

Simulační studie

Ski areál Dolní Morava

Lukáš Večerka (xvecer30)
Veronika Nevařilová (xnevar00)

9. prosince 2023

Obsah

1	Úvod	2
1.1	Autoři, zdroje	2
1.2	Ověřování validity modelu	2
2	Rozbor tématu	2
2.1	Použité metody a technologie	2
3	Koncepce - modelářská témata	4
3.1	Schéma modelovaného systému	4
3.2	Pohyb osob po ski areálu	6
4	Koncepce - implementační témata	9
4.1	Popis hlavních procesů	9
5	Architektura simulačního modelu	11
5.1	Mapování koncepčního modelu na simulační	11
5.2	Spuštění simulace	12
6	Experimenty	13
6.1	Experiment 1	14
6.2	Experiment 2	18
6.3	Experiment 3	18
7	Závěr	20
A	Petriho síť	22

1 Úvod

Tato práce se zabývá implementací modelu [5, snímek 7] pohybu lyžařů ve ski areálu Dolní Morava, lyžařském středisku na úpatí Králického Sněžníku na severní hranici mezi Čechy a Moravou. Areál poskytuje vyžití prakticky celoročně, ale tato simulace [5, snímek 8] se zaměřila výhradně na zimní sezónu.

Model byl vytvořen na základě zjištěných odborných dat a při vytváření modelu bylo dbáno na pokud možno co nejrealističtější pohyb lyžařů po ski areálu. Na základě modelu a simulačních experimentů [5, snímek 276], byly zjištěny slabé místa ski areálu při různém počtu návštěvníků. Smyslem experimentů je demonstrovat možné změny v infrastruktuře areálu, které by mohly zlepšit lyžařský komfort a zvýšit propustnost areálu.

1.1 Autoři, zdroje

Analýzu, návrh, implementaci, ověření validity [5, snímek 37] i experimenty provedli autoři této práce, stejně tak získávání dat z literatury. I přesto, že informace o statistikách tohoto i ostatních lyžařských středisek jsou velmi těžce dostupné a většinou placené, se podařilo důležité informace získat z odborných článků nebo z článků zpravodajských stránek (z těchto zdrojů výhradně informace o návštěvnosti).

1.2 Ověřování validity modelu

Validita modelu byla ověřována pomocí provedení experimentů na zjištěných datech a následného porovnání s realitou - vzhledem k tomu, že například informace o návštěvnosti ski areál Dolní Morava ani jiné podobně velké areály na svých webových stránkách veřejně nepublikují, jako zdroj těchto informací byly použity informace v novinách, které poskytl zaměstnanci areálu.

2 Rozbor tématu

Lyžaři během dne přicházejí do ski areálu, který má přes zimní sezónu otevřeno denně od 8:30 do 16:00 hodin. Do areálu se lze dostat jedním ze tří vstupů: Amálka, Marcelka a U Slona. Vleký jezdí po celou otevírací dobu a podle toho, o jaký vlek se jedná, na něm lyžař stráví daný čas [11]. Areál disponuje 2 sedačkovými lanovkami, 3 kotvami a 1 dětským vlekem [1] a více než 10 kilometry sjezdovek. Po areálu je také rozmístěno celkem 8 restaurací a bufetů [7]. Lyžaři se během dne mohou rozhodnout najíst v kterémkoli z těchto stravovacích zařízení. Jejich kapacita není veřejně dostupná, proto byla odhadnuta dle fotek vnitřních a vnějších prostor [7].

S blížící se uzavírací dobou se zvyšuje také opouštění areálu lyžaři.

2.1 Použité metody a technologie

Pro formální popis systému hromadné obsluhy [5, snímek 139] (v našem případě ski areál) byly použity Petriho sítě [5, snímek 128], které jsou pro tento popis vhodné díky

jejich schopnosti modelace paralelních procesů (lyžařů). Pro implementaci modelu byl použit programovací jazyk C++ a simulační knihovna SIMLIB [4]. Knihovna SIMLIB, obsahuje předem implementované nástroje pro realizaci front a procesů, které se dají použít k modelování systému hromadné obsluhy. Pro sestavení a překlad projektu byly použity nástroje GNUMake a překladač g++.

3 Koncepce - modelářská témata

V této části je popsán návrh konceptuálního modelu [5, snímek 48] systému.

Pro potřeby modelu byla zanedbána část areálu s dětským vlekem (vstupní bod Amálka – vlek a après ski bar Hříbek), neboť je to část zcela oddělená od celého areálu a slouží pouze pro naprosté začátečníky v lyžování, a proto pokud tento vlek zanedbáme, nedojde ke znatelnému zvýšení provozu v jiných částech ski areálu.

Další zjednodušení se týká otevíracích dob restaurací a barů. Téměř všechny mají otevírací dobu skrze celou dobu provozu ski areálu. Jedinou výjimkou je restaurace Terežka – od neděle do čtvrtka 11:00-20:00, od pátku do soboty 11:00-22:00. Pro zjednodušení byla použita otevírací doba každý den přes celou dobu provozu ski areálu, neboť během prvních dvou a půl hodin provozu areálu navštíví stravovací zařízení jen menšina lyžařů a spolu s kombinací existence velkého počtu dalších restaurací se tato změna otevírací doby nijak závažněji neprojeví.

Tvorba návrhu mapy vycházela z oficiální mapy:



Obrázek 1: Mapa ski areálu Dolní Morava[7].

