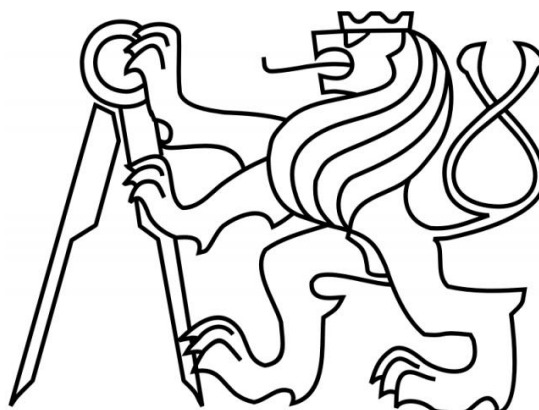




ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

FAKULTA DOPRAVNÍ



Semestrální práce z předmětu:

TEORIE HROMADNÉ OBSLUHY

Optimalizace provozu ČD Centra v žst. Praha hlavní nádraží

Vojtěch Rohlíček

12.5.2011

1 .. 57

FD ČVUT



Obsah

Obsah	2
Úvod	3
Situace	3
Vnitrostátní jízdenky	3
Mezinárodní jízdenky	3
Přednostní odbavení	3
Informace a služby	3
Postup úlohy	3
Sběr dat	4
Vnitrostátní odbavení	4
Mezinárodní odbavení	5
Přednostní odbavení	6
Informace a služby	6
Sestavení modelu	6
Simulace	8
Dopravní sedlo	8
Dopravní špička	10
Dopravní krize	13
Závěr	14



Úvod

Tématem této semestrální práce je optimalizace provozu ČD Centra v železniční stanici Praha hl. n. Myšlena je přitom efektivita uživatelská, nikoliv nákladová (z pohledu provozovatele). Protože se práce zaměřuje na komfort systému, stěžejním parametrem, který je sledován a vyhodnocován je průměrná doba čekání jednoho cestujícího, která je porovnávána s kritickou hodnotou čekání a pravděpodobnost ztráty zákazníka. Výsledkem práce jsou návrhy nastavení systému při různých provozních situacích.

Situace

ČD Centrem je dnes nazýván obecně prostor ve výpravní budově železniční stanice, který slouží výhradně pro komerční účely dopravy České dráhy a.s., konkrétně tedy pro prodej vnitrostátních i mezinárodních jízdenek, rezervací, lůžkových a lehátkových lístků apod.

Zatímco dříve byl tento prodej realizován pomocí klasických pokladen, kdy každá přepážka měla svoji vlastní frontu, dnes se prodej dokladů uskutečňuje systémem FIFO, tedy prostřednictvím společné fronty pro všechny přepážky.

Navíc jsou přepážky nově členěny dle funkce a priority na tyto kategorie:

Vnitrostátní jízdenky

Tato přepážka umožňuje cestujícímu nákup vnitrostátních jízdních dokladů, místenek a též vybraných jízdenek PID. Je zde možné si samozřejmě vyřídit slevové karty a kupony. Na několika přepážkách je možné platit kartou. Tato přepážka neslouží v žádném případě jako informace. Vizually jsou tyto přepážky odlišeny světle modrou barvou. V ČD Centru se nachází 8 těchto přepážek

Mezinárodní jízdenky

Tato přepážka umožňuje kromě standardního pořízení vnitrostátních jízdních dokladů též nákup jízdenek a místenek mezinárodních včetně lůžkových a lehátkových lístků. V ČD Centru se nachází 8 těchto přepážek

Přednostní odbavení

Tato přepážka slouží pouze cestujícím se zvýšenou prioritou, tedy uživatelům vlaků kategorie SuperCity, cestujícím první třídy a osobám se sníženou schopností pohybu a orientace. V ČD Centru se nachází 2 takovéto přepážky.

Informace a služby

Tato přepážka je určena výhradně pro podej informací o službách Českých drah a.s., nákup jízdních dokladů se zde neuskutečňuje. V ČD Centru se nachází 2 tyto přepážky.

V této semestrální práci je uvažované ČD Centrum převedeno do modelu M/M/n/r, tedy Markovovskému vícelinkovému modelu se ztrátami.

Postup úlohy

1. Přímo na místě jsou naměřena základní vstupní data, tedy intenzity vstupního toku a obsluhy, průběhy intervalů příchodu cestujících a obsluhy, tato data jsou analyzována a následně je rozhodnuto o dalším postupu
2. Pomocí programu Matlab je sestaven model provozu ČD Centra za konstantních vstupních podmínek (λ , μ), který simuluje provoz v závislosti na počtu přepážek, přitom výstup této části programu informuje uživatele o optimální variantě provozu s ohledem na zadanou kritickou dobu čekání jednoho cestujícího

3. Je sestavena druhá část programu, která vypočítá stavové pravděpodobnosti systému
4. Pro různé situace (dopravní špička, dopravní sedlo, dopravní krize) je pomocí těchto dvou nástrojů provedena simulace
5. Výsledky jsou vyhodnoceny a zobrazeny

Sběr dat

V první řadě je nutné vycházet z konkrétních podmínek. Bylo nutno stanovit s dostatečnou přesností intenzitu vstupního toku λ a intenzitu obsluhy μ .

