

Technická správa k projektu  
Studie účelnosti zbudování vodní cesty  
Dunaj-Odra-Labe

Vypracovaná v rámci predmetu  
Modelování a simulace

6. decembra 2014

Ivan Ševčík (xsevci50)  
Ivan Straka (xstrak25)

## 1. Úvod

V tejto práci je riešená implementácia modelu ([6] str. 7) plánovaného vodného koridoru Dunaj-Odra-Labe (ďalej iba koridor DOL), ktorá bude využitá pre zostavenie simulačného modelu ([6] str. 44) tvoreného riečnou sieťou, významnými stavebnými dielami a plavidlami.

Na základe experimentov ([6] str. 9) bude ukázané predpokladané využitie koridoru DOL v jednotlivých rokoch, zistená jeho maximálna prepravná kapacita s ohľadom na priepustnosť a určený rok, kedy bude dosiahnutá táto maximálna kapacita spolu s úzkym miestom. Ďalej sa práca bude zaoberať aj rentabilitou koridoru DOL, teda či a kedy bude dielo splatené zo ziskov ním vytváraných.

Experimenty majú za úlohu preukázať zmysluplnosť výstavby koridoru DOL so zameraním na prepravné a finančné aspekty, keďže na dielo sa dá nahliadať napríklad aj z pohľadu vodohospodárstva alebo ochrany proti povodniam. Taktiež majú za úlohu preveriť navrhované koncepty z hľadiska účelnosti, teda či sú schopné plniť funkciu a to nielen po dostavbe, ale aj v časovom horizonte ďalších desaťročí.

### 1.1 Autori a použité zdroje

Na práci sa ako autori podieľali Ivan Ševčík a Ivan Straka. Pri vypracovaní boli použité dostupné štúdie, dokumenty a iné zdroje informácií, ako napríklad mapky, získané z internetu. Ich zoznam je uvedený na konci tohto dokumentu.

### 1.2 Overenie validity modelu

Keďže sa jedná o plánovaný vodný koridor, nie je možné stanoviť presné hodnoty pre množstvo parametrov a je nutné sa riadiť len predpokladmi a odhadmi. Tie vznikajú často na základe analýzy podobných projektov, teoretických výpočtov a prognóz. Práve nimi sa zaoberá podrobná štúdia ([1]), ktorá sa stala nosnou pre túto prácu.

Hodnoty ako rýchlosť plavby na riečnom úseku, doba strávená v plavebnej komore, spôsob plavenia sa cez plavebný tunel alebo most, nosnosť a typ riečnych lodí a ďalšie, sú teda založené na faktoch. Taktiež, aj keď ešte stále nie je rozhodnuté o definitívnej podobe koridoru DOL a existuje viacero variant, sú dostupné informácie o umiestnení stavebných diel na konkrétnych riečnych kilometroch.

Problémové je však virohodne určiť prepravné využitie čo i len v aktuálnom desaťročí, keďže trh a ekonómia sú veľmi dynamické. Táto práca sa napriek tomu aj tak o to pokúsi a zdrojom jej budú mnohé štatistiky o existujúcich prepravných ťahoch.

## 2. Rozbor témy a použitých metód

Koridor DOL je plánovaný projekt, ktorý má za úlohu prepojiť tri veľké stredoeurópske rieky a umožniť tak efektívnu prepravu tovarov lodnou dopravou. Koridor DOL pozostáva z troch vetiev, ktoré sa spájajú v oblasti mesta Přerov ([8]). Prepojenie má nastať vybudovaním prieplyvných úsekov v štyroch etapách, ktoré budú zahŕňať aj stavby typu plavebná komora, plavebný tunel a plavebný most, prístav alebo prekladisko, zdrže a ďalšie ([1] str. 41). Z pohľadu tejto práce sú mimoriadne významné prvé tri, pričom prístav je tiež zahrnutý, ale má len funkciu zdroja a cieľa prepravy.

## 2.1 Zhromaždenie faktov

Pre vytvorenie validného ([6] str. 37) modelu je potrebné mať dostatočné množstvo informácií o vzore v reálnom svete. Preto sa táto časť práce zaoberá zhromaždením faktov, o ktoré sa bude v ďalších častiach opierať.

### 2.1.1 Parametre koridoru a stavieb

U plavebnej komory je najdôležitejší parameter výška rozdielu hladín, ktorý vyrovnáva. Od toho sa odvíja čas potrebný pre preplavenie sa komorou ako aj samotné technologické vybavenie a výstavba. Plavebné komory sa podľa tohto kritéria delia na vysoké (nad 12,5 metra) a nízke (do 12,5 metra) ([1] str. 38). Horná hranica pre výšku plavebných komôr na koridore DOL bola určená na 27,5 metra ([1] str. 32). Rýchlosť zmeny hladiny vody v nízkych plavených komorách je 1,5 metra za minútu a vo vysokých plavebných komorách 2,36 metrov za minútu. Doba vplávania lode do komory je 516 sekúnd, uzatváranie vrát na komore trvá 60 sekúnd, otváranie dolných vrát 30 sekúnd (horné vráta sa otvárajú už počas vyrovnávania hladiny, čiže nedochádza k zdržaniu) a vyplávanie lode z komory 355 sekúnd ([1] str. 44). Plavebné komory je možné zdvojiť či dokonca strojiť, čím sa zvyšuje ich priepustnosť.

Plavebný most môže byť buď obojsmerný, vtedy je len potrebné obmedziť rýchlosť plavby, alebo jednosmerný, kedy je nutné riadiť premávku a jednotlivé smery sa striedajú ([1] str. 35). Obyčajne však dĺžka mosta neumožňuje výrazné prepravné obmedzenie v porovnaní s plavebnými komorami. Maximálna prípustná rýchlosť na plavebnom moste je 10,19 km/h ([1] str. 37).

Plavebný tunel je výhradne jednosmerný a podľa dĺžky sa delí na krátky a dlhý, pričom hranica medzi nimi je určená relatívne k priepustnosti plavebných komôr. Dlhý plavebný tunel je potom taký, ktorý má nižšiu priepustnosť ako plavebné komory na danom úseku ([1] str. 47). U dlhých plavebných mostov je nutné plavidlá zoskupovať, aby sa preplavili tunelom v jednom smere naraz a tým zvýšili priepustnosť ([1] str. 48). Maximálna prípustná rýchlosť v plavebnom tunely je 9,28 km/h ([1] str. 37).

