

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Analýza nejkratších cest na mapách pro
orientační běh**

2011

Lenka Mezníková

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Lenka Mezníková

**Analýza nejkratších cest na mapách pro
orientační běh**

**Analysis of the shortest path on orienteering
maps**

VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE: ING. JIŘÍ CAJTHAML, PH.D.

Praha, 2011

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou práci vypracovala samostatně a použila jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.“

V Praze dne

podpis

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Cajthamlovi, Ph.D. a Ing. Ondřeji Kazdovi za pomoc, připomínky a trpělivost v průběhu zpracování této diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala oddílu orientačního běhu Sportcentrum Jičín za poskytnutí podkladové mapy Řáholec.

Tuto diplomovou práci bych chtěla věnovat mému dědečkovi, Františku Janáčkovi.

Abstrakt

Tématem předložené diplomové práce je analýza nejkratších cest na mapách pro orientační běh. Cílem této práce je navrhnout metodiku na vyhledání optimálních tras mezi kontrolami na mapách pro orientační běh. K práci jsou využity funkce mapové algebry v software ArcGIS.

Výsledkem této diplomové práce je postup, který umožní odhadnout virtuálně co nejdélnější přesun na mapě mezi dvěma body a dále určí nutné časové náklady přesunu. Do výpočtu jsou zahrnuty horizontální parametry (typ povrchu) i vertikální parametry (sklon terénu). Vypočítané trasy jsou porovnány se skutečnými trasami, které absolvovali závodníci při závodě východočeského oblastního závodu 1. 11. 2009. Výsledky porovnání jsou také součástí této práce.

Klíčová slova

orientační běh, digitální model terénu, nejkratší cesta, frikční povrch, backlink rastr

Abstract

The subject of this thesis is an analysis of the shortest path on orienteering maps. The goal of this thesis is to project the procedure for searching the perfect path between checkpoints on orienteering maps. The map algebra's functions of ArcGIS software are used.

The result of this thesis is method which enables to calculate the best virtual moving on a map between two places and then calculates the time cost of the moving. The calculation includes horizontal parameters (the type of surface) and vertical parameters (the slope of surface). The calculated paths are compared with the real paths which the competitors have run during the district competition on 1st November 2009. Results of this comparison are part of this thesis.

Keywords

orienteering, digital model terrain, least cost path, friction surface, backlink raster

ABSTRACT, KEYWORDS

vložit zadání

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Co je to orientační běh	1
2	Metodika volby postupů	3
2.1	Trať závodu	3
2.2	Volba postupu	4
2.2.1	Praktická ukázka voleb postupů	7
2.2.1.1	Klasická trať	7
2.2.1.2	Krátká trať	8
2.2.1.3	Sprint	9
3	Hledání nejkratších cest	11
3.1	Datové modely v GIS	11
3.2	Teorie grafů	12
3.2.1	Ohodnocení grafů	12
3.2.2	Dostupnost vrcholů	12
3.2.3	Nejkratší cesta	13
3.2.3.1	Dijkstrův algoritmus	13
3.3	Funkce šíření	13
3.3.1	Frikce	15
3.3.2	Aplikace funkce šíření	16
3.3.2.1	Vážená vzdálenost	16
3.4	Iterativní vyhledávací operace	17
3.4.1	Aplikace iterativních vyhledávacích operací	17
3.5	Mapová algebra	18
4	Analýza nejkratších cest	20

4.1	Příprava a úprava rovinných dat	20
4.1.1	Testování upravených rovinných dat	24
4.1.1.1	Jak pracuje funkce Cost Distance	25
4.1.1.2	Jak pracuje funkce Cost Path	29
4.2	Příprava a úprava výškových dat	32
4.2.1	Tvorba 3D modelu	33
4.2.2	Tvorba mapy sklonů	37
4.2.3	Testování upravených výškových dat	39
4.3	Příprava a úprava komplexních dat	39
4.3.1	Práce s funkcí Raster Calculator	39
4.3.2	Testování a použití funkce Path Distance	40
4.3.2.1	Popis a testování typů vertikálních faktorů	43
4.3.3	Testování a použití tabulek vertikálního faktoru	46
4.4	Porovnání tras vypočítaných v software a skutečných postupů	50
5	Závěr	53
A	Výsledné tabulky	55
B	Obsah příloženého DVD	59

Seznam obrázků

2.1	Trať závodu	3
2.2	Kontrola	4
2.3	Mapa z klasické trati	8
2.4	Mapa z krátké trati	9
2.5	Mapa ze sprintu	10
3.1	Vektorový a rastrový model	11
3.2	Tabulka s jednotkovým povrchem	14
3.3	Výpočet vzdáleností	15
3.4	Frikční povrch s absolutní bariérou	15
3.5	Tvorba frikčního povrchu	16
3.6	Vertikální faktor	17
3.7	Příklad aplikace vyhledávací funkce	18
3.8	Raster Calculator	19
4.1	Mapa Řáholec (není v měřítku)	21
4.2	Upravená mapa Řáholec	21
4.3	Vrstevnicová mapa Řáholec	22
4.4	Add data	22
4.5	Export dat	23
4.6	Reklasifikace dat	24
4.7	Zobrazení koeficientů	24
4.8	Umístění startu	25
4.9	Způsob výpočtu funkce Cost Distance	26
4.10	Dialogové okno funkce Cost Distance	27
4.11	Rastr vzdáleností	27

4.12 Ukázka pozice backlink rastru	28
4.13 Backlink rastr	28
4.14 Umístění cíle	29
4.15 Dialogové okno funkce Cost Path	30
4.16 Dialogové okno funkce Raster To Polyline	31
4.17 První testování koeficientů	31
4.18 Testování výsledných koeficientů	32
4.19 Transformace rastru vrstevnic	34
4.20 Atributová tabulka vrstvy vrstevnic	35
4.21 Tvorba TIN	35
4.22 TIN – nepravidelná trojúhelníková síť	36
4.23 Tvorba výškového rastru	36
4.24 Výsledný výškový rastr	37
4.25 Dialogové okno funkce Slope	38
4.26 Mapa sklonů	38
4.27 Porovnání nejkratších cest	39
4.28 Dialogové okno funkce Path Distance	40
4.29 Typy horizontálního faktoru	42
4.30 Typ vertikálního faktoru binary	43
4.31 Typy vertikálních faktorů linear a symmetric linear	44
4.32 Typy vertikálních faktorů symmetric inverse linear a inverse linear	44
4.33 Typy vertikálních faktorů cos a sec	45
4.34 Typy vertikálních faktorů cos-sec a sec-cos	45
4.35 Porovnání průběhu za použití různých typů vertikálních faktorů	46
4.36 Skutečné postupy vítěze závodu, Vojtěcha Krále	47
4.37 Dialogové okno funkce Surface Spot	48
4.38 Graf vertikálních faktorů	49
4.39 Porovnání tras při postupném upravování vertikálních faktorů	49
4.40 Dialogové okno funkce Surface Length	51
4.41 Porovnání tras skutečných postupů s postupy vypočítanými	52

Seznam tabulek

4.1	Porovnání hodnot délek postupů	51
A.1	Tabulka koeficientů typů terénu	55
A.2	Tabulka vertikálních faktorů	57
A.3	Porovnání hodnot délek postupů u jednotlivých výpočtů	58

Kapitola 1

Úvod

V devíti letech jsem se začala věnovat orientačnímu běhu. Tento sport mi tak přirostl k srdci, že hrál hlavní roli při rozhodování, jakým směrem se budou ubírat má studia na vysoké škole. Během několika let jsem si vybuodovala kladný vztah k mapám, a proto i moje diplomová práce s mapou a orientačním během úzce souvisí.

1.1 Co je to orientační běh

Podle [1] je orientační běh moderní sportovní odvětví vytrvalostního charakteru, při němž je nutné se správně a rychle orientovat v neznámém terénu. Při závodě se hledají kontrolní stanoviště, tzv. kontroly, v předem stanoveném pořadí a v co nejkratším čase. Trasu mezi kontrolami si každý volí podle vlastní úvahy za pomoci mapy, buzoly a stručného popisu kontrol. Volba optimální trasy mezi jednotlivými kontrolami byla i jedním z předmětů této diplomové práce.

Největší krása orientačního běhu tkví převážně v jeho provázanosti s přírodou. Závodník se pohybuje ve zdravém prostředí na čistém vzduchu. V lese bez diváků ho nic nenutí jít na hranici svých sil. Každý si zvolí své tempo a není důležité, zda závod pojme jako procházku, či jako boj s časem. Při přípravě závodu není třeba budovat nákladné sportovní areály. Stačí zpracovat a vytisknout speciální mapu, roznést do lesa kontroly a závodníci se mohou vydat na trať. Závodu v orientačním běhu se může zúčastnit úplně každý. Je zde vypisováno velké množství kategorií s tratěmi různých délek a obtížností, odstupňovaných podle věku, pohlaví a fyzických schopností. Pro mnohé se orientační běh stal skutečným životním stylem.

Orientační běh má několik podob. Základní členění v rámci IOF¹ je:

¹IOF (International Orienteering Federation) – Mezinárodní federace orientačního běhu

- pěší orientační běh (OB)
- lyžařský orientační běh (LOB)
- orientační závody na horských kolech (MTBO)
- orientační závody pro vozíčkáře (O-Trail)

V této práci se budu věnovat pouze závodům v pěším orientačním běhu. Podrobnější informace o samotném orientačním běhu a jeho „odnožích“ lze nalézt v brožuře ABC orientačního běhu [1].

Snem každého orientačního běžce je umět najít co nejoptimálnější trasu mezi kontrolami, a proto i v této práci se budu tímto problémem zabývat.

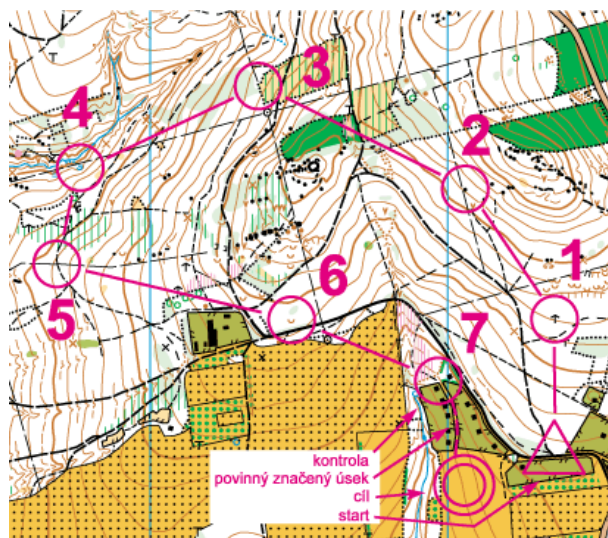
Kapitola 2

Metodika volby postupů

2.1 Trať závodu

Závod nemá přesně vytyčenou trasu jako v jiných sportech, až na jednu výjimku, kterou bývá liniová trať pro děti do deseti let, jež je vyznačena v terénu obvykle oranžovými fáborky z krepového papíru. Trať je zakreslena červenou barvou na mapě, kterou obdrží závodník bezprostředně po svém startu.

Start se na mapě značí trojúhelníkem, pospojovaná kolečka s příslušnými čísly označují



Obr. 2.1: Trať závodu

pořadí kontroly a vymezenou trať, cíl je zakreslen dvojitým kolečkem. Objekt kontroly se vždy nachází ve středu kolečka, viz Obr. 2.1. V terénu se kontroly umísťují na význačné

terénní či situační prvky (údolí, jámy, kameny, posedy, větvení potoků atd.). Přesné umístění kontroly se závodník dozví z popisu kontrol, které dostane před závodem. Kontrola je v terénu označena látkovým, oranžovo-bílým lampionem o velikosti 30 x 30 cm zavěšeným na kovovém stojanu, kde je také umístěno elektronické zařízení pro záznam času průběhu závodníka, kleště pro použití při případné poruše elektronického zařízení a číselný kód kontroly (např. 100), viz Obr. 2.2.



Obr. 2.2: Kontrola

2.2 Volba postupu

Volbou postupu se nazývá rozhodnutí o tom, kudy závodník bude chtít postupovat mezi kontrolami. Jedná se obvykle o složité rozhodování, které ovšem zkušeným závodníkům trvá jen několik málo sekund. Špatné rozhodnutí může ve složitém terénu znamenat veliké časové ztráty. Při výběru postupu se vždy řeší problém celého postupu, tzn. od kontroly ke kontrole. Výběr se začíná obvykle od konce postupu, tj. od následující kontroly, a to z toho důvodu, že jedním z nejdůležitějších faktorů rychlého nalezení kontroly je její finální dohledání. Snahou je najít směr s co nejjednodušším nabíháním kontroly, což znamená směr, odkud závodník ke kontrole přibíhá. Při volbě nabíhání kontroly hraje nejdůležitější roli výskyt tzv. záchytných

bodů, které usnadňují dohledání kontroly a výnamně ovlivňují úspěšnost jejího správného a rychlého nalezení. K záchytným bodům se nejprve nalezne postup po co nejkratší trase podél spojnice. Přitom se zkoumají překážky, způsob jejich překonávání a cesty, které leží do určité vzdálenosti od spojnice, a které by se daly při postupu případně využít. Výběru postupu v kopcovitém terénu se vyplatí věnovat více času. Špatná volba v takovémto terénu může znamenat ještě výraznější časovou ztrátu než v rovinatém terénu. Proto se zkoumá možnost vyhnout se stoupání a sleduje se mnohem širší oblast kolem spojnice kontrol.

Při volbě tzv. okamžitě optimálního postupu (v daném okamžiku na trati) se podle [2] dá řídit čtyřmi faktory:

- rychlost postupu

Rychlost postupu bývá nejčastěji rozhodujícím faktorem při volbě postupů. Závisí na délce, prostupnosti terénu a na převýšení na postupu. Z přibližně stejně náročných postupů, co se týká prostupnosti a převýšení, je nejrychlejší nejkratší postup. Nejkratší postup je ten nejbližší ke spojnici kontrol. Při posuzování prostupnosti se vyloučí nepřekonatelné překážky, např. vodní hladina, lom, soukromý pozemek, atd., a je snaha po co nejkratší trase překonat další jevy omezující rychlost běhu, nebo je, pokud to jde, oběhnout. Při posuzování účelnosti obíhání převýšení se dá řídit pravidlem, že jedna vrstevnice (5 výškových metrů) odpovídá přibližně 50 metrům vzdálenosti, což platí pro prudší svahy. Rovněž je také nutné uvažovat, že je vhodnější překonávat převýšení postupně než strmě, a že běh do kopce po cestě je mnohem rychlejší než terénem. Při posuzování postupů z hledisek prostupnosti a převýšení musí závodník brát zřetel na svoje fyzické schopnosti, ale i okamžitý stav (únavu) tak, aby zvolený postup pro něho byl za dané situace nejrychlejší.

- technická obtížnost postupu

Závodník musí volit takový postup, který je schopen po technické stránce zvládnout. Proto musí brát v úvahu svůj stupeň zvládnutí jednotlivých technických prvků, které bude muset na postupu použít. Tento faktor je rozhodující pro výběr postupů hlavně u začátečníků. U zkušených závodníků naopak hraje menší roli. Závodník řeší problém stupně zjednodušení technické náročnosti na úkor rychlosti postupu. Ustupuje od nejrychlejšího postupu za cenu snížení rizika chyb.

- obtížnost naběhnutí kontroly

Součástí volby postupu, jak už bylo napsáno výše, je také výběr záchytného bodu před kontrolou. Při výběru záchytného bodu hledá závodník kompromis mezi délkou

postupu přes záchytný bod a snahou o co největší zjednodušení naběhnutí kontroly tak, aby mohl nabíhat co nejvyšší rychlostí (tzn. co nejjednodušší technikou), s co nejmenším rizikem chyb a vyvarovat se tak hledání kontroly tzv. na náhodu.

- taktické záměry

Na volbu postupu mají vliv také taktické záměry, jako například volba směru naběhnutí kontroly ve směru odběhu, volba stejného postupu při kontaktu se soupeřem, šetření sil nepatrně pomalejším obíháním a další taktické prvky především při kontaktu se soupeři.

Po rozhodnutí se pro jednu variantu postupu už závodník nesmí dál přemýšlet o jeho výhodnosti nebo nevýhodnosti. Může dál řešit pouze dílčí varianty volby postupu z bodu, kde se nachází, nebo kde se bude nacházet, k následující kontrole.

Technicky nejjednodušším způsobem postupu je postup podle liniového objektu nebo přímo po něm, např. podél potoka, plotu nebo po cestě. Obtížnější, zejména pro začátečníky, je tzv. přehazování výhybek, volba správné linie na jejich křížení či větvení. Zkušení závodníci se snaží „řezat“ rohy. „Řezáním“ rohů se nazývá část postupu, kdy se závodník snaží co nejrychleji dostat z dohledu jedné linie na druhou tak, aby nemusel přes místo jejich styku. Účelnost „řezání“ rohů závisí na úhlu mezi liniemi a prostupnosti terénu.

Při realizaci postupu se závodník neustále setkává s otázkami „jak dlouho?“, „jak daleko?“, „v jaké vzdálenosti?“, atd. Vzdálenost v mapě a v terénu lze buď měřit nebo odhadnout, což je sice méně přesný, ale rychlejší, a proto používanější způsob jejího určování. Zkušení závodníci dokáží pomocí citu převést vzdálenosti mezi terénem a mapou odhadem podle doby běhu. Ve většině našich terénů, s dostatečnou hustotou výrazných objektů a průhledností, se vyskytuje problém určení vzdálenosti pouze řádově na desítky metrů.

Pro každého závodníka je důležité správně odhadnout tempo běhu, tzn. zvolit takovou běžeckou rychlost, která je přizpůsobena taktické vyspělosti, technickým schopnostem a kondiční připravenosti závodníka.

Podle [2] lze rozlišit několik základních technik uskutečňování postupu podle mapy v terénu, jejichž kombinací se provádí realizace postupu a naběhnutí kontroly (tím se rozumí její nalezení). Je to hrubé a přesné používání mapy, tzv. hrubé a jemné čtení mapy, přibližné a přesné určování vzdáleností a směru postupu. Ve většině případů se liší technika použitá na postupu od techniky použité při nabíhání kontroly. V našich terénech se většina postupů uskutečňuje kombinací hrubého čtení mapy, přibližného směrového postupu a odhadem vzdáleností. Výjimku tvoří např. krátké postupy, postupy ve svahu, postupy

nepřehledným terénem, kdy se používá přesnější technika jako je přesné čtení mapy v kombinaci s azimuty. Při nabíhání kontrol se většinou používají přesnější techniky. Špatná volba techniky bývá kromě nezkušenosti závodníka způsobena sníženou koncentrací nebo podceněním obtížnosti. Volba techniky může být také ovlivněna taktikou. Závodník může volit záměrně hrubší techniku a riskovat nebo přesnější techniku „na jistotu“. Riskováním může ušetřit cenné sekundy, ale ztratit může i celé minuty.

