



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ**  
**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Jan Husnaj

**Návrh heuristiky pro řešení lyžařského orientačního  
běhu**

Bakalářská práce

**2020**



**K617** ..... **Ústav logistiky a managementu dopravy**

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Jan Husnaj**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**B 3710 – LOG – Logistika a řízení dopravních procesů**

Název tématu (česky): **Návrh heuristiky pro řešení lyžařského  
orientačního běhu**

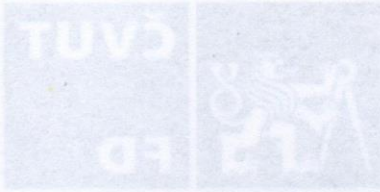
Název tématu (anglicky): Heuristics Proposal for the Solution to Ski orienteering

**Zásady pro vypracování**

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Uvedení do řešené problematiky
- Popis vybraného území a parametry závodu
- Sestavení kompletního digrafu
- Návrh grafu s perspektivními hranami
- Návrh heuristiky pro řešení úlohy
- Porovnání výsledků heuristiky s trasou vítěze





- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Demel, J. Grafy a jejich aplikace. Academia, AV ČR, 1. vydání, 2002  
Volek, J., Linda, B. Teorie grafů - aplikace v dopravě a veřejné správě. Univerzita Pardubice, 2012

Vedoucí bakalářské práce:

**doc. Ing. Denisa Mocková, Ph.D.**

**doc. Ing. Dušan Teichmann, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce:

**29. června 2019**

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce:

**10. srpna 2020**

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Tomáš Horák, Ph.D.

vedoucí

Ústavu logistiky a managementu dopravy



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.

děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Jan Husnaj

jméno a podpis studenta

V Praze dne .....29. června 2019

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 9. 8. 2020



.....  
Jan Husnaj

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří se podíleli na vzniku této bakalářské práce. Zejména děkuji vedoucím práce doc. Ing. Denise Mockové, Ph.D. a doc. Ing. Dušanu Teichmannovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, poskytnuté materiály a především za čas strávený konzultacemi této práce.

Dále také děkuji mé rodině a přátelům, za trpělivost a podporu.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Ústav logistiky a managementu dopravy

## **NÁVRH HEURISTIKY PRO ŘEŠENÍ LYŽAŘSKÉHO ORIENTAČNÍHO BĚHU**

Bakalářská práce

srpen 2020

Jan Husnaj

### **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá návrhem heuristiky pro lyžařský orientační běh. V úvodu práce je představena sportovní disciplína, konkrétní závod a popis dopravní sítě. Na základě popisu sítě je navržen a použit vlastní postup řešení pro návrh heuristiky, který vychází z úlohy optimálního trasování a nekompletní orientované kružnice. Součástí návrhu heuristiky je navržení několika dalších variant řešení, která jsou následně porovnána s oficiálními výsledky a optimálním řešením.

### **KLÍČOVÁ SLOVA**

Lyžařský orientační běh, logistika ve sportu, heuristika, nekompletní orientované kružnice

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE  
Faculty of Transportation Sciences  
Department of Logistics and Management of Transport

## **HEURISTICS PROPOSAL FOR THE SOLUTION TO SKI ORIENTEERING**

Bachelor's thesis

September 2020

Jan Husnaj

### **ABSTRACT**

This bachelor's thesis deals with the proposal of heuristics for cross-country orienteering skiing. In the beginning of the thesis is the introduction of the orienteering sport, factual race and the description of the transport network. Based on the description of the network is devised and used personal method of solution for the heuristic proposal, which comes out from the optimal tracing and incomplete oriented circuit. The work also includes the proposal of different possible solutions, which are subsequently compared with the official results and optimal solution.

### **KEY WORDS**

Ski orienteering, logistics in sport, heuristics, incomplete oriented circuit





# Obsah

<b>Seznam použitých zkratků.....</b>	<b>8</b>
<b>1. Úvod.....</b>	<b>9</b>
<b>2. Problematika orientačních sportů.....</b>	<b>11</b>
2.1 Disciplína SKI ADVENTURE.....	13
<b>3. Popis vybraného území .....</b>	<b>15</b>
<b>4. Návrh řešení úlohy s využitím metod teorie grafů.....</b>	<b>17</b>
4.1 Sestavení kompletního digrafu.....	17
4.2 Algoritmus navržené heuristiky .....	18
<b>5. Aplikace navrženého algoritmu v podmínkách výkonnosti autora práce .....</b>	<b>24</b>
5.1 Vstupní data.....	24
5.2 Stručná ukázka vybraných kroků navržené heuristické metody.....	28
5.3 Výsledek a hodnocení dosažených výsledků .....	33
<b>6. Aplikace navrženého algoritmu při změněných výkonnostech .....</b>	<b>40</b>
6.1 Výkonnější tým .....	40
6.2 Méně výkonný tým .....	46
6.3 Porovnání výsledků jednotlivých variant.....	51
<b>7. Zvýšení časového limitu na hodnotu <i>OLZ</i>.....</b>	<b>52</b>
<b>8. Zhodnocení efektivity navržené heuristické metody.....</b>	<b>54</b>
8.1 Porovnání v podmínkách Vlastního limitu .....	54
8.2 Porovnání v podmínkách Oficiálního limitu závodu .....	59
8.3 Porovnání v podmínkách Penalizace .....	64
8.4 Porovnání v podmínkách Výkonnějšího týmu.....	67
8.5 Porovnání v podmínkách Méně výkonného týmu .....	72
8.6 Závěrečné shrnutí .....	74
<b>Závěr .....</b>	<b>78</b>
<b>Literatura .....</b>	<b>81</b>
<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>82</b>
<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>83</b>
<b>Seznam příloh .....</b>	<b>85</b>

## Seznam použitých zkratek

OB	orientační běh
MTBO	mountain bike orienteering
LOB	lyžařský orientační běh
CHKO	chráněna krajinná oblast
MM	muž/muž
MM+	muž/muž (součet věku nad 90 let)
MD	muž/žena
MD+	muž/žena (součet věku nad 90 let)
DD	žena/žena
DD+	žena/žena (součet věku nad 90 let)
RD	rodič/dítě (dítě do věku 15 let)
o. p. s.	obecně prospěšná společnost
m. n. m.	metrů nad mořem
B5h	Bedřichovská pětihodinovka
$n$	počet kontrol včetně startu/cíle
$\beta$	vektor bodového hodnocení
OLZ	oficiální limit závodu
REZ	individuální časová rezerva
VL	vlastní limit
DO	doba potřebná k orientaci
CD	celková doba
MAX	doba potřebná k návratu do cíle z místa nejvzdálenější kontroly
MDC	hranice bezpečného návratu do cíle
K	kontrola
CEL	celkové umístění
KAT	kategorie
PEN	penalizace
VV	výchozí varianta
VT	výkonnější tým
MVT	méně výkonný tým

# 1. Úvod

Logistika provází lidstvo po celou historii i přes to, že jako samostatná vědní disciplína existuje teprve krátce. Nejdříve logistika nacházela své uplatnění především v armádě, následně se ve druhé polovině 20. století rozšířila i do oblastí spadajících do civilního sektoru. Logistika tak zasahuje do každodenního života lidí, protože každodenně je velké množství lidí nuceno řešit problémy, jako jsou např. efektivní přeprava do zaměstnání, minimalizace nákladů na přepravu či účelné hospodaření s časem. Rozvíjejí se však i další, do současnosti nestandardní, aplikace logistiky např. ve sportu. V tomto odvětví je logistika a její metody cenným pomocníkem především pro organizátory sportovních akcí, kteří ji využívají např. k rozmisťování a zásobování občerstvovacích stanic, lékařských týmů, či úpravě běžeckých stop.

Jedním z hlavních úkolů logistiky je navrhování optimálních řešení různých problémů. K tomu logistika ve spojení s aplikovanou matematikou nabízí celou řadu matematických metod. Matematické metody používané v logistice jsou velice flexibilní, a proto je možné jimi řešit velké množství různých úloh.

S rozvojem výpočetních a informačních technologií se význam a aplikovatelnost matematických metod neustále zvyšuje, proto je v současnosti možno řešit i úlohy, které svým rozsahem byly v minulosti řešitelné pouze obtížně nebo pouze přibližně.

Cílem této bakalářské práce je navrhnout heuristickou metodu sloužící k optimalizaci trasy týmu účastníků závodu, který se zúčastní závodu Bedřichovská pětihodinovka za použití aparátu teorie grafů na síti, která není typickým případem dopravní sítě zmiňovaným v odborné literatuře. Z pohledu teorie grafů je práce inspirována úlohami optimálního trasování.

Dosažené výsledky poslouží především organizátorům, kteří je využijí ke kontrole závodní mapy, aby ověřili, zda vyhovuje všem pravidlům a požadavkům. Výsledky je také možné použít ke kontrole celkových výsledků účastníků závodu, u kterých existuje důvodné podezření z nedodržení pravidel. Další možností využití je identifikace míst kontrol, kterými bude projíždět většina týmů účastníků závodu za účelem umístění občerstvovacích stanic či servisních zón. Uplatnění je možné také pro týmy,

které mohou porovnávat své výsledky s optimální trasou závodu a odstranit tak své nedostatky v rámci plánování trasy v závodu.

## 2. Problematika orientačních sportů

Orientační sporty jsou čím dál tím populárnější, což je patrné na stále rostoucí členské základně nejen v České republice, ale i po celém světě. Důsledkem rostoucí oblíbenosti se Mezinárodní olympijský výbor rozhodl znovu jednat o zařazení orientačních sportů na olympijské hry. Světovou špičku v orientačních sportech tvoří především účastníci závodu ze Skandinávie. Mezi širší světovou elitu lze zařadit i účastníky závodu z Francie či České republiky. V České republice sdružuje závodníky Český svaz orientačních sportů, který pořádá stovky závodů ročně.

K orientačním sportům patří především orientační běh (dále jen „OB“). Při OB je u účastníků závodu kladen důraz na vytrvalost, přesnost, důvtip, čestnost a schopnost orientovat se v neznámém terénu. Podstatou závodu je, v co nejkratším čase, projít trať tvořenou vyznačenými kontrolami, které musejí účastníci závodu absolvovat v pevně stanoveném pořadí. První oficiální závody v OB byly uspořádány v Norsku na konci 19. století. Poté se OB velmi rychle rozšířil do zbytku Skandinávie, ve které je dodnes velmi oblíbený, a to z důvodu ideálních přírodních podmínek, které tvoří rozlehlé lesy, ve kterých je velmi těžké se orientovat. Na území Československa se první závod konal 22. 9. 1950 na Zlínsku za účasti přibližně 250 účastníků [1].

Před odchodem na start si musí každý účastník závodu vyzvednout na shromaždišti závodu čip a popisy kontrol, na kterých je uvedeno číselné označení kontroly, kategorie, název a délka trati, převýšení, ale hlavně piktogramy, které upřesňují, kde kontrolu v terénu hledat, například bažina, zřícenina, křížení pěšin apod. Zároveň zde účastník závodu obdrží i pevně stanovený čas, kdy se má dostavit do startovního koridoru. Těsně před startem závodu provede účastník závodu nulování a kontrolu svého čipu. Následuje start. První kroky v závodu směřují pro mapu, na které je vyznačena závodní trať. Start je v mapě označen trojúhelníkem, jednotlivé kontroly kruhem a cíl dvojitým kruhem. Následně účastník závodu absolvuje kontroly podle určeného pořadí. Na každé kontrole je nutné, aby účastník závodu přiložil čip ke čtecímu zařízení, které zaeviduje absolvování kontroly účastníkem závodu. Závod pro účastníka končí po přiložení čipu v místech všech kontrol včetně poslední, cílové kontroly.



Pomůcky, které smí účastníci závodu využívat při OB, jsou mapa, buzola a popisník kontrol. Cest mezi jednotlivými kontrolami může být více a každý z účastníků závodu si volí trasu dle svého uvážení. V případě, že účastník závodu dosáhne cíle, aniž by absolvoval všechny kontroly, nebo neoznačí kontroly ve správném pořadí, je automaticky diskvalifikován. Platí zde ale jedna výjimka. Pokud si účastník závodu uvědomí, že během závodu postupoval nesprávným způsobem, například z kontroly č. 4 pokračoval přímo na kontrolu č. 6, může z kontroly č. 6 pokračovat na kontrolu č. 5, poté ale musí znovu přiložit čip v místě kontroly č. 6, a teprve potom může pokračovat ke kontrole č. 7 (stále musí být zachováno správné pořadí kontrol).

Postupem času se z OB vyvinuly další sporty, které dělíme do tří skupin. Jednou z nich je výše zmíněný OB, dalšími jsou lyžařský orientační běh (dále jen „LOB“) a orientační sport na horských kolech (dále jen „MTBO“).

První oficiální závody v LOB se uskutečnily roku 1899 poblíž Norského města Trondheim. V Československu se poprvé závodilo v roce 1952 pod hlavičkou turisticko-lyžařského oddílu z tehdejšího Gottwaldova. V druhé polovině 20. století byl LOB ve velkém rozmachu, což potvrzuje i to, že se rozhodovalo o jeho zařazení na zimní olympijské hry. Pravidla jsou téměř totožná jako u OB. Liší se pouze v tom, že účastník závodu obdrží mapu již jednu minutu před startem závodu a smí se pohybovat pouze po vyznačených běžeckých tratích. Tratě jsou v mapě rozděleny podle toho, jak jsou široké a upravené. Například silná souvislá čára značí rolbou upravenou stopu o šířce větší než 3 m. [6]

MTBO vznikl v 50. letech 20. století, ovšem autorovi práce se nepodařilo dohledat, kde a kdy se uskutečnil první závod. Pravidla jsou téměř stejná jako u OB, jedinou výjimkou je to, že účastníci závodu musí jet po vyznačených cestách. V mapě jsou stejně jako u LOB znázorněny náročnosti jednotlivých tras. Například slabá přerušovaná čára značí obtížnou jízdu po pěšině.

Za zmínku stojí také Trail-O, což je speciální disciplína pro sportovce s omezenou hybností. Čas se zde neměří. Důležitý je průchod s co největší možnou přesností, a to proto, že na každé kontrole je umístěno 6 lampionů, ze kterých musí účastník závodu dle svého stručného popisníku vybrat pouze jeden.

## 2.1 Disciplína SKI ADVENTURE

Jedná se o disciplínu lyžařského orientačního běhu. Jde o nejstarší, největší a v posledních letech také jediný závod svého druhu na našem území. Účastníci závodu se na začátku každého nového roku sjíždějí do města Bedřichov v Libereckém kraji, kde v rámci jednoho dne závodí o pohár Bedřichovské pětihodinovky.

Pravidla závodu jsou na rozdíl od klasického LOB velmi specifická. Účastníci závodu se smí závodu účastnit pouze po dvojicích. Členové dvojice musí být od sebe ve vzdálenosti své slyšitelnosti a při absolvování kontrol, včetně cíle, musí být vzdálenost mezi nimi minimální. Start a cíl je lokalizován ve stejném místě, dále je rozmístěno celkem 32 kontrol, které mají různé bodové hodnocení ve výši 10 – 100 bodů. Principem závodu je získat projetím kontrol co nejvíce bodů v časovém limitu pěti hodin (dále jen „OLZ“). Místa kontrol jsou rozmístěna tak, aby nebylo možno v OLZ absolvovat všechny kontroly. Mapy s vyznačenými místy kontrol a běžeckými tratěmi jsou rozdávány týmům účastníků závodu již jeden den před závodem, aby si každý mohl připravit svoji vlastní strategii pro absolvování závodu. Pokud tým účastníků závodu nedodrží stanovený limit pěti hodin, dochází k penalizaci v podobě odečtu bodů. Penalizace je určena na základě počtu minut, o který byl překročen OLZ. Pravidla penalizace jsou shrnuta v Tabulce 1. Dále je nutné ctít obecné zásady chování v CHKO, nejezdit mimo vyznačené běžecké tratě a dodržovat Lesní zákon.

[7]

Tabulka 1 – Penalizace za překročení OLZ, zdroj: [www.b5h.cz](http://www.b5h.cz)

Druh penalizace	Interval dokončení závodu	Odečet bodů
Žádná	(0: 00: 00; 5: 00: 00)	0 bodů/min
Malá	(5: 00: 00; 5: 05: 00)	2 body/započatá min
Velká	(5: 05: 00; 6: 00: 00)	5 bodů/započatá min

## Kategorie účastníků závodu

Pořadatelé závodu vypisují celkem 7 kategorií, které jsou seřazeny v Tabulce 2. Za elitní kategorie jsou považovány kategorie MM – dvojice muž/muž, DD – dvojice žena/žena a MD – dvojice muž/žena.

Tabulka 2 – Kategorie účastníků závodu, zdroj: [www.b5h.cz](http://www.b5h.cz)

Číslo kategorie	Zkratka kategorie	Složení dvojice
1.	MM	muž/muž
2.	MM+	muž/muž (součet věku nad 90 let)
3.	MD	muž/žena
4.	MD+	muž/žena (součet věku nad 90 let)
5.	DD	žena/žena
6.	DD+	žena/žena (součet věku nad 90 let)
7.	RD	rodič/dítě (dítě do věku 15 let)

### 3. Popis vybraného území

Závod se koná v areálu Jizerské magistrály a jeho přilehlém okolí. Jedná se o oblast běžeckých tratí, které jsou situovány na české straně CHKO Jizerské hory, přesněji v severovýchodní části Libereckého kraje. Východní část areálu leží na česko-polské hranici, kde se napojuje na polské běžecké tratě a tratě vedoucí dále do Krkonoš. Směrem na západ leží krajské město Liberec. [8]

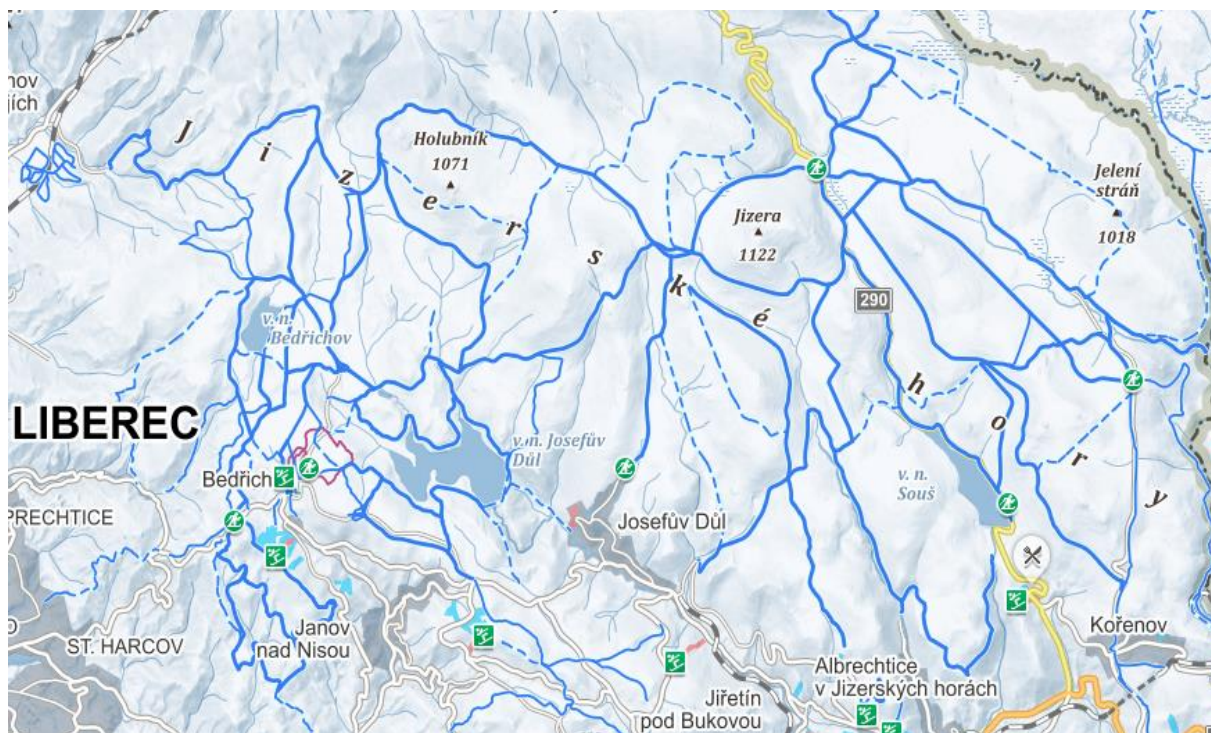
Magistrála je velmi oblíbená mezi aktivními i rekreačními sportovci a během zimní sezony slouží pro běžecké lyžování. Je zde naplánováno přibližně 180 km běžeckých stop, které dle průzkumů návštěvnosti Horské služby využívá více než 500 000 uživatelů, z nichž je přibližně 1/3 návštěvníků stálých a 2/3 jsou návštěvníci jednorázoví. [4]

Na všechny tratě je možné nastoupit celkem ve 22 nástupních místech. Aktuálně pouze 8 z nich zajišťuje parkovací místa pro návštěvníky areálu. Kapacity parkovišť se pohybují od 40 (Kořenov) až do 250 (Bedřichov-Maliník) parkovacích míst. [8]

Od roku 1968 se zde každoročně koná závod Jizerská padesátka. Tento závod je nejznámější na území České republiky a je součástí prestižního světového seriálu Ski Classics. [8]

#### Charakteristika sítě tratí

Na přiloženém obrázku je vyobrazena kompletní síť tratí. Nejdůležitější a zároveň prioritně rolbami upravované tratě jsou reprezentovány tmavě modrou souvislou čarou. Světle modré přerušované čáry reprezentují tratě, které nespádají přímo pod hlavní tratě Jizerské magistrály. To znamená, že nejsou upravovány rolbami, ale pouze pomocí sněžných skútrů, a to v případě, kdy se provozovateli tratí JIZERSKÁ, o. p. s. vyplatí tyto tratě udržovat. Červenou barvou, poblíž obce Bedřichov, je vyznačen v nedávné době zrekonstruovaný pětikilometrový běžecký okruh.



