

Katedra informatiky  
Přírodovědecká fakulta  
Univerzita Palackého v Olomouci

# BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Editor Petriho Sítí



2019

Vedoucí práce: Mgr. Petr Osička,  
Ph.D.

Roman Wehmhöner

Studijní obor: Aplikovaná informatika,  
prezenční forma

## **Bibliografické údaje**

Autor:	Roman Wehmhöner
Název práce:	Editor Petriho Sítí
Typ práce:	bakalářská práce
Pracoviště:	Katedra informatiky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci
Rok obhajoby:	2019
Studijní obor:	Aplikovaná informatika, prezenční forma
Vedoucí práce:	Mgr. Petr Osička, Ph.D.
Počet stran:	30
Přílohy:	1 CD/DVD
Jazyk práce:	český

## **Bibliographic info**

Author:	Roman Wehmhöner
Title:	Petri Nets Editor
Thesis type:	bachelor thesis
Department:	Department of Computer Science, Faculty of Science, Palacký University Olomouc
Year of defense:	2019
Study field:	Applied Computer Science, full-time form
Supervisor:	Mgr. Petr Osička, Ph.D.
Page count:	30
Supplements:	1 CD/DVD
Thesis language:	Czech

## **Anotace**

*Cílem bakalářské práce bylo vytvořit editor petriho sítí umožňující jednoduché a pohodlné ovládání. Editor také obsahuje základní nástroje pro analýzu petriho sítí.*

## **Synopsis**

*The goal of paper is to make editor for petri nets with simple convenient control. Editor contains basic analysis tools too.*

**Klíčová slova:** Petriho síť; Editor

**Keywords:** Petri nets; Editor

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Mgr. Petrovi Osičkovi, Ph.D. za hodnotné rady při vývoji editoru.

*Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou práci včetně příloh vypracoval/a samostatně a za použití pouze zdrojů citovaných v textu práce a uvedených v seznamu literatury.*

datum odevzdání práce

podpis autora

# Obsah

<b>1</b>	<b>Petriho síť</b>	<b>7</b>
1.1	Základní popis . . . . .	7
1.2	Vizuální zobrazení sítě . . . . .	8
1.3	Zkrácený zápis ohodnocení sítě . . . . .	9
1.4	Využití Petriho sítě . . . . .	9
1.5	Graf dosažitelnosti . . . . .	10
1.5.1	Vlastnosti odvoditelné z Grafu dosažitelnosti . . . . .	10
1.5.2	Příklady grafu dosažitelnosti s vlastnostmi . . . . .	12
1.6	Graf pokrytí . . . . .	13
1.6.1	Sestrojení grafu . . . . .	13
1.6.2	Různé výsledky grafu pokrytí . . . . .	15
1.6.3	Upravená verze vlastností . . . . .	15
1.7	Příklady sítě . . . . .	17
<b>2</b>	<b>Editor</b>	<b>18</b>
2.1	Systémové požadavky . . . . .	18
2.2	Rozložení editoru . . . . .	18
2.2.1	Postranní panel . . . . .	19
2.2.2	Ovládání, Hlavní plocha editoru . . . . .	19
2.2.3	Panel nástrojů editoru . . . . .	20
2.2.3.1	Tisk . . . . .	20
2.2.4	Tabulka ohodnocení . . . . .	21
2.2.5	Výsledky analýzy . . . . .	22
2.2.6	Klávesové zkratky . . . . .	22
<b>3</b>	<b>Použité technologie</b>	<b>22</b>
3.1	nodejs . . . . .	23
3.2	TypeScript . . . . .	23
3.3	Electron . . . . .	23
3.4	Javascriptová Knihovna Data driven documents - D3 . . . . .	24
3.5	Scalable vector graphics (SVG) . . . . .	24
3.6	JavaScript object notation (JSON) . . . . .	25
<b>4</b>	<b>Stavba programu</b>	<b>26</b>
4.1	Třída 1 . . . . .	26
4.2	Třída 2 . . . . .	26
4.3	Třída 3 . . . . .	26
4.4	Třída 4 . . . . .	26
<b>5</b>	<b>Obsah přiloženého CD/DVD</b>	<b>26</b>
	<b>Literatura</b>	<b>29</b>
	<b>Rejstřík</b>	<b>30</b>

## Seznam obrázků

1	síť . . . . .	9
2	Ukázky jednoduchých sítí s grafem dosažitelnosti . . . . .	12
3	Příklad neohraničené sítě . . . . .	13
4	Příklad sítě z knihy Understanding petri nets[1](fig. 14.1) . . . . .	15
5	Příklad neohraničené sítě s chybějící hranou v grafu pokrytí . . . . .	16
6	Rozložení editoru . . . . .	18
8	Postranní panel . . . . .	19
9	Editace hodnot . . . . .	20
10	Panel nástrojů editoru . . . . .	21
11	Tabulka ohodnocení . . . . .	21
12	ukázka výsledků analýzy sítě . . . . .	22

## Seznam tabulek

1	Určování vlastností sítě v editoru . . . . .	22
2	Klavesové zkratky využitelné v editoru . . . . .	23

## Seznam vět

1	Definice (Petriho síť) . . . . .	7
2	Definice (Graf dosažitelnosti) . . . . .	10
3	Definice (Ohraničenost sítě) . . . . .	10
4	Definice (Konečnost sítě) . . . . .	10
5	Definice (Vratnost sítě) . . . . .	10
6	Definice (Síť bez mrtvého bodu) . . . . .	10
7	Definice (Slabě živá síť) . . . . .	10
8	Definice (Živá síť) . . . . .	11
	Důkaz (Ohraničenost sítě v grafu pokrytí) . . . . .	16
	Důkaz (Konečnost sítě v grafu pokrytí) . . . . .	16
	Důkaz (Vratnost sítě v grafu pokrytí) . . . . .	16
	Důkaz (Síť bez mrtvého bodu v grafu pokrytí) . . . . .	16
	Důkaz (Slabě živá síť v grafu pokrytí) . . . . .	17
	Důkaz (živá síť v grafu pokrytí) . . . . .	17

## Seznam zdrojových kódů

1	Ukázka TypeScriptu . . . . .	24
2	Vytváření okna v elektronu . . . . .	25
3	Komunikace v rámci procesu elektronu . . . . .	25
4	Ukázka kódu v D3 . . . . .	26
5	Uložení petriho sítě . . . . .	27

TODO: Smazat todo: command

## 1 Petriho síť

Tato kapitola byla inspirovaná a čerpala informace z knihy Understanding petri nets[1].

### 1.1 Základní popis

Petriho síť jsou matematickým nástrojem pro modelování a simulaci paralelních procesů a jejich synchronizaci. Jsou tvořené místy, přechody a hranami které jsou vždy propojením jednoho místa s jedním přechodem.

#### Definice 1 (Petriho síť)

$$N = \langle P, T, A, M_0 \rangle$$

- $N$  je Petriho síť
- $P$  je konečná množina míst
- $T$  je konečná množina přechodů
- $A$  je konečná množina hran  $A \subseteq ((P \times T) \cup (T \times P)) \times \mathbb{N}_0$   
kde číslo symbolizuje násobek kolik značek hrana „přesune“
- $M_0 : P \rightarrow \mathbb{N}_0$  je počáteční ohodnocení sítě (zkráceně ohodnocení) míst kde pro každé místo  $p \in P$  existuje počet jeho značek  $m \in M_0$

Pro odkazování na jednotlivé členy prvků z množiny hran  $a \in A$  budeme používat notaci  $P(a)$  pro odkázání na místo hrany,  $T(a)$  pro odkázání na přechod a  $AM(a)$  pro odkaz na násobek.