Zvolení postupu a způsobu naběhnutí kontroly je jedna věc, jejich realizace věc druhá. Při jejich realizaci dochází k odchýlkám od naplánovaného řešení neboli k chybám, které ale nemohu do mojí práce žádným způsobem zahrnout.

2.2.1 Praktická ukázka voleb postupů

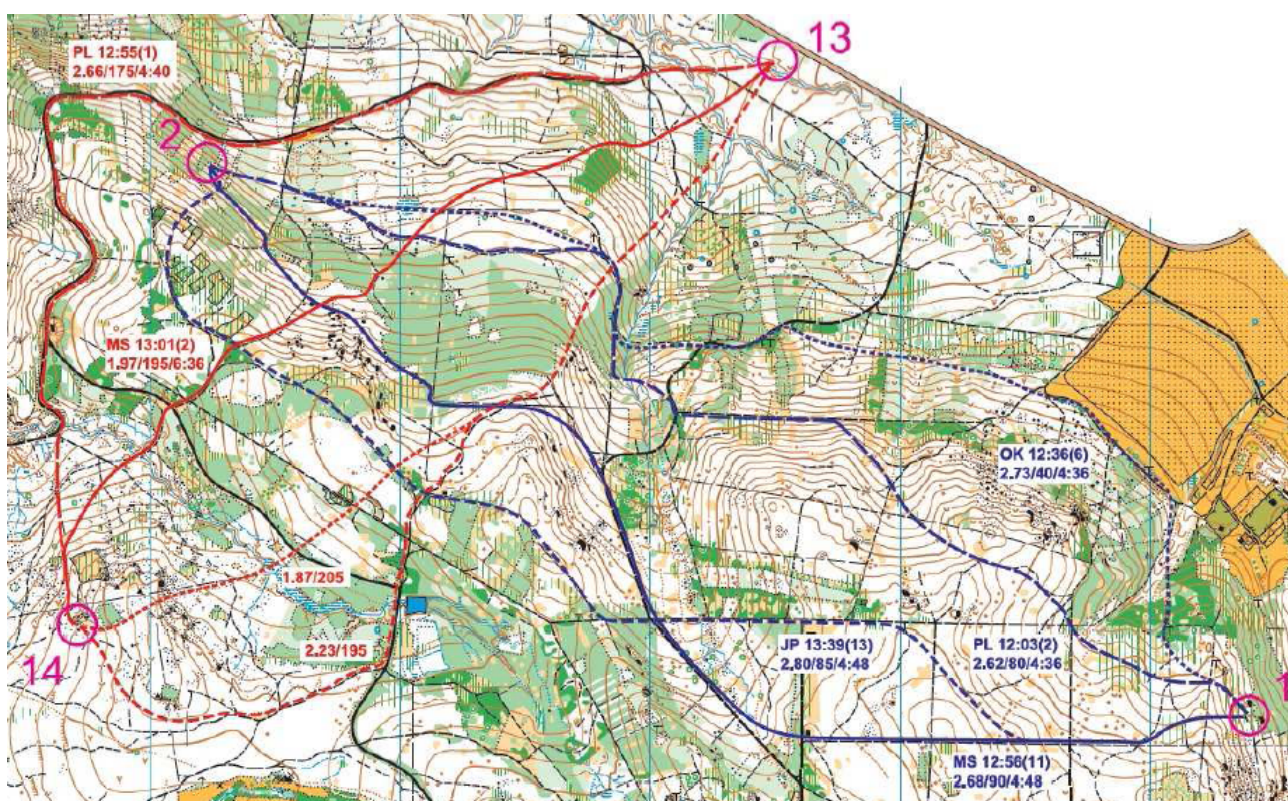
V časopise *Orientační běh*, věnovaném orientačním sportům a vycházejícím několikrát do roka, je obvykle možné najít rozboru postupů z různých, ať už republikových, či světových závodů. Pro praktickou ukázkou rozboru postupů jsem si vybrala třetí číslo časopisu z roku 2008 [3]. Trenér české reprezentace, Radek Novotný, zde popisuje volby postupů z nominačních závodů reprezentace na mistrovství Evropy v orientačním běhu v roce 2008.

2.2.1.1 Klasická trať

Nejdelší volba závodu na klasické trati přišla už na začátku, na druhou kontrolu. Závodníci dostali prostor pro nastudování tohoto postupu při snadném půlkilometru na první kontrolu. Z výsledků se zdá, že zdánlivě dobře běhatelné postupy „horem“ byly o něco pomalejší. Jasný vítěz závodu Michal Smola (MS) tu zaběhl jen průměrný čas. Příčinou by mohlo být hlavně poměrně dlouhé stoupání v úvodu. Rychlost odběhu od první kontroly musela být na Smolově a Procházkově (JP) variantě výrazně nižší než u ostatních. Naopak vysokou rychlost mohl na své „spodní“ variantě udržovat Osvald Kozák (OK), který nikde zbytečně nestoupal, ani v závěru, kde si rychlý Petr Losman (PL) vyběhl dvě vrstevnice navíc. Vzhledem k běžecké kapacitě jednotlivých závodníků se Kozákova varianta jeví jako nejlepší, kladoucí nejmenší odpor, viz Obr. 2.3.

Postup s velkým převýšením ze třinácté na čtrnáctou kontrolu, jemuž se nedalo uniknout, přišel po necelé hodině běhu. Závodníci už tak museli být ovlivnění postupující únavou. Úsek byl navržený tak, aby nabízel možnost využití zpevněné cesty. Stavitel se však domníval,

že to bude vzhledem k délce ztrátové. Většina závodníků zvolila různé variace na postup přímo, stejně jako Michal Smola. Někteří absolvovali kolmý výšlap vlevo od spojnice. Při všech těchto postupech se do značné míry běželo terénem. Pro obíhačku po silniče se rozhodl ten, komu měla sedět nejvíc. Petr Losman tady dokázal zaběhnout nejlepší čas na postupu. Navíc pošetřil sílu a nastudoval si zbytek tratě. Za překvapivým rozuzlením stojí diametrální rozdíl v rychlosti běhu po mírně stoupající kvalitní cestě ve srovnání se zdoláváním příkrého svahu terénem. Losman se pohyboval o 2 minuty na kilometr rychleji než Smola, viz Obr. 2.3.

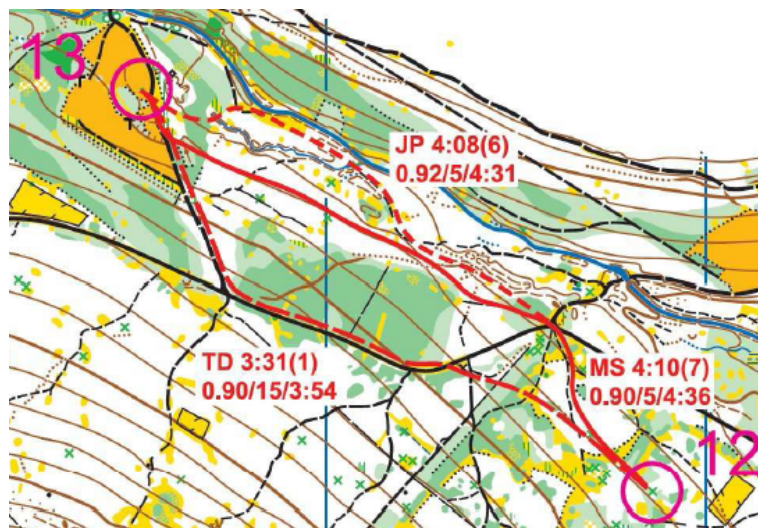


Obr. 2.3: Mapa z klasické trati

2.2.1.2 Krátká trať

Na krátké trati, nazývané též middle, zdánlivě nezajímavý spojovací úsek přinesl hodně zajímavé zjištění. V horském terénu s nerovnou podložkou a hustším lesem se evidentně vyplatí využívat cesty. Tomáš Dlabaja (TD) byl na „horní“ variantě o mnoho rychlejší než

suverénní vítěz závodu Michal Smola, který běžel jako většina ostatních přímo terénem, viz Obr. 2.4.



Obr. 2.4: Mapa z krátké trati

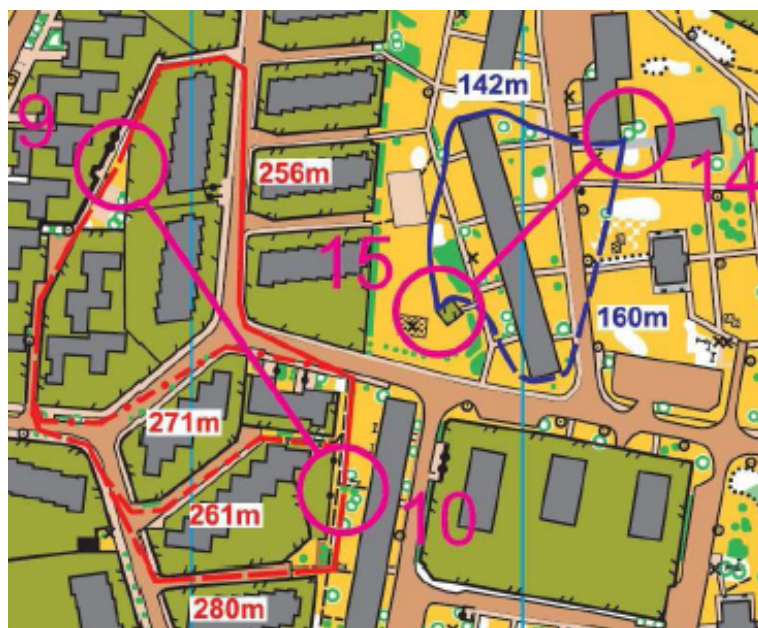
2.2.1.3 Sprint

Na Obr. 2.5 je typický sprintový úsek. Z deváté na desátou kontrolu, kde cesty ke kontrole jsou jasně dané, je potřeba se jen rozhodnout, která cesta může být nejrychlejší. Na základě mezičasů z velmi vyrovnaného závodu se dá usoudit, že v plochém terénu se délka postupu přímo promítá do výsledného času. Jinými slovy řečeno, nejrychlejší je ten, kdo je schopný odhalit nejkratší linii mezi kontrolami. Nejrychlejší časy byly zaběhnuty „zleva“. Naopak Smola a Procházka, kteří prokazatelně běželi minimálně stejně rychle, na variantě „zprava“ výrazně ztratili. Jedná se sice jen o 5 – 6 vteřin, ale pokud by k tomu došlo na každém úseku, dohnat se taková ztráta už nedá.

I při postupu na poslední kontrolu bylo potřeba odhalit kratší variantu. Rozdíl je sice jen necelých dvacet metrů, ale i to jsou v závodní rychlosti 3 – 4 vteřiny, viz Obr. 2.5.

Jak je vidět z rozmanitosti voleb postupů, je potřeba postřeh a hodně zkušeností, aby byl závodník schopen zvolit postup co neoptimalněji. Je také potřeba přiznat, že z mapy nelze vyčíst úplně všechno a do závodu vstupuje i potřebná dávka štěstí.

Rozbory postupů byly převzaty z [3].



Obr. 2.5: Mapa ze sprintu

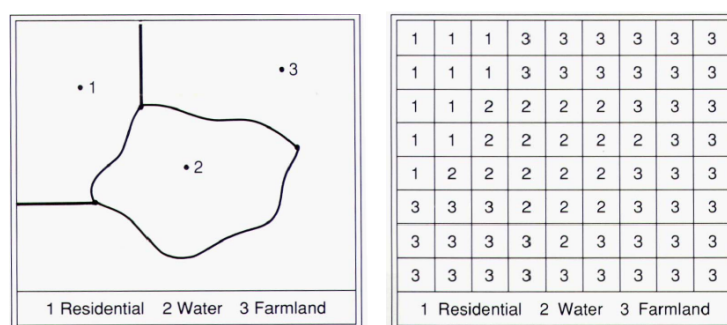
Kapitola 3

Hledání nejkratších cest

3.1 Datové modely v GIS

Datové modely v geografických informačních systémech můžeme dělit na rastrové a vektorové, viz Obr. 3.1¹. Každý z těchto modelů pracuje s jinou strukturou dat, neboli s jinými typy objektů. Rozdíl mezi jednotlivými modely je dobře patrný na diagonále čtverce. Rastrová data jsou zde zobrazena jako obrazec buněk a vektorová data jako soubor linií mezi definovanými body.

Podle [4] vektorová data reprezentují grafický objekt jako linii definovanou svým počá-



Obr. 3.1: Vektorový a rastrový model

tečním a koncovým bodem. V rastrovém souboru je poloha každé buňky definována v systému řádků a sloupců. Soubor na sebe navazujících buněk představuje linii.

U vektorového modelu jsou data uložena jako souřadnice a tvar objektů je přesný.

¹Převzato z [4]

Rastrový model má data uložena v jednotlivých buňkách a tvar jednotlivých objektů je v jisté míře generalizován. Rastrové datové soubory obsahují řádky uniformních buněk kódovaných hodnotou příslušného atributu. Bod je reprezentován jedinou buňkou, čára několika lineárně uskupenými buňkami o stejné hodnotě a plocha shlukem buněk se stejnou hodnotou. Buňky mají obvykle čtvercový tvar, ale mohou mít i jiné pravidelné tvary.

3.2 Teorie grafů

Grafem se podle [5] nazývá uspořádaná dvojice vrcholů V a hran H , (V, H) . Vrcholy grafu se obvykle znázorňují pomocí bodů a hrany jako spojnice příslušných vrcholů. Hrana může být orientovaná nebo neorientovaná. U orientovaných hran se rozlišuje počáteční a koncový vrchol hrany. Neorientované hrany jsou chápány jako symetrické spojení dvou vrcholů. Jestliže hrana spojuje vrchol se sebou samým, je nazývána smyčkou. Pokud z nějakého vrcholu ani do něj nevede žádná hrana, nazývá se takový vrchol izolovaným vrcholem. Graf, který má všechny hrany orientované, se nazývá grafem orientovaným, neorientovaný graf má potom všechny hrany neorientované. Dále existuje smíšený graf, který obsahuje oba druhy hran.

3.2.1 Ohodnocení grafů

Při modelování situace z reálného prostředí pomocí grafu je často pouhá existence hrany mezi dvěma vrcholy nedostačující informací. Pro lepší vyjádření se ke hraně přidává její ohodnocení, což je zobrazení, jež každé hraně přiřazuje obvykle číselnou hodnotu. Tato hodnota vyjadřuje míru náročnosti přesunu z vrcholu A do vrcholu B . Ohodnocení může vyjadřovat například náročnost prostupnosti terénem, časovou či délkovou vzdálenost, apod.

3.2.2 Dostupnost vrcholů

Vrchol B je orientovaně nabo neorientovaně dostupný z vrcholu A , pokud existuje orientovaný nebo neorientovaný sled, vedoucí z vrcholu A do vrcholu B .

3.2.3 Nejkratší cesta

Hledáním nejkratší cesty (sledu) je myšleno hledání cesty (sledu) s minimálním součtem ohodnocení všech hran této cesty (sledu). O součtu ohodnocení hran sledu má tedy smysl hovořit v ohodnocených grafech. Ohodnocení může vyjadřovat například náklady nutné na překonání hrany. Každá hrana se započítává tolikrát, kolikrát je ve sledu procházena. Úlohy o hledání nejkratších cest patří k nejčastěji aplikovaným úlohám teorie grafů.

Algoritmy, neboli postupy, hledající nejkratší cesty, mohou být rozděleny do dvou základních skupin. Algoritmy, řešící problém nejkratší cesty mezi dvěma danými vrcholy nebo z jednoho zadaného (single source problem) a algoritmy, které naleznou cestu mezi každými dvěma vrcholy grafu (all pairs shortest path problem).

3.2.3.1 Dijkstrův algoritmus

Dijkstrův algoritmus bývá často v literatuře doporučován pro výpočet nejkratších cest v souvislém grafu s nezápornými délkami.

Počáteční vrchol se obvykle značí v_0 . Každý další vrchol má na začátku nastavenou hodnotu nejkratší cesty do něj na nekonečno. U počátečního vrcholu je tato hodnota nastavena na nulu. Vrcholy se mohou v průběhu algoritmu nacházet ve stavu dočasně ohodnocený nebo trvale ohodnocený. Pokud je vrchol ohodnocený trvale, je u něj známa délka nejkratší cesty. V každém kroku algoritmu je vybrán vrchol w , který je dočasně ohodnocený, a mezi všemi takovými vrcholy je délka zatím nalezené cesty do něj co možná nejkratší. Vrchol w se prohlásí za trvale ohodnocený. Dále se testuje, jestli pro nějaký vrchol v není cesta z vrcholu v_0 do w a po hraně z w do v kratší, než zatím známá cesta z v_0 do v . Je-li nalezena, pak se změní hodnota délky nejkratší cesty do v . Stejný postup se provádí do trvalého ohodnocení všech vrcholů grafu. Pro možnost výpisu nejkratší cesty do zvoleného koncového vrcholu je potřeba v algoritmu uchovávat posloupnost vrcholů, po kterých nejkratší cesta vede.

3.3 Funkce šíření

Funkce šíření, neboli spread function, načítá proměnné v závislosti na vzdálenosti. Je to typický představitel konektivních operací, které při zpracování dat daného území postupně akumulují hodnoty sledovaných atributů. Jedná se o iterativní krokové šíření z jednoho nebo

více bodů na všechny strany, kdy v každém kroku se počítá kumulativní součet jedné nebo více proměnných. Vezmeme-li v úvahu nejjednodušší případ, může akumulovaná hodnota představovat přímou vzdálenost od počátečního bodu, u složitějších aplikací potom čas potřebný k cestě včetně uvažování různých překážek. Pohyb může být omezován částečnými bariérami, zpomalujícími rychlost pohybu, nebo absolutními bariérami, které pohyb zcela zastavují. Při existenci více možností šíření zaznamenává funkce vždy nejkratší vzdálenost.

Ukázka výpočtu vzdálenosti nad jednotkovým povrchem, viz Obr. 3.2, pomocí funkce šíření je na Obr. 3.3². Všechny buňky, které se nacházejí ve stejném řádku či sloupci jako startovní buňka, např. buňka A, mají příznak vzdálenosti rovný hodnotě 1. Buňky, které jsou ke startovní buňce přilehlé diagonálně, např. buňka B, nesou příznak $1.4 (\sqrt{2})$, podle diagonální vzdálenosti mezi středy dvou sousedních buněk. K buňce C je potom možné se dostat např.:

- pohybem po diagonále směrem vlevo nahoru a dále o jednu buňku nahoru, což představuje celkovou vzdálenost 2.4 jednotek,
- pohybem o dvě buňky nahoru a o jednu vlevo, což představuje celkovou vzdálenost 3 jednotky.