Obrázek 1 – Běžecké tratě, zdroj: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz)

Z geologického hlediska jsou běžecké tratě situovány na náhorní plošině ve výšce kolem 1 000 m n. m. na ploše o výměře 350km<sup>2</sup>. Nejvyšším bodem oblasti je hora Jizera, která dosahuje výšky 1 122 m n. m. Nejnižší bod leží poblíž Janova nad Nisou, a to ve výšce 463 m n. m. [8]

Síť tras je pro potřeby navrhovaného algoritmu transformována na tzv. výpočetní síť, která je reprezentována kompletním hranově ohodnoceným digrafem.



## 4. Návrh řešení úlohy s využitím metod teorie grafů

### 4.1 Sestavení kompletního digrafu

Pomocí závodní mapy z webu [www.b5h.cz](http://www.b5h.cz) je sestaven kompletní digraf  $D = (V, Y, p)$ , ve kterém symbol  $V$  reprezentuje konečnou neprázdnou množinu vrcholů, symbol  $Y$  množinu orientovaných hran a symbol  $p$  zobrazení přiřazující každé hraně uspořádanou dvojici vrcholů. Protože existují trasy, na kterých nejsou doby přejezdů v opačných směrech stejné, např. doba přejezdu z místa kontroly  $K1$  do místa kontroly  $K2$  není totožná s dobou přejezdů z místa kontroly  $K2$  do místa kontroly  $K1$  apod. je vhodným nástrojem teorie grafů právě kompletní digraf.

Pro potřeby řešeného závodu budou vrcholy reprezentovat místa jednotlivých závodních kontrol a místo startu/cíle, hrany pak síť rolbou upravovaných lyžařských tratí. Vzniklý kompletní digraf je orientovaný, silně souvislý a hranově ohodnocený. V podmínkách řešeného závodu bude digraf obsahovat celkem 33 vrcholů sudého stupně (konkrétně každý vrchol bude mít stupeň 32), ohodnocení hran reprezentuje doby přejezdů mezi danými dvěma místy vyjádřené časovými údaji ve formátu  $hh:mm:ss$ .

Doba přejezdu mezi dvěma místy je vypočítána na základě jejich kilometrické vzdálenosti a nivelety. V případě, že mezi dvěma danými vrcholy vede více lyžařských tras, je nutno vypočítat doby přejezdů pro všechny trasy a vybrat z nich tu variantu, která obsahuje minimální dobu přejezdu. Matice minimálních dob přejezdů je označena jako matice  $\mathbb{A}$ . Kompletní digraf byl vytvořen ze závodní mapy nacházející se na Obrázku 1 v kapitole 3 a je obsažen v příloze této bakalářské práce.

Na základě matice  $\mathbb{A}$  a ostatních parametrů závodu je vytvořen vlastní postup řešení, založený a inspirovaný úlohou optimálního trasování. Výstupem je návrh heuristiky pro daný závod, který by mohl vést ke zlepšení celkového umístění týmu. Navržený heuristický algoritmus neuvažuje s možností započítávání bodového hodnocení po uplynutí  $OLZ$  a tedy ani s případnou penalizací za překročení  $OLZ$ .

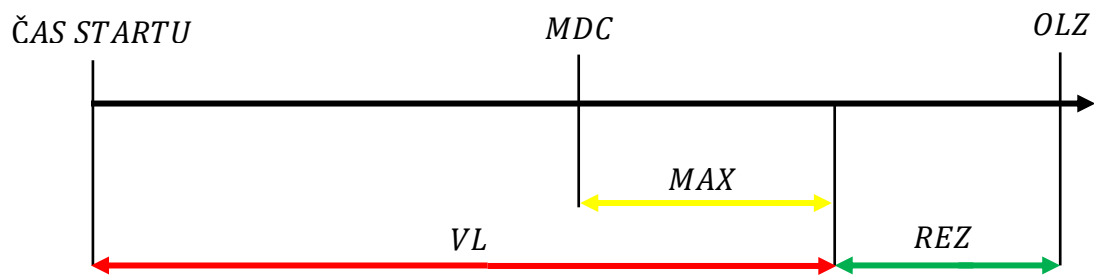
## 4.2 Algoritmus navržené heuristiky

Pojmy v této podkapitole vycházejí z literatury [2], [3], [4].

Definování významů jednotlivých veličin a symbolů použitých v navrženém algoritmu:

- $n$  – počet kontrol včetně startu/cíle (vrchol reprezentující start/cíl závodu má index  $n$ );
- $\beta$  – vektor bodového hodnocení, reprezentuje počty bodů, které tým získá po absolvování jednotlivých míst kontrol, platí, že  $\beta_i > 0$ , pro  $i = 1, \dots, n - 1$  a  $\beta_n = 0$ ;
- $OLZ$  – oficiální limit závodu, je to doba vymezená okamžikem startu závodu a okamžikem, od kterého se začíná započítávat penále;
- $REZ$  – individuální časová rezerva, kterou si tým volí před uplynutím  $OLZ$  určená k vykrytí případného zpoždění týmu na trati mezi okamžikem startu a návratu do cíle tak, aby se tým vyhnul jakékoliv penalizaci při překročení  $OLZ$ ;
- $VL$  – vlastní limit, jedná se o oficiální limit závodu zkrácený o případnou individuální časovou rezervu, kterou si tým sám stanovil;
- $DO$  – doba potřebná k orientaci v místě kontroly, je to doba potřebná k rozhodnutí týmu o dalším směru závodu (o místě další kontroly, kterou absolvuje), pro všechna místa kontrol je stanovena jednotně;
- $CD$  – celková doba, jedná se o dobu, která uplyne od okamžiku startu závodu do okamžiku aktuálního rozhodování týmu o výběru další kontroly;
- $MAX$  – doba potřebná k návratu do cíle z místa nejvzdálenější kontroly;
- $MDC$  – časová hranice bezpečného návratu do cíle, jedná se o časový okamžik v průběhu  $VL$ , po jehož uplynutí není garantován včasný návrat týmu do cíle v průběhu  $VL$  z místa libovolné kontroly ( $MDC = VL - MAX$ );
- $BODY$  – bodové hodnocení ze všech absolvovaných kontrol.

Časové pojmy jsou pro přehlednost znázorněny na Obrázku 2.



Obrázek 2 – Časové pojmy, obecně, zdroj: vlastní zpracování

Prvky jednotlivých matic se nastaví následujícím postupem:

matice  $\mathbb{A}$  – matice minimálních dob přejezdů mezi místy kontrol, startem a místy kontrol a místy kontrol a cílem,

- $\mathbb{A} = (a_{ij})_{ij=1}^n; i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n; a_{ij} = 0$  pro  $i = j$
- $[a_{ij}] = hh:mm:ss$

matice  $\mathbb{B}$  – modifikovaná matice minimálních dob přejezdů mezi místy kontrol, startem a místy kontrol a místy kontrol a cílem, ve které je ke každému prvku matice  $\mathbb{A}$  (vyjma prvků nacházejících se na hlavní diagonále) přičtena hodnota  $DO = 15$  s.

- $\mathbb{B} = (b_{ij})_{ij=1}^n$
- $b_{ij} = a_{ij} + DO; i \neq j$
- $b_{ij} = a_{ij}; i = j$
- $[b_{ij}] = hh:mm:ss$

matice  $\mathbb{C}$  – modifikovaná matice, ve které jsou prvky matice  $\mathbb{B}$  převedeny na sekundy.

- $\mathbb{C} = (c_{ij})_{ij=1}^n$
- $c_{ij} = b_{ij}$
- $[c_{ij}] = s$

matice  $\mathbb{D}$  – matice koeficientů výhodnosti vypočítána pomocí hodnot bodového hodnocení jednotlivých kontrol a prvků matice  $\mathbb{C}$ .

- $\mathbb{D} = (d_{ij})_{ij=1}^n$

- $d_{ij} = \frac{\beta_j}{c_{ij}} * 100; i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n; d_{ij} = 0$  pro  $i = j$
- $[d_{ij}] = \frac{\text{upravený bodový zisk}}{s}$

Tabulka 3 – Přehled matic, zdroj: vlastní zpracování

Název matice	Popis matice	Jednotky prvků matice
A	matice minimálních dob přejezdů mezi místy kontrol, startem a místy kontrol a místy kontrol a cílem	$hh:mm:ss$
B	modifikovaná matice minimálních dob přejezdů mezi místy kontrol, startem a místy kontrol a místy kontrol a cílem	$hh:mm:ss$
C	modifikovaná matice B s časovými hodnotami matice B převedenými na sekundy	$s$
D	matice koeficientů výhodnosti	$\frac{\text{upravený bodový zisk}}{s}$

**Krok 1:** Inicializace vstupních veličin a jejich počátečních hodnot.

Definujeme matice A, B, C, D.

Definujeme hodnoty  $OLZ, VL, DO$  a vektor bodového hodnocení  $\beta$ .

Hodnota časové hranice bezpečného návratu do cíle  $MDC$  je vypočtena jako rozdíl vlastního limitu ( $VL$ ) a doby potřebné k návratu do cíle z místa nejvzdálenější kontroly ( $MAX$ ). Měřeno od místa startu/cíle.

Dále položíme  $BODY = 0$  a  $CD = 0$

Položíme  $k = n$ , následuje Krok 2.

**Krok 2:** Výběr následující kontroly.

V řádku  $k$  matice D vybereme maximální kladný prvek  $d_{kr} = \max_{j=1, \dots, n} \{d_{kj}\}$ , následuje

Krok 3.

**Krok 3:**

V matici B vyhledáme prvek na stejné pozici jako je pozice vybraného prvku v matici D, k celkové době  $CD$  přičteme hodnotu prvku matice B, tzn.  $CD := CD + b_{kr}$

Porovnáme hodnoty  $CD$  a  $MDC$ . Nastávají dvě varianty:



**Dílčí krok 3. a:**

když  $CD > MDC$ , následuje Krok 6.

**Dílčí krok 3. b:**

když  $CD \leq MDC$ , pak následuje Krok 4.

**Krok 4:**

Vybranému  $b_{kr}$  je přiřazena hodnota  $\beta_r$ , o kterou zvýšíme aktuální hodnotu veličiny  $BODY$ , tedy položíme  $BODY = BODY + \beta_r$ .

Následně se v maticích  $\mathbb{B}$  a  $\mathbb{D}$  všechny prvky v řádku a sloupci, ve kterém se nachází prvek  $b_{kr}$  položí rovny 0.

Pokud nastane situace, kdy jsou všechny prvky matice  $\mathbb{B}$  a  $\mathbb{D}$  rovny nule, pak je algoritmus u konce.

V opačném případě následuje Krok 5.

**Krok 5:**

Novým výchozím řádkem se stává řádek se stejným indexem, jako měl sloupec, ve kterém ležel poslední zařazený prvek. Index řádku položíme roven  $k$  a vracíme se ke Kroku 2.

**Krok 6:**

Při porovnání přičteme k celkové době hodnotu posledního prvku v  $r$ -tém řádku matice  $\mathbb{B}$  a porovnáme s vlastním limitem. Když bude  $CD + b_{rn} > VL$ , následuje dílčí Krok 7. a, v opačném případě následuje dílčí krok 7. b.

**Krok 7:****Dílčí krok 7. a:**

Zamýšlený prvek nelze zařadit do výpočtu (zamýšlenou kontrolu nelze absolvovat), hodnoty v  $r$ -tém řádku a sloupci položíme rovny 0. Položíme  $CD := CD - b_{kr}$  a následuje Krok 2.

**Dílčí krok 7. b:**

Zamýšlený prvek lze zařadit do výpočtu (zamýšlenou kontrolu lze absolvovat) a následuje Krok 4.

## 5. Aplikace navrženého algoritmu v podmínkách výkonnosti autora práce

### 5.1 Vstupní data

Matice  $\mathbb{A}$  je maticí minimálních dob přejezdů mezi místy kontrol, startem a místy kontrol a místy kontrol a cílem, fragment matice  $\mathbb{A}$  je uveden v příložené Tabulce 4

- $K1 - K8$  označení kontrol
- čas = minimální doba přejezdů mezi místy kontrol
- minimální doby přejezdů jsou vypočteny na základě časově nejvýhodnějších tras mezi kontrolami.

Tabulka 4 – Fragment matice  $\mathbb{A}$ , zdroj: vlastní zpracování

$[\mathbb{A}] = hh:mm:ss$								
Z/DO	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
K1	0:00:00	0:09:31	0:14:53	0:11:25	0:14:06	0:22:40	0:36:10	0:44:37
K2	0:11:44	0:00:00	0:10:56	0:11:17	0:16:45	0:25:19	0:38:49	0:47:16
K3	0:17:05	0:10:56	0:00:00	0:16:43	0:22:11	0:30:45	0:44:15	0:52:42
K4	0:10:16	0:10:08	0:16:43	0:00:00	0:05:28	0:14:02	0:27:32	0:35:59
K5	0:12:56	0:15:36	0:22:11	0:05:28	0:00:00	0:08:34	0:22:04	0:34:05
K6	0:21:31	0:24:10	0:30:45	0:14:02	0:08:34	0:00:00	0:16:04	0:27:40
K7	0:35:01	0:37:40	0:44:15	0:27:32	0:22:04	0:16:04	0:00:00	0:15:32
K8	0:39:36	0:42:16	0:48:51	0:32:08	0:31:35	0:26:27	0:11:29	0:00:00

Nejvýhodnější trasa je vytvořena na základě výpočtu, ve kterém jsou zahrnuty parametry vzdálenost a rychlost v závislosti na změnách nivelety terénu. Jednotlivé změny nivelety a rychlosti k nim přiřazené jsou uvedeny v Tabulce 5. Hodnoty uvedené v tabulce jsou vytvořeny na základě individuální výkonnosti autora práce a jeho zkušeností s běžeckým lyžováním. Rychlosti lze týmům účastníků závodu upravovat individuálně podle jejich výkonnosti. Platí, že čím výkonnější je tým, tím je jeho průměrná rychlost vyšší.

Tabulka 5 – Hodnoty průměrných rychlostí autora práce v závislosti změnách nivelety, zdroj: vlastní zpracování

Typ terénu	Sklon terénu [%]	Průměrná rychlost [km * h <sup>-1</sup> ]
Prudké klesání	⟨10,100⟩	20
Mírné klesání	⟨5,10⟩	17
Rovina	⟨0,5⟩	14
Mírné stoupání	⟨5,10⟩	11
Prudké stoupání	⟨10,100⟩	8

Matice  $\mathbb{B}$  je modifikovaná matice  $\mathbb{A}$ , ve které je každému prvku matice, kromě hlavní diagonály, přičtena hodnota 0:00:15. Fragment matice  $\mathbb{B}$  je v Tabulce 6.

- Hodnota 0:00:15 je doba potřebná k rozhodnutí týmu o dalším směru závodu.
- Příklad výpočtu hodnoty  $b_{12} = 0:09:31 + 0:00:15 = 0:09:46$

Tabulka 6 – Fragment matice  $\mathbb{B}$ , zdroj: vlastní zpracování

$[\mathbb{B}] = hh:mm:ss$								
Z/DO	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
K1	0:00:00	0:09:46	0:15:08	0:11:40	0:14:21	0:22:55	0:36:25	0:44:52
K2	0:11:59	0:00:00	0:11:11	0:11:32	0:17:00	0:25:34	0:39:04	0:47:31
K3	0:17:20	0:11:11	0:00:00	0:16:58	0:22:26	0:31:00	0:44:30	0:52:57
K4	0:10:31	0:10:23	0:16:58	0:00:00	0:05:43	0:14:17	0:27:47	0:36:14
K5	0:13:11	0:15:51	0:22:26	0:05:43	0:00:00	0:08:49	0:22:19	0:34:20
K6	0:21:46	0:24:25	0:31:00	0:14:17	0:08:49	0:00:00	0:16:19	0:27:55
K7	0:35:16	0:37:55	0:44:30	0:27:47	0:22:19	0:16:19	0:00:00	0:15:47
K8	0:39:51	0:42:31	0:49:06	0:32:23	0:31:50	0:26:42	0:11:44	0:00:00

Matice  $\mathbb{C}$  je modifikovaná matice  $\mathbb{B}$  s časovými hodnotami matice  $\mathbb{B}$  převedenými na sekundy. Fragment matice  $\mathbb{C}$  je v Tabulce 7.

- Příklad přepočtu hodnoty  $c_{12} = 0:09:46 = 586$

Tabulka 7 – Fragment matice  $\mathbb{C}$ , zdroj: vlastní zpracování

$[\mathbb{C}] = s$								
Z/DO	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
K1	0	586	908	700	861	1 375	2 185	2 692
K2	719	0	671	692	1 020	1 534	2 344	2 851
K3	1 040	671	0	1 018	1 346	1 860	2 670	3 177
K4	631	623	1 018	0	343	857	1 667	2 174
K5	791	951	1 346	343	0	529	1 339	2 060
K6	1 306	1 465	1 860	857	529	0	979	1 675
K7	2 116	2 275	2 670	1 667	1 339	979	0	947
K8	2 391	2 551	2 946	1 943	1 910	1 602	704	0

Matice  $\mathbb{D}$  je matice koeficientů výhodnosti vypočítaná pomocí hodnot bodového hodnocení jednotlivých kontrol a hodnot prvků matice  $\mathbb{C}$ .

- koeficient výhodnosti  $d_{ij} = \frac{\beta_j}{c_{ij}} * 100$
- příklad výpočtu hodnoty  $d_{12} = \frac{30}{586} * 100 = 5,12$

Číslice v řádku s názvem *Body* reprezentují bodové hodnocení při absolvování kontroly. Ukázka fragmentu matice  $\mathbb{D}$  je v Tabulce 8.

Tabulka 8 – Fragment matice  $\mathbb{D}$ , zdroj: vlastní zpracování

$[\mathbb{D}] = \frac{\text{upravený bodový zisk}}{s}$								
Body	20	30	40	20	30	20	30	50
Z/DO	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
K1	0	5,12	4,41	2,86	3,48	1,45	1,37	1,86
K2	2,78	0	5,96	2,89	2,94	1,3	1,28	1,75
K3	1,92	4,47	0	1,96	2,23	1,08	1,12	1,57
K4	3,17	4,82	3,93	0	8,75	2,33	1,8	2,3
K5	2,53	3,15	2,97	5,83	0	3,78	2,24	2,43
K6	1,53	2,05	2,15	2,33	5,67	0	3,06	2,99
K7	0,95	1,32	1,5	1,2	2,24	2,04	0	5,28
K8	0,84	1,18	1,36	1,03	1,57	1,25	4,26	0



Následuje určení času, který je potřebný k návratu do cíle z místa nejvzdálenější kontroly. Pro určení této hodnoty je použita matice  $\mathbb{B}$ , konkrétně poslední sloupec matice s názvem *START/CÍL*. Pomocí funkce „MAX“ je zjištěno, že časově nejvzdálenějším bodem od startu je kontrola *K18* a k návratu z místa této kontroly zpět do cíle je zapotřebí doba  $MAX = 1:34:28$ . Tabulka 9 obsahuje fragment posledního sloupce matice  $\mathbb{B}$  s uvedením dob do cíle.

Tabulka 9 – Fragment matice  $\mathbb{B}$ , zdroj: vlastní zpracování

$[\mathbb{B}] = hh:mm:ss$	
<i>Z/DO</i>	<i>START/CÍL</i>
<i>K15</i>	1:14:45
<i>K16</i>	1:28:09
<i>K17</i>	1:26:15
<i>K18</i>	1:34:28
<i>K19</i>	1:11:08
<i>K20</i>	0:39:51
<i>K21</i>	0:56:33
<i>K22</i>	1:10:06

*OLZ* je nastaven na hodnotu 5:00:00. Pro potřeby výpočtu je čas snížen na hodnotu 4:55:00, a to z důvodu stanovení rezervy. Hodnota 4:55:00 je označena jako *VL*. Dále je určena hodnota *MDC*, která slouží ke kontrole, zda je tým schopen se vrátit do cíle z místa libovolné kontroly, aniž by překročil *VL*. Hodnota *MDC* je dána následujícím výpočtem:

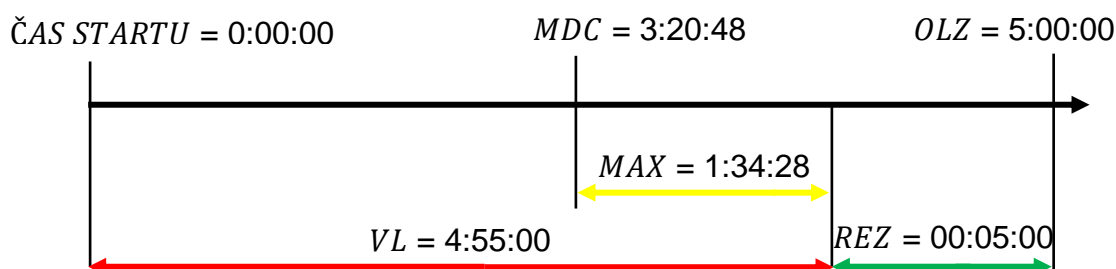
- $MDC = VL - MAX = 4:55:00 - 1:34:28 = 3:20:32$

V tabulce 10 jsou shrnuty veškeré časové údaje o limitech, které jsou potřebné k realizaci výpočtu.

