen futható erdő	0.4 (0.45)
	Leküzdhető növényzet	0.75
	Burkolt terület	0.1
Áthatolhatatlan	Áthatolhatatlan kerítés	10
	Áthatolhatatlan sziklafal	10
	Zárt terület	10
	Épület	10

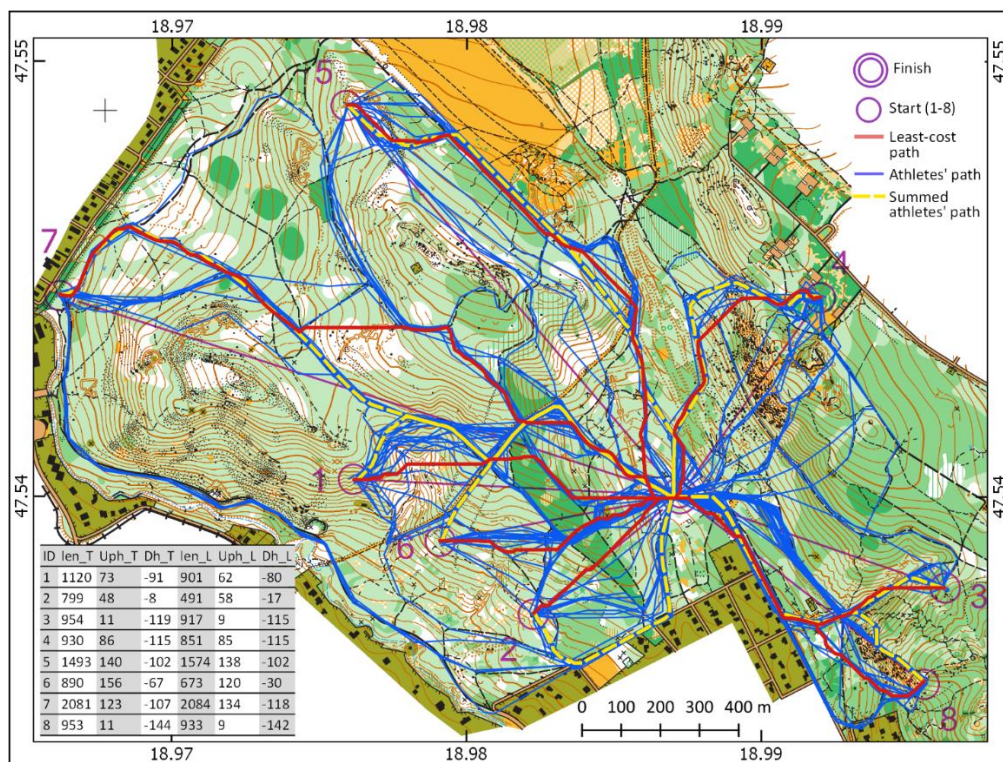
A terület domborzata is befolyásolja a haladási sebességet. A következő morfometriai tényezők lettek meghatározva, mint a terepen való haladás sebességére jelentős hatást gyakorló elemek: az érdességi index (TRI), a csapásirányú görbület (PC) és a lejtőmeredekség (SLO). Ezen paraméterek normalizálása után került kiszámolásra a domborzati költségfelszín a korábban publikált képlet szerint:

$$\text{domborzat költsége} = TRI \times \sqrt{\text{abs}(PC) \times SLO}$$

A domborzati költségfelszín a fedettség és az utak kombinált költségével összhangban 0,1 és 1 közé lett normalizálva.

A domborzati és a fedettségi elemeket tartalmazó rétegeken a költségfelszín értékeinek azonos eloszlása érdekében a domborzati költségfelszín egy konstans szorzóval lett beszorozva. Az így létrejövő költségfelszínek megfelelő súlyú kombinálása adta azt a költségraszter, mely a legkisebb költségű útvonal tervezéséhez szolgált alapul. Felhasználói tesztek alapján legpontosabb eredményt akkor adott a modell, ha az összesített költségfelszínben a domborzati elemek 60%-os, a felületi elemek pedig 40%-os súlyt kaptak.

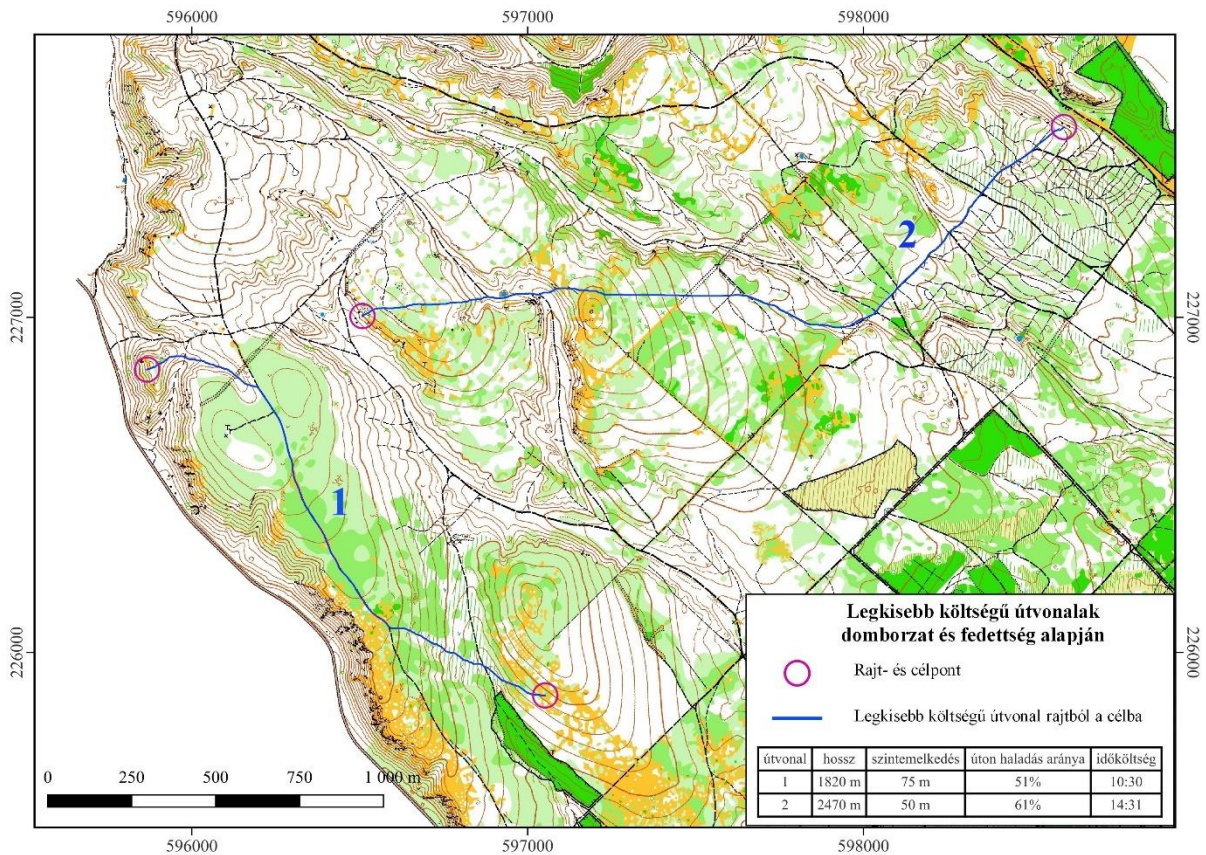
A felhasználói teszt útvonalaiból készült egy hő térkép, majd azon a legnépszerűbb útvonalak ki lettek számolva. A kutatás eredményeit a 4. ábra szemlélteti (Albert & Sárközy, 2021).



4. ábra: Felhasználói teszt során rajzolt útvonalak (kék), a felhasználók körében legnépszerűbb útvonal (sárga) és a modell által alkotott legkisebb költségű útvonal (piros). A táblázatban az egyes útvonalak hossza és az útvonal menti szintkülönbség található (Albert & Sárközy, 2021)

Az egyes útvonalak időkölségének becsléséhez a legkisebb költségű útvonal mentén számolt költség minden egysége 1,1-1,8 másodperc közötti értéknek felelt meg.

A fentebb bemutatott módszer alapján elvégeztem az elemzést a vértesi mintaterületre is, a kiválasztott kezdő- és végpontok között. A számított legkisebb költségű útvonalak és menetidők az 5. ábrán láthatóak.



5. ábra: Legkisebb költségű útvonalak fedettség, úthálózat és domborzat alapján számítva, az útvonalak hossza, szintemelkedése, becsült időkölsége és az úton való haladás aránya

1.1.4 Terepi útvonaltervezési algoritmusok összehasonlítása

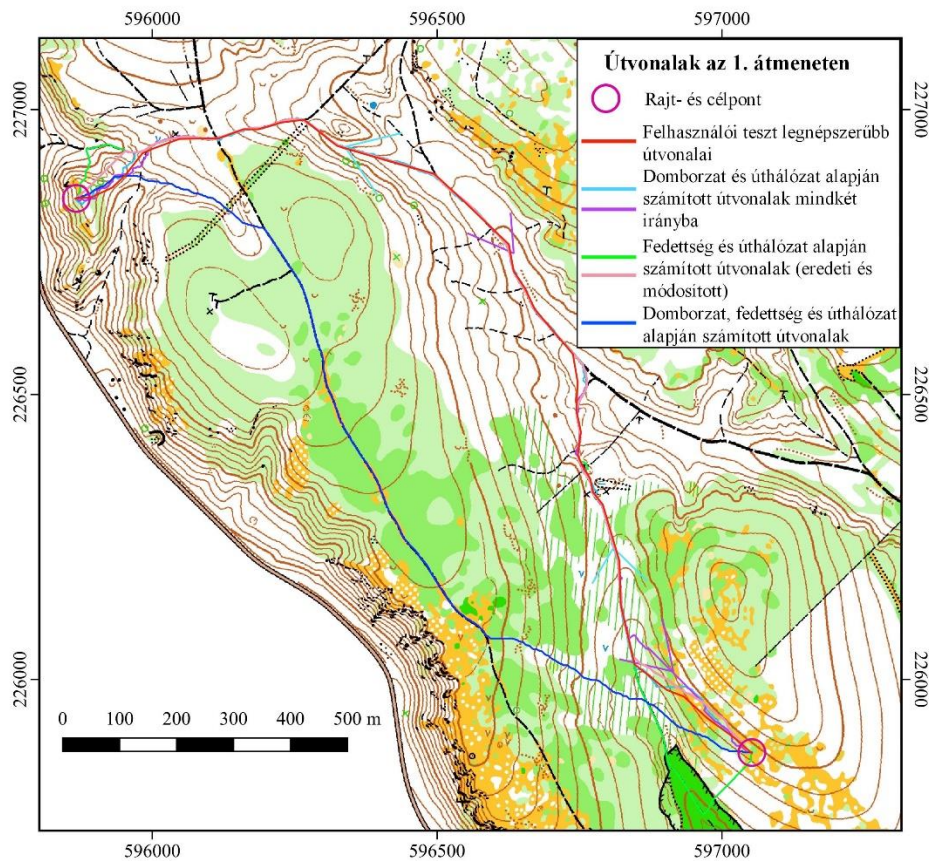
A kiválasztott kezdő- és célpontpárookra a korábban bemutatott útvonaltervezési algoritmusokat futtattam le, és azok eredményeit hasonlítottam össze felhasználói tesztekkel.

A korábbi fejezetek alapján látható, hogy a felsorolt kutatásoknak gyakorlati hasznosíthatósága is számottevő, de mivel mindegyik egy-egy speciális körülményre fókuszál, és más típusú adatokat használ, nehéz összehasonlítani őket. Fisher & Lassa (2017) módszere a fedettség, a vízrajz és az úthálózat alapján keresi a legkisebb költségű útvonalat, kis térbeli felbontású adatokkal dolgoznak nagy területen. Tobler gyaloglási függvénye (1993) a lejtőmeredekség figyelembevételével eltérő sebességet ad meg felfele és lefele haladás esetére, így a legkisebb költségű útvonal függ a haladás iránytól is. A tájfutótérképeken való útvonaltervezés figyelembe veszi a fedettséget, úthálózatot és a domborzati tényezőket is, azonban nincs tekintettel a haladás irányára (Albert & Sárközy, 2021).

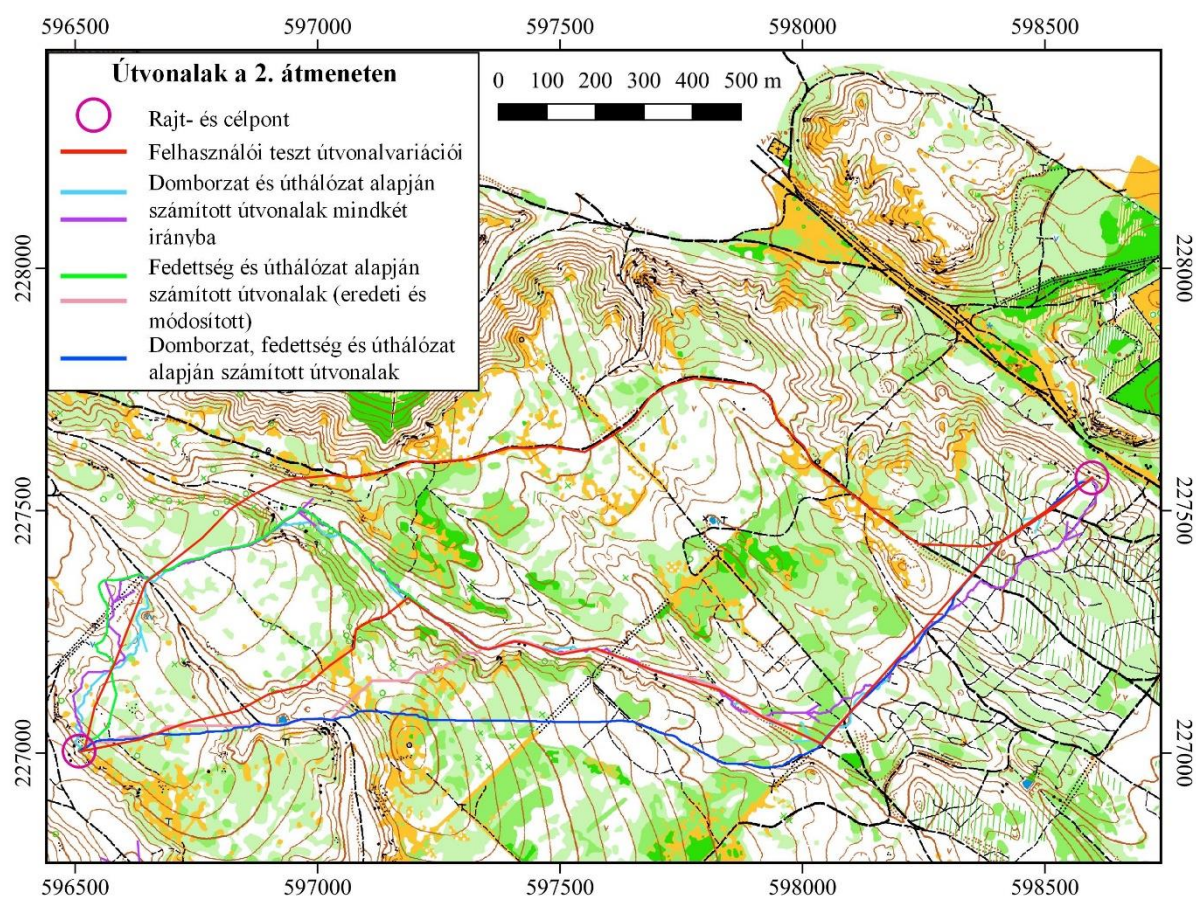
Összehasonlítottam az egyes útvonalak hosszát, szintkülönbségét és becsült időkölségét, megkerestem, hogy a modellek által alkotott útvonalak hányad része egyezik meg

megközelítőleg a tesztelés útvonalaival. Megközelítőleg egyezőnek tekintetem azokat az útvonalakat, ahol a közöttük lévő távolság legfeljebb 30 méter, kiszámoltam, hogy a teljes útvonal hosszának hány százaléka esik a 30 méteren belüli tartományba.

