

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Provozně ekonomická fakulta**

**Katedra systémového inženýrství**



**Diplomová práce**

**Optimalizace dopravních tras při zakrmování zvířete  
v honitbě Stropník**

**Bc. Martin Sýkora**

© 2020 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Martin Sýkora

Kvantitativní metody v ekonomice

Systémové inženýrství

Název práce

**Optimalizace dopravních tras při zakrmování zvěře v honitbě Stropník**

Název anglicky

**Optimization of transport routes during feeding of game animals in the hunting district Stropník**

---

### Cíle práce

Cílem diplomové práce je nalezení optimální trasy při rozvozu krmiva pro divokou zvěř v honitbě Stropník a tím minimalizovat náklady na rozvoz. Stávající rozvozové trasy budou podrobeny optimalizaci s přihlédnutím k omezujícím podmínkám, které mohou nastat po změně meteorologických podmínek. Z výsledků práce bude doporučen postup a trasy pro osoby obsluhující rozvoz krmiva.

### Metodika

Diplomová práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část.

Teoretická část je zaměřena na literární rešerši, která zahrnuje problematiku optimalizace dopravních tras a slouží jako východisko pro část praktickou.

V praktické části je za pomoci nástroje Solver v programu Microsoft Excel proveden výpočet optimálních tras. Na základě dat z Českého hydrometeorologického ústavu a reálných podmínek tras jsou vygenerovány scénáře, jak dané meteorologické podmínky mění omezující podmínky, které mají za následek změnu obslužnosti tras. Je provedena simulace jednotlivých scénářů a dle výsledků doporučeny optimální trasy pro konkrétní meteorologické podmínky.

**Doporučený rozsah práce**

60-70

**Klíčová slova**

optimalizace, myslivost, obchodní cestující, plánování tras

---

**Doporučené zdroje informací**

COOK, W. *Po stopách obchodního cestujícího : matematika na hranicích možností*. Praha: Dokořán, 2012. ISBN 978-80-7363-412-4.

JABLONSKÝ, J. *Operační výzkum : kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN 978-80-86946-44-3.

ŠUBRT, T. *Ekonomicko-matematické metody*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2011. ISBN 978-80-7380-345-2.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2019/20 LS – PEF

**Vedoucí práce**

Ing. Robert Hlavatý, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra systémového inženýrství

---

Elektronicky schváleno dne 26. 1. 2020

**doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 13. 2. 2020

**Ing. Martin Pelikán, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 18. 02. 2020

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Optimalizace dopravních tras při zakrmování zvěře v honitbě Stropník" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 5.4.2020

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Robertu Hlavatému, Ph.D., za věcné připomínky, vstřícnost při konzultaci a ochotu během procesu vytváření diplomové práce.

# Optimalizace dopravních tras při zakrmování zvěře v honitbě Stropník

## Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na aplikaci modelu obchodního cestujícího pro proces zakrmování zvěře. Práce je rozdělena do dvou částí, teoretické a praktické. V první části jsou uvedena teoretická východiska, následně použitá v části druhé. Jedná se zejména o vznik, vývoj a využití operačního výzkumu zahrnující matematické modelování jako nástroje pro popsání reality. Dále jsou popsány distribuční úlohy, okružní dopravní úlohy, zejména problém obchodního cestujícího. Jsou popsány základy sběru meteorologických dat, vznik a fungování Českého meteorologického ústavu. Dále jsou uvedeny základy péče o zvěř včetně principů zakrmování, jeho důvody a pozitivní vlivy.

Praktická část práce je zaměřena na zkoumání scénářů dle celkové výšky sněhové pokrývky v jednotlivých měsících. Je popsán vliv na sjízdnost konkrétních tras a působení omezení na pořadí navštívených míst. V další části jsou počítány náklady pro jednotlivé scénáře a s použitím pravděpodobnosti výskytu sněhové pokrývky jsou vypočteny náklady pro jednotlivé měsíce. Je také počítáno s možností vývratu a zablokováním určitých úseků, jež mohou ovlivnit výši nákladů. Závěr práce je věnován vyhodnocení výsledků a porovnání výsledných tras jednotlivých scénářů.

**Klíčová slova:** optimalizace tras, úloha obchodního cestujícího, zakrmování zvěře, operační výzkum, meteorologické podmínky, NP-úplné problémy

# Optimization of transport routes during feeding of game animals in hunting district Stropník

## **Abstract**

Diploma thesis is focused on application of traveling salesman problem on game feeding process. The thesis is divided into two parts, theoretical and practical. The first part is focused on theoretical base that is used in practical part - mainly origin, development and use of operations research which includes using mathematical modeling as an instrument for describing reality. Distribution tasks and traveling salesman problem are described further. Basic of collecting meteorological data are characterized and the origin and operating of the Czech Hydrometeorological Institute respectively. There are also described basics of game tending including the principles of game feeding, its reasons and positive consequences.

Practical part is focused on scenarios based on total snow height in single months, its impact on possibility of chosen paths and how the possibility impacts the sequence of visited points. Then, the costs of chosen scenarios are calculated and costs for each month are calculated with regards to the probability of snow occurrence. There are also scenarios with windthrows that could cause a total closure of danger sections which could cause increased feeding costs. The end of the thesis is dedicated to evaluation of the results and comparison of final chosen routes of individual scenarios.

**Keywords:** route optimization, traveling salesman problem, game feeding, operations research, meteorological conditions, NP-hard problems

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Cíl práce a metodika .....</b>	<b>2</b>
2.1 Cíl práce .....	2
2.2 Metodika .....	2
<b>3 Teoretická východiska .....</b>	<b>4</b>
3.1 Logistika.....	4
3.1.1 Původ a vývoj logistiky .....	4
3.1.2 Definice.....	5
3.1.3 Cíle logistiky.....	5
3.1.4 Doprava.....	6
3.2 Operační výzkum .....	6
3.2.1 Vznik a vývoj operačního výzkumu .....	6
3.2.2 Dodavatelský řetězec .....	7
3.2.3 Definice operačního výzkumu .....	7
3.2.4 Proces operačního výzkumu .....	8
3.2.5 Modelování systému .....	9
3.2.6 Celočíselné programování .....	11
3.3 Distribuční úlohy.....	12
3.3.1 Jednostupňová dopravní úloha (JDÚ).....	12
3.3.2 Matematický model JDÚ .....	12
3.4 Okružní dopravní problémy .....	13
3.4.1 Úloha obchodního cestujícího (TSP).....	14
3.4.2 Statická úloha TSP.....	15
3.4.3 Dynamická úloha TSP .....	17
3.4.4 NP a P úlohy .....	18
3.4.5 Možnosti řešení TSP .....	19
3.5 Měření meteorologických dat .....	20
3.5.1 Historie Českého hydrometeorologického ústavu (CHMU) .....	20
3.5.2 Současnost CHMU .....	21
3.5.3 Metodika měření sněhové pokrývky.....	22
3.6 Zakrmování a péče o zvěř .....	22
3.6.1 Opatření proti škodám způsobených zvěří.....	23
<b>4 Praktická část .....</b>	<b>24</b>
4.1 Charakteristika prostředí .....	25
4.1.1 Honitba Stropník.....	25



4.1.2	Zazvěření honitby .....	25
4.1.3	Společnost Consorcium HKR s.r.o. ....	25
4.2	Charakteristika problému .....	26
4.2.1	Body obsluhy .....	27
4.2.2	Pomocné body.....	27
4.2.3	Rizikové trasy .....	28
4.2.4	Trasy .....	30
4.2.5	Meteorologické podmínky .....	34
4.2.6	Meteorologická data .....	35
4.3	Scénáře .....	37
4.3.1	Scénář 1 – Pokrývka sněhu v intervalu $\langle 0,5 \rangle$ cm .....	37
4.3.2	Scénář 2 – Pokrývka sněhu v intervalu $\langle 5,15 \rangle$ cm .....	40
4.3.3	Scénář 3 – Pokrývka sněhu v intervalu $\langle 15,30 \rangle$ cm .....	42
4.3.4	Scénář 4 – Pokrývka sněhu v intervalu $\langle 30,\infty \rangle$ cm .....	44
4.4	Vývraty.....	46
4.4.1	Scénář 5 – Úsek A, beze sněhu.....	47
4.4.2	Scénář 6 – Úsek A, se sněhem.....	49
4.4.3	Scénář 7 – Úsek B, beze sněhu.....	51
4.4.4	Scénář 8 – Úsek B, se sněhem.....	53
4.5	Roční náklady.....	55
<b>5</b>	<b>Výsledky a diskuse .....</b>	<b>58</b>
5.1	Scénáře s proměnlivou výškou sněhové pokrývky .....	58
5.2	Scénáře s vývraty stromů .....	60
<b>6</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>63</b>
<b>7</b>	<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>65</b>
<b>8</b>	<b>Přílohy.....</b>	<b>69</b>

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Úplná síť tras.....	16
Obrázek 2 - Neúplná síť tras.....	16
Obrázek 3 - Eulerův diagram složitosti tříd.....	18
Obrázek 4 - Rozhraní zadávání modelu.....	20
Obrázek 5 - Mapa meteorologických stanic pro měření sněhové pokrývky .....	21
Obrázek 6 - Sněhoměrná tyč.....	22
Obrázek 7 - Mapa - rizikové úseky + Střední cesta .....	30
Obrázek 8 - Výsledné pořadí cest pro $c_{ij} = s$ při Scénáři 1 .....	40

Obrázek 9 - Výsledné pořadí cest pro $c_{ij} = s$ při Scénáři 2 .....	41
Obrázek 10 - Výsledné pořadí cest pro $c_{ij} = s$ při Scénáři 3 .....	44
Obrázek 11 - Výsledné pořadí cest pro $c_{ij} = t$ při Scénáři 4 .....	45
Obrázek 12 - Rizikové úseky .....	46
Obrázek 13 - Výsledné pořadí cest pro $c_{ij} = s$ při Scénáři 5 .....	48
Obrázek 14 - Porovnání tras pro scénáře 1 a 5 .....	48
Obrázek 15 - Výsledné pořadí cest pro $c_{ij} = s$ při Scénáři 6 .....	50
Obrázek 16 - Porovnání tras pro scénáře 2 a 6 .....	50
Obrázek 17 - Výsledné pořadí cest pro $c_{ij} = t$ při Scénáři 7 .....	52
Obrázek 18 - Porovnání tras pro scénáře 1 a 7 .....	53
Obrázek 19 - Výsledné pořadí cest pro $c_{ij} = s$ při Scénáři 8 .....	54
Obrázek 20 - Porovnání tras pro scénáře 2 a 8 .....	55
Obrázek 21 - Počty týdnů v měsíci .....	56
Obrázek 22 - Výpočet měsíčních nákladů .....	57
Obrázek 23 - Výsledné porovnání pořadí všech tras .....	59

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Seznam krmných zařízení .....	27
Tabulka 2 - Pomocné body .....	28
Tabulka 3 - Seznam bodů .....	28
Tabulka 4 - Měření průměrné rychlosti .....	31
Tabulka 5 - Datová tabulka vzdáleností v metrech .....	32
Tabulka 6 - Datová tabulka časové náročnosti v minutách .....	33
Tabulka 7 - Změny ve sjízdnosti .....	34
Tabulka 8 - Pravděpodobnost výskytu sněhové pokrývky – Fláje .....	36
Tabulka 9 Výsledky modelu při Scénáři 1 .....	38
Tabulka 10 - Výsledky modelu při Scénáři 2 .....	41
Tabulka 11 - Výsledky modelu při Scénáři 3 .....	43
Tabulka 12 - Výsledky modelu při Scénáři 4 .....	45
Tabulka 13 - Výsledky modelu při vývratu v úsek A, beze sněhu .....	47
Tabulka 14 - Výsledky modelu při vývratu v úsek A, se sněhem .....	49
Tabulka 15 - Výsledky modelu při vývratu v úsek B, beze sněhu .....	52
Tabulka 16 - Výsledky modelu při vývratu v úsek B, se sněhem .....	54

Tabulka 17 - Výsledky pro jednotlivé situace .....	56
Tabulka 18 - Celkové porovnání výsledků scénářů 1 až 4 .....	58
Tabulka 19 - Náklady na jeden závoz pro jednotlivé situace .....	59
Tabulka 20 - Pravděpodobnosti jednotlivých kategorizací výšky sněhu.....	60
Tabulka 21 - Měsíční výdaje na rozvoz krmiva .....	60
Tabulka 22- Celkové porovnání výsledků scénářů 5 až 8 .....	61
Tabulka 23 - Porovnání tras s vývratem a bez vývratu.....	62

# 1 Úvod

Praktické využití dopravních modelů existuje mnoha podobách, hlavně v oblasti dodavatelsko-odběratelského řetězce, při přepravě zboží, kde hlavním cílem je najít takových tras, které vedou k minimalizaci nákladů nebo času na přepravu. Může se jednat o dopravu po zemi, po moři nebo ve vzduchu, využití je široké.

Minimalizace nákladů na přepravu je patrná ve všech odvětvích, i v těch méně známých. Myslivost je z valné většiny dobrovolná činnost a provozní náklady jsou hrazeny z rozpočtů jednotlivých sdružení. Při zakrmování zvěře dochází k tvorbě výdajů nejen na samotné krmivo, ale vznikají i samotnou distribucí krmiva na daná místa. Svým způsobem se jedná o podobnou situaci jako v kamionové dopravě, kde na jednom místě je naložen náklad, v tomto případě krmivo, a je rozvezen do určitých bodů, kde dojde k vykládce. Proto i zde je možné využít model obchodního cestujícího. Specifikum rozvozu krmiva je terén, kde se vozidlo pohybuje. Často se jedná o povrch, jehož sjízdnost je závislá na meteorologických podmínkách. Cesty vybrané pro aplikaci modelu obchodního cestujícího, se nachází v kopcovitých oblastech a sjízdnost tras je podmíněna celkovou výškou sněhové pokrývky. Z důvodu častého výskytu stromových porostů, dochází i k vývratům, které mohou způsobit prodloužení trasy a tím i růst nákladů na přepravu.

Diplomová práce je zaměřena na aplikaci problému obchodního cestujícího při zakrmování zvěře v honitbě Stropník, kde je do stavby modelů zahrnuta pravděpodobnost sněhové pokrývky pro jednotlivé měsíce a dále vývraty stromů v určitých úsecích. Obě skutečnosti mění rozložení tras a pořadí bodů obsluhy, což vede ke změně nákladů. Hlavní pozornost je tak věnována právě minimalizaci nákladů na rozvoz krmiva.

## **2 Cíl práce a metodika**

### **2.1 Cíl práce**

Cílem diplomové práce je nalezení optimální trasy při rozvozu krmiva pro divokou zvěř v honitbě Stropník a tím minimalizovat náklady na rozvoz. Stávající rozvozové trasy budou podrobeny optimalizaci s přihlédnutím k omezujícím podmínkám, které mohou nastat po změně meteorologických podmínek. Z výsledků práce bude doporučen postup a trasy pro osoby obsluhující rozvoz krmiva a práce bude použita jako podklad pro odhad rozpočtu na rozvoz krmiva v průběhu roku.

### **2.2 Metodika**

Diplomová práce je rozdělena do dvou částí. První část je zaměřena na teoretická východiska, druhá část se věnuje na aplikaci teoretických modelů na praktickém příkladu.

V teoretické části je zpracovávána studie odborných publikací, článků a dalších odborných podkladů jak v tištěné podobě, tak v elektronické. První část diplomové práce se zaměřuje na vznik, vývoj a význam logistiky, dále na operační výzkum a distribuční úlohy. V práci je dále používána softwarová podpora v podobě Microsoft Excel Open Solver, kde je jako optimalizační program používán Gurobi Optimizer. Dále je popsána základní problematika zakrmování zvěře v honitbě, jeho proces, průběh, důvody, proč k němu dochází, dopady zakrmování a jeho očekávané výsledky. Do části věnující se péči o zvěř je zahrnuta legislativa, která se jí bezprostředně týká.

Diplomová práce zahrnuje vliv meteorologických podmínek, konkrétně výšku celkové sněhové pokrývky v dané oblasti, proto studie literárních pramenů zahrnuje i základ pro meteorologická měření a pravděpodobnost budoucího vývoje.

Praktická část je zaměřena na definici problému, popis oblasti a kritických míst dopravy. Jsou dány 4 scénáře popisující vliv celkové výšky sněhové pokrývky na sjízdnost tras. Výška sněhu je rozdělena do 4 intervalů podle účinku na sjízdnost tras a celkové možnosti

zakrmování. Dále jsou modelovány 4 scénáře zahrnující vývraty stromů v rizikových úsecích, a to s přítomností nebo bez přítomnosti sněhové pokrývky.

Podklady o meteorologických podmínkách jsou získány z dat Českého hydrometeorologického ústavu České republiky, a to konkrétně z pozorovací stanice Fláje nacházející se ve výšce 740 metrů nad mořem. Byla použita data za posledních 10 let, která byla zprůměrována podle jednotlivých měsíců a vypočítána pravděpodobnost pro různé kategorie výšky sněhu podle důsledku na sjízdnost tras.

Optimalita rozvržení tras je počítána za pomocí modelu problému obchodního cestujícího, který je upravován podle konkrétních situací. Modely jsou optimalizovány jak podle délky trasy, tak časové náročnosti. Obě varianty jsou porovnávány a pro další kalkulaci v práci jsou vybrány výhodnější varianty pro myslivecký spolek. Pro výpočty jsou používána data získaná ze serveru Mapy.cz, kdy pro určení přesné vzdálenosti jsou úseky rozděleny do 3 kategorií podle typu cesty a odvíjející se možné rychlosti, kterou může vozidlo na jejich povrchu vyvinout. Rozdíly mezi rychlostí jsou patrné zejména v dalších výpočtech časové náročnosti.

Náklady na jeden závoz jsou kalkulovány z délky vypočtené optimální trasy, průměrné spotřeby vozidla, nákladů na amortizaci vozidla a průměrné ceny pohonných hmot.

Jsou vypočteny celkové náklady na jeden rok zahrnující pravděpodobnost výskytu dané situace, frekvenci zakrmování při specifické situaci, počet týdnů v konkrétním měsíci a náklad na cestu při dané výšce sněhu či vývratu v určitém úseku.

Dokument s optimálním rozvržením tras spolu s výpočtem odhadovaného rozpočtu na rozvoz krmiv v kalendářním roce je předán mysliveckému sdružení jako podklad pro sestavení finančního plánu a jako doporučení ke zefektivnění zakrmování.

## 3 Teoretická východiska

### 3.1 Logistika

#### 3.1.1 Původ a vývoj logistiky

Dle Preclíka (2006) je v širším pojetí logistika interdisciplinární vědní disciplína zahrnující analogii oblastí jako je operační výzkum, automatizační a řídicí systémy, matematická statistika, systémové inženýrství a hodnotová analýza, jejichž poznatky a výstupy vedou ke komplexnímu pohledu na danou problematiku.

Původ logistiky autor Sixta, a další (2005) nachází ve starověkém Řecku, kde byla používána slova jako *logos* nebo *logismus* mající význam například: řeč, výpočty, myšlenky nebo úvaha. V průběhu 15. a 16. století byl pojem *logistika* spojován hlavně s počítáním a čísly.

Jako hlavní důvod rozvoje logistiky jsou považovány války a válečná doba, při které bylo nutné zajistit jak přesun a rozmístění vojska, tak jeho zásobování. Ať už proviantem nebo výzbrojí. S velikostí konfliktů rostly i požadavky na řízení toků materiálů a lidí. Za období největšího vývoje logistiky je považována 2. světová válka, kde, vzhledem k velikosti konfliktu, bylo nutné přepravit velké množství materiálu a lidí na velké vzdálenosti.

Z poznatků z četných konfliktů po jejich ukončení byly znalosti převedeny do hospodářské praxe, nejprve v USA, kde se rozvíjelo používání matematických modelů pro řešení problémů. Poté se metodika rozšířila i na evropský kontinent a dále. (Sixta, a další, 2005). Uplatnění bylo nalezeno v mnoha oborech. Jak uvádí Preclík (2006 str. 7): „v bankovníctví, obchodu, zdravotnictví, dopravních sítí, letectví, cestovních a turistických služeb i do průmyslu.“ (Preclík, 2006)

### 3.1.2 Definice

Definice pojmu *logistika* lze najít mnoho od různých autorů. Liší se podle oboru, kde se logistické přístupy implementují.

*„Logistika představuje organizaci, plánování, řízení a realizaci toků zboží vývojem a nákupem počínaje, výrobou a distribucí podle objednávky finálního zákazníka konče tak, aby byly splněny všechny požadavky trhu při minimálních nákladech a minimálních kapitálových výdajích“* (Visser, 2006 str. 20). Jedná se o formální definici Evropské logistické asociace.

Sumarizaci definic uvádí Sixta (2005) a vystihuje tak význam logistiky:

*„Logistika je řízení materiálového, informačního i finančního toku s ohledem na včasné splnění požadavků finálního zákazníka a s ohledem na nutnou tvorbu zisku v celém toku materiálu. Při plnění potřeb finálního zákazníka napomáhá již při vývoji výrobku, výběru vhodného dodavatele, odpovídajícím způsobem řízení vlastní realizace potřeby zákazníka (při výrobě výrobku), vhodným přemístěním požadovaného výrobku k zákazníkovi a v neposlední řadě i zajištěním likvidace morálně i fyzicky zastaralého výrobku.“* (Sixta, a další, 2005 str. 25)

Shrnutím výše uvedených definic, lze logistiku vyjádřit jako soubor činností zahrnující dopravu, manipulaci a skladování materiálu, plánování výroby, řízení zásob a distribuci konečných výrobků tak, aby byly minimalizovány náklady a maximalizovány výnosy, respektive zisk.

### 3.1.3 Cíle logistiky

Cíle logistiky jsou propojeny se dvěma požadavky. První požadavek musí korespondovat s definovanými cíli, směřováním podniku a jeho podnikovou strategií. Druhý požadavek musí odpovídat potřebám zákazníků na spotřebu zboží a služeb v určité kvalitě tak, aby byly minimalizovány náklady. (Sixta, a další, 2005)

Dále lze cíle logistiky dělit na vnější a vnitřní. Vnější cíle jsou charakteristické uspokojováním potřeb zákazníků, které vede k udržení si klientely. Mezi vnější cíle lze



zařadit například zvyšování objemu prodeje, zkracování dodacích lhůt, zlepšování spolehlivosti a úplnosti dodávek a zlepšování pružnosti“. Vnitřní cíle se zaměřují hlavně na redukci nákladů. Jedná se primárně o náklady spojené se zásobami, náklady na dopravu, manipulaci, skladování, výrobu, řízení a podobně.

K dosažení výše jsou vymezena základní logistiky, takzvané 7 S, v anglické literatuře dohledatelné jako *Seven Rs*. Pravidlo zahrnuje sedm podmínek, jež zahrnují dodání správného zboží nebo služby, ve správné kvalitě, u správného zákazníka, ve správném množství, na správném místě, ve správném okamžiku, za správnou úplatu přiměřenou nákladům k přepravě vynaloženým. (Coyle, a další, 2003).

### 3.1.4 **Doprava**

Dopravu definoval Preclík (2006) jako: *„přemísťování materiálu předem určeným způsobem z jednoho místa na druhé nebo postupně na více míst dopravního (logistického) systému, zpravidla s použitím dopravního prostředku.“*

Vývoj v oblasti dopravní logistiky nabyl význam mezi 70 a 80. léty 20. století, kdy byly rozvinuty možnosti dopravy a na trh vstoupili noví konkurenti. Samotný pojem doprava je vnímán jako určitý přesun objektu z místa A do místa B. Kvalita a rychlost dopravy ovlivňuje jeho cenu. Zároveň umožňuje propojení částí logistického řetězce. (Sixta, a další, 2005).

## 3.2 **Operační výzkum**

### 3.2.1 **Vznik a vývoj operačního výzkumu**

Operační výzkum vznikl okolo 30. a 40. let 20. století, ale větší rozvoj byl zaznamenán v průběhu 2.světové války. Ve Spojených státech Amerických a Británii vznikaly speciální týmy pro analýzu problému spojených se strategickými a vojenskými cíli. Největší rozvoj je spojován s poválečnou situací v 50. letech 20. století, kdy v rámci rychle se rozvíjející ekonomiky bylo nutné rozvinout metody, které by pokryly řešení rozsáhlých, nejen logistických problémů. Situaci ekonomického rozvoje doplňuje také rozvoj výpočetní

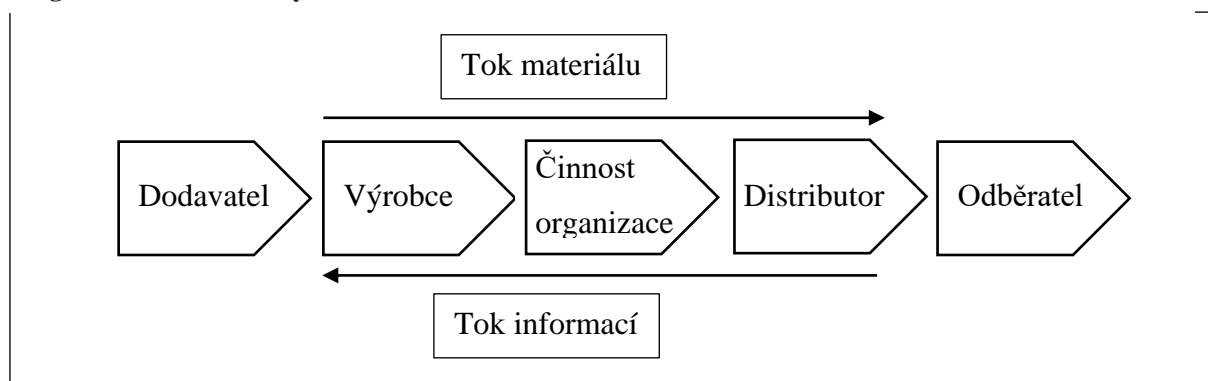
techniky, který umožňoval řešení rozsáhlejších a složitějších modelů a situací. (Jablonský, 2007)

Operační výzkum je v dnešní době využíván při řešení manažerských problémů, kde největší vývoj je zaznamenán v oblasti dodavatelských řetězců, v anglické literatuře dohledatelných pod názvem *supply chain*. (Fiala, 2010)

### 3.2.2 Dodavatelský řetězec

Dodavatelský řetězec je systém obsahující organizaci, činnosti, lidi, informace a zdroje, které se podílejí na přesunu objektů od dodavatele k zákazníkovi. Součástí řetězce je proces přeměny zdroje na finální produkt dodávaný kupujícímu. (Kozlenkova, a další, 2015) Řetězec obsahuje materiálové a informativní toky. První uvedená skupina obsahuje materiál, výrobky, kapacitu produkce atd. Informativní toky obsahují požadavky na produkty, objednávky, platby atd.

**Diagram 1 - Dodavatelský řetězec**



Zdroj: vlastní zpracování

### 3.2.3 Definice operační výzkumu

*„Operační výzkum je vědecký přístup k řešení operativních problémů, aby byly lépe naplněny dané cíle. (Saaty, 2004)*

*„Operační výzkum představuje způsob týmové práce, při které skupina specialistů různého odborného zaměření komplexně řeší složitý ekonomický, technický, organizační nebo vojenskostrategický problém.“ (Gros, 2003 str. 3)*

Saaty (2004) se ve své publikaci *Mathematical Methods of Operations Research* přiklání ještě jedné definici, respektive vysvětlení: „*Operační výzkum je umění přijímání špatných řešení pro problémy, které byly vyřešeny ještě hůře*“.

