

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Model křižovatky se semaforem pro prezentační účely

Jakub Ksiažek

Bakalářská práce

2021

Univerzita Pardubice  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Akademický rok: 2020/2021

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jakub Ksiažek**  
Osobní číslo: **I18047**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**  
Téma práce: **Model křižovatky se semaforey pro prezentační účely**  
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky**

### Zásady pro vypracování

Cílem práce je vybrat vhodný typ křižovatky, na který bude implementováno vybavení semaforey. Student v práci navrhne rozmístění a výběr typu použitých semaforů, systém bude řízen mikroprocesorem, nastavení systému provede operátor z uživatelského rozhraní. Model bude dále vybaven prvky pro zvýšení bezpečnosti při přejezdu křižovatky (například zobrazovače času do změny stavu nebo bezdotykové ovládání přechodu pro chodce). Vytvořený model bude vyzkoušen a popsán při různých nastaveních a bude popsán systém ochrany proti chybnému nastavení parametrů uživatelem.

Rozsah pracovní zprávy: **40**  
Rozsah grafických prací:  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] MATOUŠEK, David. Práce s mikrokontroléry ATMEL AT89C2051: [měření, řízení a regulace pomocí několika jednoduchých přípravků]. Praha: BEN – technická literatura, 2006.  $\mu$ C & praxe. ISBN 80-7300-174-8.
- [2] PIRKL, Josef. Řešené příklady v C#, aneb, C# skutečně prakticky. České Budějovice: Kopp, 2005. ISBN 80-7232-265-6.
- [3] DOLEČEK, Jaroslav. Moderní učebnice elektroniky. Praha: BEN – technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-184-5.
- [4] NOVÁK, Petr. Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení. Praha: BEN – technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-141-1.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Luboš Rejfek, Ph.D.**  
Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. listopadu 2020**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **14. května 2021**

**Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.** v.r.  
děkan

L.S.

**Ing. Jan Pidanič, Ph.D.** v.r.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 29. ledna 2021

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 13.8.2021

Jakub Ksiažek

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych tuto bakalářskou práci věnoval památce mého kamaráda Matěje Haeringa.

Rád bych poděkoval vedoucímu této bakalářské práce, panu Ing, Luboši Rejfkovi Ph.D, za veškerou pomoc a výbornou komunikaci.

Děkuji také panu Ing. Pavlu Rozsivalovi za pomoc s výrobou plošných spojů.

## **ANOTACE**

Bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací modelu křižovatky se semaforem pro prezentační účely. V teoretické části je proveden rozbor typů křižovatek, detekčních a bezpečnostních prvků. Z rozboru byly vybrány vhodné prvky vedoucí k zvýšení efektivity a bezpečnosti provozu pro konkrétní křižovatku. Praktická část popisuje návrh konstrukce a kompletní zhotovení modelu křižovatky.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Křižovatka, detekce, bezpečnost, Arduino

## **TITLE**

The Intersection model with the traffic lights for the presentation purposes

## **ANNOTATION**

The bachelor thesis deals with the design and implementation of an intersection model with the traffic lights for the presentation purposes. The theoretical part is an analysis of the types of intersections, detection and safety elements. From the analysis were selected suitable elements to increase the efficiency and safety of traffic for a particular intersection. The practical part describes the design and complete construction of the intersection model.

## **KEYWORDS**

Intersection, detection, safety, Arduino

## OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	9
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK .....	11
1 Úvod do problematiky křižovatek .....	13
1.1 Typy křižovatek .....	13
1.1.1 Křižovatka bez dopravního značení .....	13
1.1.2 Křižovatka s dopravním značením .....	14
1.1.3 Se světelnými signály .....	15
1.1.4 Kruhový objezd .....	16
1.2 Křižovatka na dopravní tepně Kolína .....	17
1.2.1 Aktuální situace .....	17
1.2.2 Zvýšení bezpečnosti a plynulosti.....	18
2 Detekce vozidel a chodců v okolí křižovatky.....	20
2.1 Metody detekce vozidel blížících se ke křižovatce .....	20
2.1.1 Infračervené a ultrazvukové snímače .....	20
2.1.2 Kamery .....	21
2.1.3 Indukční smyčky .....	21
2.1.4 Optické vlákno.....	23
2.1.5 Trolejový spínač .....	24
2.1.6 GPS.....	24
2.2 Metody detekce chodců u přechodu .....	25
2.2.1 Mechanické tlačítko.....	25
2.2.2 Reflexní závora.....	25
2.2.3 Ultrazvukový senzor.....	26
2.2.4 Radiový senzor .....	26
3 Přehled semaforů .....	27
3.1 Typy semaforů v ČR.....	27
3.2 Systémy světelného řízení používané ve světě .....	27
4 Vlastní návrh .....	30
4.1 Křižovatka bez řídicích prvků .....	30
4.2 Ideální osazení křižovatky .....	31
4.3 Modifikovaný model křižovatky .....	33

5	Výběr komponent .....	35
5.1	Arduino MEGA 2560 .....	35
5.2	Ultrazvukový modul měření vzdálenosti HY-SRF05.....	36
5.3	Reflexní optický snímač TCRT 5000 .....	36
5.4	Sedmi-segmentový display .....	38
5.5	LED diody .....	39
6	Postup řešení.....	40
6.1	Koncept zařízení .....	40
6.1.1	Zapojení jednotlivých modulů.....	40
6.1.2	Návrh plošného spoje .....	43
6.1.3	Komunikace mezi deskami.....	48
6.2	Firmware zařízení .....	50
6.3	Sestavení zařízení .....	53
7	Ověření funkce .....	57
7.1	Model křižovatky .....	57
7.2	Funkčnost křižovatky.....	58
8	Závěr.....	61
9	Literatura .....	62
10	Příloha A – Popis přílohy .....	66



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1 Křižovatka bez dopravního značení .....	13
Obrázek 1.2 Křižovatka s dopravním značením .....	14
Obrázek 1.3 Dopravní značení .....	14
Obrázek 1.4 Křižovatka se světelnými signály .....	15
Obrázek 1.5 Kruhový objezd .....	16
Obrázek 1.6 Kolínská křižovatka .....	17
Obrázek 1.7 Schéma aktuální křižovatky .....	18
Obrázek 2.1 Ultrazvukový senzor .....	20
Obrázek 2.2 Kamerové snímání provozu .....	21
Obrázek 2.3 Indukční smyčka – princip .....	22
Obrázek 2.4 Indukční smyčky v praxi .....	23
Obrázek 2.5 Deformace optického vlákna ve vozovce .....	24
Obrázek 2.6 Reflexní závora .....	26
Obrázek 3.1 Semafory v ČR .....	27
Obrázek 3.2 Semafory pro chodce ve světě a) Semafor v Rakousku b) Semafor v Colorado, USA, c) Semafor v Dubaji.....	28
Obrázek 3.3 Dopravní semafory ve světě, a) Semafor s časomírou v Rakousku , b) Semafor s časomírou v Rusku .....	29
Obrázek 4.1 Křižovatka bez světelného značení .....	30
Obrázek 4.2 Ideální osazení křižovatky .....	32
Obrázek 4.3 Modifikovaný model křižovatky.....	33
Obrázek 5.1 Arduino MEGA (vlastní fotka).....	35
Obrázek 5.2 Ultrazvukový měřič vzdálenosti .....	36
Obrázek 5.3 Schéma TCRT 5000 .....	37
Obrázek 5.4 Reflexní snímač TCRT 5000 .....	37
Obrázek 5.5 Dvoučíslicový sedmi-segmentový display.....	38
Obrázek 5.6 Schéma zapojení sedmi-segmentového displeje.....	38
Obrázek 5.7 LED diody 10 mm .....	39
Obrázek 6.1 Schéma zapojení .....	41
Obrázek 6.2 Elektrické schéma desky.....	43
Obrázek 6.3 Elektrické schéma shieldu.....	44
Obrázek 6.4 Návrh plošného spoje shieldu .....	45
Obrázek 6.5 DPS shieldu.....	46
Obrázek 6.6 Schéma zapojení zdroje napětí.....	46
Obrázek 6.7 Návrh plošného zdroje napětí .....	47
Obrázek 6.8 DPS zdroje .....	47
Obrázek 6.9 Zapojení I2C .....	48
Obrázek 6.10 I2C komunikace .....	49
Obrázek 6.11 Softwarový diagram.....	51
Obrázek 6.12 Ukázka funkce semaforu.....	52
Obrázek 6.13 Konstrukční sloup SSZ .....	53
Obrázek 6.14 Pouzdra komponentů.....	54
Obrázek 6.15 Základová deska křižovatky.....	55

Obrázek 6.16	Finální konstrukce křižovatky.....	56
Obrázek 7.1	Model křižovatky se světelnými signály.....	57
Obrázek 7.2	Křižovatka v průběžném režimu bez časomíry.....	58
Obrázek 7.3	Křižovatka v průběžném režimu s časomírou.....	58
Obrázek 7.4	Křižovatka v závěrném přechodovém režimu .....	59
Obrázek 7.5	Křižovatka v závěrném režimu bez časomíry .....	59
Obrázek 7.6	Křižovatka v závěrném režimu s časomírou .....	60
Obrázek 7.7	Křižovatka v propustném přechodovém režimu .....	60

## **SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK**

GPS	Global Positioning System
SSZ	Světelné Signalizační Značení
TPCA	Toyota Peugeot Citroen Automobile
FGB	Fiber Bragg Grating
ZZN	Zemědělské Zásobování a Nákup
OC	Obchodní Centrum
MHD	Městská Hromadná Doprava
USA	United States of America
DPS	Deska Plošných Spojů
IDE	Integrated Development Environment
SDA	Serial Data Line
SCL	Serial Clock Line
USB	Universal Serial Bus
I2C	Inter-Integrated Circuit

## Úvod

Potřeba řízené křižovatky vznikala spolu s rozvojem obchodu ve vyspělých zemích, přesněji hlavně v centrech měst a přístavů, kde se čím dál více rozšiřovala přeprava materiálů i lidí pomocí koňského spřežení. Provoz na křižovatkách byl řízen manuálně zkušenou obsluhou pomocí gest. S příchodem mechanizace práce, kdy se začínaly objevovat první typy automobilů, byly využívány mechanicky ovládaná návěstidla, až po příchod světelných značení, která známe dodnes [1].

První předchůdce světelného signalizačního značení byl zaveden v Londýně. Semafor využíval jako zdroj světla plynové lampy, avšak kvůli nebezpečí souvisejícímu se zacházením s plynem, se tento typ semaforu již dále nevyužíval a čekalo se na nástup elektřiny [1].

S příchodem elektrického proudu přišly i první pokusy o vytvoření elektricky ovládaného světelného signalizačního zařízení. První, tímto způsobem využívaný, semafor, se nacházel ve městě Cleveland, státu Ohio, USA. Semafor stále potřeboval obsluhující personál, který přepínal mezi zelenou a červenou barvou. O deset let později k řízení byly využívány již automatické systémy, rovněž k původní zelené a červené barvě přibyla i barva oranžová. Tato barevná trojkombinace se dochovala do dnešních dnů [1].

S větším příbytkem obyvatel roste také hustota provozu. Proto správné nastavení semaforů v současné době je klíčové. Najít nejlepší kompromis mezi časovým rozvržením jednotlivých dopravních směrů, vhodnou návazností na následné křižovatky, upřednostněním dopravních prostředků s vyšší prioritou apod. je velmi důležité. Hlavními aspekty jsou maximální bezpečnost a efektivita plynulosti provozu.

Tato práce pojednává o vytvoření modelu reálné křižovatky se semaforey. Realizovaná práce bude zaměřena na koncept zlepšení nastavení konkrétní reálné křižovatky pro zlepšení plynulosti a bezpečnosti provozu.

Teoretická část práce popisuje různé typy křižovatek, jejich zabezpečení, priority provozu, způsob řešení, využití a popis detekčních prvků. Nastíněno bude i řešení řízení a porovnání systémů ze zahraničí. V neposlední řadě je detailněji popsán výběr konkrétní křižovatky, náskres i rozbor, včetně využitých současných technologií. Následně je podrobněji vypracován návrh na zlepšení řízení.

Praktická část práce pojednává o návrhu fyzického modelu křižovatky, vytvoření desky plošných spojů a výběr komponentů pro řízení, schéma zapojení a teoretický rozbor. Nakonec postup tvorby softwaru a popis oživení celé práce včetně finálního testování.

# 1 Úvod do problematiky křižovatek

„Křižovatka je místo, kde se pozemní komunikace protínají nebo spojují; za křižovatku se nepovažuje vyústění polní nebo lesní cesty nebo jiné účelové pozemní komunikace na jinou pozemní komunikace“

## 1.1 Typy křižovatek

V této podkapitole jsou uvedeny obecně nejzákladnější typy křižovatek, které můžeme najít na našem území.

### 1.1.1 Křižovatka bez dopravního značení

U tohoto typu křižovatek není přednost vozidel určena příslušnou dopravní značkou. Pro určení práva přednosti jízdy účastníků provozu se využívá „pravidlo pravé ruky“.

Tento typ křižovatky je nejvíce využíván v místech nízké úrovně provozu, převážně i v místech se sníženou maximální povolenou rychlostí, jako například obytné zóny, parkoviště, obchodní zóny, ale můžeme se s nimi setkat při křížení silnic třetích i čtvrtých třídy. Ukázka křižovatky bez dopravního značení je na obrázku 1.1.

V současnosti můžeme sledovat klesající počet podobných křižovatek. Z bezpečnostních důvodů se postupně na frekventovanější místa bez dopravního značení instalují příslušné základní dopravní značky určující přednost.



Obrázek 1.1 Křižovatka bez dopravního značení [2]

## 1.1.2 Křižovatka s dopravním značením

Patrně nejrozšířenější typ křižovatek v České republice jsou křižovatky s dopravním značením. Přehled značek upravujících přednosti na pozemních komunikacích je na obrázku 1.3.

Tento způsob označení hlavní a vedlejší silnice je využíván u více vytížených míst. Pomůže se tím zvýšení plynulosti provozu, pokud pravidelně jedním směrem projíždí více aut než jiným směrem. Uplatnění se najde i v situaci, pokud se jedná o místo s horší viditelností, například křižovatka v zatáčce, v husté zástavbě, s orientací hlavní silnice od východu k západu, kde může dojít k oslnění řidiče slunečním svitem apod. V krajních případech bývají kritické křižovatky doplněny v příslušném směru o dopravní příkazovou značku „STOP“ viz obrázek 1.2. Značka nařizuje řidiči vozidla uvést vozidlo do klidu, jelikož se pravděpodobně nachází na místě s možností snadného přehlédnutí vozidel na hlavní silnici, popřípadě vlakové soupravy, nachází-li se vozidlo u nechráněného železničního přejezdu bez světelného signalizačního značení.



Obrázek 1.2 Křižovatka s dopravním značením [2]



Obrázek 1.3 Dopravní značení [2]

### 1.1.3 Se světelnými signály

Pokud je hustota provozu příliš vysoká, hrozilo by, že by se vozidlům na vedlejší silnici nemuselo dostat dostatečného prostoru k průjezdu křižovatky. Tento problém dnes řeší semaforey, tedy světelné signalizační zařízení (SSZ). Je to nejjednodušší způsob řízení provozu na frekventovaných dopravních uzlech či při dopravní špičce, jež se tvoří nárazově v čase, kdy lidé začínají či končí v zaměstnání. Křižovatka na obrázku 1.4 je současně vybavena také dopravními značkami, které se uplatní v případě vypnutí či poruchy semaforu.

Řízení křižovatky je nastaveno s ohledem na průměrnou či aktuální hustotu provozu na hlavní a vedlejší silnici. Zpravidla hlavní tah je déle průjezdný než silnice vedlejší.



Obrázek 1.4 Křižovatka se světelnými signály [2]

Výše popsáný způsob řízení je využíván především kvůli plynulosti provozu a bezpečnému pohybu chodců přes silnici. Avšak světelné signalizační zařízení má i své velké využití v bezpečnosti na železnici, konkrétně na železničních přejezdech. Na našem území mohou vlakové soupravy jet rychlostí „pouze“ 160 km/h. Při této rychlosti je vysoce pravděpodobné, že by řidič při náhodném vjezdu na železniční nechráněný přejezd nestihl včas zareagovat na blížící se vlakovou soupravu. Zde je použití semaforů, většinou doplněných o bezpečnostní závoru, nezbytné. Nemluvě o zahraničí, kde vlakové soupravy dosahují několikanásobně vyšší rychlosti.

Na našem území platí zákon určující nadřazenost řídicích prvků křižovatky.

Nejvyšší nadřazenost v řízení dopravy mají pokyny policisty. Tyto pokyny jsou nadřazeny semaforům i dopravním značkám. Neřídí-li křižovatku policista, řídíme se světelnými signály, pokud je jimi křižovatka vybavena. Pokud není na křižovatce přítomný policista ani zde není umístěn semafor, poté se řídíme dopravním značením. V poslední řadě, není-li na křižovatce žádný z výše uvedených řídicích prvků, řídíme se obecnou úpravou provozu, tzv. přednost vozidel přijíždějících zprava [9][2].

#### 1.1.4 Kruhový objezd

Častěji se můžeme setkat s výstavbou kruhových křižovatek, tedy kruhových objezdů (obrázek 1.5). Prosté řešení, které bezesporu přispěje k plynulosti a bezpečnosti provozu. Kruhový objezd se bere jako hlavní pozemní komunikace, ostatní komunikace na něj navazující jsou vždy vedlejší. Přijíždějící vozidla tak dávají přednost pouze vozidlům, která se již nachází na kruhovém objezdu. Hlavní výhoda spočívá v absenci časových intervalů určující přednost. Uplatnění mají především v málo a středně frekventovaných místech. Při užití na nejfrekventovanějších křižovatkách by docházelo ke tvorbě kolon vozidel přijíždějící na kruhový objezd.

Značnou nevýhodou je rozsáhlost stavebních úprav a náročnost na prostor z hlediska manipulace a poloměru otáčení nákladních souprav, či autobusů.

Na našem území se setkáme nejčastěji s jednoproudým kruhovým objezdem, dvouproudovým a s průběžným pruhem [3]. V zahraničí jsou k vidění dokonce i sedmi proudové kruhové objezdy např. v Číně.



Obrázek 1.5 Kruhový objezd [2]



## 1.2 Křižovatka na dopravní tepně Kolína

Pro vytvoření modelu křižovatky padlo v úvahu se zaměřit na největší křižovatku Kolína, co se týče četnosti jízdních pruhů. Od této volby byla pozornost přesunuta na křižovatku o pár kilometrů dále. K návrhu byla vybrána nejvytíženější křižovatka na nákladní dopravu v Kolíně. V následujících řádcích bude nastíněna celá situace a obhájení mého výběru.

### 1.2.1 Aktuální situace

Ve městě Kolín se nachází na první pohled nenápadná, leč vytížená křižovatka viz obrázek 1.6. Křižovatkou prochází čtyři pruhy hlavní silnice (č. 125), směrem od centra města nese ulice název Kutnohorská a naproti přes křižovatku ulice Rorejcova, poslední dvě zmíněné jsou dvoupruhové doplněné o odbočovací pruhy. Na křižovatce se nachází celkem 11 semaforů pro motorová vozidla, 10 semaforů a 3 ostrůvky pro chodce.



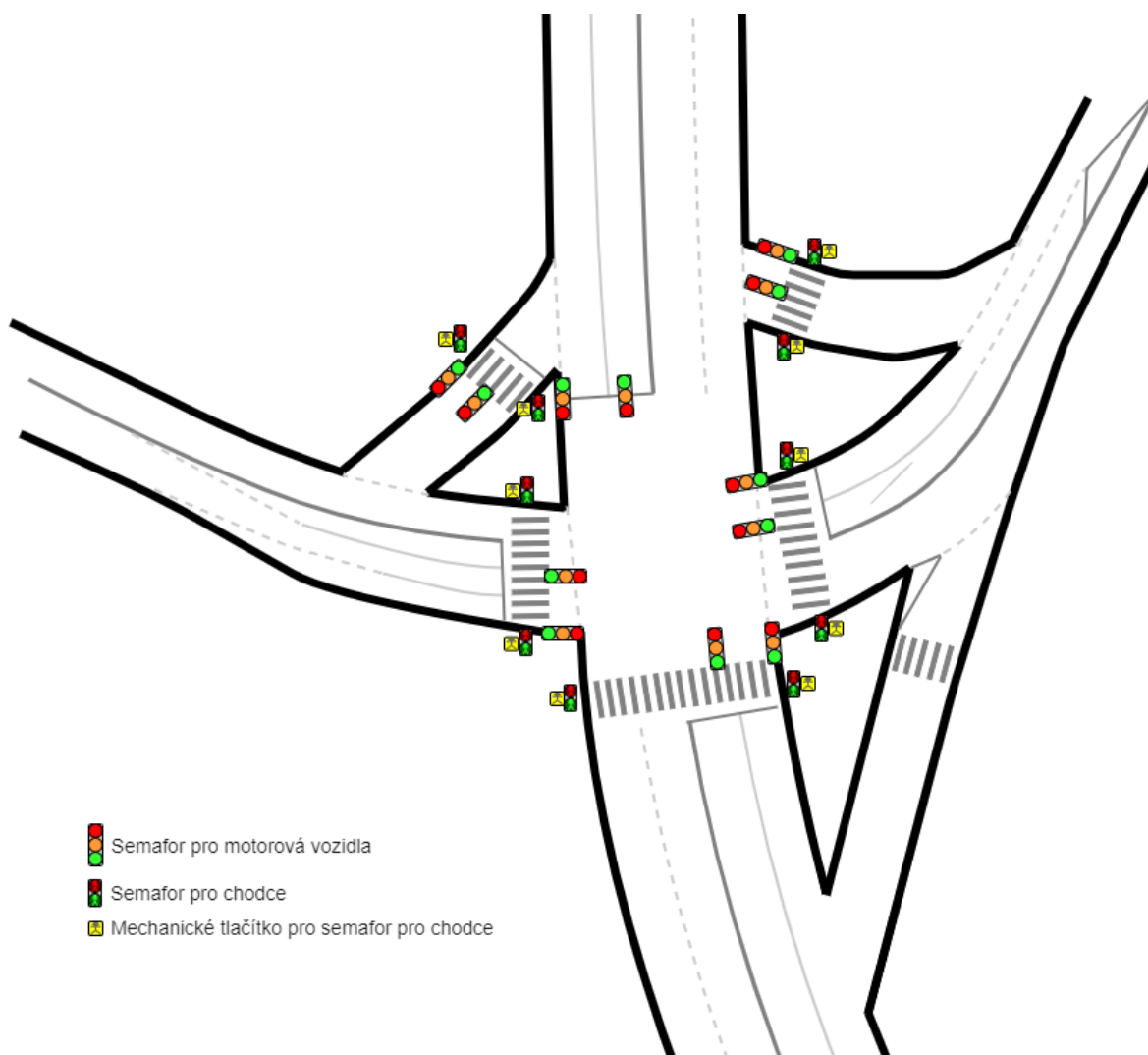
Obrázek 1.6 Kolínská křižovatka [4]

Hlavní důvod vytíženosti dané křižovatky, respektive vytíženost hlavní silnice (č. 125), je takový, že se jedná o hlavní, a pro nákladní vozidla jediný bod v Kolíně, kde se dá dostat přes řeku Labe. Další mosty přes Labe jsou v Týnci nad Labem (20 km) či Poděbradech (23 km). Situaci neulehčuje ani fakt, že se tudy nejrychleji dostanete do zemědělského výkupu ZZN, průmyslové zóně Ovčáry, kde sídlí například automobilka T.P.C.A., či na dálnici D11, sjezd č. 50.

Pozornost je potřeba věnovat i mírnému stoupání hlavního tahu, popřípadě klesání, směřujeme-li z druhé strany. To je způsobeno mostem, který vede jak přes železniční trať, tak přes řeku Labe. Pokud na křižovatce stojí plně naložené nákladní vozidlo či traktor s vlekem, musí se rozjíždět z klidu do mírného, táhlého stoupání. Tento aspekt vede k delšímu a pomalému rozjezdu soupravy, tím pádem ke snížení plynulosti zbytku provozu. Ojediněle zde dochází k riskantním situacím, kdy méně trpěliví řidiči ostatních vozů se snaží onen pomalejší vůz do kopce předjet bez ohledu na plynulost provozu ve vedlejším průběžném pruhu.

