

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM  
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

# Térinformatikai alapú útvonalelemzés tájfutótérképen

SZAKDOLGOZAT  
FÖLDTUDOMÁNYI ALAPSZAK  
TÉRKÉPÉSZ ÉS GEOINFORMATIKA SPECIALIZÁCIÓ

*Készítette:*  
Sárközy Zsófia

*Témavezető:*  
Dr. Albert Gáspár  
egyetemi docens  
ELTE Térképtudományi és Geoinformatikai Intézet



Budapest, 2021

## Tartalomjegyzék

<b>Bevezetés .....</b>	<b>3</b>
Tájfutótérképek jelkulcsa .....	3
Útvonaltervezés a tájfutásban.....	4
A Dijkstra algoritmus általánosítása, és raszteres alkalmazása.....	5
A legkisebb költségű útvonal (LCP) algoritmus .....	6
Legkisebb költségű útvonal (LCP) tájfutótérképeken.....	7
A szakdolgozat célja.....	8
<b>Alapadatok és módszerek.....</b>	<b>8</b>
Domborzat .....	8
Érdességi index .....	9
Lejtőmeredekség .....	9
Csapásirányú görbület .....	9
Úthálózat .....	10
Egyéb vonalas objektumok .....	10
Tiltott és áthatolhatatlan területek .....	10
Felületi objektumok.....	11
Rajt- és célhelyek .....	12
Költségfelszínek előkészítése.....	13
Felhasználói teszt .....	14
Költségfelszínek .....	15
<b>Eredmények.....</b>	<b>17</b>
<b>Eredmények értékelése.....</b>	<b>20</b>
<b>Összefoglalás.....</b>	<b>22</b>
<b>Hivatkozások .....</b>	<b>24</b>
<b>Ábrajegyzék.....</b>	<b>26</b>
<b>Köszönetnyilvánítás .....</b>	<b>27</b>

# Bevezetés

„A tájfutás olyan sportág, ahol a versenyzőknek önállóan kell a terepen tájékozódniuk. A versenyzőknek bizonyos számú ellenőrzőpontot fel kell keresniük a lehető legrövidebb idő alatt, amik a terepen jelölve vannak, kizárólag térkép és tájoló segítségével. A pálya, amit a pontok elhelyezkedése határoz meg, nem ismert a versenyzők számára a rajtig.” (International Orienteering Federation [IOF], 2021, 3.o.)

## Tájfutótérképek jelkulcsa

A tájfutótérképek jelkulcsi kategóriáinak alapja a futhatóság szerinti besorolás. A tájfutónak a térkép által közvetített egyik legfontosabb információ a futósebesség megállapítása, ami alapján célja kiválasztani két pont között a saját tudásának megfelelően leggyorsabban teljesíthető útvonalat. A haladást jelentősen befolyásolja a domborzat, amit a térkép szintvonalakkal ábrázol. A szintkülönbség és a meredekség a futósebesség szempontjából a legfontosabb információk a futó számára. A térképen az úthálózat ábrázolja a legkönnyebben futható részeket, a terepen való haladás fontos tényezői még a sziklarajz, vízrajz és a növényzet. Ezeknek a részletes ábrázolása alapján tudja a versenyző a térkép alapján meghatározni a számára ideális útvonalat két ellenőrzőpont között.

A térképek a Nemzetközi Tájfutó Szövetség (IOF) által kiadott szabvány szerint készülnek, jelenleg az ISOM2017-2 van érvényben erdei térképekre és az ISSProM2019 sprinttérképekre<sup>1</sup>. A jelkulcsokban az egyes jelekkel ábrázolt területeken elérhető futási sebesség öt kategóriára van osztva. Legjobban futható területek a gyepes, burkolt területek és utak; ha a domborzattól eltekintünk, itt érhető el a legnagyobb sebesség. A szabvány az itt elérhető 4 perc/km sebességet adja meg viszonyítási alapként. A többi terepviszony esetén elérhető sebességeket ennek százalékában adja meg (1. táblázat).

---

<sup>1</sup> az erdei térképeknél nagyobb méretarányú, többnyire beépített területeket ábrázoló tájfutótérkép, amelyen a rövidtávú versenyszámok kerülnek lebonyolításra

No	Százalék	Meghatározás	Mintapélda	Megközelítő sebesség (perc/km)
1	> 100%	Könnyű futás	Gyep, burkolt területek, utak	< 4
2	80–100%	Normal futósebesség	Durva nyílt terület, erdő	< 5
3	60–80%	Lassú futás	Köves talaj, aljnövényzet, sűrű növényzet	5–6:40
4	20–60%	Séta / nehezen futható	Nagyon köves terület, sűrű aljnövényzet és növényzet	6:40–20
5	< 20%	Küzdelmes haladás	Különösen köves talaj és sűrű növényzet	> 20

1. táblázat: Megközelítő sebesség az egyes térképjelekkel ábrázolt területek esetén (International Specification for Orienteering Maps [ISOM2017-2], 2019)

Ha egy területen egyszerre több lassító tényező is jelen van – például sűrű növényzetben köves a talaj is – a futhatóság rosszabb lesz azokhoz a területekhez képest, ahol a tényezők közül csak az egyik van jelen.

A jelkulcs leírja, hogy a domborzatnak is van hatása a futhatóságra, azonban általánosan annyit említ csak, hogy a meredekség növekedésével a sebesség csökken.

Bizonyos objektumok a terepen áthatolhatatlanok vagy nem leküzdhetőek a versenyző számára, például az épületek, a kerítések, a falak, a sziklafalak, a vízfelületek, a mocsarak. Lehetnek a terepen olyan területek is, amelyekre a versenyzőknek tilos belépniük, vagy veszélyt jelentenek a futók számára (International Specification for Orienteering Maps [ISOM2017-2], 2019).

## Útvonaltervezés a tájfutásban

Az ideális útvonalak becslése a tájfutó pályák tervezésének is fontos eleme. Versenyrendezőknek a távok légvonalbeli hossza helyett a kategóriánkénti várható győztes idő az irányadó, ehhez kell a pályakitűzőnek a terep adottságainak megfelelő pályát tervezni (International Orienteering Federation [IOF], 2021). Ez a különböző tereptípusokon rendezett versenyeken a légvonaltávban jelentős eltéréseket okoz, a terep adottságaitól: domborzattól, fedettségtől, úthálózattól függően; a versenyzők mégis megközelítően ugyanannyi idő alatt érnek célba. Nyolc egymást követő év (2006–2013) világbajnokságának pályáit elemezve Hébert-Losier és munkatársai (2015) azt az eredményt kapták, hogy az erdei döntők pályahosszának a szórása az átlaghoz képest középtáv esetén 0,5 km, míg hosszútáv esetén 1,2 és 1,5 km nőknél, illetve férfiaknál. A győztes időkben 2,5-2,9 perces, illetve 5,7-7,5 perces szórást kaptak az egyes távokon.

A pályák elemzéséhez és tervezéséhez rendezők és versenyzők számára egyaránt több digitális eszköz is rendelkezésre áll. Az OCAD2020 térképrajzoló program pályakitűzői modulja tartalmaz útvonalak kiszámítására alkalmas funkciót. Ez az eszköz sprintpályáknál képes két ellenőrzőpont közötti útvonalakat számolni, majd megadja az egyes útvonalak hosszát. A szoftver felismeri azokat az objektumokat a térképen, amiken a versenyző nem tud átmenni, vagy tiltott számára az átjárás (épületek, kerítések, falak, sövények stb.), ezen területeket elkerülve adja meg az útvonalakat. A funkció azonban erdei térképek esetén nem működik, mivel az erdőben az útvonalválasztási feladatot nem a különböző áthatolhatatlan objektumok kerülése adja, hanem a terepi viszonyok határozzák meg.

Kedvelt online szoftver a 2DRerun pályatervező modulja is útvonalak elemzésére, ahol a felhasználónak egy képként betöltött térképre manuálisan kell az útvonalopciókat berajzolnia; a szoftver csupán a berajzolt vonalak távolságát adja meg. Ezek az elemzések segítik a tájfutók felkészülését, azonban nem térinformatikai elemzés az alapjuk, így a felhasználóra van bízva az útvonalak minőségének megítélése.

