

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2022

Jakub Hlaváček



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

OPTIMALIZACE DOPRAVNÍCH KŘIŽOVATEK POMOCÍ METOD STROJOVEHO UČENÍ

PREDICTION AND ANALYSIS OF TRAFFIC CROSSINGS USING MACHINE LEARNING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Hlaváček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jakub Götthans

BRNO 2022

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Elektronika a komunikační technologie**

Ústav radioelektroniky

Student: Jakub Hlaváček

ID: 221049

Ročník: 3

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Optimalizace dopravních křižovatek pomocí metod strojového učení

POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s problematikou a řízením kaskádových dopravních křižovatek a navrhnete softwarový model kaskády křižovatek, který bude sloužit k ověření jednotlivých strojových algoritmů. Tento model by měl umožňovat nadefinovat počty jednotlivých účastníků dopravní situace z jednotlivých směrů. Prostudujte vhodné optimalizační algoritmy.

Vybrané optimalizační algoritmy implementujte a porovnejte navzájem dosažené výsledky, případně navrhnete vlastní optimalizační metodu k řešení konkrétní problematiky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] CHALLOT, Francois. Deep Learning v jazyce Python: knihovny Keras, Tensorflow. Praha: Grada Publishing, 2019. Knihovna programátora (Grada). ISBN-978-80-247-3100-1.

[2] GOODFELLOW, Ian, Yoshua BENGIO, Aaron COURVILLE. Deep learning. Cambridge: MIT Press, [2016]. Adaptive computation and machine learning (MIT Press). ISBN 978-0262035613

Termín zadání: 11.2.2022

Termín odevzdání: 1.6.2022

Vedoucí práce: Ing. Jakub Götthans

doc. Ing. Lucie Hudcová, Ph.D.
předseda rady studijního programu

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

Práce se věnuje oblasti problematiky řízení dopravy, konkrétně světelnému řízení křižovatek, zejména technologiím řízení na základě získaných dat o provozu. Hlavním cílem práce je návrh a následná implementace reálné křižovatky Anenská a kpt. Jaroše, Pardubice v podobě modelu. Práce se dále zabývá úkázkou využívaných signálních programů řízení křižovatek skrze vytvořený model. Model je sestaven ze dřevěné základny a menší součásti vyhotoveny 3-D tiskem. Celek je řízen mikropočítačem Arduino. Při tvorbě této práce se mi podařilo porozumět komplexnímu řízení dopravy v dnešních městech, která si aktuální dopravní situace žádá.

KLÍČOVÁ SLOVA

čidlo, detektor, interval, IR, křižovatka, LED, městská hromadná doprava (MHD), model, provoz, přechod, řízení, směr, světelné signalizační zařízení (SSZ), signalizace, vozidlo

ABSTRACT

The thesis focuses on the area of traffic control, specifically traffic control of intersections, especially control technologies based on the obtained traffic data. The main goal of the work is the design and subsequent implementation of a real intersection Anenská and Capt. Jaroše, Pardubice in the form of a model. The work also deals with the demonstration of the used signal programs of junction control through the created model. The model is assembled from a wooden base and smaller parts are made by 3-D printing. The unit is controlled by an Arduino microcomputer. In creating this thesis, I managed to understand the comprehensive traffic management in today's cities, which requires the current traffic situation.

KEYWORDS

sensor, detector, interval, IR, intersection, LED, public transport, model, traffic, crosswalk, control, direction, light signaling device, signaling, vehicle

HLAVÁČEK, Jakub. *Optimalizace dopravních křižovatek pomocí metod strojového učení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2022, 47 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Jakub Götthans

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora: Jakub Hlaváček
VUT ID autora: 221049
Typ práce: Bakalářská práce
Akademický rok: 2021/22
Téma závěrečné práce: Optimalizace dopravních křižovatek pomocí metod strojového učení

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné 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 závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Jakubu Götthansovi za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Obsah

Úvod	11
1 Teorie řízení křižovatek	12
1.1 Kaskádové křižovatky	12
1.1.1 Progresivní rychlost	12
1.2 Dynamicky řízené křižovatky	12
1.2.1 Porovnání s křižovatkami s fixní dobou fází	13
1.2.2 Detekce vozidel	14
1.3 Komunikace vozidla s okolím (V2X)	16
1.3.1 Detekce a prioritizace vozidel MHD	16
1.3.2 Detekce a prioritizace vozidel IZS	17
1.4 Světelné signalizační zařízení	18
1.4.1 Značení signalizací	19
1.5 Řadiče světelné signalizace	19
1.6 Křižovatka Anenská a kpt. Jaroše, Pardubice	20
2 Návrh modelu	22
2.1 Funkce modelu	22
2.1.1 Ovládání operačním panelem	22
2.1.2 Přejechání pro chodce a cyklisty	23
2.1.3 Nouzový stav	23
2.1.4 Neřízený stav	23
2.1.5 Prioritizace složek IZS	24
2.1.6 Mimořádné situace	25
2.2 Návrh desek plošných spojů	26
2.2.1 DPS pro náhradu instalačních svorkovnic	26
2.2.2 DPS pro negátory výstupu IR čidel	27
2.2.3 DPS pro ovládací panel	28
2.3 3-D součásti modelu	29
2.3.1 Sloup se SSZ	29
2.3.2 Sloup veřejného osvětlení	29
2.3.3 Ovládací panel	30
2.4 Mikropočítač Arduino Mega 2560	30
2.5 Návrh zapojení elektronických součástí modelu	31
2.5.1 IR čidla	32
2.5.2 Indukční přibližovací čidlo	33

3 Programové řešení	34
3.1 Veřejné osvětlení řízené intenzitou okolního světla	34
3.2 Logika světelného řízení dopravy	34
3.2.1 Logika řízení přechodu pro chodce a cyklisty	35
3.2.2 Prioritizace IZS	35
3.3 Vypisování informací na LCD	36
3.3.1 Zobrazování dat pro nečinný stav	36
3.3.2 Zobrazování dat pro nouzový stav	37
3.3.3 Zobrazování dat při prioritizaci IZS	37
3.4 Registrace účastníků provozu prostřednictvím IR čidel	37
Závěr	38
Literatura	39
Seznam symbolů a zkratk	41
Seznam příloh	42
A Vývojový diagram řízení modelu křižovatky	43
B Schéma zapojení modelu křižovatky	44
C Situační plán křižovatky Anenská a kpt. Jaroše, Pardubice	45
D Průběh fází SSZ	46
E Přehled fází řízení křižovatky	47

Seznam obrázků

1.1	závislost počtu zaznamenaných vozidel na denní době [19]	13
1.2	závislost průměrného zdržení na denní době [19]	13
1.3	závislost průměrné rychlosti na denní době [19]	14
1.4	závislost průměrného počtu zastavení na denní době [19]	14
1.5	Umístění komunikačních jednotek UCU 5.0 [13]	16
1.6	Případ zasněženého LED SSZ [4]	18
1.7	LED SSZ s technologií vyhřívané čočky [4]	18
1.8	Řadič světelné signalizace CROSS RS4 [3]	19
1.9	Mapa a fotografie inspirační křižovatky	20
1.10	Situační plán křižovatky	21
2.1	Umístění mikrospínače pro nastavení požadavku překonání komunikace	23
2.2	IR systém dálkového ovládání	24
2.3	Návrh DPS pro náhradu instalačních svorkovnic	26
2.4	Osazená a instalovaná DPS pro náhradu instalačních svorkovnic . . .	26
2.5	Návrh DPS pro negátory výstupu IR čidel	27
2.6	Osazená a instalovaná DPS pro negátory výstupu IR čidel	27
2.7	Návrh DPS pro ovládací panel	28
2.8	Osazená DPS pro ovládací panel	28
2.9	Návrh sloupu nesoucí SSZ a jeho implementace	29
2.10	Návrh sloupu veřejného osvětlení a jeho implementace	29
2.11	Návrh ovládacího panelu a jeho implementace	30
2.12	Arduino Mega 2560 [5]	30
2.13	IR senzor [7] a jeho instalace	32
2.14	Schéma zapojení IR senzoru	32
2.15	Čidlo pro detekci kovů [8] a jeho instalace	33
2.16	Schéma zapojení čidla pro detekci kovů	33
3.1	Rozložení zobrazovaných informací na LCD pro běžný režim řízení . .	36
3.2	Rozložení zobrazovaných informací na LCD pro nečinný režim řízení .	36
3.3	Rozložení zobrazovaných informací na LCD pro nouzový režim řízení	37
3.4	Rozložení zobrazovaných informací na LCD pro prioritizaci IZS . . .	37
3.5	Dokončený model	38

Seznam tabulek

1.1	Možná značení SSZ [11]	19
1.2	Naměřené intervaly SSZ na křižovatce Anenská a kpt. Jaroše, Pardubice	20
1.3	Typy SSZ užití pro řízení křižovatky (viz tab.: 1.1)	21
2.1	Řízení dálkovým ovladačem	24
2.2	Seznam součástí na DPS pro negátory výstupu IR čidel	27
2.3	Seznam součástí na DPS pro ovládací panel	28
2.4	LED parametry	31

Úvod

Řízení dopravy je přetrvávajícím problémem téměř každého města na světě. Stále aktuálním jej dělá narůstající počet účastníků provozu, spojen například s rozrůstající se infrastrukturou města. To má za následek přetížení hlavních dopravních tahů, které byly dříve dostačující. Nezbytnou součástí dnešních měst jsou tedy křižovatky řízené světelným signalizačním zařízením, dále SSZ.

První, ručně řízené SSZ bylo zavedeno již v roce 1868 v Londýně. Fungovalo na bázi plynových lamp, pouze s červenou a zelenou světelnou signalizací. Novější typ SSZ byl instalován roku 1914 v Clevelandu ve státě Ohio, využíval již elektrické lampy a navíc zvukovou signalizaci. SSZ s třibarevnou signalizací bylo prvně uvedeno do provozu roku 1918 v New Yorku a plně automatické SSZ až roku 1927 ve Velké Británii. V Praze bylo instalováno první SSZ počátkem roku 1930 na Václavském náměstí [1].

Nyní je v Praze až 640 míst se SSZ [2]. V současnosti, například pro čtyřsměrnou křižovatku, řídí provoz 16 a více obvodů SSZ řízenými radiči, jimiž je možné řídit až 288 výstupních obvodů SSZ. Dnešní řízené křižovatky navíc umožňují aktivní preferenci vozidel IZS (integrovanný záchranný systém) a MHD (městská hromadná doprava), ve většině případů mají kamerový systém, zpracovávají data o provozu, mohou být řízeny ze vzdálené ústředny atp. [3]

Dobře průjezdné město je snem všech jeho obyvatel, a proto se pro plynulý průjezd zavádějí např. koordinovaně řízené kaskádové křižovatky, které umožní konstantní rychlostí překonat zabydlené oblasti bez zastavování. Taková metoda byla prvně zavedena v roce 1953 v Mnichově.[1] Tato technologie ovšem nelze uplatnit na dopravním úseku, kde mohou nastat různé rušivé vlivy, například: neřízené přechody pro chodce, úzkoprostorové historické centrum nebo pomaleji se pohybující účastníci provozu na hlavní komunikaci tj. cyklisté atp. Alternativou v takových případech mohou být dynamicky řízené křižovatky, které zpracovávají data o hustotě provozu sensorickými systémy a na základě těchto dat vyhodnocují délky trvání fází signálního programu pro jednotlivé směry.