Z druhé strany, jede-li nákladní auto směrem z mostu ke křižovatce, jede směrem k semaforům mírným klesáním. Navíc ve  $\frac{3}{4}$  mostu je maximální povolená rychlost stanovena na 70 km/h. Připomeňme fakt, že plně naložená nákladní souprava má násobně delší brzdnu dráhu oproti prázdné soupravě. Za situace, kdy se na semaforech rozsvítí červený světelný signál „stůj“, může včasné zastavení rozjetého nákladního auta hraničit s bezpečností provozu.

### 1.2.2 Zvýšení bezpečnosti a plynulosti



Obrázek 1.7 Schéma aktuální křižovatky

Výše popsaná rizika a omezení jsou zapříčiněna zastaralým, pevně definovaným algoritmem pro řízení semaforů. Obrázek 1.7 znázorňuje schematicky aktuální řídicí prvky křižovatky. Zvýšení plynulosti provozu by se dalo docílit pomocí tzv. detekčních prvků. Nejjednodušší a patrně nejlevnější řešení by bylo aplikovat následující detekční prvky. Na prvním místě se tím zvýší bezpečnost provozu, která by měla být vždy upřednostňována.

Na hlavní tah by bylo vhodné v dostatečné vzdálenosti od hranice křižovatky umístit dvojici ultrazvukových snímačů, která bude vyhodnocovat případnou narůstající hustotu provozu. První snímač bude umístěn ve větší vzdálenosti od hranice křižovatky, třeba 100 m a druhý snímač bude umístěn blíže k hranici křižovatky. Oba snímače budou detekovat stojící vozidla a na základě naměřených hodnot algoritmus křižovatky upraví interval daného režimu křižovatky, aby byla zajištěna vyšší plynulost na hlavním tahu.

Pro případ, že by se na úrovni vzdálenějšího senzoru náhle zastavilo vozidlo, tento stav by byl vyhodnocen jako kolona. Z tohoto důvodu je použit i druhý snímač, který bude spolu s prvním senzorem ošetřovat tuto náhodnou situaci.

Na konstrukci SSZ vedle vrchního semaforu by bylo vhodné umístit časomíru odečítající určitý časový interval před změnou stavu křižovatky. Časomíra musí být dostatečně čitelná z větší vzdálenosti, zároveň musí mít adekvátní úroveň jasu, aby byla čitelná i za přímého poledního slunce.

Tento prvek by upozorňoval řidiče, kolik času zbývá, než se změní barva ze zelené na oranžovou, případně z červené na kombinaci červené a oranžové. Znalost časového údaje umožní řidiči vhodné vyhodnocení situace, zda začít poklidně snižovat rychlost, či má dostatek prostoru pro bezpečné projetí křižovatkou. Tímto odpadnou starosti, zda řidič „stihne“ projet či nikoli. V návaznosti na to se eliminuje prudké brždění či jízda na hranici červené.

## 2 Detekce vozidel a chodců v okolí křižovatky

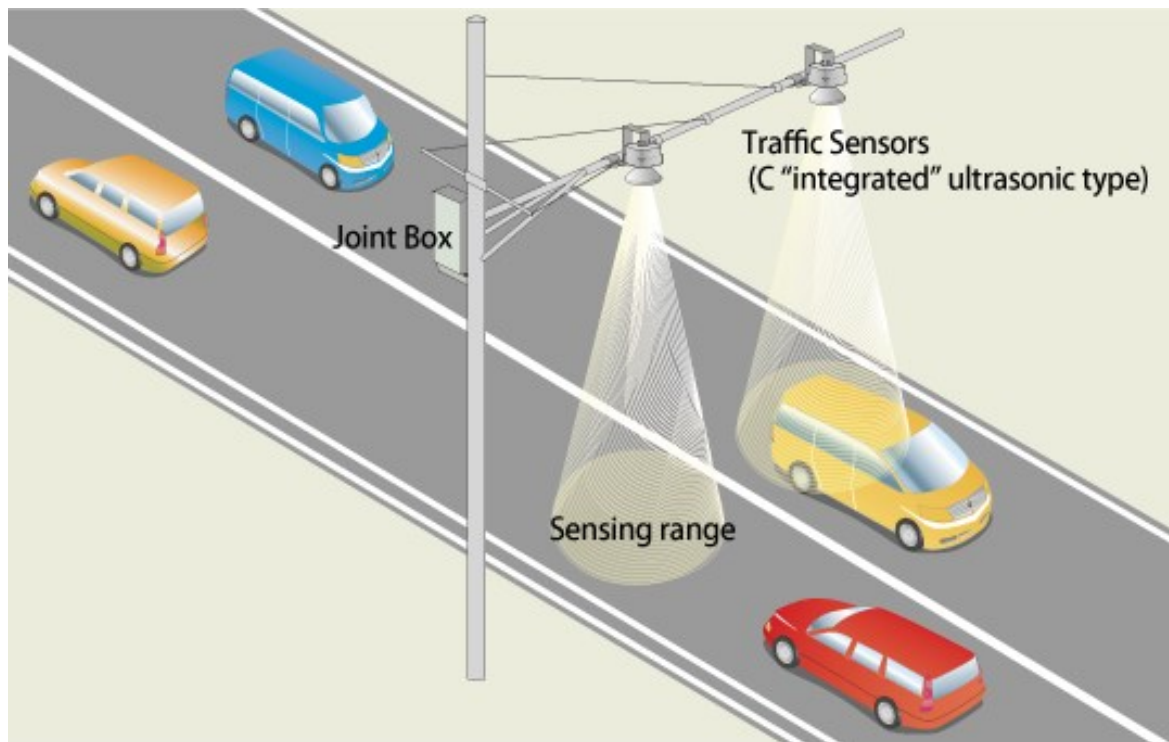
V této kapitole jsou popsány metody pro detekci chodců v blízkosti křižovatky a vozidel blížících se ke křižovatce nebo přechodu.

### 2.1 Metody detekce vozidel blížících se ke křižovatce

V této části jsou rozebrány různé způsoby detekce přibližujících se vozidel ke křižovatce, popsány jejich vlastnosti, výhody a nevýhody. V závěru kapitoly jsou systémy porovnány a na základě porovnání byl vybrán systém, který bude použit při návrhu modelu křižovatky.

#### 2.1.1 Infračervené a ultrazvukové snímače

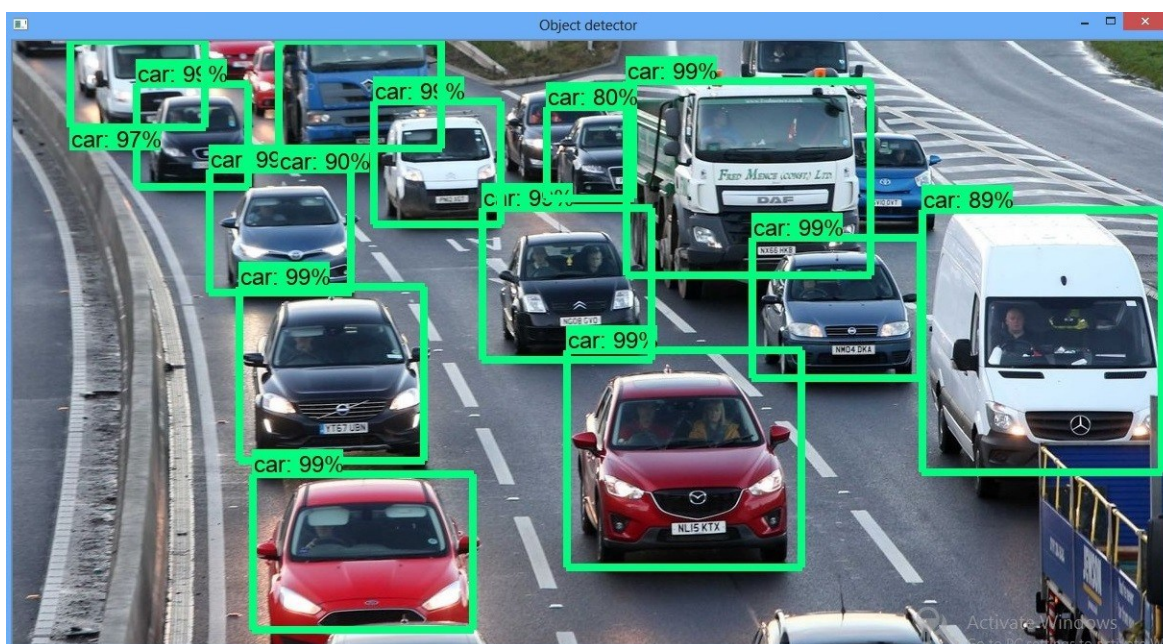
Princip měření spočívá ve vyslání a následnému přijímání odražených paprsků od projíždějících vozidel či cyklistů (obrázek 2.1). Snímače bývají umístěny přímo na konstrukci SSZ nebo na samostatné konstrukční bráně. Orientace může být shora, kolmo na vozovku, svisle ve sloupku směřující přímo na projíždějící vozidla či pod úhlem 45°. Nevýhoda spočívá v nepřesnosti výsledků. Zkreslená data zapříčiňuje různorodost ploch, od kterých se vyslaný paprsek odráží (lesklý povrch, matný povrch, sklo, plachta atp.). Tento způsob detekce se využívá již velmi málo [5].



Obrázek 2.1 Ultrazvukový senzor [6]

## 2.1.2 Kamery

Kamery pro detekci provozu jsou schopny detekovat vozidla osobní, nákladní, cyklisty i chodce. K tomu využívají, v předem definovaných místech, změnu pohybové informace, následně se zjištěná data zasílají do řadiče SSZ, kde probíhá vyhodnocení a případná úprava algoritmu křižovatky (obrázek 2.2). Tento způsob monitorování se využívá na místech, kde je obtížné aplikovat indukční smyčky, např. mosty či tramvajové koleje [5].



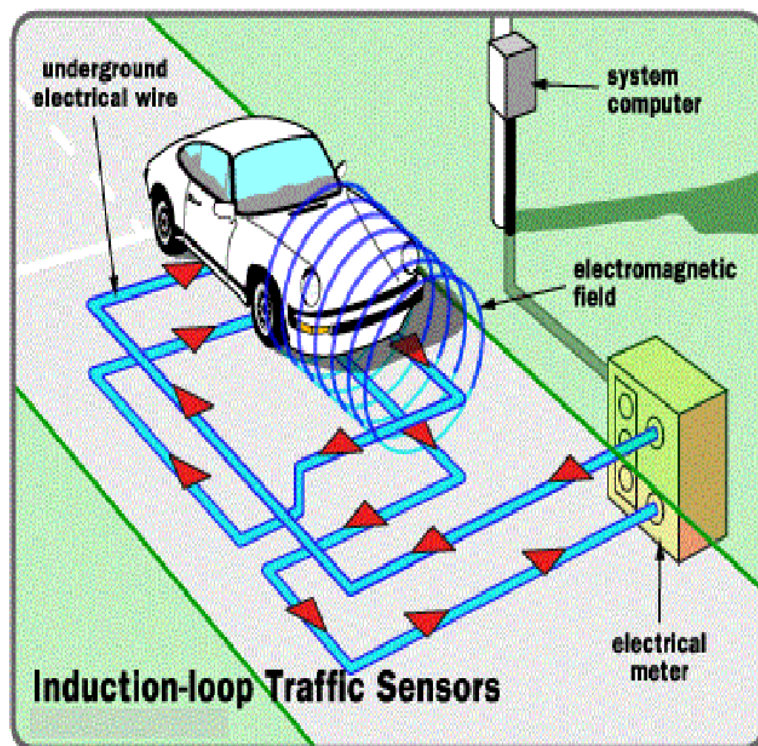
Obrázek 2.2 Kamerové snímání provozu [7][6]

Jedna kamera dokáže sbírat data z více jízdnic pruhů, aktuálně nejvyšší počet v ČR, jsou 4 pruhy. Detekční kamery jsou umístovány nad úroveň dopravy. To se projevuje nepřesností vyhodnocování za zhoršené viditelnosti (silný vítr, hustý déšť, sněžení). Za tmy nejsou kamery nijak omezeny díky infračervenému snímači [5].

## 2.1.3 Indukční smyčky

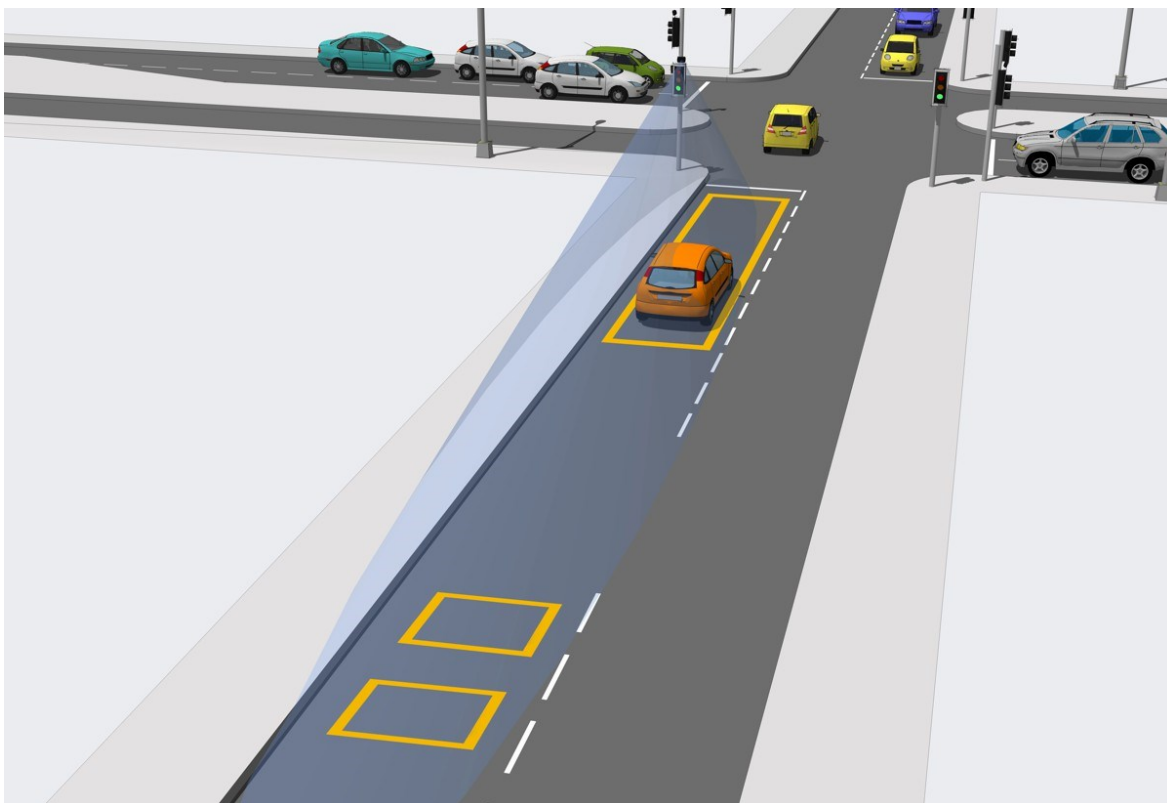
Detekce objektu je způsobena změnou indukčnosti „Indukční smyčka a kondenzátor je integrován do detektoru přes LC oscilátor. Proud prochází smyčkou vytváří siločáry magnetického pole kolem smyčky. Tyto siločáry magnetického pole vytváří po nejkratší cestě okruh kolem smyčky. Oscilátor rezonuje na základní frekvenci  $F_0$ . Po njetí vozidla na smyčku vstupuje vozidlo do magnetického pole smyčky. Magnetické siločáry jsou vychýleny a nemohou se uzavírat po nejkratší cestě. Toto snižuje indukčnost a zvyšuje frekvenci oscilátoru. Detektor indikuje tuto změnu. V případě, že frekvenční odchylka překročí nastavenou hodnotu citlivosti, výstup se sepne. Detektor zjistil objekt.“ [5]. Princip činnosti zobrazuje obrázek 2.3.

Jedná se o nejrozšířenější způsob indikace vozidel v ČR. Skvěle působí na kovové materiály, takže lze zajistit i informaci o cyklistovi, pokud je jízdní kolo vyrobeno z kovových materiálů.



Obrázek 2.3 Indukční smyčka – princip [7]

Pokud umístíme dvě indukční smyčky od sebe na známou vzdálenost, jednotka zaznamená čas přejezdu vozidla nad první smyčkou, totéž zaznamená při průjezdu druhou smyčkou, tímto systémem lze určit průměrnou rychlost vozidla. Případně, svítí-li na semaforech, u nichž jsou instalovány detekční smyčky, červená, lze určit hustotu provozu. Příklad: Je-li smyčka 2 m před STOP čarou a druhá smyčka je vzdálena od první přibližně 30 m, a zároveň obě smyčky budou indikovat přítomnost vozidel, lze předpokládat, že v daném jízdním pruhu stojí minimálně 5-6 aut. Tuto informaci může řídicí jednotka vyhodnotit jako „zhoустnutí“ provozu a následně uvolnit příslušný jízdní pruh viz obrázek 2.4.



Obrázek 2.4 Indukční smyčky v praxi [10]

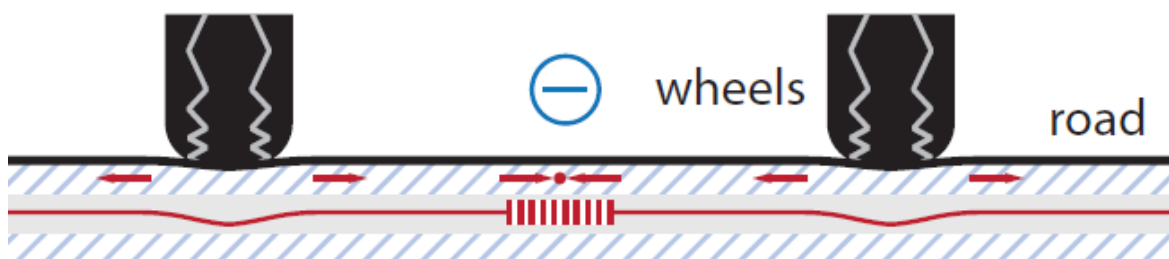
Vedení indukční smyčky se umísťuje přibližně 120 mm pod povrch vozovky [11].

Nevýhoda aplikace indukčního detekčního prvku spočívá v nutnosti stavebního zásahu do vozovky, přesněji vyfrézovat povrch na dostatečnou hloubku, umístit indukční vedení a opět zalít asfaltem či betonem. Stejný postup je potřeba opakovat v případě poruchy na vedení.

#### 2.1.4 Optické vlákno

Z nevýhod předchozího detekčního prvku se objevují i senzory pracující s optickým vláknem. Pro měření se používá vláknová Braggova mřížka (FGB), která je obdobou tenzometrického snímání deformace. V jedné mřížce může být připojeno i několik set senzorů. Sensory na jednom optickém vlákně mohou být různě vzdáleny od sebe. Což vede k přesnějšímu vyhodnocení [12].

Při průjezdů vozidla se vlivem váhy vozu (na úrovni styčné plochy vozidla s vozovkou, tedy pneumatikami) tlakem deformuje optické vlákno uložené pod povrchem vozovky. Podle úrovně deformace dochází k odrazu světelného paprsku a tento odražený světelný paprsek se vyhodnocuje [14]. Z tohoto principu lze detekovat pohyb vozu, váhu vozu i dokonce šířku vozidla viz obrázek 2.5.



Obrázek 2.5 Deformace optického vlákna ve vozovce [13]

V ČR se tímto způsobem měření zabývá zlínská firma Cross Zlín a. s., která přišla s inovací dynamického vážení vozidel za jízdy právě za pomoci optických vláken. „Senzor je ve vozovce uložen v montážním žlabu s možností jeho rychlé servisní výměny bez jakéhokoliv poničení povrchu vozovky. Přívodní optické kabely jsou vyvedeny montážním žlabem bez nutnosti řezání kabelových tras do povrchu vozovky. Jakmile bude senzor na konci své životnosti, což se očekává po 10 letech provozu, bude spočívat údržba pouze ve výměně samotného senzoru v lůžku, bez nutnosti dalšího zásahu do povrchu vozovky“ [14].

### 2.1.5 Trolejový spínač

Z názvu je patrné, že se jedná o spínač na trolejích (trolejbus, tramvaj). Smysl použití je především pro efektivitu a plynulost MHD i v největších dopravních špičkách. Podle nastavení priority dané křižovatky rozdělujeme chod křižovatky na plnou či podmíněnou preferenci. Plná preference umožní tramvaji vždy plynulý průjezd křižovatkou. Snímač je umístěn v takové vzdálenosti od středu křižovatky, aby měla ostatní vozidla prostor k včasnému a bezpečnému uvolnění křižovatky, aniž by tramvaj musela zastavit. S podmíněnou preferencí může tramvaj či trolejbus na křižovatce chvíli čekat, doba čekání závisí na míře nastavené podmínky. Tento scénář je zaveden na velmi vytížených místech, kde by nebylo přijatelné zastavit hlavní tah pokaždé, kdy jede trolejový dopravní prostředek [1].

### 2.1.6 GPS

Princip je podobný jako výše popsany trolejový spínač. Tento způsob detekce se využívá u autobusů MHD. Jelikož autobusy nejsou vybaveny trolejemi, je zde použit systém GPS integrovaný v palubním přístroji autobusu. Ve městech mají řadiče zakódované trasy jednotlivých linek autobusů. Údaje o konkrétní poloze autobusu je vysílán nejbližšímu příslušnému řadiči. Ten přizpůsobí intervaly semaforů na křižovatce tak, aby autobus, až dosáhne úrovně křižovatky, mohl plynule projet [1].



## 2.2 Metody detekce chodců u přechodu

Přecházení chodců přes silnici by v mnoha případech a na mnoha místech bez světelné signalizace bylo téměř nemožné. Z tohoto důvodu jsou i pro chodce vyčleněny vlastní semaforey, které jsou spolu s hlavními dopravními semaforey řízeny společně, tak, aby byla zabezpečena maximální bezpečnost chodců i efektivita provozu. Avšak aby byla zachována plynulost provozu, řada semaforů pro chodce se musí pomocí detekčních prvků přihlásit o zařazení do momentálního algoritmu křižovatky.

Stisk tlačítka či detekce osoby ovšem nezaručí okamžitou změnu semaforu z červené na zelenou. Osoby čekající na přechodu se teprve přihlásili o zařazení do algoritmu řízení křižovatky. Od tohoto okamžiku se většinou počká na doběh aktuálního cyklu pro vozidla a žádost o přednost pro chodce tak bude vyřízena po doběhu předešlých cyklů [15].

Opakované mačkání tlačítka nepomůže k urychlení změny směru. Tento stav je ošetřen programově, aby tímto zneužitím nedocházelo k výraznějšímu omezení provozu vozidel.

Okamžité vyhodnocení detekce osob na přechodu mohou realizovat semaforey, které jsou určeny pouze pro chodce. Tedy pokud se jedná o průběžný silniční tah bez křižovatky a je na něm umístěn přechod. V této situaci k zastavení provozu a puštění chodců přes přechod dochází bez prodlevy [15].

Detekční prvky mohou být opatřeny akustickým doprovodným signálem pro nevidomé. Tento signál je odlišný v situaci, kdy svítí červená a kdy svítí zelená. Je tak dosaženo jednoznačnému určení světelného signálu na semaforu.

