

Útvonaltervezés terepi körülmények között

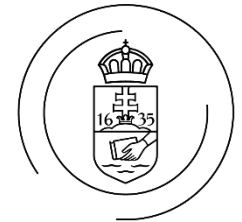
2025. 03. 20.

Földmérők Világnapja

Sárközy Zsófia - sarkozyszofi@student.elte.hu

Témavezető: Dr. Albert Gáspár egyetemi docens

ELTE TTK, Földtudományi Doktori Iskola



ELTE | IK

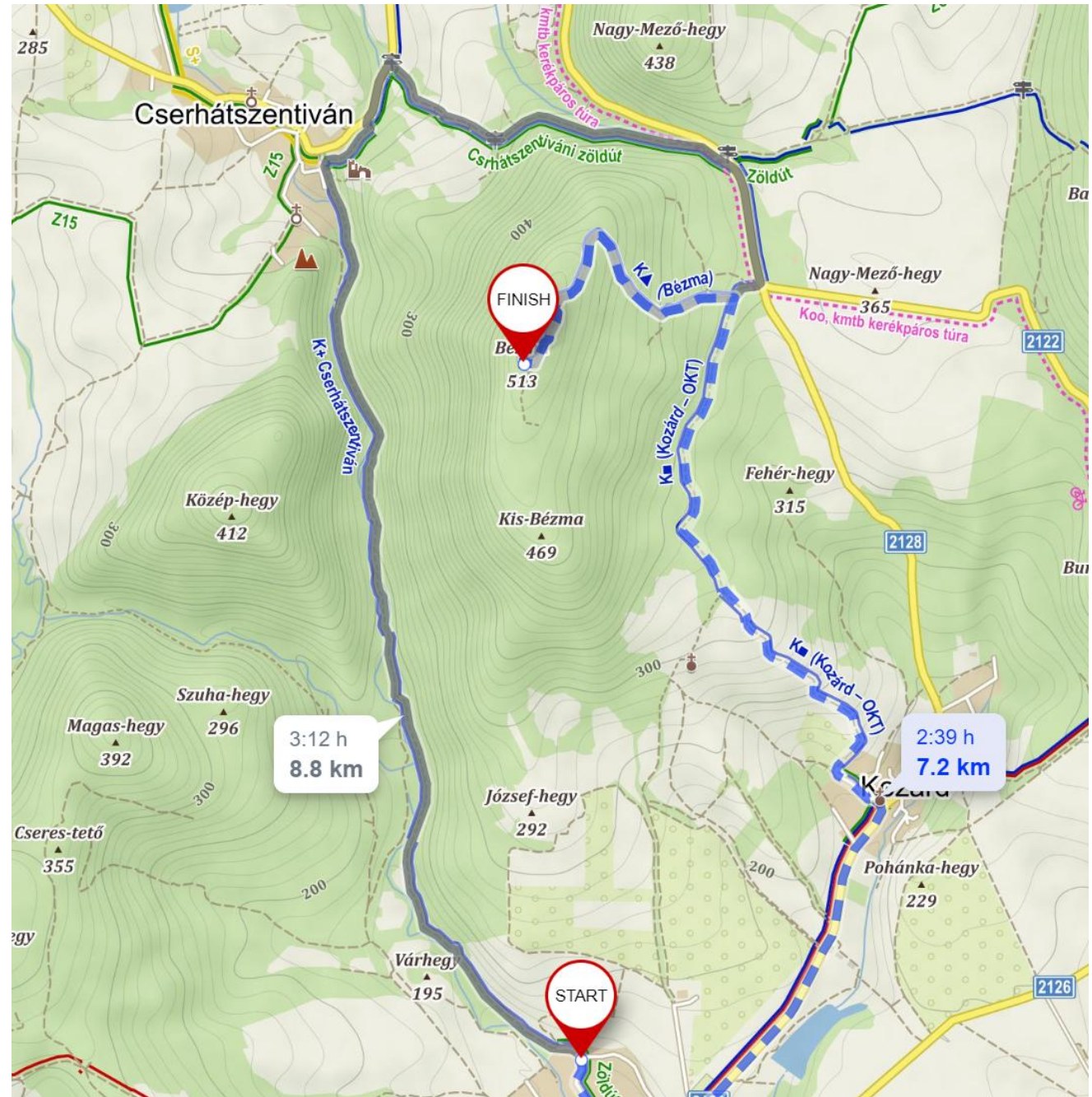
TÉRKÉPTUDOMÁNYI ÉS
GEOINFORMATIKAI
INTÉZET

Amiről szó lesz:

- Az útvonaltervezés általános megközelítése
- Hogyan működik az általános megközelítés a raszteres adatmodellel?
- Útvonaltervezési modellek
- Esettanulmány: a legkisebb költségű útvonal modellezése és felhasználói tesztelése