Jelikož funkce šíření zaznamenává vždy nejkratší možnou vzdálenost, určí funkce za výslednou první možnost.

1

startovní buňka

1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1

Obr. 3.2: Tabulka s jednotkovým povrchem

²Převzato z [4]

2.8	2.4 ^c	2	2.4	2.8
2.4	1.4	1	1.4	2.4
2	1	●	1 ^A	2
2.4	1.4 ^B	1	1.4	2.4
2.8	2.4	2	2.4	2.8

Obr. 3.3: Výpočet vzdáleností

3.3.1 Frikce

Frikcí (z angl. friction – tření) či frikčními hodnotami jsou nazývány nepravidelně rozmístěné překážky pohybu, které je možné brát v úvahu při použití funkcí šíření. V rastrových systémech je možné frikce modelově vyjádřit tzv. frikčním povrchem, který pro každou buňku rastru určuje relativní obtížnost pohybu. Čím vyšší je hodnota frikce, tím obtížnější je překonání buňky. Funkce šíření se potom počítají nad údaji daného frikčního povrchu. Pokud se nějaké buňce přiřadí výrazně vyšší hodnota, než jsou hodnoty okolních buněk, určí se tím „absolutní“ bariéra (je „levněji“ překonat 100 buněk s hodnotou 5, než jednu s hodnotou 1000), viz Obr. 3.4³. Z modře ohraničené do červeně ohraničené buňky je pohyb možný po červených či zelených šipkách. Postup po zelených šipkách je nákladnější, a proto nevhodný.

Frikční hodnoty se volí individuálně pro jednotlivé případy. Výsledkem jsou potom

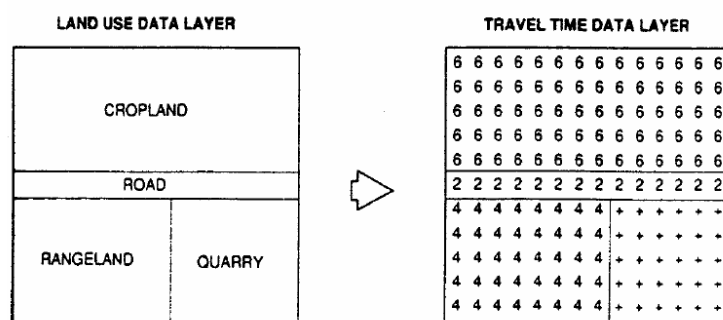
1	1	4	4	1	16	1
1	1	16	1	1	1000	4
16	16	4	1	4	16	4
16	16	1	1	4	4	4
16	10	1000	1	1000	4	4
16	4	4	1	1	1	4
16	1	1	16	1	1	4

Obr. 3.4: Frikční povrch s absolutní bariérou

rastry, které obsahují informaci o nákladech na přesun z počátečního bodu do všech ostatních buněk rastru. Ukázka tvorby frikčního povrchu je na Obr. 3.5⁴.

³Převzato z [4]

⁴Převzato z [4]



Obr. 3.5: Tvorba frikčního povrchu

3.3.2 Aplikace funkce šíření

Jedno z častých využití funkce šíření je při analýze prostupnosti proměnlivého terénu, která závisí na reliéfu, typu půdního krytu, způsobu transportu a roční době. Má velký význam zejména ve vojenství a je velmi dobře využitelná i při záchranných akcích v horách.

Výsledná trasa v každém bodě závisí na složitém souhrnu podmínek, které se definují v jednotlivých vrstvách, a proto je tento druh analýzy velmi komplexní.

3.3.2.1 Vážená vzdálenost

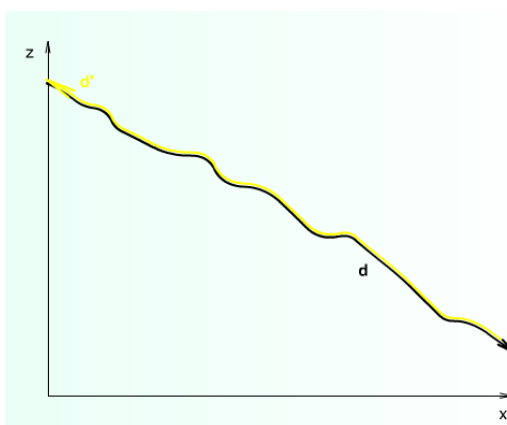
Vážená vzdálenost je jednou ze vzdálenostních analýz. Při běžných vzdálenostních analýzách se neuvažují vlivy okolí a vše je měřeno vzdušnou čarou za ideálních podmínek. Na reálnou vzdálenost má však vliv převýšení terénu, foukající vítr, atd. Tyto faktory lze zahrnout do analýzy právě pomocí vážené vzdálenosti. Nejprve se vytvoří „povrch nákladů“ (cost surface), který obsahuje různé faktory, jež mohou ovlivnit reálnou vzdálenost mezi dvěma objekty. Základním faktorem, který se započítává do vážené vzdálenosti je povrch, který simuluje rovinnou vzdálenost. Další může být faktor terénního reliéfu, pro jehož výpočet jsou potřebné údaje o digitálním modelu reliéfu. Další je vertikální faktor, který bere v úvahu vliv gradientu mezi dvěma sousedními buňkami, např. sklon. Na vertikální faktor, na rozdíl od terénního, má vliv směr pohybu⁵.

⁵Převzato z [7]

Z Obr. 3.6 je patrné, že díky vertikálnímu faktoru bude cesta d (z kopce) méně náročná, než cesta d' (do kopce).

Dalším může být horizontální faktor, udávající účinek převládajícího horizontálního působení faktoru na energii, kterou je nutné vynaložit k překonání buňky.

Vlastní povrch nákladů je potom počítán jako funkce všech faktorů a z něj se následně vypočítá povrch vážené vzdálenosti. Tento vzniklý rastr se používá jako vstup pro nalezení nejlevnější cesty.



Obr. 3.6: Vertikální faktor

3.4 Iterativní vyhledávací operace

Iterativní vyhledávací operace slouží k řízenému postupnému iterativnímu prohledávání dat. Prohledávat se začíná v jednom nebo více bodech a podle stanovených pravidel se prohledávání opakuje tak dlouho, než nastane situace, kdy už soubor pravidel nemůže být dále aplikován, následně se operace ukončí. Výstupem této funkce může být jedna nebo více tras, nalezených při pohybu z počátečních bodů či bodu do koncového bodu, kde se funkce zastavila.

3.4.1 Aplikace iterativních vyhledávacích operací

Typ iterativních vyhledávacích operací se využívá např. při hodnocení erozního ohrožení povrchovým odtokem, kdy se pracuje s digitálním modelem terénu, či při projekcích

úlohách.

Na Obr. 3.7⁶ je zobrazen příklad aplikace vyhledávací funkce nad povrchem frikčních

4.8	4	4.8	4.2	4.8	5.8
2.8	2	2.8	3.4	4.4	5.4
2	0 A	2	3	4	5
2.8	2	2.8	3.4	4.4	5.4
4.8	4	4.8	4.2	4.8	5.8 B

Obr. 3.7: Příklad aplikace vyhledávací funkce

vzdáleností, vytvořený funkcí šíření.

Bod B je výchozím bodem a při postupu se iterativně vyhledává sousední buňka s nejnižší hodnotou na trase do bodu A, ze kterého byl pomocí funkce šíření vytvořen povrch frikčních vzdáleností. Tento proces se dá přirovnat k případu vody stékající ze svahu, kdy voda vždy stéká do sousední buňky s nejnižší výškou.

Vyhledávací funkce při každém svém pohybu z jednoho pixelu do dalšího volí „nejlevnější“ alternativu a ve výběru pokračuje tak dlouho, než dosáhne cílového bodu.

3.5 Mapová algebra

Mapová algebra slouží k tvorbě analýz nad rastrovými daty. Pomocí rastru je možné vyjádřit prostorové prvky na mapě. Základem rastru jsou buňky, neboli pixely, obvykle čtvercového nebo i jiného tvaru, uspořádané do mozaiky. Jednotlivé buňky jsou nositelem informací o rastru. Vzdálenost dvou buněk v rastru je definována pomocí metriky. Metrika používaná v software ArcGIS je euklidovská metrika, která používá pro vzdálenost středů dvou buněk A a B tohoto vztahu $d = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2}$, kde x_A , x_B , y_A , y_B jsou souřadnice bodů A a B .

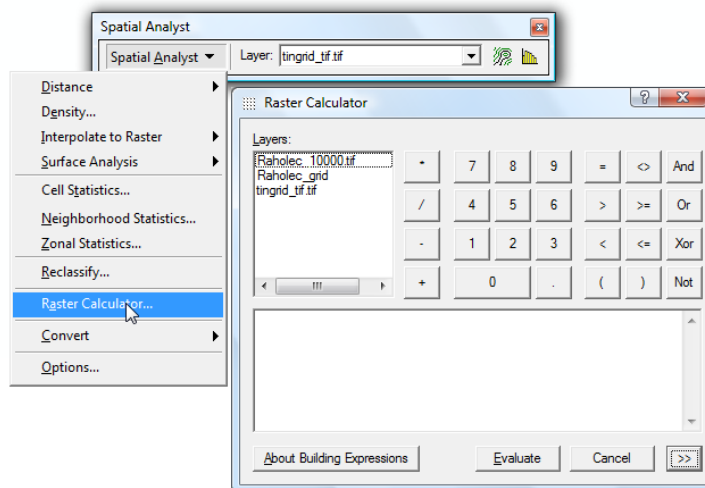
Mapová algebra v sobě zahrnuje matematické operace s rastry a pomocí ní dochází ke kombinaci mezi několika rastrovými vrstvami a k výpočtu nové vrstvy rastru. Nástrojem mapové algebry je její jazyk definovaný přímo v software. Jedná se o jednoduchý programovací jazyk, který je navržený speciálně pro popis analýz prostorového modelování nad

⁶Převzato z [4]

rastry.

V software ArcGIS prostředky pro realizaci mapové algebry obsahuje nadstavba Spatial Analyst. V hlavní nabídce menu Spatial Analyst se nachází zjednodušená podoba nástroje mapové algebry, Raster Calculator, viz Obr. 3.8.

Do výpočtu mohou vstupovat rastrové vrstvy, datasety, shapefile, čísla, konstanty, atd.



Obr. 3.8: Raster Calculator

Rozsáhlejší funkce mapové algebry se nacházejí v panelu ArcToolbox a nabízejí práci s rastry na vyšší úrovni.

V nadstavbě Spatial Analyst se nalézá také funkce Reclassify, sloužící k reklasifikaci hodnot rastru. Tato funkce je dále používána v této práci.

Kapitola 4

Analýza nejkratších cest

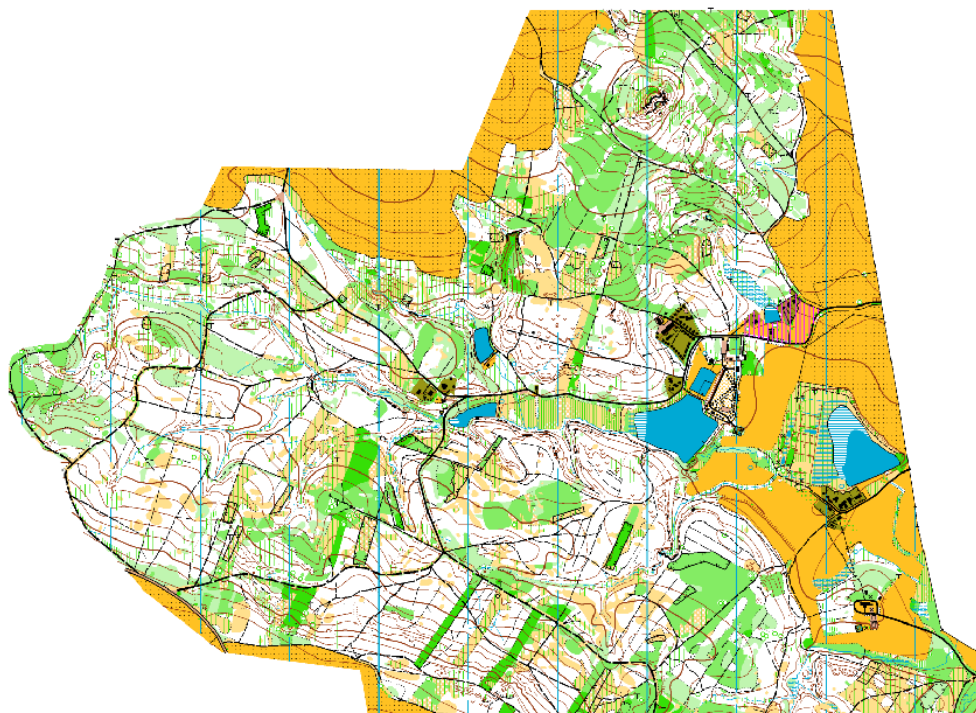
4.1 Příprava a úprava rovinných dat

K analýze jsem si vybrala mapu pro orientační běh s názvem Řáholec, viz Obr. 4.1, v měřítku 1 : 10 000. Tuto mapu jsem zvolila z toho důvodu, že patří oddílu orientačního běhu Sportcentrum Jičín, za který závodím, a který mi poskytl potřebná data ve formátu *OCD*.

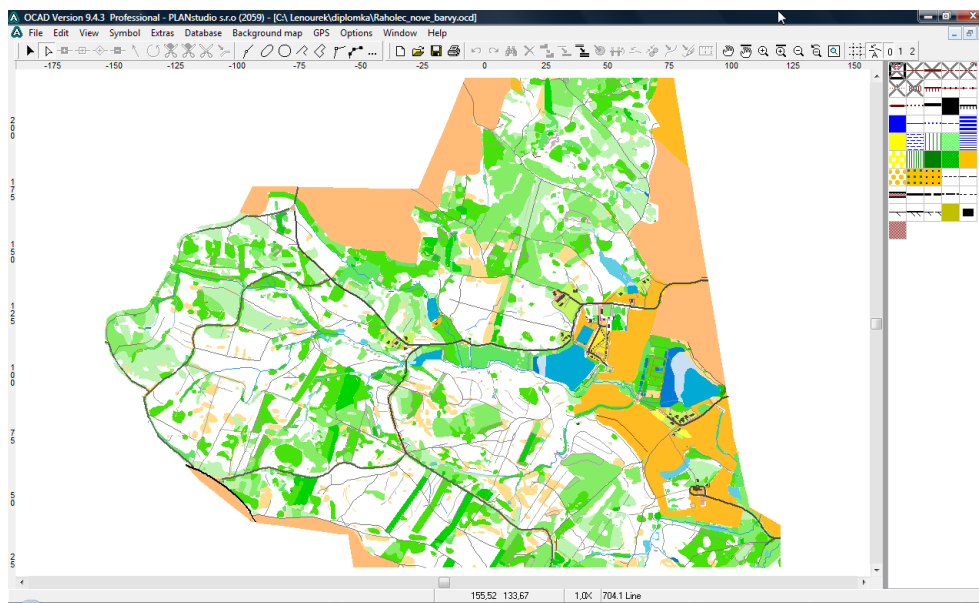
Mapu bylo před samotnou analýzou nutné upravit tak, aby neobsahovala žádné bodové symboly a aby v ní každá barva zastupovala právě jeden druh objektu. Tyto úpravy jsou nezbytné kvůli tomu, že funkce, které jsem následně používala, neumí pracovat s bodovými symboly a zároveň při analýze je potřebné rozlišit jednotlivé druhy povrchu terénu, k čemuž mi poslouží právě jedinečné přiřazení barev k jednotlivým druhům povrchu. Úpravy dat jsem, z důvodu formátu dat, prováděla v software OCAD 9. Zde jsem pro každý symbol ve značkovém klíči zvolila jinou barvu a následně poupravila drobné nedostatky mapy, jakými byly různé překryty, či naopak nedotahy linií a ploch. Bylo pro mě dost překvapující, kolik má taková mapa skrytých vad, kterých si laik na první pohled nevšimne. Tyto chyby ale nejsou v tištěné podobě mapy nijak zásadní.

Ze software OCAD 9 jsem po dokončení úprav vyexportovala následující soubory: barevný rastr ve formátu georeferencovaný *TIFF* s velikostí pixelu 0,5 x 0,5 m a barevnou hloubkou 256 barev, včetně souboru s jeho souřadnicemi ve formátu *TFW*, viz Obr. 4.2, a dále vektorový soubor vrstevnic ve formátu *SHP*, viz Obr. 4.3.

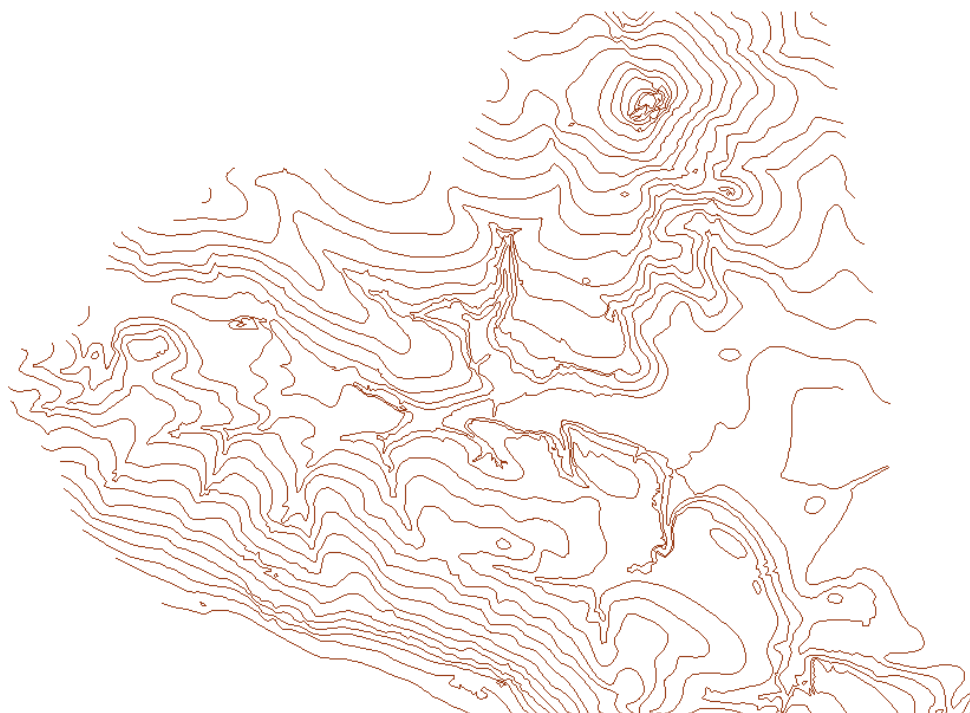
Dále jsem již pracovala v software ArcGIS 9. Založila jsem si nový projekt s názvem *Raholec.mxd*. Pomocí funkce Add data, viz Obr. 4.4, jsem přidala jako podklad upravenou mapu *Raholec.tif*. V ArcCatalog jsem rastru připojila referenční systém, protože bez něj by



Obr. 4.1: Mapa Řáholec (není v měřítku)



Obr. 4.2: Upravená mapa Řáholec



Obr. 4.3: Vrstevnicová mapa Řáholec

potřebné funkce nebylo možné použít. Jelikož mapy pro orientační běh jsou obvykle vytvořeny v místním systému, mohla jsem si referenční systém zvolit téměř libovolně. Jedinou podmínkou bylo zvolit takový referenční systém, aby jeho jednotkami byly metry. Po úvaze jsem proto vybrala souřadnicový systém S-JTSK, který jsem následně přiřazovala všem používaným souborům.

