

Gymnázium Třebíč



Seminární práce z programování

Simulace křižovatek pomocí fyzického 3D modelu

Dominik Dvořák, 8.G

Vedoucí práce:
Ing. Lukáš Semerád Ph.D.

Třebíč 2023

Prohlašuji, že jsem při zpracování práce postupoval v souladu se zákonem 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským v plném znění. Práci jsem vypracoval samostatně pod vedením Ing. Lukáše Semeráda Ph.D. a použité zdroje informací jsem řádně uvedl v Seznamu pramenů, Seznamu literatury a v seznamu Internetových zdrojů.

Třebíč 15. 12. 2023

Dominik Dvořák

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat všem, kteří mi s prací pomáhali a podporovali mě: v první řadě vědecké skupině STRaDe při VUT Brno za možnost využití 3D tiskáren a poskytnutí cenných rad k mé seminární práci, dále bych chtěl poděkovat své rodině za shovívavost a poskytnutí podmínek k vypracování práce. A na závěr bych chtěl také poděkovat mému vedoucímu práce a konzultantovi Ing. Lukáši Semerádovi Ph.D. za řadu cenných rad a odbornou konzultaci k mé práci.

Abstrakt

Tato práce je zaměřena na vytvoření vlastního fyzického 3D modelu v podobě simulátoru křižovatky ovládané jednodeskovými počítači a mikrokontrolery Raspberry Pi, které jsou propojeny pomocí SSH protokolu, a dalšími kompatibilními komponenty. Další nedílnou součástí tohoto simulátoru je Python aplikace, která slouží a je programována jako přehledný ovládací panel na sedmipalcovém multikapacitním displeji. Jejím hlavním účelem je možnost procvičování řady otázek týkajících se pravidel silničního provozu na křižovatkách.

Klíčová slova

Raspberry Pi; křižovatka; 3D simulátor; Python; SSH protokol; dotykový displej; krokový motor; auto

Abstract

This project is focused on creating a custom physical 3D model in the form of an intersection simulator controlled by single-board computers and Raspberry Pi microcontrollers connected through the SSH protocol, along with other compatible components. Another integral part of this simulator is a Python application designed and programmed as a user-friendly control panel on a seven-inch multitouch display. Its main purpose is to provide the ability to practice a series of questions related to traffic rules at intersections.

Keywords

Raspberry Pi; traffic intersection; 3D simulator; Python; SSH protocol; multitouch display; stepper motor; car

Obsah

Úvod.....	6
1 Raspberry Pi.....	8
1.1 Modely	8
1.2 Operační systémy na Raspberry Pi	12
1.3 Vlastnosti Raspberry Pi	13
2 Křižovatky	14
2.1 Obecná a místní úprava provozu	14
2.2 Neoznačené křižovatky	14
2.3 Dopravní značky na křižovatkách.....	14
3 Hardware využitý v simulátoru.....	17
3.1 Motory	17
3.2 Displeje	18
3.3 Semaforey.....	19
3.4 Ostatní komponenty využitě v simulátoru	20
3.5 Mechanismy použité v simulátoru.....	22
4 Software využitý v simulátoru.....	24
4.1 Raspberry Pi OS.....	24
4.2 Python	24
4.3 SSH protokol.....	26
5 Aplikace	28
5.1 Adresářová struktura	29
Závěr	30
ZDROJE	31
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	37

ÚVOD

Tato práce se zabývá stavbou 3D fyzického simulátoru křižovatek, který má pomoci lépe porozumět problematice pravidel silničního provozu na křižovatkách při výuce. Konkrétně jsou využity při stavbě simulátoru pláty z 1 mm tlusté nerez oceli, jedno Raspberry Pi 4, čtyři Raspberry Pi Zero, Raspberry Pi Pico WH, osm krokových motorů pro ovládání autíček na vrchní desce a pro ovládání výhybek na ozubených drahách, čtyři OLED 1,5“ displeje pro zobrazení dopravních značek, jeden 7“ dotykový displej, ozubené dráhy vytištěné z ABS filamentu a moduly semaforů. Co se softwaru týče, tak je využit jako primární jazyk Python a jeho knihovny, a SSH protokol. Práce uvádí také historii počítačů Raspberry Pi a rozbor konkrétních modelů, dále také popisuje pravidla silničního provozu na křižovatkách.