Cílem práce je navrhnout a sestavit demonstrační model dynamicky řízené křižovatky (využívající metod "machine-learning"), inspirované skutečnou křižovatkou.

První kapitola se věnuje současným způsobům řízení křižovatek a využívaným systémům obecně. Druhá kapitola se zabývá celkovým návrhem, včetně konstrukce modelu. Třetí kapitola je věnována softwaru.

1 Teorie řízení křižovatek

1.1 Kaskádové křižovatky

Kaskádové nebo-li koordinované křižovatky v zelené vlně pracují na bázi signálního programu "SP4"[14]. Koordinovaného řízení v zelené vlně je dosahováno sladěním signálních plánů několika sousedních křižovatek. Cílem je aby vozidla mohla při dodržování určité rychlosti (progresivní rychlost) překonat soubor několika křižovatek bez zastavení na signál "Stůj". Důležité pro správnou funkci je při zavádění koordinace křižovatek upřednostnit hlavní dopravní tahy, tedy zohledňovat intenzitu provozu dopravních proudů. Další důležitý prvek při návrhu je vzdálenost mezi jednotlivými křižovatkami, např. při vzdálenostech nad 750 m se již koordinované řízení stává bezúčelné. [9]

1.1.1 Progresivní rychlost

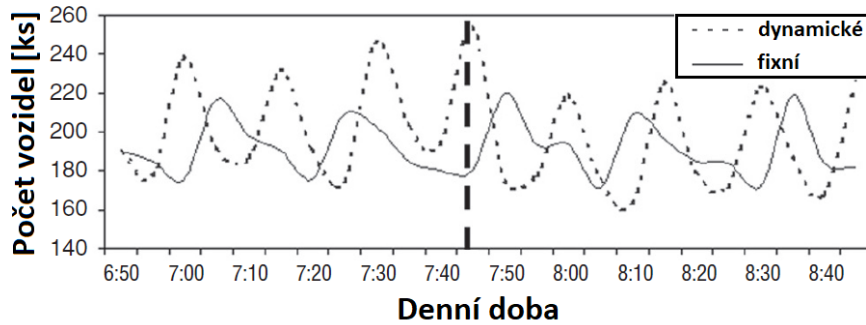
Při návrhu koordinace je důležitým aspektem progresivní rychlost. Je to konstrukční veličina, která se volí v rozsahu mezi 85 % a 100 % maximální povolené rychlosti. [9]

1.2 Dynamicky řízené křižovatky

U takto řízených křižovatek se uplatňují metody strojového učení. Dynamicky řízené křižovatky pracují na bázi signálních programů "SP2" a "SP3"[14]. Přijímají data o provozu ze snímačů instalovaných na křižovatce, ústředny nebo od speciálních vozidel (IZS, MHD) a na jejich základě řadič dané křižovatky upravuje řízení SSZ.

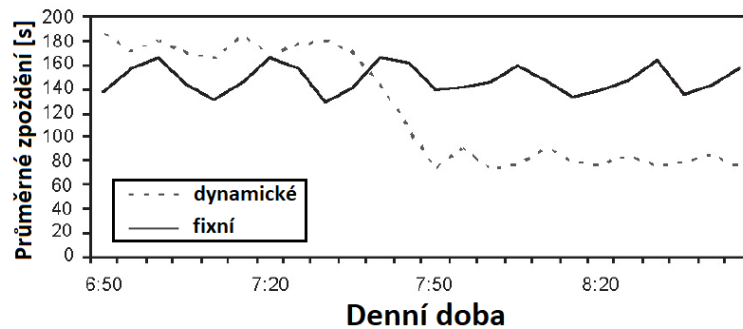
1.2.1 Porovnání s křižovatkami s fixní dobou fází

První graf znázorňuje porovnání efektivity křižovatky s optimální fixní délkou fází a křižovatky s dynamicky se měnící délkou fází. Charakteristika byla vytvořena v simulačním softwaru [19] a znázorňuje data z jednoho směru křižovatky. Z charakteristiky vyplývá, že více vozidel je schopno křižovatku překonat v případě dynamického řízení.



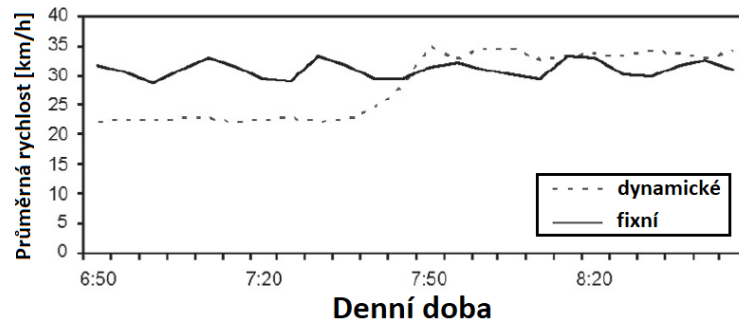
Obr. 1.1: závislost počtu zaznamenaných vozidel na denní době [19]

Další graf (Obr.: 1.2) znázorňuje průměrné zdržení účastníků provozu na křižovatce. V případě dynamického řízení bylo za nižšího provozu dosahováno vyššího zdržení, oproti řízení s fixní dobou, v hustém provozu však značně nižšího.



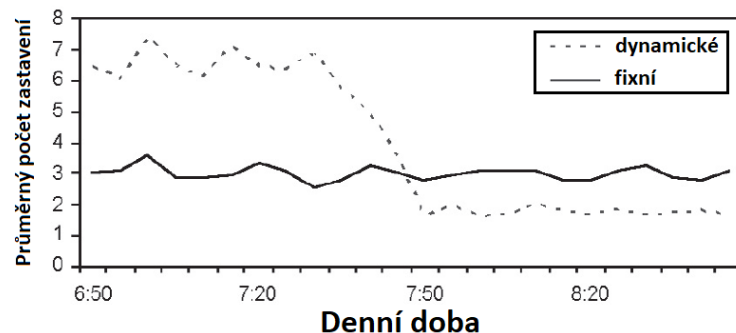
Obr. 1.2: závislost průměrného zdržení na denní době [19]

Další graf (Obr.: 1.3) znázorňuje průměrnou rychlost. Dynamické řízení opět vyniká v hustším provozu a nižší rychlost ve slabém provozu je vztažena k počtu zastavení (Obr.: 1.4).



Obr. 1.3: závislost průměrné rychlosti na denní době [19]

Závislost počtu zastavení (Obr.: 1.4) dokazuje vliv signálního programu SP3, který setrvává v průjezdném stavu v daném směru dokud neobdrží výzvu z jiného směru křižovatky, což má za následek, v nižším provozu, vyšší počet zastavení a s tím související nižší průměrná rychlost a vyšší zdržení. V případě řízení s fixní dobou mají účastníci provozu možnost překonat křižovatku bez řazení se do fronty.



Obr. 1.4: závislost průměrného počtu zastavení na denní době [19]

1.2.2 Detekce vozidel

Údaje o provozu na křižovatkách jsou získávány tzv. "dopravními detektory". Pro snímání dat o provozu se používají nejčastěji: indukční smyčkové detektory, systémy videodetekce, infračervené, ultrazvukové a mikrovlnné detektory, tlačítka pro chodce atp. Pro získání údajů o velikosti vozidla a jeho rychlosti jsou vhodné: IR, ultrazvukové a mikrovlnné detektory. Jen pro zaznamenání počtu pohybujících se vozidel postačí piezoelektrické detektory atp. [15][16]

Indukční smyčkové detektory

Funkce tohoto typu detektoru závisí na narušení elektromagnetického pole, ve chvíli, kdy se nad smyčku přesune kovový objekt (karoserie vozidla). Vodič smyčky detektoru je uložen ve vyřezané spáře vozovky v daném jízdním pruhu, samotný detektor s impedančním transformátorem je zabudován v řadiči. Indukční smyčkový detektor je citlivé a spolehlivé zařízení k detekci vozidel, nevýhodou je však omezené využití v oblasti např. tramvajových kolejí a železobetonových konstrukcí. [15][16]

Systémy videodetekce

Tyto systémy využívají analýzy obrazu získaného z kamer rozmístěných na křižovatce. Narozdíl od indukčních smyčkových detektorů nedochází k zásahu do vozovky a díky tomu lze tyto systémy instalovat na místech, kde to pro indukční smyčkové detektory není možné. Takovými místy jsou např.: historická centra měst, místa s přítomností tramvajové dopravy atp. Velká výhoda videodetekce nastává v případě nehody nebo překážky v provozu. Systémy samy vyhodnotí situaci a včas upozorní pracovníky dispečinku. Videozáznam navíc poslouží např. k usvědčení viníka nehody. Kamerovými systémy lze navíc snímat i chodce a cyklisty, což pomůže zejména ve vysoce zalidněných oblastech, kde místo tlačítek pro chodce kamerový systém vyhodnotí, zda se chystá přejít dostatečný počet chodců, případně vyčká do doby, než se situace změní.[15][16]

Mikrovlnné detektory

Mikrovlnné detektory se používají, obdobně jako ultrazvukové, převážně pro měření rychlosti a kategorizaci vozidel. Funkce detektoru je založena na šíření elektromagnetických vln v mikrovlnném pásmu, jejich odražení od překážky a následný příjem. Podle doby vykonání tohoto procesu se dopočítá vzdálenost překážky od detektoru. Mikrovlnné detektory lze použít i jako mobilní zařízení. [16]

Infračervené detektory

IR detektory se dělí na aktivní a pasivní. Aktivní detektory vysílají vlny v infračerveném pásmu, které jsou po odrazu od překážky přijímány optickými senzory. Jejich nevýhodou je závislost na počasí. Pasivní detektory pouze snímají energii vyzařovanou projíždějícím vozidlem [16].

1.3 Komunikace vozidla s okolím (V2X)

Jedná se o celoevropský standard komunikace vozidla s okolní infrastrukturou. V budoucnu by jej měla využívat všechna vozidla, zatím však není povinná. Komunikační jednotka UCU 5.0 disponuje dosahem v zástavbě až 300 m. Vozidlo vysílá informace o svém stavu až 10 krát za sekundu a využívaná frekvence pro vysílání je 5,9 GHz. Radiová komunikace V2X je bezpečnější a spolehlivější, zejména rychlejší než sensorické systémy.[12][13]



Obr. 1.5: Umístění komunikačních jednotek UCU 5.0 [13]

1.3.1 Detekce a prioritizace vozidel MHD

Detekování vozidel MHD jsou také užitečná data pro řízení provozu, řadič může např. pomoci snížit zpoždění daného spoje MHD jeho upřednostněním na křižovatce.