A három modell által adott legkisebb költségű útvonalakat, valamint a tesztelés során a legnépszerűbb útvonal(ak)at a 6. és 7. ábra mutatja be a kiválasztott két átmenetre. Az egyes útvonalak hosszát és szintkülönbségét az 3. táblázat foglalja össze.



6. ábra: Útvonalak az 1. átmeneten, tájfutótérképen megjelenítve (saját ábra)



7. ábra: Útvonalak a 2. átmeneten, tájfutótérképen megjelenítve (saját ábra)

3. táblázat: A két átmenet legkisebb költségű és legnépszerűbb útvonalainak adatai

	útvonal- hossz (m)	szintemelkedés (m)	út hossza (m)	út aránya a teljes útvonal- hosszhoz képest	útvonal hossza a légvonalhoz képest	legnépszerűbb útvonal 30 m körzetében való haladás aránya	időköltség (perc:másod- perc)
1. átmenet	1535 (légvonal)	40 (abszolút szintkülönbség)					
legnépszerűbb	1925	80	1435	0,75	1,25	1	9:30
Út+fedettség	2030	95	1640	0,81	1,32	1	7:28
Domborzat+út rajt>cél	2145	85	1685	0,79	1,40	1	7:52
Domborzat+út cél>rajt	2130	35	1650	0,77	1,39	0,97	5:57
Domborzat+út+ fedettség	1820	75	935	0,51	1,19	0,13	10:30
2. átmenet	2160 (légvonal)	-100 (abszolút szintkülönbség)					
legnépszerűbb A	2650	35	1785	0,67	1,23	1	13:05
legnépszerűbb B	2505	35	1651	0,66	1,16	1	14:56
Út+fedettség	2550	50	1800	0,71	1,18	0,79 (B)	10:03
Domborzat+út rajt>cél	3100	35	2295	0,74	1,44	0,82 (B)	12:24
Domborzat+út cél>rajt	3230	135	2365	0,73	1,50	0,59 (B)	13:00
Domborzat+út+ fedettség	2470	50	1495	0,61	1,14	0,47 (B)	14:31

Összességében megállapítható, hogy legrövidebb útvonalat, és a legkevesebb úton haladást mindkét esetben a domborzat, fedettség és úthálózat kombinálásával számított útvonal adta. A leghosszabb útvonalak mindkét átmeneten a domborzat és úthálózat alapján számított útvonalak lettek, úton is ez az algoritmus vezet a legtöbbet. Ez utóbbi algoritmus közelítette mindkét esetben a legjobban a felhasználói teszt népszerű útvonalainak szintkülönbségeit. A terepi tesztelés időkölségeit egyedül a domborzat, úthálózat és fedettség együttes elemzésével kapott útvonal közelíti jól, a többi algoritmus esetén jelentős eltérés adódott.

Fisher&Lassa (2017) algoritmusának erőssége az újraosztályozás és az időkölségek megadásának lehetősége, így a költségraszter a felhasználó jelentős részben a saját igényeire szabhatja. További előnye a módszernek, hogy a térinformatikai környezetben egy

bővítményen belül több lépés is lezajlik, így az elemzés más módszerekhez képest könnyen és gyorsan végrehajtható. A módszer erőssége, hogy nyílt forráskódú szoftvert és akár ingyenesen elérhető adatokat is tud használni. A modell egy továbbfejlesztése lehetséges lenne a domborzati viszonyok figyelembevételével, ami különösen olyan területeken lenne fontos, ahol jelentős szintkülönbségek vannak, melyek az utazási sebességet befolyásolják.

A domborzati tényezők alapján számolt útvonalak megkülönböztetik az úton és útról letérő haladást, valamint eltérő sebességgel számolnak azonos lejtőszögnél történő felfele és lefele haladásra. Így eltérő eredményt kapunk két pont között ellentétes irányban tervezve. Azonban a felszínborítottsági paramétereket a számítás során nem veszi figyelembe az algoritmus, emiatt nem ad minden körülmény között megbízható választ a legkisebb költségű útvonal problémájára valós terepi körülmények között. Érdemes megjegyezni, hogy nyílt vagy más közel homogén fedettségű területen előfordulhat, hogy a domborzat és az úthálózat az egyedüli tényezők, melyek a haladást jelentősen befolyásolják, ekkor a Tobler függvényei felhasználásával tervezett útvonalak jó megoldást kínálhatnak. A módszer által számolt útvonalak többet vezetnek úton, mint a legnépszerűbb útvonalak, így az utakon és azokról letérve való haladás arányát is szükséges lehet pontosítani.

A tájfutótérképeken való útvonaltervezésre kidolgozott algoritmus erőssége, hogy nagy térbeli felbontású adatokra és terepi körülményekre van optimalizálva, egyesíti a két korábbi módszer során alkalmazott fedettségi és úthálózati tényezőket, valamint a domborzat befolyásoló hatását. A függvény jelentősen alacsonyabb költséggel számol a terepen való haladásra, ami szembevetve a többi algoritmushoz képest. Tájfutó szempontból ez természetes és a modellezett útvonalak egyaránt kicsi táv és reliefköltsége alapján ez tekinthető a legjobb modellnek, viszont egy átlagos terepen közlekedő (nem tájfutó) ember szempontjai nincsenek beépítve jelenleg a modellbe; a pontosítás a terepi haladás további kutatásával lehetséges. A modell erőssége, hogy a valós haladásra épülő tesztek időkölségét jól közelítik a modell által számolt utazási idők. További előrelépést igényel azonban, hogy modellezés során a domborzati paraméterekbe szükséges lenne Tobler függvényeihez hasonlóan az irányfüggőséget belevinni.

Fontos továbblépési irány a kutatási témában az útvonaltervezés automatizációja, azaz hogy nyers adatokból minél kevesebb felhasználói beavatkozással megtervezhető legyen a legkisebb időkölségű útvonal. Ezen az úton legelőrébb az egészségügyi ellátásra tervezett algoritmus tart, ennek mintájára lehetséges a terepi útvonaltervezés lépéseit is egy bővítményen belül kezelni, majd akár azt egy applikációba, vagy GIS bővítménybe ültetni.

1.1.5 Terepi útvonaltervezés felhasználása

Szintén fejlesztési irány a kutatás során a felhasználói igényekhez való alkalmazkodás, azaz azoknak a paramétereknek az azonosítása, melyeknek a megfelelő súlyozásával különböző terepi feladatokhoz található meg az ideális útvonal. Ennek tervezési módszere eltérő a rendelkezésre álló alapanyagoktól függően, és eltérőek lehetnek a különböző terepi mozgást megkövetelő szakmáknak a terepi változók súlyából fakadó útvonaltervezési szempontjai.

Az erdészek, vadászok, természetvédelmi őrök munkájuk során letérnek az utakról, illetve bármilyen terepi mentés során is fontos a leggyorsabb útvonal kiszámítása, ahol sokszor szükséges lehet letérni az utakról. Fontos szerepe van a katonai csapatmozgások során is az ideális útvonal megtalálásának. Szabadidős tevékenységek körében is egyre több olyan program van, amelyek terepen való haladást kívánnak meg: ilyen sportág a tájfutás, de említhető számos teljesítménytúra és a különböző geocaching kihívások is.

A tájfutásban a két pont közötti leggyorsabb útvonal többnyire terepen halad, így a versenyző számára kihívást jelent a különböző terepi viszonyok haladási sebességre való befolyásának a felmérése és a legjobb útvonal kiválasztása. Míg azonban a tájfutó ezeket az útvonalakat a tanult képességei alapján választja ki, az útvonaltervező program számszerűsített változókkal dolgozik. Ugyanez a döntési folyamat játszódik le más terepi munkát igénylő feladatok esetén is. Mivel ezek némelyike (pl. katasztrófavédelem) nagy felelősséget és gyors döntéshozást kíván, véleményem szerint nagy igény van a terepi viszonyok számszerűsítésére és az útvonaltervezés automatizálására.

A terepi haladást befolyásoló tényezők megismerésére készülhetnek különböző elméleti tesztek is, ahol a kísérletben résztvevő alanyok döntései vizsgálhatóak. Ezen kísérletek során azonban a térkép megjelenése jelentős hatással lehet a válaszadásra, ezért szükséges megismerni a térképolvasás folyamatát és az azt befolyásoló tényezőket.

1.2 Térképolvasás és a térképi megjelenítés közti összefüggések

Egy térkép szerkesztésekor kulcsfontosságú az adatok ábrázolásának a módja, a térkép elsődleges célja az olvasó számára a lehető legérthetőbb módon átadni a térkép jelentését. A megjelenített információkat a térképi ábrázolás és térbeli megjelenésük közötti kapcsolat alapján az olvasónak újjá kell építenie az agyában (Petchenik, 1977). Különböző térképrajzi kategóriák, például a domborzat vagy az úthálózat eltérő módokon jelenhetnek meg egy térképen.

A térképjeleknek olyan tulajdonságokkal kell rendelkezniük, hogy az olvasó képes legyen észrevenni és egymástól megkülönböztetni őket. Ezt követi a térképjelek értelmezése, ami már tanult folyamat (Keates, 1982). A térképolvasás folyamatának megértésében az első lépés a térképész által ábrázolt mintázatok, azaz a jelkészlet és annak hatásainak keresése, majd ezután az olvasó agyában lezajló kognitív folyamatok megismerése. A két folyamat közötti kapcsolat eredményezi a hatékony térképolvasást, azaz az egyes jelek jelentésének felismerését, ami keresési folyamatok gyors és pontos végrehajtását segíti (Bunch & Lloyd, 2000).

1.2.1 A terepi térképhasználat

A térbeli információk használatának három fő célja van: a tájékozódás, a mérés és a vizualizáció. Ezek különböző alfolyamatokra oszthatóak tovább, melyeket a 4. táblázat mutat be (Board, 1978).

TÁJÉKOZÓDÁS	MÉRÉS	VIZUALIZÁCIÓ
keresés	keresés	keresés
saját pozíció azonosítása	azonosítás	azonosítás
térkép tájolása	számlálás	leírás
ideális útvonal keresése a térképen	összehasonlítás	összehasonlítás/észrevétel
útmenti objektumok keresése	különbségkeresés	különbségkeresés
útmenti objektumok azonosítása	becslés	megkülönböztetés
célpont keresése	interpoláció	körülhatárolás
célpont azonosítása	mérés	ellenőrzés
ellenőrzés		generalizálás
		tetszés/kedvelés

4. táblázat: Térképolvasási feladatok (Board, 1978)

Jelen kutatásban az „ideális útvonal keresése a térképen” és „keresés, becslés” feladatokat vizsgálom részletesebben. E folyamat során az alany különböző szempontok szerint optimalizálhatja az útvonalat, lehet ez többek között a legrövidebb, a leggyorsabb, a legbiztonságosabb vagy a legkisebb szintkülönbséget tartalmazó útvonal (Board, 1978).

Shemyakin (1962) a fentiekkel összhangban három tényezőre leszűkítve adja meg a tájékozódásban elengedhetetlen képességek: útvonalválasztás, az útvonal követése és a célpont azonosítása. A navigációs feladatokhoz – melyeket többnyire nagyméretarányú térképek

segítségével kell végrehajtani – térbeli tájékozódási képességre van szükség. Japán hegyvezetők képzése során a gyakorlati térképhasználathoz három kognitív képességet határoztak meg: térképhez és tájolóhoz viszonyítás; térképjelek értelmezése; és tájékozódási feladatok megoldása, mely magába foglalja a korábban említett útvonalválasztási, útvonalkövetési és célpont azonosítási feladatokat (Murakoshi & Higashi, 2016).

Tájfutók esetében is hasonló képességek kulcsfontosságúak (Seiler, 1996):

- térképolvasás: a térkép és az ábrázolt objektumok értelmezése;
- jelkulcs ismerete;
- térkép-terep azonosítás: térképi elemek megfeleltetése a valóságban és a terepen látott objektumok azonosítása a térképen.

1.2.2 Kognitív képességek a térképolvasásban

A térkép hatékonyságának optimalizálásához elengedhetetlen a térképolvasási folyamatok megértése. A térképolvasási képesség nagyban függ az olvasó memóriájától és a kognitív képességeitől (Petchenik, 1977; Montello, 2002; Guzmán és mtsai, 2008). Muir (1985) a következő kompetenciákat határozta meg a nagyméretarányú térképek olvasásához szükségesként:

- tájékozódási képességek és mentális forgatás,
- távolság- és időbecslés,
- vonalas lépték alkalmazása,
- topográfiai elemek értelmezése,
- földrajzi nevek értelmezése,
- térképi jelek értelmezése,
- domborzat értelmezése.