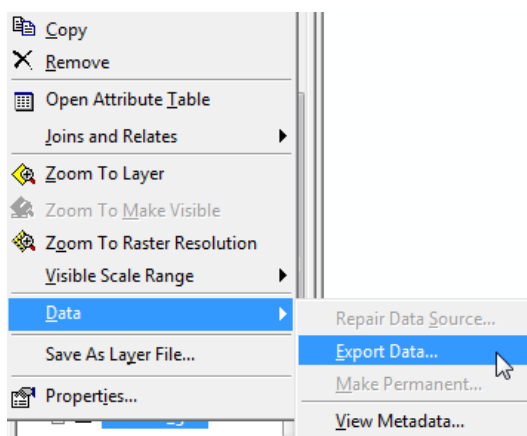
Pro potřebnou práci s mapou jsem převedla rastr *Raholec.tif* do formátu *ESRI GRID*.



Obr. 4.4: Add data

Kliknutím pravým tlačítkem myši nad vrstvou *Raholec.tif* se rozbálí menu, kde jsem vybrala Data – Export data, viz Obr. 4.5, a uložila mapu s názvem *Raholec_grid* ve formátu *ESRI GRID*.

Rastr *Raholec_grid* jsem přidala jako novou vrstvu. Dále jsem v ArcCatalog vytvořila nový shapefile typu polygon s názvem *obrýs*, pomocí kterého jsem ořízla rastr po jeho obvodu tak, aby skutečně obsahoval jen mapu a ne i její okolí ohraničené původně obdélníkem.

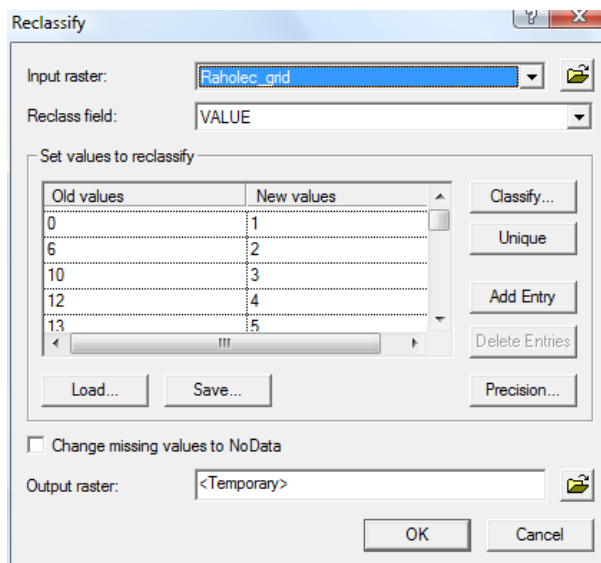


Obr. 4.5: Export dat

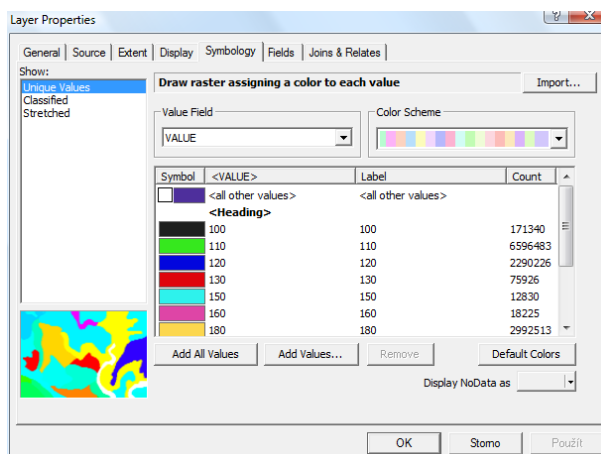
Tento úkon jsem prováděla z toho důvodu, aby později nedocházelo k chybným výpočtům zapříčiněným prázdnými místy na okrajích rastru mapy.

Poté bylo potřeba překlasifikovat původní hodnoty jednotlivých linií a ploch na hodnoty vhodné pro analýzu. Volila jsem k různým druhům povrchu různé koeficienty tak, aby průběh na mapě vypočítaný pomocí software odpovídal reálnému pohybu v terénu. Volba koeficientů probíhala odhadem, podle vlastních zkušeností a následným několikerým testováním, až jsem byla téměř spokojena s průběhem cesty, jak byla vypočtena v software ArcGIS. Reklasifikace koeficientů probíhala následujícím způsobem. Bylo potřeba otevřít si panel Spatial Analyst a zde zvolit funkci Reclassify, viz Obr. 4.6, zvolit tlačítko Unique, čímž se jako staré hodnoty (Old values) zobrazí jen ty, které soubor skutečně obsahuje. Jako nové hodnoty (New values) jsem vždy doplnila mnou navržené koeficienty. V případě nepřekonatelných oblastí, např. rybníků, zdí, nepřekonatelných srázů, atd., je místo nové hodnoty zapsáno NoData, což zaručí, že cesta přes danou oblast v žádném případě nepovede. Uložila jsem vždy tabulku reklasifikovaných koeficientů (Save as reclass) a výstupní soubor (Output raster). Výsledný, v analýze používaný, reklasifikovaný rastr má název *Raholec*. Tabulka s koeficienty reklasifikací je přílohou této práce, viz Příloha A.1.

Kliknutím pravým tlačítkem myši nad vrstvou *Raholec* a volbou Properties se otevře tabulka vlastností vrstvy. Zde v záložce Symbology jsem zvolila Unique Values pro zobrazení zvolených hodnot koeficientů, viz Obr. 4.7.



Obr. 4.6: Reklasifikace dat



Obr. 4.7: Zobrazení koeficientů

4.1.1 Testování upravených rovinných dat

V ArcCatalog jsem vytvořila nový shapefile typu bod kliknutím pravým tlačítkem myši a volbou New – Shapefile. Tento shapefile jsem pojmenovala *start_dl*, přiřadila mu referenční systém a přidala ho jako vstupu do ArcMap, viz Obr. 4.8. Po zapnutí funkce Editor je možné bod *start_dl* libovolně umístit do mapy a přiřadit mu vhodnou symbologii, následně je třeba editování uložit a funkci Editor ukončit. Pro symbol startu jsem zvolila tvar červeného trojúhelníku, jak je to zvykem při závodech orientačního běhu. Tento symbol označuje počátek

jednoho z testovacích postupů, *dl* značí, že se jedná o dlouhý postup.

V panelu ArcToolbox jsem použila nástroj Cost Distance, který je součástí nadstavby



Obr. 4.8: Umístění startu

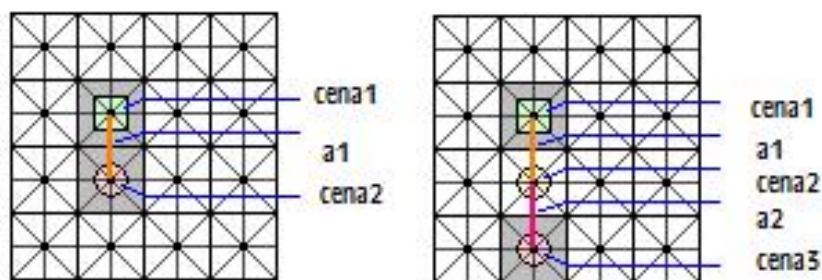
Spatial Analyst v nabídce Distance. Tento nástroj vytváří povrch, ve kterém jsou vzdálenosti počítány jako součet nákladů od daného pixelu a bere v potaz jen frikční povrch. Vypočítá nejkratší cesty pro každý pixel a vytvoří z nich nový rastr. Bílá místa značí nepřekonatelné plochy, kterým byl přiřazen koeficient NoData.

4.1.1.1 Jak pracuje funkce Cost Distance

Funkce Cost Distance používá k výpočtu ohodnocené buňky rastru. Funkce pro výpočet vyžaduje rastr zdroje (počátku) a rastr nákladů. Jednotky rastru mohou být například čas, cena, spotřeba energie, atd. Tyto jednotky určují relativní hodnotu jednotlivých buněk. Hodnoty vstupního rastru nákladů nesmí být nula nebo záporné číslo, jelikož cena překonání buňky nemůže být záporná ani nula. Hodnoty ceny jsou přiřazeny takovým způsobem, že pokud velikost buňky je například vyjádřena v metrech, cena přiřazená buňce je cena potřebná k překonání jednoho metru skrz buňku. Pokud je rozlišení například 10 metrů, potom celková cena cesty vertikálně či horizontálně přes buňku je cena přiřazená buňce krát rozlišení (celková cena = cena * 10). K diagonálnímu překonání buňky je celková cena $\sqrt{2}$ krát cena buňky krát rozlišení (celková diagonální cena = $\sqrt{2}$ (cena * 10)). K určení ceny nákladů na cestu projitím buněk je použita teorie grafů. Uzel je zde zastoupen středem buňky a každý uzel je spojen hranami. Buňky jsou spojeny hranami pod určitým úhlem, který je odvozen od nákladů buněk na obou koncích hrany a směrem pohybu přes buňky. Pokud se jedná o pohyb z jedné do čtyř sousedních buněk, cena pohybu po těchto hranách do sousedního uzlu je $a_1 = (cena_1 + cena_2)/2$, kde $cena_1$ je cena první buňky, $cena_2$ je cena

druhé buňky a a_1 je cena pohybu z buňky 1 do buňky 2. Celková cena z buňky 1 do buňky 3 je určena následujícím způsobem: $celk_cena = a_1 + a_2$, kde $a_2 = (cena_2 + cena_3)/2$, $cena_2$ je cena druhé buňky, $cena_3$ je cena třetí buňky a a_2 je cena cesty z druhé do třetí buňky, viz Obr. 4.9¹.

Pokud je pohyb přes buňky diagonálním směrem, cena se násobí hodnotou $\sqrt{2}$.



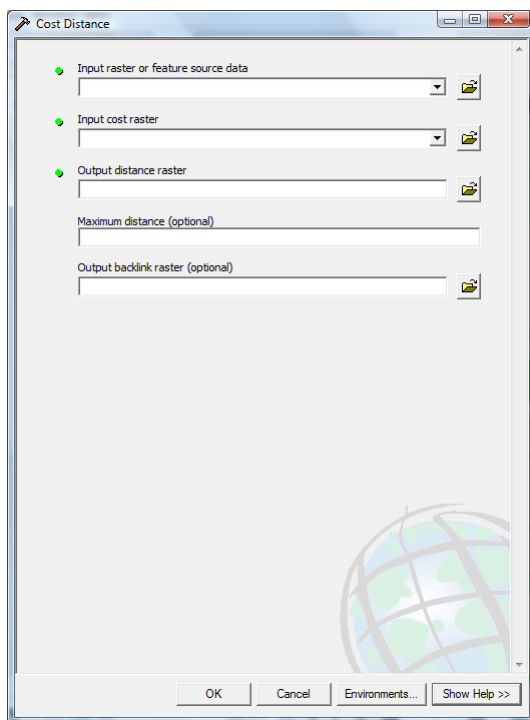
Obr. 4.9: Způsob výpočtu funkce Cost Distance

Je tedy možné tvrdit, že rastr Cost Distance nám říká, kolik bude stát každou buňku návrat do zdrojové buňky nejkratší možnou cestou.

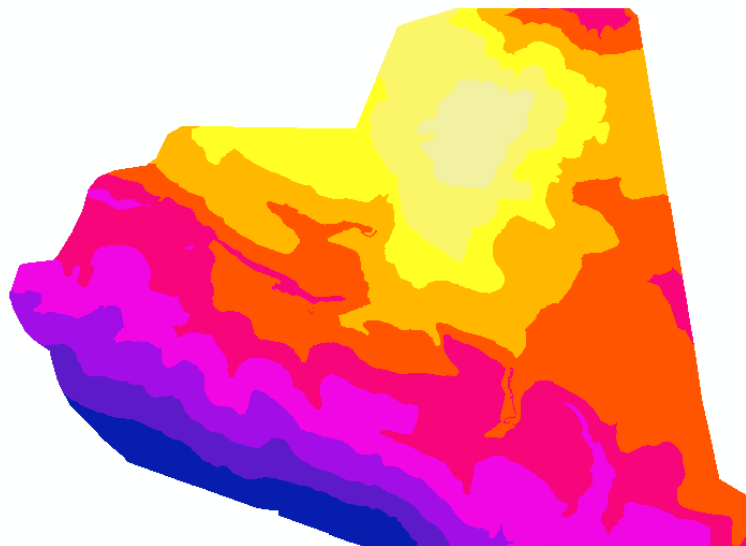
Vysvětlení jednotlivých parametrů funkce Cost Distance, viz Obr. 4.10:

- Input raster or feature source data – vstupní rastr, či prvek, identifikující ze kterého místa se budou počítat vzdálenosti do každého pixelu. V mém případě je tímto místem vždy jeden z bodů *start*.
- Input cost raster – rastr definující vstupní frikční povrch. V mém případě byl při testování takovým rastrem vždy *reclass* s příslušným pořadovým číslem (např. *reclass1*) a na závěr *Raholec*.
- Output distance raster – název výstupního rastru, který ukazuje pomocí intervalové stupnice, jak rychle se dá dostat do určité oblasti. Každý pixel má v tomto výstupním rastru vypočítanou hodnotu cenové dostupnosti. V mém případě je rastr pojmenovaný *CostDist* a přiřazený vždy příslušnému zdroji, viz Obr. 4.11.
- Maximum distance (nepovinný parametr) – definuje horní limit nákladů, který se nesmí překročit. Tuto hodnotu jsem do výpočtu nezadávala.

¹Převzato z [4]



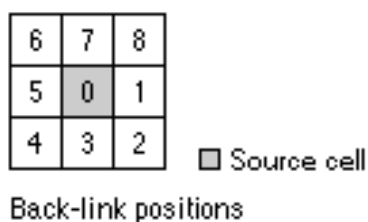
Obr. 4.10: Dialogové okno funkce Cost Distance



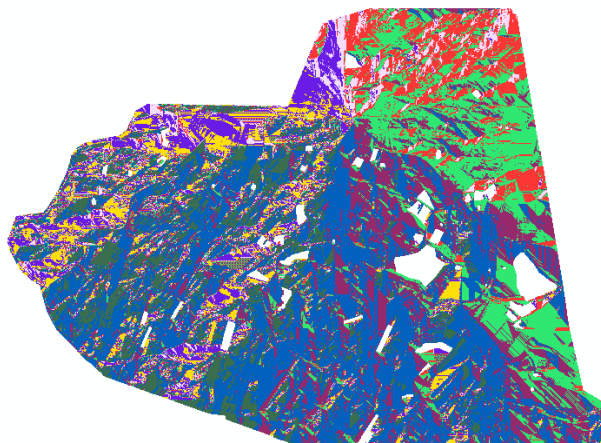
Obr. 4.11: Rastr vzdáleností

- Output backlink raster (nepovinný parametr) – název výstupního tzv. backlink rastru,

který obsahuje hodnoty od 0 do 8, viz Obr. 4.12². Hodnotou 0 se značí počáteční buňka, ostatní hodnoty určují směr další sousední buňky po nejméně nákladné cestě. V mém případě se backlink rastr značí zakončením názvu rastru *_bl*. Ukázka backlink rastru je na Obr. 4.13.



Obr. 4.12: Ukázka pozice backlink rastru



Obr. 4.13: Backlink rastr

Rastr Cost Distance a backlink rastr musí být vytvořeny před iniciováním funkce Cost Path.

Stejně jako jsem vytvořila v ArcCatalog novou vrstvu shapefile typu bod *start_dl*, vytvořila jsem i vrstvu *cil_dl* obsahující cílové místo počítané trasy. Pro symbol cíle jsem zvolila červené kolečko, viz Obr. 4.14.

V panelu ArcToolbox jsem dále použila funkci Cost Path, která je taktéž součástí nad-

²Převzato z [4]



Obr. 4.14: Umístění cíle

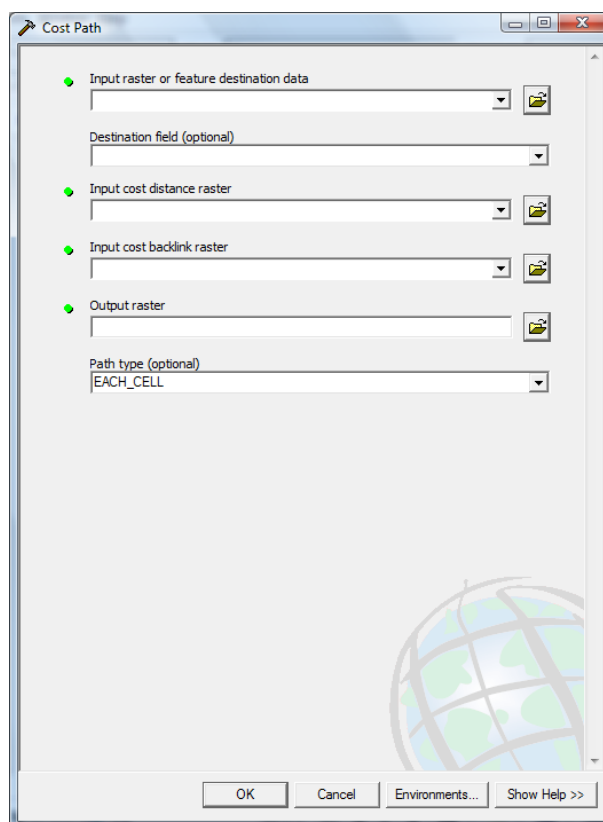
stavby Spatial Analyst v nabídce Distance. Tato funkce je schopna najít „nejlevnější“ trasu na základě nákladového povrchu.

4.1.1.2 Jak pracuje funkce Cost Path

Funkce Cost Path sestává z následně propojených linií, které stanovují pro každou buňku rastru trasu do zdrojové buňky. Vzdálenost ohodnocené cesty z jakékoliv buňky do zdroje se zjistí nasčítáním hodnot cen linií, přes které vede trasa z jakékoliv buňky do zdroje. Existuje mnoho možných tras vedoucích do zdrojové buňky či buněk, ale pouze jedna z nich je ta nejlevnější. Tato funkce tedy určuje, která trasa z jakékoliv buňky do zdrojové buňky je nejméně nákladná. Ke zjištění nejkratší cesty používá funkce rastr ohodnocených nákladů a backlink rastr.