Koridor môže byť využívaný ako na nákladnú, tak osobnú prepravu. Očakáva sa však takmer výhradné využívanie nákladnou dopravou, keďže doba plavby je pre osobnú prepravu nevhodná. Po vybudovaní bude zodpovedať vodnej ceste typu  $\nabla b$  ([1] str. 28), ktorá umožňuje plavbu tlačným zostavám v zapojení 1+1+1, teda dva krát typový čln Európa 2 alebo podobný a remorkér, zapojené za sebou. Zostava tohto typu má nosnosť 4000 ton ([1] str. 28).

Maximálna rýchlosť plavby na voľných úsekoch koridoru je daná profilom vodnej cesty. V prípade koridoru DOL je teoretická hodnota približne 13 km/h ([1] str. 34), no merania na projekte podobného typu – vodný koridor Rýn-Mohan-Dunaj (ďalej len koridor RMD) ukazujú, že rýchlosť plne naloženej lode sa pohybuje okolo 11 km/h a prázdne lode sa plavia až 14 km/h ([1] str. 34).

### 2.1.2 Analýza komodít a nákladnej prepravy

S ohľadom na špecifiká vodnej cesty D-O-L boli vytýčené podľa štatistík OECD (organizácia pre ekonomiu a rozvoj) ([1] str. 103) a podľa rozdelenia priemyslu v ČR ([4]), tieto prepravované suroviny: kovy, rudy, šrot, pevné palivo, ropné produkty, chemické výrobky a iné. Do kategórie iné patria ostatné prepravované komodity diskutované v štúdiu ([1] str. 103). Chemický priemysel a s ním súvisiace spracovanie ropných produktov je sústredovaný do Pardubíc, Litvínova a Kolína ([2][3][4]). Kovy, rudy, šrot a pevné palivo sa

produkuje v oblasti Ostravy – nachádzajú sa tu napríklad firmy Třinecké železářny, ArcelorMittal Ostrava a Vítkovice Steel.

#### *Medzinárodný transport*

Tabuľka 1 (príloha A) detailne popisuje čistý odhad medzinárodného transportu v mil. ton za rok na jednotlivých vetvách koridoru. V tabuľke je tiež zachytený export z Českej republiky do jednotlivých krajín. V tabuľke možno vidieť celkovú dopravu po jednotlivých vetvách v oboch smeroch. Pre smer Labe – Dunaj je čistý odhad 6,298 mil. ton za rok, Odra-Dunaj 8,919, Dunaj-Labe 4,925 a Dunaj-Odra 5,833 mil. ton.

#### *Export*

Tabuľka 2 (príloha B) popisuje čistý odhad exportu z Českej Republiky do jednotlivých krajín a druh expedovaného tovaru. Zdrojové prístavy pre konkrétny druh tovaru sú popísané vyššie v sekcii 2.1.2.

#### *Import*

Detail importu z jednotlivých vetiev koridoru je zobrazený v tabuľke 3 (príloha C). Pre zjednodušenie sa ako cieľ uvažuje celá množina prístavov Českej republiky a následný výber je modelovaný rovnomerným rozložením pravdepodobnosti. Pre import z dunajskej a oderskej vetvy je uvažovaný ako možný cieľ aj koniec vetvy labe, teda smerom do zvyšných častí republiky.

#### *Vnútroštátna doprava*

Je možné odhadnúť, že vnútroštátna doprava sa bude týkať hlavne piesku, štrkopiesku a dreva. Celkový čistý odhad je 2,15 mil. ton za rok ([1] str. 107).

## 2.2 Použité postupy

Výsledný simulačný model v podobe konzolovej aplikácie využíva extenzívne knižnicu `SIMLIB` a jej simulačné nástroje ([6] str. 38). Jeho zdrojový kód je napísaný v jazyku `C++` podľa požiadaviek zadania. Využitie boli princípy objektovo orientovaného programovania ([6] str. 168) pre dosiahnutie požadovanej miery abstrakcie.

Koridor je reprezentovaný jednoduchým grafom, v ktorom stavebné diela sú reprezentované miestami a riečne alebo prieplavné spojenia cestami medzi nimi. Plavidlá pri svojej plavbe využívajú tohto grafu pre plavbu z počiatočného do cieľového miesta. Algoritmus pre hľadanie cesty je špecifický pre tento model a je daný hviezdicovým tvarom koridoru DOL.

## 2.3 Pôvod použitých technológií

Knižnica `SIMLIB` je voľne dostupná z internetu ([10]) a bola použitá v nemodifikovanej podobe vo verzii 3.02. Pre tvorbu grafov zo získaných hodnôt bol použitý program `Excel` a graf koridoru a petriho siete boli vytvorené pomocou programu `Visio`.

## 3. Koncepcia modelu a implementácie

Práca bude vychádzať z experimentálne nameraných hodnôt pre maximálnu prípustnú rýchlosť plavby, keďže parametrovo sú koridory DOL a RMD veľmi podobné a tým pádom hodnoty lepšie odzrkadľujú realitu než teoretické výpočty.

Plavebné komory, mosty a tunely budú modelované detailne tak ako boli popísané pri rozboře, keďže majú významný vplyv na výsledky experimentov.

Pri prepravnom modeli sa uvažuje výhradne s plavbou tlačných zostáv v zapojení 1+1+1. Takéto zovšeobecnenie bolo zvolené preto, lebo flotila českých nákladných plavidiel je tvorená prevažne loďami tohto typu ([7] str. 19) a trendy poukazujú na ich uprednostnenie oproti iným typom plavidiel. Zostavy budú vznikať podľa modelu prepravy v určitom počiatočnom mieste a zanikať v cieľovom mieste. Neuvažuje sa s návratom plavidla, keďže jednotlivé plavidlá nie sú identifikovateľné a predstavujú len prepravné ťahy. Navyše by bolo takmer nemožné určiť dobu, za ktorú sa plavidlo má vyplaviť na spätnú cestu ani jeho náklad a u plavidiel, ktoré vykonávajú okružné trasy, by takýto model nebol ani správny.

Pri simulácii ([6] str. 33) uvažujeme s plne dokončeným koridorom DOL, keďže až po dostavbe všetkých etáp môže začať plnohodnotne plniť svoju funkciu. Konkrétny rok dostavby pritom nie je podstatný, pretože neovplyvní samotný model, iba interpretáciu výsledkov.