V první části mé práce popisuji historii společnosti Raspberry Pi Foundation. Poté se věnuji podrobnému popisu, představení a vlastnostem modelů Raspberry Pi a vybraným typům operačních systémů, které jsou díky své jednoduchosti hardwaru a opensource licenci dlouhodobě softwarově podporovány.

Druhá část práce je zaměřena na pravidla silničního provozu křižovatek. Zde zjišťuji, jaká pravidla platí pro neoznačené křižovatky, ale převážně se věnuji dopravním značkám. Dopravních značek je velké množství, ovšem křižovatek se týkají především dopravní značky upravující přednost a světelné signalizační řízení. Toto řízení pomáhá s regulací provozu a je užíváno převážně na vytižených místech. Všechny tyto vyhlášky nalezneme ve Sbírce zákonů ČR o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů (zákon o silničním provozu).

Třetí částí je již samotné sestavení, vzhled a detailní popsání 3D simulátoru. K uvedení simulátoru do provozu jsou potřeba krokové motory, OLED displeje, multitouch displej, Raspberry Pi Zero WH, Raspberry Pi Pico WH a Raspberry Pi 4. Dalšími součástkami, které zde nalezneme jsou například semaforey, výhybky, ozubené koleje či modely aut. Tato auta jezdí po vrchní desce modelu a jsou poháněna pomocí čtyř krokových motorů 28BYJ-48. Zbylé motory ovládají „výhybky“ uprostřed simulátoru, které slouží k přesunutí autíčka na jinou „ozubenou kolej“. Většina součástí byla vytištěna na 3D tiskárně pomocí 0,4 mm filamentu ABS.

Poslední část mé práce věnuji operačnímu systému Raspberry OS, programovacímu jazyku a komunikaci využívané v simulátoru. Jako programovací jazyk celého modelu jsem zvolil Python, který má na výběr velké množství knihoven. Všechny počítače Raspberry Pi spolu komunikují pomocí SSH protokolu, který umožňuje rychlý a spolehlivý přenos příkazů.

V dnešní době známe mnoho způsobů, jak využít moderní techniku v reálném životě. Proto mým prvním cílem při zpracovávání této práce je zvýšit povědomí o moderních možnostech učení. Jako druhý cíl jsem si stanovil zdokonalení a prohloubení mých znalostí v oblasti programování, představivosti a zručnosti.

1 RASPBERRY PI

Raspberry Pi je název pro řadu malých jednodeskových počítačů vyvíjených britskou společností Raspberry Pi Foundation. Společnost založil Eben Upton jako neziskovou organizaci v roce 2008 a jejím původním záměrem byl vývoj malých levných počítačů sloužících pro výuku informatiky a robotiky ve školách. [57] [58]

Po vydání druhé generace Raspberry Pi se vytvořila dceřiná společnost Raspberry Pi Trading, která převzala vývoj počítačů, zatímco Raspberry Pi Foundation se dále věnovala zpřístupnění technologií co nejvíce studentům. [59]

1.1 Modely

Raspberry Pi Foundation dohromady vytvořila šestnáct modelů jednodeskových počítačů, z kterých jsou k dnešnímu dni pouze tři oficiálně vyřazené a neprodejné (První generace s 26pinovým GPIO a Raspberry Pi 4 s 1 GB RAM představená v roce 2019). Každý si může vybrat pro své projekty ze spousty variant velikostí nebo výkonu.

1.1.1 Raspberry Pi model A a model B

První generace Raspberry Pi byla představena v roce 2012, a to ve dvou modelech, levnější ale slabší model A a o něco dražší ale silnější model B. Model B byl uveden do prodeje v roce 2012, model A se o rok opozdil. [4]

Oba modely poháněl SoC čip BCM2835 od firmy Broadcom, postavený na jednojádrovém procesoru ARM1176JZF-S od firmy ARM, a také obsahovaly 26pinový GPIO header, který byl využit pouze v této generaci. Model A obsahoval 256 MB RAM a model B měl dvě konfigurace RAM, jedna verze měla k dispozici také 256 MB a druhá dokonce 512 MB. Model B navíc disponoval, oproti modelu A, ethernet portem a dvěma USB A porty namísto jednoho, jinak byly modely i designem téměř identické. [4] [5] [6]