Každý přechod  $t$  může mít „přiřazený“ libovolný počet hran, kde každá hrana  $a$  je propojením s některým z míst  $p \in P$ .

Hrany přechodu  $t$  můžeme rozlišit na hrany směřující do přechodu

$$\rightarrow t = \{a \in A | a \in (P \times T \times \mathbb{N}_0) \wedge t = T(a)\}$$

a hrany směřující z přechodu (do místa)

$$t \rightarrow = \{a \in A | a \in (T \times P \times \mathbb{N}_0) \wedge t = T(a)\}$$

dohromady pak všechny hrany přechodu  $t$  jsou spojením těchto dvou množin

$$ArcesOfTransition(t, A) = (\rightarrow t \cup t \rightarrow) \subset A$$

Aktuální stav petriho sítě neboli ohodnocení  $M$  je funkce přiřazující každému místu  $p \in P$  petriho sítě počet značek

$$(\forall p \in P) M(p) \in \mathbb{N}_0$$

počáteční ohodnocení petriho sítě se značí  $M_0$ .

Pro dané ohodnocení  $M$  je přechod  $t \in T$  označený jako povolený pokud všechny hrany směřující do přechodu  $\rightarrow t$  splňují svou podmínku tzn. hrana splňuje svoji podmínku pokud místo ze kterého vychází má vyšší nebo stejné ohodnocení (v daném  $M$ ) než je násobek hrany  $AM$

$$IsEnabled(P, t, A, M) = (\forall a \in \rightarrow t) M(P(a)) \geq AM(a)$$

Pak si můžeme ještě definovat množinu všech povolených přechodů pro zadané ohodnocení

$$EnabledTransitions(P, T, A, M) = \{t \in T | IsEnabled(P, t, A, M)\}$$

Pokud je přechod  $t$  v ohodnocení  $M$  Petriho sítě **povolen**, znamená to že může dojít k aktivování tohoto přechodu čímž dojde ke změně aktuálního ohodnocení z  $M$  do ohodnocení  $M'$  tak, že pro každé místo  $p \in P$  a každou hranu  $A_{pt} \subset ArcesOfTransition(t, A)$  spojující  $p$  s  $t$  že nové ohodnocení v místě  $M'(p)$  je sumou násobků hran  $\sum_{a \in A_{pt}} AM(a)$  a původního hodnocení  $M(p)$

$$FireTransition(P, t, A, M) = function M'$$

Výsledné ohodnocení  $M'$  je pak pro každé místo  $p$  definováno

$$M'(p) = M(p) + \sum_{a \in \{a_{tp} \in ArcesOfTransition(t, A) \mid P(a_{tp})=p\}} AM(a)$$

Tuto změnu můžeme značit  $M \rightarrow^t M'$

Ohodnocení  $M'$  je označené jako **dosazitelné**<sup>{1}</sup> z ohodnocení  $M$  pokud existuje sekvence přechodů taková, že jejich postupným aktivováním z ohodnocení  $M$  vznikne ohodnocení  $M'$ . Ohodnocení  $M'$  je dostupné z ohodnocení  $M$  pak značíme  $M \rightarrow^* M'$ .

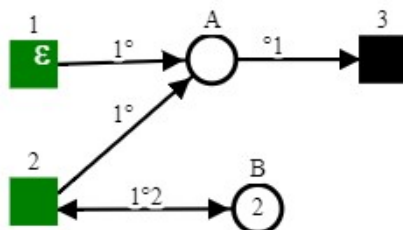
## 1.2 Vizualní zobrazení sítě

Pro Petriho síť existuje nejenom matematické zobrazení ale i v praxi více využívané grafické zobrazení. V grafickém zobrazení kolečka symbolizují místa petriho sítě a číslo v kolečku udává počet značek. Přechody jsou symbolizované čtverci. V editoru je čtverec zelený pokud je přechod povolený. Pokud má v sobě čtverec symbol  $\epsilon$ , znamená to že je přechod určený pro komunikaci sítě s okolním prostředím. Na editor nemá žádný vliv jestli je přechod označený jako  $\epsilon$  a tak tedy toto označení je jen pro jednodušší orientaci v síti. Kolečka i čtverce mají pak nad sebou značení konkrétního místa/přechodu které symbolizují. Nakonec



samotné hrany jsou symbolizované šipkami které jsou popsané násobkem kolik hrana „přesune“ značek. Popis hran je symbolizován dvěma čísly oddělenými kolečkem. Číslo před kolečkem značí hodnotu hrany směřující z přechodu do místa, číslo za kolečkem značí hodnotu hrany směřující z místa do přechodu.

Na obrázku 1 můžeme vidět grafické vyobrazení jednoduché sítě s dvěma místy, třemi přechody a čtyřmi hranami. Již na první pohled si můžeme všimnou



Obrázek 1: Příklad zobrazení jednoduché sítě

že pro jednodušší rozlišení míst a přechodů jsou přechody značené čísli a místa písmeny. Tuto síť vyobrazenou na obrázku 1 bychom mohli matematickým zápisem zapsat jako síť  $N = \langle P, T, A, M_0 \rangle$  kde

$$P = \{a, b\}$$

$$T = \{1, 2, 3\}$$

$$A = \{\langle 1, a, 1 \rangle, \langle 2, a, 1 \rangle, \langle 2, b, 1 \rangle, \langle b, 2, 2 \rangle, \langle a, 3, 1 \rangle\}$$

$$M_0(a) = 0; M_0(b) = 2$$

V matematickém zápise sítě budeme místa značit malými písmeny (oproti editoru) abychom předešli případným nedorozuměním.

### 1.3 Zkrácený zápis ohodnocení sítě

Abychom předešli zdlouhavému psaní každého případu ohodnocovací funkce (např.  $M(a) = 0; M(c) = 2; \dots$ ), zavedeme si kratší zápis. Nejdříve seřadíme všechny místa podle jejich značení jako by šlo o číselnou soustavu (s písmeny místo čísel) neboli  $a, b, c, \dots, z, aa, ab, ac, \dots$ . Pak si z těchto míst uděláme uspořádanou n-tici jejich ohodnocení  $\langle M(a), M(b), M(c), \dots \rangle$ . Tuto n-tici pak budeme používat jako kratší zápis ohodnocovací funkce:

$$M = \langle M(a), M(b), M(c), \dots \rangle$$

Například pro  $M'(a) = 3; M'(b) = 0; M'(c) = 5$  by krátký zápis vypadal  $M' = \langle 3, 0, 5 \rangle$

### 1.4 Využití Petriho sítí

Petriho sítě se používají k analýze a modelování paralelních a distribuovaných systému, databázových systémů atd. a to až už pro analýzu při vývoji softwaru a nebo pro popis vnitřní struktury již hotového proprietárního softwaru umožňující lepší porozumění uživateli.

## 1.5 Graf dosažitelnosti

Graf dosažitelnosti je jeden z nejzákladnějších nástrojů pro analýzu Petriho sítí. Obsahuje vždy počáteční ohodnocení a všechny ohodnocení které jsou dostupné z počátečního ohodnocení, takovéto ohodnocení budeme nazývat **dosažitelné ohodnocení**<sup>{2}</sup>. Vrcholy grafu jsou jednotlivá ohodnocení a hrany grafu jsou značené přechody které jsou aktivované aby z počátečního ohodnocení vzniklo cílové.