Tabulka 10 – Přehled časových limitů závodu, zdroj: vlastní zpracování

<i>OLZ</i>	5:00:00
<i>VL</i>	4:55:00
<i>MAX</i>	1:34:28
<i>MDC</i>	3:20:32

Jednotlivé časové údaje pro řešený závod jsou vyznačeny na časové ose na Obrázku 3, čas je ve formátu *hh:mm:ss*.



Obrázek 3 – Časové pojmy v podmínkách řešené úlohy, zdroj: vlastní zpracování

## 5.2 Stručná ukázka vybraných kroků navržené heuristické metody

Závod začíná na Startu. Do výpočtu je jako první vložen řádek z matice  $\mathbb{D}$ , který odpovídá jízdě směrem ze startu k ostatním kontrolám. Fragment tohoto řádku je znázorněn v Tabulce 11.

Tabulka 11 – Fragment matice  $\mathbb{D}$ , zdroj: vlastní zpracování

$[\mathbb{D}] = \frac{\text{upravený bodový zisk}}{s}$								
Z/DO	K26	K27	K28	K29	K30	K31	K32	START/CÍL
START/CÍL	2,33	2,85	2,92	3,64	2,01	3,81	4,1	0

V Tabulce 12 následuje výběr prvku v řádku *START/CÍL*, který reprezentuje maximální hodnotu koeficientu výhodnosti, tedy prvku  $START \rightarrow K32 = 4,1$

Tabulka 12 – Výběr maximálního koeficientu výhodnosti, zdroj: vlastní zpracování

Maximální hodnota $\max_{j=1,..,n} \{d_{nj}\}$	4,1
Vybraná kontrola	K32

V matici  $\mathbb{B}$  je vyhledán a následně vybrán čas odpovídající přejezdu ze startu do místa kontroly *K32*, v Tabulce 13.

Tabulka 13 – Fragment z matice  $\mathbb{B}$ , zdroj: vlastní zpracování

$\mathbb{B} = [hh:mm:ss]$							
<i>Z/DO</i>	<i>K27</i>	<i>K28</i>	<i>K29</i>	<i>K30</i>	<i>K31</i>	<i>K32</i>	<i>START/CÍL</i>
<i>START/CÍL</i>	0:32:24	0:17:06	0:22:52	0:16:34	0:08:45	0:04:04	0:00:00

Čas přejezdu z kontroly *START* do kontroly *K32* je určen na hodnotu 00:04:04

- $START \rightarrow K32 = 00:04:04$

Čas přejezdu $START \rightarrow K32$	0:04:04
--------------------------------------	---------

Následuje vytvoření řádku s názvem „Celková doba“, do kterého je ukládána *CD*, která je v okamžiku startu závodu rovna hodnotě 0:00:00. K hodnotě *CD* se přičítá hodnota prvku matice  $\mathbb{B}$ , reprezentující čas přejezdu z aktuální na následující kontrolu ( $START \rightarrow K32 = 0:04:04$ ).

- $CD = 00:00:00 + 0:04:04$
- $CD = 00:04:04$

<i>CD</i>	0:04:04
-----------	---------

Dalším krokem je porovnání hodnoty *CD* s *MDC*, k této operaci je využita funkce „KDYŽ“. Na základě porovnání nastávají dvě varianty:

- $CD \leq MDC$
- $CD > MDC$

Pokud  $CD \leq MDC$ , pak není nutné testovat, zda dojde k překročení *VL* a daná kontrola je zařazena do výpočtu. Novým výchozím řádkem se stává řádek se stejným indexem, jako měl sloupec, ve kterém ležel poslední zařazený prvek. Tabulka 14 ukazuje stav, při kterém testování není nutné.

- Ukázka situace ve výpočtu, kdy testování není nutné:
  - $CD \leq MDC$
  - $0:04:04 \leq 3:20:32$

Tabulka 14 – Testování kontroly, zdroj: vlastní zpracování

Celková doba	00:04:04
Hranice bezpečného návratu do cíle	3:20:32
Potřeba testování	Ne

Ukázka úspěšného zařazení kontroly *K32* do matice  $\mathbb{D}$  je znázorněna v Tabulce 15. Prvky ve sloupci a řádku *K32* v maticích  $\mathbb{D}$  a  $\mathbb{B}$  jsou zároveň nastaveny na 0 (zařazená kontrola je označena zeleně).

Tabulka 15 – Fragment matice  $\mathbb{D}$  se zařazenou kontrolou *K32*, zdroj: vlastní zpracování

$[\mathbb{D}] = \frac{\text{upravený bodový zisk}}{s}$								
Z/DO	K26	K27	K28	K29	K30	K31	K32	START/CÍL
K26	0	2,56	2,73	3,65	0,86	1,3	0	0
K27	3,19	0	5,49	2,49	0,93	1,9	0	0
K28	5,55	8,4	0	3,39	0,82	4,01	0	0
K29	3,96	1,98	1,93	0	1,57	1,85	0	0
K30	2,32	1,99	1,32	7,1	0	1,9	0	0
K31	3,32	4,09	5,81	4,82	1,77	0	0	0
K32	0	0	0	0	0	0	0	0
START/CÍL	2,33	2,85	2,92	3,64	2,01	3,81	0	0

Dalším mezikrokem je určení bodového hodnocení odpovídajícího absolvování kontroly *K32*. Tabulka 16 znázorňuje fragment bodového hodnocení pro vybranou část kontrol.

Tabulka 16 – Fragment bodového hodnocení jednotlivých kontrol, zdroj: vlastní zpracování

Kontrola	K26	K27	K28	K29	K30	K31	K32	START/CÍL
Body	40	40	30	50	20	20	10	0

Bodové hodnocení je přičteno do řádku „Body celkem“.

Body celkem	10
-------------	----

V dalším postupu výpočtu je detailně uveden případ, kdy nastal případ  $CD > MDC$ . Tato situace nastala v případě kontroly  $K17$ .

- Ukázka nutnosti testování při zařazování kontroly  $K17$ , jednotlivé informace jsou v Tabulce 17.
  - $CD > MDC$
  - $3:31:04 > 3:20:32$

Tabulka 17 – Testování kontroly, zdroj: vlastní zpracování

Celková doba	3:31:04
Hranice bezpečného návratu do cíle	3:20:32
Potřeba testování	Ano

Testování, zda tým nepřekročí  $VL$ :

Z matice  $\mathbb{B}$  je vybrána hodnota odpovídající časovému přejezdu z kontroly  $K17$  do cíle. Výběr této hodnoty je zobrazen ve fragmentu matice  $\mathbb{B}$  uvedenému v Tabulce 18.

Tabulka 18 – Fragment matice  $\mathbb{B}$ , zdroj: vlastní zpracování

$\mathbb{B}$ [hh:mm:ss]	
Z/DO	START/CÍL
<b>K14</b>	1:06:24
<b>K15</b>	1:14:45
<b>K16</b>	1:28:09
<b>K17</b>	1:26:15
<b>K18</b>	1:34:28
<b>K19</b>	1:11:08
<b>K20</b>	0:39:51
<b>K21</b>	0:56:33

Hodnota z matice  $\mathbb{B}$ , odpovídající přejezdu z místa kontroly  $K17$  do cíle je přičtena k aktuální hodnotě  $CD$

- $CD = 1:26:15 + 3:31:04$
- $CD = 4:57:19$

Celková doba	4:57:19
--------------	---------

Protože  $CD > VL$ , pak není možné se do cíle vrátit v limitu a je nutné volit do cíle jinou trasu. Neúspěšné zařazení do výpočtu je zobrazeno v Tabulce 19.

- 1:26:15 + 3:31:04 > 4:55:00
- 4:57:19 > 4:55:00 – není možné se vrátit ve vlastním limitu ( $VL$ ).

Tabulka 19 – Ukázka neúspěšného zařazení do výpočtu, zdroj: vlastní zpracování

<i>K17 – START</i>	1:26:15	
Celková doba	3:31:04	
Součet	4:57:19	<b>Lze se vrátit v limitu? Ne</b>

Kontrola  $K17$  je z dalšího řešení vyřazena. Prvky ve sloupci a řádku odpovídajících  $K17$  v maticích  $\mathbb{D}$  a  $\mathbb{B}$  jsou zároveň nastaveny na 0, v Tabulce 20 (řádky a sloupce odpovídající vyřazené kontrole jsou označeny červeně).

Tabulka 20 – Fragment matice  $\mathbb{D}$  s vyřazenou kontrolou, zdroj: vlastní zpracování

$\mathbb{D} = \left[ \frac{\textit{upravený bodový zisk}}{s} \right]$								
<b>Z/DO</b>	<b>K13</b>	<b>K14</b>	<b>K15</b>	<b>K16</b>	<b>K17</b>	<b>K18</b>	<b>K19</b>	<b>K20</b>
<b>K13</b>	0	3,66	2,52	5,33	0	2,33	3,12	3,01
<b>K14</b>	5,77	0	2,45	8,31	0	2,69	2,09	1,54
<b>K15</b>	4,15	2,45	0	9,52	0	3,38	3,23	1,25
<b>K16</b>	2,3	2,27	2,58	0	0	2,86	1,84	0,83
<b>K17</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>K18</b>	2,33	1,54	2,03	5,8	0	0	1,86	0,84
<b>K19</b>	3,76	1,56	2,52	4,75	0	2,33	0	1,75
<b>K20</b>	7,02	2,31	1,75	4,02	0	1,89	3,76	0

Výpočty se opakují až do okamžiky, kdy jsou všechny prvky matice  $\mathbb{B}$  a  $\mathbb{D}$  rovny nule, pak je algoritmus u konce. Detailní postup výpočtu pro Výchozí variantu –  $VL$  je zpracován v Příloze 5.

### 5.3 Výsledek a hodnocení dosažených výsledků

Pomocí navržené heuristické metody by se tým umístil celkem na 13. pozici, a to s následujícími výsledky, viz Tabulka 21.

Tabulka 21 – Výsledek závodu, zdroj: vlastní zpracování

Veličina	Hodnota
Celková doba	4:46:37
Počet projetých kontrol	14
Počet získaných bodů	550
Nedodržení časového limitu	Ne
Penalizace v bodech	0

Dosažený výsledek je přepsán do formátu, ve kterém jsou reprezentovány celkové výsledky týmů, Tabulka 22.

Tabulka 22 – Celkový výsledek, zdroj: vlastní zpracování

CEL	KAT	TÝM	KAT	ČAS	Body	PEN.	CELKEM
13	9	Heuristická metoda	MM	4:46:37	550	0	550

K porovnání je níže přiložena Tabulka 23, ve které je 14 nejlepších týmů, včetně výsledku týmu Heuristická metoda, který byl dosažen navrženou heuristickou metodou. V celkovém umístění by se tým umístil na 13. místě. Pro lepší porozumění tabulce je přiložena legenda.

- i. CEL = celkové umístění v závodě
- ii. KAT = celkové umístění v kategorii
- iii. Č. = startovní číslo týmu
- iv. TÝM = název týmu
- v. KAT = název kategorie
- vi. ČAS = čas strávený na trati
- vii. Body = nasbírané body za absolvované kontroly
- viii. PEN. = penalizace za nedodržení časového limitu
- ix. CELKEM = celkový počet bodů po odečtení penalizace

Tabulka 23 – Celkové výsledky závodu včetně výsledku navrženého heuristickou metodou,  
zdroj: vlastní zpracování

CEL	KAT	Č.	TÝM	KAT	ČAS	Body	PEN.	CELKEM
1	1	111	Salomon - Suunto	MM	4:57:43	640	0	640
2	2	103	OB Turnov MAPA	MM	4:59:18	640	0	640
3	3	47	Vyking táhne Klacky.cz	MM	5:02:35	640	6	634
4	1	104	EPO - Černý vrch	MM+	5:06:56	650	20	630
5	4	87	Přístúpili	MM	4:55:58	600	0	600
6	5	97	SPORTICUS team	MM	4:51:21	590	0	590
7	2	79	Ušáci	MM+	5:02:08	590	6	584
8	1	27	EPO - Hvězdář a Jitřenka	MD	4:54:23	580	0	580
9	6	9	EPO neumíme na běžkách	MM	4:59:54	580	0	580
10	7	105	Edudant a Francimor	MM	5:00:51	570	2	568
11	2	130	Team Skischool Smržovka	MD	4:56:40	560	0	560
12	8	88	KaZby	MM	5:04:06	570	10	560
13	9		Heuristická metoda	MM	4:46:37	550	0	550
14	10	108	OutdoorOutsiders	MM	5:01:10	550	4	546

V Tabulce 24 jsou oficiální výsledky kategorie MM, ve které by se tým umístil na 9. pozici.

Tabulka 24 – Celkové výsledky kategorie MM, včetně výsledku navrženého heuristickou metodou, zdroj: vlastní zpracování

KAT	Č.	TÝM	KAT	ČAS	Body	PEN.	CELKEM
1	111	Salomon - Suunto	MM	4:57:43	640	0	640
2	103	OB Turnov MAPA	MM	4:59:18	640	0	640
3	47	Vyking táhne Klacky.cz	MM	5:02:35	640	6	634
4	87	Přístúpili	MM	4:55:58	600	0	600
5	97	SPORTICUS team	MM	4:51:21	590	0	590
6	9	EPO neumíme na běžkách	MM	4:59:54	580	0	580
7	105	Edudant a Francimor	MM	5:00:51	570	2	568
8	88	KaZby	MM	5:04:06	570	10	560
9		Heuristická metoda	MM	4:46:37	550	0	550
10	108	OutdoorOutsiders	MM	5:01:10	550	4	546



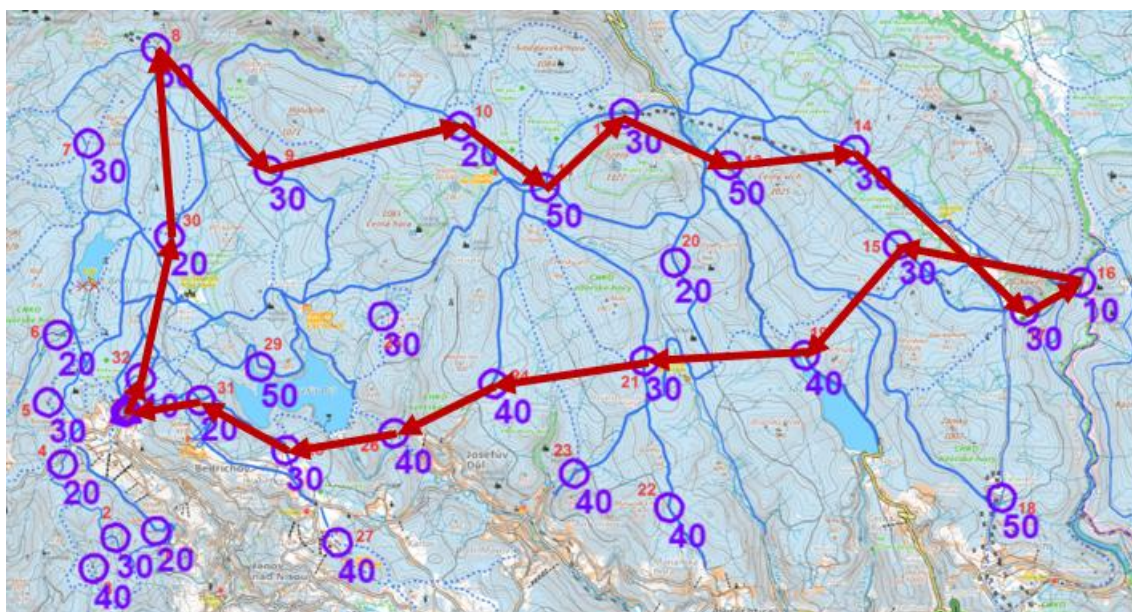
Každý z účastníků závodu volil libovolné pořadí průjezdu určitých kontrol uzavřené dráhy ze Startu do Cíle s maximalizací získaných bodů v časovém limitu závodu. Na následujících obrázcích jsou graficky znázorněny strategie jednotlivých týmů. U kontroly K16 je nesprávně uvedeno 10ti bodové hodnocení kontroly již v původním mapovém podkladu organizátorů. Správně je kontrola hodnocena 100 body.

Popis a vysvětlivky k závodní mapě:

- je nutné brát v úvahu, že mapa v členitém terénu není stoprocentně přesná.
- legenda mapy:
  - i. souvislé čáry – zaznamenaný průjezd závodního týmu (mezi jednotlivými kontrolami pomocí Euklidovské vzdálenosti)
  - ii. fialová kolečka – umístění kontroly
  - iii. fialové číslice – bodové hodnocení kontroly
  - iv. červené číslice – číselné označení kontroly
  - v. modrá souvislá čára – rolbou upravovaná stopa
  - vi. modrá přerušovaná čára – skútry upravovaná stopa
- měřítko mapy 1: 45 000

Obrázek 4 znázorňuje trasu vítězného týmu:

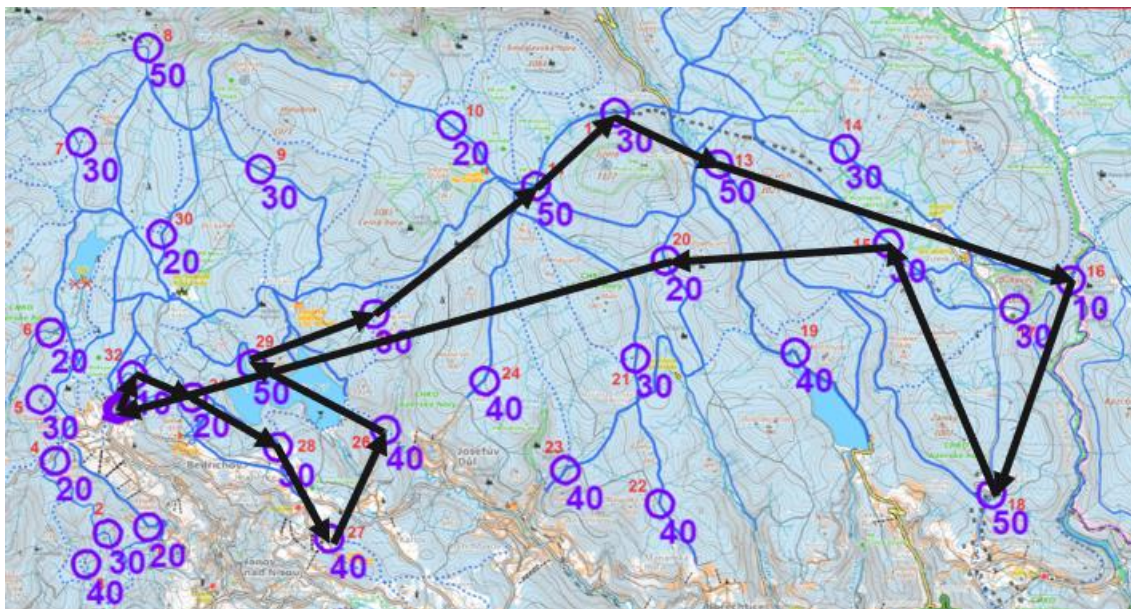
- Z jeho trasy je patrné, že se tým snažil projet kontrolou K16, která má bodové hodnocení 100 bodů a zároveň projet maximálním počtem kontrol s bodovým hodnocením 50 bodů.
- Na první pohled je zřejmé, že takový postup je vhodný pro týmy s výbornou fyzickou výkonností, a to z důvodu nutnosti překonávat velmi vysoké převýšení v průběhu trasy.



Obrázek 4 – Trasa vítězného týmu závodu, zdroj: [www.play-map.com](http://www.play-map.com)

Obrázek 5 znázorňuje trasu sestrojenou podle výsledků navržené heuristické metody:

- Překonané převýšení není tak velké jako u vítěze závodu. První část postupu vede rovinatým terénem kolem přehrady Josefův Důl.
- Projetí kontrol s vysokým bodovým hodnocením.
- Počet projetých kontrol je nižší než u vítěze závodu.