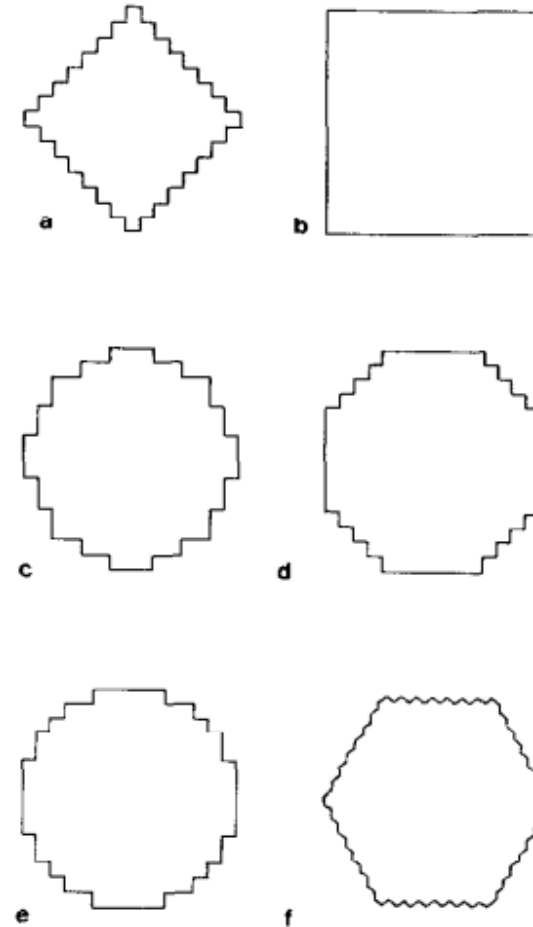
Terepi körülmények

- Utakról letérve
- Komplex döntési folyamat: átlagos esetek modellezése
- Felhasználási területek: erdészet, vadászat, honvédség, katasztrófavédelem, szabadidős tevékenységek



Útvonaltervezés raszteren

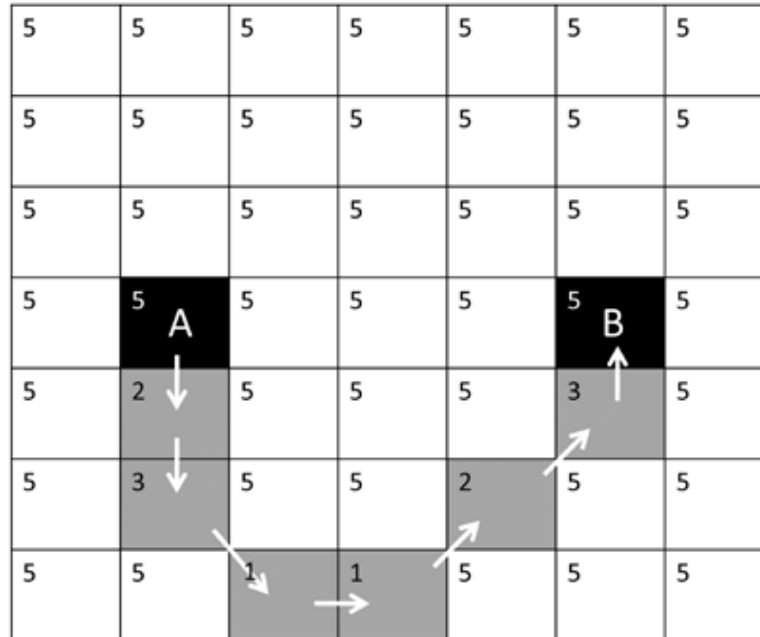
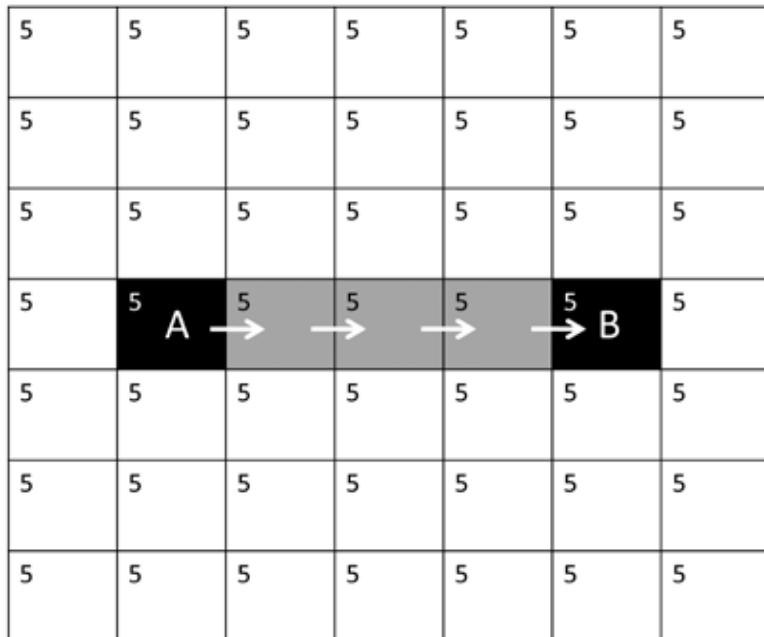
- Terepi útvonaltervezés: raszteren
- Csomópontok = cellák, élek = cellák szomszédsági kapcsolatai
- Képpontok közötti távolság számítása: chamfer/letörési távolság megadása
- Élek „hosszúsága”: cellák között lévő távolság, és/vagy a cellák minősége numerikus formában
- Út költségének számítása mátrixműveletekkel (Dijkstra-algoritmus)



Távolságszámítási módszerek raszteren
(Borgefors, 1984)