V roce 2014 Raspberry Pi Foundation uvedla do prodeje ještě vylepšené varianty první generace Raspberry Pi. Nové modely dostaly označení Raspberry Pi A+ a Raspberry Pi B+. Tyto vylepšené modely se lišily od základních velikostí operační paměti, oba modely dostaly 512 MB, a nově byly osazeny 40pinovým headrem, který se používá dodnes. Model A+ byl

navíc redesignován do kompaktnějšího řešení, tudíž se mohl používat i v projektech, kde prostor hrál velkou roli. Model B+ byl vylepšen z hardwarové stránky také. Nově měli uživatelé k dispozici čtyři USB 2.0 porty a micro SD slot nahradil již zastaralý SD slot. [8]

1.1.2 Raspberry Pi 2

Druhá generace označená jako Raspberry Pi 2 měla pouze jeden model, a to model B, představený v roce 2015. S tímto modelem je také spojena transformace firmy, od tohoto roku totiž všechny jednodeskové počítače Raspberry Pi vyvíjí firma Raspberry Pi Trading, která se na rozdíl od Raspberry Pi Foundation bude zabývat pouze vývojem těchto počítačů, a tak se celý proces vývoje zrychlí a Raspberry Pi budou ještě propracovanější a kvalitnější, než byly doposud. [59]

Raspberry Pi 2 B pohání SoC čip BCM2836 od firmy Broadcom, postavený na čtyřjádrovém procesoru Cortex-A7 s frekvencí 0.9 GHz od firmy ARM, a ve vylepšené později vydané variantě tohoto počítače můžeme najít SoC čip BCM2837, postavený na taktéž čtyřjádrovém procesoru Cortex-A53 s frekvencí 1.2 GHz od ARM. Dále tento počítač má k dispozici 1 GB operační paměti a nechybí zde ani ethernet port, HDMI port a čtyři USB 2.0 porty. [6] [10] [12]

1.1.3 Raspberry Pi Zero

Ve stejném roce jako druhá generace byl ještě představen ultra kompaktní jednodeskový počítač Raspberry Pi Zero. Tento počítač pohání stejný procesor jako první generaci, tedy BCM2835, doplněný o 512 MB operační paměti. Raspberry Pi Zero musel kvůli své kompaktnosti zrušit veškeré velké porty, takže na desce najdeme pouze dva micro USB porty, jeden mini HDMI port a slot na SD kartu, 40pinový header však nijak redukováný není a táhne se přes celou délku desky. [14]

V roce 2017 byl vyvinut vylepšený model Raspberry Pi Zero, označený písmenem W na konci (tedy Raspberry Pi Zero W). Písmeno W v názvu označovalo možnost bezdrátového připojení k internetu. Tento model byl prvním kompaktním zařízením od Raspberry Pi, který měl k dispozici bezdrátové připojení, a to konkrétně pomocí čipu BCM43143 od firmy Broadcom. [18] [19]

1.1.4 Raspberry Pi 3

První model třetí generace Raspberry Pi byl vydán v roce 2016, konkrétně model pojmenovaný Raspberry Pi 3. Tento model byl poháněn SoC čipem BCM2837B0 vyvinutým společností Broadcom, postaveném na čtyřjádrovém 64bitovém procesoru Cortex-A53 od firmy ARM. Stal se tak prvním počítačem Raspberry Pi, který běžel na 64bitové architektuře. Raspberry Pi 3 (později přejmenovaný na Raspberry Pi 3 B) měl k dispozici 1 GB RAM a porty se od předchozí generace téměř nelišili, změnil se akorát Micro USB port určený k napájení počítače za silnější, který zvládal napětí až 2.5 A. Nově na desce přibyl ještě WLAN a BLE čip BCM43438 od firmy Broadcom. Tento počítač tak získal ještě širší škálu využití, právě díky bezdrátovému připojení k internetu. [6] [13] [15] [16] [17]

Zbylé dva modely třetí generace se začali prodávat v roce 2018. Levnější a slabší model Raspberry Pi 3 A+ vyvinul výrobce jako přímého nástupce modelu Raspberry Pi A+. Tento model měl k dispozici stejně jako předchůdce 512 MB operační paměti a jeden USB 2.0 port, ale navíc se na desce objevil HDMI port a WLAN a Bluetooth čip BCM43438 od firmy Cypress. Celý model byl poháněn SoC čipem BCM2837B0 s čtyřjádrovým procesorem ARM Cortex-A53 disponujícím frekvencí 1.4 GHz. Silnější Raspberry Pi 3 B+ měl k dispozici 1 GB operační paměti, čtyři USB 2.0 porty, ethernet port a jinak všechny komponenty byly stejné jako u Raspberry Pi 3 A+. [17] [20] [22] [23]