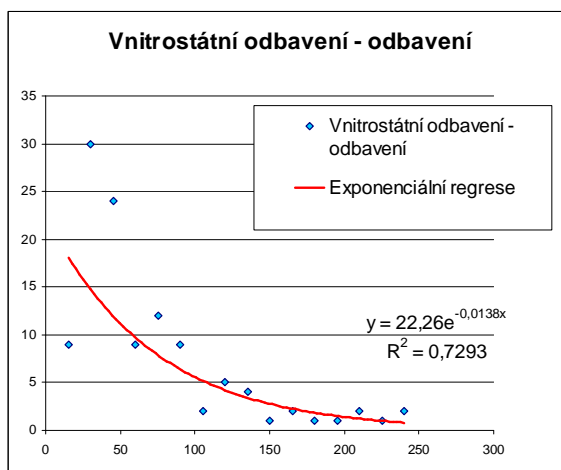
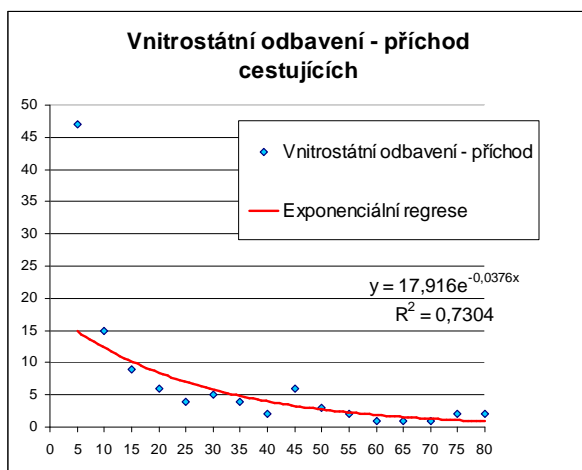
Intenzita vstupního toku: data byla sbírána zejména ve špičce, mezi 14:00 a 17:00 v pátek nebo v neděli. Pro potřebu analýzy systému v době dopravního sedla byla data sbírána v pracovní den od 10:00 do 11:00. Byly naměřeny intervaly mezi příchody jednotlivých cestujících, přičemž skupiny cestujících, kteří si evidentně chystali koupit jeden jízdní doklad (manželské páry, skupiny turistů) byly brány jako jeden vstupní element. Bylo naměřeno vždy 100 vzorků.

Intenzita obsluhy: data byla sbírána přednostně ve špičkách, nicméně vzhledem k zanedbatelnému vlivu vstupního toku na hodnotu tohoto parametru, byly některé hodnoty vzhledem k časové tísně naměřeny mimo špičku. Bylo naměřeno vždy 100 vzorků.

Data byla dále analyzována pomocí programu Excel.

Vnitrostátní odbavení

Zde zjišťujeme, že jak intenzita vstupního toku, tak intenzita obsluhy má přibližně exponenciální charakter.



Pro větší přesnost a nezájatost naměřených hodnot byla data podrobena testu rozdělení (Kolmogorov – Smirnov) v aplikaci NFSB (Matlab).

Kolmogorov Smirnov test

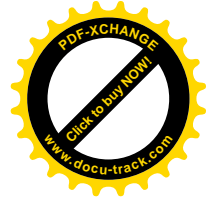
Zadáno:

```
prichod_cestujicich_vnitrostatni=[27;35;17;16;51;4;3;2;7;14;9;9;3;1;2;1;4;
39;5;43;1;2;5;11;17;4;2;3;4;12;5;3;3;3;10;5;4;6;13;30;10;2;10;73;10;8;
2;3;4;1;4;10;1;15;3;2;1;1;1;9;22;44;3;45;2;7;4;5;1;2;8;1;1;1;23;16;1;
1;43;4;5;2;6;11;48;14;33;50;79;23;2;27;2;31;18;3;42;3;30;14;]
```

```
ks_test(prichod_cestujicich_vnitrostatni, 'exponential',19.5)
```

Výsledek:

Kolmogorov-Smirnov test



H0 - vyber pochazi z testovaneho typu rozdeleni
pval: 6.34247e-008

Zadano:

```
odbaveni_cestujicich_vnitrostatni=[78 253 25 108 31 6 63 15 13 16 58 16 17
18 21 56 59 14 131 59 32 15 33 82 122 34 36 33 43 62 199 39 32 64 72 85
9 114 28 46 41 89 98 37 23 30 29 107 132 12]
ks_test(odbaveni_cestujicich_vnitrostatni, 'exponential', 81.0938)
```

Vysledek:

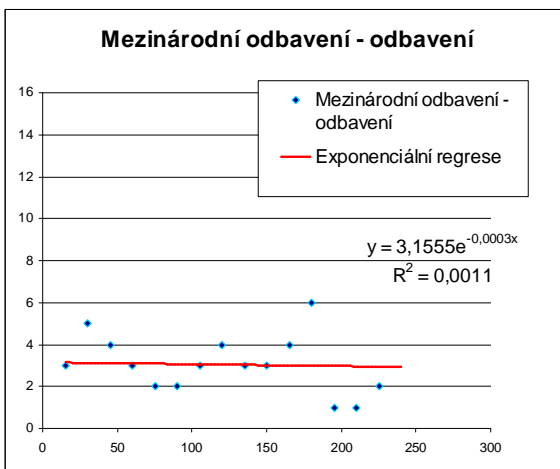
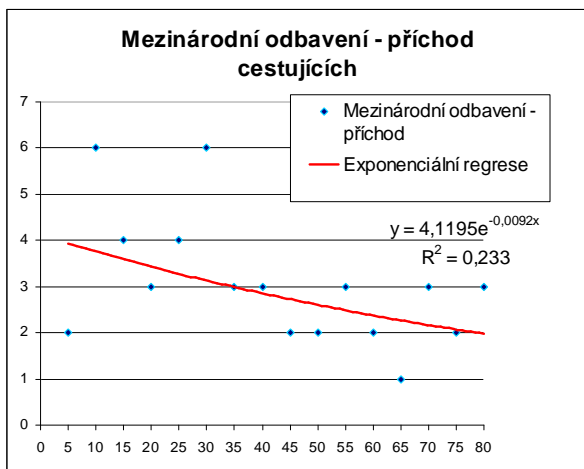
Kolmogorov-Smirnov test

H0 - vyber pochazi z testovaneho typu rozdeleni
pval: 0.0961682

Při volbě hladiny významnosti 0,1 naše data odpovídají exponenciálnímu rozdělení. S touto kategorií přepážek tedy budeme dále počítat a modelovat různé situace. Zde vidíme, že je vstupní tok umocněn přítomností stanice metra a tudíž je zde častý silný příliv cestujících za krátký časový úsek.

Mezinárodní odbavení

Zde naopak zjišťujeme, že jak vstupní tok, tak intenzita obsluhy má dosti náhodný charakter a zdaleka neodpovídá Poissonovskému toku s exponenciálním rozdělením. Je zde zastoupena velmi často dlouhá doba odbavení i dlouhé intervaly příchodu cestujících.



Opět otestujeme Kolmogorovo Smirnovovým testem s hladinou významnosti 0,1.