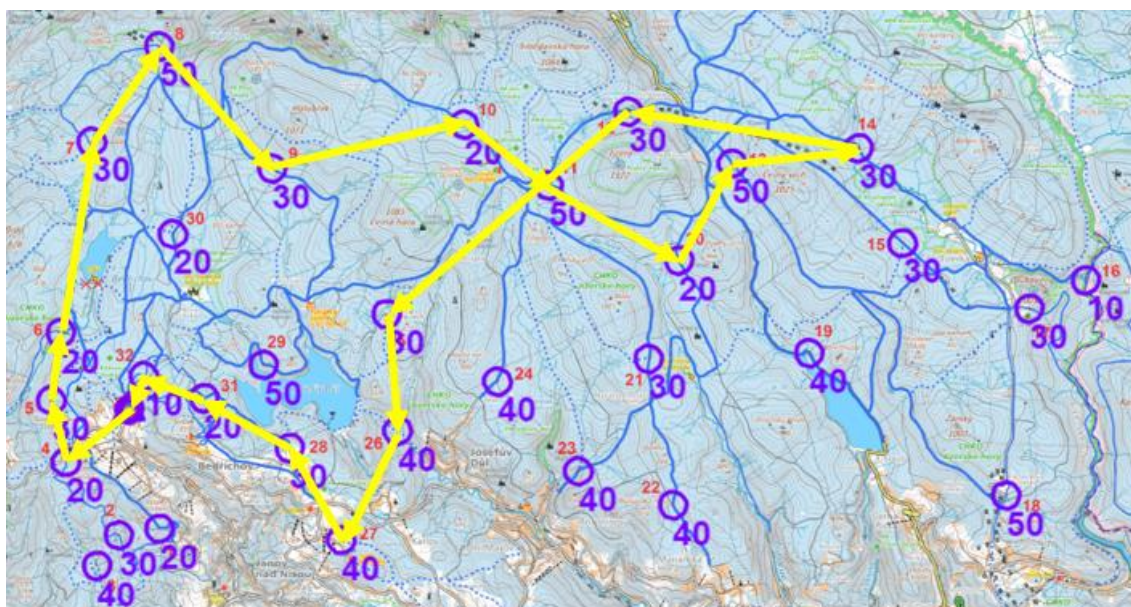


Obrázek 5 – Trasa týmu navržená heuristickou metodou – VL, zdroj: vlastní zpracování



Na Obrázku 6 je vyznačena trasa týmu OutdoorOutsiders. Tento tým dosáhl téměř shodného výsledku jako tým Heuristická metoda:

- Je patrné, že tým nedokázal odhadnout svoji výkonnost. Ihned po startu se vydal směrem na západ, což ho pravděpodobně stálo čas, který chyběl k dosažení kontroly K16. Po absolvování kontroly K14 se tým rozhodl pro návrat do cíle.
- Tým dosáhl cíle dvě minuty po limitu, proto následovala penalizace ve výši čtyř bodů.



Obrázek 6 – Trasa týmu s obdobnou výkonností, zdroj: vlastní zpracování

Porovnání postupů týmů Heuristická metoda a OutdoorOutsiders je shrnuto v Tabulce 25.

Tabulka 25 – Porovnání výsledků týmů s obdobnými výkonnostmi, zdroj: vlastní zpracování

Veličina	Heuristická metoda	OutdoorOutsiders
Počet bodů	550	546
Celková doba	4:46:37	5:01:10
Počet absolvovaných kontrol	14	20
Nedodržení časového limitu	Ne	Ano
Penalizace v bodech	0	4

V následující kapitole budou dosažené výsledky porovnány s dalšími dvěma variantami týmu označenými jako Výkonnější tým a Méně výkonný tým. Výsledky dosažené v Kapitole 5 budou v dalším textu nazývány Výchozí variantou (VV).

## 6. Aplikace navrženého algoritmu při změnách výkonnostech

Výkonnost týmů účastníků závodu je spjata s různými faktory. Podmínky, jako je vybavení, počasí na trati, jsou pro všechny týmy stejné. Proto je nejvýraznějším faktorem, který ovlivňuje výsledky závodu, individuální výkonnost členů týmu. Týmy, které na závody netrénují, nemohou dosáhnout stejné výkonnosti jako týmy, které pravidelně a zodpovědně trénují. Cílem této kapitoly je poukázat na to, že i tým s nižší individuální výkonností má při správné volbě trasy šanci na dobré celkové umístění. Ovšem pokud se závodu bude účastnit tým, jehož individuální výkonnost je na velmi vysoké úrovni, pak by jeho výsledek měl atakovat prvních pět míst v celkovém pořadí.

### 6.1 Výkonnější tým

Při zvýšení průměrné rychlosti na jednotlivých typech terénu dojde k dosažení lepšího výsledku v závodě. Rychlosti jsou zvýšeny na základě vlastních zkušeností, kdy byly jednotlivé rychlosti testovány na vybraných úsecích v Krkonoších. Na některých typech terénu, především při výskytu prudkého klesání a prudkého stoupání, se zdá zvýšení průměrných rychlostí minimální, avšak tyto drobné změny rychlosti jsou ve výsledku velmi fyzicky náročné a z technického hlediska je již nelze příliš zvyšovat (u amatérských sportovců). Z pohledu autora práce je nemožné udržet tyto rychlosti nepřetržitě 5 hodin. Největší změna je na rovině, a to o  $1,5 \text{ km} * \text{h}^{-1}$ . Veškeré změny průměrných rychlostí jsou uvedeny v Tabulce 26.

Tabulka 26 – Změny průměrných rychlostí pro Výkonnější tým, zdroj: vlastní zpracování

Typ terénu	Sklon terénu [%]	Průměrná rychlost – zvýšená [ $\text{km} * \text{h}^{-1}$ ]	Průměrná rychlost – výchozí [ $\text{km} * \text{h}^{-1}$ ]	Rozdíl průměrných rychlostí [ $\text{km} * \text{h}^{-1}$ ]
Prudké klesání	(10,100)	20,5	20	0,5
Mírné klesání	(5,10)	18	17	1
Rovina	(0,5)	15,5	14	1,5
Mírné stoupání	(5,10)	12	11	1
Prudké stoupání	(10,100)	8,5	8	0,5

Po dosažení vyšších rychlostí místo výchozích rychlostí došlo k přepočítání matic  $\mathbb{A}$  -  $\mathbb{D}$ . Názorné změny jsou ukázány na fragmentech matice  $\mathbb{A}$ , v příložené Tabulce 27.

Tabulka 27 – Fragment matice  $\mathbb{A}$  pro Výkonnější tým, zdroj: vlastní zpracování

$\mathbb{A}$ – Výchozí varianta				$\mathbb{A}^*$ – Výkonnější tým			
Z/DO	K1	K2	K3	Z/DO	K1	K2	K3
K1	0	0:09:31	0:14:53	K1	0	0:08:49	0:13:40
K2	0:11:44	0	0:10:56	K2	0:10:44	0	0:09:52
K3	0:17:05	0:10:56	0	K3	0:15:35	0:09:52	0

Pomocí navržené heuristické metody tým získal 640 bodů a umístil se na 1. místě s následujícími statistikami, které jsou shrnuty v Tabulce 28.

Tabulka 28 – Výsledky závodu pro Výkonnější tým, zdroj: vlastní zpracování

Veličina	Heuristická metoda – VT
Celková doba	4:50:04
Počet absolvovaných kontrol	17
Počet získaných bodů	640
Nedodržení časového limitu	Ne
Penalizace v bodech	0

Výsledek přepsaný do oficiálního formátu, pomocí kterého jsou reprezentovány celkové výsledky týmů, je uveden v Tabulce 29.

Tabulka 29 – Celkový výsledek pro Výkonnější tým, zdroj: vlastní zpracování

CEL	KAT	TÝM	KAT	ČAS	Body	PEN.	CELKEM
1	1	Heuristická metoda – VT	MM	4:50:04	640	0	640

V následující Tabulce 30 jsou shrnuty oficiální výsledky, včetně výsledku dosaženého heuristickou metodou. Tým by vyhrál jak ve své kategorii, tak i závod celkově.

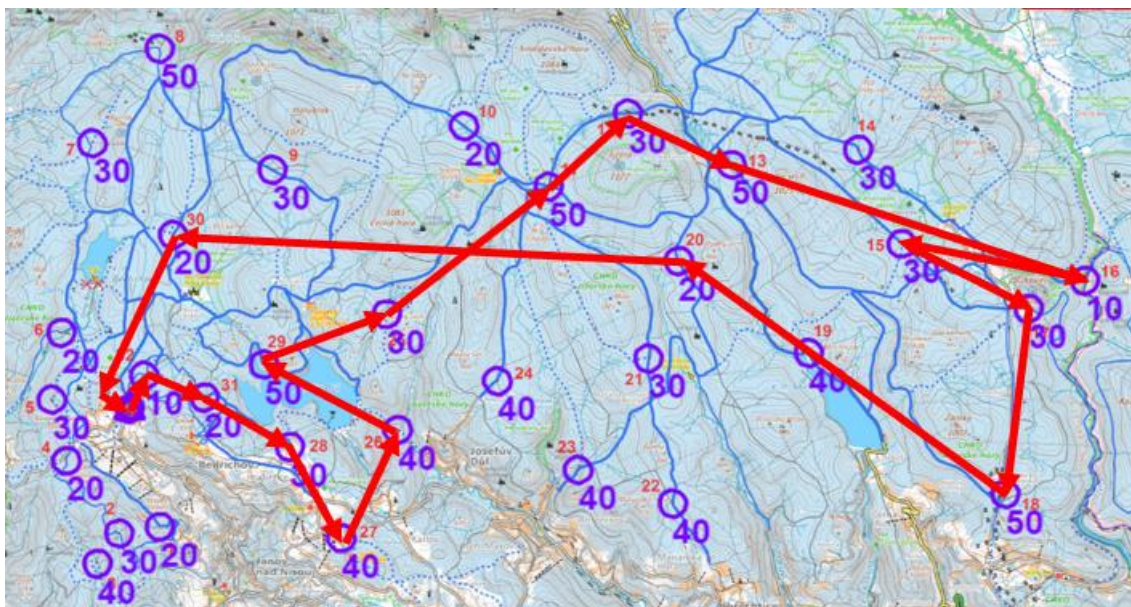
Tabulka 30 – Celkové výsledky závodu, včetně výsledku navrženého heuristickou metodou pro Výkonnější tým, zdroj: vlastní zpracování

CEL	KAT	Č.	TÝM	KAT	ČAS	Body	PEN.	CELKEM
1	1		Heuristická metoda – VT	MM	4:50:04	640	0	640
2	2	111	Salomon - Suunto	MM	4:57:43	640	0	640
3	3	103	OB Turnov MAPA	MM	4:59:18	640	0	640
4	4	47	Vyking táhne Klacky.cz	MM	5:02:35	640	6	634
5	1	104	EPO - Černý vrch	MM+	5:06:56	650	20	630
6	5	87	Přístúpili	MM	4:55:58	600	0	600
7	6	97	SPORTICUS team	MM	4:51:21	590	0	590
8	2	79	Ušáci	MM+	5:02:08	590	6	584
9	1	27	EPO - Hvězdář a Jitřenka	MD	4:54:23	580	0	580
10	7	9	EPO neumíme na běžkách	MM	4:59:54	580	0	580
11	8	105	Edudant a Francimor	MM	5:00:51	570	2	568
12	2	130	Team Skischool Smržovka	MD	4:56:40	560	0	560
13	9	88	KaZby	MM	5:04:06	570	10	560
14	10	108	OutdoorOutsiders	MM	5:01:10	550	4	546



Obrázek 7 znázorňuje trasu dle výsledků navržené heuristické metody pro Výkonnější tým:

- První část trasy vede kolem přehrady Josefův Důl po rovinatém terénu. Právě na tomto úseku by tým využil nejvíce svojí zvýšenou průměrnou rychlost k tomu, aby si vytvořil časový náskok.
- Projetí kontrol s vysokým bodovým hodnocením.



Obrázek 7 – Trasa týmu navržená podle výsledků heuristické metody pro variantu Výkonnější tým, zdroj: vlastní zpracování

Porovnání výsledků Výchozí varianty a Výkonnějšího týmu je shrnuto v Tabulce 31

Tabulka 31 – Porovnání výsledků Výchozí varianty s Výkonnějším týmem, zdroj: vlastní zpracování

Veličina	Heuristická metoda – VV	Heuristická metoda – VT
Celková doba	4:46:37	4:50:04
Počet absolvovaných kontrol	14	17
Počet získaných bodů	550	640
Nedodržení časového limitu	Ne	Ne
Penalizace v bodech	0	0
Celkové umístění	13.	1.
Umístění v kategorii MM	9.	1.

Obě varianty mají stejnou trasu postupu až ke kontrole *K16*, a to z toho důvodu, že tato kontrola je hodnocena 100 body, které jsou pro úspěch v závodě klíčové. Po absolvování této kontroly se další průběh tras u jednotlivých variant rozdělí. Ve Výchozí variantě výpočet upřednostní postup do kontroly *K18*, zatímco ve variantě pro Výkonnější tým výpočet upřednostní postup do kontroly *K15*. Úsek mezi *K16* a *K15* je rovinatý, proto zde došlo k výraznému přepočtu hodnot a upřednostnění jiné dráhy. Tabulka 32 znázorňuje rozdílnost obou tras.

Tabulka 32 – Rozdílnost v rozhodování po absolvování kontroly *K16*, zdroj: vlastní zpracování

	<i>CD</i> při průjezdu kontrolou <i>K16</i>	Následující maximální hodnota $d_{ij}$ z konkrétního řádku	Následující vybraná kontrola <i>j</i>
Výchozí varianta	2:46:17	2,86	<i>K18</i>
Výkonnější tým	2:34:49	3,84	<i>K15</i>

Obě trasy se opět setkají v kontrole *K20*. Zatímco ve Výchozí variantě zbývá čas pouze pro návrat do cíle, Výkonnějšímu týmu zbývá ještě čas k projetí kontroly *K30*. Až poté je nutný návrat do cíle. Tabulka 33 ukazuje rozdílnost v pokračování trasy po absolvování kontroly *K20*.

Tabulka 33 – Rozdílnost v pokračování trasy po absolvování kontroly *K20*, zdroj: vlastní zpracování

	<i>CD</i> při průjezdu kontroly <i>K20</i>	Následující maximální hodnota $d_{ij}$ z konkrétního řádku	Následující vybraná kontrola <i>j</i>
Výchozí varianta	4:02:15	0	<i>CÍL</i>
Výkonnější tým	4:06:46	2,50	<i>K30</i>

Na přiložených obrázcích lze porovnat rozdílnost jednotlivých tras. Odlišnosti ve volbě tras jsou znázorněny bílou souvislou čarou namísto černé, respektive červené souvislé čáry. Obrázek 8 znázorňuje trasu naplánovanou heuristickou metodou pro Výchozí





## 6.2 Méně výkonný tým

Snížení průměrných rychlostí na jednotlivých typech terénu má za následek dosažení horšího celkového výsledku ve srovnání s průměrnými rychlostmi ve Výchozí variantě. Průměrné rychlosti jsou sníženy úměrně, analogicky, jak byly v podkapitole 6.1 zvýšeny u varianty Výkonnější tým. Pro lepší přehlednost jsou všechny změny uvedeny v přiložené Tabulce 34.

Tabulka 34 – Změny průměrných rychlostí v závislosti na terénu pro Méně výkonný tým, zdroj: vlastní zpracování

Typ terénu	Sklon terénu [%]	Průměrná rychlost – snižená [ $km * h^{-1}$ ]	Průměrná rychlost – výchozí [ $km * h^{-1}$ ]	Rozdíl průměrných rychlostí [ $km * h^{-1}$ ]
Prudké klesání	$\langle 10,100 \rangle$	19,5	20	0,5
Mírné klesání	$\langle 5,10 \rangle$	16	17	1
Rovina	$\langle 0,5 \rangle$	12,5	14	1,5
Mírné stoupání	$\langle 5,10 \rangle$	10	11	1
Prudké stoupání	$\langle 10,100 \rangle$	7,5	8	0,5

Analogicky dojde k přepočtu matic  $\mathbb{A} - \mathbb{D}$ . Ukázka přepočtu na části matice  $\mathbb{A}$ , v Tabulce 35.

Tabulka 35 – Fragment matice  $\mathbb{A}$  pro Méně výkonný tým, zdroj: vlastní zpracování

$\mathbb{A} - \text{Výchozí varianta}$				$\mathbb{A}^\circ - MVT$			
Z/DO	K1	K2	K3	Z/DO	K1	K2	K3
K1	0	0:09:31	0:14:53	K1	0	0:10:36	0:16:36
K2	0:11:44	0	0:10:56	K2	0:13:11	0	0:12:29
K3	0:17:05	0:10:56	0	K3	0:19:11	0:12:29	0:18:58

Pomocí navržené heuristické metody by se tým s celkovým bodovým hodnocením 490 bodů umístil na celkovém 22. místě, v rámci kategorie MM na 13. místě. Výsledky jsou shrnuty v příložené Tabulce 36.

Tabulka 36 – Výsledky závodu pro Méně výkonný tým, zdroj: vlastní zpracování

Veličina	Heuristická metoda – MVT
Celková doba	4:30:57
Počet absolvovaných kontrol	15
Počet získaných bodů	490
Nedodržení časového limitu	Ne
Penalizace v bodech	0

Výsledek přepsaný pomocí oficiálního formátu, ve kterém jsou reprezentovány celkové výsledky ostatních týmů, viz Tabulka 37

Tabulka 37 – Celkové umístění Méně výkonného týmu, zdroj: vlastní zpracování

CEL	KAT	TÝM	KAT	ČAS	Body	PEN.	CELKEM
22	13	Heuristická metoda – MVT	MM	4:30:57	490	0	490

V následující Tabulce 38 jsou uvedeny celkové výsledky závodu včetně výsledku získaného heuristickou metodou pro Méně výkonný tým.

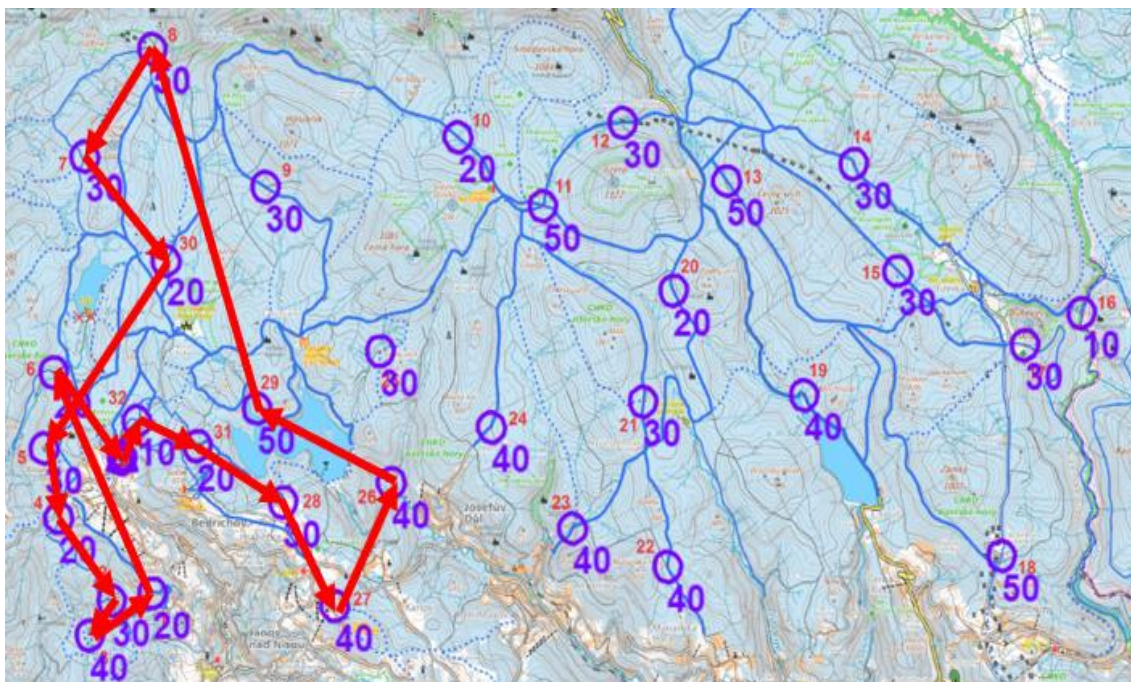
Tabulka 38 – Celkové výsledky závodu včetně výsledku navrženého heuristickou metodou pro Méně výkonný tým, zdroj: vlastní zpracování

CEL	KAT	Č.	TÝM	KAT	ČAS	Body	PEN.	CELKEM
1	1	111	Salomon - Suunto	MM	4:57:43	640	0	640
17	11	21	Small houses	MD	4:54:38	520	0	520
18	4	94	Prd a KaK	MD	4:48:14	510	0	510
19	5	14	Nevíš	MM	4:47:27	500	0	500
20	12	100	Triatlonisti	MM+	4:54:41	500	0	500
21	13	67	Frogsisters	DD	4:56:48	500	0	500
22	13		Heuristická metoda – MVT	MM	4:30:57	490	0	490
23	1	133	Potkali se na parkovišti	MM+	5:04:47	510	10	500
24	2	132	Ski a Bike Radotín	MD	4:43:45	490	0	490
25	1	44	Běžky nebo pěšky	MD	4:50:37	490	0	490
26	6	89	Bolek i Lolek	MM	5:04:07	480	10	470



Obrázek 10 znázorňuje trasu dle výsledků navržené heuristické metody pro Méně výkonný tým:

- První část postupu vede kolem přehrady Josefův Důl po rovinatém terénu.
- Pro tým není výhodné pokračovat ke kontrole K16, aby získal 100 bodů, a to z toho důvodu, že přejezd přes celou mapu by byl velice časově náročný, tudíž i získání bodového hodnocení 100 bodů by bylo kontraproduktivní.
- Projetí všemi kontrolami na západní straně závodu.



Obrázek 10 – Trasa týmu navržená heuristickou metodou pro Méně výkonný tým, zdroj: vlastní zpracování

V Tabulce 39 jsou porovnány výsledky Výchozí varianty a Méně výkonného týmu. Dle předpokladů ve všech klíčových parametrech, jako jsou počet získaných bodů, celkové umístění, umístění v kategorii, zvítězila Výchozí varianta.

Tabulka 39 – Porovnání výsledků závodu Výchozí varianty s Méně výkonným týmem, zdroj: vlastní zpracování

<b>Veličina</b>	<b>Heuristická metoda – VV</b>	<b>Heuristická metoda – MVT</b>
Celková doba	4:46:37	4:30:57
Počet absolvovaných kontrol	14	15
Počet získaných bodů	550	490
Nedodržení časového limitu	Ne	Ne
Penalizace v bodech	0	0
Celkové umístění	13.	22.
Umístění v kategorii <i>MM</i>	9.	13.