1.1.5 Raspberry Pi 4 a Raspberry Pi 400

Rok 2019 přinesl čtvrtou generaci počítačů Raspberry Pi, složenou sice z jednoho modelu Raspberry Pi 4 B, ale za to dokonce ve třech variantách. Varianty se lišily pouze velikostí operační paměti a cenou, jinak byly naprosto identické. Konkrétně mohly tyto počítače obsahovat 1 GB, 2 GB nebo 4 GB LPDDR4 operační paměti. Všechny varianty poháněl SoC čip BCM2711, uvnitř kterého se nacházel 64bitový čtyřjádrový procesor ARM Cortex-A72 s frekvencí 1,8 GHz. Nově se na desce objevily kromě USB 2.0 portů také rychlejší USB 3.0 porty, a také se microUSB napájecí port změnil na novější USB-C port. [24] [25] [26]

Čtvrtá generace Raspberry Pi se ještě v roce 2020 rozšířila o model s 8 GB RAM, a nově byl představen designově úplně odlišný jednodeskový počítač Raspberry Pi 400, zabudovaný v klávesnici. Tento „klávesnicový“ počítač byl představen pouze v jedné variantě se stejnými komponenty jako Raspberry Pi 4 se 4 GB operační paměti. [27] [28] [29]

1.1.6 Raspberry Pi Zero 2

Rok 2021 také nebyl mrtvý v oblasti vývoje Raspberry Pi. Představily se hned dva jednodeskové počítače. Jedním z nich byla druhá generace Raspberry Pi Zero. Tento počítač obsahoval SoC RP3A0 (předělaný SoC BCM2710A1) s 512 MB operační paměti a 64bitovým čtyřjádrovým procesorem ARM Cortex-A53 s frekvencí 1 GHz. Jinak byl oproti předchozí generaci naprosto identický. [30] [31]

1.1.7 Raspberry Pi Pico

Druhým představeným počítačem v roce 2021 byl Raspberry Pi Pico, sloužící spíše jako microcontroller ve všemožných projektech. Tento miniaturní jednodeskový počítač obsahoval SoC RP2040, vyvinutý přímo společností Raspberry Pi, poháněný dvoujádrovým procesorem ARM Cortex-M0+ s frekvencí 133 MHz s 264 kB operační paměti a zabudovaným 2 MB flash úložištěm. Raspberry Pi Pico neobsahuje 40pinové GPIO jako ostatní modely, ale pouze 26pinové, kvůli úspoře místa. O rok později byla představena vylepšená varianta Raspberry Pi Pico, nazvaná Raspberry Pi Pico W, která navíc oproti předchozímu modelu obsahovala WLAN a Bluetooth čip, díky němuž se ještě více rozšířily možnosti, jak tento microcontroller využít. [32] [33]

1.1.8 Raspberry Pi 5

Po vydání čtvrté generace spousta lidí netrpělivě čekalo na pátou, ale musely čekat relativně dlouho. Čtyři roky totiž Raspberry Pi skrytě vyvíjelo a testovalo nový model, o kterém občas nějaký článek vyšel, i když většinou moc nenapověděl. Pátá generace přišla poněkud nečekaně v roce 2023 a to ve dvou modelech. Levnější varianta se 4 GB operační paměti a dražší s 8 GB. Oproti čtvrté generaci byla pátá solidním vylepšením. Obsahovala dva USB 2.0 a dva USB 3.0 porty s rychlostí přenosu dat až 5 Gbps, které ovládal oproti čtvrté generaci nový I/O čip RP1 vyrobený samotným výrobcem počítačů Raspberry Pi ve spolupráci s firmou Broadcom, jedná se o druhý čip vyrobený Raspberry Pi, který byl použit v jejich počítačích. Dále na rozdíl od předešlých generací obsahovala RTC poháněné externí baterií, jako to můžeme najít u klasických stolních počítačů. Celý model poháněl SoC BCM2712 vyrobený 16nanometrovou technologií od firmy Broadcom s 64bitovým procesorem ARM Cortex-A76 s frekvencí 2.4 GHz. Podle výrobce byla pátá generace dvakrát až třikrát rychlejší než čtvrtá, právě díky novému procesoru. [34] [35] [36]

1.2 Operační systémy na Raspberry Pi

Každý počítač Raspberry Pi běží na nějakém operačním systému. Operačních systémů, které jsou podporovány na Raspberry Pi je velké množství hlavně díky jednoduchosti hardwaru a opensource licencích na Raspberry Pi, proto zde bude vypsán jen výčet několika málo systémů.

