



Az útvonaltervezés problematikája terepi körülmények között

Albert Gáspár, Sárközy Zsófia

Eötvös Loránd Tudományegyetem,
Informatikai Kar, 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

Gyakorlati megoldások: út+terep

New Hike Route Cancel Save & continue

397m 483m Nagy-Szénás fokozottan védett terület Hosszú-árok Alsó-Zsíros-hegy 424m Bogár utca

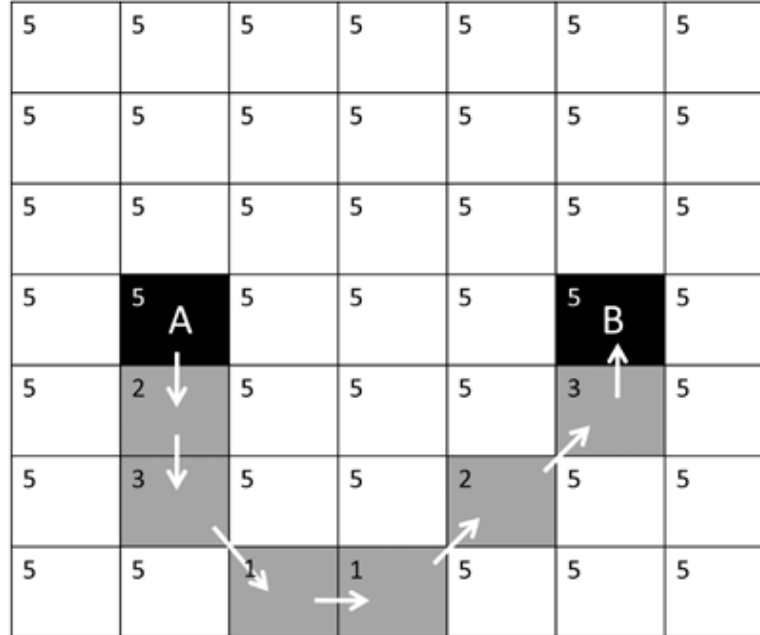
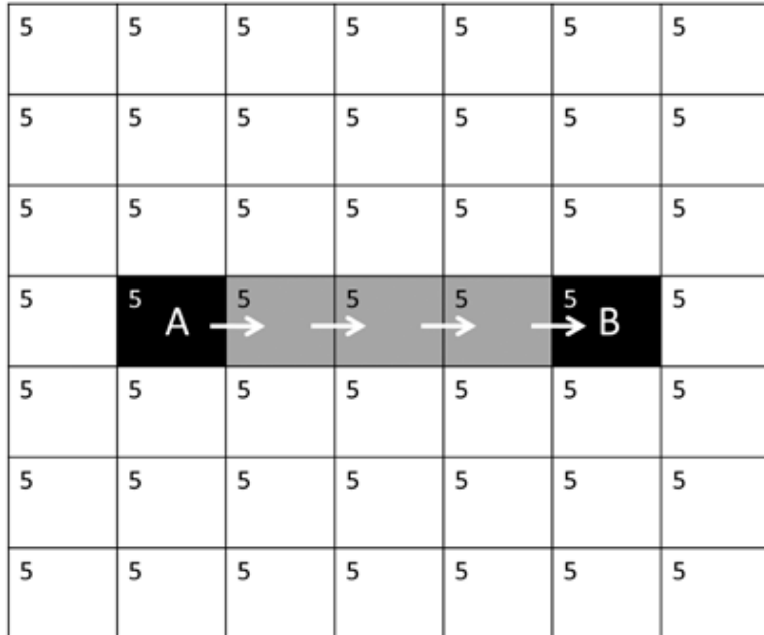
1-2 hrs 5.2 km 221-428 m 230 m 251 m Cseresznyés

© OpenStreetMap | © FATMA

A jelenlegi elterjedt terepi útvonaltervező alkalmazások csak út mentén terveznek, és az útvonal mentén adják meg a szintemelkedést/ereszkedést.

A legkisebb költségű út módszere

- A raszterek szintén hálózatok, amelyekben a csomópontok a cellák, az élek pedig a cellák szomszédsági kapcsolatai.
- Az élek "hosszúsága" a cellák között lévő távolság, és/vagy a cellák minősége numerikus formában (chamfer/letörési távolság megadása).
- A rasztercellákhoz megfelelő tulajdonságokat rendelve kiszámítható két véletlenszerű pont közötti minimális "utazási költség" (Dijkstra, 1959).