### Definice 2 (Graf dosažitelnosti)

$$RG = \{M, \langle M, T', M' \rangle\}$$

- $RG$  je Graf dosažitelnosti
- $M$  je Vrchol grafu který je zároveň konkrétní ohodnocení petriho sítě
- $\langle M, T', M' \rangle$  je Hrana grafu která je změnou z hodnocení  $M$  libovolným přechodem  $t \in T'$  ze kterého vzniká  $M'$

#### 1.5.1 Vlastnosti odvoditelné z Grafu dosažitelnosti

Z grafu dosažitelnosti Petriho sítě jsou odvoditelné tyto vlastnosti:

### Definice 3 (Ohraničenost sítě)

Petriho síť je **ohraničená**<sup>{3}</sup> pokud je její graf dosažitelnosti konečný. Pokud existuje takové přirozené číslo  $n$  pro které v žádném dosažitelném ohodnocení nepřesahuje žádné místo svým ohodnocením číslo  $n$ . Pokud zvolíme  $n$  aby splňovalo tuto podmínku a zároveň bylo nejmenší možné, pak můžeme nazývat síť že je **ohraničená**  $n$ .

### Definice 4 (Konečnost sítě)

Petriho síť **skončí**<sup>{4}</sup> za předpokladu že graf je konečný a zároveň neobsahuje žádné cykly. Neboli Petriho síť vždy po nějakém počtu kroků dojde do stavu kdy žádný přechod není povolený.

### Definice 5 (Vratnost sítě)

Petriho síť je **vratná**<sup>{5}</sup> pokud je její graf silně souvislý. Z každého dosažitelného ohodnocení je dosažitelné počáteční ohodnocení.

### Definice 6 (Síť bez mrtvého bodu)

Petriho síť je **bez mrtvého bodu**<sup>{6}</sup> pokud z každého vrcholu grafu dosažitelnosti vede alespoň jedna hrana. Petriho síť má v každém ohodnocení povolený alespoň jeden přechod.

**Definice 7 (Slabě živá síť)**

Petriho síť je **slabě živá**<sup>{7}</sup> pokud pro každý přechod existuje v grafu hrana označená tímto přechodem. Pro každý přechod Petriho sítě existuje dosažitelné ohodnocení které povoluje daný přechod.

**Definice 8 (Živá síť)**

Petriho síť je **živá**<sup>{8}</sup> pokud pro každý přechod  $t$  a každé ohodnocení  $M$  existuje v grafu cesta z ohodnocení  $M$  do ohodnocení ze kterého vede hrana z označením přechodu  $t$ . Pro každý přechod  $t$  a každé ohodnocení  $M$  existuje dosažitelné ohodnocení  $M'$  které přechod  $t$  povoluje.

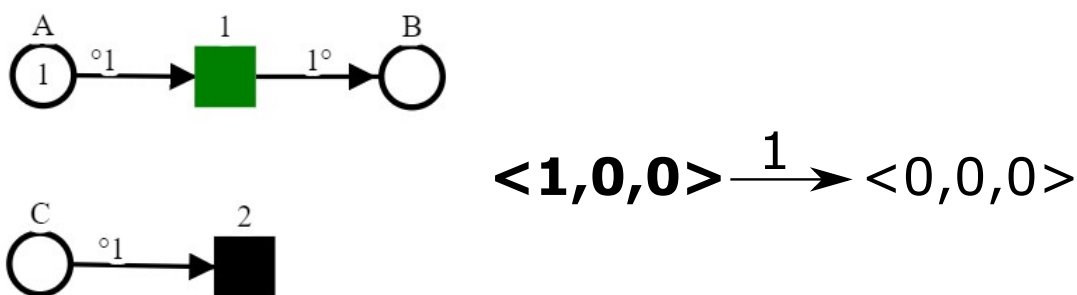
Logickou úvahou a z vlastností grafů pak můžeme určit někdy vzájemné závislosti vlastností:

- Síť která je **vratná** nebo/a **živá** je zároveň i **bez mrtvého bodu**.
- Síť která je **bez mrtvého bodu** **neskončí** a zároveň síť která **skončí** není **bez mrtvého bodu** (pozor, neznamená že síť musí mít alespoň jednu z těchto vlastností).
- Síť která není **slabě živá** nemůže být **živá**.

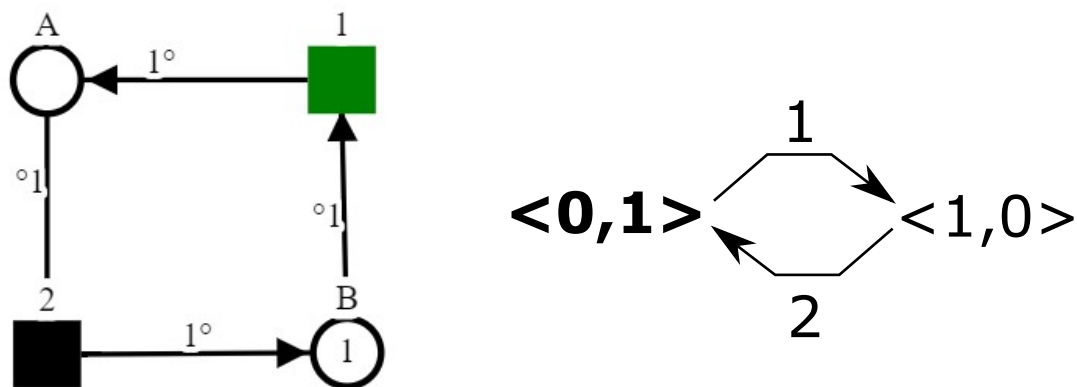
### 1.5.2 Příklady grafu dosažitelnosti s vlastnostmi



(a)



(b)



(c)

Obrázek 2: Ukázky jednoduchých sítí s grafem dosažitelnosti

Sít na obrázku 2a skončí a je slabě živá.

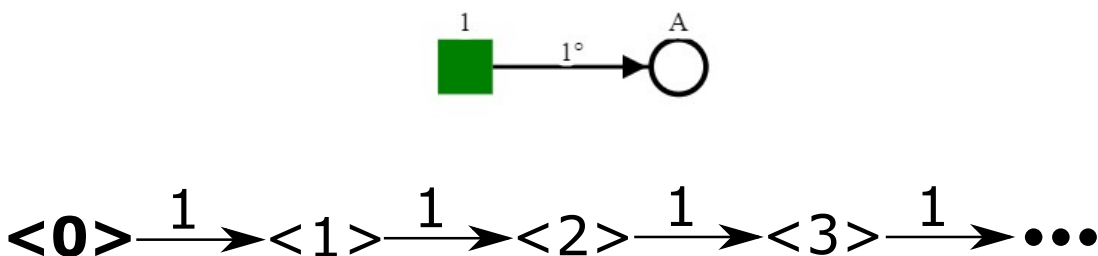
Sít na obrázku 2b skončí a není slabě živá.

A síť na obrázku 2c je vratná a živá.

Všechny tři sítě jsou ohraničené 1. Také si můžeme všimnout že z výše uvedených vlastností u ukázkových sítí stačí jen vypsání vlastností a ostatní se dají odvodit ze závislosti vlastností.