Kolmogorov Smirnov test

Zadano:

```
prichod_cestujicich_mezinarodni=[149 105 16 66 7 38 74 7 36 11 33 27 229 8
25 159 118 11 264 54 16 67 51 29 50 10 102 29 29 9 41 4 77 25 87 30 31 13
24 60 77];
ks_test(prichod_cestujicich_mezinarodni, 'exponential', 56.049)
```

Vysledek:

Kolmogorov-Smirnov test



H0 - vyber pochazi z testovaneho typu rozdeleni
pval: 0.87006

Zadano:

```
odbaveni_mezinarodni=[20 4 457 109 310 163 234 252 102 118 123 49 227 175  
71 25 164 28 286 41 171 280 172 131 436 241 57 390 155 167 222 228 137 39  
173 28 354 90 120 38 98 671 142 14];  
ks_test(odbaveni_mezinarodni, 'exponential', 170.73)
```

Vysledek:

Kolmogorov-Smirnov test

H0 - vyber pochazi z testovaneho typu rozdeleni
pval: 0.343518

Jak je vidět, tyto dva výběry naší podmínku (p-hodnota menší než hladina významnosti) nespĺňují a proto z exponenciálního rozdělení nepocházejí.

Objektivně lze nalézt důvody, proč tomu tak je:

Vstupní tok:

- málokdo si jde koupit jízdenku těsně před odjezdem vlaku
- cestujících v mezinárodní dopravě je několikanásobně méně, než ve vnitrostátní – hůř se zde dá aplikovat THO
- v dnešní době je velmi častý mimopřepážkový prodej (internet, telefon)
- zahraniční cestující mají velmi často jízdenky síťové (InterRail) nebo zpáteční, koupené v jejich domovské zemi

Obsluha:

- velmi často tito cestující nehovoří česky – logicky je pak obsluha v cizím jazyce poněkud pomalejší
- často je vyřizování vzhledem k rozdílným tarifním podmínkám jiných železničních správ poměrně složité (lomené jízdné, síťové zahraniční jízdenky, povinné rezervace)

Proto je velmi obtížné sestavit model fungování takového systému a zaměříme se dále pouze na situace, kdy se parametry vstupního toku i obsluhy blíží hodnotám, které jsou charakteristické pro vnitrostátní odbavení, např. situace, kdy člověk pospíchá a vybírá obyčejnou jízdenku jedním směrem (tzv. NRT tarif) bez ohledu na cenu.

Přednostní odbavení

Zde se při sběru dat setkáváme se silnou náhodností příchodu cestujících i obsluhy, nehledě na fakt, že tato přepážka slouží kromě prioritních zákazníků též ostatním cestujícím (když zrovna VIP zákazník není nikde na obzoru). Pro další výpočty nebudeme tuto kategorii přepážek uvažovat.

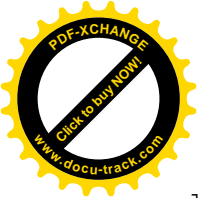
Informace a služby

Podobně jako v případě přednostního odbavení je příchod zákazníků k této přepážce náhodný a těžko lze pro něj sestavit model na základě exponenciálního rozdělení.

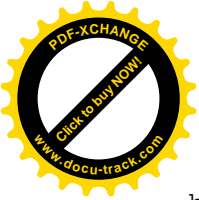
Sestavení modelu

Simulace provozu ČDCentra - závislost

```
Program:  
% Zadání hodnot promenných  
clear
```



```
lambda=input('Zadej hodnotu intenzity vstupniho toku ');
mi=input('Zadej hodnotu intenzity obsluhy ');
fronta_max=input('Zadej kapacitu zasobniku ');
kriticka_doba=input('Zadej kritickou cekaci dobu ');
prepazky_max=input('Zadej maximalni pocet prepazek ');
ro=lambda/mi;
for pocet_prepazek=1:prepazky_max;
max=pocet_prepazek+fronta_max;
% Vypocet pravdepodobnosti
mezisoucet_nulova_pst1=0;
mezisoucet_nulova_pst2=0;
for k=0:pocet_prepazek;
p01=mezisoucet_nulova_pst1+((1./factorial(k))*(ro.^k));
mezisoucet_nulova_pst1=p01;
end;
for k=1:fronta_max;
p02=mezisoucet_nulova_pst2+(ro./pocet_prepazek).^k;
mezisoucet_nulova_pst2=p02;
end;
nulova_pst=(p01+((ro^pocet_prepazek)/factorial(pocet_prepazek)*p02))^-1;
nulova_matice=zeros(1,max+1);
k=0:max;
p1=(ro.^k).*nulova_pst./factorial(k);
p2=(( (nulova_pst./(factorial(pocet_prepazek).*(pocet_prepazek.^(k-
pocet_prepazek))))).*ro.^k));
p1(1,pocet_prepazek+1:max+1)=nulova_matice(1,pocet_prepazek+1:max+1);
p2(1,1:pocet_prepazek)=nulova_matice(1,1:pocet_prepazek);
p=p1+p2;
% Vypocet strednich hodnot
cestujici=0:max;
stredni_hodnota_system=cestujici.*p;
mezisoucet_stredni_hodnota_system=0;
for k=1:max;
ex=mezisoucet_stredni_hodnota_system+stredni_hodnota_system(1,k);
mezisoucet_stredni_hodnota_system=ex;
end;
stredni_hodnota_pocet_lidi_v_systemu=ex;
cestujici_fronta=1:fronta_max;
stredni_hodnota_fronta=cestujici_fronta.*p(1,pocet_prepazek+2:max+1);
mezisoucet_stredni_hodnota_fronta=0;
for k=1:fronta_max;
ef=mezisoucet_stredni_hodnota_fronta+stredni_hodnota_fronta(1,k);
mezisoucet_stredni_hodnota_fronta=ef;
end;
stredni_hodnota_poctu_lidi_ve_fronte=ef
% Vypocet prumernych dob, stravenych v systemu
ef/((1-p(1,max+1))*lambda)
prumerna_cekaci_doba_v_systemu(1,pocet_prepazek)=ex/((1-
p(1,max+1))*lambda);
prumerna_cekaci_doba_ve_fronte(1,pocet_prepazek)=ef/((1-
p(1,max+1))*lambda);
pst_zraty_zakaznika(1,pocet_prepazek)=p(1,max+1)
end;
% Zobrazeni vystupu
prepazky_plot=1:prepazky_max;
plot(prepazky_plot,prumerna_cekaci_doba_ve_fronte,'g-')
title('Vnitrostatni odbaveni - cekaci doby')
xlabel('Pocet prepazek')
ylabel('Prumerna cekaci doba')
bilacara=2*kriticka_doba;
hold on
plot(prepazky_plot,kriticka_doba,'r*')
plot(prepazky_plot,pst_zraty_zakaznika,'b-')
plot(prepazky_plot,bilacara,'w')
```



hold off

Komentář:

Zadání hodnot proměnných

Zde jsou zadávány vstupní údaje pomocí příkazu input, což umožňuje simulovat různé situace. Jsou zadávány intenzita vstupního toku, intenzita obsluhy, maximální počet přepážek (konečná simulace), kritická doba čekání a kapacita zásobníku.