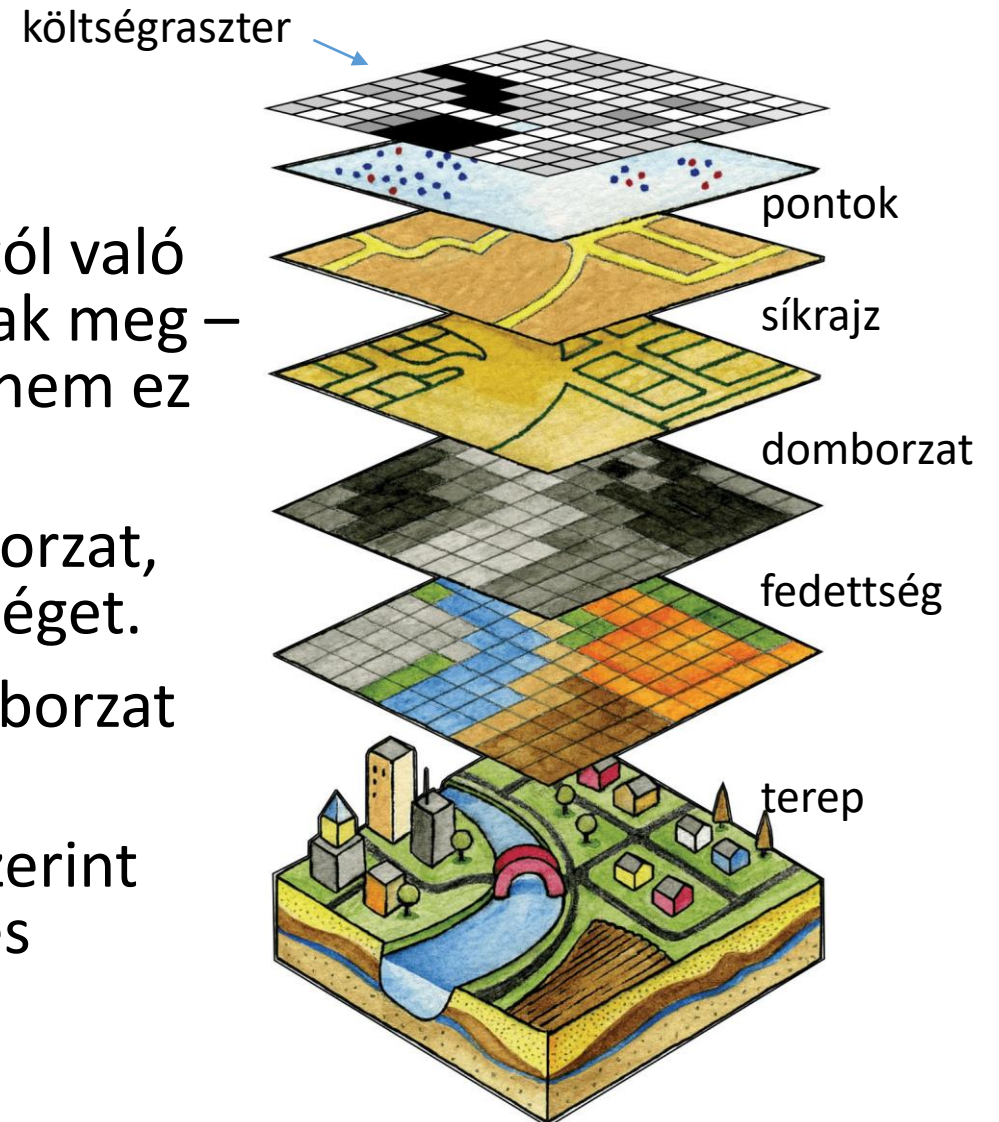


Az Least-Cost Path (LCP) elemzés megfelelő költségértékek megadásával modellezi a terepen történő mozgást. Egyenletes terepen a költség homogén, az út egyenes, míg inhomogén terepen, a költség alapján tervezett út szabálytalan nyomvonalú.

Fig.: Surface-Evans & White, (2012)

A költséggraszter

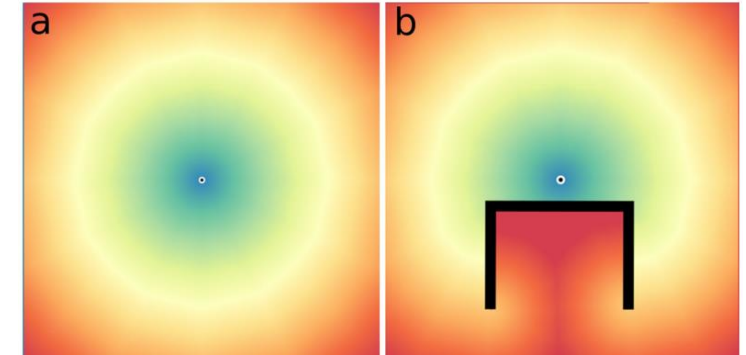
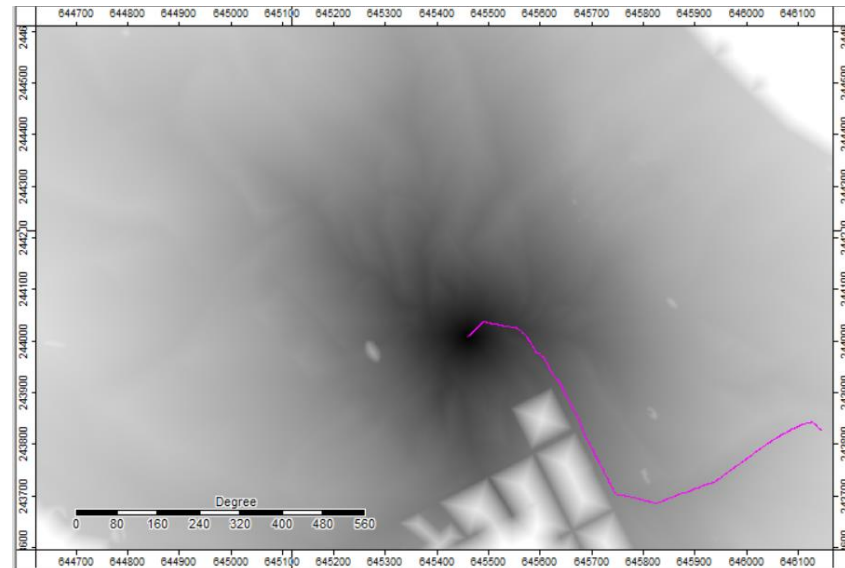
- Raszteres modell esetén is számít a célponttól való távolság (amit egy távolságfüggvénnyel adnak meg – többnyire az Euklideszi távolság számít), de nem ez jelenti az egyetlen költséget.
- A távolságon felül egyéb tematika (pl. domborzat, fedettség, utak) minősége is súlyozza a költséget.
- A súlyok megállapítása empirikus (pl. a domborzat hatása Tobler „gyalogló” függvényén).
- A különböző tematikák normalizált súlyok szerint azonos felbontású raszterekké konvertálva és összesítve egyetlen inhomogén adatréteget alkotnak, ami a **költséggraszter**.