## 1.6 Graf pokrytí

Hlavní nevýhodou grafu dosažitelnosti je že může být nekonečný a tudíž je nemožné ho zkonstruovat celý. Můžeme velice jednoduše navrhnout a sestrojít triviální Petriho síť (Obrázek 3) u které by konstrukce jejího grafu dosažitelnosti nikdy neskončila.



Obrázek 3: Příklad neohraničené sítě

Proto existuje upravená verze grafu dosažitelnosti nazvaná grafu pokrytí, která může obsahovat tzv.  $\omega$  ohodnocení které mimo celých čísel přiřadí alespoň jednomu místu i hodnotu  $\omega$  symbolizující že místo může nabívat nekonečně vysokého počtu značek. Petriho síť se nemůže nacházet v  $\omega$  ohodnocení, toto ohodnocení je pouze pro vytvoření abstrakce v grafu pokrytí.

Protože hodnotu  $\omega$  bereme jako nekonečno pak od ní můžeme odečíst nebo přičíst libovolně velké číslo a hodnota se nezmění.

$$\dots = \omega - 2 = \omega - 1 = \omega = \omega + 1 = \omega + 2 = \dots$$

Ohodnocení  $M$  značíme jako že je ostře menší  $<$  než ohodnocení  $M'$  pokud pro každé místo  $p$  platí  $M(p) \leq M'(p)$  a alespoň pro jedno místo  $p$  platí  $M(p) < M'(p)$ .

$$M < M' = ((\forall p \in P) M(p) \leq M'(p)) \wedge (\exists p \in P) M(p) < M'(p)$$

### 1.6.1 Sestrojení grafu

Sestrojování grafu probíhá postupně přidáváním hran. Nejdříve se přidá počáteční ohodnocení jako kořen grafu. Následně se z grafu vybírají náhodně nevypočítané povolené přechody a pokud vedou do místa které ještě v grafu není tak se přidá a pokud je ostře menší než ohodnocení ze kterého je dosažitelné tak se přidají  $\omega$  hodnoty na místa ve kterých má více značek. Algoritmus končí výpočet až jsou všechny povolené přechody pro všechny vrcholy v grafu vypočítané.

Sestrojení grafu pokrytí pseudokód [MakeCoverabilityGraph1](#)

Pokud sestrojený graf pokrytí neobsahuje žádné  $\omega$  ohodnocení, pak je graf tožný s grafem dosažitelnosti. Pokud graf pokrytí obsahuje  $\omega$  ohodnocení, znamená to že graf dosažitelnosti by byl nekonečný a tudíž by nebylo možné ho zkonstruovat celý a nešli by na něm zjišťovat některé nebo všechny vlastnosti. Proto si vystačíme s algoritmem na vytváření grafu pokrytí.

---

**Algorithm 1** MakeCoverabilityGraph

---

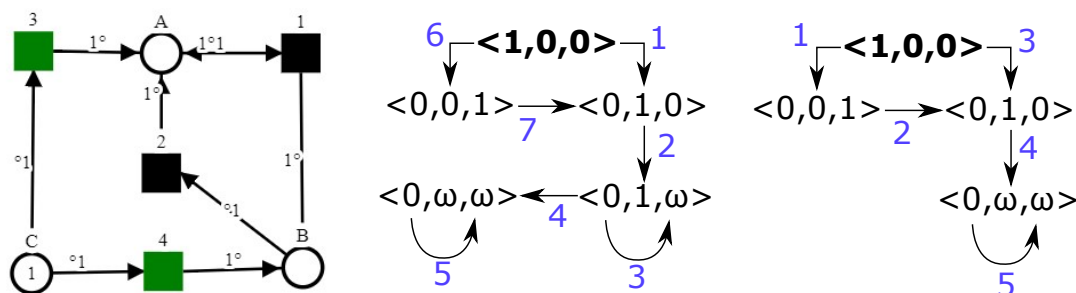
```
1: function MAKECOVERABILITYGRAPH( $\langle P, T, A, M_0 \rangle$ )
2:    $\langle V, E, v_0 \rangle := \langle \{M_0\}, \emptyset, M_0 \rangle$ 
3:    $WorkSet := \emptyset$ 
4:   for all  $t \in EnabledTransitions(P, T, A, M_0)$  do
5:      $WorkSet := WorkSet \cup \{\langle M_0, t \rangle\}$ 
6:   end for
7:   while  $WorkSet \neq \emptyset$  do
8:      $\langle M, t \rangle := RandomElement(WorkSet)$ 
9:      $WorkSet := WorkSet \setminus \{\langle M, t \rangle\}$ 
10:     $M' := FireTransition(P, t, A, M)$ 
11:    for all  $\{M'' \mid M'' \in V \wedge (M'' \rightarrow^* M \vee M'' = M) \wedge M'' < M'\}$  do
12:      for all  $p \in P$  do
13:         $mp := M(p)$ 
14:        if  $M''(p) < M'(p)$  then
15:           $M'(p) := \omega$ 
16:        end if
17:      end for
18:    end for
19:    if  $M' \notin V$  then
20:       $V := V \cup \{M'\}$ 
21:      for all  $t \in EnabledTransitions(P, T, A, M')$  do
22:         $WorkSet := WorkSet \cup \{\langle M', t \rangle\}$ 
23:      end for
24:    end if
25:     $E := E \cup \{\langle M, t, M' \rangle\}$ 
26:  end while
27:  return  $\langle V, E, v_0 \rangle$ 
28: end function
```

---

### 1.6.2 Různé výsledky grafu pokrytí

Při konstrukci grafu pokrytí záleží v jakém pořadí se hrany přidávají a výsledný graf může mít různý počet vrcholů a hran v závislosti na pořadí přidávání hran. V našem algoritmu využíváme funkce *RandomElement* která vybere náhodný prvek množiny a snažíme se tak tipovat jaké pořadí hran bude ideální pro sestrojení nejmenšího grafu. Pokud bychom chtěli sestrojit minimální graf pokrytí, museli bychom nahradit funkci *RandomElement* nějakou funkcí která by vždy vybrala přechody právě v takovém pořadí aby došlo k sestrojení minimálního grafu.

Že záleží na pořadí v jakém se hrany přidávají si můžeme ukázat na síti v obrázku 4. Zde ale musíme dávat pozor, protože v tomto případě čísla neznačí přechody, ale pořadí ve kterém byly hrany přidány.



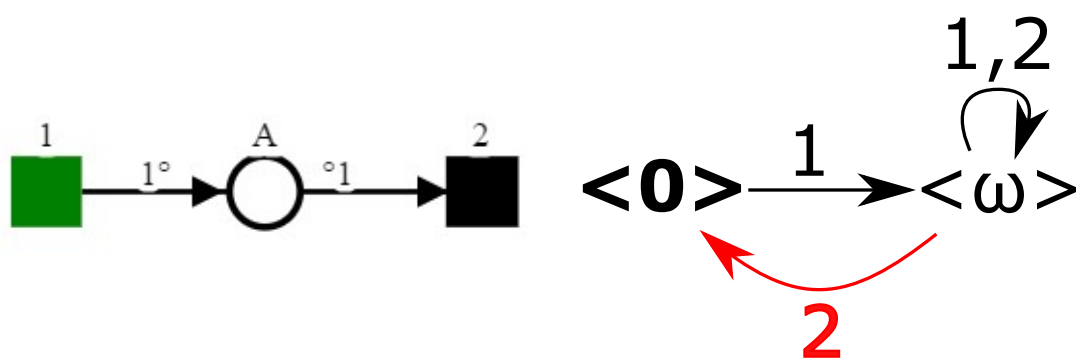
Obrázek 4: Příklad sítě z knihy Understanding petri nets[1](fig. 14.1)

### 1.6.3 Upravená verze vlastností

Oproti grafu dosažitelnosti náš graf pokrytí tak jak jsme ho sestrojili pomocí algoritmu `MakeCoverabilityGraph`[1](#) nemusí obsahovat všechny výsledky přechodů které mohou nastat a to znamená že v některých případech některé vlastnosti Petriho sítě nejsme schopni určit, protože nám chybí informace o těchto chybějících hranách grafu pokrytí. Problém je částečně způsobený tím jak máme definovanou hodnotu  $\omega$  a pokud nějaké místo  $p$  je ohodnoceno  $\omega$  pak už není možné aby z vrcholu s tímto ohodnocením vedla hrana do vrcholu kde místo  $p$  nebude mít hodnotu  $\omega$ .

