



Simulačná štúdia

Obsluha návštevníkov lyžiarskeho strediska SKI Králiky

Zadanie T4: SHO Model služieb v oblasti sport

10. decembra 2023

Matúš Ďurica | xduric06
Romana Ďuráčiová | xdurac01

Obsah

1	Úvod.....	2
1.1	Autori, zdroje faktov, konzultanti	2
1.2	Overenie validity.....	2
2	Rozbor témy a použitých metód/technológií	2
2.1	Používané postupy pre vytvorenie modelu.....	3
2.2	Popis pôvodu použitých metód/technológií.....	3
3	Koncepcia modelu	3
3.1	Popis konceptuálneho modelu	6
3.2	Forma konceptuálneho modelu.....	7
4	Architektúra simulačného modelu	7
4.1	Mapovanie konceptuálneho modelu do simulačného modelu	7
5	Podstata simulačných experimentov a ich priebeh	7
5.1	Postup experimentovania	7
	Dokumentácia experimentov	8
5.1.1	Experiment č.1	8
5.1.2	Experiment č.2	8
5.1.3	Experiment č.3	9
5.1.4	Experiment č.4	9
5.1.5	Experiment č. 5	9
5.1.6	Experiment č.6	10
5.2	Závery experimentov	10
6	Zhrnutie simulačných experimentov a záver	11
	Referencie	12

1 Úvod

Táto simulačná štúdia sa zaoberá procesom zostavenia modelu systému hromadnej obsluhy (1 s. 139) – lanovej dráhy v lyžiarskom stredisku SKI Králiky (2), ktorá obsluhuje návštevníkov, a následnou simuláciou (1 s. 8) tohto modelu (1 s. 7). Simulačné experimenty, ktoré sú na modeli vykonávané, umožňujú pozorovať chovanie a efektivitu systému v rôznych podmienkach. Cieľom experimentov je ukázať priepustnosť systému (1 s. 7) v rôznych režimoch návštevnosti, t.j. počas sezóny a mimo sezóny v rámci pracovných dní a víkendov a ďalej ukázať, ako by zmena niektorých ovplyvňujúcich faktorov mohla tento systém zdokonaľiť. Zmyslom tejto práce je využitie princípov modelovania a simulácie (1 s. 9) za cieľom ušetriť finančné prostriedky a predísť obtiažnostiam, ktoré by bolo nutné podstúpiť, pri aplikovaní zmien do systému v reálnom svete.

1.1 Autori, zdroje faktov, konzultanti

Autormi tejto práce sú študenti FIT VUT v Brně, Matúš Ďurica a Romana Ďuráčiová. Hlavným konzultantom pri získavaní faktov bol p. Martin Schmidt (smido209@gmail.com), zamestnanec strediska, a webové stránky lyžiarskeho strediska SKI Králiky (2).

1.2 Overenie validity

Overovanie validity modelu (1 s. 37) prebiehalo formou telefonátov a výmenou správ s p. Schmidtom. Ďalším spôsobom overenia validity bolo uskutočnenie experimentov nad modelom a porovnanie výsledkov s reálnymi dátami. Tieto dáta boli poskytnuté p. Schmidtom, a boli dopredu odobrené a schválené vedúcim strediska, Ing. Jurajom Luptákom.

2 Rozbor témy a použitých metód/technológií

Všetky fakty využité v tejto práci sú spriemerované hodnoty získaných dát. Tieto dáta boli taktiež poskytnuté riešiteľskému tímu *xpotan00*, s ktorým tvoríme riešiteľskú koalíciu.

Návštevníkom lyžiarskeho strediska SKI Králiky je poskytnutá možnosť kúpiť si 2 typy lístka. Prvou možnosťou je lístok na 3h a druhou možnosťou je lístok na celý deň – teda 7h. Lyžiarske stredisko poskytuje denné lyžovanie medzi 9:00 a 16:00 a večerné lyžovanie od 17:30 do 21:00.