A kumulált költséggraszter

- A célpontból indulva a távolságfüggvény és a költséggraszter adott cellaértékének **szorzata** adja meg a kumulált költséggraszter celláinak értékét.
- Ezt egy célpont felé minden irányból „lejtő” felületként lehet elképzelni.
- Egy tetszőleges kezdőpontból a célpontba egy gradiens vizsgálat során jutunk el.

Egy komplex kumulált költséggraszter és a célpontba vezető legkisebb költségű út egy tetszőleges pontból.



A felső ábra az akadálymentes homogén (a) és egy áthatolhatatlan akadállyal rendelkező (b) középpontba vezető út kumulált költséggrasztereit mutatja (Fischer & Lassa, 2016).

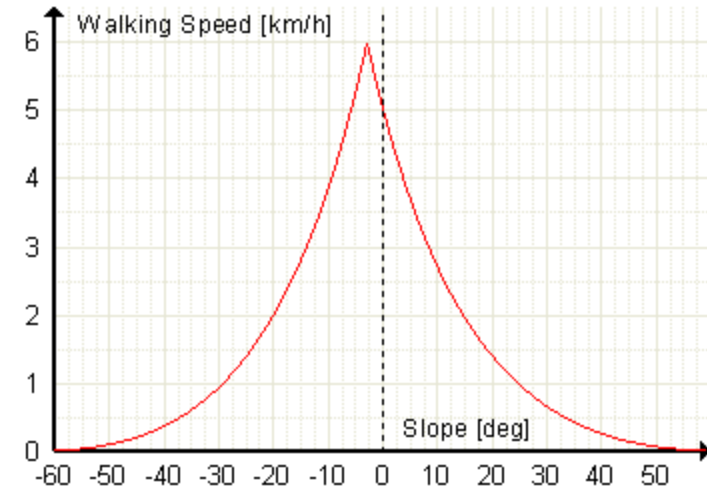
Off-road útvonaltervezési modellek

- 1) Tobler-féle „gyalogló” függvény: a terep meredeksége határozza meg a maximálisan elérhető gyaloglósebességet. A függvény a maximumát enyhe lejtő (~3°) esetén éri el.

A leggyorsabb út nyomvonala két pont között irányfüggő!
A képlet empirikus adatokra épül (Imhof, 1950) és megadja az átlagsebességet gyalogosan (ösvényen és ösvényről letérve).
Archeológiai modellekben elterjedt.

- 2) Részletes fiziológiai mérések szerint a leginkább energiahatékony gyaloglást ~6°-os lejtőn érjük el (Minetti et al. 2002). Ennek a költségfüggvénye egy 6-od fokú polinom, ami a GIS környezetben nem praktikus.

- 3) Archeológiai vizsgálatok szerint a **költségfüggvények lejtőmeredekségtől függő komponense domináns**, de az egyéb tényezők (vízrajz, fedettség, morfológiai elemek követése) bizonytalan súlya miatt mindegy, hogy melyik „gyalogló” függvényből indulunk ki (Herzog, 2010).



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

$$v = 6e^{-3,5*|\tan(\alpha)+0,05|}$$

Esettanulmány: off-road útvonaltervezés tájfutótérképeken

Motiváció:

- A tájékozdási futók legtöbbször nem használnak utakat, így az úthálózaton alapuló útvonaltervezés számukra nem hasznos.
- A tájékozdási térképeken alkalmazott LCP-módszer segíthet az optimális pályatervezés megtalálásában és a tájékozdási verseny várható célba érési idejének kiszámításában.



Célok:

- Kidolgozni, hogy, hogyan lehet egy tájékozdási térképből költséggrasztert számítani.
- A modellt valós tesztalanyok bevonásával kalibrálni.