V Obrázku 5 vidíme červěně ztvářenou hrana která při použití algoritmu MakeCoverabilityGraph1 chybí. Přitom by tam měla hrana být, protože když budeme neustále opakovat aktivaci přechodu 2 tak se eventuálně (až bude počet aktivací přechodu 2 roven počtu aktivací 1) dostaneme do ohodnocení kde má místo  $A$  hodnotu 0 což je zároveň výchozí ohodnocení. Díky této chybějící hraně bychom síť určili jako že není **vratná** ale přitom ve skutečnosti je. Proto musíme zjistit jestli jsou všechny vlastnosti grafu dosažitelnosti aplikovatelné i na graf pokrytí, případně upravit nebo rozšířit jejich definici.

Síť je **ohraničená** pokud graf pokrytí neobsahuje žádné  $\omega$  ohodnocení



Obrázek 5: Příklad neohraničené sítě s chybějící hranou v grafu pokrytí

*Důkaz (Ohraničenost sítě v grafu pokrytí)*

**Ohraničenost** sítě je určena konečností grafu dosažitelnosti. Nekonečný rozvoj grafu dosažitelnosti je vždy v grafu pokrytí symbolizován  $\omega$  ohodnocením. Z toho můžeme vyvodit že síť je **ohraničená** pokud její graf pokrytí neobsahuje žádné  $\omega$  ohodnocení.  $\square$

Petriho síť **neskončí** pokud graf obsahuje  $\omega$  ohodnocení.

*Důkaz (Konečnost sítě v grafu pokrytí)*

Petriho síť **neskončí** pokud je její graf dosažitelnosti nekonečný tudíž stejnou úvahou jako u ohraničenosti můžeme říct že síť **neskončí** pokud její graf pokrytí obsahuje  $\omega$  ohodnocení a skončí pokud je splněná původní podmínka v definici 4.  $\square$

Jestli je síť **vratná** z grafu s  $\omega$  ohodnocením jsme si už ukázali že díky chybějícím hranám určitelné není. Můžeme si ale jednoduchou úvahou určit množinu případů kdy síť rozhodně vratná není, a to v situaci kdy existuje  $\omega$  ohodnocení a neexistuje žádný přechod který by měl větší vstup jak výstup.

*Důkaz (Vratnost sítě v grafu pokrytí)*

Pokud máme  $\omega$  ohodnocení tak to mimo jiné znamená že se suma značek všech míst může při opakovaném aktivování některých přechodů zvyšovat neustále. Pak musí existovat i přechod který tuto sumu snižuje, neboli přechod který má vyšší sumu násobků z místa  $\rightarrow t$  než do místa  $t \rightarrow$ . Pokud takový přechod neexistuje přesto že v coverability grafu je  $\omega$  ohodnocení, pak můžeme s jistotou říct že síť není **vratná**  $\square$

Pro určení jestli je síť **vratná** v ostatních případech bychom potřebovali algoritmus který vytváří i zpětné hrany z  $\omega$  ohodnocení.

Petriho síť je **bez mrtvého bodu** pokud z každého vrcholu grafu pokrytí vede alespoň jedna hrana.



*Důkaz (Síť bez mrtvého bodu v grafu pokrytí)*

V tomto případě nemusíme rozlišovat  $\omega$  ohodnocení a standardní ohodnocení, pokud z něj vede v grafu hrana, znamená to že v tomto ohodnocení síť neuvázne.  $\square$

Petriho síť je **slabě živá** pokud pro každý přechod existuje v grafu hrana označená tímto přechodem.

*Důkaz (Slabě živá síť v grafu pokrytí)*

$\omega$  ohodnocení stejně jako v případě určování jestli je síť **bez mrtvého bodu** výsledek neovlivní.  $\square$

Petriho síť je **živá**<sup>{9}</sup> pokud pro každý přechod  $t$  a každé ohodnocení  $M$  existuje v grafu cesta z ohodnocení  $M$  do ohodnocení ze kterého vede hrana z označením přechodu  $t$ .

*Důkaz (živá síť v grafu pokrytí)*

Když jsou ohodnocení  $M < M'$ , pak pokud je přechod  $t$  povolený v  $M$  pak musí být povolený i v  $M'$ . Díky tomu můžeme určit že chybějící hrany z ostře větších ohodnocení do menších nejsou potřeba protože by jejich existence stejně neumožňovala přístup k dalším přechodům a proto můžeme živost vyčíst i grafu pokrytí.  $\square$

## 1.7 Příklady sítí

TODO: síť + analýza v programu

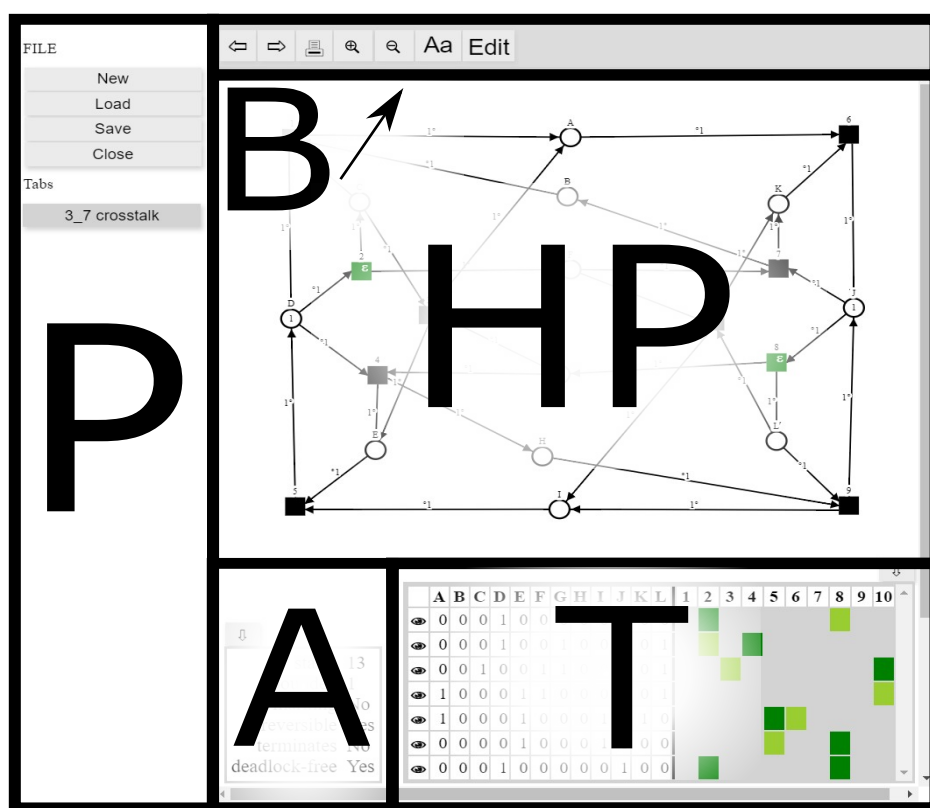
## 2 Editor

### 2.1 Systémové požadavky

- Operační systém: Windows 10 (starší verze windows netestovány)
- Ovládání: klávesnice+myš

### 2.2 Rozložení editoru

Editor je rozložený na několik částí. Všechny tyto části jsou písmeny označené v Obrázku 6 Rozložení editoru. Každá část editoru je popsána ve své vlastní sekci.