## **A Dijkstra algoritmus általánosítása, és raszteres alkalmazása**

Népszerű webes útvonaltervező szerverek, például a GoogleMaps és a Bing képesek két pont között a leggyorsabb útvonalat kiszámolni. Ezek valós idejű adatok alapján is tudják az útvonalat frissíteni, akár egyszerű mobileszközökről is, az egyes útkereszteződések közötti szakaszok idő- és távolságköltségét matematikai alapon kiszámolva (Luxen & Vetter, 2011).

A fent említett digitális térképeken az útvonalválasztásoknál utakat kell csak figyelembe venni, így a kereszteződések csomópontoknak, az összekötő vonalak pedig összekötő vonalaknak tekinthetők, azaz a teljes térkép egy gráfként is felfogható (Delling és munkatársai, 2009). Egy gráf két tetszőleges pontja közötti legrövidebb út kiszámolására először Dijkstra (1959) írt fel algoritmust, ami később összetettebb számítások alapjául szolgált.

Tájfutótérképeken azonban nem elég az utakat figyelembe venni, a domborzat, növényzet és egyéb futhatóságot befolyásoló elemek egybefüggő felületet alkotnak. A digitálisan megrajzolt tájfutótérképen az adatok vektorosan vannak tárolva. Ha a térképen mindössze áthatolhatatlan akadályok és járható részek lennének, a legrövidebb euklidészi távolságot a vektoros rétegen is ki lehetne számítani. Ez az akadálykerülő legrövidebb útvonal problémája. Azonban már ekkor felmerül a megoldások között egy rácsháló létrehozása, az adatok raszterre alakításával, ahol minden pixel értéke akadály vagy nem akadály. Az utóbbi megoldásnál ismét Dijkstra algoritmusát vagy az A\* algoritmust kell alkalmazni: az egyes pixelek középpontjai lesznek a gráf pontjai, amiket az élek a szomszédos pixelek középpontjaival kötnek össze. A megoldást

jelentősen befolyásolja a kialakított raszter felbontása: kis felbontásnál egyes akadályok közötti átjárók eltűnhetnek például, míg a nagy felbontás jelentősen megnöveli a számításhoz szükséges időt (Mitchell, 1988).

A tájfutótérképeken a felületi jelek segítségével a növényzet és más sebességet befolyásoló tényezők megjeleníthetők folytonos adatként, ekkor az egyes poligonok teljes területe azonos értéket kap. A poligonok súlyozása - például a futhatóságra gyakorolt hatásuk alapján - megadja a cellák értékét az adott poligonon belül. Ez a súlyozott régiók problémája, ami az akadálykerülő probléma általánosítása, annak az analógiáján megoldható vektoros és raszteres adatokkal is (Mitchell, 1988).

### **A legkisebb költségű útvonal (LCP) algoritmus**

Ha két pont között az ideális útvonalat szeretnénk meghatározni, először a térkép minden pontjának meg kell adni a költségét, azaz, hogy az adott ponton való áthaladás mennyire nehéz a többi ponthoz viszonyítva. A domborzatmodell alapján megadhatjuk különböző morfológiai paraméterek költségét is. A költségeket a további számolásokhoz mindenképp raszteres rétegeken kell tárolni, ahol minden cella értéke kifejezi az adott cellán való áthaladás költségét. Egy tetszőleges célpontra ezután egy költségeket tartalmazó rétegből kiszámítható az adott pontra vonatkoztatott költségfelszín. Tetszőleges kiindulási pont esetén a legkisebb költségű útvonal egy folyamatosan lefele haladó lejtővonal lesz a költségfelszínen, ami a célpontba vezet. (Douglas, 1994).

Van Etten (2017) a heterogén rácshálókból való útvonalak kiszámítására az R szoftverben megalkotott egy önálló bővítménycsomagot: a `gdistance`-t. A legkisebb költségű útvonal kiszámítására alkalmas a bővítmény, ami a bemenő raszteres adatokból gráfok segítségével mátrixokat képez, majd kiszámolja a legkisebb költségű útvonalat Dijkstra algoritmus alapján. A csomag segítségével különböző rétegek könnyen modellezhetőek, azokkal matematikai műveletek végezhetőek, ha azonos a rácsháló felbontása és terjedelme. Végül a mátrix visszaalakításával az eredmény raszterként vizuálisan is megjeleníthető. Két pont közötti távolság kiszámításához pedig a bővítmény a pontok koordinátáit is eltárolja kétoszlopos mátrixként.

A Dijkstra-algoritmus segítségével a legjobb útvonal kereshető meg, más térinformatikai szoftverek – például ArcGIS, QGIS és a dolgozathoz használt SAGA - ez alapján számolja a legkisebb költségű útvonalat. Az eredmény azonban függ attól, hogy hány szomszédos cellát kötünk össze éllel: 4 közvetlen szomszédot; 8 derékszögű és átlós szomszédot (a SAGA

szoftver ilyen módon számol); vagy lólépéssel együtt 16 irányban a szomszédokat. Több szomszéd összekötése növeli a gráffal végzett számítások pontosságát (van Etten, 2017; Herzog, 2013).

## **Legkisebb költségű útvonal (LCP) tájfutótérképeken**

A tájfutó térképeken a térképjelek által meghatározott futósebesség, és így az útvonalválasztást befolyásoló paraméterek is számszerűsíthetők. Az egyes térképrajzi kategóriák megfelelő súlyozásával az útvonalválasztás térinformatikai alapon is elvégezhető. Ahhoz, hogy két pont között a legkisebb költségű útvonalat ki tudjuk számítani, a tájfutótérkép egyes elemeinek költségét meg kell határoznunk.

A domborzat befolyása a haladási sebességre széles körben kutatott témakör. Tobler (1993) szerint a maximálisan elérhető gyaloglósebességet a terep lejtőmeredeksége határozza meg. A sebesség azonban nem síkon éri el a maximumát, hanem enyhén lejtő terepen. Ennek következtében a lejtőmeredekség anizotrop felületként jelenik meg, ahol az azonos lejtőn lefele haladás esetén az egységnyi út időköltsége kisebb, mint felfele.

A lejtőmeredekséget figyelembe vevő legkisebb költségű útvonal kiszámítására alkotta meg Alberti (2019) a 'movecost' bővítményt az R szoftverben. Bejövő adatként a programnak egy digitális terepmodellre (DTM), valamint a rajt- és célhelyekre van szüksége, amik között az útvonalat számolja. A lejtőmeredekség súlyát a távolsághoz képest a felhasználó adja meg. A költségfelszín kiszámításához a csomag a korábban említett `gdistance` modult használja (van Etten, 2017). A modul Tobler gyaloglásra értelmezett időfüggvényét (1993) veszi alapul, azonban a haladás irányát nem veszi figyelembe, szimmetrikusan alkotja meg az útvonalakat (Alberti, 2019).

Míg a legtöbb esetelemzés csak a lejtőmeredekségre fókuszál egyszerű modellt alkotva, fontos figyelembe venni más haladást akadályozó tényezőket is. Ilyenek a tájfutásban is fontos szerepet játszó növényzet, a terepi viszonyok más elemei, vagy a vízfelületek. Ezek figyelembevételével egy komplex modell alakul ki, aminek minden változóját külön elemezni kell a modell pontossága érdekében (Herzog, 2013).

A tájfutótérképek nemzetközi szabványa bizonyos térképrajzi kategóriákban (növényzet és a köves terület jel különböző változatai) a jeleket a maximális futósebességhez képest elérhető sebesség százalékában definiálja (International Specification for Orienteering Maps

[ISOM2017-2], 2019). Ezen jelek esetében a költség könnyen és objektíven meghatározható a térinformatikai elemzéshez is. Más kategóriák esetén a költségértékek meghatározása nehezebb, inkább gyakorlott tájfutók tapasztalataira támaszkodhat. Felhasználói tesztek statisztikai kiértékelésével lehetséges a tájfutók útvonalait összesíteni (Szigeti & Albert, 2015).

## **A szakdolgozat célja**

A szakdolgozat célja egy mintaterület alapján megvizsgálni az egyes térképjelek költségét a tájfutótérképen, majd "legkisebb költségű útvonal" elemzést végezni kiválasztott pontok között térinformatikai szoftverek segítségével. A térképi fedvények és objektumtípusok megfelelő súlyozásával a cél azt elérni az eredmények kiértékelésével, hogy a modell gyakorlott tájfutók útvonalaihoz hasonló eredményt adjon.