Terv:

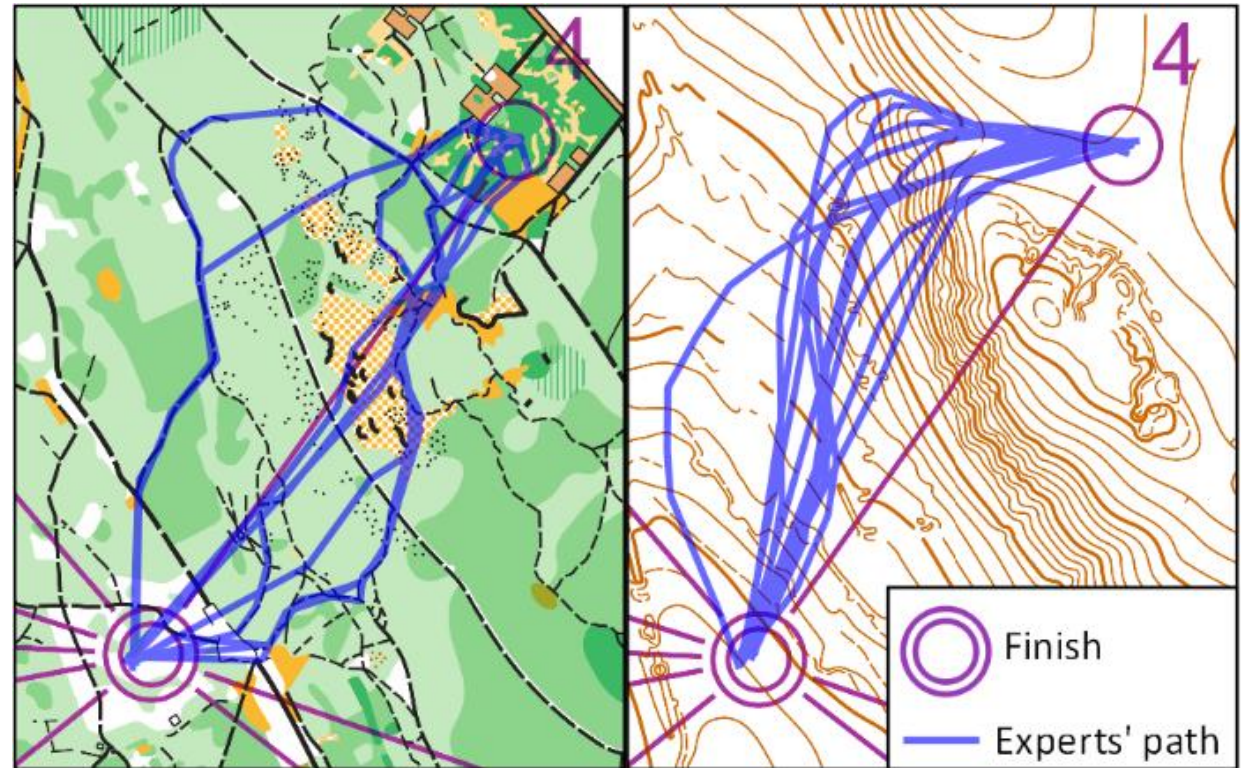
- A kidolgozott módszerrel osztályozott távérzékelte képek, DEM és úthálózat alapján is off-road útvonalakat tervezni.
- Ezt a tudást fel lehet használni úthálózattal gyéren ellátott területeken, ahol a valamilyen ok miatt a megszokott közlekedési útvonalak használhatatlanná váltak.

Az optimális off-road útvonal meghatározása

- A tájékozódás a terepi mozgás során meghozott döntéseket jelenti.
- Az útvonalválasztási döntések az úthálózat, a természetes (növényzet) és mesterséges (burkolat, épületek) fedettség és a domborzat alapján születnek.
- Emiatt olyan költségfüggvényt kell készíteni, ami ezeket a változókat tartalmazza.
- Az optimális út ennél sokkal több változótól függ, amelyek hatása nem mindig felmérhető (napszak, évszak, időjárás, növényzet típusa, zaj és légszennyezés, ... és maga az úton haladó ember). Jelenleg nem építhető be a modellekbe mind, ezért empirikus modellt (méréseket) alkalmazunk!
- A terepen való gyors és hatékony mozgás „szakértői” a profi (versenyzői szintű) tájfutók, akik a nemre és korra való tekintet nélkül közel azonos elvek szerint választják az útvonalakat terepen.