### 2.2.1 Mechanické tlačítko

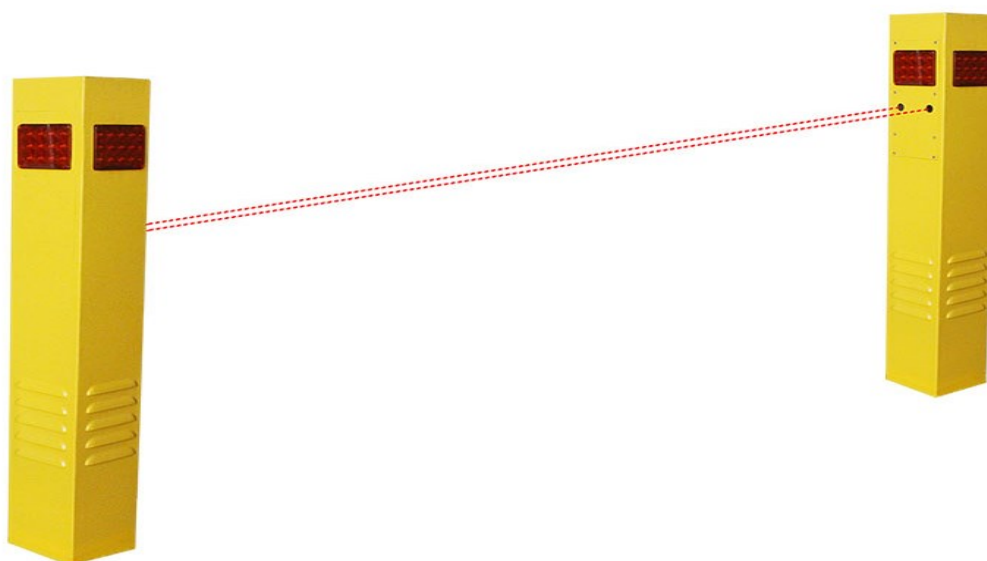
Tlačítko je stále nejvíce zastoupeným detekčním prvkem pro chodce. Jedná se o nejjednodušší způsob detekce, tedy fyzický stisk mechanického tlačítka osobou stojící na přechodu.

Moderní mechanická tlačítka svou velikostí styčné plochy umožňují případný stisk například předloktím či loktem, pokud by se někdo z hygienických důvodů nechtěl dotýkat tlačítka přímo prsty.

### 2.2.2 Reflexní závora

Jedná se o elektronicko-optický prvek fungující na principu přerušení světelného paprsku (obrázek 2.6). Detekce může být buď jednosměrná, kdy je na jedné straně vysílač a na druhé přijímač, nebo reflexní, kdy je přijímač a vysílač umístěn v jednom zařízení a vyslaný světelný signál se odrazí od odrazky umístěné na druhé straně [16].

Při přerušení paprsku je zaznamenána překážka, v tomto případě stojící chodec před přechodem.



Obrázek 2.6 Reflexní závora [18]

### 2.2.3 Ultrazvukový senzor

Je zde využít odraz zvukového signálu od překážky. Senzor vysílá signál na frekvenci, která je lidským uchem neslyšitelná, nejčastěji v pásmu 44 kHz [17].

Při ultrazvukovém či radiovém senzoru je třeba zvážit vhodnou vzdálenost, kde budou detekční prvky aktivní a kde nebudou reagovat. Mohlo by tak dojít k nevhodné detekci procházejících osob.

### 2.2.4 Radiový senzor

Jedná se o radiofrekvenční senzor, který pracuje běžně v pásmu 5,8 GHz. Vysílá vysokofrekvenční elektromagnetické vlny a při detekci pohybu reaguje na změnu homogenity tohoto elektromagnetického pole [17].

Největší výhoda reflexních, ultrazvukových či radiových senzorů je v absenci fyzického sepnutí dotekem. To značně pomůže osobám fyzicky hendikepovaným, kteří by byli limitováni u mechanických detekčních prvků.

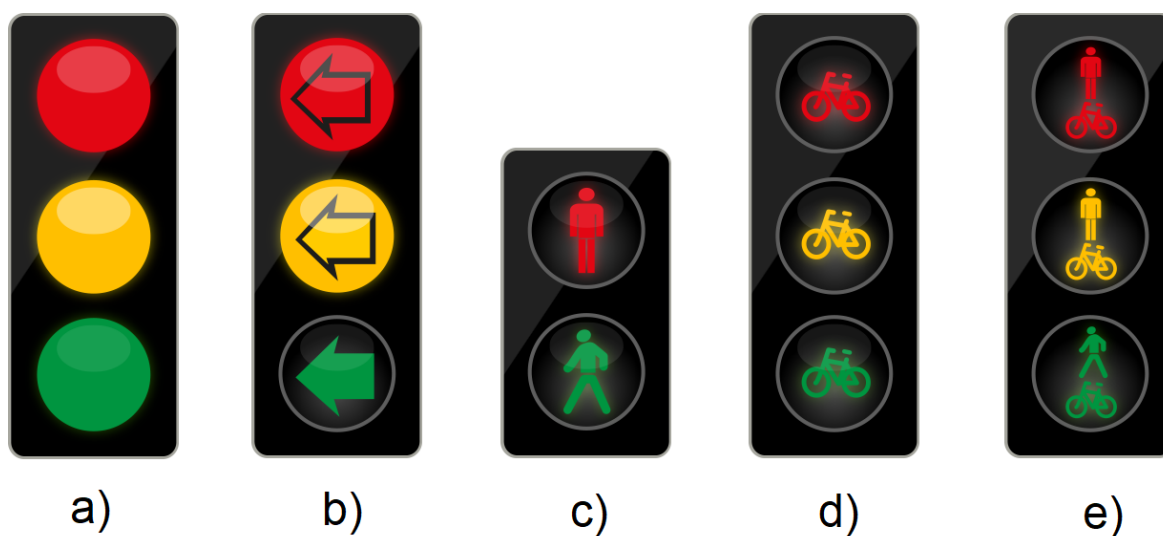
### 3 Přehled semaforů

Každý stát se zpracováním světelných signalizačních zařízení méně či více odlišuje. Dodržuje se základní koncepce barev červená, oranžová a zelená. Zbytek zpracování, orientační poloha semaforu, doplnění o různá bezpečnostní návěstidla či informační doplňky se různí.

#### 3.1 Typy semaforů v ČR

Nejběžnější typy semaforů na pozemních komunikacích v ČR jsou ukázány na obrázku 3.1.

- a) Semafor pro auta s plným světlem
- b) Semafor pro auta se světelnou šipkou
- c) Semafor pro chodce
- d) Semafor pro cyklisty
- e) Semafor pro chodce a cyklisty



Obrázek 3.1 Semafor v ČR [19]

#### 3.2 Systémy světelného řízení používané ve světě

Tato podkapitola přiblíží různé řešení bezpečnostních prvků v různých zemích.

Na bezpečnost chodců je všeobecně kladen veliký důraz. Některé země proto u semaforů pro chodce používají i časovač, jak dlouho bude trvat aktuální stav. Tedy čas, jak dlouho bude ještě svítit zelená, následně po změně stavu, jak dlouho bude svítit červená.

Ve větších městech států západní Evropy lze narazit na variantu, kde je vrchní světlo tvořeno postavičkou a spodní světlo je tvořeno samostatnou časomírou. Pokud se nachází

v režimu „Volno“, rozsvítí se zeleně symbol kráčejího panáčka spolu se zeleným odpočtem, jak dlouho bude tento stav trvat, než s změni [20]. Při změně stavu na „Stůj“ se změni symbol na stojícího panáčka podsvícen červeně doplněn o červený odpočet (viz obrázek 3.2 a).

Ve několika státech USA lze najít semafor pro chodce, který má v jedné polovině symbol ruky a v druhé polovině odpočet (viz obrázek 3.2 b). Podle stavu („stůj“, „běž“) se display podbarví červeně či zeleně. Pro lepší rozeznání je tvar ruky v každém stavu jiný [21].

Arabské země mají variantu, kde se střídá pozice odpočtu s pozicí panáčka. Tedy v propustném režimu je časomíra nahoře a dole je rozsvícen zelený, kráčejí panáček. Při závěrném stavu se časomíra přemístí na spodní pozici a nahoře se rozsvítí červeně stojící panáček (viz. obrázek 3.2 c).



a)



b)



c)

Obrázek 3.2 Semafore pro chodce ve světě a) Semafor v Rakousku [20] b) Semafor v Colorado, USA [21], c) Semafor v Dubaji [21]

Obdobná řešení se vyskytují i na semaforech pro vozidla. Toto rozšíření o odpočet času je velmi populární napříč kontinenty. Můžeme ho vidět jak v Evropských státech, státech USA, Rusku i v Asijských zemích jako Vietnam či Japonsko [22].

Rozšířenější varianta je s instalovanou časomírou vedle původního semaforu viz obrázek 3.3 vlevo. Může být umístěno na pravém světle, pokud je použita tzv. brána, tedy že je konstrukce semaforů přes celou silnici, upevňují se časomíry doprostřed brány, aby byla viditelná i z ostatních pruhů.



a)  
Obrázek 3.3 Dopravní semaforey ve světě, a) Semafor s časomírou v Rakousku [22], b) Semafor s časomírou v Rusku [23]

Zajímavé a úsporné řešení je nalezení třeba v Rusku (obrázek 3.3 b). Zde je časomíra implementována přímo do světelného zařízení, tedy na pozici, kde se nachází oranžové světlo „Pozor“. Pokud se semafor nachází v režimu „Stůj“ či „Volno“ je aktivován odpočet a podsvícen barvou shodnou s aktuálním režimem. Tedy červeně či zeleně. Pokud dochází ke změně stavu, časomíra zmizí a na jejím místě se rozsvítí oranžové světlo „Pozor“. To samo o sobě časovač nemá, jelikož se jedná o přechodný stav, kdy by vozidla již neměla vjíždět do křižovatky.

## 4 Vlastní návrh

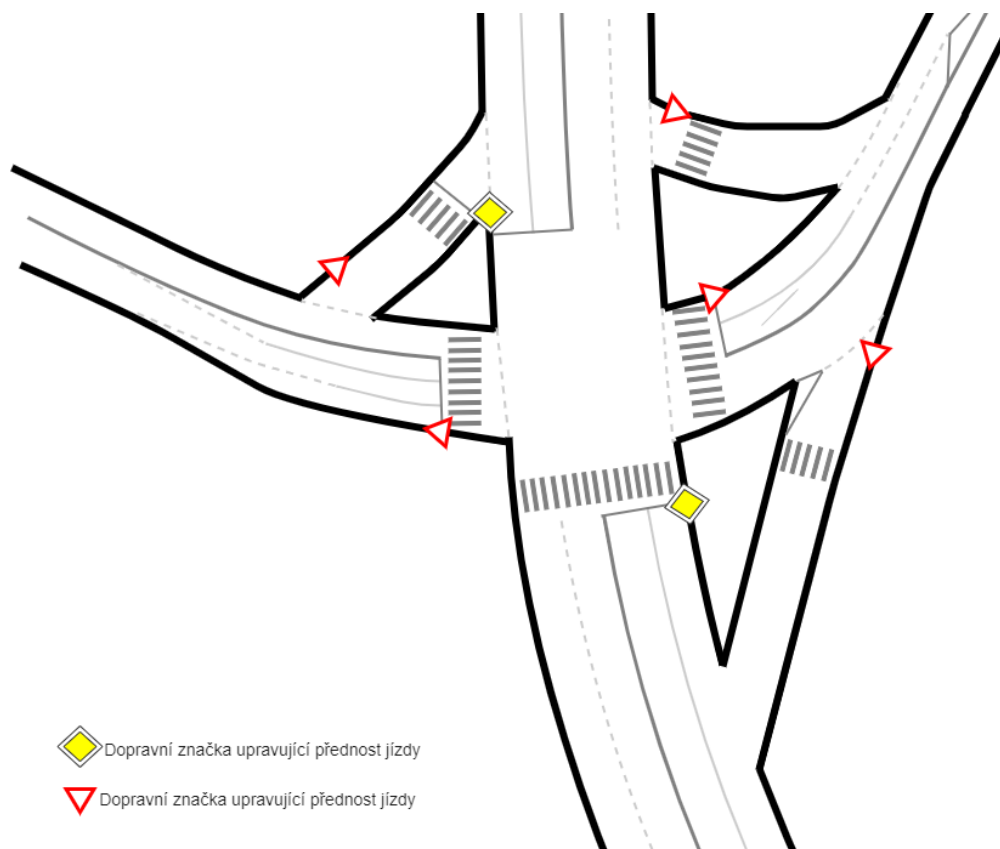
Tato kapitola se věnuje popisu již konkrétní realizace modelu, grafického zobrazení křižovatky, popisu aktuálního stavu a popisu upraveného řešení, pro zvýšení bezpečnosti a efektivity provozu.

Pro vytváření schématu byl použit online program diagrams.net. Schéma je defacto obkreslené ze satelitního snímku z portálu Mapy.cz, tedy poměr hlavních a vedlejších pozemních komunikací, tvary a rozmístění vodorovného značení jsou shodné s reálnou křižovatkou. Je zde absence znázornění zeleně, budov či pěších zón z důvodu nevyužití v této práci.

Semaforey jsou zakresleny symbolicky pro lepší představu. Jelikož skutečná konstrukce světelného značení je umístěna přímo na úrovni přechodu pro chodce, jsou na obrázku vychýleny, aby byly vizuálně vidět všechny důležité prvky křižovatky.

### 4.1 Křižovatka bez řídicích prvků

Na obrázku 4.1 je znázorněná konkrétní křižovatka bez vyobrazení světelného značení. Přednost v jízdě je zde určena pouze dopravními značkami určující právo přednosti v jízdě. Dopravní značky jsou zachovány pro případ, že by došlo k výpadku elektrického proudu a světelné značení by bylo mimo provoz.



Obrázek 4.1 Křižovatka bez světelného značení

## 4.2 Ideální osazení křižovatky

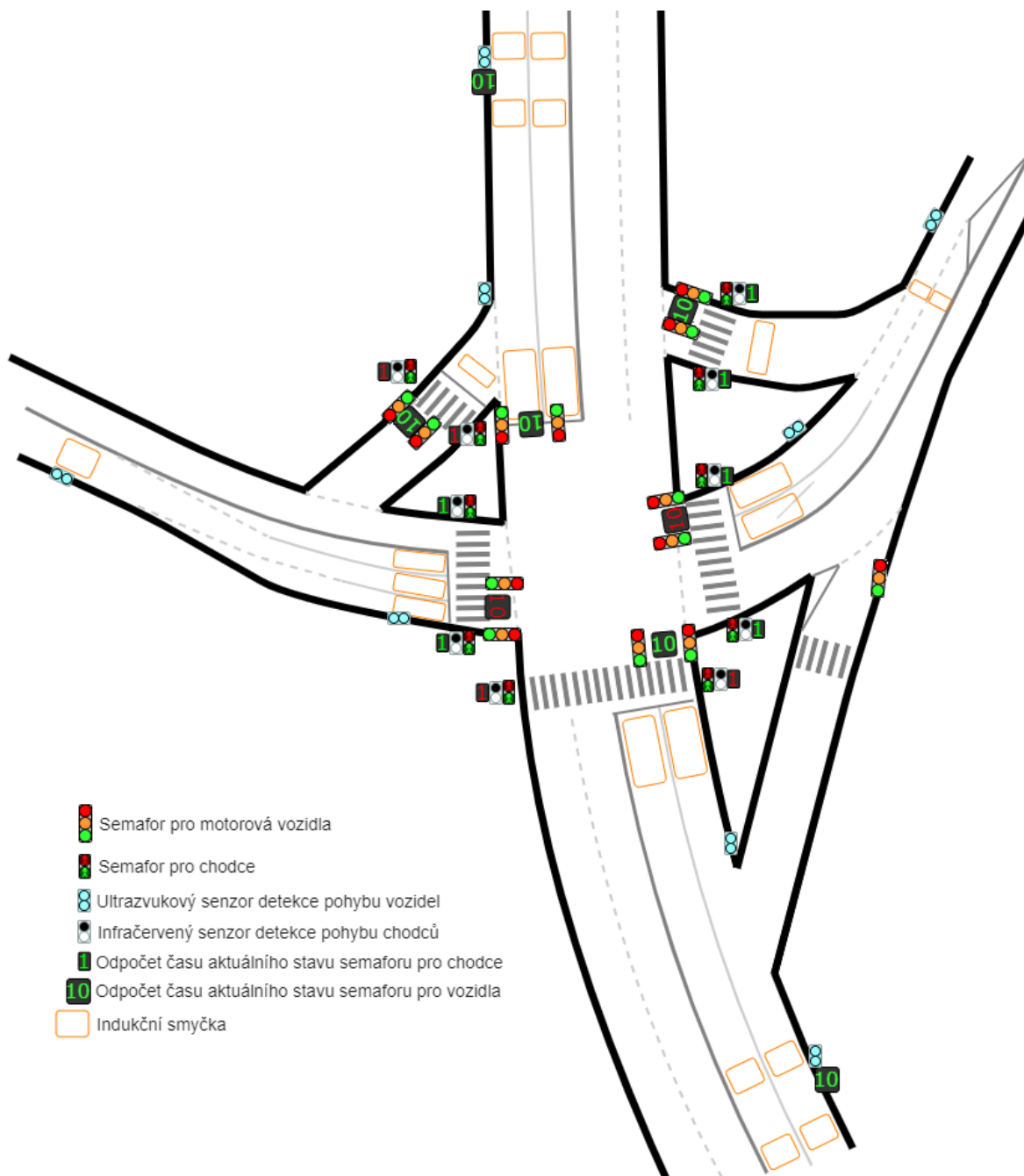
Následující návrh je osazen nejlepšími možnými detekčními prvky, které jsou schopny maximálně predikovat povahu aktuálního dopravního vytížení.

Rozvržení a uvážení prvků je pouze v teoretické rovině, jelikož by bylo nemožné osadit současnou křižovatku v takové míře, v jaké je vyobrazena na obrázku 4.2. Úprava by vyžadovala, především kvůli implementaci indukčních smyček do povrchu vozovky, náročné stavební úkony, které by při modernizaci vedly k uzavření konkrétního směru. To je vzhledem k dopravní vytíženosti značně limitující.

V návrhu uvažuji indukční smyčky pro všechny směry. Dokonce se v jednotlivých jízdních pruzích nachází vícero smyček jdoucích po sobě. Smyslem je možnost přesného určení případné vznikající fronty vozidel v jednotlivých směrech. Případně schopnost měřit průměrnou rychlost pohybujících se vozidel, princip funkce je nastíněn v podkapitole 2.1.3.

Indukční smyčky oproti ultrazvukovému senzoru mají výhodu při více jízdních pruzích. Zatímco smyčky dokážou přesně detekovat vozidlo v daném směru, ultrazvukový snímač je již omezen dosahem a možným znehodnocením výsledku v momentě, kdy jedou vozidla souběžně. Zde senzor zachytí pouze bližší vozidlo a druhý vůz bude pro senzor „zastíněn“. Nedostatek lze vyřešit umístěním senzorů například na vrchní konstrukci semaforů kolmo k vozovce, tím by došlo ke snímání projíždějících vozidel vertikálně. Výsledky měření by dle mého neměly žádné opodstatnění, jelikož nás zajímá vznik možné kolony a senzory umístěné až na úrovni semaforu tento stav nezjistí.

I přes to jsem se je rozhodl v teoretické rovině využít na úkor možného „nepřesného“ měření. Využití budou mít formou záložního řešení v případě výpadku měření indukčních smyček.



Obrázek 4.2 Ideální osazení křižovatky

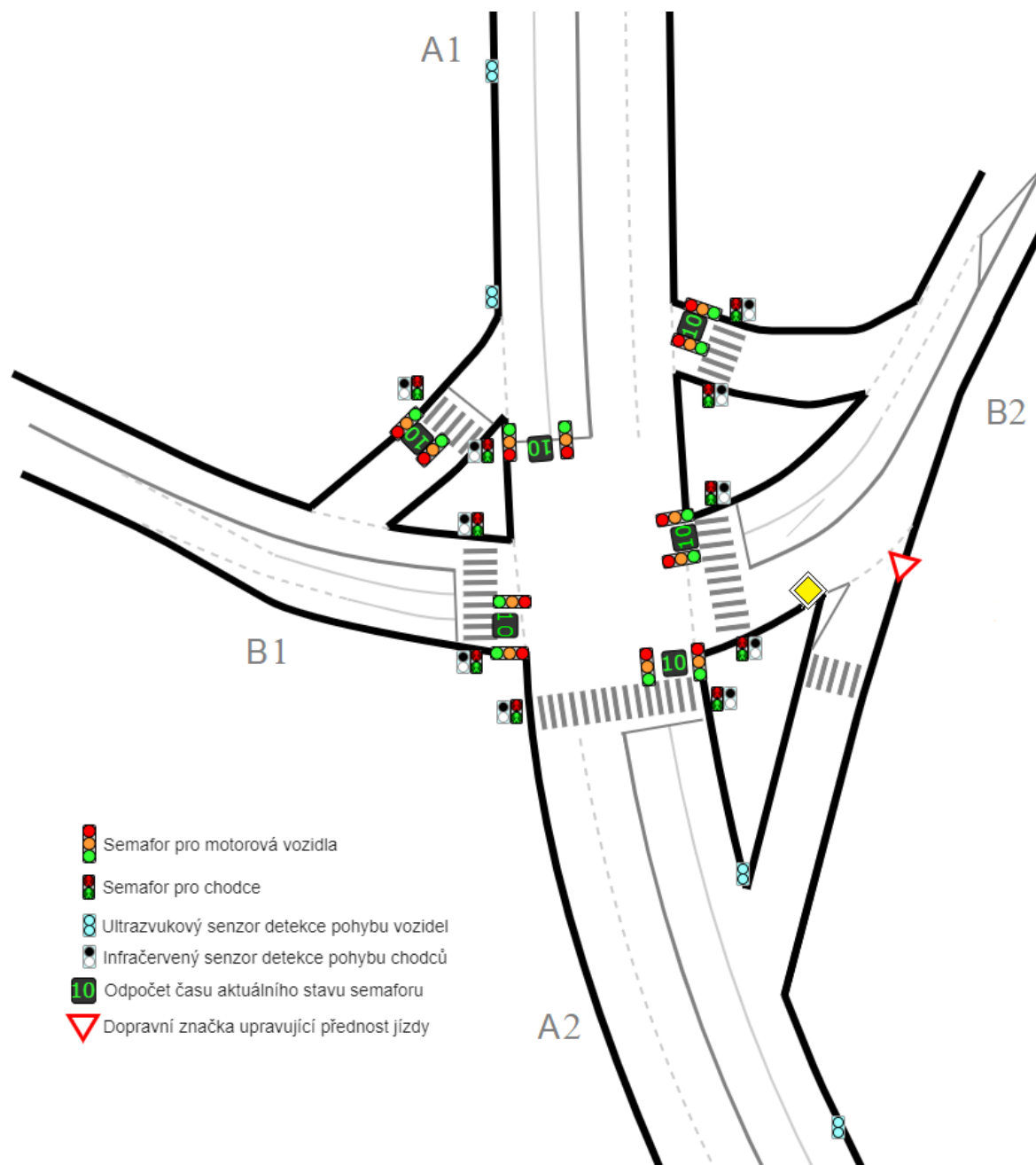
Uvažuj i s využitím časomíry „průběžné“, které je umístěné cca 80 – 100 m od hranice křižovatky, a časomíry umístěné na konstrukci SSZ. Obě mají své opodstatnění, která budou zmíněna dále v textu.

Nové osazení je viditelné i u přechodu pro chodce. Každý přechod je osazen bezkontaktním senzorem a svou časomírou. Bezdotykové řešení namísto mechanického tlačítka je jednak hygieničtější, a navíc umožňuje snadnější obsluhu například pro fyzicky hendikepované. Časomíra ukazuje chodcům, jak dlouho bude svítit buď červená či zelená barva. Chodci tak budou vědět, kdy se můžou připravit ke vstupu na přechod.



### 4.3 Modifikovaný model křižovatky

Z důvodů realizace, cenových nároků na pořízení a efektivitu systému, byl navržen optimalizovaný systém řízení křižovatky, jehož schéma je ukázáno na obrázku 4.3. Ze schématu jsou patrné rozdíly mezi modifikovanou a ideální křižovatkou.



Obrázek 4.3 Modifikovaný model křižovatky

Zásadní změna proběhla u absence detekčních smyček, jejichž aplikování je náročné na stavební úpravy povrchu vozovky. Na hlavní silnici zůstaly umístěny dvojice ultrazvukových snímačů. To bylo učiněno z výše zmíněných ekonomických důvodů. Ultrazvukové senzory zůstaly zachovány na tahu A (hlavní tah), jelikož mají opodstatnění pro plynulost provozu v případě průjezdu nákladních aut, zemědělských souprav či autobusů.