Návštevníci môžu využívať 4-sedačkovú lanovku, ktorá má dĺžku 676m, kapacitu 2.250 osôb za hodinu a jedna jazda nahor trvá priemerne 3 minúty. Disponuje 48 vozňami, ktoré majú medzi sebou rozostupy približne 7 sekúnd. Ďalej je k dispozícii kotvový vlek pre 2 osoby, dĺžka 450m s celkovou kapacitou 1100 osôb za hodinu, kde jedna jazda trvá 5 minút. Jedna jazda dolu kopcom od cieľovej stanice 4-sedačkovej lanovky, trvá skúsenému lyžiarovi priemerne 1-2 minúty, pri pomalších lyžiaroch to je približne 3-4 minúty.

Kapacitnú návštevnosť strediska je možné rozdeliť na 2 rôzne obdobia – hlavná sezóna a koniec sezóny. **Hlavná sezóna** trvá od decembra do konca januára. Počas víkendov

a sviatkov je približná návštevnosť 1000 ± 200 ľudí počas denného lyžovania. Pre pracovné dni platí návštevnosť 200 ± 100 ľudí za deň. **Koniec sezóny** vychádza na obdobie začiatkom februára až po koniec marca. V tomto období prebiehajú aj jarné prázdniny počas ktorých sa návštevnosť pohybuje denne okolo 600 ± 100 ľudí. Mimo jarných prázdnin je to počas pracovných dní priemerne 50 ± 30 ľudí za deň. Cez víkend je to 300 ± 100 ľudí.

Priemerne dokáže jeden lyžiar pri celodennom 7h lístku zjazdiť 20 až 25 jázd.

2.1 Použité postupy pre vytvorenie modelu

Model bol vytvorený pomocou jazyka C++ s využitím simulačnej knižnice SIMLIB (3). Táto kombinácia poskytuje všetky potrebné rozhrania pre implementáciu modelu SHO a preto bola zvolená ako najvhodnejší možný spôsob riešenia zadaného problému. Teoretické postupy boli čerpané z učebných textov k predmetu Modelování a simulace [IMS] (1), ktorý je vyučovaný na FIT VUT v Brně, a to hlavne pri zostavovaní grafu Petriho siete (1 s. 126, 127) a programovaní častí modelu pomocou knižnice SIMLIB.

2.2 Popis pôvodu použitých metód/technológií

Počas vývoja boli použité štandardné knižnice jazyka C++, zároveň bol dodržaný štandard C++20. Na preklad bol použitý nástroj GNU make, ktorým bol automatizovaný proces kompilácie nástrojom GNU G++. Knižnica SIMLIB bola získaná z jej oficiálnej stránky (3) vo verzii 3.08, pretože najnovšia možná verzia nebola riadne otestovaná.

3 Konceptia modelu

Pri vytváraní návrhu konceptuálneho modelu sú využité fakty z [kap. 2](#). Keďže abstraktný model je formuláciou zjednodušeného popisu systému, ktorý abstrahuje od všetkých nedôležitých skutočností vzhľadom k cieľu a účelu modelu (3 s. 338), bolo potrebné zo všetkých dát vybrať práve tie, podstatné pre model. Na základe rozboru témy vyplýva, že je potrebné namodelovať procesy, ktoré súvisia s jednou jazdou lyžiara od bodu čakania vo fronte na lanovku až po zjazd dolu kopcom a opakovať tieto procesy v rámci nejakého časového rozmedzia. Keďže všetky poskytnuté údaje sú spriemerované na jeden deň prevádzky lyžiarskeho strediska, je dostačujúce simulovať priebeh jedného dňa počas konkrétnej sezóny, napriek tomu, že dni sa v rámci konkrétnej sezóny môžu od seba mierne líšiť. Preto ani 3h lístky neovplyvňujú validitu modelu a nie sú brané do úvahy. Večerné lyžovanie bolo v tomto modeli zanedbané, pretože ide o identický systém, ktorý je separátne zasadený do inej časti dňa a preto nijako nesúvisí s fungovaním systému počas 7h dennej prevádzky. Keďže sa simulácia sústreďuje na obsluhu návštevníkov, ktorí využívajú 4-sedačkovú lanovku, kotva je v tomto prípade považovaná za separátny systém, ktorý nie je ovplyvňujúcim faktorom simulácie 4-sedačkovej lanovky.