Szakértői tesztek: a modell kalibrálása

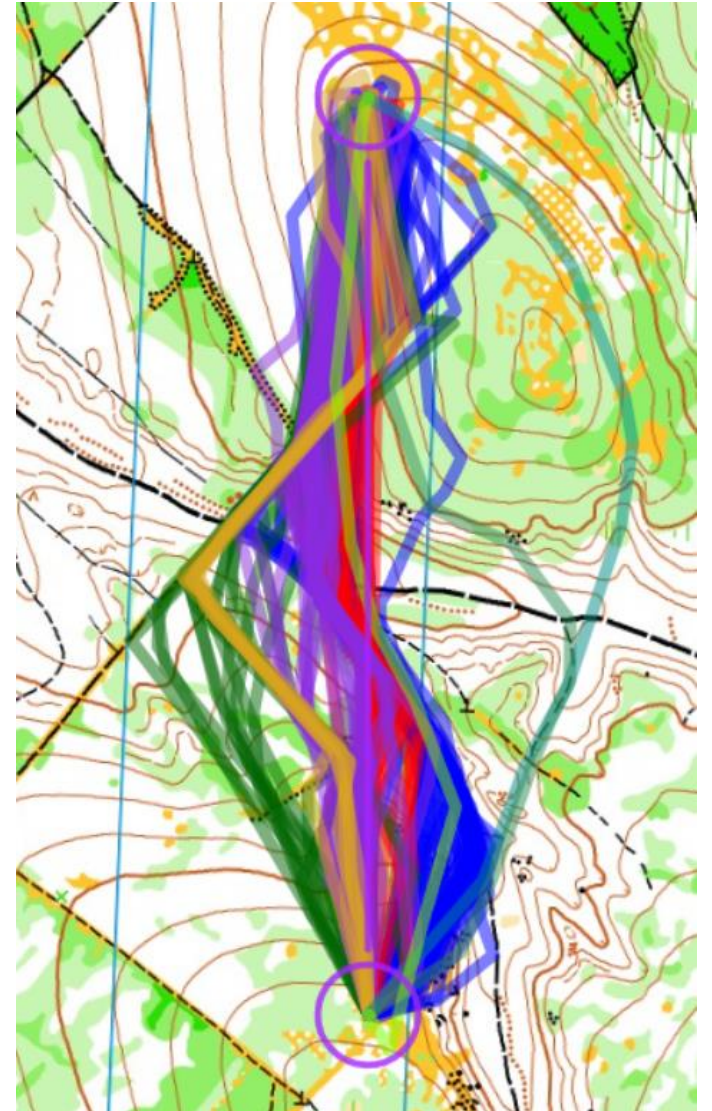
- Profi (válogatott) tájfutókat arra kértünk meg, hogy rajzolják meg az általuk legjobbnak ítélt útvonalakat kétféle térképen (az egyik csak az utakat és a fedettségi típusokat, a másik csak a domborzatot tartalmazta).
- Így a két fő változócsoport külön kezelhető volt.
- Elv: a gép által generált LCP akkor megfelelő, ha legalább egy (de inkább a több) szakértői útvonallal megegyezik.



A szakértők által a fázistérképekre rajzolt különböző útvonalak.

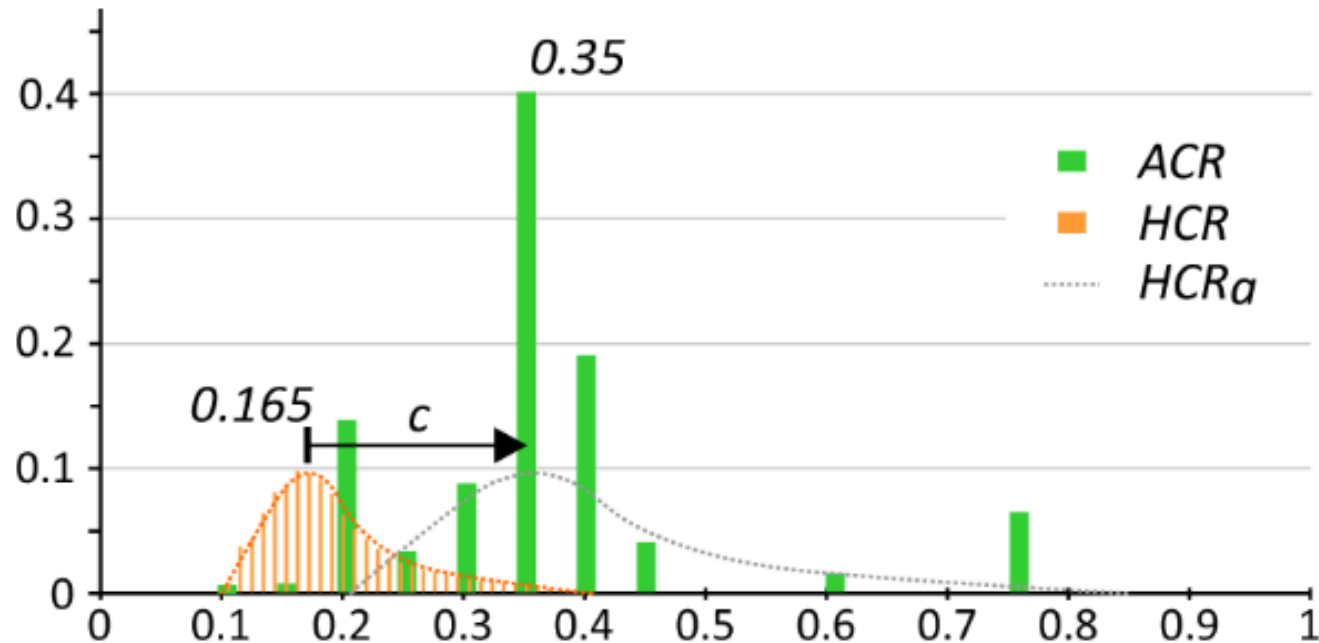
Általánosító tesztek: a modelleredmény összehasonlítására