Prepravný model je rozdelený do niekoľkých častí v závislosti od druhu transportu. Pre model sú dôležité body Odra, Labe, Dunaj, ktoré ohraničujú koridor a české prístavy Bohumín, Přerov, Hodonín, Brodské a Pardubice. Premávka lodí je rozdelená do medzinárodného transportu, českého importu a exportu a vnútroštátnej dopravy. Všetky spôsoby sú nižšie diskutované. Vývoj potreby lodnej prepravy v budúcnosti je ťažké odhadnúť, trendy ale naznačujú, že má stúpajúcu tendenciu ([1] str. 114). Pre model bol zvolený rast prepravy 2,5% ročne, čo je o niečo optimistickjší odhad ako pojednáva štúdia ([1] str. 114), no odpovedá predpokladanému vývoju dopravy na nemeckých vodných cestách. Predpokladá sa, že import a export Nemecka sa rovnomerne rozloží na labskú a oderskú vetvu ([1] str. 110).

Informácie o krajine pôvodu a cieľovej krajine medzinárodnej dopravy sú v modeli zanedbané, keďže štúdia ([1]) sleduje celkovú premávku na koridore. Pre model je však dôležité len po akej vetve a ktorým smerom preprava tovaru ide.

Export chemických komodít z okolia Pardubíc bude sústredený do a realizovaný prístavom v Pardubiciach. Export kovov, rúd, šrotu a pevného paliva sa bude sústreďovať do prístavu Bohumín, ktorý sa nachádza v oblasti Ostravy. Ostatné druhy priemyslu sú v Českej republike rovnomerne rozmiestnené ([4]) a pre zjednodušenie budú komodity generované rovnomerne zo všetkých prístavov a koncového bodu Labe, ktorý predstavuje export zo západných častí republiky, a cieľom ich prepravy bude iný vnútroštátny prístav alebo iná krajina, hlavne Poľsko.

### 3.1 Popis konceptuálneho modelu

V prílohe D je uvedený graf koridoru s jednotlivými miestami, podstatnými parametrami a umiestnením na danej vetve. Plavebné komory a jednosmerné mosty sú navyše znázornené na petriho sieťach v prílohách E a F. Petriho sieť pre tunel nie je uvedená z dôvodu jej komplexnosti a procedúra plavby bude popísaná len slovne.

Princíp jednosmerného lodného mosta spočíva iba v jeho zabratí pre plavbu v danom smere, ktorá trvá dobu  $T$ . Na konci tejto doby sa loď preplavila a prioritu plavby získava loď čakajúca v opačnom smere. Ak žiadna nečaká, umožní sa plavba lode v tom istom smere ako naposledy. Ak ani v tomto smere loď nečaká, plavebný most sa uvedie do voľného stavu a je pripravený byť použitý prvým plavidlom, ktoré dorazí v ľubovoľnom smere.

V prípade plavebnej komory loď pripláva a ak v danom smere už čaká nejaké plavidlo, zaradí sa do fronty. Po tom, čo sa dostane v danom smere na rad môže byť hladina vody v plavebnej komore v správnej

úrovni a v tom prípade loď zaberá plavebnú komoru a preplaví sa ňou za čas  $T_0$ , čím zmení úroveň hladiny. V opačnom prípade čaká po dobu  $T_1$ , a ak ani po nej sa hladina nenachádza v správnej úrovni – plavebná komora je neaktívna, vynúti si zmenu hladiny trvajúcu čas  $T_2$ . Ďalej už plavba plavebnou komorou prebieha vyššie uvedeným spôsobom. Posledný prípad, ktorý môže nastať je, že uplynula doba  $T_1$ , ale komora sa už využíva. To znamená, že loď sa už plaví v opačnom smere a stačí počkať, kým sa plavebná komora uvoľní.

Tunel je v princípe podobný jednosmernému lodnému mostu, no s dôležitým rozšírením, ktoré umožňuje výrazne zvyšovať jeho priepustnosť a je nutné v prípade dlhých tunelov. Jedná sa o zoskupovanie plavidiel do plavebnej skupiny. Celá skupina sa potom plaví tunelom daným smerom naraz. Plavebnú skupinu vytvára prvé plavidlo čakajúce v danom smere a plavebná skupina zaberá tunel pre svoje používanie. Po uplynutí doby potrebnej na úplne vplávanie plavidla do tunelu je umožnené ďalšiemu plavidlu v danom smere pridať sa do skupiny a vplávať do tunela, a to sa opakuje až do maximálnej veľkosti skupiny. Po vyplávaní posledného plavidla z tunela plavebná skupina zaniká a tak ako v prípade jednosmerného mostu získava prioritu opačný smer.

## 4. Architektúra

Architektúra programu je založená na knižnici `SIMLIB`, z ktorej využíva triedy `histogram` ([6] str. 200), `zariadenie` ([6] str. 180), `fronta` ([6] str. 179), `process` ([6] str. 171), `štatistika` ([6] str. 197) a `udalosť` ([6] str. 169). Modelový čas ([6] str. 21) je v sekundách a jeho doba behu je 60 rokov (1 rok = 31557600 sekúnd). Ďalšie jednotky použité pri simulácii sú metre, tony a eurá, do ktorých sú všetky vstupné hodnoty prevedené.

Trieda `proces` je použitá výhradne pre modelovanie plavidiel a v špeciálnom prípade plavebnej skupiny, ktorá sa využíva pri plavbe cez dlhý plavebný tunel. V oboch prípadoch sa jedná o použitie metódou dedenia z triedy.

Každé miesto má odkaz na ďalšie miesto v smere k riečnemu toku, ktorý predstavuje koniec vetvy, a ku kríženiu vetiev, spolu so vzdialenosťou k týmto miestam. Miesto, v ktorom sa vetvy krížia má potom odkaz na prvé miesto v každej vetve. Miesta nie sú odvodené od tried knižnice `SIMLIB`, ale obsahujú objekty týchto tried. To je dôležité hlavne z pohľadu obsluhy premávky, keďže `zariadenie` obsahuje iba jednu vstupnú `frontu`, zatiaľ čo pre každú stavbu je potrebná z každého smeru jedna. Aby sa nemusela meniť implementácia metód pre zabratie a uvoľnenie, bol zvolený tento prístup.

Plavba plavidla je realizovaná postupným prechádzaním grafu z miesta počiatku do cieľového miesta, pričom na každom mieste vykonáva miestom predpísanú procedúru. Plavba medzi miestami je realizovaná len uspaním po dobu, ktorá je vypočítaná zo vzdialenosti a rýchlosti lode.