Ultrazvukové senzory jsou tedy umístěny pro monitorování pravého jízdního pruhu, který tato vozidla, která se pomaleji rozjíždějí, využívají. Detekce vozidel pomocí ultrazvuku je použita v obou směrech ve dvou bodech. Toto umožňuje systému monitorovat hustotu provozu na hlavním tahu. A podle hustoty provozu uzpůsobit řízení křižovatky, a tím zvýšit propustnost křižovatky.

Časomíry jsou umístěny na konstrukci SSZ. To zaručí větší soustředění pozornosti řidičů. Při jednom pohledu na semafor uvidí v jednom zorném úhlu časomíru i semafor s aktuální rozsvícenou barvou. Je to z ohledu na pozornost méně nebezpečné, než kdyby byla časomíra umístěna mimo úroveň SSZ.

Vedlejší směry nejsou již tolik vytěžované, aby bylo třeba nutně aplikovat tyto detektory vozidel. Zachována zůstala časomíra, která informuje vozidla o čase zbývajícím do změny stavu. Na základě této informace mohou vozidla upravit svou rychlost. To vede ke zvýšení bezpečnosti průjezdu křižovatkou, jelikož vozidla upraví svou rychlost v předstihu a nemusí reagovat na rychlou změnu situace, v okamžiku, kdy to již nemusí být bezpečné.

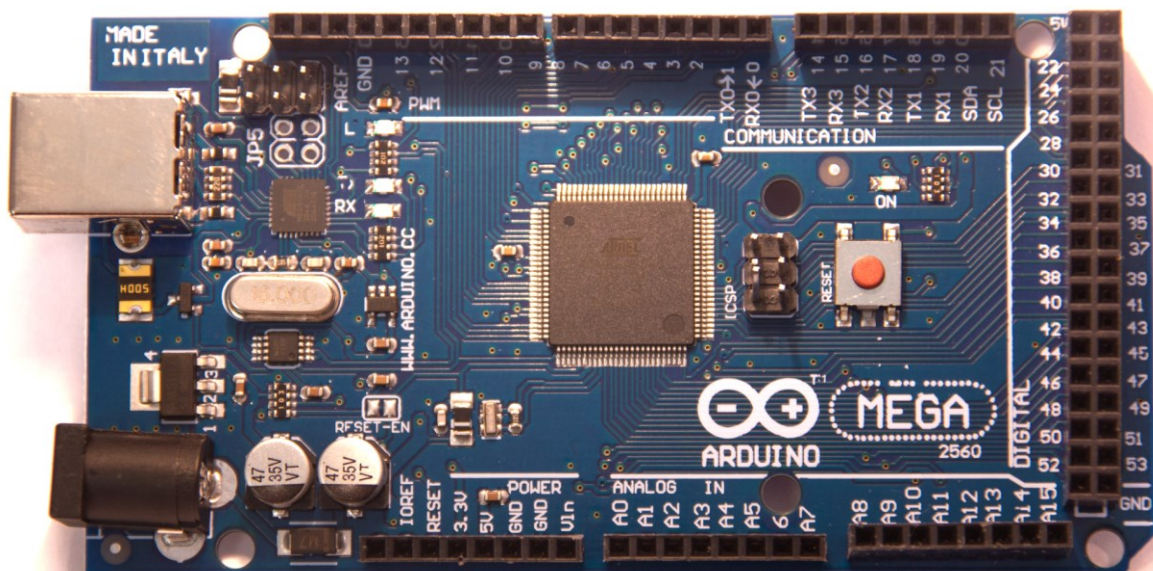
Přechody jsou vybaveny reflexními závorami, které řídí začlenění přechodu pro chodce do cyklu. Bezkontaktní řešení bylo zvoleno z hygienických důvodů. Jako senzor byl vybrán modul TCRT 5000, který obsahuje infra-diodu a fototranzistor, a při přiblížení ruky k senzoru dojde k sepnutí reflexní závory, tento systém je ekvivalentem k mechanickým tlačítkům. Systém po sepnutí zařadí přechod do fronty úkonů čekajících na vyřízení systémem. V následující kapitole je popsán výběr komponent pro realizaci tohoto řešení.

## 5 Výběr komponent

Program pro řízení křižovatky je uložen na mikroprocesoru ATmega, který je umístěn ve vývojovém kitu na bázi Arduino, tento vývojový kit byl zvolen z důvodu snadnějšího ladění programu. Pro detekci vozidel byly zvoleny ultrazvukové moduly na bázi Arduino a pro detekci chodců bylo navrženo zapojení s obvodem TCRT 5000. Informace pro řidiče jsou poskytovány pomocí modulu se sedmi-segmentovým displejem a 10 mm LED diod, které reprezentují světla semaforů.

### 5.1 Arduino MEGA 2560

Vývojové desky Arduino jsou jednodeskové počítače pracujících na mikroprocesorech ATmega firmy Atmel. Deska Arduino Mega 2560 (obrázek 5.1) byla vybrána pro tuto úlohu především z důvodu velkého množství pinů. Konkrétně tato deska disponuje 54 digitálních, vstupně výstupních pinů, z toho 15 pinů s možností PWM (pulzně šířková modulace) a 16 analogových vstupů [24]. Velikost flash paměti 256 KB je pro obsluhu křižovatky více než dostačující.



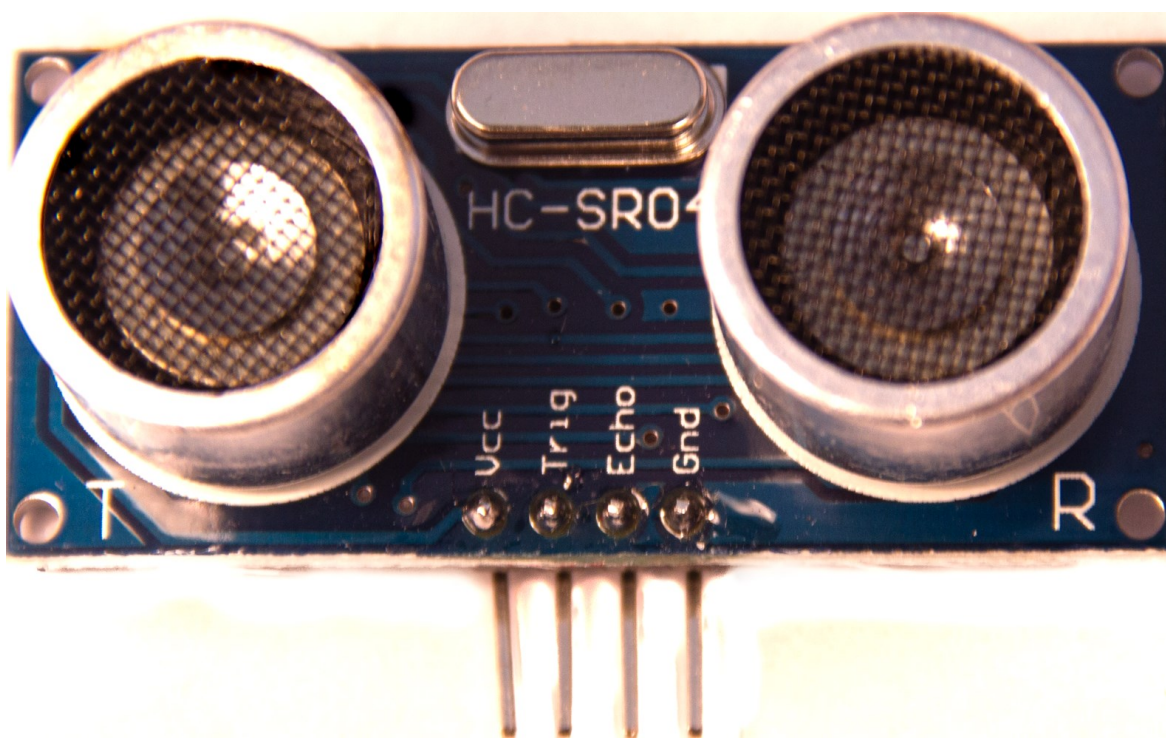
Obrázek 5.1 Arduino MEGA (vlastní fotka)

System obsahuje celkem 4 moduly s ATmega 2560. Každý modul obstarává řízení jednoho směru. Jeden modul byl zvolen jako řídicí (master), a ostatní pracují v režimu podřízeném (slave). Řídicí modul určuje, co budou které části zobrazovat, data ze senzorů si zajišťuje sám, nebo přes I2C sběrnici od ostatních modulů.

## 5.2 Ultrazvukový modul měření vzdálenosti HY-SRF05

Detekci vzniku kolony řeší modul pro měření vzdálenosti HY-SRF05. Princip měření spočívá ve vyslání signálu a následnému příjmu odraženého signálu od překážky. Signál pracuje na frekvenci 40 kHz, což je mimo vnímání lidského ucha. Detekce je výrobcem garantována do vzdálenosti 4,5 m. Vysílací úhel signálu činí 15° [25]. Tento parametr může mít při detekci na větší vzdálenost za následek zkreslení signálu, jelikož snímaná plocha roste úměrně se vzdáleností detekovaného předmětu.

Komunikace modulu s procesorem je zajištěna dvěma vodiči, jeden pro vyslání dat a druhý pro příjem dat. Zbylé vývody slouží pro napájení 5V a zem GND viz obrázek 5.2.



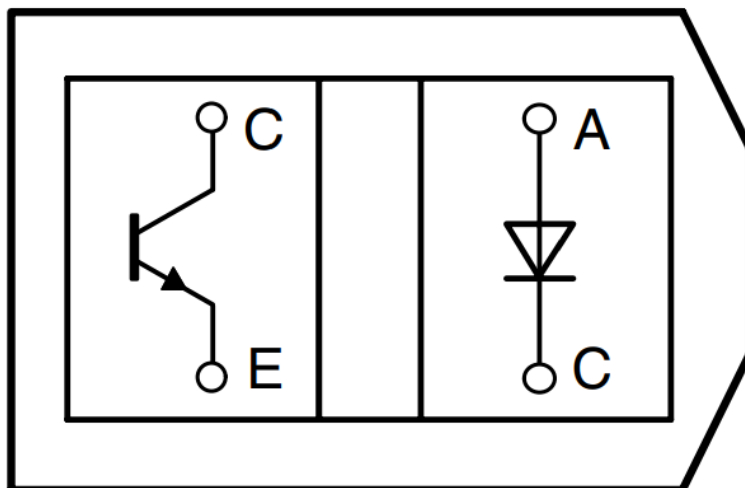
Obrázek 5.2 Ultrazvukový měřič vzdálenosti

## 5.3 Reflexní optický snímač TCRT 5000

Místo mechanického tlačítka na přechodu pro chodce bylo zvoleno bezkontaktní řešení formou reflexního optického snímače, konkrétně TCRT 5000. Výhoda je v řešení umístění infračervené diody a fototranzistoru do jednoho pouzdra viz obrázek 5.3. Není tak potřeba reflexní závory, která bude mít na jedné straně přijímač a na druhé vysílač.

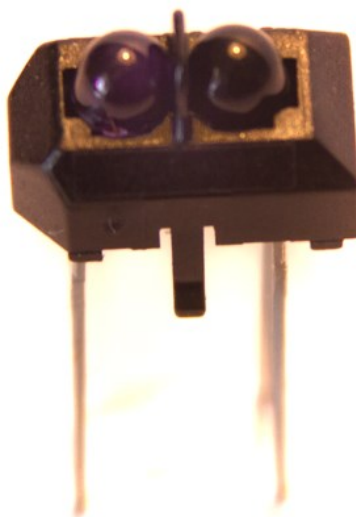
Snímač pracuje v detekční oblasti 0,2 – 15 mm, tato vzdálenost je plně dostačující na funkci tlačítka. Tato maximální vzdálenost zamezuje sepnutí v důsledku průchodu osob, které nechtějí přechod využít.

Princip měření je podobný s výše uvedeným ultrazvukovým snímačem polohy. Zde se vyzařuje infračervené světlo o vlnové délce 950 nm, které není lidským okem viditelné [26]. Světlo se odrazí od snímaného předmětu a vrací se zpět, kde jej vyhodnocuje fototranzistor.



Obrázek 5.3 Schéma TCRT 5000 [25]

Nevýhoda může být citlivost fototranzistoru. Přímé slunce nebo silný zdroj externího světla směrem na snímač může svou intenzitou světla přebudit infračervené světlo z diody a dojde tak k nežádoucímu zkreslení měření. Neduh rušení lze vyřešit přidáním světelného štítu na snímač, aby nedocházelo při normálních podmínkách k znehodnocení denním světlem. Reálné provedení čidla je na obrázek 5.4.

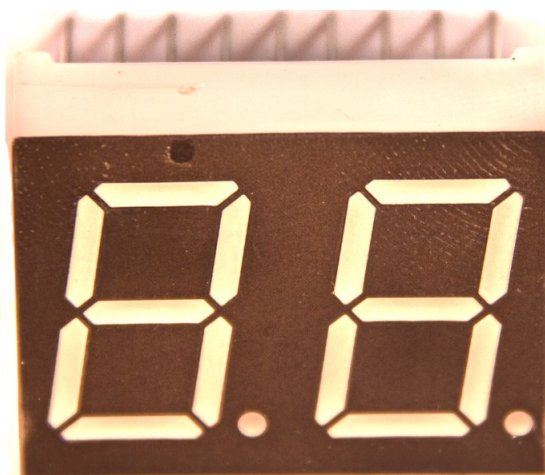


Obrázek 5.4 Reflexní snímač TCRT 5000

Aby nebyl potřeba světelný štít, bylo v této práci využito dvojí měření parametrů fototranzistoru. V prvním kroku se přivedeným signálem vybudí infra-diody a hodnota fototranzistoru se zaznamená. Ve druhém kroku již infra-diody budit nebudeme, jelikož sledujeme, jak na fototranzistor působí externí zdroj světla. Naměřený údaj z druhého kroku považujeme za rušivé hodnoty signálu. Výsledný signál spočítáme jako rozdíl druhého a prvního kroku, tím dostaneme hodnotu, při které byla detekce zapříčiněna pouze pohybem nad reflexním snímačem, nikoli vlivem rušení, způsobeného externím zdrojem světla.

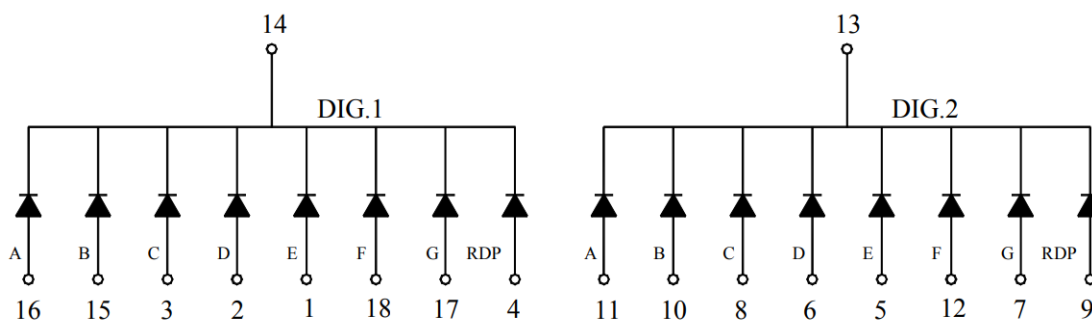
## 5.4 Sedmi-segmentový display

O zobrazení odpočtu času se stará dvou číselný, sedmi-segmentový display. Sedm segmentů označuje počet „políček“ reprezentované LED diodami, na kterých se dá zobrazit čísla od 0 až 9 v digitální podobě. V případě dvou takovýchto segmentů uložených v jednu pouzdře lze přehledně zobrazovat čísla -9 až 99. To je zcela vyhovující rozsah pro projekt křižovatky. Docílí se tím odpočtu posledních 99 sekund před změnou směru.



Obrázek 5.5 Dvoučíslíkový sedmi-segmentový display

V této práci je použit display s označením LDD05AAG-101-02 od výrobce Wenrun. Display se skládá z dvou samostatných sedmi-segmentů zelené barvy, kde ke každému náleží 8 vodičů pro znaky a jeden vodič společné elektrody, zde konkrétně společná katoda viz obrázek 5.6.



Obrázek 5.6 Schéma zapojení sedmi-segmentového displeje [27][26]

## 5.5 LED diody

Poslední komponentou jsou LED diody. Pro lepší viditelnost a lepší realizaci modelu byly zvoleny diody od výrobce Luckylight o průměru 10 mm.

Použity jsou standartní barvy zelená, žlutá, červená. Vyzařovací úhel činí  $60^\circ$ . Vlnové délky barevných LED diod, jejich svítivost a katalogová čísla jsou [28]:

zelená 573 nm, 40 – 45 mcd, LL-1003GD2D-1A

žlutá 590 nm, 40 – 45 mcd, LL-1003YD2D-2Y

červená 624 nm, 160 – 270 mcd, LL-1003VD2D-V1-1A



*Obrázek 5.7 LED diody 10 mm*

## 6 Postup řešení

Práce byla tvořena v open-source prostředí Arduino IDE poskytovaným firmou Arduino. Výhoda této platformy spočívá v rozsáhlé nápovědě a komunitní podpoře. K volbě platformy přispěla i má dřívější osobní zkušenost s tímto prostředím.

Postup řešení spočíval v zapojení jednotlivých komponent, odzkoušení a sepsání dílčích programů metodou objektově orientovaného programování pro každou periférii samostatně. Tato metodika usnadní pozdější skládání podprogramů do jednoho celistvého celku bez potřeby výrazné změny struktury podprogramů. V první fázi byly otestovány dílčí komponenty, které byly následně sestaveny do finálního řešení. Konečné nastavení intervalů křižovatky a ošetření nežádoucích stavů bylo provedeno na tomto finálním řešení.

### 6.1 Koncept zařízení

System řízení křižovatky funguje na 4 vývojových modulech, kde jeden z nich je řídicí. Každý modul obsluhuje jeden celý dopravní směr i s přechody pro chodce, které se nacházejí v daném směru. Zapojení jsou odlišné v počtu zapojených LED diod, sedmi-segmentových displejů, reflexních závor a jedná-li se o hlavní tahy, poté jsou zde zapojeny i ultrazvukové snímače.

#### 6.1.1 Zapojení jednotlivých modulů

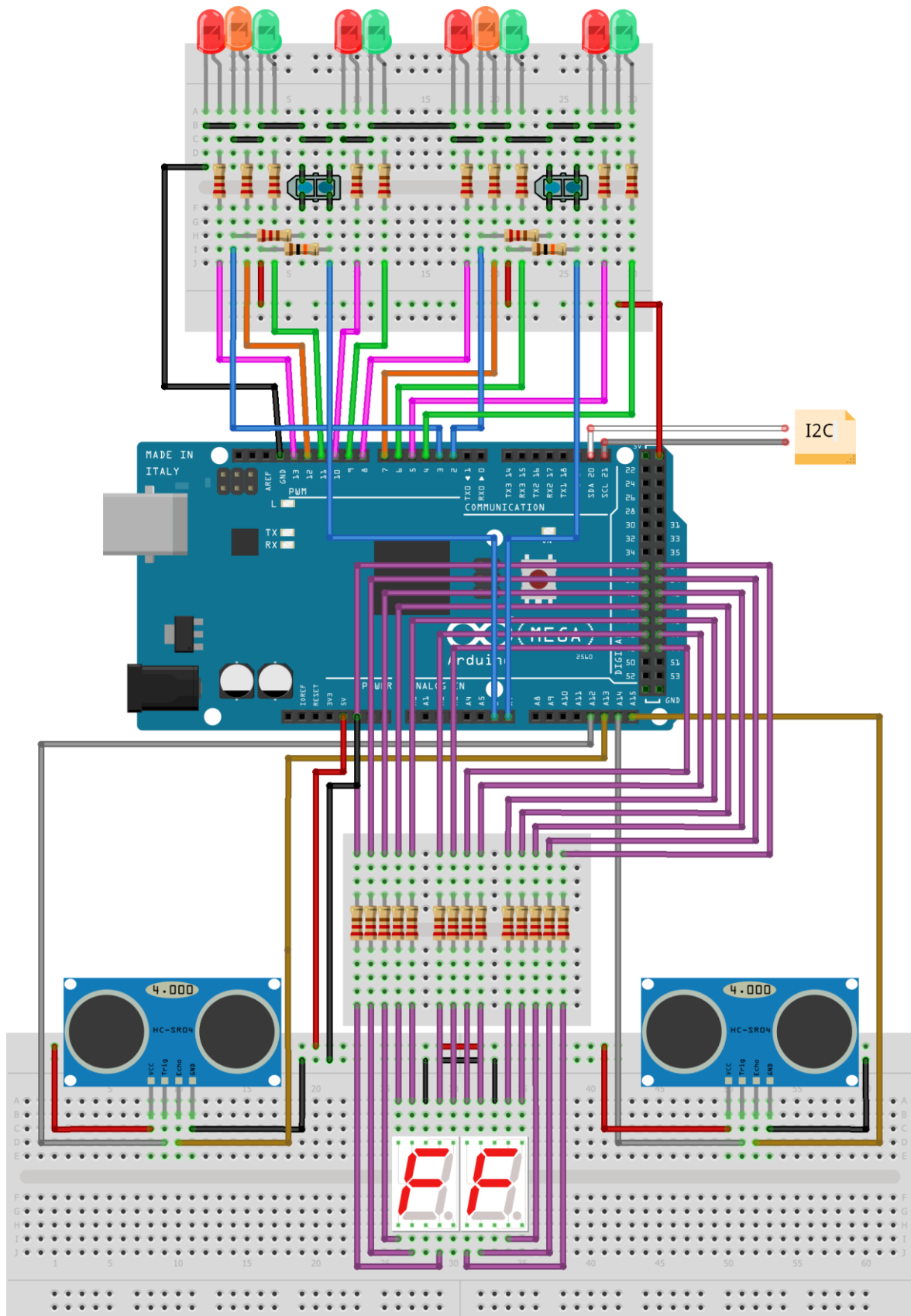
První modul funguje jako master (vysvětleno níže), ten obsluhuje tah A1, vyznačený v obrázku 4.3. Z obrázku lze vypožorovat, že se zde obsluhují 2 ultrazvukové snímače, jeden pár světelného značení pro průběžný silniční tah, jeden pár světelného značení pro pruh odbočující, dva sedmi-segmentové displeje, dvojice bezdotykových, reflexních snímačů pro chodce a dva semaforey pro chodce.

Druhý modul obsluhuje tah A2. Tento modul obsluhuje 2 ultrazvukové snímače, jeden pár semaforů pro vozidla, jeden sedmi-segmentový display, jeden pár semaforů pro chodce a dvojici reflexních závor pro chodce. Zapojení pro řízení tohoto směru je zobrazeno na obrázku 6.1.

Třetí modul řídí vedlejší tah B2 na obrázku 4.3. Proto zapojení obsahuje 2 páry semaforů pro hlavní a odbočující pruh, 2 sedmi-segmentové displeje, 2 páry semaforů přechodu pro chodce a 4 bezdotykové senzory.

Čtvrtý modul obsluhuje poslední směr. Tedy vedlejší směr B1 na obrázku 4.3. Zde zapojení obsahuje jeden pár semaforů pro vozidla, jeden sedmi-segmentový display, dva semaforey pro chodce spolu s dvěma senzory pro bezdotykovou detekci chodců.





Obrázek 6.1 Schéma zapojení

Schéma na obrázku 6.1 zobrazuje kompletní zapojení jednoho modulu, který řídí směr A2. Tento modul je vybaven ultrazvukovými senzory, ty slouží k detekci vznikajících kolon vozidel. Nákres je rozsáhlejší oproti reálnému rozložení, jelikož pro přehledné grafické zobrazení jsou zde zapojeny 3 univerzální nepájivá pole. Tento počet byl nezbytný pro zobrazení vedení vodičů, aniž by došlo k jejich vzájemnému překrytí.

Jedná se o reálné zapojení jednoho celého směru. V horní části obrázku 6.1 jsou zapojeny diody, reprezentující semafor. Kombinace barev červená, oranžová, zelená znázorňují světelné signály pro vozidla. Dvojice diod červená a zelená zastávají světelné signály pro chodce. Semafor pro vozidla v tomto zapojení jsou řízeny shodnými signály, nejedná se tak o 2 samostatné semaforův řídicí různé směry, ale o duplicitní semaforův pracující v jednom identickém směru. Semaforův pro chodce jsou také řízeny jedním společným signálem, jelikož přechod je otevřen pro oba směry.