Vysvětlení jednotlivých parametrů funkce Cost Path, viz Obr. 4.15:

- Input raster or feature destination data – vstupní rastr, či prvek, který identifikuje buňky, z nichž je určena nejméně nákladná cesta ke zdroji.
- Destination field (nepovinný parametr) – atributové pole užívané pro získání hodnot pro cílové lokality. Vstupní data musí obsahovat alespoň jedno platné pole.
- Input cost distance raster – vstupní rastr nákladů, který je potřeba k určení nejméně nákladné cesty.
- Input cost backlink raster – vstupní backlink rastr používaný k určení nejméně nákladného návratu ke zdroji.
- Output raster – výstupní rastr.

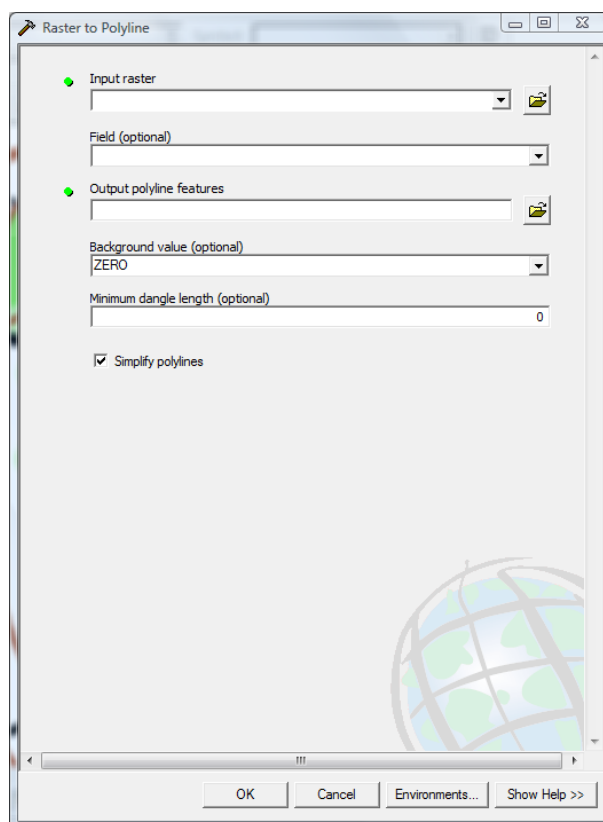


Obr. 4.15: Dialogové okno funkce Cost Path

- Path type (nepovinný parametr) – metody definující způsob výpočtu nejkratší trasy:
 - For Each Cell – každá buňka se zpracovává jednotlivě a nejkratší trasa je uložena pro každou buňku.
 - For Each Zone – každá zóna se zpracovává jednotlivě a nejkratší trasa je uložena pro každou zónu.
 - Best Single – pro všechny buňky je nejkratší cesta odvozena od buňky s nejkratší trasou ke zdroji.

Optimální trasu jsem následně převedla do vektoru pomocí funkce Rastr To Polyline, viz Obr. 4.16, která se nachází v panelu ArcToolbox, v nadstavbě Conversion Tools, v nabídce From Raster.

Nejprve bylo potřeba testovat mnou zvolené koeficienty jednotlivých povrchů terénu tak, aby výsledná výpočítaná nejkratší cesta odpovídala skutečné volbě trasy v terénu. Testování proběhlo na postupu zvoleném téměř přes celou šířku mapy. Při prvním pokusu byl



Obr. 4.16: Dialogové okno funkce Raster To Polyline

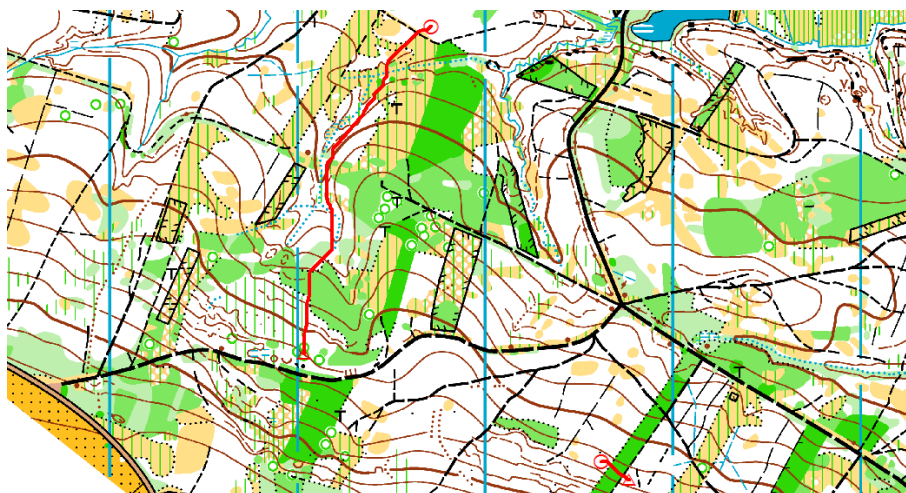
postup dost nereálný a vedl přes husté lesy spíše než po cestě kolem nich, viz Obr. 4.17 (fialová barva s původními koeficienty, červená barva s výslednými koeficienty). Proto jsem koeficienty upravovala tak dlouho, až odpovídaly reálnějšímu průchodu terénem. Tyto upravené koeficienty jsem otestovala na několika situacích, které lze vidět na Obr. 4.18.

Při testování výsledných koeficientů jsem nejdříve vyzkoušela, zda půjde krátký postup



Obr. 4.17: První testování koeficientů

rovně přes hustý les, tzv. hustník. Pokud ano, bude rovně vypočítána i nejkratší cesta. Pokud by cesta byla vypočítána okolo a ne přímo, byl by koeficient tohoto hustníku příliš velký a bylo by potřeba ho snížit.



Obr. 4.18: Testování výsledných koeficientů

Druhý pokus byl naopak na dlouhém postupu, kde jsou hustníky, ale lze mezi nimi kličkovat lépe průběžným lesem. I tento test proběhl v pořádku, jelikož nejkratší cesta se v místech, kde je to možné, hustníkům vyhýbá, ale naopak, je-li průběh hustníkem jen krátký, zvolí postup skrz tak, jak by ho volil i běžec v terénu, viz Obr. 4.18.

Dalším testovacím postupem jsem zvolila cestu přes kopec z důvodu pozdějšího porovnání s nalezením nejkratší cesty za pomoci i výškových parametrů.

Na závěr testování rovinných dat jsem koeficienty sloučila do podobných skupin, jelikož rychlost běhu například po zpevněné cestě a velké nezpevněné cestě je téměř shodný. Původně byly koeficienty odlišné proto, aby bylo jednodušší rozlišit v mapě přes jaké druhy terénu software hledá nejkratší cestu. Dále už ale byla tato informace nepotřebná a bylo tedy možné hodnoty koeficientů sloučit do podobných skupin, viz Příloha A.1.

4.2 Příprava a úprava výškových dat

S testováním rovinných dat jsem tedy byla relativně spokojená a přistoupila jsem k přípravě výškových dat. V software OCAD 9 jsem si otevřela soubor *Raholec.ocd* a v něm zobrazila pouze výškové symboly, tj. vrstevnice. Vrstevnice mají ekvidistanci 5 metrů a každá pátá z nich je navíc zvýrazněna tučně pro lepší přehlednost. Taktéž kvůli přehlednosti jsou na některých místech v mapě vrstevnice přerušeny, a proto je bylo pro další práci potřeba pospojovat do jedné linie. Dalším problémem map ve formátu *OCD* je ten,

že nemají zadané žádné hodnoty absolutních výšek. Známý jsou pouze intervaly mezi jednotlivými vrstevnicemi, tzv. ekvidistance. Mapy neobsahují taktéž kóty, proto má výsledný digitální model terénu (DMT) „useknuté“ vrcholy kopců a na některých místech se objevují „plošinky“. Pro absolutní hodnoty výšek jsem zjistila výšku nejvyššího kopce Houser v severní části oblasti z turistické mapy a následně jednotlivým vrstevnicím přiřadila nadmořské výšky, podrobnější popis postupu se nachází dále v textu. Tento úkon nebyl nutný a dalo se počítat pouze s relativními hodnotami výšek, ale pro lepší představu jsem použila výšky absolutní. Po dokončení spojování vrstevnic jsem vrstevnicovou mapu exportovala (Export – Shape – Line objects) do souboru *Shapefile_vrstevky.shp*. Tento soubor jsem opět přidala jako vrstvu do software ArcGIS.

Vrstvu vrstevnic bylo nutné transformovat na rastr mapy, což jsem udělala následujícím způsobem. Zapnula jsem funkci Editor a jako Target (cíl) zvolila vrstvu *Shapefile_vrstevky*. Dále jsem zapnula nástrojovou lištu Spatial Adjustment (View – Toolbars – Spatial Adjustment). Zvolila funkci Set Adjust Data a zde označila možnost All features in these layers a vybrala opět vrstvu *Shapefile_vrstevky*, kterou jsem potřebovala transformovat. Dále jsem zvolila funkci Adjustment Methods a vybrala Helmertovu podobnostní transformaci (Transformation Similarity), viz Obr. 4.19.

Samotnou transformaci jsem potom provedla postupným kliknutím myši nejprve na bod na vrstevnici a následně na stejné místo v rastru mapy. Pro transformaci jsem zvolila čtyři identické body v různých částech mapy, aby transformace proběhla co nejpřesněji.

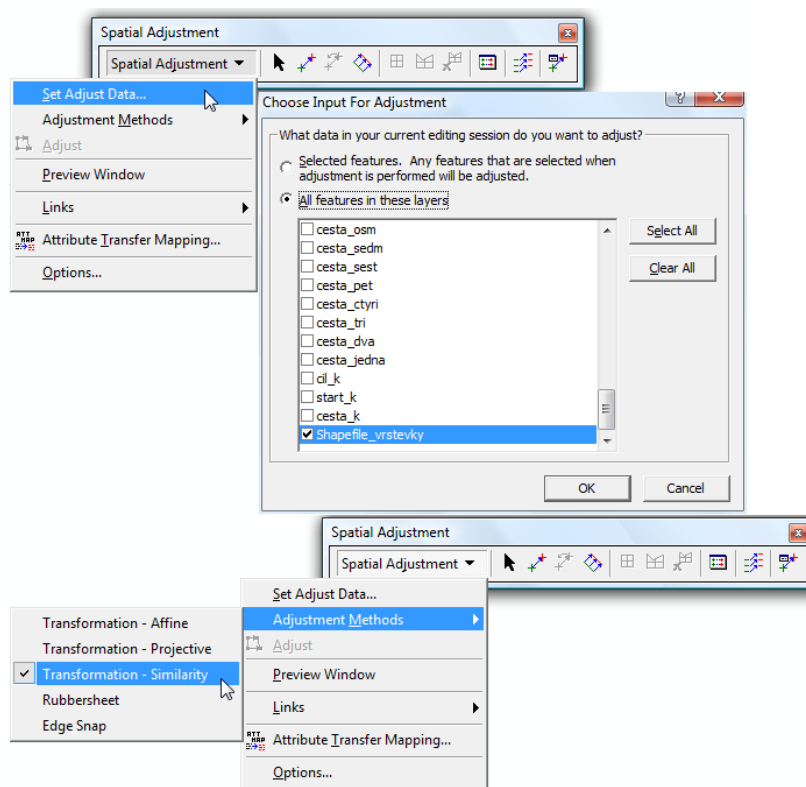
Po zvolení identických bodů jsem pomocí funkce Adjust vrstvu vrstevnic transformovala.

Do atributové tabulky vrstvy vrstevnic jsem následně přidala výše zmiňované hodnoty nadmořských výšek tak, že jsem přidala do tabulky nový atribut s názvem *vyska* typu short integer, postupně vždy označila vrstevnice se stejnou nadmořskou výškou a přidala správnou hodnotu nadmořské výšky do tabulky ke všem vrstevnicím v rastru, viz Obr. 4.20.

4.2.1 Tvorba 3D modelu

Pro zapracování výškových rozdílů, neboli převýšení, do analýzy bylo nutné vytvořit digitální model terénu. Tento model jsem vytvořila následujícím způsobem. Po otevření nástrojové lišty 3D Analyst (View – Toolbars – 3D Analyst) jsem vytvořila TIN³, neboli

³TIN – z anglického Triangulated Irregular Network



Obr. 4.19: Transformace rastru vrstevnic

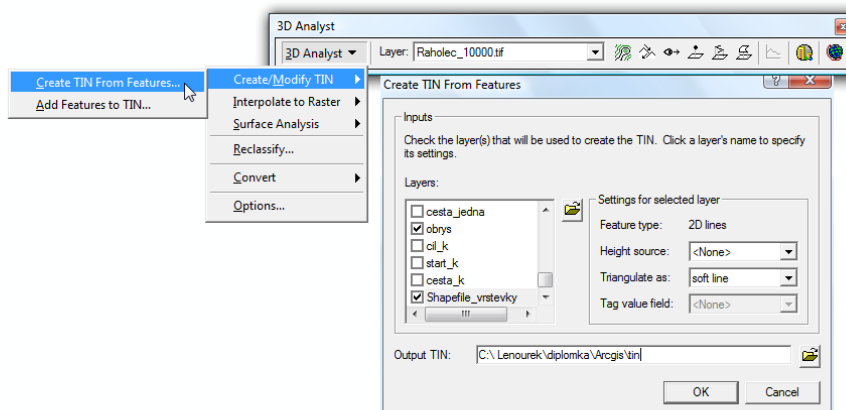
nepravidelnou trojúhelníkovou síť (Create TIN – Create TIN from feature). Jako vstupní vrstvy pro tvorbu TIN jsem vybrala vrstvy *Shapefile_vrstevky* a *obrys* a výsledný TIN jsem pojmenovala *tin*, viz Obr. 4.21. Výsledná trojúhelníková síť je na Obr. 4.22.

Nepravidelné trojúhelníkové sítě (TIN) využívají rozdělení plochy terénu na dílčí plochy, nejčastěji trojúhelníkového tvaru. Dělicí hrany jsou vedeny po liniích, na kterých dochází k výrazným terénním změnám, tzv. singularitách. Hrany spojující vrcholy trojúhelníků by měly co nejvýstižněji sledovat linie, na kterých dochází k výrazným terénním změnám. Podle tzv. Delaunayho kritéria jsou trojúhelníky tvořeny tak, aby uvnitř kružnice opsané trojúhelníku z výškových bodů neležel žádný jiný bod. Hustotu vstupních bodů lze zvolit podle členitosti reliéfu a tím trojúhelníkovou síť reliéfu co nejvíce přizpůsobit. TIN lze tvořit z vrstevnic, ostrých hran, či výškových bodů (kót). V případě tvorby TIN z vrstevnic mohou vzniknout tzv. umělé terasy (většinou v okolí hřbetů a údolí), které lze odstranit vložením kritických bodů hřbetnic a údolnic. U map pro orientační běh nejsou data hřbetnic a údolnic k dispozici, proto nebylo možné tento nedostatek odstranit.

Následně jsem trojúhelníkovou síť převedla na rastr, což jsem učinila pomocí funkce

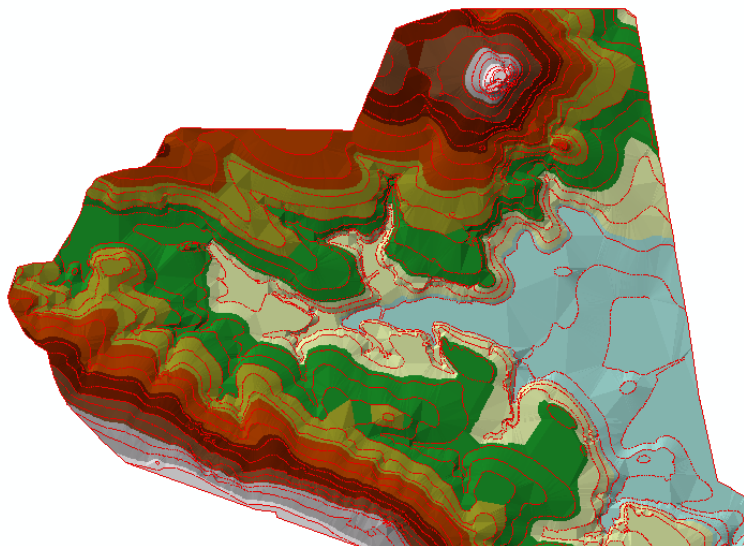
FID	Shape *	ID	SYMBOL	ANGLE	vyska
0	Polyline	1	101	0	365
1	Polyline	2	102	0	360
2	Polyline	3	101	0	355
3	Polyline	4	101	0	305
4	Polyline	5	101	0	305
5	Polyline	6	101	0	285
6	Polyline	7	101	0	330
7	Polyline	8	101	0	320
8	Polyline	9	101	0	315
9	Polyline	10	102	0	335
10	Polyline	11	101	0	340
11	Polyline	12	101	0	325
12	Polyline	13	101	0	295
13	Polyline	14	102	0	310
14	Polyline	15	102	0	310
15	Polyline	16	101	0	305
16	Polyline	17	101	0	280
17	Polyline	18	102	0	285
18	Polyline	19	101	0	300
19	Polyline	20	101	0	300
20	Polyline	21	101	0	290
21	Polyline	22	101	0	300
22	Polyline	23	101	0	370
23	Polyline	24	101	0	370
24	Polyline	25	101	0	375
25	Polyline	26	101	0	350
26	Polyline	27	101	0	345

Obr. 4.20: Atributová tabulka vrstvy vrstevnic



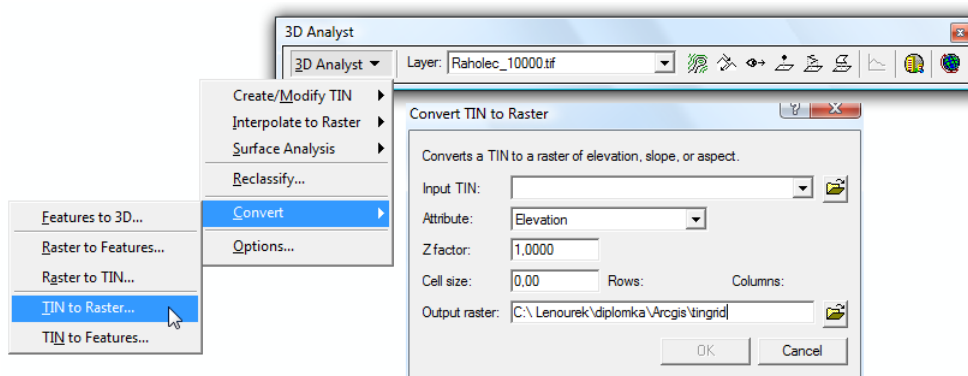
Obr. 4.21: Tvorba TIN

Convert, kterou obsahuje nástroj 3D Analyst (3D Analyst – Convert – TIN to Raster), viz Obr. 4.23. Do této funkce jsem zadala vytvořený TIN a velikost buňky 0,5, jelikož velikost pixelu v rastru je 0,5 x 0,5 m. Jako výstupní soubor vznikl rastr *tingrid*, což je

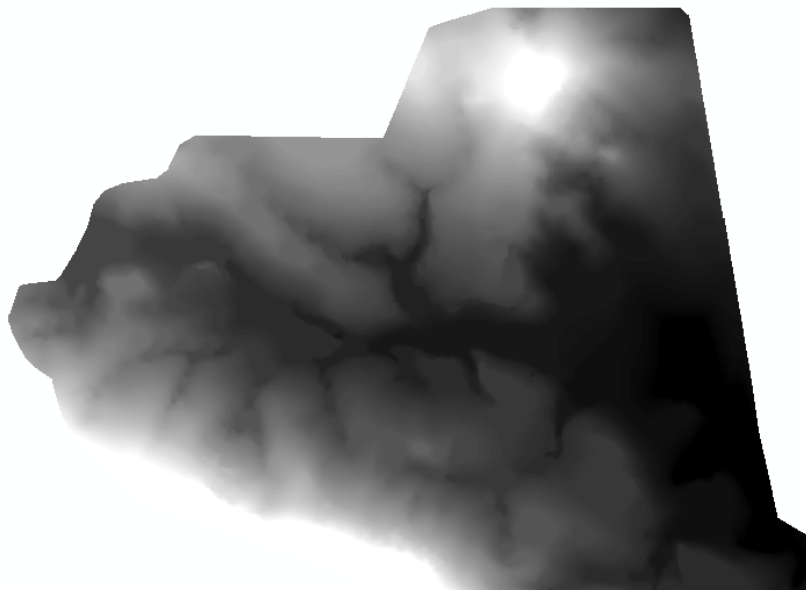


Obr. 4.22: TIN – nepravidelná trojúhelníková síť

rastr, jehož každý pixel má svou výšku. Tento rastr je možné jakkoliv přebarvit. Výsledný výškový rastr je na Obr. 4.24.