## **Alapadatok és módszerek**

Az elemzés mintaterülete a Budai-hegyekben található Vadaskert terep, egy OCAD térkép volt az térképi adatok forrása (Dénes és munkatársai, 2014). A térkép ISOM2000 jelkulcs szerint készült, a hivatalos jelkészleten felül tartalmaz néhány egyéni jelet is. A térkép 2014-ben készült, legutoljára 2019-ben volt helyesbítve. A térkép tulajdonosa a Budapesti Tájfutók Szövetsége. A mintaterület nagysága 5,17 km<sup>2</sup>.

Az első lépés az OCAD fájl átalakítása volt térinformatikai szoftverek által értelmezhető shapefile-ba. Különböző térképi kategóriák önálló rétegekként lettek exportálva, egyrészt az eltérő geometria miatt, másrészt a későbbi feldolgozás megkönnyítése érdekében. A további elemzés a QGIS 3.14 szoftverben készült.

## **Domborzat**

A tájfutótérkép a domborzatot szintvonalakkal ábrázolja, az elemzéshez ezt kellett átalakítani egy digitális domborzatmodellé. Minden szintvonalhoz hozzá lett rendelve a tengerszint feletti magassága, majd ebből egy pont adatbázist hoztunk létre. Ezen értékeket felhasználva készült el a domborzatmodell 1 méteres felbontásban. A térképen az alapszintköz 5 méter volt, így a folyamat során a szintvonalak között 'teraszok' jöttek létre. Ezek kiküszöbölésére krigeléses eljárással interpoláltuk a domborzatmodellt, exponenciális variogram modellt alkalmazva 40 méteres hatástávolság. Simítófilterekkel került további javításra a domborzatmodell, 7x7 méteres kernellel 9 iterációval. Ezzel a modell pontossága csökkent, de eltűnt a szintvonalak menti lépcsőzetesség, amik a későbbi elemzést zavarták volna. A domborzati elemeket így is



megtartotta a domborzatmodell és alkalmas volt további morfometriai paraméterek kiszámítására.

A domborzat többféle módon befolyásolja a futhatóságot, így több morfometriai tényező is szóba jöhet a költségfelszín számításakor. Míg Tobler (1993) a haladási sebesség kiszámításához egyedül a lejtőmeredekséget vette figyelembe, az itt bemutatott elemzésbe több morfometriai paraméter is belekerült. A későbbiekben csak azok a változók lesznek bemutatva, amik a költségfelszín részét képezték, ezen kívül más paraméterek jelentősége is ki lett próbálva. A domborzatmodellből raszteres rétegek jöttek így létre, ezek később bemutatott súlyozásával alakult ki a végleges domborzati költségkéreg.

### **Érdeességi index**

Az érdeességi index (Terrain Ruggedness Index-TRI) megadja, hogy egy adott pixel körüli cellák milyen átlagos magasságkülönbséggel rendelkeznek. Jelen elemzés 1 cellányi távolságban készült, azaz a nyolc szomszédos cella magasságértékei lettek figyelembe véve. Magas értékek esetén a terep meredek és/vagy tagolt a környező cellákban, ami lassítja a haladást.

### **Lejtőmeredekség**

A lejtőmeredekség (slope) magas értékei nehezítik a terepen való haladást lefele és felfele egyaránt, az érdeességi indexhez hasonlóan. Eltérő haladási irányokban a meredekség eltérően befolyásolja a futósebességet, nagy értékeknél azonban minden irányban haladva jelentősen csökken a sebesség. Mivel az elemzés csak izotróp fedvényekkel készült, a meredekség azonos értékeket kapott minden irányban.

### **Csapásirányú görbület**

A csapásirányú görbület (plan curvature) a domborzat éles változásait, a völgyeket és gerinceket hangsúlyozza ki, amiken az átjutás nehezíti a terepen való haladást. Ez a görbület irányától függően pozitív és negatív értékeket egyaránt felvehet. Azonban a terepen való haladás költsége nem lehet negatív, ezért a görbület abszolút értékét kellett venni. Ezenkívül a domborzatmodell pontatlanságaiból adódóan számos kilógó adat is volt a rétegen, amik újraosztályozással kaptak a valósághoz jobban közelítő értékeket. A továbbiakban a csapásirányú görbület rétege az itt leírtak alapján korrigált réteget jelenti.

A morfometriai paraméterek numerikus értékei nagy eltérést mutattak, ezért összeadásuk előtt mindegyik 0,1 és 1 közé lett normálva. A domborzat költségfelszíne a fenti rétegek később bemutatásra kerülő súlyozásával alakult ki.

## **Úthálózat**

A terepen található utak futhatóság szerint lettek kategorizálva. Itt az utak jelentős része a maximális értéket kapta, mivel aszfalt-, dózer- és szekérutakon közel azonos az elérhető maximális futósebesség. A kisebb ösvények és nyiladékok magasabb költségértékeket kaptak, azonban százalékosan tekintve még mindig alacsony értéket, mivel a többi területhez képest (például sűrű erdő vagy sziklás terület) még jónak mondható rajtuk a futhatóság.

## **Egyéb vonalas objektumok**

Találunk vonalas objektumokat a domborzati jelek között, a metsződés, a szárazárok és a földletörés, valamint ezen a térképen speciálisan külön vonalas jelként van jelölve a lövészárók is. A sziklafalak is vonalas jelként vannak ábrázolva, valamint különböző vízrajzi elemek, a patakok és a keskeny mocsár is, azonban a vízrajzi elemek nem jelentősök a vizsgált területen. Vonalas elem a térképen még a növényzeti jelleghatár, azonban ez nem került bele az elemzésbe, mivel a futhatóságot ez egyáltalán nem befolyásolja.

## **Tiltott és áthatolhatatlan területek**

A tájfutó térképeken bizonyos területeken tilos az átjárás. Ilyen például a lakott terület. Más vonalas jelek pedig olyan elemeket jelölnek, amin fizikailag nem lehetséges (vagy nagyon nehéz, ezáltal biztosan idővesztéssel jár) az átjárás. Ilyenek a kerítések és az áthatolhatatlan sziklafal. Ezek az elemek a többi jeltől külön rétegre kerültek. A vonalas objektumok raszteres konverziójakor ezek a jelek egy nagyon vékony, 1 pixel széles sávot alkotnak csak, ami a későbbi elemzés során problémákat okozott: valóságban nem létező átjárók jöttek létre egyes pixelek között. Ezért a vonalas jelek köré készült egy övezet, majd ez lett raszterizálva. A tiltott és áthatolhatatlan objektumok vonalas és felületi jelei összevonva később maszk réteggént szolgáltak a teljes költségraszter felszínen.

A térképen található összes vonalas elemhez 0,1 és 1 közötti súly lett hozzárendelve az adatbázisban, annak megfelelően, hogy milyen mértékben nehezíti a haladást. A minimum érték 0 helyett 0,1 lett amiatt, hogy egy elemnek se legyen később 0 a költsége.

A tiltott és áthatolhatatlan elemek súlya egységesen 10 lett, ennek szerepe a teljes felszínen később kerül bemutatásra.

### **Felületi objektumok**

A tájfutótérképeken a felszínborítottság nagy része felületi jelként van ábrázolva, különböző kategóriákba osztályozva a futhatóság és láthatóság alapján. Ezeknek a költségértékének alapjául az ISOM2017-2 (IOF, 2019) jelkulcs meghatározásai szolgáltak, amik pontosan megadják az egyes növényzeti kategóriákban a futósebességet a maximális értékhez viszonyítva. A növényzet mellett felületi jelek jelzik az egybefüggő kőmezőket és szabdalt területeket, amik sűrűbbek annál, hogy egyesével, pontszerű elemként legyenek ábrázolva, ezek a területek is a növényzettel azonos rétegre kerültek. Az összes felületi jel 0,1 és 1 közötti értéket kapott, az ISOM2017-2 (IOF, 2019) definícióinak megfelelően.