Na stejném nepájivém poli lze pod diodami vidět dvě reflexní závory TCRT5000. Ty fungují jako bezkontaktní tlačítko pro zahrnutí přechodu pro chodce do cyklu křižovatky. Jeden vývod je přes rezistor 220 ohmů připojen na digitální I/O Arduina. Tento vývod slouží pro zapnutí a vypnutí infračervené budící diody. Druhý vývod je napřímo propojen na analogový pin. Tento výstup poté zjistí hodnotu fototranzistoru umístěného v pouzdře reflexního snímače.

V horní polovině schématu jsou ještě vyvedeny 2 nezapojené vodiče. Ty jsou vyhrazeny pro komunikaci s ostatními deskami pomocí sběrnice I2C.

Zapojení sedmi-segmentového displeje se dvěma číslicemi zabírá nejvíce pinů vývojového modulu. Celkem je tedy pro zobrazovač použito 14 datových vodičů a 2 zemnicí vodiče. Jelikož s vnitřně jedná o LED diody v jednotlivých segmentech, je třeba připojení rezistoru na každou diodu.

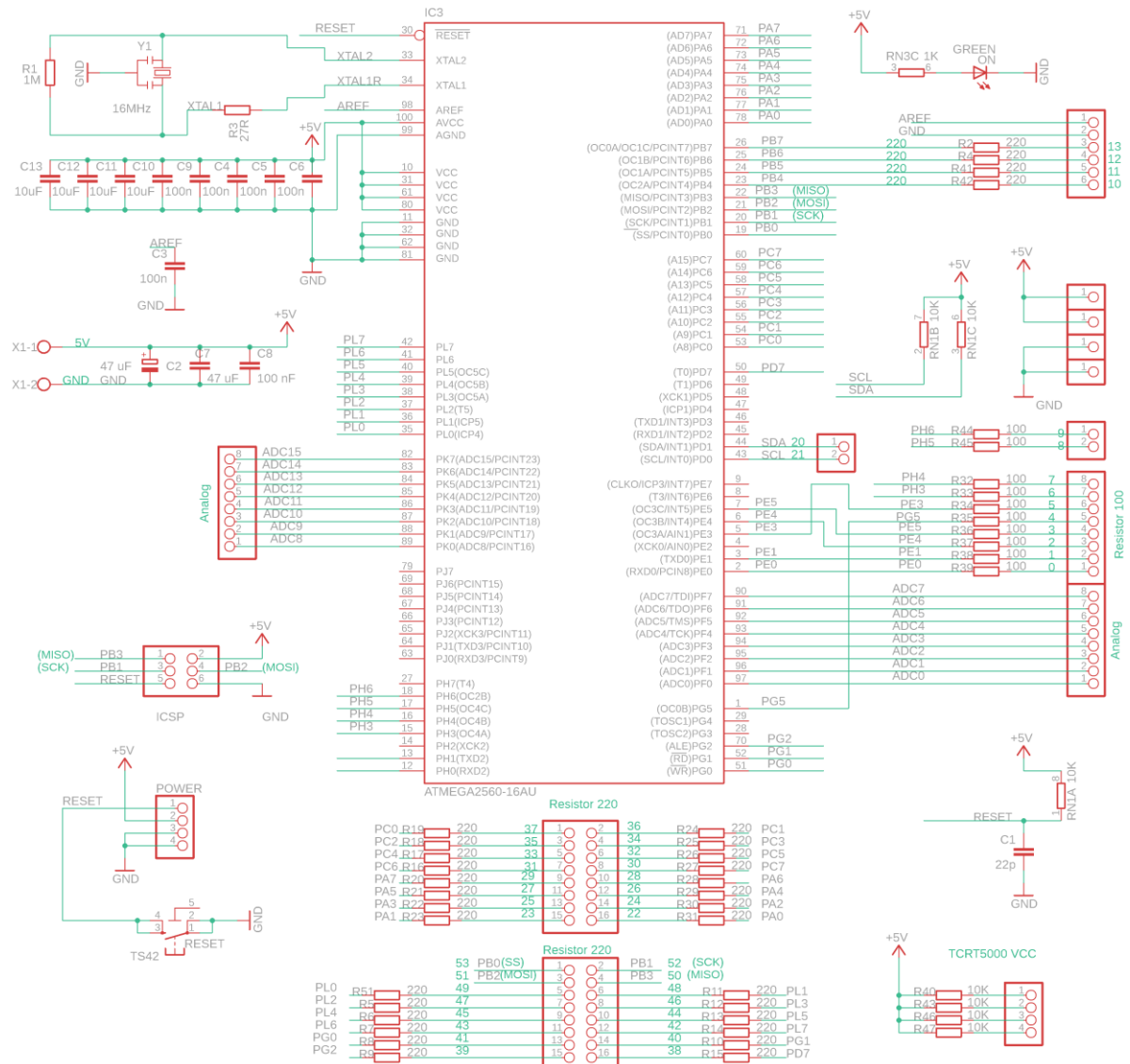
Poslední komponenty jsou ultrazvukové snímače polohy. Snímač obsahuje 4 vývody. První a poslední slouží k napájení samotného modulu. Vývod 2 je označen jako „TRIG“, a 3. vývod „ECHO“, tyto vývody jsou připojeny napřímo do Arduina, konkrétně do analogových pinů, avšak analogová složka pro funkci snímačů není potřebná.

## 6.1.2 Návrh plošného spoje

Model řízené křižovatky obsahuje velké množství komponentů vyžadující přídavný odpor. Rezistory pro správné fungování potřebují LED diody, sedmi-segmentový display i reflexní závora.

Z důvodu složitějšího zapojení plynoucího ze zapojení s univerzální deskou Arduino a externě zapojených rezistorů se nabízí tvorba vlastní desky, která je nakonfigurována konkrétním požadavkům řízení této křižovatky. Elektrické schéma vytvořené programem Eagle je na obrázku 6.2.

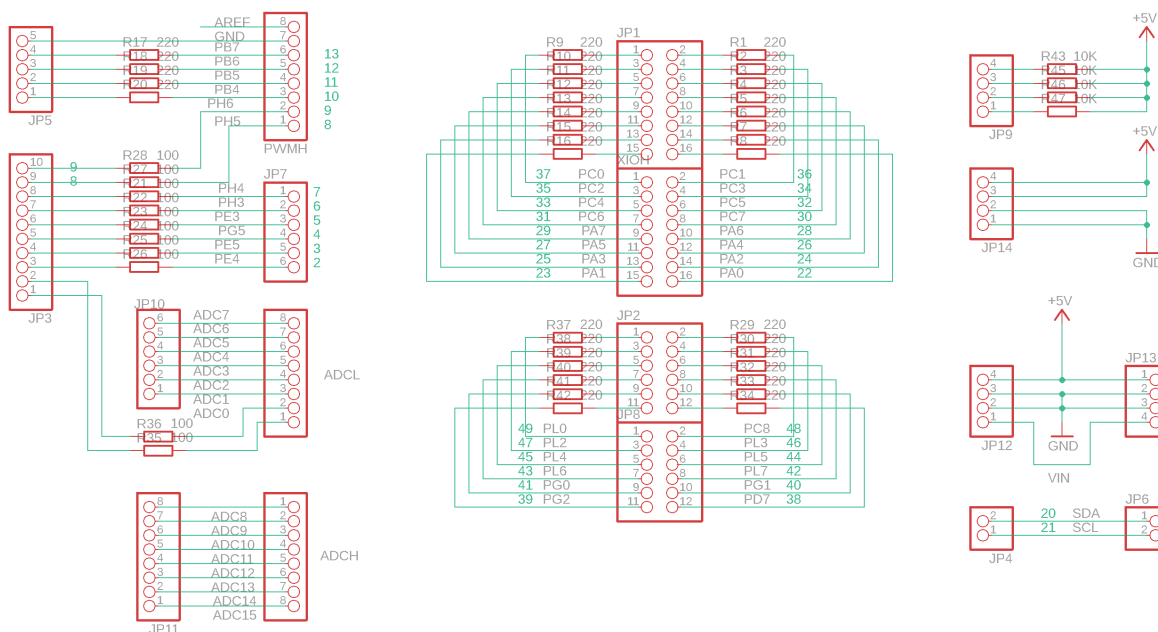
Jelikož první zapojení komponent, jejich testování a vzájemná komunikace byla v zapojení s klonem desky Arduino Mega 2560, proto i vytvořená deska využívá shodný procesor ATmega2560.



Obrázek 6.2 Elektrické schéma desky

Schéma modulu Arduino Mega 2560 je převzato od výrobce Arduino a upraveno pro konkrétní účely. Důvod převzetí již vytvořeného schématu je pouze z důvodů zachování rozměrů I/O pinů pro vytvoření kompatibilního rozvržení I/O pinů shieldu.

Tvorba celé desky je ideální řešení, avšak v této práci bylo přistoupeno k tvorbě rozšiřujícího modulu na desku Arduino Mega 2560, tzv. shieldu. Schéma je zobrazeno na obrázku 6.3.



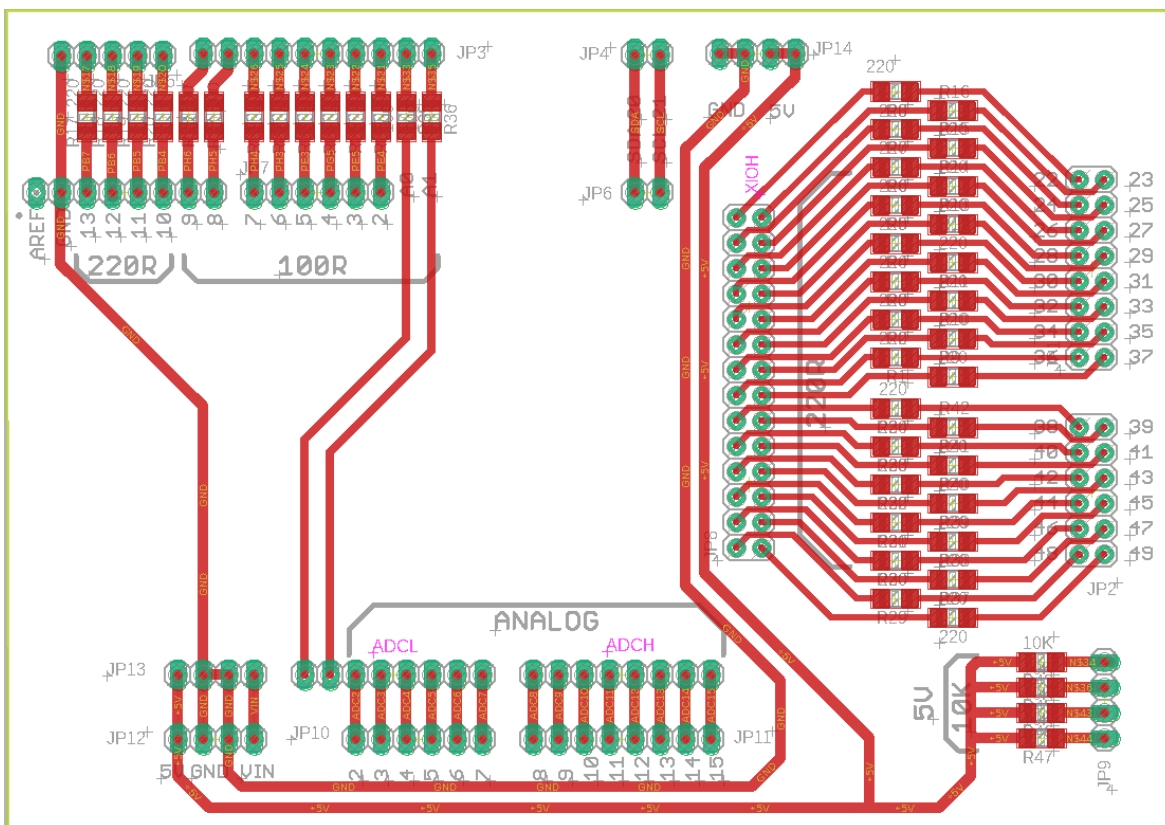
Obrázek 6.3 Elektrické schéma shieldu

Schéma obsahuje 32 pinů opatřených rezistorem o hodnotě 220 ohmů. 28 pinů je vymezeno na sedmi-segmentové displeje. Jeden dvou číslicový sedmi-segmentový display obsadí 14 pinů bez použití desetinné tečky. Křižovatka je ve dvou případech obsazena dvěma těmito displeji, což tedy zabere dvounásobek, tedy 28 pinů. Zbylé 4 piny s odporem 220 ohmů jsou určeny pro spínání infračervené diody u reflexních závor TCRT 5000. Všechny 4 piny jsou využity pouze v jednom případě, kdy se řídí vedlejší směr B, kde jsou umístěny 2 přechody pro chodce, každý přechod o dvou snímačích. Pro napájení senzoru TCRT5000 slouží vývody opatřené rezistorem o hodnotě 10k ohmů. Takové piny nalezneme na schématu 4, jelikož v řízení jednoho vedlejšího tahu B jsou potřeba najednou 4 reflexní závory.

Piny s čísly 0-9 jsou přiděleny pro obsluhu LED diod realizující semafor. Jeden vývod bude přivádět signál na 2 shodné diody stejné barvy, jelikož jsou semafony instalovány v páru, signál bude vždy stejný pro jednu barvu daného semaforu daného směru. Tímto ošetřením se ušetřila polovina vývodů potřebných pro řízení semaforů. Protože diody jsou zapojeny paralelně, bylo potřeba upravit hodnotu odporu, aby diodami procházel potřebný proud pro správnou funkci. Z hodnot uvedených v dokumentaci poskytnuté výrobcem a užitím Ohmova zákona byla stanovena hodnota odporu na 100 ohmů.

Externí napájení bylo předem vyřešeno rozveden síťového adaptéru pomocí vodičů +5V a GND. Z tohoto důvodu ve schématu nalezneme pouze dvou pólovou svorkovnici určenou pro desku plošných spojů.

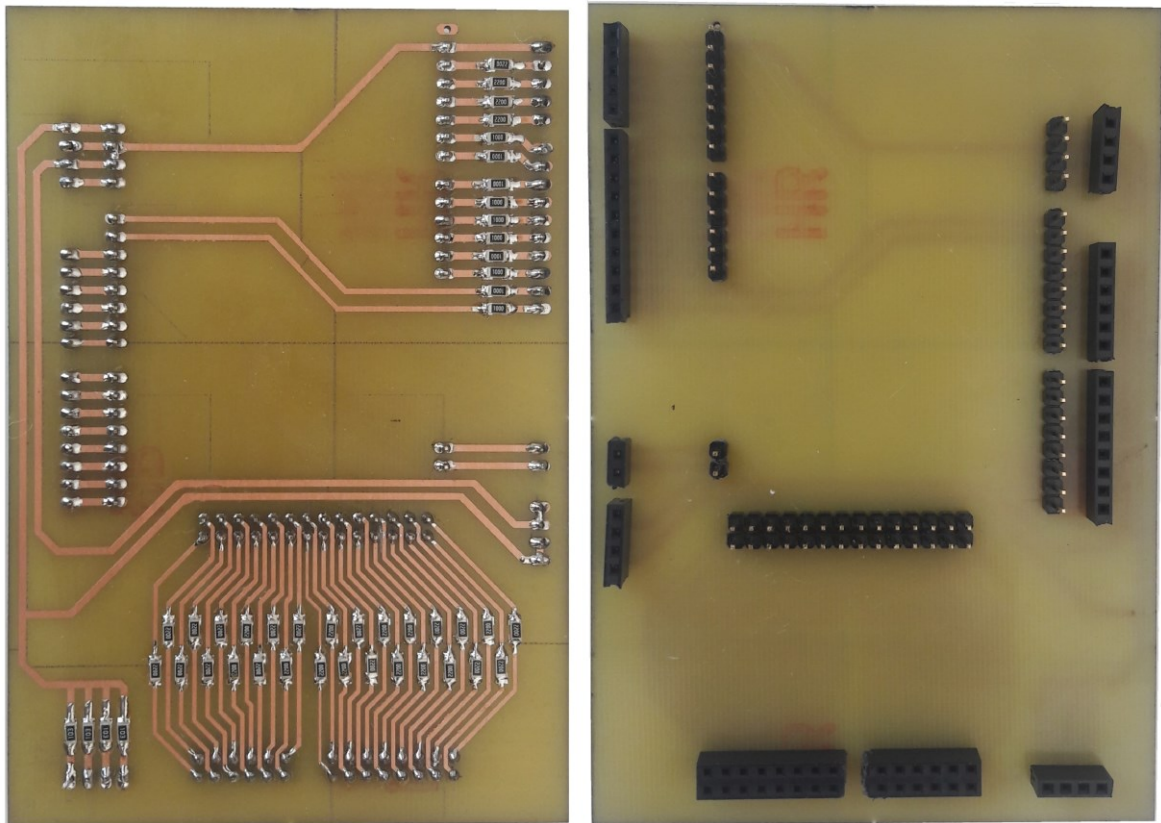
Komunikace s ostatními řídicími deskami probíhá pomocí sběrnice I2C, tedy pomocí pinů s kanály SDA a SCL. Pro následné pohodlnější zapojení jsou tyto piny vyvedeny na samostatný dvouzdiřkový konektor.



Obrázek 6.4 Návrh plošného spoje shieldu

Umístění jednotlivých součástek v zapojení rozšiřujícího modulu bylo situováno s ohledem na původní osazení vstupně výstupních pinů Arduino Megy 2560 viz obrázek 6.4. Z těchto pinů jsou vyvedené vodičové cesty osazeny příslušnými odpory dle potřeby konkrétní periferie. Vyvedení je zde provedeno pomocí pinů typu samice pro jednodušší manipulaci a zapojení daných komponent.

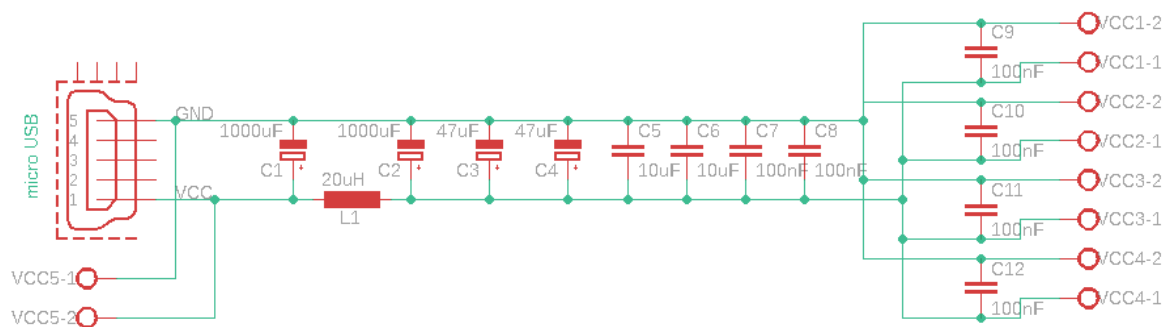
Konečný výsledek desky plošného spoje včetně osazení je na obrázku 6.5.



Obrázek 6.5 DPS shieldu

Každá deska potřebuje přívod svého vlastního napájení. Aby nebyl použit pro každé zařízení vlastní zdroj napájení, všechny desky jsou napájeny jedním síťovým zdrojem. Pro rozvedení napětí z jednoho adaptéru na 4 zařízení byla navržena vlastní deska. Schéma zapojení představuje obrázek 6.6, důvodem je, aby model nebylo nutné zapojovat do více elektrických zásuvek.

Pro odfiltrování nežádoucích složek spínaného zdroje slouží filtr zapojen jako PI článek.

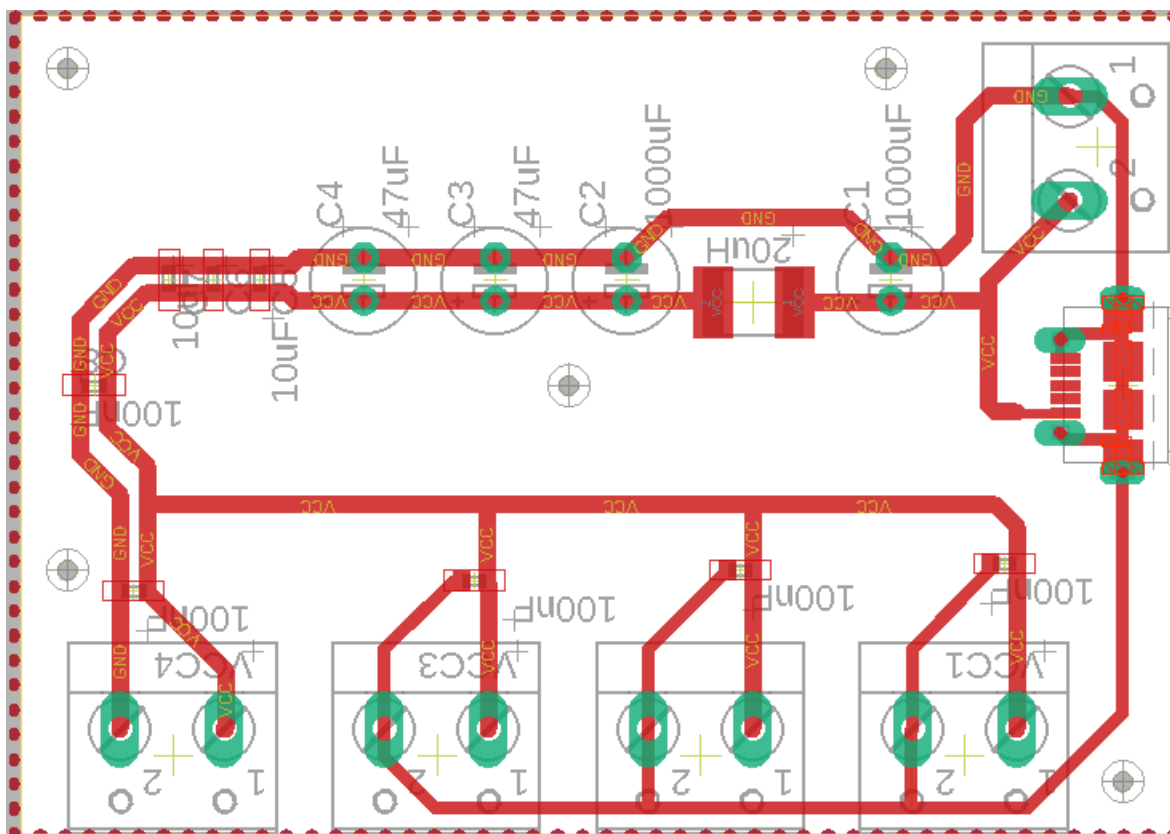


Obrázek 6.6 Schéma zapojení zdroje napětí

Samotný napájecí zdroj dodává napětí 5V a proud 3A. Adaptér je zakončen konečkou microUSB. Proto je tento konektor zahrnut i v návrhu DPS. Z microUSB jsou zapojeny pouze vývody na +5V a GND viz obrázek 6.6, datové vodiče nejsou zapotřebí v tomto

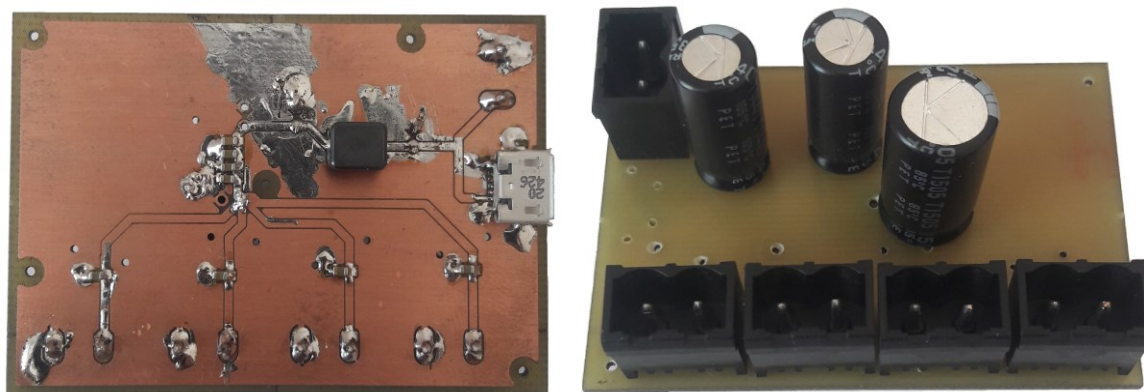
návrhu uvažovat. Zároveň je zde zastoupena dvou pólová svorkovnice pro případ potřeby napájet desku jiným způsobem.