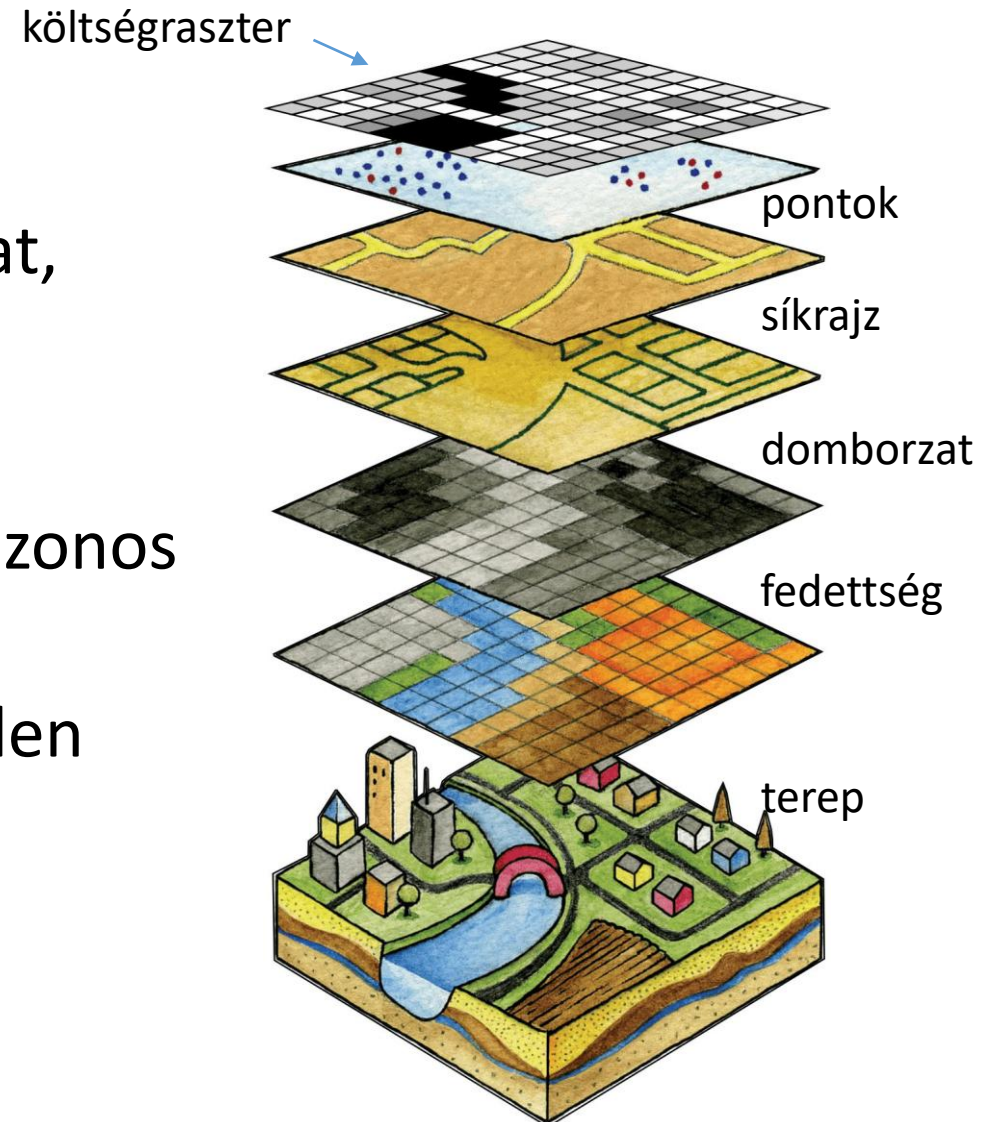
A legkisebb költségű út módszere

- Least-Cost Path (LCP)
- Megfelelő költségértékek megadásával modellezi a terepei mozgást
- Egyenletes terepen a költség homogén, az út egyenes, inhomogén terepen, a költség alapján tervezett út szabálytalan nyomvonalú



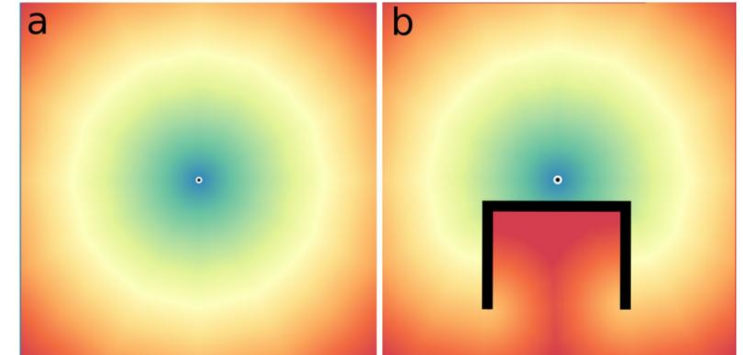
A költségaszter

- Különféle tematikájú rétegek, pl. domborzat, fedettség, utak minősége
- Súlyok megállapítása empirikus
- Különböző tematikák: normalizált súlyok, azonos felbontású rasztereken
- **Költségaszter:** tematikák összesítve egyetlen inhomogén adatrétegen



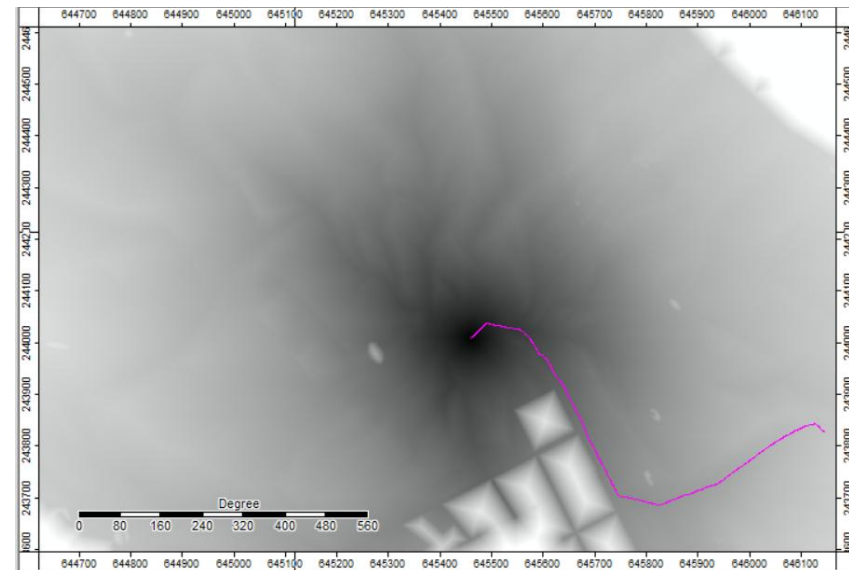
A kumulált költséggraszter

- Célponttól való távolság (távolságfüggvény – többnyire az Euklideszi távolság számít)
- **Kumulált költséggraszter:** távolságfüggvény és a költséggraszter adott cellaértékének szorzata
- Célpont felé minden irányból „lejtő” felület
- Tetszőleges kezdőpontból a célpontba egy gradiens vizsgálat során jutunk el



Az akadálymentes homogén (a) és egy áthatolhatatlan akadállyal rendelkező (b) középpontba vezető út kumulált költséggrasztere (Fischer & Lassa, 2016).