Obr. 4.23: Tvorba výškového rastru



Obr. 4.24: Výsledný výškový rastr

4.2.2 Tvorba mapy sklonů

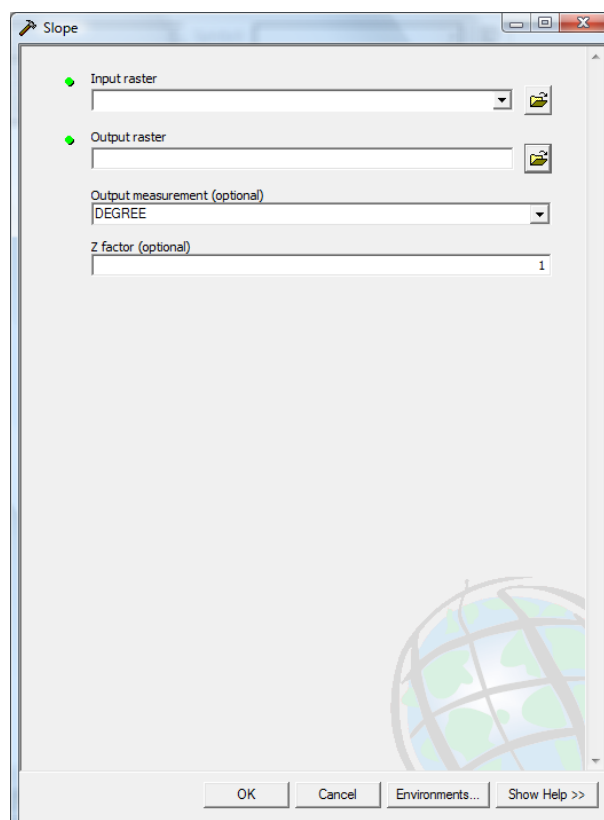
Jeden ze způsobů, jak provést analýzu se započítáním výškového profilu ukáže následující postup. V panelu ArcToolbox jsem použila funkci Slope, která je součástí nadstavby 3D Analyst v nabídce Raster Surface. Tato funkce je schopna vytvořit mapu sklonu v procentech či ve stupních.

Vysvětlení jednotlivých parametrů funkce Slope, viz Obr. 4.25:

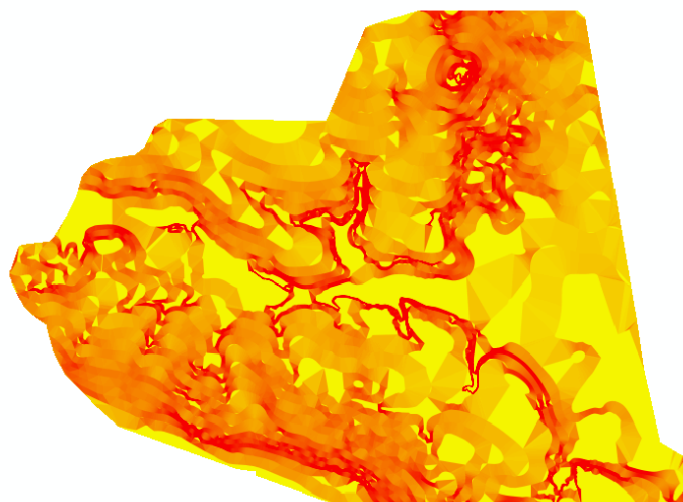
- Input raster – vstupní rastr s hodnotami výšek, v mém případě *tingrid*.
- Output raster – výstupní rastr, který je funkcí vytvořen.
- Output measurement (nepovinný parametr) – definuje jednotky výsledné mapy ve stupních nebo v procentech.
- Z factor (nepovinný parametr) – pro zvýraznění vertikálního faktoru.

Mapu sklonů lze vidět na Obr. 4.26. Žlutá barva značí nejmenší sklon, ta přechází v oranžovou až červenou s nejprudším sklonem.

Výstupní soubor jsem pojmenovala *frikce*.



Obr. 4.25: Dialogové okno funkce Slope



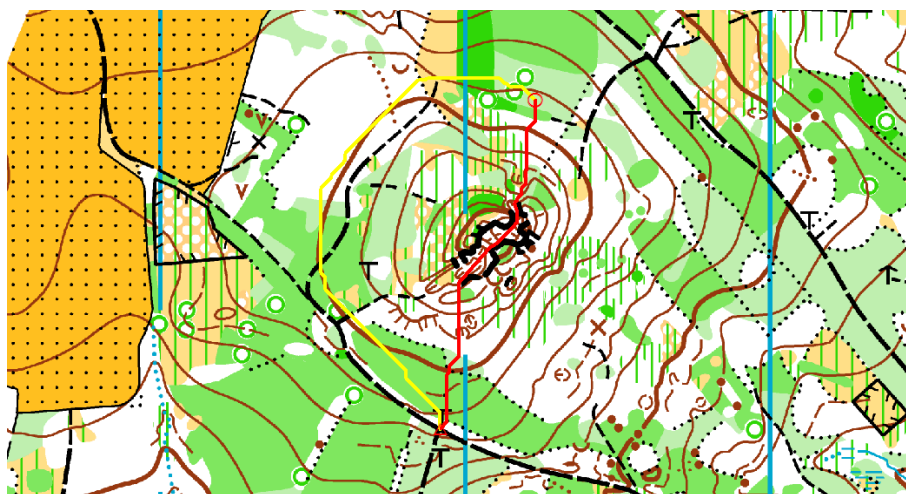
Obr. 4.26: Mapa sklonů

4.2.3 Testování upravených výškových dat

Pro zpracování výškových profilů do analýzy jsem vytvořila takzvanou mapu nákladů na základě obrazu frikčního povrchu a vzdálenosti pomocí funkce Cost Distance, kterou jsem použila už dříve pro výpočet nejkratších cest bez uvažování výškových parametrů. Testování proběhlo rovněž na výše zmiňovaném postupu přes kopec.

Pro tvorbu optimální trasy jsem zvolila opět funkci Cost Path. Tato funkce nyní hledá nejlevnější trasu pouze s uvažováním sklonů.

Vypočítala jsem tedy nejkratší cestu, která bere v úvahu výškové parametry mapy, ale nebere ohled na frikční povrch vytvořený pouze z rovinných parametrů, viz Obr. 4.27 (porovnání nejkratších cest s uvažováním rovinného frikčního povrchu (červená) a výškového frikčního povrchu (žlutá)).



Obr. 4.27: Porovnání nejkratších cest

4.3 Příprava a úprava komplexních dat

4.3.1 Práce s funkcí Raster Calculator

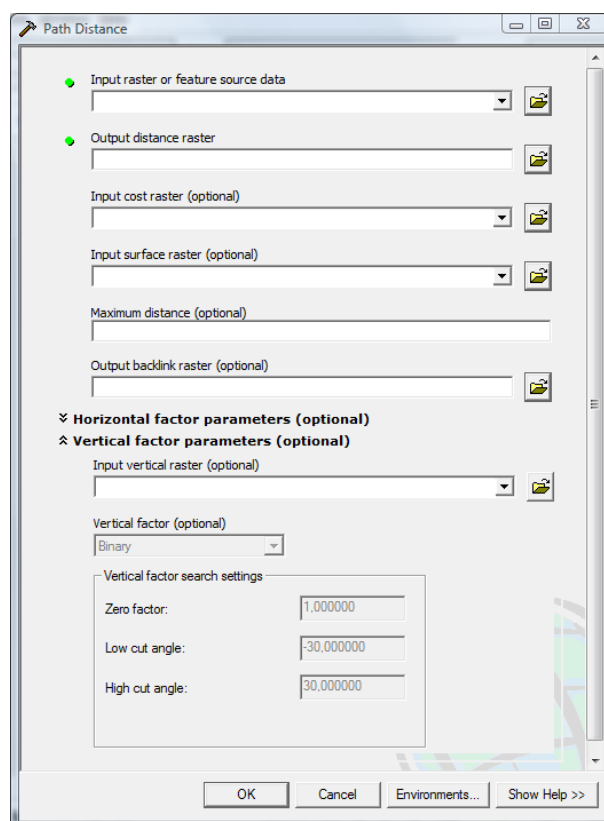
Funkce Raster Calculator byla již popsána v Kap. 3.5. Tato funkce umožňuje spojení několika rastrů pomocí algebraických výrazů. V mé práci je potřeba zkombinovat ohodnocený rastr nákladů a výškový rastr. Pokusila jsem se tedy vytvořit výsledný rastr obsahující zároveň rovinná i výšková data. Nepodařilo se mi ale vhodně zkombinovat tyto dva rastry

tak, aby výsledná analýza hledání nejkratších cest dosahovala potřebných výsledků. Tvorba vhodné funkce pro kombinaci rastrů je příliš náročná, a proto bude snazší použít pro analýzu jinou metodu, viz Kap. 4.3.2.

4.3.2 Testování a použití funkce Path Distance

Funkce Path Distance se nachází v panelu ArcToolbox jako součást nadstavby Spatial Analyst v nabídce Distance. Tato funkce vytváří rastr povrchu nákladů, počítá tedy stejně jako funkce Cost Distance pro každou buňku nejkratší vzdálenost ke zdroji, bere zde ale také v potaz jak hodnoty výchozího frikčního povrchu, tak i vertikální a horizontální parametry posunu po daném rastru a dále skutečnou vzdálenost po zemském povrchu.

Vysvětlení jednotlivých parametrů funkce Path Distance, viz Obr. 4.28:



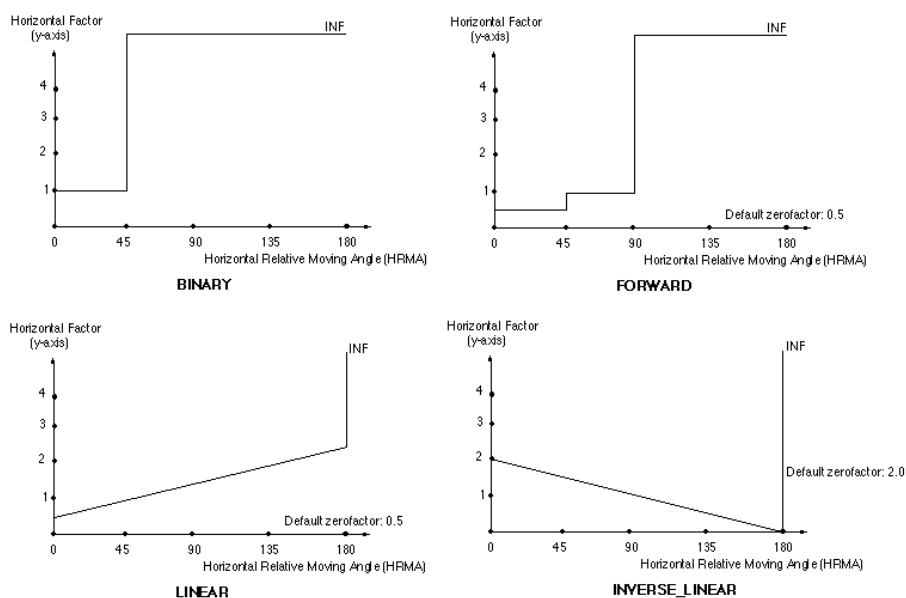
Obr. 4.28: Dialogové okno funkce Path Distance

- Input raster or feature source data – vstupní rastr, či prvky, identifikující ze kterého

místa se budou počítat vzdálenosti do každého pixelu. V mém případě jsou tímto místem postupně bod startu a dále body jednotlivých počátečních míst každého postupu.

- Output distance raster – název výstupního rastru ohodnocených buněk.
- Input cost raster (volitelný parametr) – rastr frikčního povrchu nákladů, v mém případě *Raholec*.
- Input surface raster (volitelný parametr) – rastr obsahující hodnotu výšky u každého pixelu, v mém případě *tingrid*. Tyto hodnoty jsou použity pro výpočet skutečné vzdálenosti mezi jednotlivými buňkami.
- Maximum distance (volitelný parametr) – definuje hodnotu, kterou nesmí celková vzdálenost nákladů překonat. Pokud by tato hodnota byla překonána, výstupní hodnota buňky by byla NoData.
- Output backlink raster (volitelný parametr) – výstupní backlink rastr obsahující hodnoty od 0 do 8, určující směr a stanovující další sousední buňky nejméně nákladné cesty.
- Horizontal factor parameters (volitelný parametr) – jedná se například o směr větru.
 - Input horizontal raster – rastr definující vodorovný směr v každém pixelu. Hodnoty rastru se musí nacházet v intervalu od 0° do 360° , kde 0° určuje sever či směr k horní části obrazovky a hodnota narůstá po směru hodinových ručiček.
 - Horizontal factor – definuje vztah mezi horizontálním faktorem nákladů (HF) a relativním horizontálním úhlem (HRMA). HF zde definuje horizontální náročnost pohybu z jedné buňky do druhé a HRMA určuje úhel mezi horizontálním směrem buňky a směrem pohybu. Je možné si zvolit jeden z typů faktorů nebo si vytvořit tabulku vlastního grafu. Typy předdefinovaných horizontálních faktorů jsou binary, forward, linear, inverse linear a table. Jejich použití je snadno pochopitelné z Obr. 4.29⁴.
 - Zero factor – stanovuje hodnotu horizontálního faktoru pro $HRMA = 0^\circ$.
 - Cut angle – definuje HRMA, pokud je úhel větší, přiřadí HF rovno nekonečno (tzv. mezní úhel).

⁴Převzato z [8]



Obr. 4.29: Typy horizontálního faktoru

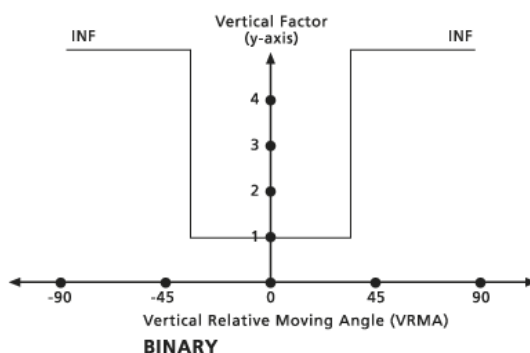
- Slope – určuje sklon přímky u horizontálních faktorů typu linear a inverse linear, sklon je definován jako $1/\text{velikost svahu}$ (např. jeli sklon svahu 90° , slope je $1/90$, tj. 0,011111).
- Side value – u HF typu forward stanovuje jeho hodnotu pro HRMA mezi 45° a 90° .
- Table name – definuje název tabulky horizontálních faktorů.
- Vertical factor parameters (volitelný parametr) – rozlišuje například pohyb z kopce a do kopce.
 - Input vertical raster – rastr obsahující výškové hodnoty každé buňky. Tyto hodnoty jsou použity pro výpočet sklonu sloužícího ke zjištění vertikálního faktoru, který vznikne při přechodu z jedné do druhé buňky.
 - Vertical factor – definuje vztah mezi vertikálním faktorem nákladů (VF) a vertikálním úhlem pohybu (VRMA). VF určuje vertikální náročnost pohybu mezi dvěma sousedními buňkami, VRMA ukazuje relativní vertikální úhel pohybu, určený úhlem sklonu mezi dvěma po sobě jdoucími buňkami. Typy předdefinovaných vertikálních faktorů jsou binary, linear, symmetric linear, inverse linear, symmetric inverse linear, cos, sec, cos-sec, sec-cos, table. Jednotlivé typy budou popsány dále v textu.

- Zero factor – stanovuje hodnotu VF pro VRMA = 0°.
- Low cut angle – definuje úhel VRMA, pod kterým je VF nastaven na nekonečno, tzv. spodní mezní úhel.
- High cut angle – definuje úhel VRMA, nad kterým je VF nastaven na nekonečno, tzv. horní mezní úhel.
- Slope – určuje sklon přímky u VF typu linear a inverse linear, sklon je definován jako 1/velikost svahu (např. jeli sklon svahu 90°, slope je 1/90, tj. 0,011111).
- Table name – definuje název tabulky VF.

4.3.2.1 Popis a testování typů vertikálních faktorů

Vertikální faktor, jak už bylo popsáno výše, definuje vztah mezi vertikálním faktorem nákladů (VF) a vertikálním úhlem pohybu (VRMA). Vertikální faktor má několik předdefinovaných typů:

- Binary – pokud je VRMA větší než spodní mezní úhel a menší než horní mezní úhel, je VF pro pohyb mezi dvěma buňkami nastaven na hodnotu nulového faktoru. Jeli VRMA vyšší než mezní úhel, VF se přiřadí nekonečno. Implicitně je mezní úhel nastaven na 30°, viz Obr. 4.30⁵.