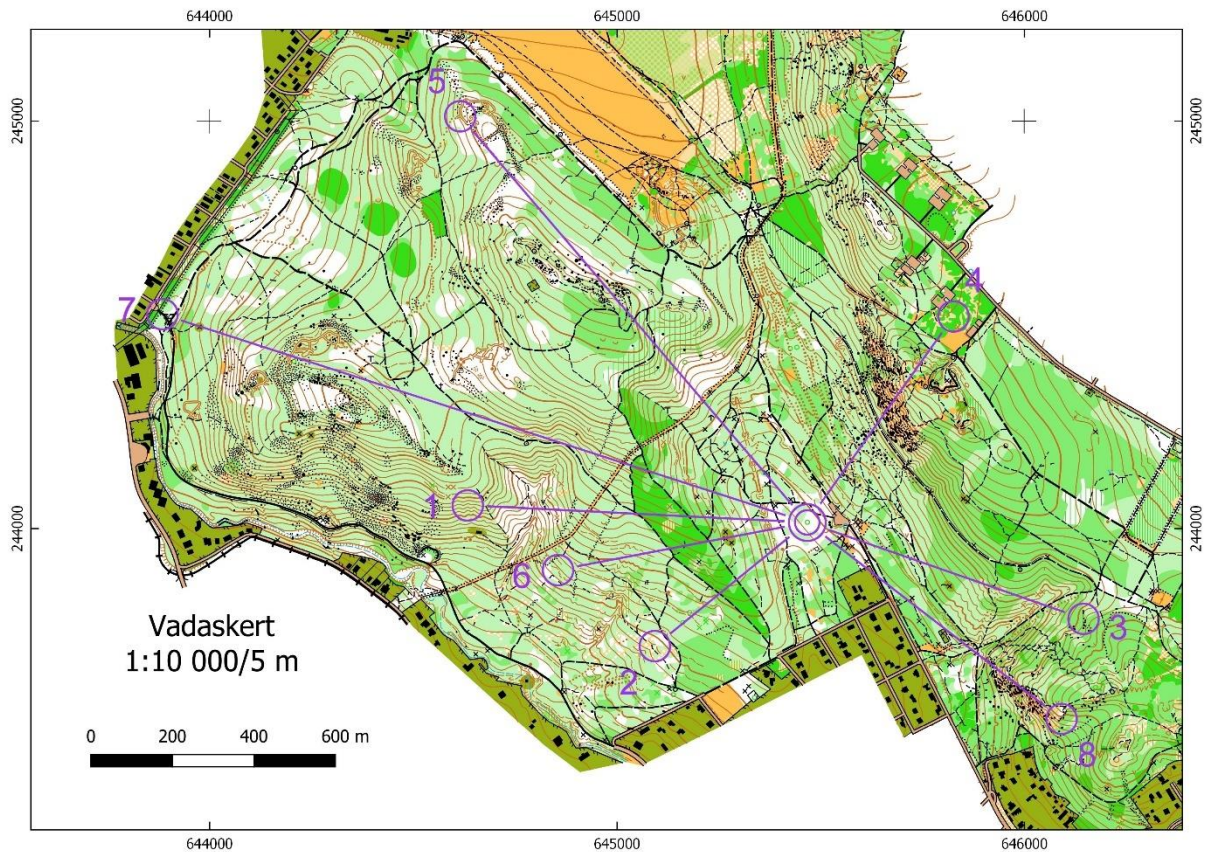
A térképen előforduló összes jel költségértékét a 2. táblázat tartalmazza.

típus	objektum megnevezése	súly
vonalas	út, gyalogút	0,1
	ösvény	0,15
	felhagyott ösvény, keskeny nyiladék	0,25
	kis letörés, kis töltés, szárazárok	0,3
	töltés	0,4
	metsződés	0,5
	lövészárok	0,6
	földletörés, sziklafal	0,7
	kis vizesárok, keskeny mocsár	0,3
	vasútvonal	0,2
	romos fal, romos kerítés, rom	0,5
felületi	burkolt terület, nyílt terület	0,1
	jól futható erdő, ligetes, durva nyílt terület	0,2
	durva ligetes, lassan futható erdő	0,3
	lassan futható aljnövényzet	0,4
	nehezen futható erdő, bokorliget	0,6
	járható aljnövényzet	0,7
	bozótliget	0,8
	leküzdhető növényzet	0,9
áthatolhatatlan	kerítés	10
	áthatolhatatlan sziklafal	10
	zárt terület	10
	épület	10

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

## Rajt- és célhelyek

A létrejövő költséggraszter rétegen a cél, hogy kiszámítható legyen két tetszőleges pont között a legkisebb költségű útvonal. A számítások könnyítése érdekében egy célhely lett meghatározva, hogy arra később egy költségfelszint (Accumulated Cost Surface) elég legyen kiszámítani. Nyolc rajthely volt különböző irányokban, az átmenetek különböző jellegű terepeken vezettek keresztül, ami a modell helyességét tesztelte különböző tereptípusokon. Az átmenetek nagyrészt útvonalválasztási feladatokat tartalmaztak. A SAGA Least Cost Path modulja később az egyes rajthelyekből indulva egyesével számolta ki a célba vezető legkisebb költségű, azaz legideálisabb útvonalat.



1. ábra: A vizsgált terület térképe a rajt- és célhelyekkel, EOV koordináta-rendszerben

## Vonalas és fedettségi elemek költségfelszínének előkészítése

A legkisebb költségű útvonalak kiszámításához (least cost path) az első lépés a terep költségértékeinek a meghatározása volt. Először rétegenként lettek a már bemutatott költségek megállapítva, majd az egyes rétegek összeadva. Mivel a költségfelszínnek mind raszteres rétegek voltak, a velük való számolásokhoz fontos volt, hogy minden réteg vetülete és terjedelme azonos legyen.

Először az utak és az egyéb vonalas jelek rétegei lettek összevonva, ahol az utakhoz képest a többi vonalas jel, amik akadályozzák a haladást, magasabb költségértéket kaptak. A korábbi, 2. táblázatban bemutatott értékeket kapták az objektumok. A vonalas objektumok raszterizálása után azok a területek, ahol nem volt adat, egy köztes értéket kaptak. Mivel a vonalas jelek súlya bele lett égetve a raszterbe, minden egyes cellának lett egy költségértéke.

Ezután a felületi jelek kerültek bele a költségfelszínbe, szintén raszterre alakítva, összeadva az előbbi vonalas objektumokkal. A tiltott és áthatolhatatlan területek ebből a rétegből kerültek kivágásra olyan módon, hogy ezek a részek egy kiugróan magas költségértéket kaptak (a korábban előforduló súlyok maximumának tízszeresét). A tiltott területekhez hasonlóan a

vizsgált terület határán kívül eső részek is 10-es súlyt kaptak. Erre azért volt szükség, mivel a nincs adat cellákat nem tudná kezelni a SAGA program a költségfelszín kiszámításakor. Az így kapott nagy költségű területeket viszont elkerülte az ideális útvonal, de elméleti szinten, extrém esetben át tudna vezetni rajta (például kerítés két oldalára helyezett pont, ahol a kerítés megkerülése nagyon hosszú lenne).

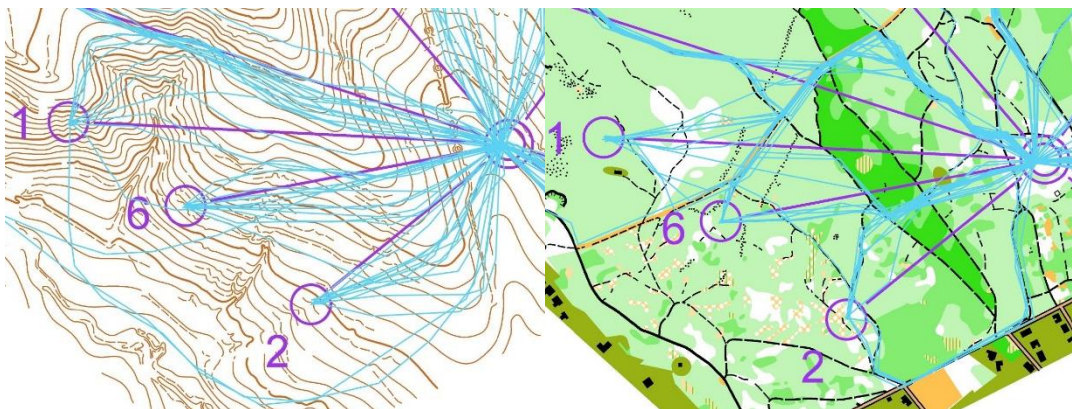
## Felhasználói teszt

A modell által adott eredmények ellenőrzésére tájfutó versenyzők rajzolták be az általuk legjobbnak gondolt útvonalakat egy kinyomtatott térképre, a modellel azonos nyolc pont és a cél között.

