



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

## MODEL SOUSTAVY KŘIŽOVATEK

CROSSROADS MODEL

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Závěš

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Radek Štohl, Ph.D.

BRNO 2018

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

**Student:** Jan Záviš

**ID:** 173935

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2017/18

**NÁZEV TÉMATU:**

## Model soustavy křižovatek

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Proveďte literární rešerši o řízení křižovatek a plynulé dopravní průjezdnosti soustavou křižovatek.
2. Realizujte fyzický demonstrační panel soustavy křižovatek s informací o hustotě dopravy na křižovatkách.
3. Realizujte řídicí systém a vytvořte příslušnou aplikaci na bázi PLC.
4. Ověřte své řešení a vypracujte příslušnou technickou dokumentaci.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

Křivda, Vladislav. Metody dopravního prognózování I. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2009. 185 s. ISBN 978-80-2-8-2121-4.

Dle vlastního literárního průzkumu a doporučení vedoucího práce.

**Termín zadání:** 5.2.2018

**Termín odevzdání:** 21.5.2018

**Vedoucí práce:** Ing. Radek Štohl, Ph.D.

**Konzultant:**

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.**  
předseda oborové rady

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.



## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá problematikou křižovatek, především je zaměřena na světelné křižovatky. Jsou zde probrány jejich druhy, způsoby jejich ovládání a metody jejich realizací. Dále je zde probrána závislost jejich časování na plynulosti provozu. Následně se tato práce zabývá propojením jednotlivých křižovatek, aby nedocházelo ke kolapsu v dopravě a provoz zůstal neustále plynulý. To je spjato se změnami časových prodlev v závislosti na dopravní situaci, například při dopravní špičce. Mimo to zde nechybí ani obecný popis křižovatek jako takových. Jejich dělení, výhody a nevýhody. Dále je tato práce zaměřena na návrh a realizaci demonstračního panelu, který bude sloužit jako učební pomůcka do laboratoře. Jedná se o návrh grafické podoby panelu, návrh schématu řídicího systému, navržení desky plošných spojů pro řídicí systém a realizace fyzického demonstračního panelu. Dále je zde řešena problematika výběru vhodného zdroje, pro řídicí systém. Dále se práce zabývá navržením univerzálního kódu, který bude sloužit jako šablony různé druhy křižovatek. A nakonec je zde řešena problematika prvotního oživení. Sem spadá propojení panelu s programovatelným automatem a následné nahrání programu.

## **Klíčová slova**

Křižovatka, návěstidlo, světelné signalizační zařízení, kapacita světelné křižovatky, mikroprocesorový radič, řídicí systém



## **Abstract**

The topic of my bachelor thesis is The Model of Crossroads Systems with Light Signals. My bachelor thesis is divided into 3 parts. The first one is a theory where the issue of crossroads is described, especially focuses on light's signals. I have described specific ways of control and methods of realization such crossroads. Furthermore, project is focused on theirs timing of traffic fluency. The thesis also describes the hook-up of individual crossings not to avoid collapse in roads and traffics will be fluent. This is connected with changes in time delays depending on the traffic situation, for example rush hour. In addition, there is a general description of the crossroads as well, their division, advantages and disadvantages. The second part is focused on the design of a demonstration panel that will help as learning tools in the laboratory. This chapter contains a graphic design of a panel, a design of a control system scheme, a design of a PCB for a control system and the realization of a physical demonstration panel. In the project the issue of selecting a suitable source for the control system is analyzed. Furthermore, the thesis deals with the design of a universal code, which will serve as a template for various kinds of intersections. Finally, the issue of the initial recovery is addressed. Here comes the connection of the panel with the programmable automaton and the subsequent program upload.

## **Keywords**

Crossroad, signal, light signalling device, light crossing capacity, microprocessor controller, control system

### **Bibliografická citace:**

ZÁVIŠ, J. *Model soustavy křižovatek*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 74 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radek Štohl, Ph.D..

## **Prohlášení**

„Prohlašuji, že svou diplomovou (bakalářskou) práci na téma Model soustavy křížovatek jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho diplomové (bakalářské) práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové (bakalářské) práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové (bakalářské) práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **18. května 2018**

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářského projektu Ing. Radku Štohlovi, Ph.D. za účinnou, metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mého semestrálního projektu. Dále bych chtěl poděkovat, mému otci Milanu Závíšovi za věcné rady a odbornou pomoc při tvorbě grafické podoby panelu a konstrukci celého zařízení. A v poslední řadě bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Vladislavu Křivdovi, Ph.D. za svolení používat jeho webové stránky jako hlavní zdroj informací.

V Brně dne: **18. května 2018**

.....  
podpis autora

# Obsah

1.	Úvod.....	16
2.	Křižovatky.....	17
2.1	Úrovňové křižovatky.....	17
2.2	Mimoúrovňové křižovatky.....	18
2.3	Okružní křižovatky.....	18
2.4	Křižovatky se světelným signalizačním zařízením.....	19
3.	Křižovatky se světelným signalizačním zařízením.....	20
3.1	Důležité kritéria.....	20
3.1.1	Bezpečnost provozu.....	20
3.1.2	Intenzita provozu vozidel.....	21
3.1.3	Intenzita pohybu chodců.....	21
3.1.4	Intenzita provozu MHD.....	22
3.2	Způsoby řízení.....	23
4.	Návěstidla.....	25
4.1	Druhy návěstidel.....	25
4.1.1	Návěstidla pro vozidla.....	26
4.1.2	Návěstidla pro chodce a cyklisty.....	27
4.2	Požítí opakovacích návěstidel.....	28
5.	Kapacita křižovatek se světelným signalizačním zařízením.....	29
5.1	Technické podmínky 81.....	29
5.1.1	Signální plán.....	29
5.1.2	Časový interval.....	29
5.1.3	Odbočení vlevo.....	29
5.1.4	Odbočení vpravo.....	30
5.1.5	Počet fází.....	30
5.1.6	Zelená vlna.....	33
5.2	Technické podmínky 235.....	35
5.2.1	Intenzity pro návrh dopravy.....	35
5.2.2	Geometrický tvar křižovatky.....	36
5.2.3	Signální plán.....	36
5.2.4	Úroveň kvality dopravy.....	37



5.2.5	Protokol.....	37
6.	Systémy pro řízení křižovatek se světelnou sygnalizací .....	38
6.1	MR-11 – Mikroprocesorový řadič .....	38
6.2	Další systémy a periférie .....	39
7.	Demonstrační panel.....	40
7.1	Realizace fyzického demonstračního panelu .....	40
7.1.1	Grafická podoba demonstračního panelu .....	40
7.1.2	Výroba fyzického demonstračního panelu .....	42
7.2	Realizace řídicího systému.....	43
7.2.1	Návrh schémat řídicího systému.....	45
7.2.2	Návrh desek plošných spojů řídicího systému.....	48
7.2.3	Konečné osazení plošných spojů .....	50
7.3	Konečné sestavení fyzického demonstračního panelu.....	50
7.3.1	Zasazení do ránu .....	50
7.3.2	Přípevnění plošných spojů .....	51
7.3.3	Přidělení DC-DC snižujícího měniče .....	51
7.3.4	Umístění kabelů .....	52
7.3.5	Přidělení plošek pro magnetky .....	52
7.3.6	Finální pohled .....	53
8.	Vytvoření aplikace na bázi PLC .....	54
8.1	Univerzální křižovatka .....	54
8.2	Vývojový diagram.....	55
8.3	Instrukce .....	56
8.3.1	Instrukce Pruh_chodci1 .....	56
8.3.2	Instrukce Pruh 2 .....	57
8.3.3	Instrukce Noční režim.....	58
8.3.4	Instrukce Křižovatka.....	59
8.4	Program .....	60
8.5	Proměnné použité v programu .....	60
8.6	Druhy provozů .....	61
8.6.1	Signální plány .....	61
8.6.2	Binární kódy .....	62

9.	Ověření řešení .....	63
9.1	Oživení demonstračního panelu .....	63
9.2	Připojení demonstračního panelu k PLC.....	63
9.3	Zkušební provoz demonstračního panelu.....	64
10.	Závěr .....	65

# Seznam symbolů a zkratk

## Zkratky:

SSZ	...	Světelné signalizační zařízení
PLC	...	Programovatelný automat
ULN	...	Darlingtonové tranzistorové pole ULN2004A
TTL	...	Tranzistorově tranzistorová logika

## Symbols:

U	...	napětí	[V]
R	...	odpor	[ $\Omega$ ]
I	...	proud	[A]
C	...	minimální délka cyklu	[s]
$t_z$	...	nutná doba zelené fáze	[s]
$t_m$	...	rozhodující mezičas mezi po sobě jdoucími fázemi	[s]
V	...	nejvyšší dovolená rychlost	[km/h]

## Seznam obrázků

Obr. 2-1 Úrovňové neokružní křižovatky [2] .....	17
Obr. 2-2 Mimoúrovňové křižovatky .....	18
Obr. 2-3 Okružní křižovatka .....	19
Obr. 3-1 Informativní určení druhu a typu dopravy [4].....	21
Obr. 3-2 Aktivní detekce MHD [4] .....	22
Obr. 3-3 Smičkové snímání [4].....	24
Obr. 3-4 Pasivní infračervené snímání [4].....	24
Obr. 3-5 Video-detekční snímání [4].....	24
Obr. 4-1 Křižovatka se SSZ podle normy ČSN 73 6021 [5] .....	25
Obr. 4-2 Tříbarevné soustavy [6].....	26
Obr. 4-3 Doplnující signalizace [6] .....	26
Obr. 4-4 Signalizace pro řízení dopravy v tunelech [6].....	27
Obr. 4-5 Návěstidla pro chodce, cyklisty a kombinované [6] .....	27
Obr. 4-6 Názorné znázornění použití opakovacích návěstidel [6].....	28
Obr. 5-1 Obrázek řazení fází [8].....	31
Obr. 5-2 Pevné fázové přechody [8].....	31
Obr. 5-3 Průběžné fázové přechody I. [8].....	32
Obr. 5-4 Pružné fázové přechody II. [8].....	32
Obr. 5-5 Křižovatka s dělicím bodem v blízkém okolí [9].....	34
Obr. 5-6 Posloupnost fází koordinovaného řízení [9].....	35
Obr. 5-7 Protokol pro posouzení stability křižovatek se SSZ [10].....	37
Obr. 6-1 Řadič MR – 11 a příklad použití [12] .....	38
Obr. 7-1 Přední strana demonstračního panelu.....	40
Obr. 7-2 Vyvrtaný otvor pro návěstidlo pro auta.....	43
Obr. 7-3 Vyříznutí otvoru pro LEDbar a přepínač .....	43
Obr. 7-4 Vyvrtání otvoru pro uchycení plošných spojů .....	43
Obr. 7-5 Směr s jedním návěstidlem pro auta a přechodem pro chodce .....	44
Obr. 7-6 Směr se dvěma návěstidly pro auta .....	44
Obr. 7-7 Směr pouze s přechodem pro chodce .....	44
Obr. 7-8 LEDbar a tahový přepínač.....	44

Obr. 7-9 Jednoduché blokové schéma modelu soustavy křižovatek .....	45
Obr. 7-10 Základní schéma pro úrovnový převodník (výstupy z PLC) .....	46
Obr. 7-11 Zapojení tlačítka a tahového přepínače .....	47
Obr. 7-12 Šablony pro EAGLE .....	48
Obr. 7-13 Šablony pro EAGLE .....	48
Obr. 7-14 Křižovatky osazené deskami plošných spojů.....	48
Obr. 7-15 Deska plošných spojů (Bottom vpravo, Top vlevo).....	49
Obr. 7-16 Deska plošných spojů (Bottom vpravo, Top vlevo).....	49
Obr. 7-17 Osazování plošných spojů .....	50
Obr. 7-18 Pohled na zadní stranu demonstračního panelu .....	50
Obr. 7-19 Osazení desek plošných spojů.....	51
Obr. 7-20 DC-DC snižující měnič [19] .....	51
Obr. 7-21 Umístění kabelů.....	52
Obr. 7-22 Přidělení kovových plošek .....	52
Obr. 7-23 Finální pohled.....	53
Obr. 8-1 Schéma univerzální křižovatky .....	54
Obr. 8-2 Zkrácený vývojový diagram.....	55
Obr. 8-3 Instrukce Pruh_chodci1 .....	56
Obr. 8-4 Vstupy a výstupy pro Pruh_chodci1 .....	57
Obr. 8-5 Instrukce Pruh_chodci2.....	57
Obr. 8-6 Vstupy a výstupy pro Pruh_chodci2 .....	58
Obr. 8-7 Instrukce pro Noční režim.....	58
Obr. 8-8 Vstupy a výstupy pro instrukci Noční režim.....	59
Obr. 8-9 Instrukce křižovatka .....	59
Obr. 8-10 Vstupy a výstupy pro instrukci Křižovatka.....	60
Obr. 9-1 Dopravní situace.....	64

## Seznam tabulek

Tabulka 5-1 Koeficienty pro různé skupiny vozidel [10].....	36
Tabulka 5-2 Efektivní hodnoty zeleného signálu [10].....	36
Tabulka 5-3 Úroveň kvality dopravy [10] .....	37

## Seznam rovnic

( 5-1 ) Výpočet délky cyklu .....	32
( 5-2 ) Sestavení signálního plánu pro statické řízení .....	33
( 5-3 ) Sestavení signálního plánu pro dynamické řízení.....	33
( 5-4 ) Výpočet nejvyšší dovolemé rychlosti .....	34
( 5-5 ) Výpočet potřebného času v závislosti na vzdálenosti křižovatek.....	34
( 7-1 ) Výpočet předřadného odporu pro LED.....	47
( 7-2 ) Výpočet předřadného odporu pro tranzistor .....	47

# 1. ÚVOD

Tato práce nese název „Model soustavy křižovatek“ a jak napovídá název, je zde popsána problematika křižovatek, konkrétně problematika světelných křižovatek.

Jsou zde popsány jejich druhy, způsoby jejich řízení, ovládání a metody jejich realizací.

Dále jsou zde popsány závislosti jejich načasování na plynulosti provozu a propojení jednotlivých křižovatek, aby nedocházelo ke kolapsu v dopravě a provoz zůstal neustále plynulý.

Změny časových prodlev v závislosti na dopravní situaci, například při dopravní špičce.

Výstupem a hlavním cílem tohoto projektu je funkční fyzický vertikální model soustavy křižovatek.

Na tomto modelu bude mapa nějaké části města. V místech semaforů budou LED, semaforey jak pro vozidla, tak pro chodce. Dále zde bude znázorněna hustota provozu. A nesmí chybět ani tlačítka pro chodce.

Dále se musí navrhnout a realizovat řídicí elektronika, která bude na zadní straně panelu. Tato elektronika bude propojovat PLC, které má 24 V logiku, s LED a tlačítky na panelu, které mají 5 V logiku.

A v poslední řadě se musí panel oživit jednoduchým programem v PLC, který nám ožíví čtyři křižovatky. Aby bylo vidět že je řídicí elektronika vytvořená správně a podle regulí.



## 2. KŘIŽOVATKY

Křižovatka je to místo, kde se spojují nebo protínají dvě nebo více pozemních komunikací.

Mohou se spojovat nebo protínat dvě vedlejší silnice. Pokud zde není dopravní značení, tak platí pravidlo pravé ruky. Pokud je zde nějaké dopravní značení, například stopka na některé komunikaci, znamená to, že se musíme řídit značkami.

Nebo se zde mohou protínat nebo spojovat hlavní silnice s vedlejší silnicí. Zde se již budou nacházet dopravní značky, aby bylo zřejmé, které silnice jsou hlavní a které jsou vedlejší. V takovém případě mají přednost řidiči na hlavní silnici a ti co se nacházejí na vedlejší komunikaci, jim musejí dát přednost.

Křižovatky se dají rozdělit podle počtu a orientace ramen a dále také podle úrovně ve kterých dochází ke křižování.

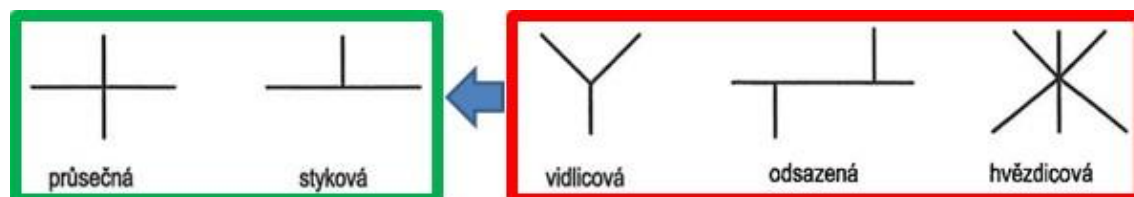
Dělí se na:

1. Úrovňové neokružní křižovatky
2. Mimoúrovňové křižovatky
3. Okružní křižovatky
4. Křižovatky se světelným signalizačním zařízením (SSZ)
  - (Toto téma je hlavní náplní mého semestrálního projektu)

### 2.1 Úrovňové křižovatky

Úrovňové neokružní křižovatky, které jsou dostupné z [2] se dají rozdělit do tří skupin. Tyto skupiny vznikly na základě přednosti v jízdě, dále zda je křižovatka upravena dopravními značkami. A v poslední řadě, zda je provoz na křižovatce upravený světelnou signalizací.

1. Přednost v jízdě je dána zažitými pravidly dopravního provozu, například přednost zprava a přednost protijedoucích automobilů při odbočení vlevo.
2. Dopravní značky nám upravují, kdo má přednost a kdo jí musí dát. Na příklad se zde nacházejí značky označující hlavní komunikaci, značky dej přednost v jízdě, značky pro povinnost zastavit, značky pro přikázaný směr jízdy a značky pro zákaz odbočení.
3. V takovémto případě je provoz řízený v závislosti na hustotě dopravy časovými prodlevami mezi jednotlivými pruhy. Pokud se jedná o koridor tak se křižovatky spojují do funkčního celku a jsou mezi sebou propojené. Na následujícím obrázku je vidět styl úrovňových neokružních křižovatek, jak vypadají při pohledu shora.



Obr. 2-1 Úrovňové neokružní křižovatky [2]

## 2.2 Mimoúrovňové křižovatky

Je to zvláštní typ křižovatek, protože se skládají z více úrovní. Je tím myšleno že, obsahují nadjezdy, podjezdy, sjezdy a nájezdy.

Využívají se hlavně tam kde by bylo velmi obtížné dopravu usměrnit klasickou křižovatkou, ať už řízenou či neřízenou semaforem, nebo kruhovým objezdem.

Dále v tom hraje velikou roli terén, ve kterém se mají silnice křižovat. Při takových křižovatkách se pro nadjezdy využívá okolní vyvýšená hornina.

Další důvod je velmi jednoduchý. Pokud máme mnohaproudé silnice a chceme je křižovat. Například, když máme deseti proudé silnice, co se mají křižovat.

Co tím je myšleno je patrné z následujícího obrázku.



Obr. 2-2 Mimoúrovňové křižovatky

## 2.3 Okružní křižovatky

Tato kapitola vychází ze zdroje dostupného z [3].

„Okružní křižovatka (OK) je úroňová usměrněná křižovatka uspořádaná tak, že vozidla vjíždějící do křižovatky odbočují vpravo a pohybují se po okružním jízdním pásu k požadovanému výjezdu, do kterého odbočují opět vpravo.“

Okružní křižovatky nebo také kruhové objezdy mají mnoho kladných přínosů v dopravě. Zde je krátký výčet některých kladů.

Klady:

1. Výrazně se snižuje rychlost
2. Vede ke zvýšení bezpečnosti provozu
3. Pokud není dopravní špička tak je plynulejší provoz na všech paprscích kruhového objezdu
4. Umožňuje lehké řešení více proudých jednoúrovňových křižovatek
5. Dále se dá pro estetické a umělecké účely využít vnitřní ostrůvek

Též kruhové objezdy mohou mít více pruhů, vše je závislé na požadavcích v dopravě. Na následujícím obrázku je znázorněný ukázkový kruhový objezd, který byl již zmíněn.



**Obr. 2-3 Okružní křižovatka**

## **2.4 Křižovatky se světelným signalizačním zařízením**

Toto téma je hlavní náplní tohoto bakalářského projektu. Nepůjde zde o návrh samotné křižovatky jako takové, ale jen o návrh semaforového řízení křižovatek.

Jde tedy o světelné křižovatky. Všeobecně se s nimi seznámíme a přiblížíme si kapacitní výpočet těchto křižovatek.

Je zde zavedená nová zkratka SSZ. Tato zkratka doslovně znamená světelné signalizační zařízení.

Jelikož je tato problematika hlavní náplní bakalářského projektu, tak je podrobněji probrána v následujících kapitolách.

## 3. KŘIŽOVATKY SE SVĚTELNÝM SIGNALIZAČNÍM ZAŘÍZENÍM

V tomto oddíle je podrobněji probrána problematika světelně řízených křižovatek, toto téma je dostupné z [4]. Nyní se zde nachází všeobecná pravidla s podrobnějším vysvětlením.

Ke vzniku světelných křižovatek došlo ze dvou hlavních důvodů.

Důvody pro vznik SSZ:

1. Zvýšení bezpečnosti dopravního provozu
2. Zvýšení plynulosti průjezdů křižovatkami

Hlavní prioritou je bezpečnost dopravního provozu pro všechny účastníky provozu. Jako pro každou danou křižovatku, tak i pro ty se světelným řízením platí pár pravidel.

Pro SSZ platí:

1. MHD mají preferenci pro průjezd křižovatkou (ale jen za předpokladu že je to technicky možné)
2. Poté mají preferenci nejvíce zatížené směry (ať už jde o chodce anebo velmi frekventovaný jízdní pruh)

### 3.1 Důležité kritéria

Pro návrh světelného řízení platí čtyři kritéria, která by se měla akceptovat, je-li to technicky možné.