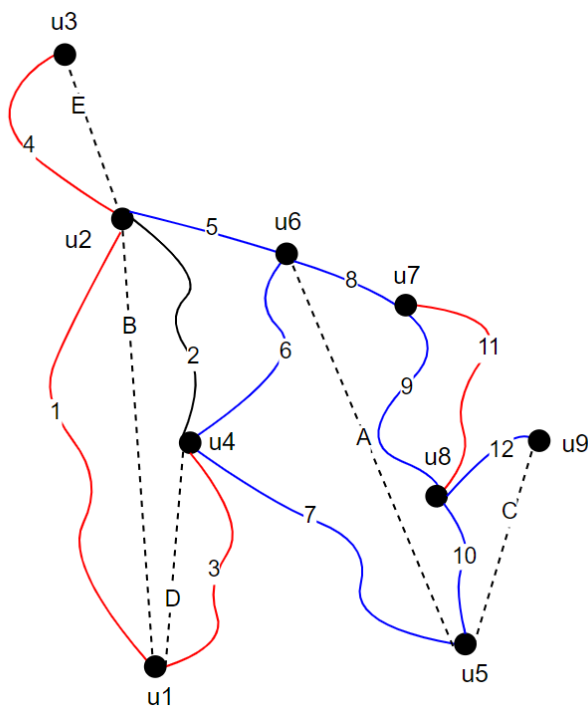
3.1 Schéma modelovaného systému

Níže je zobrazen návrh mapy modelovaného systému. Nenachází se v něm zanedbaná dětská část Amálka a vzhledem k nejasnosti označení sjezdovek na oficiální mapě je zde vlastní označení všech částí sjezdovek. Ty mají také barvu dle obtížnosti. Vleky jsou

zobrazeny čárkovaně a mají písmenné označení odpovídající oficiální mapě.

Všechny body, kde se kříží lanovky nebo sjezdovky, jsou nazvány *křižovatkami* a jsou označeny písmenem uN , kde N je číslo křižovatky. Zde bude probíhat rozhodování lyžařů, jakým směrem se vydají.

Vstupní body systému jsou křižovatky $u1$ (Marcelka) a $u5$ (U Slona).



Obrázek 2: Mapa simulovaného systému.

Na některých křižovatkách se nachází dříve zmíněná stravovací zařízení. Přehled jejich lokace a odhadované kapacity je níže:

Kromě restaurace Skalka a Sklaměnka jsou restaurace situovány ve vstupních bodech systému, které jsou zároveň také nejvytíženější, co se týče provozu lyžařů.

Název zařízení	Poloha	Kapacita
Chata Marcelka	u1	50
Restaurace Podbělka	u1	50
Restaurace Skalka	u2	80
Horská chata Slaměnka	u2	80
Restaurace Terežka	u5	100
Chata U Slona	u5	90
Après ski bar Kulaté peklo	u5	70

Tabulka 1: Odhadované kapacity jednotlivých stravovacích zařízení

3.2 Pohyb osob po ski areálu

Pro výpočet doby strávené lyžařem v různých částech systému bylo potřeba určit dobu strávenou na jednotlivých vlecích a dobu strávenou sjížděním sjezdovek.

Vlek	Čas vyjetí [s]	Kapacita [osob/h]
A	430	2400
B	440	2400
C	200	1200
D	200	1200
E	80	900

Tabulka 2: Doba jízdy jednotlivých vleků z dolní stanice do horní. Převzato z [11].

Pro co nejvíce realistický odhad času sjezdu sjezdovky bylo zohledněno více informací: sklon sjezdovky, její délka a úroveň lyžaře.

Průměrný sklon sjezdovky byl získán z informací o délce sjezdovky a jejím převýšení. Následně byla určena rychlost průměrného lyžaře na dané sjezdovce dle velikosti sklonu [3] a nakonec byla vypočítána doba sjezdu celé sjezdovky:

Ze stejného zdroje, ze kterého byly získány informace o rychlosti lyžaře dle sklonu sjezdovky, bylo na základě grafu rychlostí dle úrovně lyžaře vypočteno, že oproti rychlosti průměrného lyžaře začátečník jezdí přibližně 67% a zkušený lyžař přibližně 140% rychlostí. Toho bylo využito při generování lyžařů. Každému lyžaři je určena úroveň s pravděpodobností průměrného výskytu dané úrovně mezi lyžaři [2] (naše množina má 3 úrovně a zdroj 6, proto byly vždy 2 úrovně ze zdroje spojeny do jedné naší). Dle úrovně je lyžaři přiřazen tento koeficient rychlosti, podle kterého se mění doba sjezdu jednotlivých svahů.

Vzhledem k tomu, že tento čas sjezdu je počítán při plné rychlosti po celou délku sjezdovky, byly všechny časy zvýšeny o 15% z důvodu napodobení případného zastavování nebo padání lyžařů a u každého sjezdovky, která má nahoře výstup nebo dole nástup vleku byl přičten za každý výstup/nástup čas na vysednutí z vleku nebo čas na zařazení do fronty 10 sekund. To jsme určili měřením průměrné doby, která lyžařům trvala od dojetí do dolní stanice lanovky do zařazení se do fronty vleku na jedné z webkamer lyžařských

Sjezdovka	Délka [m]	Převýšení [m]	Sklon [°]	Prům. rychlost [km/h]	Doba sjezdu[s]
1	1750	369	12.17	30	210
2	600	229	22.43	33	65
3	600	140	13.49	31	70
4	600	120	11.54	29	74
5	1050	165	9.04	28	135
6	800	110	7.90	22	131
7	1350	190	8.09	22	221
8	70	20	16.60	32	8
9	630	120	10.98	28	81
10	570	100	10.10	28	73
11	600	183	17.76	32	68
12	30	10	19.47	32	3

Tabulka 3: Detaily sjezdovek ski areálu

středisek [10].