1.2.2.1 Kognitív terhelés

A kognitív terhelés az a munkamennyiség, melyet az információk feldolgozása és használata igényel. Ezt befolyásolja az alany korábbi tapasztalata, az információk mennyisége és minősége és a feldolgozáshoz használt kognitív funkciók kombinációja. Amikor egy térképolvasási feladat kognitív terhelése magas, hosszú időt fog igénybe venni és akadályozott lesz a feladat végrehajtása. A térképészeknek ezért feladatuk olyan térképeket szerkeszteni, ahol az olvasó figyelmét a közölni kívánt információra irányítják, és kizárni az olyan információkat, melyek feldolgozására nincsen szükség (Bunch&Lloyd, 2006). Különösen igaz ez kevésbé gyakorlott

térképolvasókra, akiknek minél egyszerűbb térképekre van szükségük. Azonban ahogy a tapasztalat nő, bonyolultabb térképek kellenek ahhoz, hogy az olvasó tanulni tudjon belőlük. Ezt expertise reversal („szakértői megfordító”) hatásnak nevezzük (Kalyuga és mtsai 2003).

A kognitív terhelés elmélete szerint az emberi agynak véges munkamemóriája van, ami végtelen nagyságú hosszútávú memóriához kapcsolódik (Baddeley 1986). Későbbi kutatások három típusú kognitív terhelést határoztak meg:

- külső (idegen – extraneous),
- belső (lényeges – intrinsic) és
- generatív (értelmező – germane).

A belső kognitív terhelést a munkamemória feladatai, a tanulás határozza meg. Mivel a munkamemória viszonylag kevés új információt képes tárolni, csak nagyon egyszerű tanulási folyamatok végrehajtására alkalmas. A hosszú távú memória azonban képes különböző sémákkal segíteni a tanulási folyamatokat. A sémák automatikus, tudatalatti folyamatok, így csökkentik a munkamemória terhelését. Az információközlés módja és a tanuláshoz szükséges cselekedetek a külső kognitív terhelést adják. A generatív kognitív terhelés pedig a tanulás hatékonyságát növeli a sémák gyűjtésével és automatizálásával. A folyamat ismétlődő: a tanulás során a generatív kognitív terhelés növekedésével fejlődnek a sémák, a sémák növekedésével pedig a generatív kognitív terhelés (Paas, Renkl, and Sweller 2003).

1.2.2.2 Sémák használata

A sémák segítségével magyarázható, hogy gyakorlott térképolvasóknak miért jobb a térképi memóriájuk. Gilhooly (1988) kísérletek során azt találta, hogy szintvonalas térképek esetében gyakorlott térképolvasók jobban meg tudták jegyezni az ábrázolt elemeket. Domborzatábrázolás nélküli térképeken azonban nem teljesítettek jobban, mint a képzetlen alanyok. Verbális tesztek során kiderült, hogy a képzetek speciális sémákat használnak az ábrázolt információk megértésére, míg a képzetlenek több időt töltenek a névjaj olvasásával. A sémák sokszínűsége magyarázza, hogy gyakorlott térképolvasók miért tudják a térképi információkat gyorsabban és hatékonyabban feldolgozni.

1.2.2.3 A térképi tartalom megfigyelése

A szemmozgások vizsgálata során kiderült, hogy egyes térképrajzi elemek nem egyforma súllyal keltik fel az olvasó figyelmét.

Egy kísérlet során, ahol az alanyok mutatták, hogy a térkép mely részét tanulmányozzák éppen, azt tapasztalták, hogy képzett és képzetlen alanyok hasonló gyakorisággal mutattak a térkép egyes részeire, és hasonló hosszan időztek el egy-egy objektumon. Mindkét csoport szemét az alacsony fekvésű területek vonzották jobban (Gilhooly, 1988).

Szemmozgáskövető eszközökkel rögzített térképes keresési feladat vizsgálata során kiderült, hogy a szem fixációja a térképi elemek térbeli elhelyezése köré koncentrálódik. Ezt a referenciát főleg a vonalas elemek adják, így a térképolvasás során gyakrabban esik a tekintet az utakra és folyókra (Ooms és mtsai, 2014).

A fixációk gyakoriságát vizsgálva tapasztalták, hogy képzett térképolvasóknak magasabb számú fixációjuk van azonos idő alatt, és rövidebb ideig tart egy-egy fixációjuk. Emiatt több részletet, gyorsabban tudnak egy térképről feldolgozni. Az alanyok a keresési folyamat során létrehozta egy mentális térképet az agyukban, így a következő feladatot már gyorsabban tudták teljesíteni. Vizsgálták azt is, hogy a térkép mely részeire néznek az alanyok a térképen végrehajtott keresési feladat során. Tapasztalattól függetlenül a térkép felső része bizonyult a legnépszerűbbnek, majd lefele haladva tanulmányozták az alanyok a térképeket (Ooms és mtsai, 2012).

Ezek miatt is feltételezhető, hogy a különböző térképi megjelenítés, ami a vonalas elemeket vagy a domborzatot emeli ki, hatással lesz a térképolvasóra. Olyan tesztek készítésekor, amiben térképolvasási feladat van a térkép kivágatok tervezésekor a tesztkérdéssel vizsgált terület (pl. útvonal) centrális elhelyezése, e vizsgálatok miatt is indokolt.

1.2.3 Térképolvasási képességeket befolyásoló tényezők

Slocum és munkatársai (2001) kutatásuk során öt tényezőt határoztak meg, amelyek a térképolvasás során a kognitív képességeket befolyásolják: nem, tapasztalat, kulturális háttér, életkor és érzékszervi korlátozottság. Ezek közül a tapasztalat többféleképpen is értelmezhető, a következőkben bemutatott kutatások során is eltérő módokon lett definiálva. A fent felsorolt tényezők közül a kulturális háttérrel és az érzékszervi korlátozottságról a későbbiekben nem lesz szó.

Megfigyelhetőek nemek közötti különbségek a kognitív terheléshez kapcsolódóan: férfiak könnyebben dolgoznak fel vizuális ábrákat a munkamemóriájukban, így például mentális képek elforgatásában előnyük van. Nők jobban gyűjtenek térbeli adatokat a hosszútávú memóriájukba, így különböző objektumok térbeli vonatkozásait könnyebben felidézik

(Bunch&Lloyd, 2006). Más szerzők is egyetértenek, hogy a térképolvasó neme első sorban a tájékozódási feladatokban játszik szerepet és a térképjelek értelmezésére nincs jelentős hatással (Montello és mtsai, 2004, Gilhooly és mtsai, 1988).

Jelentős összefüggés mutatkozik a térképolvasási képességekkel, ha a tapasztalatot a földrajzi képzettség szintjével definiáljuk. A magasabb képzettséggel rendelkezők jobban tudják értelmezni a szintvonalakat és a térkép és terep egymásnak való megfeleltetésére irányuló feladatokban is jobb eredményeket értek el (Wakabayashi & Matsui, 2013).

Egy tájfutók körében végzett kísérlet során egy számítógépes kérdőív segítségével azt vizsgálták, hogy milyen perceptuális-kognitív képességek vannak hatással a tájfutó teljesítményre. A memóriát, az alap tájfutó képességeket és a térbeli tájékozódási képességeket mérték. A kísérlet eredményei azt mutatták, hogy a térkép-terep azonosítás és a térképolvasás pozitívan korreál a memóriával, erős kapcsolat van az alap tájfutó képességek között is, ezek hatással vannak a tájfutás során az eredményességre. Élsportholók gyorsabban oldották meg az alap tájfutó képességekre irányuló feladatokat és pontosabbak voltak a térkép-terep azonosítás során. Míg az alap tájfutó képességek jó indikátorai lehetnek a teljesítménynek, nincsen jelentős különbség az élsportholók és nem-elit tájfutók között a memória és a térbeli tájékozódási képességek tekintetében (Guzmán és mtsai, 2008).

1.2.4 Domborzatolvasás folyamata és befolyásoló tényezők

Topográfiai térképeken a domborzat szintvonalak segítségével van ábrázolva, ezeknek a hatékony értelmezése jelentős gyakorlatot igényel. A gyakorlott térképolvasók több felszíninformát jegyeznek meg a térképről, míg a kisebb tapasztalattal rendelkezők inkább a síkrajzi és növényzeti elemekre fókuszálnak (Montello és mtsai, 1994). Terepi tájékozódás során elengedhetetlen a domborzat értelmezése, azonban a szintvonalaknak nincsen konkrét terepi megjelenésük, így a felszíninformák vizualizációja során a szintvonalakat értelmezni kell (Murakoshi & Higashi, 2016). A domborzatolvasás során a színek segítik a felszíninformák megértését, más kognitív folyamatok zajlanak le az olvasó agyában, mintha egy szintvonalas térképet látna. Az egyéb topográfiai objektumok ábrázolása a térképolvasást ugyan hatékonyabbá teszi, de a domborzat értelmezését lassítják. A térképen ábrázolt objektumokat az olvasó képpé alakítja, ezt tudja később manipulálni, vagy összehasonlítani a valós tereppel (Eley, 1992).

A szintvonalas domborzatolvasás folyamata több lépésből áll:

- magas-alacsony megítélése;
- felszínformák megítélése;
- völgy-gerinc megítélése;
- összetett felszínformák alkotása.

Az ehhez legfontosabb kognitív képességek a kétdimenziós mintázatok felismerése és a szintvonalak háromdimenziós felszínformákká alakítása (Murakoshi & Higashi, 2016).

Egy domborzatolvasási kísérlet során a nem is fontos befolyásoló tényezőnek bizonyult: a férfi résztvevők 13%-kal jobban teljesítettek, mint a nők. Ez a domborzatolvasás mellett magyarázható a feladat összetettségével is, ugyanis a szintvonalak értelmezése mellett a térképet képzeletben forgatni is kellett, mivel az nem északnak volt tájolva. A tapasztalatot ezen kísérletben az általános térképhasználattal és a kirándulás gyakoriságával mérték, a két változó azonban erős összefüggést mutatott, így egy tényezőként kezelhető (Szigeti és mtsai, 2018).

Másik kísérlet során a magas-alacsony helyzetű pontok megítélése könnyebb feladatnak bizonyult, mint a relatív magasság becslése: míg a tapasztalt alanyok hasonlóan teljesítettek mindkét feladatban, a tapasztalatlan kitöltők rosszabb eredményeket értek el az utóbbiban. Hasonlóan a lejtőszög irányának meghatározásában is jelentős különbségeket találtak tapasztalat szerint (Szigeti és mtsai, 2018).

Egy térképolvasást vizsgáló kísérletben a résztvevőknek topográfiai és geológiai térképeket kellett tanulmányozniuk, és egy útvonalat a saját szavaikkal elmondaniuk. A szóbeli leírásokban megszámlálták, hogy milyen jellegű objektumok milyen gyakorisággal fordulnak elő. Azt találták, hogy a turistatérképeket gyakran használók több topográfiai elemet említene az útvonal során. A geológiai térkép olvasása nehezebb feladat volt a résztvevők számára, több domborzati elemet említettek ezen a térképen a térképolvasók és kevesebb vonalas objektumot (Szigeti & Albert, 2015).

A domborzat értelmezésének képessége erősen függ az életkortól is: a 20 év alatti, legfiatalabb korosztály jelentősen rosszabbul teljesített domborzatra vonatkozó kérdéseken. Jelentős különbség figyelhető meg iskolázottság szerint is, illetve idősebbek, térképet gyakran használók, valamint férfiak körében is több helyes választ találhatunk domborzatolvasási feladatokban. A távolság- és időbecslés helyessége is javul a térképhasználat gyakoriságának és az életkornak növekedésével. (Albert és mtsai, 2016).

Hasonló eredményre jutott Murakoshi & Higashi (2016) is egy hegyivezetők körében végzett felmérés során. A domborzatolvasás képessége jelentősen javult a terepi térképolvasás gyakoriságának növekedésével, azonban az eredmények azt mutatták, hogy még a hosszú tapasztalattal rendelkező vezetők sem mind tudják a szintvonalakat teljes mértékben értelmezni. A térképhasználat során legfontosabb feladatnak a tájékozódási problémák megoldását és a térképjelek értelmezését találták, ezekben a kísérlet során a gyakorlott alanyok szintén jobb eredményeket értek el, mint tapasztalatlan társaik.

2. Alapadatok és módszerek

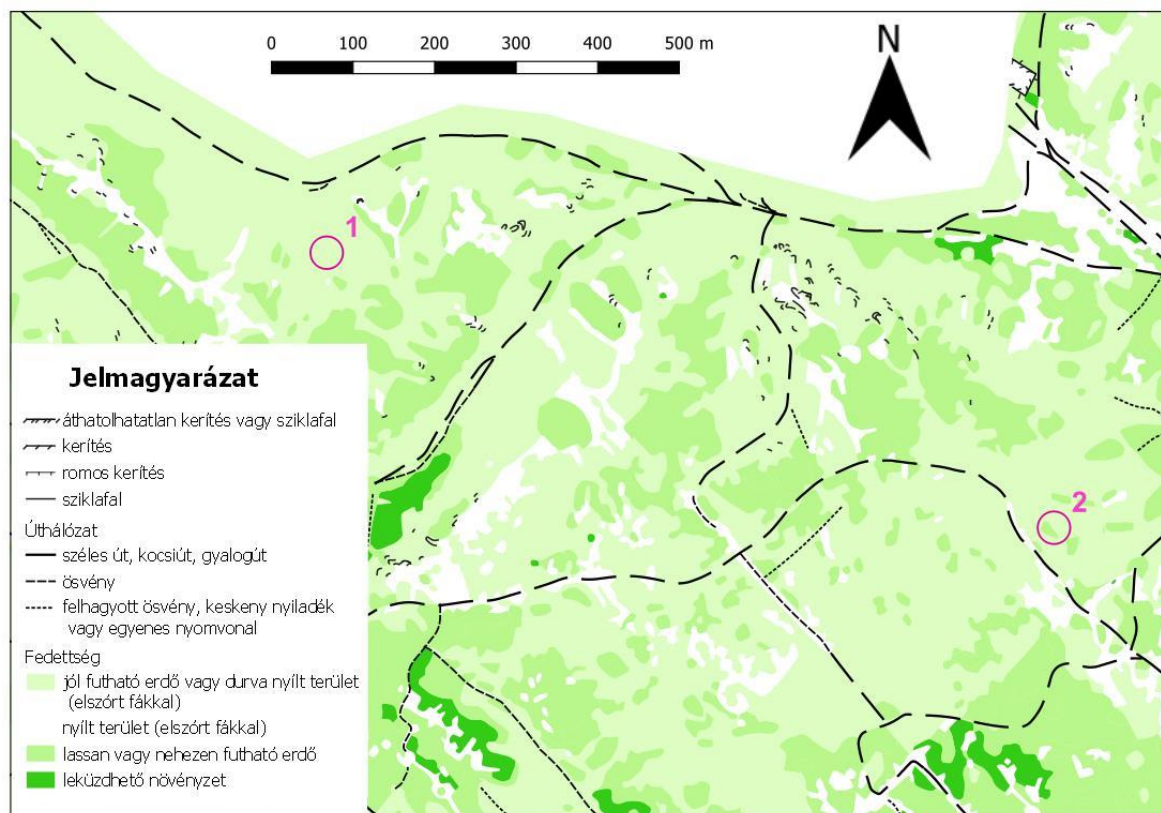
A jelen kutatás során vizsgált mintaterület megegyezik a TDK dolgozatomban vizsgált területtel, a Vértes hegységben található Kápolnapusztai térsége. A területről a Tabáni Spartacus SKE rendelkezésemre bocsájtott Lidar-adatokat és egy naprakésznek mondható tájfutótérképet (Sőtér és mtsai, 2021).