Důležitá kritéria:

1. Bezpečnost provozu (jedná se o řidiče, cyklisty a chodce)
2. Intenzita provozu vozidel (především to závisí na časech kdy jsou dopravní špičky)
3. Intenzita pohybu chodců (to především závisí na denní době, například když lidé chodí do práce a z práce)
4. Intenzita provozu MHD (jak často jezdí hromadná přeprava danou křižovatkou, aby nedocházelo ke zpožděním)

Zde jsou jednotlivá kritéria více přiblížena.

#### 3.1.1 Bezpečnost provozu

Podle [4] citují:

*„SSZ navrhujeme na křižovatkách s vysokými intenzitami a s vysokým počtem dopravních nehod:*

- *tj. tam, kde při neřízeném provozu byla průměrná relativní nehodovost a předchozí tři roky minimálně 4 dopravní nehody na 1 milion vozidel vjíždějících do křižovatky,*

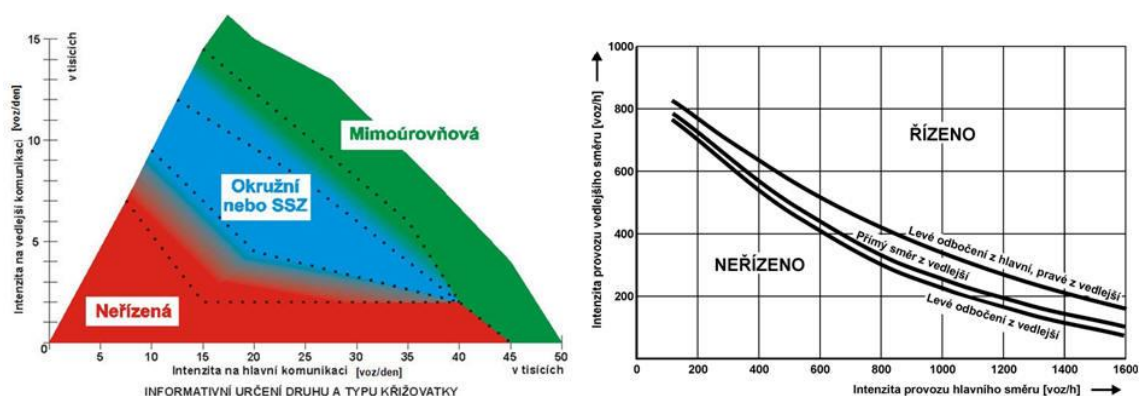
- *analýzou nehodovosti musí být prokázáno, že tyto dopravní nehody nelze omezit jiným způsobem.*“

Dále se musí brát v potaz další dvě důležité skutečnosti. A to tyto:

1. Přechod pro chodce se může nacházet na velmi frekventované pozemní komunikaci.
2. A jelikož tramvaje „šaliny“ nemají železniční přejezdy tak jako vlaky, musí se o jejich bezpečný přejezd přes pozemní komunikaci postarat světelná signalizace formou světelné křižovatky.

### 3.1.2 Intenzita provozu vozidel

Následující obrázky názorně vysvětlují, jak hustota provozu určuje typ křižovatky.



Obr. 3-1 Informativní určení druhu a typu dopravy [4]

### 3.1.3 Intenzita pohybu chodců

Vychází se z intenzity dopravy na daném přechodu v průměru osmi dopravně nejvíce zatížených hodin/den a dále mezních hodnot intenzity dopravy, při kterých chodci mohou bezpečně přejít pozemní komunikaci.

Tyto mezní hodnoty se řídí pravidly TP 81. Zde si všechny tři pravidla vypíšeme.

1. Jedno či dvou proudů pozemní komunikace – 1 100 vozidel/h
2. Tři proudů pozemní komunikace – 1 000 vozidel /h
3. Čtyř a více proudů pozemní komunikace – 900 vozidel/h
  - a. Zde je výjimka! Toto není přípustné podle ČSN 73 6110 na nově zřizovaných a rekonstruovaných silnicích!

### 3.1.4 Intenzita provozu MHD

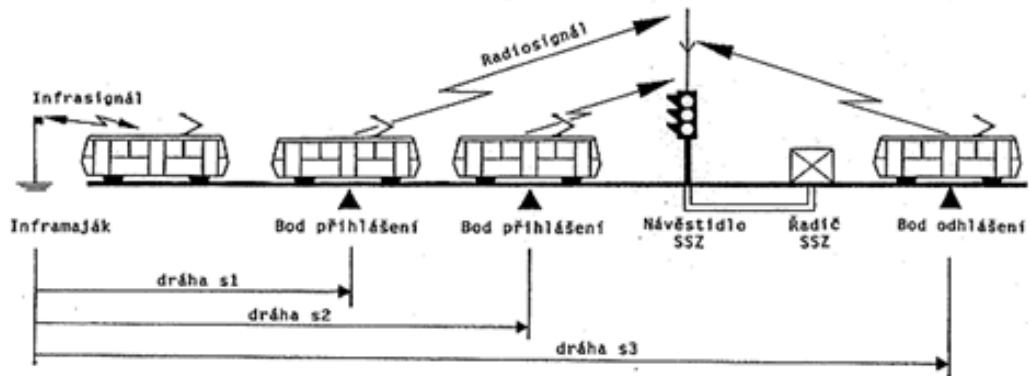
Toto kritérium není však vždy součástí křižovatek. Toto kritérium je velmi náročné na techniku. Nachází se spíše ve velkých městech a jen na těch nejfrekventovanějších dopravních uzlech.

Funguje to na principu přiblížení MHD ke křižovatce. Každé HMD je vybaveno radio-vysílačem anebo infra-vysílačem. Na křižovatce se pak nachází radio-přijímač nebo infra-přijímač. Ten dá řídicímu systému hlášku o tom, kolik a v jakém pruhu se nachází MHD. Systém na to zareaguje tím, že pruh, ve kterém se bude nacházet MHD bude přednostně obslužen.

Následující obrázek znázorňuje toto řešení.

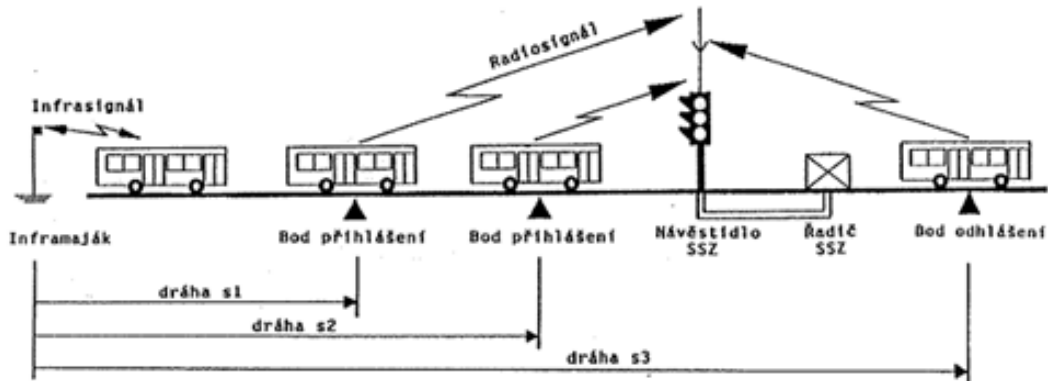
#### Aktivní detekce tramvají na světelné signalizaci

Způsob „inframaják – radiosignál“



#### Aktivní detekce autobusů na světelné signalizaci

Způsob „inframaják – radiosignál“



Obr. 3-2 Aktivní detekce MHD [4]

## 3.2 Způsoby řízení

Zde jsou způsoby řízení světelných křižovatek.

Z [4] cituji:

”

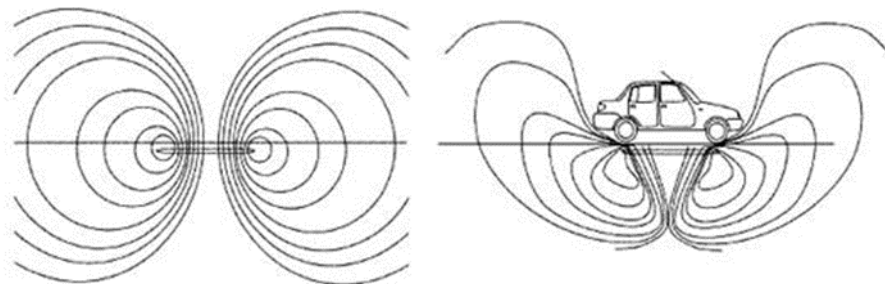
1. *vzájemné vzdálenosti křižovatek jako:*
  - *izolované – při vzdálenostech mezi křižovatkami nad 1000 m*
  - *koordinované (v koordinaci liniové nebo plošné):*
    - *při vzdálenosti do 1000 m doporučené*
    - *při vzdálenosti do 750 m žádoucí*
    - *při vzdálenosti do 100 až 150 m vhodný společný radič*
2. *časových variací intenzit dopravy jako:*
  - *pevné (s pevnými signálními plány)*
    - *při ustálených intenzitách v delším časovém období*
  - *dynamické (řízení ovládané dopravou)*
    - *při proměnlivých intenzitách dopravy*
  - *kombinace obou způsobů “*

Pro dynamické řízení dopravy musí řídicí systém reagovat na hustotu provozu. Hodnota hustoty provozu je dána počtem aut projíždějících křižovatkou za určitý čas.

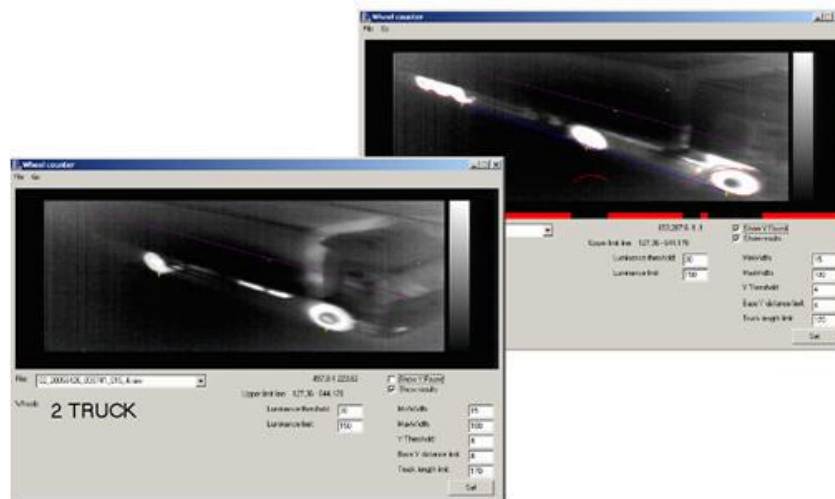
Hodnota počtu aut se musí snímat na každé křižovatce a v každém pruhu. Je to velmi náročné na techniku a složitost řešení. Jsou známi zatím 4 způsoby snímání.

1. Smyčkové – v pozemní komunikaci se nacházejí smyčky z magnetického pole. Automobil naruší tuto smyčku. Podle toho, zda je smyčka narušena, anebo podle toho, kolik je smyček narušeno se určuje počet aut v jízdním pruhu.
2. Pasivní infračervené – Na jízdní pruh jsou zaměřené infračervené kamery. Snímají tepelné změny. Na automobilu se nejvíce tepelně projevují kola. Dochází ke styku pneumatiky s vozovkou a také se musí brzdit při přiblížení ke křižovatce. Toto vše zapříčiní zahřátí kola. Kamery snímají počet kol a jejich vzdálenost mezi sebou. Podle toho vyhodnotí, o jaké vozidlo se jedná a kolik se jich nachází v jízdním pruhu.
3. Video-detekční – Využívá se k tomu kamerový systém. Kamera snímá buď jeden určitý jízdní pruh anebo více pruhů na jednou. Tyto kamery vytvoří pomyslné oddíly v jednotlivých jízdních pruzích. Počítá se počet aut, který projede za určitý čas, daným oddílem. Pokud je díl plný musí dojít ke změně a úpravě v řízení křižovatky, aby nedošlo ke kolapsu dopravy.
4. Mikrovlnné, ultrazvukové – Tyto způsoby využívají TOF, tj. odrazová technologie. Vysílá signál a ten se odráží od automobilů. Snímá se frekvence odrazů.

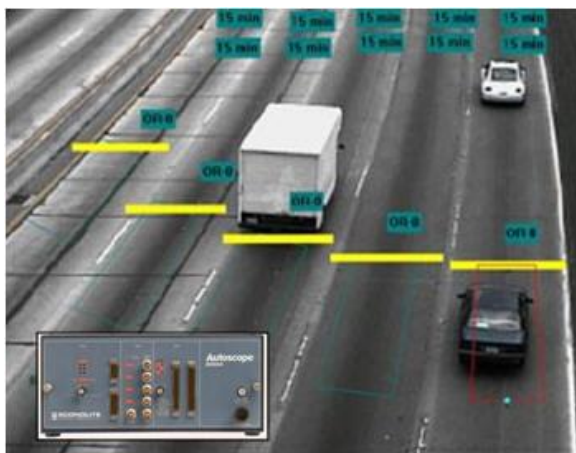
Na následujících obrázcích jsou zobrazeny jednotlivé metody snímání automobilů v jízdnicích v křižovatce.



Obr. 3-3 Smičkové snímání [4]



Obr. 3-4 Pasivní infračervené snímání [4]



Obr. 3-5 Video-detekční snímání [4]



## 4. NÁVĚSTIDLA

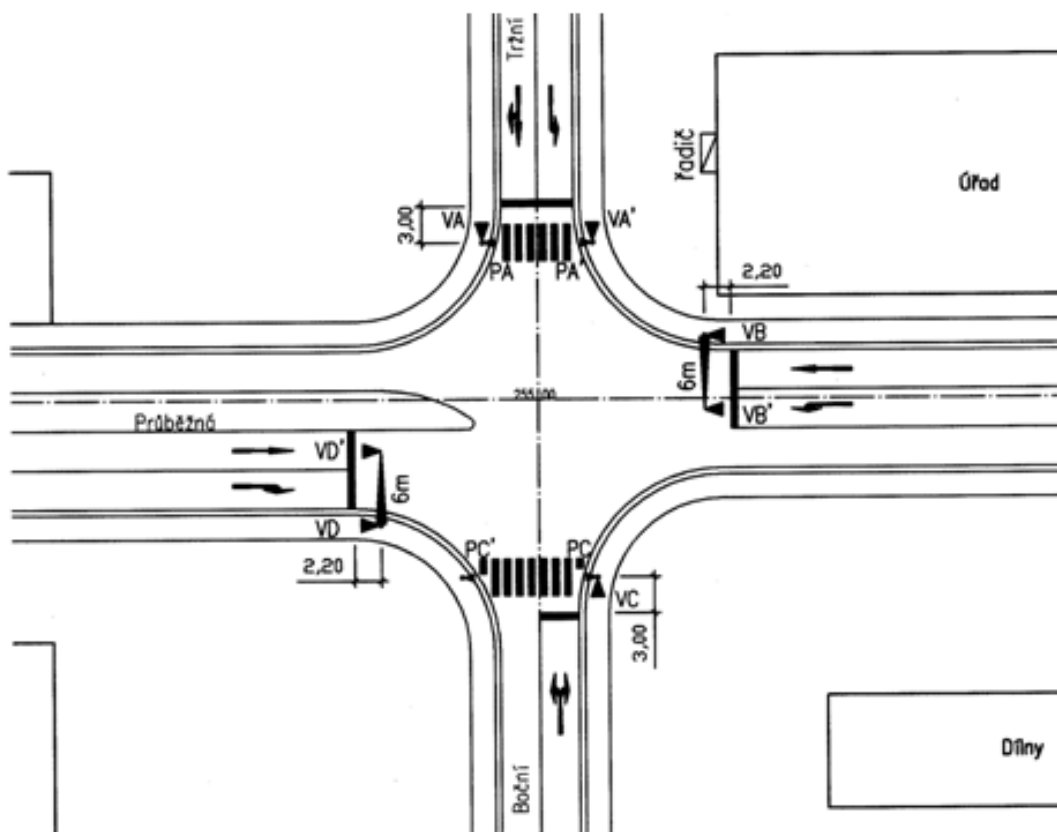
Zde je popsán semafor, toto téma je dostupné z [5]. Co to vlastně je, k čemu slouží a jaké zásady se musejí dodržovat při jeho použití v provozu.

Semafor má své specifické a správné pojmenování. Správné pojmenování je „Návěstidlo“. Od teď se zde semaforu, což je lidové pojmenování, bude říkat návěstidlo.

Návěstidla mohou být použita pro různé druhy dopravy. Tyto druhy jsou dány tím, komu jsou dané signály určeny. A jsou to:

1. Návěstidla pro automobily
2. Návěstidla na přechodech pro chodce
3. Speciální návěstidla pro tramvaje „šaliny“
4. Někde se nachází i speciální přejezdy pro cyklisty, je to většinou v případech, kdy se křížuje cyklistická stezka s pozemní komunikací.

Návěstidla se nemůžou umístit kamkoliv. Jejich správné umístění a použití v provozu podléhá normě ČSN 73 6021. Na následujícím obrázku se nachází křižovatka se SSZ podle dané normy.



Obr. 4-1 Křižovatka se SSZ podle normy ČSN 73 6021 [5]

### 4.1 Druhy návěstidel

Zde jsou druhy návěstidel a jejich použití. Světelné signály podléhají vyhlášce č. 30/2001 Sb.

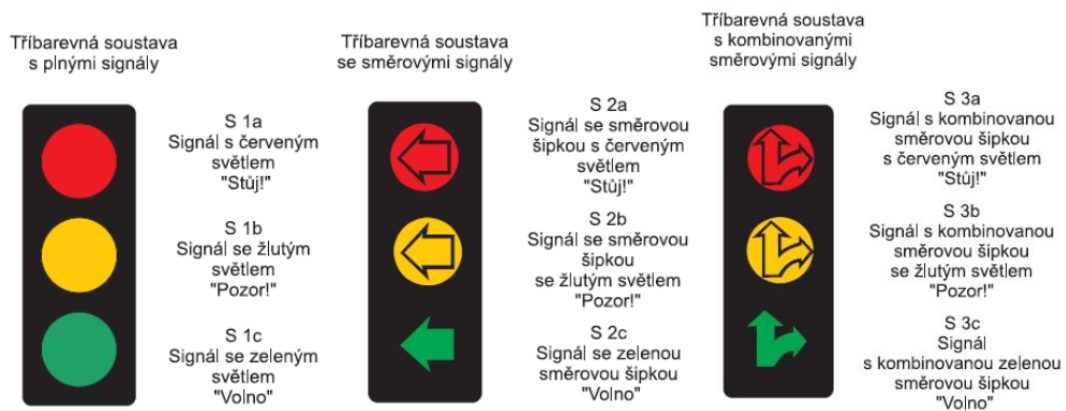
## 4.1.1 Návěstidla pro vozidla

Zde se nachází popis návěstidel pro vozidla.

Jako první je zde návěstidlo, které všichni dobře znají. Nese název „Tříbarevná soustava s plnými signály“. Tento typ návěstidla se používá pro přímý pruh v křižovatkách.

Jako druhý je zde návěstidlo se směrovým signálem. Nese název „Tříbarevná soustava se směrovými signály“. Tento typ návěstidel se používá pro odbočovací pruhy v křižovatkách.

Jako třetí je zde tak zvané kombinované návěstidlo. Nese pojmenování „Tříbarevná soustava s kombinovanými směrovými signály“. Tento typ návěstidel se používá u vícepruhých a složitých křižovatek. Jak je vidět, slouží jak pro přímou jízdu, tak pro odbočení.



Obr. 4-2 Tříbarevné soustavy [6]

Dále mohou být návěstidla obohacena o tak zvané doplňující signalizace. Patří sem například signál, který upozorňuje pohyb chodců. Odbočovací signalizace tak i přerušované žluté světlo, které slouží jako informace pro účastníka provozu, aby se musel začít řídit dopravními značkami a pravidly. Také sem patří rychlostní signalizace, která říká, jak rychle se zde může jezdit.



Obr. 4-3 Doplňující signalizace [6]

A v poslední řadě sem patří speciální značení v tunelech. Toto značení slouží k řízení dopravy v tunelech. Upravuje využití jednotlivých pruhů a pomáhá usměrnit dopravu při nehodě, dopravní špičce nebo opravách vozovky.