Jedná-li se o trolejbus, je možné jej registrovat detektory umístěnými na trolejích. Jiná vozidla MHD tj. autobus atp. jsou registrovány např. indukčními smyčkami na zastávce MHD nebo ve vyhrazených jízdnicích. Trolejovými detektory nebo indukčními smyčkami je však možné přenést pouze informaci o blížícím se vozidle MHD, nikoliv informace o přiřazeném čísle spoje, či jeho aktuálním zpoždění. Další detekce jsou prováděny IR systémy nebo zjišťováním jejich polohy satelitní technikou. Tyto možnosti detekce už poskytují podrobnější informace o vlastnostech vozidla MHD. Výsledná data jsou k řadičům křižovatek přenášena buď přímo z vozidla, tedy komunikace V2X (model řadiče CROSS RS4, zmíněný v kapitole "Teorie

řízení křižovatek/ Řadiče světelné signalizace" již tyto systémy podporuje), z detektorů na konkrétní křižovatce, které jsou do řadiče přímo zapojeny, nebo vzdáleně přes ústřednu . [10].

1.3.2 Detekce a prioritizace vozidel IZS

Princip preference je založený na poloze vozidla IZS, která je získávána prostřednictvím satelitních systémů (informace o směru, kterým se zásahové vozidlo blíží ke křižovatce), zároveň však závisí na V2X komunikaci (komunikační jednotka, v případě zapnutých výstražných majáků, vydá požadavek pro uznání priority na křižovatce).

Při uznání priority bude pro směr, ze kterého se blíží vozidlo IZS, nastaven signál "volno" a ve všech ostatních směrech signál "stůj". To vše s cílem vyklidit křižovatku pro možný průjezd složek IZS bez přizpůsobování rychlosti.

Zda je tato operace možná provést vyhodnocuje řadič dané křižovatky. Priorita se aktivuje pod podmínkou, že se vozidlo IZS nachází v určitém polygonu před křižovatkou a řadič bude moci stihnout změnit signální plán. Následuje menší tzv. výjezdový polygon, který dokládá skutečnost, že vozidlo IZS již bezpečně opustilo křižovatku a prioritizace bude ukončena.

Proti zneužití jsou v komunikačním modulu vozidla IZS hardwarově uloženy tzv. "klíče", které slouží k digitálním podpisům dokazujícím, že se jedná o vozidlo k tomu oprávněné. [13]

1.4 Světelné signalizační zařízení

Světelné signalizační zařízení, také návěstidlo, dále SSZ je nezbytnou součástí dnešních křižovatek a je řízeno mikroprocesorovými řadiči. Pro SSZ se běžně využívají halogenové žárovky 220 V, 60 - 100 W. Od roku 2000 se postupně přechází na LED technologii, která s sebou nese výhody v podobě až desetinové spotřeby oproti žárovkám, dále v životnosti, viditelnosti a jsou bezúdržbové (starý typ se postupem času stal méně viditelným). SSZ s LED technologií mají kompletně zapečetěné pouzdro. Jeden modul SSZ obsahuje DPS (deska plošných spojů) z hliníkového substrátu s 33 LED, pracuje na napětí 220 V se spotřebu pouze 2,2 W. Díky nízké spotřebě je možné udržet křižovatku déle na záložních zdrojích pro případ přerušení napájení.

Nevýhoda nastává v zimním období, kdy mohou být SSZ pokryté sněhem (obr. 1.6). SSZ s LED technologií oproti žárovkám nevyzařují teplo, tudíž nemohou odstranit případnou námrazu na čočce. Tato situace však nastává velmi zřídka, ale existují určitá řešení v podobě vyhřívání čoček SSZ odporovým vodičem (obr. 1.7), či ochranné stříšky uzpůsobené pro čištění oblasti využitím větru [4].



Obr. 1.6: Příklad zasněženého LED SSZ [4]



Obr. 1.7: LED SSZ s technologií vyhřívané čočky [4]

1.4.1 Značení signalizací

Typ signálu	Značení
signál pro V ozidla (V ehicles)	V
signál pro T ramvaje (T ram)	T
signál pro C yklisty (C yclists)	C
signál pro chodce - P ěší (P edestrians)	P
signál doplňkové zelené Š ipky (S upplementary)	S
signál pro opuštění K řižovatky	K
přerušované Ž luté světlo a vý Z vový signál pro tramvaje	Z

Tab. 1.1: Možná značení SSZ [11]

1.5 Řadiče světelné signalizace

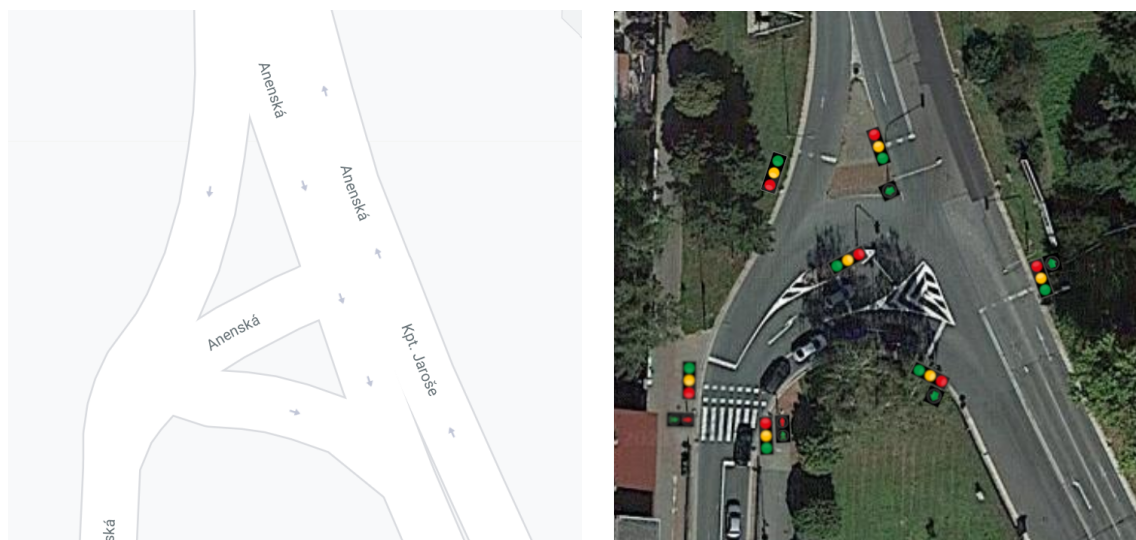
Řadiče světelné signalizace jsou počítače, kterými jsou řízeny jednotlivé SSZ křižovatky a jsou umístěny v její v blízkosti, instalované ve skříni rozváděče. Mimo řízení zpracovávají data o provozu a umožňují ruční řízení. Nejmodernější řadič CROSS RS4 od společnosti CROSS umožňuje řízení dotykovým LCD nebo přes vzdálenou ústřednu, dále umožňuje zpracovávat data z V2X komunikace (komunikace vozidla s okolím), podporují systémy GSM a GPS. Plně podporují autonomní dopravu. [3][12].



Obr. 1.8: Řadič světelné signalizace CROSS RS4 [3]

1.6 Křižovatka Anenská a kpt. Jaroše, Pardubice

Jedná se o křižovatku zvolenou pro implementaci v podobě modelu. Řízení provozu zde vykonává soustava šestnácti SSZ. Křižovatka se vypořádává s velmi hustým provozem. Vzhledem k železniční trati protínající město se jedná o jeden z hlavních dopravních tahů města Pardubice.



Obr. 1.9: Mapa a fotografie inspirační křižovatky

Bylo provedeno měření intervalů jednotlivých fází světelného řízení (tab. 1.2). Z naměřených dat vyplývá, že se jedná o dynamicky řízenou křižovatku s proměnnou dobou průjezdných stavů. Intervaly žluté signalizace a červené, současně se žlutou signalizací dokládají nastavení intervalů dle evropské normy (ČSN EN 12368) [14]. Doba trvání průjezdných a neprůjezdných stavů napomohla přibližné představě pro implementaci.

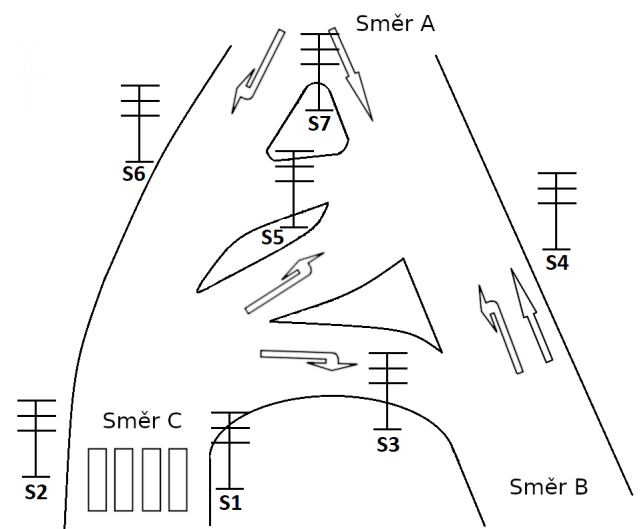
Semafor	Typ SSZ	Zelená [s]	Žlutá [s]	Červená [s]	Červená a žlutá [s]
S1, S2	P	10	-	před:3, po:2	-
S3	V	22	3	38	2
S3	K	18	-	-	-
S4	V	33	3	70	2
S4	K	25	-	-	-
S5	V	30	3	103	2
S6	V	16	3	16	2
S7	V	30	3	100	2

Tab. 1.2: Naměřené intervaly SSZ na křižovatce Anenská a kpt. Jaroše, Pardubice

Byl ilustrován situační plán křižovatky pro orientaci a případné odkazování (obr. 1.10). Sloupy nesoucí různé druhy návěstidel jsou označovány S, jako semafor (nosič významu), brány, jako celek. Tato konkrétní křižovatka je, vzhledem ke svému tvaru, pověstná pro vysokou nehodovost. Byla proto doplněna o čtyři SSZ se směrovou šipkou (tříkrát signál pro opuštění křižovatky, zn. K a jedenkrát signál doplňkové zelené šipky, zn. S), což zvýšilo přehlednost a průjezdnost křižovatky. Jedná se o S3, ve směru C, obsahující SSZ se zelenou vyklizovací šipkou vpravo, signalizující vozidlům možnost řadit se pouze do jednoho pruhu. Dále o S4 ve směru B nesoucí dvě SSZ s vyklizovací šipkou vpřed. S7 ve směru A nese SSZ s doplňkovou zelenou šipkou, určenou pro směr B, znázorňující možnost odbočení bez nutnosti poskytnutí přednosti protijedoucím vozidlům.

Semafor	typy SSZ	počet [ks]
S1	V, P a C	1, 1
S2	V, P a C	1, 1
S3	V, K	1, 1
S4	V, K	2, 2
S5	V	2
S6	V	1
S7	V, S	2, 1

Tab. 1.3: Typy SSZ užití pro řízení křižovatky (viz tab.: 1.1)



Obr. 1.10: Situační plán křižovatky

2 Návrh modelu

Pro demonstraci dynamicky řízených křižovatek byl sestaven model křižovatky Anenské a kpt. Jaroše, nacházející se v Pardubicích. Model obsahuje soustavu SSZ, veřejné osvětlení reagující na intenzitu okolního světla, dále přechod pro chodce a cyklisty, ovládací panel s LCD, IR systém dálkového ovládání, zabudované IR senzory ve vozovce a jako alternativa reálného snímání automobilů i indukční přibližovací senzor. Model je řízen mikropočítačem Arduino Mega 2560.