A kutatás során kijelöltem öt kezdő- és végpontot, azaz átmenetet a területen. Ezekre az átmenetekre számítottam ki a legkisebb költségű útvonalakat, a menetidőt, és ezekre kellett a tesztelésben résztvevő alanyoknak is a menetidőt megbecsülniük a később részletezett módon.

2.1 Térképek szerkesztése

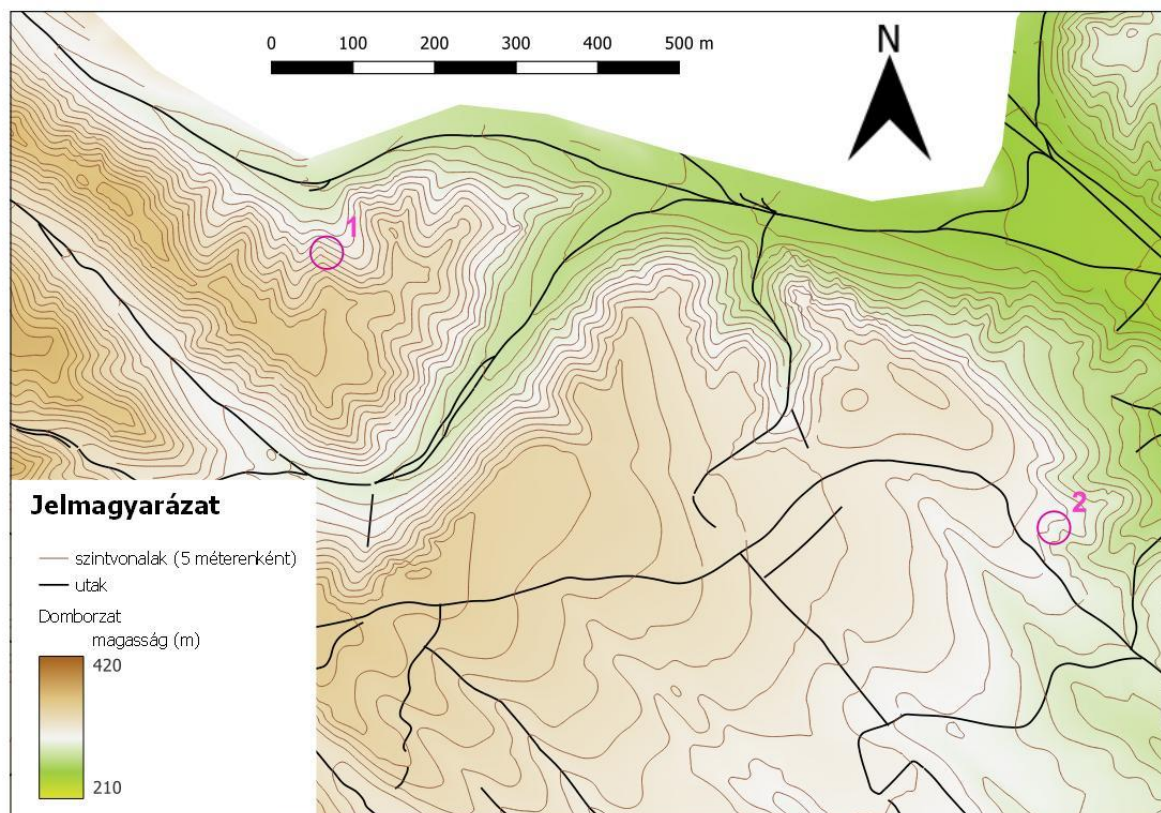
A kutatás első lépése különböző jelkulcsú térképek szerkesztése volt a kiválasztott területről. A térképek jelkulcsa a korábban leírt számítási módszerekhez alkalmazkodva kerültek kialakításra, ügyelve arra, hogy a térkép tükrözze, mely paraméterek vannak a szoftveres útvonaltervezés során figyelembe véve. Mindegyik térképen megjelenik a tájfutásban megszokott módon körrel jelölve egy kezdő- és végpont.

Az első térkép ábrázolja a fedettséget és az úthálózatot különböző osztályokba sorolva, valamint megjelennek rajta áthatolhatatlan objektumok is. A térkép igazodik a turistatérképek jelkulcsához, ezzel igyekszik a túrázásban jártas alanyoknak megszokott képet nyújtani. Fehérrel jelennek meg a rétek, zölddel az erdővel borított területek. A zöld szín sötétedése a tájfutó térképek jelkulcsához hasonlóan a járhatóság romlását jelzi (8. ábra).



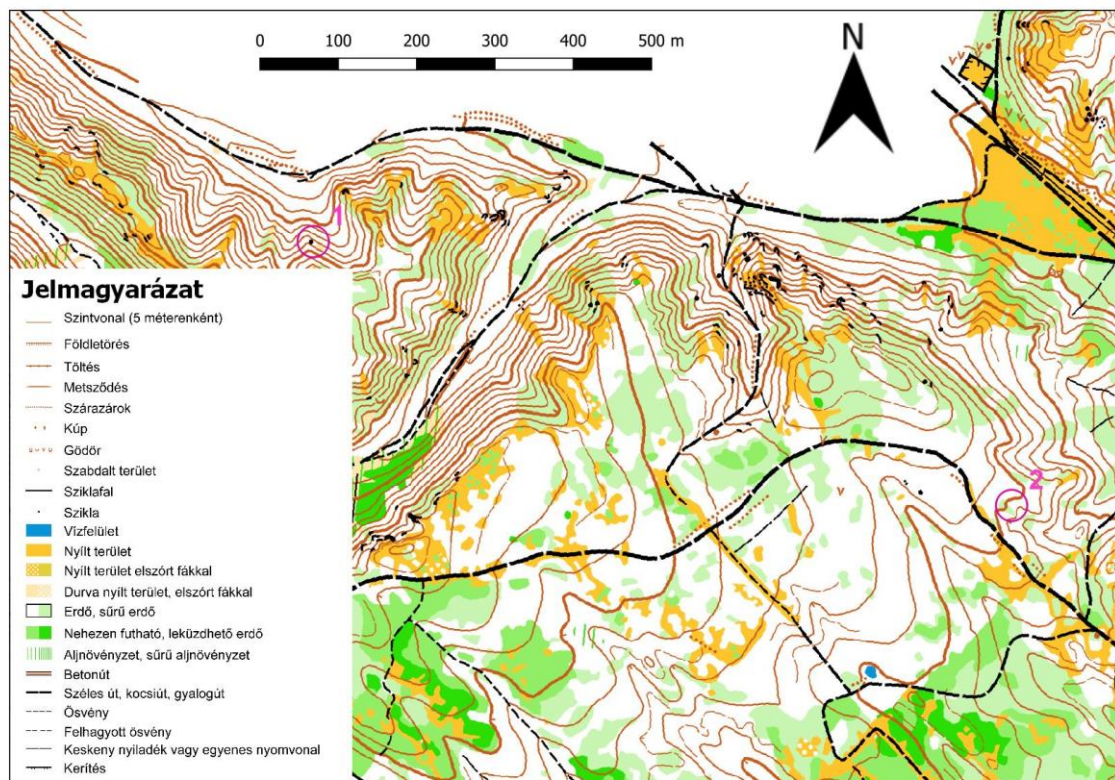
8. ábra: Osztályozott fedettséget, úthálózatot és áthatolhatatlan objektumokat ábrázoló térkép (saját ábra)

A következő térképen a domborzat a leghangsúlyosabb elem, de az úthálózat is ábrázolásra kerül, azonban nincsen osztályokba sorolva. A domborzat egyrészt szintvonalak segítségével jelenik meg, melyek alapszintköz értéke 5 méter, másrészt hipszometrikus színezés segíti a morfológiai viszonyok jobb megértését. Földrajzban megszokott színskálához alkalmazkodva az alacsonyabban fekvő területek zöld, a magasabban fekvő területek barna színt kaptak (9. ábra). A hipszometrikus színezés a domborzat könnyebb megértését hivatott elősegíteni, hiszen ahogy a szakirodalomban is olvasható, a szintvonalak értelmezése még topográfiai térképek használatában jártas alanyoknak is okozhat nehézséget (Murakoshi & Higashi, 2016).



9. ábra: Domborzatot és úthálózatot ábrázoló térkép (saját ábra)

A harmadik térkép egy egyszerűsített tájfutótérkép, azaz ábrázolja a fedettséget, az úthálózatot és különböző áthatolhatatlan objektumokat osztályokba sorolva, a domborzatot pedig szintvonalak segítségével. A jelkulcsi elemek teljes egészében a Tájfutó Térképek Nemzetközi Szabványából (ISOM2017-2) kerültek átvételre, azonban elhagytam a térképről számos pontszerű objektumot, melyek a terepen haladást nem befolyásolják, hanem csak a terepi tájékozódást segítik (például jellegfák). Jelen kutatás során ezen elemek feleslegesen növelnék az olvasó kognitív terhelését, nem szolgálnának plusz információval. A szintvonalak ezen a térképen is öt méteres alapszintközzel jelennek meg (10. ábra).



10. ábra: Tájfutótérképek jelkulcsa (ISOM2017-2) alapján szerkesztett térkép (saját ábra)

2.2 Legkisebb költségű útvonal számítása és menetidőbecslés szoftverrel

A korábban ismertetett három módszer alapján kiszámítottam az öt kitűzött átmenetre a legkisebb költségű útvonalakat és menetidőket.

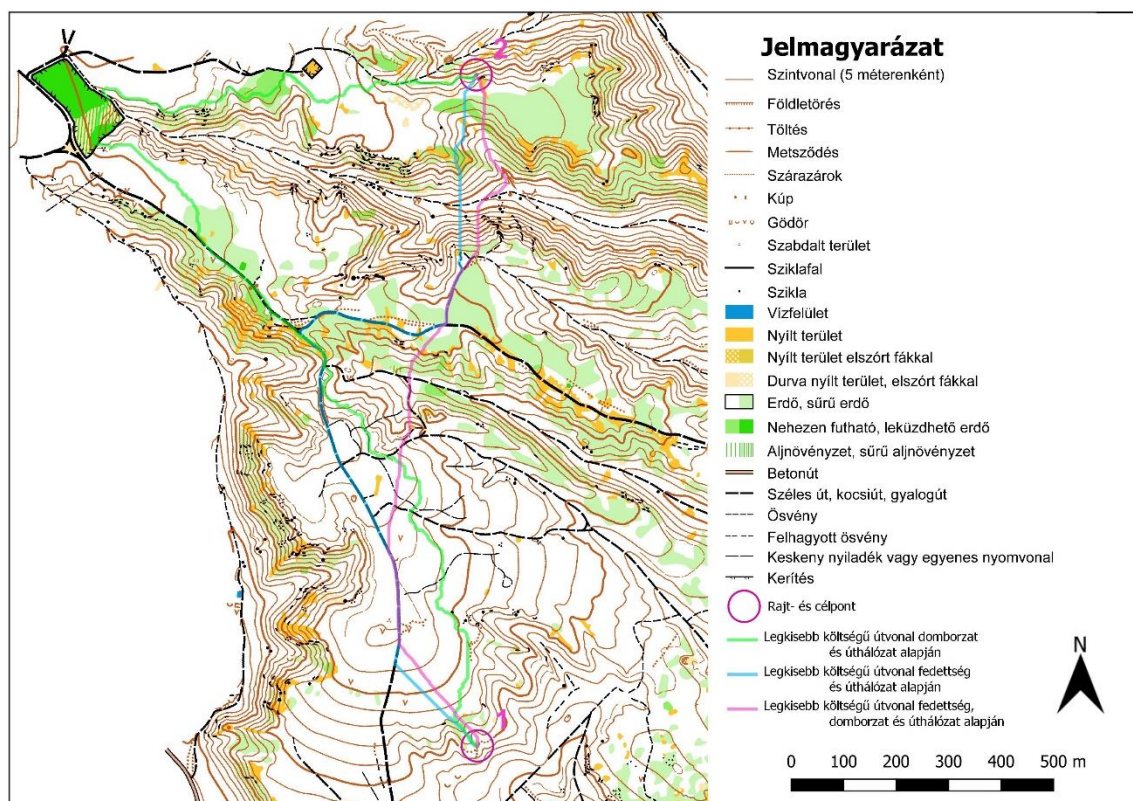
Ehhez első lépésben létrehoztam a mintaterület költségfelszínét a bemutatott három súlyozás szerint, ezeken a raszteres rétegek cellái értéke a rajtuk való áthaladás költsége lett. Majd mindhárom költségfelszínen külön-külön az öt célpontra kiszámítottam a kumulált költségfelszíneket, végül az öt kezdőpontból a végpontba tartó legkisebb költségű útvonalakat. A kumulált költségfelszínen a kezdőpont cellájához tartozó költségérték mutatta meg az adott útvonalra becsült menetidőt. Ez az idő futósebességre vonatkozott. A későbbi kutatások során azonban a tesztalanyok egy része nagyobb jártassággal rendelkező gyaloglási sebesség becsülésében, így a gyalogos menetidő esetén a lentebb bemutatott menetidők 2,5-szeresét vettem.

A későbbi összehasonlíthatóság érdekében minden szoftveresen kalkulált útvonalnak kiszámítottam a következő paramétereit is: útvonalhossz, szintemelkedés, úton haladás hossza, úton haladás aránya a teljes útvonalhosszhoz képest, útvonal hossza a légvonalhoz képest. Ezen adatokat az 5. táblázat foglalja össze.