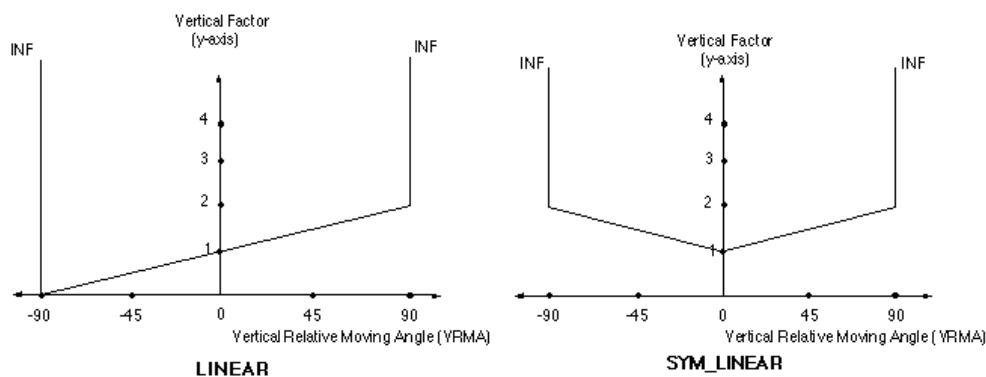


Obr. 4.30: Typ vertikálního faktoru binary

- Linear – ukazuje, že VF je lineární funkcí VRMA.

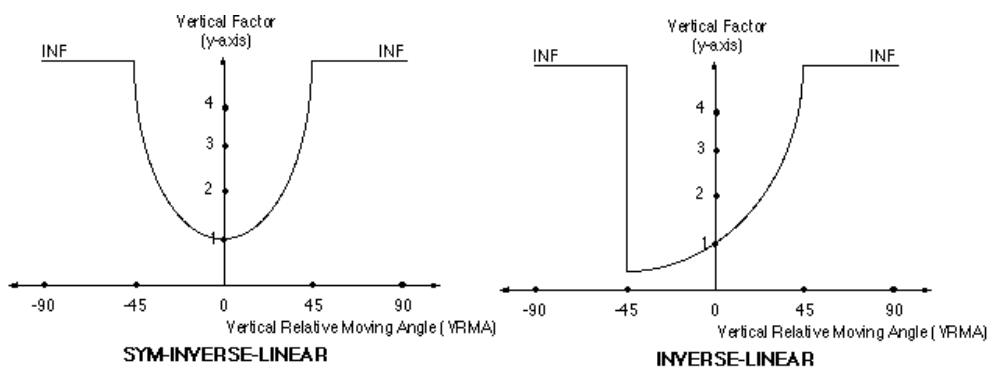
⁵Převzato z [8]

- Symmetric linear – specifikuje lineární funkci, symetrickou podle y-ové souřadnice funkce VF, viz Obr. 4.31⁶.



Obr. 4.31: Typy vertikálních faktorů linear a symmetric linear

- Inverse linear – ukazuje, že VF je inverzní lineární funkcí VRMA.
- Symmetric inverse linear – specifikuje inverzní lineární funkci, symetrickou podle y-ové souřadnice funkce VF, viz Obr. 4.32⁷.



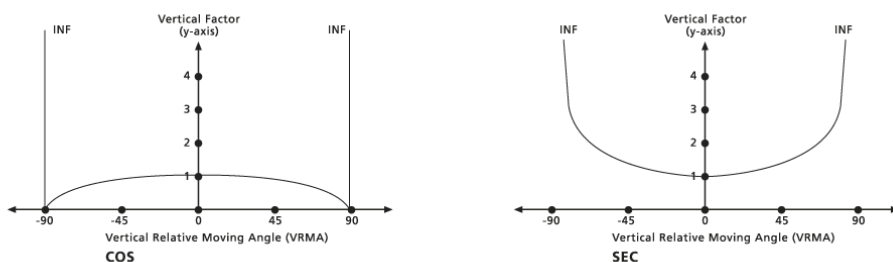
Obr. 4.32: Typy vertikálních faktorů symmetric inverse linear a inverse linear

- Cos – určuje VF na základě kosinové funkce VRMA.
- Sec – určuje VF na základě sekantové funkce VRMA, viz Obr. 4.33⁸.

⁶Převzato z [8]

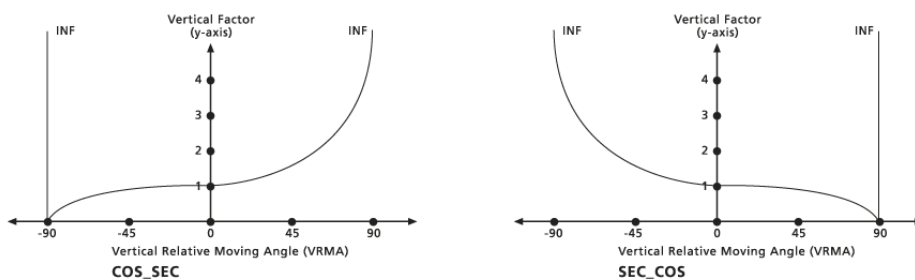
⁷Převzato z [8]

⁸Převzato z [8]



Obr. 4.33: Typy vertikálních faktorů cos a sec

- Cos-sec – je-li VRMA záporný, pak VF je kosinovou funkcí VRMA, je-li VRMA kladný, pak VF je sekantovou funkcí VRMA.
- Sec-cos – je-li VRMA záporný, pak VF je sekantovou funkcí VRMA, je-li VRMA kladný, pak VF je kosinovou funkcí VRMA, viz Obr. 4.34⁹.

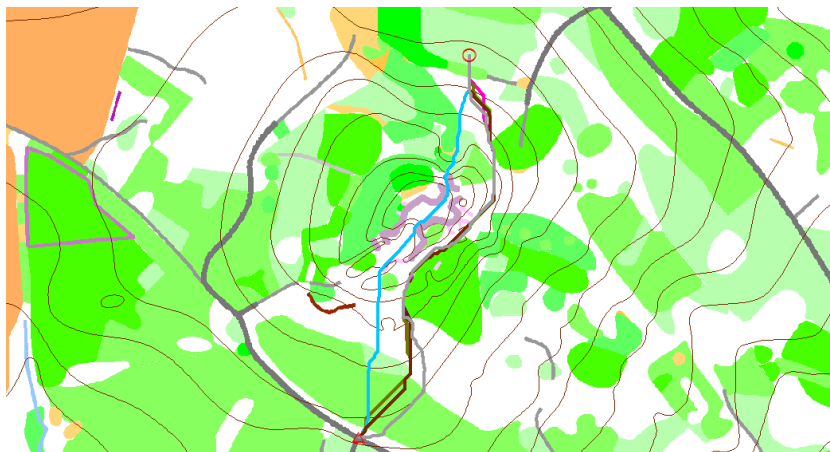


Obr. 4.34: Typy vertikálních faktorů cos-sec a sec-cos

Z výše uvedeného popisu typů vertikálních faktorů a ukázky průběhu jednotlivých funkcí je zřejmé, že žádná z předem definovaných funkcí neodpovídá skutečnému běhu terénem. Při běhu se zvyšuje jeho náročnost do kopce, ale směrem z kopce se náročnost po určitou dobu snižuje, a při příliš prudkém sklonu svahu se začne náročnost opět zvyšovat. Pro svůj výpočet jsem tedy použila vlastní tabulku. Na Obr. 4.35 je možné vidět porovnání testovaných typů vertikálních faktorů (modrá linie značí typ cos, olivová značí typ symmetric inverse linear, růžová značí typ symmetric linear, zelená značí typ inverse linear, fialová značí typ binary,

⁹Převzato z [8]

hnědá značí typ sec, šedá značí typ s vlastní tabulkou).



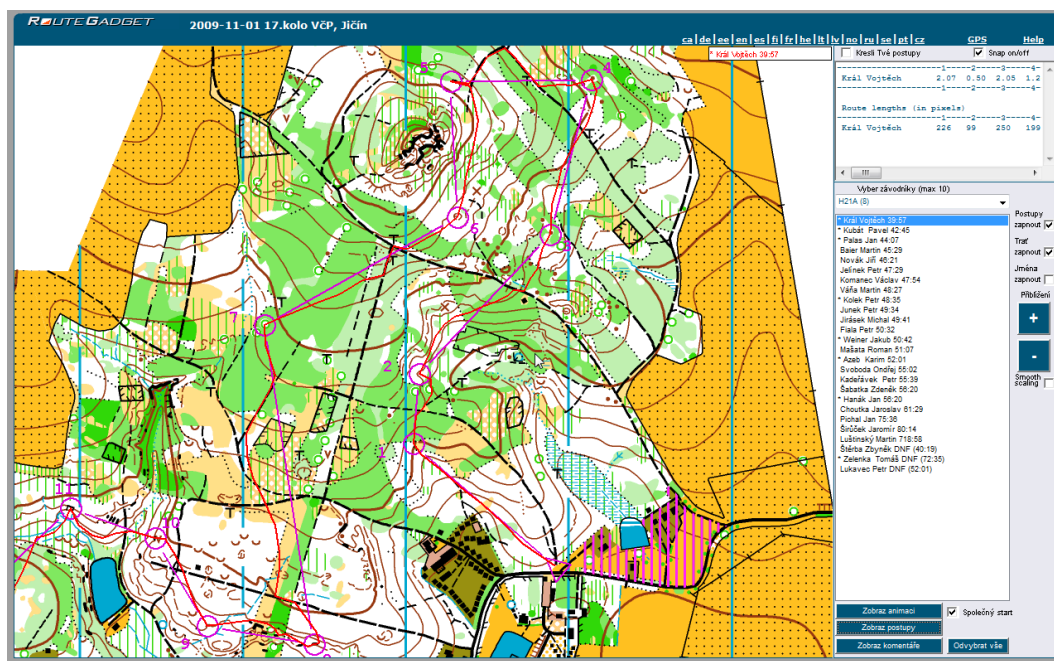
Obr. 4.35: Porovnání průběhu za použití různých typů vertikálních faktorů

4.3.3 Testování a použití tabulek vertikálního faktoru

Hodnoty v tabulce vertikálního faktoru, viz Příloha A.2, jsem se snažila co nejvíce upravit, aby výsledné postupy co nejvíce odpovídaly skutečnosti. Hodnota VF -1 v tabulce značí, že VRMA se blíží nekonečnu. Při prvním testování jsem použila tabulku s prvními navrženými hodnotami a otestovala je na prvních osmi postupech hlavní mužské kategorie z východočeského oblastního závodu, konaného 1. listopadu 2009. Těchto osm postupů jsem zvolila z toho důvodu, že se mi zdály zajímavé a vhodné pro testování. Mapu s tratěmi a postupy některých závodníků je možné najít na webových stránkách Jiřího Strnada¹⁰. Na tyto webové stránky obvykle pořadatelé závodů v orientačním běhu zasílají data map, tratí a mezičasů a následně si zde závodníci mohou zakreslit své postupy a porovnat s ostatními, již zakreslenými. Ukázka webové stránky s postupy je na Obr. 4.36.

V ArcCatalog jsem vytvořila bodové vrstvy startu a osmi kontrol a umístila je na pozice, kde skutečně stály při závodě. Pomocí funkce Path Distance jsem vytvořila pro každou bodovou vrstvu ohodnocený rastr vzdáleností a backlink rastr. Dále jsem použila funkci Cost Path, pro nalezení nejkratších cest mezi jednotlivými kontrolami. Pro zjištění výsledných hodnot postupu jsem zvolila funkci Surface Spot, která se nachází v panelu ArcToolbox

¹⁰<http://www.obpostupy.cz/gadget/index.php> [9]

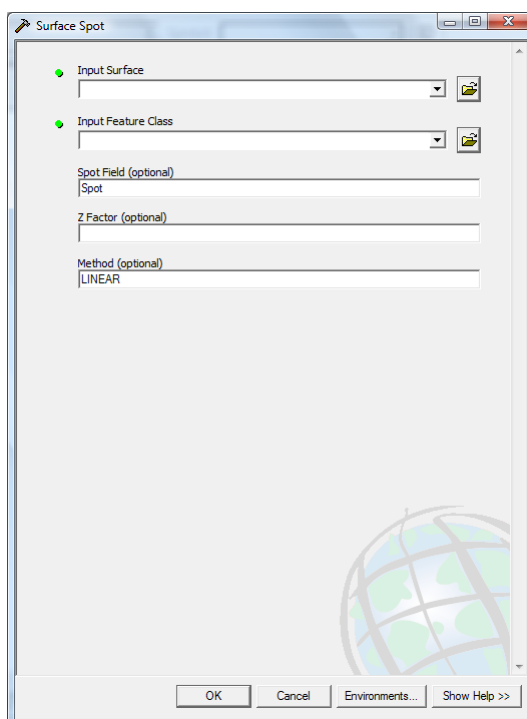


Obr. 4.36: Skutečné postupy vítěze závodu, Vojtěcha Krále

v rozšíření 3D Analyst v nabídce Functional Surface a která dokáže spočítat hodnotu povrchu v daném bodě interpolací ze zadaného rastru. Tato hodnota určuje „cenu“ nejkratší cesty v jednotkách času a uloží se jako nová hodnota do atributové tabulky bodu. Dialogové okno funkce je na Obr. 4.37. Vstupem je ohodnocený rastr vzdáleností, který se použije k interpolaci, a bodová vrstva, do jejíž atributové tabulky bude hodnota přidána.

Když jsem tento postup práce provedla pro všechny zvolené trasy, porovnála jsem zjištěné hodnoty s reálným časem nejlepšího závodníka a tyto poměry dále porovnála vzájemně. Pro dokonalý výsledek by se tyto poměry měly sobě rovnat. Zpočátku jsem volila vertikální koeficienty po deseti stupních, pro hrubé zjištění průběhu nejkratších cest. V tabulce vertikálních faktorů musí být zadáno vždy 19 hodnot VF a k nim příslušných VRMA. Po prvním testování se ukázalo, že postupy do kopce jsou v software nastaveny příliš snadné, a je tedy třeba zvýšit hodnotu VF v úseku do kopce a rovněž ztlížit i hodnoty úseků z kopce, které byly taktéž nastaveny příliš snadné.

Pro upravenou tabulku typů vertikálních faktorů jsem opakovala postup práce se zjištěním nejkratších cest a jejich hodnot. Nyní se ukázalo, že výsledky se sice zlepšily, ale pokud vede postup skrz „hustník“, je pomocí software trasa spočítána příliš obtížně a postupy z kopce jsou nastaveny stále příliš snadno. Z toho důvodu jsem tedy nastavila nejhůře

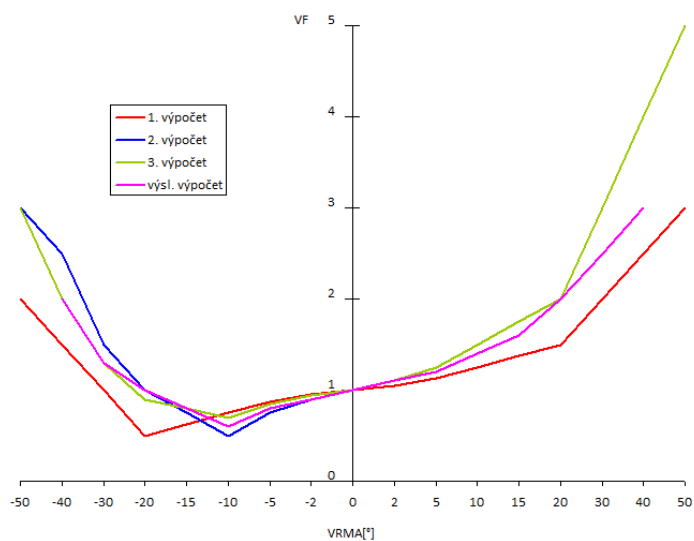


Obr. 4.37: Dialogové okno funkce Surface Spot

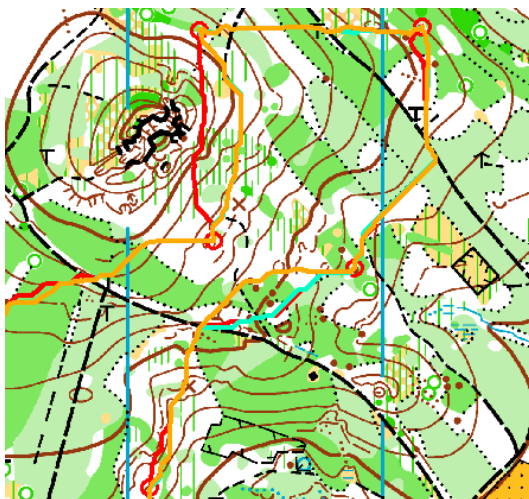
průchodnému lesu nižší koeficient a v tabulce jsem upravila VF pro sbíhání z kopce. Po těchto úpravách jsem opět provedla výše zmíněný postup výpočtu, porovнала délky postupů s reálnými časy a vzájemně porovнала tyto poměry. Na závěr jsem hodnoty vertikálních koeficientů více specifikovala pro dosažení přesnějších výsledků a ještě jednou provedla výše zmíněný postup práce. Tabulky vertikálních faktorů a poměrů postupů se nacházejí v příloze této práce, viz Příloha A.2. Na Obr. 4.38 je vidět graf postupných úprav vertikálních faktorů.

Postupy se od sebe po jednotlivých úpravách liší jen minimálně, a to hlavně na těch z nich, které jsou výrazně ovlivněny úpravami faktorů či koeficientů. Na Obr. 4.39 je možné vidět hlavně rozdíl při trase vedoucí z kopce, či přes hůře průchodný les. Červená barva odpovídá původnímu návrhu vertikálních faktorů, modrá barva první úpravě a žlutá barva druhé úpravě.

Po zjištění průměru poměrů výsledných vertikálních faktorů bylo možné časové náklady pixelů ohodnoceného rastru znovu překlasifikovat. Hodnoty koeficientů druhů terénu byly na počátku práce záměrně voleny 100 a výše z důvodu pozdějšího určení časové náročnosti jednotlivých postupů v setinách vteřiny. Reklasifikace proběhla tak, že jsem původní ča-



Obr. 4.38: Graf vertikálních faktorů



Obr. 4.39: Porovnání tras při postupném upravování vertikálních faktorů

sové náklady vydělila průměrem poměrů výsledných vertikálních faktorů a pomocí funkce Reclassify překlasifikovala původní koeficienty terénu. Výsledkem je definitivně ohodnocený rastr, kde každý pixel obsahuje hodnotu v setinách sekundy.