1.2.1 Raspberry Pi OS

Raspberry Pi OS je komunitou a Raspberry Pi Foundation aktivně vyvíjený opensource operační systém. Tento systém je doporučeno používat právě díky kompatibilitě s hardwarem a vývojem společností, která vyvinula jak hardware, tak software. Raspberry Pi OS byl vydán v roce 2012 a jako základ pro něj posloužil Debian, díky čemuž podporuje většinu balíčků určených právě pro Debian.

Samotný systém obsahuje přes 35 000 balíčků, ve kterých se nachází i například aplikace pro výuku programování. Raspberry Pi OS lze ovládat jak pomocí grafického rozhraní, tak pomocí příkazového řádku. Jako většina linuxových distribucí je i tento operační systém konfigurovatelný. Konfigurace zde probíhá pomocí Raspberry Pi Configuration nástroje, pomocí nějž můžeme například povolit SSH protokol, nebo přetaktovat procesor. [1] [38] [39]

1.2.2 Ubuntu MATE

Základ Ubuntu MATE leží na známé linuxové distribuci Ubuntu. Ve zkratce jde o odlehčený operační systém Ubuntu přestavěný pro Raspberry Pi počítače, avšak lze použít i pro klasické desktopy, které už mají zastaralé nebo slabé komponenty. [40]

1.2.3 Windows 10 IoT Core

Vývoj Windows 10 IoT Core je plně zastřešen společností Microsoft, a je kompatibilní prakticky s každým zařízením postaveném na ARM procesoru, mezi něž se řadí i Raspberry Pi. Tento operační systém slouží pro správu Internet of Things. Raspberry Pi s Windows 10 IoT Core můžeme tedy využít například pro správu chytré domácnosti. [41]

1.2.4 Kali Linux

Jedna z mnoha variant Kali Linuxu se vyvíjí právě na ARM zařízení, jako jsou například ODROID, CuBox nebo Raspberry Pi. Tento operační systém slouží pro testování zabezpečení například Wi-Fi sítě pomocí průniku. Kali Linux je také nechvalně proslulý využitím k nelegálním činnostem, například k DDoS útokům právě díky množství testovacích možností. [42]

1.3 Vlastnosti Raspberry Pi

Na Raspberry Pi lze programovat v mnoha programovacích jazycích, jako například Python, C++, Java, Perl nebo Scratch. Nejčastěji se využívá Python, hlavně díky velkému množství knihoven určených pro Raspberry Pi. Díky GPIO pinům se dá k Raspberry Pi připojit velké množství komponent, které se následně ovládají pomocí programu vytvořeného uživatelem. Mezi komponenty, které lze připojit k GPIO patří například menší displeje, motory nebo LED diody. Dále se dá k Raspberry Pi připojit pomocí USB portů například myš a klávesnice a pomocí HDMI můžeme připojit monitor. Například Raspberry Pi 4 B podporuje až dva 4K monitory, tudíž můžeme počítače Raspberry Pi využít třeba i jako multimediální přehrávač, právě díky vysoké kvalitě obrazu, kterou procesor na Raspberry Pi zvládá. [24] [43] [44]

2 KŘÍŽOVATKY

Pro pochopení základní funkčnosti simulátoru, je potřeba znát pravidla silničního provozu na křižovatkách. Hlavní pravidla silničního provozu na křižovatkách naleznete v této kapitole.

2.1 Obecná a místní úprava provozu

Obecná a místní úprava provozu na pozemních komunikacích je definována v §61 zákona č. 361/2000 Sb. Obecná úprava provozu je dána zněním tohoto zákona, podle ní mimo jiné platí přednost protijedoucím vozidlům při odbočování vlevo. Místní úprava provozu na pozemních komunikacích je úprava provozu na pozemních komunikacích provedená dopravními značkami, světelnými signály nebo dopravními zařízeními. Místní úprava je nadřazena obecné úpravě provozu, o čemž pojednává §76. [2]

2.2 Neoznačené křižovatky

„Podle §22 není-li křižovatka rozlišena dopravními značkami upravujícími přednost, není-li řízena světelnými signály, nebo není-li řízena policistou, platí přednost v jízdě vozidel přijíždějících zprava. Přednost zprava se uplatní také vzájemně mezi vozidly přijíždějícími po hlavní silnici, a pak i mezi vozidly přijíždějícími po vedlejší silnici tam, kde dle dodatkové tabulky vede hlavní silnice do zatáčky.“ [2]