Komplex kumulált költséggraszter és a célpontba vezető legkisebb költségű út egy tetszőleges pontból

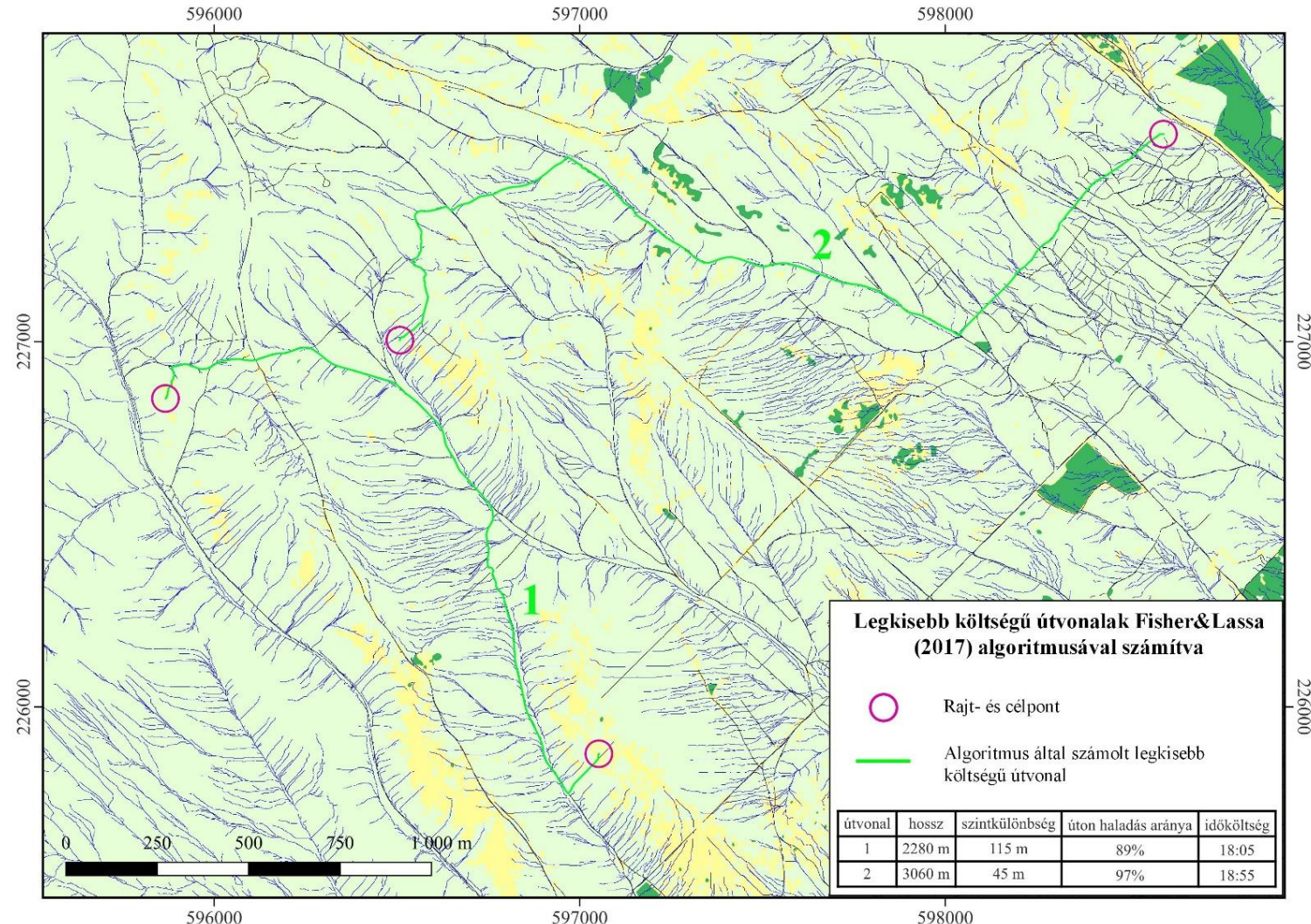


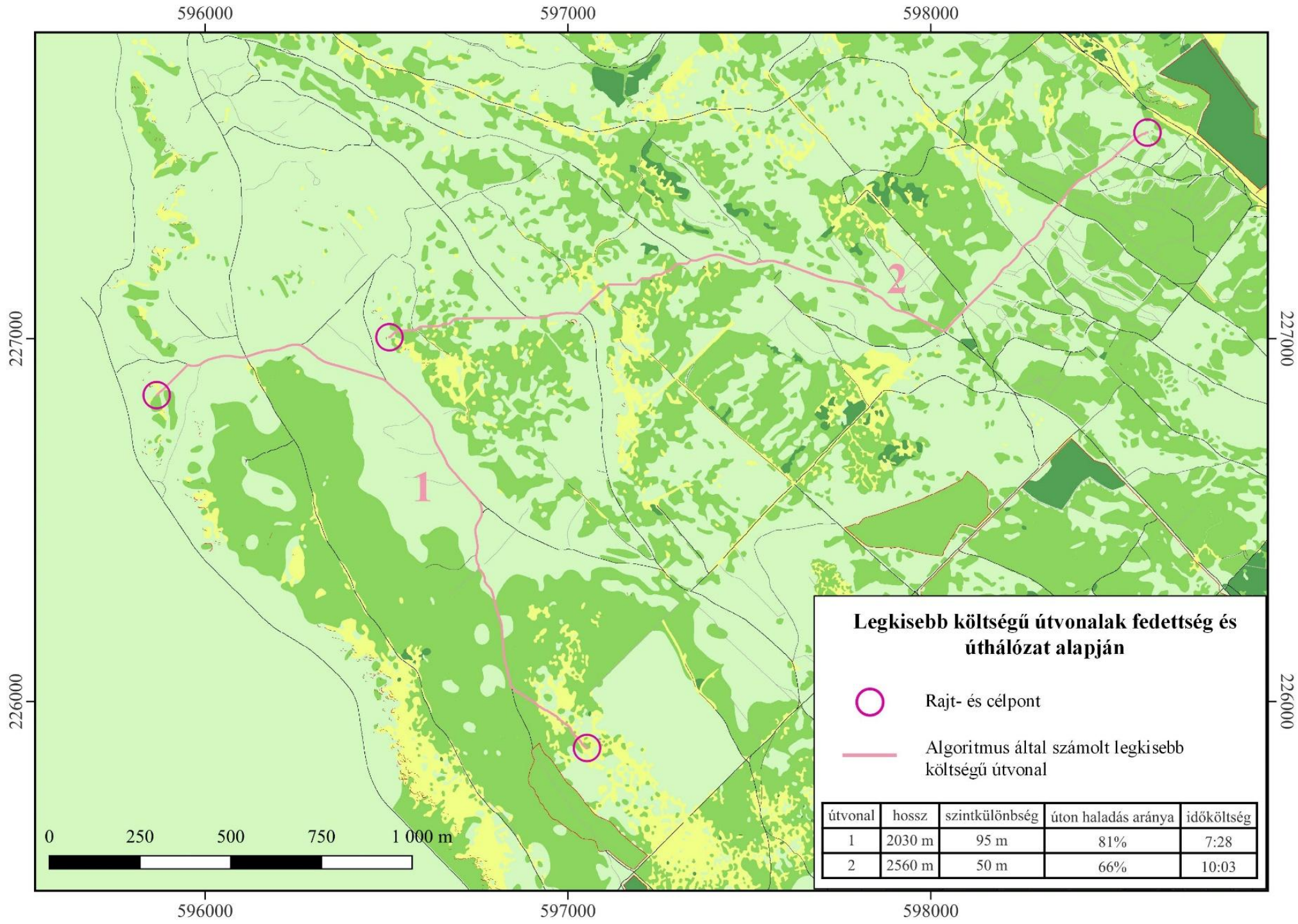
Az optimális off-road útvonal meghatározása

- Tájékozódás: terepi mozgás során meghozott döntések
- Útvonalválasztási döntések: úthálózat, a természetes (növényzet) és mesterséges (burkolat, épületek) fedettség és a domborzat alapján
- Sokváltozós költségfüggvény
- Nem (nehezen) modellezhető változók: napszak, évszak, időjárás, növényzet típusa, zaj és légszennyezés, ... maga az úton haladó ember > empirikus modell (mérések)