Pro snadnější osazení plošného spoje elektrolytickými kondenzátory jsou místo SMD technologie zvoleny vývodové součástky. Výstupní svorky napájení jsou opět řešeny dvou pólovou svorkovnicí. Schéma zapojení je na obrázku 6.7.



Obrázek 6.7 Návrh plošného zdroje napětí

Na následujícím obrázku 6.8 je zobrazen finální výsledek desky plošného spoje s odpojitelnými svorkovnicemi přivádějící napětí.



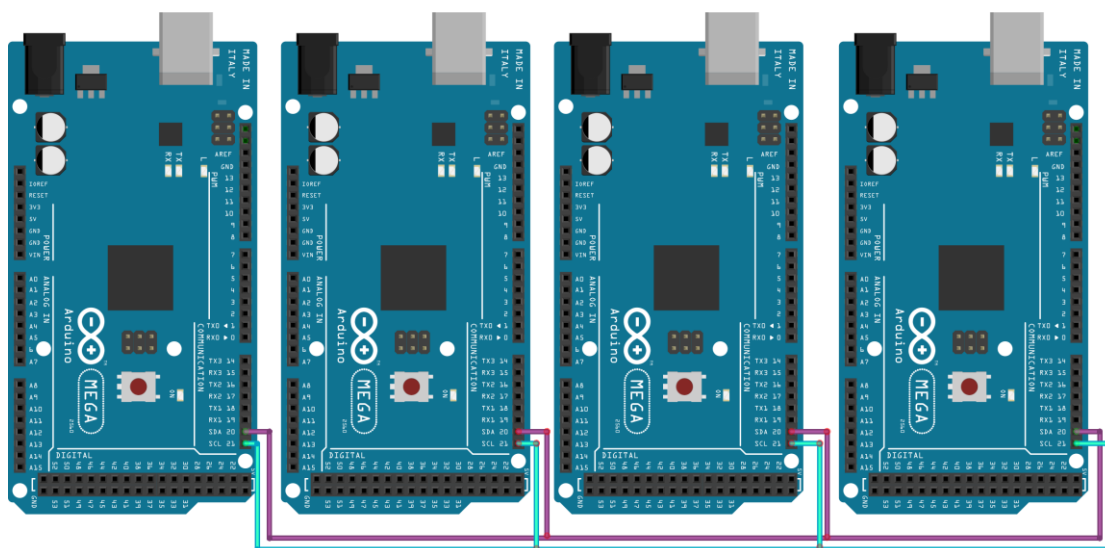
Obrázek 6.8 DPS zdroje

### 6.1.3 Komunikace mezi deskami

Projekt obsahuje 4 vývojové desky běžící na procesoru ATmega 2560. První návrh počítal s užitím modulu nRF24L01 pro bezdrátovou komunikaci pracující na frekvenci 2,4 GHz. Během realizace se objevily problémy s přenosem zapříčiněné elementem rušení na veřejné frekvenci. Komunikace byla nestabilní, proto se přešlo na vzájemné propojení jednotlivých desek pomocí metalických vodičů. Tímto způsobem se nabízely sběrnice I2C či SPI. Jelikož I2C pro přenos dat používá méně vodičů, byla pro přenos v tomto projektu zvolena tato komunikační sběrnice.

Propojení je realizováno pouze 2 vodiči. SDA přenáší data a SCL slouží pro přenos hodinového pulzu. Procesor ATmega 2560 zřizuje přenos SDA pod vývodem PD1 a SCL pod vývodem PD0. U vývojového kitu Arduino Mega nalezneme komunikační kanál pod piny 21 a 20. Zapojení znázorňuje obrázek 6.9.

Jak datový vodič SDA, tak hodinový SCL potřebuje být připojen pull-up rezistorem ke kladnému napětí, aby byly vodiče implicitně v logické jedničce. Tyto odpory jsou integrovány přímo v desce, viz schéma na obrázku 6.2.



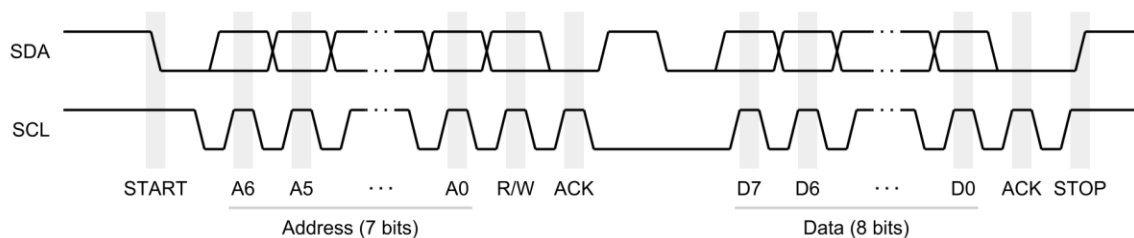
Obrázek 6.9 Zapojení I2C

Komunikace mezi deskami spočívá na principu master – slave. Je zde předem určený řídicí modul master, který generuje hodinový signál, a ostatní připojení jsou podřízeni řídicí struktuře. Není zde možnost, aby se slave sám přihlásil o žádost vysílat či přijímat data. Pro periodické získávání dat je potřeba využít třeba metodu dotazování polling, kdy se master pravidelně dotazuje zařízení slave. Konkrétně řídicí deska pravidelně dotazuje účastníky o poskytnutí dat a ti průběžně informují o svém stavu a pokud je potřeba přizpůsobit stav křižovatky, dostane řídicí jednotka požadovaná data a potřebě zásahu.

Samotné zahájení komunikace iniciuje pouze master. Před zahájením přenosu sníží úroveň datového vodiče SDA na úroveň logické nuly. Hodinový signál SCL se udrží chvíli v logické jedničce. Tento stav, kdy je SDA 0 a SCL 1, se nazývá start bit. Po start bitu



master iniciuje cílovou adresu zařízení, se kterým chce komunikovat. Následuje bit určující režim řízení, tedy zda bude master data číst nebo zapisovat. Další v pořadí je potvrzovací bit ACK, kterým je potvrzeno, zda se komunikuje s adresovaným zařízením. Poté dochází k samotnému přenosu dat, která jsou zakončena opět potvrzovacím ACK bitem. Konec komunikace je určen stop bitem, kdy po ustáleném hodinovém signálu přejde SDA do logické 1 [29]. Princip komunikace pomocí I2C je nastíněn na obrázku 6.10.



Obrázek 6.10 I2C komunikace [29]

## 6.2 Firmware zařízení

Algoritmus pro firmware je ukázán na obrázku 6.11, a jeho funkce je následující. Po přivedení proudu do řízení křižovatky jsou na semaforech rozsvíceny červené signalizační diody, tedy závěrný stav. Prvotní závěrný režim má smysl především bezpečnostního charakteru. Při poruše dodávky proudu či ukončení nočního režimu křižovatky by mohly vznikat nepředvídatelné situace. První cyklus je ve všech směrech závěrný, aby se vyklidila křižovatka ze všech směrů jak pro vozidla, tak pro chodce. Dojde tak k automatickému „restartu“.

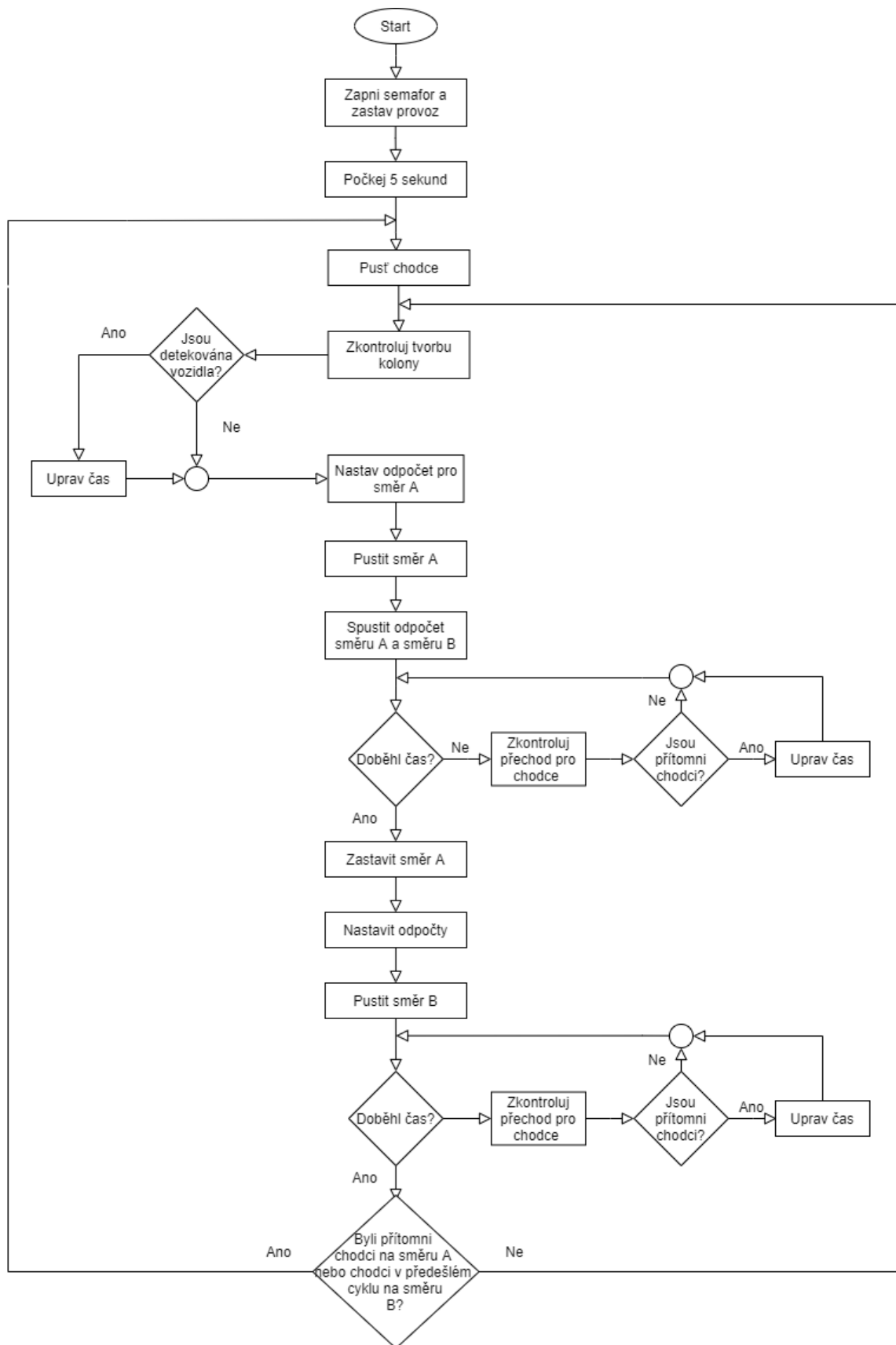
Když je křižovatka plně vyklizena, pustí se primárně chodci na přechodu. Během této doby se zajistí hodnoty ultrazvukových snímačů, zda se na hlavních tazích nevyskytuje kolona vozidel. Pokud byla detekována stojící vozidla, upraví se čas určující dobu trvání propustnosti těchto hlavních směrů. Jestliže kolona vytvořena nebyla, časový interval pro jeden cyklus křižovatky je předem definován.

Hodnota časového údaje odpočítávající změnu směru se přenese v určitém zbývajícím čase na fyzický zobrazovač odpočtu umístěný vedle semaforů. V propustném směru zbývajícím čas znázorňuje, po jakou dobu bude pro daný směr garantována zelená na semaforu. V závěrném směru odpočet informuje řidiče o době, jak dlouho bude v tomto směru svítit červená.

Při spuštění konkrétního směru se monitorují všechny reflexní senzory u přechodů pro chodce, zda není vyžadováno přihlášení do režimu křižovatky. Je-li reflexní závorou detekována přítomnost osoby, je tento údaj zanesen do systému řízení křižovatky. Pokud k detekci dojde v časovém okamžiku před zobrazením odpočítávaného času na fyzickém displeji, je odpočítávající čas upraven zkrácením časového intervalu do hodnoty, která je určena jako doba, kdy se odčítající čas zobrazí na již zmíněném displeji.

Dosáhne-li časomíra hodnoty nula, propustný směr se ukončí a nastaví se na režim závěrný. Časové intervaly se nastaví na původní hodnotu a vedlejší tah B je změněn na průjezdný stav. Pokud čas běží, je opět vyčítána hodnota reflexního senzoru na přechodu pro chodce a vyhodnocování přítomnosti chodců je shodná s metodou popsanou výše.

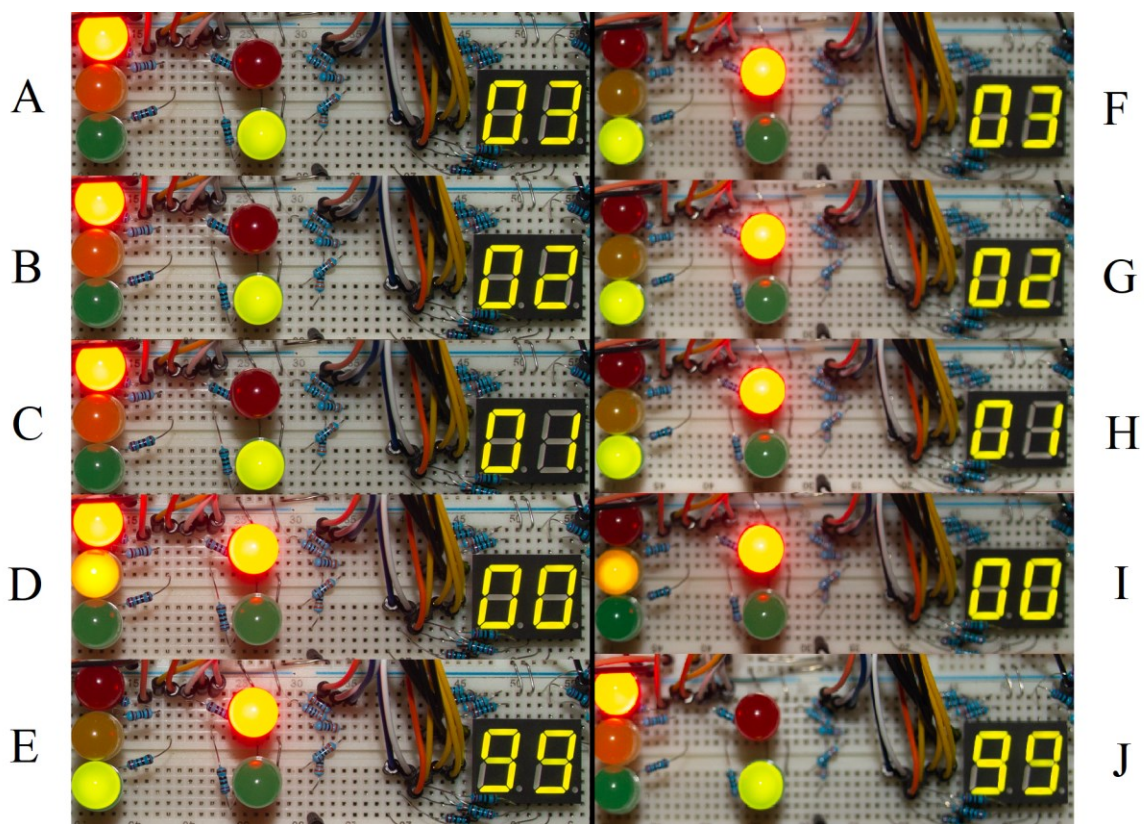
Na konci celého cyklu křižovatky dojde k vyhodnocení požadavků vznesených z přechodů pro chodce. Je-li detekce z prvního přechodu v daném cyklu nebo detekce druhého přechodu z předchozího cyklu, program skočí na začátek programu, kdy jsou puštěni chodci a celý program pokračuje znovu. Nejsou-li přítomní chodci ani v jednom případě, program se vrátí do momentu kontroly stojících vozidel a ušetří se trochu času, který je využit ve prospěch vozidel.



Obrázek 6.11 Softwarový diagram

Obrázek 6.12 znázorňuje implementaci výše popsaného algoritmu do hardwarové části projektu. Časový interval pro jeden režim je nastaven na dobu trvání 3 minuty, tedy 180 sekund. Ovšem nejvyšší zobrazitelná hodnota je zde nastavena na maximální hodnotu displeje, tedy 99. Z toho vyplývá, že prvních 81 sekund 3. minutového cyklu není na časoměře zobrazena žádná hodnota. Tento okamžik lze zkrátit například detekcí vozidel či detekcí chodců. Posledních 99 sekund do změny stavu je již interval neměnný a nelze jej nijak zkrátit. Registrované změny v této době budou uváženy v následujícím cyklu.

Na obrázku 6.12 je zaznamenán pomocí série snímků A-J odpočet času a následné změny stavu na hlavním tahu A1. Změna je skoková z hodnoty 0 na hodnotu 99 z důvodu detekce chodců (sepnutí reflexní závory). Což způsobilo okamžité zkrácení 180 s na 99 s, aby osoby, čekající na bezpečné přejetí silnice, nečekali dlouho.



Obrázek 6.12 Ukázka funkce semaforu

Obrázky A-C znázorňují odpočet v závěrném směru, kdy pro vozidla svítí červená a vlivem sepnutí reflexní závory je puštěn přechod pro chodce. Snímek D zachycuje vypršení časového limitu a přepnutí do tzv. přechodového režimu, kdy se změní režim pro vozidla ze závěrného režimu na propustný směr, tedy současné rozsvícení červeného a oranžového světla. V tomto momentě je přechod pro chodce již nepropustný. Obrázek E zobrazuje již propustný stav pro vozidla a závěrný pro chodce. Časomíra se resetovala a odpočítává sestupně dolů. F-H reprezentují blížící se změnu propustného režimu. I zobrazuje přechodný stav, tentokrát z propustného na závěrný stav, kdy svítí pouze

oranžové světlo. Tímto stavem prošel jeden celý cyklus křižovatky a snímek J začíná nový cyklus.

Na fotografiích červená dioda působí dojmem, že je buzena vyšším proudem a zdroj světla přechází ve žlutou, až bílou zář. Tento efekt je způsoben pouze chybou obrazového záznamu fotoaparátu. Reálné zobrazení barev odpovídá barevnému spektru stanovené výrobcem.

### 6.3 Sestavení zařízení

Implementace křižovatky do finálního, prezentačního modelu je řešena pevnou konstrukcí a vytištěných pouzder na jednotlivé komponenty.

Pro podklad křižovatky byla zvolena deska z dřevotřísky o rozměru 1x1,2 m a tloušťce 2 cm. Na povrchu je nekreslen tvar křižovatky, včetně jízdních pruhů a přechodů pro chodce. Spodní strana slouží pro rozvod kabelů mezi jednotlivými řídicími moduly a příslušnými komponenty, které tyto moduly obsluhují.

Při hledání vhodného konstrukčního prvku na tvorbu konstrukce SSZ byl kladen požadavek na co nejvyšší skrytí vedoucích kabelů k jednotlivým součástkám. S ohledem na rozměry křižovatky, četnost sloupů nesoucí SSZ, celkovou váhu a následnou manipulaci s celým projektem byla za konstrukční prvek zvolena hliníková trubka s vnějším průměrem 15 mm.

Vodorovná hliníková trubka je dlouhá 10 cm a svislá 22 cm. Z důvodů jednoduchosti sestavení bylo vzájemné spojení zmíněných dvou trubek realizováno zaoblenou propojkou „kolenem“ s úhlem 90° viz obrázek 6.13. Zaoblenost byla přínosem i při vedení vodičů vnitřkem trubky, díky absenci ostré vnitřní hrany, o kterou by vodiče mohly dřít.



Obrázek 6.13 Konstrukční sloup SSZ

Vyvedení kabelů na spodní straně je skrze vyvrtaný otvor v nosné dřevotřískové desce, tedy kabely nejsou opticky přiznané a křižovatka působí „čistějším“ dojmem. Na druhé straně konstrukce jsou kabely vyvedeny v příslušných místech skrze vyvrtané díry přímo do komponentů. U sedmi-segmentového displeje, s ohledem na potřebu 16 vodičů a současnou minimalizaci modelu, jsou v místě displeje přiznané vodiče.

Aby projekt byl vzhledově co nejvěrnější, byla vytvořena pro uchycení komponent plastová pouzdra vytištěná na 3D tiskárně. Tento postup pomohl lepšímu vzhledu i snadnějšímu připevnění jednotlivých komponent k nosné konstrukci. Pouzdra byla vytvořena přesně na jednotlivé komponenty, tedy pro semafor pro vozidla, semafor pro chodce, reflexní závoru, sedmi-segmentový display i ultrazvukové snímače vzdálenosti viz obrázek 6.14.



Obrázek 6.14 Pouzdra komponentů

Křižovatka má jako podstavu dřevěnou desku z dřevotřísky o rozměru 1,2x1,2 m a tloušťce 2 cm viz obrázek 6.15. Tloušťka desky 20 mm byla shledána jako dostatečný kompromis mezi robustností konstrukce při celkových rozměrech a výslednou hmotností. Pro lepší manipulaci byla deska rozdělena podle středu na dvě části o šířce 60 cm a výšce 120 cm.

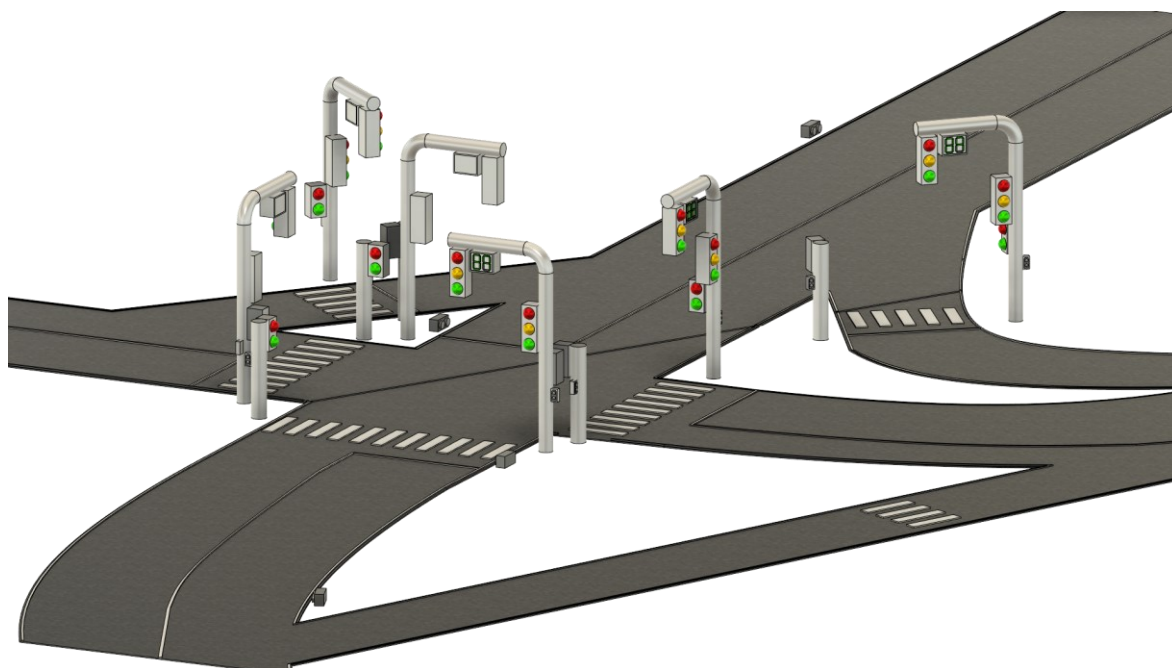


Obrázek 6.15 Základová deska křižovatky

Rozmístění jednotlivých sloupů světelného značení a zakreslení příslušných dopravních směrů na desce bylo rozvrženo s ohledem na snadné rozpojení při případné manipulaci, kdy bude potřeba nést desky křižovatky samostatně. Z tohoto důvodu je rozmístění zakresleno šikmo viz obrázek výše. Na každé jedné polovině jsou umístěny 2 moduly Arduino a jejich obsluhované komponenty včetně vodičů. Tedy při manipulaci stačí rozpojit pouze konektor se 2 vodiči vyhrazenými na komunikaci I2C (SDA, SCL) a 2 vodiče napájení (Vcc, Gnd).