K rozhodování mezi sjezdovkami a vleky na křižovatkách byla vytvořena rozhodovací funkce. Na základě již zmíněné úrovně lyžaře se mění také váhy aspektů pro výběr sjezdovek, podle kterých se lyžař rozhoduje, což napomáhá simulaci různého chování lyžařů v systému. Váhy byly zvoleny zprvu hrubým odhadem a poté analýzou pohybu jednotlivých úrovní lyžařů upravovány, aby napodobovaly reálné chování.

Aspekt	Začátečník	Pokročilý	Zkušený
Náročnost sjezdovky	50%	20%	30%
Počet možných vleků	10%	10%	10%
Počet možných tras	20%	20%	10%
Počet atrakcí	0%	5%	15%
Maximální počet tras z vleku	20%	45%	35%

Tabulka 4: Váhy rozhodovací funkce sjezdovek dle úrovně lyžaře.

- **Náročnost sjezdovky** – je zřejmé, že začátečníkovi bude nejvíce záležet na obtížnosti sjezdovky a bude preferovat spíše červené a modré, než černé sjezdovky.
- **Počet možných vleků** – celkový počet vleků, ke kterým se může lyžař dostat, pokud zvolí danou sjezdovku. Tímto je zajištěno, že lyžaři budou více preferovat větší uzly ski areálu.
- **Počet možných tras** – celkový počet tras, kterými může lyžař jet, pokud zvolí danou sjezdovku. Tento aspekt má sloužit jako přirozená zvědavost lyžařů, aby vyzkoušeli co nejvíce tras ski areálu [6].
- **Počet atrakcí** – Zkušenější lyžaře budou lákat více sjezdovky, na kterých se nachází například snowparky, slalomy a jiné. Ski areál Dolní Morava má na námi

označené sjezdovce číslo 10 Snowpark, Snow fun trail a Snow cross rail. Proto je bude každá sjezdovka na křižovatce, která povede k této sjezdovce, lákat o něco více. Tyto atrakce dále nejsou při simulaci použity, vyskytují se pouze zde při výběru tras.

- **Maximální počet tras z vleku** – Slouží pro větší výběr vleků, které vedou k nějaké velké křižovatce a je možné vybrat více tras sjezdu. Důvod je podobný jako u počtu možných tras.

Váhy pro rozhodovací funkci výběru vleků byly určeny pro každého lyžaře stejně neohledně na jeho úroveň. Poté byl pohyb lyžařů analyzován a váhy upravovány opět tak, aby chování lyžařů co nejvíce napodobovalo reálné chování:

Aspekt	Váha
Komfort vleku	15%
Rozdíl možného počtu tras	28%
Počet vleků po vyjetí	7%

Tabulka 5: Váhy rozhodovací funkce vleků.

- **Komfort vleku** – Sedačka má dvojnásobnou hodnotu komfortu než poma a kotva, proto lyžaři budou více preferovat jízdy sedačkovou lanovkou.
- **Rozdíl možného počtu tras** – Rozdíl mezi počtem tras, které může lyžař zvolit po vyjetí vleku oproti aktuální situaci. Díky tomu budou lyžaři volit častěji vleky, které je dovedou k větším uzlům ski areálu. Jelikož by lanovky vedoucí k velkému počtu uzlů nereálně ovlivnily výběr lyžařů, je každá trasa počítána za jednu třetinu. Při této váze byl pozorován nejrealističtější pohyb lyžařů.
- **Počet vleků po vyjetí** – Počet vleků, které se nachází na křižovatce, kam lyžaře doveze vybraný vlek. Slouží ke stejnému účelu jako rozdíl možného počtu tras.

Tyto aspekty ovšem narozdíl od volby sjezdovek ovlivňují výběr lanovky méně. K součtu hodnot aspektů dle vah je totiž připočítána konstantní hodnota 0,7 pro každou lanovku, aby se rozdíl ve výběru lanovek více zprůměroval, avšak jemné nuance byly zachovány.

Pro výpočet pravděpodobností výběru sjezdovek či vleků na dané křižovatce jsou všechny hodnoty výstupů rozhodovacích funkcí normalizovány ve vzájemném poměru, aby se určila pravděpodobnost volby dané sjezdovky či daného vleku v porovnání s ostatními volbami křižovatky.

Lyžaři do systému přicházejí dle normálního rozložení se středem 12 000 sekund (doba reálného času kolem 11:50), což napodobuje dopolední nárůst počtu lyžařů a jejich menší počet příchodů odpoledne. Dle počtu parkovacích míst zjištěných ze satelitních snímků

u jednotlivých vstupních bodů byla určena pravděpodobnost příchodu lyžaře do těchto bodů (30% ve vstupním bodě U Slona, 70% Marcelka). Po příchodu do jednoho z těchto bodů si lyžař zvolí vlek a začne lyžovat.

Kdykoli během dne (normální rozložení se středem 100 minut od příchodu lyžaře do systému) lyžař dostane hlad a rozhodne se najíst v restauraci. Vzhledem k tomu, že procento lyžařů, kteří se ve ski areálu rozhodnou navštívit stravovací zařízení, není známé, bylo určeno na 50%. Každý lyžař může dostat během dne hlad maximálně jednou.

Pokud jsou v dané křižovatce všechny restaurace plné, lyžař lyžuje dál a pokusí se najít volnou restauraci v další křižovatce. Takto lyžuje do té doby, dokud nenatrefí na volnou restauraci. V té stráví čas zvolený dle normálního rozdělení se středem 90 minut a poté pokračuje v lyžování.

Nejpozději půl hodiny před koncem otevírací doby se rozhodnou všichni lyžaři, že chtějí odejít domů. Četnost odcházejících lyžařů se s blížící končící zavírací dobou zvyšuje.