- A terepen való gyors és hatékony mozgás „szakértői”: profi (versenyzői szintű) tájfutók - nemre és korra való tekintet nélkül közel azonos elvek szerinti útvonalválasztás

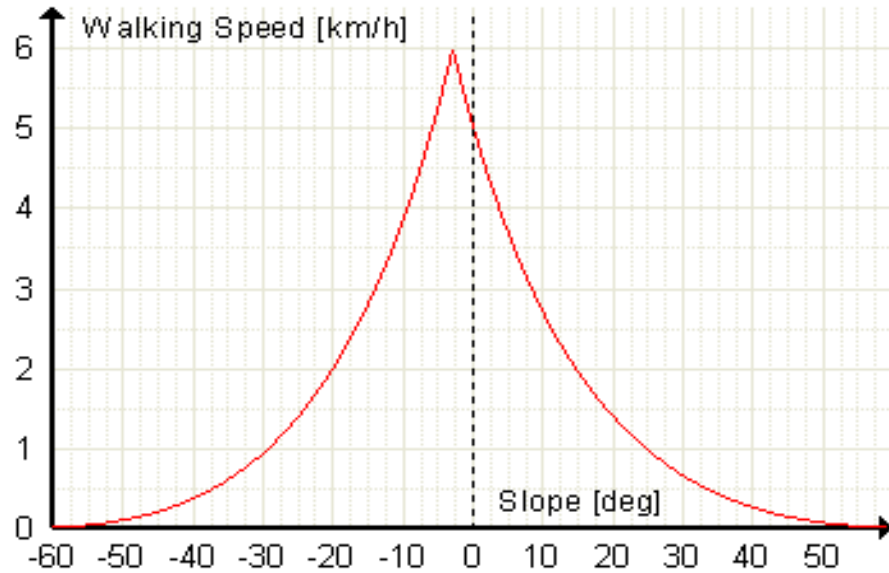
Terepi útvonaltervezési modellek: Fisher és Lassa (2017) algoritmus

- Fedettség és úthálózat alapján
- Eredetileg a vidéki Indonézia egészségügyi ellátására kidolgozott módszer
- Alkalmazás módosított kategóriákkal és költségértékekkel
- Nyílt forráskódú algoritmus és alapadatok



