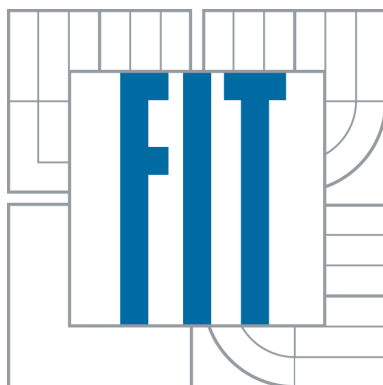


# FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Studie účelnosti zbudování vodní cesty Dunaj-Odra-Labe – zadání č. 2

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>2</b>
1.1	Autoři . . . . .	2
1.2	Ověřování validity modelu . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Rozbor tématu</b>	<b>2</b>
2.1	Popis použitých postupů . . . . .	3
2.2	Popis použitých technologií . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Koncepce modelu</b>	<b>4</b>
3.1	Forma konceptuálního modelu . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Architektura simulačního modelu</b>	<b>5</b>
4.1	Návrh objektově orientovaného modelu . . . . .	5
4.2	Načítání trasy a transportovaného objemu . . . . .	7
<b>5</b>	<b>Podstata simulačních experimentů a jejich průběh</b>	<b>7</b>
5.1	Popis použití simulátoru . . . . .	7
5.2	Dokumentace jednotlivých experimentů . . . . .	8
<b>6</b>	<b>Závěr</b>	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>Reference</b>	<b>10</b>

# 1 Úvod

Cílem zadaného projektu bylo prostudovat zdroje, zabývající se účelností vybudování vodního koridoru Dunaj-Odra-Labe, a podle zjištěných údajů stanovit kvalifikovaný odhad roční poptávky po lodní přepravě mezi zvolenými uzly.

Součástí zadání bylo také navrhnout a implementovat model SHO (Systém hromadné obsluhy – IMS přednášky [1] slide č. 139) dopravní cesty, včetně stavebních prvků.

## 1.1 Autoři

Autory projektu jsou Roman Blanco (xblanc01) a Adam Jež (xjezad00) – studenti 3. ročníku bakalářského studia na Fakultě Informačních technologií VUT v Brně. Prioritním zdrojem informací týkajících se zadaného tématu byly veřejně přístupné zdroje. Některé informace nám byly poskytnuty autory projektu zabývajícího se výstavbou koridoru.

## 1.2 Ověřování validity modelu

Ověřování validity modelu probíhalo pomocí experimentů, a to simulací ve virtuálním prostředí (Validace modelu – IMS přednášky [1] slide č. 37). Ověřovalo se, zda modelová situace odpovídá reálné situaci, přičemž informace byly čerpány pouze z věrohodných zdrojů. Jelikož reálný systém, určený simulovaným modelem, v současné době neexistuje, jako validní jsme model prohlásili na základě informací získaných z těchto zdrojů.

# 2 Rozbor tématu

Informace, potřebné pro úspěšnou implementaci byly vyhledány na veřejně přístupných stránkách na internetu. Problémem při využívání těchto zdrojů byla skutečnost, že mnoho informací, bylo uvedeno pouze v sumarizovaných hodnotách za období celého roku. Pro některé hodnoty tak musel být použit kvalifikovaný odhad, podpořený údaji čerpanými ze statistik a dalších databází. Mimo již zmíněných veřejně přístupných webových stránek nám také často jako zdroj údajů posloužily diplomové či bakalářské práce. Níže je uveden souhrn hodnot, které jsme tímto způsobem získali:

Hodnoty týkající se plavební komory:

- doba uzavření vrat plavební komory je 60 sekund
- doba otevření vrat plavební komory je 30 sekund
- doba vplutí do plavební komory je 516 sekund
- doba vyplutí z plavební komory je 355 sekund
- nízká plavební komora je taková, u níž výškový rozdíl mezi hladinami toku před a za komorou není větší než 12.5 m. Pokud plavební komora vyrovnává výšku hladiny přesahující 12.5 m, nazýváme ji vysokou plavební komorou
- napuštění nebo vypuštění 1 výškového metru nízké plavební komory odpovídá doba 40 s
- napuštění nebo vypuštění 1 výškového metru vysoké plavební komory odpovídá doba 25,45 s

Hodnoty týkající se plavby v tunelu:

- bezpečná rychlost lodi při plavbě v tunelu je 2,22 m/s
- hranice, kdy se začne aplikovat seskupování je 3470 m (Studie projektu [3] – stana č. 48).