Generovanie času príchodu

Čakanie na príchod do systému

While true do

Príchod do fronty turniketu

Pasivovanie procesu

Kalkulácia trvania cesty lanovkou

Čakanie na ukončenie cesty lanovkou

Generovanie percentuálnej šance, že lyžiar zlyžuje rýchlo

If šanca < 30% then

Čakanie na ukončenie rýchlej jazdy

Else

Čakanie na ukončenie pomalej jazdy

End

End

Algoritmus 1: Správanie procesu lyžiara

Aktivovanie časovaču pracovnej zmeny

While true do

Čakanie na príchod vozňa

If striktný mód je vypnutý then

Generovanie percenta, ktoré rozhodne o obsadení sedačiek na vozni

If obsadenie < 5% then

If lyžiarov vo fronte ≥ 1 then

Uvoľnenie 1 lyžiara z fronty

End

Else if obsadenie < 10% then

If lyžiarov vo fronte ≥ 2 then

Uvoľnenie 2 lyžiarov z fronty

Else if lyžiarov vo fronte $= 1$ then

Uvoľnenie 1 lyžiara z fronty

End

Else if obsadenie < 50% then

If lyžiarov vo fronte ≥ 3 then

```

        Uvoľnenie 3 lyžiarov z fronty
    Else if lyžiarov vo fronte == 2 then
        Uvoľnenie 2 lyžiarov z fronty
    Else if lyžiarov vo fronte == 1 then
        Uvoľnenie 1 lyžiara z fronty
    End
Else
    If lyžiarov vo fronte >= 4 then
        Uvoľnenie 4 lyžiarov z fronty
    Else if lyžiarov vo fronte == 3 then
        Uvoľnenie 3 lyžiarov z fronty
    Else if lyžiarov vo fronte == 2 then
        Uvoľnenie 2 lyžiarov z fronty
    Else if lyžiarov vo fronte == 1 then
        Uvoľnenie 1 lyžiara z fronty
    End
End
Else
    Switch striktný mod
        Case 4
            If lyžiarov vo fronte >= 4 then
                Uvoľnenie 4 lyžiarov z fronty
            End
        Case 3
            If lyžiarov vo fronte >= 3 then
                Uvoľnenie 3 lyžiarov z fronty
            End
        Case 2
            If lyžiarov vo fronte >= 2 then
                Uvoľnenie 2 lyžiarov z fronty
            End
        Case 1
            If lyžiarov vo fronte >= 1 then