4.4 Porovnání tras vypočítaných v software a skutečných postupů

Jelikož při závodě v orientačním běhu hraje roli ještě velké množství jiných faktorů, mimo druhů terénu a topografie, které nelze žádným způsobem zahrnout do výpočtu software, a které se promítají, často nepravidelně a zcela náhodně, do volby postupů jednotlivých závodníků, spokojila jsem se pouze s přibližnými výsledky hodnot poměrů časové náročnosti postupů. Dostala jsem se totiž do fáze, kdy změnou jednoho parametru došlo k vylepšení jednoho postupu, ale zároveň došlo ke zhoršení jiného, což mají za příčinu právě další faktory, které budou popsány dále v textu. Dalším důvodem mého rozhodnutí o konci pokusů s větším vylepšováním byla také příliš velká časová náročnost průběhu jednotlivých funkcí výpočtu, způsobená vysokou kvalitou používaných rastrů.

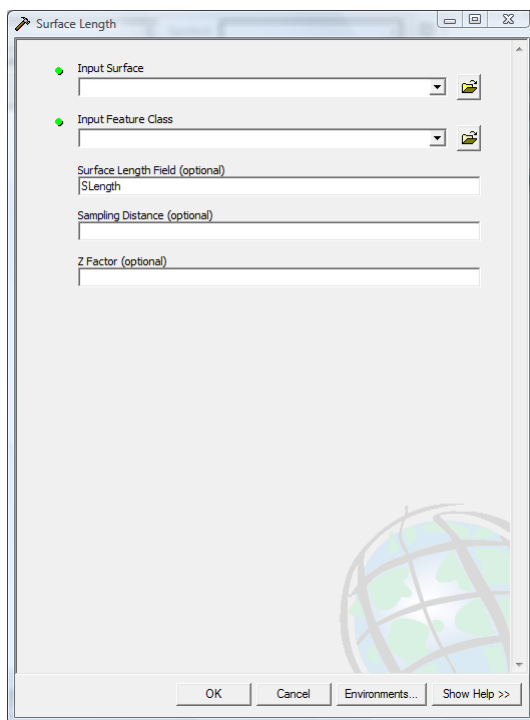
Přistoupila jsem tedy k závěrečnému porovnání tras vypočítaných pomocí software a postupů zvolených nejrychlejším závodníkem¹¹. Z výše zmíněné webové stránky postupů orientačního běhu jsem byla schopna do software ArcGIS zakreslit skutečně absolvované postupy. Tyto postupy jsou v souboru pojmenovány *postup1* až *postup8*. Pomocí funkce Surface Length, která se nachází v panelu ArcToolbox v nadstavbě 3D Analyst v nabídce Functional Surface, jsem zjistila časové náklady těchto postupů.

Funkce Surface Length, viz Obr. 4.40, dokáže vypočítat časovou náročnost nakreslené linie z hodnot rastru. Tato informace je následně uložena jako nová hodnota do atributové tabulky postupu. Vstupem této funkce je ohodnocený rastr vzdáleností, použitý k interpolaci, liniová vrstva trasy postupu a sampling distance, neboli rozměr podkladu, ve kterém je délka počítaná. Implicitně je tato hodnota nastavena na velikost buněk rastru.

Konečné porovnání skutečně absolvovaných postupů (červená barva) a postupů vypočítaných pomocí software (oranžová barva) je na Obr. 4.41. Hodnoty délek postupů v jednotkách času se nacházejí v Tab. 4.1.

Z Tab. 4.1 je zřejmé, že trasy vypočítané v software jsou vždy kratší, než skutečně absolvované postupy. Hodnoty všech postupně vypočítávaných časových nákladů postupů jsou v tabulce v příloze této práce, viz Příloha A.3. Poměry jsem počítala jako podíl času reálně absolvovaného postupu v setinách sekundy s hodnotou postupu z výpočtu. Průměr poměrů činí 3.9.

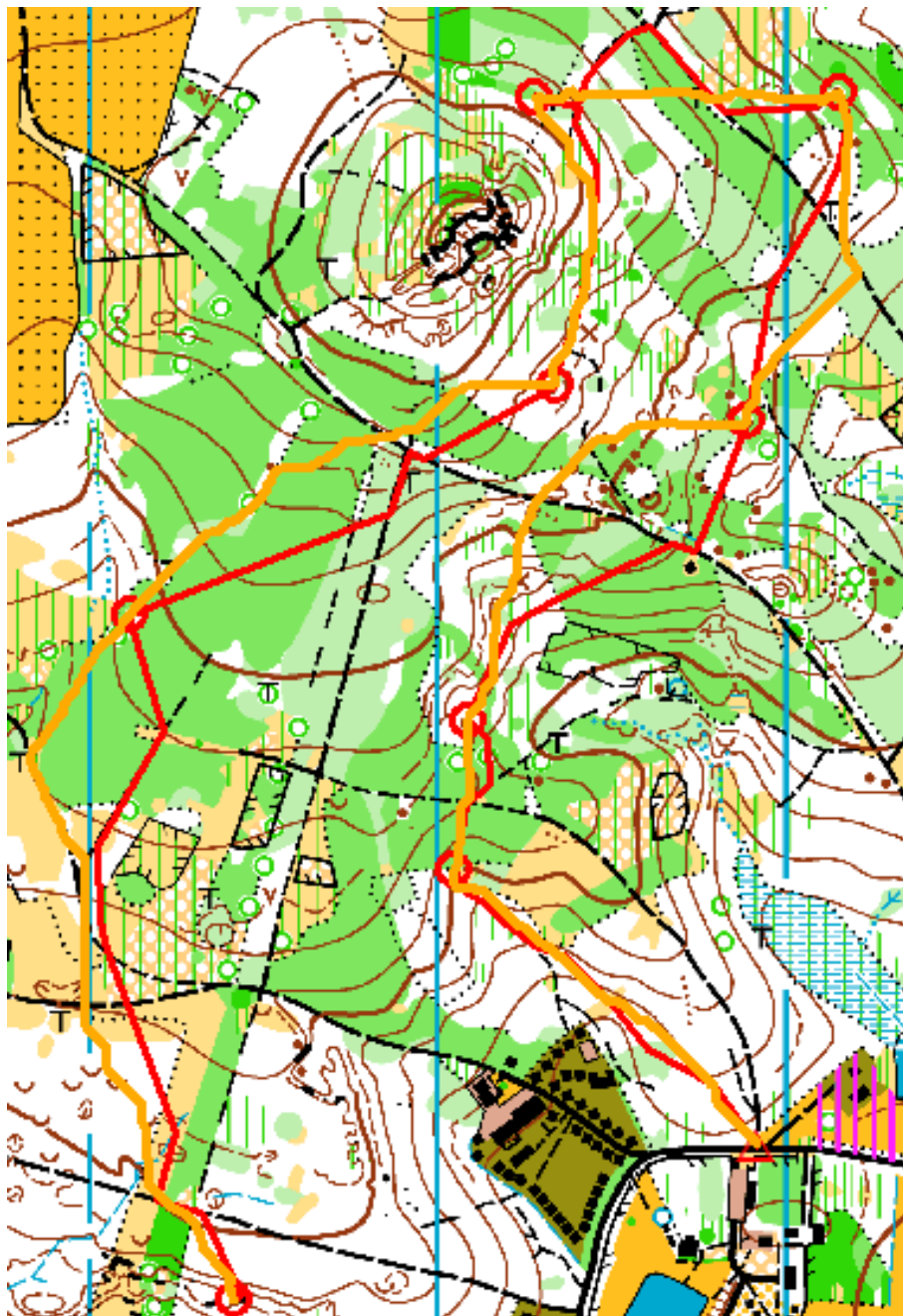
¹¹Nejlepším závodníkem na většině postupů byl Vojtěch Král, proto jsem vybrala jeho postupy jako směrodatné pro moje porovnávání.



Obr. 4.40: Dialogové okno funkce Surface Length

postup	ArcGIS	skutečnost	reálný čas [1/100 s]	poměr
1	40832	40941	12700	3.2
2	23331	23443	5000	4.7
3	43809	45380	12500	3.5
4	33330	33348	8600	3.9
5	39987	40134	9200	4.3
6	24723	24798	6400	3.9
7	44421	44910	11300	3.9
8	58861	61230	14200	4.1
průměr				3.9

Tab. 4.1: Porovnání hodnot délek postupů



Obr. 4.41: Porovnání tras skutečných postupů s postupy vypočítanými

Kapitola 5

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo vytvořit vhodné podklady k hledání nejkratších cest na mapách pro orientační běh pomocí software ArcGIS. Hledání těchto podkladů probíhalo analýzou jednotlivých druhů terénu a velikosti sklonu svahů, která je popsána v této práci a následným testováním na určitých postupech z konkrétního závodu v orientačním běhu, který se konal dne 1. 11. 2009 na mapě Řáholec u obce Ostružno na Jičínsku.

Rychlost běhu obvykle nezávisí pouze na měřitelných faktorech, kterými je průchodnost terénem a schůdnost kopců, ale také na momentálním fyzickém a psychickém stavu závodníka a i samotném závodníkovi. Je rozdílné běžet do kopce například po rovné cestě a do stejně prudkého kopce v nízkém podrostu plném ostružin. Je rozdílné běžet hustým lesem na začátku závodu, kdy má každý plno energie, a na konci závodu, kdy už většina závodníků hledá poslední zbytky sil. Naopak někdo může být psychicky odolný a s vidinou cíle dokáže ještě přidat, ale na začátku se mohl podvědomě šetřit. Může se stát, že během závodu se strhne průtrž mračen a podmínky se tímto stávají v podstatě pro každého závodníka odlišné, někdo již může být v cíli a někdo teprve na začátku trati. Tyto faktory ale nelze do výpočtu žádným způsobem zahrnout, protože jsou naprosto individuální. Dalším takovýmto faktorem je konečné dohledávání kontrol, tzv. dohledávka. Při „dohledávce“ rozhoduje často notná dávka štěstí a od taktiky dohledávání jednotlivých závodníků se odvíjí volba celého postupu. Je-li některá kontrola například na první pohled snadno naležitelná, závodník se nezabývá hledáním záchytných bodů a běží tak trochu riskantněji, než je-li kontrola v těžším terénu a zkušený závodník ví, že si musí „dohledávku“ dobře pohlídat, jinak by ho jeho nerozvážnost mohla stát cenné vteřiny, viz Kap. 2.2. Určitou roli hraje při „dohledávce“ i to, pokud zrovna závodník vidí na kontrole jiného závodníka, což mu najít kontroly může značně usnadnit. Dále také volba postupu závisí na typu závodníka. Někdo je více vybavený

atletickými schopnostmi, a proto je pro něj rychlejší běžet delší postup po cestě, než pro někoho jiného, kdo je spíše silově vybaven, a stojí ho méně sil běžet rovně terénem přes kopec. Nemašly vliv má v neposlední řadě i roční období z důvodu hustoty porostu, a hlavně každý les má svá specifika a každý je typem terénu trochu odlišný a to může vyhovovat jiným závodníkům a díky tomu budou závodníci i volit různé postupy v plochem terénu než v kopcovitém.

K nepřesnostem výpočtu přispívá rovněž rozdílnost postupu po liniových objektech a kolmo přes ně (např. je rozdíl, pokud přebíháte hlubokou rýhu, nebo běžíte v ní), či v překonávání některých objektů ve směru vzhůru a dolů (např. u skalního srázu). Dále je otázka, jak je to s přesností kresby postupů na webové stránce postupů orientačního běhu. Postupy jsou zde zakresleny s určitou chybou a nelze je proto považovat za naprosto přesné. Existuje zde sice možnost vložení postupů zaznamenané pasivním GPS přístrojem, tento přístroj ale zatím bohužel používá příliš málo závodníků.

Z výše uvedených důvodů je zřejmé, že při této analýze nelze dosáhnout přesného výsledku. Mým cílem bylo vytvořit tabulku koeficientů typů terénu, viz Příloha A.1, a tabulku vertikálních faktorů, viz Příloha A.2, tak, aby nasčítané hodnoty pixelů výsledného postupu byly v setinách vteřiny a ukazovaly tak reálnou hodnotu času, potřebného k absolvování postupu. Z tohoto důvodu jsem koeficienty druhů terénu nastavovala na takto vysoké hodnoty (100 a výše). Jelikož ale nelze dosáhnout přesných hodnot, bylo třeba hodnoty vertikálních faktorů zprůměrovat a z tohoto průměru potom vytvořit výsledný cenově ohodnocený rastr. S pomocí výše zmíněných tabulek by mělo být možné na jakékoliv mapě pro orientační běh určit nejkratší cestu mezi dvěma body.

Po provedení analýzy jsem tedy dospěla k závěru, že přesný model nelze navrhnout, protože mnoho faktorů není možné objektivně posoudit. Přesto jsem se pokusila vytvořit alespoň model, který se co nejvíce blíží skutečnosti.

Veškeré tabulky s hodnotami zjišťovanými postupně v průběhu analýzy jsou součástí přílohy této práce. K práci je také přiloženo DVD s pracovními soubory.

Tato práce byla vytvořena v systému \LaTeX , který je volně k dispozici na internetu, včetně veškerých doplňkových programů.

Příloha A

Výsledné tabulky

Tab. A.1: Tabulka koeficientů typů terénu

typ terénu	koef. 1	koef. 2	koef. 3	koef. 4	výsl. koef.
asfaltová plocha	101	101	101	100	26
les	112	112	112	100	26
silnice	100	100	100	100	26
velká cesta	105	105	105	100	26
zpevněná cesta	102	102	102	100	26
cesta	106	106	106	110	28
louka	110	110	110	110	28
neznatelná pěšina	109	109	109	110	28
terén s osamocenými stromy	113	113	113	110	28
pěšina	107	107	107	110	28
polootevřený terén	114	114	114	110	28
průsek	108	108	108	110	28
sad	111	111	111	110	28
paseka	120	120	120	120	31
pole	125	125	125	120	31
bažinka	130	130	130	130	33
suchá rýha	150	150	150	150	38
hliněná hrázka	161	161	161	160	41
hliněný sráz	160	160	160	160	41

Příloha A. Výsledné tabulky

typ terénu	koef. 1	koef. 2	koef. 3	koef. 4	výsl. koef.
řidký hustník	151	159	181	180	46
řidký podrost	152	158	182	180	46
bažina	202	202	202	200	51
hliněná zeď	197	197	197	200	51
středně průchodný hustník	201	201	201	200	51
rozpadlý plot	204	204	204	200	51
podélná bažina	198	198	198	200	51
hustý podrost	200	200	200	200	51
sezónní vodoteč	199	199	199	200	51
zářez	203	203	203	200	51
hustý hustník	300	300	300	300	77
překonatelný plot	401	401	401	400	103
potok	400	400	400	400	103
schůdný skalní sráz	500	500	500	500	128
budova	NoData	NoData	NoData	NoData	NoData
nepřekonatelná bažina	NoData	NoData	NoData	NoData	NoData
neschůdný skalní sráz	NoData	NoData	NoData	NoData	NoData
nepřekonatelný plot	NoData	NoData	NoData	NoData	NoData
rybník	NoData	NoData	NoData	NoData	NoData
skalní blok	NoData	NoData	NoData	NoData	NoData
soukromý pozemek	NoData	NoData	NoData	NoData	NoData

Tab. A.2: Tabulka vertikálních faktorů

VRMA [°]	VF 1. výp.	VF 2. výp.	VF 3. výp.	VRMA [°]	výsledný výpočet
-90	-1	-1	-1	-90	-1
-80	-1	-1	-1	-50	-1
-70	-1	-1	-1	-40	2
-60	-1	-1	-1	-30	1.3
-50	2	3	3.5	-20	1
-40	1.5	2.5	2	-15	0.8
-30	1	1.5	1.3	-10	0.6
-20	0.5	1	0.9	-5	0.8
-10	0.75	0.5	0.7	-2	0.9
0	1	1	1	0	1
10	1.25	1.5	1.5	2	1.1
20	1.5	2	2	5	1.2
30	2	3	3	10	1.4
40	2.5	4	4	15	1.6
50	3	5	5	20	2
60	-1	-1	-1	30	2.5
70	-1	-1	-1	40	3
80	-1	-1	-1	50	-1
90	-1	-1	-1	90	-1

Tab. A.3: Porovnání hodnot délek postupů u jednotlivých výpočtů

postup	1. výpočet	2. výpočet	3. výpočet	4. výpočet	skutečná hodnota
1	38058	42573	43045	40832	40941
2	21956	24282	23594	23331	23443
3	42681	44010	46001	43809	45380
4	33367	33293	34607	33330	33348
5	36382	42303	41784	39987	40134
6	24629	23715	26291	24723	24798
7	46716	42053	46807	44421	44910
8	62398	57796	61937	58861	61230

Příloha B

Obsah přiloženého DVD

Přiložené DVD má následující strukturu a obsah:

- Diplomova_prace
 - Diplomova_prace.pdf – text diplomové práce ve formátu *PDF*
- ArcGIS – pracovní adresář se soubory ze software ArcGIS

Literatura

- [1] ŽEMLÍK, P.; HRANIČKA, P.; JUNEK, P., *ABC orientačního běhu*, Praha: Český svaz orientačního běhu, 1999.
- [2] KAPLAN, J., *Prvky orientační techniky a jejich trénink*, Praha: Český svaz orientačního běhu, 1993.
- [3] NOVOTNÝ, R., *Orientační běh: časopis orientačních sportů - Závod se má odpřemýšlet, ne odběhnout... i u nás*, Praha: Český svaz orientačního běhu, 2008.
- [4] ÚSTAV GEOINFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ [ONLINE], *Dostupné z: <http://mapserver.mendelu.cz/>*, [cit. 2010-07-22], Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2009.
- [5] DEMEL, J., *Grafy a jejich aplikace*, Praha: Academia, 2002.
- [6] SLADKÝ, J., *Nalezení optimálního spoje MHD využitím grafových algoritmů*, [online], [cit. 2010-07-22], Plzeň: Bakalářská práce, 2007.
- [7] ÚVOD DO GEOGRAFICKÝCH INFORMAČNÍCH SYSTÉMŮ (GIS) [ONLINE], *Dostupné z: <http://www.gis.zcu.cz/studium/ugi/elearning/index1.htm>*, [cit. 2010-08-05], Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2007.
- [8] ARCGIS DESKTOP HELP 9.2 [ONLINE], *Dostupné z: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=welcome>*, [cit. 2010-11-25], Redlands: ESRI, 2008.
- [9] STRNAD, J., *OB postupy* [online], *Dostupné z: <http://www.obpostupy.cz/gadget/index.php>*, [cit. 2010-11-25], Hradec Králové: T-mapy, 2009.

LITERATURA

- [10] BOLSTAD, P., *GIS Fundamentals - A first on geographic information systems*, Ashland: AtlasBooks, 2008.
- [11] HLÁSNY, T., *Geografické informačné systémy - Priestorové analýzy*, Banská Bystrica: Zephyros, 2007.
- [12] SMITH, M., GOODCHILD, M., LOGLEY, P., *Geospatial analysis - A comprehensive guide to principles, techniques and software tools*, London: Matador, 2007.