2.3 Dopravní značky na křižovatkách

Je-li hlavní a vedlejší pozemní komunikace rozlišena dopravními značkami upravujícími přednost, řídí se řidič, jezdec na zvířeti, průvodce hnaných zvířat nebo organizovaná skupina chodců značkou příslušnou pro jejich směr jízdy. Vyobrazení a význam dopravních značek je stanoven vyhláškou č. 294/2015 Sb., která je prováděcí vyhláškou k zákonu č. 361/2000 Sb., a rozděluje dopravní značky na svislé a vodorovné, které se dále dělí podle mnoha dalších kategorií. [2]

2.3.1 Dělení dopravních značek podle §62 zákona č. 361/2000 Sb.

Podle §62 zákona č. 361/2000 Sb. se dopravní značky svislé dělí na stálé, upevněné konstrukcí pevně k zemi nebo k budově, proměnné, jejichž provedení se může měnit (často

jde o nějaký displej), nebo přenosné, které slouží na určitém místě pouze dočasně. Stejně rozděluje dopravní značky i §1 vyhlášky č. 294/2015 Sb. Rozdělení dopravních značek se tedy vyskytuje ve dvou zákonech. [2]

2.3.2 Značky upravující přednost

Na křižovatkách můžeme potkat většinou svislé značky upravující přednost, které určuje §5. Jde o značky: Hlavní pozemní komunikace, Konec hlavní pozemní komunikace, Dej přednost v jízdě!, Stůj, dej přednost v jízdě!, Křižovatka s vedlejší pozemní komunikací nebo Dej přednost v jízdě tramvaji!. Dále se však na křižovatkách mohou vyskytovat i značky vodorovné, které definuje §12 a konkrétně jde o příčné čáry, jenž se nachází na vedlejších pozemních komunikacích většinou těsně před křižovatkou. Příčné čáry existují pouze tři: Příčná čára souvislá (vyznačuje hranici křižovatky), Příčná čára souvislá se symbolem „Dej přednost v jízdě!“ (má stejnou funkci jako pouze Příčná čára souvislá), Příčná čára souvislá s nápisem STOP (vyznačuje místo, kde je řidič povinen zastavit vozidlo). [2]

2.3.3 Světelné signalizační řízení

Světelné signály pomáhají hlavně na vytíženějších křižovatkách s regulací provozu. Definuje je §13 z vyhlášky č. 294/2015 Sb.

Nejčastěji se na křižovatkách setkáme s tříbarevnou soustavou s plnými signály, těmi signály jsou: „Signál s červeným světlem „Stůj!“ (Řidič je povinen zastavit vozidlo před dopravní značkou „Příčná čára souvislá“, „Příčná čára souvislá se symbolem Dej přednost v jízdě!“ a „Příčná čára souvislá s nápisem STOP“, a kde taková značka není, před světelným signalizačním řízením), Signál se žlutým světlem „Pozor!“ (Řidič je povinen zastavit vozidlo před dopravní značkou „Příčná čára souvislá“, „Příčná čára souvislá se symbolem Dej přednost v jízdě!“ a „Příčná čára souvislá s nápisem STOP“, a kde taková značka není, před světelným signalizačním řízením. Je-li však vozidlo při rozsvícení tohoto signálu již tak blízko, že by řidič nemohl bezpečně zastavit, smí pokračovat v jízdě. Svítí-li světlo tohoto signálu přerušovaně, nejde o křižovatku s provozem řízeným světelnými signály.) a Signál se zeleným světlem (Řidič může pokračovat v jízdě, a dodrží-li ustanovení o odbočování, může odbočit vpravo nebo vlevo, přičemž musí dát přednost chodcům přecházejícím ve volném směru po přechodu pro chodce a cyklistům přejíždějícím ve volném směru po přejezdu pro cyklisty).“ [2]

Dále se můžeme setkat na křižovatkách se tříbarevnou soustavou se směrovými signály nebo se tříbarevnou soustavou s kombinovanými směrovými signály, kde signály znamenají pro řidiče povinnost zastavit vozidlo nebo možnost pokračovat v jízdě jen ve směru, kterým ukazuje šipka. [2]

3 HARDWARE VYUŽITÝ V SIMULÁTORU

Simulátor křižovatky využívá hardware v poměrně velkém množství. K uvedení simulátoru do funkčního stavu byly potřeba krokové motory, OLED displeje, multitouch displej, Raspberry Pi Zero WH, Raspberry Pi Pico WH a Raspberry Pi 4. Jednotlivě rozepsané hardwarové součástky, které byly využity v simulátoru naleznete v této části.