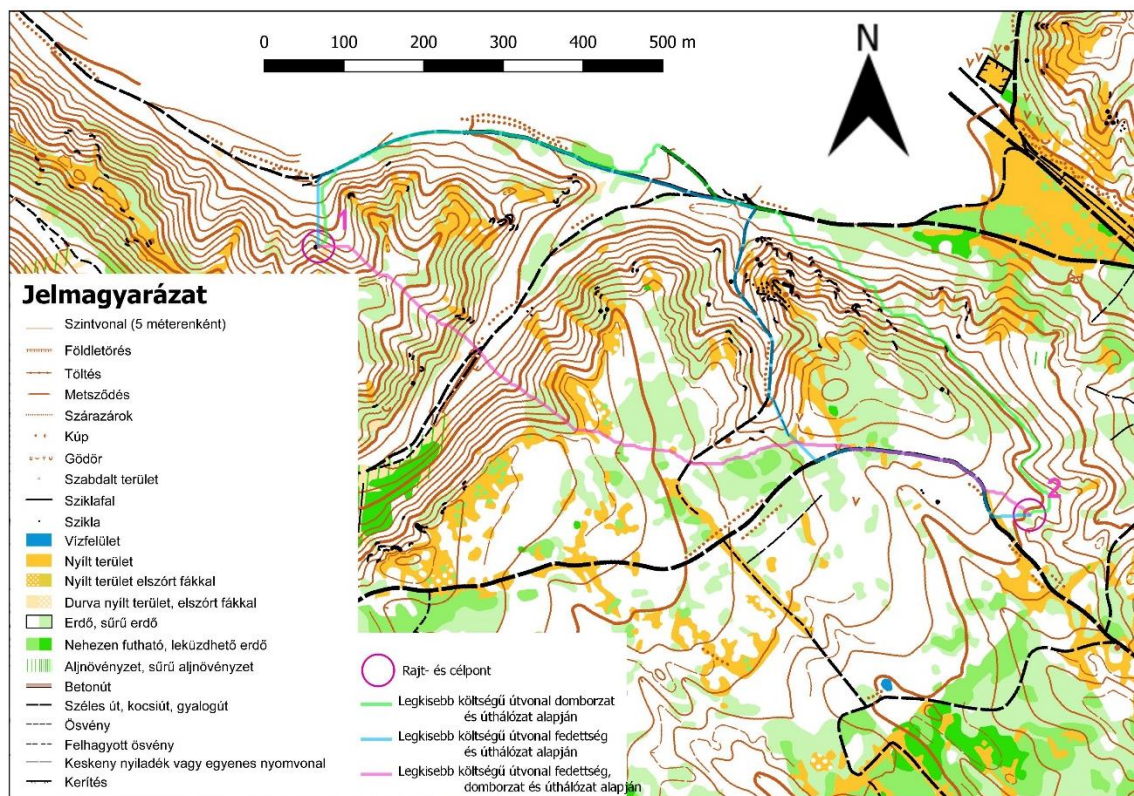
	útvonal- hossz (m)	szintemelkedés (m)	út hossza (m)	út aránya a teljes útvonalhosszhoz képest	útvonal hossza a légvonalhoz képest	időköltés (perc:másod- perc)
1. átmenet	1535 (légvonal)	40 (abszolút szintkülönbség)				
Út+fedettség	2030	95	1640	0,81	1,32	7:28
Domborzat+út	2145	85	1685	0,79	1,40	7:52
Domborzat+út+ fedettség	1820	75	935	0,51	1,19	10:30
2. átmenet	2160 (légvonal)	-100 (abszolút szintkülönbség)				
Út+fedettség	2550	50	1800	0,71	1,18	10:03
Domborzat+út	3100	35	2295	0,74	1,44	12:24
Domborzat+út+ fedettség	2470	50	1495	0,61	1,14	14:31
3. átmenet	1279 (légvonal)	5 (abszolút szintkülönbség)				
Út+fedettség	1786	90	1251	0,70	1,40	8:17
Domborzat+út	2759	55	434	0,16	2,16	7:48
Domborzat+út+ fedettség	1483	100	469	0,32	1,16	10:22
4. átmenet	954 (légvonal)	-20 (abszolút szintkülönbség)				
Út+fedettség	1397	55	1283	0,92	1,46	5:02
Domborzat+út	1399	45	622	0,44	1,47	3:18
Domborzat+út+ fedettség	1059	75	206	0,19	1,11	8:10
5. átmenet	687 (légvonal)	-10 (abszolút szintkülönbség)				
Út+fedettség	1080	25	993	0,92	1,57	4:00
Domborzat+út	1045	10	127	0,12	1,52	3:50
Domborzat+út+ fedettség	755	20	198	0,26	1,10	5:01

5. táblázat: Vizsgált átmenetek paraméterei (saját adatok alapján)

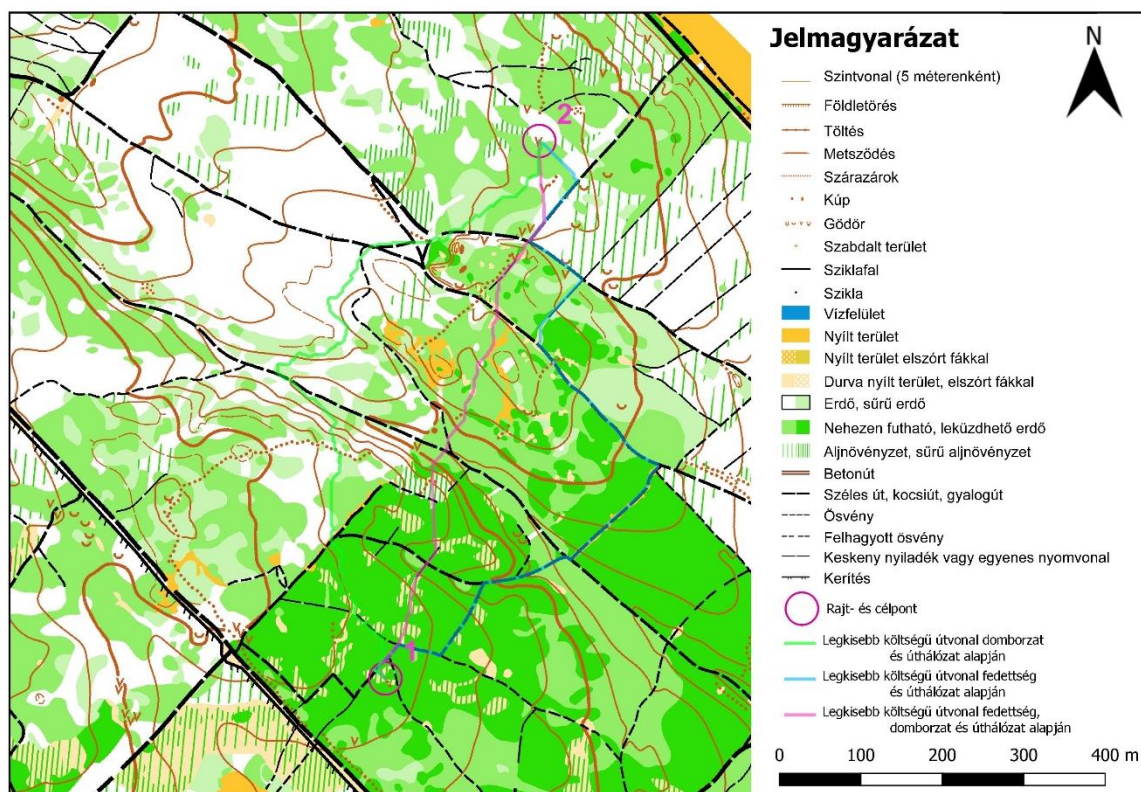
Az 1-2. átmenet megegyezett a TDK-dolgozatomban vizsgált átmenetekkel, az azokra számított útvonalak az 1.1.4. fejezetben, a 6-7. ábrán találhatóak. A 3-5. átmenetekre számított útvonalak a 11-13. ábrán láthatóak, tájfutótérképen megjelenítve.



11. ábra: Legkisebb költségű útvonalak a 3. átmeneten (saját ábra)



12. ábra: Legkisebb költségű útvonalak a 4. átmeneten (saját ábra)



13. ábra: Legkisebb költségű útvonalak az 5. átmeneten (saját ábra)

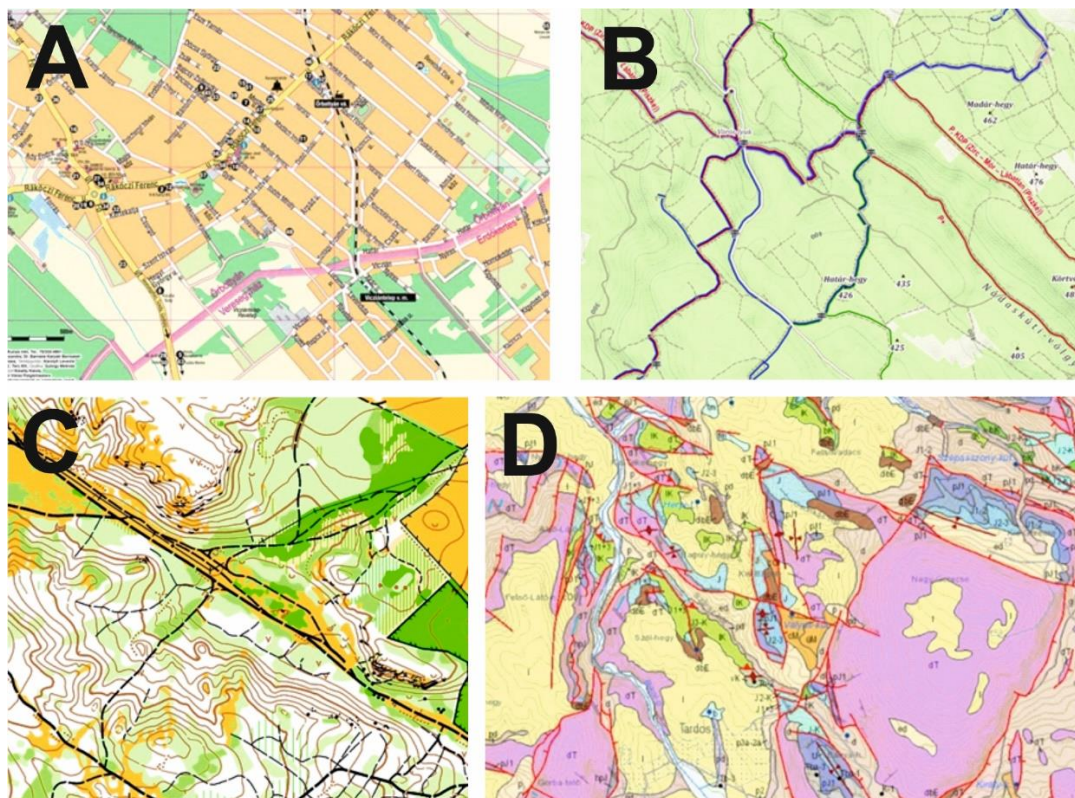
A korábbi kutatásaimmal összhangban az itt vizsgált átmenetek esetében is a domborzat, úthálózat és fedettség alapján számított útvonalak hossza volt a legrövidebb, míg az úton haladás aránya alacsony, a szintkülönbség magas volt. Az algoritmusok által számított időköltiségek az úthálózat mellett csupán a domborzatot vagy fedettséget figyelembe véve több átmenet esetében is irreálisan alacsonynak adódtak.

2.3 Felhasználói tesztek

Felhasználói tesztek segítségével felmértem, hogy a fentebb bemutatott térképeken milyen időköltiséget rendelnek a kitöltők egy adott szakasz teljesítéséhez. Ez egy online, anonim kérdőív segítségével történt, mely három fő részből állt (<http://ktk.elte.hu/test/path/hu>). A kérdőív a Kísérleti Térképtudományi Kutatócsoport szerverén jött létre, annak honlapján volt elérhető, majd a válaszokat tartalmazó szöveges adatbázist innen tudtam exportálni. A teszt informatikai háttérében Kis Dávid nyújtott segítséget, míg a kérdéssor összeállításában témavezetőm, dr. Albert Gáspár segített.

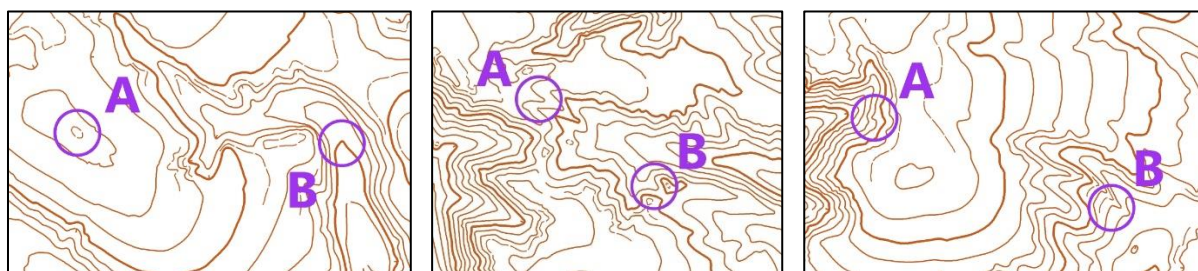
A teszt céljának rövid ismertetése után az első kérdéscsoport demográfiai adatokra és térképhasználati jártasságra irányult. A kitöltők megadták a nemüket, életkorukat és legmagasabb végzettségüket. Majd meg kellett adniuk, hogy turista- illetve tájfutó térképeket milyen gyakorisággal használnak.

Ezután következett egy térképes feladatokból álló kérdéssor, mely a kitöltő térképhasználati jártasságát volt hivatott felmérni. Az első négy kérdés a térképtípusok felismerését mérte. Ennek során random sorrendben négy különböző típusú térképrészlet jelent meg, a kitöltőnek ki kellett választania, hogy milyen térképet lát. Város-, turista-, tájfutó- és tematikus térképek jelentek meg, mindegyik térképtípusból több térképrészlet is volt, ezek közül random módon jelent meg az egyik a kitöltőnek. A térképrészletekre egy-egy példát a 14. ábra mutat be.