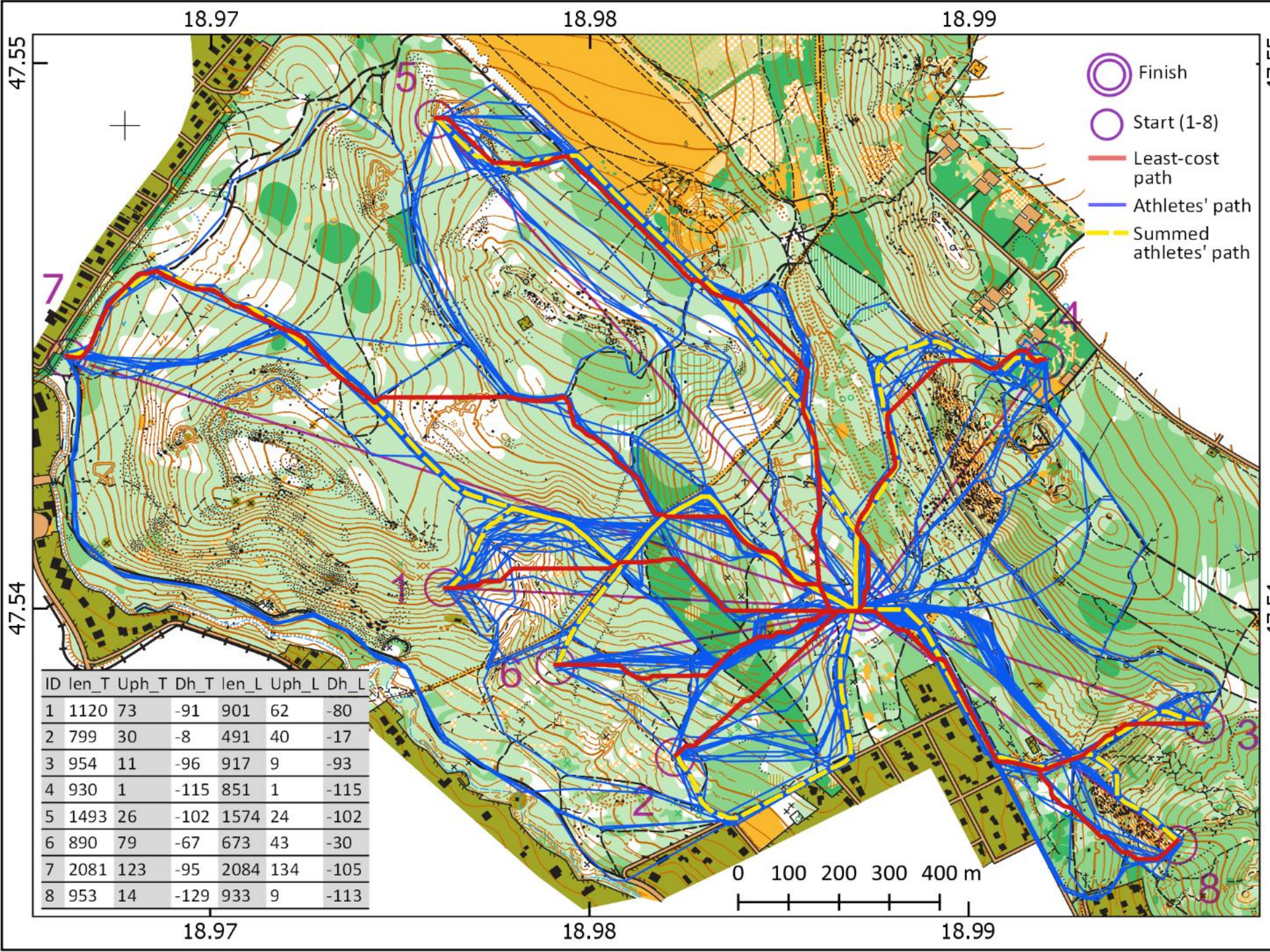
- Egy kontrollcsoporttal felhasználói tesztet végeztünk normál térképre rajzolva. Tapasztalati szintjük széles skálán mozog: átlagot képviselik
- Útvonalaitat összegeztük és azok alapján számítottuk ki az átlagos útvonalakat: összehasonlítottuk őket a végleges LCP-moddellel



A költséggraszterek számítása és kombinálása

- fedettség költséggraszterének számítása: az objektumokat súlyokkal (0,1-1) láttuk el, összetevői: utak, fedettség, járhatatlan objektumok (10-es értékkel).
- Digitális domborzatmodell (DTM) alapján morfolometriai változók kalkulálása. A változók a terepi mozgás szempontjából legfontosabb elemek: SLO (lejtés), TRI (egyenetlenség), PC (síkbeli görbület)
- A kombinálás eredménye a két raszter egy adott súly szerint változtatott arányának összege. Az arányt a teszteredmények útvonalaihoz való illeszkedés alapján határoztuk meg.
- Ahhoz, hogy az arány általánosítható legyen más területre is, a két költséggraszter eloszlásfüggvényét szinkronizáltuk.





Eredmények elemzése

A modellezett LCP utakat összehasonlítottuk a kontrollcsoport átlagos útvonalával
 A számszerű összehasonlítás magában foglalta a startpontok és a cél közötti útvonalak hosszának, a teljes emelkedő és lejtő domborzatának kiszámítását.

Eredmény: az LCP és a tájfutók által tervezett útvonalak (táv/emelk./csökk.) adatai 94%-ban korreláltak, és az LCP utak a berajzolt utaknál 0.94 arányban rövidebbek voltak.