3.1 Motory

Modely aut jezdící po vrchní desce modelu jsou poháněny pomocí krokových motorů 28BYJ-48. Krokový motor je motor, u kterého lze pomocí mikrokontroleru ovládat nejen časový údaj, po který bude zapnut, ale také můžeme regulovat, o kolik stupňů se motor otočí. Ve zkratce jde o motor se zabudovaným enkodérem. Model krokového motoru 28BYJ-48 byl zvolen kvůli jeho malé velikosti, malé ceně a relativně velké spolehlivosti. Na pohon malých modelů aut není potřeba silný motor, jde jen o přesnost a v tomto ohledu byl daný motor velmi vhodný.

Ke krokovému motoru 28BYJ-48 byl využit řadič ULN2003, který byl doporučen výrobcem krokového motoru a spolupracuje s motorem spolehlivě.

Motorů 28BYJ-48 bylo využito dohromady osm. Čtyři krokové motory jsou po jednom zapojeny do Raspberry Pi Zero WH a každý z nich ovládá jedno autíčko na horní desce simulátoru. Na hřídel těchto motorů jsou připevněny ozubená kola, pomocí kterých se motor pohybuje po „ozubené koleji“ a hýbe tak i autíčkem. Zbýlé čtyři krokové motory ovládají „výhybky“ uprostřed simulátoru, které slouží k přesunutí autíčka na jinou „ozubenou kolej“, a jsou zapojeny dohromady dvou Raspberry Pi Pico WH. Přesné zapojení jednotlivých motorů naleznete v tabulce níže (Tab. 1):

Raspberry Pi Zero WH	Krokový motor	
	Řadič ULN2003	Krokový motor
17/16	4	1
18/7	3	2
23/6	2	3
22/13	1	4
5V	VCC	5
GND	GND	

Tab. 1: Zapojení krokového motoru 28BYJ-48 s řadičem ULN2003 do Raspberry Pi Zero WH

3.2 Displeje

3.2.1 Displeje pro zobrazení dopravních značek

Pro zobrazení dopravních značek byly pro jednoduchost měnění z jedné značky na druhou využity displeje. V tomto simulátoru byly zvoleny 1,5palcové RGB OLED displeje od firmy WaveShare z důvodu přesného zobrazení barev a ideální velikosti displeje. Cena v tomto případě nehrála roli, protože v době vytváření simulátoru byly displeje s jinými technologiemi vyprodány, jinak by byly pravděpodobně zvoleny displeje s technologií LCD nebo TFT právě z důvodu mnohonásobně menší ceny a dostačující kvality. Kvůli technologii připojení displeje SPI se nedá zapojit více než jeden displej do jednoho Raspberry Pi Zero WH, a tudíž musel být každý z displejů zapojen do jiného Raspberry Pi Zero WH. Tento displej využívá napětí 3.3 V, a i proto byl vhodný pro zapojení do Raspberry Pi Zero WH, které má právě jeden pin uzpůsobený na napájení zařízení s napětím 3.3 V. Přesné zapojení OLED displeje do Raspberry Pi Zero WH naleznete v tabulce níže (Tab. 2):

OLED	Raspberry Pi Zero WH	
	BCM2835	Board
VCC	3.3V	3.3V
GND	GND	GND
DIN	MOSI	19
CLK	SCLK	23
CS	CE0	24
DC	25	22
RST	27	13

Tab. 2: Zapojení 1,5palcového OLED displeje do Raspberry Pi Zero WH [7]

3.2.2 Displej pro zobrazení GUI

Pro jednoduchost ovládání simulátoru a zobrazení UI byl vybrán 7palcový RGB LCD multitouch displej od firmy WaveShare. Displej má rozlišení 1024 x 600 pixelů, ale softwarově lze rozlišení upravit až na 1980 x 1080. V simulátoru je rozlišení displeje ponecháno na 1024 x 600 pixelů z důvodu lepší čitelnosti a lepšího ovládání prstem. Tento displej obsahuje pět hardwarových tlačítek pro ovládání: Power (zapne nebo vypne displej), Menu (zapne se přehledné menu se základním nastavením displeje, po zapnutí menu se tlačítko změní na tlačítko pro potvrzení), Exit (tlačítko pro návrat), dále displej ještě obsahuje tlačítko pro pohyb nahoru nebo dolů a tlačítko pro pohyb doleva nebo doprava, pomocí kterých lze ovládat menu nebo jas displeje. Pro zajištění funkčnosti 7palcového displeje bylo potřeba přidat do konfiguračního systémového souboru přidat tyto řádky kódu:

```
hdmi_force_hotplug=1
config_hdmi_boost=10
hdmi_group=2
hdmi_mode=87
hdmi_cvt 1024 600 60 6 0 0 0
```