Z výše uvedených definic lze generalizovat operační výzkum na interdisciplinární vědní obor zaměřený na různé rozhodovací procesy v různých úrovních rozhodování. Jak uvádí Jablonský (2007), k úspěšnému fungování celého systému je nutné stanovit vztah mezi jednotlivými procesy nebo úrovněmi procesů.

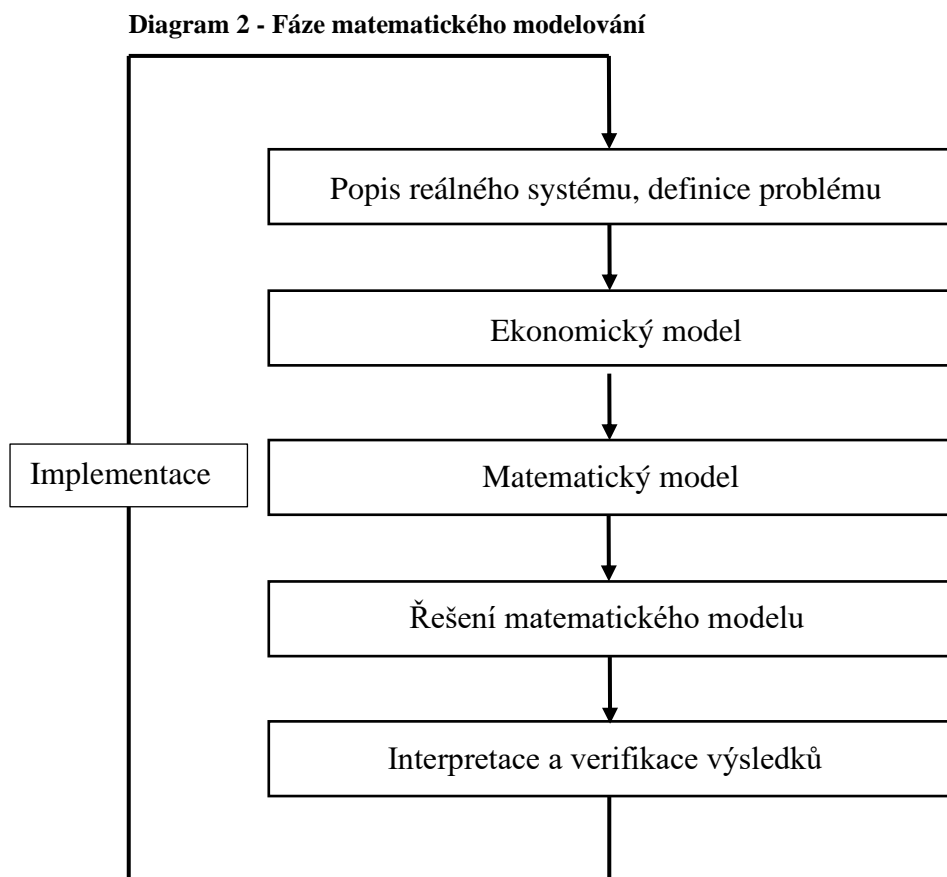
Operační výzkum zahrnuje: strukturní analýzu, modely hromadné obsluhy, dynamické programování, lineární a nelineární programování, řízení zásob, síťová analýza, vícekritériální optimalizaci, teorie her, simulační modely a řízení projektů. (Fábry, 2011)

#### 3.2.4 Proces operačního výzkumu

Základem operačního výzkumu je matematické modelování. Je-li analyzován jakýkoliv systém nebo problém systému, je používán pro jeho modelaci zjednodušený matematický model, který musí obsahovat veškeré důležité prvky a vztahy mezi jednotlivými částmi systému a jejich jasný popis. Naopak prvky nedůležité a irelevantní jsou z modelu odstraněny. I přes fakt, že není téměř možné pomocí matematického modelování reálně vystihnout celou problematiku, je modelování častokrát jedinou možností, jak analyzovat daný systém. Metoda představuje mnoho výhod jako strukturalizaci systému a specifikaci veškerých stavů systému, u velkých modelů se může jednat o vysoké nebo neomezené množství. V izolovaném prostředí, které nemá dopad na reálný systém, lze provádět experimenty při změnách parametrů a lze pozorovat výsledky chování systému, jež v reálném prostředí může trvat dny, měsíce či roky. Tyto výsledky lze tedy analyzovat ve zkráceném čase. Celkové modelování systému a simulace stavů je razantně méně nákladné nežli experimentování na reálném systému. (Jablonský, 2007)

### 3.2.5 Modelování systému

Modelování reálného systému lze zformulovat do 6-ti základních fází popsaných na diagramu 2:



Zdroj: vlastní zpracování dle Jablonský,(2007) odskočilo na další stranu

První fází je definice reálného systému a definice problému. Zde je nutná kooperace vedoucích pracovníků na různých úrovních, kteří jsou zodpovědní za správnou a věcnou definici problému, určení parametrů vhodných a potřebných pro sestavení modelu situace za účelem další analýzy. Možné je také vytvořit tým odborníků, jež budou celou tvorbu dozorovat a celkově se na ni podílet.

Druhou fází je definice ekonomického modelu. Reálné systémy jsou zpravidla příliš složité na použití v modelu. Lze je sice namodelovat, ale pro potřebu operačního výzkumu se jedná o časově a mnohdy finančně náročný proces, jež ve výsledku nemusí přinášet požadované výsledky. Reálné systémy mnohdy obsahují informace, prvky a vazby mezi nimi, které

nejsou pro využití ekonomického modelování podstatné. Ekonomický model je charakterizován jako zjednodušený popis reálného systému, jež obsahuje podstatné prvky reálného systému vybrané tak, aby vyhovoval situacím řešící daný problém.

Každý ekonomický model by měl zahrnovat cíl analýzy, popis procesů, činitelů a vztahy mezi jednotlivými prvky. Cíl analýzy obsahuje konkrétní určení požadovaného koncového stavu systému, povětšinou se jedná o maximalizaci či minimalizaci daného kritéria. Popis procesu představuje znázornění aktivit o určité intenzitě mající vliv na cíl analýzy. V praxi se jedná například o výrobu výrobku v určitém objemu, což představuje intenzitu procesu. Činitelé představují faktory ovlivňující prvky, např.: omezení objemu výroby, zdrojů, nutnost dodržování technických postupů apod. Dále jsou popsány vztahy mezi jednotlivými prvky, které definují, jak jsou prvky ovlivňovány navzájem.

Třetí fází je formulace matematického modelu. Jedná se o matematický zápis ekonomického modelu. Zatímco v předchozí fázi byl model popsán slovně a numericky, matematický model umožňuje další použití matematických metod k řešení problému. Cíl analýzy je uveden v podobě lineární či nelineární funkce. Procesy jsou kódovány v podobě proměnných a jejich intenzit pro danou hodnotu. Činitelé mají povětšinou podobu rovnic a nerovnic v závislosti na povaze analýzy. Vazby jsou pak uvedeny v neřiditelných parametrech.

Řešení matematického modelu spadá pod jednotlivé obory operačního výzkumu v závislosti na charakteru problému. K řešení se v dnešní době používá kvalitní softwarová podpora, která umožňuje přesné řešení i rozsáhlejších problémů v komplikovaných systémech.

Předposlední fází je interpretace a verifikace výsledků. Jedná se o důležitou fázi celého procesu, kdy jsou výsledné hodnoty simulací a modelů ověřovány a verifikovány. Zda-li byly sestaveny správně a jejich použití bude odpovídat reálné situaci.

Poslední fází je implementace výsledků operačního výzkumu do praxe. Je-li celý model sestaven, vyhodnocen a verifikován správně, jeho výsledky by měly mít pozitivní vliv na analyzovaný reálný systém. (Jablonský, 2007)

### 3.2.6 Celočíslné programování

Celočíslné programování je jedno ze speciálních odvětví operačního výzkumu. Jedná se o úlohy lineárního programování, které kvůli své charakteristice je nutné přeformulovat na modely diskrétní. Jelikož nelze v distribučních úlohách projet například 8,65 míst nebo při plánování výrobní linky nelze umístit 2,5 stroje, je nutné do některých modelů zařadit podmínky celočíselnosti. (Hladík, 2017) Diskrétní modely se používají za předpokladu existence konečné množiny variant, a tedy při konečném množství řešení. (Pelikán, 2001)

Obecná formulace celočíselného programování je podle Hladíka (2017):

$$\begin{aligned} & \text{Max } f(x) \\ & \text{za podmínek} \\ & g_j(x) \leq 0 \quad \forall j = 1, \dots, m \end{aligned} \tag{3.1}$$

$$x_j \in Z \quad \forall j \in C \tag{3.2}$$

Úlohy celočíselného programování se dají klasifikovat dle různých hledisek. Jablonský (2007) uvádí rozdělení dle kladení podmínek celočíselnosti na:

- Ryze celočíselné úlohy, kdy požadavek celočíselnosti musí splňovat všechny proměnné

$$C = \{1, \dots, n\} \tag{3.3}$$

- Smíšené celočíselné úlohy, kdy požadavek celočíselnosti musí splňovat pouze určitá podmnožina

$$C \subset \{1, \dots, n\} \tag{3.4}$$

- Bivalentní programování, kdy proměnné nabývají pouze hodnot 0 a 1

$$M_j = \{1, 0\} \tag{3.5}$$

Pelikán (2001) dále uvádí dvě skupiny úloh, kde je nezbytné využít celočíselného programování. První skupina úloh obsahuje proměnné, u kterých nelze připustit neceločíselné hodnoty, například počty kusů, výrobků, dílů atd. Druhou skupinou jsou modely s bivalentními proměnnými, jež modelují a kódují určitá rozhodnutí. Jedná se například o úlohy s kontejnery, okružní problémy atd.

### 3.3 Distribuční úlohy

Mezi speciální skupiny lineárního programování se řadí distribuční úlohy, mezi které je možné zařadit úlohy jednostupňové, dvoustupňové, přiřazovací, okružní, trasovací a další. Formulace úloh lze provést pomocí lineárních modelů, kdy některé ze zmiňovaných jsou specifické svými vlastnostmi a lze k jejich řešení použít jiných konkrétních postupů, které jsou jednodušší nežli simplexová metoda. Další úlohy jsou svojí charakteristikou tak náročné na výpočetní kapacitu, že i při malých souborech proměnných a podmínek, neumožňují efektivní nalezení přesného teoretického optima. (Šubrt, 2011)

#### 3.3.1 Jdnostupňová dopravní úloha (JDÚ)

Jedná se o nejjednodušší úlohu z kategorie distribučních úloh, která řeší problém přepravy stejnorodého produktu od dodavatele k odběrateli při snaze minimalizovat náklady na přepravu. Podmínky pro použití zahrnují stejný druh dopravního prostředku, mezi každým dodavatelem a odběratelem existuje pouze jedna dopravní cesta, po které je možné dopravit libovolné množství produktu a přepravní náklady jsou v přímé úměře k množství přepravovaného produktu. (Šubrt, 2011)

#### 3.3.2 Matematický model JDÚ

Základní podmínkou jednostupňové dopravní úlohy pro její řešitelnost je rovnost kapacit dodavatelů a odběratelů:

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j \quad (3.6)$$

Pokud podmínka není dodržena, je nutné do modelu přidat fiktivní proměnnou, a to buď fiktivního dodavatele, v případě vyššího objemu na straně odběratele, nebo naopak fiktivního odběratele, pokud vyšší objem produktu se nachází na straně dodavatele.

Cílem modelu je nalézt minimum účelové funkce:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow MIN \quad (3.7)$$

za podmínek

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.8)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.9)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (3.10)$$

kde:

$a_i$  = kapacity dodavatelů

$b_j$  = kapacity odběratelů

$c_{ij}$  = cena za přepravu jednoho produktu

$x_{ij}$  = množství přepravovaných produktů (Šubrt, 2011).

### 3.4 Okružní dopravní problémy

Z důvodu růstu nároků na kvalitu, cenu ale i rychlost přepravy osob, zboží, materiálu, služeb v oblasti kurýrních a servisních nebo také nutnosti svážení odpadu, roste také využití kvalitnějších a sofistikovanějších programů a modelů pro analýzu, plánování a optimalizaci veškerých cest. (Fiala, 2010)

Fábry (2011) ve své literatuře rozděluje dopravní úlohy na okružní a rozvozní. Jsou-li požadavky odběratelů na objem či hmotnost zanedbatelné, jedná se o úlohy okružní. V případě druhém se jedná o úlohy rozvozní. Mezi rozvozní dopravní problémy se řadí i úlohy, které nezahrnují pouze rozvoz, ale i svoz. Například odpadu, stahování zboží z poboček na centrálu nebo svoz palet.



Další rozdělení lze klasifikovat podle charakteru informací, které do modelu vstupují. Rozdělujeme tak úlohy na statické a dynamické. Statické úlohy jsou charakteristické existencí informací o všech dodavatelých, jejich požadavcích apod, s předpokladem, že jsou požadavky v čase neměnné. Data jsou známa předem a jsou z nich vyvozena optimální řešení.

Druhou kategorií jsou úlohy dynamické, jež více odpovídají reálným situacím. Podniky musí reagovat na vnější vlivy, které přicházejí v průběhu nebo až po nalezení optimálního řešení. Cílem je rozhodnutí, kdy a kdo obslouží nově vzniklé požadavky tak, aby nebyla narušena optimalita modelu.

### 3.4.1 Úloha obchodního cestujícího (TSP)

Jedná se o nejznámější okružní dopravní problém, v anglické literatuře dohledatelné jako „*Travelling Salesman Problem*“. (Jablonský, 2007)

Problém obchodního cestujícího byl zformulován v 19. století irským matematikem R.W. Hamiltonem a britským matematikem T. Kirkmanem. Jako matematický problém byla úloha formulována v třicátých letech 20. století. Problém obchodního cestujícího vychází z teorie Hamiltonovské kružnice, která je založena na studiu kružnic na pravidelném dvanáctistěnu. (Volek, et al., 2012)

Firma Procter & Gamble se zasloužila o informování veřejnosti o problému obchodního cestujícího, když v roce 1962 vypsala soutěž o 10.000 amerických dolarů pro úspěšného řešitele úlohy, která obsahovala úkol najít optimální trasu pro navštívení 33 míst na mapě, kdy výchozí místo bylo Chicago. Do výchozího místa se poté měl dodavatel po obslužení všech míst znovu vrátit.

Významného úspěchu při výpočtu úloh obchodního cestujícího dosáhli v roce 1954 matematici Ray Fulkerson, George Dantzig a Selmer Johnson, kteří bez použití počítače dokázali určit optimální trasu vozidla pro 49 míst. Peníze od Procter & Gamble ale vyhrál Gerald Thomson, jelikož zmíněná trojce matematiků se jí nezúčastnila. (Cook, 2012)

V současné době je rekord počtu obslužených míst 85.900 (2006). Úloha zahrnovala výrobu čipu na zakázku a metoda TSP byla použita pro nalezení nejkratší možné cesty k jeho vyrobení (Cook, 2007).

Problém obchodního cestujícího může být modifikován pro různé reálné situace. Malaguti, a další (2018) aplikoval řešení problémů TSP na vyzvednutí a doručení zásilek v námořní dopravě. Další možnou modifikací je „*The prize money collecting traveling sales man problem*“, kdy obchodní cestující je motivován k návštěvě místa danou odměnou. Dále za nenavštívená místa je penalizován. Cílem je najít optimální trasu pro minimalizaci celkových penalizací a dosáhnout alespoň částky, která je předepsaná, v praxi se může jednat o minimální představu obchodního cestujícího zaručující mu zisk z cesty. (Balas, 1989)

Problém obchodního cestujícího může být použit v mnoha různých oborech, které nejsou součástí jakékoli dopravy. Využití nachází například při studiu DNA, nastavení teleskopů při sledování vesmíru, v nastavení strojů CNC a jiných. (Cook, 2012)

Aplikací problému obchodního cestujícího se zabývali William Cook (University of Waterloo, Kanada), Daniel Espinoza (Gurobi Optimization, USA) a další, při řešení nestandardního problému najít nejkratší trasu pro navštívení téměř všech hospod ve Velké Británii. V modelu je použito 49.687 hospod a celková délka trasy činí 63.739.697 metrů. (Cook, a další, 2019)

### 3.4.2 Statická úloha TSP

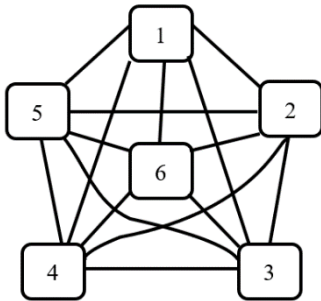
Statická úloha předpokládá znalost všech informací a parametrů před započítáním optimalizace a v průběhu výpočtů jsou tyto parametry neměnné. Cílem úlohy je nalezení nejkratší trasy mezi danými místy, která jsou zadána například množinou zákazníků a jejichž kapacita není pro úlohu významná. Vozidlo, jež obsluhuje všechny místa, vyjíždí z výchozího místa, do kterého se po obslužení všech míst znovu vrací. (Fiala, 2010)

Statická úloha TSP může být dělena podle charakteru spojení mezi jednotlivými body v dopravní síti.

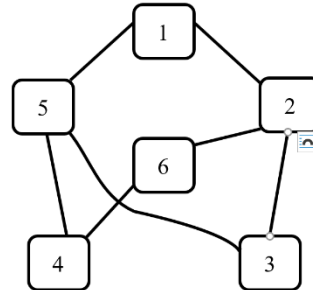
- Úplná síť, kde mezi jakoukoli dvojicí bodů v síti existuje přímá trasa.

- Neúplná síť, kde přímá trasa mezi jakoukoli dvojicí bodů neexistuje.

Obrázek 1 - Úplná síť tras



Obrázek 2 - Neúplná síť tras



Zdroj: vlastní zpracování dle (Brožová, a další, 2002)

V případě úlohy TSP je minimum účelové funkce určeno skalárním součtem matice vzdáleností s maticí bivalentních proměnných určující, jaká trasa bude využita a která ne.

Matematický zápis modelu statické úlohy TSP:

$$z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (3.11)$$

za podmínek:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.12)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.13)$$

$$u_i - u_j + n x_{ij} \leq n - 1 \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n; i \neq j \quad (3.14)$$

$$x_{ij} \in \{0; 1\} \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n \quad (3.15)$$

kde:

$n$  = počet míst, které je nutné obsloužit

$c_{ij}$  = vzdálenost mezi body  $i$  a  $j$ ,

$x_{ij}$  = bivalentní proměnná nabývající hodnot 0,1,

$u$  = pomocná proměnná matematického modelu,

Dodržením podmínek 3.12 a 3.13 je zajištěno navštívení každého bodu pouze jednou. Podmínka 3.14, která zahrnuje proměnnou  $u_i$  a  $u_j$  zajišťuje nevytváření parciálních cyklů. (Fiala, 2010)

Za proměnnou  $c_{ij}$  lze mimo jiné dosadit místo vzdálenosti časovou náročnost daného úseku. Cílem úloh tohoto typu je minimalizovat časovou náročnost cesty, kdy celková vzdálenost není primárním ukazatelem. V praktickém využití se může jednat o kurýrní služby, kde hlavním ukazatelem je rychlost dodání.

### 3.4.3 Dynamická úloha TSP

Na rozdíl od statické úlohy, kdy se požadavky v čase nemění, u dynamické úlohy může dojít ke změnám požadavků. Ať už jejich navýšením nebo snížením. V okamžiku přijetí nového požadavku je trasa vozidla rozdělena na 3 části:

- Dokončená část – jedná o část míst, které již byly obslouženy
- Právě absolvovaná část – část cesty, která se nachází mezi posledním obslouženým místem a bezprostředně následujícím místem. Během této trasy vznikne nový požadavek na obslužení místa, které nebylo zaznamenáno v původním modelu.
- Plánovaná část – jedná se o všechny místa, jež zatím nebyla obsloužena.

K aplikaci nového požadavku do stávajícího modelu uvádí Fiala (2011) dva přístupy:

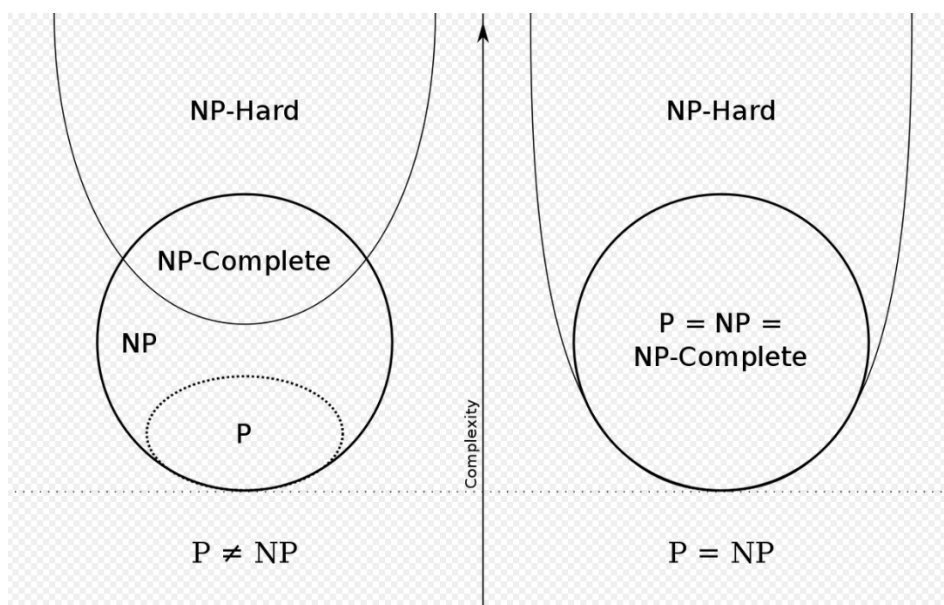
- Re-optimalizace – nový požadavek je vložen do množiny zatím nenavštívených míst, tj do *Plánované části*, a je nalezeno nové optimální řešení trasy. Obdobný princip je použit při odstranění požadavku, kdy je provedena re-optimalizace zbylých požadavků
- Vkládaný algoritmus – jedná se o heuristickou metodu, jež nemusí najít výsledek, který bude optimální. Požadavek v podobě nového místa bude zařazen mezi dvě po sobě jdoucí místa. Pro nalezení nejvhodnější dvojice míst, kam nový požadavek zařadit může jako kritérium sloužit hodnota prodloužení trasy.

### 3.4.4 NP a P úlohy

Cook (2012) ve své knize rozděluje úlohy dle složitosti do tříd P a NP. Obecně je přijímáno, že úlohy, které lze řešit v polynominálním čase, jsou považovány za „lehké“, a úlohy řešené v superpolynominálním čase jsou považovány za „obtížné“.

Existuje množina NP (nedeterministicky polynominální) úloh reprezentující třídu složitosti, pro kterou se nepovedlo najít algoritmus, nacházející řešení v polynominálně omezeném čase, ale zároveň zatím nikdo nedokázal, že tento algoritmus neexistuje. NP úlohy jsou řešitelné v polynominálně omezeném čase na nederministickém Turingově stroji. Jiná definice říká, že se jedná o problémy, jejichž řešení lze v polynominálně omezeném čase verifikovat.

Obrázek 3 - Eulerův diagram složitosti tříd



Zdroj: <https://cs.stackexchange.com/questions/109308/is-this-possible-when-it-comes-to-the-relations-of-p-np-np-hard-and-np-complet>

Součástí množiny NP jsou úlohy P, pro které existuje algoritmus schopný najít řešení problému v polynominálně omezeném čase. Existuje mnoho debat zabývajících se problémem  $P \neq NP$  a neexistuje jasná odpověď na tuto otázku. Pokud by bylo prokázáno, že  $P = NP$ , množina NP by byla pohlcena množinou P. Problém obchodního cestujícího náleží do množiny úloh NP-úplné/ obtížné (NP-hard), úlohy charakteristické neexistencí algoritmu,

jež dokáže najít řešení v polynominálně omezeném čase. Jedná se o nejobtížnější problémy z množiny NP. (Cormen, et al., 2009)

### 3.4.5 Možnosti řešení TSP

Z důvodu neexistence algoritmu pro vyřešení problému obchodního cestujícího v polynominálním čase, je nutné využít jiných metod pro výpočet dané úlohy. Pelikán (2001) ve své knize uvádí metody: aproximační, heuristické a metaheuristické. Tyto metody jsou bez softwarové podpory aplikovatelné pouze na úlohy menšího rozsahu. V praktickém využití se jedná spíše o robustní úlohy a je vyžadována softwarová podpora.

Na trhu se vyskytuje velké množství optimalizačních softwarů, jež jsou určeny pro střední a velké podniky k optimalizaci tras a tím snížení nákladů na přepravu. Volně dostupné programy jsou většinou omezeny ve své funkci například mírou uživatelské přístupnosti, použitím nebo množstvím vložených dat a podmínek. Velké spediční společnosti si vytvářejí nebo nechávají vytvářet programy pro své vlastní, konkrétní potřeby. (Plevný, a další, 2010)

Pelikán (2001) uvádí celou řadou programů pro řešení úloh celočíselného programování například systémy:

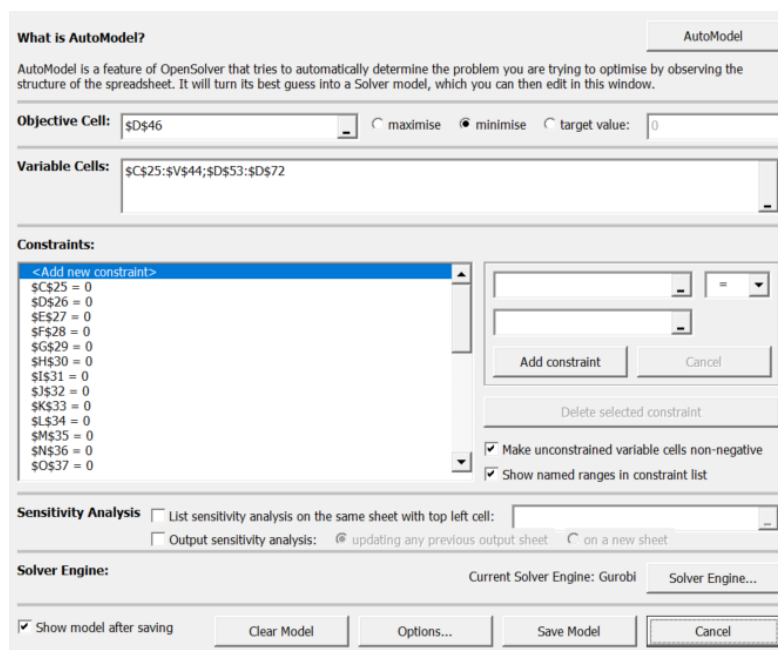
- LINGO
- LINDO
- XA
- WHATS BEST!
- CPLEX a další

V knize Plevného a dalších (2010) jsou jako nejdostupnější programové řešení uváděny tabulkové procesory, které jsou zastoupeny nejznámějším z nich – Microsoft Excel Open Solver. Tento program bude použit pro potřeby zpracování diplomové práce. Jedná se o procesor, jehož jádrem je Gurobi optimization engine, který je schopný v krátkém čase vyřešit rozsáhlé lineární a celočíselné úlohy. Gurobi optimizer je nabízen v několika placených verzích, ale je také k dispozici akademická licence, jež je použita pro potřeby diplomové práce (Gurobi Optimization, LLC, 2020). V rozhraní Excel je upravován model

a jeho omezující podmínky. Označení modelu a jeho výpočet také probíhá v programu Excel a nabízí tak přehledné uživatelské rozhraní.