14. ábra: Példák a tesztben megjelenő négy térképtípusra. A: várostérkép (Órbottyán Önkormányzati információs portál, 2018), B: turistatérkép (mapy.cz), C: tájfutótérkép (Sőtér és mtsai, 2021), D: tematikus térkép (Budai és mtsai, 2018)

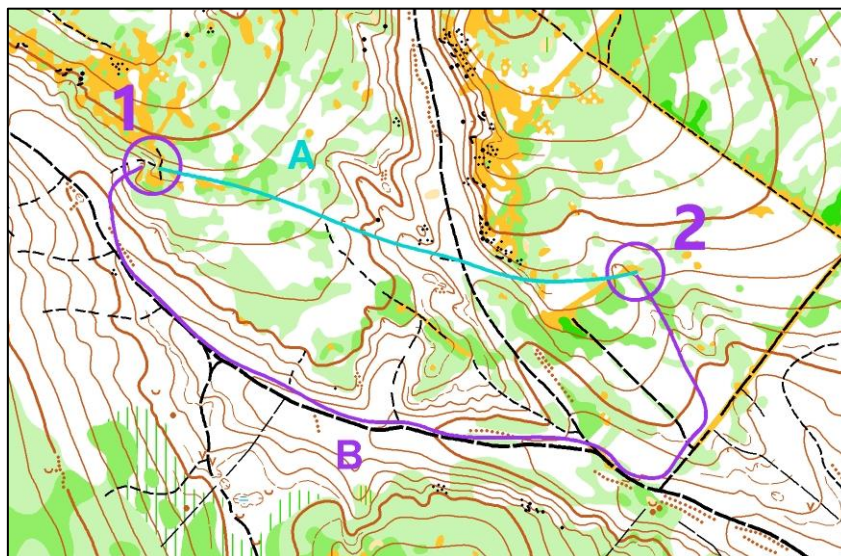
A következő kérdések a szintvonalas domborzatolvasás képességét vizsgálták. Három szintvonalas térképrészlet jelent meg egymás után, mindegyiken szerepelt két pont. A kitöltő feladata volt megállapítani, hogy két pont közül melyik helyezkedik el magasabban. A három térképrészlet egyre nehezedő feladatokat állított a kitöltő elé, azok minden esetben azonos sorrendben jelentek meg, a 15. ábrán bemutatott módon.



15. ábra: Szintvonalas domborzatolvasás képességét mérő feladatok (saját ábra)

A térképhasználati jártasságot vizsgáló kérdések közül az utolsó kérdéstípus a menetidő becslését vizsgálta már, célja volt felmérni, hogy a kitöltő két útvonal közül ki tudja-e választani a rövidebb idő alatt teljesíthetőt a térkép segítségével. Öt ábra közül random módon jelent meg

egy, melyre példa a 16. ábrán látható. Mindegyik térképrészleten úgy lett megalkotva a két útvonal, hogy az egyik teljesítése egyértelműen hosszabb időt vegyen igénybe, lényegesen hosszabb táv, nagyobb szintkülönbség vagy sűrű növényzet miatt.



16. ábra: Menetidőbecslés képességét vizsgáló feladat (saját ábra)

Végül következett a menetidőbecslés feladata. Ennek során a résztvevőknek először ki kellett választaniuk, hogy futó- vagy gyaloglósebességre vonatkoztatva kívánják a válaszukat megadni. A kitöltők kaptak egy random módon kiválasztott térképtípust a fent bemutatott három megjelenítési mód közül, rajta az öt kitűzött átmenetből egyet megjelenítve, majd meg kellett becsülniük a két megadott pont közötti út megtételéhez szükséges időt. A kiválasztott pontok helye megegyezett a három térképen és megegyezett a szoftveres kutatás során vizsgált kezdő- és végpontokkal. A menetidőt egy csúszka segítségével lehetett megadni, futósebesség esetén egy, míg gyaloglás esetén öt másodperc pontossággal. Egy kitöltőnek minden térképtípusból három-három átmenet jelent meg, így összesen kilenc menetidőt kellett megbecsülni. A térképrészletekre példák az előző fejezetben, a 8-10. ábrán találhatóak.

A teszt végén a kitöltő visszajelzést kapott a válaszhelyességéről: a második, térképolvasási rész válaszainak helyessége került megadásra százalékos formában, valamint a menetidőbecslés eredménye a szoftveresen számított útvonalakhoz képest. Ennek során minden egyes becsült menetidő a szoftver számolásához lett viszonyítva, a kilenc átmenetre adott válasz átlagának százalékos eredményét látta a kitöltő a kérdéssor végén. A későbbiekben bemutatott szoftveresen becsült menetidők mind futósebességre vonatkoznak, gyaloglás esetén ezen időkölségeknek a 2,5-szeresével számoltam.

2.4 Tesztek elemzése

A teszt 2023. március 20-án vált publikussá, a válaszokat 2023. április 15-ig gyűjtöttem, az ezutáni kitöltések már nem kerültek feldolgozásra.

A kérdőívre érkezett válaszok feldolgozása Microsoft Excel programban történt.

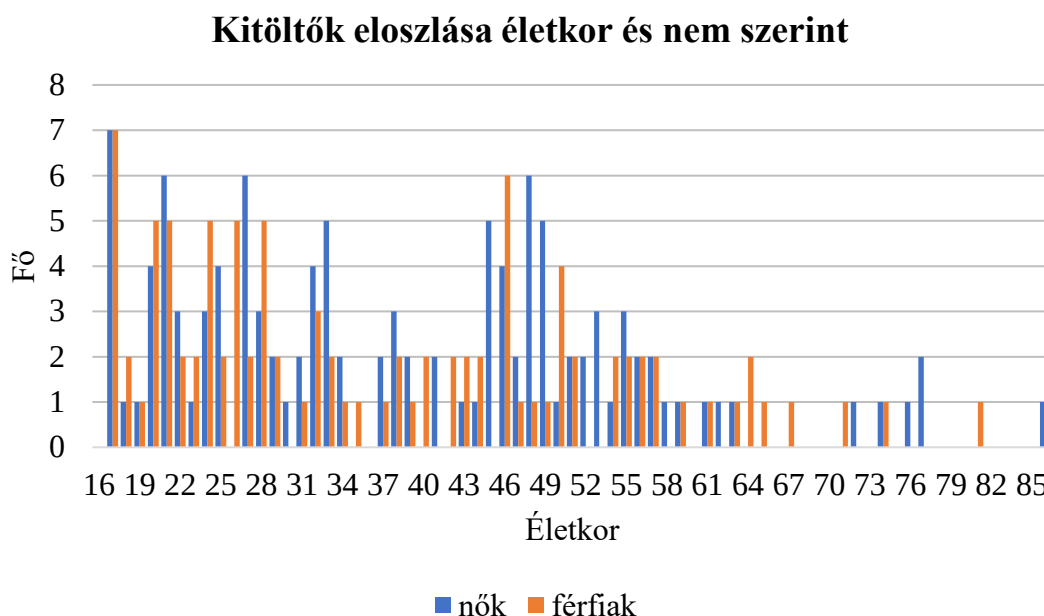
Összesen 236 válasz érkezett, melyek közül először ki kellett szűrni a hibás adatokat. Eltávolítottam a március 20. előtti próba-kitöltéseket, valamint azokat, amelyeket a térképhasználati jártasságot mérő kérdések vége előtt félbeszakítottak. Így 213 darab kitöltés volt felhasználható az elemzés során.

Elemeztem statisztikai módszerekkel a kitöltők demográfiai adatait és a térképhasználati jártasságra vonatkozó kérdésekre adott válaszaik helyességét, megvizsgáltam, hogy milyen kapcsolat áll fenn ezen tényezők között. Vizsgáltam a tesztkérdések minőségét is a válaszok eloszlása alapján.

A felhasználók által becsült időkötségeket a különböző jelkulcsú térképeken összehasonlítottam az egyes térképtípusok között az azonos átmenetekre, valamint a korábbi, szoftveresen számított útvonalaknál becsült időkötség adatokkal is. A szoftverrel becsült időkötségre egységesen a fedettség, domborzat és úthálózat alapján számított útvonal időkötségével számoltam, mivel korábbi kutatások alapján ez tűnt a legmegbízhatóbbnak. Annak érdekében, hogy a gyalogos és futott becsült menetidőket együtt tudjam elemezni, a gyalogos időket elosztottam a korábban említett 2,5 értékű tényezővel. Kerestem azokat a demográfiai és térképolvasási jártassági tényezőket, melyek hatással vannak a menetidő becslésére.

3. Eredmények

A kitöltők demográfiai adatait a 14. ábra foglalja össze. 98 férfi és 115 nő volt összesen a válaszadók között. 138 fő rendelkezett felsőfokú végzettséggel, életkoruk minimum 22 év volt, ezen korosztály 83%-át teszik ki. A 22 év feletti kitöltők közül 27 főnek volt érettségi a legmagasabb iskolai végzettsége, további 2 főnek középokú szakmai végzettség. A 19 és 22 év közötti válaszadók közül 3 főnek 8 általános iskola volt a legmagasabb végzettsége, míg a többi 24 főnek volt érettségi. A 16 és 18 év közötti kitöltők egy fő kivételével mind 8 általánost végeztek. Összességében elmondható, hogy az életkor és a legmagasabb iskolai végzettség között közepes pozitív kapcsolat ($r=0,5$) áll fenn, így az iskolai végzettséget nem vettem figyelembe a további elemzések során.



17. ábra: Kitöltők eloszlása nem és életkor szerint (saját ábra)

A kitöltőket életkor szerint négy csoportba soroltam: 16-22 éves korosztály (23 nő és 24 férfi), 23-35 éves korosztály (32 nő és 29 férfi), 36-49 éves korosztály (34 nő és 25 férfi) és 50 év feletti korosztály (26 nő és 20 férfi). Míg az első csoport tagjainak a legmagasabb végzettsége jellemzően általános iskola vagy érettségi volt, a többi csoport tagjai nagyrészt felsőfokú végzettséggel rendelkeztek.

Térképhasználat gyakoriságát tekintve elmondható, hogy a kitöltők 43%-a, 92 fő gyakorlott tájfutó volt, heti rendszerességgű térképhasználattal, több, mint fele ennek a csoportnak havi vagy heti rendszerességgel használ turistatérképet is. További 29 fő használ legalább havonta

tájéftutótérképet. Azon válaszadókat, akik legalább havi rendszerességgel használnak tájéftutó- és turistatérképet is, a továbbiakban nagy szaktudással rendelkezőnek, a haladók csoportjának fogom tekinteni (6. táblázat piros mezői, 53 fő). A tájéftutótérképet gyakran, de turistatérképet ritkán vagy soha nem használók a tájéftutók csoportja, 68 fő tartozik ide (6. táblázat zöld mezői). 54 fő használ rendszeresen turistatérképet, de tájéftutótérképet soha, ők képezik a turisták csoportját (6. táblázat kék mezői). 35 fő ritkán használ turistatérképeket és tájéftutótérképet is ritkán vagy soha, valamint 3 fő soha nem használja egyiket sem, a későbbiekben ezen csoportok tagjait fogom kevés szaktudással rendelkezőnek, kezdőnek tekinteni (6. táblázat sárga mezői).

		tájéftutótérkép			
		1	2	3	4
turistatérkép	1	18	3	12	10
	2	23	9	16	16
	3	48	14	20	15
	4	3	3	0	3

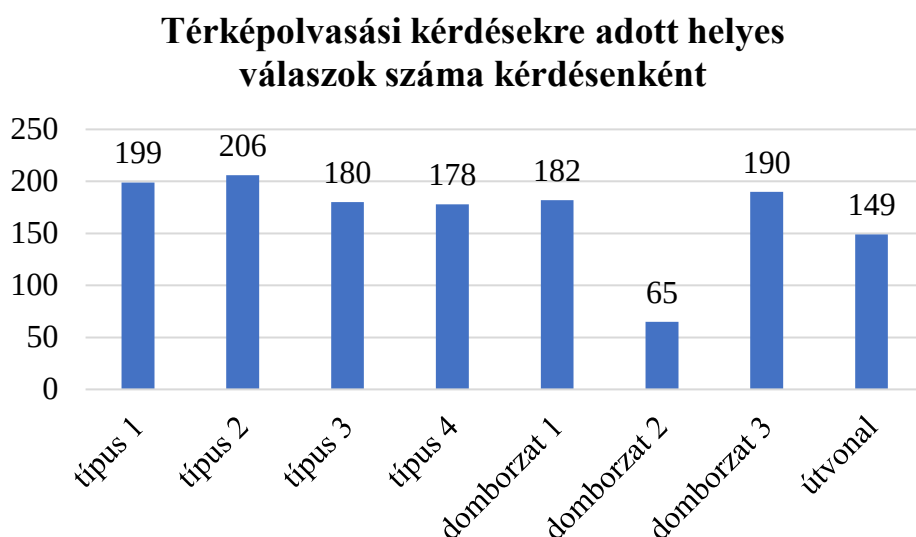
6. táblázat: A két térképtípus használatának gyakorisága, és az ez alapján kialakított felhasználói csoportok (fő, 1: hetente; 2: havonta; 3: ritkábban; 4: soha. Piros: haladók; zöld: tájéftutók; kék: turisták; sárga: kezdők. Saját adatok alapján)

Fennáll kapcsolat a térképolvasás gyakorisága és a nem között, elsősorban turistatérképek tekintetében: a kitöltők között a férfiak gyakrabban használnak turistatérképet ($r=0,27$).

Az eredmények részletes ismertetése során először a tesztfeladat általános, térképolvasási képességeket mérő részének az eredményeit szeretném bemutatni. Ezután kerülnek ismertetésre a szoftveresen számolt útvonalak és a hozzájuk tartozó menetidők, majd végül ezeket és az első alfejezet eredményeit hasonlítom össze a térképes teszt záró részének eredményeivel, a menetidőbecsléssel.

3.1. Térképolvasási jártasság mérése

Az egyes feladatokra érkezett helyes válaszok eloszlását a 18. ábra mutatja be.