Výpočty:

V této části jsou vypočítávány střední hodnoty počtu uživatelů ve frontě a v celém systému, čekací doby ve frontě a v celém systému, přičemž kromě čekací doby ve frontě jsou všechny výsledky skryté (nezobrazí se). Tato část je počítána v cyklu pro jednotlivé počty přepážek až do zadaného maxima, tudíž veličina čekací doby ve frontě je vektorem. Dále je vypočtena pravděpodobnost ztráty zákazníka, z nastavení systému plynoucí.

Zobrazení výstupu:

Je zobrazen graf závislosti čekací doby ve frontě a pravděpodobnosti ztráty zákazníka na počtu přepážek (přestože toto je bezrozměrná veličina, je zobrazení obou křivek v jednom grafu názornější) přičemž je zároveň zobrazena kritická doba čekání.

Simulace

Dopravní sedlo

Intenzita vstupního toku:

Pomocí dat, naměřených v sedle, stanovíme intenzitu vstupního toku. Bylo naměřeno 99 vzorků za 0,712 hod., což odpovídá přibližně 140 zákazníkům za hodinu.

$\lambda = 140$ zák/h, což odpovídá intervalu příchodu zákazníků cca 26 s

Intenzita obsluhy:

Data převezmeme z údajů, příslušných dopravní špičce.

$\mu = 70$ zák/h, což odpovídá intervalu obsluhy cca 51 s

Kritická doba čekání:

Kritickou dobu čekání jsme zvolili 0,1 hod, což odpovídá 6 min.

Zadáno:

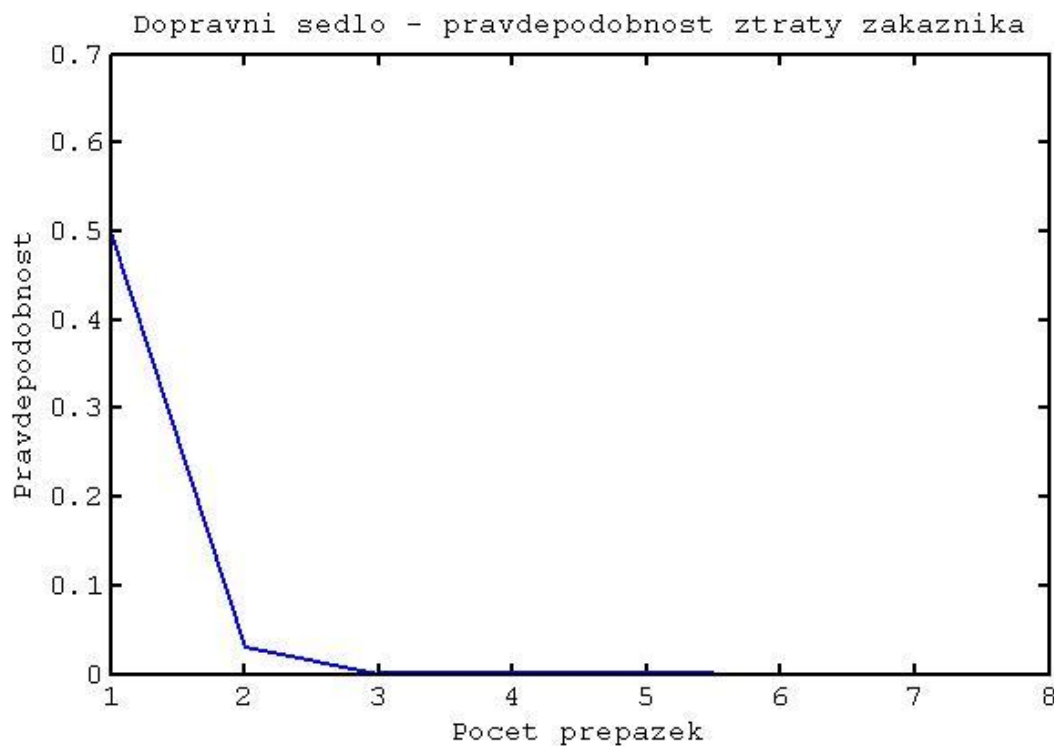
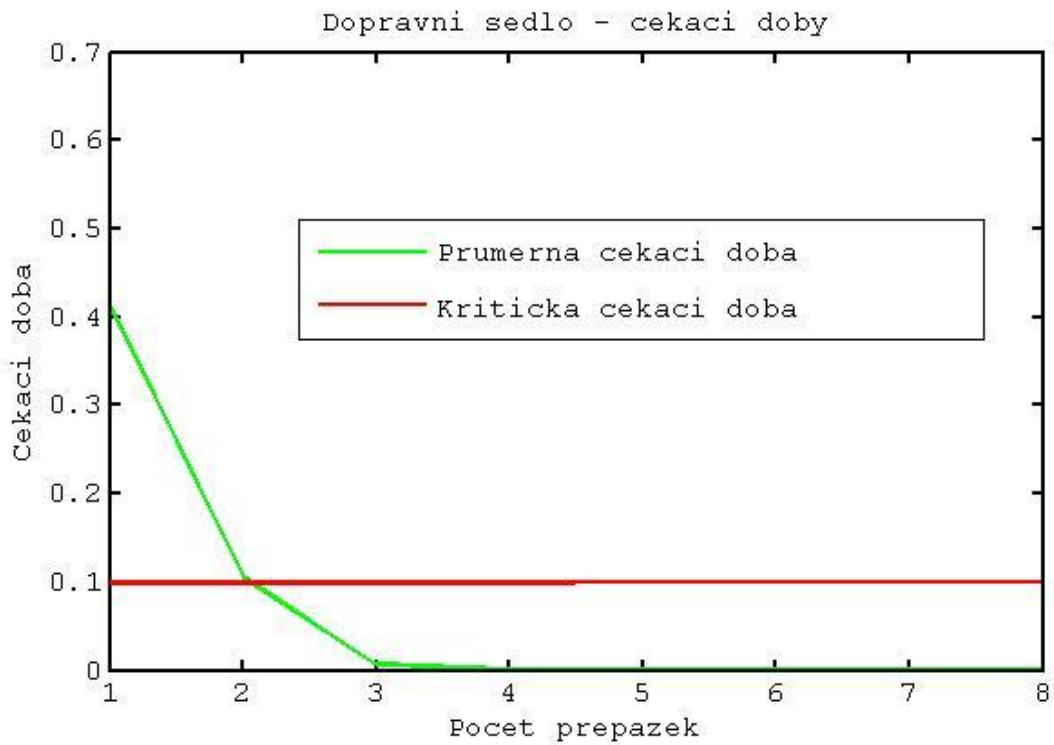
Zadej hodnotu intenzity vstupního toku 140