Obr. 4-4 Signalizace pro řízení dopravy v tunelech [6]

## 4.1.2 Návěstidla pro chodce a cyklisty

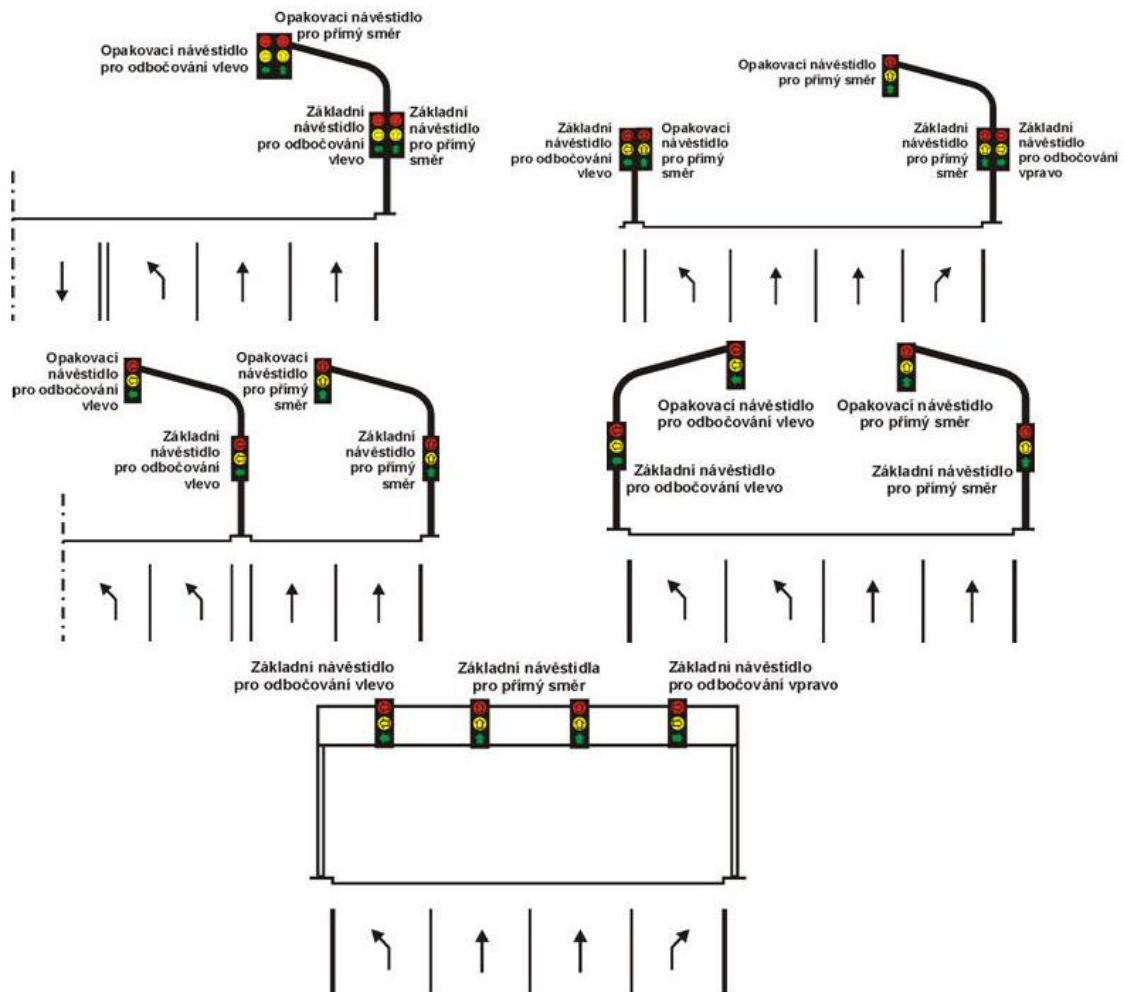
Zde jsou ukázaná návěstidla pro chodce a cyklisty. Buďto má každá skupina svoje vlastní návěstidlo, nebo mají kombinované. Kombinované se používají především v zónách.



Obr. 4-5 Návěstidla pro chodce, cyklisty a kombinované [6]

## 4.2 Požití opakovacích návěstidel

Pro zpřehlednění signalizačního systému pro vozidla se musí některé signály zopakovat i pro vedlejší pruhy. Jinak by vozidlo ve vnitřních pruzích nevidělo na návěstidla umístěná na pravém kraji vozovky. Tento problém řeší tak zvané opakovací návěstidlo, které zobrazuje tentýž světelný signál i do jiných pruhů. Vše je velmi pěkně zobrazeno na následujícím obrázku.



Obr. 4-6 Názorné znázornění použití opakovacích návěstidel [6]

## 5. KAPACITA KŘIŽOVATEK SE SVĚTELNÝM SIGNALIZAČNÍM ZAŘÍZENÍM

Kapacitní výpočet křižovatky se SSZ se dříve počítal podle TP 81. Dnes se již počítá podle TP 235. Tímto rozdílem se zabývá zdroj dostupný z [7].

Vliv intenzity vozidel na kapacitu:

1. Na intenzitě vozidel velice záleží. Je to velice důležitý faktor, který podmiňuje výběr a organizaci signálních skupin do fází určitého signálního plánu. Délka doby trvání zeleného signálu ovlivňuje kapacitu daného dopravního směru.
2. Pokud máme na všech prvcích křižovatky vyrovnané vysoké počty vozidel, je to impulz pro použití křižovatky se SSZ, která nám zabezpečí pravidelné střídání vjezdů jednotlivých pruhů. To by mělo vést ke zvýšení propustnosti křižovatky.
3. Levé odbočení bývá velice zrádné. V některých aplikacích se volí pro odbočení vlevo speciální fáze. Na odbočení vlevo má vliv intenzita vozidel z protisměru. Čím je jich více, tím je větší šance, že vznikne veliká doba zdržení. S ohledem na tuto skutečnost se musí navrhnout délka zeleného signálu a délka mezičasu.

### 5.1 Technické podmínky 81

Neboli TP81 dostupné z [8]. Zde si jen z historického hlediska ukážeme, jak se řešily křižovatky dříve. Je dobré znát i tohle, protože valná většina již stojících křižovatek je řešena právě tímto způsobem.

#### 5.1.1 Signální plán

Je program, který řídí světelné signalizační zařízení. Určuje délku zeleného signálu pro jednotlivé jízdní pruhy. Zpravidla se zpracovává graficky. Je zde vidět situace na křižovatce v závislosti na čase pro jednotlivé skupiny účastníků dopravy.

#### 5.1.2 Časový interval

Rozdělení fází znamená časový interval, v němž mají zelenou zpravidla nekolizní dopravní jízdní pruhy. To, zda jsou nějaké pruhy kolizní či nekolizní vyplývá z tak zvaného fázového schématu. To je závislé na situačním řešení křižovatky, na geometrických poměrech na křižovatkách, na organizaci dopravy a na intenzitě provozu. Bližší popis fázového schématu není obsahem tohoto bakalářského projektu.

#### 5.1.3 Odbočení vlevo

Odbočování vlevo se má navrhnout tak, aby bylo, pokud je to možné, řízené návěstidly s plnými signály a ve fázi s protijedoucími vozidly. Odbočování se pak řídí klasickými dopravními předpisy pro odbočování vlevo. V některých případech je nutné dobu zeleného signálu prodloužit, aby mohlo dojít k nekoliznímu vyklizení křižovatky. V některých případech je vhodné odbočování vlevo dát do vlastní fáze. Nic méně to velice naruší časy pro další pruhy a dojde k posílení signálu červená pro stání.

## 5.1.4 Odbočení vpravo

Odbočování vpravo se má navrhovat tak, aby bylo, pokud je možné řízeno návěstidly s plnými signály. V některých případech je vhodné umožnit průjezd vozidel vpravo, i když souběžný přímý pruh nebo protijedoucí mají červenou či žlutou. Používá se k tomu dodatková signalizace, která souží pouze pro vozidla odbočující vpravo. Pokud by taková to vozidla křižovala přechod pro chodce anebo se připojovala jako přípojný pruh, vždy je zde umístěna doplňující informace v podobě dopravní značky a v některých případech je možné, že je i opředena světelným blikajícím zdůrazněním.

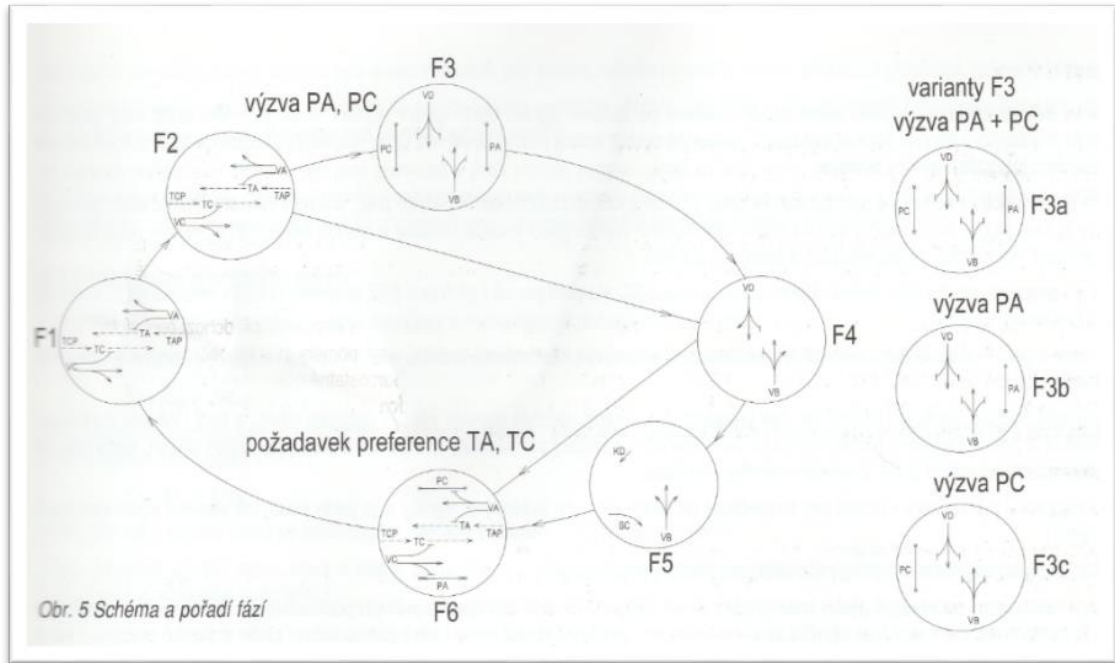
## 5.1.5 Počet fází

Počet fází vyplývá z pohybů na křižovatce. Nejmenší počet fází na křižovatku je stanovený na dvě. Ale pokud chceme zajistit na čtyřramenné křižovatce bezkolizní provoz, musíme mít k dispozici čtyři fáze a pokud toho samého chceme docílit i na tří ramenné křižovatce, tak musíme mít k dispozici tři fáze. Z pravidla je vhodné a důsledně se to doporučuje, navrhovat systém s co nejmenším počtem fází, což jsou dvě fáze. Takže se snažíme při návrhu dbát na tuto prioritu. Ono to i vyplývá z pravidel TP 81, čím máme více fází, tím se nám prodlouží mezičasy a také zhorší kapacita křižovatky. V některých případech se nám může stát, že i na jednoduché křižovatce budeme mít více fází. Tento aspekt je způsobený zařazením této křižovatky do zelené vlny. Co je zelená vlna je popsáno později.

Pořadí fází se řídí těmito hledisky:

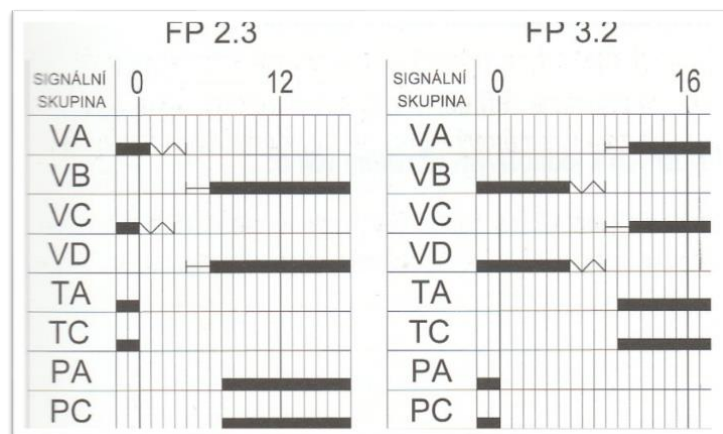
1. Některé fáze na sebe musejí navazovat, aby docházelo k plynulému přesouvání signálu volno mezi fázemi.
2. Dále některé fáze musejí být zařazeny za sebe, aby nedocházelo k nahromadění vozidel.
3. V potaz se musí brát i chodci a cyklisti. Pokud bude sled fází špatně rozvržený, nebudou mít dostatek času pro to, aby bezpečně přešli po daném přechodu.
4. A také se do toho budou motat MHD a požadavky z okolních křižovatek, pokud je tato křižovatka s nimi propojená.

Na následujícím obrázku je vidět, jak vypadá schéma pořadí fází. V tomto případě nám výše uvedená hlediska nezasahovala do procesu návrhu, a tak se fáze naskládaly za sebe tak aby byl co nejmenší mezičas.

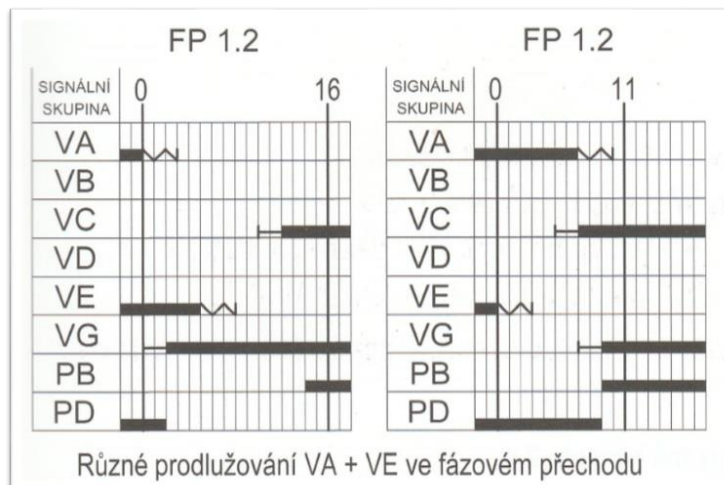


**Obr. 5-1 Obrázek řazení fází [8]**

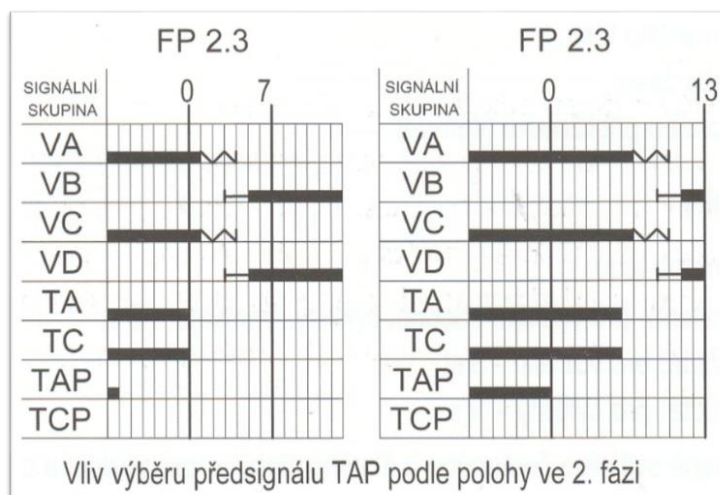
Přechody mezi fázemi je časový údaj. Tento časový údaj je buď pevný anebo pružný. Závisí na typu řízení křižovatky. Pokud je pevný časový plán, jsou pevné přechody mezi fázemi. Ale pokud je dynamický časový plán, což znamená, že zde bude záležet na hustotě dopravy anebo na pohybu MHD, jsou použity pružné přechody mezi fázemi. Následující obrázky zobrazují jak pevné přechody mezi fázemi, tak pružné přechody mezi fázemi.



**Obr. 5-2 Pevné fázové přechody [8]**



**Obr. 5-3 Průběžné fázové přechody I. [8]**



**Obr. 5-4 Pružné fázové přechody II. [8]**

Mezičas je speciální typ časového intervalu. V jednoduchosti je to časový interval mezi signálem volno signální skupiny a začátkem signálu volno kolizní signální skupiny. V této době v tomto intervalu musí veškerá vozidla vyklidit křižovatku, aby nedošlo ke kolizi.

Délka cyklu, která je potřebná pro součet signálů volno a příslušných mezičasu. Tohle vše je popsáno jedním vzorečkem.

$$C = \sum t_z + \sum t_m \text{ [s]} \tag{5-1}$$



Orientační doby pro délku cyklu jsou následovné.

- |              |   |
|--------------|---|
| 1. Minimální | 30 s  |
| 2. Optimální | 50 s až 80 s                                      |
| 3. Maximální | 100 s v některých aplikacích se připouští i 120 s |

Doba pro signál volno neboli zelená je dána intenzitou provozu. Jedná se tedy o rozdělení celkové doby volno mezi jednotlivé pruhy. Konkrétní výpočty se pak dělí podle jednotlivých metod.

1. Saturovaný tok
2. Spotřeba času
3. Postupné přibližování

Tyto metody dále podléhají nejnižším hodnotám času pro jednotlivé signály. Tyto hodnoty jsou.

- |                           |                        |
|---------------------------|------------------------|
| 1. Signál zelená          | 5 s                    |
| 2. Signál žlutá           | 2–3 s                  |
| 3. Signál žlutá a červená | 2 s                    |
| 4. Signál červená         | nemá minimální hodnotu |

Sestavení signálního plánu se děje podle následujícího vzorce. Ve skutečnosti jsou ale vzorce dva, jeden pro statické řízení a druhý pro dynamické řízení.

$$C = \sum t_m + \sum t_{\text{rozh}} \quad (5-2)$$

$$C = \sum t_m + \sum t_{\text{min}} \quad (5-3)$$

### 5.1.6 Zelená vlna

Jen ve stručnosti něco o zelené vlně dostupné z [9].

Zelená vlna je velice využívána při řízení nějakého bloku na sebe napojených křižovatek. Tvůrci se tím snaží zvýšit průjezdnost a plynulost na hlavním tahu přes několik křižovatek v řadě.

Teď je to zde popsáno trochu laicky. Určitě se už některým z Vás stalo, že jste jeli po okružním tahu okolo centra nějakého většího města a na všech návěstidlech jste měli zelenou. Je to způsobeno tímto. Pokud na první křižovatce v bloku budete stát v řadě aut a vaše pozice bude mezi pozicí cca 1–7 (toto rozmezí je přibližné, každý blok křižovatek to má jinak) a pojedete stálou rychlostí něco okolo 45 km/h tak projedete celý blok, aniž byste museli zastavovat na některé křižovatce.

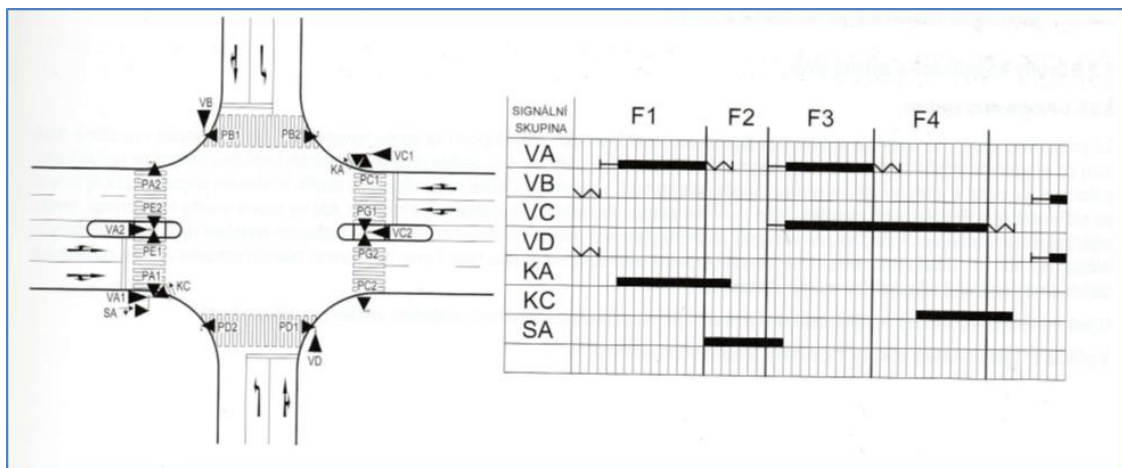
Takto to zní velice pěkně. Provoz na hlavním tahu je teď krásně plynulý a bez větších omezení nebo čekání.

Vlastně jde jen o to, aby jednotlivé křižovatky měli správně poskládané pořadí fází. K tomuto se váží dva vzorečky. Jeden pro výpočet rychlosti potřebné pro projetí všech křižovatek a druhý pro výpočet doby cyklu v závislosti na vzdálenosti křižovatek.

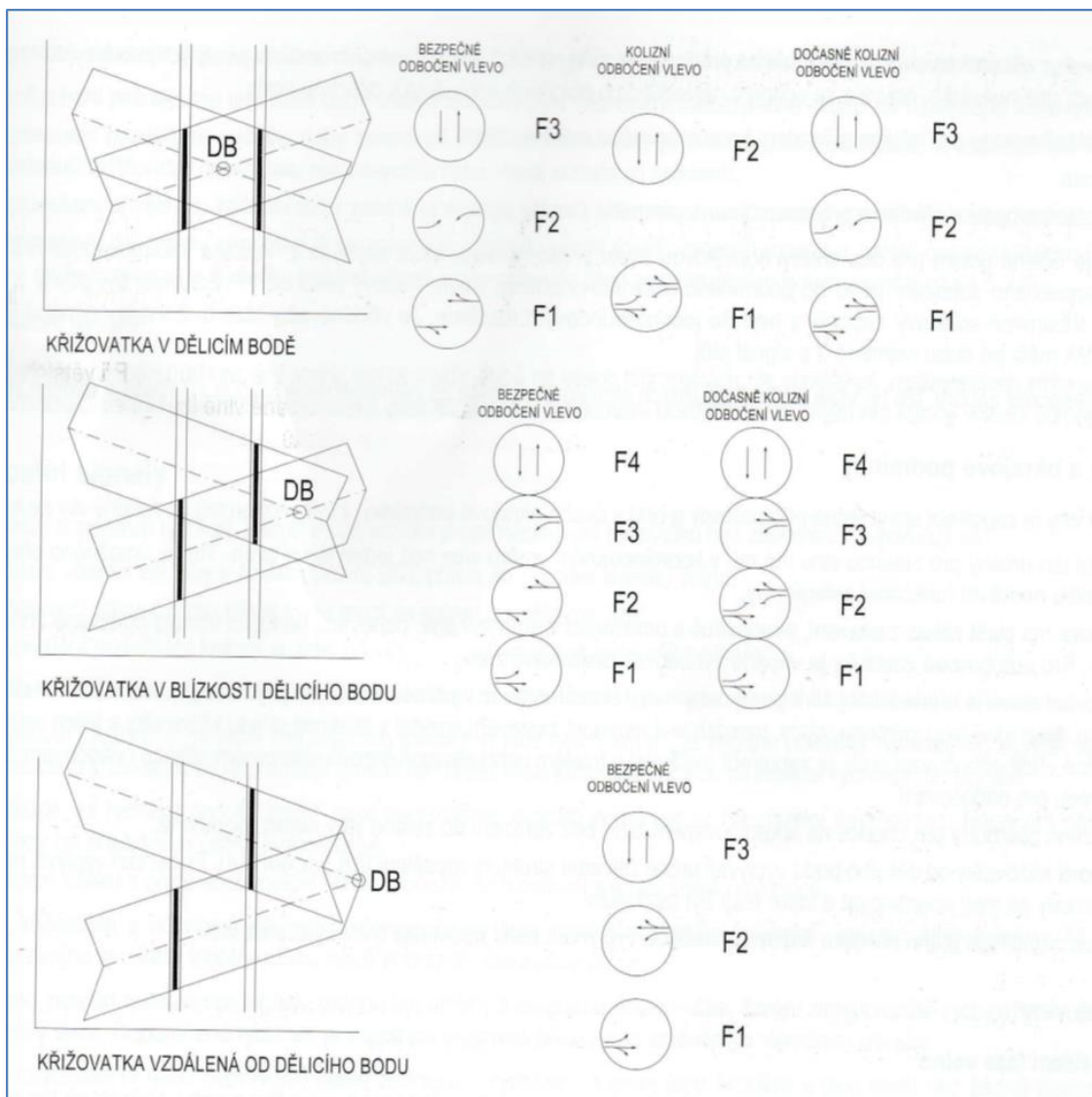
$$0,85 * V \leq V_p \leq V \quad (5-4)$$

$$C = \frac{3,6 * I_{DB}}{V_{p1}} + \frac{3,6 * I_{DB}}{V_{p2}} \quad (5-5)$$

Na následujících obrázcích je vidět možná realizace sledu fází při koordinovaném řízení.