Při sestavování modelu je nutné zadat parametry účelové funkce, matici binárních proměnných, matici vzdáleností mezi body a matici pomocných bodů. Dále je nutné zadat omezující podmínky modelu pro jeho správné fungování. (Open Solver for Excel, 2019)

**Obrázek 4 - Rozhraní zadávání modelu**



Zdroj: vlastní zpracování

Na obrázku 4 se nachází rozhraní Excel Open Solver, kam jsou vkládány data o modelu.

## 3.5 Měření meteorologických dat

### 3.5.1 Historie Českého hydrometeorologického ústavu (CHMU)

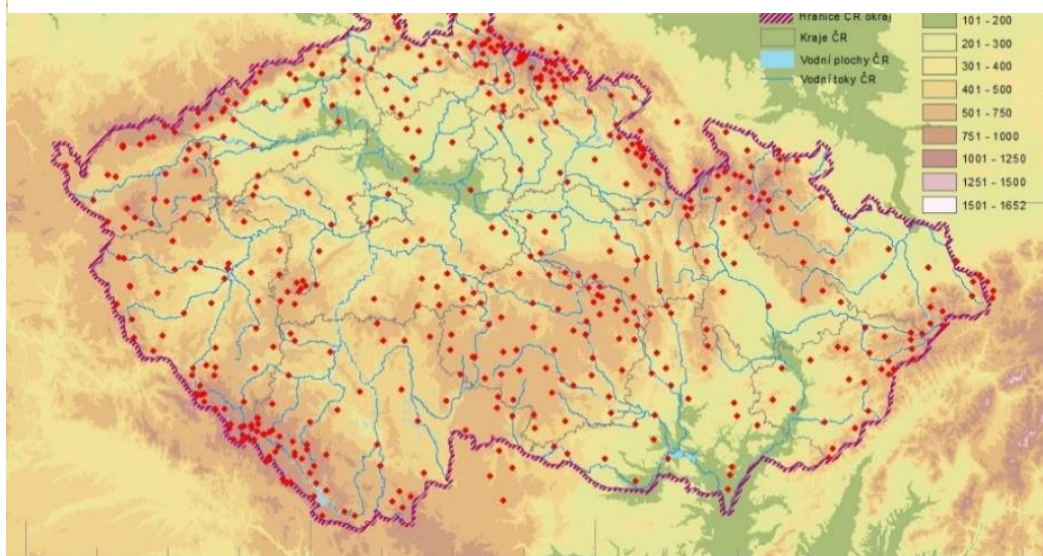
První budování, tehdy československé, meteorologické služby, je datováno mezi lety 1919 a 1920, kdy byla institucionalizována v Československém státním ústavu meteorologickém v Praze a navázala na činnost ústavů z dob Rakouska-Uherska sídlících ve Vídni a Budapešti. Český hydrometeorologický ústav byl zřízen vládním nařízením č.

96/1953 ze dne 27. listopadu 1953 a samotný vznik je datován k 1.ledu 1954. (Český hydrometeorologický ústav, 2008)

### 3.5.2 Současnost CHMU

V současné době má ústav 7 regionálních poboček, a to v Praze, Českých Budějovicích, Plzni, Ústí nad Labem, Hradci Králové, Brně a Ostravě. Podle serveru Českého hydrometeorologického ústavu se na území České republiky nachází 802 meteorologických stanic (stav k roku 2011), při čemž se jedná o: „38 profesionálních meteorologických stanic, 6 stanic spravuje Armáda ČR, dále 179 dobrovolnických klimatologických stanic, které poskytují rozsáhlá klimatologická měření. A v neposlední řadě existuje 559 dobrovolnických srážkoměrných stanic omezených jen na měření srážek a vlastností sněhové pokrývky. Doplnkové údaje o ročním úhrnu srážek navíc poskytuje i 26 totalizátorů, umístěných v obtížně přístupných horských lokalitách.“ (Český hydrometeorologický ústav, 2011)

Obrázek 5 - Mapa meteorologických stanic pro měření sněhové pokrývky



Zdroj: vlastní zpracování z portal.chmi.cz

Pro umístění hydrometeorologických stanic jsou dány určité podmínky, jako minimální rozměr pozemku stanice, jež činí 20x20 metrů, jeho umístění v zástavbě a jiné. V současné době se pro koordinaci vědeckých a technických úkonů používá koordinovaný světový čas – UTC (Universal Time Coordinated). Měření sněhové pokrývky na meteorologické stanici

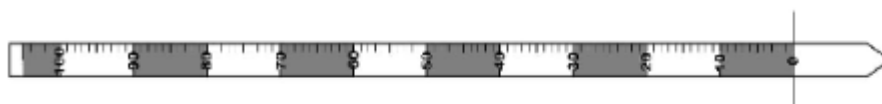


probíhá vždy jednou denně a to v 7 hodin Středoevropského času (SEČ) s korekcí na místní střední sluneční čas (MSSČ), známý jako *termín 07*. Během letního času se data zapisují v 8 hodin SEČ s korekcí na MSSČ.

### 3.5.3 Metodika měření sněhové pokrývky

Měření množství nové sněhové pokrývky probíhá na sněhoměrné desce o rozměrech 30 x 30 centimetrů a odečet dat probíhá za pomoci měrného pravítka. Deska se pokládá na již napadlou vrstvu sněhu tak, aby její povrch byl zároveň s povrchem již napadlého sněhu, v případě nulové pokrývky se měrné zařízení pokládá na zem pozemku. Měření celkové sněhové pokrývky probíhá pomocí sněhoměrné tyče nebo latě ideálně v místě, kde není vrstva sněhu ovlivněná větrnými podmínkami. Měření probíhá denně v *termínu 07*, za předpokladu existence souvislé sněhové pokrývky, která „*pokrývá alespoň polovinu půdy na pozemku stanice a v jejím nejbližším okolí*“. Pokud se jedná o sníh do výšky 0,5 centimetru, jedná se o poprašek, pokud je výška sněhu vyšší jak 0,5 centimetru, zaokrouhluje se výška na celé centimetry. Měření sněhové pokrývky zahrnuje: „*vrstvu sněhu nebo ledu, která přímo nebo nepřímo vznikla v důsledku tuhých srážek (sníh, kroupy, sněhové krupky, sněhová zrna, zmrzlý déšť, námrazové krupky, náledí, zmrázky; nikoliv však ledovka na zemi, protože ta vzniká při mrznoucích srážkách)*.“ (Židek, a další, 2014)

**Obrázek 6 - Sněhoměrná tyč**



Zdroj: Židek, a další, 2014

## 3.6 Zakrmování a péče o zvěř

Ve střední Evropě došlo ke změně z lovu na myslivost počátkem vykonávání činností, které dnes nazýváme péče o zvěř. Z počátku se jednalo o omezení lovu těch druhů jejichž stavy se v přírodě snižovaly. Poté bylo přistoupeno, v období zimních měsíců, v omezeném množství k přikrmování zvěře, a to hlavně zvěře jelení a drobné zvěře jako je bažant či koroptev. Péče o zvěř měla formu dle odrazu společenského zřízení a politické situace. Stavy jelení zvěře kolísaly během století dle válek, revolucí, nových nařízení a zákonů. V současné době jsou stavy divokých prasat a jelení zvěře popisovány jako přemnožené, což je nepochopení termínu přemnožení, protože v takovém případě nastupují

samoregulační procesy, které redukuje počet jedinců. Zvěře je mnoho, protože úživnost prostředí důsledkem intenzivního zemědělství je vyšší než před 100 lety. Zvěř proto nemusí potravu shánět v lesích, ale spásá i zemědělské plodiny, čímž vznikají škody zvěře jak na zemědělských plodinách, tak na lesních porostech. Hlavně se jedná o nové kultury vysazované jako náhrada za porosty vykáčené v důsledku kůrovcové kalamity. (Hanzal, et al., 2017)

### 3.6.1 Opatření proti škodám způsobených zvěří

Proti škodám způsobených zvěří jsou prováděna různá opatření, například zvyšování úživnosti honitby. Jenou z možností zvýšení úživnosti je příkrmování zvěře v době strádání. Jedná se o zimní měsíce, ale i měsíce srpen a září, kdy hospodářské aktivity znemožňují se zvěři připravit na zimu. Zvěř je příkrmována z důvodu odvedení pozornosti spásání a okusu zájmových produktů, ať už se jedná o pěstované plodiny na poli nebo novou výsadbu v lesních školkách. Zřizování krmelišť a vnadišť zajišťuje nejen doplňování živin pro zvěř, ale také možnost je na těchto místech pozorovat, sčítat a v případě vnadišť i regulovat jejich počty. Z tohoto důvodu se vnadiště zásobují pravidelně, aby odpovídalo dennímu režimu zvěře. (Hanzal, et al., 2016)

Dle zákona č. 449/2001 Sb. o myslivosti, § 11, odst. 4, je uživatel honitby povinen provozovat krmelce, zásypy, slaniska a napajedla a v době nouze zvěř řádně příkrmovat. Podle nařízení veterinární správy s č.j.: SVS/2018/127866-G, se na vnadišti nesmí nacházet najednou více než 20 kg krmiva a je povoleno mít 1 vnadiště na 50 ha.

## 4 Praktická část

V současné chvíli za probíhající tzv. „křovcové kalamity“, je nezbytné odstraňovat napadené porosty a zároveň revitalizovat oblasti výsadbou nových. Revitalizaci znesnadňuje právě zvěř vysoká, zastoupená zejména jelenem evropským a zvěř černá, zastoupená prasetem divokým, které páchají vysoké škody na nových porostech. Regulace počtu zvěře je tak vnímána jako opatření ke snižování škod způsobených zvěří a jako důvod udržení optimální populace s přihlédnutím k úživnosti honitby. Zároveň tento proces má pozitivní vliv na správnou péči o zvěř, kdy je podporován chov geneticky silných jedinců a regulace slabších kusů.

Druhá část diplomové práce se zaměřuje na praktickou aplikaci matematického modelu obchodního cestujícího v při tvorbě optimálního návrhu tras při zakrmování zvěře v honitbě Stropník. Z naměřených a získaných dat je provedena analýza tras a dále jsou vytvořeny scénáře zahrnující celkovou výšku sněhové pokrývky a případy zablokování tras, například z důvodu spadlých stromů. Výsledky práce jsou prezentovány provozovateli honitby a mohou být použity jako podklad pro rozpočtové plánování.

Výkon práva myslivosti je u 90 % myslivců dobrovolná činnost, která je financována ze zdrojů mysliveckého sdružení nebo přímo ze zdrojů samotných členů. Veškeré náklady, které jsou vynaloženy na provoz mysliveckého sdružení je nutné minimalizovat a alokovat tak, aby nedocházelo k jejich plýtvání. Disponibilní finance je nutné efektivně vynakládat na konkrétní činnosti a vybavení, jež zahrnuje například myslivecká zařízení, které potřebují pravidelnou údržbu, a jiné provozní náklady.

## **4.1 Charakteristika prostředí**

### **4.1.1 Honitba Stropník**

Honitba Stropník je státem vlastněný honební pozemek s číslem 235015 o výměře 1514 ha, v současné době je pronajímán společností Consorcium HKR s.r.o., Praha. Oficiální vlastníky pozemků jsou Lesy České republiky, s.p. Honitba se nachází v Ústeckém kraji, okresu Teplice, mezi obcemi Osek a Dlouhá louka. Nejvyšší bod honitby je vrchol Stropník 856 metrů nad mořem. Z důvodu vyšší nadmořské výšky je území v zimních obdobích pokryto sněhem. Jedná se o zalesněnou oblast s kopcovitým reliéfem. Oblast honitby Stropník je vyobrazena v příloze 1

### **4.1.2 Zazvěření honitby**

Dle vyhlášky č.: 491/2002 Sb., ze dne 13. listopadu 2002 o způsobu stanovení minimálních a normovaných stavů zvěře a o zařazování honiteb nebo jejich částí do jakostních tříd je minimální stav určen na 15 kusů jelena evropského. Normovaný stav zvěře je určen na 18 kusů jelena evropského. Regulační plán, jehož sestavení probíhá za přítomnosti majitele honebních pozemků, v tomto případě Lesy České republiky, s.p., čítá 65 kusů jelení zvěře pro udržení optimálního zazvěření honitby za jeden rok. Jelikož zvěř každoročně páchá škody na lesním porostu v hodnotě cca 150 000 Kč, je regulace jejich počtu nutností.

### **4.1.3 Společnost Consorcium HKR s.r.o.**

Společnost Consorcium HKR s.r.o. je společnost s ručením. Je nájemcem honitby Stropník od roku 2013 a úspěšně hospodaří při výkonu práva myslivosti.

Rozpočet společenství je závislý hlavně na sponzorských darech, na výnosech z prodeje poplatkových loví, masa ulovené zvěře a vybraných peněz za prodej trofejové zvěře.

Hlavní výdaje společnosti zahrnují nákup, provoz a servis mysliveckých zařízení, posedů nebo kazatelen, krmných zařízení atd. Dále také péče o zvěř, která zahrnuje příkrmování v době nouze a zakrmování na vnaďištích.

## 4.2 Charakteristika problému

Regulační plán musí být bezpodmínečně splněn, jelikož sankce za jeho nesplnění by byly finančně likvidační a hrozila by tak ztráta honebních pozemků. Pro podporu splnění plánu jsou prováděna opatření proti škodám způsobené zvěří a na tyto aktivity jsou alokovány určité finance. Každý rok je sestavován rozpočet na dané období, kam budou finance směřovány. Spolek počítá jak s výdaji vynaloženými na spotřebovaný materiál na rekonstrukce mysliveckých zařízení, tak s náklady spojené se zvyšováním úživnosti honitby. Neopomenutelné jsou provozní náklady při zakrmování zvěře, samotné krmné směsi nebo finance vynaložené při společných lovech. Jelikož je myslivost činnost dobrovolná, nezapočítávají se náklady na mzdy zaměstnanců. Provozní náklady se skládají hlavně z nákupu pohonných hmot a amortizace vozidla. Náklady na přepravu mohou kolísat podle meteorologických podmínek. V případě oblasti v honitbě Stropník se jedná hlavně o výšku sněhové pokrývky, která determinuje průjezdnost nebo naopak neprůjezdnost určitými trasami. Dalším faktorem průchodnosti, jelikož se jedná o lesní honitbu, jsou vývraty stromů, které mohou blokovat určité cesty. Při znemožnění průjezdu určitých tras je celková ujetá vzdálenost vyšší a tím narůstají náklady na obsluhu krmných zařízení.

Vlastní zakrmování probíhá terénním pick-upem Mitsubishi L200, s nosností 1000 kg a průměrnou spotřebou v kombinovaném terénu 17 l / 100 km. Zakrmování probíhá pravidelně po celý rok podle situace, minimálně však 2x za týden. V zimních měsících a za konkrétních meteorologických podmínek probíhá zakrmování 3x do týdne.

Požadavek na stanovení optimální trasy není zaměřen jen na minimalizaci finančních nákladů, ale také na minimalizaci časové náročnosti z důvodu zefektivnění práce.

#### 4.2.1 Body obsluhy

Pro úspěšné splnění regulačního plánu je v oblasti honitby Stropník umístěno 15 stanovišť mysliveckých zařízení, nazývaných kazatelny, a k nim náležící vnadiště nacházející se cca ve vzdálenosti 50 metrů. Tyto plochy je nutné pravidelně zásobovat krmnými směsmi. Kompletní seznam vnadišť se nachází v tabulce 1.

**Tabulka 1 - Seznam krmných zařízení**

Číslo	Název místa
1	Mstišov
2	Přezimovací obora
3	Vlčí Důl
4	Oboroh
5	Stropník
6	U Krause
7	Prosklená louka
8	Lenka
9	Spací
10	Krásná
11	Klášter
12	Druhá dole
13	Čtvrtá dole
14	Čtvrtá nahoře
15	Modrá školka

Výchozím bodem je bod číslo 1 – „Mstišov“. Zde přeprava, po obslužení všech míst, také končí. Z bodu číslo 1 musí nejprve vůz směřovat do bodu s názvem „Přezimovací obora“, což je sklad krmiva, kde je naloženo potřebné množství surovin k zakrmení oblasti a je umožněno dále pokračovat v cestě.

#### 4.2.2 Pomocné body

Obslužnost tras je závislá na sněhové pokrývce v dané oblasti a její existence či neexistence ovlivňuje otevření či uzavření konkrétních tras. K základním bodům obsluhy je přidáno 5 bodů pomocných, které slouží při modelování scénářů a procesu uzavírání a otevírání tras. Seznam pomocných bodů se nachází v tabulce 2:

**Tabulka 2 - Pomocné body**

Číslo	Název místa
16	Rozcestí – památník
17	Rozcestí – str. cesta dole
18	Rozcestí – str. cesta nahoře
19	Rozcestí – hrad
20	Rozcestí – Dlouhá louka

Pomocné body jsou umístěny tak, aby se nacházely na spojnicích obsluhovaných vnaďišť a jejich projetí negativně neovlivňuje výsledek modelu, a nenavýšuje počet celkových ujetých metrů na trase.

Po sloužení všech bodů pro účely modelu a tvorby scénářů, obsahuje celkový seznam 20 bodů, které vozidlo musí obsloužit. Seznam bodů je zaznamenán v tabulce 3.

**Tabulka 3 - Seznam bodů**

Číslo	Název místa	Číslo	Název místa
1	Mstišov	11	Klášter
2	Přezimovací obora	12	Druhá dole
3	Vlčí Důl	13	Čtvrtá dole
4	Oboroh	14	Čtvrtá nahoře
5	Stropaník	15	Modrá školka
6	U Krause	16	Rozcestí – památník
7	Prosklená louka	17	Rozcestí – Střední cesta dole
8	Lenka	18	Rozcestí – střední cesta nahoře
9	Spací	19	Rozcestí – hrad
10	Krásná	20	Rozcestí – Dlouhá louka

#### 4.2.3 Rizikové trasy

Z důvodu umístění honitby v kopcovité oblasti je nutné počítat s komplikacemi, které mohou být způsobeny sněhem nebo poryvy větru. Proto sjízdnost jednotlivých tras závisí na hydrometeorologický podmínkách a na okolnostech spojených se zablokováním tras, ať už spadlým stromem nebo při jiných okolnostech. Rizikové úseky jsou označeny v obrázku 7.

Hlavní spojnice, která spojuje body v méně přístupném terénu se nazývá *Střední cesta* a na obrázku 7 je značena žlutou barvou. Jedná se o obslužní asfaltovou silnici umožňující dostupnost vozidlem k místům mimo hlavní komunikace. Cesta vede skrz lesnatý porost a

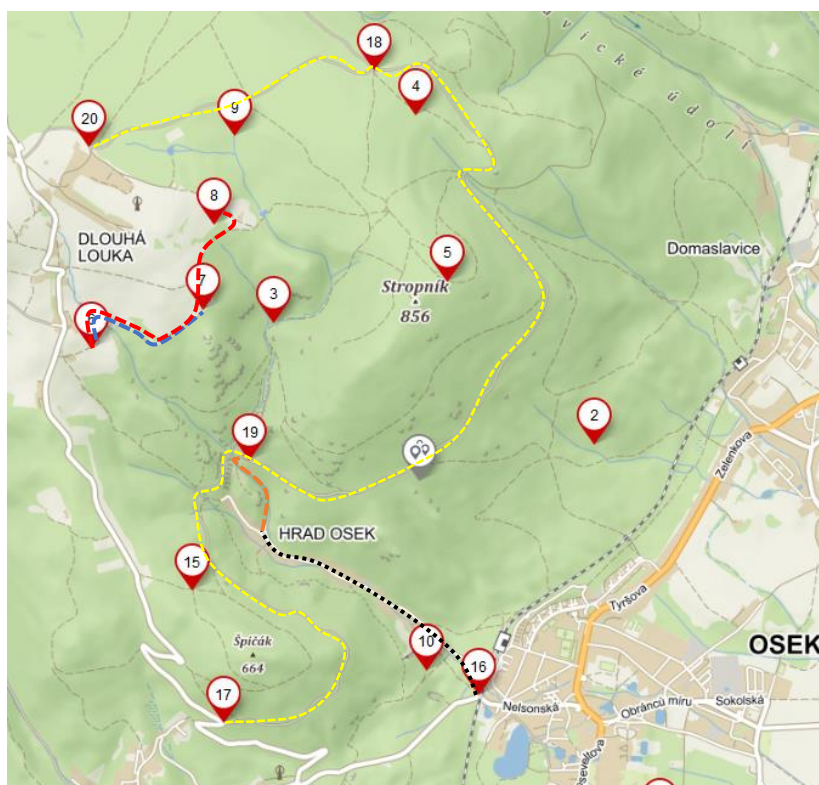
je často používána pro přesun a operování těžební techniky. Dále zde hrozí zablokování trasy vývratem stromu. O problematice vývratů je psáno více v kapitole 4.4.

Další trasou, kde je sjízdnost ovlivněna meteorologickými podmínkami je spojnice mezi bodem 16 – Rozcestí památník a bodem 19 – Rozcestí hrad. Jedná se o asfaltovou silnici připojující se na Střední cestu. Poslední část trasy je charakteristická prudkým stoupáním, v obrázku 7 značeno přerušovanou oranžovou čarou, v tabulce 5 je úsek označen červenou barvou. Cesta je za optimálních podmínek bez sněhové pokrývky sjízdná a používá se jako nejkratší trasa pro dosažení bodů v oblasti. Při změně hydrometeorologických podmínek není trasa bezpečně sjízdná. Zbytek cesty, který je asfaltový je značen přerušovanou černou čarou. Cesta je sjízdná většinu roku, ale z důvodu napojení na rizikový úsek je tato trasa ve scénářích uzavírána celá.

Další rizikovou trasou je spojnice mezi body 6 – U Krause a 7 – Prosklená louka, v mapě značena modrou přerušovanou čarou a body 6 – U Krause a 8 – Lenka, v mapě označeno červenou přerušovanou čarou. V tabulce 5 jsou úseky označeny zelenou barvou. Trasu je nutné uzavřít z důvodu bezpečnosti při podmínce zahrnující výskyt sněhové pokrývky.



Obrázek 7 - Mapa - rizikové úseky + Střední cesta



#### 4.2.4 Trasy

Body obsluhy – krmná zařízení, a pomocné body rozcestí jsou zaneseny v datové tabulce 4. Trasy mezi obsluhovanými body vedou po 3 typech cest:

- Asfaltová cesta spadající pod silnice a místní komunikace
- Asfaltová cesta účelových komunikací
- Lesní cesta

Protože trasy nevedou pouze po asfaltových silnicích, nelze použít nástroj Google Maps pro zjištění vzájemných vzdáleností. K měření je použita online platforma Mapy.cz, kde je možnost profilovat trasy skrz lesní cesty, nemožné dohledat na platformě Google Maps.

Každá trasa je rozdělena do 3 dílčích kategorií. Délky jednotlivých dílčích úseků jsou sečteny a tvoří základ vzdáleností pro další modelování. K rozdělení cest do 3 kategorií je přistoupeno z důvodu nekomplexního měření pomocí nástrojů Mapy.cz, kdy není umožněno použití určitých částí tras motorovým vozidlům.

K určení časové náročnosti jsou použita data, pro úseky asfaltových cest náleží k pozemním komunikacím, z metriky Mapy.cz. Asfaltové cesty posazené mimo pozemní komunikace, dále uváděné jako „zpevněné cesty“ jsou měřeny také pomocí Mapy.cz, ale časová délka je počítána pomocí výpočtu  $v = \frac{s}{t}$ , respektive  $t = \frac{s}{v}$ , kde  $t$  je čas v sekundách,  $s$  je vzdálenost v metrech daného úseku,  $v$  je rychlost v metrech za sekundu, která je učená podle typu silnice. Pro asfaltovou silnici mimo pozemní komunikaci je na základě pozorování a s přihlédnutím ke stavu cest určena průměrná rychlost 30 km/h. Pro lesní cesty a nezpevněné cesty je vypočtená průměrná rychlost 8,5 km/h. Obě zvolené rychlosti jsou určeny dle pozorování a měření na deseti úsecích od každé kategorie. Jsou zaznamenány průměrné rychlosti v daném úseku pomocí přístroje GPS Garmin Fenix 3, které jsou dále zprůměrovány a použity v dalších výpočtech. Rychlosti jsou v tabulce uvedeny pouze pro konkrétní úsek jednotlivé kategorie v rámci dané cesty.

**Tabulka 4 - Měření průměrné rychlosti**

Úsek "zpevněná cesta"				Úsek "lesní cesta"			
Měření	Úsek v cestě	Délka [m]	Rychlost [km/h]	Měření	Úsek v cestě	Délka [m]	Rychlost [km/h]
1	x1_5	2300	32,6	1	x1_5	1400	9,3
2	x3_7	4400	31,5	2	x3_7	2245	7,8
3	x5_9	846	30,4	3	x5_9	1615	9,9
4	x7_9	1400	28,5	4	x7_9	1315	8,2
5	x9_12	1860	32,7	5	x9_12	215	8,5
6	x11_12	460	27,9	6	x11_12	601	7,2
7	x13_15	500	26,4	7	x13_15	344	7,8
8	x15_18	2223	28,9	8	x15_18	344	7,5
9	17_9	1400	29,3	9	17_9	215	9,7
10	x19_9	5100	31,8	10	x19_9	215	9,1
	Průměr [km/h]		30,00		Průměr [km/h]		8,50
	Průměr [m/s]		8,33		Průměr [m/s]		2,36

Výpočet vzdáleností a časové náročnosti mezi jednotlivými body jsou uvedeny v příloze 2. Výsledné hodnoty vzdálenosti, uvedené v metrech, jsou zaznamenány v tabulce 5. Časové náročnosti tras, které jsou přepočteny na minuty pomocí  $t_{[m]} = \frac{t_{[s]}}{60}$ , kde  $t_{[m]}$  je čas uvedený v minutách a  $t_{[s]}$  je čas uvedený v sekundách, jsou uvedeny v tabulce 6.