Hodnoty týkající se plavby v akvaduktu:

- rychlost při plavbě v tunelu je 2,77 m/s
- hranice, kdy se začne aplikovat seskupování je 2090 m

Obecné hodnoty při plavbě:

- rychlost plavby v kanálu je 3,33 m/s
- rychlost plavby po proudu toku řeky je 4,16 m/s
- rychlost plavby proti proudu toku řeky je 1,66 m/s
- maximální náklad lodi je 4000 tun

Dále jsme také pracovali s těmito informacemi:

- tunely jsou navrhovány jako jednolodní, tedy lodi v tunelu se nemohou pohybovat proti sobě. Lodě, které se chystají projet tunelem stejným směrem se mohou seskupit za účelem zrychlení plavby (Kniha [6] – strana č. 157)
- je plánovaná vodní třída Vb, kde mohou plout motorové nákladní lodě o nosnosti 2500 tun, nebo menší říční-námořní lodě a tlačné soupravy s nosností 4000 tun (Kniha [6] – strana č. 136)
- provoz plavebních komor je 24 hodin denně (Studie projektu [3] – strana č. 38)

Velmi dobrým zdrojem informací o plánované trase koridoru byly materiály volně dostupné na internetové stránce projektu, který se problematikou vodního koridoru Dunaj-Odra-Labe dlouhodobě intenzivně zabývá, a také literatura [6], kterou nám poskytli její autoři.

## 2.1 Popis použitých postupů

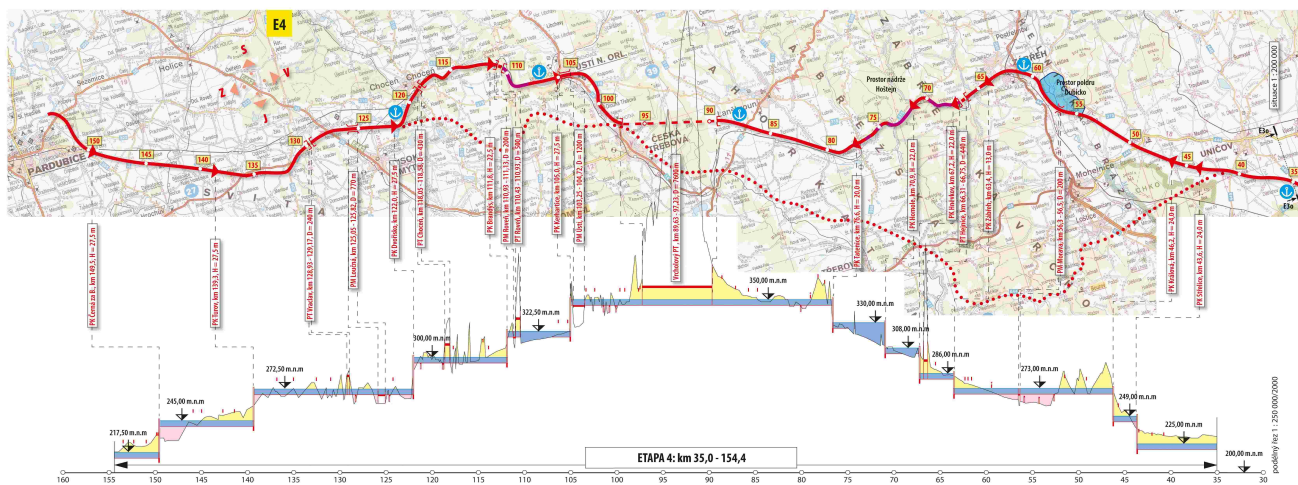
V literatuře i na webových stránkách byly zobrazeny všechny části plánovaného koridoru s potřebnými údaji o trase:

- délky tunelů
- délky akvaduktů
- výškové rozdíly u plavebních komor

V knize byl také údaj určující, na kolikátém kilometru se stavební prvky nachází, z čehož bylo možné určit vzdálenosti mezi těmito prvky a tedy i délky úseků řek. (obrazek. č 1). Označeny nebyly pouze polohy přístavů, tedy přibližná poloha přístavů byla odhadnuta pomocí blízkých stavebních prvků.

## 2.2 Popis použitých technologií

- C++ [cplusplus.com](http://cplusplus.com)
- SIMLIB [www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/](http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/)
- g++ [www.cprogramming.com/g++.html](http://www.cprogramming.com/g++.html)
- GNU/Linux, distribuce Fedora, Ubuntu [fedoraproject.org/](http://fedoraproject.org/), [ubuntu.com](http://ubuntu.com)



Obrázek 1: Ukázka jedné etapy koridoru z poskytnuté literatury

### 3 Koncepte modelu

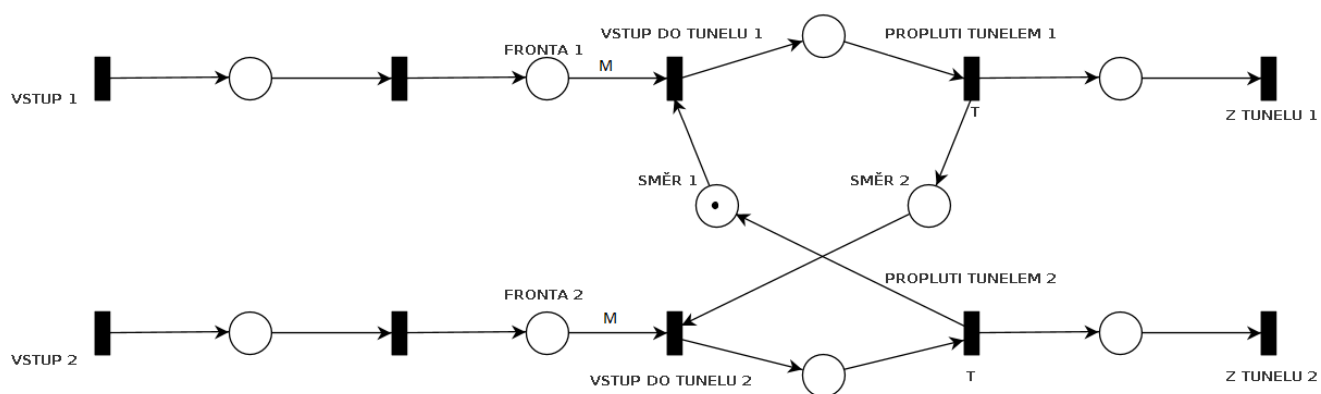
### 3.1 Forma konceptuálního modelu

Petriho síť na obrázku č. 2 zobrazuje mechanismus proplutí tunelem (stejný mechanismus lze aplikovat při proplování mostu). Proměnná  $M$  udává počet lodí, které mohou vplout do tunelu zároveň. Ve téměř všech tunelech je tato proměnná rovna 1. Výjimkou je tunel *Vrcholový*, a to kvůli své délce – 7600 metrů. U tohoto tunelu je proměnná  $M$  nastavena na hodnotu 3

a to zejména kvůli blízkým plavebním komorám. Nastavení vyšší proměnné tak sníží časovou ztrátu lodí při následném překonávání plavebních komor. Hodnota je určena na základě tabulky ve studii (Studie projektu [3] – stana č. 48).

počet lodí v závěsu	1	2	3	4	5	6	7
$L_{mez}$ pro jednoduché pl. k. (km)	3,47	6,94	10,42	13,89	17,36	20,83	24,30
$L_{mez}$ pro dvojité pl. k. (km)	1,63	3,26	4,88	6,51	8,14	9,77	11,40