### 4.1 Mapovanie abstraktného modelu do simulačného

Miesta v grafe riečnej siete sú odvodené vždy od triedy `Place`, a konkrétne sú to potom plavebná komora `ShipLock`, plavebný tunel `Tunnel` a plavebný most `Bridge`. Ďalej graf obsahuje prístavy reprezentované triedou `Port` a napojenie na riečne toky `RiverEnd`. Špeciálnym miestom je objekt triedy `Crossroad`, ktorá predstavuje kríženie troch vetví koridoru DOL. Celý graf je reprezentovaný triedou `Model`.

Plavidlo je reprezentované objektom triedy `Ship`. Plavebnú skupinu, ktorá vzniká pri plavbe tunelom reprezentuje trieda `TunnelGroup`.

Model prepravy je mapovaný na generátory – objekty triedy `Generator`, ktoré v určitých intervaloch pridávajú do systému ([6] str. 7) lode. Tieto intervaly sú výsledkom generátora exponenciálneho rozloženia, pričom jeho stred je určený na základe predpokladaného množstva prepravy. Každý generátor predstavuje určitý modelovaný typ prepravy (medzinárodná, vnútroštátna, atď.) a jej smer.

## 5. Experimenty nad modelom

Cieľom experimentov je zistiť zmyslupnosť vybudovania koridoru DOL, jeho prepravný potenciál, maximálne prepravné kapacity a odhaliť úzke miesto, ktoré bude pri prekročení prepravnej kapacity hlavným miestom zdržania. Taktiež sa experimentuje s finančnou stránkou projektu, teda ako bude v priebehu rokov ziskový a či dokáže splatiť náklady na jeho výstavbu alebo aspoň jeho údržbu. Vytvorený simulačný model umožňuje vykonávať tieto experimenty v prostredí viazanom na realitu.

### 5.1 Postup experimentovania

Experimentovanie prebehne spustením simulácie a zhromaždením sledovaných dát. Tieto dáta potom budú dodatočne vyhodnotené a na základe výsledkov bude možné zodpovedať otázky vytýčené vyššie.

### 5.2 Popis experimentov

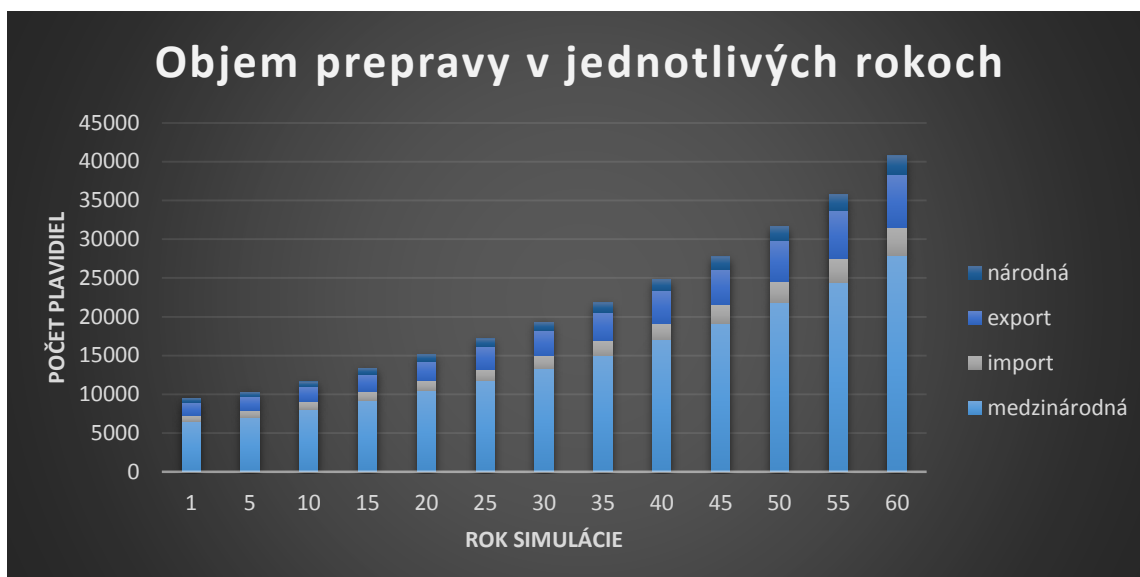
V jednotlivých experimentoch je najskôr uvedené čo je ich cieľom, výsledky simulácie, interpretácia výsledkov a vyvodenie záverov.

#### 5.2.1 Predpokladaná preprava na koridore DOL v jednotlivých rokoch

Tento experiment má za úlohu zistiť vývoj prepravy na koridore DOL v ročných intervaloch. Jeho výsledky je možné použiť pri nahliadaní na rôzne iné parametre a dávajú predstavu o vyťažení koridoru. Výsledky budú do istej miery predvídateľné, keďže sa uplatňuje plošný nárast prepravy o 2.5% ročne, no vzhľadom na určitú náhodnosť generovania plavidiel budú stále užitočné.

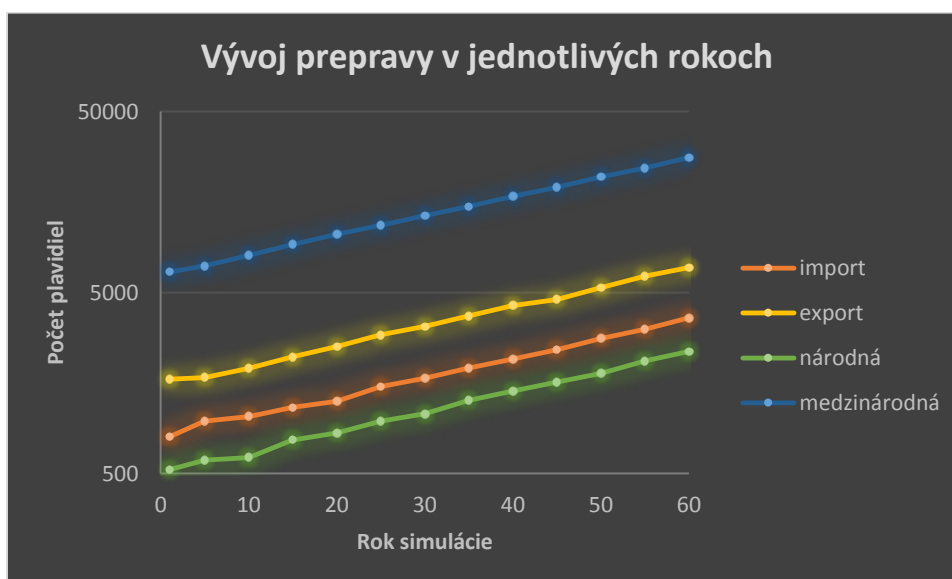
Experiment je vykonávaný za behu simulácie zaznamenávaním novo vytvorených plavidiel do odpovedajúceho histogramu. Pre každý druh prepravy – vnútroštátnu, import, export a medzinárodnú, je dostupný samostatný histogram.