2.1 Funkce modelu

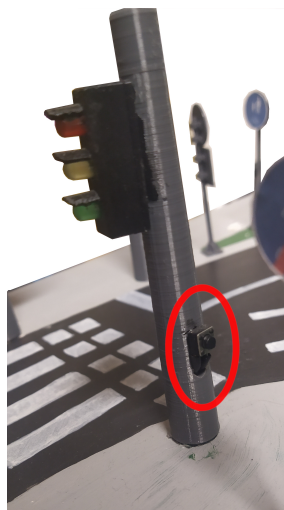
Základní funkce modelu spočívá v řízení křižovatky soustavou šesnáci SSZ, včetně doplňujících dvoustavových a jednostavových SSZ (10x V, 2x P+C, 3x K, 1x S, viz tab. 1.1 "Možná značení SSZ"). Jedná se o křižovatku tvaru "T", tudíž do křižovatky se lze dostat třemi směry. V každém směru tedy nastávají dvě možnosti jízdy. Zvolené možnosti jízdy budou zaznamenávány skupinou šesti IR čidel nebo mikrospínači na OP. Data získaná z IR čidel, či nastavena mikrospínači jsou zobrazována na LCD a určují intervaly průjezdných stavů, jedná se tedy o signální program "SP2". Na modelu lze dále demostrovat signální programy "SP1", "SP3"[14] (podrobněji vysvětleno v kapitole: "Programové řešení/ Logika světelného řízení dopravy"), nečinný stav a prioritizaci IZS.

2.1.1 Ovládání operačním panelem

Operační panel (OP) obsahuje osm mikrospínačů, z nichž šest slouží pro definování počtu účastníků dopravní situace z určitého směru křižovatky. Pod mikrospínači se nacházejí indikační LED pro IR čidla, přiřazené k odpovídajícímu směru, identicky s mikrospínači. Rozmístění pro jednotlivé směry na OP je zleva doprava, nejprve dva možné směry ze směru A atd. Také je zde umístěna indikační LED pro indukční čidlo, které se nachází ve směru C. Zbylé mikrospínače a k nim přiřazené LED slouží pro možnou změnu režimů (nouzový, nečinný). Na OP je dále umístěn fotorezistor a IR přijímač.

2.1.2 Přechod pro chodce a cyklisty

V křižovatce je obsažen přechod pro chodce a cyklisty. Chodec je registrován mikrospínači, které jsou umístěny na sloupech se SSZ S1 a S2 (obr. 2.1). Po stisku se spustí sekvence zajišťující bezpečné překonání pozemní komunikace a to ve chvíli, kdy je to pro aktuální situaci na křižovatce nejvíce výhodné, podrobněji vysvětleno v kapitole: "Programové řešení/ Logika řízení přechodu pro chodce".



Obr. 2.1: Umístění mikrospínače pro nastavení požadavku překonání komunikace

2.1.3 Nouzový stav

Nouzový stav, tedy signální program "SP1". V případě poruchy systému řadič umožňuje autonomně přepnout řízení na nouzový režim, ve kterém nejsou uvažována data ze sensorických systémů a interval mezi fázemi je pevně nastavený.[14]

V modelu křižovatky je tento stav nastavován mikrospínačem. Při uvedení do nouzového stavu se změní zobrazovaná data na LCD, nastaví se pevný interval 10 s a probíhá pravidelná rotace mezi jednotlivými fázemi ve všech směrech křižovatky.

2.1.4 Neřízený stav

Neřízený režim bude nastavován mikrospínačem a jeho ukončení je možné buď nouzovým režimem či druhým stisknutím mikrospínače. Při uvedení do neřízeného stavu jsou vynulovány téměř všechny proměnné, funguje tedy i jako reset celého systému. Dále na všech třístavových SSZ, zn. V1 až V7, svítí přerušovaně žlutá signalizace (zn. Z, přerušované žluté světlo) o frekvenci 0,5 Hz. Zbylé svícené signalizace jsou zhasnuty. Během neřízeného stavu není možné spustit sekvenční přechod pro chodce. Je-li však aktivní během přepínání do neřízeného stavu, tak je bezpečně dokonána.

2.1.5 Prioritizace složek IZS

Průjezd zásahových vozidel IZS je simulován IR ovladačem a přijímačem VS1838B. Funkce reálného řešení této problematiky je podrobněji vysvětlena v kapitole: "Komunikace vozidla s okolím (V2X)/ Detekce a prioritizace vozidel IZS". Příkazy jsou přiřazeny dle následující tabulky (tab. 2.1).

Směr priority	Tlačítko na ovladači	Přijatá adresa
A	1	0xC
B	2	0x18
C	3	0x5E
konec priority	červené, symbol stand-by	0x45

Tab. 2.1: Řízení dálkovým ovladačem



Obr. 2.2: IR systém dálkového ovládání

2.1.6 Mimořádné situace

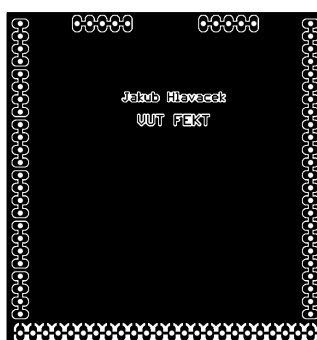
- Pokud nejsou registrována vozidla ze žádného směru, průjezdný stav setrvá pro daný směr, než se situace na křižovatce změní.
- Pokud jsou vozidla registrována pouze ze dvou směrů, tak algoritmus umožňuje vynechat průjezdný stav ve směru, na kterém nebyl registrován žádný účastník provozu (obousměrně).
- Pokud je registrován požadavek na přechodu pro chodce, je pořadí průjezdných stavů upraveno a algoritmus směřuje do průjezdného stavu směru A, ve kterém je umožněno požadavek splnit i v případě, že zde nebylo detekováno žádné vozidlo.
- V případě obsazení všech směrů křižovatky algoritmus pokračuje postupně, ve všech směrech, s intervaly průjezdného stavu odpovídajícím počtu zaznamenaných vozidel.
- Z nečinného režimu řízení křižovatky je umožněno přepnout do nouzového režimu.
- Prioritizace složek IZS je provedena při běžném či nouzovém stavu, nikoliv však během nečinného režimu řízení křižovatky.
- Sekvence přechodu pro chodce je během probíhající prioritizace odložena po jejím ukončení, pokud však právě probíhá a je požadavek na prioritizaci, je přeskočen pouze signál "volno" pro chodce.
- Když právě probíhá sekvence přechodu pro chodce a je sepnuto do nečinného stavu, tak je nejprve bezpečně dokonána, zatímco na ostatních SSZ již svítí přerušovaně žlutá signalizace (Z).

2.2 Návrh desek plošných spojů

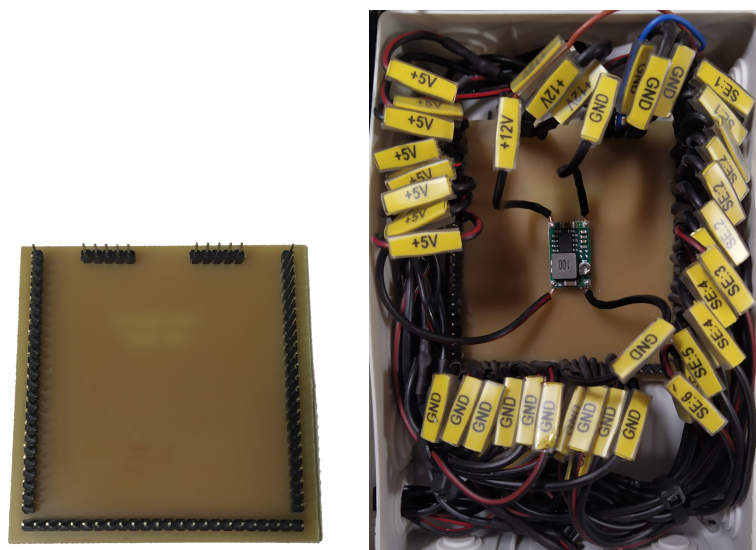
Pro model byly navrženy celkem tři desky plošných spojů (DPS).

2.2.1 DPS pro náhradu instalačních svorkovnic

V aktuálním zapojení je propojení dvou a více vodičů řešeno instalační svorkovnicí EKL 1 S. Pro zvýšení přehlednosti a předcházení možného rozpojení částí obvodu byla navržena tato DPS. Obsahuje pouze kolíkové lišty, na které budou přivedeny jednotlivé vodiče. DPS představuje rozšíření vývodů IR čidel a svorek napěťových zdrojů 12 a 5 V.



Obr. 2.3: Návrh DPS pro náhradu instalačních svorkovnic



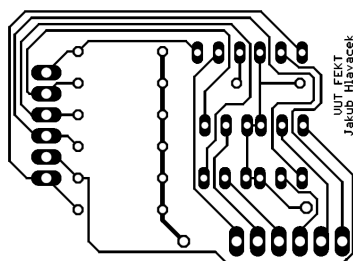
Obr. 2.4: Osazená a instalovaná DPS pro náhradu instalačních svorkovnic

2.2.2 DPS pro negátory výstupu IR čidel

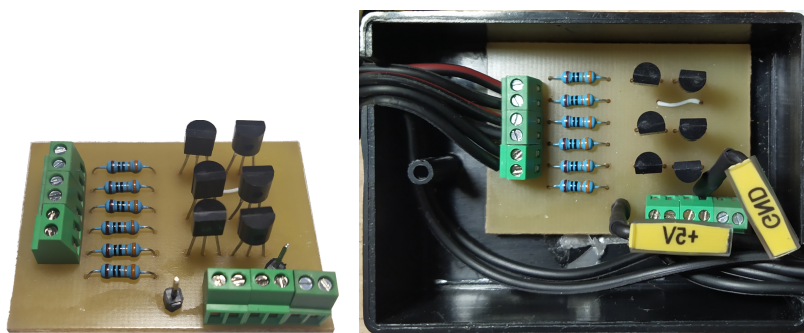
DPS byla navržena pro 6 aktivních negátorů. Funkce podrobněji vysvětlena v kapitole: "Návrh zapojení elektronických součástí modelu/ IR čidla".

součástka	parametry	počet [ks]
Rezistor	160R 0,25 W 1%	6
Tranzistor	NPN BC547 45 V	6
Svorka	2 piny, 2.54 mm	6

Tab. 2.2: Seznam součástek na DPS pro negátory výstupu IR čidel



Obr. 2.5: Návrh DPS pro negátory výstupu IR čidel



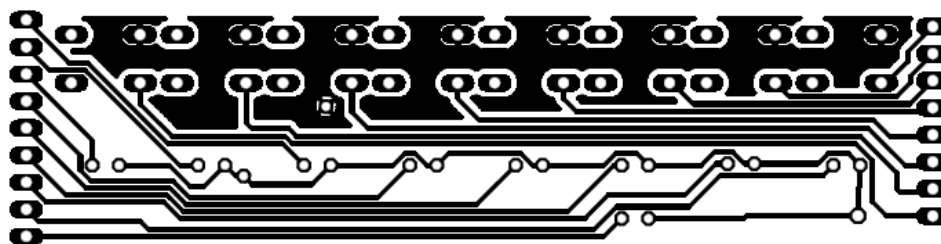
Obr. 2.6: Osazená a instalovaná DPS pro negátory výstupu IR čidel