Kétféle teszt készült: egy teljes térkép; és egy-egy külön domborzati, valamint felületi és vonalas jeleket ábrázoló fázisnyomat. A két teszten többnyire eltérő versenyzők vettek részt.

Első lépésben tapasztalt versenyzők rajzolták be a nyolc átmenethez az útvonalait külön a csak szintvonalakat ábrázoló, illetve a felületi jeleket és utakat tartalmazó fázisnyomatra. Ennek célja, hogy a modell számolásai részeredményenként is ellenőrizve legyen és külön rétegenként lehessen igazítani, ezzel pontosabbá téve a teljes felület költséggraszterét.

A domborzati, illetve a felületi elemeket és utakat ábrázoló fázisnyomatra 11 versenyző rajzolta be az útvonalát, technikai tudásuk szerint ők mind élversenyzők voltak. A tesztalanyok nagyrészt felnőtt férfi versenyzők voltak.



2. ábra: Részlet a versenyzők által rajzolt útvonalakból a domborzati, illetve felületi jeleket és utakat ábrázoló fázisnyomaton

Az összes térképrajzi elemet ábrázoló térképre 26 versenyző rajzolta be az útvonalát, technikai tudásuk is eltérő volt: középhaladóktól élversenyzőig (tájfutásban megszokott technikai nehézséggel jellemezve B, A és E szintű versenyzők). 18 női és 8 férfi versenyző vett részt a

tesztben, életkoruk is széles skálán mozgott. Ugyanazon átmenetekben kellett az útvonalakat berajzolniuk, mint az első tesztnél, de a térkép, így esetlegesen az ideális útvonal is eltérő volt. Az eltérő technikai tudás miatt ezek az útvonalak nem tekinthetők feltétlen az útvonalválasztási feladat ideális megoldásának, így nem szolgáltak a későbbi költségfelszínek pontosítására, csak a kapott eredményekkel való összehasonlítási alapként szolgált.

Mindkét teszt esetében az útvonalak egyesével lettek digitalizálva és így egy-egy vonallá alakítva, térképtípusonként kerültek egy rétegre. Térképtípusonként és átmenetenként készült egy-egy hőtérkép a digitalizált vonalak sűrített töréspontjainak átvételével, 10x10 méteres felbontásban. Így egy raszteres felszín jött létre, ahol a SAGA legkisebb költségű útvonal elemzését el lehetett végezni. Ezen a raszteren a legnépszerűbb útvonal által érintett cella kapta a legmagasabb értéket, ezért a rétegek reciprokaival kellett számolni, hogy a legnépszerűbb útvonal költsége legyen a legalacsonyabb. Ezen felszín alapján lett a célra vonatkoztatott költségfelszín megállapítva. Ezekon a felszíneken átmenetenként került kiszámításra a legkisebb költségű útvonal, ami a versenyzők által a leggyakrabban rajzolt útvonalat jelenti. A leggyakoribb útvonal mellett gyakran voltak más népszerű alternatívák is, amiknek az eredmények értékelésében később volt szerepe.

## **Költségfelszín**

Az egyes rétegek költségének helyességét a versenyzők által berajzolt útvonalak igazolták, ezek addig kerültek pontosításra, míg a modell által adott útvonalak megközelítették a tájfutók által berajzolt útvonalakat.

Az fentebb leírtak alapján előkészített fedvényen került kiszámításra először a célra vonatkoztatott költségfelszín, majd ezen a legkisebb költségű útvonalak. Ennek a modellnek az eredménye lett összehasonlítva a növényzetet és utakat ábrázoló térképre rajzolt útvonalakkal. Az összehasonlítás alapján ezen a fedvényen a modell által alkotott útvonalak messzire eltértek a légvonaltól. Mivel az egyes pixelek költségértékei sokszorosai voltak egymásnak a vonalas és felületi jeleket tartalmazó rétegen (0,1 és 1 között), egy konstans grid hozzáadása csökkentette a költségek közötti érték arányát. 0,3 értékű konstans hozzáadásával közelítették a modell eredményei legjobban a teszteredményeket. Ennek köszönhetően minden cella értéke megnőtt 0,3-mal, így az eddigi alacsony költségű cellák aránya a legmagasabbakhoz képest megnőtt. Ez azt eredményezte, hogy a legkisebb költségű útvonal átvezetett magas költségértékű területeken is, ha hosszú lett volna azt megkerülni. Ezután a raszter normálva lett a tiltott területeket kivéve, hogy a cellák értéke 1 alatt maradjon a későbbi számítások



megkönnyítése érdekében. A modellt újra lefuttatva az eredmény így már megközelítette a felhasználói teszt eredményeit: a számított útvonal megegyezett minimum egy, de a legtöbb esetben több versenyző útvonalával.

A domborzati költségfelszín kialakításához a morfológiai paraméterek sok különböző súlyozása tesztelve lett, mindegyik verzió külön kiszámolva a legalacsonyabb költségű útvonalat. A legjobb összetételű raszter a felszín költségraszterhez hasonlóan a felhasználói teszt útvonalai alapján lett kiválasztva. A legjobb eredményt az alábbi számolás adta:

$$\text{érdeességi index} * \sqrt{\text{csapásirányú görbület} * \text{lejtőmeredekség}}$$

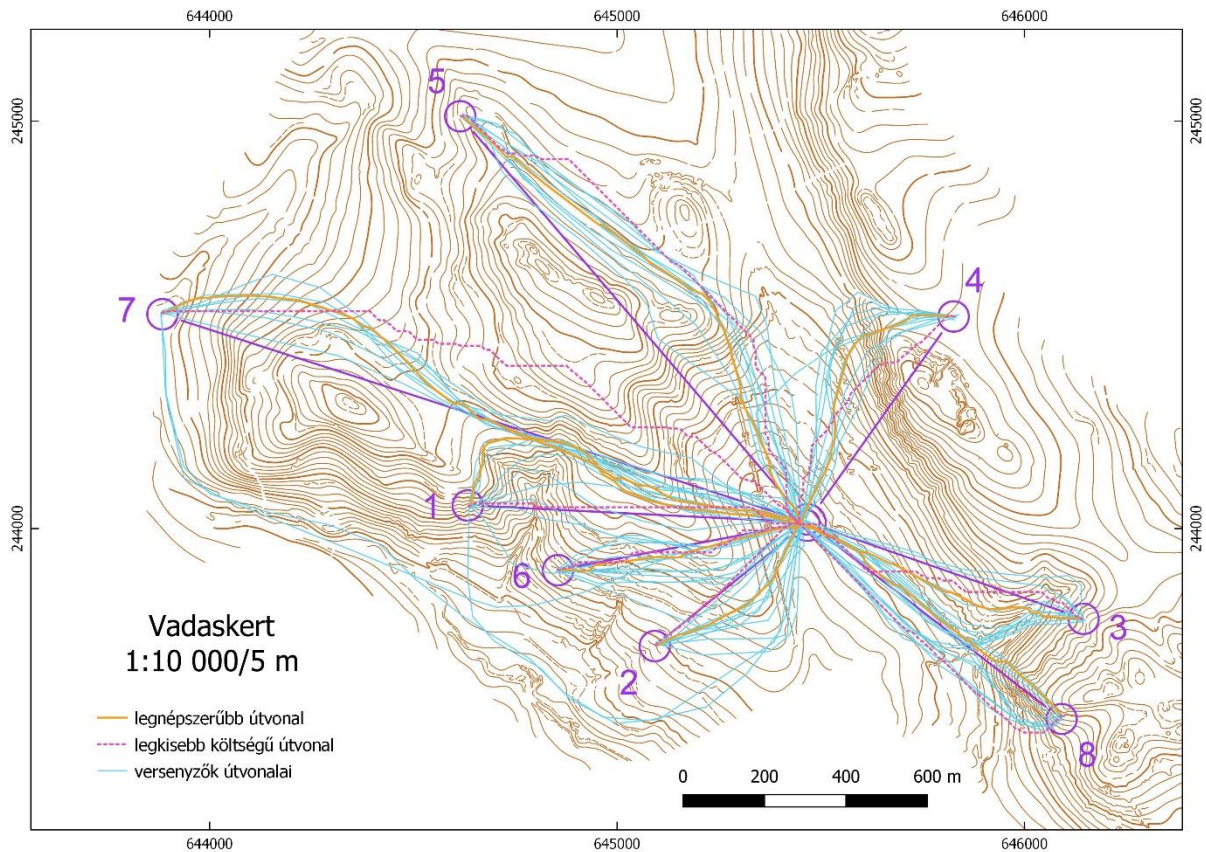
A teljes költségfelszín létrehozásában az utolsó lépés a felületi és domborzati raszter összeadása volt. A két raszter hisztogramját nézve megfigyelhető, hogy a felületi értékek eloszlásának csúcsa nagyjából kétszeres értékeknél található a domborzat értékeihez képest. Annak érdekében, hogy a két felszín költségeinek eloszlásfüggvényének maximumhelye azonos legyen, a domborzati réteg értékei a két réteg eloszlásmaximumának arányával meg lett szorozva, hogy a csúcsuk egybeessen. Ezután a két réteg arányosan lett súlyozva a végleges raszteren, így a teljes felszín értékei 0,1 és 1 között maradtak (ez esetben is eltekintve a tiltott területektől, amelyek értéke továbbra is 10 maradt). A felhasználói tesztekkel egybevetve a felület\*0,4+domborzat\*0,6 összeadás adta a legjobb eredményt.