**Tabulka 5 - Datová tabulka vzdáleností v metrech**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	9100	16345	19689	20700	15958	19100	18331	18615	10880	11101	11960	12800	13013	14644	10500	12800	19223	15600	17523
2	9100	0	9245	12589	13600	8858	12000	11231	11515	3780	4001	4860	5700	5913	7544	3400	5800	12123	8600	10423
3	16345	9245	0	5634	6645	6603	8545	7776	6260	6325	7746	8505	9445	9658	5289	5945	3545	5245	945	6945
4	19689	12589	5634	0	1789	4247	3789	3020	1450	9569	10990	11289	12189	12902	5733	9189	6789	389	4689	2089
5	20700	13600	6645	1789	0	5258	4800	4031	2461	10580	12001	12760	13700	13913	6744	10200	7800	1400	5700	3100
6	15958	8858	6603	4247	5258	0	873	1600	3173	5838	7259	8118	8958	9171	2002	5458	3058	3781	5858	2081
7	19100	12000	8545	3789	4800	873	0	792	2715	8980	10401	11260	12100	12313	5144	8600	6200	4323	7600	1689
8	18331	11231	7776	3020	4031	1600	792	0	1946	8211	9632	10491	11331	11544	4375	7831	5431	3554	6831	854
9	18615	11515	6260	1450	2461	3173	2715	1946	0	8495	9916	10775	11615	11828	4659	8115	5715	1054	5315	1102
10	10880	3780	6325	9569	10580	5838	8980	8211	8495	0	2281	3040	3980	4193	4624	439	2780	9103	5580	7403
11	11701	5201	8946	12190	13201	8459	11601	10832	11116	3481	0	4161	5101	5314	7145	3001	5401	11724	8201	10024
12	11960	4860	8505	11289	12760	8118	11260	10491	10775	3040	2961	0	1787	2000	6704	2660	4960	11283	7760	9583
13	12800	5700	9445	12189	13700	8958	12100	11331	11615	3980	3901	1787	0	1213	7644	3500	5900	12123	8700	10423
14	13013	5913	9658	12902	13913	9171	12313	11544	11828	4193	4114	2000	1213	0	7857	3713	6113	12336	8913	10636
15	14644	7544	5289	5733	6744	2002	5144	4375	4659	4624	5945	6704	7644	7857	0	4144	1844	5267	4644	3567
16	10500	3400	5945	9189	10200	5458	8600	7831	8115	439	1801	2660	3500	3713	4144	0	2300	8723	2118	7023
17	12800	5800	3545	6789	7800	3058	6200	5431	5715	2780	4201	4960	5900	6113	1844	2300	0	6323	2800	4623
18	19223	12123	5245	389	1400	3781	4323	3554	1054	9103	10524	11283	12123	12336	5267	8723	6323	0	4300	1700
19	15600	8600	945	4689	5700	5858	7600	6831	5315	5580	7001	7760	8700	8913	4644	2118	2800	4300	0	6100
20	17523	10423	6945	2089	3100	2081	1689	854	1102	7403	8824	9583	10423	10636	3567	7023	4623	1700	6100	0

Zdroj: vlastní zpracování na základě dat z Mapy.cz

**Tabulka 6 - Datová tabulka časové náročnosti v minutách**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0,00	15,06	24,69	27,35	34,48	19,82	29,76	24,34	24,32	12,56	16,24	12,92	13,50	17,53	18,43	11,00	14,00	24,45	19,60	21,05
2	15,06	0,00	25,42	27,40	34,54	18,88	29,82	24,40	24,38	11,62	15,30	12,98	13,56	17,59	17,49	10,06	14,06	24,50	19,66	21,10
3	24,69	25,42	0,00	17,51	24,65	17,19	26,93	21,50	17,88	15,93	21,61	18,28	19,36	23,40	15,79	14,36	11,36	14,76	6,16	18,16
4	27,35	27,40	17,51	0,00	12,63	11,17	15,11	9,68	5,96	17,91	23,59	20,35	20,85	25,88	13,77	16,35	13,35	2,75	11,35	6,15
5	34,48	34,54	24,65	12,63	0,00	18,30	22,25	16,82	13,09	25,05	30,72	28,40	28,98	33,02	20,91	23,48	20,48	9,88	18,48	13,28
6	19,82	18,88	17,19	11,17	18,30	0,00	6,16	11,29	8,14	10,39	15,06	12,74	13,32	17,35	6,25	8,82	5,82	8,27	11,42	4,87
7	29,76	29,82	26,93	15,11	22,25	6,16	0,00	5,59	12,08	20,33	26,01	22,68	23,76	27,80	16,19	18,76	15,76	14,21	20,76	8,94
8	24,34	24,40	21,50	9,68	16,82	11,29	5,59	0,00	6,65	14,90	20,58	17,26	18,34	22,37	10,76	13,34	10,34	8,78	15,34	3,38
9	24,32	24,38	17,88	5,96	13,09	8,14	12,08	6,65	0,00	14,88	20,56	17,24	18,32	22,35	10,75	13,32	10,32	3,20	11,72	3,29
10	12,56	11,62	15,93	17,91	25,05	10,39	20,33	14,90	14,88	0,00	8,81	5,48	6,56	10,60	8,99	1,56	4,56	15,01	10,16	11,61
11	16,61	15,61	22,08	24,54	30,61	17,15	26,21	21,59	21,70	10,09	0,00	10,16	11,24	15,28	16,67	9,24	12,24	22,69	17,84	19,29
12	12,92	12,98	18,28	20,35	28,40	12,74	22,68	17,26	17,24	5,48	8,16	0,00	2,42	6,45	11,35	3,92	6,92	17,37	12,52	13,97
13	13,50	13,56	19,36	20,85	28,98	13,32	23,76	18,34	18,32	6,56	8,24	2,42	0,00	6,03	11,43	4,00	7,00	17,45	12,60	14,05
14	17,53	17,59	23,40	25,88	33,02	17,35	27,80	22,37	22,35	10,60	12,28	6,45	6,03	0,00	15,46	8,03	11,03	21,48	16,63	18,08
15	18,43	17,49	15,79	13,77	20,91	6,25	16,19	10,76	10,75	8,99	14,67	11,35	11,43	15,46	0,00	7,43	4,43	10,87	10,03	7,47
16	11,00	10,06	14,36	16,35	23,48	8,82	18,76	13,34	13,32	1,56	7,24	3,92	4,00	8,03	7,43	0,00	3,00	13,45	8,66	10,05
17	14,00	14,06	11,36	13,35	20,48	5,82	15,76	10,34	10,32	4,56	10,24	6,92	7,00	11,03	4,43	3,00	0,00	10,45	5,60	7,05
18	24,45	24,50	14,76	2,75	9,88	8,27	14,21	8,78	3,20	15,01	20,69	17,37	17,45	21,48	10,87	13,45	10,45	0,00	14,60	9,40
19	19,60	19,66	6,16	11,35	18,48	11,42	20,76	15,34	11,72	10,16	15,84	12,52	12,60	16,63	10,03	8,66	5,60	14,60	0,00	18,20
20	21,05	21,10	18,16	6,15	13,28	4,87	8,94	3,38	3,29	11,61	16,65	13,97	14,05	18,08	7,47	10,05	7,05	9,40	18,20	0,00

Zdroj: vlastní zpracování na základě dat z Mapy.cz

#### 4.2.5 Meteorologické podmínky

Honitba Stropník se nachází v oblasti Krušných hor v kopcovitém terénu. Nejnižší bod se nachází v 280 m. n. m. a nejvyšší bod ve výšce 856 m. n. m. Pro simulaci určitých meteorologických podmínek jsou v diplomové práci použita data Českého meteorologického ústavu, z regionální pobočky Ústí nad Labem. Data pochází z nejbližší hydrometeorologické stanice v obci Český Jiřetín – Fláje (740 m. n. m.) a jedná se o záznamy z posledních 10-ti let. Data obsahují informace o celkové výšce sněhové pokrývky, jež je měřena podle metodiky ČHMÚ. Hodnoty celkové sněhové pokrývky v oblasti jsou přiloženy v příloze 3. V některých měsících, konkrétně květen, červen, červenec, srpen a září nebyl za posledních 10 let zaznamenán výskyt sněhové pokrývky.

Výskyt celkové sněhové pokrývky je rozdělen do 4 intervalů dle míry ovlivňování sjízdnosti cest.

**Tabulka 7 - Změny ve sjízdnosti**

Kategorie	1	2	3	4
Výška sněhové pokrývky	<0;5>	(5;15>	(15;30>	(30;∞)
Změny ve sjízdnosti	Žádné	Trasa mezi body 16_19 , 6_7 a 6_8 je nesjízdná	Body 3,4,5,7,9,16,17, 18,19,20 se neobsluhují	Body 3,4,5,6,7,8,9,15 ,16,17, 18,19,20 se neobsluhují

První kategorie zahrnuje celkovou výšku sněhové pokrývky v intervalu <0;5> centimetrů, při kterém není, jakkoliv ovlivněna sjízdnost tras. Druhá kategorie zahrnuje výšku sněhové pokrývky v intervalu <5;15> centimetrů, kdy se mění sjízdnost tras 16\_19, 6\_8 a 6\_7 ze „sjízdné“ na „nesjízdné“. Body spojené těmito cestami je nutné obsloužit za použití jiných dostupných tras. Třetí situací je kategorie 3 s intervalem <15;30> centimetrů celkové sněhové pokrývky, kdy se vybraná vnařiště neobsluhují. Poslední situací je výška sněhové pokrývky v intervalu <30;∞ > centimetrů. Dle získaných informací od pana Peikera (2020) se při této situaci nezakrmují vybraná vnařiště a to hlavně ta umístěná ve vyšší nadmořské výšce a ve špatně dostupném terénu. K neobsluhování zařízení dochází ze dvou důvodů. První je nemožnost se k daným bodům dostat i z důvodu vytvoření běžeckých tras na

„Střední cestě“. Druhý je téměř nulová přítomnost zvěře při celkové sněhové pokrývce nad 30 centimetrů. Zvěř se stahuje do údolí ke krmným zařízením č.: 10, 11, 12, 13, 14.

#### 4.2.6 Meteorologická data

Byla získána data o celkové výšce sněhové pokrývky pocházející z meteorologické stanice Český Jiřetín – Fláje v nadmořské výšce 740 metrů a jsou/byla použita pro výpočet pravděpodobností pro sjízdnost rizikové trasy 6\_7, 6\_8 a 16\_19.

Z naměřených dat jsou pro jednotlivé měsíce spočteny dny výskytu výšky sněhové pokrývky pro jednotlivé kategorie. Vzhledem k celkovému počtu měření v měsíci jsou pomocí vzorce  $P(A) = \frac{|A|}{|\omega|}$  počítány pravděpodobnosti výskytu sněhové pokrývky výškové kategorie 1, 2, 3 a 4 pro jednotlivé měsíce v letech sledovaného období.  $P(A)$  je pravděpodobnost jevu udávaná v procentech,  $|A|$  je absolutní hodnota výskytu příznivého jevu (počet dnů výskytu sněhové pokrývky výškové kategorie 1 nebo 2 nebo 3 nebo 4) a  $|\omega|$  je počet všech možných výsledků (celkový počet dnů v měsíci). Takto vypočtené hodnoty jsou zprůměrovány a zaneseny do výstupní tabulky. Data z meteorologické stanice Fláje se nacházejí v tabulce 8. Výpočty pracují s daty získanými za posledních 10 let, zaznamenanými dle metodiky Českého hydrometeorologického ústavu. Pro měsíce, kdy byla výška sněhové pokrývky po celou dobu nulová, nejsou pravděpodobnosti počítané a je tedy 100% pravděpodobnost, že sjízdnost cest nebude nijak ovlivněna.

**Tabulka 8 - Pravděpodobnost výskytu sněhové pokrývky – Fláje**

	Kategorie 1	Kategorie 2	Kategorie 3	Kategorie 4
Měsíc	<0;5>	(5;15>	(15;30)	<30;∞)
Leden	29,24 %	21,12 %	20,10 %	29,54 %
Únor	30,19 %	13,70 %	17,67 %	38,43 %
Březen	65,44 %	14,28 %	13,34 %	6,94 %
Duben	93,43 %	2,36 %	3,14 %	1,07 %
Květen	100,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Červen	100,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Červenec	100,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Srpen	100,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Září	100,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Říjen	99,03 %	0,97 %	0,00 %	0,00 %
Listopad	96,00 %	3,00 %	0,67 %	0,33 %
Prosinec	59,03 %	11,94 %	13,04 %	16,00 %

Zdroj: vlastní zpracování dle dat CHMU

Dle měření dat na stanici Fláje, je v zimních měsících vyšší pravděpodobnost výskytu sněhové pokrývky v takové výšce, kdy je ovlivněna průjezdnost tras. Nejvíce nepředvídatelný měsíc je leden, kdy jsou pravděpodobnosti nejvíce vyrovnané. V letních měsících nebyla zaznamenána žádná pokrývka sněhu, proto nedochází k žádným změnám z důvodu změny sjízdnosti tras.

### 4.3 Scénáře

Dle kategorizace výšky sněhové pokrývky jsou vytvořeny 4 scénáře dle omezení sjízdnosti.

#### 4.3.1 Scénář 1 – Pokrývka sněhu v intervalu $\langle 0,5 \rangle$ cm

První scénář je charakterizován jako situace bez sněhové pokrývky nebo s celkovou sněhovou pokrývkou do 5 centimetrů, včetně. Všechny trasy, které jsou zaznamenány do datové tabulky jsou sjízdné. Pro danou situaci je sestaven matematický model, kde je cílem najít minimum účelové funkce  $z$ :

$$z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (4.1)$$

za podmínek:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4.2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.3)$$

$$u_i - u_j + n x_{ij} \leq n - 1 \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n; i \neq j \quad (4.4)$$

$$x_{ij} \in \{0; 1\} \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n \quad (4.5)$$

$$x_{1,2} = 1 \quad (4.6)$$

Kde:

$z$  = hodnota účelové funkce,

$n$  = počet míst, které je nutné obsloužit,

$c_{ij}$  = vzdálenost mezi body  $i$  a  $j$ ,

$x_{ij}$  = bivalentní proměnná nabývající hodnot 0,1,

$u$  = pomocná proměnná matematického modelu.

Dodržením podmínek (4.2) a (4.3) je zajištěno navštívení každého bodu pouze jednou. Podmínka (4.4), která zahrnuje proměnnou  $u$  zajišťuje nevytváření parciálních cyklů.



Podmínka (4.5) definuje matici proměnných  $x$  jako binomickou. Podmínka (4.6) zajišťuje obsluhu bodu číslo 2 jako první, jelikož se jedná o sklad, je nutné zde zajistit krmnou dávku pro všechny zbylé body obsluhy.

Jsou provedeny dva výpočty. První charakterizuje  $c_{ij}$  jako vzdálenost tras mezi jednotlivými body. Druhý výpočet vyjadřuje  $c_{ij}$  jako časovou náročnost jednotlivých úseků. Jednotlivé cesty se liší druhem terénu, po kterém jsou vedeny. Proto bylo přistoupeno k porovnání celkového času stráveného na cestě a množství najetých metrů.

**Tabulka 9 Výsledky modelu při Scénáři 1**

$c_{ij} = s$					$c_{ij} = t$				
Bod	Pořadí	Trasa	Délka	Čas (min)	Bod	Pořadí	Trasa	Délka	Čas (min)
x1	1	x1_2	9100	15,06	x1	1	x1_2	9100	15,06
x2	2	x2_10	3780	11,62	x2	2	x2_16	3400	10,06
x10	3	x10_17	2780	4,56	x16	3	x16_3	5945	14,36
x17	4	x17_15	1844	4,43	x3	4	x3_19	945	6,16
x15	5	x15_6	2002	6,25	x19	5	x19_5	5700	18,48
x6	6	x6_7	873	6,16	x5	6	x5_4	1789	12,63
x7	7	x7_8	792	5,59	x4	7	x4_18	389	2,75
x8	8	x8_20	854	3,38	x18	8	x18_9	1054	3,20
x20	9	X20_9	1102	3,29	x9	9	x9_20	1102	3,29
x9	10	x9_18	1054	3,20	x20	10	x20_8	854	3,38
x18	11	x18_5	1400	9,88	x8	11	x8_7	792	5,59
x5	12	x5_4	1789	12,63	x7	12	x7_6	873	6,16
x4	13	x4_3	5634	17,51	x6	13	x6_15	2002	6,25
x3	14	x3_19	945	6,16	x15	14	x15_17	1844	4,43
x19	15	x19_16	2118	8,66	x17	15	x17_10	2780	4,56
x16	16	x16_14	3713	8,03	x10	16	x10_12	3040	5,48
x14	17	x14_13	1213	6,03	x12	17	x12_13	1787	2,42
x13	18	x13_12	1787	2,42	x13	18	x13_14	1213	6,03
x12	19	x12_11	2961	8,16	x14	19	x14_11	4114	12,28
x11	20	x11_1	11701	16,61	x11	20	x11_1	11701	16,61
$\Sigma$			57442	159,64	$\Sigma$			60424	159,19

Dle provedených výpočtů je patrné, že optimalizace trasy, kde  $c_{ij} = s$  vykazuje jiné výsledky než optimalizace, kde  $c_{ij} = t$ . Optimalizace podle  $t$  určuje rychlejší trasu než optimalizace podle  $s$ , ale dochází k nárůstu množství ujetých metrů. Optimalizace podle délky tras vykazuje celkovou hodnotu ujeté vzdálenosti  $\Sigma s = 57442$  metrů za čas  $\Sigma t = 159,64$  minut. Pokud jsou trasy optimalizovány podle časové náročnosti  $t$ , je celková suma najetých metrů  $\Sigma s = 60424$  při čase  $\Sigma t = 159,19$  minut. Po porovnání je patrné navýšení o 2952 metrů ujetých metrů za časovou úsporu pouhých 0,46 minuty. Tato úspora je vnímána jako zanedbatelná.

Je dána týdenní frekvence zakrmování  $f = 2$  po celý rok, jež činí 52 týdnů. Průměrná spotřeba Mitsubishi L200 činí 17 l / 100 km. Průměrná cena nafty v období od 1.1.2019 do 1.1.2020 je 31,83 Kč za litr (Kurzy.cz, spol. s.r.o., AliaWeb, spol. s.r.o., 2020).

Celkové náklady na jednu jízdu jsou:

$$C = \frac{z}{100000} * \text{spotřeba} * c_{PH} + \text{amortizace} * z \quad (4.7)$$

kde  $C$  jsou náklady na jednu jízdu,  $z$  je výsledná hodnota funkce matematického modelu, tedy počet ujetých metrů na jeden cyklus zakrmování a  $c_{PH}$  je průměrná cena pohonné hmoty, v tomto případě nafty. Dle zákona č.: 262/2006 Sb., zákoník práce, §157, odst. 4b je stanovena minimální amortizace vozu na 4,2 Kč na kilometr. Jelikož v práci je počítáno s metry, jedná se tedy o 0,0042 Kč na metr.

Náklady na jeden závoz za předpokladu  $c_{ij} = s$  je  $C = 552,08$  Kč. Při dosazení hodnoty účelové funkce  $z$  z matematického modelu, kde  $c_{ij} = t$ , dosahuje hodnota  $C$  výsledku 580,74 Kč.

Roční náklad, za předpokladu  $c_{ij} = s$  je počítán jako:

$$C_a = C * f * 52 \quad (4.8)$$

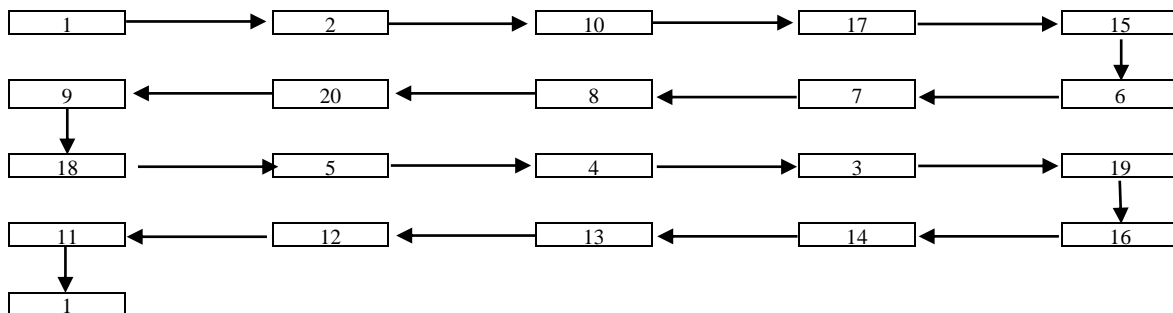
kde  $C$  je náklad na jeden závoz,  $f$  je týdenní frekvence zakrmování a 52 je počet týdnů v roce. Výsledná hodnota je potom  $C_a = 57416,40$  Kč, za předpokladu, že celý rok bude auto jezdit po trasách bez omezení. Při dosazení do účelové funkce za  $c_{ij} = t$ , je celkový roční náklad roven 60977,08 Kč. Rozdíl celkového nákladu je 2980,67 Kč. Celková časová náročnost při použití modelu s optimalizací podle  $s$  je rovna

$$t_{Ts} = z_{ts} * f * 52 \quad (4.9)$$

kde  $t_{Ts}$  zastupuje celkovou časovou náročnost,  $z_s$  je hodnota účelové funkce, kde  $c_{ij} = s$  a  $f$  je frekvence zakrmování. Celková časová náročnost se rovná  $t_{Ts} = 16602,98$  minut. Stejným způsobem je počítána celková časová náročnost pro rovnice, kde  $z_t$  je počítána s dosazením  $c_{ij} = t$ . Hodnota  $t_{Tt} = 16555,5$  minut. Časová úspora tedy činí 47,47 minut. S přihlédnutím k cílům práce, je pro další výpočty a porovnání využit model, kde  $c_{ij} = s$ , z důvodu minimalizace nákladů. Časová úspora 0,46 minuty na cyklus, respektive 47,47 minut za celý rok je považována pro potřeby modelu za nevýznamnou.

Výsledné pořadí obslužených míst je následující:

**Obrázek 8 - Výsledné pořadí cest pro  $c_{ij} = s$  při Scénáři 1**



Zdroj: vlastní zpracování

Trasa je graficky znázorněna v příloze 4.

#### 4.3.2 Scénář 2 – Pokrývka sněhu v intervalu $\langle 5,15 \rangle$ cm

V pořadí druhý scénář předpokládá celkovou výšku sněhové pokrývky od 5 centimetrů do 15 centimetrů. Za těchto podmínek je rizikové využívat určité trasy které jsou popsány v kapitole 4.2.3. Výpočet hodnoty účelové funkce zůstává stejný a to (4.1), základní podmínky (4.2) až (4.6) se také nemění, ale jsou přidány podmínky:

$$x_{6,7} = 0 \quad (4.10)$$

$$x_{7,6} = 0 \quad (4.11)$$

$$x_{6,8} = 0 \quad (4.12)$$

$$x_{8,6} = 0 \quad (4.13)$$

$$x_{16,19} = 0 \quad (4.14)$$

$$x_{19,16} = 0 \quad (4.15)$$

kde (4.10) až (4.15) obousměrně uzavírají cesty mezi body 6 a 7, 6 a 8, 16 a 19. Ve všech případech se jedná o cesty s náročným terénem, jež v kombinaci se sněhovou pokrývkou jsou jízdě nebezpečné a může vést k uvíznutí vozidla nebo jeho poškození.

V důsledku přidání podmínek do modelu se mění pořadí tras při obsluze míst. Výsledná tabulka tras:

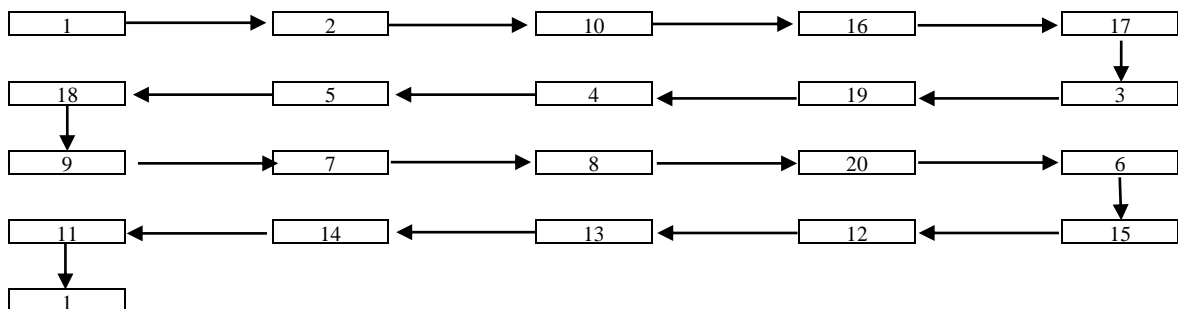
**Tabulka 10 - Výsledky modelu při Scénáři 2**

$c_{ij} = s$					$c_{ij} = t$				
Bod	Pořadí	Trasa	Délka	Čas	Bod	Pořadí	Trasa	Délka	Čas
x1	1	x1_2	9100	15,06	x1	1	x1_2	9100	15,06
x2	2	x2_10	3780	11,62	x2	2	x2_10	3780	11,62
x10	3	x10_16	439	1,56	x10	3	x10_16	439	1,56
x16	4	x16_17	2300	3,00	x16	4	x16_15	4144	7,43
x17	5	x17_3	3545	11,36	x15	5	x15_6	2002	6,25
x3	6	x3_19	945	6,16	x6	6	x6_20	2081	4,87
x19	7	x19_4	4689	11,35	x20	7	x20_8	854	3,38
x4	8	x4_5	1789	12,63	x8	8	x8_7	792	5,59
x5	9	x5_18	1400	9,88	x7	9	x7_9	2715	12,08
x18	10	x18_9	1054	3,20	x9	10	x9_18	1054	3,20
x9	11	x9_7	2715	12,08	x18	11	x18_4	389	2,75
x7	12	x7_8	792	5,59	x4	12	x4_5	1789	12,63
x8	13	x8_20	854	3,38	x5	13	x5_19	5700	18,48
x20	14	x20_6	2081	4,87	x19	14	x19_3	945	6,16
x6	15	x6_15	2002	6,25	x3	15	x3_17	3545	11,36
x15	16	x15_12	6704	11,35	x17	16	x17_13	5900	7,00
x12	17	x12_13	1787	2,42	x13	17	x13_14	1213	6,03
x13	18	x13_14	1213	6,03	x14	18	x14_12	2000	6,45
x14	19	x14_11	4114	12,28	x12	19	x12_11	2961	8,16
x11	20	x11_1	11701	16,61	x11	20	x11_1	11701	16,61
$\Sigma$			63004	166,68	$\Sigma$			63104	166,68

Výsledky vykazují rozdílnost optimalizace trasy při dosažení  $c_{ij} = s$  oproti situaci, kdy  $c_{ij} = t$ . Délka trasy pro  $c_{ij} = s$  je o 100 metrů kratší než pro  $c_{ij} = t$ , ale časová náročnost celého procesu zakrmování zůstává stejná. Dochází ale ke změně pořadí a použití cest. Optimalizace podle  $c_{ij} = s$  vykazuje celkovou hodnotu najetých metrů  $\Sigma s = 63004$  za čas  $\Sigma t = 166,68$  minut. Pokud jsou trasy optimalizovány podle časové náročnosti  $t$ , je celková suma najetých metrů  $\Sigma s = 63104$  při čase  $\Sigma t = 166,68$  minut. Jelikož časová úspora je nulová, je pro potřebu dalších výpočtů použita optimalizace s dosažením  $c_{ij} = s$ .

Výsledné pořadí navštívených míst je:

**Obrázek 9 - Výsledné pořadí cest pro  $c_{ij} = s$  při Scénáři 2**



Zdroj: vlastní zpracování

Trasa je graficky znázorněna v příloze 5.

Podle výpočtu (4.7) jsou náklady na jeden rozvoz při optimalizaci, kdy  $c_{ij} = s$ , rovny 605,54 Kč.

Celkový roční náklad není u dalších situací počítán, a to z důvodu velmi nízké pravděpodobnosti výskytu situace, kdy by se vyskytovala po celý rok celková výška sněhové pokrývky v hodnotách vyšších jak 5 centimetrů.