Varianty mají stejnou trasu pouze ke kontrole *K29*. Po absolvování této kontroly se trasy obou variant rozdělí. Trasa Výchozí varianty směřuje ke kontrole *K11*, trasa Méně výkonného týmu směřuje ke kontrole *K8*. Trasy obou variant se již v průběhu závodu neprotnou. V příložené tabulce je znázorněn rozdílný postup z kontroly *K29*.

Tabulka 40 – Volba postupu z kontroly *K8*, zdroj: vlastní zpracování

	<b>CD při průjezdu kontroly <i>K20</i></b>	<b>Následující maximální hodnota <math>d_{ij}</math> z konkrétního řádku</b>	<b>Následující vybraná kontrola <i>j</i></b>
Méně výkonný tým	1:21:35	2,02	<i>K8</i>
Výchozí varianta	1:10:28	2,49	<i>K25</i>







### 6.3 Porovnání výsledků jednotlivých variant

Výsledky jednotlivých variant potvrdily domněnku, že individuální výkonnost, která je reprezentována změnami průměrných rychlostí na jednotlivých typech terénu, má vliv na celkový výsledek závodu. Všechny vypočtené varianty lze reálně využít v závodě. Výchozí varianta odpovídá výkonnosti autora práce. Výkonnější tým odpovídá týmům, které se řadí k amatérské běžkařské elitě, což potvrdilo i umístění na prvním místě v závodě. V Tabulce 41 vidíme porovnání jednotlivých variant.

Tabulka 41 – Celkové porovnání jednotlivých variant, zdroj: vlastní zpracování

<b>Veličina</b>	<b>Heuristická metoda – MVT</b>	<b>Heuristická metoda – VV</b>	<b>Heuristická metoda – VT</b>
Celková doba	4:30:57	4:46:37	4:50:04
Počet absolvovaných kontrol	15	14	17
Počet získaných bodů	490	550	640
Nedodržení časového limitu	Ne	Ne	Ne
Penalizace v bodech	0	0	0
Celkové umístění	22.	13.	1.
Umístění v kategorii MM	13.	9.	1.

## 7. Zvýšení časového limitu na hodnotu *OLZ*

Oficiální limit závodu je stanoven na 5:00:00. Z důvodu zabezpečení rezervy pro případné zdržení na trase, jako je například potřeba občerstvení nebo ztráta orientace, bylo počítáno s limitem 4:55:00. Časová rezerva ve výši 5 minut je minimální, avšak během této doby je možné na rovinném terénu při rychlosti  $14 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  absolvovat vzdálenost o délce přibližně 1,16 km. Platí tedy, že čím vyšší výkonnosti tým dosahuje, tím menší časovou rezervu by si mohl ponechat.

Při překročení oficiálního limitu závodu nastává penalizace. Pravidla penalizace byla uvedena v podkapitole 2.1. Výše penalizace je závislá na čase, o který tým dosáhne cíle po ukončení oficiálního limitu. Při opatrné volbě by se dala penalizace využít k vylepšení celkového výsledku. Podstatné je určit „bod rentability penalizace“, viz Tabulka 42. Pro určení bodu rentability penalizace je použito výchozí řešení. Při překročení časového limitu bylo uvažováno pouze s kontrolami vyznačujícími se bodovým hodnocením 20 až 50 bodů. Na základě této informace je možné stanovit intervaly, ve kterých je výhodné obdržet penalizaci pro jednotlivé bodové hodnocení. Intervaly jsou vypsány v příložené tabulce.

Tabulka 42 – Určení bodu rentability penalizace, zdroj: vlastní zpracování

<b>Bodové hodnocení</b>	<b>Interval, ve kterém je penalizace výhodná pro dané bodové hodnocení</b>	<b>Výše penalizace v bodech za příjezd do cíle v rámci intervalu</b>	<b>Jisté bodové hodnocení v rámci intervalu po odečtení penalizace</b>
20	5:00:00 – 5:05:59	<2;15>	<5; 18>
30	5:00:00 – 5:07:59	<2; 25>	<5; 28>
40	5:00:00 – 5:09:59	<2; 35>	<5; 38>
50	5:00:00 – 5:11:59	<2; 45>	<5; 48>

V rámci Výchozího varianty je časový limit závodu posunut z času 4:55:00 na 5:00:00. Pokud tým dosáhne cíle v čase 5:00:00 včetně, žádná penalizace není uplatněna. Dále je čas příjezdu do cíle posouván po jedné minutě od času 5:00:00 až do času 5:11:59. Právě v tomto rozmezí je možné vylepšit celkový výsledek závodu. Oddalování času příjezdu do cíle po uplynutí oficiálního limitu závodu a měnící se bodové hodnocení jsou zobrazeny v Tabulce 43.

Tabulka 43 – Navyšování času příjezdu do cíle ve Výchozí variantě, zdroj: vlastní zpracování

Čas příjezdu do cíle	Penalizace	Kontrola navíc v daném intervalu	Bodové hodnocení za danou kontrolu	Bodové hodnocení po odečtení penalizace	Celkové bodové hodnocení po započtení penalizace
4:55:00 – 4:59:59	0	K20	20	20	570
5:00:00 – 5:00:59	2	-	0	0	
5:01:00 – 5:01:59	4	-	0	0	
5:02:00 – 5:02:59	6	-	0	0	
5:03:00 – 5:03:59	8	-	0	0	
5:04:00 – 5:04:59	10	-	0	0	
5:05:00 – 5:05:59	15	K10	20	5	555
5:06:00 – 5:06:59	20	-	0	0	
5:07:00 – 5:07:59	25	-	0	0	
5:08:00 – 5:08:59	30	-	0	0	
5:09:00 – 5:09:59	35	K14	30	-5	545
5:09:00 – 5:09:59	35	K21	30	-5	545
5:09:00 – 5:09:59	35	K30	20	-15	535
5:10:00 – 5:10:59	40	-		0	
5:11:00 – 5:11:59	45	-	0	0	
5:12:00 – 5:12:59	50	-	0	0	

Z Tabulky 43 vyplývá, že zvýšení časového limitu na 4:59:59 má pozitivní výsledek na celkové bodové hodnocení. Tým získá o 20 bodů více než při původním časovém limitu. Další možností je nastavit limit závodu na 5:05:59. Při této variantě by tým obdržel penalizaci v hodnotě -15 bodů, avšak zároveň by získal 20 bodů za projetí kontroly K10. Po přičtení penalizace k bodovému hodnocení tým více bodů získá, než které po započtení penalizace ztratí.

## 8. Zhodnocení efektivity navržené heuristické metody

Výsledky navržené heuristiky budou nyní porovnány s optimálním řešením dané úlohy. Optimální řešení bylo získáno s využitím metod lineárního programování. [5]

### 8.1 Porovnání v podmínkách Vlastního limitu

Porovnání výsledků dosažených heuristickou metodou a optimálního řešení je provedeno v Tabulce 44.

Tabulka 44 – Výsledky heuristické metody a optimálního řešení pro Výchozí variantu – VL, zdroj: vlastní zpracování

Veličina	Heuristická metoda	Optimální řešení
Celková doba	4:46:37	4:53:46
Počet absolvovaných kontrol	14	20
Počet získaných bodů	550	690
Nedodržení časového limitu	Ne	Ne
Penalizace v bodech	0	0
Celkové umístění	13.	1.
Umístění v kategorii MM	9.	1.

Při stanoveném vlastním limitu 4:55:00 je na základě statistik patrné, že uplatněním optimálního řešení získá tým více bodů a dosáhne lepšího celkové umístění než v případě navržené heuristické metody.

V Tabulce 45 jsou vypsána pořadí absolvovaných kontrol pro jednotlivá řešení. Zelenou barvou jsou zvýrazněny kontroly, které jsou pro obě řešení společné. Z tabulky vyplývá, že metody mají shodných 11 kontrol (kromě *START/CÍL*).

Tabulka 45 – Pořadí absolvovaných kontrol při obou řešeních, zdroj: vlastní zpracování

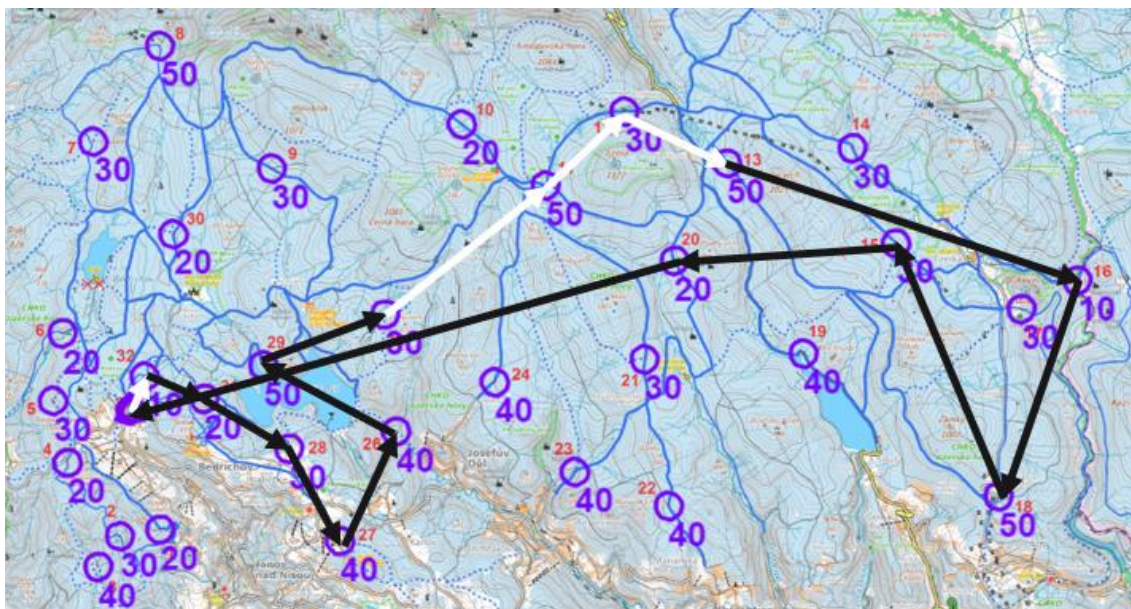
	Heuristická metoda	Optimální řešení
<b>Posloupnost kontrol</b>	$START \rightarrow K32 \rightarrow K31 \rightarrow K28$ $\rightarrow K27 \rightarrow K26 \rightarrow K29 \rightarrow K25$ $\rightarrow K11 \rightarrow K12 \rightarrow K13 \rightarrow K16$ $\rightarrow K18 \rightarrow K15 \rightarrow K20 \rightarrow CÍL$	$START \rightarrow K32 \rightarrow K30 \rightarrow K29 \rightarrow$ $K31 \rightarrow K27 \rightarrow K28 \rightarrow K26 \rightarrow K25$ $\rightarrow K11 \rightarrow K12 \rightarrow K13 \rightarrow K20 \rightarrow$ $K19 \rightarrow K15 \rightarrow K17 \rightarrow K16 \rightarrow K14$ $\rightarrow K6 \rightarrow K5 \rightarrow K4 \rightarrow CÍL$

Na obrázcích 13 a 14 jsou zobrazeny trasy pro jednotlivá řešení. Černá souvislá čára reprezentuje trasu navrženou heuristickou metodou, žlutá souvislá čára reprezentuje trasu vycházející z optimálního řešení. Bílou barvou jsou vyznačeny úseky, které jsou shodné. Obě varianty mají sice společných 11 kontrol, ale trasy jsou shodné pouze ve 4 společných úsecích, a to:

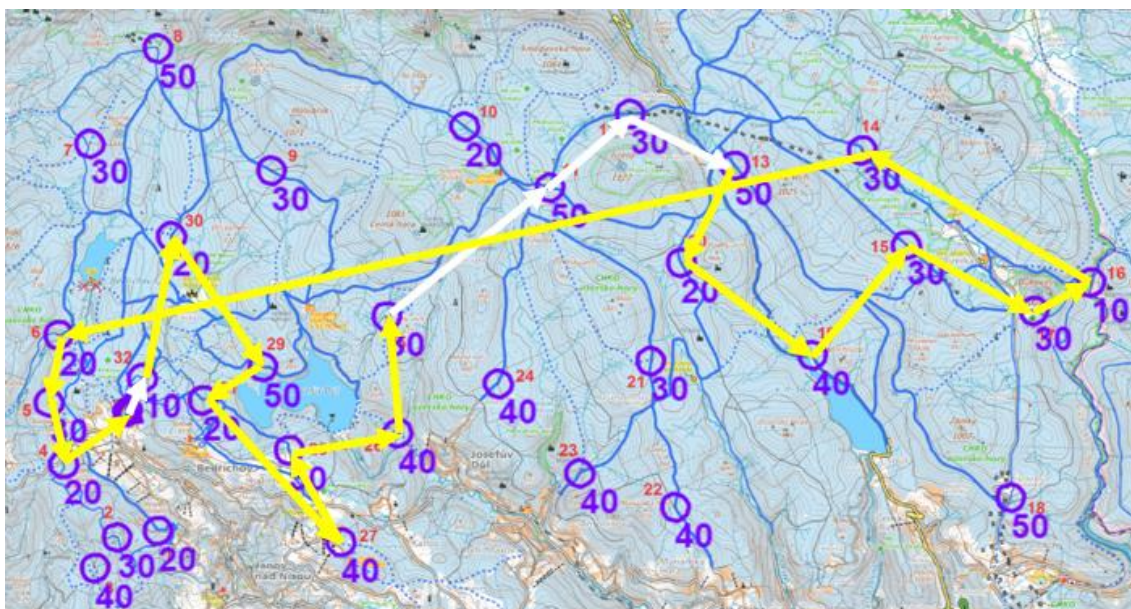
- $START \rightarrow K32$
- $K25 \rightarrow K11 \rightarrow K12 \rightarrow K13$

Legenda k mapám pro kapitulu 7:

- černá souvislá čára – trasa navržená podle výsledků heuristické metody,
- žlutá souvislá čára – trasa navržená podle optimálního řešení,
- bílou souvislá čára – společné úseky obou tras.



Obrázek 13 – Trasa týmu navržená heuristickou metodou pro Výchozí variantu – VL, zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 14 – Trasa týmu navržená podle optimálního řešení pro Výchozí variantu – VL, zdroj: vlastní zpracování



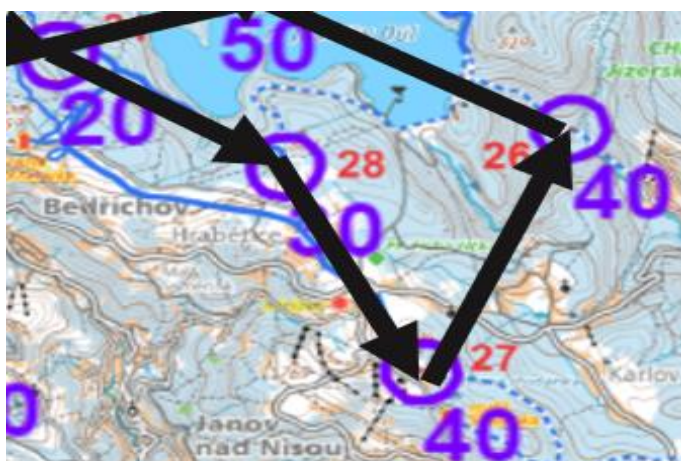
Rozdíly ve variantách řešení jsou nejlépe viditelné na oblasti pod vodní nádrží Josefův Důl. Trasa podle výsledků navržené heuristické metody je vedena ve směru:

- $K31 \rightarrow K28 \rightarrow K27 \rightarrow K26$

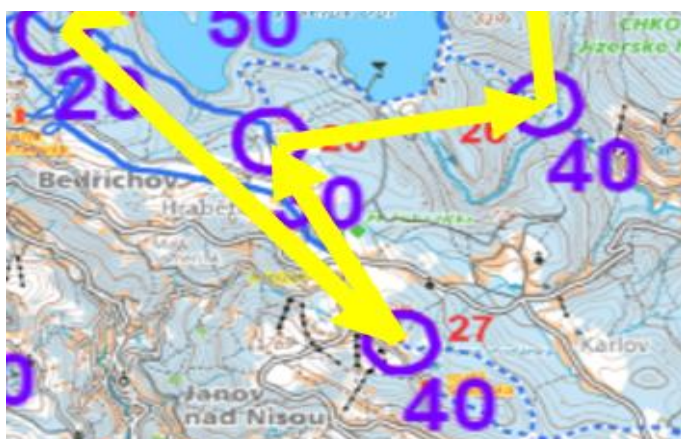
Trasa určená podle optimálního řešení je vedena ve směru:

- $K31 \rightarrow K27 \rightarrow K28 \rightarrow K26$

Detail zobrazení oblasti pod vodní nádrží Josefův Důl je viditelný na obrázcích 15 a 16. Obrázek 15 reprezentuje výsledek heuristické metody, zatímco Obrázek 16 reprezentuje optimální řešení.



Obrázek 15 – Detail trasy v oblasti pod vodní nádrží Josefův Důl navržené heuristickou metodou pro Výchozí variantu – VL, zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 16 – Detail trasy v oblasti pod vodní nádrží Josefův Důl dle optimálního řešení pro Výchozí variantu – VL, zdroj: vlastní zpracování

Výsledky obou variant je možné v závodě využít. Tým, který by použil trasu navrženou podle optimálního řešení, by závod vyhrál. Největší rozdíl mezi oběma variantami je v tom, že pomocí heuristické metody se tým snaží nalézt a projet kontrolou s co nejvyšším bodovým hodnocením, přičemž zanedbává ostatní kontroly v okolí. Optimální řešení je pravým opakem, kdy při cestě za co nejvyšším bodovým ohodnocením tým projíždí také kontroly s nižším bodovým hodnocením. Přehled absolvovaných kontrol podle jejich bodových hodnocení v rámci obou řešení je uveden v Tabulce 46.

Tabulka 46 – Přehled absolvovaných kontrol podle jejich bodových hodnocení pro Výchozí variantu - VL, zdroj: vlastní zpracování

Bodové hodnocení	Heuristická metoda	Optimální řešení
10	1	1
20	2	5
30	4	7
40	2	3
50	4	3
100	1	1

Tabulka 46 potvrzuje, že klíčem není projetí kontrol s nejvyšším bodovým hodnocením, ale kombinace kontrol s vysokým bodovým hodnocením a zároveň co největšího počtu kontrol s nižším bodovým hodnocením, které leží v přilehlém okolí. Jako příklad je použita kontrola K18. Zatímco na trase podle heuristické metody existuje pořadí kontrol  $K16 \rightarrow K18 \rightarrow K15 \rightarrow K20$ , kde kontrola K18 je hodnocena 50 body, zároveň je ale tato kontrola velmi vzdálená od ostatních kontrol, na trase podle optimálního řešení je upřednostněno pořadí  $K16 \rightarrow K17 \rightarrow K15 \rightarrow K19 \rightarrow K20$ . Bodové hodnocení kontrol K17 a K18 je 30 a 40 bodů, ale tyto kontroly leží poblíž sebe. Optimálním řešením je tedy upřednostnit projíždění kontrol s nižším bodovým hodnocením, které se nachází poblíž sebe, než projíždění kontrol s vysokým bodovým hodnocením, které jsou příliš vzdálené od kontrol ostatních. Domněnka je potvrzena v Tabulce 47.



Tabulka 47 – Porovnání úseků mezi kontrolami *K16* a *K20*, zdroj: vlastní zpracování

Veličina	Heuristická metoda	Optimální řešení
Posloupnost kontrol	<i>K16</i> → <i>K18</i> → <i>K15</i> → <i>K20</i>	<i>K16</i> → <i>K17</i> → <i>K15</i> → <i>K19</i> → <i>K20</i>
Bodové hodnocení mezi <i>K16</i> – <i>K20</i>	80	100
Celková doba	1:20:29	1:09:35

## 8.2 Porovnání v podmínkách Oficiálního limitu závodu

Při zachování *OLZ*, kterým je čas 5:00:00, je na základě získaného optimálního řešení patrné, že tým by se umístil na celkovém 1. místě. Pomocí návrhu heuristické metody se výsledek týmu zlepší o 30 bodů, u optimálního řešení se bodové hodnocení zvýší pouze o 10 bodů, viz Tabulka 48.

Tabulka 48 – Výsledky heuristické metody a optimálního řešení pro Výchozí variantu - *OLZ*, zdroj: vlastní zpracování

Veličina	Heuristická metoda	Optimální řešení
Celková doba	4:49:22	4:58:24
Počet absolvovaných kontrol	15	20
Počet získaných bodů	580	700
Nedodržení časového limitu	Ne	Ne
Penalizace v bodech	0	0
Celkové umístění	8.	1.
Umístění v kategorii <i>MM</i>	6.	1.

V Tabulce 49 jsou vypsána pořadí absolvovaných kontrol pro jednotlivá řešení. Zelenou barvou jsou opět zvýrazněny ty kontroly, které mají obě varianty společné. Z tabulky vyplývá, že metody mají shodných 12 kontrol (kromě *START/CÍL*).