Při odchodu se lyžař pokouší odejít ze systému stejným bodem, kterým přišel, k čemuž používá sjezdovky a vleky vedoucí k danému bodu. Právě na tento přesun je rezerva 30 minut.

Zjednodušený návrh modelu zobrazený pomocí Petriho sítě je v příloze A.

4 Koncepce - implemetnační témata

Architektura programu se skládá z generátoru procesů lyžaře a příjezdů vleku a lanovky. Program spouští simulaci jednoho lyžařského dne a pomocí generátoru simuluje příchod lyžařů do ski areálu. Proces lyžaře pak simuluje pohyb lyžaře v areálu pomocí výpočtu rozhodnutí v rozhodovacích bodech. Vleky a lanovky jsou v programu implementovány pomocí front, do kterých se lyžař může zařadit a čeká, dokud na něj nedorazí řada. Generátor vleků a kotev následně simuluje příjezd vleku nebo lanovky na nástupní stanoviště, odebere počet lyžařů z fronty v závislosti na kapacitě vleku a následně je simulována doba jízdy lanovky do koncové stanice.

4.1 Popis hlavních procesů

Proces vleku se spouští dle intervalů příjezdů vleků zjištěných z dat [11]. Chování vleků může být popsáno algoritmem 1. Pokud dojde k přeplnění fronty, předpokládá se, že obsluha lanovky bude po lyžařích vyžadovat, aby zaplnili maximální počet míst daného vleku.

Na začátku procesu lyžaře se zavolají funkce pro jeho inicializaci a dále je zde simulace pohybu lyžaře po areálu. Chování lyžaře je popsáno v algoritmu 2.

```

if fronta je delší než 50 then
    | vlek bude plně obsazen;
else
    | počet obsazených míst je dán rovnoměrným rozložením v rozmezí  $<1,$ 
    | kapacita vleku $>$ ;
end
if fronta je prázdná then
    | vlek odjíždí prázdný;
end
vyjmutí lyžařů dle obsazených míst z fronty na vlek;
trvání doby jízdy vleku;
aktivování procesu lyžařů, kteří jeli vlekem;

```

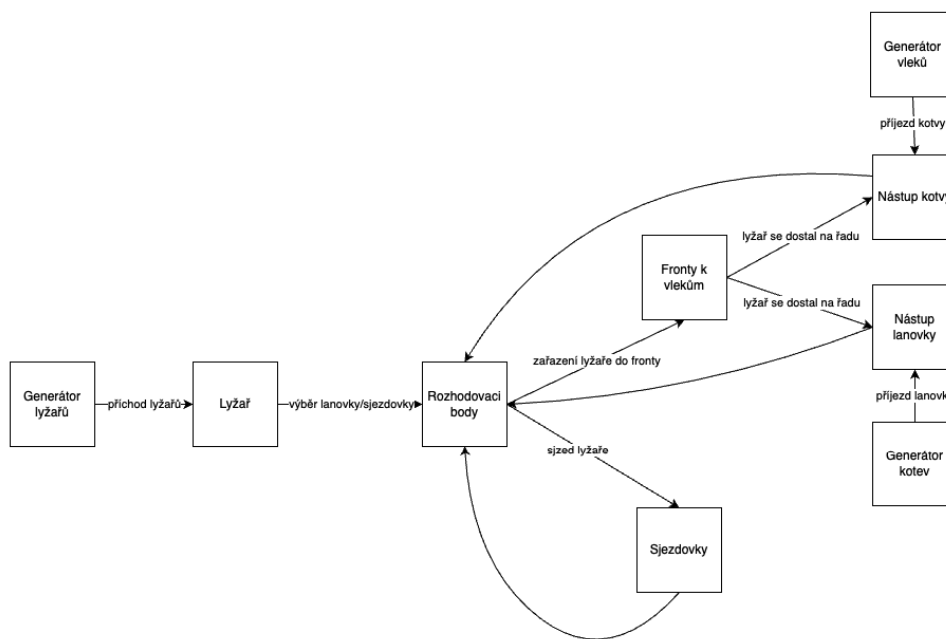
Algoritmus 1: Proces vleku

```

nastavení lyžařovy úrovně;
spočítání pravděpodobností pro rozhodování v jednotlivých rozhodovacích
    bodech areálu;
vybrání vstupního bodu ski areálu;
koupení celodenní permanentky;
while lyžař neopustil areál do
    | if lyžař má hlad then
    | | if rozhodovací bod neobsahuje restaurace a nebo všechny restaurace jsou
    | | plné then
    | | | lyžař jde jinam;
    | | else
    | | | vybere si restauraci;
    | | | stráví dobu v restauraci dle normálního rozložení;
    | | end
    | end
    lyžař udělá rozhodnutí v rozhodovacím bodě;
    lyžař udělá akci, dle vybraného rozhodnutí;
    if lyžař se chystá odejít a nachází se v bodě, ze kterého do areálu vstoupil
    then
    | lyžař opouští systém;
    else
    end
end

```

Algoritmus 2: Proces lyžaře



Obrázek 3: Schéma chování systému

5 Architektura simulačního modelu

Při mapování koncepčního modelu na simulační byl kladen důraz na správnou simulaci příchodu lyžařů, co nejrealističtější pohybování lyžařů po areálu a pohyby vleků. Simulační model nijak nepracuje s možnými poruchami lanovek nebo zraněním lyžařů. Ty byly ze simulačního modelu vynechány. Pro počítání tržeb byly ceny převzaty z ceníku, který se nachází na webu ski areálu[7]. Model bere v úvahu jen celodenní dětské a dospělé permanentky. U rozdělení prodaných typů permanentek vycházíme z dat převzatých ze studie SIA Participation Study 2019-2020[8, strana 7]. Rozdělení pak bylo modifikováno aby sedělo na typy permanentek dle ceníku.