#### 4.3.3 Scénář 3 – Pokrývka sněhu v intervalu <15,30> cm

Třetí scénář počítá s celkovou výškou sněhové pokrývky v intervalu od 5 do 30 centimetrů. Výška sněhu neumožňuje navštívení všech míst, z důvodu nesjízdnosti terénu zásobovacím vozem. Z matematického modelu z kapitoly 4.3.1. se nemění výpočet účelové funkce (4.1), mění se podmínky (4.2) a (4.3) a to na podmínky:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad j = 1,2,6,8,10,11,12,13,14,15,20 \quad (4.16)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1,2,6,8,10,11,12,13,14,15,20, \quad (4.17)$$

kde podmínky (4.16) a (4.17) způsobují odstranění bodů zájmu ze seznamu obsluhovaných míst. Jedná se o body značené: x3, x4, x5, x7, x9. Dále jsou z modelu odstraněny pomocné body: x16, x17, x18 a x19, jelikož jejich využití pro danou situaci je nulové. Vyjádřeno podmínkami:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 0 \quad j = 3, 4, 5, 7, 9, 16, 17, 18, 19, \quad (4.18)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 0 \quad i = 3, 4, 5, 7, 9, 16, 17, 18, 19, \quad (4.19)$$

Bod x20 zůstává obsažen v modelu a složí k propojení bodu x6 a x8 mimo uzavřený úsek. Do výpočtů tak vstupuje pouze 11 proměnných. Podmínky (4.4) až (4.6) zůstávají neměnné.

Po upravení modelu je nalezeno řešení:

**Tabulka 11 - Výsledky modelu při Scénáři 3**

$c_{ij} = s$					$c_{ij} = t$				
Bod	Pořadí	Trasa	Délka	Čas	Bod	Pořadí	Trasa	Délka	Čas
x3	0	X	0	0,00	x3	0	X	0	0,00
x4	0	X	0	0,00	x4	0	X	0	0,00
x5	0	X	0	0,00	x5	0	X	0	0,00
x7	0	X	0	0,00	x7	0	X	0	0,00
x9	0	X	0	0,00	x9	0	X	0	0,00
x16	0	X	0	0,00	x16	0	X	0	0,00
x17	0	X	0	0,00	x17	0	X	0	0,00
x18	0	X	0	0,00	x18	0	X	0	0,00
x19	0	X	0	0,00	x19	0	X	0	0,00
x1	1	x1_2	9100	15,06	x1	1	x1_2	9100	15,06
x2	2	x2_10	3780	11,62	x2	2	x2_10	3780	11,62
x10	3	x10_8	8211	14,90	x10	3	x10_8	8211	14,90
x8	4	x8_20	854	3,38	x8	4	x8_20	854	3,38
x20	5	x20_6	2081	4,87	x20	5	x20_6	2081	4,87
x6	6	x6_15	2002	6,25	x6	6	x6_15	2002	6,25
x15	7	x15_12	6704	11,35	x15	7	x15_12	6704	11,35
x12	8	x12_13	1787	2,42	x12	8	x12_13	1787	2,42
x13	9	x13_14	1213	6,03	x13	9	x13_14	1213	6,03
x14	10	x14_11	4114	12,28	x14	10	x14_11	4114	12,28
x11	11	x11_1	11701	16,61	x11	11	x11_1	11701	16,61
x		$\Sigma$	51547	104,77			$\Sigma$	51547	104,77

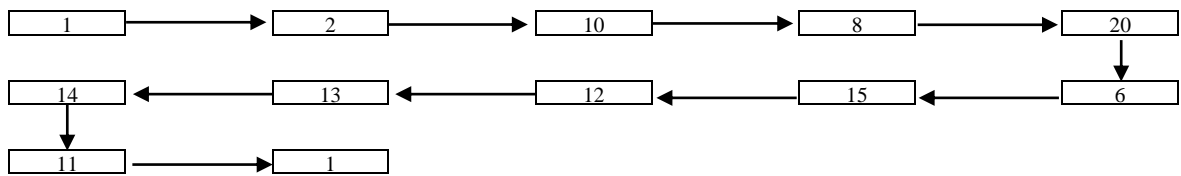
Body, které nejsou obsluhovány jsou ve sloupci „Pořadí“ označeny nulou a ve sloupci „Trasa“ označeny X

Při porovnání výsledků obou přístupů k optimalizaci vykazuje optimalizace podle  $c_{ij} = s$  stejné hodnoty jako  $c_{ij} = t$ . Pro potřeby dalších výpočtů bude použita varianta  $c_{ij} = s$ , kde celková trasa  $\Sigma s = 51547$  metrů je překonána za čas  $\Sigma t = 104,77$  minut.

Model počítá s obsluhou pouze 11 míst, proto celkový počet najetých metrů je nižší, než v předchozích simulacích. V tomto případě ale dochází k navýšení frekvence zakrmování za týden. Zvěř se stahuje z vyšších nadmořských poloh do nižších, za potravou, a proto je nutné v tomto období a situaci zvýšit úživnost honitby častějším zásobováním vnadišť. Frekvence zakrmování stoupá na 3 zakrmovací cykly za týden.

Náklad na jeden závoz, dle rovnice (4.7), při optimalizaci  $c_{ij} = s$  činí  $C = 495,42$  Kč.

**Obrázek 10 - Výsledné pořadí cest pro cij = s při Scénáři 3**



Zdroj: vlastní zpracování

Trasa je graficky znázorněna v příloze 6.

#### 4.3.4 Scénář 4 – Pokrývka sněhu v intervalu $\langle 30, \infty \rangle$ cm

Čtvrtý, poslední scénář uvažuje celkovou výšku sněhové pokrývky větší než 30 cm. V tomto případě nedochází k zakrmování žádného vnařiště, které se nachází nad obcí Osek. Veškeré obsluhované body se nachází v nižších nadmořských výškách kolem obce. Z matematického modelu z 4.3.3. je zachován výpočet účelové funkce z (4.1) a podmínky (4.4) až (4.6). Mění se podmínky (4.2) a (4.3), které jsou upraveny na:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 0 \quad j = 1,2,10,11,12,13,14 \quad (4.20)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 0 \quad i = 1,2,10,11,12,13,14 \quad (4.21)$$

Podmínky (4.20) a (4.21) způsobují, že body  $x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}, x_{19}$  a  $x_{20}$  nejsou obsluhovány. Model počítá s obsluhou pouze 7 míst, a to  $x_1, x_2, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}$  a  $x_{14}$ . Vyloučení bodů z procesu zakrmování je dáno podmínkami:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 0 \quad j = 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 15, 16, 17, 18, 19, 20 \quad (4.22)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 0 \quad i = 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 15, 16, 17, 18, 19, 20 \quad (4.23)$$

Výsledky takto upraveného matematického modelu shledávají zakrmování vyloučených vnařišť nemožným, neefektivním a irelevantním z důvodu vysoké sněhové pokrývky.

**Tabulka 12 - Výsledky modelu při Scénáři 4**

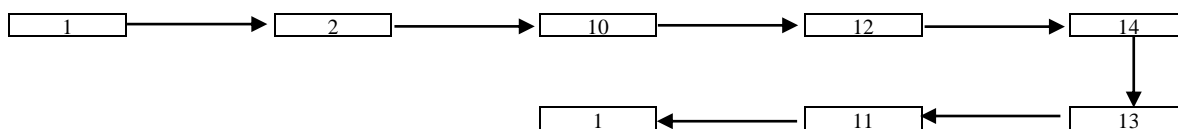
$c_{ij} = s$					$c_{ij} = t$				
Bod	Pořadí	Trasa	Délka	Čas	Bod	Pořadí	Trasa	Délka	Čas
x3	0	X	0	0,00	x3	0	X	0	0,00
x4	0	X	0	0,00	x4	0	X	0	0,00
x5	0	X	0	0,00	x5	0	X	0	0,00
x6	0	X	0	0,00	x6	0	X	0	0,00
x7	0	X	0	0,00	x7	0	X	0	0,00
x8	0	X	0	0,00	x8	0	X	0	0,00
x9	0	X	0	0,00	x9	0	X	0	0,00
x15	0	X	0	0,00	x15	0	X	0	0,00
x16	0	X	0	6,03	x16	0	X	0	0,00
x17	0	X	0	0,00	x17	0	X	0	0,00
x18	0	X	0	0,00	x18	0	X	0	0,00
x19	0	X	0	0,00	x19	0	X	0	0,00
x20	0	X	0	0,00	x20	0	X	0	0,00
x1	1	x1_2	9100	15,06	x1	1	x1_2	9100	15,06
x2	2	x2_10	3780	11,62	x2	2	x2_10	3780	11,62
x10	3	x10_13	3980	6,56	x10	3	x10_12	3040	5,48
x13	4	x13_14	1213	6,03	x12	4	x12_14	2000	6,45
x14	5	x14_12	2000	6,45	x14	5	x14_13	1213	6,03
x12	6	x12_11	2961	8,16	x13	6	x13_11	3901	8,24
x11	7	x11_1	11701	16,61	x11	7	x11_1	11701	16,61
0		$\Sigma$	34735	76,53	0		$\Sigma$	34735	69,50

Zdroj: vlastní zpracování

Body, jež nejsou obsluhovány jsou označeny ve sloupci *Pořadí* jako 0 a ve sloupci *Trasa* jako X

Výsledky obou modelů vykazují shodnost v množství najetých metrů, ale rozdílnost v množství potřebného času k obsluze všech míst. Při optimalizaci modelu, kdy  $c_{ij} = s$  je  $\Sigma s = 34735$  metrů ujetu za čas  $\Sigma t = 76,53$  minut. Při optimalizaci podle  $c_{ij} = t$  je stejný úsek obslužen o 7,03 minut rychleji. Z důvodu, že je cesta o stejné délce realizována rychleji, je pro další potřebu využít model zahrnující  $c_{ij} = t$ .

**Obrázek 11 - Výsledné pořadí cest pro  $c_{ij} = t$  při Scénáři 4**



Zdroj: vlastní zpracování

Trasa je graficky znázorněna v příloze 7.

Dle vzorce (4.7) jsou vypočítané náklady na obslužení jednoho cyklu  $C = 333,84$  Kč.



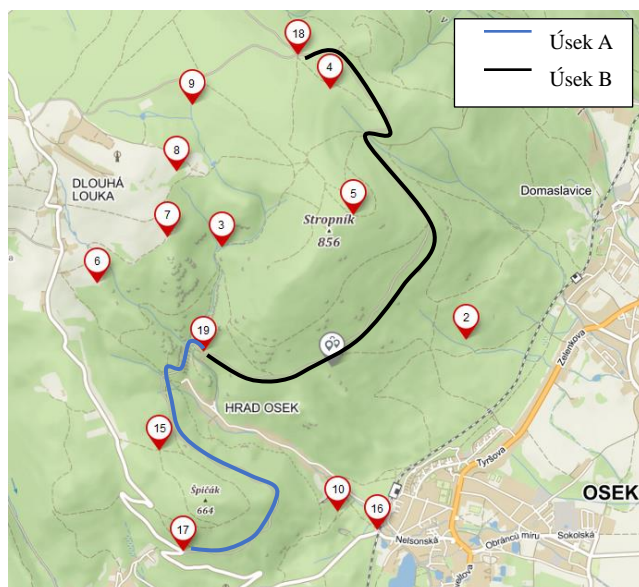
## 4.4 Vývraty

Obslužnost tras je závislá nejen na výšce sněhové pokrývky, ale i na vývratech stromů. Problematika vývrátů a pravděpodobnost jejich výskytu je velice komplexní, složitá a v podmínkách matematického modelu těžko definovatelná. Proto je v práci počítáno pouze s možnostmi, zda k vývratu došlo či ne a jak jeho existence ovlivní výši nákladů.

Nejrizikovějším místem a zároveň místem, které nejvíce ovlivní posloupnost tras, jsou možné vývraty vyskytující se na Střední cestě. Pokud se vývrat vyskytne na jakémkoli jiném úseku, je ihned odstraněn nebo jej lze objet. Problém Střední cesty je v nemožnosti, jakkoliv spadlý strom objet a zároveň jeho likvidace na tomto úseku je značně složitá a probíhá, až při oblevě.

V této kapitole jsou popsány 4 scénáře, kdy se vývrat vyskytne v 1. nebo 2. úseku Střední cesty a je dále popsáno, jaké jsou důsledky změn tras na celkové dopravní náklady. Situace jsou vsazeny do scénářů z předchozí kapitoly, a to konkrétně při podmínkách do 5 centimetrů sněhové pokrývky a od 5 do 15 centimetrů. Zbylé scénáře s vyšší sněhovou pokrývkou nejsou počítány, jelikož jsou z nich kvůli nemožnosti zakrmování všech tras, dotyčné rizikové úseky vyňaty. Rizikové úseky 1 a 2 jsou vyobrazeny na obrázku 12.

**Obrázek 12 - Rizikové úseky**



Zdroj: vlastní zpracování

Úsek A prochází mezi body 17 a 19, úsek B mezi bod 19 a 18

#### 4.4.1 Scénář 5 – Úsek A, beze sněhu

Scénář probíhá za stavu, kdy celková výška sněhové pokrývky dosahuje maximálně 5 cm a trasy mezi body x6\_7, x6\_8 a x16\_19 jsou sjízdné. Situace předpokládá, že strom zatarasil úsek A Středí cesty. V matematickém modelu je proto nutné eliminovat využití cest, které procházejí přes inkriminovaný úsek. V matici vzdáleností v tabulce 5 jsou tyto cesty označené žlutou barvou.

Je dán výpočet účelové funkce (4.1) a podmínky (4.2) až (4.6), dále jsou přidány podmínky pro potřebu dané situace:

$$x_{3_j} = 0 \quad j \in \{1,2,6,10,11,12,13,14,15,16,17\} \quad (4.24)$$

$$x_{i_3} = 0 \quad i \in \{1,2,6,10,11,12,13,14,15,16,17, 19\} \quad (4.25)$$

$$x_{i_{19}} = 0 \quad i \in \{1,2,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,17\} \quad (4.26)$$

$$x_{19_j} = 0 \quad j \in \{1,3,4,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,17\} \quad (4.27)$$

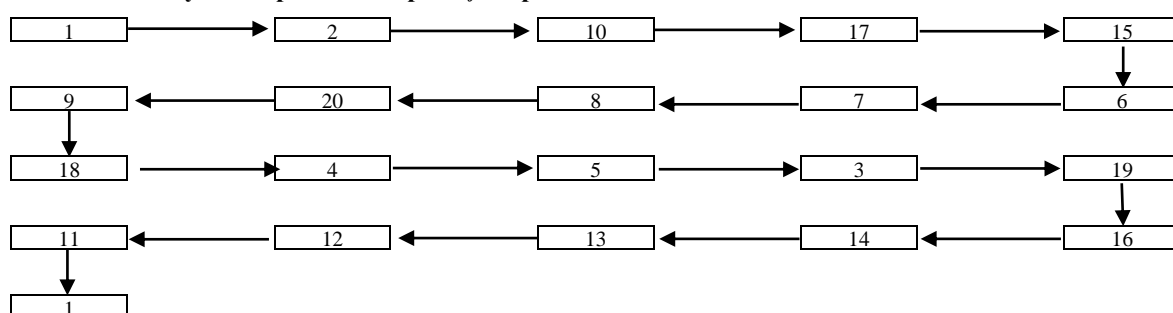
jež uzavírají obousměrně trasy x1\_3, x1\_19, x2\_3, x2\_19, x3\_6, x3\_10, x3\_11, x3\_12, x3\_13, x3\_14, x3\_15, x3\_16, x3\_17, x6\_19, x7\_19, x8\_19, x9\_19, x10\_3, x10\_19, x11\_3, x11\_19, x12\_19, x13\_19, x14\_19, x15\_19, x17\_19.

**Tabulka 13 - Výsledky modelu při vývratu v úsek A, beze sněhu**

$c_{ij} = s$					$c_{ij} = t$				
Bod	Pořadí	Trasa	Délka	Čas	Bod	Pořadí	Trasa	Délka	Čas
x1	1	x1_2	9100	15,06	x1	1	x1_2	9100	15,06
x2	2	x2_10	3780	11,62	x2	2	x2_16	3400	10,06
x10	3	x10_17	2780	4,56	x16	3	x16_19	2118	8,66
x17	4	x17_15	1844	4,43	x19	4	x19_3	945	6,16
x15	5	x15_6	2002	6,25	x3	5	x3_4	5634	17,51
x6	6	x6_7	873	6,16	x4	6	x4_5	1789	12,63
x7	7	x7_8	792	5,59	x5	7	x5_18	1400	9,88
x8	8	x8_20	854	3,38	x18	8	x18_9	1054	3,20
x20	9	x20_9	1102	3,29	x9	9	x9_20	1102	3,29
x9	10	x9_18	1054	3,20	x20	10	x20_8	854	3,38
x18	11	x18_4	389	2,75	x8	11	x8_7	792	5,59
x4	12	x4_5	1789	12,63	x7	12	x7_6	873	6,16
x5	13	x5_3	6645	24,65	x6	13	x6_15	2002	6,25
x3	14	x3_19	945	6,16	x15	14	x15_17	1844	4,43
x19	15	x19_16	2118	8,66	x17	15	x17_10	2780	4,56
x16	16	x16_14	3713	8,03	x10	16	x10_12	3040	5,48
x14	17	x14_13	1213	6,03	x12	17	x12_13	1787	2,42
x13	18	x13_12	1787	2,42	x13	18	x13_14	1213	6,03
x12	19	x12_11	2961	8,16	x14	19	x14_11	4114	12,28
x11	20	x11_1	11701	16,61	x11	20	x11_1	11701	16,61
$\Sigma$			57442	159,64	$\Sigma$			57542	159,64

Dle výsledků je patrné, že časová náročnost u obou modelů je stejná, to je  $\sum t = 159,64$  minut, ale liší se počet najetých metrů. Model, kdy  $c_{ij} = s$  nachází optimální trasu o 100 metrů kratší. Model s optimalizací, kde je do účelové funkce dosazeno  $c_{ij} = t$  nachází pouze nejrychlejší cestu a není ve výpočtech uvažováno se vzdáleností, proto je pro další výpočty a porovnání vybrána varianta, kde je optimalizace prováděna podle  $c_{ij} = s$ . Celkový počet najetých metrů je tedy  $\sum s = 57442$  za čas  $\sum t = 159,64$  minut.

**Obrázek 13 - Výsledné pořadí cest pro  $c_{ij} = s$  při Scénáři 5**



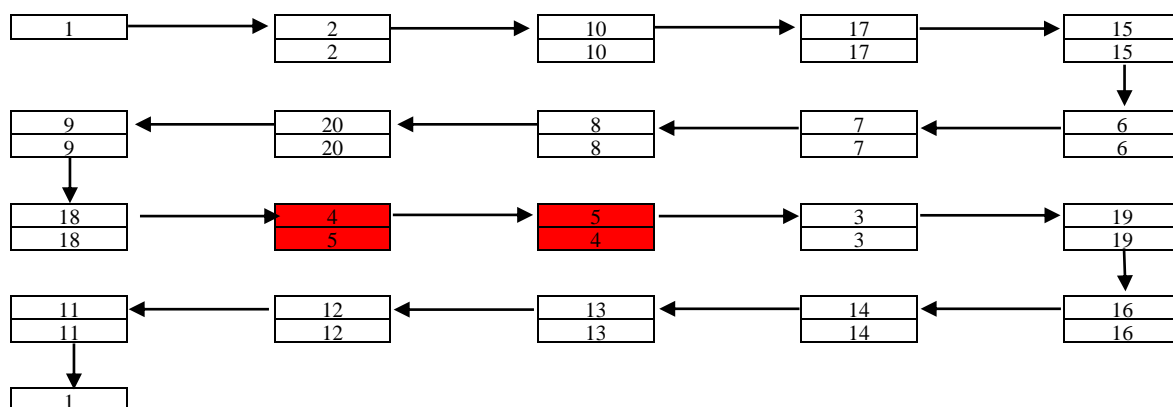
Zdroj: vlastní zpracování

Trasa je graficky znázorněna v příloze 8.

Celkové náklady na jeden závoz v takovém případě jsou podle vzorce (4.7)  $C = 552,09$  Kč. Jedná se o stejnou výši hodnoty nákladů jako při stejných sněhových podmínkách, ale bez přítomnosti vývratu. Polom v úseku A při situaci beze sněhu nevyvolá žádné dodatečné náklady vázané na změnu trasy.

Při porovnání tras dochází ke změně pořadí:

**Obrázek 14 - Porovnání tras pro scénáře 1 a 5**



Zdroj: vlastní zpracování

V první buňce je cesta pro situaci s vývratem a ve druhé, bez vývratu. Dochází pouze ke změně pořadí cest  $x_{4\_5}$  a  $x_{5\_4}$ , ale množství najetých metrů i náklady na jeden závoz zůstávají neměnné.

#### 4.4.2 Scénář 6 – Úsek A, se sněhem

V pořadí druhý scénář předpokládající polom v prvním úseku Střední cesty, ale při situaci, kdy se vyskytuje sněhová pokrývka o celkové výšce mezi 5 a 15 centimetry. Výpočet účelové funkce (4.1) zůstává stejný, stejně jako podmínky (4.2) až (4.6). Dále je model doplněný o podmínky (4.10) až (4.15), které znemožňují využití tras  $x_{6\_7}$ ,  $x_{6\_8}$  a  $x_{16\_19}$  kvůli napadlému sněhu. A jsou použity podmínky (4.24) až (4.27), které uzavírají trasy procházející úsekem A.

Dojde-li k vývratu v úseku A, za přítomnosti sněhové pokrývky mezi 5 a 15 centimetry, jsou výsledky optimální cesty:

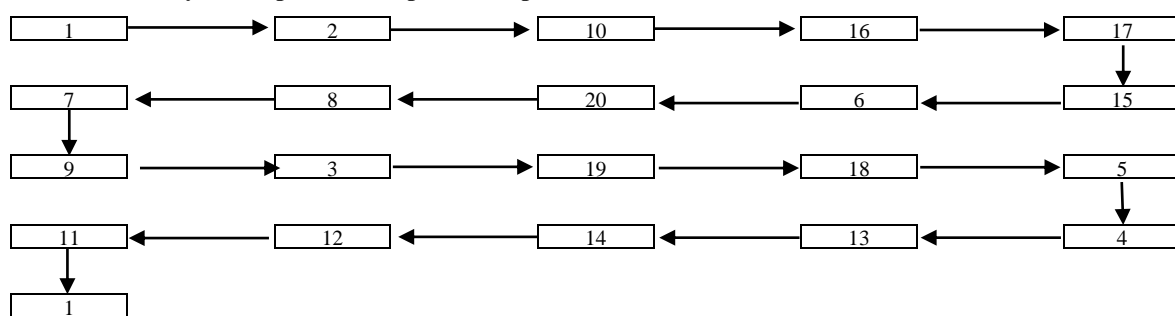
**Tabulka 14 - Výsledky modelu při vývratu v úseku A, se sněhem**

$c_{ij} = s$					$c_{ij} = t$				
Bod	Pořadí	Trasa	Délka	Čas	Bod	Pořadí	Trasa	Délka	Čas
x1	1	x1_2	9,100	15,06	x1	1	x1_2	9100	15,06
x2	2	x2_10	3,780	11,62	x2	2	x2_15	7544	17,49
x10	3	x10_16	4,39	1,56	x15	3	x15_6	2002	6,25
x16	4	x16_17	2,300	3,00	x6	4	x6_20	2081	4,87
x17	5	x17_15	1,844	4,43	x20	5	x20_5	3100	13,28
x15	6	x15_6	2,002	6,25	x5	6	x5_18	1400	9,88
x6	7	x6_20	2,081	4,87	x18	7	x18_4	389	2,75
x20	8	x20_8	8,54	3,38	x4	8	x4_19	4689	11,35
x8	9	x8_7	7,92	5,59	x19	9	x19_3	945	6,16
x7	10	x7_9	2,715	12,08	x3	10	x3_9	6260	17,88
x9	11	x9_3	6260	17,88	x9	11	x9_8	1946	6,65
x3	12	x3_19	945	6,16	x8	12	x8_7	792	5,59
x19	13	x19_18	4300	14,60	x7	13	x7_17	6200	15,76
x18	14	x18_5	1400	9,88	x17	14	x17_16	2300	3,00
x5	15	x5_4	1789	12,63	x16	15	x16_10	439	1,56
x4	16	x4_13	12189	20,85	x10	16	x10_12	3040	5,48
x13	17	x13_14	1213	6,03	x12	17	x12_14	2000	6,45
x14	18	x14_12	2000	6,45	x14	18	x14_13	1213	6,03
x12	19	X12_11	2961	8,16	x13	19	x13_11	3901	8,24
x11	20	x11_1	11701	16,61	x11	20	x11_1	11701	16,61
$\Sigma$			70665	187,11	$\Sigma$			71042	180,36

Výsledky modelu ukazují rozdílnost v celkovém počtu najetých metrů i časové náročnosti. Pokud je model optimalizován podle  $c_{ij} = s$ , celkový počet najetých metrů je  $\Sigma s = 70665$  za čas  $\Sigma t = 187,11$  minut. Při optimalizaci, kde  $c_{ij} = t$  je celkový počet najetých metrů  $\Sigma s = 71042$  za čas  $\Sigma t = 180,36$  minut. Model optimalizující vzdálenost vykazuje o 377

metrů kratší trasu, ale o 6,75 minut delší dobu trvání. Náklady na jeden závoz jsou v případě  $c_{ij} = s$  rovny 679,17 Kč a v případě  $c_{ij} = t$  platí, že  $C = 682,79$  Kč. Rozdíl nákladů je pouze 3,62 Kč na jeden závoz. Pokud by tato situace trvala celý rok, náklady by vzrostly oproti situaci bez vývratu o 376,83 Kč. Dle zkušeností lidí z terénu je ale pravděpodobnost, že nastane scénář, kdy se bude muset zakrmit celý rok s vývratem na úseku A minimální. Přesto hlavním cílem je minimalizace nákladů, proto je zvolena varianta, kdy  $c_{ij} = s$ .

**Obrázek 15 - Výsledné pořadí cest pro  $c_{ij} = s$  při Scénáři 6**

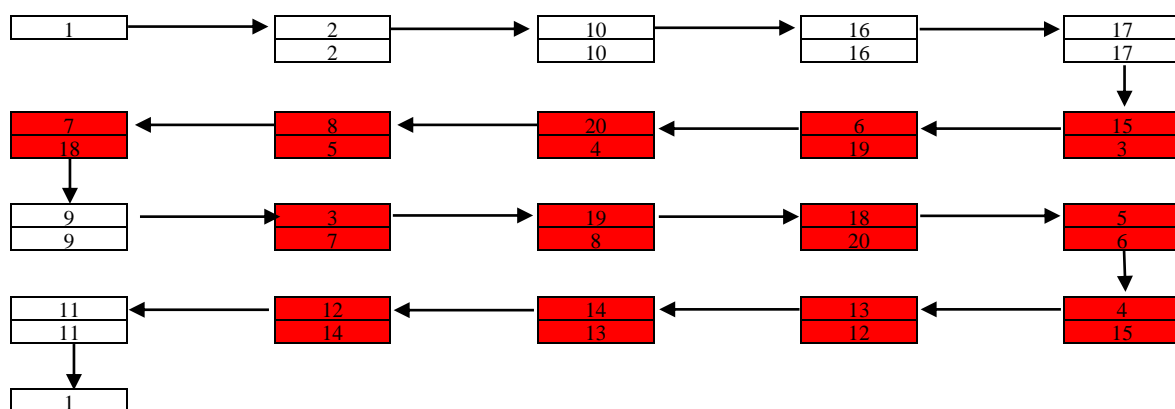


Zdroj: vlastní zpracování

Trasa je graficky znázorněna v příloze 9.