Výsledky experimentu sú uvedené v grafoch nižšie. Údaje sú síce dostupné pre každý rok, pre vytvorenie grafu sa však kvôli prehľadnosti vybral každý piaty rok. Prvý graf zobrazuje celkový objem prepravy a navyše rozdelenie podľa jej charakteru.



Graf 1 – Objem prepravy v jednotlivých rokoch

Druhý graf zobrazuje vývoj prepravy samostatne pre každý typ a taktiež poukazuje na fakt, že aj pri konštantnom ročnom prírastku nie je možné vplyvom náhodného rozloženia vývoj vopred dostatočne presne predpovedať, čo je možné vidieť na nedokonalosti priamok.



Graf 2 – Vývoj prepravy v jednotlivých rokoch

#### 5.2.2 Maximálna prepravná kapacita koridoru DOL

V tomto experimente bolo cieľom zistiť, kedy prepravné nároky prevýšia možnosti koridoru DOL. Taktiež jeho úlohou je odhaliť úzke miesta, kde dôjde k prekročeniu kapacity najskôr. K tomu je v prvom rade potrebné definovať, kedy už premávka viazne. Ako vhodné kritérium sa ukázal byť čas, za ktorý je plavidlo schopné daný úsek prekonať. Prvotným experimentovaním bolo zistené, že tá neprekračuje v prípade dobre priepustného úseku 3 hodiny. Aby sa zamedzilo vyhodnoteniu miesta ako úzkeho z dôvodu dočasne zvýšeného množstva premávky, bol limit stanovený na dvojnásobok čiže 6 hodín.



Keďže riečne úseky nemajú kapacitu ani iné obmedzenia, z princípu nemôžu byť úzkym miestom. Taktiež prístavy a miesta napojenia na hlavné toky nemôžu spôsobovať obmedzenie premávky. Zostávajú teda jednosmerné lodné mosty, tunely a plavebné komory.

Simuláciou sa zistilo, že kapacita bola prekročená v 13. roku po spustení projektu a to na plavebnej komore Rokytnice. Analýzou jej využitia sa však zistilo, že prepravné toky sú nevyvážené a dôvodom nie je príliš veľký objem premávky, ale čakanie, či z druhého smeru nepríde loď ak je hladina vo výške toho smeru. Čakanie je pritom až 30 minút, takže ak loď z druhého smeru neprichádza, vznikajú fronty, ale komora sa reálne nevyužíva. Aby sa tomuto zamedzilo, bola čakacia doba úplne odstránená, čím sa prekročenie kapacity odsunulo až na 44. rok, opäť však úzke miesto predstavuje plavebná komora Rokytnice. V tomto prípade už kapacita dosiahnutá bola, keďže aj keď prepravné toky sú stále nevyvážené, doba vyrovnania hladiny prázdnej komory je dokonca kratšia než keby sa ňou plavila loď z druhého smeru. Plavebná komora teda nestíha obslúžiť toľko lodí a dochádza k jej stále rastúcemu zahlieniu.

Výsledok tohto experimentu odpovedá predpokladom uvedeným v štúdii ([1] str. 115), kde sa priamo uvažuje o zdvojení tejto plavebnej komory. Štúdia však pracuje s modelom postupnej dostavby a preto nie je možné porovnať roky, v ktorých obmedzenie nastane. Model ale umožňuje experimentovať so scenárom, ak by boli všetky plavebné komory na dunajskej vetvy zdvojené. V tom prípade sa dunajská vetva opäť stala priepustnou a ani v horizonte 60 rokov nedošlo k prekročeniu kapacít na koridore DOL.

### 5.2.3 Návratnosť investícií

Tento experiment sa zaoberá návratnosťou investícií vynaložených na stavbu diela. Pre vodné dielo je nevyhnutné, aby generovalo zisk, či už priamy alebo nepriamy. Medzi priame patrí mýto lodí a medzi nepriame ekonomický rozvoj oblasti a s tým súvisiace vytváranie nových pracovných pozícií, zatraktívnenie Českej republiky z pohľadu investorov a podobne.

Za metodiku skúmania návratnosti investícií bolo zvolené skúmanie priameho zisku z mýta nákladných lodí prepravujúcich tovar. Tento zisk musí pokryť počiatočné investície v hodnote 8155,6 mil. € a ročné náklady na údržbu v hodnote 54,8 mil. € ([1] str. 93). Generovanie zisku prebieha vždy, keď loď prepláva určitý úsek a za každý riečny kilometer a prepravenú tonu je účtovaných 0,01 € ([1] str. 125).

Po skončení behu simulácie je možno vidieť, v ktorom roku a kvartály dosiahli priame zisky rovnakú hodnotu ako počiatočné investície a potrebné ročné náklady na údržbu. Tento stav nastal v 1. kvartály 51. roku, čím sa zistilo, že vybudovanie koridoru je rentabilné a stihne náklady splatiť v priebehu svojej životnosti.

### 5.2.4 Minimum lodí pre zmysluplnosť projektu

Zmyslom experimentu na rozdiel od predchádzajúceho je zistiť množstvo prepravy, pre aké by zbudovanie koridoru malo ešte zmysel. Dôvodom je fakt, že ekonomická situácia sa môže výrazne zmeniť a pripravený prepravný model už nebude naďalej validný. V takom prípade je dobré vedieť, pri akom využití bude ešte únosné projekt realizovať.

Za túto hranicu považujeme aspoň splatenie ročných nákladov na jeho prevádzku a údržbu tak, ako boli uvedené v predchádzajúcom experimente. Ak by totiž dielo malo byť aj po otvorení naďalej stratové, jeho výstavba sa určite nevyplatí. Investície vložené do diela sa síce nevrátia, no v prípade, že by malo plniť viacero funkcií je ešte možné, že by získané pozitíva stále ukazovali v prospech vybudovania koridoru.