Obrázek 6: Rozložení editoru

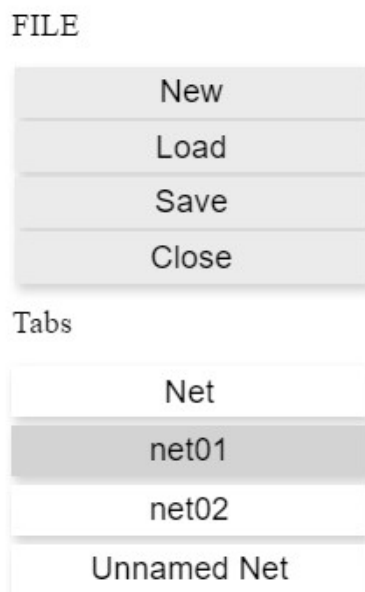
označení	název části editoru	sekce
P	Postranní panel	<a href="#">2.2.1</a>
HP	Hlavní plocha editoru	<a href="#">2.2.2</a>
B	Panel nástrojů editoru	<a href="#">2.2.3</a>
T	Tabulka ohodnocení	<a href="#">2.2.4</a>
A	Výsledky analýzy	<a href="#">2.2.5</a>

### 2.2.1 Postranní panel

Postraní panel obsahuje tlačítka pro práci se záložkami a samotné záložky. Pod označením **FILE** jsou tlačítka:

- New** Vytvoří novou prázdnou záložku
- Load** Otevře dialog pro načtení uložené sítě
- Save** Uloží síť v otevřené záložce. Pokud byla síť již uložena nebo načtena dialog nabídne uživateli na výběr dvě možnosti. Možnost *yes* uloží a přepíše původní soubor. Možnost *Select file* otevře dialog a uživatel vybere vlastní místo uložení.
- Close** Zavře aktuálně otevřenou záložku

Pod označením **Tabs** jsou pak záložky které se otvírají kliknutím. Záložky jsou nazvané podle jména souboru sítě.



Obrázek 8:  
Postranní panel

### 2.2.2 Ovládání, Hlavní plocha editoru

Editor je navržený tak aby bylo možné jej používat pouze za použití myši bez potřeby využívání klávesnice. Zároveň oproti ostatním editorům nemá různé nástroje (např. na vkládání různých objektů) a všechny akce editování jsou možné bez toho aby kurzor opustil hlavní plochu editoru.

Kliknutím levým tlačítkem myši se vytvoří přechod. Kliknutím na přechod se začne vytvářet hrana. Pokud se při vytváření hrany klikne do nějakého místa

tak se na něj hrana připojí. Pokud se klikne do prázdného prostoru vytvoří se zde nové místo. vytváření hrany jde zrušit pravým tlačítkem myši.

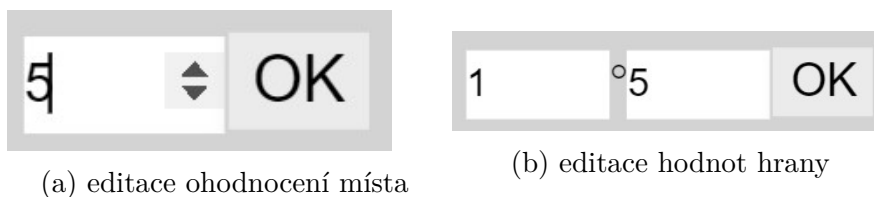
Při kliknutí na hranu nebo místo se otevře dialog na obrázku 9 editace hodnoty. Při najetí nad editované pole se zobrazí šipky kterými je možné přidávat nebo ubírat hodnotu, nebo je možné taky do něj kliknout aby se do zde umístil kurzor klávesnice a přitom když je myš stále nad polem použít kolečko na změnu hodnoty. Dialogy se ukládají kliknutím na OK nebo stiknutím Enter, kliknutí do jiného místa(levé i pravé) hlavní plochy způsobí zavření dialogu bez provedení změny.

Ohodnocení místa se dá měnit i bez otevření dialogu a to najetím myši a rolováním kolečka, zatímco při najetí a rolování na hranu pouze prohodí směr hrany. Rolování při najetí na přechody pouze odebere nebo přidá přechodu  $\epsilon$  označení(označení pouze orientační pro uživatele).

Kliknutím a tažením je pak možné jednotlivá místa a přechody přesouvat. Při přesouvání se jednotlivé objekty navzájem odpuzují aby nedošlo k jejich překrytí.

Nakonec pravým tlačítkem je možné místo, přechod nebo hranu odstranit.

Při editaci je možné také využít nějaké klávesové zkratky které jsou popsány v 2.2.6



Obrázek 9: Editace hodnot

TODO: módy + odkaz na tlačítko

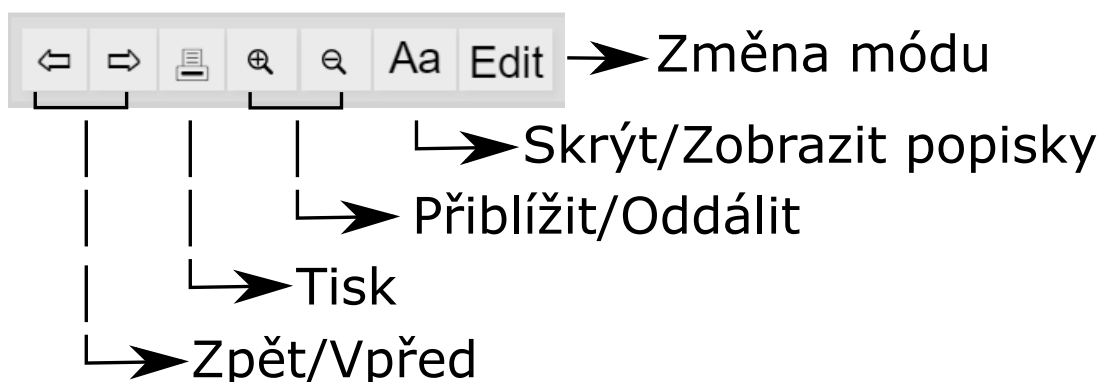
### 2.2.3 Panel nástrojů editoru

Funkce tlačítek panelu nástrojů zobrazeného v obrázku 10:

<b>Zpět/Vpřed</b>	Vrátí poslední akci nebo zruší vrácení poslední akce
<b>Tisk</b>	Otevře dialog pro tisk otevřené sítě
<b>Přiblížit/Oddálit</b>	Přiblíží/Oddálí Petriho síť
<b>Skrýt/Zobrazit popisky</b>	Skryje nebo zobrazí popisky míst a přechodů
<b>Změna módu</b>	Přepíná mezi <b>editovacím módem</b> a módem <b>spouštění sítě</b> .