Při porovnání se situací, kdy nenastane vývrat na úseku A s výškou sněhu mající vliv na sjízdnost tras, dochází ke změně pořadí míst ale i k navýšení celkově najeté vzdálenosti při obsluze vnařišť. Za situace, kdy nedochází k vývratu je celkové množství najetých metrů  $\sum s = 63004$  km za čas  $\sum t = 166,68$  minut.

**Obrázek 16 - Porovnání tras pro scénáře 2 a 6**



Zdroj: vlastní zpracování

V horním řádku buněk jsou cesty pro situaci s vývratem a ve druhém bez vývratu. Dochází ke změně pořadí označených červenou barvou, celkem v 13-ti případech. V případě vývratu dochází k navýšení délky trasy o 7661 metrů a o 20,42 minut. Dále se navyšují náklady na 679,17 Kč, což je nárůst o 10,8 %.

#### 4.4.3 Scénář 7 – Úsek B, beze sněhu.

Třetí situace v kapitole Polomy, počítá s možností polomu v úseku B Střední cesty, za předpokladu, že celková výška sněhové pokrývky dosahuje maximálně 5 centimetrů. Trasy  $x_{6\_7}$ ,  $x_{6\_8}$  a  $x_{16\_19}$  jsou obousměrně sjízdné. Úseky, na které má zavření tras vliv jsou označeny v tabulce 5 modrou barvou.

Je dán obecný matematický model s výpočtem hodnoty účelové funkce  $z$  (4.1) za podmínek (4.2) až (4.6), dále je model doplněn o podmínky:

$$x_{3\_j} = 0 \quad j \in \{4,5,7,8,9,18,20\} \quad (4.28)$$

$$x_{i\_3} = 0 \quad i \in \{4,5,7,8,9,18,20\} \quad (4.29)$$

$$x_{19\_j} = 0 \quad j \in \{4,5,18,20\} \quad (4.30)$$

$$x_{i\_19} = 0 \quad i \in \{4,5,18,20\} \quad (4.31)$$

které obousměrně uzavírají trasy:  $x_{3\_4}$ ,  $x_{3\_5}$ ,  $x_{3\_7}$ ,  $x_{3\_8}$ ,  $x_{3\_9}$ ,  $x_{3\_18}$ ,  $x_{3\_20}$ ,  $x_{4\_19}$ ,  $x_{5\_19}$ ,  $x_{18\_19}$ ,  $x_{19\_20}$ .

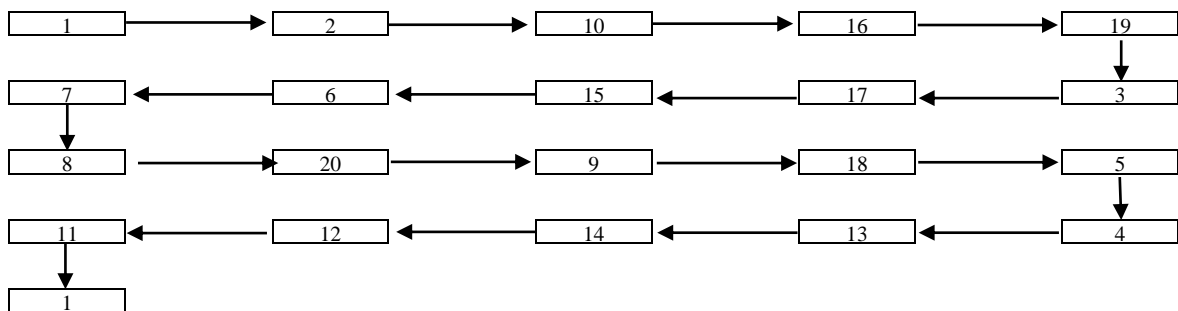
Dojde-li k vývratu v úseku B bez přítomnosti sněhové pokrývky, je řešení modelu následující:

**Tabulka 15 - Výsledky modelu při vývratu v úsek B, beze sněhu**

$c_{ij} = s$					$c_{ij} = t$				
Bod	Pořadí	Trasa	Délka	Čas	Bod	Pořadí	Trasa	Délka	Čas
x1	1	x1_2	9100	15,06	x1	1	x1_2	9100	15,06
x2	2	x2_10	3780	11,62	x2	2	x2_16	3400	10,06
x10	3	x10_16	439	1,56	x16	3	x16_17	2300	3,00
x16	4	x16_19	2118	8,66	x17	4	x17_3	3545	11,36
x19	5	x19_3	945	6,16	x3	5	x3_19	945	6,16
x3	6	x3_17	3545	11,36	x19	6	x19_9	5315	11,72
x17	7	x17_15	1844	4,43	x9	7	x9_18	1054	3,20
x15	8	x15_6	2002	6,25	x18	8	x18_4	389	2,75
x6	9	x6_7	873	6,16	x4	9	x4_5	1789	12,63
x7	10	x7_8	792	5,59	x5	10	x5_20	3100	13,28
x8	11	x8_20	854	3,38	x20	11	x20_8	854	3,38
x20	12	x20_9	1102	3,29	x8	12	x8_7	792	5,59
x9	13	x9_18	1054	3,20	x7	13	x7_6	873	6,16
x18	14	x18_5	1400	9,88	x6	14	x6_15	2002	6,25
x5	15	x5_4	1789	12,63	x15	15	x15_10	4624	8,99
x4	16	x4_13	12189	20,85	x10	16	x10_12	3040	5,48
x13	17	x13_14	1213	6,03	x12	17	x12_13	1787	2,42
x14	18	x14_12	2000	6,45	x13	18	x13_14	1213	6,03
x12	19	x12_11	2961	8,16	x14	19	x14_11	4114	12,28
x11	20	x11_1	11701	16,61	x11	20	x11_1	11701	16,61
$\Sigma$			61701	167,34	$\Sigma$			61937	162,41

Dle výsledků je patrný rozdíl mezi hodnotami při optimalizaci podle  $c_{ij} = s$  a při  $c_{ij} = t$ . Navýšení metrů u optimalizace, kdy  $c_{ij} = t$  je o 236 metrů při časové úspoře 4,93 minut. Rozdíl nákladů u jednotlivých metod je navýšení o 2,26 Kč optimalizace podle  $t$  v porovnání s optimalizací podle  $s$ . Stejně jako u předchozí situace, není předpokládáno, že situace s vývratem v úseku B bude trvat po celý rok a navýšení nákladů je minimální, přesto hlavním cílem práce je minimalizace nákladů, proto je pro potřeby diplomové práce zvolena varianta optimalizace podle  $c_{ij} = s$ .

**Obrázek 17 - Výsledné pořadí cest pro  $c_{ij} = t$  při Scénáři 7**

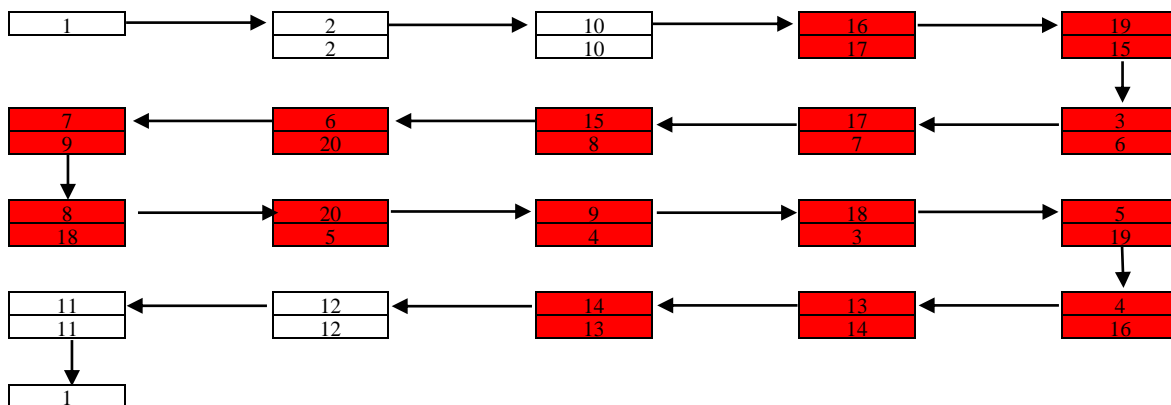


Zdroj: vlastní zpracování

Trasa je graficky znázorněna v příloze 10.

V porovnání se situací, kdy nedochází k vývratu na úseku B za meteorologických podmínek, kdy se nemění sjízdnost tras, dochází k navýšení celkového počtu najetých metrů. Při situaci 1 je celkový počet najetých metrů  $\sum s = 57442$  za čas 159,64 minut. V případě vývratu tak dochází k navýšení o 4259 metrů a 7,7 minut.

**Obrázek 18 - Porovnání tras pro scénáře 1 a 7**



Zdroj: vlastní zpracování

V horním řádku buněk jsou cesty pro situaci s vývratem a ve druhém bez vývratu. Dochází ke změně pořadí označených červenou barvou, celkem v 15-ti případech. Dále se navyšují náklady na 593,01 Kč, což je nárůst o 6,9 %.

#### 4.4.4 Scénář 8 – Úsek B, se sněhem

Čtvrtá situace počítá s možností vývratu stromu v úseku B za přítomnosti sněhové pokrývky od 5 do 15 centimetrů výšky. Z důvodu nesjízdnosti tras kvůli sněhové pokrývce jsou obousměrně uzavřeny cesty x6\_7, x6\_8 a x16\_19. Dále je kvůli vývratu znemožněno využití cest x3\_4, x3\_5, x3\_7, x3\_8, x3\_9, x3\_18, x3\_20, x4\_19, x5\_19, x18\_19, x19\_20. Z matematického modelu z kapitoly 4.4.3 jsou zachovány podmínky (4.28) až (4.31) a jsou přidány podmínky z kapitoly 4.3.2 a to (4.10) až (4.15).



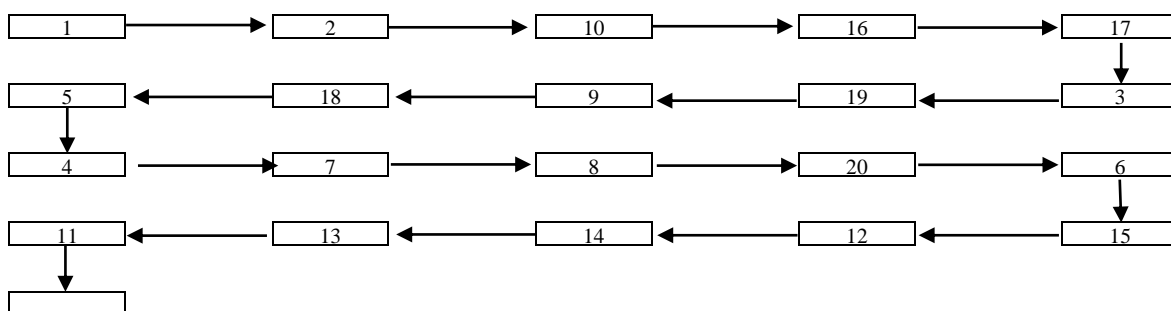
Výsledky upraveného modelu jsou následující:

**Tabulka 16 - Výsledky modelu při vývratu v úsek B, se sněhem**

$c_{ij} = s$					$c_{ij} = t$				
Bod	Pořadí	Trasa	Délka	Čas	Bod	Pořadí	Trasa	Délka	Čas
x1	1	x1_2	9100	15,06	x1	1	x1_2	9100	15,06
x2	2	x2_10	3780	11,62	x2	2	x2_16	3400	10,06
x10	3	x10_16	439	1,56	x16	3	x16_15	4144	7,43
x16	4	x16_17	2300	3,00	x15	4	x15_6	2002	6,25
x17	5	x17_3	3545	11,36	x6	5	x6_20	2081	4,87
x3	6	x3_19	945	6,16	x20	6	x20_8	854	3,38
x19	7	x19_9	5315	11,72	x8	7	x8_7	792	5,59
x9	8	x9_18	1054	3,20	x7	8	x7_4	3789	15,11
x18	9	x18_5	1400	9,88	x4	9	x4_5	1789	12,63
x5	10	x5_4	1789	12,63	x5	10	x5_18	1400	9,88
x4	11	x4_7	3789	15,11	x18	11	x18_9	1054	3,20
x7	12	x7_8	792	5,59	x9	12	x9_19	5315	11,72
x8	13	x8_20	854	3,38	x19	13	x19_3	945	6,16
x20	14	x20_6	2081	4,87	x3	14	x3_17	3545	11,36
x6	15	x6_15	2002	6,25	x17	15	x17_10	2780	4,56
x15	16	x15_12	6704	11,35	x10	16	x10_12	3040	5,48
x12	17	x12_14	2000	6,45	x12	17	x12_13	1787	2,42
x14	18	x14_13	1213	6,03	x13	18	x13_14	1213	6,03
x13	19	x13_11	3901	8,24	x14	19	x14_11	4114	12,28
x11	20	x11_1	11701	16,61	x11	20	x11_1	11701	16,61
$\Sigma$			64704	170,08	$\Sigma$			64845	170,08

Výsledky ukazují, že časová náročnost u obou modelů je stejná,  $\Sigma t = 170,08$  minut, ale liší se počet najetých metrů. Model, kdy  $c_{ij} = s$  nachází optimální trasu o 141 metrů kratší. Model s optimalizací, kde je do účelové funkce dosazeno  $c_{ij} = t$  nachází pouze nejrychlejší cestu a není ve výpočtech uvažováno se vzdáleností, proto je pro další výpočty a porovnání vybrána varianta, kde je optimalizace prováděna podle modelu  $c_{ij} = s$ . Celkový počet najetých metrů je tedy  $\Sigma s = 64704$  za čas  $\Sigma t = 170,08$  minuty.

**Obrázek 19 - Výsledné pořadí cest pro  $c_{ij} = s$  při Scénáři 8**

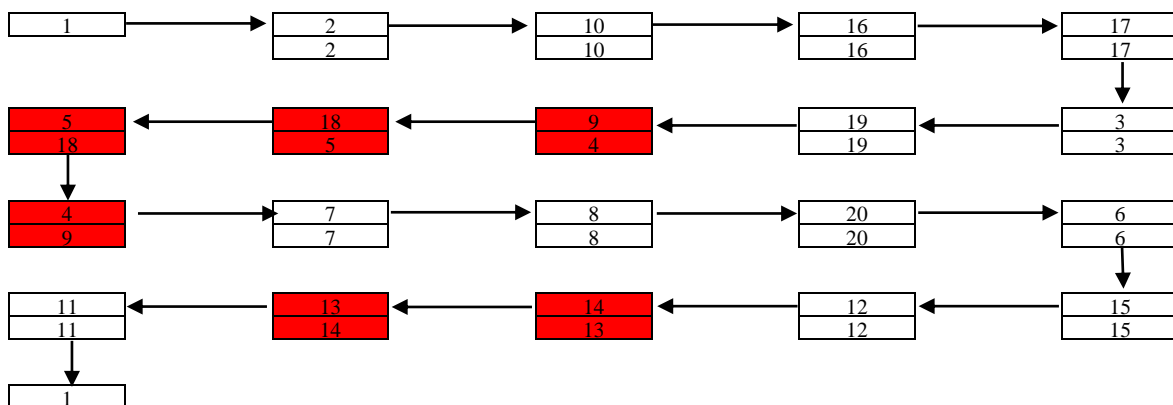


Zdroj: vlastní zpracování

Trasa je graficky znázorněna v příloze 11.

V porovnání se situací, kdy nedochází k vývratu na úseku B za meteorologických podmínek, kdy se nemění sjízdnost tras, dochází k navýšení celkového počtu najetých metrů. Při situaci 2 je celkový počet najetých metrů  $\Sigma s = 63004$  za čas 166,68 minut. V případě vývratu tak dochází k navýšení o 1700 metrů a 3,4 minuty.

Obrázek 20 - Porovnání tras pro scénáře 2 a 8



Zdroj: vlastní zpracování

V horním řádku buněk jsou cesty pro situaci s vývratem a ve druhém bez vývratu. Dochází ke změně pořadí označené červenou barvou, celkem v 6-ti případech. Dále se navyšují náklady na 621,87 Kč, což je nárůst o 2,6%

## 4.5 Roční náklady

Z vybraných modelů z předchozích kapitol je sestavován odhad celkových ročních nákladů podle pravděpodobnosti výskytu celkové sněhové pokrývky. Ve výpočtech nákladů nejsou zohledňovány pravděpodobnosti vývratů stromů, z důvodu neexistence komplexních dat za delší časové období, podle kterých by byla možnost zjistit pravděpodobnost vývratů na úsecích A a B.

Jsou vypočteny náklady na jeden závoz krmiva pro jednotlivé situace a to:

**Tabulka 17 - Výsledky pro jednotlivé situace**

Situace $s$	Délka $s$ (m)	Čas $t$ (min)	Náklad na rozvoz $C$ (Kč)	Frekvence zakrmování $f$ (x / týden)
Situace 1	57442	159,64	552,08	2
Situace 2	63004	166,68	605,54	2
Situace 3	51547	104,77	495,42	3
Situace 4	34735	70,50	333,84	3

Jsou dány frekvence  $f$  zakrmování dle potřeb jednotlivých situací a pravděpodobnosti dle tabulky 8 v kapitole 4.2.6. a počet týdnů jednotlivých měsíců určených podle počtu dnů

v měsíci:  $\text{počet týdnů} = \frac{\text{počet dnů v měsíci}}{\text{počet dnů v týdnu (7)}}$ ;

**Obrázek 21 - Počty týdnů v měsíci**

Měsíc $m$	Počet dnů $d$	Počet týdnů $w$	Měsíc $m$	Počet dnů $d$	Počet týdnů $w$
1. Leden	31	4,43	7. Červenec	31	4,43
2. Únor	28	4,00	8. Srpen	31	4,43
3. Březen	31	4,43	9. Zář	30	4,29
4. Duben	30	4,29	10. Říjen	31	4,43
5. Květen	31	4,43	11. Listopad	30	4,29
6. Červen	30	4,29	12. Prosinec	31	4,43

Podle vzorce:

$$C_m = \sum_{s=1}^4 C_s * P(A)_s * f_s * w_m \quad m = 1, 2, \dots, 12 \quad (4.32)$$

kde  $C_s$  je náklad na rozvoz při situaci  $s$ ,  $P(A)_s$  je pravděpodobnost situace,  $f$  je frekvence zakrmování při dané situaci a  $w_m$  je počet týdnů v měsíci. Jsou spočítány pravděpodobné náklady na daný měsíc.

**Obrázek 22 - Výpočet měsíčních nákladů**

	Počet dnů	Počet týdnů	f = 2	f = 3	Pravděpodobnost pro jednotlivé situace				Náklady pro jednotlivé situace				
					P(A) <sub>1</sub>	P(A) <sub>2</sub>	P(A) <sub>3</sub>	P(A) <sub>4</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>m</sub>
Leden	31	4,43	2,00	3,00	0,292	0,211	0,201	0,295	552,08	605,54	495,42	333,84	5195,83
Únor	28	4,00	2,00	3,00	0,302	0,137	0,177	0,384	552,08	605,54	495,42	333,84	4587,53
Březen	31	4,43	2,00	3,00	0,654	0,143	0,133	0,069	552,08	605,54	495,42	333,84	5151,75
Duben	30	4,29	2,00	3,00	0,934	0,024	0,031	0,011	552,08	605,54	495,42	333,84	4789,68
Květen	31	4,43	2,00	3,00	1,000	0,000	0,000	0,000	552,08	605,54	495,42	333,84	4889,86
Červen	30	4,29	2,00	3,00	1,000	0,000	0,000	0,000	552,08	605,54	495,42	333,84	4732,12
Červenec	31	4,43	2,00	3,00	1,000	0,000	0,000	0,000	552,08	605,54	495,42	333,84	4889,86
Srpen	31	4,43	2,00	3,00	1,000	0,000	0,000	0,000	552,08	605,54	495,42	333,84	4889,86
Září	30	4,29	2,00	3,00	1,000	0,000	0,000	0,000	552,08	605,54	495,42	333,84	4732,12
Říjen	31	4,43	2,00	3,00	0,990	0,010	0,000	0,000	552,08	605,54	495,42	333,84	4894,44
Listopad	30	4,29	2,00	3,00	0,960	0,030	0,007	0,003	552,08	605,54	495,42	333,84	4755,32
Prosinec	31	4,43	2,00	3,00	0,590	0,119	0,130	0,160	552,08	605,54	495,42	333,84	5094,27
													Σ 58602,64

Podle vzorce (4.32) jsou vypočítány náklady na rozvoz pro jednotlivé měsíce. Výsledky jsou ovlivněny náklady na rozvoz při dané situaci, pravděpodobností situace 1 až 4, která je počítána z dat za posledních 10 let, frekvencí závozu pro danou situaci, kdy pro situace 1 a 2 je shodná frekvence, a to 2x za týden, pro situaci 3 a 4 je frekvence zvolena 3x za týden a počtem týdnů v měsíci.

Výpočty ukazují, že nejnákladnější měsíc je leden, kdy dochází k časté změně tras na základě výšky sněhové pokrývky. Měsíc s nejmenšími náklady je únor, který je jednak nejkratším měsícem a zároveň nejvíce dochází k situaci č. 4, kdy je zakrmováno pouze 7 vnaďišť.

Celkové náklady na zakrmování na celý rok jsou rovny:  $C_a = \sum_{m=1}^{12} C_m$ , a to  $C_a = 58602,64$  Kč.

## 5 Výsledky a diskuse

V práci je provedena optimalizace tras pomocí aplikace modelu obchodního cestujícího upraveného podle situací, které nastaly za podmínek zahrnujících celkovou výšku sněhové pokrývky a vývraty stromů v rizikových oblastech.

### 5.1 Scénáře s proměnlivou výškou sněhové pokrývky

Byly vytvořeny 4 scénáře zahrnující vliv celkové výšky sněhové pokrývky na sjízdnost jednotlivých tras. Scénáře obsahovaly situace, kdy celková výška sněhové pokrývky byla rozdělena do 4 intervalů  $\langle 0;5 \rangle$ ,  $\langle 5;15 \rangle$ ,  $\langle 15;30 \rangle$  a  $\langle 30;\infty \rangle$ . Dle jednotlivých scénářů se měnila sjízdnost některých tras, konkrétně x6\_7, x6\_8 a x16\_19, jež se uzavíraly při výšce sněhu nad 5 centimetrů pomocí upravených podmínek modelu. Dále bylo přistoupeno k ukončení obsluhy určitých míst při výšce sněhu nad 15 centimetrů. Ve scénáři 3 se jednalo o body: x3, x4, x5, x7, x9, x16, x17, x18, x19, ve scénáři 4 se jednalo o x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, x15, x16, x17, x18, x19, x20. Důvodem bylo stahování se zvěře do údolí při výskytu vyšší sněhové pokrývky, než 15 centimetrů. Do modelů byly přidány podmínky, které zohledňovaly znemožnění obsluhy konkrétních míst.

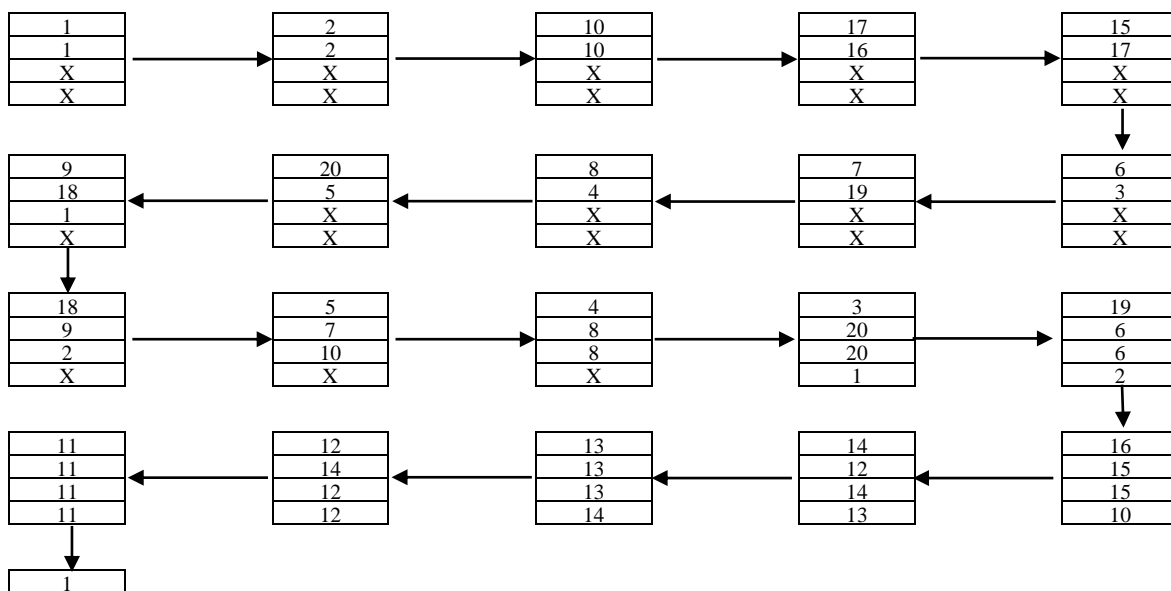
**Tabulka 18 - Celkové porovnání výsledků scénářů 1 až 4**

Pořadí	Scénář 1, cij = s			Scénář 2, cij = s			Scénář 3, cij = s			Scénář 4, cij = t		
	Trasa	Délka (m)	Čas (t)	Trasa	Délka (m)	Čas (t)	Trasa	Délka (m)	Čas (t)	Trasa	Délka (m)	Čas (t)
1	x1_2	9100	15,06	x1_2	9100	15,06	X	0	0,00	X	0	0
2	x2_10	3780	11,62	x2_10	3780	11,62	X	0	0,00	X	0	0
3	x10_17	2780	4,56	x10_16	439	1,56	X	0	0,00	X	0	0
4	x17_15	1844	4,43	x16_17	2300	3,00	X	0	0,00	X	0	0
5	x15_6	2002	6,25	x17_3	3545	11,36	X	0	0,00	X	0	0
6	x6_7	873	6,16	x3_19	945	6,16	X	0	0,00	X	0	0
7	x7_8	792	5,59	x19_4	4689	11,35	X	0	0,00	X	0	0
8	x8_20	854	3,38	x4_5	1789	12,63	X	0	0,00	X	0	0
9	X20_9	1102	3,29	x5_18	1400	9,88	X	0	0,00	X	0	0
10	x9_18	1054	3,20	x18_9	1054	3,20	x1_2	9100	15,06	X	0	0
11	x18_5	1400	9,88	x9_7	2715	12,08	x2_10	3780	11,62	X	0	0
12	x5_4	1789	12,63	x7_8	792	5,59	x10_8	8211	14,90	X	0	0
13	x4_3	5634	17,51	x8_20	854	3,38	x8_20	854	3,38	X	0	0
14	x3_19	945	6,16	x20_6	2081	4,87	x20_6	2081	4,87	x1_2	9100	15,06
15	x19_16	2118	8,66	x6_15	2002	6,25	x6_15	2002	6,25	x2_10	3780	11,62
16	x16_14	3713	8,03	x15_12	6704	11,35	x15_12	6704	11,35	x10_12	3040	5,48
17	x14_13	1213	6,03	x12_13	1787	2,42	x12_13	1787	2,42	x12_14	2000	6,45
18	x13_12	1787	2,42	x13_14	1213	6,03	x13_14	1213	6,03	x14_13	1213	6,03
19	x12_11	2961	8,16	x14_11	4114	12,28	x14_11	4114	12,28	x13_11	3901	8,24
20	x11_1	11701	16,61	x11_1	11701	16,61	x11_1	11701	16,61	x11_1	11701	16,61
	Σ	57442	159,64	Σ	63004	166,68	Σ	51547	104,77	Σ	34735	69,50

Pořadí obslužených míst se u každého scénáře liší v závislosti na otevření či uzavření daných tras. Jediná místa, která zůstávají stejná jsou počáteční a konečný bod. Dále

také bod 2 – Přezimovací obora, jež slouží jako sklad a je nutné ji obsloužit jako první a bod 11, který je u všech situací vždy bodem předposledním.