Obr. 5-5 Křižovatka s dělicím bodem v blízkém okolí [9]



Obr. 5-6 Posloupnost fází koordinovaného řízení [9]

## 5.2 Technické podmínky 235

Předchozí kapitola probírala starý způsob výpočtu a posuzování kapacity.

Nyní se dočtete něco o novém způsobu, tak jak se to řeší teď. Tento způsob se jmenuje TP 235 dostupný z [10]. Je to moderní a inovovaný způsob řešení křižovatek se SSZ.

### 5.2.1 Intenzity pro návrh dopravy

Pro posouzení kapacity křižovatky je velmi důležitá znalost návrhových intenzit dopravy pro všechny dopravní pohyby v křižovatce. A ještě to musí být rozdělené podle druhu vozidel. Nejlepším způsobem rozdělení je každé skupině přiřadit koeficient. Tímto koeficientem provedeme násobení návrhových intenzit. Koeficienty nalezneme v tabulce, která se nachází níže.

**Tabulka 5-1 Koeficienty pro různé skupiny vozidel [10]**

Druh vozidel	Koeficient
Jízdní kola	0,5
Motocykly	0,8
Osobní vozidla do 3,5t	1,0
Nákladní vozidla nad 3,5t	1,7
Nákladní soupravy, kloubové autobusy	2,5

### 5.2.2 Geometrický tvar křižovatky

Dále je dobré znát několik informací, které jsou získány z tvaru křižovatky. V následujícím výpisu je zaznamenáno několik nejdůležitějších informací, které nám řekne tvar křižovatky.

1. Počet a směr paprsků křižovatky
2. Sklony vjezdů
3. Počty a délky pruhů, které se řadí
4. Poloměr odbočovacích oblouků
5. Počet nájezdných míst

### 5.2.3 Signální plán

Dále pro posouzení kapacity křižovatky se SSZ je nutné znát signální plán. Z něj se dají zjistit tyto důležité informace.

1. Počet fází a pořadí v němž jsou seřazené
2. Které signální skupiny jsou přiřazeny, ke které fázi
3. Délku cyklu
4. Délky všech signálů volno neboli signálů zelená

Následující tabulka nám znázorňuje efektivní hodnoty zelených signálů.

**Tabulka 5-2 Efektivní hodnoty zeleného signálu [10]**

Délka zeleného signálu $z$ (s)	Délka efektivní zelené $z'$ (s)
5-7	$z + 1,0$
8-10	$z + 0,5$
$\geq 11$	$z$

## 5.2.4 Úroveň kvality dopravy

Úroveň kvality dopravy je závislá na ztrátovém čase, který je vyjádřený střední dobou zdržení na jednotlivých vjezdech do křižovatky se SSZ. V následující tabulce je vše přehledně zobrazené.

Tabulka 5-3 Úroveň kvality dopravy [10]

Úroveň kvality dopravy		Střední doba zdržení
Označení	Charakteristika kvality dopravy	tw (s)
A	Velmi dobrá	≤ 20
B	Dobrá	≤ 35
C	Uspokojivá	≤ 50
D	Dostatečná	≤ 70
E	Nestabilní stav	> 70
F	Překročená kapacita	-

## 5.2.5 Protokol

Pro zpracování kapacity křižovatky se SSZ, se používá následující protokol. Tento protokol je zhotovený podle šablony. Zapisují se do něj patřičné hodnoty a uvádějí výsledky výpočtu. Je velice přehledný a účelný. Usnadňuje práci.

Kapacitní posouzení světelně řízené křižovatky podle TP 235											Protokol 4	
Název křižovatky:												
Posuzovaný stav:									Délka cyklu $t_c$ [s]			
Kapacita levého odbočení ovlivněného protisměrem												
Vjezd (signální skupina)	$I_p$ [pvoz/h]	$S_p$ [pvoz/h]	$z_p$ [s]	$C_{L1}$ [pvoz/h]	$N_A$ [pvoz]	$C_{L2}$ [pvoz/h]	$S_L$ [pvoz/h]	$z_o$ [s]	$C_{L3}$ [pvoz/h]	$C_L$ [pvoz/h]		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Posouzení kapacity vjezdů, úroveň kvality dopravy												
Vjezd (signální skupina)	$I_V$ [pvoz/h]	$z$ [s]	$S_V$ [pvoz/h]	$C_V$ [pvoz/h]	$Rez$ [%]	$L_{F1}$ [m]	$L_{F2}$ [m]	$t_w$ [s]	ÚKD			
	11	12	13	14	15	16	17	18	dosažená	požadovaná		
Závěr:												

Obr. 5-7 Protokol pro posouzení stability křižovatek se SSZ [10]

## 6. SYSTÉMY PRO ŘÍZENÍ KŘIŽOVATEK SE SVĚTELNOU SYGNALIZACÍ

Nyní je zde probraná problematika týkající se systémů určených pro řízení křižovatek se SSZ, které jsou používány v České republice. Informace jsou čerpány ze zdroje [11]. Tj. nejčastěji používané řídicí systémy, přístroje a jejich periferie.

### 6.1 MR-11 – Mikroprocesorový řadič

Mikroprocesorový řadič MR-11, který je dostupný z [12], je dopravní řadič určený pro křižovatky se SSZ. Je velmi používaný pro svoji modularitu a v základní verzi má zabudovanou aktivní preferenci IZS a MHD. Jeho konstrukce a variace plně respektují nároky pro dnešní nároky řízení křižovatek se SSZ. Firmy jsou s tímhle řadičem velmi spokojené a mají s tím dlouholeté zkušenosti.

Řadič je vestavěný do plastové skříně, která zajišťuje jeho ochranu. Každý řadič je poskládaný individuálně pro konkrétní křižovatku z modulů. Díky tomu, že si řadič můžeme přizpůsobit individuálně, tak získáváme mnoho variant řešení. Dále umožňuje připojení dalších rozšíření, jako je třeba univerzální komunikační rozhraní. Takovýto řadič je sestaven z moderních součástek, a to mu umožňuje splňovat náročné požadavky na bezpečnost a spolehlivost řízení provozu.

Tento řadič obsahuje dvě části. Část se zdrojovým programem a část s dopravně-technickými daty. Data z provozu se ukládají na průmyslovou paměť o velikosti 2 GB.

Dále je tento řadič certifikovaný na úroveň integrity bezpečnosti SIL3 dle normy ČSN EN 61508, která stanovuje jednotný řád k hodnocení bezpečnosti u programovatelných systémů.

Tento řadič komunikuje po rozhraní OCIT. A výsledné řízení křižovatky se SSZ s tímto řadičem zajišťuje software LISA+. Dále je tento řadič vybavený USB, RS 232, RS 485 a ethernetem.



Obr. 6-1 Řadič MR – 11 a příklad použití [12]

## 6.2 Další systémy a periférie

Jako další řídicí systém se používá MR-22 Mikroprocesorový řadič dostupný z [13]. Tento systém je určený pro jednodušší aplikace než již zmíněný MR-11. Je převážně využíván pro chodce na malých křižovatkách. A jako předchozí řadič tak i tento je modulárního provedení.

Dále jsou nová unifikovaná signální návěstidla dostupná z [14]. Tyto nová návěstidla jsou z polykarbonátu bez nároků na údržbu. Jsou vybavená indukčními smyčkami a mikrovlnnými detektory pohybu. Dále nesmí chybět tlačítka pro chodce. Vše je umístěno na stožárech, aby se mohli umístit na přehledné a viditelné místo a nikdo je nepřehlédl.

Dále jsou zde dopravní detektory, které jsou dostupné z [15]. Jsou již zmíněny dříve v této práci. Na tomto zdroji jsou popsány konkrétní příklady využívané v České republice. Jsou to například indukční smyčky, systémy video detekce a mikrovlnné detektory.

A nakonec se nesmí opomenout integrovaný záchranný systém české republiky jako jsou policisté, záchranáři a hasiči. Výstražná signalizace pro výjezd vozidel s právem přednosti v jízdě je zajištěno řídicím systémem PAN-8, který je dostupný na [16]. Obsluhuje závory světelnou a zvukovou signalizací. Například zajišťuje volný výjezd hasičských vozidel při požáru nebo nějaké nehodě.

# 7. DEMONSTRAČNÍ PANEL

Tato kapitola obsahuje podrobný popis návrhu a výroby demonstračního panelu. Je rozdělena na dvě části.

První část se zabývá přední stranou demonstračního panelu.

Druhá část popisuje realizaci řídicího systému.

## 7.1 Realizace fyzického demonstračního panelu

Zde je podrobně probraný grafický návrh a následná výroba přední stany demonstračního panelu.



Obr. 7-1 Přední strana demonstračního panelu

### 7.1.1 Grafická podoba demonstračního panelu

Úkolem bylo navrhnout a realizovat demonstrační panel soustavy křižovatek s informací o hustotě dopravy na křižovatkách.



Dopravní situace na přední straně demonstračního panelu obsahuje následující:

1. Kino s parkovištěm
  - a. Parkoviště má vjezd a výjezd přímo z kruhového objezdu
2. Obchodní dům s parkovištěm
  - a. Parkoviště má vjezd jako jeden výjezd ze světelné křižovatky a výjezd má jako jeden vjezd klasické křižovatky
3. Zastávku hromadné dopravy
  - a. V budou verzi tohoto projektu bude zakomponovaný jízdní řád do časového plánu jednotlivých křižovatek
4. Kruhový objezd
5. Klasickou křižovatku
6. Čtyři světelné křižovatky
  - a. První křižovatka vychází ze skutečné křižovatky, která se nachází na zastávce Skácelova v Brně Královo pole.
    - i. Na hlavním tahu se nacházejí z každé strany dva vjíždějící jízdní pruhy a jeden vyjíždějící
    - ii. Na vedlejším tahu se nachází z každé strany pouze jeden jízdní pruh vjíždějící a jeden vyjíždějící
    - iii. Dále obsahuje dva přechody pro chodce, které se nacházejí na vedlejším tahu
  - b. Druhá křižovatka má klasický křížový tvar
    - i. Má v každém směru klasicky jeden vjíždějící jízdní pruh a jeden vyjíždějící pruh až na výjezd směrem k první křižovatce, zde se nacházejí dva vyjíždějící jízdní pruhy
    - ii. Dále obsahuje tři přechody pro chodce, tyto přechody se nacházejí na směrech, kde je pouze jeden vjíždějící a vyjíždějící jízdní pruh.
  - c. Třetí křižovatka má zvláštní tvar, je to hybrid mezi křížovou křižovatkou a křižovatkou typu T
    - i. Na hlavním tahu má z každé strany jeden vjíždějící a jeden vyjíždějící jízdní pruh
    - ii. Na vedlejším směru, který jde zespoda má jeden vjíždějící a vyjíždějící jízdní pruh
    - iii. Na vedlejším směru, který jde nahoru obsahuje pouze vyjíždějící pruh
    - iv. Dále obsahuje tři přechody pro chodce, na hlavní tahu má jeden a na vedlejším tahu má dva
  - d. Čtvrtá křižovatka je typu T
    - i. Na všech třech směrech má jeden vjíždějící jízdní pruh a jeden vyjíždějící jízdní pruh
    - ii. Dále obsahuje dvě návěstidla pro chodce, jeden se nachází na hlavním tahu a jeden na vedlejším tahu
7. Jako poslední se zde nachází lesopark, který zvětší části obklopuje tuto část městečka

Tyto křižovatky nemají tyto tvary náhodně, má to svůj důvod. Každá křižovatka má různý tvar a tím i různý počet fází pro signální plán. V běžné praxi se propojují křižovatky, které mají stejný tvar a stejný počet fází, ale cílem této práce je udělat něco nestandardního a vše upravit, tak aby se to chovalo jako standardní řízení soustavy křižovatek. Takže bude nutné upravit jednotlivé signální plány tak, aby se jejich počet fází shodoval a bylo možné provést řízení celé soustavy křižovatek. Proto má každá křižovatka jiný tvar, aby tato práce dokázala, že je možné řídit závisle na sobě i křižovatky různého tvaru.

Dalším bodem zadání je zobrazit informaci o hustotě dopravy. Z toho důvodu byl do středu každé křižovatky umístěný LEDbar, který mám tuto informaci poskytnout.

A v poslední řadě je nutné nějak zajistit snímání hustoty dopravy, na kterou bude soustava reagovat. Jelikož na demonstračním panelu se nepohybují žádná vozidla, tak není možné klasickými metodami snímat hustotu provozu na křižovatkách. Proto byla každá křižovatka obohacena ještě tahovým přepínačem, který nám pomocí pozice přepínačů na staví jednotlivé hustoty provozu. V tomto případě dostaneme až čtyři různé kombinace přepínačů a tím pádem nám soustava křižovatek může reagovat na čtyři různé druhy hustoty provozu na jednotlivých křižovatkách.

Vjíždějící jízdní pruh do křižovatky se SSZ obsahuje klasicky tříbarevné návěstidlo pro auta. Přechod pro chodce na každé straně obsahuje dvoubarevné návěstidlo pro chodce a tlačítko pro chodce.

Jelikož tento projekt bude následně sloužit jako studijní pomůcka v laboratoři s PLC, bylo nutné zajistit, aby se daná dopravní situace se dala měnit, byla dynamická a ne statická. Každý vjíždějící pruh do křižovatky se SSZ byl obdařený prostorem pro magnetku, na které se bude nacházet šipka, která nám určí kam a jestli vůbec bude možné vjet či odbočit na křižovatce. Toto umožní učiteli zadat různé dopravní situace.

Na obrázku (7-1) je vidět celá podoba přední strany demonstračního panelu. V příloze (CD – Příloha1) je soubor s šípkami, které se dají umístit na vyhrazené místo u vjezdu do křižovatky se SSZ.

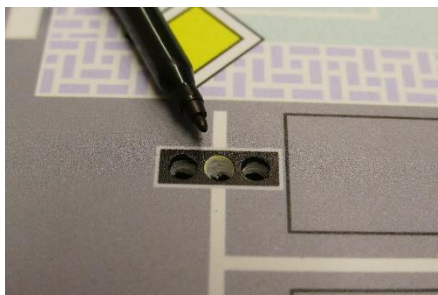
Grafická podoba přední strany demonstračního panelu a grafická podoba šipek pro magnetky byla vytvořena v programu CoreDRAW 2017(64-Bit) pro jeho vynikající vektorovou grafiku. Díky tomu se mohl návrh demonstračního panelu zvětšit až na rozměry 100x61cm. Díky tomu můžeme mít obrázek libovolně veliký a bude zajištěna stejná kvalita obrazu. Zdrojové soubory pro Corel a pdf verze obrázku (7-1) a šipek naleznete v příloze (CD - Příloha1).

### **7.1.2 Výroba fyzického demonstračního panelu**

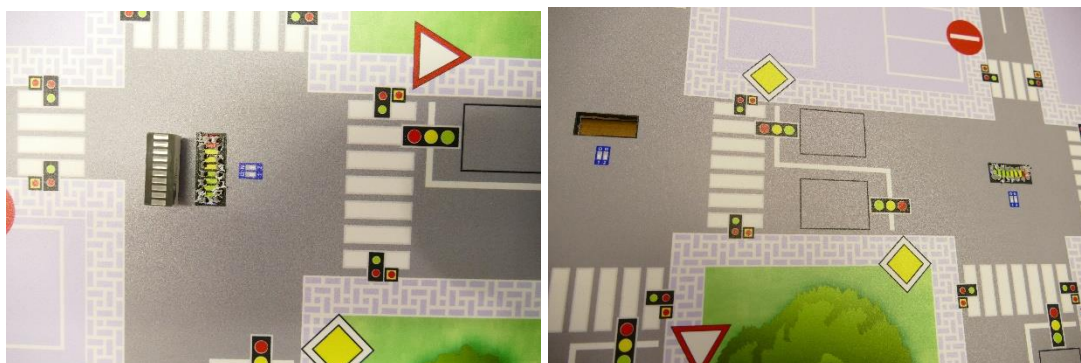
Obrázek přední strany demonstračního panelu bylo nutné nechat natisknout na materiál do kterého půjde jednoduše vrtat. Pro tento účel byl vybrán bílý plast o síle 0,5cm a rozměrech 100x61cm. Obrázek se na plast nechal natisknout v copy centru.

Povrchová úprava panelu je matná. To zajišťuje dobrou čitelnost i v učebně se zářivkovým osvětlením.

Dále práce pokračovali vyvrtáním otvorů pro tlačítka pro chodce a LED pro návěstidel aut a chodců. Nakonec je nutné vyříznout otvory pro LEDbary a tahové přepínače. Tyto otvory bude nutné ještě dopilovat na přesný rozměr, aby vše přesně sedělo. A nesmí se zapomenout na upevňovací otvory pro plošné spoje o kterých se práce zmiňuje později. Na obrázcích (7-2 a 7-3 a 7-4) je vidět postup práce.



**Obr. 7-2** Vyvrtaný otvor pro návěstidlo pro auta



**Obr. 7-3** Vyřízení otvoru pro LEDbar a přepínač



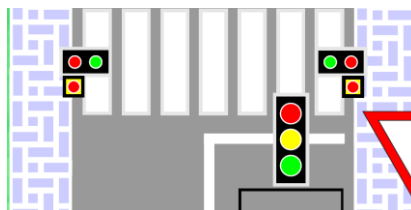
**Obr. 7-4** Vyvrtání otvoru pro uchycení plošných spojů

Nyní je celý přední panel připravený a nachystaný na osazení plošnými spoji.

## 7.2 Realizace řídicího systému

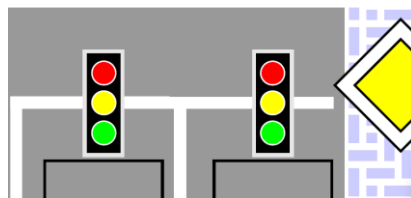
Jak je patrné z návrhu grafické podoby, tak se zde nacházejí čtyři druhy jízdnic pruhů, které se opakují. Toho je využito pro návrh desek plošných spojů. Každý směr u křižovatky bude mít pod sebou jeden plošný spoj. Uprostřed křižovatky se bude nacházet také jeden plošný spoj pro LEDbar a tahový přepínač.

Obrázek (7-5) obsahuje jednoduchý směr s jedním návěstidlem pro auta a jedním přechodem pro chodce. Tento typ směru se na přední straně demonstračního panelu nachází devětkrát.



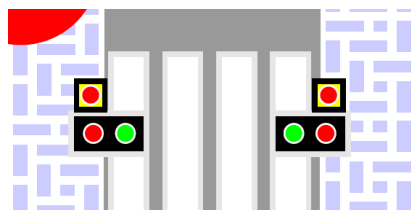
**Obr. 7-5 Směr s jedním návěstidlem pro auta a přechodem pro chodce**

Obrázek (7-6) zobrazuje směr se dvěma návěstidly pro auta. Tento typ směru anebo jeho odlehčená verze s jedním jízdním směrem se na přední straně demonstračního panelu nachází pětkrát.



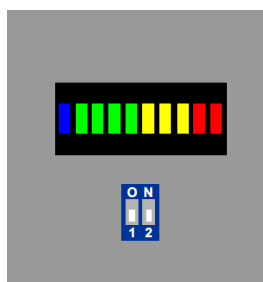
**Obr. 7-6 Směr se dvěma návěstidly pro auta**

Obrázek (7-7) ukazuje směr, který obsahuje pouze přechod pro chodce. Tento směr je na přední straně demonstračního panelu pouze jednou.



**Obr. 7-7 Směr pouze s přechodem pro chodce**

Obrázek (7-8) zachycuje, jak je umístěný LEDbar vůči tahovému přepínači. Signalizace a nastavení hustoty provozu je na přední straně demonstračního panelu celkem čtyřikrát.