Věk	Počet	Cena[Kč]
6-15	21.5%	1140
15+	78.5%	745

Tabulka 6: Rozdělení lyžařů dle typu permanentky

5.1 Mapování koncepčního modelu na simulační

Generování lyžařů je implementováno pomocí třídy `SkierGenerator`. Aby se naše implementace vyhlá vytvoření více než tisíce lyžařů najednou, kteří pak budou čekat dobu dle

normálního rozložení, než začnou lyžovat, byl vytvořen algoritmus získání doby pro vygenerování dalšího lyžaře od toho posledního, aby byl dodržen jejich příchod dle normálního rozdělení.

x = počet lyžařů;
vygeneruj x hodnot dle normálního rozložení;
seřaď hodnoty vzestupně;
zjisti rozdíl vždy dvou sousedních hodnot a zapiš je do pole;

Algoritmus 3: Proces získání hodnoty časů pro generování lyžařů

Generátor lyžařů pak prochází toto pole a vytváří nové lyžaře vždy po čase, který je na daném indexu v poli.

Následně pak vytváří instance třídy **Skier** pomocí tohoto pole. Vytváření procesu příjezdů vleků je implementované v třídách **ChairLiftsGenerator**, **TBarGenerator** a **TBarGenerator2**.

ChairLiftsGenerator vytváří instance tříd pro příjezd lanovek A a B, **TBarGenerator** pro C a D a **TBarGenerator2** pro kotvu E. Každý proces jednotlivé lanovky, implementuje nástup různého počtu lyžařů na vlek a následnou dobu trvání cesty do koncové stanice dle zjištěných dat. Ve třídě **Skier** je implementováno chování lyžaře po dobu jeho existence v systému. Po vytvoření instance nového lyžaře jsou vytvořeny události **Hunger** a **Leaving**, které simulují hlad lyžaře a znamení k odchodu ze systému. Funkce **computeIntersectionProbabilities**, vypočte pravděpodobnosti výběrů jednotlivých možností v rozhodovacích bodech pro konkrétního lyžaře a jeho parametry. Pro simulaci rozhodování lyžaře je implementována metoda **makeDecision**, která podle rozhodovacího bodu, ve kterém se nyní lyžař nachází, přiřadí další krok lyžaře. Po rozhodnutí dalšího kroku je zavolána metoda **Move**, ve které se provede vybraný krok z přechozího rozhodnutí.

5.2 Spuštění simulace

Simulační program je potřeba před spuštěním přeložit pomocí příkazu **make**. Po úspěšném překladu se simulace může spustit následovně:

```
./program -p pocet_navstevniku [-a sedadla_A] [-b sedadla_B] [-s  
rychlost_A_a_B] [-f]
```

Příklad spuštění pro základní experiment s počtem lyžařů 1000

```
./program -p 1000
```

Příklad spuštění pro modifikované lanovky A a B s navýšením míst z 4 na 6

```
./program -p 1000 -a 6 -b 6
```

Příklad spuštění pro modifikované lanovky A a B, které jsou zrychleny o 50%

```
./program -p 1000 -s 1.50
```

Příklad spuštění pro přidání atrakcí na sjezdovku č. 3

```
./program -p 1000 -f
```

6 Experimenty

Pomocí experimentů byla provedena validace modelu a případné drobné korekce ve váhách při rozhodování lyžaře tak, aby se model co nejvíce podobal skutečnosti. Cílem experimentů bylo zjistit vytíženost jednotlivých míst areálů v případě různé výše návštěvnosti (podprůměrná, průměrná, nadprůměrná) a tím zjistit slabé místa (např. dlouhé čekání ve frontách). Výsledky pak byly použity v dalších experimentech při zlepšování infrastruktury areálu. Tyto experimenty byly zaměřeny na zvýšení komfortu lyžařů (poměr doby strávené čekáním ve frontě plus jízdou na velku a doby strávené lyžováním) a celkové propustnosti ski areálu. Propustností areálu je myšlena míra pohyblivosti lyžaře po areálu s minimálním čekáním ve frontách. Tyto experimenty by bez použití modelu byly neproveditelné a nebo velmi draze realizovatelné.

Při experimentech byly zjišťovány tyto parametry ski areálu. V nadcházejícím textu jsou použity tyto zkratky:

- **PDVFL** - průměrná doba strávená ve frontě a na lanovce
- **PČVF** - čas strávený čekáním ve frontách a jízdou na vlecích vzhledem k celkovému času strávenému v systému
- **PČNS** - čas strávený lyžováním na sjezdovkách vzhledem k celkovému času strávenému v systému
- **PDF** - průměrná délka fronty
- **MDF** - maximální délka fronty
- **MDVF** - maximální doba strávená ve frontě
- **PDVF** - průměrná doba strávená ve frontě

V simulaci byly měřeny i statistiky o stravovacích zařízeních, které jsou v jednotlivých místech areálu a lyžař do nich může zavítat. V následujícím textu u statistik zařízení budou použity tyto zkratky

- **PN** - počet návštěv
- **MVK** - maximální využitá kapacita
- **PVK** - průměrná využitá kapacita

Průměrná návštěvnost ski areálu o víkendech je okolo 1500 lidí denně [9]. Vzhledem k tomu, že podrobnější data o návštěvnosti nebyly dostupné, zvolili jsme pro experimenty s malým vytížením ski areálu 1000 lyžařů a pro nejvytíženější dny sezóny 2000 lyžařů.