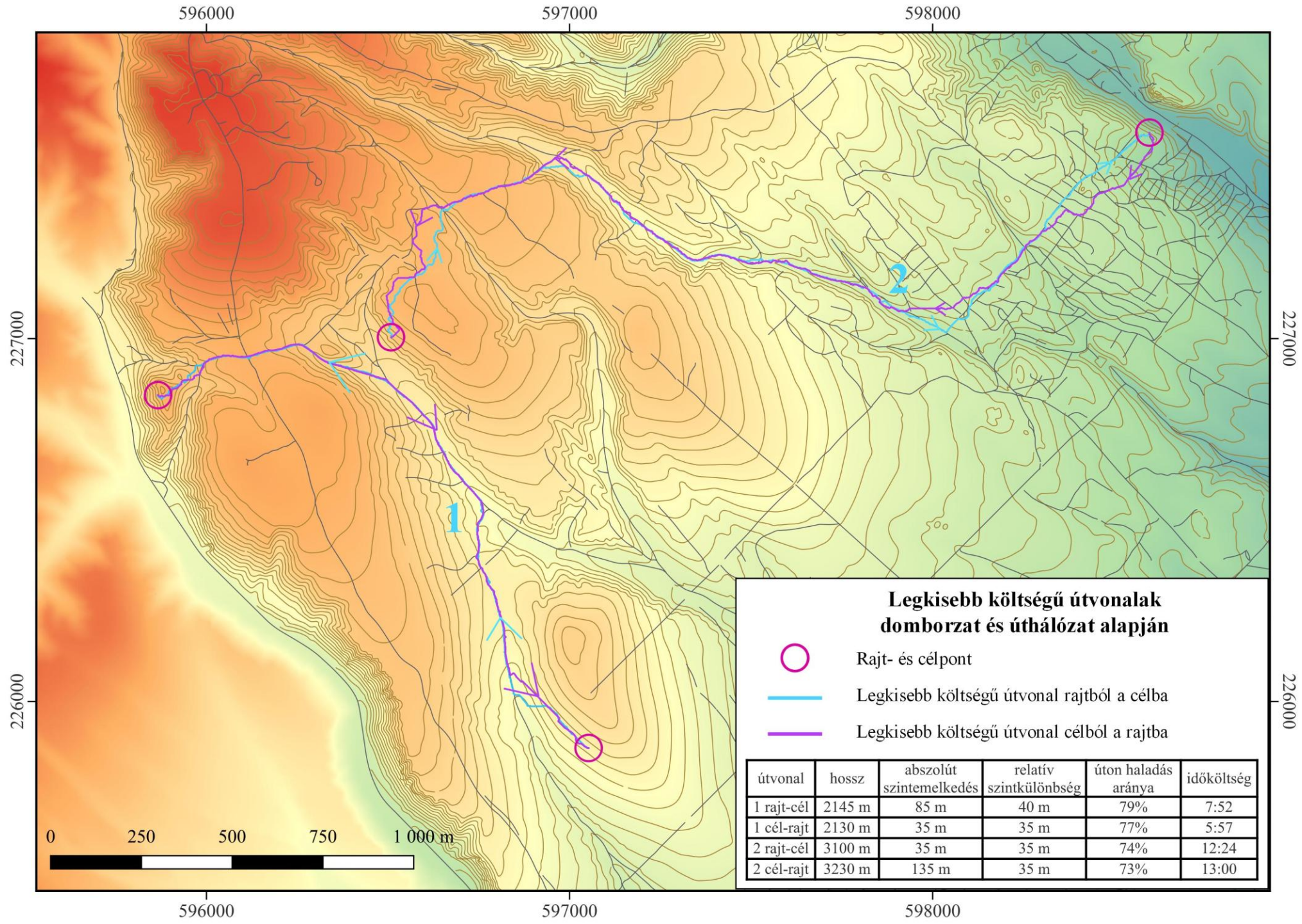


Terepi útvonaltervezési modellek: Tobler-függvény



A Tobler-féle (ösvényen) gyalogló függvény (Tobler, 1993)

- Tobler-féle „gyalogló” függvény: a terep meredeksége határozza meg a maximálisan elérhető gyaloglósebességet
- Maximum sebesség enyhe lejtő ($\sim 3^\circ$) esetén
- Leggyorsabb út nyomvonala két pont között irányfüggő: anizotróp felület
- Átlagsebesség gyalogosan (ösvényen és ösvényről letérve megkülönböztetve)



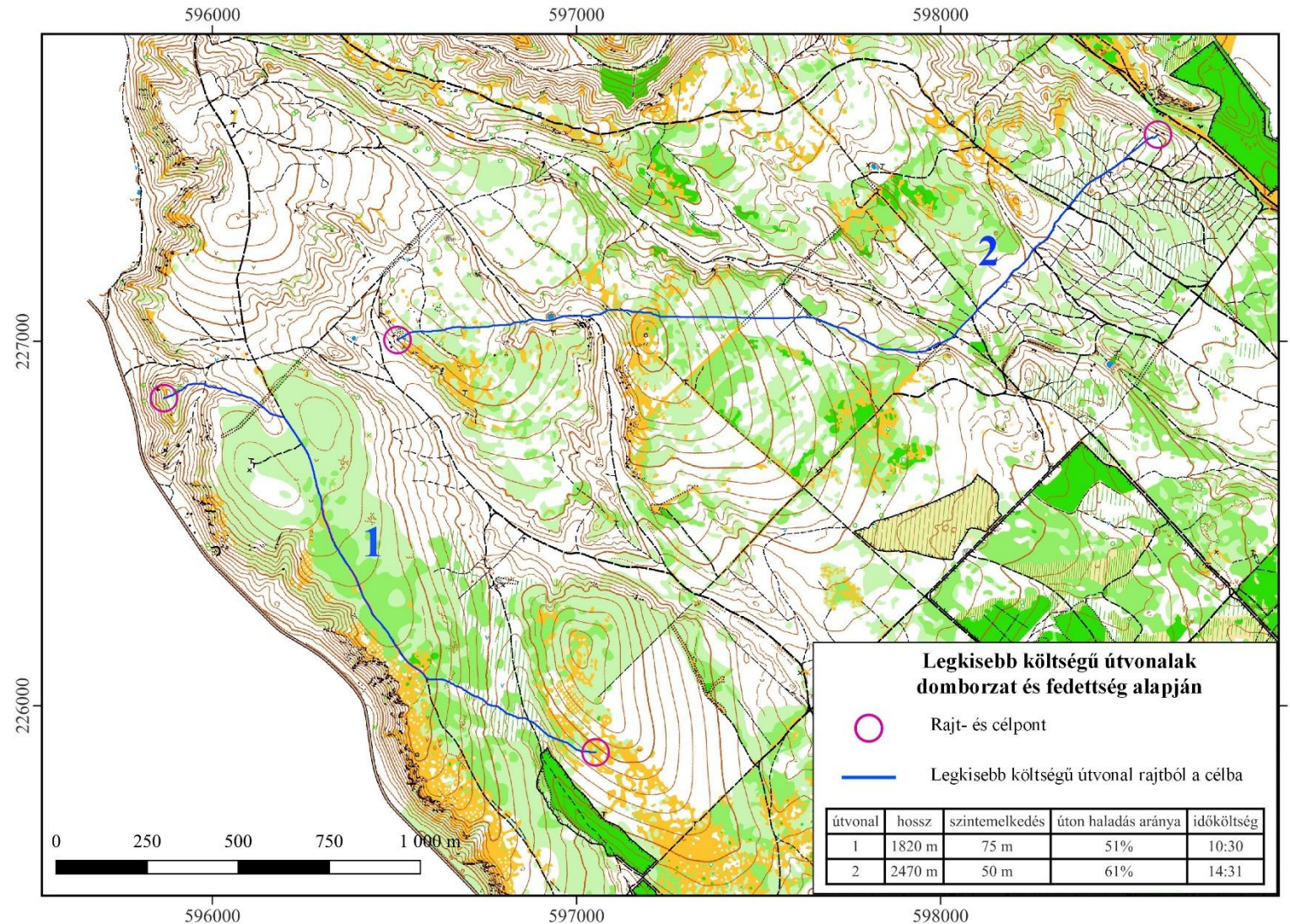
**Legkisebb költségű útvonalak
domborzat és úthálózat alapján**