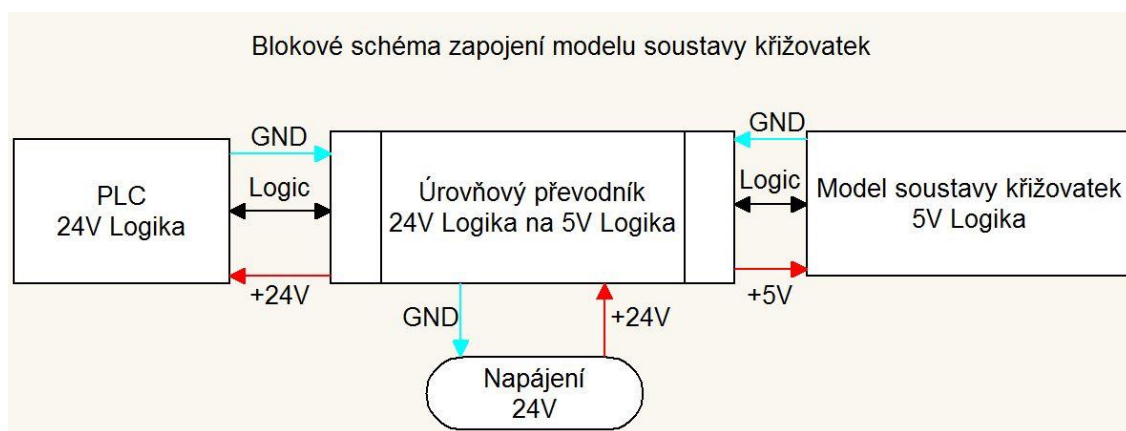
**Obr. 7-8 LEDbar a tahový přepínač**

Z předchozích obrázků je patrné, že je potřeba navrhnout celkem čtyři druhy desek plošných spojů. Pod každou křižovatkou budou osazeny tyto desky plošných spojů. Má to svůj důvod. Tyto desky plošných spojů nám drží jednotlivé LED pro návěstidla, tlačítka pro chodce, LEDbary a tahové přepínače na svém místě. Tím je zajištěno, že nebude docházet k promáčknutí těchto součástek.

## 7.2.1 Návrh schémat řídicího systému

Jelikož PLC má 24V logiku a demonstrační panel má díky použitým LED 5V logiku, je nutné navrhnout vhodný úroňový převodník, který nám bude jednotlivé LED, LEDBar, tlačítka a tahové přepínače propojovat s periferiemi PLC.

Obrázek (7-9) obsahuje blokové schéma, které vystihuje již zmíněné propojení demonstračního panelu s PLC.



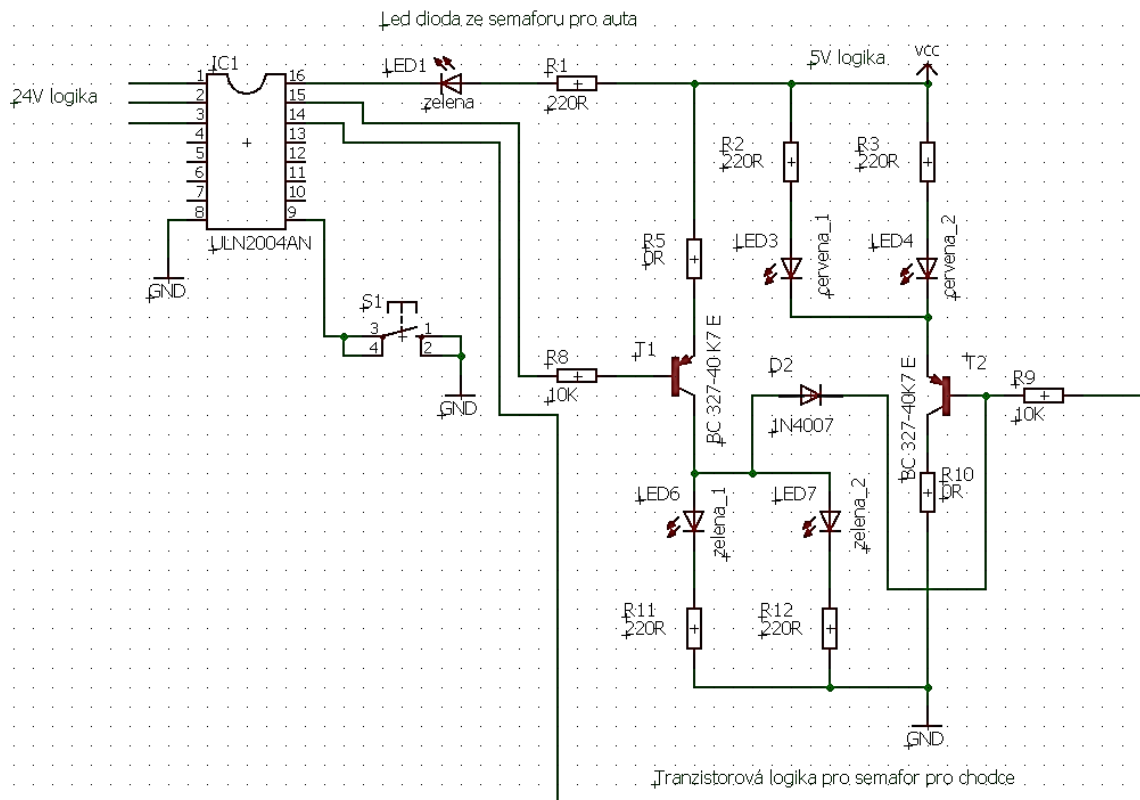
**Obr. 7-9** Jednoduché blokové schéma modelu soustavy křižovatek

Jak již bylo dříve zmíněno, je zapotřebí čtyř typů plošných spojů. Každá deska plošných bude obsahovat úroňový převodník z 24V na 5V logiku. Pro převodník bylo použito Darlingtonové tranzistorové pole ULN2004A dostupné z [17], jelikož vstupní napětí může mít až 50 V a vstupní proud až 25 mA a výstupní napětí může dosahovat až 30 V a proud může být až 500 mA. Tato konfigurace se velice hodí pro naši aplikaci.

Darlingtonové zapojení tranzistorů je určeno primárně k eliminaci Millerova efektu. Z datasheetu bylo zjištěno že činitel beta  $h_{FE} = 1000$ , na vstupu každého pinu je připojený odpor  $R_b = 10,5k\Omega$ . Jeho maximální výkonová ztráta je při teplotě okolí 25 °C 950 mW.

U tranzistorového pole ULN 2004A se na pinu číslo devět nachází tak zvaný testovací pin, tento testovací pin slouží ke zkoušce funkčnosti tohoto tranzistorového pole. Stačí, když se tento pin uzemní a vnitřně nám sepne všechny vnitřní tranzistory. Tento pin nám simuluje příchozí signály na jednotlivé tranzistory.

Obrázek (7-10) zobrazuje základní schéma pro zapojení návěstidel pro auta, LEDbary a návěstidla pro chodce. Jejich funkce již byla zmíněna dříve.



**Obr. 7-10 Základní schéma pro úrovňový převodník (výstupy z PLC)**

Schémat budou obsahovat následující konfiguraci.

1. Návěstidla pro auta a LEDbary
  - a. Jedná se o jednoduché zapojení. Je zde jedno ULN, které spíná 24 V logikou 5 V logiku. K jednotlivým vstupům ULN jsou přímo připojeny výstupy z PLC. A k výstupům jsou připojeny zemnicí svorky LED. ULN pole spíná proti zemi.
2. Návěstidla pro chodce
  - a. Zde je použita TTL logika, které nám automaticky spíná červenou LED, pokud není aktivní signál pro zelenou LED. Dále je zde zapojený povolovací signál, který je aktivní při denním provozu a aktivuje nám automatické spínání červené LED. Při nočním režimu je tento povolovací signál odpojený a návěstidlo pro chodce je zhasnuté. A nesmím opomenout, že návěstidla pro chodce jsou vždy v párech, protože jsou na každé straně vozovky.
3. Tlačítka a tahové přepínače
  - a. Zde se nachází pouze napájení 24V. Součástky jsou připojeny na napájení 24V a při jejich aktivaci se napětí přivede na vstupy periferie PLC.

Dále musí být zajištěno, aby periferie PLC a demonstrační panel měly společnou zem jinak by nebyla možná komunikace PLC s demonstračním panelem.

Zde jsou výpočty pro odpory, které byly použity ve schématech.

Výpočet odporu  $220\Omega$

$U = 5\text{ V}$  Napájení návěstidel

$I = 0,0227\text{ A}$  Proud LED

$$R = \frac{U}{I} = \frac{5}{0,0227} = 220\Omega$$

(7-1)

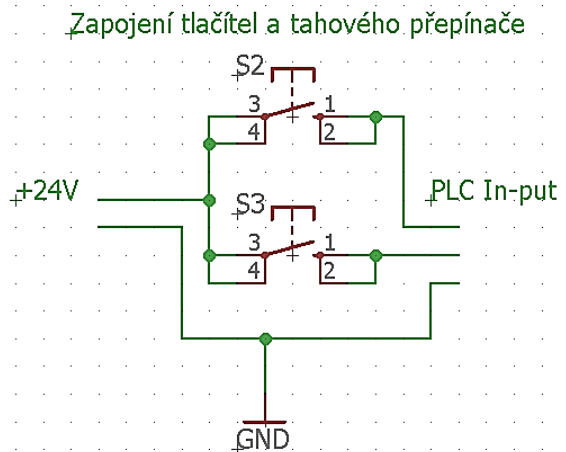
Výpočet odporu  $10\text{k}\Omega$

Potřebujeme mít tranzistor BC 327 plně otevřený, takže v saturaci. A to je pro napájení  $5\text{ V}$  při proudu bázi  $500\text{ nA}$ .

$$R = \frac{U}{I} = \frac{5}{0,0005} = 10\text{k}\Omega$$

(7-2)

Obrázek (7-11) zachycuje zapojení tlačítek a tahového přepínače. Jak je vidět, tak pro tlačítka a ani pro tahové přepínače není zapotřebí úrovněového převodníku. Spínáme přímo  $24\text{V}$  logiku.



**Obr. 7-11 Zapojení tlačítka a tahového přepínače**

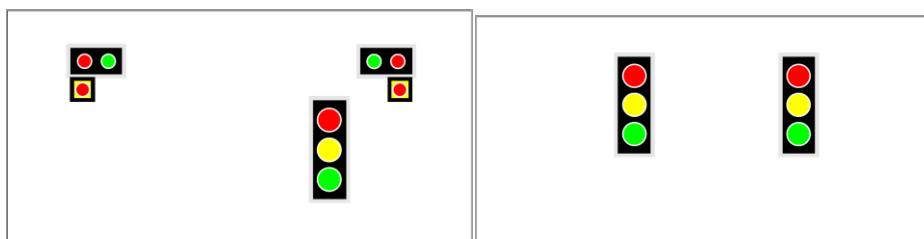
Jednotlivá schémata všech čtyř typů se nachází v příloze (CD - Příloha 2) ve formátu pdf, eps a sch. Dále jsou schémata k nahlédnutí na konci dokumentu v přílohách (Příloha 1 – 4).

Dále se v příloze (CD – Příloha 3) se nachází vygenerovaný seznam součástí pro tyto schémata.

Schématy byla kreslena v programu EAGLE 8.5.0.

## 7.2.2 Návrh desek plošných spojů řídicího systému

Jelikož poloha návěstidel a tlačítek LEDbarů je pevně daná, je nutné tyto pozice dodržet i při návrhu desek plošných spojů. Také jsme museli dodržet rozměry desek plošných spojů. Desky plošných spojů se nechají vyrobit formou o rozměrech 10x10cm. Na tento rozměr se vejdu vždy dvě desky plošných spojů pro náš případ. Proto je nutné vygenerovat v Corelu šablonu pro EAGL ve formátu DXF (CD – Příloha 4). Tato šablona se nahraje do EAGLU a pak je možné osadit návěstidla, tlačítka a LEDbary na přesná místa, tak jak je tomu na přední straně demonstračního panelu. Na následujících obrázcích (7-12 a 7-13) jsou vyobrazeny šablony.

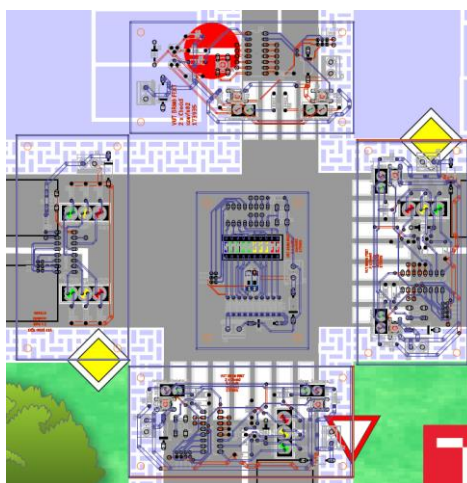


Obr. 7-12 Šablony pro EAGLE



Obr. 7-13 Šablony pro EAGLE

Idea je taková, jak zachycuje obrázek (7-14), že každá křižovatka bude osazena ze zadní strany deskami plošných spojů.

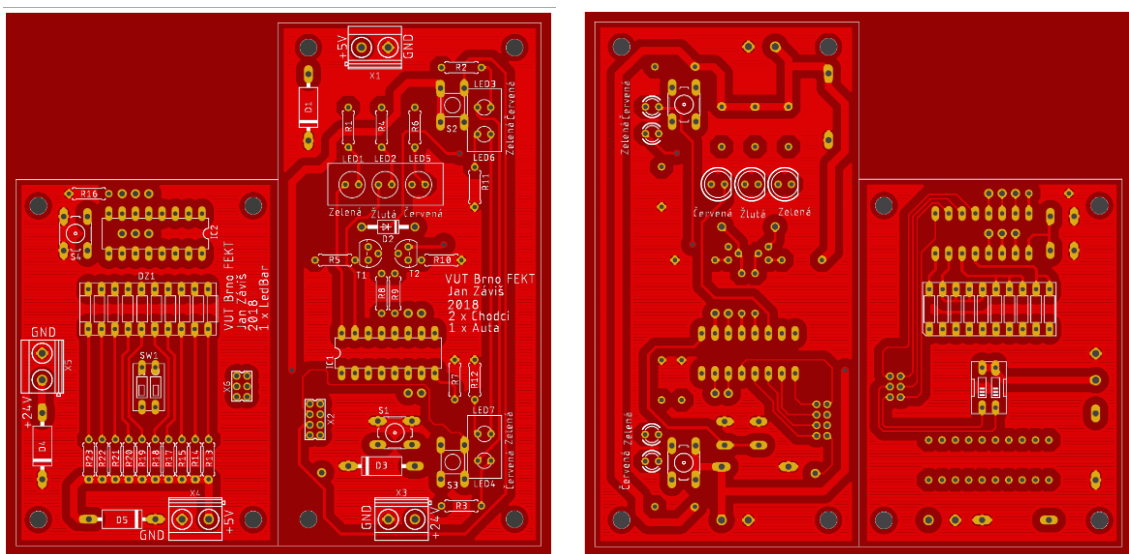


Obr. 7-14 Křižovatky osazené deskami plošných spojů

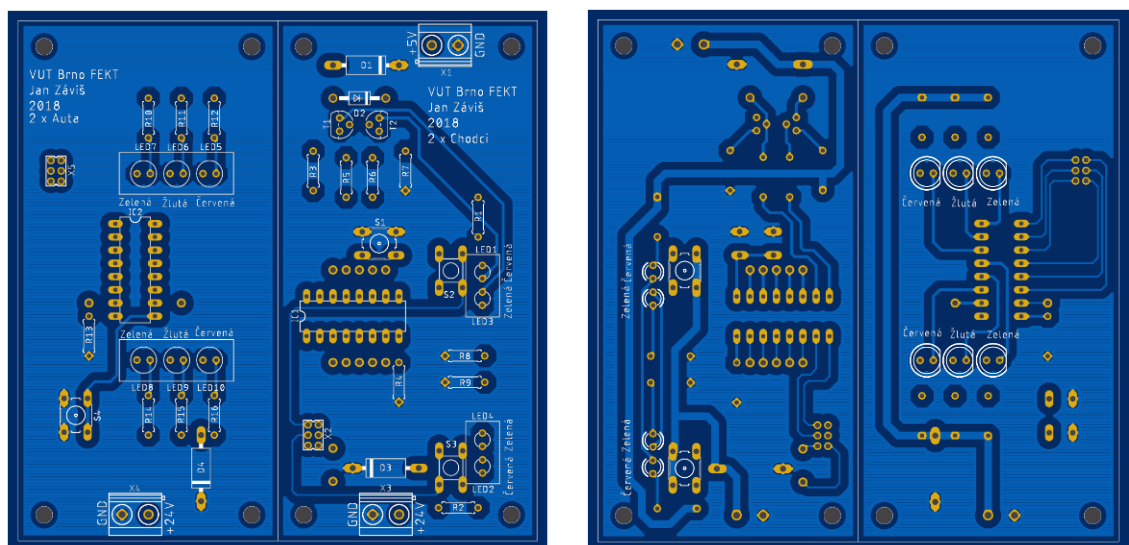


Desky plošných spojů jsou oboustranné. Ve vrstvě Top se nacházejí pouze návěstidla, tlačítka pro chodce, LEDbary a tahové přepínače. Ostatní součástky se nacházejí ve vrstvě Bottom. Díky tomu můžeme desku plošných spojů přimáčknout přímo na zadní stranu demonstračního panelu a prostrčit skrz něj návěstidla, tlačítka pro chodce, LEDbary a tahové přepínače. Aniž by bylo nutné desku plošných spojů demontovat od zadní strany demonstračního panelu je možná údržba a kontrola správnosti funkčnosti. Vodivé cesty se nachází jak ve vrstvě Top tak i Bottom.

Na následujících obrázcích se nachází výsledná podoba desek plošných spojů. První dvojice obrázků (7-15) zachycují desku plošných spojů pro LEDbar s tahovým přepínačem a návěstidlo pro auta s přechodem pro chodce. Druhá dvojice obrázků (7-16) zachycují desku plošných spojů pro přechod pro chodce a dvě návěstidla pro auta. Takto vyrobené desky plošných spojů je nutné rozříznout na jednotlivé desky plošných spojů podle vodících linek.



Obr. 7-15 Deska plošných spojů (Bottom vpravo, Top vlevo)



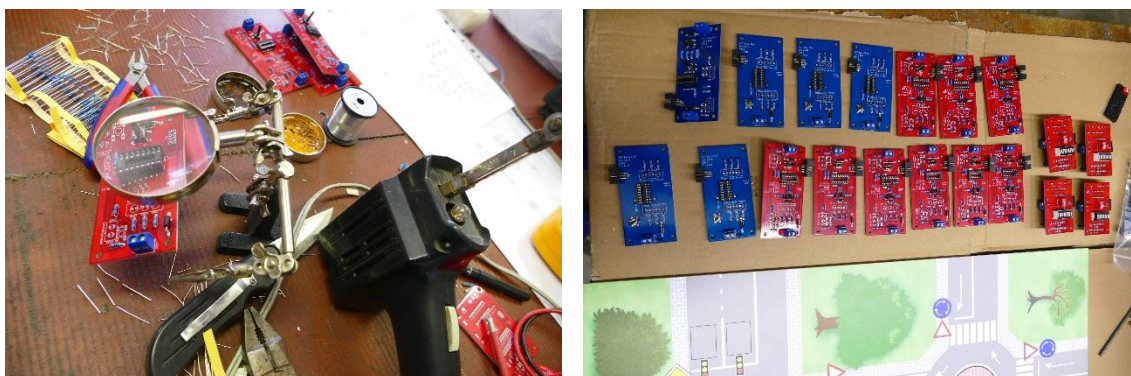
Obr. 7-16 Deska plošných spojů (Bottom vpravo, Top vlevo)

### 7.2.3 Konečné osazení plošných spojů

Dále je nutné si vygenerovat z EAGLU osazovací plány. Osazovací plány se nacházejí v příloze (CD – Příloha 5) ve formátu eps. V této příloze se také nacházejí soubory pro osvitovou jednotku, kdyby si někdo chtěl desky plošných spojů vyrobit doma. A ještě se zde nachází zdrojový soubor pro EAGL ve verzi brd.

Při osazování je nutné se striktně držet osazovacího plánu a seznamu součástek.

Na obrázku (7-17) je zachycený osazovací proces. Levá část zachycuje osazování jedné desky plošných spojů a na pravé části jsou již všechny desky plošných spojů osazeny a připraveny k namontování na zadní stranu demonstračního panelu.



Obr. 7-17 Osazování plošných spojů

## 7.3 Konečné sestavení fyzického demonstračního panelu

Tato kapitola se zabývá sestavením celého zařízení modelu soustavy křižovatek. Je zde popsán postup.

### 7.3.1 Zasazení do ránu

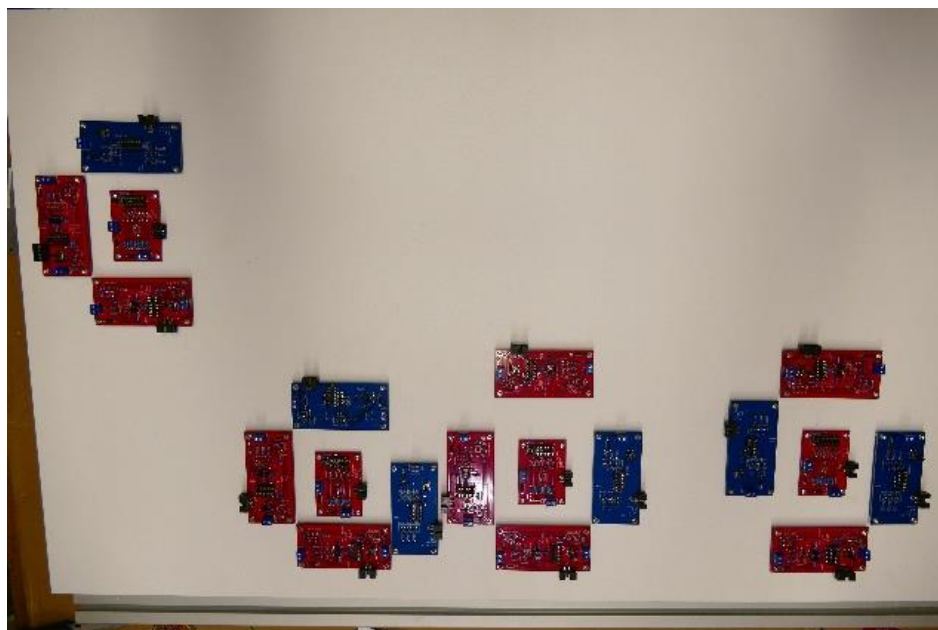
Nejprve se musí přední strana demonstračního panelu přidělat ke hliníkovému rámu, aby zůstal stát ve vertikální poloze. Tento rám je opatřený nohami, takže mám celé zařízení bude stát. Obrázek (7-18) zachycuje rám s nalepenou plastovou deskou.