6.1 Experiment 1

V tomto experimentu bylo za cíl zjistit vytíženost jednotlivých míst ski areálu při různých počtech návštěvností. Díky tomuto experimentu bylo možné udělat validaci modelu a zjistit celkovou propustnost ski areálu. Při experimentu byly sledovány tyto aspekty:

Počet lyžařů	PDVFL [s]	PČVF	PČNS	Tržby[mil.]
1000	48.3	47.52%	52.48 %	1.06
1500	113.86	57.1%	42.9%	1.59
2000	226.78	75.66 %	24.34%	2.12

Tabulka 7: Statistika dne podle množství návštěvníků

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4.48	4.63	17.53	1.0	5.1	13.9	8.9	7.6	3.6	18.4	4.1	10.7

Tabulka 8: Vytíženost sjezdovek v %

Z výše uvedených výsledků bylo zjištěno, že v případě návštěvnosti 2000 lyžařů rapidně klesla propustnost systému a poměr času stráveného na sjezdovce byl pouze 24.34%. V následujících experimentech budou simulovány možná zlepšení infrastruktury areálu, která by tento poměr zlepšily. Z vytíženosti sjezdovek lze vysledovat, že větší část lyžařů se nacházela v části areálu U Slona.

6.1.1 Statistiky jednotlivých vleků

Při návštěvnosti 1000 lyžařů nebyla zaznamenána nízká propustnost nebo zahlcení lanovek. Také je patrné, že hlavní zátěž vzniká na lanovkách A a B, které jsou hlavními křižovatkami ski areálu.

Vlek	PDVF[s]	MDVF[s]	PDF[osob]	MDF[osob]
A	108.0	211	19.00	62
B	110.6	213.11	16.72	60
C	13.85	83	1.59	20
D	5.85	35	0.49	8
E	3.22	22	0.03	3

Tabulka 9: Statistika front při počtu 1000 lyžařů

Po následné zvýšení návštěvnosti na průměrnou bylo pozorováno zvýšení průměrné doby čekání ve frontě na lanovce A. Ze získaného využití sjezdovek uvedeného výše bylo usouzeno, že toto zvýšení délky fronty bylo způsobeno nepoměrem rozprostření lyžařů mezi lanovkami A a B. Tímto problémem se zabývá část 6.3.

Vlek	PDVF[s]	MDVF[s]	PDF[osob]	MDF[osob]
A	322.29	677	72.25	271
B	118.35	214	22.70	70
C	114.67	232	17.08	71
D	10.79	70	1.24	15
E	3.18	14	0.05	3

Tabulka 10: Statistika front při počtu 1500 lyžařů

Při nadprůměrné návštěvnosti dochází k zahlcení stanic lanovky A a B. Tyto body budou modifikovány v experimentu č. 2 s cílem snížit toto zahlcení a zlepšit lyžarský komfort.

Vlek	PDVF[s]	MDVF[s]	PDF[osob]	MDF[osob]
A	663.13	1263	163.65	506
B	279.36	602	61.49	242
C	126.77	215	20.52	72
D	61.56	227	8.03	58
E	3.07	14	0.05	2

Tabulka 11: Statistika front při počtu 2000 lyžařů

Z výše uvedených výsledků byla provedena validace modelu, který dokáže realisticky modelovat různé počty návštěvnosti. Při podprůměrné návštěvnosti nedochází k zahlcení a dlouhému čekání ve frontách. Naopak při nadprůměrné návštěvnosti má areál nízkou

propustnost a doby čekání ve frontách dosahují až 20 minut. Provedením experimentu byly zjištěny hlavní místa zátěže ski areálu a slabá místa, která mají potenciál k zlepšení.

6.1.2 Statistiky stravovacích zařízení

Při počtu lyžařů 1000 nebylo v žádném okamžiku plně vytíženo žádné stravovací zařízení:

Strav. zařízení	PN[osob]	PVK[osob]	MVK[osob]	Kapacita
Marcelka	51	9.73	29	50
Podbělka	61	11.98	45	50
Skalka	47	9.37	26	80
Slaměnka	47	9.11	29	80
Terezka	57	11.27	36	100
U Slona	63	12.33	33	90
Kulaté peklo	67	13.09	42	70

Tabulka 12: Statistiky stravovacích zařízení při počtu 1000 lyžařů

Zatímco při návštěvnosti 1500 lyžařů již byla během dne v určitý čas plně obsazena chata Marcelka. Zbytek stravovacích zařízení tuto návštěvnost zvládl bez obtíží:

Strav. zařízení	PN[osob]	PVK[osob]	MVK[osob]	Kapacita
Marcelka	79	15.67	50	50
Podbělka	98	18.87	49	50
Skalka	72	14.37	26	80
Slaměnka	60	11.59	39	80
Terezka	89	16.41	51	100
U Slona	82	15.99	53	90
Kulaté peklo	96	18.77	59	70

Tabulka 13: Statistiky stravovacích zařízení při počtu 1500 lyžařů

Při nejvyšší návštěvnosti se na limit dostaly pouze chata Marcelka a restaurace Podbělka:

Strav. zařízení	PN[osob]	PVK[osob]	MVK[osob]	Kapacita
Marcelka	102	19.17	50	50
Podbělka	110	20.89	50	50
Skalka	102	20.56	71	80
Slaměnka	112	22.01	79	80
Terezka	137	26.66	78	100
U Slona	126	24.88	65	90
Kulaté peklo	115	22.23	68	70

Tabulka 14: Statistiky stravovacích zařízení při počtu 2000 lyžařů

Z výše uvedených tabulek vyplývá, že nejnavštěvovanějšími zařízeními jsou Podbělka, Terezka, U Slona a Kulaté peklo. Nejméně vytíženými jsou Skalka a Slaměnka, které se

nachází v horní stanici lanovky A. Je to způsobeno především zvýšeným provozem v dolních stanicích lanovek.