Tabulka 49 – Pořadí absolvovaných kontrol při obou řešeních, zdroj: vlastní zpracování

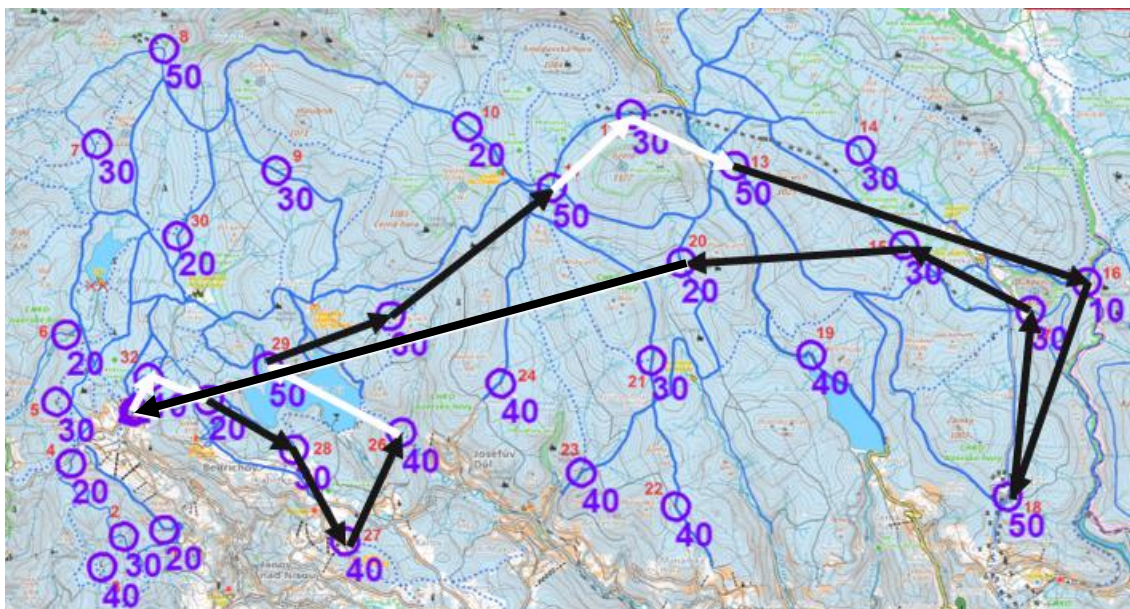
	Heuristická metoda	Optimální řešení
<b>Posloupnost kontrol</b>	$START \rightarrow K32 \rightarrow K31 \rightarrow K28$ $\rightarrow K27 \rightarrow K26 \rightarrow K29 \rightarrow K25$ $\rightarrow K11 \rightarrow K12 \rightarrow K13 \rightarrow K16$ $\rightarrow K18 \rightarrow K17 \rightarrow K15 \rightarrow K20$ $\rightarrow CÍL$	$START \rightarrow K32 \rightarrow K31 \rightarrow K27 \rightarrow$ $K28 \rightarrow K26 \rightarrow K29 \rightarrow K30 \rightarrow K7$ $\rightarrow K8 \rightarrow K10 \rightarrow K11 \rightarrow K12 \rightarrow$ $K13 \rightarrow K15 \rightarrow K17 \rightarrow K16 \rightarrow$ $K14 \rightarrow K6 \rightarrow K5 \rightarrow K4 \rightarrow CÍL$

Na Obrázcích 17 a 18 jsou trasy pro jednotlivá řešení zobrazeny. Obrázek 17 představuje trasu navrženou podle heuristické metody pro variantu *OLZ*. Obrázek 18 znázorňuje trasu navrženou podle optimálního řešení. Zajímavostí je vedení trasy z kontroly *K17* do kontroly *K15*. Obě trasy vedou přes obě zmíněné kontroly, ale kontroly jsou absolvovány v opačném pořadí.

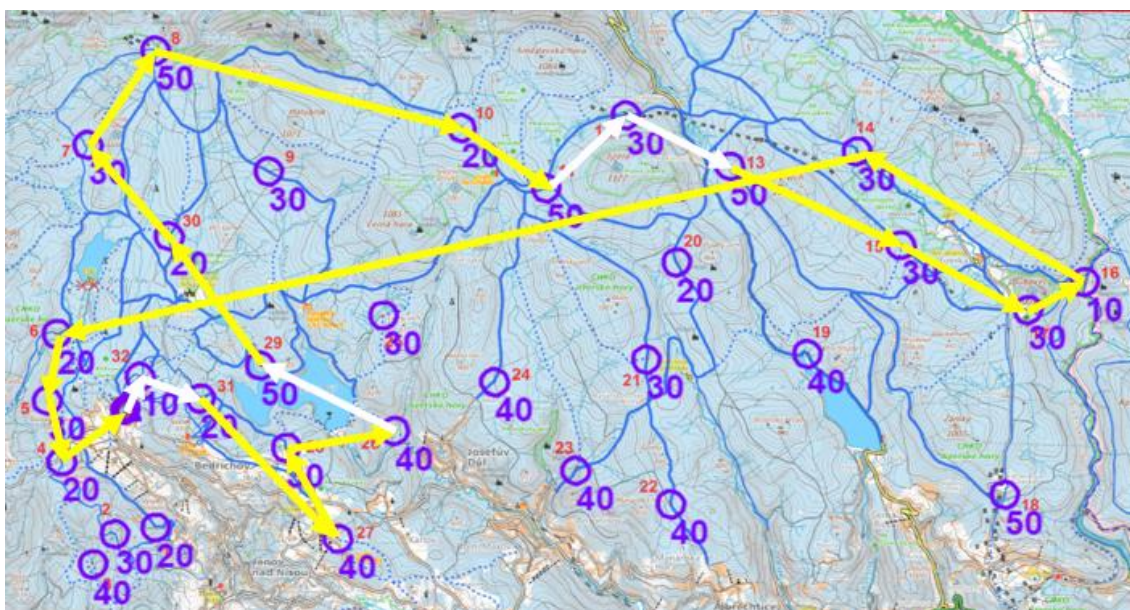
- heuristická metoda:  $K17 \rightarrow K15$ ,
- optimální řešení:  $K15 \rightarrow K17$ .

Celkem mají obě varianty společných 12 kontrol, avšak obě trasy se shodují v 5 společných úsecích, a to:

- $START \rightarrow K32 \rightarrow K31$
- $K26 \rightarrow K29$
- $K11 \rightarrow K12 \rightarrow K13$



Obrázek 17 – Trasa týmu navržená heuristickou metodou pro Výchozí variantu – OLZ, zdroj: vlastní zpracování

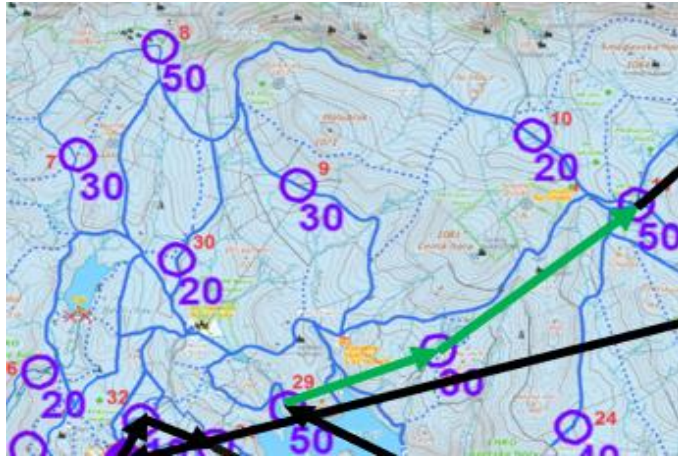


Obrázek 18 – Trasa týmu navržená podle optimálního řešení pro Výchozí variantu – OLZ, zdroj: vlastní zpracování

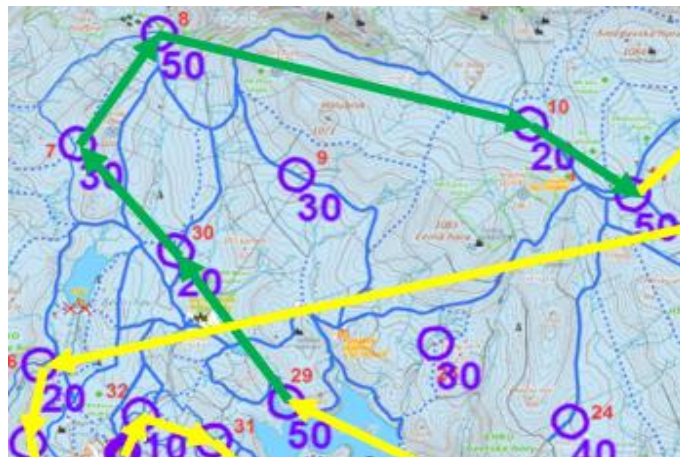
Rozdíly ve vedení tras jsou nejlépe viditelné v úsecích mezi kontrolami K29 a K11. Heuristická metoda vybrala jako následující kontrolu K25, a to z toho důvodu, že tato kontrola má bodové hodnocení ve výši 30 bodů a zároveň leží v bezprostřední blízkosti kontroly K25. Dále tým pokračuje do kontroly K11. Optimální řešení směřuje z kontroly K29 do kontroly K30, která má bodové hodnocení pouze 20 bodů, následuje kontrola K7, která je bodově hodnocena 30 body. Další je kontrola K8 s bodovým hodnocením 50 bodů. Následně kontrola K10 s bodovým hodnocením 20 bodů a z té teprve přejezd



ke kontrole *K11*. Rozdílné postupy jsou znázorněny na Obrázku 19 a 20. Obrázek 19 znázorňuje detail trasy mezi kontrolami *K29* a *K11* podle výsledků heuristické metody, Obrázek 20 znázorňuje detail trasy mezi kontrolami *K29* a *K11* podle výsledků optimálního řešení. Pro přehlednost jsou trasy zvýrazněny zelenou čarou.



Obrázek 19 – Detail trasy týmu mezi kontrolami *K29* → *K11* na základě navržené heuristické metody – *OLZ*, zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 20 – Detail trasy týmu mezi kontrolami *K29* → *K11* podle optimálního řešení – *OLZ*, zdroj: vlastní zpracování

V Tabulce 50 jsou porovnány možnosti přejezdu mezi kontrolami  $K29 \rightarrow K11$ .

Tabulka 50 – Porovnání tras mezi kontrolami  $K29$  a  $K11$ , zdroj: vlastní zpracování

	Heuristická metoda	Optimální řešení
Posloupnost kontrol	$K29 \rightarrow K25 \rightarrow K11$	$K29 \rightarrow K30 \rightarrow K7 \rightarrow K8$ $\rightarrow K10 \rightarrow K11$
Bodové hodnocení mezi $K29 \rightarrow K11$	80	170
Celková doba	0:44:45	1:28:37

Výsledky heuristické metody i optimálního řešení je možné v závodě využít. Obě varianty mají shodný počet kontrol s bodovým hodnocením 10, 40, 50 a 100 bodů. Rozdíl je v počtu kontrol, které jsou bodově hodnoceny 20 a 30 body. Přehled absolvovaných kontrol podle jejich bodových hodnocení v rámci obou řešení je shrnut v Tabulce 51.

Tabulka 51 – Přehled absolvovaných kontrol podle jejich bodového hodnocení – *OLZ*, zdroj: vlastní zpracování

Bodové hodnocení	Heuristická metoda	Optimální řešení
10	1	1
20	2	5
30	5	7
40	2	2
50	4	4
100	1	1

### 8.3 Porovnání v podmínkách Penalizace

Na základě výsledků heuristické metody se týmu nevyplatí kalkulovat s nedodržením časového limitu a penalizací, protože celkové bodové hodnocení dosažené ve variantě s *OLZ* je vyšší než ve variantě Penalizace. Avšak optimální řešení varianty Penalizace přináší vyšší celkové bodové hodnocení ve srovnání s optimálním řešením varianty *OLZ*. Výsledky pro heuristickou metodu a optimální řešení jsou shrnuty v Tabulce 52.

Tabulka 52 – Výsledky heuristické metody a optimálního řešení pro Výchozí variantu – Penalizace, zdroj: vlastní zpracování

Veličina	Heuristická metoda	Optimální řešení
Celková doba	5:05:59	5:02:46
Počet absolvovaných kontrol	15	21
Počet získaných bodů	555	704
Nedodržení časového limitu	Ano	Ano
Penalizace v bodech	15	6
Celkové umístění	13.	1.
Umístění v kategorii <i>MM</i>	9.	1.

Na obou trasách je absolvováno 12 stejných kontrol kromě *START/CÍL*. V Tabulce 53 jsou vypsána pořadí absolvovaných kontrol pro obě řešení. Kontroly společné pro obě varianty jsou zvýrazněny zelenou barvou.

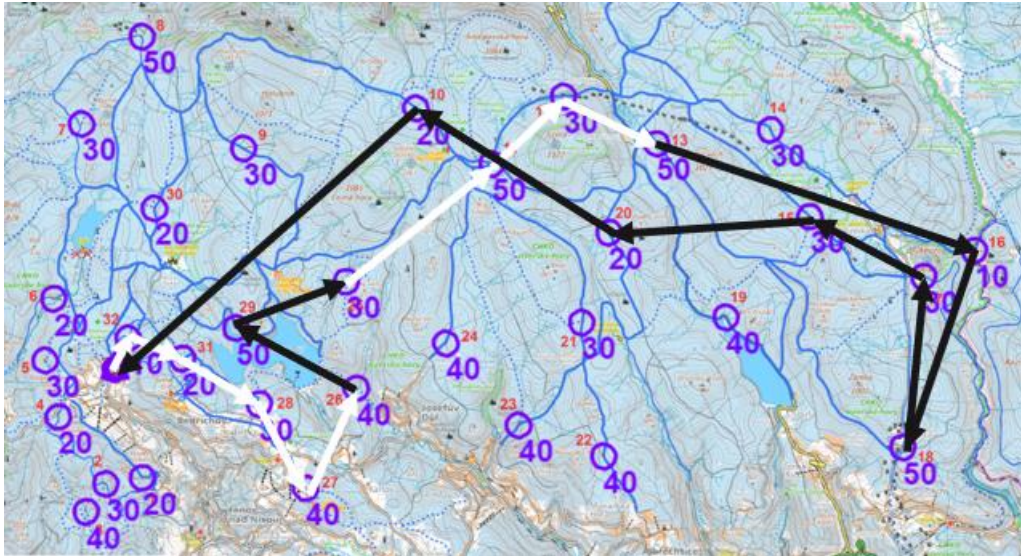
Tabulka 53 – Pořadí absolvovaných kontrol při obou řešeních, zdroj: vlastní zpracování

	Heuristická metoda	Optimální řešení
<b>Posloupnost kontrol</b>	<i>START</i> → <i>K32</i> → <i>K31</i> → <i>K28</i> → <i>K27</i> → <i>K26</i> → <i>K29</i> → <i>K25</i> → <i>K11</i> → <i>K12</i> → <i>K13</i> → <i>K16</i> → <i>K18</i> → <i>K17</i> → <i>K15</i> → <i>K20</i> → <i>K10</i> → <i>CÍL</i>	<i>START</i> → <i>K32</i> → <i>K31</i> → <i>K28</i> → <i>K27</i> → <i>K26</i> → <i>K25</i> → <i>K11</i> → <i>K12</i> → <i>K13</i> → <i>K20</i> → <i>K19</i> → <i>K15</i> → <i>K17</i> → <i>K16</i> → <i>K14</i> → <i>K6</i> → <i>K5</i> → <i>K1</i> → <i>K2</i> → <i>K3</i> → <i>K4</i> → <i>CÍL</i>

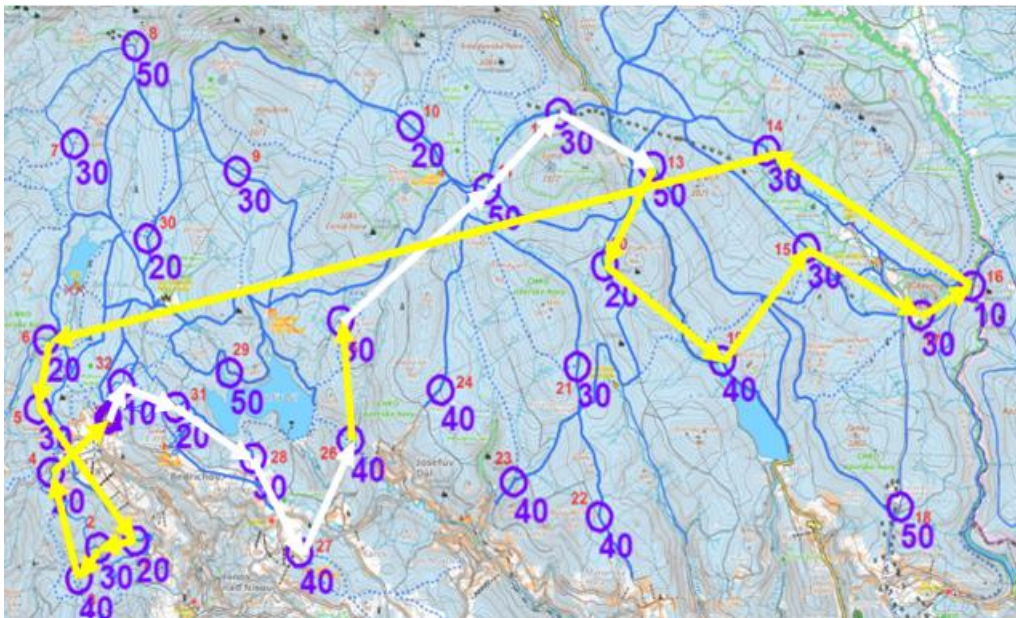
Na Obrázcích 21 a 22 jsou zobrazeny jednotlivé trasy pro variantu Penalizace. Obrázek 21 znázorňuje trasu podle heuristické metody, Obrázek 22 znázorňuje vedení trasy dle optimálního řešení. Obě varianty mají společných 12 kontrol (kromě *START/CÍL*), obě trasy se shodují v 8 společných úsecích, a to:



- $START \rightarrow K32 \rightarrow K31 \rightarrow K28 \rightarrow K27 \rightarrow K26$ ,
- $K25 \rightarrow K11 \rightarrow K12 \rightarrow K13$ .



Obrázek 21 – Trasa týmu navržená heuristickou metodou pro Výchozí variantu – Penalizace, zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 22 – Trasa týmu podle výsledků optimálního řešení pro Výchozí variantu – Penalizace, zdroj: vlastní zpracování

Trasy získané oběma metodami byly v úvodní fázi (až do kontroly  $K25$ ) téměř shodné s jediným rozdílem, a to v části trasy z kontroly  $K26$  na kontrolu  $K25$ . Další odlišnost je podobná jako ve variantě s  $VL$ . Trasa podle výsledků heuristické metody směřuje z kontroly  $K16$  do kontroly  $K18$  za účelem získání bodového hodnocení 50 bodů a dále

do vrcholu *K17*. Optimální řešení vede tým z kontroly *K17* přímo do kontroly *K16*. Bodové hodnocení je sice nižší, ale je kompenzován ušetřeným časem a lepší návazností na ostatní kontroly. V Tabulce 54 je uveden přehled absolvovaných kontrol podle jejich bodových hodnocení v rámci obou řešení.

Tabulka 54 – Přehled absolvovaných kontrol podle jejich bodových hodnocení – Penalizace, zdroj: vlastní zpracování

Bodové hodnocení kontrol	Heuristická metoda	Optimální řešení
10	1	1
20	3	5
30	5	8
40	2	3
50	4	2
100	1	1

Na této variantě je také porovnáno optimální řešení pro *OLZ* s optimálním řešením pro Penalizaci. V Tabulce 55 jsou jednotlivé varianty porovnány.

Tabulka 55 – Porovnání variant optimálního řešení pro Výchozí variantu – *OLZ* a Penalizace, zdroj: vlastní zpracování

Veličina	Optimální řešení – <i>OLZ</i>	Optimální řešení – Penalizace
Celková doba	4:58:24	5:02:46
Počet absolvovaných kontrol	20	21
Počet získaných bodů	700	704
Nedodržení časového limitu	Ne	Ne
Penalizace v bodech	0	6
Celkové umístění	1.	1.
Umístění v kategorii <i>MM</i>	1.	1.

Z Tabulky 55 vyplývá, že práce s penalizací je velice zrádná. Varianta Penalizace je v celkovém součtu bodů lepší pouze o 4 body než varianta pro *OLZ*. Heuristická metoda ani optimální řešení však nepočítá s náhodnými faktory, které mohou vést k neplánovanému zpoždění týmu, např. s občerstvením na trati. Jako příklad lze uvést situaci vycházející z Tabulky 55, kde jsou brány v úvahu dva týmy na stejné fyzické úrovni. První tým zvolí variantu Penalizace. Druhý tým zvolí variantu *OLZ*. Nechť např. oba týmy zapomenou na to, že se během závodu musí občerstvit a že toto občerstvení



zabere 3 minuty. Výsledkem je, že tým, který jede dle varianty *OLZ*, dosáhne cíle s celkovým časem 5:01:24. Tým držící se varianty Penalizace dosáhne cíle až v čase 5:05:46. Vliv zdržení ve výši 3 minut na výsledky obou týmů je popsán v Tabulce 56.

Tabulka 56 – Vliv penalizace na optimální řešení, zdroj: vlastní zpracování

Veličina	Optimální řešení – <i>OLZ</i>	Optimální řešení – Penalizace
Celková doba bez náhodných vlivů	4:58:24	5:02:46
Počet získaných bodů	700	704
Časová náročnost občerstvení	0:03:00	0:03:00
Celková doba s náhodnými vlivy	5:01:24	5:05:46
Penalizace v bodech	4	15
Celkový počet bodů	696	689

## 8.4 Porovnání v podmínkách Výkonnějšího týmu

Varianta Výkonnějšího týmu je počítána pro *VL*. Výsledky shrnuté v Tabulce 57 dokazují, že na trase navržené podle optimálního řešení získá tým více bodů a v té souvislosti i lepší umístění v závodě než na trase navržené pomocí heuristické metody.