Experimentálne sa teda zisťuje minimálna preprava, ktorá je ešte schopná pokryť náklady na údržbu. Bolo zistené, že túto prepravu predstavuje 4701 lodí za rok. Ak sa však pozrieme na graf 1 v experimente 5.2.1, je možné vidieť, že táto hranica je ďaleko prekročená hneď v prvom roku, teda už aktuálne požiadavky na lodnú dopravu by boli schopné pokryť náklady na údržbu. V tomto ohľade teda experiment jednoznačne ukazuje v prospech vybudovania koridoru a jeho zmysluplnosť.

## 6. Záver

V tejto práci bol vytvorený model riečneho koridoru Dunaj-Odra-Labe, ktorý bol následne implementovaný ako spustiteľný program. Vykonávaním experimentov nad týmto modelom sa zistilo chovanie daného systému a na základe výsledkov a ich analýzy bolo možné zodpovedať podstatné otázky týkajúce sa výstavby diela takýchto rozmerov.

Na základe experimentov sme boli schopní určiť, že stavba koridoru by mala zmysel aj pri množstve prepravy, aká sa dá predpokladať v súčasnosti, ak by bol koridor už vybudovaný. Za predpokladu ročného nárastu prepravy o veľmi reálne percento by navyše mal byť projekt aj rentabilný. Tento predpokladaný vývoj prepravy sme boli schopní graficky znázorniť a na jeho základe určiť kedy dôjde k prekročeniu kapacity koridoru a tiež určiť problematické miesto. Po zvýšení priepustnosti tohto miesta sme zistili, že koridor bude kapacitne postačujúci po nasledujúcich 60 rokoch. Za tú dobu sa však môže výrazne a nepredvídateľne zmeniť ekonomická situácia, preto treba brať túto informáciu s určitým nadhľadom.

Otázka, či koridor postaviť, je v dnešnej dobe veľmi diskutovanou a medzi zástancov projektu patrí napríklad aj český prezident Miloš Zeman ([9]). Výsledky tejto práce hovoria jednoznačne v prospech výstavby z prepravného a ekonomického hľadiska, no definitívne rozhodnutie by malo závisieť aj na mnohých ďalších, v prvom rade ekologických faktoroch.

## Literatúra

- [1] PODZIMEK, Josef a Jaroslav KUBEC,  
Studie projektu výstavby vodního koridoru DUNAJ - ODRA - LABE, 2006. Dostupné z:  
<http://www.d-o-l.cz/index.php/cs/kestazeni/category/6-?download=46%3A>
- [2] Česká rafinérská a.s.. Asfalty a asfaltové výrobky. *Česká rafinérská*. [online].  
[cit. 2014-12-08]. Dostupné z: <http://www.crc.cz/cz/asfalty-asfaltove-vyroby.aspx>
- [3] Unipetrol. Nabídka produktů. *Unipetrol*. [online]. [cit. 2014-12-08]. Dostupné z:  
<http://www.paramo.cz/cs/nabidka-produktu/Stranky/default.aspx>
- [4] Průmysl v Česku. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-12-08]. Dostupné z:  
[http://cs.wikipedia.org/wiki/Pr%C5%AFmysl\\_v\\_%C4%8Cesku#Pr.C5.AFmyslov.C3.A1\\_odv.C4.9Btv.C3.AD](http://cs.wikipedia.org/wiki/Pr%C5%AFmysl_v_%C4%8Cesku#Pr.C5.AFmyslov.C3.A1_odv.C4.9Btv.C3.AD)
- [5] PODZIMEK, Josef a Jaroslav KUBEC,  
Studie projektu výstavby vodního koridoru DUNAJ - ODRA – LABE, Příloha 14, 2006. Dostupné z:  
<http://www.d-o-l.cz/index.php/cs/kestazeni/category/6-?download=93%3A&start=20>
- [6] PERINGER, Petr.: Modelování a simulace, september 2014, Vysoké učení technické v Brně,  
Modelování a simulace – slajdy k přednáškám. Dostupné z:  
<http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- [7] TOMANOVÁ, Kateřina. Předpoklady využití vnitrozemské vodní dopravy v kombinovaných  
přepravách. 2009. 100. Diplomová práce. Univerzita Pardubice. Vedúci práce Andrea SEIDLOVÁ.
- [8] PODZIMEK, Josef a Jaroslav KUBEC,  
Studie projektu výstavby vodního koridoru DUNAJ - ODRA – LABE, Příloha 12a-e, 2006.  
Dostupné z: <http://www.d-o-l.cz/index.php/cs/kestazeni/category/6->
- [9] Prezident Zeman podpořil ve Štrasburku výstavbu vodního koridoru Dunaj-Odra-Labe. [online].  
[cit. 2014-12-08]. Dostupné z: <http://www.d-o-l.cz/index.php/cs/novinky/1-latest-news/162-d-o-lstrasburk>
- [10] Knižnica SIMLIB. Dostupné z: <http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/source/>

## Prílohy

A.

cieľ	zdroj	L-D	O-D	D-L	D-O	CR EXPORT	cieľ	zdroj	L-D	O-D	D-L	D-O	CR EXPORT
Egypt	ine	0,139	0,364				Rakúsko	ine	2,718	2,936			
	cr					0,015		cr					2,29
Ázerb.	ine	0,018	0,037				Poľsko	ine				1,713	
	cr					0,002		cr					0,537
Bosna-H.	ine	0,048	0,068				Rotterdam	ine			0,362		
	cr					0,067		cr					0,068
Bremen	ine			0,31			Rumunsko	ine	0,204	0,362			
	cr					0,034		cr					0,366
Bulharsko	ine	0,085	0,161				Rusko	ine	0,612	0,967			
	cr					0,067		cr					0,205
Nemecko	ine			3,892	3,893		Srb.-Č.	ine	0,076	0,186			
	cr					0,237		cr					0,101
Nem.(Bav.)	ine						Slovensko	ine	0,406	0,349			
	cr					0,203		cr					0,504
Gruzínsko	ine	0,004	0,004				Sýria	ine	0,053	0,077			
	cr					0,002		cr					0,014
Hamburg	ine			0,361			Szczecin	ine				0,227	
	cr					0,143		cr					0,225
Irán	ine	0,237	0,335				Turecko	ine	0,834	1,304			
	cr					0,139		cr					0,088
Izrael	ine	0,197	0,238				Turkmenist.	ine	0,006	0,006			
	cr					0,037		cr					0,001
Kazachstán	ine	0,036	0,126				Ukrajina	ine	0,065	0,244			
	cr					0,007		cr					0,043
Chorvátsko	ine	0,139	0,243				Maďarsko	ine	0,366	0,79			
	cr					0,395		cr					0,557
Libanon	ine	0,025	0,03				Cyprus	ine	0,018	0,031			
	cr					0,01		cr					0,005
Moldavsko	ine	0,012	0,061				suma						
	cr					0,011			6,298	8,919	4,925	5,833	6,373