```

Uvoľnenie 1 lyžiara z fronty

End

End

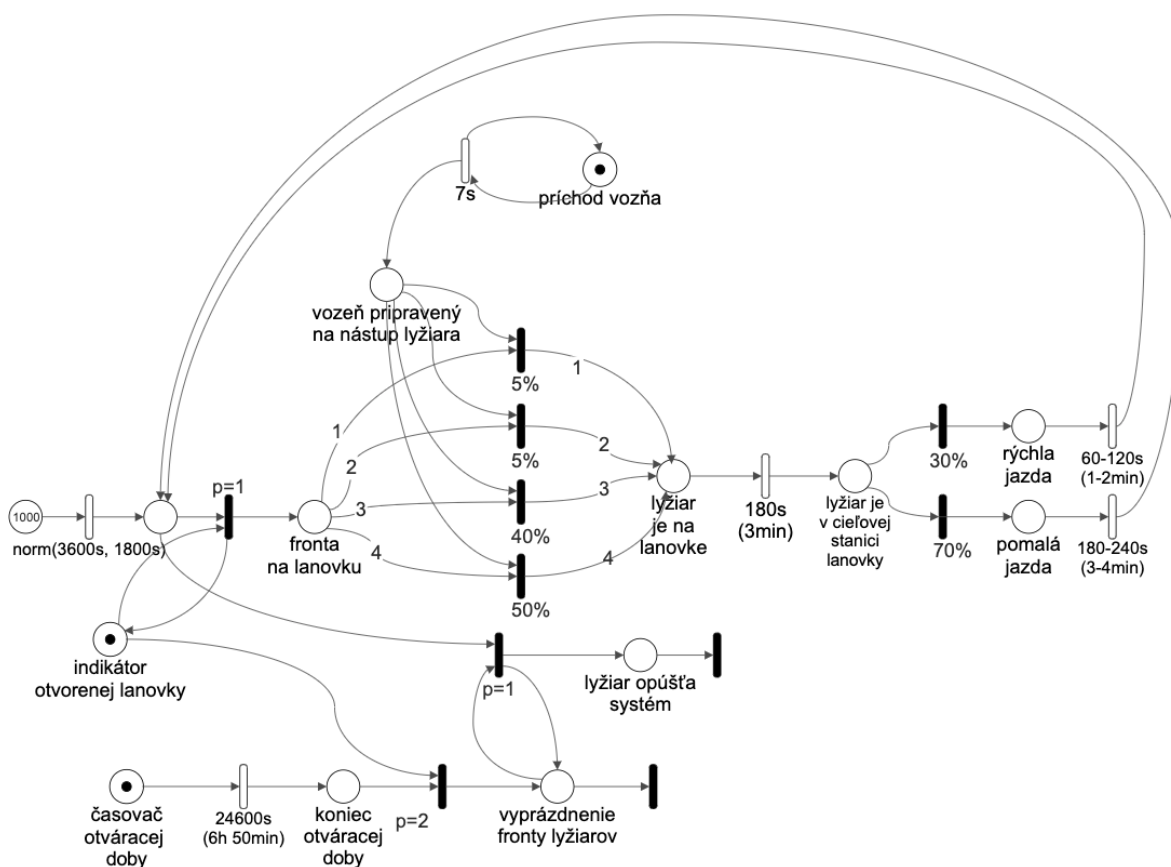
End

End

Algoritmus 2: Správanie procesu lanovky

3.1 Popis konceptuálneho modelu

Model, vid'. *Obrázok 1*, popisuje obsluhu návštevníkov strediska počas jednej 7h otváraciej doby. Prvá vetva, vid'. v dolnej časti, modeluje dĺžku otváraciej doby lanovky, t. j. 6h 50 minút. Akonáhle sa lanovka vypne, lyžiari čakajúci vo fronte z nej odchádzajú a opúšťajú systém, lyžiari na svahu dokončia svoju jazdu a taktiež opúšťajú systém. Do druhej vetvy vstupuje premenná s celkovým počtom návštevníkov, ktorí prichádzajú do systému s normálnym rozložením 1 h a odchýlkou 0.5 h. Ak je splnená podmienka otvorenej lanovky, návštevníci sa radia do fronty na lanovku a začína proces obsluhy návštevníka obslužnou linkou – vozňom lanovky. Do vozňa lyžiari nastupujú v náhodných počtoch, ktoré sú simulované pomocou prechodov s pravdepodobnostnými hodnotami. Po dokončení 3 minútovej jazdy lanovkou a opustení vozňa lanovky lyžiar lyžuje dole kopcom v 2 rôznych časových intervaloch, každý s inou pravdepodobnosťou.



Obrázok 1: Konceptuálny model systému - Petriho sieť

3.2 Forma konceptuálneho modelu

Model je reprezentovaný Petriho sieťou s popísanými stavmi a prechodmi, vid'. *Obrázok 1.*

4 Architektúra simulačného modelu

Spustením simulačnej aplikácie bez žiadnych voliteľných argumentov sa simulácia spustí s predvolenými hodnotami (počet iterácií simulácie – 5, počet lyžiarov – 500, počet vozňov – 48, dĺžka smeny – 7 hodín, medzera medzi vozňami – 7 sekúnd, striktný mód – vypnutý). Po dokončení simulačných behov sa na štandardný výstup vypíše výsledky daných behov. Vo výsledkoch sa nachádza tabuľka, kde je zobrazené v akom čase prišli do systému procesy lyžiarov (ich príchody sú rozdelené do 30 minútových intervalov). Ako ďalšie sa vypíše štatistika začatých a skončených jazd a štatistiky využitia počtu sedačiek na lanovke.