Ezen a rétegen is ki lett számolva a célra a költségfelszín, majd az egyes pontokból induló legkisebb költségű útvonalak.



## Eredmények

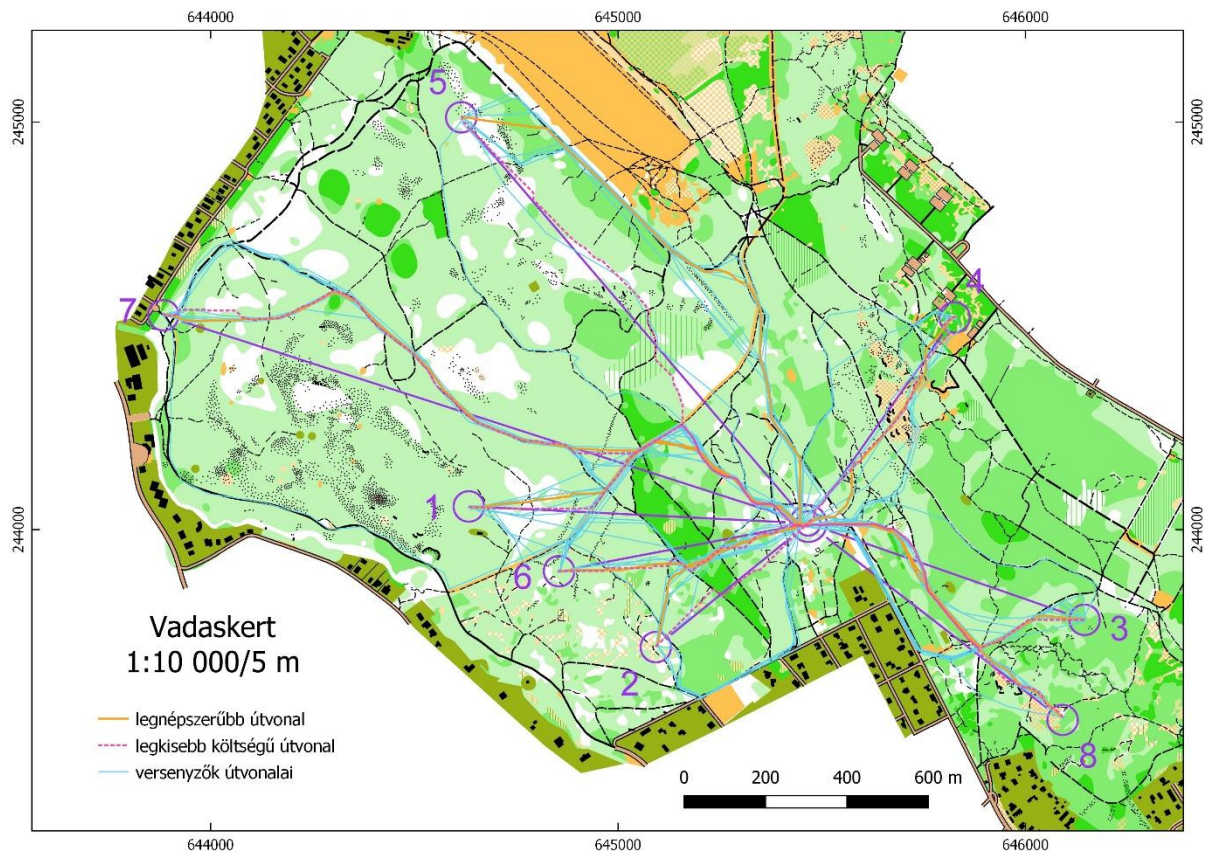
A berajzolt útvonalak alapján kalkulált ideális útvonalak lettek összevetve a modell által kínált ideális útvonalakkal az egyes fázistérképeken és a teljes térképen is. A domborzati térképen a modell által alkotott és felhasználói teszt útvonalait a 3. ábra mutatja be.



3. ábra: Útvonalak a domborzati fázistérképen, EOV koordinátarendszerben

A modell több átmenet esetében is szinte azonos eredmény adott a futók között legnépszerűbb útvonallal, egybeesik a rajzolt útvonalak jelentős részével a 2. és 6. pontoknál. Rövid szakaszon látható eltérés a 3, 4. és 5. pontokon, ahol a legkisebb költségű útvonal az átmenet jelentősebb részében közelíti a legnépszerűbb útvonalat. A 8. pont esetében a teszt és a modell eredménye jelentősen eltér, azonban látható, hogy a versenyzők közül sokan rajzoltak az utóbbihoz hasonló útvonalat is, így a legkisebb költségű útvonal is egy reális útvonalopciónak tekinthető. A legnagyobb az eltérés az 1. és 7. pontok esetében, ahol a legkisebb költségű útvonal jelentős része olyan területen vezet, ahol a teszten egy útvonal sincs. Ennek egy lehetséges magyarázata az Eredmények értékelése fejezetben kerül kifejtésre.

A felületi térképen a modell által megadott útvonalak és a berajzolt útvonalak a 4. ábrán láthatóak.