2.2.3 DPS pro ovládací panel

DPS je navržena pro 8 mikrospínačů a 9 indikačních LED na ovládacím panelu (OP).

součástka	parametry	počet [ks]
Rezistor	10k 0,25 W 1%	1
Mikrospínač	6x6x10 mm	8
LED	bílá 3 mm	8
LED	modrá 3 mm	1
Kolíková lišta	rozteč: 2.54 mm	-

Tab. 2.3: Seznam součástek na DPS pro ovládací panel



Obr. 2.7: Návrh DPS pro ovládací panel



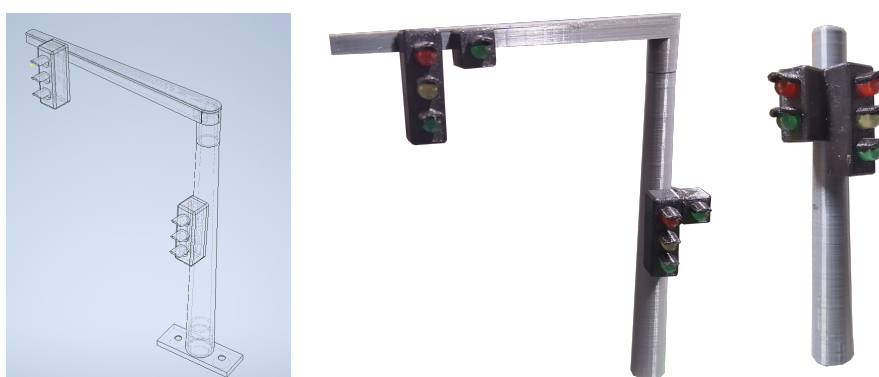
Obr. 2.8: Osazená DPS pro ovládací panel

2.3 3-D součásti modelu

Pro realizaci komponentů modelu byla využita 3-D tiskárna Creality Ender 3 Pro. Byla vytisknuta pouzdra pro LED zastupující SSZ, jejich nosníky a pouzdro ovládacího panelu.

2.3.1 Sloup se SSZ

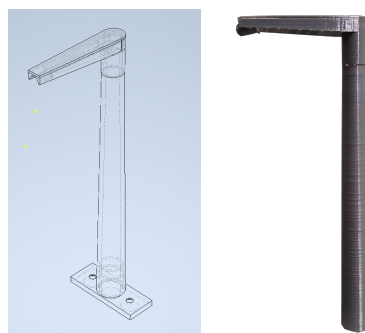
Sloup s návěstidly je sestaven z 2-4 částí. Samotné návěstidlo, které je na něm zavěšeno se skládá z 3-5 částí. Do modelu SSZ, určené pro vozidla (V), je instalována soustava třech LED, pro chodce a cyklisty (P a C) soustava dvou LED a další typy zastupující vyklizovací a doplňkové šipky (K a S) zastupuje pouze zelená LED.



Obr. 2.9: Návrh sloupu nesoucí SSZ a jeho implementace

2.3.2 Sloup veřejného osvětlení

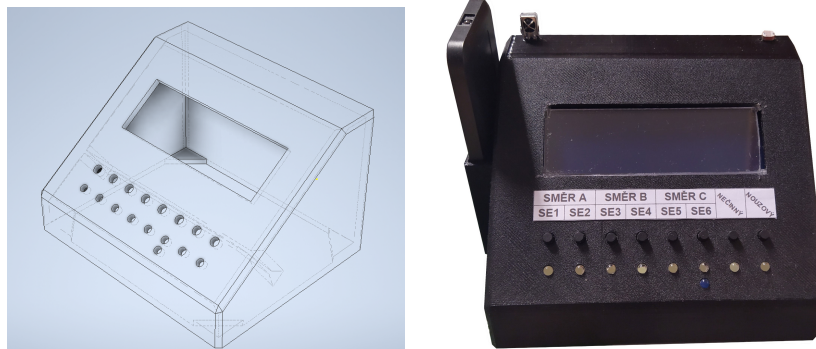
Sloup veřejného osvětlení se sestává ze čtyř částí, v sestavě je zabudovaná LED emitující bílé světlo.



Obr. 2.10: Návrh sloupu veřejného osvětlení a jeho implementace

2.3.3 Ovládací panel

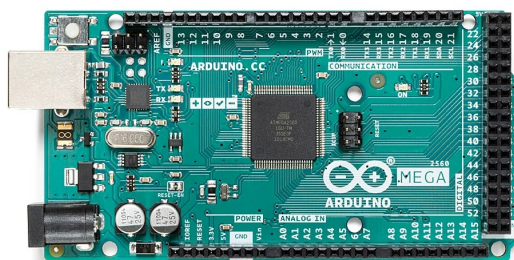
Ovládací panel představuje pouzdro pro LCD, mikrosvínače a indikační LED. Byl doplněn o fotorezistor a IR přijímač.



Obr. 2.11: Návrh ovládacího panelu a jeho implementace

2.4 Mikropočítač Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 je mikropočítač s 8-bitovým AVR procesorem ATmega 2560 architektury RISC vyvíjený společností Atmel. Frekvence procesoru je 16 MHz. Zařízení obsahuje 54 I/O pinů, z nichž 15 lze využít pro PWM, dále 16 analogových vstupů a 4 UART piny [5][6].



Obr. 2.12: Arduino Mega 2560 [5]

2.5 Návrh zapojení elektronických součástí modelu

Celkové schéma zapojení bylo vytvořeno pomocí programového prostředí KiCad viz příloha B, "Schéma zapojení modelu křižovatky".

Napájení

Pro očekávaný odběr modelu byl zvolen zdroj produkující na svém výstupu stejnosměrné napětí 12 V a schopným dodávat proud až 3 A. Na svorky zdroje uvnitř modelu bude připojeno: indukční čidlo, mikropočítač Arduino Mega 2560 a DC/DC měnič, který bude transformovat napětí z 12 V na 5 V.

Výpočet pasivních součástek

Digital neboli I/O pin mikropočítače je schopný dodávat maximální proud až 40 mA, tzn., že na jeden pin je možné připojit až dvě LED, viz tab. 2.4.

typ LED	Maximální proud, I_{max} [mA]	Napětí v propustném směru, U_f [V]
červená	20	2,35
žlutá	20	2,15
zelená	20	2,15
bílá	20	3,30

Tab. 2.4: LED parametry

Rezistor pro LED přivedenou na I/O pin mikropočítače:

$$R_{\text{červená}} = \frac{U_{max} - U_f}{I_{max}} = \frac{5 - 2,35}{20 * 10^{-3}} = 132,5\Omega = 160\Omega$$

$$R_{\text{žlutá+zelená}} = \frac{5 - 2,15}{20 * 10^{-3}} = 142,5\Omega = 160\Omega$$

$$R_{\text{bílá}} = \frac{5 - 3,3}{20 * 10^{-3}} = 85\Omega = 100\Omega$$

Rezistor pro dvě LED přivedené na I/O pin mikropočítače:

$$R_{\text{červená}} = \frac{U_{max} - 2 * U_f}{2 * I_{max}} = \frac{5 - 4,7}{40 * 10^{-3}} = 7,5\Omega = 0\Omega$$

$$R_{\text{žlutá+zelená}} = \frac{5 - 4,3}{40 * 10^{-3}} = 17,5\Omega = 0\Omega$$

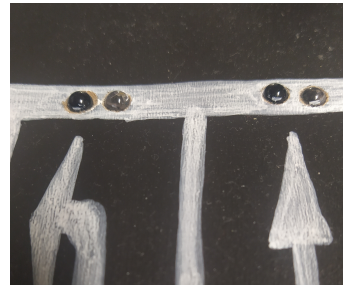
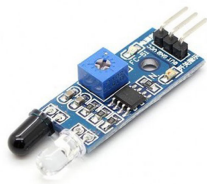
$$R_{\text{bílá}} = \frac{5 - 6,6}{40 * 10^{-3}} = > 0\Omega$$

2.5.1 IR čidla

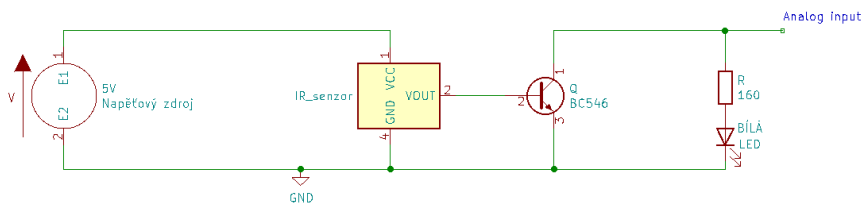
Pro model křižovatky byla zvolena technologie IR snímání překážky. IR modul je složen z vysílače, přijímače a trimru. Jako vysílač je využita IR LED, jako přijímač fotodioda citlivá na IR záření a trimrem je regulována citlivost zařízení [7].

Výhodou IR modulu jsou především rozměry, v porovnání například s ultrazvukovým senzorem. Na povrch modelu vystačí vyvést pouze diody modulu. Nevýhodou je však rušení okolním IR zářením a nedetekovatelnost překážek černé barvy, která IR záření pohlcuje.

Modul IR čidel (obr. 2.13) pracuje na napětí 5 V s odběrem 40 mA. Nepřerušené čidlo vykazuje na svém výstupu konstantní napětí rovno vstupnímu, tedy 5 V. Když je však registrována překážka, výstup je rozpojen a vykazuje nulové napětí. Pro využití výstupního napětí IR modulu na LED indikaci překážky bylo nutné projekt doplnit o "negátor", tedy obvod s tranzistorem (BC546) negující výstupní napětí (obr. 2.14). Tímto způsobem bylo ušetřeno 6 I/O pinů mikropočítače.



Obr. 2.13: IR senzor [7] a jeho instalace

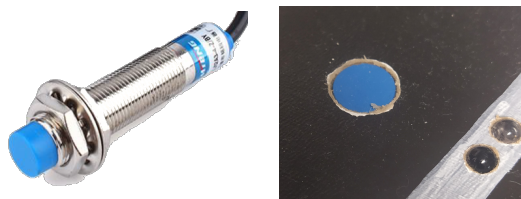


Obr. 2.14: Schéma zapojení IR senzoru

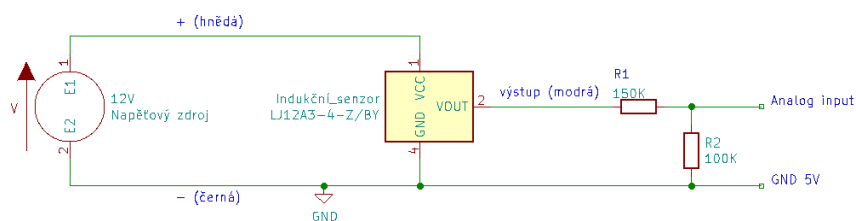
2.5.2 Indukční přibližovací čidlo

Pro projekt bylo zvoleno indukční čidlo LJ12A3-4-Z/BY typu PNP, kterým protéká proud až 300 mA a pracuje při stejnosměrném napětí 6-36 V (obr. 2.15) [8]. Tento typ byl vybrán pro model zejména pro jeho konstrukci i za cenu velkého odběru. Indukční čidla obecně nemají velký detekční dosah, běžně 3-4 mm, proto je nejvýhodnější umístit jej přímo do pomyslné vozovky modelu, tedy skrze nosnou desku (Obr. 2.15).