Pred každou iteráciou simulácie sa inicializuje modelový čas na 24 hodín. Jedna jednotka modelového času reprezentuje jednu sekundu reálneho času. Spustením iterácie simulácie sa aktivuje udalosť, ktorá reprezentuje pracovnú zmenu a spustí simuláciu. Táto udalosť sa vytvára s parametrami, vďaka ktorým sa dá simulácia spúšťať pre rôzne experimenty. Medzi tieto parametre patrí počet lyžiarov, medzera medzi vozňami na lanovke, dĺžka zmeny, počet prísne zaplnených sedačiek (procesy lyžiarov budú výhradne zaplňať tento počet) a počet vozňov na lanovke.

4.1 Mapovanie konceptuálneho modelu do simulačného modelu

Zmena (*trieda Shift*) je implementovaná ako udalosť, ktorá svojou aktiváciou vygeneruje a aktivuje procesy lyžiarov (*trieda Skier*) a zároveň vytvorí a aktivuje proces lanovky (*trieda Skilift*). Pri aktivovaní procesu lanovky sa vytvorí udalosť časovača zmeny (*trieda Timer*), ktorá je naplánovaná na čas ukončenia zmeny. Touto udalosťou sa ukončí proces lanovky, čo zabráni začatiu ďalších jazd, no umožní dokončenie započatých jazd pred koncom zmeny.

5 Podstata simulačných experimentov a ich priebeh

Cieľom experimentov je v prvom rade overiť validitu modelu. Ak to okolnosti vyžadujú, tak zmeniť priemerné vstupné hodnoty, aby model čo najviac korešpondoval so skutočnosťou, či opraviť chyby modelu, ktoré sa počas experimentov prejavili. Ďalšou podstatou experimentov je aj demonštrácia priepustnosti v rôznych podmienkach, lokalizácia častí systému, ktoré by bolo možné optimalizovať, a následná optimalizácia týchto častí.

5.1 Postup experimentovania

Experimenty spočívali v spustení naimplementovaného modelu simulácie, ktorý bežal 10krát po sebe, so zvolenými hodnotami dát. Počet návštevníkov má však normálne rozdelenie, takže každý beh, bol trochu odlišný. Získané štatistiky boli následne spriemerované a vložené

do tabuľky. Potom nasledovala kontrola výstupov simulácie s reálnymi dátami a formulácia záveru o úspešnosti resp. neúspešnosti experimentu. V prípade neúspešnosti, boli vyvedené príčiny neúspechu a určené nové vstupné hodnoty pre ďalší experiment, či oprava chýb modelu. Ako indikátor úspešnosti, sme využívali počet zrealizovaných jazd na jedného lyžiara v porovnaní s realitou/očakávaniami.

Dokumentácia experimentov

5.1.1 Experiment č.1

Prvý experiment slúžil pre overenie validity modelu. Vstup udávajúcí počet návštevníkov bol nastavený na hodnotu **500**, čo je zaokrúhlený priemerný počet návštevníkov skrz celú zimnú sezónu. Ostatné vstupy boli zatiaľ ponechané v implicitných hodnotách. Očakávaným výstupom pre overenie validity modelu je počet jazd na jedného návštevníka, ktorý sa pohybuje v rozmedzí 20-25 jazd.

Tabuľka 1: Výsledky experimentu č.1

Vstup					Výstup
Režim	Návštevníci	Čas [h:m]	Interval vozňov [s]	Naplnenosť vozňov	Počet jazd
Priemer celej sezóny	500	6:50	7	náhodná	23

Záver: Z tabuľky výsledkov prvého experimentu (Tabuľka 1) je zrejmé, že priemerný počet jazd patrí do intervalu 20-25 a preto môžeme tvrdiť, že model je validný.