#### 2.2.3.1 Tisk

Pro uložení sítě na disk je potřeba ještě vir



Obrázek 10: Panel nástrojů editoru

## 2.2.4 Tabulka ohodnocení

Tabulka ohodnocení (Obrázek 11) slouží pro rychlé testování sítě uživatelem. Každý řádek v tabulce reprezentuje jedno dosažitelné ohodnocení v levé části tabulky a povolené přechody v tomto ohodnocení jsou zobrazeny zelenými obdelníčky v pravé části tabulky. Uživatel může kdykoliv kliknout na jakýkoliv ze zelených obdelníků a tím přidá další řádek pod řádek na který kliknul který obsahuje nové ohodnocení vzniklé aplikací přechodu který uživatel vybral. Pokud uživatel vybral přechod na řádku pod kterým už řádky jsou, tak budou všechny odebrány a pak až se přidá nový.

Pokud uživatel najede na ikonu oka tak dojde k zobrazení ohodnocení daného řádku do sítě na hlavní ploše editoru.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0										
	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1										
	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1										
	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0										
	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0										
	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										

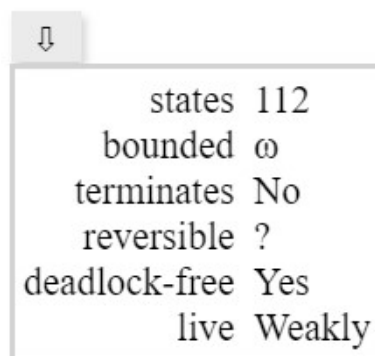
Obrázek 11: Tabulka ohodnocení

### 2.2.5 Výsledky analýzy

Ve výsledcích analýzy (viz Obrázek 12) jsou zobrazeny vlastnosti sítě podle sekce 1.6.3. Jak jednotlivé vlastnosti přechíst je popsáno v tabulce

Název v editoru	Vlastnost	Hodnota	Význam
	states	-	počet stavů sítě
bounded	<b>ohraničenost</b>	$\omega$ číslo	sít je <b>neohraničená</b> určuje <b>ohraničenost</b>
terminates	sít <b>skončí</b>	<i>Yes</i> <i>No</i>	sít <b>skončí</b> sít <b>neskončí</b>
reversible	<b>vratná</b>	<i>Yes</i> <i>No</i> ?	sít je <b>vratná</b> sít <b>není vratná</b> nevíme zda je sít <b>vratná</b>
deadlock-free	<b>mrtvý bodu</b>	<i>Yes</i> <i>No</i>	sít je <b>bez mrtvého bodu</b> sít má <b>mrtvý bod</b>
live	<b>živá / slabě živá</b>	<i>Yes</i> <i>Weakly</i> <i>No</i>	Sít je <b>živá</b> Sít je <b>slabě živá</b> Sít <b>není slabě živá</b>

Tabulka 1: Určování vlastností sítě v editoru



states	112
bounded	$\omega$
terminates	No
reversible	?
deadlock-free	Yes
live	Weakly

Obrázek 12: ukázka výsledků analýzy sítě

### 2.2.6 Klávesové zkratky

## 3 Použité technologie

Následující technologie byly využity pro vytvoření editoru Petriho sítí.

Zkratka	Akce
Ctrl + Z	Zpět
Ctrl + Shift + Z	Vpřed
Ctrl + O	Otevření uložené sítě
Ctrl + S	Uložení sítě na aktuální záložce
Ctrl + N	Vytvoření nové sítě

Tabulka 2: Klavesové zkratky využitelné v editoru

### 3.1 nodejs

Technologie která umožňuje využívat jazyk JavaScript pro psaní serverových aplikací. Cílem platformy nodeJS je vytvořit ekosystém pro jednoduší vývoj webových stránek a aplikací, kde stačí pro vyrvaření funkcionality pouze jeden programovací jazyk.

### 3.2 TypeScript

TypeScript je opensource programovací jazyk od společnosti Microsoft který je nadstavbou nad jazykem JavaScript. Jelikož je TypeScript nadstavbou nad programovacím jazykem JavaScript tak je jakýkoliv validní kód v JavaScriptu automaticky validním kódem v TypeScriptu. Typecript se kompiluje do Javascriptu a proto po stránce funkcionality nenabízí nic navíc avšak po stránce vývoje nabízí možnost statické typové kontroly se kterou je spjaté fungování našeptávačů v dnešních textových editorech a také nabízí možnost kompilace do starších verzí JavaScript se simulací funkcionality novějších verzí JavaScriptu.

Zdrojový kód 1 je ukázka jednoduchého kódu v JavaScript. Můžeme si zde všimnou proměnné *a* do které nakonec nahrajeme řetězec i přesto že ji máme definovanou jako číslo. Proto si musíme zároveň sami dávat pozor na to jestli tento jazyk využíváme správně a neobcházíme ho tak že bychom si jím spíš škodili než pomohli.

### 3.3 Electron

Electron je opensource framework vytvořený v NodeJS který zaobaluje Windows API (viz zdrojový kód 2) a dohromady se softwarem chromium umožňuje vytváření okenních aplikací za pomoci technologií HTML, CSS a JavaScript nebo TypeScript. Electron je stejně jako webová stránka nebo webová aplikace rozdělený na dvě části. „Serverová“ část komunikuje s Windows API a „klientská“ tzv. renderer část se stará už pouze o vykreslování okna. Obě části jsou pak propojené přes *Inter-Process Communication*, což uživatel může využívat přes objekty *ipcRenderer* na straně rendereru a přes *ipcMain* na straně serveru (viz Zdrojový kód 3).

```

1  // typová inference
2  let a = 10;
3  // řetězec není číslo CHYBA! - nezkompiluje se
4  a = "necislo";
5  // 12 je číslo, v pořádku
6  a = 12;
7  // obejití typovosti, proběhne v pořádku ale POZOR v a už není čí
    slo ikdyž podle typescriptu to tak vypadá
8  (a as any) = "necislo"
9  // definice typu s inicializací, b je číslo nebo text
10 let b: number | string = 10;
11 /**
12  * Funkce fnc je funce jednoho argumentu který je je složený objekt
    obsahující
13  * vlastnosti x a y které jseou čísla.
14  * Funkce fnc vrátí pravdivostní hodnotu.
15  */
16 function fnc(arg: {x:number,y:number}): boolean {
17     // Kód funkce, pokud všechny větve funkce
18     // nevrací definovanou návratovou hodnotu vyhodí chybu
19 }

```

Zdrojový kód 1: Ukázka TypeScriptu

### 3.4 Javascriptová Knihovna Data driven documents - D3

Knihovna D3 se používá pro zobrazení dat do *document object modelu*. Knihovna obsahuje selektory které umožňují vybrat zároveň data i DOM objekty a pracovat s nimi najednou. Hlavní výhodou knihovny je její rozdělení selektorů na **Enter**, **Exit**, **Update**. Selektor **Enter** se volá pokud dojde k případu že má kolekce dat větší počet prvků než je vytvořeno DOM elementů do kterých se mají zobrazovat. **Enter** je tedy selektor který definuje jak se vytváří nové DOM elementy když přibudou data. Naopak **Exit** selektor je pravým opakem **Enter** selektoru a stará se tedy o případy kdy máme méně dat než máme DOM elementů. Poslední selektor je **Update** který je standardním selektorem (jako je například přímo v JavaScriptu `document.querySelector`), který přímo aplikuje změny dat do DOM elementů. Selektory **Enter** a **Exit** mají své příkazy zatímco selektor **Update** speciální příkaz nemá a je to jen souhrné označení všech ostatních selektorů. V ukázce (viz Zdrojový kód 4) je jednoduchý kód který pro každý prvek dat zobrazí jeden řádek s těmito daty.