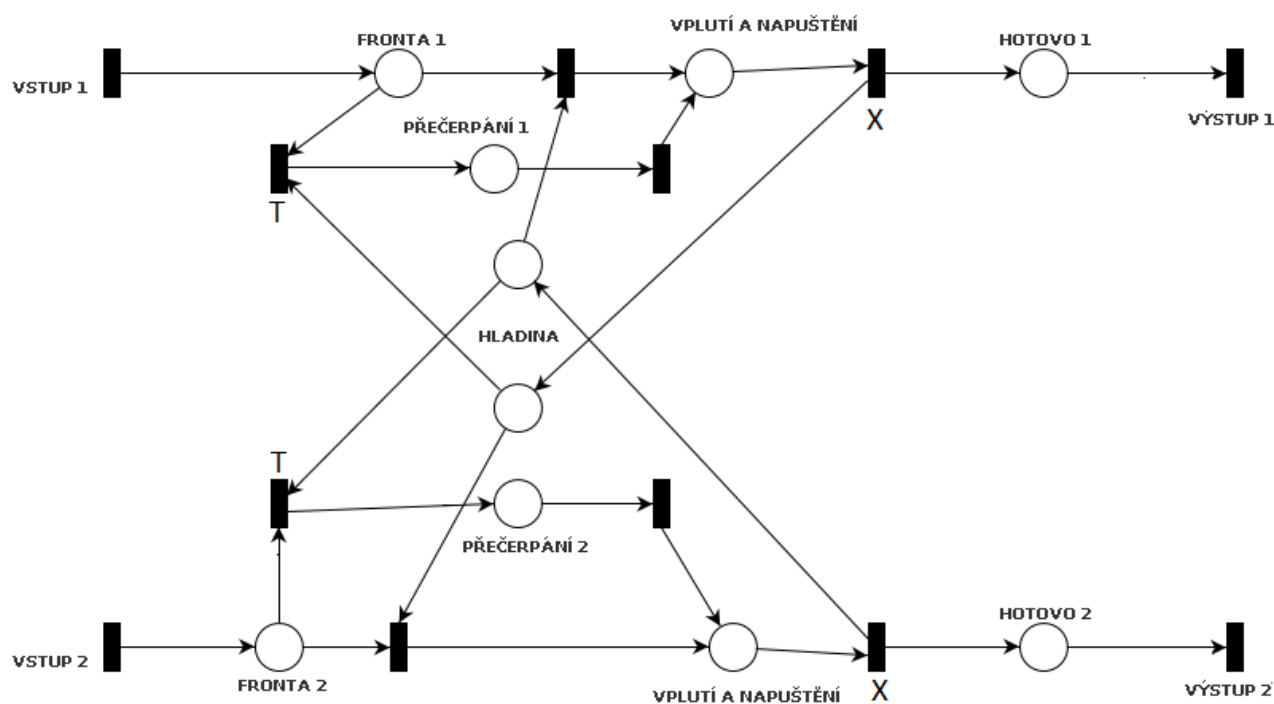
Proměnná  $T$  udává čas potřebný k proplutí tunelu. Tento čas je určený délkou tunelu a bezpečnou rychlostí v těchto jednolodních tunelech, která činí 8 km/h (Studie projektu [3] – strana č. 47, poznámka pod čarou). Pro jednoduchost byl v petriho síti zanedbán mechanismus, který je pro správné fungování simulace nutný – timeout. Po určité době bez proplutí lodě se směr tunelu automaticky změní. Doba byla navržena jako dvojnásobek proplouvací doby.