18. ábra: Térképolvasási kérdésekre adott helyes válaszok száma kérdésenként, az összesen beérkezett 213 válasz közül (saját ábra)

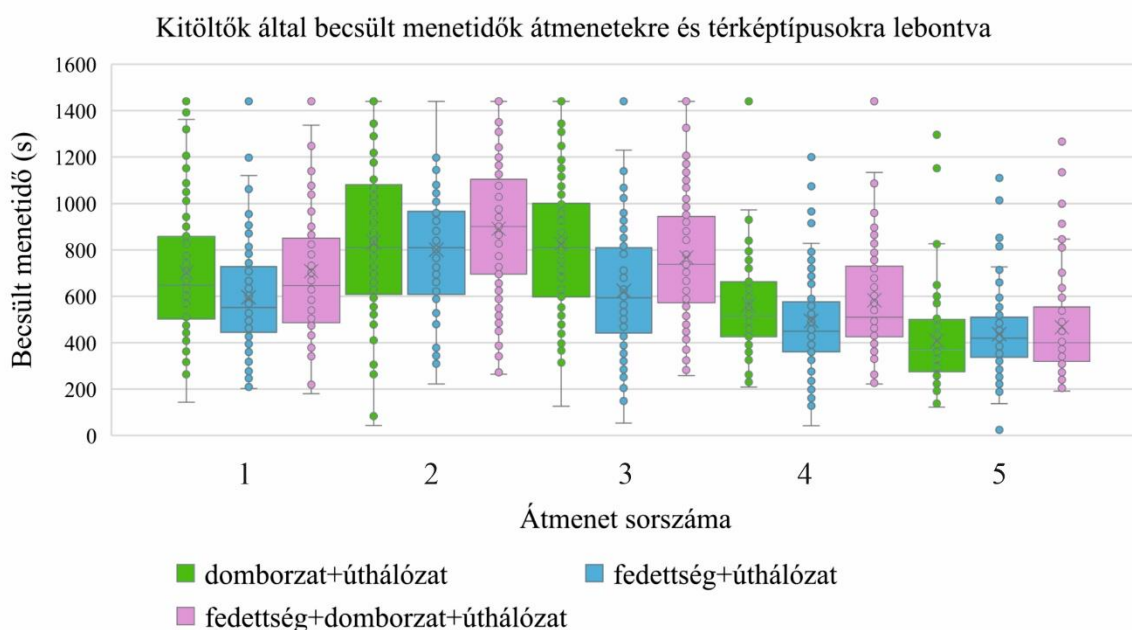
A térképtípus felismerésére vonatkozó kérdéseket összesen 148 fő (70%) válaszolta meg hibátlanul, a domborzatolvasási feladatokat 49 fő (23%). A teljes kérdéssort 31 fő (15%) teljesítette hibátlanul, 85 fő (40%) egy hibával, az átlagpontszám 6,3 pont volt a maximális 8 pontból. A demográfiai adatokkal és térképolvasás gyakoriságával összevetve a válaszadás helyességét megállapítható, hogy a tájfutó tapasztalat korreál az elért összpontszámmal, $r=0,57$ együtttható adódott. A nem is befolyással van a feladatok megoldására, a férfiak enyhén jobban teljesítettek ($r=0,21$), a legnagyobb különbség a domborzatolvasási feladatok esetén fedezhető fel. Nem figyelhető meg kapcsolat az életkor és a válaszok helyessége között ($r=-0,19$), azaz a korábbi tanulmányokkal ellentétben (pl. Albert és mtsai, 2016), ezen a teszten az idősebb korosztályok nem teljesítettek jobban.

3.2. Menetidőbecslés eredményei

A menetidőbecslésre vonatkozó kérdéseket 28 kitöltő félbeszakította, így ezen elemzés során 185 választ tudtam figyelembe venni. Mivel a kitöltők térképtípusonként random kaptak 3-3 átmenetet a lehetséges ötből, az egyes átmenetekre eltérő számú érvényes válasz érkezett. Átlagosan 111 darab becsült menetidő állt rendelkezésre ($s=8,2$).

A menetidőbecslés előtt el kellett dönteni, hogy a válaszadó gyalogos vagy futósebességre kívánja az időket megadni. 45% gyaloglást, míg 55% futást választott. Jellemzően a nagyobb tájfutó tapasztalattal rendelkezők választották a futósebességet ($r=0,69$).

A kitöltők által becsült menetidőket, valamint azok átlagát átmenetenként és térképtípusonként a 19. ábra mutatja be.



19. ábra: Teszt során a kitöltők által becsült menetidők átmenetekre és térképtípusokra lebontva (saját ábra)

A becsült idők átlagát, azok átlagarányát és -szórását a szoftveresen becsült útvonalhoz képest a 7. táblázat mutatja be az átmenetek alapadataival együtt. Szoftver által számított időnek egységesen a tájfutótérképek alapján számított időkölséget vettem figyelembe, a tesztet kitöltők által becsült idők átlagát és szórását is ehhez hasonlítottam. Az utolsó oszlopban látható, hogy az adott átmeneten és térképtípuson a kitöltők milyen arányban becsültek a szoftvernél hosszabb menetidőt.

átmenet sorszáma	típus	légvo- naltáv (m)	abszolút szint (m)	szoftver idő (s)	becsült átlagidő (s)	becsült átlagidő aránya a szoftveres időhöz képest	becsült átlagidő szórása a szoftver es időhöz képest	túlbecslés aránya
1	Út+fedettség	1535	40	630	597	0,947	0,354	0,387
	Domborzat+út				702	1,115	0,457	0,517
	Domborzat+út +fedettség				709	1,125	0,453	0,510
2	Út+fedettség	2160	-100	871	802	0,92	0,294	0,419
	Domborzat+út				834	0,957	0,35	0,421
	Domborzat+út +fedettség				892	1,024	0,313	0,525
3	Út+fedettség	1279	5	622	624	1,003	0,41	0,462
	Domborzat+út				825	1,327	0,451	0,731
	Domborzat+út +fedettség				768	1,235	0,435	0,642
4	Út+fedettség	954	-20	490	494	1,007	0,432	0,355
	Domborzat+út				564	1,15	0,452	0,592
	Domborzat+út +fedettség				583	1,19	0,447	0,565
5	Út+fedettség	687	-10	301	437	1,453	0,536	0,838
	Domborzat+út				407	1,353	0,622	0,663
	Domborzat+út +fedettség				466	1,549	0,718	0,787

7. táblázat: Felhasználók által becsült menetidők átmenetenként (saját adatok alapján)

Az átmenetek alapadatait és a teszteredményeket összehasonlítva azt kaptam, hogy az átmenet hosszának, azaz a légvonaltnak a növekedésével az átlagidők jobban közelítettek az 1-hez, a szoftveresen becsült menetidőkhöz. Az egyes változók korrelációját vizsgálva megfigyelhető, hogy a légvonaltnak és a tesztidők átlagának szórása között erős negatív kapcsolat áll fenn ($r=0,82$), a légvonaltnak és a túlbecslés között közepes negatív kapcsolat figyelhető meg ($r=0,56$). Ezt erősíti meg a szoftver menetidői és a becsült idők, valamint azok szórása közötti erős negatív korreláció is ($r=0,88$ és $r=0,68$). A szintemelkedés éppen fordított hatással van a menetidőbecslésre: a válaszok szórása jelentősen nőtt a nagyobb szintkülönbségű átmeneteken ($r=0,41$). A leghosszabb menetidőt a 3. átmenet kivételével a tájfutótérképeken adták meg a kitöltők, az 5. átmenet kivételével az úthálózat és fedettség alapján becsülték a legrövidebb

menetidőt. A szoftver által számított időkölségtől a legjelentősebb eltérés mindhárom térképtípus esetében az 5. átmeneten van, a válaszok szórása is itt a legnagyobb, ezen átmenetnél a válaszadók többsége (66-83%) magasabb időkölséget becsült a számított menetidőnél. A legkisebb eltérés a szoftverrel számított menetidőtől pedig az 1., 3. és 4. átmenet esetében a fedettség és úthálózat alapján van.

A válaszadók menetidőbecslését demográfiai adataikkal és térképolvasási jártasságukkal összevetve azt kaptam, hogy az életkor jelentős hatással van a becsült menetidőre. Minden térképtípus és átmenet esetében közepes pozitív kapcsolat állt fenn a menetidő és az életkor között ($r=0,25-0,36$). A becslés pontosságát tekintve azonban már épp ellenkező mintát találtam: az életkor növekedésével enyhén növekedett a számított menetidőktől való eltérés. A legjelentősebb kapcsolat a 3. és 5. átmenet esetében volt ($r=0,2$ és $r=0,23$). A nem és a becslések pontossága között többnyire nem áll fenn kapcsolat, a 3. és az 5. átmenet esetében teljesítettek a férfiak valamivel jobban ($r=0,19$ és $r=0,2$).

A térképolvasási jártasság tekintetében a tájfutó tapasztalat jelentős hatással volt a becslés pontosságára. A legjelentősebb kapcsolat a tájfutótérképeken becsült menetidők esetében volt, közepes, $r=0,46$ korrelációval. A másik két térképtípus esetében valamivel gyengébb (mindkét esetben $r=0,29$) kapcsolat állt fenn. A térképolvasási jártasságot mérő feladatrészben elért pontszám is hasonlóan közelítette a becsült időket a számított időkhöz, a legjelentősebb kapcsolat a tájfutótérképek esetében volt ($r=0,42$). A válaszokat átmenetenként vizsgálva azt kaptam, hogy a jártasság az 5. átmenet esetében volt a legjelentősebb ($r=0,35$), míg a 2. átmenet esetében alig volt hatással a becslés pontosságára ($r=0,14$).

4. Eredmények értékelése

A kutatást két fő részre lehet elkülöníteni: a térinformatikai algoritmusok tesztelésére és kutatásban résztvevő alanyok által kitöltendő feladatsorra. A tesztelés és a válaszok gyűjtése párhuzamosan zajlott, azoknak az összehasonlítása volt a folyamat utolsó lépése.

A térinformatikai módszerek és az elemzéshez szükséges bemeneti adatok már korábban rendelkezésemre álltak, a TDK-dolgozatomban bemutatott folyamatok szerint jártam el, melyek jelen esetben is megfelelő eredményt adtak, alátámasztva a korábban kidolgozottak helyességét.

A feladatsorra számos kitöltés érkezett, a kitöltők eloszlása nem, életkor és tapasztalat szerint egyenletes volt. Olyan kitöltő kevés volt, aki se tájfutó- se turistatérképek olvasásában nem rendelkezett tapasztalattal, számukra túl nehéz feladatot jelentettek volna a kérdések, így feltételezhető, hogy közülük kerültek ki azok, akik csak az első részt töltötték ki, a másodikat (menetidőbecslés) pedig nem. A válaszok nagy száma lehetővé tette a statisztikai elemzéseket.

4.1 Feladatsor értékelése

A bevezető, demográfiai és térképhasználati kérdések után a kitöltőknek különböző térképolvasási feladatokat kellett megoldaniuk.

A térképtípusok felismerésében a kitöltők jól teljesítettek, a helyes válaszok eloszlását vizsgálva megállapítható, hogy a tematikus és tájfutótérkép volt több válaszadónak ismeretlen.

A domborzatolvasási feladatok célja volt a kitöltő elé egyre nehezedő feladatokat állítani. A második feladatra azonban a válaszadók kevesebb mint harmada találta meg a helyes választ, míg az első és harmadik feladatra a kitöltő több, mint 85%-a. A feladatok nehézségi szintjének növekedését így nem sikerült megvalósítani, ennek ellenére megbízható képet adtak a kitöltő domborzatolvasási képességeiről. A férfiak enyhén jobb eredményei a domborzatolvasási feladatokban alátámasztják a szakirodalomban leírtakat.

A térképolvasási jártasságot vizsgáló feladatcsoport utolsó kérdése, a rövidebb menetidőjű útvonal kiválasztása nem minden esetben bizonyult megfelelő feladatnak. A kitöltők öt ábra közül random módon kaptak egyet, azonban a válaszok értékelése során azt tapasztaltam, hogy az egyik ábra esetében az átlagnál sokkal magasabb volt a hibás válaszok aránya (az összes kitöltőre vonatkoztatva 30%, míg csak az adott átmenetet megválaszolók esetében 65%). Az

átmenetet és az útvonalakat elemezve, ezen ábrán kevésbé volt egyértelmű a rövidebb idő alatt teljesíthető útvonal, mint a többi ábra esetében.

A térképolvasási feladatokban jobban teljesítettek a nagy tájfutó tapasztalattal rendelkező alanyok: a szakirodalomban bemutatott módon a gyakori térképolvasás hatására sémák jönnek létre az idegrendszerben, melyek csökkentik a feladatok megoldása során tapasztalt kognitív terhelést.

A menetidőbecslésre vonatkozó feladatrészen több értékes visszajelzést is kaptam kitöltőktől. Több nagy tapasztalattal rendelkező tájfutó is felismerte a teszt során, hogy ugyan más térképen megjelenítve, de azonos átmenetet látnak. Így válaszájuk során azonos időt adtak meg, térképtípustól függetlenül, amivel a vizsgálat egyik fő kérdésére – a térkép jelkulcsának hatására a menetidőbecslésre – hamis válaszok születtek. Mivel a kitöltők között néhány ilyen válaszájuk fordult csak elő, ezeket nem szűrtem ki a válaszok közül, mivel más tekintetben ezek is teljes értékű válaszok voltak. Idősebb, nagy tapasztalattal rendelkező tájfutóktól kaptam visszajelzést arra vonatkozóan, hogy az ő haladási sebességükhöz képest a szoftveresen számolt menetidők irreálisan alacsonyak, a feladatsor végén magas százalékot kaptak eredményként. Ezt az eredmények is kimutatták: életkor előrehaladtával a becsült menetidők is nőttek. Ez fontos visszajelzést ad az algoritmus továbbfejlesztésére vonatkozólag: a terepi útvonaltervezéshez a felhasználó haladási sebességét is fontos figyelembe venni.

4.2. Útvonalak és menetidők értékelése

A szoftveresen számított útvonalakat tekintve korábbi kutatásomhoz hasonló eredményt kaptam: terepi mozgásban jártas alanyok számára a tájfutótérképekre kidolgozott algoritmus adja a legjobb útvonalat, a rövid útvonalhossznak köszönhetően. Menetidő tekintetében is ez az algoritmus adta a legrealisabb időkölségeket, melyeket a menetidőbecslés kérdőív válaszai is megerősítenek: ezen algoritmus által számított menetidők álltak legközelebb a felhasználók által becsültekhez. Azonban ezen menetidők empirikus elfogadásához terepi tesztekre lenne szükség. Illetve, ahogy az előző fejezet végén említésre került, a felhasználó sebességét is fontos figyelembe venni a pontosabb menetidő számításához.

A tesztkitöltés során becsült menetidőket elemezve megállapítható, hogy ha hosszabb egy átmenet, arányaiban jobban meg tudták becsülni a kitöltők a szükséges menetidőt, azonban a szintkülönbségek rontották a becslés pontosságát. Az 5. átmenetben megfigyelhető jelentős eltéréseket az átmenet jellege adhatja: ezen az átmeneten jelentős növényzeti akadályok találhatók, az átmenet jelentős részén nehezen futható erdő vagy leküzdhető növényzet van.