Obr. 7-18 Pohled na zadní stranu demonstračního panelu

### 7.3.2 Připevnění plošných spojů

Po připevnění desky s potiskem do rámu je zapotřebí umístit osazené desky plošných spojů na své místa. Tyto desky se k desce přidělávají pomocí distančních sloupků. Obrázek (7-19) zachycuje, jak vypadá zadní strana demonstračního panelu s deskami plošných spojů.



Obr. 7-19 Osazení desek plošných spojů

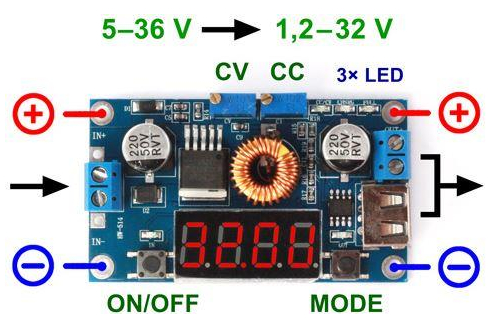
### 7.3.3 Přidělení DC-DC snižujícího měniče

Dále bylo zapotřebí zajistit napájení 5V pro návěstidla. To se vyřešilo použitím DC-DC snižujícího měniče, který ze společného napájení 24V udělá 5V.

Jako zdroj pro demonstrační panel zde bude použitý snižující DC-DC měnič DVM4015 dostupný z [18].

Jedná se o tak zvaný univerzální snižující měnič s výkonem 50 W s regulací napětí a proudu. Dále obsahuje vestavěný digitální voltmetr.

Vstupní napětí je 6–36 V a výstupní napětí je 1,2 až 32 V. Výstupní proud může být až 3 A což je pro naši aplikaci plně dostačující. Když budeme brát 20 mA na jednu LED a na panelu je 88 LED. Výpočtem byla zjištěna potřeba 1,76 A při svícení všech LED. Z toho plyne že tento zdroj je plně dostačující.



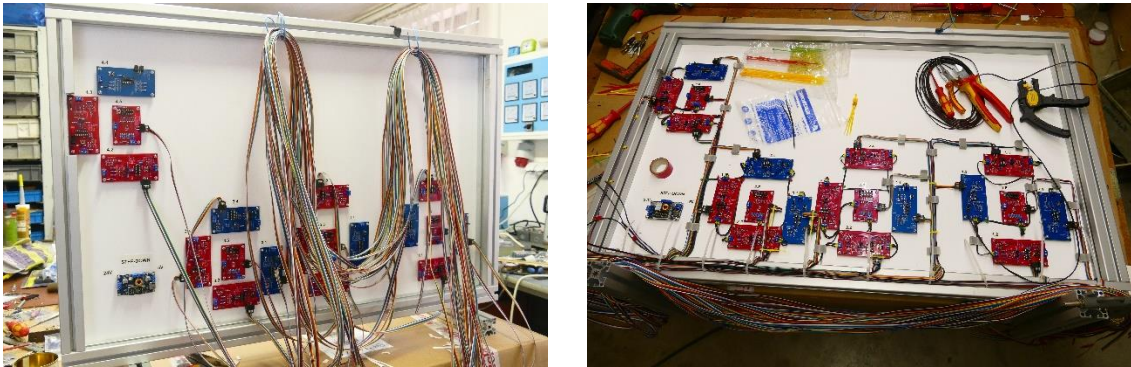
Obr. 7-20 DC-DC snižující měnič [19]

### 7.3.4 Umístění kabelů

Jako předposlední věc, je třeba instalovat kabeláž. Nachází se zde tři druhy kabelů.

1. Napájení
  - +24V
    - Napájení pro tlačítka a tahové přepínače
    - Napájení za společného zdroje
  - +5V
    - Napájení pro návěstidla
    - Napájení z DC-DC snižujícího měniče
2. Signálové
  - Ploché kabel, který bude sloužit k propojení jednotlivých desek plošných spojů s periferiemi PLC

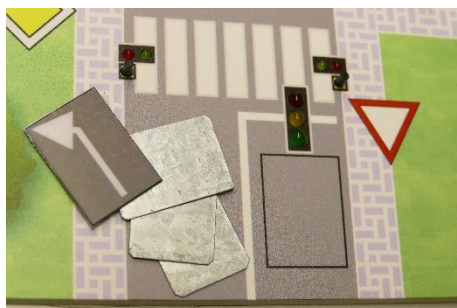
Obrázek (7-21) zachycuje postup práce při instalaci kabelů.



Obr. 7-21 Umístění kabelů

### 7.3.5 Přidělení plošek pro magnetky

Jako poslední věc bylo nutné na přední stranu demonstračního panelu na vyhrazená místa přidělat kovové plošky, aby se na ně daly přichytit magnetky se šípkami. Tyto plošky byly na desku přilepeny abychom co nejvíce omezili vrtání do desky. Obrázek (7-22) zachycuje postup práce.

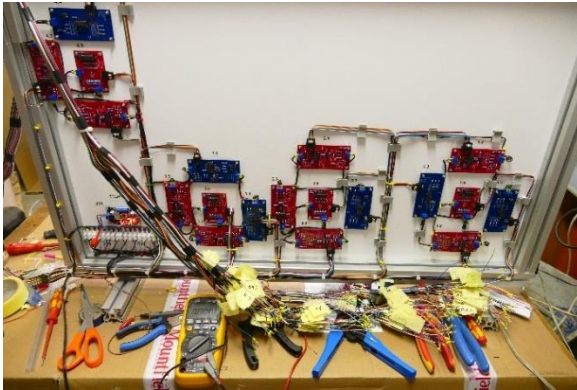


Obr. 7-22 Přidělení kovových plošek

### 7.3.6 Finální pohled

Obrázky (7-23) zachycují, jak vypadá kompletní demonstrační panel.

Nyní máme celé zařízení modelu soustavy křižovatek hotové. A Můžeme přistoupit k psaní programu.



**Obr. 7-23 Finální pohled**

Dále v příloze (CD – Příloha 6) se nachází podrobné blokové schéma celého zařízení i s PLC. Je na něm vidět vnitřní zapojení zařízení, jak jsou jednotlivé desky plošných spojů napájené a jak vytvářejí celky jednotlivých křižovatek. Dále je zde vidět i to jak bude PLC stylizováno, kolik bude mít periférii a jak bude napájeno. Dále je zde vidět i komunikace mezi PLC a zařízením. Zařízení má 134 datových vodičů a PLC 112. Zařízení má 22 rezervních datových vodičů pro budoucí rozšíření.

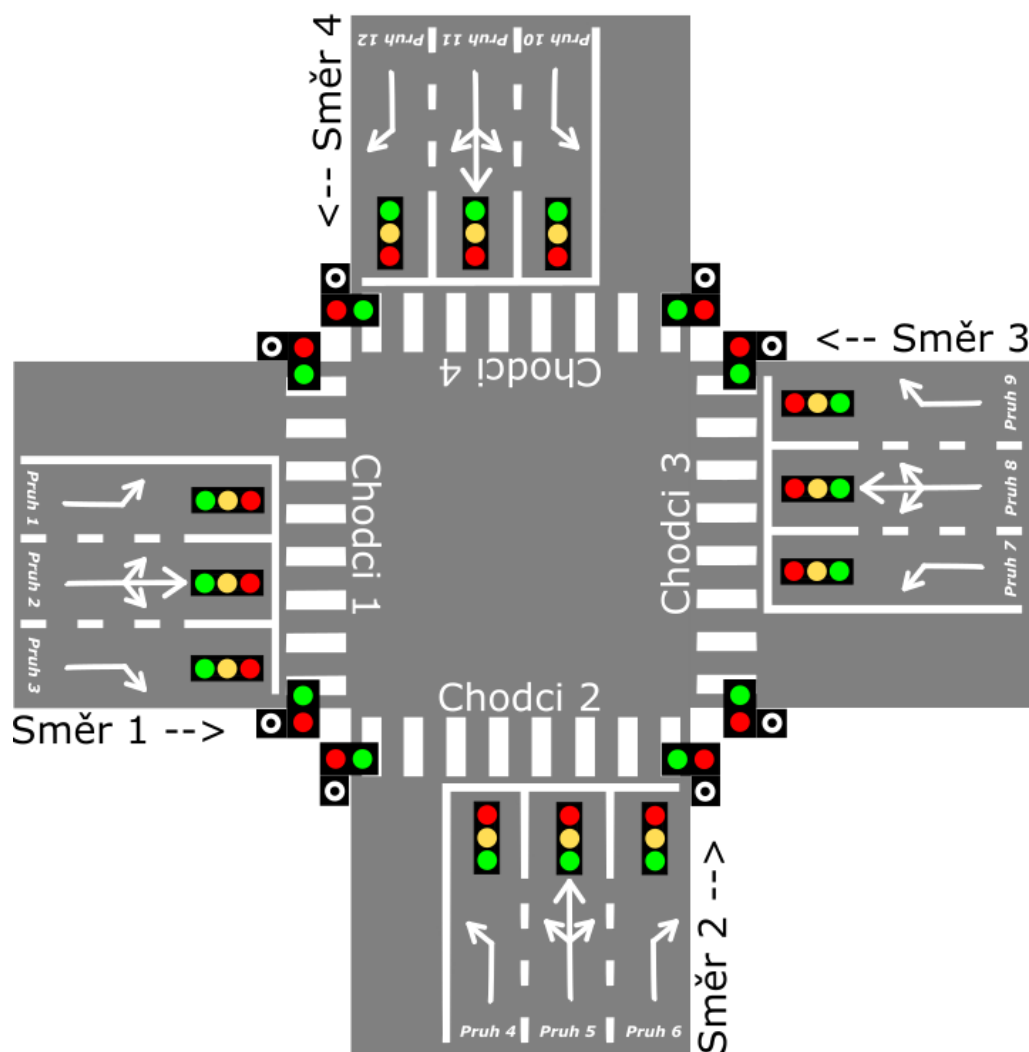
## 8. VYTVOŘENÍ APLIKACE NA BÁZI PLC

Zřízení máme zkonstruované a připravené. Nyní je zapotřebí napsat aplikaci, která bude přes PLC řídit dopravu na zařízení. Aplikace se vytvoří na počítači v programu RSLogix5000 v jazyce LADDER. Výsledný program pak bude nahraný do PLC firmy Allan Bradley.

Pro jednoduchost detailně popíši program pro řízení jedné křižovatky, a to univerzální křižovatky. Celý program bude psán univerzálně aby bylo možné ho napasovat na jakoukoliv křižovatku. Pro řízení celé soustavy křižovatek pak pouze postačí tento kód nakopírovat podle počtu řízených křižovatek.

### 8.1 Univerzální křižovatka

Jelikož je žádoucí napsat program jako šablonu, kterou by bylo možné použít několikrát a pro různý tvar křižovatek, je nutné si takovou křižovatku vytvořit. Na obrázku (8-1) je univerzální křižovatka, ze které půjde vytvořit jakákoliv křižovatku, která má čtyři a méně směrů.



Obr. 8-1 Schéma univerzální křižovatky

Tato univerzální křižovatka obsahuje celkem dvanáct jízdnic pruhů a čtyři návěstidla pro chodce. Dále se dá rozdělit na čtyři stejné směry. Každý směr obsahuje následovně:

1. Návěstidla pro auta
  - a. Pruh odbočující vlevo
  - b. Všesměrový pruh
  - c. Pruh odbočující vpravo
2. Přejechod pro chodce
  - a. Návěstidlo a tlačítko pro chodce vlevo
  - b. Návěstidlo a tlačítko pro chodce vpravo

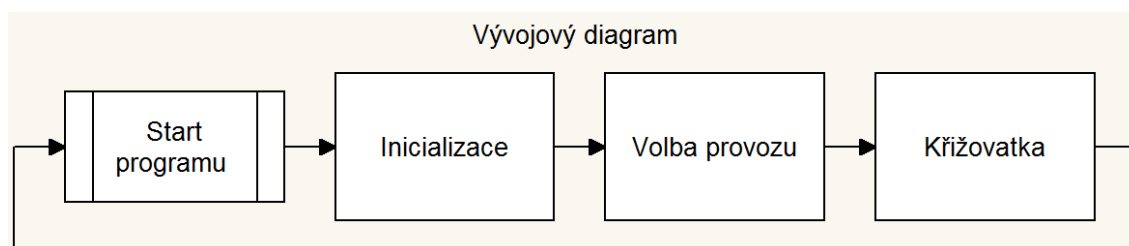
V příloze (Příloha 5) se nachází obrázek na kterém je vidět, jak vypadá naše křižovatka typu T, když se vytvoří z univerzální křižovatky. A v příloze (CD – Příloha 7) se nachází všechny křižovatky vytvořené z univerzální křižovatky.

Této univerzální křižovatce se pomocí binárního kódu řekne, které pruhy má ovládat a které ne, a tím si nadefinujeme požadovaný tvar křižovatky.

## 8.2 Vývojový diagram

Detailní popis vývojového diagramu se nachází v příloze (CD – Příloha 8).

Diagram se skládá ze tří hlavních částí, jak je znázorněno na obrázku (8-2).



**Obr. 8-2 Zkrácený vývojový diagram**

1. Inicializace křižovatky
  - Zde dochází k nastavení fyzických vstupů a výstupů
    - LED, tlačítka, LEDbar a tahové přepínače
  - Dále se zde nastavují časy pro trvání jednotlivých světelných signálů na návěstidlech
2. Volba provozu
  - Zde se snímají polohy tahových přepínačů a tím se mění druh provozu
  - Každý provoz má vlastní tabulku s binárním kódem a tento kód je pak následně odeslán do univerzální křižovatky
  - Spolu s tím se na LEDbaru rozsvítí příslušné LED, které odpovídají danému provozu

### 3. Univerzální křižovatka

- Jako první se provede resetování křižovatky a uvedení do nulového stavu
- Pak je možné spustit křižovatku
- Aktivují se příslušné jízdní pruhy podle binárního kódu, který byl zvolený výše
- Po resetování jízdních pruhů se spustí
  - Každý jízdní pruh má dvě verze
    - Pouze návěstidlo pro auta
    - Návěstidlo pro auta a přechod pro chodce
- Mimo jiného se zde nachází i noční nebo jinak servisní provoz
  - Ten je aktivován stejně jako jízdní pruhy, je aktivován binárním kódem, který byl do křižovatky odeslán výše
- Po dokončení všech aktivních jízdních pruhů se křižovatka korektně ukončí a dojde k návratu do hlavní programové smyčky

## 8.3 Instrukce

Aby bylo docíleno toho, že program bude univerzální, tak bylo žádoucí k tomuto účelu využít tak zvané Add-On instrukce, které byly napsány přímo pro tento případ.

Byla vytvořena instrukce Křižovatka, která obsahovala další tři tyto instrukce. První instrukce je pro odbočovací jízdní pruh, druhá instrukce je pro všesměrový jízdní pruh a třetí instrukce je pro noční režim. Nyní si jednotlivé instrukce popíšeme.

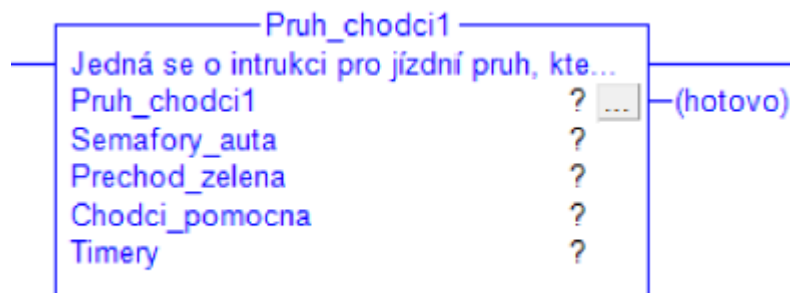
### 8.3.1 Instrukce Pruh\_chodci1

Tato instrukce má za úkol obsloužit jedno návěstidlo pro auta a jeden přechod pro chodce.

Na začátku této instrukce dojde k restartu a nastavení výchozích hodnot, rozsvícení červeného signálu a zhasnutí ostatních signálů. Pak dojde k testování, o jakou verzi se jedná, jestli o verzi, kde se obslouží pouze návěstidlo pro auta anebo se jedná o verzi kde se s návěstidlem pro auta spustí i přechod pro chodce. Po vykonání se instrukce korektně ukončí.

Podrobnější popis funkce se patrný z popisu vývojového diagramu, který byl zmíněný dříve.

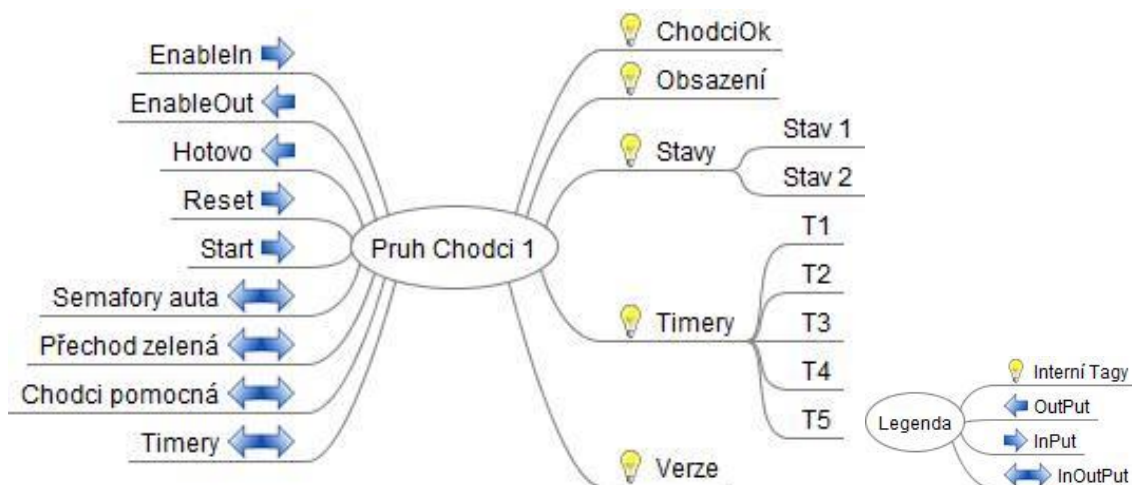
Na obrázku (8-3) je Relay Ladder této instrukce. Takto tato instrukce vypadá v jazyce LADDER.



Obr. 8-3 Instrukce Pruh\_chodci1



Na obrázku (8-4) jsou vidět vstupy, výstupy a interní Tagy této instrukce.



Obr. 8-4 Vstupy a výstupy pro Pruh\_chodci1

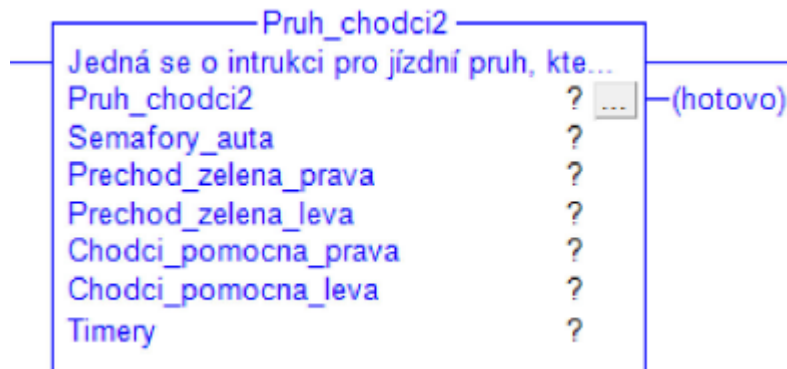
### 8.3.2 Instrukce Pruh 2

Tato instrukce má za úkol obsloužit jedno návěstidlo pro auta a dva přechody pro chodce.

Na začátku této instrukce dojde k restartu a nastavení výchozích hodnot, rozsvícení červeného signálu a zhasnutí ostatních signálů. Pak dojde k testování, o jakou verzi se jedná, jestli o verzi, kde se obslouží pouze návěstidlo pro auta anebo se jedná o verzi kde se s návěstidlem pro auta spustí i dva přechody pro chodce. Po vykonání se instrukce korektně ukončí.

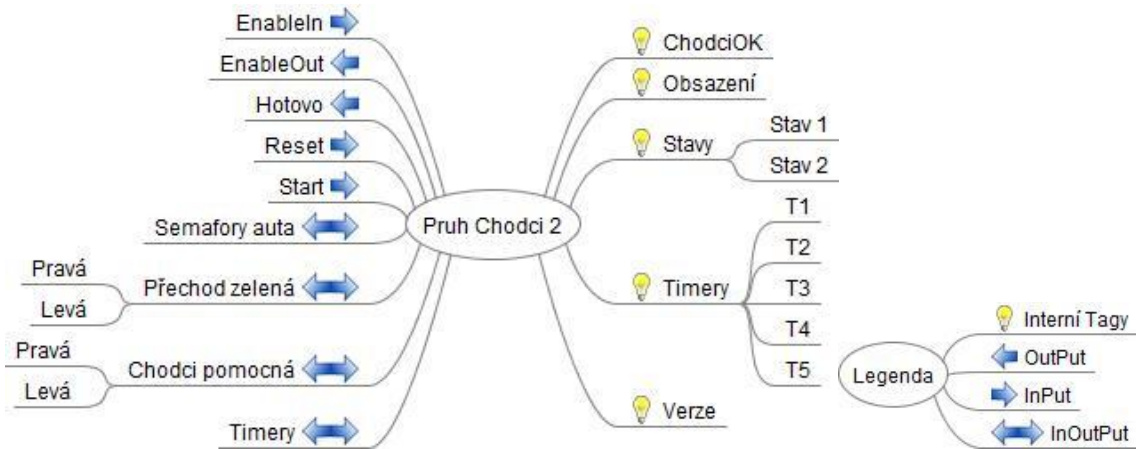
Podrobnější popis funkce se patrný z popisu vývojového diagramu, který byl zmíněný dříve.