Petriho síť na obrázku č. 3 zobrazuje mechanismus proplutí plavební komorou. Proměnná  $X$  určuje čas, za který:

1. loď vpluje do komory
2. zavřou se vrata komory
3. naplní se komora
4. otevřou se vrata
5. loď vypluje z komory

Kromě naplnění komory jsou všechny konstanty získané ze studie[3] (Studie projektu - strana č.46-47). Doba napuštění (popř. vypuštění – časy jsou totožné) se odvíjí od výšky, kterou komora pomáhá překonávat. Doba naplnění jednoho metru v komoře byla zjištěna ze studie[3] (Studie projektu - strana č. 44). Rozlišuje se také mezi vysokými a nízkými plavebními komorami. Ve vysokých komorách se může voda plnit rychleji. Proměnná  $T$  udává čekací dobu, po kterou, pokud není plavební komora nijak využita, je komora přečerpána kvůli čekajícímu plavidlu na opačné hladině, než je aktuální hladina komory. Hodnotu proměnné  $T$  jsme určili experimentováním.



Obrázek 3: Petriho síť proplutí plavební komorou

## 4 Architektura simulačního modelu

Následující kapitola pojednává o implementační části projektu. Pro pochopení implementace je potřeba mít alespoň minimální znalosti jazyka C++ a objektově orientovaného programování. K umožnění experimentů s reálným systémem bylo nejprve nutno z nabytých znalostí vytvořit abstraktní model a poté simulační model (Princip Modelování a simulace – IMS přednášky [1] slide č. 9-10).

## 4.1 Návrh objektově orientovaného modelu

Všechny prvky (stavební prvky, řeka), které mají značný časový vliv na dobu plavby lodě, mají svou vlastní třídu.

- třída **WaterItem**

jedná se o abstraktní třídu, z níž jsou zděděny všechny prvky vodní cesty. Třída se stará o odchytávání statistik pomocí metod **Start** a **End**. Dále třída obsahuje dvě fronty – každá fronta pro jeden směr plavby.

Rozhraní třídy vyžaduje implementaci metod **getType** a **getLegth**. Sémantikou metody **getType** je vrácení typu prvku vodní cesty, **getType** analogicky vrací jejich délky.

- třída **Chamber**

tato třída je abstrakcí plavební komory. Dědí výše popisovanou třídu **WaterItem**.

Metody implementované v ní jsou **seize**, **release** a **performAction**.

Metoda **seize** se stará o povolení vjezdu lodi do plavební komory a zabránění dalším lodím využít komoru ve chvíli kdy je obsazena. Pokud se hladina plavební komory neshoduje s hladinou po které přijíždí loď, je loď zařazena do fronty a je nastaven timeout, po jehož uplynutí se plavební komora naprázdno přečerpá, pokud není do doby vypršení timeoutu plavební komora využita. Metoda **performAction** vykoná úkon vplutí do komory, napuštění komory a vyplutí z ní.

Hodnota timeout nebyla ve zdrojích nalezena, a bylo nutno ji odhadnout na základě experimentů. Hodnota je dvojnásobkem doby pro proplutí plavební komorou.

U dalších tříd je účel této metody stejný.

Metoda **release** zařídí případné aktivování dalšího plavidla ve frontě.

- třídy **Tunel** a **Bridge**

také obsahuje metody **seize**, **performAction** a **release**. Rozdíl u metody **seize** je, že lodě se střídají v proplouvání tunelem. Na základě délky tunelu (či mostu) se lodě seskupují.

- třídy **Channel**, **Port** a **River**

třídy implementují pouze metodu **performAction**, v níž se počítá doba proplutí daným místem. Speciálně u třídy **River**, která je abstrakcí tekoucí řeky, jsme brali v úvahu i směr toku.

- třída **CargoShip**

Dědí od třídy **Process** z knihovny **SIMLIB**. Implementuje metodu **behaviour**, ve které podle typu právě proplouvaného prvku vyvolá odpovídající akci. Objekt této třídy má daný počáteční i koncový uzel symbolizující přístav.

## 4.2 Načítání trasy a transportovaného objemu

Třídy načítají údaje o trase ze zdrojových souborů ve složce *input*.