**Obrázek 23 - Výsledné porovnání pořadí všech tras**



Zdroj: vlastní zpracování

V nákresu pořadí obslužených míst jsou jednotlivé scénáře zaznamenány postupně, první řada náleží scénáři 1, druhá scénáři 2 atd.

Dle vypočtených tras byly provedeny kalkulace určující náklady na jeden cyklus zakrmování. Náklady zahrnují celkovou vzdálenost, spotřebu vozidla, jež činila 17 l / 100 km, cenu pohonných hmot dosahující průměrné hodnoty nafty v období od 1.1.2019 do 1.1.2020 je 31,83 Kč za litr za rok a amortizaci stanovenou dle zákona na minimálně 4,2 Kč za kilometr.

**Tabulka 19 - Náklady na jeden závoz pro jednotlivé situace**

	Délka (m)	Čas (t)	Náklad na rozvoz (Kč)	Frekvence zakrmování (x / týden)
Situace 1	57442	159,64	552,08	2
Situace 2	63004	166,68	605,54	2
Situace 3	51547	104,77	495,42	3
Situace 4	34735	70,50	333,84	3

Byly vypočteny pravděpodobnosti nastání situace 1 až 4 pro jednotlivé měsíce.

**Tabulka 20 - Pravděpodobnosti jednotlivých kategorizací výšky sněhu**

	Kat. 1	Kat. 2	Kat. 3	Kat. 4		Kat. 1	Kat. 2	Kat. 3	Kat. 4
Měsíc	<0;5>	(5;15>	(15;30)	<30;∞)	Měsíc	<0;5>	(5;15>	(15;30)	<30;∞)
Leden	29,24%	21,12%	20,10%	29,54%	Červenec	100%	0%	0%	0%
Únor	30,19%	13,70%	17,67%	38,43%	Srpen	100%	0%	0%	0%
Březen	65,44%	14,28%	13,34%	6,94%	Září	100%	0%	0%	0%
Duben	93,43%	2,36%	3,14%	1,07%	Říjen	99,03%	0,97%	0%	0%
Květen	100%	0%	0%	0%	Listopad	96,00%	3,00%	0,67%	0,33%
Červen	100%	0%	0%	0%	Prosinec	59,03%	11,94%	13,04%	16,00%

Byly vypočteny náklady pro jednotlivé měsíce zahrnující náklady na jeden cyklus závozu při daném scénáři, pravděpodobnost vzniku konkrétní situace, počet týdnů jednotlivých měsíců a frekvence zakrmování daný pro danou situaci.

**Tabulka 21 - Měsíční výdaje na rozvoz krmiva**

Měsíc	Náklady na měsíc (Kč)	Měsíc	Náklady na měsíc (Kč)
Leden	5195,83	Červenec	4889,86
Únor	4587,53	Srpen	4889,86
Březen	5151,75	Září	4732,12
Duben	4789,68	Říjen	4894,44
Květen	4889,86	Listopad	4755,32
Červen	4732,12	Prosinec	5094,27
Roční náklady (Kč)		58602,64	

Jednotlivé měsíční náklady kolísají podle sjízdnosti tras, jež jsou pro každý měsíc rozdílné dle množství celkové pokrývky sněhu. Nejnižší hodnota byla vypočtena pro únor, během kterého se předpokládá výskyt vyšší sněhové pokrývky. Avšak z důvodu trvání měsíce jen 4 týdny a skutečnosti, že při vyšším množství sněhu se nezakrmují všechny body a náklady na rozvoz se tak snižují, je měsíční výdaj na zakrmování nižší než v ostatních měsících. Roční náklad je sumou měsíčních výdajů na rozvoz krmiva, tedy  $C_a = 58602,64$  Kč.

## 5.2 Scénáře s vývraty stromů

Další scénáře zahrnovaly možnost vývratu v rizikových úsecích. Situace byly očíslovány 5 až 8 a zahrnovaly možnost vývratu v úseku A, s a bez sněhové pokrývky a v úseku B, s a bez sněhové pokrývky. Byl opět použit matematický model obchodního cestujícího, ale byl pro potřeby práce upraven. Při scénáři 5 model počítal s vývratem v úseku A, kdy byly uzavřeny všechny cesty, které tímto úsekem procházejí, ale sjízdnost,

závislá na výšce sněhové pokrývky, nebyla změněna. Scénář 6 počítal s vývratem ve stejném úseku, ale za předpokladu změny sjízdnosti tras v podobě obousměrného uzavření tras x6\_7, x6\_8 a x16\_19. Scénář 7 zahrnuje vývrat v úseku B bez výskytu sněhové pokrývky, takže jsou uzavřeny pouze cesty, které procházejí úsekem B. Poslední scénář uvažuje znovu vývrat v úseku B, ale při změně sjízdnosti tras x6\_7, x6\_8 a x16\_19, které jsou nesjízdné.

Opět byly vypočteny obě varianty, kdy optimalizace je vedena podle  $c_{ij} = s$ , ale i podle  $c_{ij} = t$ . Následně došlo k porovnání a zvolení nejvýhodnější varianty pro myslivecké sdružení.

**Tabulka 22- Celkové porovnání výsledků scénářů 5 až 8**

Pořadí	Scénář 5, $c_{ij} = s$			Scénář 6, $c_{ij} = s$			Scénář 7, $c_{ij} = s$			Scénář 8, $c_{ij} = t$		
	Trasa	Délka (m)	Čas (t)	Trasa	Délka (m)	Čas (t)	Trasa	Délka (m)	Čas (t)	Trasa	Délka (m)	Čas (t)
1	x1_2	9100	15,06	x1_2	9100	15,06	x1_2	9100	15,06	x1_2	9100	15,06
2	x2_10	3780	11,62	x2_10	3780	11,62	x2_10	3780	11,62	x2_10	3780	11,62
3	x10_17	2780	4,56	x10_16	439	1,56	x10_16	439	1,56	x10_16	439	1,56
4	x17_15	1844	4,43	x16_17	2300	3,00	x16_19	2118	8,66	x16_17	2300	3,00
5	x15_6	2002	6,25	x17_15	1844	4,43	x19_3	945	6,16	x17_3	3545	11,36
6	x6_7	873	6,16	x15_6	2002	6,25	x3_17	3545	11,36	x3_19	945	6,16
7	x7_8	792	5,59	x6_20	2081	4,87	x17_15	1844	4,43	x19_9	5315	11,72
8	x8_20	854	3,38	x20_8	854	3,38	x15_6	2002	6,25	x9_18	1054	3,20
9	x20_9	1102	3,29	x8_7	792	5,59	x6_7	873	6,16	x18_5	1400	9,88
10	x9_18	1054	3,20	x7_9	2715	12,08	x7_8	792	5,59	x5_4	1789	12,63
11	x18_4	389	2,75	x9_3	6260	17,88	x8_20	854	3,38	x4_7	3789	15,11
12	x4_5	1789	12,63	x3_19	945	6,16	x20_9	1102	3,29	x7_8	792	5,59
13	x5_3	6645	24,65	x19_18	4300	14,60	x9_18	1054	3,20	x8_20	854	3,38
14	x3_19	945	6,16	x18_5	1400	9,88	x18_5	1400	9,88	x20_6	2081	4,87
15	x19_16	2118	8,66	x5_4	1789	12,63	x5_4	1789	12,63	x6_15	2002	6,25
16	x16_14	3713	8,03	x4_13	12189	20,85	x4_13	12189	20,85	x15_12	6704	11,35
17	x14_13	1213	6,03	x13_14	1213	6,03	x13_14	1213	6,03	x12_14	2000	6,45
18	x13_12	1787	2,42	x14_12	2000	6,45	x14_12	2000	6,45	x14_13	1213	6,03
19	x12_11	2961	8,16	X12_11	2961	8,16	x12_11	2961	8,16	x13_11	3901	8,24
20	x11_1	11701	16,61	x11_1	11701	16,61	x11_1	11701	16,61	x11_1	11701	16,61
	$\Sigma$	57442	159,64	$\Sigma$	70665	187,11	$\Sigma$	61701	167,34	$\Sigma$	64704	170,08

U scénářů 5, 6 a 7 byly zvoleny jako nejlepší možné trasy ty, které byly optimalizovány podle  $c_{ij} = s$ . Pro scénář 8 byl zvolen model, jež optimalizoval trasu podle  $c_{ij} = t$ , protože výsledky vykazovaly lepší hodnoty než u varianty, kde  $c_{ij} = t$ .



**Tabulka 23 - Porovnání tras s vývratem a bez vývratu**

	Scénáře bez vývrátů				Scénáře s vývraty			Nárůst v % oproti scénáři 1/2
	Délka (m)	Čas (t)	Náklad na rozvoz (Kč)		Délka (m)	Čas (t)	Náklad na rozvoz (Kč)	
Situace 1	57442	159,64	552,08	Situace 5	57442	159,64	552,08	0,0 %
Situace 2	63004	166,68	605,54	Situace 6	70665	187,11	679,17	10,8 %
				Situace 7	61701	167,34	593,01	6,9 %
				Situace 8	64704	170,08	621,88	2,6 %

Byly porovnány jednotlivé scénáře s výskytem vývratu se situací, kdy k vývratu nedošlo. Scénáře 5 a 7 byly srovnávány se scénářem 1, kdy nedošlo k vývratu v kontrastu situace vyvráceného stromu v úseku A nebo B, za podmínek nemění se sjízdnosti rizikových tras. Scénáře 6 a 8 byly porovnávány se scénářem 2, kdy došlo ke změně sjízdnosti rizikových tras za předpokladu výskytu vývratu v úseku A nebo B. Náklady na zakrmování zvířete vzrostly, a to maximálně o 10,8 % v případě scénáře 6. Naopak vývrat v úseku A bez sněhové pokrývky nijak neovlivní náklady na rozvoz.

## 6 Závěr

Cílem diplomové práce bylo nalezení optimální trasy zakrmování zvěře při různých meteorologických podmínkách zastoupených celkovou výškou sněhové pokrývky a dále při výskytu vývratu stromu v rizikovém úseku. Dílčím cílem bylo vytvoření podkladů pro výpočet ročních nákladů na zakrmování zvěře s přihlédnutím k meteorologickým podmínkám. Oba cíle diplomové práce byly splněny.

Teoretická část byla zaměřena na studium literatury zabývající se tématem logistiky, jejího významu a cílů. Dále byla popsána problematika operačního výzkumu a matematického modelování, jeho stavby sloužící k popsání reality. V další části byl popsán princip celočíselného programování, které bylo následně použito v praktické části. Dle zaměření práce byly popsány také dopravní úlohy, zejména problém obchodního cestujícího a problematika NP a P úloh. Dále byla část zaměřena na problematiku meteorologických stanic, metodiky sběru dat apod. Závěr byl věnován základním principům zakrmování a péči o zvěř.

Praktická část se zaměřovala na optimalizaci dopravních tras při zakrmování zvěře v honitbě Stropník. Nejprve byla popsána problematika a kontext celé situace. Proběhla identifikace míst obsluhy a vytvoření pomocných bodů potřebných k dalšímu modelování situací. Vzdálenosti a časové náročnosti tras byly počítány za pomoci rozdělení tras na 3 druhy cest a sečteny jednotlivé dílčí hodnoty. Dle zkušenosti se sjízdností cest od osob, kteří jsou zodpovědní za zakrmování zvěře byly určeny 4 intervaly výšky sněhové pokrývky a došlo k výpočtům pravděpodobnosti výskytu sněhové pokrývky pro konkrétní výšky. Pro scénáře došlo k upravení matematických modelů pomocí přidání nebo změny omezujících podmínek. Výpočty tvořily modely zahrnující optimalizaci jak podle vzdálenosti, tak podle času. Po porovnání výsledků byla určena nejoptimálnější trasa s přihlédnutím k cíli práce, a to minimalizace nákladů.

Další část se zabývala vývraty stromů na rizikové cestě. Cesta byla rozdělena na dva úseky, a modely zahrnovaly možnost vývratu v jednotlivém úseku za situace se sněhovou pokrývkou a bez ní. Stejně jako v předchozí části došlo k porovnání výsledků optimalizace podle času i vzdálenosti a zvolení nejvýhodnější varianty.

V poslední části byly vypočítány náklady na rozvoz krmiva pro jednotlivé měsíce zahrnující pravděpodobnost výskytu jednotlivých situacích. Sestavením pravděpodobných nákladů pro jednotlivé měsíce byl po sečtení zjištěn předpokládaný rozpočet na rozvoz krmiva na celý rok.

Výsledky byly předány mysliveckému sdružení, které je může použít pro kalkulaci nákladů na provoz.

## 7 Seznam použitých zdrojů

**Balas, Ergon. 1989.** *The prize collecting traveling salesman problem.* Pittsburgh, Pennsylvania, United States : Carnegie Mellon University, 1989. ISSN 00283045.

**Brožová, Helena a Houška, Milan. 2002.** *Základní metody operační analýzy.* Praha : Credit, 2002. ISBN 9788021309517.

**Český hydrometeorologický ústav. 2008.** Historie ústavu. *Český hydrometeorologický ústav.* [Online] 13. Červenec 2008. [Citace: 30. Leden 2020.] <http://portal.chmi.cz/onas/historie-ustavu>.

—, **2011.** Mapy stanic. *Český hydrometeorologický ústav.* [Online] 2011. [Citace: 29. Leden 2020.] <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mapy-stanic>.

**Cook, William. 2007.** LaserLogic ZSP. *The Traveling Salesman Problem.* [Online] Říjen 2007. <http://www.math.uwaterloo.ca/tsp/pla85900/bell/bell.htm>.

—, **2012.** *Po stopách obchodního cestujícího: matematika na hranicích možností.* Praha : Agro, 2012. ISBN 978-80-7363-412-4.

**Cook, William, a další. 2019.** UK Pubs Traveling Salesman Problem. *Mathematics / University of Waterloo.* [Online] 2019. [Citace: 18. Leden 2020.] <http://www.math.uwaterloo.ca/tsp/pubs/>.

**Cormen, Thomas H., a další. 2009.** *Introduction to algorithms.* Cambridge, Mass. : MIT Press, 2009. ISBN 978-0-262-03384-8.

**Coyle, John Joseph, Bardi, Edward J. a Langley, C. John. 2003.** *The Management of Business Logistic.* místo neznámé : South-Western/Thomson Learning, 2003. ISBN 9780324007510.

**Fábry, Jan. 2011.** *Matematické modelování.* Praha : Profesional Publishing, 2011. ISBN 9788074310669.

**Fiala, Petr. 2010.** *Operační výzkum.* Praha : Professional Publishing, 2010. ISBN 978-807-4310-362.

**Fotr, Jiří a Švecová, Lenka. 2010.** *Manažerské rozhodování; postupy, metody a nástroje.* Praha : Ekopress, 2010. ISBN 978- 80-86929-59-0.

**Gros, Ivan. 2003.** *Kvantitativní metody v manažerském rozhodování.* Praha : Grada, 2003. ISBN 8024704218.

**Gurobi Optimization, LLC. 2020.** Gurobi Optimizer. *Gurobi Optimization.* [Online] Gurobi Optimization, LLC, 2020. [Citace: 5. Únor 2020.] <https://www.gurobi.com/products/gurobi-optimizer/>.

**Hanzal , Vladimír, a další. 2016.** *Myslivost I.* Praha : Nakladatelství Druckvo, spol. s.r.o., 2016. ISBN 978-80-213-2637-8.

**Hanzal, Vladimír, Hintnaus, Jaroslav a Libosvár, František. 2017.** *Péče o zvěř a životní prostředí.* Praha : Vydavatelství Druckovo s.r.o., 2017. ISBN 978-80-213-2805-1.

**Hladík, Milan. 2017.** *Celočíselné programování: text k přednášce.* Praha : Univerzita Karlova v Praze, 2017.

**Jablonský, Josef. 2007.** *Operační výzkum.* Praha : Professional Publishing, 2007. ISBN 978-80-86946-44-3.

**Kozlenkova, Irina V., a další. 2015.** Management, The Role of Marketing Channels in Supply Chain. *Journal of Retailing.* 2015, Sv. 91, 4.

**Kurzy.cz, spol. s.r.o., AliaWeb, spol. s.r.o. 2020.** Aktuální cena benzínu, cena nafty. *Kurzy.cz*. [Online] 2020. [Citace: 3. Leden 2020.] [https://www.kurzy.cz/komodity/benzin-nafta-cena/?dat\\_field=01.01.2020&page=25&dat\\_field2=01.01.2019](https://www.kurzy.cz/komodity/benzin-nafta-cena/?dat_field=01.01.2020&page=25&dat_field2=01.01.2019). ISSN 1801-8688.

**Malaguti, Enrico, Martello, Silvano a Santini, Alberto. 2018.** The traveling salesman problem with pickups, deliveries, and draft limits. *Omega*. 2018.

**Open Solver for Excel. 2019.** About OpenSolver. *OpenSolver for Excel - The Open Source Optimization Solver for Excel*. [Online] 2019. [Citace: 2. Únor 202.] <https://opensolver.org/>.

**Peiker, Marek. 2020.** *Zakrmování zvěře*. Leden 2020.

**Pelikán, Jan. 2001.** *Diskrétní modely v operačním výzkumu*. Brno : Professional Publishing, 2001. ISBN 80-86419-17-7.

**Plevný, Miroslav a Žižka, Miroslav. 2010.** *Modelování a optimalizace v manažerském rozhodování*. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2010. ISBN 978-80-7043-933-3.

**Preclík, Vratislav. 2006.** *Průmyslová logistika*. Praha : Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03449-6.

**Saaty, Thomas L. 2004.** *Mathematical Methods of Operations Research*. Mineola, NY : Dover Publication, 2004. ISBN: 978-0486495699.

**Sixta, Josef a Mačát, Václav. 2005.** *Logistika - teorie a praxe*. Brno : CP Books, 2005. ISBN 80-251-0573-3.

**Šubrt, Tomáš. 2011.** *Ekonomicko-matematické metody*. Plzeň : Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2011. ISBN 978-80-7380-345-2.

**Visser, Hessel. 2006.** *Logistics: Principles and Practice.* Netherlands : Wolters-Noordhoff, 2006. ISBN 9020733044.

**Volek, Josef a Linda, Bohdan. 2012.** *Teorie grafů; Aplikace v dopravě a veřejné správě.* Pardubice : Univerzita Pardubice, 2012. ISBN 978-80-7395-225.

*Zákon č. 449/2001 Sb., Zákon o myslivosti.*

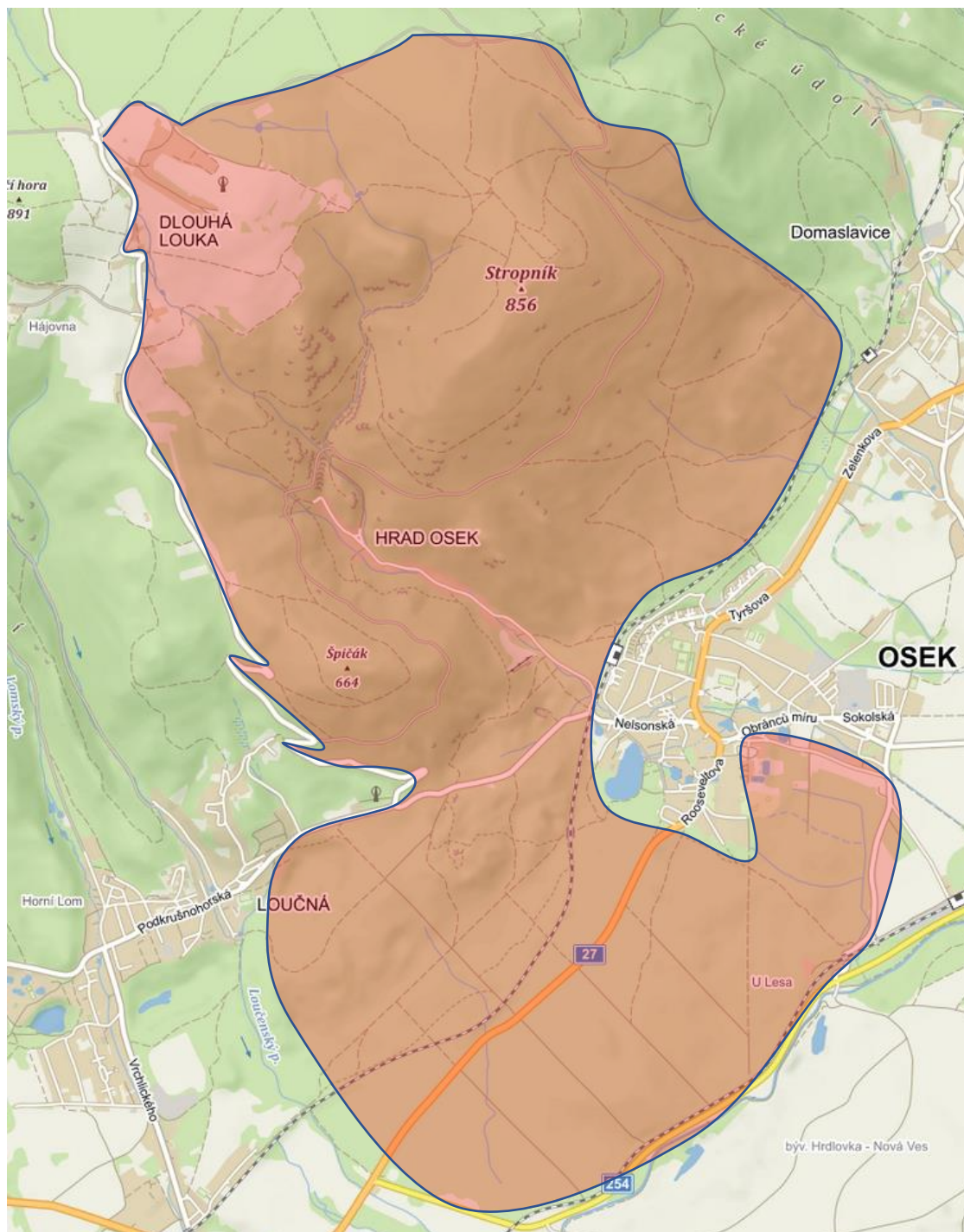
**Židek, Dušan a Lipina, Pavel. 2014.** *Návod pro provozovatele meteorologických stanic, metodický předpis 13.* Praha : Český hydrometeorologický ústav, 2014. ISBN 978-80-87577-33-2.

## 8 Přílohy

Příloha 1 – Mapa oblasti honitby Stropník .....	70
Příloha 2 – Výpočet vzdáleností, časové náročnosti a rychlosti.....	71
Příloha 3 – Výška sněhu pro jednotlivé dny v měsících.....	73
Příloha 4 – Mapa – pořadí obsluhy míst scénáře 1 .....	75
Příloha 5 – Mapa – pořadí obsluhy míst scénáře 2 .....	76
Příloha 6 – Mapa – pořadí obsluhy míst scénáře 3 .....	77
Příloha 7 – Mapa – pořadí obsluhy míst scénáře 4 .....	78
Příloha 8 – Mapa – pořadí obsluhy míst scénáře 5 .....	79
Příloha 9 – Mapa – pořadí obsluhy míst scénáře 6 .....	80
Příloha 10 – Mapa – pořadí obsluhy míst scénáře 7 .....	81
Příloha 11 – Mapa – pořadí obsluhy míst scénáře 8 .....	82