Na obrázku (8-5) je Relay Ladder této instrukce. Takto tato instrukce vypadá v jazyce LADDER.



Obr. 8-5 Instrukce Pruh\_chodci2

Na obrázku (8-6) jsou vidět vstupy, výstupy a interní Tagy této instrukce.



Obr. 8-6 Vstupy a výstupy pro Pruh\_chodci2

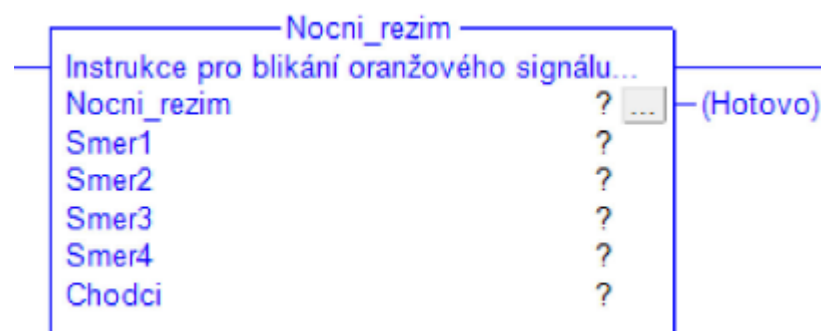
### 8.3.3 Instrukce Noční režim

Tato instrukce má za úkol obsloužit všechna návěstidla.

Na začátku této instrukce dojde k restartu a nastavení výchozích hodnot, zhasnutí všech signálů. Pak se na jednu sekundu rozsvítí oranžový signál na návěstidlech pro auta. A nakonec se opět všechna návěstidla zhasnou. Po dokončení instrukce se vrátíme zpět do nadřazené instrukce.

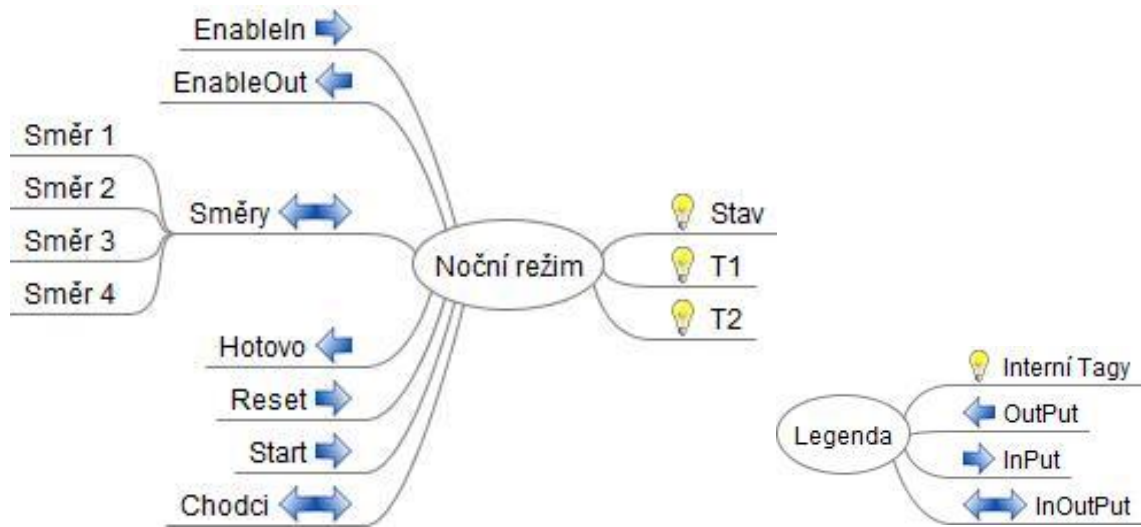
Podrobnější popis funkce se patrně z popisu vývojového diagramu, který byl zmíněn dříve.

Na obrázku (8-7) je Relay Ladder této instrukce. Takto tato instrukce vypadá v jazyce LADDER.



Obr. 8-7 Instrukce pro Noční režim

Na obrázku (8-8) jsou vidět vstupy, výstupy a interní Tagy této instrukce.



Obr. 8-8 Vstupy a výstupy pro instrukci Noční režim

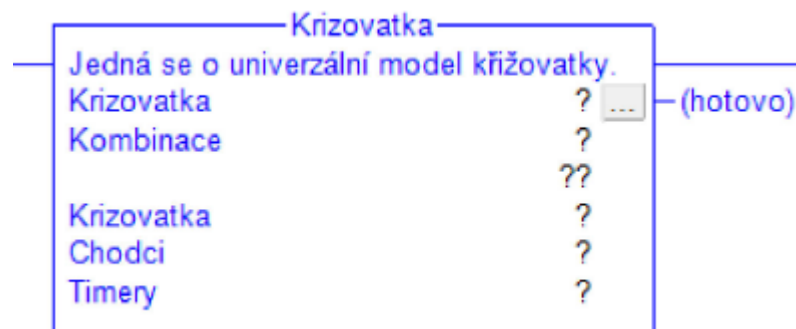
### 8.3.4 Instrukce Křižovatka

Tato instrukce má za úkol obsloužit vnitřní instrukce. Celkem obsahuje jednu instrukci Noční režim, čtyři instrukce Pruh\_chodci2 a osm instrukcí Pruh\_chodci1.

Na začátku této instrukce dojde k restartu a nastavení výchozích hodnot, resetování vnitřních instrukcí. Pak se načte binární kód, podle kterého se spustí příslušné vnitřní instrukce. Po jejich vykonání se tato instrukce korektně ukončí

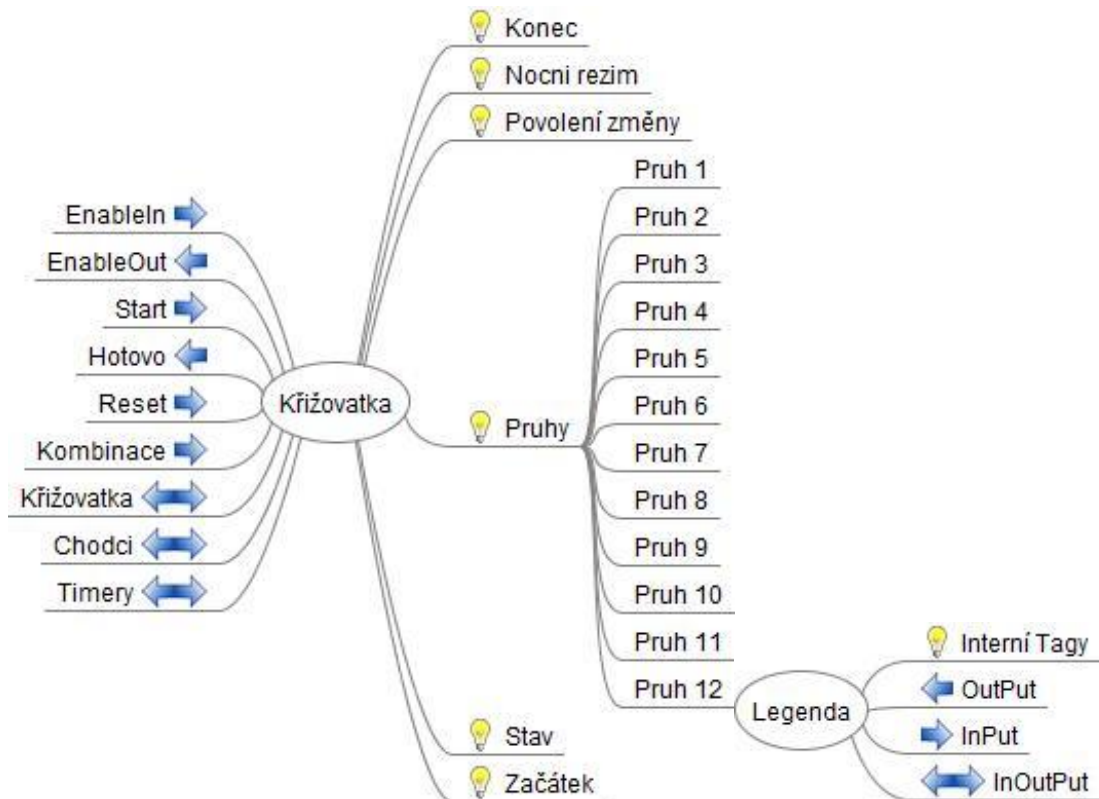
Podrobnější popis funkce je patrný z popisu vývojového diagramu, který byl zmíněný dříve.

Na obrázku (8-9) je Relay Ladder této instrukce. Takto tato instrukce vypadá v jazyce LADDER.



Obr. 8-9 Instrukce křižovatka

Na obrázku (8-10) jsou vidět vstupy, výstupy a interní Tagy této instrukce.



**Obr. 8-10 Vstupy a výstupy pro instrukci Křižovatka**

## 8.4 Program

Program se nachází v příloze (CD – Příloha 9). Jedná se kompletní verzi. To znamená, že obsahuje program pro všechny čtyři křižovatky, které jsou řízeny v závislosti na sobě. Provoz se mění jedním tahovým přepínačem v křižovatce čtyři a mění se na všech křižovatkách stejně. Tudiž se nejedná o verzi, kdy by byla každá křižovatka řízena zvlášť.

Dále se v této příloze nachází report tohoto programu. V tomto reportu se nachází program, který obsahuje stručné popisky veškerých proměnných, instrukcí a řádků v kódu.

## 8.5 Proměnné použité v programu

Proměnné pro instrukci křižovatka jsou typu složená struktura. Složená struktura je zvolena z důvodu jednoduchého předání do instrukcí. Dále za účelem úhledného uspořádání do stromové struktury. Je přehledně vidět která proměnná patří k čemu. Strom se složenou strukturou proměnných se nachází v příloze (CD – Příloha 10).

Časy pro jednotlivé světelné signály byly převzaty ze skutečné křižovatky na Skácelově v Brně Královo pole. V příloze (Příloha 6) se tyto časové prodlevy nacházejí.

## 8.6 Druhy provozů

Jednotlivé druhy provozů se volí za pomoci tahových přepínačů, kdy dostaneme až čtyři různé kombinace.

1. (0,0) Noční režim
2. (0,1) Normální provoz
3. (1,0) Provoz při špičce
4. (1,1) Provoz při kolapsu

Každý z těchto provozů má svůj vlastní signální plán a podle signálního plánu se pak generují binární kódy pro instrukci křižovatka.

### 8.6.1 Signální plány

Signální plán nám znázorňuje kudy bude umožněný průjezd při signálu zelená. Pro každý druh provozu bude tento signální plán jiný. Musí se zajistit co nejplynulejší průjezd křižovatkou. Jednotlivé signální plány pro každý druh provozu se nacházejí v příloze (CD – Příloha11).

1. Noční režim
  - Zde bude jenom blikat signál oranžová na návěstidlech pro auta a návěstidla pro chodce budou deaktivované
2. Normální provoz
  - Zde se na střídačku střádají hlavní tahy s vedlejšími na každé křižovatce
    - Pokud na první křižovatce je aktivní hlavní tah, tak na druhé křižovatce je aktivní vedlejší tah, a takto se to střídá na každé křižovatce
3. Provoz při špičce
  - Zde je tak zvaná zelená vlna, to znamená že je na všech křižovatkách najednou signál zelená na hlavním tahu
    - Hlavní tah
      1. Zelená vlna zleva
      2. Vedlejší tah shora
      3. Zelená vlna zprava
      4. Vedlejší tah ze spodu
        - Vedlejší tahy se opět střídají, tak aby na každé křižovatce nebyli všechny shora anebo ze spodu

#### 4. Provoz při kolapsu

- To znamená, že je ucpaná hlavní tah a jediná možnost, jak ho vyčistit je posílení zelené vlny
  - Hlavní tah
    1. Zelená vlna zleva
    2. Zelená vlna zprava
    3. Vedlejší tah shora
    4. Zelená vlna zleva
    5. Zelená vlna zprava
    6. Vedlejší tah ze spodu
      - Vedlejší tahy se opět střídají, aby na každé křižovatce nebyli všechny shora anebo ze spodu

Aby bylo možné křižovatky řídit dohromady musejí mít stejný počet fází signálního plánu.

### 8.6.2 Binární kódy

Binární kódy pro instrukci křižovatku se generují ze signálních plánů. Jednička je tam kde je zrovna aktivní pruh. Jedná se o tabulky, které mají na jednotlivých řádcích binární číslo o 13 číslicích. Jedná se o dvanáct pruhů plus noční režim, proto třinácti místní binární číslo.

Tabulka s kódy se nachází v příloze (CD – Příloha12). Je to zde přehledně rozděleno. Každá křižovatka má vlastní list v Excelu. Každá křižovatka obsahuje kódy pro jednotlivé provozy. Bylo nutné, aby všechny křižovatky měly stejný počet řádku u jednotlivých tabulek.

## 9. OVĚŘENÍ ŘEŠENÍ

Program je již hotový a odzkoušený. Byl testovaný na malém testovacím modelu, který obsahuje křižovátku typu T. Semestrální projekt Model soustavy křižovatek se zabývá problematikou testovacího modelu pro projekt Model soustavy křižovatek. Díky tomuto testovacímu modelu bylo možné psát program spolu s prací na demonstračním panelu.

A nyní je zapotřebí oživit demonstrační panel modelu soustavy křižovatek.

### 9.1 Oživení demonstračního panelu

Jelikož každá deska plošných spojů má vlastní datovou sběrnici, je nutné jednotlivé žíly popsat, jestli jde o návěstidla, tlačítka, LEDbary nebo tahové přepínače. Datová sběrnice je z barevného plochého kabelu, takže každý signál má vlastní barvu.

Při hledání návěstidel se jednotlivé žíly plochého kabelu připojovali na napájení +24V. A pak už jen stačí sledovat jaké LED se rozsvítí. Pokud některý vodič nereagovala žádná LED tak se jedná o vodič pro tlačítka, tahové přepínače anebo budoucí rozšíření.

Nyní je zapotřebí voltmetr a každou jednotlivou zbylou žílu připojit k voltmetru a stiskávat tlačítka anebo pohybovat s tahovými přepínači. Pokud voltmetr nereagoval na nic tak se jedná o nezapojený vodič, který slouží k budoucímu rozšíření.

V příloze (CD – Příloha 13) se nachází soubor xlsx., ve kterém jsou popsány jednotlivé barvy sběrnic desek plošných spojů.

### 9.2 Připojení demonstračního panelu k PLC

Demonstrační panel má celkem:

- 28 výstupů
- 84 vstupů

To znamená že je zapotřebí připojit k PLC následující periferie

- Logický In-PUT
  1. 32 vstupní jednotku
- Logický Out-PUT
  1. 32 výstupní jednotku
  2. 32 výstupní jednotku
  3. 32 výstupní jednotku

Celkem budou k PLC připojeny čtyři periferie, tři výstupní a jedna vstupní.

Dále je zapotřebí periferie připojit na společný zdroj s demonstračním panelem +24V. Aby byl zajištěný přenos signálů mezi PLC a demonstračním panelem.

K vstupní periférii musí být připojena společná zem celkem čtyřikrát.

K výstupní periférii musí být připojené společné napájení (+24v,GND).

Podrobný návod, jak je PLC připojeno na společný zdroj a jak je propojeno s demonstračním panelem je k nalezení v blokovém schématu, které již bylo zmíněno dříve.

V příloze (CD – Příloha 14) se nachází soubor xlsx. V tomto souboru se nachází tabulky, ve kterých je zaznamenáno kam je který vodič z demonstračního panelu připojený, neboli záznam propojení demonstračního panelu s PLC.

### 9.3 Zkušební provoz demonstračního panelu



Obr. 9-1 Dopravní situace

Nyní je demonstrační panel připojený k PLC. Program je také hotový a nyní můžeme přistoupit k prvnímu spuštění.

Pomocí magnetek si navolíme dopravní situaci. V našem případě je program napsaný na nejtěžší obtížnost, což znamená, že jsou takřka všude všesměrové jízdní pruhy. To znázorňuje obrázek (9-1).

Prvotní spuštění je zachycené na videu, které se nachází v příloze (CD – Příloha 15). Z videa je patrné, že ve výchozím stavu bliká oranžový signál, což značí noční režim nebo také servisní mód. Dále je vidět, jak křižovatka reaguje na stisknutí tlačítka pro chodce. Po změně stavu tahových přepínačů se změní zobrazení na LEDbarech a spustí se příslušný režim provozu.

Zkušební provoz dopadl velmi dobře, vše funguje, jak má. Z displeje DC.DC snižujícího měniče je patrné, že při největší zátěži má zařízení výkon 1W a odběr 0,2A při napětí 5V.



## 10. ZÁVĚR

V rámci projektu bylo dosaženo všech cílů. Demonstrační panel je plně funkční a kompatibilní s PLC. Program je napsaný velmi univerzálně, takže je možné ho použít jako šablonu pro různé projekty s křižovatkami. Za předpokladu, že křižovatka nebude mít více než čtyři směry.

Výsledek projektu je možné použít jako výukový pomůcku při výuce programovatelných automatů. Vyučující může za pomoci šipek libovolně měnit dopravní situaci, takže bude moc měnit obtížnost zadaného projektu a dále zamezí tomu, aby více skupin mělo stejné zadání. Tento demonstrační panel je tedy modulární a nastavitelný.

Na projektu se bude dále pracovat v rámci diplomové práce. Bude se řešit komunikace s PLC přes ethernet. Dále se přemýšlí, že by každá magnetka byla obohacena o čip, který řekne modelu, o jakou dopravní situaci se jedná. Model by měl sám upravit konfiguraci programu. Měl by upravit binární kódy pro druhy provozu, aby odpovídali zadané dopravní situaci.

# Literatura

- [1] KŘIVDA, Vladislav a Václav ŠKVAJN. Městské komunikace a křižovatky [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, ©2011-2013 [cit. 2017-10-07]. Dostupné z: <http://kds.vsb.cz/mkk/>
- [2] Základní rozdělení úrovnových křižovatek. KŘIVDA, Vladislav a Václav ŠKVAJN. Městské komunikace a křižovatky [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, ©2011-2013 [cit. 2017-10-14]. Dostupné z: <http://kds.vsb.cz/mkk/krizovatky-urov-zaklad.htm>
- [3] Okružní křižovatky. KŘIVDA, Vladislav a Václav ŠKVAJN. Městské komunikace a křižovatky [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, ©2011-2013 [cit. 2017-10-09]. Dostupné z: <http://kds.vsb.cz/mkk/krizovatky-ok.htm>
- [4] Křižovatky se světelným signalizačním zařízením (SSZ): Všeobecně (část1). KŘIVDA, Vladislav a Václav ŠKVAJN. Městské komunikace a křižovatky [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, ©2011-2013 [cit. 2017-10-16]. Dostupné z: <http://kds.vsb.cz/mkk/krizovatky-ssz.htm>
- [5] Křižovatky se světelným signalizačním zařízením (SSZ): Všeobecně (část2). KŘIVDA, Vladislav a Václav ŠKVAJN. Městské komunikace a křižovatky [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, ©2011-2013 [cit. 2017-10-16]. Dostupné z: <http://kds.vsb.cz/mkk/krizovatky-ssz2.htm>
- [6] Světelné signály podle vyhlášky č. 30/2001 Sb. KŘIVDA, Vladislav a Václav ŠKVAJN. Městské komunikace a křižovatky [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, ©2011-2013 [cit. 2017-10-16]. Dostupné z: <http://kds.vsb.cz/mkk/ssz-vyhlaska.pdf>
- [7] Kapacita světelně řízené křižovatky. STRIEGLER, Radim. Metodika popisující postup pro úpravu křižovatek. Brno: Centrum dopravního výzkumu, 2013, s. 19. ISBN 978-80-86502-68-7.
- [8] Návrh signálního plánu. Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích: technické podmínky: TP 81. 2. vydání. Praha: Ministerstvo dopravy, 2006, 19 - 23. ISBN 80-86502-30-9.
- [9] Koordinace řízení - zelená vlna. Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích: technické podmínky: TP 81. 2. vydání. Praha: Ministerstvo dopravy, 2006, 36 - 37. ISBN 80-86502-30-9.
- [10] MATROLOS, Jan. Posuzování kapacity světelně řízených křižovatek. Liberec: EDIP, 2011. ISBN 978-80-87394-03-8.
- [11] AŽD Praha [online]. Praha: AŽD Praha [cit. 2017-11-25]. Dostupné z: <https://www.azd.cz>
- [12] MR-11 – Mikroprocesorový řadič. AŽD Praha [online]. Praha: AŽD Praha [cit. 2017-11-25]. Dostupné z: <https://www.azd.cz/admin/files/Dokumenty/pdf/Produkty/Silnicni/MR-11.pdf>