Výstup čidla bude přiveden přes odporový dělič (obr. 2.16) na analogový vstup mikropočítače.



Obr. 2.15: Čidlo pro detekci kovů [8] a jeho instalace



Obr. 2.16: Schéma zapojení čidla pro detekci kovů

3 Programové řešení

Algoritmus byl psán v prostředí programu Arduino IDE, které je na bázi programovacího jazyka "C". Pro přehlednost kódu byly vytvořeny celkem 3 knihovny v jazyce "C++" s využitím kompilátoru Visual Studio Code. Knihovny: "inputs", zahrnující všechny vstupní periferie, "Traffic_light_control", představující hlavní sekvenci řízení křižovatky a "VO", ve zkratce znamená veřejné osvětlení. [18]

3.1 Veřejné osvětlení řízené intenzitou okolního světla

Dříve bylo veřejné osvětlení (VO) spínané manuálně. Dnes je řízení VO kategorizováno do třech skupin: časové (vzhledem k známým časům východu a západu Slunce v dané lokalitě), fotobuňkové nebo kombinované. [17]

VO je spínáno na základě dat čtených z analogového vstupu mikropočítače, na který je přiveden fotorezistor. Byla nastavena prahová hodnota, při které je intenzita okolního osvětlení vhodná pro spuštění VO. Kód bylo nutné ošetřit proti nestabilitě pro případ, kdy fotorezistor na svém výstupu vykazuje nepravidelnou sekvenci hodnot v okolí prahové hodnoty.

Bylo využito skutečnosti, že změna okolní intenzity světla nenastává náhle. Proto, když je zaznamenána vhodná intenzita okolního světla pro spuštění VO, výstup fotorezistoru tedy vykazuje hodnotu nad prahovou hodnotou, je spuštěn zkušební cyklus dlouhý 3 s. Když během zkušebního cyklu poklesne výstup fotorezistoru pod prahovou hodnotu, vrátí se do původního stavu, tedy do stavu, kde je VO zhasnuté. Pokud však změna nad prahovou hodnotou setrvá po dobu 3 s, osvětlení je sepnuto. Totéž platí pro opačný postup.

3.2 Logika světelného řízení dopravy

Funkce v běžném režimu a za plného provozu odpovídá signálnímu programu "SP2" (Signální program plně dopravou ovládaný. Umožňuje prodlužování probíhající fáze v závislosti na intenzitě dopravy v daném směru. Signál volno pro chodce výhradně na výzvu.) [14]. Ovládání soustavy SSZ je rozděleno do dvanácti stavů se třemi záchytnými body (průjezdné stavy ve třech směrech). Při změně stavu SSZ mohou nastat dvě sekvence fází: [zelená - žlutá - červená] nebo [červená - červená a současně žlutá - zelená]. První jmenovaná sekvence se při přechodu mezi záchytnými body vykoná prvně, následuje vložený mezičas a poté se vykoná druhá sekvence, nakonec se přejde do dalšího záchytného (průjezdného) bodu. Vývojový diagram řízení křižovatky je doložen v příloze "A".

V záchytném bodě je setrváno minimálně po dobu intervalu vypočítaného dle aktuálního provozu na křižovatce (časové rozmezí 10 až 20 s). V případě, že není registrován účastník provozu z jiného směru (slabý provoz), algoritmus je přepnut do stavu čekání, kde setrvá v daném záchytném bodě do doby, než se situace na křižovatce změní, což představuje chování dle signálního programu "SP3" (Signální program plně dopravou ovládaný. Umožňuje výzvu alespoň pro jednu automobilovou signální skupinu.) [14].

Intervaly však nejsou brány v potaz během prvního cyklu od spuštění řízení křižovatky, z důvodu absence dat o provozu z jiných směrů, o kterých se systém zatím "učí". V těchto případech je interval nastaven na nejmenší možný, tedy 10 s.

Při přechodných stavech, kde třístavové SSZ vykazuje na svém výstupu žlutou nebo žlutou a současně červenou světlenou signalizaci jsou doby těchto fází následující: při pouze žluté signalizaci je zde setrváno po dobu 3 s a při žluté s červenou signalizací po dobu 2 s. Hodnota intervalu je dána normou ČSN 36 5601-1 [14], přičemž tolerance činí $\pm 5\%$ a potvrzena daty měřeními v místě reálné křižovatky, znázorněno v tab. 1.2.

3.2.1 Logika řízení přechodu pro chodce a cyklisty

Přechod pro chodce a cyklisty je řízen sekvencí kódu, která se spustí pokud platí podmínky: sepnutí tlačítka registrující výzvu chodce a průjezdný stav právě probíhá ve směru "A". Pokud právě probíhá prioritizace IZS je požadavek přechodu odložen. Signál "volno" pro chodce a cyklisty je spuštěn po dobu 5 s, což je minimální doba dána normou ČSN 36 5601-1 [14].

Kód je ošetřen proti několikanásobnému spínání tlačítka na požadavek překonání komunikace a to tak, že algoritmus v podmínce snímá pouze to, zda je hodnota nastavená mikrospínači nenulová. Okamžitému opakování sekvence přechodu je předcházeno vložením intervalu 10 s mezi dalším možným uskutečněním.

3.2.2 Prioritizace IZS

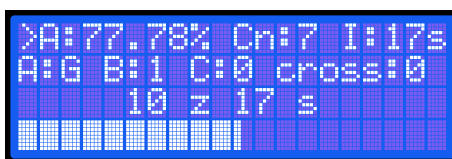
Prioritizace IZS má v programu přednost před nouzovým stavem (přeruší jej), nikoliv však před nečinným. Priorita přiřadí průjezdný stav pouze směru, kterým se blíží vozidlo IZS a ve všech ostatních směrech je nastaven neprůjezdný stav.

Priorita je ukončena červeným tlačítkem na dálkovém ovládaní se symbolem stand-by. Program po ukončení priority naváže do fáze řízení SSZ, kde byla priorita vyvolána, ať už v nouzovém či běžném režimu.

3.3 Vypisování informací na LCD

Při každé změně stavu proměnné zobrazované na LCD je nutné provést aktualizaci, tedy spustit nový výpis na LCD. Nový výpis je volán proměnnou "refresh". Problém nastává například při změně proměnné, pro kterou je využito dvě a více polí, na proměnnou využívající méně polí. Kód je pro takové případy ošetřen tak, že pole původní hodnoty nejprve nahradí prázdným místem a pak až vypíše aktualizovanou hodnotu.

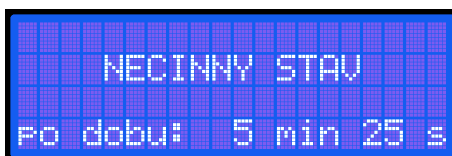
LCD v běžném stavu zobrazuje aktuální informace o procentuálním využití křižovatky z jednotlivých směrů ($> A / > B / > C$), počet zaznamenaných účastníků provozu (C_n) a vypočítané intervaly (I [s]). Dále jsou vypisovány aktuální stavy pro jednotlivé směry (A, B, C): 1,0 a G, kde stav "1" znamená, že v daném směru bylo registrováno vozidlo (výzva pro přepnutí fáze), stav "0" naopak, že ne. Stav "G" znázorňuje právě probíhající průjezdný stav v daném směru. Nakonec bude zobrazován požadavek na spuštění sekvence přechodu pro chodce a cyklisty "cross", se stavy: 1 a 0 (ano, ne). Poslední dva řádky LCD zobrazují číselný a grafický odpočet minimální hodnoty setrvání v dané fázi řízení křižovatky. Odpočet je schopný se dynamicky prodlužovat v závislosti na počtu zaznamenaných účastníků provozu daným směrem.



Obr. 3.1: Rozložení zobrazovaných informací na LCD pro běžný režim řízení

3.3.1 Zobrazování dat pro nečinný stav

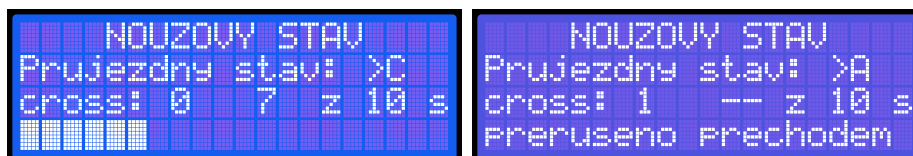
V průběhu nečinného stavu řízení není potřebné zobrazovat žádná data, probíhá tedy pouze odpočet určený pro představu doby provozu v tomto režimu.



Obr. 3.2: Rozložení zobrazovaných informací na LCD pro nečinný režim řízení

3.3.2 Zobrazování dat pro nouzový stav

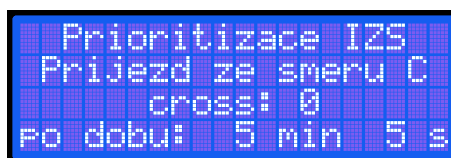
Data o hustotě využití křižovatky jsou během nouzového stavu nepodstatná, vzhledem k pevně nastavenému intervalu mezi přepínáním fází. Na LCD je tedy vypisován aktuální stav ($> A/ > B/ > C/-$), požadavek přechodu, číselný a grafický odpočet. Skutečnost doby intervalu 10 s představuje, že sekvence přechodu trvající 12 s se nestihne vykonat před jeho uplynutím, tudíž je na displeji v případě požadavku přechodu vynulován číselný odpočet a jeho grafické zobrazování nahrazeno hláškou: "přerušeno přechodem"(obr. 3.3).



Obr. 3.3: Rozložení zobrazovaných informací na LCD pro nouzový režim řízení

3.3.3 Zobrazování dat při prioritizaci IZS

V případě přerušení simulovaným příjezdem složek IZS do křižovatky je na LCD zobrazováno: směr blížejícího se zásahového vozidla ($> A/ > B/ >C$), odpočet doby probíhající prioritizace a zda je požadavek na spuštění sekvence přechodu.