### 3.5 Scalable vector graphics (SVG)

SVG je značkovací jazyk vycházející z XML který popisuje vykreslování vektorové grafiky. Je ideální pro vytváření grafiky je vyžadováno aby se dala přibližovat a přitom se neztrácela kvalita obrazu (proto Scalable). V editoru je tato technologie využita v samotnému vykreslování sítí.



```

1  import { BrowserWindow, Menu, app } from "electron";
2  function createWindow() {
3      // vytvoření samotného okna
4      const mainWindow = new BrowserWindow({
5          width: 400, height: 500,
6          title: 'NazevOkna',
7      });
8      // otevře výchozí stránku
9      mainWindow.loadURL(`file://${__dirname}/index.html`);
10     // odebere horní menu aplikace
11     Menu.setApplicationMenu(null);
12 }
13
14 // počká až vše bude připraveno
15 app.on('ready', createWindow);

```

Zdrojový kód 2: Vytváření okna v elektronu

```

1  //server
2  ipcMain.on("user-event-name", (e, arg)=>{
3      // Do Something
4  })
5
6  //renderer
7  ipcRenderer.send("user-event-name", { /*DATA*/ })

```

Zdrojový kód 3: Komunikace v rámci procesu elektronu

### 3.6 JavaScript object notation (JSON)

JSON je technologie která využívá notace javascriptových objektů pro ukládání dat. Výhodou tohoto formátu je že po rozparsování souboru se může s ním hned v javascriptu jednoduše pracovat a také je čitelný pro člověka a je podporovaný ve většině softwaru. Sítě vytvořené v editoru jsou ukládány v tomto formátu. Uložené sítě nejsou určeny aby je někdo editoval, ale uložená síť může být třeba použita v jiném programu který si ji rozparsuje a bude s ní dál pracovat. V ukázce (viz Zdrojový kód 5) je síť tvořená jedním místem s ohodnocením 2, jedním přechodem a hranou směřující do místa.

```

1 import * as d3 from 'd3';
2
3 // vybere v DOM element co má id container
4 const container = d3.select("#container");
5 // data která chceme zobrazit
6 const data = [1, 2, 3, 4];
7 // propojíme data s DOMem
8 container.data(data)
9     // enter selektor
10    .enter()
11    // pro data které nemají element jej přidáme
12    .append("li")
13    // přejde zpět na update selektor
14    .merge(container)
15    // změní text li elementu na číslo z dat
16    .text(d => d)
17    // exit selektor
18    .exit()
19    // odebere přebívajících DOM elementy
20    .remove()
21    ;

```

Zdrojový kód 4: Ukázka kódu v D3

## 4 Stavba programu

### 4.1 Třída 1

### 4.2 Třída 2

### 4.3 Třída 3

### 4.4 Třída 4

## 5 Obsah přiloženého CD/DVD

Na samotném konci textu práce je uveden stručný popis obsahu přiloženého CD/DVD, tj. jeho závazné adresářové struktury, důležitých souborů apod.

### **bin/**

Instalátor INSTALATOR programu, popř. program PROGRAM, spustitelné přímo z CD/DVD. / Kompletní adresářová struktura webové aplikace WEBOVKA (v ZIP archivu) pro zkopírování na webový server. Adresář obsahuje i všechny runtime knihovny a další soubory potřebné pro bezproblémový běh instalátoru a programu z CD/DVD / pro bezproblémový provoz webové aplikace na webovém serveru.

```

1  {
2    "places": [
3      {
4        "id": 0,
5        "position": {
6          "x": 95, "y": 35
7        },
8        "marking": 2
9      }
10   ],
11   "transitions": [
12     {
13       "position": {
14         "x": 30, "y": 35
15       },
16       "id": 0,
17       "isCold": false
18     }
19   ],
20   "arcs": [
21     {
22       "place_id": 0,
23       "transition_id": 0,
24       "toPlace": 1,
25       "toTransition": 0
26     }
27   ]
28 }

```

Zdrojový kód 5: Uložení petriho sítě

#### **doc/**

Text práce ve formátu PDF, vytvořený s použitím závazného stylu KI PřF UP v Olomouci pro závěrečné práce, včetně všech příloh, a všechny soubory potřebné pro bezproblémové vygenerování PDF dokumentu textu (v ZIP archivu), tj. zdrojový text textu, vložené obrázky, apod.

#### **src/**

Kompletní zdrojové texty programu PROGRAM / webové aplikace WEBOVKA se všemi potřebnými (příp. převzatými) zdrojovými texty, knihovnami a dalšími soubory potřebnými pro bezproblémové vytvoření spustitelných verzí programu / adresářové struktury pro zkopírování na webový server.

#### **readme.txt**

Instrukce pro instalaci a spuštění programu PROGRAM, včetně všech požadavků pro jeho bezproblémový provoz. / Instrukce pro nasazení webové aplikace WEBOVKA na webový server, včetně všech požadavků pro její bezproblémový provoz, a webová adresa, na které je aplikace nasazena pro

účel testování při tvorbě posudků práce a pro účel obhajoby práce.

Navíc CD/DVD obsahuje:

**data/**

Ukázková a testovací data použitá v práci a pro potřeby testování práce při tvorbě posudků a obhajoby práce.

**install/**

Instalátory aplikací, runtime knihoven a jiných souborů potřebných pro provoz programu PROGRAM / webové aplikace WEBOVKA, které nejsou standardní součástí operačního systému určeného pro běh programu / provoz webové aplikace.

**literature/**

Vybrané položky bibliografie, příp. jiná užitečná literatura vztahující se k práci.

U veškerých cizích převzatých materiálů obsažených na CD/DVD jejich zahrnutí dovolují podmínky pro jejich šíření nebo přiložený souhlas držitele copyrightu. Pro všechny použité (a citované) materiály, u kterých toto není splněno a nejsou tak obsaženy na CD/DVD, je uveden jejich zdroj (např. webová adresa) v bibliografii nebo textu práce nebo v souboru `readme.txt`.

## Literatura

- [1] REISIG, Wolfgang. *Understanding petri nets : modeling techniques, analysis methods, case studies*. Berlin: Springer, 2013. ISBN 978-3-642-33277-7.
- [2] **Webová stránka:** *NodeJS*. Dostupný z: <https://nodejs.org/>.
- [3] **Webová stránka:** *ElectronJS*. Dostupný z: <https://electronjs.org/>.
- [4] **Webová stránka:** *Data driven documents*. Dostupný z: <https://d3js.org/>.
- [5] **Webová stránka:** *Výukový materiál svg na w3schools*. Dostupný také z: <https://www.w3schools.com/graphics/>.
- [6] **Webová stránka:** *Google-developers JavaScript Promises: an Introduction*. Dostupný také z: <https://developers.google.com/web/fundamentals/primers/promises>.

## Rejstřík

dosažitelné ohodnocení, [8](#), [10](#)

sít živá, [11](#), [17](#)

sít bez mrtvého bodu, [10](#)

sít ohraničenost, [10](#)

sít skončí, [10](#)

sít slabě živá, [11](#)

sít vratná, [10](#)