V souboru *info.tsv* jsou uloženy informace o všech prvcích vodní trasy. Typ každého prvku je určen identifikátorem, podle něhož se dále rozhoduje o způsobu zacházení se souvisejícími údaji.

V souboru *connections.tsv* jsou dvojice identifikátorů jejichž prvky se nachází v trase bezprostředně za sebou.

Dále jsou zde konfigurační soubory, které určují trasu a převezený objem za rok. Jednotkou je 1000 tun.

## 5 Podstata simulačních experimentů a jejich průběh

Za cíl jsme si stanovili zjistit propustnost simulovaného vodního koridoru. Simulovali jsme 3 různé scénáře a porovnáním zjišťovali jejich vliv na časovou náročnost dané trasy.



## 5.1 Popis použití simulátoru

**make** přeloží aplikaci a vytvoří spustitelný soubor

**make run** spustí aplikaci s 6 různými scénáři, výstup je uložen do 6 souborů ve stejné složce jako **Makefile**. Názvy souborů odpovídající spuštěnému scénáři a mají koncovku **.out**. Soubory obsahují histogram pro stavební prvky koridoru.

Na konci souborů jsou vypsané jednotlivé trasy vypsané jako histogram.

Pod výpisi se nachází statistiky k frontám daného stavebního prvků

**make clean** odstraní veškeré soubory vytvořené příkazy **make** a **make run**

## 5.2 Dokumentace jednotlivých experimentů

Scénář TREND – Prognóza objemu přepravy (Analýza hospodářského potenciálu [4] – strana č. 226)

	rok 2020	rok 2050
Hodonín - Otrokovice	7470 tis. t	10280 tis. t
Otrokovice - Přerov	7600 tis. t	14600 tis. t
Přerov - Mošnov	8100 tis. t	11150 tis. t
Mošnov - Ostrava	6520 tis. t	8970 tis. t
Přerov - Olomouc	4850 tis. t	6680 tis. t
Olomouc - Pardubice	4740 tis. t	6530 tis. t

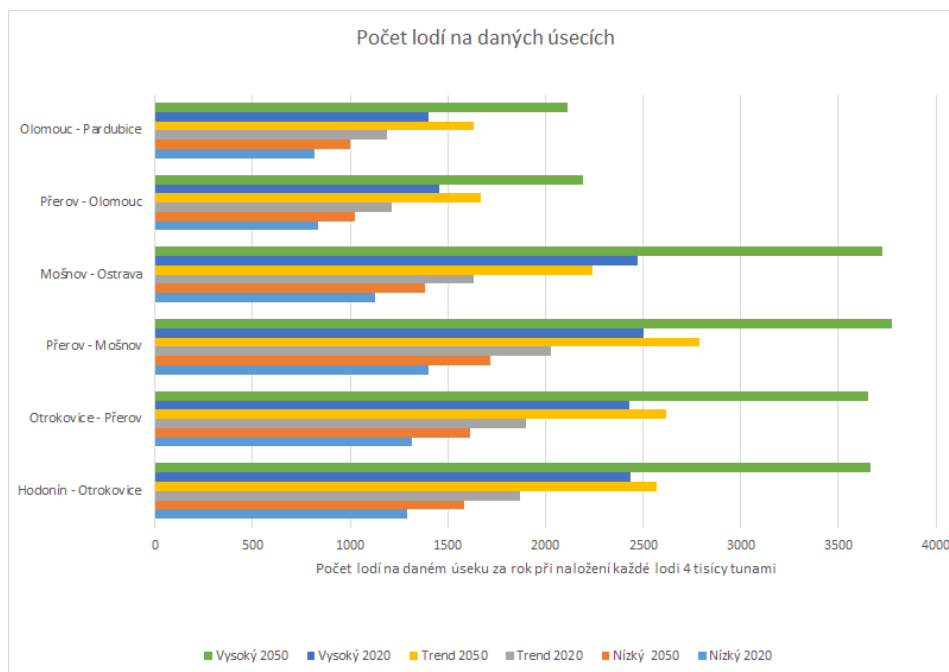
Scénář VYSOKÝ – Prognóza objemu přepravy (Analýza hospodářského potenciálu [4] – strana č. 230)

	rok 2020	rok 2050
Hodonín - Otrokovice	9730 tis. t	14660 tis. t
Otrokovice - Přerov	9710 tis. t	14620 tis. t
Přerov - Mošnov	10020 tis. t	15090 tis. t
Mošnov - Ostrava	9890 tis. t	14900 tis. t
Přerov - Olomouc	5820 tis. t	8770 tis. t
Olomouc - Pardubice	5610 tis. t	8450 tis. t