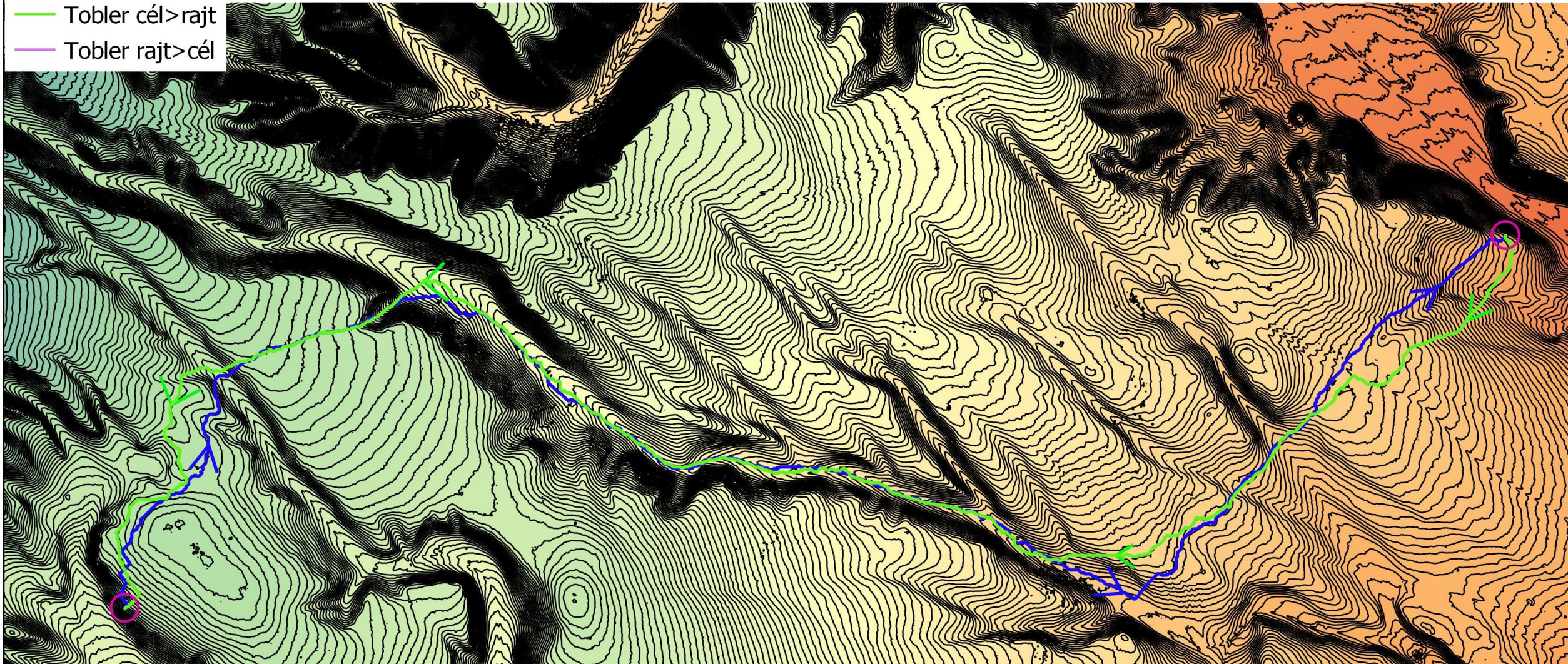
Útvonalak Tobler függvényével számítva

- Irányfüggő haladási sebesség

Jelmagyarázat

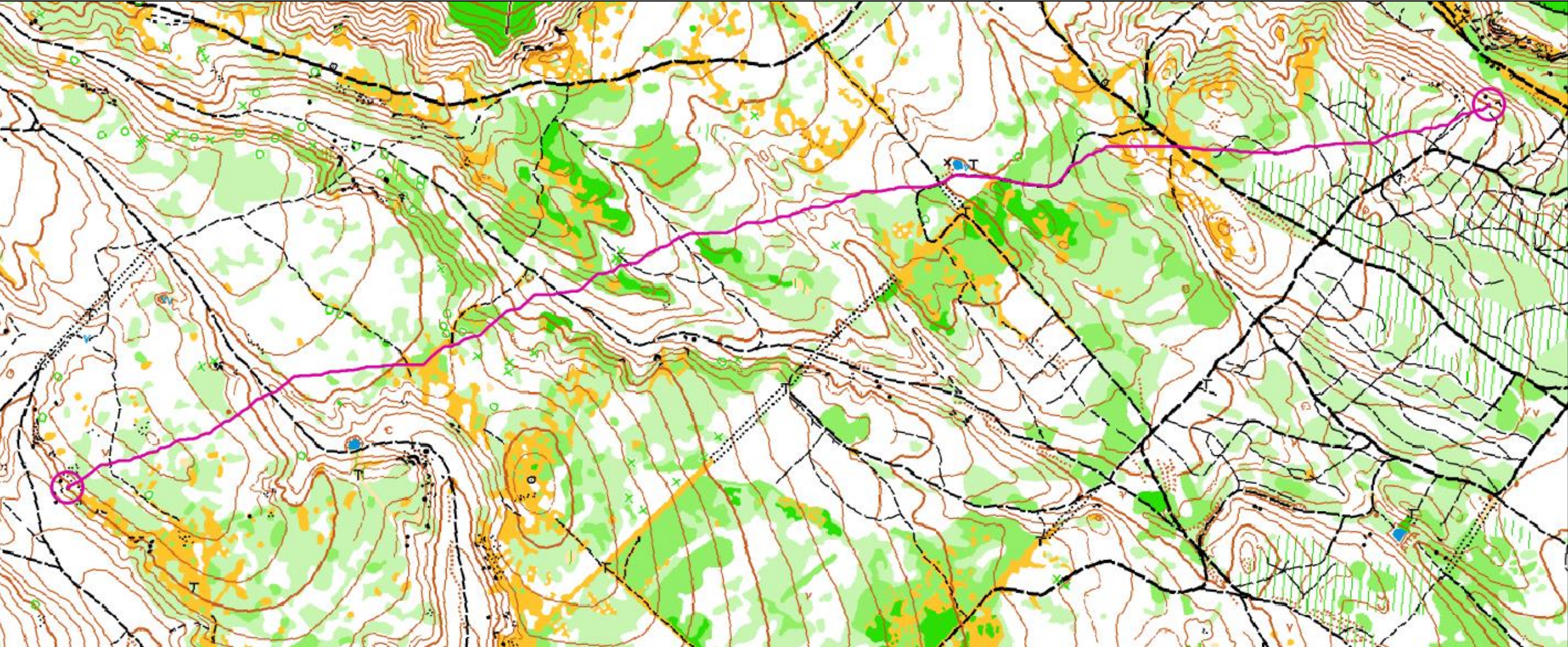
- Tobler cél>rajt
- Tobler rajt>cél

0 100 200 300 400 500 m



Tájfutótérképen tervezett útvonalak

- Domborzatot és fedettséget egyaránt figyelembe vesz

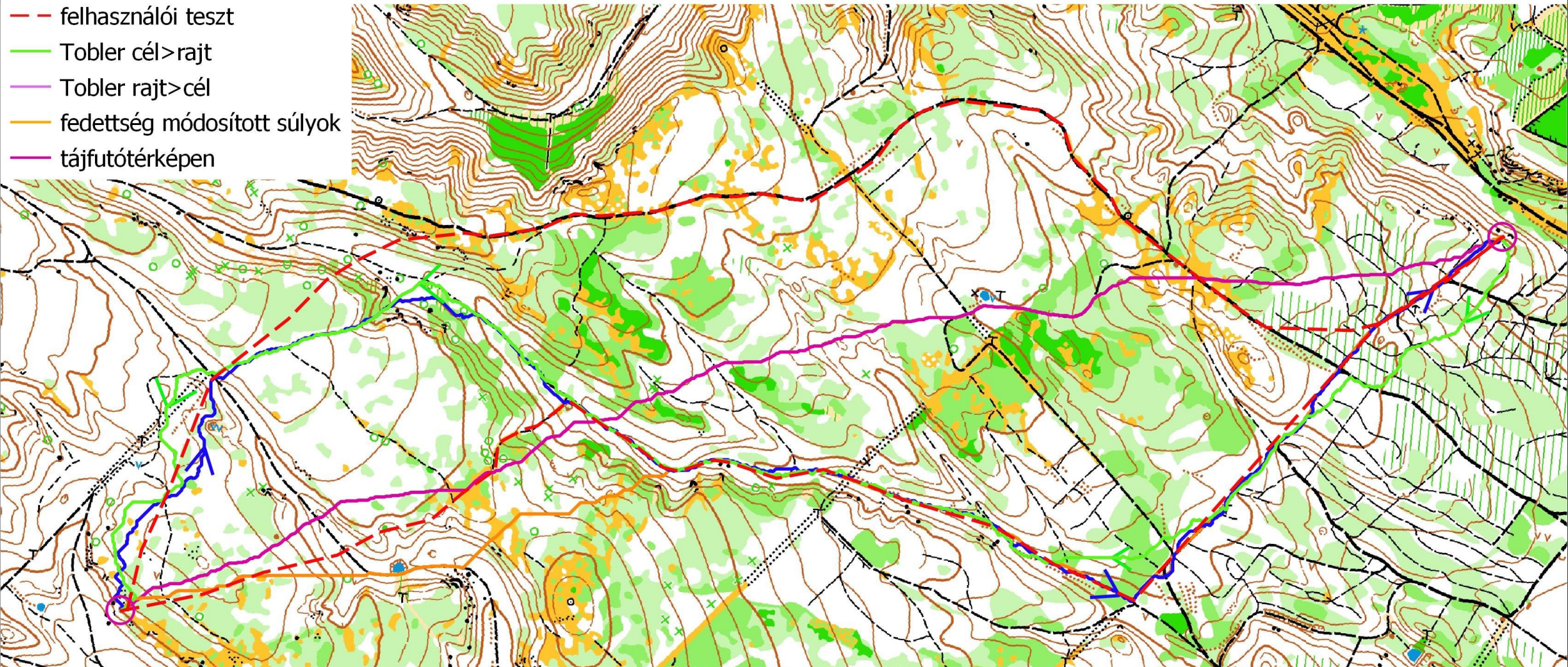


Útvonalak összehasonlítása a felhasználói tesztekkel



Jelmagyarázat

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



Összegzés

- Az optimális út tervezése raszteren is lehetséges, de a sokváltozós modell a GIS eszközökkel csak közvetve elemezhető (változók számának redukálása szükséges).
- Az emberek terepi tájékozódása során az úthálózat, a fedettség, és a domborzat játszik szerepet a döntésekben, ezért ilyen célra ezek a változók fontosak, de más célra más változók kerülhetnek előtérbe.
- Az LCP egy 2D költségfüggvénnyel (raszter) közelíti az optimális utat, emiatt dimenziócsökkentésre van szükség.
- Ennek egyik módszere az empirikus kalibráció: változatos szereplők, és körülmények megfigyelése, és a változók különböző súlyának meghatározása a célprobléma megfogalmazásával.