- [13] MR-22 – Mikroprocesorový řadič. AŽD Praha [online]. Praha: AŽD Praha [cit. 2017-11-25]. Dostupné z: <https://www.azd.cz/admin/files/Dokumenty/pdf/Produkty/Silnicni/MR-22.pdf>
- [14] Vnější zařízení křižovatek. AŽD Praha [online]. Praha: AŽD Praha [cit. 2017-11-25]. Dostupné z: <https://www.azd.cz/admin/files/Dokumenty/pdf/Produkty/Silnicni/Vnejsi-zarizeni-krizovatek.pdf>
- [15] Dopravní detektory. AŽD Praha [online]. Praha: AŽD Praha [cit. 2017-11-25]. Dostupné z: <https://www.azd.cz/admin/files/Dokumenty/pdf/Produkty/Silnicni/Dopravni-detektory.pdf>
- [16] PAN-8-Výstražná signalizace pro výjezd vozidel s právem přednosti v jízdě. AŽD Praha [online]. Praha: AŽD Praha [cit. 2017-11-25]. Dostupné z: <https://www.azd.cz/admin/files/Dokumenty/pdf/Produkty/Silnicni/PAN-08.pdf>
- [17] Datasheet ULN2004A. GME [online]. Praha: GM electronic, spol., 2018 [cit. 2017-12-25]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.380-006.1.pdf>
- [18] DC-DC měnič nabíječka DVM4015. Výprodej součástek [online]. Praha: Hezký den, ©2011-2018 [cit. 2017-12-25]. Dostupné z: <http://www.hezkyden.cz/shop/dc-dc-menic-nabijecka-dvm4015/>

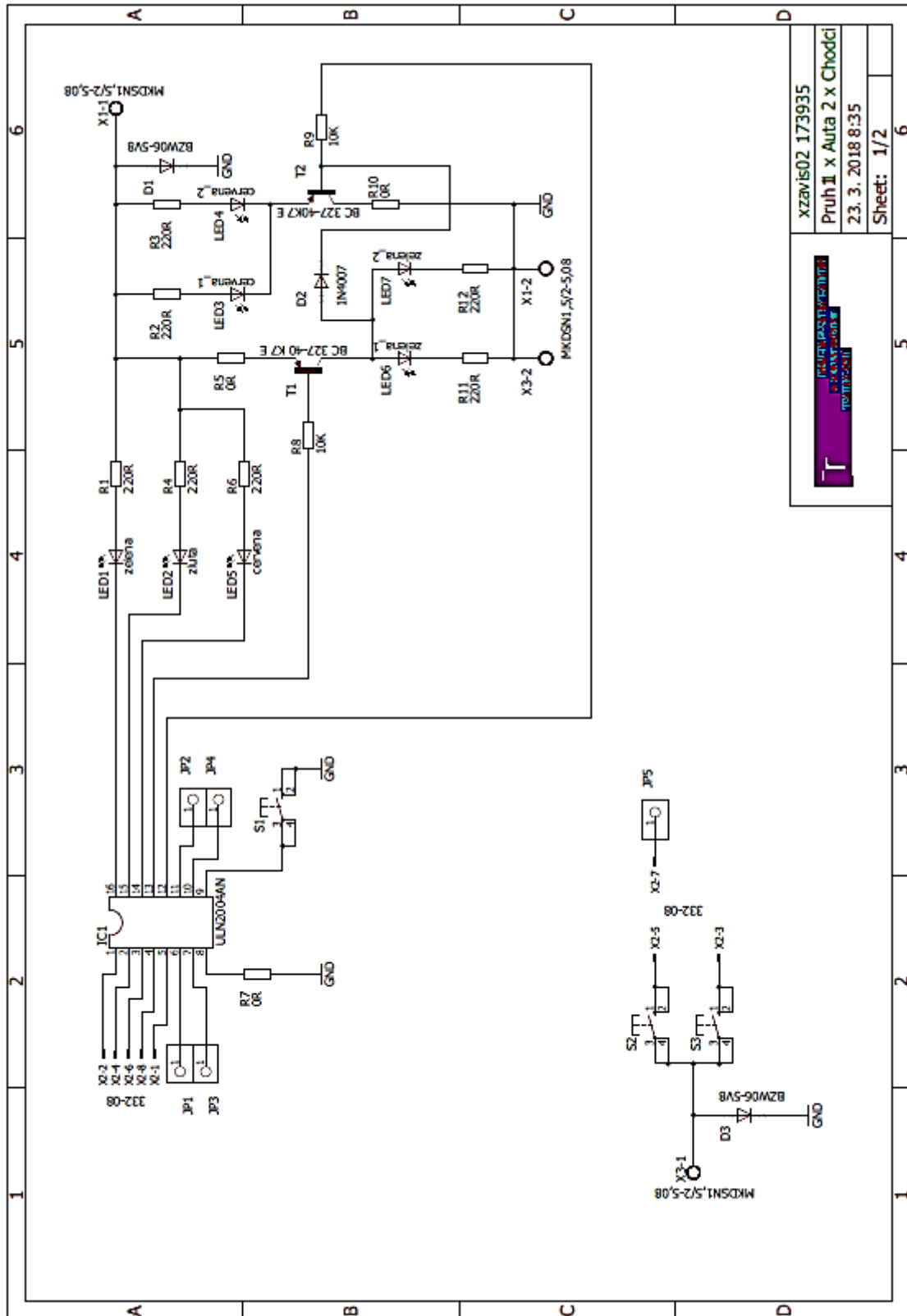
## Seznam příloh

Příloha 1 - Schéma pro návěstidlo pro auta a návěstidla pro chodce.....	69
Příloha 2 - Schéma pro LEDbar.....	70
Příloha 3 - Schéma pro návěstidla pro chodce.....	71
Příloha 4 - Schéma pro návěstidla pro auta .....	72
Příloha 5 - Křižovatka typu T .....	73
Příloha 6 - Časové prodlevy.....	74

## Seznam příloh na CD

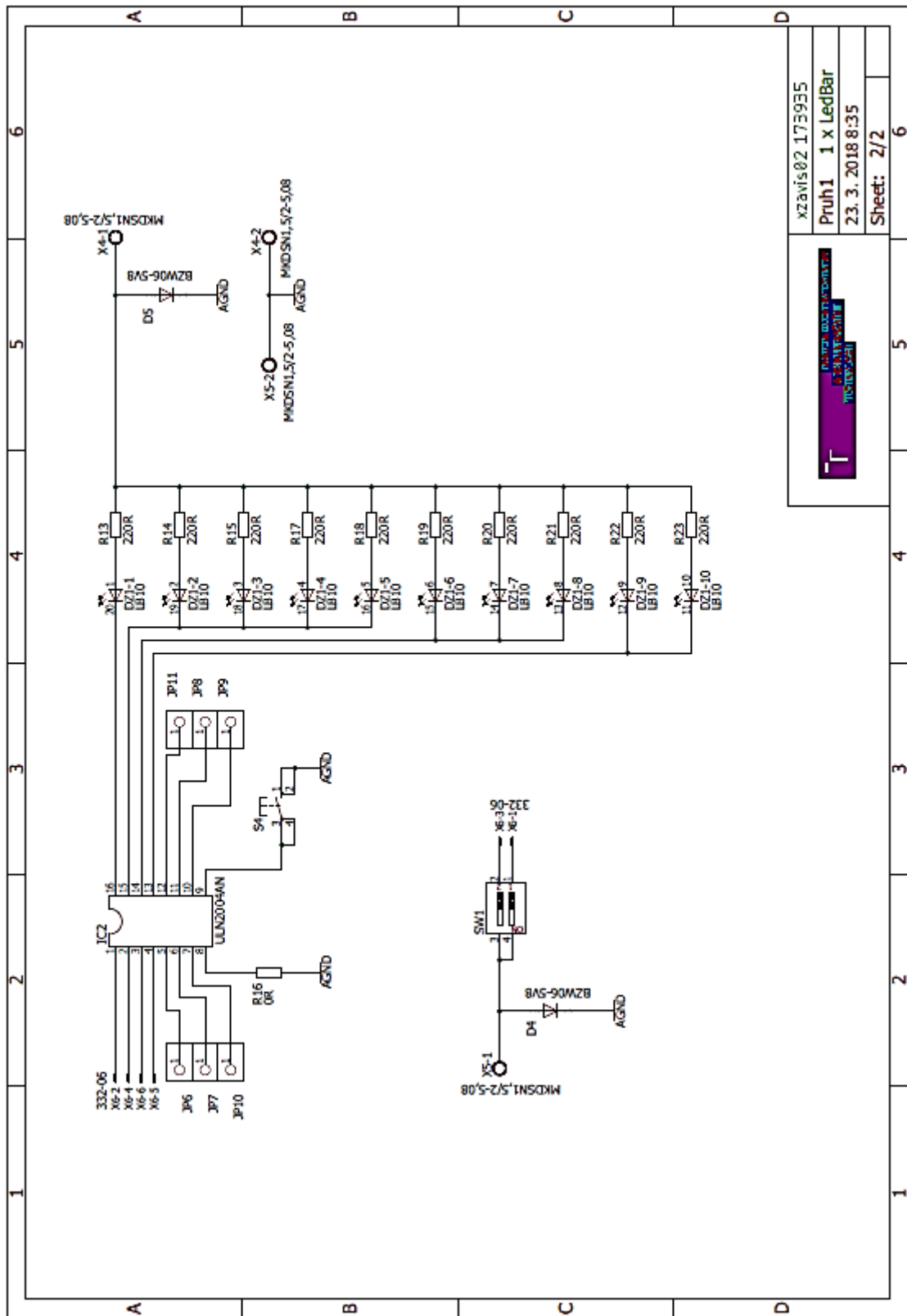
Příloha 1.	Grafická podoba panelu a magnetek
Příloha 2.	Schéma řídicího systému
Příloha 3.	Seznam součástí řídicího systému
Příloha 4.	Šablony pro EAGLE
Příloha 5.	Deska plošných spojů řídicího systému
Příloha 6.	Blokové schéma zapojení demonstračního panelu a PLC
Příloha 7.	Univerzální křižovatka + ostatní křižovatky
Příloha 8.	Vývojový diagram programu
Příloha 9.	Program pro PLC a report z programu
Příloha 10.	Složená struktura proměnných pro program
Příloha 11.	Signální plány
Příloha 12.	Definice jednotlivých druhů provozu
Příloha 13.	Značení sběrnic
Příloha 14.	Propojovací plán
Příloha 15.	Video zkušebního běhu

# Příloha 1 - Schéma pro návěstidlo pro auta a návěstidla pro chodce



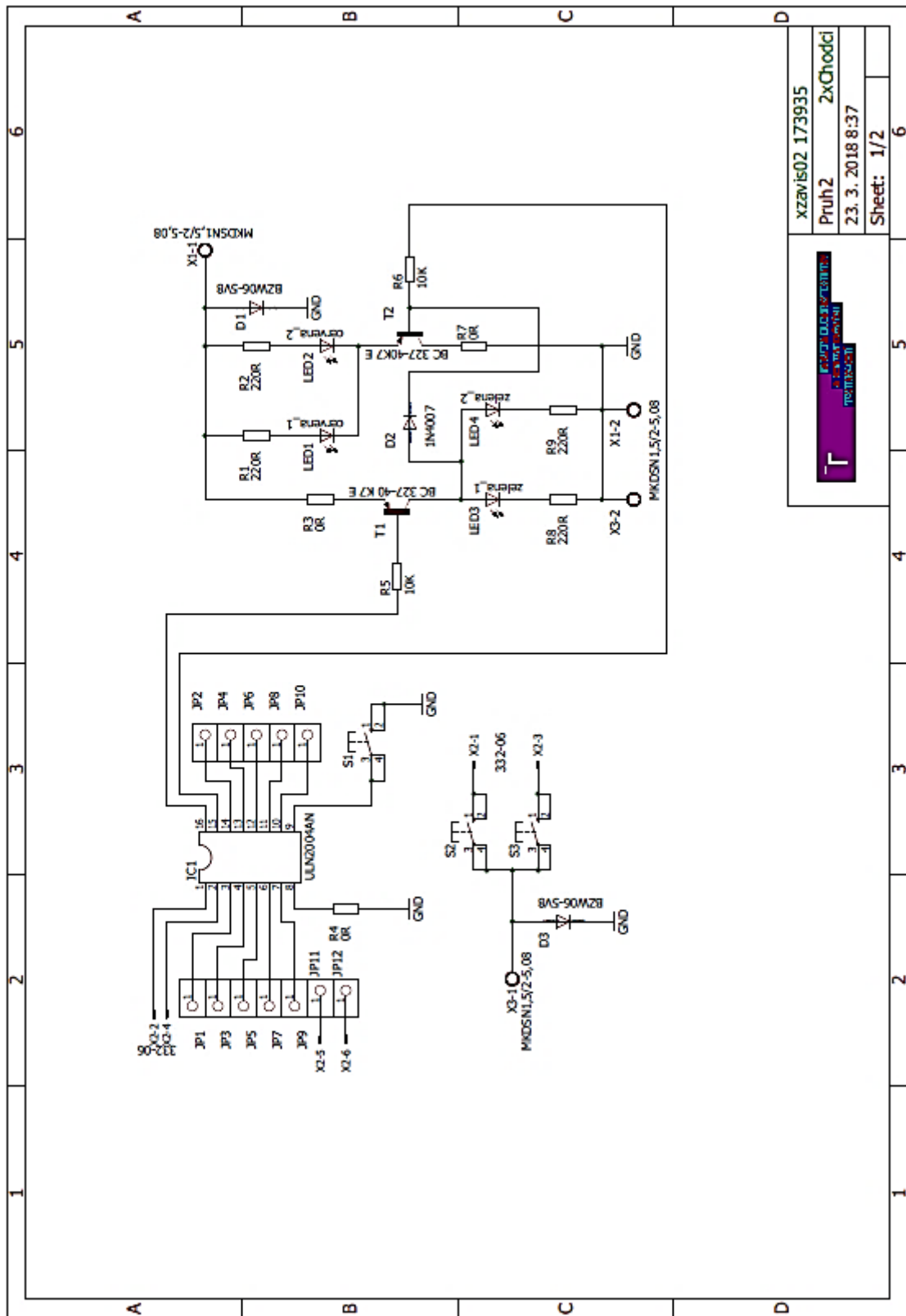
xzavis02 173935	
Pruh II x Auto 2 x Chodci	
23. 3. 2018 8:35	
Sheet: 1/2	6

# Příloha 2 - Schéma pro LEDbar



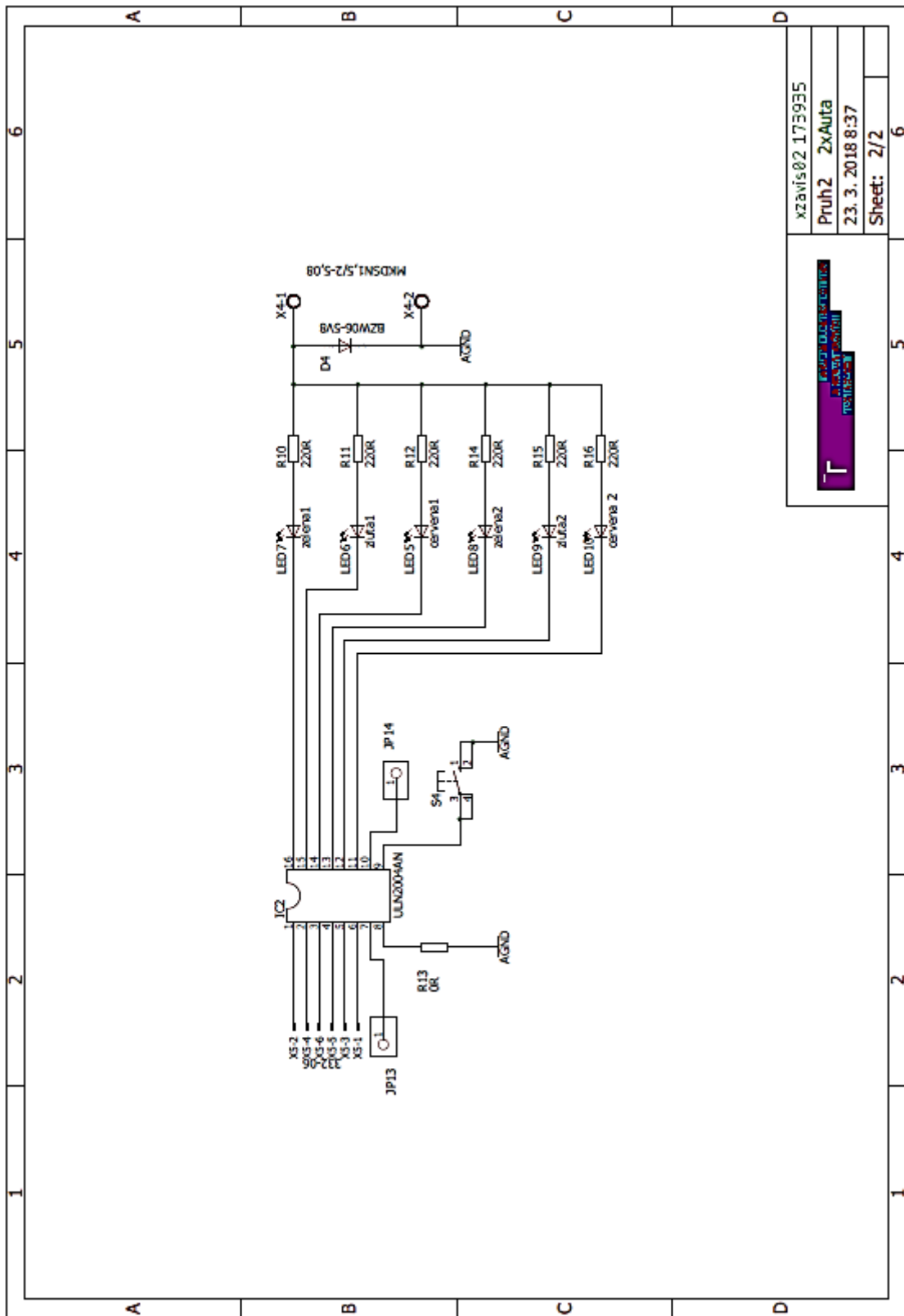
xzavis02 175935	
Pruh1 1 x LedBar	
23. 3. 2018 8:35	
Sheet: 2/2	

# Příloha 3 - Schéma pro návěstidla pro chodce



xzavis02 173935	
Průh2	2xChodci
23. 3. 2018 8:37	
Sheet: 1/2	

# Příloha 4 - Schéma pro návěstidla pro auta

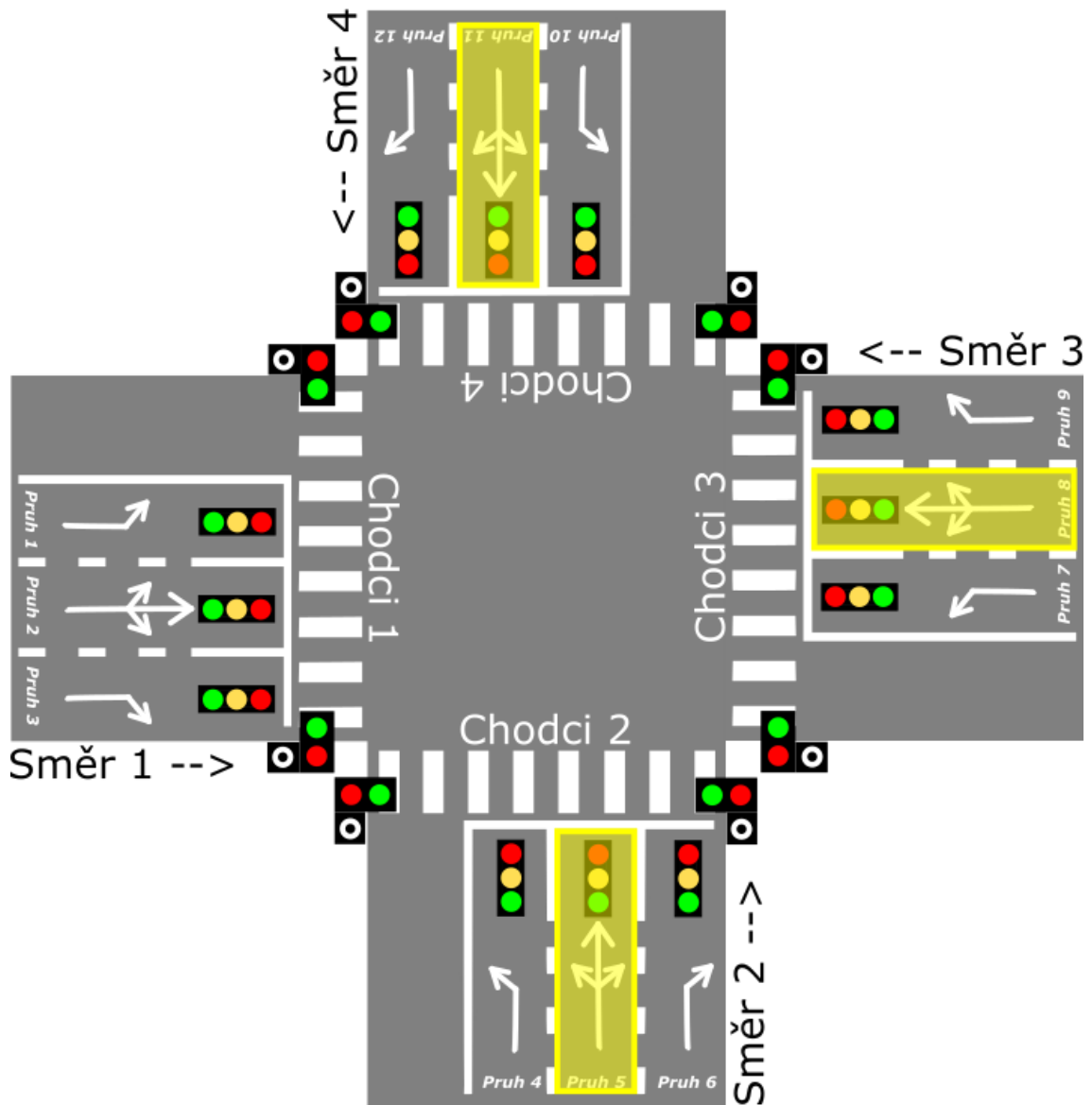


xzavis02.173935	
Průh2	2xAuto
23. 3. 2018 8:37	
Sheet:	2/2
6	



# Příloha 5 - Křižovatka typu T

## Křižovatka 4



## Příloha 6 - Časové prodlevy