Zadej hodnotu intenzity obsluhy 70

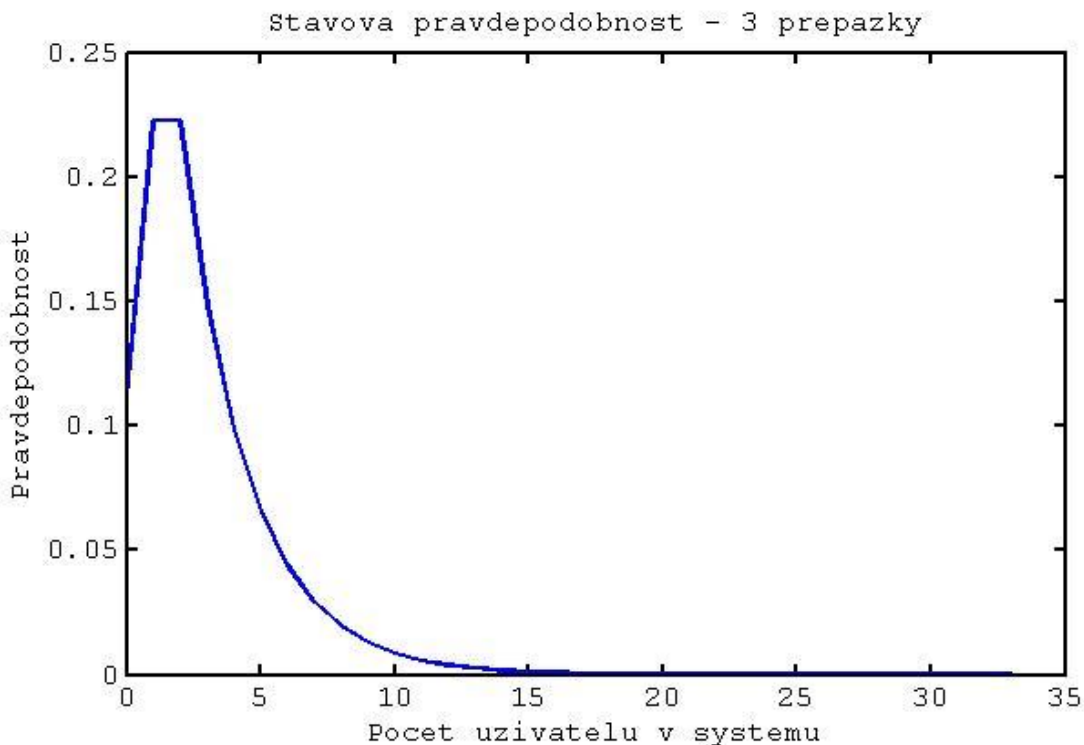
Zadej kapacitu zásobníku 30

Zadej kritickou čekací dobu 0.1

Zadej maximalni pocet prepazek 8



Jak vidíme z předchozích dvou grafů, neměl by být problém, otevřeme-li v dobu dopravního sedla tři přepážky, v případě otevření pouze přepážek dvou nám narůstá čekací doba až na kritickou hodnotu. Podívejme se ještě na průběh stavové pravděpodobnosti:



Jak je vidět, není zde žádný problém. Je velmi vysoká pravděpodobnost, že se v systému budou nacházet 3 zákazníci, kteří jsou tedy zároveň obsluhováni na přepážkách.

Výsledek = 3 přepážky

Dopravní špička

Intenzita vstupního toku:

Data převezmeme přímo z měření. Protože bylo naměřeno 99 vzorků za 0,35 hod. vstupuje do systému průměrně 283 zákazníků za hodinu

$\lambda = 283$ zák/h, což odpovídá intervalu příchodu zákazníků cca 13s

Intenzita obsluhy:

Data převezmeme opět z měření. Protože bylo naměřeno 99 vzorků za 1,40 hod. je obsluženo v systému průměrně 70 zákazníků za hodinu

$\mu = 70$ zák/h, což odpovídá intervalu obsluhy cca 51 s

Kritická doba čekání:

Kritickou dobu čekání jsme zvolili 0,1 hod, což odpovídá 6 min.

Zadáno:

Zadej hodnotu intenzity vstupního toku 283

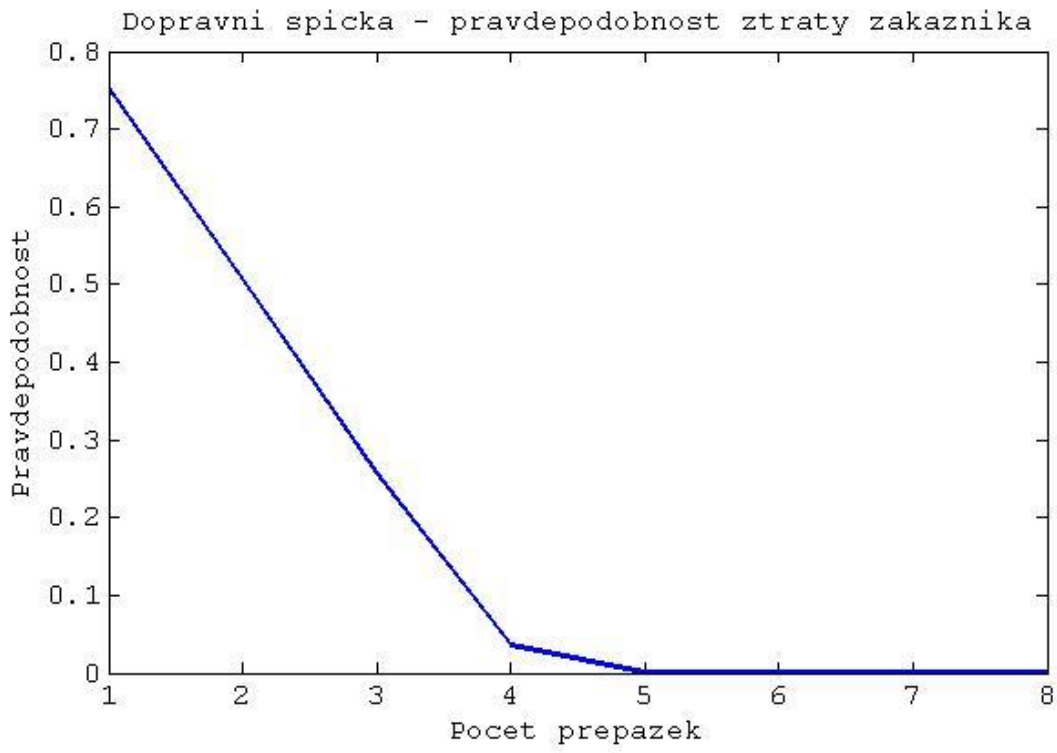
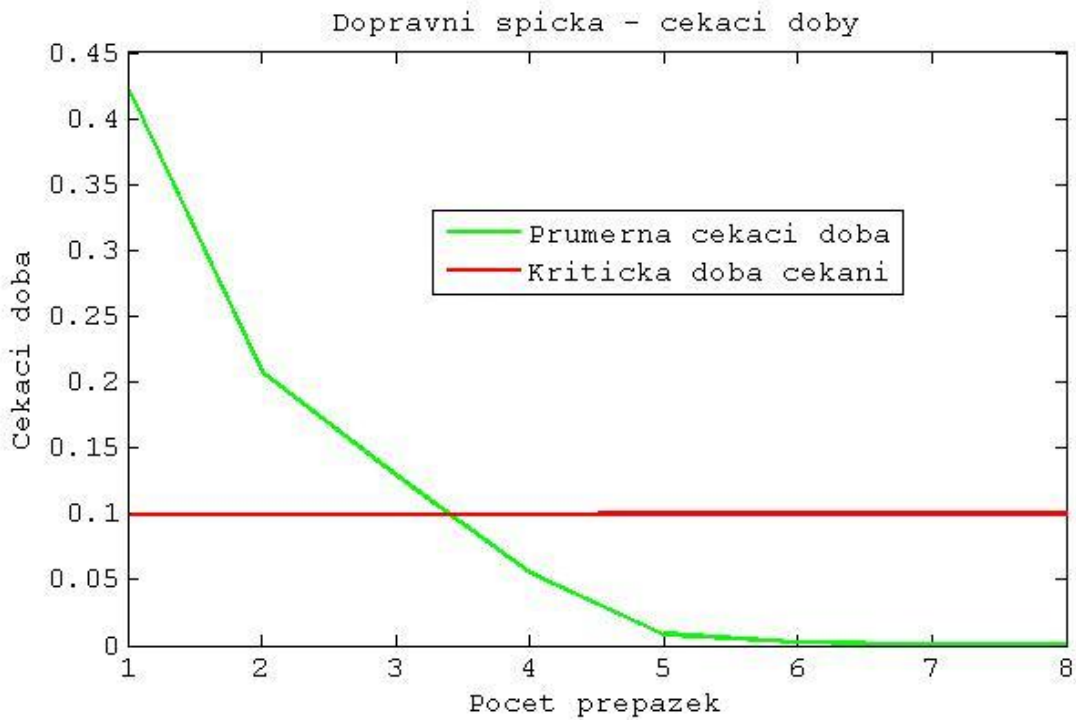
Zadej hodnotu intenzity obsluhy 70

Zadej kapacitu zásobníku 30

Zadej kritickou čekací dobu 0.1

Zadej maximální počet přepážek 8

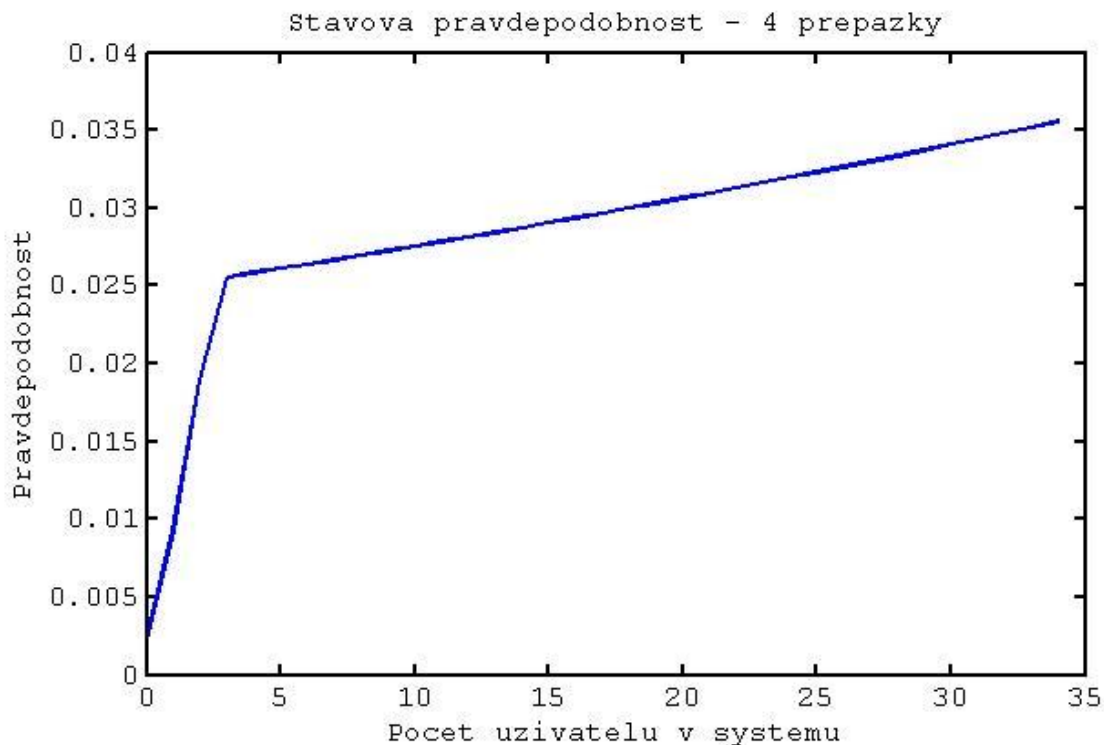
Výsledky:



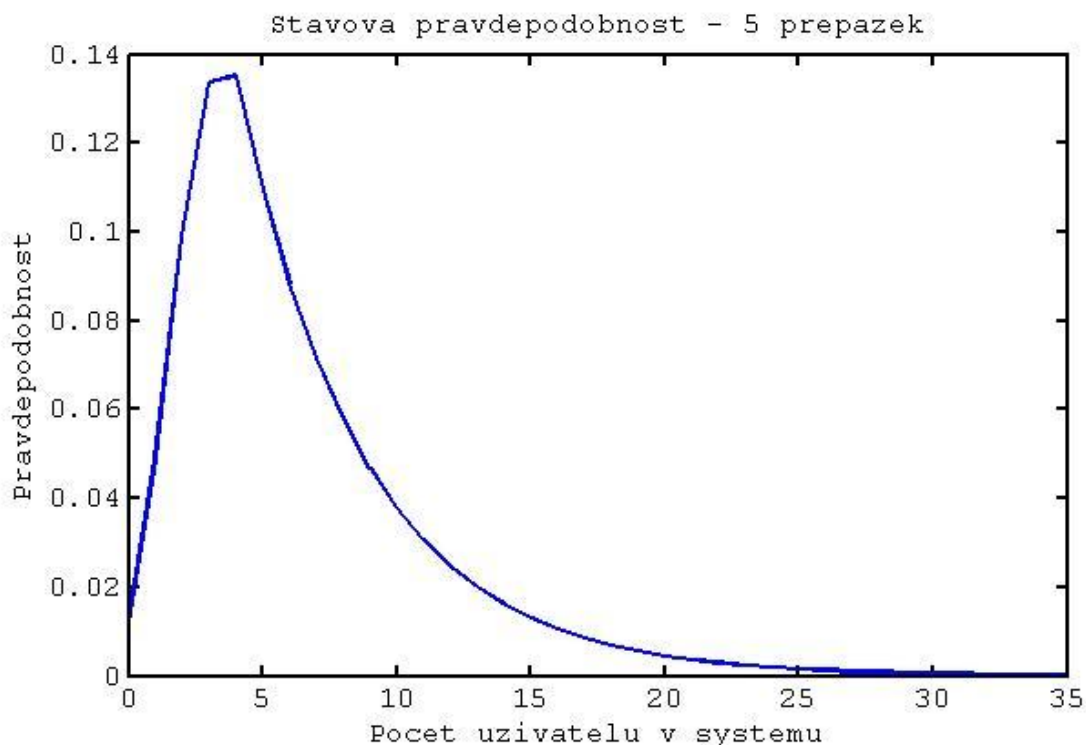
Z výše uvedeného grafu jasně vyplývá, že v okamžiku, kdy klesne počet přepážek na 4 a méně se zvyšují „šance“ na ztrátu zákazníka a rovněž doba čekání zákazníků ve frontě stoupá nad zvolenou mez.

Podívejme se na tuto situaci podrobněji a analyzujme si průběh pravděpodobnosti, že v systému bude i cestujících.

Zvolíme-li počet přepážek 4 (jak ukazuje předchozí graf), výsledný průběh psti vypadá takto:

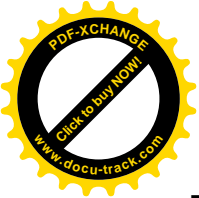


Jak vidíme, není tento stav ideální, neboť pravděpodobnost, že bude fronta nasycená a tím přijdeme o zákazníka je poměrně vysoká, neboť funkce, zobrazující průběh psti má maximum právě na okraji posuzované množiny (34 cestujících v celém systému). Zvýšme tedy počet přepážek na 5.



Situace, kdy zvýšíme celkový počet přepážek na 5, je podstatně příznivější z uživatelského hlediska, ale i z hlediska ušlých příležitostí. V tomto nastavení systému je nejpravděpodobnější možnost, že bude v systému 5 zákazníků, což znamená, že délka fronty se bude s největší pravděpodobností pohybovat okolo čísla 0 až 2.

Výsledek = 5 přepážek



Dopravní krize

Intenzita vstupního toku:

Intenzitu vstupního toku, použitou v minulém případě vynásobíme pěti, což odpovídá poptávce po železniční přepravě, vzniklé po uzavření letového prostoru nad Evropou po erupci islandského vulkánu Eyjafjallajökull.

$\lambda = 1415$ zák/h, což odpovídá intervalu příchodu zákazníků cca 2,5 s

Intenzita obsluhy:

Data převezmeme z minulého příkladu

$\mu = 70$ zák/h, což odpovídá intervalu obsluhy cca 51 s

Kritická doba čekání:

Kritickou dobu čekání jsme zvolili vzhledem k mimořádné situaci a tudíž tolerantnějšímu postoji zákazníků 0,5 hod, což odpovídá 30 min.