5.1.2 Experiment č.2

Cieľom experimentu č.2, je ukázať priepustnosť systému v rôznych režimoch návštevnosti. Hodnota vstupu s počtom návštevníkov sa mení podľa konkrétneho režimu, ostatné vstupy zostávajú v implicitných hodnotách, pretože chceme zistiť chovanie systému za bežných podmienok.

Tabuľka 2: Výsledky experimentu č.2

Vstup				Výstup
Režim	Návštevníci	Čas [h:m]	Interval vozňov [s]	Počet jazd
Sezóna - víkend	1000	6:50	7	12
Sezóna - pracovný deň	250	6:50	7	48
Jarné prázdniny	650	6:50	7	18
Bežný prac. deň	100	6:50	7	61
Bežný víkend	350	6:50	7	34

Záver: Výsledky ukazujú, koľko jazd je lyžiar schopný urobiť za časový úsek 7h v rôznych režimoch návštevnosti. Veličina počtu jazd, sa chová podľa predpokladu, t. j. klesá v prípade navýšenia počtu návštevníkov, a stúpa pri znížení počtu návštevníkov. V ďalšom experimente budeme teda skúmať chovanie systému v rôznych režimoch, ak zmeníme hodnotu vstupného parametru Čas na 5h.

5.1.3 Experiment č.3

V tomto experimente znížime jednotku času otvorenej lanovky zo 7h na 5h – resp. 4h 50minút, pretože chceme zistiť, aký veľký dopad to bude mať na počet jazd jedného lyžiara.

Tabuľka 3: Výsledky experimentu č.3

Vstup				Výstup
Režim	Návštevníci	Čas [h:m]	Interval vozňov [s]	Počet jazd
Sezóna - víkend	1000	4:50	7	8
Sezóna - pracovný deň	250	4:50	7	32
Jarné prázdniny	650	4:50	7	12
Bežný prac. deň	100	4:50	7	40
Bežný víkend	350	4:50	7	23

Záver: Na základe výsledkov z Tabuľky 2 a Tabuľky 3, sme vypočítali priemerný pokles v počte jazd o približne 33%, ktorý bol ovplyvnený skrátením otváraciej doby lanovky. V ďalšom experimente by bolo teda vhodné, optimalizovať tento pokles, znížením vstupnej hodnoty *Interval vozňov* na 5s.

5.1.4 Experiment č.4

V poradí štvrtom experimente znížime interval príchodu vozňov zo 7s na 5s – zrýchlime lanovku, a budeme skúmať nárast počtu jazd. Ideálne by bolo, ak by sa číslo priblížilo k pôvodným hodnotám za bežných podmienok.

Tabuľka 4: Výsledky experimentu č.4

Vstup				Výstup
Režim	Návštevníci	Čas [h:m]	Interval vozňov [s]	Počet jazd
Sezóna - víkend	1000	4:50	5	11
Sezóna - pracovný deň	250	4:50	5	43
Jarné prázdniny	650	4:50	5	17
Bežný prac. deň	100	4:50	5	47
Bežný víkend	350	4:50	5	31

Záver: Priemerný pokles v počte jazd pri porovnaní získaných hodnôt za bežných podmienok (Tabuľka 2) a za upravených podmienok (Tabuľka 4), je 11,2%, čo môžeme považovať za čiastočné priblíženie k pôvodným hodnotám. Predĺžením otváraciej doby z 5h na 6h, čo je stále o 1h menej, ako pôvodných 7h, by bolo možné sa priblížiť k pôvodným hodnotám ešte bližšie, preto tak urobíme v ďalšom experimente.

5.1.5 Experiment č. 5

Týmto experimentom sa pokúsime ešte presnejšie priblížiť k pôvodným hodnotám počtu jazd. Všetky vstupné parametre zostávajú rovnaké ako v predchádzajúcom experimente,

výnimkou bude iba hodnota Čas, ktorú zvýšime na 6h, resp. 5h 50minút. Očakávame výraznejšie priblíženie, až prekroenie výšky hodnôt počtu jazd, ako za bežných podmienok.