Proto by mělo smysl, při případném rozšiřování kapacity stávajících zařízení nebo stavění nových, tyto změny provést v jedné z dolních stanic ski areálu i přesto, že se tam momentálně nachází 5 ze 7 zařízení (zhruba 70% kapacity všech stravovacích zařízení), která jsou celkem v areálu.

6.2 Experiment 2

Z prvního experimentu bylo zjištěno, že nejvíce vytížená místa jsou lanovky A a B. Cílem druhého experimentu je zajistit možné zvýšení času stráveného na sjezdovkách a snížení vytížení pomocí modifikace těchto lanovek při návštěvnosti 2000 lyžařů. Lanovky byly modifikovány přidáním míst k sezení nebo zrychlením rychlosti.

Počet lyžařů	Počet míst	Max. fronta na A	Max. fronta na B	PČNS
2000	4	506	242	24.34%
2000	6	69	68	29.02%

Tabulka 15: Srovnání stavu front a času stráveného lyžováním před a po rozšíření míst jedné sedačky.

Po rozšíření míst na jedné sedačce lanovky ze 4 na 6 můžeme pozorovat zvýšení času stráveného na sjezdovkách o 19.32% a rapidní zkrácení délek front na obou lanovkách. Další možností, která by mohla vést ke zvýšení poměru času stráveného na sjezdovkách, by bylo navýšení rychlosti vleků. Přesto i po masivním zrychlení lanovek o 50% bylo zaznamenáno zlepšení času stráveného na sjezdovce o pouhých 4.4%, což je nárůst od modifikace míst lanovky zanedbatelný rozdíl. Dále byly zkoumány kombinace modifikací míst i zrychlení, které nepřinesly žádné zásadní zlepšení. Tyto výsledky mohou být využity pro rozhodování vedení ski areálu k možnému zlepšení infrastruktury.

6.3 Experiment 3

Z výsledků prvního experimentu bylo také patrné, že větší část lyžařů se pohybuje na sjezdovkách, které končí u lanovky A. Jedním z důvodů, proč tomu tak je, je fakt, že z části ski areálu s vleků A a C se lze dostat pryč pouze výběrem lanovky číslo 6, ale i poté se následně určitá část lyžařů rozhodne na křižovatce u_4 vrátit sjezdovkou 7 zpět do této části. Aby tedy lyžař sjel do části areálu s vleků B a D, musí zvolit sjezdovku číslo 6 a poté sjezdovku číslo 3. Z druhé strany pohledu, z části areálu s vleků B a D do části s vleků A a C se může lyžař dostat jak sjezdovkou 5, tak sjezdovkou 7. Proto se kolem lanovek A a C nachází větší počet lidí i přesto, že 70% lidí do systému přichází vstupním bodem Marcelka u lanovek B a D.

Řešením této situace by bylo například zatraktivnit část kolem vleků B a D. Ve třetím experimentu proto byly na sjezdovku číslo 3 přidány tři atrakce, aby tato sjezdovka byla více atraktivní volbou především pro náročnější lyžaře. V experimentu bylo sledo-

váno vytížení sjezdovek před a po přidání atrakcí a také délka front u vleků A a B při návštěvnosti 2000 lyžařů.

Statistika	Bez atrakcí	S atrakcemi
Max. fronta na A	506	377
Max. fronta na B	242	352
Prům. fronta na A	163.65	126.9
Prům. fronta na B	61.49	95.55

Tabulka 16: Srovnání stavu front před a po přidání atrakcí

Atrakce	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ne	4.48	4.63	17.53	1.0	5.1	13.9	8.9	7.6	3.6	18.4	4.1	10.7
Ano	4.44	4.77	18.75	1.07	5.57	14.34	8.78	7.06	3.32	17.62	3.52	10.55

Tabulka 17: Vytíženost sjezdovek po přidání atrakcí

Z výše uvedených výsledků experimentu vyplývá, že pouhým přidáním stejného počtu atrakcí na sjezdovku 3 jako na sjezdovce 10 se podařilo rozložit nápor lyžařů na obě části areálu a tím zkrátit enormní fronty u dolní stanice lanovky A.