- Rajt- és célpont
- Legkisebb költségű útvonal rajtból a célba
- Legkisebb költségű útvonal célból a rajtba

útvonal	hossz	abszolút szintemelkedés	relatív szintkülönbség	úton haladás aránya	időköltség
1 rajt-cél	2145 m	85 m	40 m	79%	7:52
1 cél-rajt	2130 m	35 m	35 m	77%	5:57
2 rajt-cél	3100 m	35 m	35 m	74%	12:24
2 cél-rajt	3230 m	135 m	35 m	73%	13:00

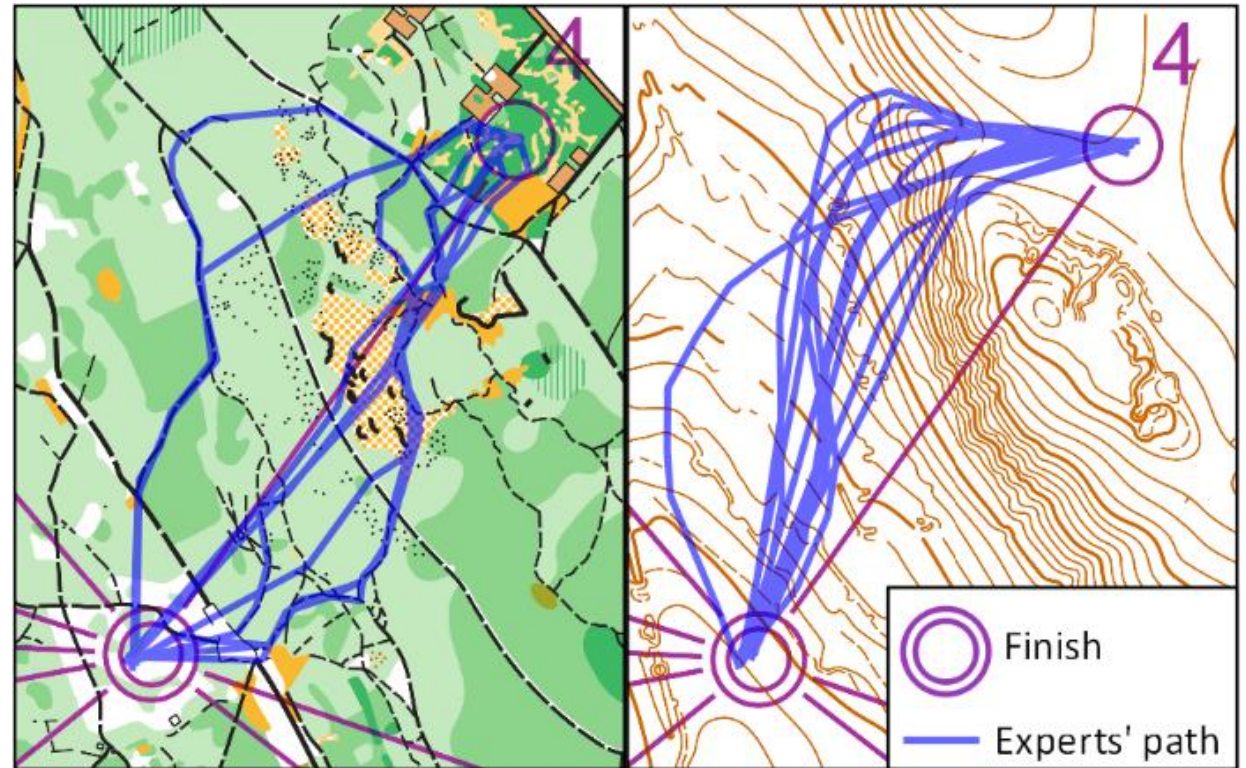
Tájfutótérképen tervezett útvonalak

- Fedettség költséggrasztere: minden objektumnak súly (0,1-1), összetevői: utak, fedettség, járhatatlan objektumok (10-es értékkel)
- Költségértékek ISOM jelkulcs alapján
- Digitális domborzatmodell (DTM) alapján morfometriai változók: SLO (lejtés), TRI (egyenetlenség), PC (síkbeli görbület)
- Domborzat és fedettség költséggraszterének kombinálása (Albert&Sárközy, 2021)