Tabulka 57 – Výsledky heuristické metody a optimálního řešení pro variantu Výkonnějšího týmu – *VL*, zdroj: vlastní zpracování

Veličina	Heuristická metoda	Optimální řešení
Celková doba	4:50:04	4:52:32
Počet absolvovaných kontrol	17	22
Počet získaných bodů	640	740
Nedodržení časového limitu	Ne	Ne
Penalizace v bodech	0	0
Celkové umístění	1.	1.
Umístění v kategorii <i>MM</i>	1.	1.

V příložené Tabulce 58 jsou vypsána pořadí absolvovaných kontrol pro obě řešení. Zelená barva zvýrazňuje ty kontroly, které jsou pro obě varianty společné. Z tabulky vyplývá, že metody mají shodných 12 kontrol. (kromě *START/CÍL*)

Tabulka 58 – Porovnání tras navržených heuristickou metodou a optimálním řešením, zdroj: vlastní zpracování

	Heuristická metoda	Optimální řešení
<b>Posloupnost kontrol</b>	$START \rightarrow K32 \rightarrow K31 \rightarrow$ $K28 \rightarrow K27 \rightarrow K26 \rightarrow K29 \rightarrow$ $K25 \rightarrow K11 \rightarrow K12 \rightarrow K13 \rightarrow$ $K16 \rightarrow K15 \rightarrow K17 \rightarrow K18 \rightarrow$ $K19 \rightarrow K20 \rightarrow K30 \rightarrow CÍL$	$START \rightarrow K32 \rightarrow K31 \rightarrow K27 \rightarrow$ $K28 \rightarrow K26 \rightarrow K29 \rightarrow K30 \rightarrow K7$ $\rightarrow K8 \rightarrow K10 \rightarrow K11 \rightarrow K12 \rightarrow$ $K13 \rightarrow K19 \rightarrow K15 \rightarrow K17 \rightarrow K16$ $\rightarrow K14 \rightarrow K6 \rightarrow K5 \rightarrow K4 \rightarrow CÍL$

Na obrázcích 23 a 24 je zobrazeno vedení tras dle heuristické metody a optimálního řešení. Obě varianty procházejí 5 stejnými úseky:

- $START \rightarrow K32 \rightarrow K31$ ,
- $K26 \rightarrow K29$ ,
- $K12 \rightarrow K13$
- $K15 \rightarrow K17$



Trasu navržené podle výsledku heuristické metodou i výsledku optimálního řešení lze v závodě využít. Zároveň obě varianty vedou k vítězství týmu jak ve své kategorii, tak i v celkovém pořadí.

Problémem heuristické metody z hlediska bodového hodnocení je opět kontrola *K18*, která sice přináší vysoké bodové hodnocení, ale za cenu vysokého času přejezdu, který by mohl být využit efektivněji. V Tabulce 59 je uveden přehled absolvovaných kontrol podle jejich bodových hodnocení v rámci obou řešení.

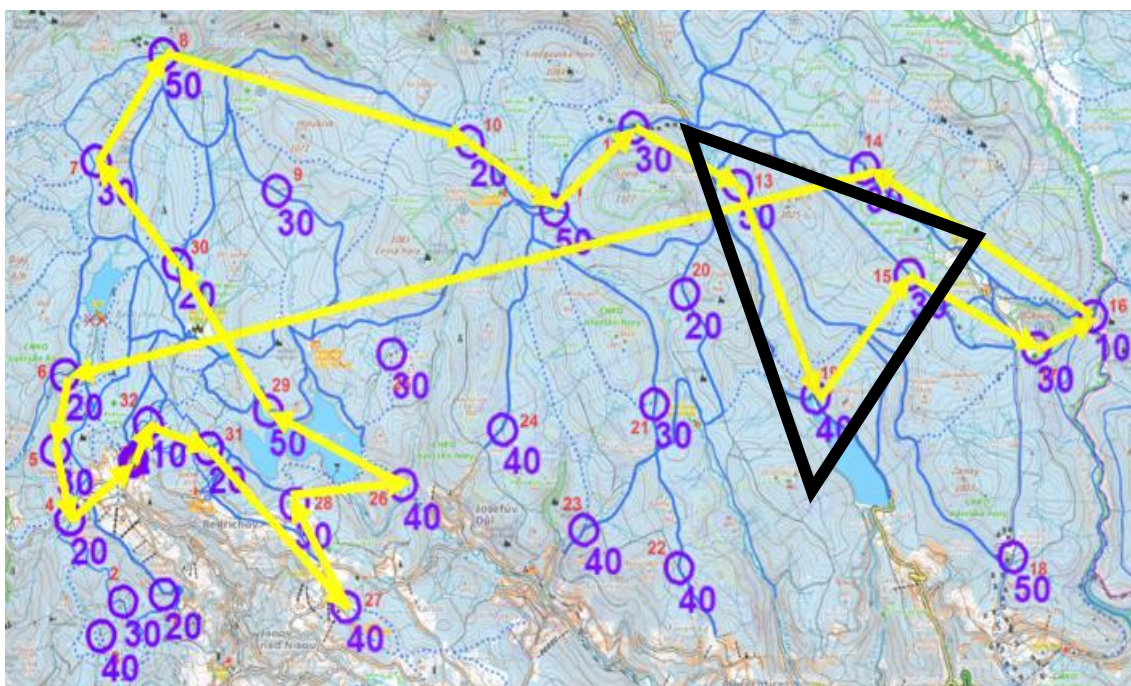
Tabulka 59 – Přehled absolvovaných kontrol podle jejich bodového hodnocení - *VT*, zdroj: vlastní zpracování

Bodové hodnocení kontrol	Heuristická metoda	Optimální řešení
10	1	1
20	3	5
30	5	7
40	3	3
50	4	4
100	1	1

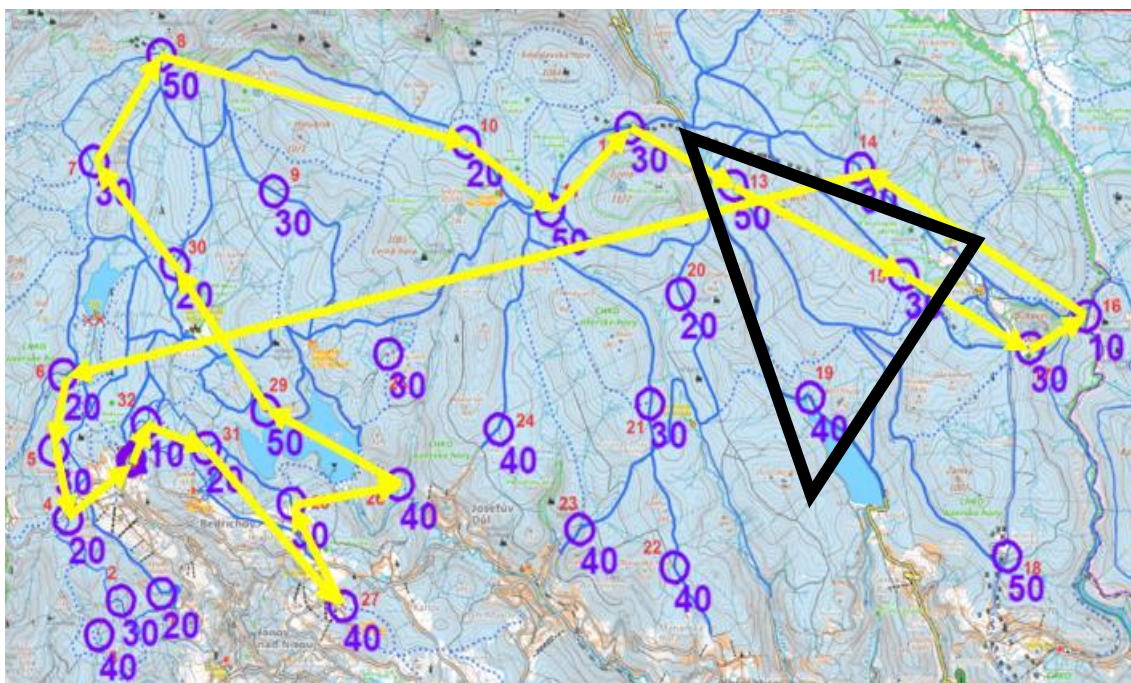
Z Tabulky 59 je zřejmé, že počet projetych kontrol s vysokým bodovým hodnocením (40, 50, 100) je totožný, avšak rozdíl nastává v počtu kontrol s nižším bodovým hodnocením (10, 20, 30), kterých je více v optimálním řešení.

Trasa optimálního řešení varianty Výkonnějšího týmu je shodná s optimálním řešením varianty *OLZ*. Jediným rozdílem je kontrola *K19*, která není ve variantě *OLZ* absolvována, na rozdíl od varianty Výkonnějšího týmu. Obě varianty jsou znázorněny na Obrázku 25 a 26. Horní mapa reprezentuje variantu *OLZ*, spodní mapa je pro variantu Výkonnějšího týmu. V černém trojúhelníku je zvýrazněna oblast kolem kontroly *K19*, která tvoří jediný rozdíl mezi variantami.





Obrázek 25 – Rozdíl vedení trasy u optimálního řešení – OLZ, zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 26 – Rozdíl vedení trasy u optimálního řešení – Výkonnější tým, zdroj: vlastní zpracování

## 8.5 Porovnání v podmínkách Méně výkonného týmu

Varianta pro Méně výkonný tým je počítána pro *VL*. Výsledky v příložené Tabulce 60 ukazují, že pomocí optimálního řešení získá tým více bodů a v té souvislosti i lepší umístění v závodě než pomocí heuristické metody. Pomocí optimálního řešení by se tým umístil na děleném 1. – 3. místě jak ve své kategorii, tak i v celkovém pořadí.

Tabulka 60 – Výsledky heuristické metody a optimálního řešení pro variantu Méně výkonných týmů – *VL*, zdroj: vlastní zpracování

Veličina	Heuristická metoda	Optimální řešení
Celková doba	4:30:57	4:47:27
Počet absolvovaných kontrol	15	18
Počet získaných bodů	490	620
Nedodržení časového limitu	Ne	Ne
Penalizace v bodech	0	0
Celkové umístění	22.	1. – 3.
Umístění v kategorii <i>MM</i>	13.	1. – 3.

V Tabulce 61 jsou vypsána pořadí absolvovaných kontrol pro jednotlivá řešení. Zelená barva zvýrazňuje kontroly, které mají obě varianty společné, konkrétně je to 6 kontrol (kromě *START/CÍL*). Obě trasy mají 5 společných úseků.

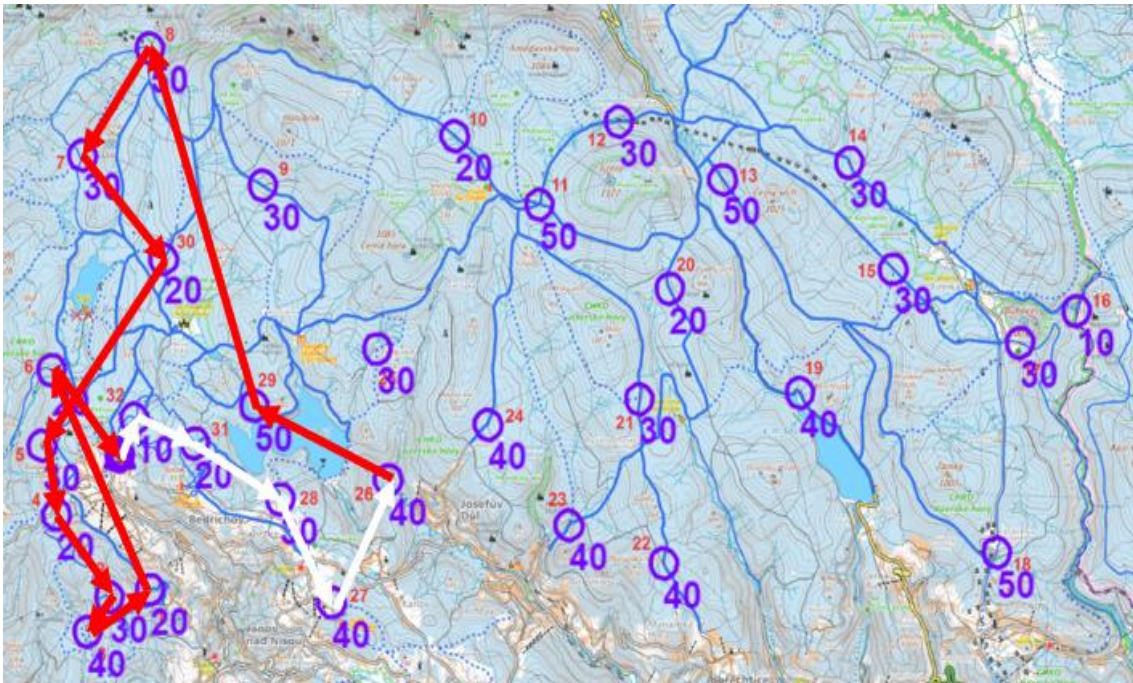
Tabulka 61 – Porovnání tras navržených heuristickou metodou a optimálním řešením, zdroj: vlastní zpracování

	Heuristická metoda	Optimální řešení
<b>Posloupnost kontrol</b>	$START \rightarrow K32 \rightarrow K31 \rightarrow K28 \rightarrow K27 \rightarrow K26 \rightarrow K29 \rightarrow K8 \rightarrow K7 \rightarrow K30 \rightarrow K5 \rightarrow K2 \rightarrow K3 \rightarrow K1 \rightarrow K6 \rightarrow CÍL$	$START \rightarrow K32 \rightarrow K31 \rightarrow K28 \rightarrow K27 \rightarrow K26 \rightarrow K25 \rightarrow K11 \rightarrow K12 \rightarrow K13 \rightarrow K20 \rightarrow K19 \rightarrow K15 \rightarrow K17 \rightarrow K16 \rightarrow K14 \rightarrow K6 \rightarrow K5 \rightarrow CÍL$

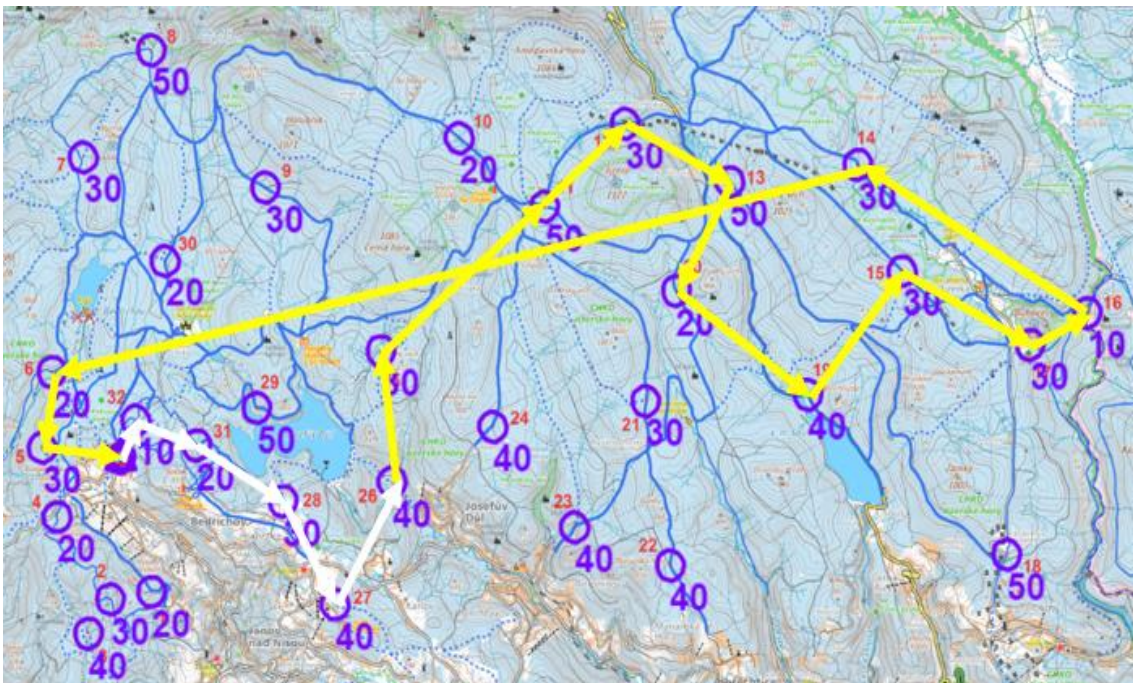
Na Obrázcích 27 a 28 jsou znázorněny trasy navržené podle výsledků heuristické metody a optimálního řešení pro variantu Méně výkonného týmu. Varianty mají totožně vedenou trasu mezi následujícími úseky:

- $START \rightarrow K32 \rightarrow K31 \rightarrow K28 \rightarrow K27 \rightarrow K26,$





Obrázek 27 – Trasa týmu navržená heuristickou metodou pro Méně výkonný tým – VL, zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 28 – Trasa týmu podle optimálního řešení pro Méně výkonný tým – VL, zdroj: vlastní zpracování

Varianty mají stejně vedenou trasu od startu až do kontroly *K26*. V této kontrole přichází zásadní zlom. Heuristická metoda upřednostní kontrolu *K29* před kontrolou *K25*. Z této kontroly tým pokračuje do kontroly *K8*. V tomto momentu heuristická metoda začíná hledat kontroly pouze na západní straně závodní mapy, a to z toho důvodu, že kontroly jsou zde rozmístěny velmi blízko sebe. Zásadním problémem pro heuristickou metodu je fakt, že tým absolvuje veškeré kontroly na západní straně mapy a z důvodu vysoké hodnoty *CD* nemůže pokračovat do centrální nebo východní části mapy, kde jsou stále kontroly, které lze projet. Tým dosáhne cíle v celkovém čase 4:30:57, což znamená, že heuristická metoda zde nedokázala efektivně využít časový limit ve výši 4:55:00. Optimální řešení zde naopak ukazuje svoji sílu, kdy i pro variantu Méně výkonného týmu dokáže navrhnout takovou trasu, která vede k vítězství v závodě. V Tabulce 62 je uveden přehled absolvovaných kontrol podle jejich bodových hodnocení v rámci obou řešení.

Tabulka 62 – Přehled absolvovaných kontrol podle jejich bodových hodnocení v rámci obou řešení – *MVT*, zdroj: vlastní zpracování

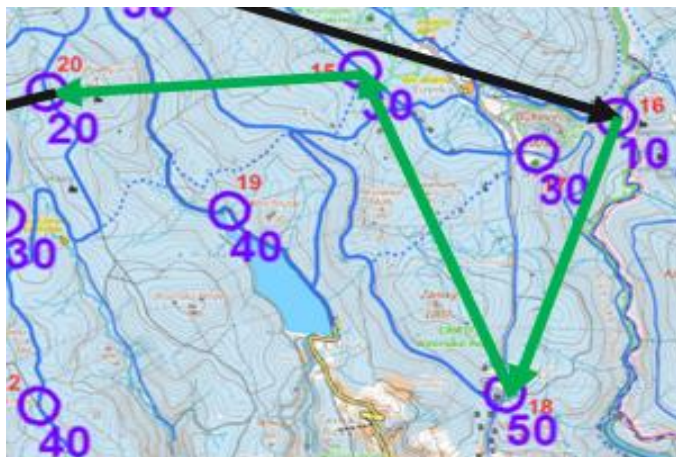
Bodové hodnocení kontrol	Heuristická metoda	Optimální řešení
10	1	1
20	5	3
30	4	7
40	3	3
50	2	2
100	0	1

## 8.6 Závěrečné shrnutí

Optimální řešení dosahuje ve všech variantách lepších výsledků než navržená heuristická metoda. Hlavní rozdíl je ten, že heuristická metoda hledá vždy kontrolu s nejvyšším bodovým hodnocením, a přitom zanedbává ostatní kontroly v okolí. Dále není bráno v úvahu, že kontrola s vysokým bodovým hodnocením může ležet v odlehlé části mapy a čas potřebný k dosažení této kontroly by mohl být využit efektivnějším způsobem. Optimální řešení funguje opačně, a to tak, že při cestě za co nejvyšším bodovým hodnocením vede trasa zároveň přes kontroly s nižším bodovým hodnocením. Na Obrázcích 29 a 30 je ukázán modelový příklad, který pochází



z varianty porovnání v podmínkách Vlastní limitu. Rozdílné vedení trasy je zvýrazněno zelenou čarou.



Obrázek 29 – Detail heuristické metody na trase  $K16 \rightarrow K20$  pro variantu VL, zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 30 – Detail optimálního řešení na trase  $K16 \rightarrow K20$  pro variantu VL, zdroj: vlastní zpracování

Z obrázků je patrné, že heuristická metoda směřuje z kontroly  $K16$  po trase  $K16 \rightarrow K18 \rightarrow K15 \rightarrow K20$ . Kontrola  $K18$  je bodově hodnocena 50 body, avšak tato metoda nebere v úvahu fakt, že kontrola  $K18$  je příliš vzdálená od ostatních kontrol. Čas vynaložený k jejímu dosažení by mohl být využit efektivněji. Efektivnější trasu ukazuje optimální řešení, které kontrolu  $K18$  ignoruje a místo ní se z kontroly  $K20$  přesouvá po trase  $K20 \rightarrow K19 \rightarrow K15 \rightarrow K17 \rightarrow K16$ . Příklad je podložen příloženou Tabulkou 63, která je převzata z kapitoly 8.1.