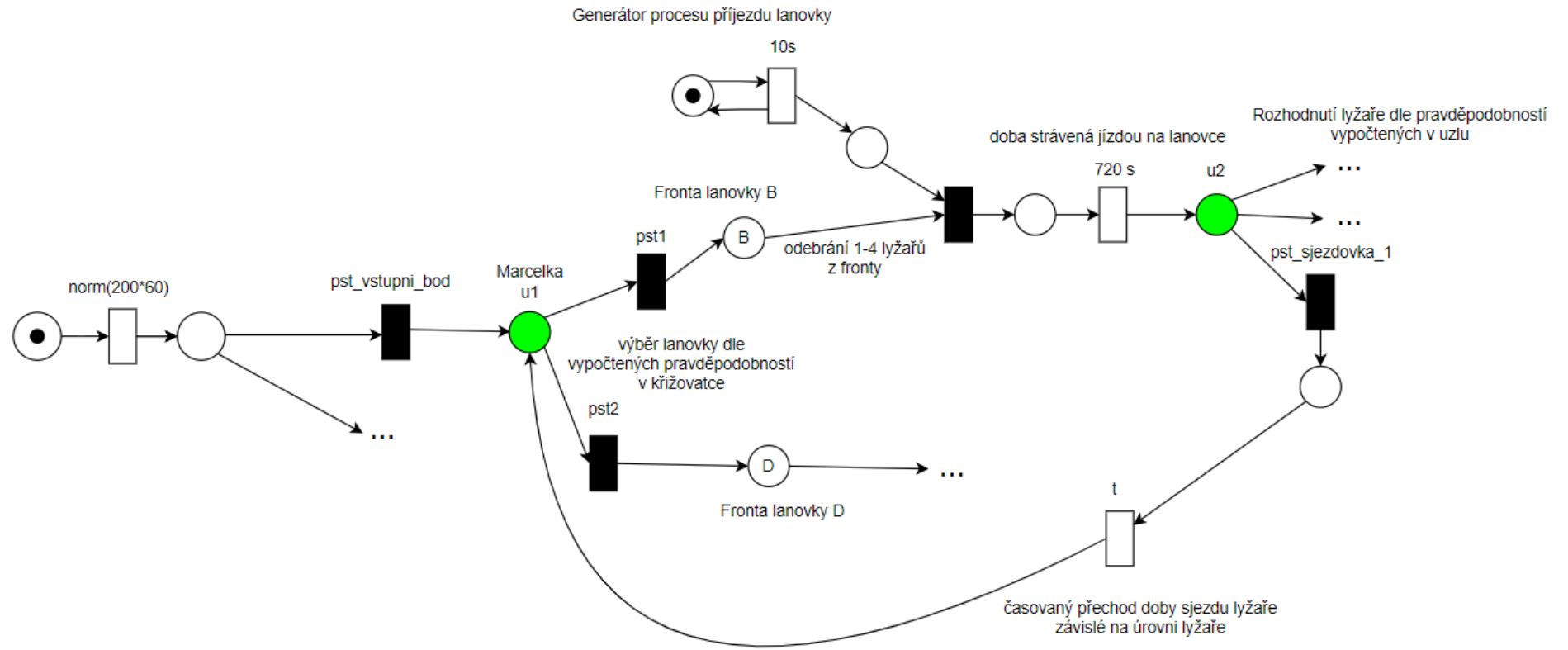
7 Závěr

Tato práce popsala tvorbu modelu ski areálu Dolní Morava. Z výsledků experimentů vyplynulo, že se lyžaři shlukují nejvíce u spodní stanice lanovky A a C. Při předpokladu, že počet lyžařů přesáhne množství 2000 za den, dochází k snížení poměru času stráveného na sjezdovce pod 24%. Z experimentů byly vyvozeny doporučení pro možné zlepšení infrastruktury, např. změna kapacity sedaček vleků ze čtyř na šest míst, nebo zvýšení atraktivity části areálu s vleky B a D přidáním atrakcí na sjezdovku číslo 3. Ze získaných dat o stravovacích zařízeních vyplývá, že případné změny nebo rozšíření těchto zařízení by měly smysl zejména v dolních částech ski areálu. Validita modelu byla ověřena provedením experimentů na dostupných datech o návštěvnosti a ověřením, že se lyžaři po areálu pohybují dle očekávání. V rámci práce vznikl model, který by mohl pomoci ke zlepšení rozhodování vedení ski areálu o možných změnách.

Použitá literatura

- [1] eResort Dolní Morava: Lanovky a vleky. [online], [viděno 8.12.2023]. Dostupné z: <https://eresort.dolnimorava.cz/sjezdovky-a-lanovky/>
- [2] Harley, B.: All Season Resort Guidelines, Chapter 2: Mountain Resorts. [online], 2006, [viděno 8.12.2023]. Dostupné z: https://www.for.gov.bc.ca/ftp/mountain_resorts/external/!publish/web/asr/asr_guidelines_mountain_resort_c2.pdf
- [3] Lenka L. Stepan, Irving S. Scher, Gerhard Ruedl, Jasper E. Shealy: Skier and snowboarder speeds at US ski areas. [online], 2023, [viděno 8.12.2023]. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772696723000145?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=8327ae9ed96d413e
- [4] Peringer, P.; Leska, D.; Martinek, D.: SIMLIB/C++ (SIMulation LIBrary for C++). [online], 19. září 2018, [viděno 8.12.2023]. Dostupné z: <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB>
- [5] Peringer P., Hrubý M.: Modelování a simulace – prezentace do předmětu Modelování a Simulace na Fakultě informačních technologií VUT v Brně. [online], 2023, [viděno 8.12.2023]. Dostupné z: <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- [6] Poulhès A., Miriala P.: Dynaski, an Agent-based Model to Simulate Skiers in a Ski area. [online], 2017, [viděno 8.12.2023]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050917309559>
- [7] Ski areál Dolní Morava: Webové stránky ski areálu Dolní Morava. [online], [viděno 8.12.2023]. Dostupné z: <https://www.dolnimorava.cz/>
- [8] Snowsports Industries America: SIA Participation Study 2019-2020. [online], [viděno 9.12.2023]. Dostupné z: https://industry.traveloregon.com/wp-content/uploads/2021/04/SIA_Participation_Study_2019-2020_Nov.pdf
- [9] Vrchlabinky: Návštěvnost skiareálů na východě Čech byla o víkendu průměrná. [online], [viděno 8.12.2023]. Dostupné z: <https://vrchlabinky.cz/zpravy/z-kraje/2023/brezen/navstevnost-skiarealu-na-vychode-cek-byla-o-vikendu-prumerna/>
- [10] Webkamera dolní stanice: Ski areál Levi - Finsko. [online], [viděno 8.12.2023]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=cCrstsCrebc>
- [11] České sjezdovky: Skiareál Dolní Morava – Sněžník. [online], [viděno 8.12.2023]. Dostupné z: <https://www.ceske-sjezdovky.cz/stredisko/dolni-morava-sneznik>

A Petriho síť



Obrázek 4: Petriho síť