Ezen fedettségi kategóriák esetén az algoritmusok menetidőszámításának további tesztelésére lenne szükség, annak érdekében, hogy megállapítható legyen, hogy a felhasználók becsülték-e túl a menetidőt vagy a szoftver alul.

A 3. és 5. átmenet esetében volt a leghangsúlyosabb a nem és életkor korrelációja a menetidőbecsléssel. Férfiak és fiatalok pontosabban közelítették a szoftver által kalkulált menetidőt, az 5. átmenet esetében ez indokolható a fent említett sűrű növényzettel, amely a legjobb fizikai állapotban lévőket hátráltatja a legkevésbé.

A tájfutó tapasztalat és a térképolvasási jártasság pozitív hatása a menetidőbecslés pontosságára megerősíti a tájékozódásban a kognitív sémák jelentőségét és a térképolvasás összetett folyamatát.

A bemutatott eredmények alapján a terepi útvonaltervezési algoritmusokat szükséges jobban a felhasználó igényeire szabhatóvá tenni, a menetidő számításához figyelembe venni a haladási sebességet. A számított időköltések empirikus elfogadásához további terepi tesztekre lenne szükség.

5. Összefoglalás

Dolgozatom célja vizsgálni, hogy egy adott átmenetre szoftveresen számított időkölség hogyan viszonyul a tesztalanyok által becsült menetidőhöz. Megvizsgáltam, hogy a terepi helyszín térképi megjelenítése hatással van-e erre az időre és hogy mely demográfiai és tapasztalati mutatók befolyásolják ezt a becslést.

Korábbi munkám során optimalizáltam egy egészségügyi ellátásra tervezett algoritmust terepi körülményekre, mely az útvonal számítása során figyelembe vette a fedettséget, az úthálózatot, valamint átjárhatatlan akadályok is megadhatóak voltak. Kiszámítottam a legkisebb költségű útvonalat és a hozzá tartozó menetidőt Tobler gyaloglási sebességet számító függvénye alapján, mely a domborzati tényezőket veszi figyelembe, és eltérő értéket rendel az utakon és a terepen való haladáshoz. Harmadik módszerként meghatároztam tájfutó térképek alapján is a legkisebb költségű útvonalat és menetidőt, mely a tájfutó versenyző látásmódjával becsüli meg a terepi haladási sebességet domborzati, fedettségi és síkrajzi objektumok alapján.

A fenti módszerek alapján öt átmenet legkisebb költségű útvonalát és menetidőjét kiszámítottam, melyeket megjelenítettem egy, az adott számítás során figyelembe vett terepi tényezőket megjelenítő térképen.

Egy online teszt során a kitöltőknek ezen térképek alapján kellett a megjelenített kezdő- és végpont között az általuk becsült menetidőt megadniuk. A felmérés során gyűjtöttem információt a kitöltők néhány demográfiai adatáról, topográfiai térképhasználati szokásaikról, majd a térképhasználati jártasságukat egy több kérdésből álló feladatsorral mértem.

A térképhasználati jártasság mérése során korábbi kutatásokkal egybehangzóan azt az eredményt kaptam, hogy a tapasztalat pozitív hatással van a feladatok helyes megoldására, valamint a férfiak jobban teljesítettek a domborzatolvasásra irányuló kérdésekben.

Ezután elemeztem a szoftverrel számított és a kérdőívben megadott menetidőket. A tájfutótérképek alapján számított menetidő állt legközelebb a kitöltők által becsült menetidőkhöz. A válaszok elemzése során kiderült, hogy többnyire a fedettséget és úthálózatot ábrázoló térképen becsülték a kitöltők a legalacsonyabb menetidőt. Az átmeneteket vizsgálva észrevehető, hogy azon az átmeneten, ahol a növényzeti fedettség jelentősen korlátozza a haladást, nagy eltérés van a becsült és számított menetidők között. Ez fontos továbbfejlesztési területe lehet a terepi útvonaltervezési algoritmusnak, további tesztek szükségesek a sűrű növényzetben való haladás megállapítására.

A kitöltők demográfiai adatai és térképolvasási jártasságuk is hatással van a becsült menetidőre: idősebb korosztályok jellemzően magasabb menetidőket becsültek az adott átmenetre, férfiak becslései enyhén jobban közelítették a szoftverrel kalkulált időkötségeket. A tájfutó tapasztalat és a térképolvasási gyakorlat jelentős pozitív hatással van a menetidő becslésére. A fentiek megvilágítják, hogy egy terepi útvonaltervezési algoritmus esetében milyen fontos a felhasználó haladási sebességéhez igazítani a modellt.

A kutatás eredményei segíthetnek a korábban kidolgozott terepi útvonaltervezési algoritmusokat tovább pontosítani, azoknak a menetidőbecslését megbízhatóbbá tenni. A módszerek továbbfejlesztésével azok használhatóak lennének különböző terepi mozgást igénylő szakmák, például vadászok, erdészek munkája során, a katasztrófavédelem és a honvédség területén is.

6. Hivatkozások

Albert, G., Ilyés, V., Kis, D., Szigeti, Cs., Várkonyi, D. (2017). Testing the map reading skills of university students – ICC&GIS 2016, 6th International Conference on Cartography and GIS, Albena, Bulgaria.

Albert, G., Sárközy, Z. (2021). Route planning on orienteering maps with least-cost path analysis. Proc. Int. Cartogr. Assoc., 4, 4.

Baddeley, A. (1986). Working memory. Oxford, U.K.: Clarendon Press.

Board, C. (1978). Map Reading Tasks Appropriate in Experimental Studies in Cartographic Communication. Cartographica, 15(1), pp.1–12.

Budai T., Fodor L., Keresmár Zs., Lantos Z., Csillag G., Selmeczi I. (2018) A Gerecse hegység földtani térképe, 1:50 000, Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, Budapest.

Bunch, R.L. and Lloyd, R.E. (2006) The cognitive load of geographic information. The Professional Geographer, 58 (2), 209–220.

Delamater, P.L., Messina, J.P., Shortridge, A.M., Grady, S.C. (2012). Measuring geographic access to health care: raster and network-based methods. International Journal of Health Geographics 11(1):15.

Eley, M. G. (1992). Component processing skills in the interpretation of topographic maps. Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, 29(1), 35–51.

Fisher, R., Lassa, J. (2017). Interactive, open source, travel time scenario modelling: tools to facilitate participation in health service access analysis. International Journal of Health Geographics 16:13.

Gilhooly, K.J., Wood M., Kinnear, P.R., Green C. (1988). Skill in map reading and memory for maps. The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology, 40(October), pp.87–107.

Guzmán, J.F., Pablos, A.M., Pablos, C. (2008). Perceptive-Cognitive Skills and Performance in Orienteering. Perceptual and motor Skills, 207, pp.159–164.

International Specification for Orienteering Maps (ISOM2017-2)
<https://orienteering.sport/iof/mapping/> (felkeresve 2022. 09. 24.)

Kalyuga, S., P. Ayres, P. Chandler, J. Sweller (2003). The expertise reversal effect. *Educational Psychologist* 38:23–31.

Keates, J. (1982). *Understanding maps*. Halsted Press, New York.

Mapy.cz (felkeresve 2023. 04. 18.)

Montello, D.R. (2002). Cognitive Map-Design Research in the Twentieth Century: Theoretical and Empirical Approaches. *Cartography and Geographic Information Science*, 29(3), pp.283–304.

Montello, D. R., Sullivan, C.N., Pick, H.L. (1994). Recall memory for topographic maps and natural terrain: effects of experience and task performance. *Cartographica* 31(3): 18-36.

Montello, D.R., Lovelace, K.L., Golledge, R.G., Self, C.M. (2004). Sex-Related Differences and Similarities in Geographic and Environmental Spatial Abilities. *Annals of the Association of American Geographers*, 89(3), pp.515–534.

Muir, S.P. (1985). Understanding and Improving Students' Map Reading Skills. *Elementary School Journal*, 86(2), pp.206–216.

Murakoshi, S., Higashi, H. (2016). Cognitive characteristics of navigational map use by mountaineers. *International Journal of Cartography*, 1(2), pp.210–231.

Ooms, K., De Maeyer, P., Fack, V. (2014). Study of the attentive behavior of novice and expert map users using eye tracking. *Cartography and Geographic Information Science*, 41(1), 37-54.

Ooms, K., De Maeyer, P., Fack, V., Van Assche, E., Witlox, F. (2012). Interpreting maps through the eyes of expert and novice users. *International Journal of Geographical Information Science*, 26(10), pp.1773–1788.

Órbottyán Önkormányzati információs portál (2018). Városterkép.

Paas, F., A. Renkl, J. Sweller. (2003). Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. *Educational Psychologist* 38:1–4.

Petchenik, B. (1977). Cognition in Cartography. *Cartographica*, 14(1), pp.117–128.

Sárközy, Zs. (2022). Útvonal és idő költség tervezésének problémája terepi körülmények között. Tudományos Diákköri Konferencia Dolgozat.

Seiler, R. (1996). Cognitive processes in orienteering: a review. *Scientific Journal of Orienteering (IOF)*, 12, 43-49.

- Shemyakin, F.N. (1962). "Orientation in space" in B.G. Ananyev és mtsai. (szerk.) Psychological science in the U.S.S.R., Vol. 1, Washington, D.C., Office of Technical Services.
- Slocum, T.A., Blok, C., Jiang, B., Koussoulakou, A., Montello, D. R., Fuhrmann, S., Hedley, N. R. (2001). Cognitive and usability issues in geovisualisation. *Cartography and Geographic Information Science*, 28 (1), 61–75.
- Sőtér, J., Dénes, Z., Bakó, Á., Suba, P. (2021). Kápolnapusztá, Fenyves-völgy. Tabáni Spartacus SKE.
- Szigeti, Cs., Albert, G. (2015). Measuring the Adequacy of Maps for Field Use. In Gartner, G. & Haosheng, H. (szerk.) *Proceedings of the 1st ICA European Symposium on Cartography*, Vienna pp. 341–343.
- Szigeti Cs., Albert G., Kis D. (2018). Measuring The Map Readers' Interpretation of Hypsography. In: Temenoujka, Bandrova; Milan, Konečný (szerk.) *7th International Conference on Cartography & GIS: Proceedings*, Vol. 1 and Vol. 2 International Cartographic Association. Szófia, Bulgária pp. 547-555.
- Tobler, W. (1993). Three presentations on geographical analysis and modeling. National Center for Geographic Information and Analysis, Technical report 93-1.
- Wakabayashi, Y., Matsui, Y. (2013). Variation of geospatial thinking in answering geography questions based on topographic maps. In *Proceedings of the 26th International Cartographic Conference*.

7. Ábrajegyzék

1. ábra: Legkisebb időkölségű útvonalak fedettség és úthálózat alapján számolva; az útvonalak hossza és szintkülönbsége, becsült időkölsége és az úton való haladás aránya (saját ábra)
2. ábra: Tobler függvénye: gyaloglási sebesség (km/h) a lejtőmeredekség (°) függvényében (Tobler, 1993)
3. ábra: Domborzat és úthálózat alapján tervezett irányfüggő modellezés által adott útvonalak a kiválasztott átmenetekre, azok hossza és szintkülönbség-adatai, becsült időkölsége és az úton való haladás aránya (saját ábra)
4. ábra: Felhasználói teszt során rajzolt útvonalak (kék), a felhasználók körében legnépszerűbb útvonal (sárga) és a modell által alkotott legkisebb kölségű útvonal (piros). A táblázatban az egyes útvonalak hossza és az útvonal menti szintkülönbség található (Albert & Sárközy, 2021)
5. ábra: Legkisebb kölségű útvonalak fedettség, úthálózat és domborzat alapján számítva, az útvonalak hossza, szintemelkedése, becsült időkölsége és az úton való haladás aránya
6. ábra: Útvonalak az 1. átmeneten, tájfutótérképen megjelenítve (saját ábra)
7. ábra: Útvonalak a 2. átmeneten, tájfutótérképen megjelenítve (saját ábra)
8. ábra: Osztályozott fedettséget, úthálózatot és áthatolhatatlan objektumokat ábrázoló térkép (saját ábra)
9. ábra: Domborzatot és úthálózatot ábrázoló térkép (saját ábra)
10. ábra: Tájfutótérképek jelkulcsa (ISOM2017-2) alapján szerkesztett térkép (saját ábra)
11. ábra: Legkisebb kölségű útvonalak a 3. átmeneten (saját ábra)
12. ábra: Legkisebb kölségű útvonalak a 4. átmeneten (saját ábra)
13. ábra: Legkisebb kölségű útvonalak az 5. átmeneten (saját ábra)
14. ábra: Példák a tesztben megjelenő négy térképtípusra. Balról jobbra: várostérkép (Őrbottyán Önkormányzati információs portál, 2018), turistatérkép (mapy.cz), tájfutótérkép (Sötér és mtsai, 2021), tematikus térkép (Budai és mtsai, 2018)
15. ábra: Szintvonalas domborzatolvasás képességét mérő feladatok (saját ábra)
16. ábra: Menetidőbecslés képességét vizsgáló feladat (saját ábra)

17. ábra: Kitöltők eloszlása nem és életkor szerint (saját ábra)

18. ábra: Térképolvasási kérdésekre adott helyes válaszok száma kérdésenként (saját ábra)

19. ábra: Teszt során a kitöltők által becsült menetidők átmenetekre és térképtípusokra lebontva (saját ábra)

1. táblázat: Kategóriák és hozzá tartozó időkölségek Fisher & Lassa (2017) és Albert & Sárközy (2021) nyomán történő elemzéshez

2. táblázat: Vonalas és felületi objektumok súlya a költségfelszín számolásában, az ISOM 2017-2 (IOF, 2019) jelkulcs alapján (Albert & Sárközy, 2021 alapján)

3. táblázat: A két átmenet legkisebb költségű és legnépszerűbb útvonalainak adatai

4. táblázat: Térképolvasási feladatok (Board, 1978)

5. táblázat: Vizsgált átmenetek paraméterei (saját adatok alapján)

6. táblázat: A két térképtípus használatának gyakorisága, és az ez alapján kialakított felhasználói csoportok (fő, 1: hetente; 2: havonta; 3: ritkábban; 4: soha. Piros: haladók; zöld: tájfunók; kék: turisták; sárga: kezdők. Saját adatok alapján)

7. táblázat: Felhasználók által becsült menetidők átmenetenként (saját adatok alapján)