Aby model křižovatky nebyl položen na vodičích jdoucí ze spodní strany, jsou okraje dřevotřískové podstavy ze spodní strany opatřeny ochranným, dřevěným rámem o výšce 15 cm, který slouží k ochraně spojů kabelů se shieldem před nechtěným rozpojením vlivem manipulace s modelem.

Grafické zobrazení modelu křižovatky se semaforů a detekčními prvky, spolu s vyznačeným řezem desky, je formou 3D modelu vyobrazeno na obrázek 6.16.



*Obrázek 6.16 Finální konstrukce křižovatky*



## 7 Ověření funkce

Tato podkapitola se zabývá zhotoveným modelem křižovatky včetně její funkce a zachycuje jednotlivé režimy provozu křižovatky.

### 7.1 Model křižovatky

Zkompletování výsledného modelu z komponentů popsanými v kapitole 6.3 v jeden celek je zachyceno na obrázku 7.1. Sloupy světelného značení jsou rozmístěny s ohledem na rozmístění SSZ reálné křižovatky v Kolíně. V hlavních tazích lze vidět dvojice ultrazvukových snímačů detekující tvorbu kolony.

Dílicí jízdní průběžné i odbočovací pruhy zde, pro přehlednost, nejsou zakresleny. Zobrazeny jsou pouze středové dělicí čáry oddělující dopravní směry, krajnice v pravém směru jízdy a stop čáry před hranicí křižovatky. Jsou zde i naznačeny přechody pro chodce dle předlohy reálné křižovatky.

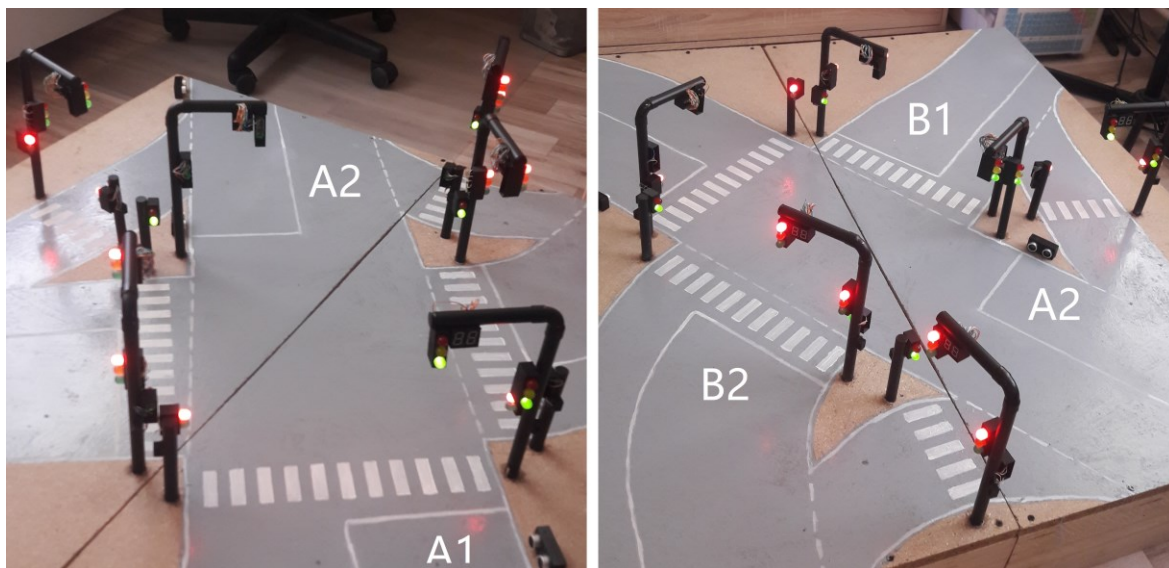


Obrázek 7.1 Model křižovatky se světelnými signály

## 7.2 Funkčnost křižovatky

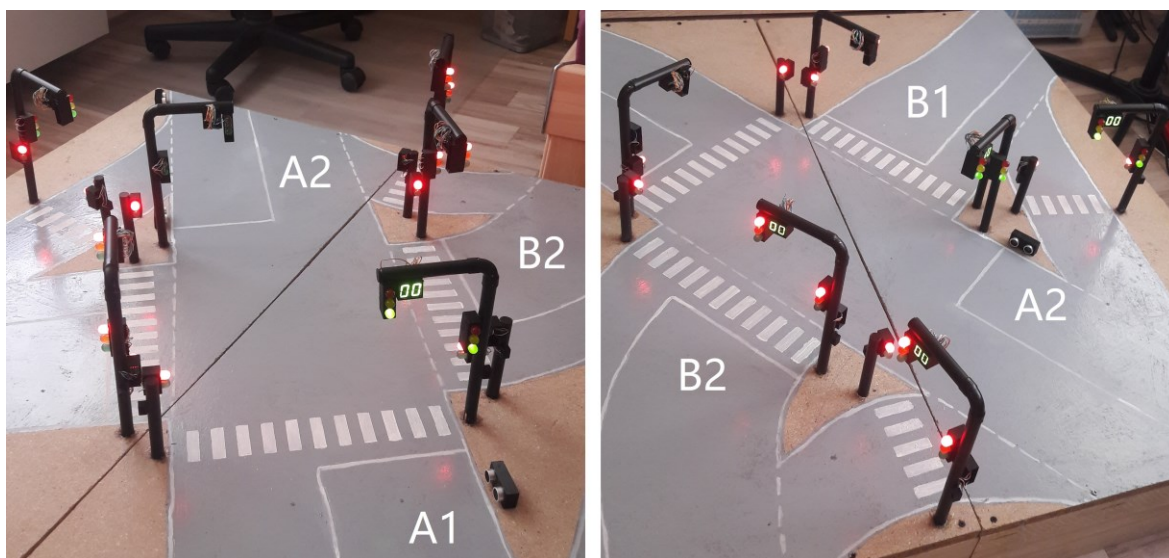
Podkapitola je věnována ověření funkčnosti jednotlivých režimů. V daný okamžik na sérii fotografií je zachycena křižovatka z různých úhlů pohledu.

Obrázek 7.2 zachycuje režim křižovatky, kdy v hlavních směrech A1 a A2 svítí zelená. Čas je nastaven na plný interval a časomíry ještě nejsou aktivovány. Zároveň ve směru B2 byly detekováni chodci a v časovém okamžiku mohou bezpečně přecházet.



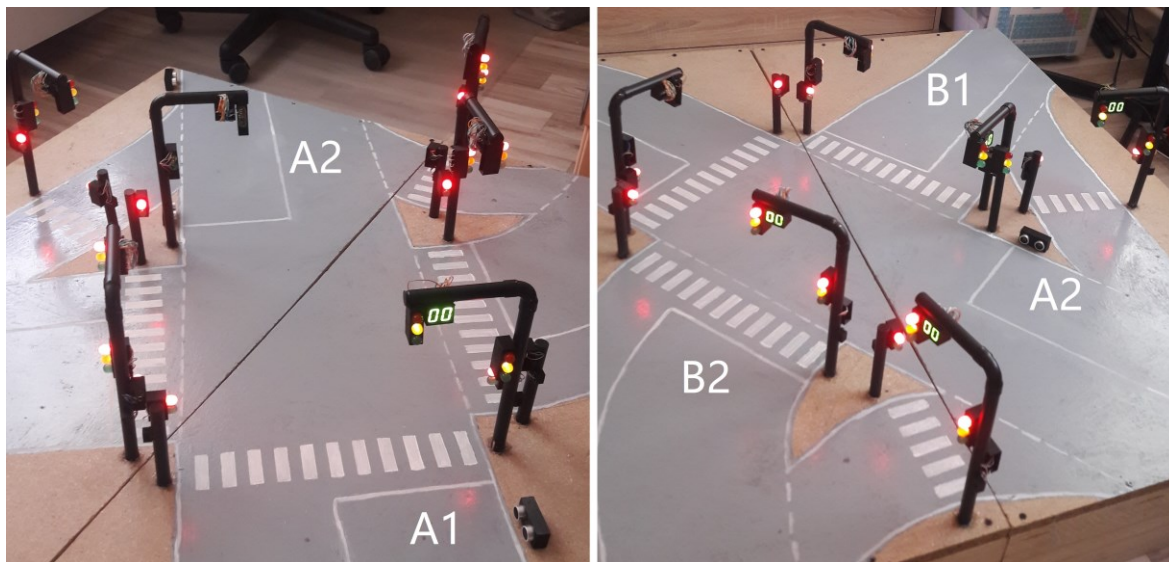
Obrázek 7.2 Křižovatka v průběžném režimu bez časomíry

Obrázek 7.3 zachycuje průběžný stav na hlavních tazích A1 a A2. Na rozdíl od předešlého příkladu zde čas pro propustný směr hlavních tahů již vypršel viz časomíra, která ukazuje čas 00. U tahů B2 již semafor pro chodce byl přepnut na červenou, aby bylo umožněno chodcům v předstihu bezpečně opustit vozovku před změnou jízdního režimu.



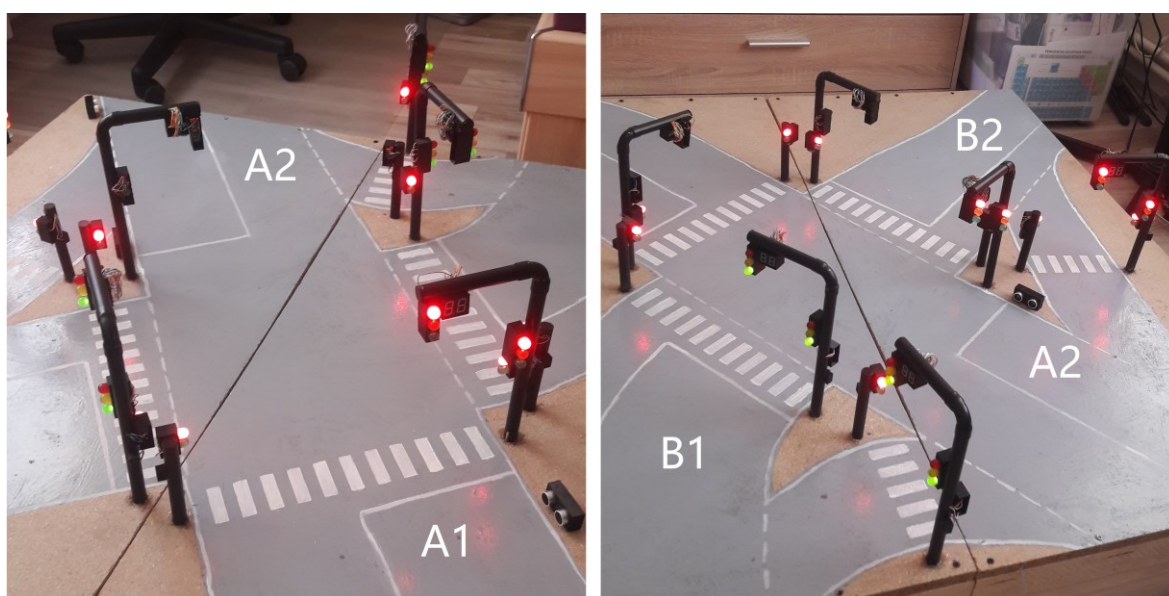
Obrázek 7.3 Křižovatka v průběžném režimu s časomírou

Obrázek 7.4 přímo navazuje na stav popsáný výše. Hlavní tahy A1, A2 přecházejí z propustného režimu na závěrný. Vedlejší tahy B1, B2 následně z nepropustného režimu do propustného. Tento stav je blíže popsán v kapitole firmware zařízení 6.2. V tento okamžik se resetuje čas, po který trvá jeden cyklus křižovatky.



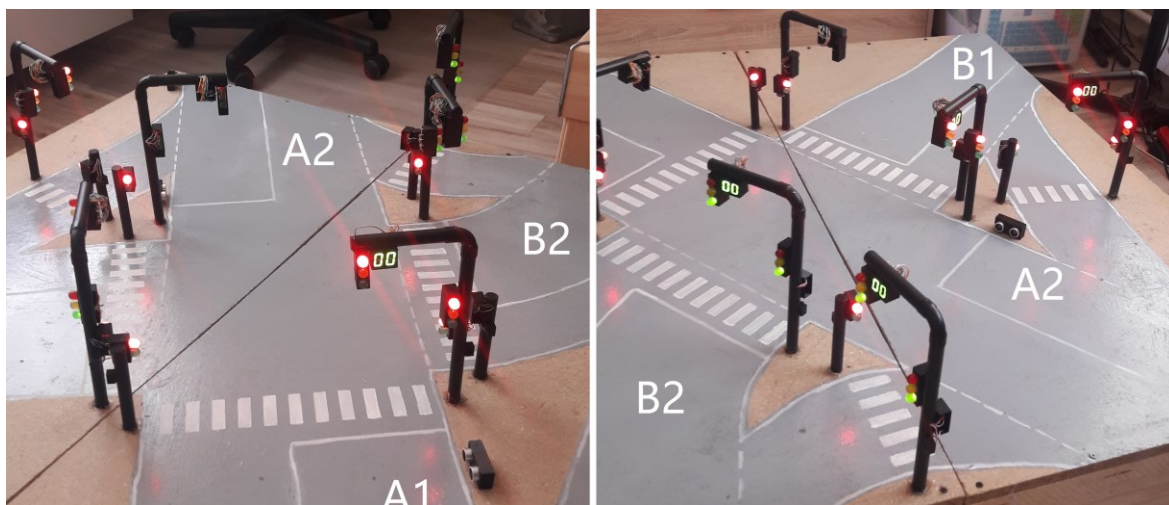
Obrázek 7.4 Křižovatka v závěrném přechodovém režimu

Obrázek 7.5 zachycuje závěrný režim hlavních tahů A1 a A2 spolu s propustným režimem tahů B1, B2. Čas opět odečítá od plného intervalu, kdy ještě nejsou aktivovány časomíry zobrazujících posledních 60 sekund do přepnutí semaforu. Byli-by detekováni chodci na hlavním tahu, měli by nyní prostor bezpečně přejít silnici. Zároveň, pokud by vlivem hustého provozu docházelo k tvorbě kolony vozidel na tahu A1 či A2, budou detekována a čas bude zkrácen na posledních 60 sekund, aby ostatní účastníci provozu mohli v předstihu opustit křižovatku.



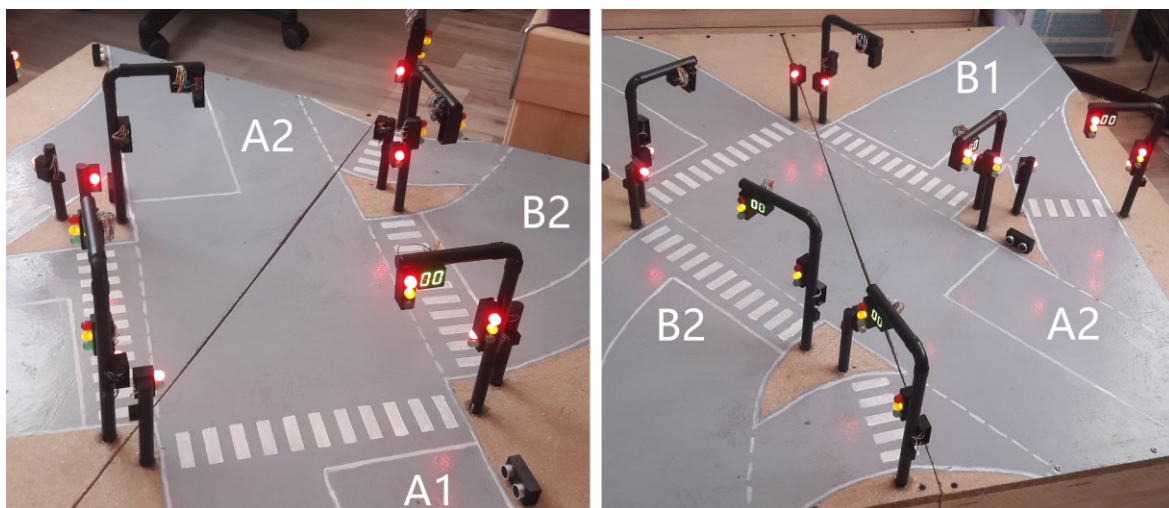
Obrázek 7.5 Křižovatka v závěrném režimu bez časomíry

Obrázek 7.6 zobrazuje konec závěrného režimu v hlavních tazích A1, A0. Zároveň končí propustný režim tahů vedlejších. V tento moment je čas 0 a v následujícím okamžiku dojde k přepnutí stavů.



Obrázek 7.6 Křižovatka v závěrném režimu s časomírou

Obrázek 7.7 ukazuje poslední režim. Dochází zde k přepnutí závěrného režimu na hlavních tazích A1, A2 do propustného stavu a u vedlejších tahů B1, B2 ke změně z propustného na závěrný režim. V tento okamžik se opět resetuje časový interval a uplynul jeden celý cyklus křižovatky. Následující stav se bude opět opakovat dle obrázek 7.2 popsaném výše.



Obrázek 7.7 Křižovatka v propustném přechodovém režimu

## 8 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vybrat vhodný typ křižovatky, na který budou implementovány semaforey, provést rozbor křižovatky a navrhnout rozmístění semaforů a detekčních prvků a realizovat model křižovatky pro prezentační účely.

V teoretické části je popsán rozbor druhů křižovatek, způsoby řízení křižovatek včetně priorit přednosti jízdy a nadřazenosti dopravního značení. Dále jsou v rozboru zahrnuty i detekční prvky pro vozidla i chodce s nástinem jejich funkce v praktickém prostředí.

Praktická část se zabývá vlastním návrhem, který spočívá ve výběru konkrétní křižovatky, analýzou současného způsobu řízení a následné stanovení přínosných úprav dané křižovatky tak, aby bylo docíleno zvýšení efektivity provozu a zajištění maximální bezpečnosti chodců i účastníků provozu. Dále jsou zde podrobněji rozebrány použité komponenty i postup návrhu vlastního plošného spoje, včetně výběru osazených součástek. Poslední podkapitoly jsou věnovány tvorbě konstrukce modelu a kompletnímu zapojení v jeden celek.

Při realizaci došlo pouze k jednomu problému, a to ohledně způsobu komunikace mezi jednotlivými řídicími moduly. Původní návrh spočíval s použitím bezdrátového modulu pracujícím na 2.4 GHz kmitočtu. Avšak kvůli citlivosti na okolní rušení a potřebnému počtu vodičů bylo od této metody opuštěno a zvolila se jednodušší, levnější a spolehlivější varianta komunikace skrze sběrnici I2C.

Navržený model byl sestaven a otestován, sada testovacích měření prokázala funkčnost modelu a lze tedy konstatovat, že zadání práce bylo splněno v plném rozsahu.

V budoucnu by mohlo dojít k vylepšení, konkrétně propracovanějším detekčním prvkům, jaké jsou uvedeny u návrhu „high-end křižovatky“. Tedy implementací indukčních smyček do všech směrů, aby byla zajištěna maximální přesnost určení jedoucích vozidel, nebo doplněním o kamerové systémy.

## 9 Literatura

- [1] HOVORKA, Radek. První elektrický semafor řídil provoz už před sto lety. In: *IDnes.cz* [online]. MAFRA, a. s., © 1999–2021 25. června 2014 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: [https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/prvni-semafor.A140617\\_225148\\_automoto\\_fdv](https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/prvni-semafor.A140617_225148_automoto_fdv)
- [2] Křižovatky. *Bezpečné cesty* [online]. Simopt, © 2014–2021 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.bezpecnecesty.cz/cz/autoskola/krizovatky>
- [3] ŽÁK, Dalibor. Víte jak jezdit na kruhovém objezdu o více pruzích? In: *Auto Revue* [online]. ©2021 Copyright CZECH NEWS CENTER a.s. a dodavatelé obsahu, 2. 9. 2014 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/vite-jak-jezdit-na-kruhovem-objezdu-o-vice-pruzich>
- [4] *Mapy.cz* [online]. Seznam.cz, ©2021, 2021 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.2077989&y=50.0258545&z=20&m3d=1&height=91&yaw=-16&pitch=-45&q=kol%C3%ADn>
- [5] POUZAR, Vladimír. Vozidlové detektory. In: *Správa veřejného statku města Plzně* [online]. Správa veřejného statku města Plzně, ©2021, 26. 8. 2010 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <http://www.svsmp.cz/svetelna-signalizace/vozidlove-detektory-typy-rozdeleni-funkce.aspx>
- [6] Traffic Management Solutions. In: *KYOSAN* [online]. Japan: Kyosan Electric Mfg. Co., © 2012 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.kyosan.co.jp/english/product/traffic04.html>
- [7] *Traffic Vision* [online]. Omnibond Systems, © 2021 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <http://www.trafficvision.com/>
- [8] BHARTI, Vidya. *Intelligent transportation system* [online]. In: . 14. 2. 2015 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/vidyabharti96/intelligent-transportation-system>
- [9] *zák. č. 361/2000 Sb., zákon o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů*

- [10] AGD traffic radar ideal for above-ground, non-untrusive, loop-replacing detection – Highways Today. News and Resources for the International Construction Industry – Highways Today [online]. Highways Today, ©2017. [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://highways.today/2018/02/19/agd-traffic-radar-above-ground-non-intrusive-loop-replacing-detection/>
- [11] Instalace indukční smyčky: Návod a instalace pro magnetické smyčky. In: *Bircher* [online]. Beringen: BBC Bircher Smart Access [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: [https://smartaccess.bircher.com/fileadmin/user\\_upload/bbcgroup.biz/site/smart-access/docs/Betriebsanleitungen/ProLoop/346721B\\_Manual\\_Loop\\_Schleifenverlegun\\_g\\_CS\\_HiRes.pdf](https://smartaccess.bircher.com/fileadmin/user_upload/bbcgroup.biz/site/smart-access/docs/Betriebsanleitungen/ProLoop/346721B_Manual_Loop_Schleifenverlegun_g_CS_HiRes.pdf)
- [12] Optické vláknové mřížky (FBG). In: *Boteg* [online]. Bohemian Technology Group, ©2021 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.boteg.cz/cz/fiber-bragg-grating/>
- [13] DUBOVAN, Jozef, Michal FRNIAK, Jan LITVÍK, Miroslav MARKOVIC a Milan DADO. *Optical Sensors Utilization as a Part of Intelligent Transport Systems* [online]. Univerzita Žilina FEEIT [cit. 2021-02-25].
- [14] Vysokorychlostní dynamické vážení za jízdy. *OptiWin* [online]. OptiWIM, ©2020 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.optiwim.cz/>
- [15] SMLSAL, Matěj. Má cenu mačkat tlačítko vícekrát? Tajemství semaforů pro chodce. In: *IDnes.cz* [online]. MAFRA, © 1999–2021, 6. listopadu 2020 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: [https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/semafor-smlsal-prechod-pro-chodce-tlacitko.A201103\\_144016\\_automoto\\_smls](https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/semafor-smlsal-prechod-pro-chodce-tlacitko.A201103_144016_automoto_smls)
- [16] KOHOUT, Luděk, *Automatizační technologie, E-learningová podpora*, online, 2017
- [17] Pohybová čidla - kompletní průvodce. In: *A-LIGHT* [online]. A-LIGHT, © 1999 - 2021, 25. 11. 2017 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.e-light.cz/zprava/cidla-pohybu-a-svitidla-s-cidlem-zakladni-rady-a-tipy>
- [18] Infrared Sensing Bollards. *Ellumin: Cloud Warning System* [online]. STARS PLASTIC, ©2015-2024 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.ellumin.com/product/infrared-sensing-bollards/>