Zadáno:

Zadej hodnotu intenzity vstupního toku 1415

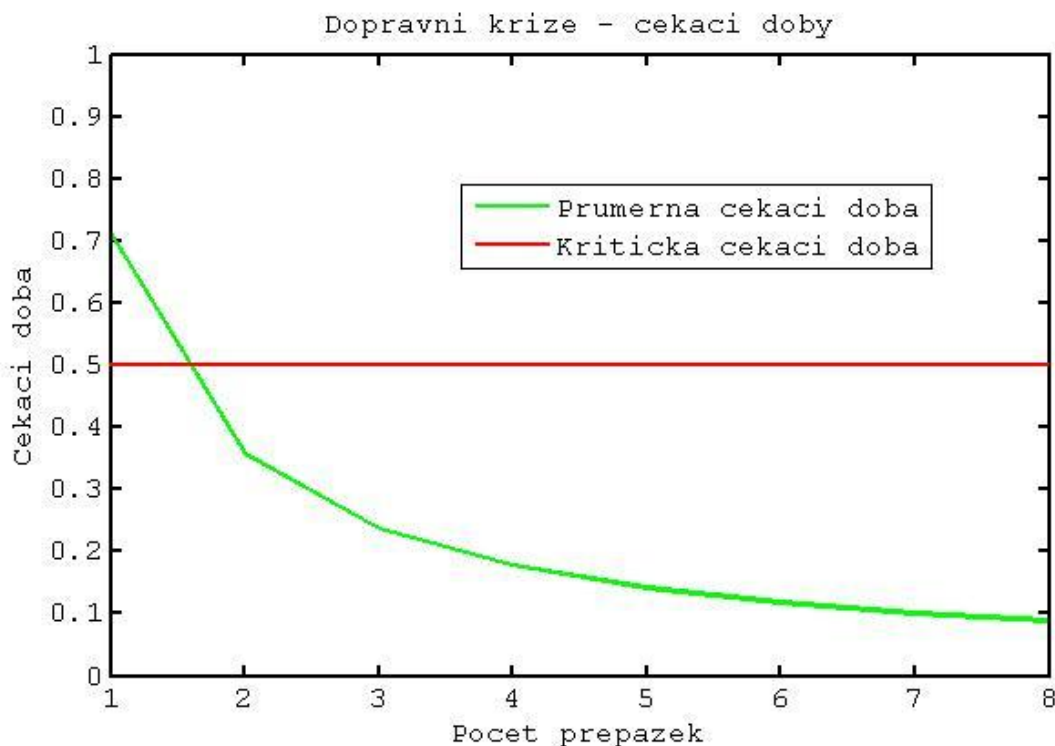
Zadej hodnotu intenzity obsluhy 70

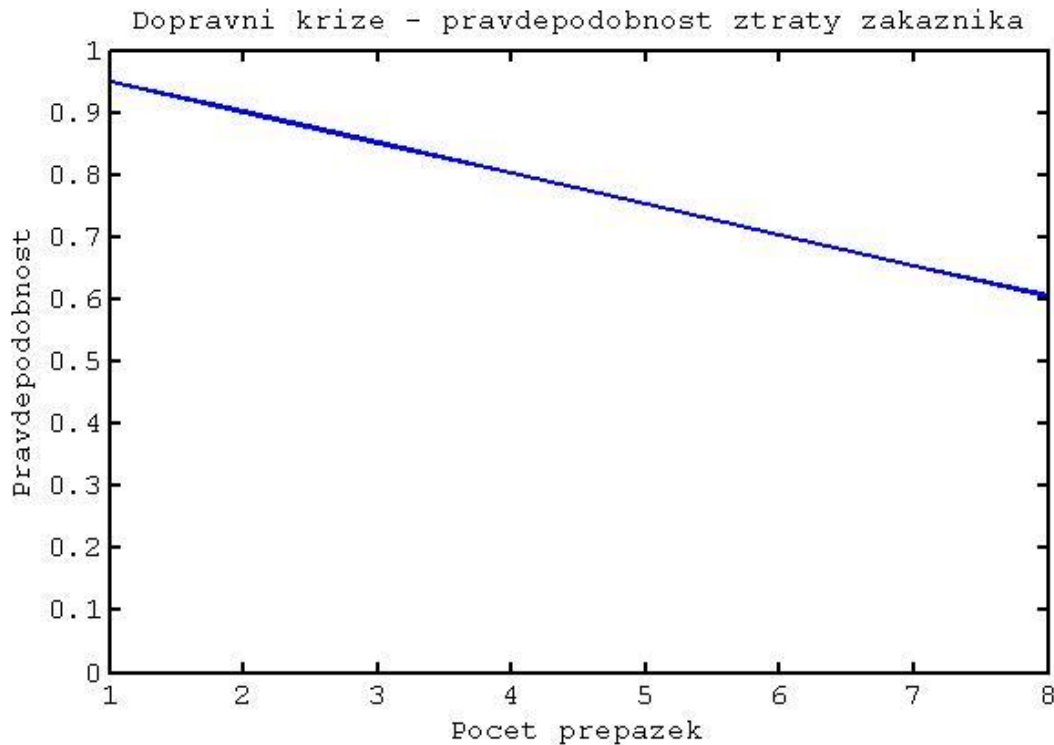
Zadej kapacitu zásobníku 50

Zadej kritickou čekací dobu 0.5

Zadej maximální počet prepazek 8

Výsledek:





Jak je patrné z výše uvedeného grafu, ČD Centrum na takovou poptávku skutečně dimenzováno není, i při obsazení všech osmi pokladen nastane přibližně 60 % ztráta zákazníků, kteří buď pojedou bez jízdenky nebo zvolí jiný druh dopravy (pravděpodobně v tomto případě autobus), nicméně ti zákazníci, kteří si frontu vystojí jsou obslouženi poměrně rychle, tedy během cca 5ti minut. Řešením by bylo pouze zvýšit počet přepážek, příp. některé přepážky určené pro vnitrostátní odbavení upgradovat na mezinárodní, což ovšem naráží na technické problémy. Zvýšení kapacity zásobníku přinese efekt nižší pravděpodobnosti ztráty zákazníka pouze krátkodobě, po ustálení stavu je pravděpodobnost ztráty zákazníka na velikosti zásobníku nezávislá. Lze-li ovšem očekávat příchod cestujících nepravidelný (ve vlnách), mohla by zvýšená kapacita zásobníku vzniklé situaci pomoci.

Výsledek = maximum přepážek = 8 přepážek

Závěr

Cílem této semestrální práce bylo navrhnout nastavení odbavovacího systému v ČD Centru na pražském hlavním nádraží. Postupně byly vypracovány simulace provozu ve třech rozdílných provozních situacích a vždy byla zvolena optimální varianta. Tento systém je rozhodně uživatelsky příjemnější a efektivnější, než systém původní, tedy individuální fronty u každé pokladny.