## Příloha 1 – Mapa oblasti honitby Stropník



Zdroj: mapy.cz

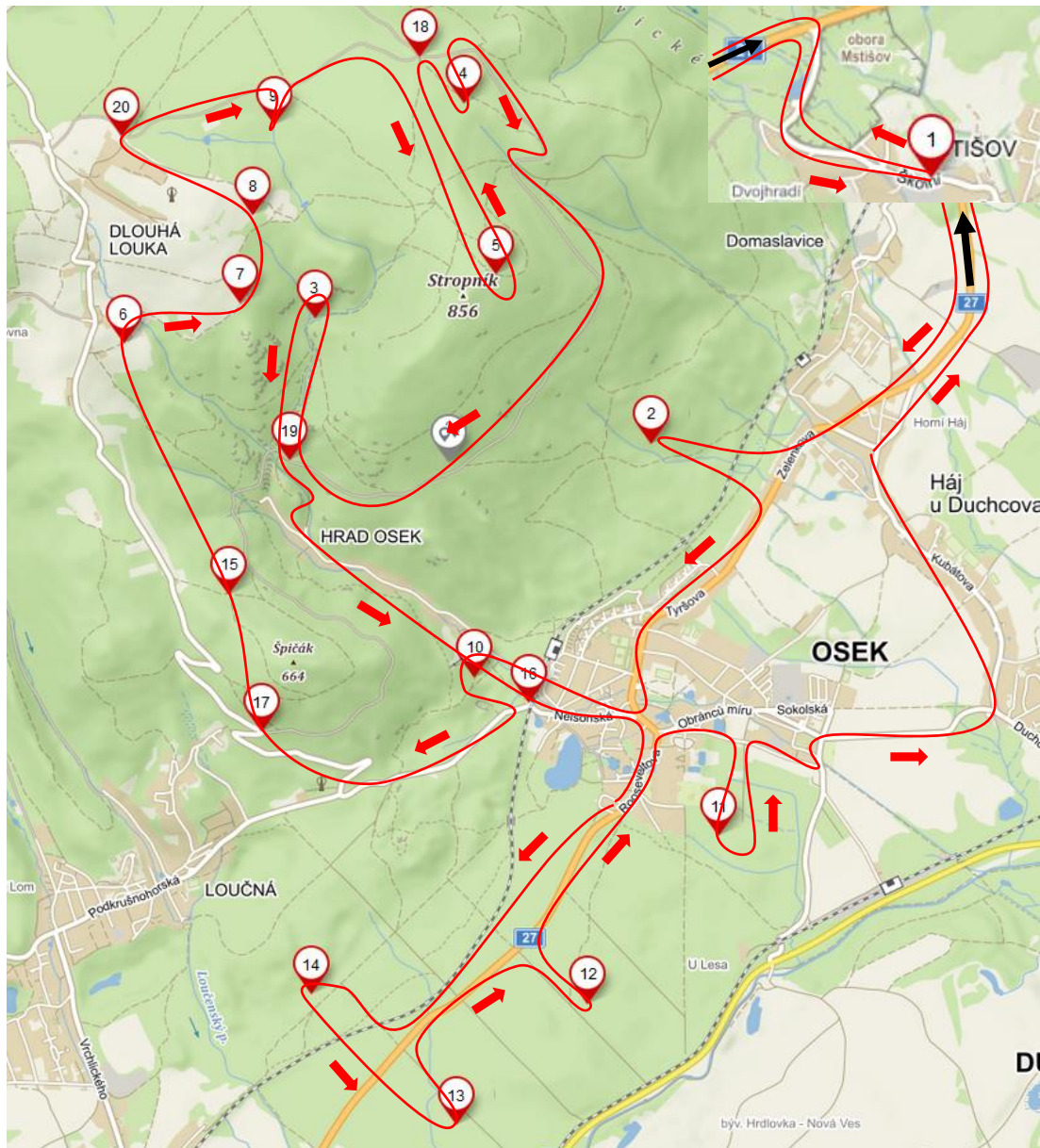








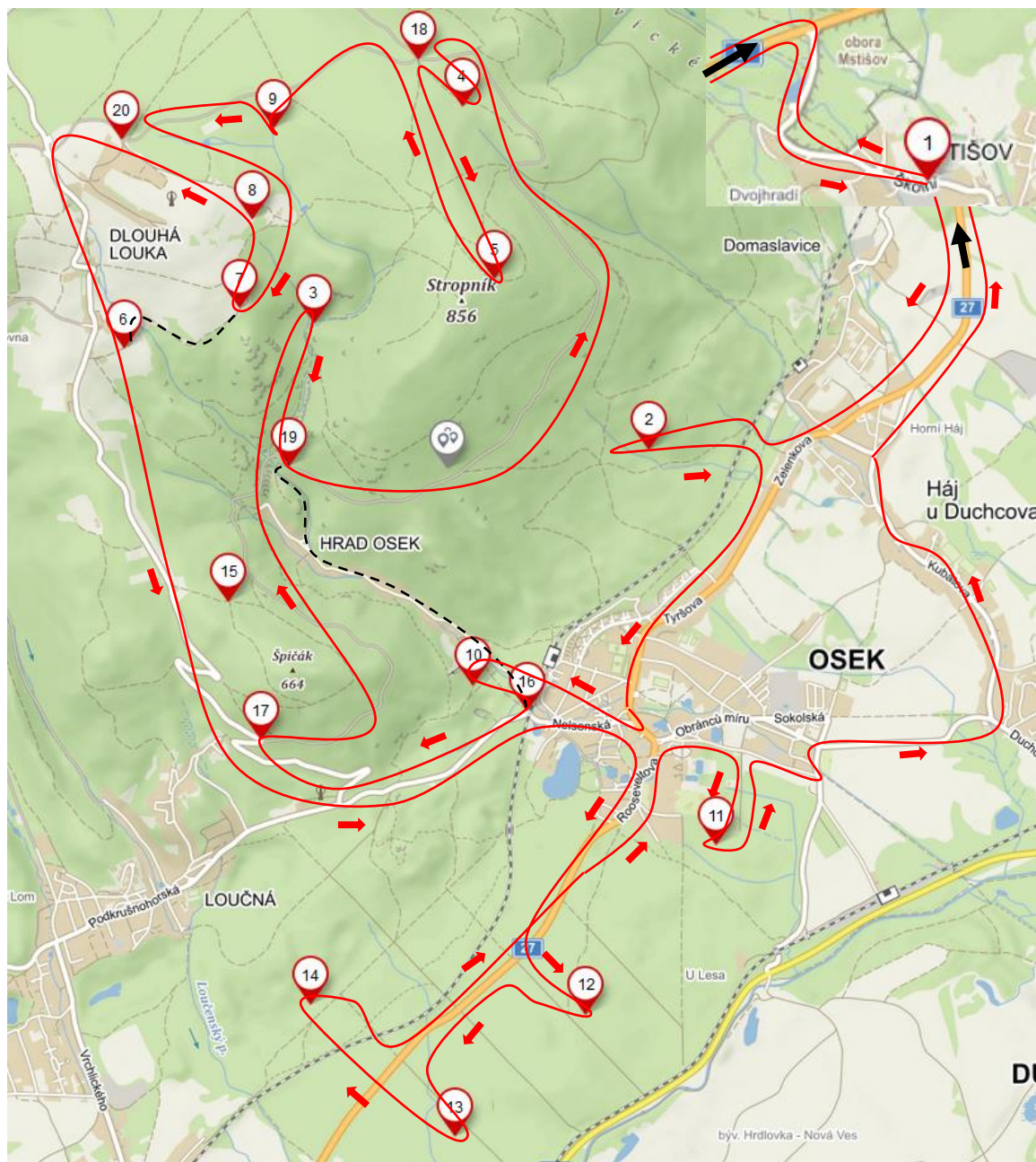
#### Příloha 4 – Mapa – pořadí obsluhy míst scénáře 1



Zdroj: mapy.cz

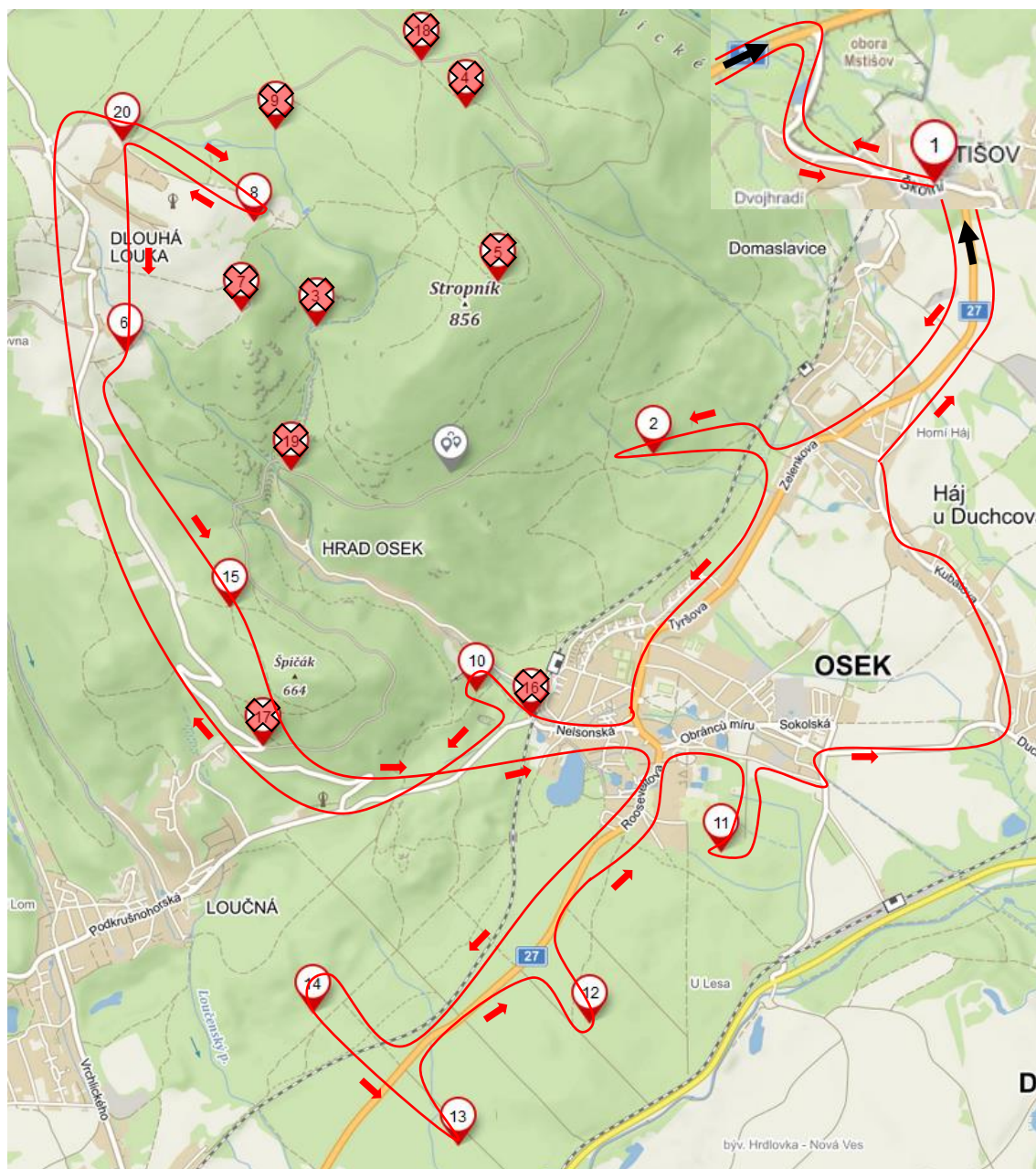


## Příloha 5 – Mapa – pořadí obsluhy míst scénáře 2



Zdroj: mapy.cz

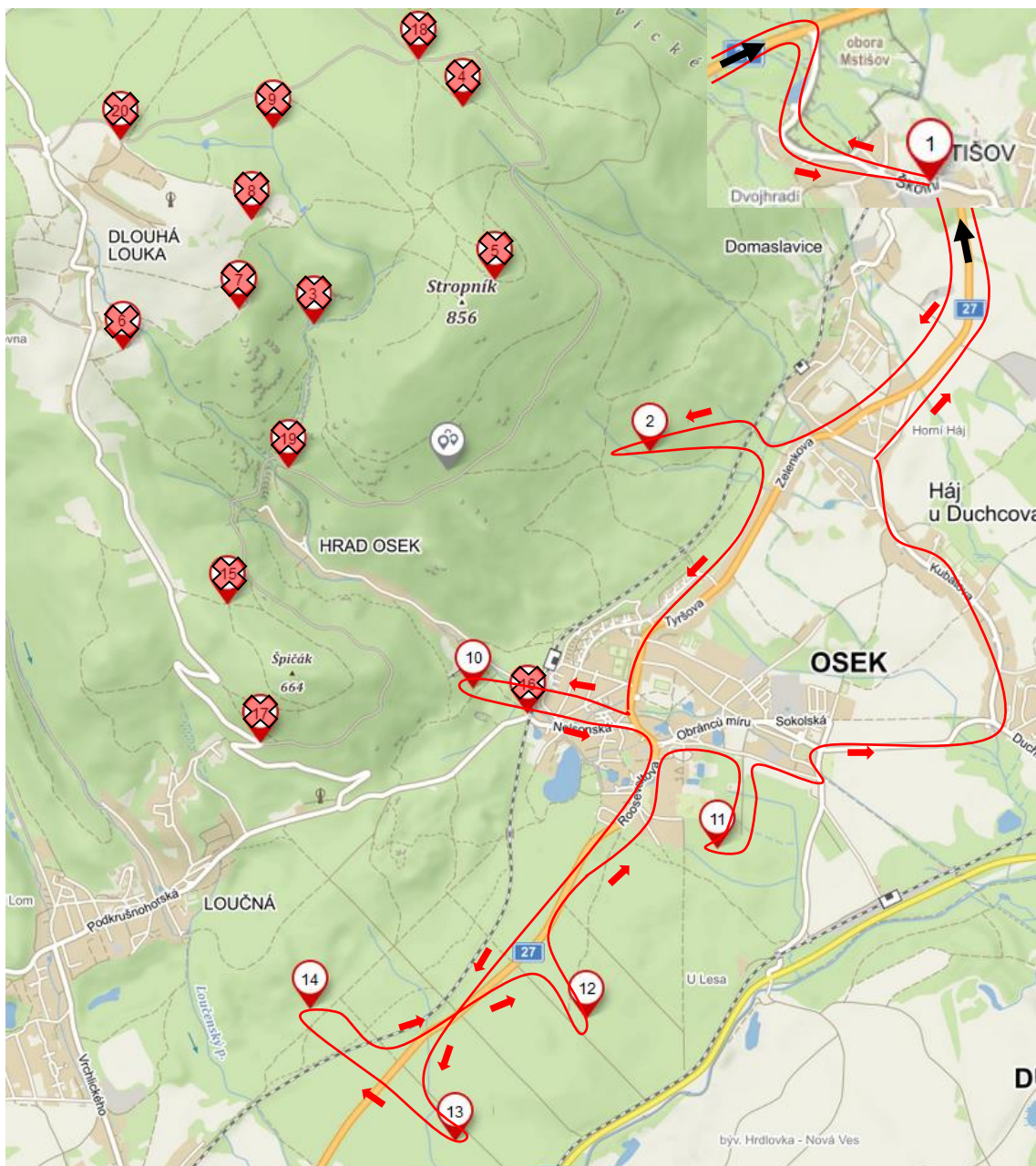
### Příloha 6 – Mapa – pořadí obsluhy míst scénáře 3



Zdroj: mapy.cz

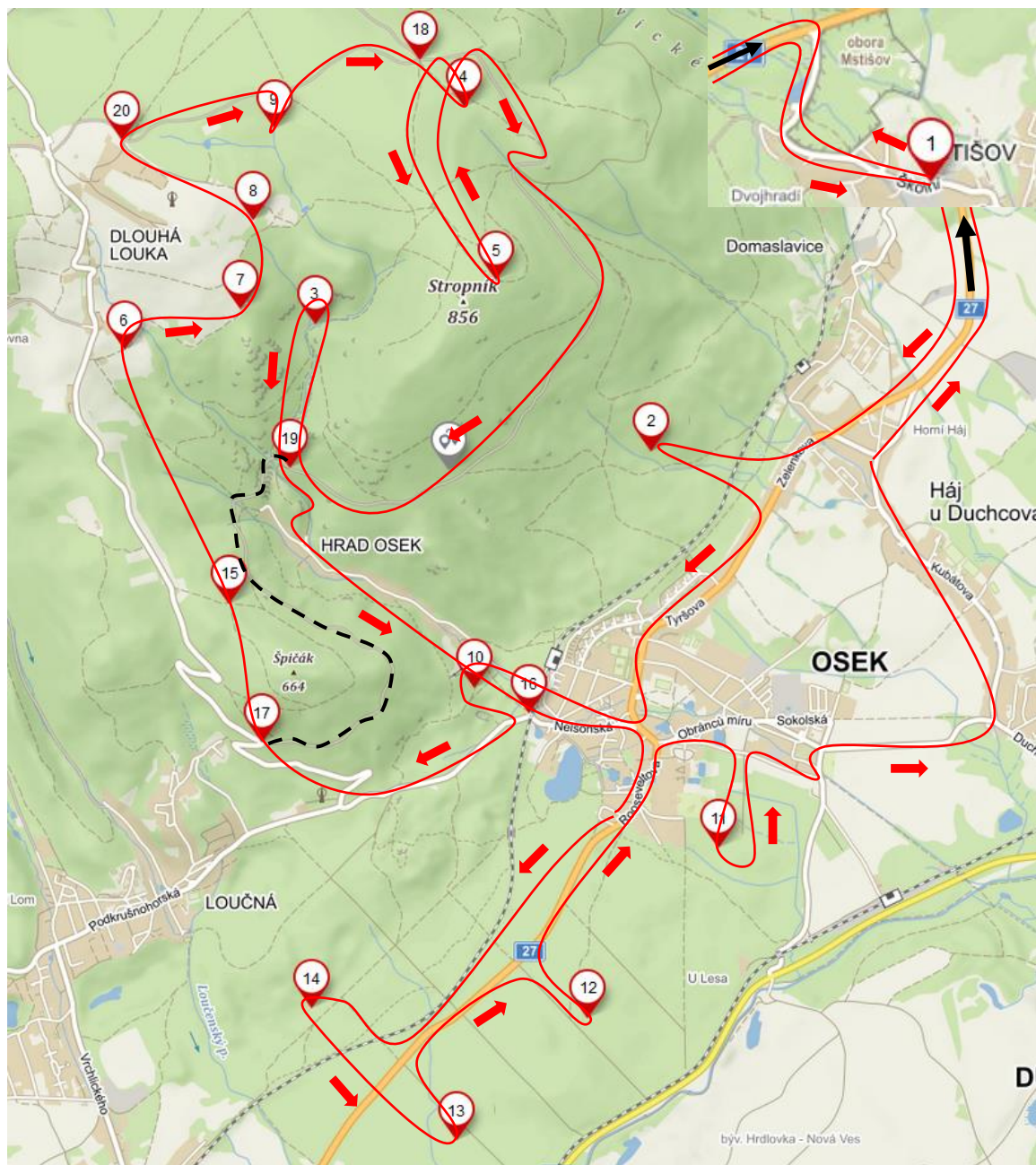


## Příloha 7 – Mapa – pořadí obsluhy míst scénáře 4



Zdroj: mapy.cz

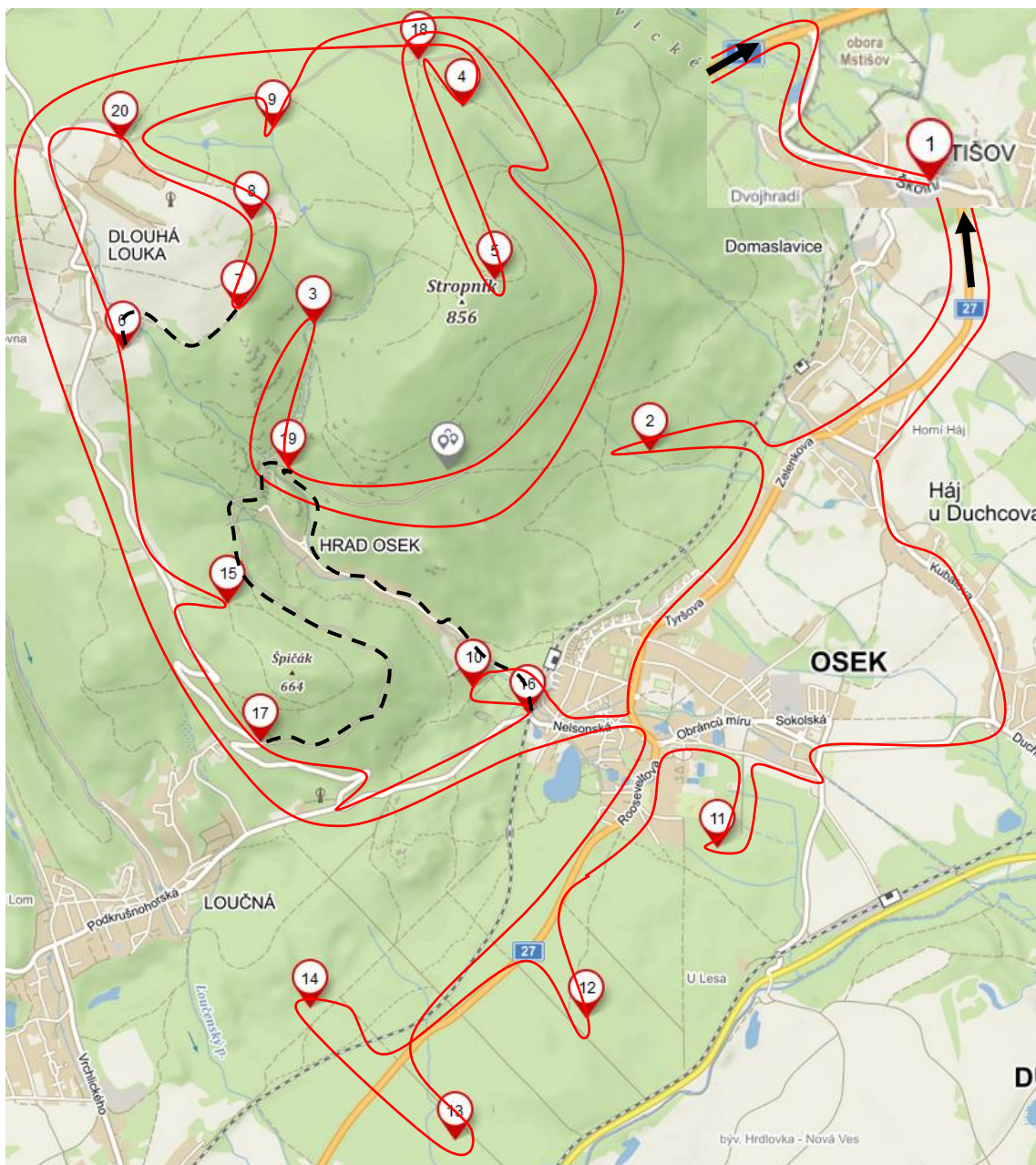
## Příloha 8 – Mapa – pořadí obsluhy míst scénáře 5



Zdroj: Mapy.cz

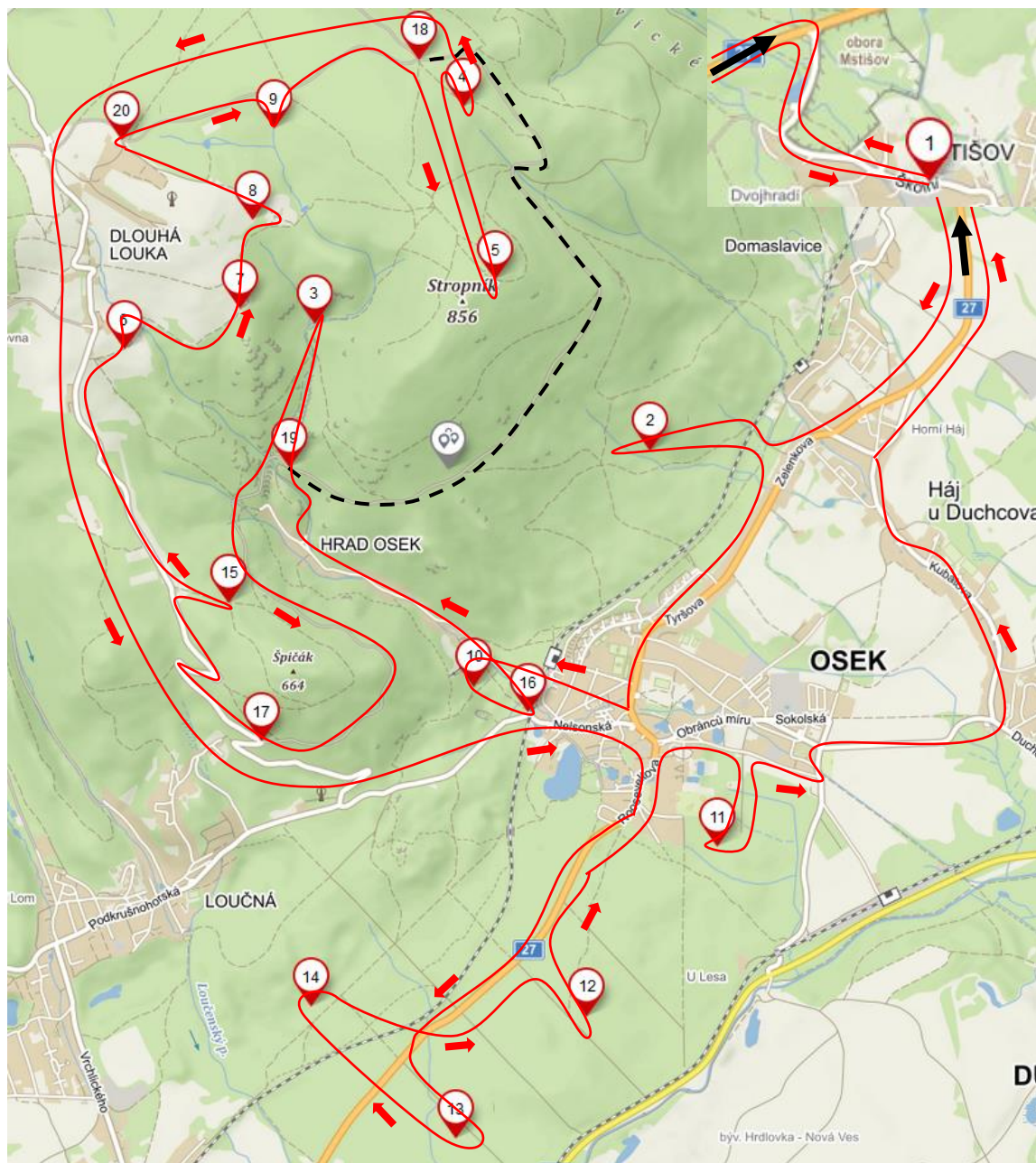


## Příloha 9 – Mapa – pořadí obsluhy míst scénáře 6



Zdroj: Mapy.cz

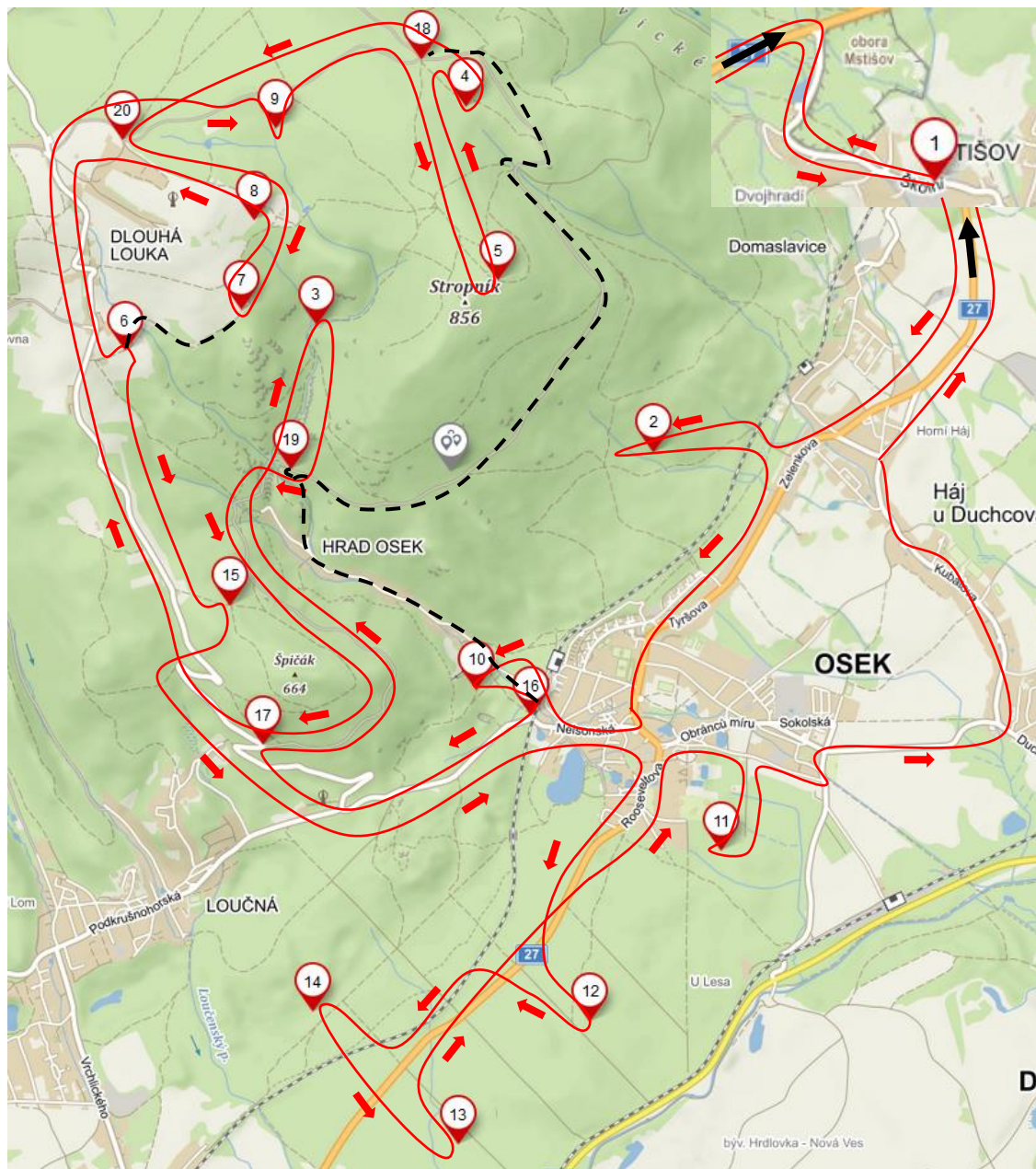
## Příloha 10 – Mapa – pořadí obsluhy míst scénáře 7



Zdroj: Mapy.cz



### Příloha 11 – Mapa – pořadí obsluhy míst scénáře 8



Zdroj: Mapy.cz