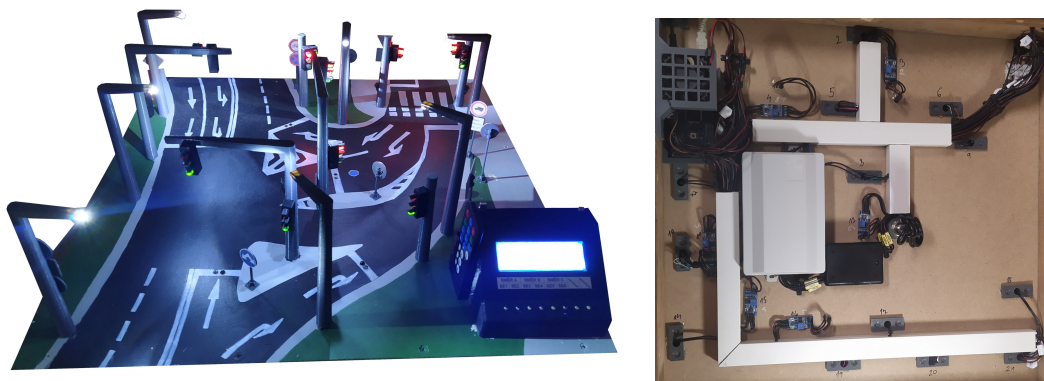
Obr. 3.4: Rozložení zobrazovaných informací na LCD pro prioritizaci IZS

3.4 Registrace účastníků provozu prostřednictvím IR čidel

Výstup IR modulu je přiveden na analogový vstup mikropočítače. Podobným způsobem, jako u spínání veřejného osvětlení, je stanovena prahová hodnota, která představuje detekci překážky. Kód bylo nutné ošetřit proti několikanásobnému přičtení překážky jedním přerušením IR čidla. Algoritmus tedy registruje přerušování senzoru, přičte zaznamenanou překážku do proměnné a setrvá do doby, než se senzor vrátí do původního stavu. Stejným způsobem bylo nutné řešit změnu proměnné mikrospínači.

Závěr

Po seznámení s problematikou světelného řízení dnešních křižovatek byl navržen a následně sestrojen model křižovatky Anenská a kpt. Jaroše, Pardubice. Dokončený model pracuje stabilně a jeho konečná podoba společně s kabelovým uspořádáním je vyobrazena níže.



Obr. 3.5: Dokončený model

Na modelu lze demonstrovat nečinný stav a signální programy světelného řízení křižovatek: SP1, SP2 a SP3 [14]. Data o provozu jsou definovány prostřednictvím IR čidel, indukčním senzorem nebo operačním panelem. Prostřednictvím IR systému dálkového ovládní lze simulovat průjezd a následná prioritizace složek IZS na křižovatce, byl tak nahrazen způsob řešení na skutečných křižovatkách (vzhledem k omezeným možnostem modelu), podrobněji vysvětleno v kapitole: "1.3.2 Detekce a prioritizace vozidel IZS". Projekt dále obsahuje ambientní veřejné osvětlení a přechod pro chodce s vyzývacími tlačítky.

Hlavní myšlenka softwaru je doložena vývojovým diagramem (příloha "A"), kompletní kód je dostupný na gitlabu: [18]. Celkové schéma zapojení vytvořené v programu kicad je doloženo přílohou "B". Situační plán pro přehledné rozmístění semaforů v příloze "C". Simulace průběhu světelného řízení ve všech směrech, včetně spuštěného přechodu pro chodce, je obsažena v příloze "D". Přechod mezi řídicími fázemi orientačně, v příloze "E".

Model křižovatky by mohl sloužit, jako názorná ukázka funkce dnešních způsobů řízení křižovatek, tedy k edukativním účelům, případně, jako nástroj pro možné zdokonalování řešení konkrétních problémů. V případě takových využití by model mohl být modifikován na stavebnici s možnou úpravou počtu jízdnic pruhů, směrů a pozic sloupů nesoucích SSZ. Model by po takové modifikaci mohl být využíván společností zabývající se návrhem řízení křižovatek, například, jako názorná prezentace konkrétního řešení zákazníkovi.

Literatura

- [1] Historie semaforu. Elektro [online]. Praha: FCC Public, červenec 2003, (07/2003) [cit. 2021-12-01]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/historie-semaforu--14408>
- [2] První automatický semafor slaví devadesátiny [online]. Praha: TSK, 22.01.2020 [cit. 2021-12-01]. Dostupné z: <https://www.tsk-praha.cz/wps/portal>
- [3] Řízení dopravy. CROSS Zlín [online]. 2020, 2-3 [cit. 2021-12-01]. Dostupné z: https://www.cross-traffic.com/root/download/cross_bro_rizeni_dopravy_2020_cze.pdf
- [4] WATSON, Alec. TechnologyConnections: YouTube channel. YouTube [online]. Chicago, 14. května 2018 [cit. 2021-12-01]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=GiY01T0bNz8&t=66s&ab_channel=TechnologyConnections
- [5] Arduino Mega 2560 rev3. Arduino store [online]. [cit. 2021-12-01]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>
- [6] ATMega 2560. Microchip [online]. [cit. 2021-12-01]. Dostupné z: <https://www.microchip.com/en-us/product/ATmega2560>
- [7] What is an IR Sensor: Circuit Diagram & Its Working. Elprocus [online]. [cit. 2021-12-01]. Dostupné z: <https://www.elprocus.com/infrared-ir-sensor-circuit-and-working/>
- [8] Indukční čidlo: LJ12A3-4-Z/BY. ESES [online]. [cit. 2021-12-01]. Dostupné z: <https://dratek.cz/docs/produkty/1/1119/1449885814.pdf>
- [9] ING. MARTOLOS, Jan. Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích: TP 81 [online]. Ministerstvo dopravy, prosinec 2015, 50-52 [cit. 2021-12-01]. Dostupné z: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_81.pdf
- [10] ING. MARTOLOS, Jan. Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích: TP 81 [online]. Ministerstvo dopravy, prosinec 2015, 67-68 [cit. 2021-12-01]. Dostupné z: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_81.pdf
- [11] ING. MARTOLOS, Jan. Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích: TP 81 [online]. Ministerstvo dopravy, prosinec 2015, 83 [cit. 2021-12-01]. Dostupné z: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_81.pdf

- [12] ING. HERMAN, Ivo. V2X – KOMUNIKACE VOZIDLA S OKOLÍM: inteligentní veřejná doprava. Herman elektronika [online]. [cit. 2021-12-11]. Dostupné z: <https://www.herman.cz/cs/produkty/isrd/komunikace-v2x/>
- [13] ING. HERMAN, Ivo. PREFERENCE VOZIDEL HZS POMOCÍ V2X. Herman elektronika [online]. [cit. 2021-12-26]. Dostupné z: <https://www.herman.cz/cs/produkty/clanky-2/clanky/preference-vozidel-pomoci-v2x/#>
- [14] RÁBEK, Vlastimil. ZÁKONITOSTI, TYPOLOGIE A METODIKA ŘEŠENÍ DOPRAVNÍCH NEHOD NA KŘIŽOVATKÁCH ŘÍZENÝCH SOUSTAVOU SVĚTELNÝCH SIGNÁLŮ. ExFoS - Expert Forensic Science XXIV. mezinárodní vědecká konference soudního inženýrství [online]. Brno 2015, 120-124 [cit. 2021-12-11]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/42737?show=full>
- [15] Systémy pro silniční dopravu: Dopravní detektory. AŽD Praha [online]. 1-2 [cit. 2021-12-11]. Dostupné z: https://www.azd.cz/backend_bootstrap.php?netwings_query_key=/storage/get/175-
- [16] Inteligentní dopravní systémy (ITS): Dopravní detektory. Dopravní inženýrství [online]. [cit. 2021-12-11]. Dostupné z: <http://projekt150.ha-vel.cz/node/93>
- [17] Ing. Petr Žák, Ph.D. a Ing. Teodor Terrich. SVĚTLO. Časopis pro světlo a osvětlování [online]. 2018, (6/2018) [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/ovladani-verejneho-osvetleni--3036>
- [18] HLAVÁČEK, Jakub. Jakubhl: github.com [online]. [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: https://github.com/Jakubhl/Junction_code/tree/main/programBP
- [19] EVALUATION OF A DYNAMIC SIGNAL OPTIMISATION CONTROL MODEL USING TRAFFIC SIMULATION. IATSS Research [online]. 2005 [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0386111214601151#!>

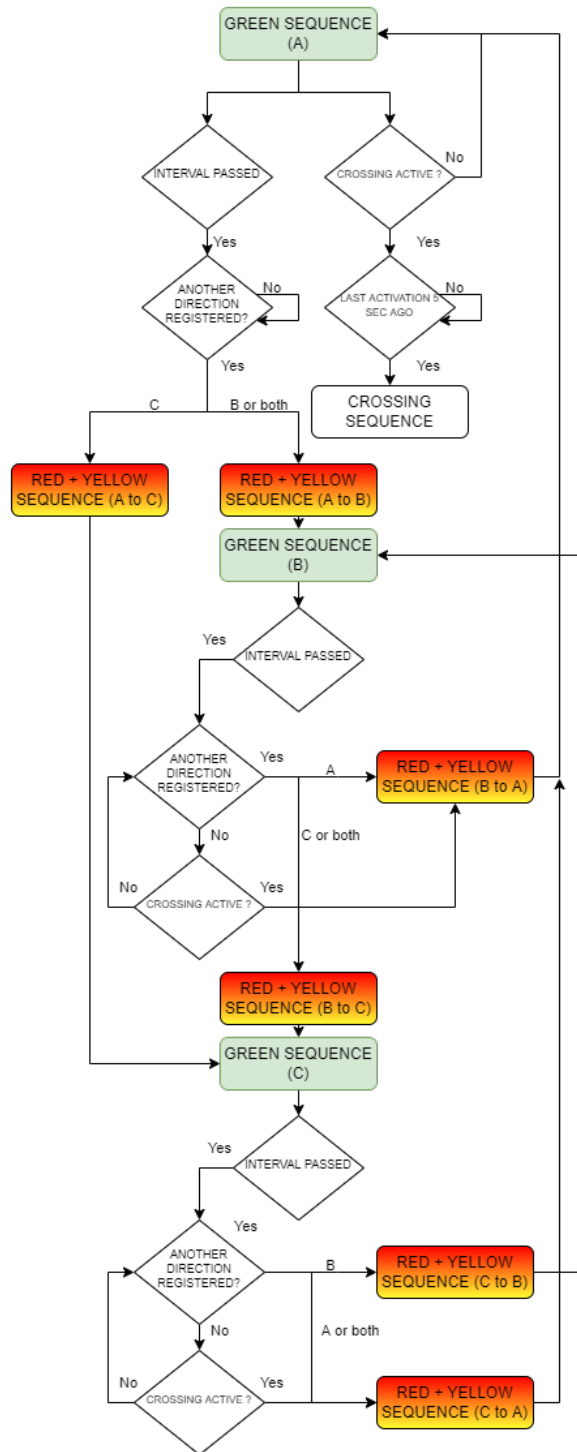
Seznam symbolů a zkratek

SSZ	Světelné signalizační zařízení
IZS	Integrovaný Záchranný Systém
MHD	Městská Hromadná Doprava
PLA	Polylaktidová vlákna – Polylactic Acid
LED	luminiscenční dioda – Light Emitting Diode
LCD	displej s tekutými krystaly – Liquid Crystal Display
IR	infračervené – Infra Red
3-D	trojrozměrné – Three Dimensions
OP	Operační Panel – Operation Panel
IDE	integrované vývojové prostředí – Integrated Development Environment
DC	stejnoseměrný proud – Direct current
I/O	vstup / výstup – Input / Output
RISC	procesory s redukovanou instrukční sadou – Reduced Instruction Set Computer
AVR	mikropočítač RISC – Alf Vegard RISC
PWM	pulzně šířková modulace – Pulse Width Modulation
UART	univerzální asynchronní přijímač-vysílač – Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
MIPS	milion instrukcí za sekundu – Million Instructions Per Second
PNP	pozitivní-negativní-pozitivní – Positive-Negative-Positive
GSM	globální systém pro mobilní komunikaci – Groupe Spécial Mobile
GPS	globální polohový systém – Grand Positioning System
3G	třetí generace mobilních telekomunikačních technologií – third Generation of mobile telecommunications technology
V2X	vozidlo se vším – Vehicle to Everything