Scénář NÍZKÝ – Prognóza objemu přepravy (Analýza hospodářského potenciálu [4] – strana č. 230)

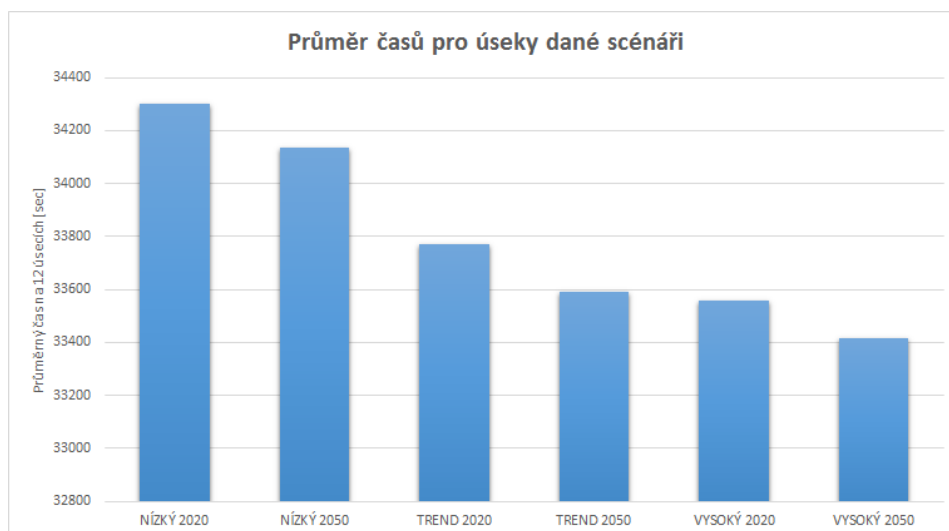
	rok 2020	rok 2050
Hodonín - Otrokovice	5170 tis. t	6340 tis. t
Otrokovice - Přerov	5260 tis. t	6450 tis. t
Přerov - Mošnov	5610 tis. t	6880 tis. t
Mošnov - Ostrava	4500 tis. t	5530 tis. t
Přerov - Olomouc	3340 tis. t	4090 tis. t
Olomouc - Pardubice	3260 tis. t	4000 tis. t

Maximální nosnost tlačných souprav na trati tohoto koridoru je 4000 tun. Tento údaj vychází z vodní třídy Vb jak bylo uvedeno již výše. S tímto předpokladem a plánovaným objemem přepravy jsme vyčíslili počet tlačných souprav, který bude potřebný k převezení daného objemu (viz obrázek č. 4)