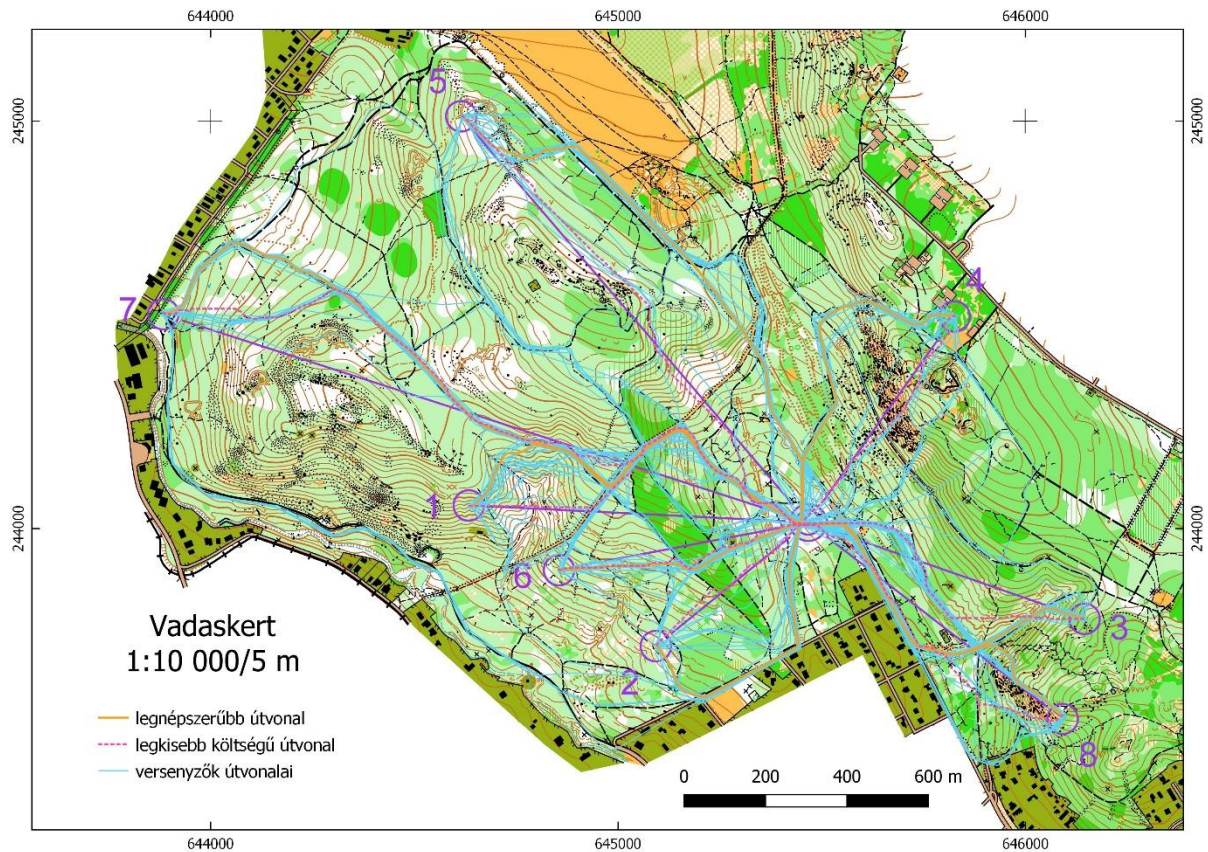


4. ábra: Útvonalak a felületi jeleket és utakat ábrázoló fázistérképen, EOV koordinátarendszerben

A felületi jeleket és utakat ábrázoló fázistérképen a legnépszerűbb és legkisebb költségű útvonalak többnyire szinte egybeesnek. Jelentős eltérés a 2. és 5. pontok esetében figyelhető meg csak, a modell mindkét esetben egy légvonalhoz közelítő megoldást adott a teszt alapján legnépszerűbb, valamivel hosszabb utak helyett.

A teljes térképet ábrázoló tesztet eltérő tudású versenyzők töltötték ki, így az ebből alkotott hőtérképen a legnépszerűbb útvonalak nem feltétlen jelentik tapasztalt versenyzők számára a legideálisabb megoldást. Az 5. ábra bemutatja a modell által adott és a teszt alapján legnépszerűbb eredményt, de látható rajta az összes berajzolt útvonal. Ezekből megállapítható, hogy több átmenet esetében is vannak a legnépszerűbb útvonal mellett más élesen elkülönülő, gyakran választott útvonalak is.





5. ábra: A versenyzők útvonalai és a modell által alkotott útvonalak, EOV koordinátarendszerben

A vizuális értékelés mellett a teljes térképre vonatkoztatott útvonalak számított paraméterei is össze lettek vetve: térképre berajzolt és a kiszámított útvonalak hosszát GIS-ben lemérve, valamint az adott útvonalon található magasságnövekedést a térkép alapján kiszámolva a 3. táblázat tartalmazza.

pont	legnépszerűbb		legkisebb költségű	
	táv (m)	szint (m)	táv (m)	szint (m)
1	1109	55	992	75
2	797	30	498	35
3	956	5	839	10
4	930	0	681	25
5	1493	25	1397	25
6	651	40	674	40
7	2084	110	1995	110
8	950	10	909	5

3. táblázat: A modell útvonalainak és a felhasználói teszt legnépszerűbb útvonalainak hossza, magasságnövekedése és -csökkenése

A berajzolt és a kiszámított útvonalak közötti eltérések átmenetenként eltérőek. A 6. pontnál az útvonalak gyakorlatilag megegyeznek, alakjukban és a fizikai jellemzőikben is, így a modell sikeresen megalkotta az ideális útvonalakat.

A 4. pontnál látható, hogy a modell jelentősen eltér a hőtérképen legnépszerűbb útvonaltól, azonban a berajzolt útvonalakból látszik, hogy a versenyzők jelentős hányada választotta a modell által adott útvonalat is, így ezek is reális útvonalopciónak minősülhet. Hasonló tendencia figyelhető meg a 7. és 8. pontoknál az átmenet egy szakaszán. A többi szakaszon viszont itt megegyezik a modell és a teszt által alkotott eredmény, itt is sikeresnek mondható a modell útvonalválasztása.

Az 1. és 3. pontoknál a kiszámított útvonal részben egybeesik a legnépszerűbb útvonallal, részben viszont olyan területeken vezet, ahol a berajzolt útvonalak közül egy sem, vagy csak néhány. A legkisebb költségű útvonal mindkét esetben rövidebb, azonban több szintemelkedést tartalmaz és hosszabban vezet erdőben a legnépszerűbb útvonalnál.

A két útvonal közötti eltérés a legnagyobb a 2. és 5. pontok esetében volt. A legkisebb költségű útvonalak lényegesen rövidebbek a legnépszerűbb útvonalnál, azonban kisebb szakaszon vezetnek csak utakon. Néhány versenyző mindkét esetben rajzolt itt is a modelléhez hasonló útvonalat.

## **Eredmények értékelése**

A modell által alkotott és a legnépszerűbb útvonalak objektív összehasonlítását a vizuális és számszerű adatok elemzése mellett terepen végzett tesztfutások tudnák igazolni. Azonban futások nélkül is megállapítható, hogy a modell a legjobban a meredek domboldalakban tér el a versenyzők útvonalaitól. Különösen szembetűnő ez az 1. és 7. pont esetében, ahol a versenyzők többsége egy meredek domboldalban vezető utat preferált, de a számítások során a domborzat nagy költsége miatt elkerülte a legkisebb költségű útvonal ezt a szakaszt.

Szintén morfológiai hiányosság, hogy ahogy az Tobler gyaloglási sebességet számító függvényénél is látható, a lejtőmeredekség aszimmetrikusan befolyásolja a maximális sebességet. Ennek következtében a lejtőmeredekség felszíne anizotrop, költségének haladási iránytól kellene függenie. Ez feltételezhetően a futásra is igaz, vagyis a lejtőmeredekségnek eltérő értékeket kellene kapnia felfele és lefele haladás esetén.

Néhány átmenetben a kért versenyzők körében eltért a legnépszerűbb útvonal a modell alkotott eredménytől, de a tájfutók jelentős része választott a modellel azonos megoldást. Ezekben az esetekben a versenyzők eltérő technikai tudása miatt lehetséges, hogy mégis a

modell adja az élversenyzőknek legideálisabb útvonalat, míg a legnépszerűbb útvonal alacsonyabb technikai szint esetén ideális. A versenyzők által választott útvonalakat technikai tudásuk alapján lehet differenciálni: ez alapján különböző szintekhez különböző súlyozású költségfelszíneket lehetne létrehozni. Így például egy kezdő tájfutó esetén az utak súlyának kihangsúlyozásával elérhető, hogy a modell kezdők számára ideális útvonalat adjon, ami nagyobb részben vezet utakon.

A modell pontossága - elsősorban a hipszometriai adatoké - jelentősen nőhetne, ha a térkép egy nagy felbontású domborzatmodell alapján készülne, és a domborzati rétegeket ez alapján lehetne elkészíteni. Erre alkalmas lehet például egy Lidar-adatokból készült térkép. A felmérésből kapott adatok az elemzéshez szükséges időt is jelentősen csökkenthetnék.

Szintén meghatározó volt a modell pontosságára felhasznált OCAD fájl rajzi kivitele: a legjelentősebb nehézséget az elemzés szempontjából a kömezők és szabdalt területek ábrázolása jelentette. Ezek a fájlban pontszerű elemként vannak ábrázolva és nem összefüggő felületként, így az elemzésbe nem kerültek bele, pedig a futótempóra jelentős hatással lehetnek.

Elméletben a megalkotott modellel bármely térképen bármely két pont között ki lehet számolni a legideálisabb útvonalat. Azonban a terepek eltérő karaktere miatt az itt bemutatott költségértékek nem biztos, hogy minden tereptípuson jó eredményre vezetnének. Más terepek esetén inkább a bemutatott súlyok aránya lehet érvényes, amit első sorban az adatok normálása segít elő. Más területen való teszteléssel és a folyamat generalizálásával megalkotható lenne egy önálló plugin, ami a bejövő adatok megadása után automatikusan végrehajtja a teljes elemzést. Ez az átmenetek objektív elemzésével akár a tájfutó versenyek pályakitűzőit is segíthetné munkájukban.