- [19] Světelné signály, semafor. In: *Bezpečné cesty* [online]. Simopt, © 2014–2021 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.bezpecnecesty.cz/cz/dopravni-vychova/dopravni-vychova-ve-skolach/dopravni-znacky/svetelne-signaly-semafor>
- [20] Pedestrian Signals. In: *Drivers Ed* [online]. DriversEd.com, © 1997-2021 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://driversed.com/driving-information/signs-signals-and-markings/pedestrian-signals.aspx>
- [21] PRAGER, Mike. New crosswalk countdown lights tell pedestrians when the red light's coming. In: *The Spokesman-Review* [online]. The Spokesman-Review, © 2021, 31. 5. 2010 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: [https://media.spokesman.com/photos/2010/05/31/cop\\_gettingthere31\\_05-31-2010\\_R4INNL9.jpg](https://media.spokesman.com/photos/2010/05/31/cop_gettingthere31_05-31-2010_R4INNL9.jpg)
- [22] Traffic Light Countdown Timer. In: *Traffic Light Countdown Timer* [online]. Sphere, © 2021 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.sphere.hr/en/products/traffic-light-countdown-timer/>
- [23] Common traffic signal in Moscow, Russia showing drivers how much time (41 seconds) is left before it turns to red. In: *Alamy* [online]. Moscow: Alamy, © 25. 02. 2021, 3. 8. 2015 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.alamy.com/stock-photo-common-traffic-signal-in-moscow-russia-showing-drivers-how-much-time-90172053.html>
- [24] Deska Arduino Mega 2560. In: *Conrad* [online]. Conrad Electronic Česká republika, ©2020 [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.conrad.cz/p/deska-arduino-mega-2560-a000067-191790>
- [25] HC-SR04 Ultrasonic Sensor. In: *Components 101* [online]. Components101, ©2020, 18.9.2017 [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://components101.com/sensors/ultrasonic-sensor-working-pinout-datasheet>
- [26] Vishay Semiconductors [online katalogový list]. *TCRT5000, TCRT5000L*. ©2012 [cit. 17.3.2021]. Dostupné z: <https://docs.rs-online.com/435d/0900766b80e309db.pdf>
- [27] Wenhrun [online katalogový list]. *LDD056AAG-101* [cit. 17.3.2021]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/433548d62e31edf9037184b29afe654c/LDD056AAG-101.pdf>



- [28] Lucky Light Electronics Co., Ltd. [online katalogový list]. *1003VD2D-V1-1A*, 2006 [cit. 17.3.2021]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/8815627af4012dc58f5da9fed97cedc2/LL-1003VD2D-V1-1A.pdf>
- [29] TIŠNOVSKÝ, Pavel. Komunikace po sériové sběrnici I2C. In: *ROOT* [online]. Internet Info, © 1998 – 2021, 8.1.2009 [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/komunikace-po-seriove-sbernici-isup2supc/>

## **Přílohy**

Příloha A – CD

Příloha B – Schéma a návrh desek plošných spojů

Příloha C – Osazovací plán DPS

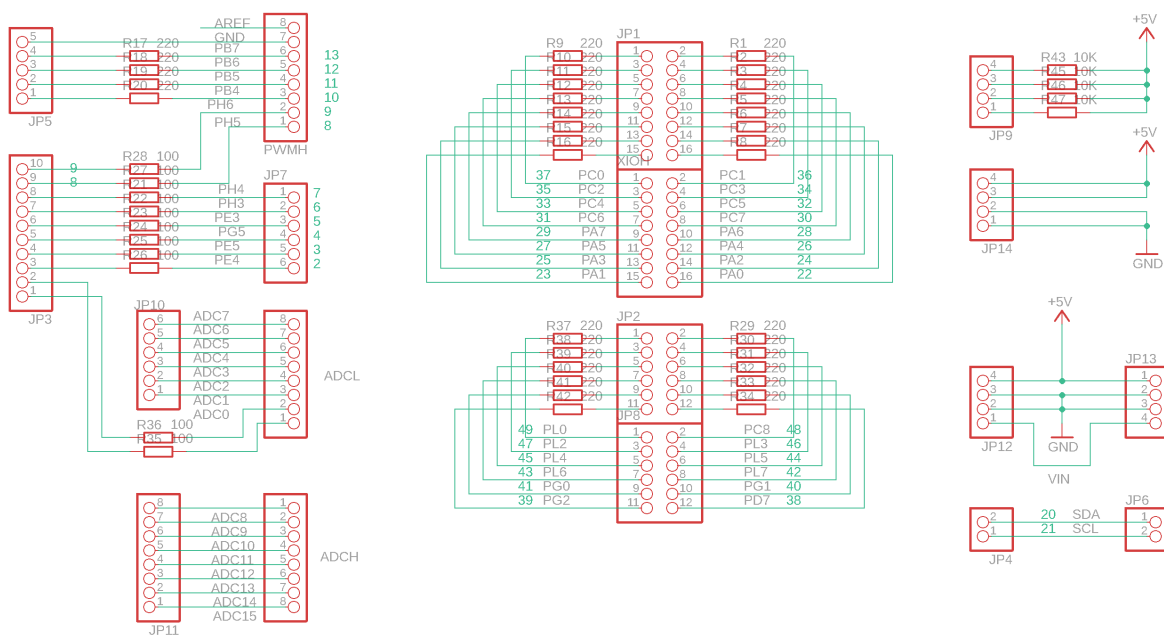
Příloha D – Vzájemné propojení DPS

Příloha E – Kompletní zapojení modulů

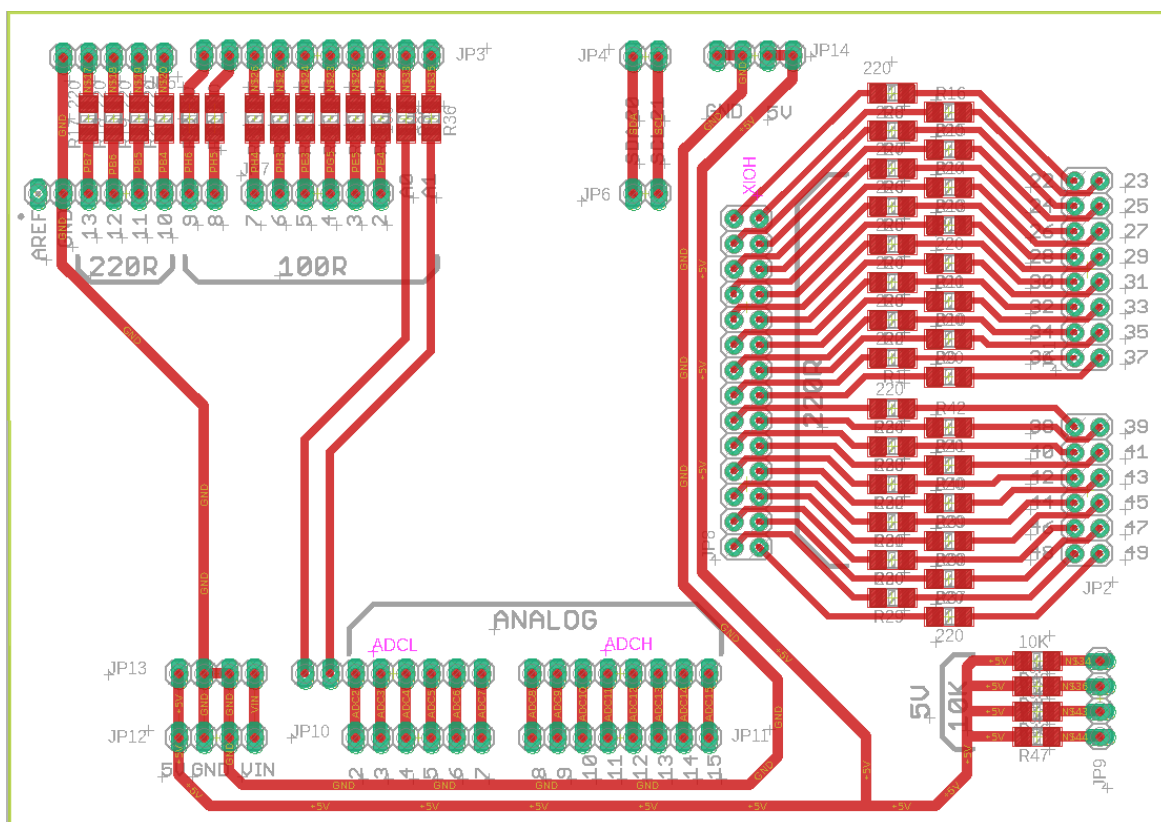
## **Příloha A – CD**

Přílohy nahrané na CD/DVD obsahují text bakalářské práce ve formátu PDF/A, úplné zdrojové kódy firmware pro jednotlivé řídicí moduly, schéma a návrh DPS ve formátu Autodesk Eagle.

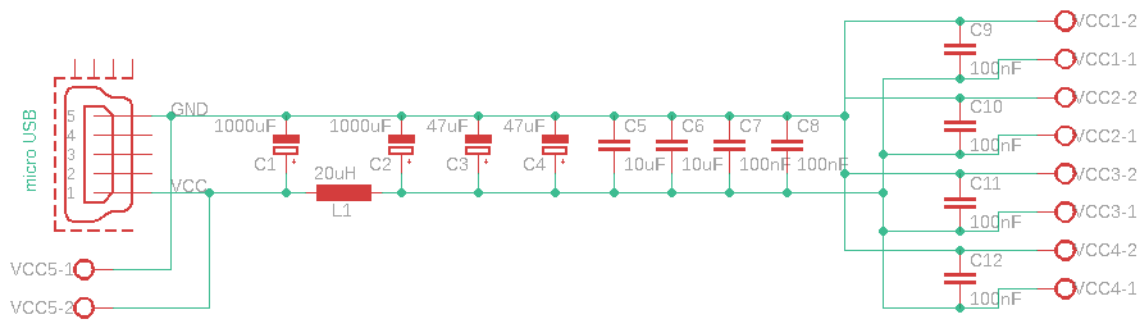
## Příloha B – Schéma a návrh desek plošných spojů



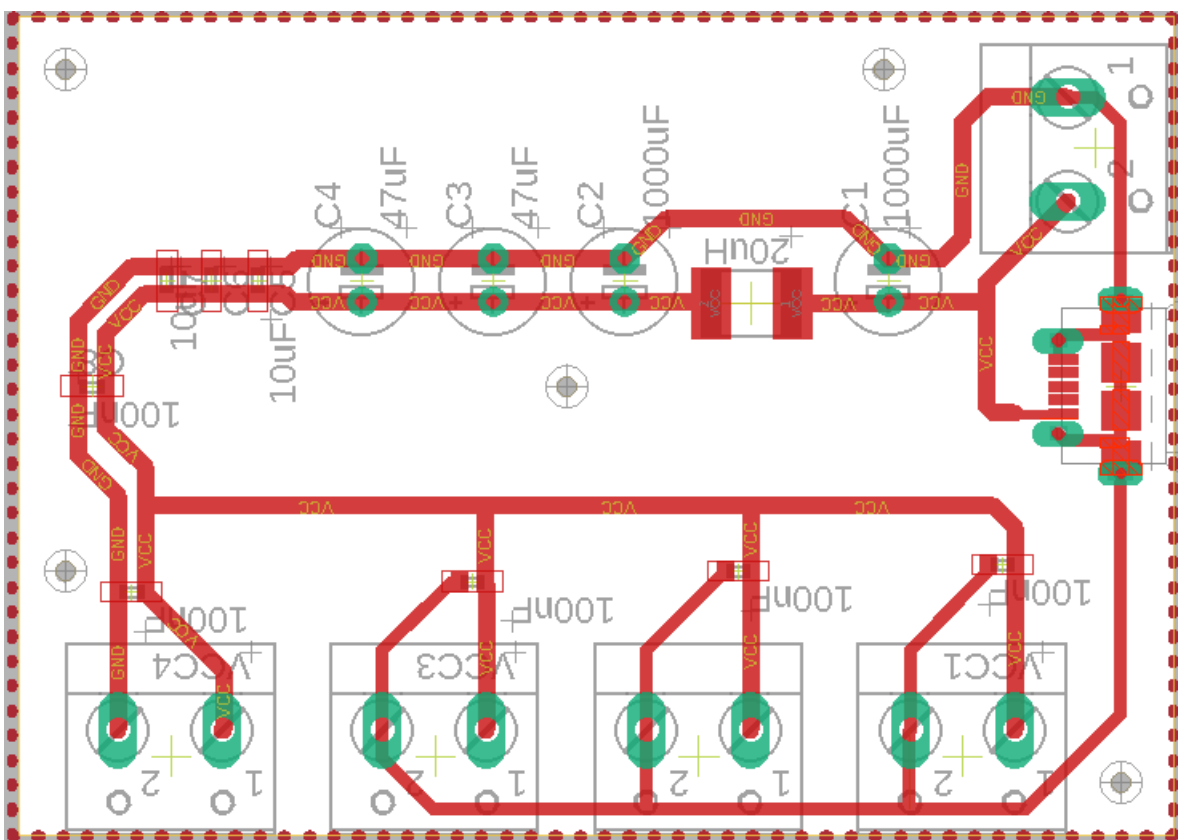
Obrázek B. 1 Schéma modulu shieldu



Obrázek B. 2 Návrh desky modulu shieldu

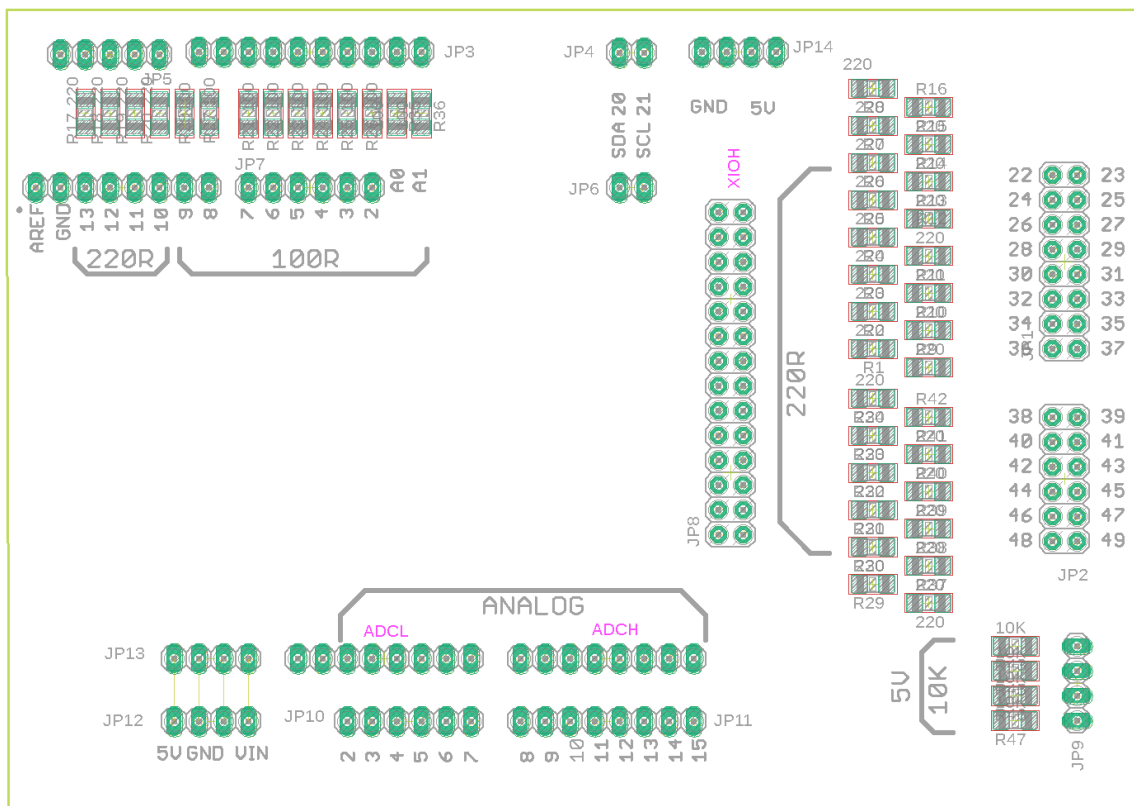


Obrázek B. 3 Schéma zdroje napájení

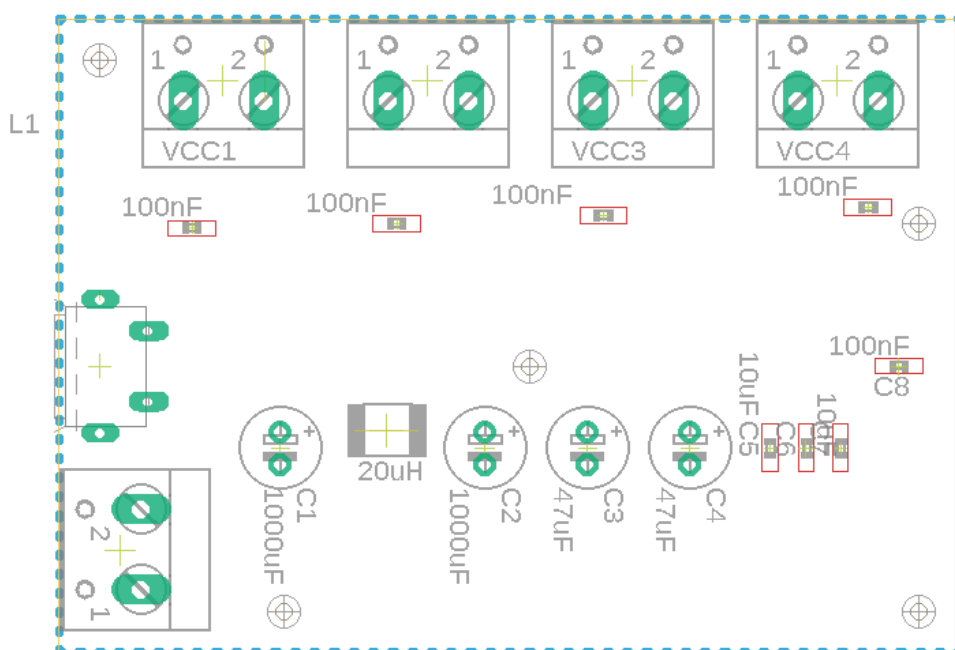


Obrázek B. 4 Návrh desky zdroje napájení

## Příloha C – Osazovací plán DPS

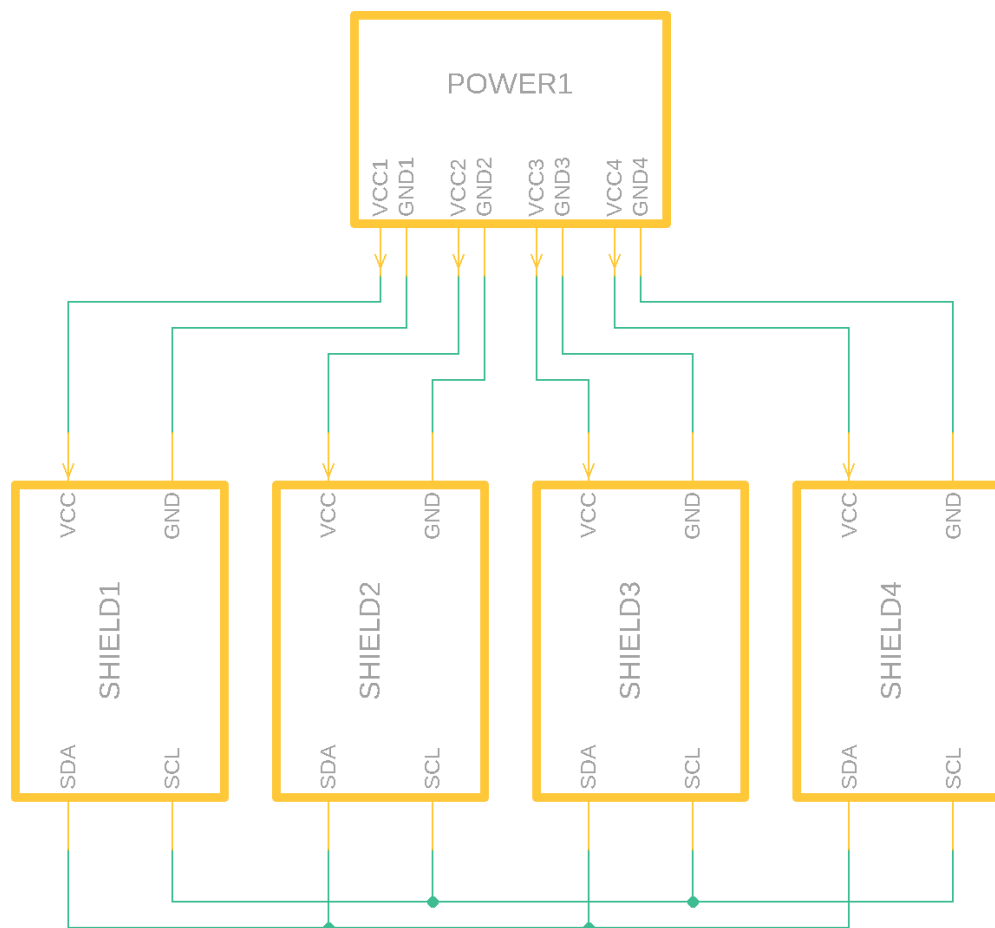


Obrázek C. 1 Osazovací plán desky shieldu



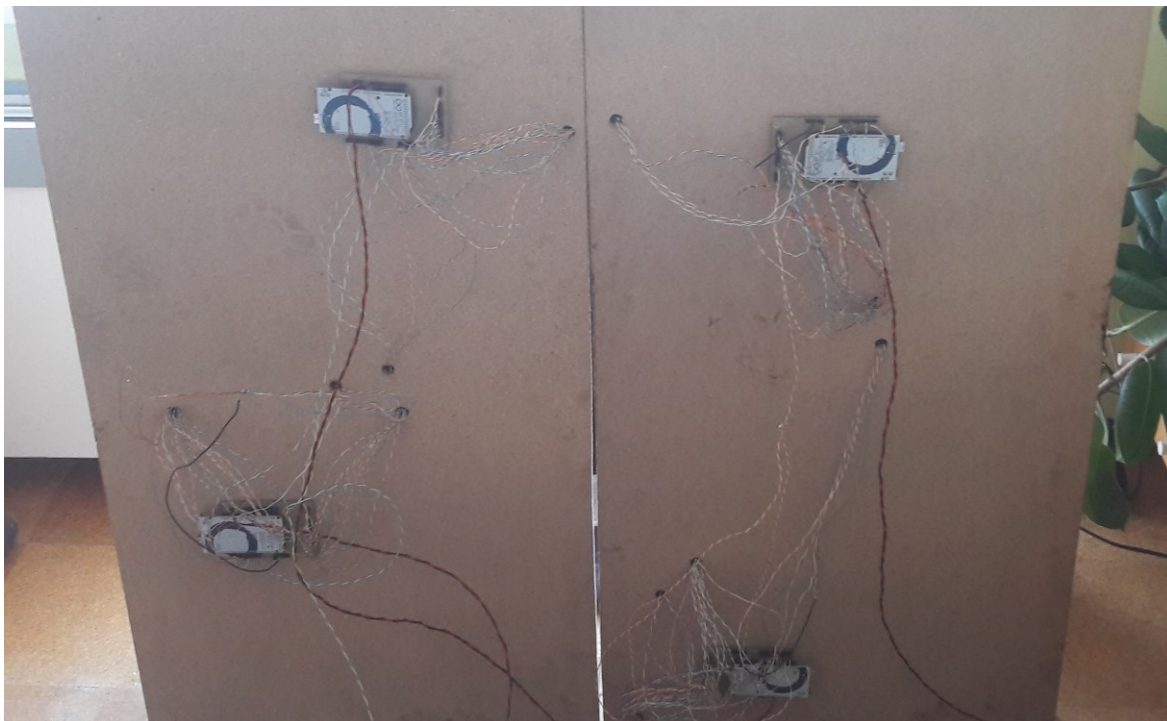
Obrázek C. 2 Osazovací plán desky zdroje

## Příloha D – Vzájemné propojení DPS



Obrázek D. 1 Vzájemné propojení DPS

## Příloha E – Kompletní zapojení modulů



*Obrázek E. 1 Kompletní zapojení modulů*