Tabuľka 5: Výsledky experimentu č.5

Vstup				Výstup
Režim	Návštevníci	Čas [h:m]	Interval vozňov [s]	Počet jazd
Sezóna - víkend	1000	5:50	5	14
Sezóna - pracovný deň	250	5:50	5	54
Jarné prázdniny	650	5:50	5	21
Bežný prac. deň	100	5:50	5	59
Bežný víkend	350	5:50	5	39

Záver: Po porovnaní výsledkov výstupu z Tabuľky 1 a Tabuľky 2 sme zaznamenali očakávaný nárast počtu jazd vo všetkých režimoch návštevnosti s výnimkou prípadu s počtom návštevníkov 100. Tu však ide iba o mierny pokles, a to približne 3,3%, čo je v porovnaní s 11,2% lepším výsledkom.

5.1.6 Experiment č.6

Na záver budeme experimentovať opäť v režime s implicitnými vstupnými hodnotami. V rámci futurizácie však budeme simulovať systém lanovky, ktorý dokáže lyžiarov zorganizovať tak, aby naplňali všetky vozne do maximálnej kapacity (4 osoby) a tak bude lanovka využitá na 100%.

Tabuľka 6: Výsledky experimentu č.6

Režim	Návštevníci	Čas [h:m]	Interval vozňov [s]	Naplnenosť vozňov	Počet jazd
Sezóna - víkend	1000	7h	7s	Maximálna (4)	14
Sezóna - pracovný deň	250	7h	7s	Maximálna (4)	56
Jarné prázdniny	650	7h	7s	Maximálna (4)	21
Bežný prac. deň	100	7h	7s	Maximálna (4)	59
Bežný víkend	350	7h	7s	Maximálna (4)	40

Záver: V porovnaní s dátami v Tabuľke 1 ide o zvýšenie počtu jazd a teda aj o zlepšenie efektivity systému.

5.2 Závery experimentov

Bolo vykonaných 5 setov experimentov – ako 1 set experimentov považujeme spustenie simulácie v 5 rôznych režimoch návštevnosti s rovnakými vstupnými parametrami podľa zadania experimentu, a 1 experiment, v ktorom bola zistená validita vytvoreného modelu, vid'. [kapitola 5.2.1.](#)

V experimentoch č.3 – 5, sme sa snažili demonštrovať optimalizáciu systému modifikáciou vstupných parametrov, za cieľom udržať hodnotu veličiny počtu jazd v rovnakých až vyšších hodnotách. Z experimentov možno odvodiť chovanie a priepustnosť systému v rôznych režimoch a za rôznych podmienok, čo so sebou prináša zaujímavé informácie, ktoré môžu byť použité pre skvalitnenie systému.

6 Zhrnutie simulačných experimentov a záver

Z výsledkov experimentov vykonaných na simulačnom modeli je možné pozorovať priepustnosť systému v rôznych režimoch návštevnosti, t. j. počas hlavnej sezóny v rámci pracovných dní a víkendov, a mimo sezóny v režime jarých prázdnin, bežných pracovných dní a bežných víkendov. Experimenty tiež ukázali dopad zmien niektorých ovplyvňujúcich faktorov a ich prínos v zdokonaľovaní systému. Napríklad, že zrýchlenie lanovej dráhy (skrátene intervalu príchodu vozňov) v kombinácii s kratšou otváracou dobou, umožní návštevníkom absolvovať približne rovnaký, ak nie väčší počet jász, ako za bežných podmienok. Stredisko tým ale môže ušetriť prevádzkové náklady, keďže otváracia doba bude skrátená o jednu hodinu.

Referencie

1. **Peringer, Petr a Hrubý, Martin.** Modelování a simulace, Text k přednáškám kursu Modelování a simulace na FIT VUT v Brně. [Online] 14. September 2023. [Datum: 9. December 2023.] <https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>.
2. **SKI Králíky.** [Online] [Datum: 9. December 2023.] <https://www.skikraliky.sk/>.
3. **Peringer, Petr, Leska , David a Martinek, David.** Simulační knihovna SIMLIB/C++. [Online] 1. November 2022. [Datum: 9. December 2023.] <https://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>.