Obrázek 4: Počet lodí na daných úsecích

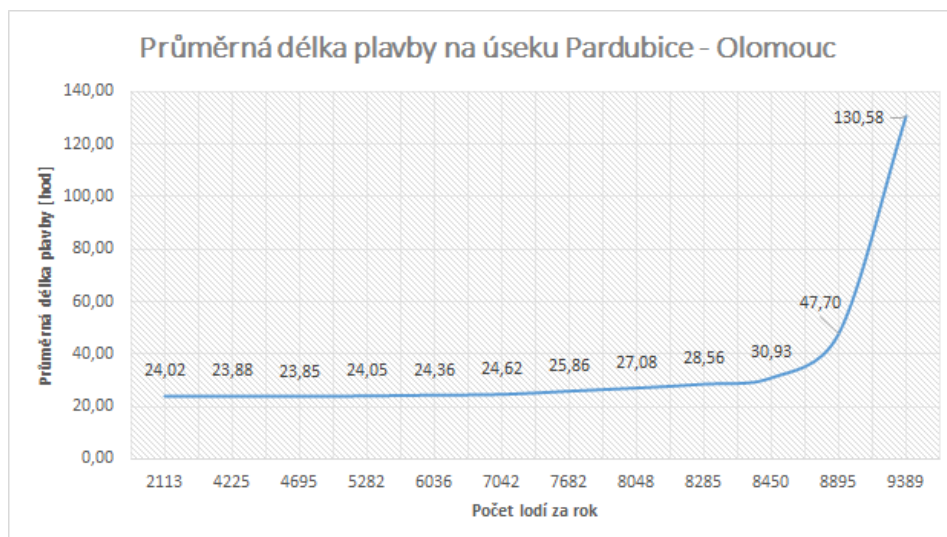
Graf na obrázku č. 5 je zobrazen průměrný čas plavby lodí s daným scénářem, vyprůměrovaný z jednotlivých úseků. Může se zdát matoucí, že průměrný čas plavby s počtem lodí klesá, avšak tento jev způsobuje, že u komor dojde k timeoutu – jelikož lodě čekající u plavebních komor příliš dlouho, jsou komory přečerpány naprázdno. Větší počet lodí tedy zvyšuje šanci setkání páru lodí u plavební komory. Směr lodí na úsecích je dán poměrem 50:50. Lodě jsou generovány na základě exponenciálního rozložení (Exponenciální rozložení – IMS přednášky [1] slide č. 91)



Obrázek 5: Průměr časů pro úseky dané scénáři

Na grafu číslo 6 je zobrazena průměrná délka plavby. Pro zjištění maximální únosné propustnosti jsme si vybrali úsek Pardubice – Olomouc, jelikož tento úsek je proložen největším počtem plavebních komor a také největším tunelem s délkou 7600 metrů.

Z grafu lze vyčíst, že hraniční počet lodí při kterém doba plavby roste jen mírně, se pohybuje okolo hodnoty 85000 lodí za rok. Za touto hranicí se u plavebních komor a tunelů začínají tvořit velké frony. Tato hraniční hodnota je přibližně čtyřnásobek očekávaného počtu lodí ve vysokém scénáři na rok 2050



Obrázek 6: Průměrná délka plavby

## 6 Závěr

V této dokumentaci byla studována simulace ve vodním koridoru. Ověřili jsme validitu modelu, ve kterém jsme testovali, zda chování simulovaného systému odpovídá reálné situaci.

Provedli jsme mnoho experimentů, z nichž vyplývá, že výstavba koridoru bude stačit přepokládanému vytížení. Dle našich výsledků by měl být koridor schopný snést až 4-krát vyšší vytížení, než bylo plánováno ve scénáři pro vysoký scénář v roce 2050 pro daný úsek, bude-li zachována přípustné doby plavby.

Z důvodu velkého množství experimentů byly pro potřeby dokumentace vybrány pouze ty nejpodstatnější.

## 7 Reference

- [1] Peringer, P.: Modelování a simulace, Přednášky. Brno, Zář 2014
- [2] Mapy s etapami výstavby koridoru  
<http://d-o-l.cz/index.php/cs/kestazeni/category/14>
- [3] Studie projektu výstavby vodního koridoru D-O-L, Ministerstvo průmyslu a obchodu  
<http://d-o-l.cz/index.php/cs/kestazeni/category/6>
- [4] Analýza hospodářského potenciálu dopravního koridoru  
<http://d-o-l.cz/index.php/cs/kestazeni/category/27>
- [5] Plánovaná trasa koridoru zaznačená v Google Maps  
<http://povodne.aspone.cz/Maps/dol.html>
- [6] Podzimek, J., : Křižovatka tří moří, Vodní koridor Dunaj-Odra-Labe, vydání 2., In:Hejkal, 2012, ISBN: 978-80-254-0105-7