Tabuľka 1, zdroj: [1]str. 111

B.

cieľ	Cieľ. vetva	kovy	rudý, šrot	pevné palivo	rop.pro dukty	chem. výrobky	iné
<b>Egypt</b>	dunaj	0,01	0	0	0,002	0	0,003
<b>Ázerb.</b>	dunaj	0	0	0	0	0	0,002
<b>Bosna–H.</b>	dunaj	0,02	0	0,01	0	0,012	0,025
<b>Bremen</b>	labe	0	0	0	0	0	0,034
<b>Bulharsko</b>	dunaj	0,01	0	0	0,009	0,018	0,03
<b>Nemecko</b>	Labe,odra	0,07	0	0	0	0,024	0,143
<b>Nem.(Bav.)</b>	dunaj	0,045	0,003	0,029	0	0,016	0,11
<b>Gruzínsko</b>	dunaj	0	0	0	0	0	0,002
<b>Hamburg</b>	labe	0	0	0	0	0	0,143
<b>Irán</b>	dunaj	0,13	0	0	0	0	0,009
<b>Izrael</b>	dunaj	0,03	0	0	0	0	0,007
<b>Kazachstán</b>	dunaj	0	0	0	0	0	0,007
<b>Chorvatsko</b>	dunaj	0,23	0	0,01	0,001	0,033	0,121
<b>Libanon</b>	dunaj	0,01	0	0	0	0	0
<b>Moldavsko</b>	dunaj	0	0	0	0	0	0,011
<b>Rakúsko</b>	dunaj	0,07	0,01	1,78	0,039	0,027	0,364
<b>Poľsko</b>	odra	0,05	0	0,05	0,008	0,033	0,396
<b>Rotterdam</b>	labe	0	0	0	0	0	0,068
<b>Rumunsko</b>	dunaj	0,06	0	0,01	0	0,054	0,242
<b>Rusko</b>	dunaj	0,01	0	0	0,006	0,021	0,168
<b>Srb.-Č.</b>	dunaj	0,02	0	0,01	0,001	0,032	0,038
<b>Slovensko</b>	dunaj	0,06	0,01	0,25	0,018	0,035	0,131
<b>Sýria</b>	dunaj	0	0	0	0	0	0,014
<b>Szczecin</b>	odra	0	0	0	0	0	0,225
<b>Turecko</b>	dunaj	0,02	0	0	0	0,022	0,046
<b>Turkmenist.</b>	dunaj	0	0	0	0	0	0,001
<b>Ukrajina</b>	dunaj	0	0	0	0	0,01	0,033
<b>Maďarsko</b>	dunaj	0,086	0	0,24	0,031	0,053	0,147
<b>Cyprus</b>	dunaj	0	0	0	0,001	0,001	0,003

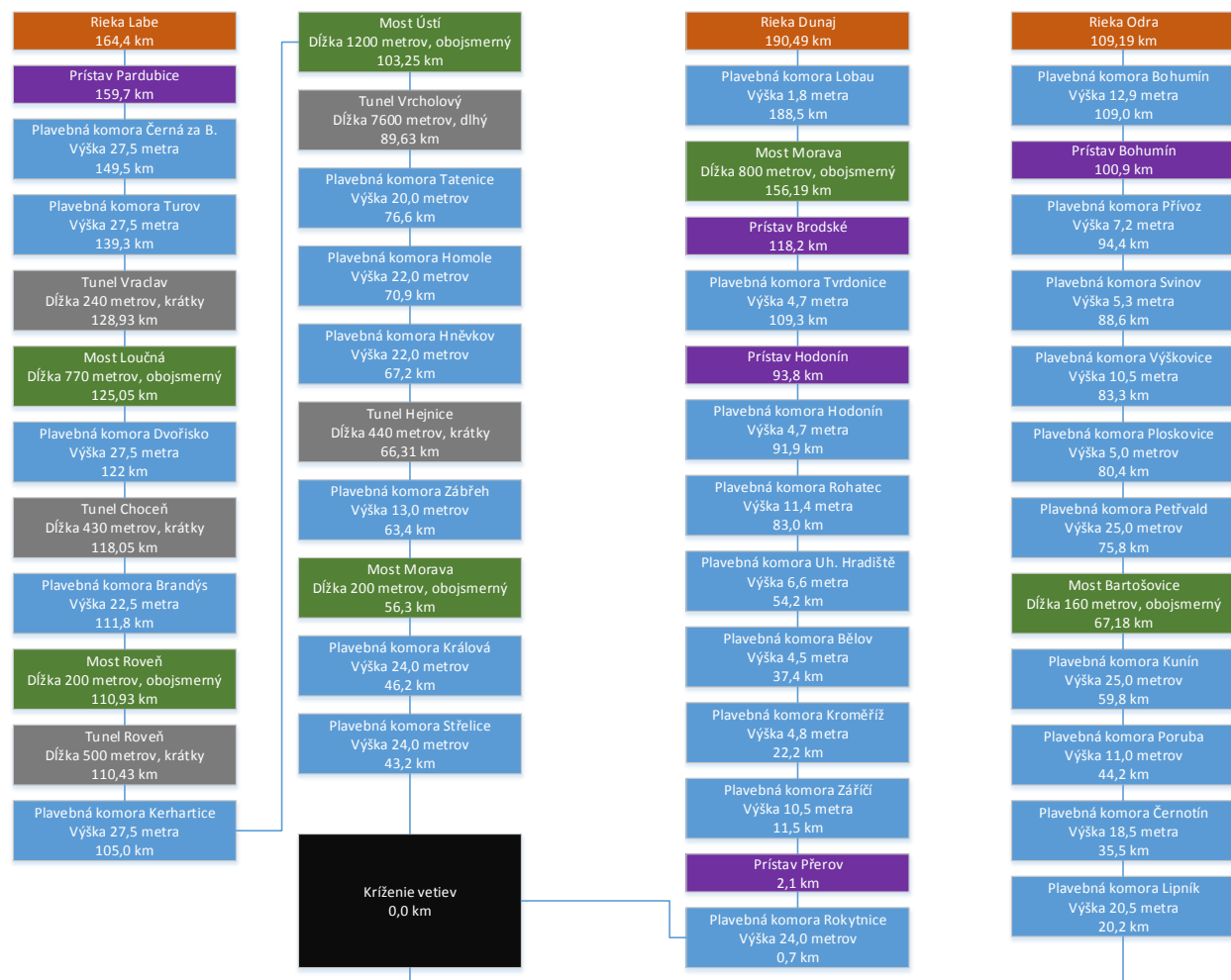
Tabuľka 2, zdroj: [5]