Szakértői és általánosító tesztek: a modell kalibrálása

- Profi tájfutók: általuk legjobbnak ítélt útvonalak berajzolása kétféle térképen (utakat és a fedettségi típusok, csak a domborzat)
- Elv: generált LCP megfelelő, ha legalább egy (de inkább a több) szakértői útvonallal megegyezik.
- Kontrollcsoport (széles tapasztalati skála): felhasználói teszt normál térképre rajzolva
- Útvonalak összegezése: összehasonlítás a végleges LCP-modellel



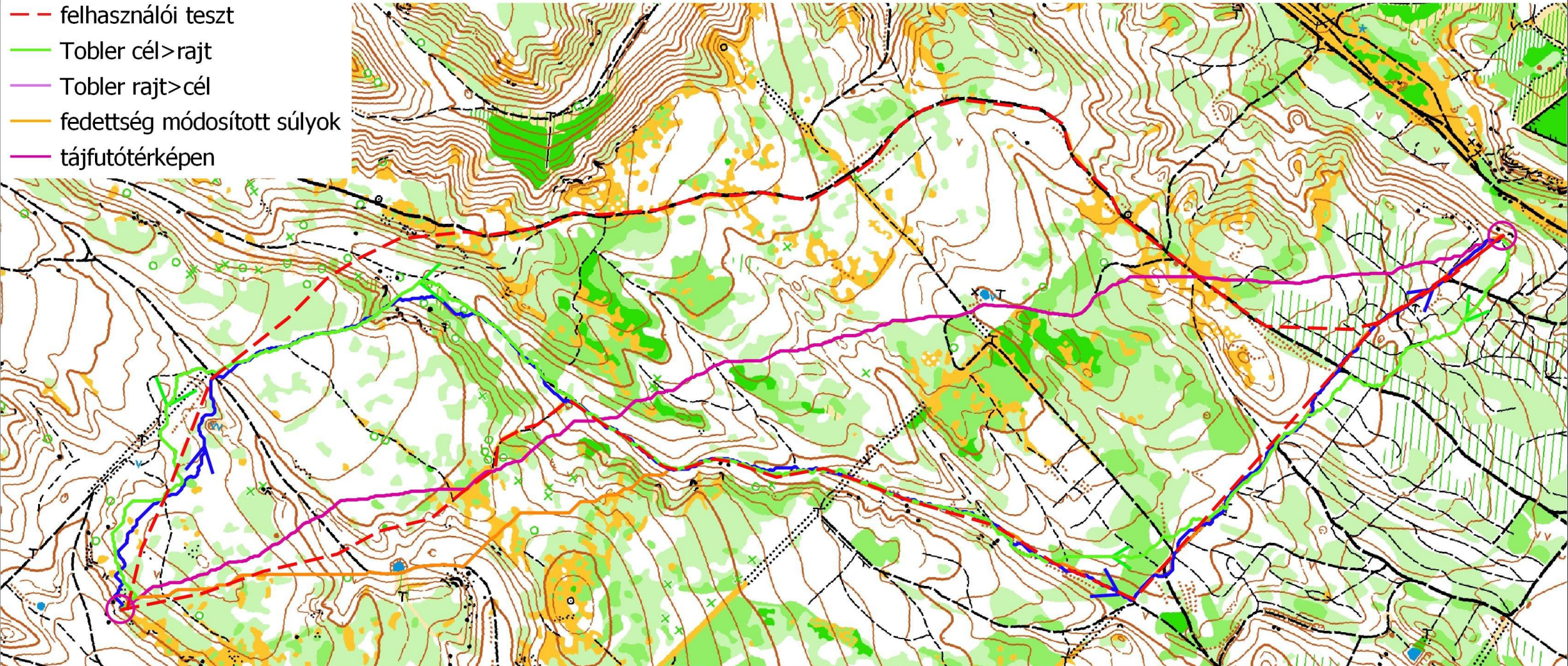
A szakértők által a fázistérképekre rajzolt különböző útvonalak (Albert&Sárközy, 2021)

Útvonalak összehasonlítása a felhasználói tesztekkel



Jelmagyarázat

- felhasználói teszt
- Tobler cél>rajt
- Tobler rajt>cél
- fedettség módosított súlyok
- tájfutótérképen



	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)
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
Fisher&Lassa	3060	45	2975	0,97	1,42	0,11 (A); 0,61 (B)	18:55
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+fedet tség	2470	50	1495	0,61	1,14	0,47 (B)	14:31

Összegzés

- Optimális út tervezése raszteren: sokváltozós modell, GIS eszközökkel csak közvetve elemezhető (változók számának redukálása)
- Emberi terepi tájékozódás: úthálózat, fedettség, domborzat a legfontosabb változók fontosak - más célra más változók kerülhetnek előtérbe
- LCP: 2D költségfüggvénnyel (raszter) közelíti az optimális utat > dimenziócsökkentés
- Empirikus kalibráció: változatos szereplők, körülmények megfigyelése, a változók különböző súlyának meghatározása

Továbblépési irányok

- Szoftveresen kalkulált menetidő alkalmazkodása a felhasználó képességeihez
- Terepi tesztek a módszer empirikus elfogadásához
- Az alkalmazott térinformatikai módszerek és algoritmusok alapján útvonaltervező bővítmény vagy alkalmazás
- Felhasználói igényekhez való alkalmazkodás: erdészeti, terepi mentés, katonai csapatmozgások
- Fenntarthatósági szempontok figyelembe vétele (Sárközy & Albert, 2025)