Tabulka 63 – Porovnání úseku  $K16 \rightarrow K20$ ,  $K20 \rightarrow K16$ , zdroj: vlastní zpracování

	<b>Heuristická metoda</b>	<b>Optimální řešení</b>
Posloupnost kontrol	$K16 \rightarrow K18 \rightarrow K15 \rightarrow K20$	$K20 \rightarrow K19 \rightarrow K15 \rightarrow K17 \rightarrow K16$
Bodové hodnocení mezi kontrolami $K16$ a $K20$	100	120
Doba potřebná k absolvování úseku mezi kontrolami $K16$ a $K20$	1:20:29	1:09:35

Obě metody řešení se téměř ve všech variantách závodu, kromě Méně výkonného týmu shodovaly v „páteřním“ vedení trasy. Téměř identický byl vždy start závodu a severovýchodní část mapy, především kolem kontroly  $K16$ , která je hodnocena 100 body. V příložené tabulce jsou uvedeny kontroly, které se nejčastěji objevily jak ve výsledcích heuristické metody, tak ve výsledcích optimálního řešení. Daná kontrola se mohla objevit maximálně 5x, jelikož je uvedeno celkem 5 variant závodu (Vlastní limit, Oficiální limit, Penalizace, Výkonnější tým, Méně výkonný tým). Nejčastěji absolvované kontroly jsou vypsány v Tabulce 64.

Tabulka 64 – Nejčastěji absolvované kontroly, zdroj: vlastní zpracování

Kontrola	$K11$	$K12$	$K13$	$K15$	$K16$	$K17$	$K26$	$K27$	$K28$	$K31$	$K32$
Celkový počet	4	4	4	4	4	3	5	5	5	5	5

Na základě tabulky mohou organizátoři vybrat kontroly, do kterých je vhodné rozmístit občerstvení a zdravotnické týmy. Ovšem největší využití výsledků bakalářské práce pro organizátory závodu nastává v případě vytrvalého sněžení, či nedostatečné sněhové pokrývky na trati. Organizátoři jsou schopni určit „páteřní“ trasu závodu, která by měla mít vždy přednost při úpravě tras zajišťujících dostupnost kontrol, jelikož se zde očekává největší počet týmů. Výsledky heuristické metody ani optimálního řešení nezařadily v žádné z variant kontroly  $K23$  a  $K22$ . Pokud by tedy nastaly problémy s úpravou tratí, které jsou velmi časté a také se provádí i během závodu, organizátoři by nemuseli upravovat běžecké stopy vedoucí k těmto kontrolám

a mohli by ušetřit čas, který lze využít k úpravě běžeckých stop patřícím k pátešní trase závodu.

Výsledky heuristické metody v žádné z variant nedosáhly kvality výsledků získaných při optimálním řešení, ale odchylky mezi oběma řešeními nejsou v žádné z variant větší než 21,17 %. Čím vyšší je dosažené bodové hodnocení u heuristické metody, tím je odchylka od optimálního řešení menší. Procentuální odchylky jsou vypsány v Tabulce 65.

Tabulka 65 – Odchylky výsledků heuristické metody od výsledků získaných při optimálním řešení, zdroj: vlastní zpracování

	Bodové hodnocení plynoucí z výsledků heuristické metody [bod]	Bodové hodnocení plynoucí z výsledků optimálního řešení [bod]	Odchylka [%]
Výchozí řešení – VL	550	690	20,29
Výchozí řešení – OLZ	580	700	17,15
Výchozí řešení – Penalizace	555	704	21,17
Výkonnější tým – VL	640	740	13,52
Méně výkonný tým varianta – VL	490	620	20,97
		Průměrná odchylka	18,62

## Závěr

Hlavním cílem této práce bylo navržení heuristické metody sloužící k optimalizaci trasy závodu Bedřichovská pětihodinovka za použití aparátu metod teorie grafů. Motivací pro návrh heuristické metody byla snaha pomoci organizátorům, kteří mají zodpovědnost za návrh závodní mapy, rozmístění servisních zón a lékařských týmů či úpravu běžeckých tras během závodu. Na základě heuristické metody bylo navrženo pět variant tras, které organizátorům nabízejí významnou pomoc při organizaci následujících ročníků.

První část práce byla věnována uvedení do řešené problematiky, kde jsou popsány orientační sporty jako celek. Detailněji je popsána disciplína SKI Adventure, ve které se závodí v rámci Bedřichovské pětihodinovky. Dále bylo popsáno a charakterizováno vybrané území v Jizerských horách, ve kterém se závod koná.

Teoretická část je věnována problematice obecného návrhu heuristické metody. Je vytvořen kompletní digraf, který reprezentuje soustavu časově nejméně náročných tras mezi místy jednotlivých kontrol, místem startu a místem cíle (místo startu a místo cíle jsou totožná místa). Ohodnocení orientovaných hran reprezentuje tzv. výhodnostní koeficienty. Výhodnostním koeficientem je poměrná část bodového hodnocení z následující kontroly připadající na časovou jednotku. Princip metody je následující. Sestava trasy začíná ve vrcholu reprezentujícím start. Do diskrétního faktorového podgrafu vytvořeného kompletního digrafu jsou postupně zařazovány orientované hrany, přičemž orientované hrany jsou vkládány tak, aby incidovaly s aktuálním vrcholem, kde se tým v průběhu závodu nachází a vykazovaly maximální ohodnocení. Tedy, prvním aktuálním vrcholem je vrchol reprezentující místo startu, první orientovanou hranou zařazenou do podgrafu je hrana s nejvyšším výhodnostním koeficientem z něj vycházející. Aktuálním vrcholem se nově stává vrchol, do kterého zařazená hrana vstupuje. Opět je vybrána hrana s maximálním ohodnocením vycházející z aktuálního vrcholu s maximálním ohodnocením a celý postup se opakuje do té doby, dokud je splněna časová přípustnost konstruované trasy.

V praktické části je navržená metoda aplikovaná na konkrétní úlohu. Zpracovány jsou celkem tři varianty úlohy – Výchozí varianta, ve které se vychází z výkonnosti autora práce, varianta Výkonnějšího týmu a varianta Méně výkonného týmu. Výchozí varianta

je ještě rozdělena do tří podvariant – v první podvariantě je uvažováno s časovým omezením nazývaným Vlastní limit, ve druhé podvariantě je uvažováno s časovým omezením nazvaným Oficiální limit závodu a ve třetí podvariantě je uvažováno s možností překročení Oficiálního limitu závodu a z toho plynoucí penalizace týmu v podobě odečítání bodového hodnocení za každou započatou minutu, o kterou bude Oficiální limit závodu překročen. U variant Výkonnější tým a Méně výkonný tým je zpracováno řešení pouze pro časové omezení Vlastní limit.

Z osobního hlediska je pro mě nejdůležitější řešení Výchozí varianta, konkrétně varianta Vlastní limit, která je založena na vlastních zkušenostech s běžeckým lyžováním Bedřichovskou pětihodinovkou a znalostmi orientačního sportu. Tato varianta také počítá se zdrženými a okolními vlivy jako je potřeba občerstvení či odpočinku. Z této části vyplývá, že na základě navržené heuristické metody by se náš tým umístil na celkovém 13. místě z celkového počtu 114 týmů, což je z pohledu amatérských týmů velice slušné umístění. Varianta Oficiální limit závodu se snaží využít všechnen čas, který pořadatelé pro týmy vyhradili. Celkové umístění našeho týmu by se v této části vylepšilo na celkové 10. místo. Nutné je ale podotknout, že tato varianta nepočítá s okolními vlivy jako je například nutnost občerstvení, ztráta orientace či potřeba odpočinku. Varianta Penalizace uvažuje se skutečností, že tým by mohl využít pravidla penalizace ve svůj prospěch a vylepšit tak své celkové umístění. Tento předpoklad však na základě navržené heuristické metody nebyl jednoznačně potvrzen ani vyvrácen. Efekt penalizace byl v rámci řešené úlohy ale prokázán u optimálního řešení zahrnujícího penalizaci. Pozitivní vliv penalizace však nelze prokázat obecně ani v tomto případě.

Řešení variant úlohy s týmem vyznačujícím se vyšší a nižší výkonností obsahuje pouze podvariantu Vlastní limit, a to z toho důvodu, že tato řešení slouží pouze k potvrzení funkčnosti navržené heuristické metody. Z výsledků navržené metody plyne, že tým s vyšší výkonností by se s bodovým hodnocením ve výši 640 bodů umístil na celkovém 1. – 3. místě. Tým s nižší výkonností by získal 490 bodů, které znamenají umístění na celkovém 22. místě.

Srovnání výsledků heuristické metody s optimálním řešením sice odhalilo nedostatky, které navržená heuristická metoda vykazuje, ale zároveň také ukázalo, že odchylka heuristické metody od optimálního řešení není v žádné z variant větší než 21,17 %.

Pro pořadatele je podstatné, že všechny navržené trasy, až na trasu navrženou pro tým s nižší výkonností, prochází kontrolami *K11* a *K16*. Na základě těchto poznatků by pořadatelé měli umístit občerstvovací stanice, lékařské týmy či servisní zóny právě do míst těchto kontrol, ve kterých lze očekávat vysokou koncentraci týmů v průběhu závodu. Řešení pro Výkonnější tým zároveň potvrzuje, že závodní mapa je navržena správně, a žádný z týmů není schopen všechny kontroly v daném časovém limitu projet.

Věřím, že navržené řešení může napomoci organizátorům závodu tím, že jim usnadní jejich náročnou a zodpovědnou práci a může pomoci také týmům účastníků závodu při volbě strategie v rámci závodu.

## Literatura

[1] MASOPUSTOVÁ, Blanka, ed. *70 let Orientáku*. Praha: Český svaz orientačních sportů, 2020. ISBN nepřiděleno

[2] MOCKOVÁ, Denisa. *Výukové materiály k předmětu Teorie grafů a její aplikace v dopravě*. Praha.

[3] DEMEL, Jiří. *Grafy a jejich aplikace*. Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-0990-6.

[4] TEICHMANN, Dušan. *Optimalizace technologických procesů*. 2. Ostrava, 2017. ISBN 978-80-248-3269-2. Dostupné z: [https://issuu.com/michdor/docs/m14\\_text](https://issuu.com/michdor/docs/m14_text)

## Osobní sdělení:

[5] TEICHMANN, Dušan. *Osobní sdělení*. Praha: ČVUT – České vysoké učení technické v Praze. Dne 22. června 2020.

## Internetové zdroje:

[6] Lyžařský orientační běh (LOB): [pf.ujep.cz](http://pf.ujep.cz) [online]. [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: [http://pf.ujep.cz/~hnizdil/FRVSOsporty/index\\_LOB.htm](http://pf.ujep.cz/~hnizdil/FRVSOsporty/index_LOB.htm)

[7] Zimní Bedřichovská pětihodinovka: [b5h.cz](http://www.b5h.cz) [online]. [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <http://www.b5h.cz/zimni/>

[8] Jizerská o.p.s.: [jizerskaops.cz](http://www.jizerskaops.cz) [online]. [cit. 2020-06-27]. Dostupné z: <http://www.jizerskaops.cz/>

[9] *Seznam: mapy.cz* [online]. [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=14.4016000&y=50.1051000&z=11>

[10] *Play Map: playmap.com* [online]. [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <http://play-map.com/>

## Seznam obrázků

Obrázek 1 – Běžecské tratě.....	16
Obrázek 2 – Časové pojmy, obecně.....	19
Obrázek 3 – Časové pojmy v podmínkách řešené úlohy.....	28
Obrázek 4 – Trasa vítězného týmu závodu.....	36
Obrázek 5 – Trasa týmu navržená heuristickou metodou – VL.....	37
Obrázek 6 – Trasa týmu s obdobnou výkonností.....	38
Obrázek 7 – Trasa týmu navržená podle výsledků heuristické metody pro variantu Výkonnější tým.....	43
Obrázek 8 – Trasa týmu navržená heuristickou metodou pro Výchozí variantu – VL.....	45
Obrázek 9 – Trasa týmu navržená heuristickou metodou pro Výkonnější tým – VL.....	45
Obrázek 10 – Trasa týmu navržená heuristickou metodou pro Méně výkonný tým.....	48
Obrázek 11 – Trasa týmu navržená heuristickou metodou pro Výchozí variantu – VL.....	50
Obrázek 12 – Trasa týmu navržená heuristickou metodou pro variantu Méně výkonného týmu – VL.....	50
Obrázek 13 – Trasa týmu navržená heuristickou metodou pro Výchozí variantu – VL.....	56
Obrázek 14 – Trasa týmu navržená podle optimálního řešení pro Výchozí variantu – VL.....	56
Obrázek 15 – Detail trasy v oblasti pod vodní nádrží Josefův Důl navržené heuristickou metodou pro Výchozí variantu – VL.....	57
Obrázek 16 – Detail trasy v oblasti pod vodní nádrží Josefův Důl dle optimálního řešení pro Výchozí variantu – VL, zdroj: vlastní zpracování.....	57
Obrázek 17 – Trasa týmu navržená heuristickou metodou pro Výchozí variantu – OLZ, zdroj: vlastní zpracování.....	61
Obrázek 18 – Trasa týmu navržená podle optimálního řešení pro Výchozí variantu – OLZ , zdroj: vlastní zpracování.....	61
Obrázek 19 – Detail trasy týmu mezi kontrolami K29 → K11 na základě navržené heuristické metody – OLZ, zdroj: vlastní zpracování.....	62
Obrázek 20 – Detail trasy týmu mezi kontrolami K29 → K11 podle optimálního řešení – OLZ, zdroj: vlastní zpracování.....	62
Obrázek 21 – Trasa týmu navržená heuristickou metodou pro Výchozí variantu – Penalizace, zdroj: vlastní zpracování.....	65
Obrázek 22 – Trasa týmu podle výsledků optimálního řešení pro Výchozí variantu – Penalizace.....	65
Obrázek 23 – Trasa týmu navržená heuristickou metodou pro Výkonnější tým - VL.....	69
Obrázek 24 – Trasa týmu navržená podle optimálního řešení pro Výkonnější tým – VL.....	69
Obrázek 25 – Rozdíl vedení trasy u optimálního řešení – OLZ.....	71
Obrázek 26 – Rozdíl vedení trasy u optimálního řešení – Výkonnější tým.....	71
Obrázek 27 – Trasa týmu navržená heuristickou metodou pro Méně výkonný tým – VL.....	73
Obrázek 28 – Trasa týmu podle optimálního řešení pro Méně výkonný tým – VL.....	73
Obrázek 29 – Detail heuristické metody na trase K16 → K20 pro variantu VL.....	75
Obrázek 30 – Detail optimálního řešení na trase K16 → K20 pro variantu VL.....	75



## Seznam tabulek

Tabulka 1 – Penalizace za překročení <i>OLZ</i> .....	13
Tabulka 2 – Kategorie účastníků závodu .....	14
Tabulka 3 – Přehled matic.....	21
Tabulka 4 – Fragment matice $A$ .....	24
Tabulka 5 – Hodnoty průměrných rychlostí autora práce v závislosti změnách nivelety.....	25
Tabulka 6 – Fragment matice $B$ .....	25
Tabulka 7 – Fragment matice $C$ .....	26
Tabulka 8 – Fragment matice $D$ .....	26
Tabulka 9 – Fragment matice $B$ .....	27
Tabulka 10 – Přehled časových limitů závodu.....	27
Tabulka 11 – Fragment matice $D$ .....	28
Tabulka 12 – Výběr maximálního koeficientu výhodnosti .....	28
Tabulka 13 – Fragment z matice $B$ .....	29
Tabulka 14 – Testování kontroly .....	30
Tabulka 15 – Fragment matice $D$ se zařazenou kontrolou <i>K32</i> .....	30
Tabulka 16 – Fragment bodového hodnocení jednotlivých kontrol.....	30
Tabulka 17 – Testování kontroly .....	31
Tabulka 18 – Fragment matice $B$ .....	31
Tabulka 19 – Ukázka neúspěšného zařazení do výpočtu.....	32
Tabulka 20 – Fragment matice $D$ s vyřazenou kontrolou.....	32
Tabulka 21 – Výsledek závodu .....	33
Tabulka 22 – Celkový výsledek.....	33
Tabulka 23 – Celkové výsledky závodu včetně výsledku navrženého heuristickou metodou.....	34
Tabulka 24 – Celkové výsledky kategorie <i>MM</i> , včetně výsledku navrženého heuristickou metodou.....	34
Tabulka 25 – Porovnání výsledků týmů s obdobnými výkonnostmi.....	38
Tabulka 26 – Změny průměrných rychlostí pro Výkonnější tým.....	40
Tabulka 27 – Fragment matice $A$ pro Výkonnější tým.....	41
Tabulka 28 – Výsledky závodu pro Výkonnější tým .....	41
Tabulka 29 – Celkový výsledek pro Výkonnější tým .....	41
Tabulka 30 – Celkové výsledky závodu, včetně výsledku navrženého heuristickou metodou pro Výkonnější tým .....	42
Tabulka 31 – Porovnání výsledků Výchozí varianty s Výkonnějším týmem .....	43
Tabulka 32 – Rozdílnost v rozhodování po absolvování kontroly <i>K16</i> .....	44
Tabulka 33 – Rozdílnost v pokračování trasy po absolvování kontroly <i>K20</i> .....	44
Tabulka 34 – Změny průměrných rychlostí v závislosti na terénu pro Méně výkonný tým.....	46
Tabulka 35 – Fragment matice $A$ pro Méně výkonný tým.....	46
Tabulka 36 – Výsledky závodu pro Méně výkonný tým.....	47
Tabulka 37 – Celkové umístění Méně výkonného týmu.....	47
Tabulka 38 – Celkové výsledky závodu včetně výsledku navrženého heuristickou metodou pro Méně výkonný tým .....	47
Tabulka 39 – Porovnání výsledků závodu Výchozí varianty s Méně výkonným týmem.....	49
Tabulka 40 – Volba postupu z kontroly <i>K8</i> .....	49
Tabulka 41 – Celkové porovnání jednotlivých variant .....	51
Tabulka 42 – Určení bodu rentability penalizace.....	52
Tabulka 43 – Navyšování času příjezdu do cíle ve Výchozí variantě .....	53
Tabulka 44 – Výsledky heuristické metody a optimálního řešení pro Výchozí variantu – <i>VL</i> .....	54

Tabulka 45 – Pořadí absolvovaných kontrol při obou řešeních.....	55
Tabulka 46 – Přehled absolvovaných kontrol podle jejich bodových hodnocení pro Výchozí variantu - <i>VL</i> .....	58
Tabulka 47 – Porovnání úseků mezi kontrolami <i>K16</i> a <i>K20</i> .....	59
Tabulka 48 – Výsledky heuristické metody a optimálního řešení pro Výchozí variantu - <i>OLZ</i> .....	59
Tabulka 49 – Pořadí absolvovaných kontrol při obou řešeních.....	60
Tabulka 50 – Porovnání tras mezi kontrolami <i>K29</i> a <i>K11</i> .....	63
Tabulka 51 – Přehled absolvovaných kontrol podle jejich bodového hodnocení – <i>OLZ</i> .....	63
Tabulka 52 – Výsledky heuristické metody a optimálního řešení pro Výchozí variantu – Penalizace .....	64
Tabulka 53 – Pořadí absolvovaných kontrol při obou řešeních.....	64
Tabulka 54 – Přehled absolvovaných kontrol podle jejich bodových hodnocení – Penalizace .....	66
Tabulka 55 – Porovnání variant optimálního řešení pro Výchozí variantu – <i>OLZ</i> a Penalizace .....	66
Tabulka 56 – Vliv penalizace na optimální řešení .....	67
Tabulka 57 – Výsledky heuristické metody a optimálního řešení pro variantu Výkonnějšího týmu – <i>VL</i> .....	67
Tabulka 58 – Porovnání tras navržených heuristickou metodou a optimálním řešením .....	68
Tabulka 59 – Přehled absolvovaných kontrol podle jejich bodového hodnocení - <i>VT</i> .....	70
Tabulka 60 – Výsledky heuristické metody a optimálního řešení pro variantu Méně výkonných týmů – <i>VL</i> .....	72
Tabulka 61 – Porovnání tras navržených heuristickou metodou a optimálním řešením .....	72
Tabulka 62 – Přehled absolvovaných kontrol podle jejich bodových hodnocení v rámci obou řešení – <i>MVT</i> .....	74
Tabulka 63 – Porovnání úseku <i>K16</i> → <i>K20</i> , <i>K20</i> → <i>K16</i> .....	76
Tabulka 64 – Nejčastěji absolvované kontroly.....	76
Tabulka 65 – Odchytky výsledků heuristické metody od výsledků získaných při optimálním řešení.....	77

## Seznam příloh

Přílohy jsou uloženy na CD ROM, který je přidán k tištěné verzi bakalářské práce.

Přílohu 5 tvoří detailní řešení Výchozí varianty -  $VL$  v programu Excel.

Příloha 1	Matice $A$
Příloha 2	Matice $B$
Příloha 3	Matice $C$
Příloha 4	Matice $D$
Příloha 5	Detailní postup výpočtu $VV - VL$
Příloha 6	Matice $A^*$
Příloha 7	Matice $B^*$
Příloha 8	Matice $C^*$
Příloha 9	Matice $D^*$
Příloha 10	Matice $A^\circ$
Příloha 11	Matice $B^\circ$
Příloha 12	Matice $C^\circ$
Příloha 13	Matice $D^\circ$