C.

cieľ	Labe	Dunaj	Odra
<b>import</b>	0,265	2,161	0,903

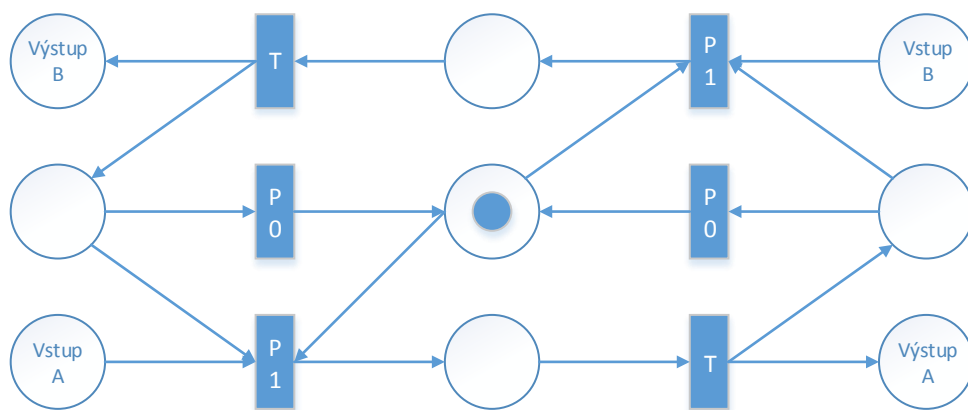
Tabuľka 3, zdroj: [1]str. 111

D.



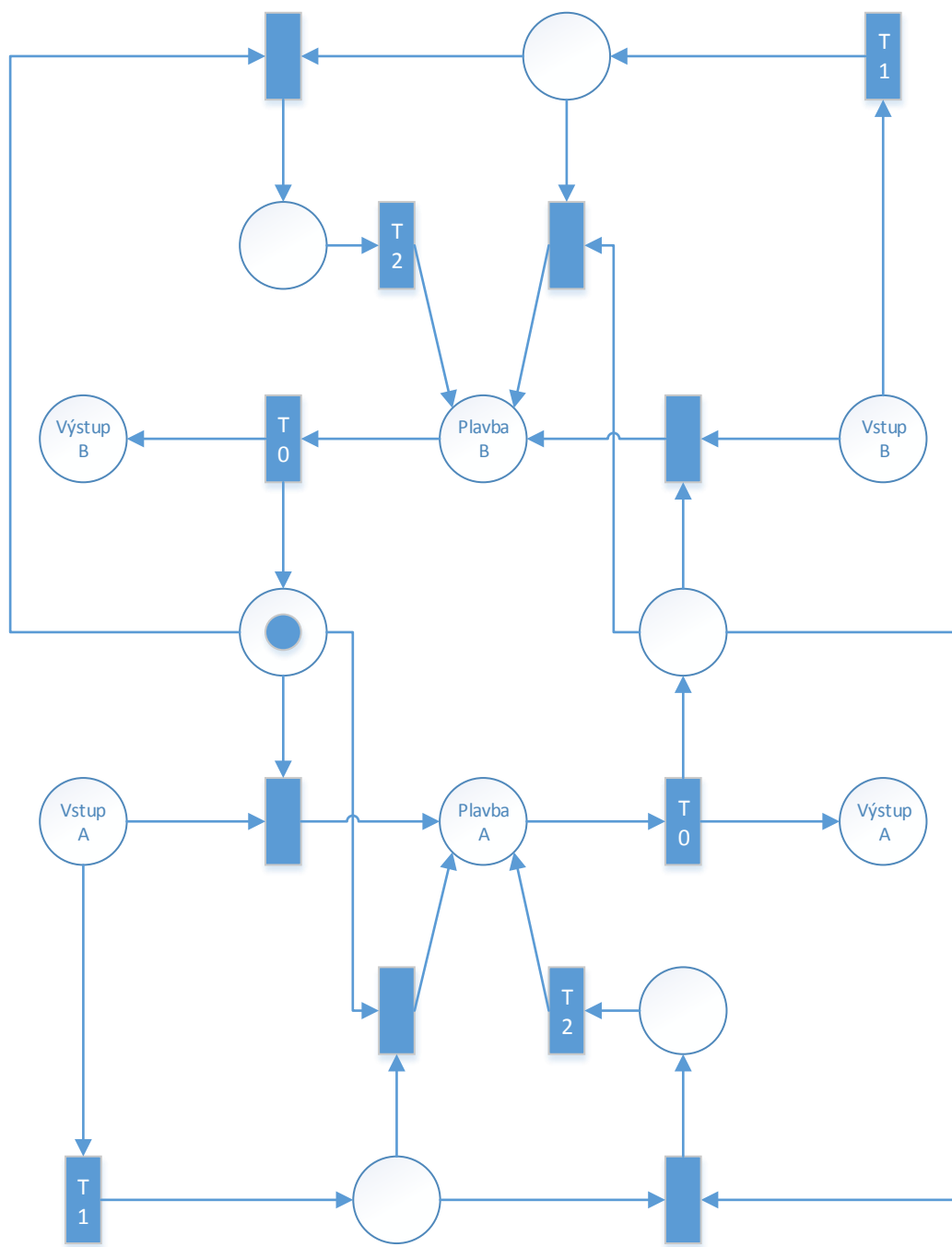
Obrázok 1 – graf koridoru, zdroj: [8]

E.



Obrázok 2 – jednosmerný most

F.



Obrázok 3 – plavebná komora