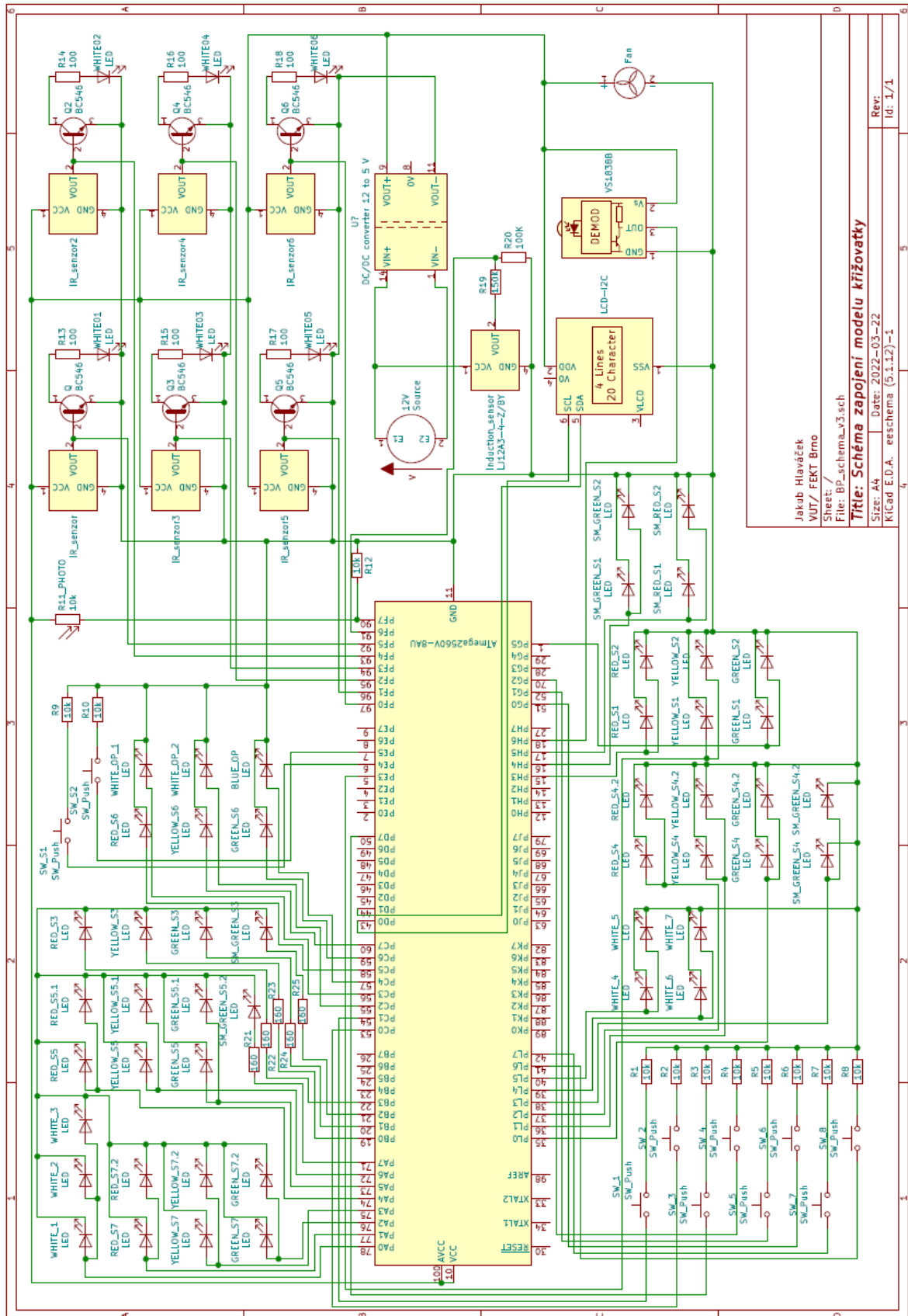
Seznam příloh

A	Vývojový diagram řízení modelu křižovatky	43
B	Schéma zapojení modelu křižovatky	44
C	Situační plán křižovatky Anenská a kpt. Jaroše, Pardubice	45
D	Průběh fází SSZ	46
E	Přehled fází řízení křižovatky	47

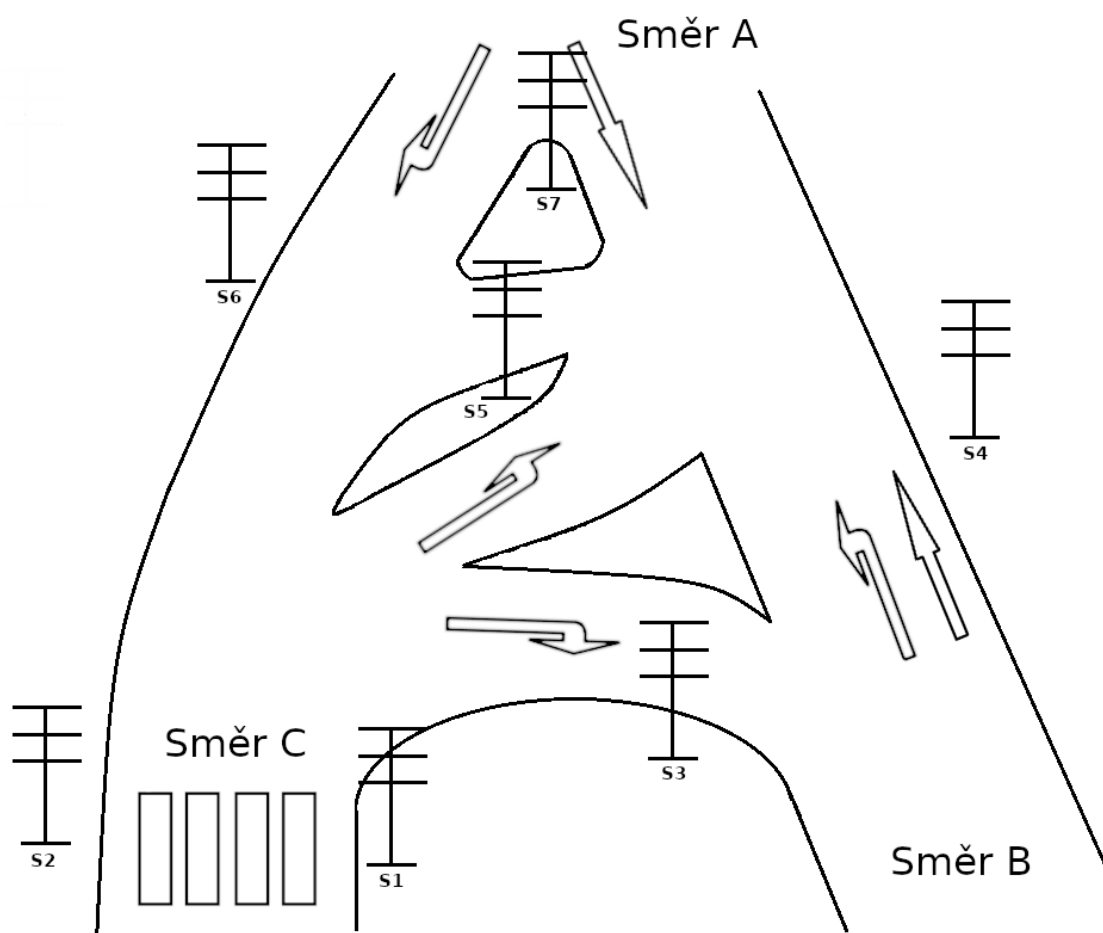
A Vývojový diagram řízení modelu křižovatky



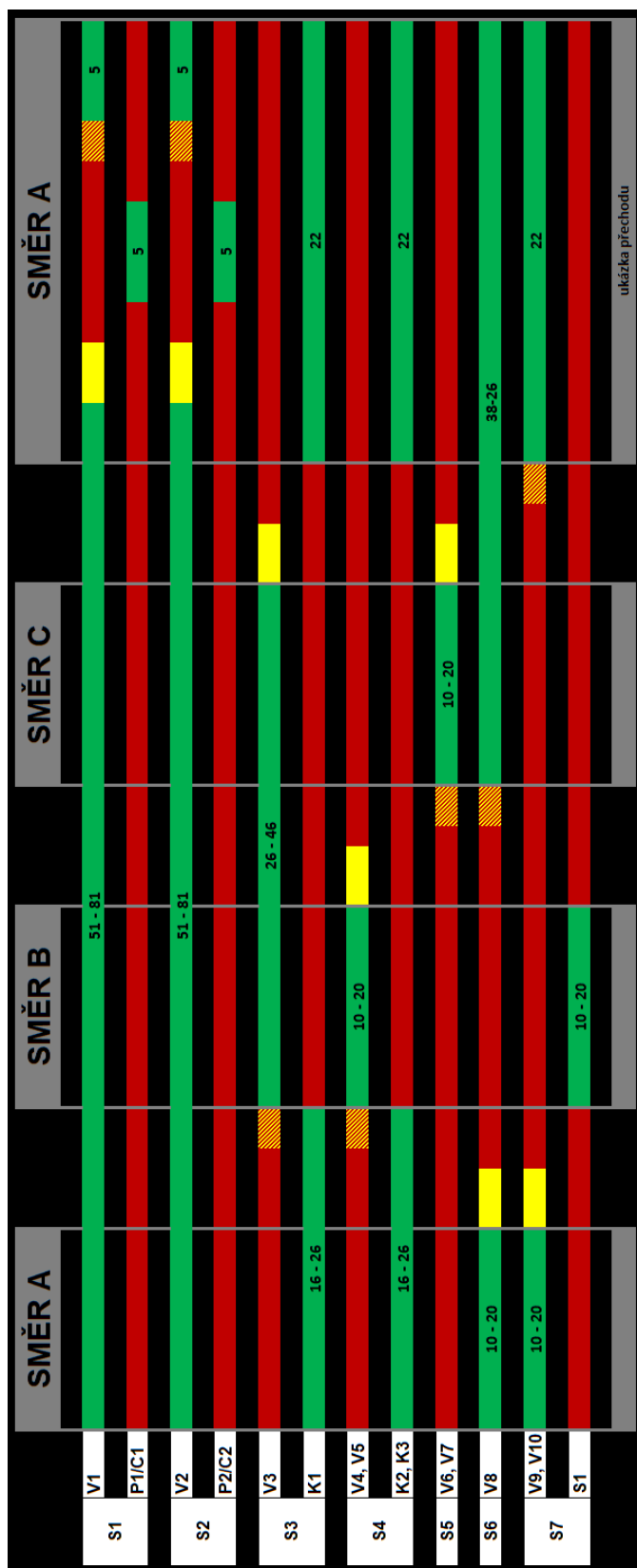
B Schéma zapojení modelu křižovatky



C Situační plán křižovatky Anenská a kpt. Jaroše, Pardubice



D Průběh fází SSZ



E Přehled fází řízení křižovatky