A dolgozat egy korábban nem vizsgált témára kínál megoldást. A modell a mintaterületen a vizsgált átmenetekben képes egy, tájfutók szemben is reálisan felmerülő útvonalat megalkotni. Ez alapot adhat más terepeken is az útvonalválasztási problémák megoldására.

# Összefoglalás

A dolgozat célja a tájfutó térképeken az útvonalválasztást befolyásoló paraméterek számszerűsítése és az útvonalválasztás térinformatikai alapú elvégzése volt.

A térképi objektumok súlyozva lettek a futósebességre gyakorolt hatásuk alapján. Egy tájfutó térképet tartalmazó OCAD-fájlból térképrajzi kategóriánként külön raszteres rétegek lettek létrehozva, ahol minden cella tartalmazta a benne található objektum költségét. A domborzat hatása az útvonalválasztásra különböző morfológiai paraméterek alapján lett megadva.

Mintaterületként a Budai-hegység Vadaskert térképe szolgált, ide lett kitzúzva nyolc átmenet, melyek mind ugyanabban a célban végződtek.

A terület papír alapú térképére tájfutó versenyzők rajzolták be az általuk legjobbnak vélt útvonalat a kitzúzott átmenetekben. A gyakorlott versenyzők egy része külön csak domborzatot, valamint felületi és vonalas jeleket ábrázoló térképekre rajzolták az útvonalukat, míg más, különböző technikai tudású versenyzők a teljes térképre rajzoltak útvonalat. Ezen útvonalak alapján jöttek létre a felhasználói tesztek legnépszerűbb útvonalai átmenetenként és fedvényenként.

Az egyes raszteres rétegek összeadásával létrejött egy domborzati költségfelszín, illetve egy felületi és vonalas elemeket tartalmazó költségfelszín. Mindkét felszínen ki lettek számítva az ellenőrzőpontok és a cél közötti legkisebb költségű útvonalak, melyek a felhasználói teszt megfelelő útvonalaival lettek összehasonlítva. Ahol jelentős eltérés volt a két útvonal között, a modell súlyozása lett módosítva, mígnem a modell megközelítette a versenyzők útvonalait.

Ezután a két korábbi réteg összeadásával készített költségfelszínen a legkisebb költségű útvonalak már a teljes térképre vonatkoztatott ideális útvonalat adták meg átmenetenként.

Az eredmények átmenetenként eltérőek voltak, több esetben is szinte azonos volt a modell és a versenyzők útvonala, azaz a modell megtalálta a legideálisabb útvonalat két pont között. Más esetekben nagyobb eltérés volt az útvonalak között, azonban a legkisebb költségű útvonal minden átmenet nagyrésztében olyan területen vezetett, amelyet legalább néhány versenyző megjelölt ideális útvonalként.

Elmondható, hogy a modell képes volt az adott mintaterületen az adott átmenetekben egy ideális vagy reális útvonalopciót megadni. Általános érvényességéhez más területeken végzett további elemzések szükségesek.

A szakdolgozatban bemutatott kutatás témája egy cikkben<sup>2</sup> is fel lett dolgozva, amely a 2021-es International Cartographic Conference-re lett benyújtva és jelen dolgozat leadásakor elbírálás alatt volt.

---

<sup>2</sup> Albert, G., Sárközy, Zs. (in press). Route planning on orienteering maps with least-cost path analysis. Proceedings ICA2021, 7 p.

## Hivatkozások

- 2DRerunViewer Courseplanning <http://3drerun.worldofo.com/2d/courseplanning.php> (2021. 04. 22.)
- Alberti, G. (2019). movecost: An R package for calculating accumulated slope-dependent anisotropic cost-surfaces and least-cost paths. *SoftwareX*, 10, 100331.
- Delling, D., Sanders, P., Schultes, D., & Wagner, D. (2009). Engineering route planning algorithms. In *Algorithmics of large and complex networks* (pp. 117-139). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Dénes, Z., Sulyok, Á., Vancsik, N. (2014). Vadaskert (Hűvösvölgy). 1:10000. Budapesti Tájéfutók Szövetsége.
- Dijkstra, E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische mathematik*, 1(1), 269-271.
- Douglas DH (1994) Least-cost path in GIS using an accumulated cost surface and slope lines. *Cartographica* 31:37–51
- Hébert-Losier, K., Platt, S., & Hopkins, W. G. (2015). Sources of variability in performance times at the world orienteering championships. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(7), 1523-1530.
- Herzog, I. 2013 Review of *Least Cost Analysis of Social Landscapes*. *Archaeological Case Studies* [Book], Internet Archaeology 34. <https://doi.org/10.11141/ia.34.7>
- International Orienteering Federation Rules (2021), <https://orienteering.sport/orienteering/competition-rules/> (2021. 02. 03.)
- International Specification for Orienteering Maps (ISOM2017-2) <https://orienteering.sport/iof/mapping/> (2021. 02. 03.)
- Luxen, D., & Vetter, C. (2011). Real-time routing with OpenStreetMap data. In: Proceedings of the 19th ACM SIGSPATIAL international conference on advances in geographic information systems (pp. 513-516).
- Mitchell, J. S. (1988). An algorithmic approach to some problems in terrain navigation. *Artificial Intelligence*, 37(1-3), 171-201.
- OCAD Wiki - Route Analyzer [https://www.ocad.com/wiki/ocad/en/index.php?title=Route\\_Analyzer](https://www.ocad.com/wiki/ocad/en/index.php?title=Route_Analyzer) (2021. 04. 22.)



Szigeti Cs., Albert G. 2015: Térképek terepi tájékozódásra való alkalmasságának kvantitatív becslése [Method for estimating the adequacy of maps for field use] – *Geodézia és Kartográfia* LXVII:(12) pp. 16-23.

Tobler, W. (1993). Three presentations on geographical analysis and modeling. National Center for Geographic Information and Analysis, Technical report 93-1.

van Etten, J. (2017). R package gdistance: distances and routes on geographical grids. *Journal of Statistical Software*, 76(1), 1-21.

## Ábrajegyzék

1. táblázat: Megközelítő sebesség az egyes térképjelekkel ábrázolt területek esetén (International Specification for Orienteering Maps [ISOM2017-2], 2019)
  2. táblázat: Vonalas és felületi objektumok súlya a költségfelszín számolásában, az ISOM 2017-2 (IOF, 2019) jelkulcs alapján
  3. táblázat: A modell útvonalainak és a felhasználói teszt legnépszerűbb útvonalainak hossza, magasságnövekedése és -csökkenése
- 
1. ábra: A vizsgált terület térképe a rajt- és célhelyekkel, EOVS koordinátarendszerben
  2. ábra: Részlet a versenyzők által rajzolt útvonalakból a domborzati, illetve felületi jeleket és utakat ábrázoló fázisnyomaton
  3. ábra: Útvonalak a domborzati fázistérképen, EOVS koordinátarendszerben
  4. ábra: Útvonalak a felületi jeleket és utakat ábrázoló fázistérképen, EOVS koordinátarendszerben
  5. ábra: A versenyzők útvonalai és a modell által alkotott útvonalak, EOVS koordinátarendszerben

## **Köszönetnyilvánítás**

Köszönettel tartozom témavezetőmnek, Dr. Albert Gáspárnak a szakdolgozati téma kitalálásáért és a számtalan konzultációért, amelyeken nagyban segítette a dolgozat előrehaladását.

Szeretnék köszönetet mondani a Tabáni Spartacus SKE tájfutóinak a felhasználói tesztben való részvételükért, valamint a Budapesti Tájfutók Szövetségének, hogy a Vadaskert térképet rendelkezésre bocsájtották a kutatáshoz.

## Nyilatkozat

Alulírott, .....Sárközy Zsófia..... nyilatkozom, hogy jelen szakdolgozatom teljes egészében saját, önálló szellemi termékem. A szakdolgozatot sem részben, sem egészében semmilyen más felsőfokú oktatási vagy egyéb intézménybe nem nyújtottam be. A szakdolgozatomban felhasznált, szerzői joggal védett anyagokra vonatkozó engedély a mellékletben megtalálható.

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

**HOZZÁJÁRULOK**

NEM JÁRULOK HOZZÁ

Budapest, 2021. május 15.

.....Sárközy Zsófia.....  
a hallgató aláírása