3.3 Semaforey

Semaforey jsou tvořeny modulem semaforu, který spojuje tři PWM LED diody pomocí PCB desky, a zjednodušuje tak práci při zapojování těchto LED diod. Obsahuje dohromady čtyři

pinů na zapojení (R, Y, G, GND), kde R, Y a G se zapojí do libovolného pinu na Raspberry Pi Pico a GND pin se zapojí do Ground pinu.

Každá LED dioda lze ovládat zvlášť, a u každé lze měnit i její svítivost. Tento modul byl zvolen z důvodu lepší vizualizace reálné křižovatky. [45]

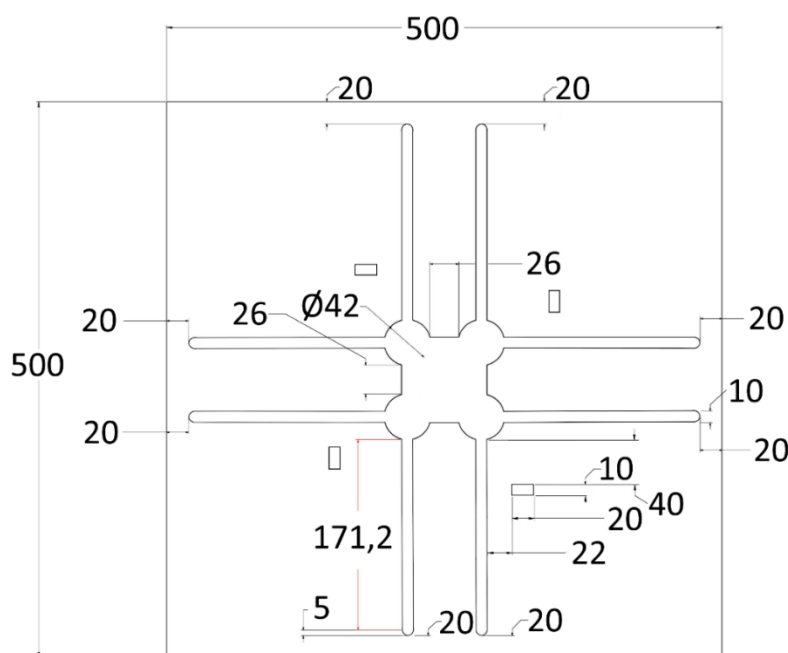
3.4 Ostatní komponenty využité v simulátoru

3.4.1 Součástky vytištěné pomocí 3D tisku

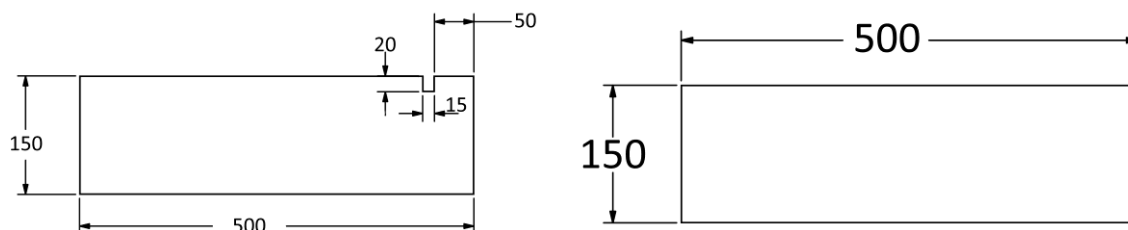
Většina dalších součástek simulátoru byla vytištěna na 3D tiskárně pomocí 0,4 mm filamentu ABS (akrylonitril-butadien-styren). Součástky vytištěné z ABS jsou relativně odolné, a lze tak do nich například po vytištění ještě vyvrtat díru, aniž by se součástky rozpadly.

3.4.2 Součástky vytvořené pomocí CNC laseru

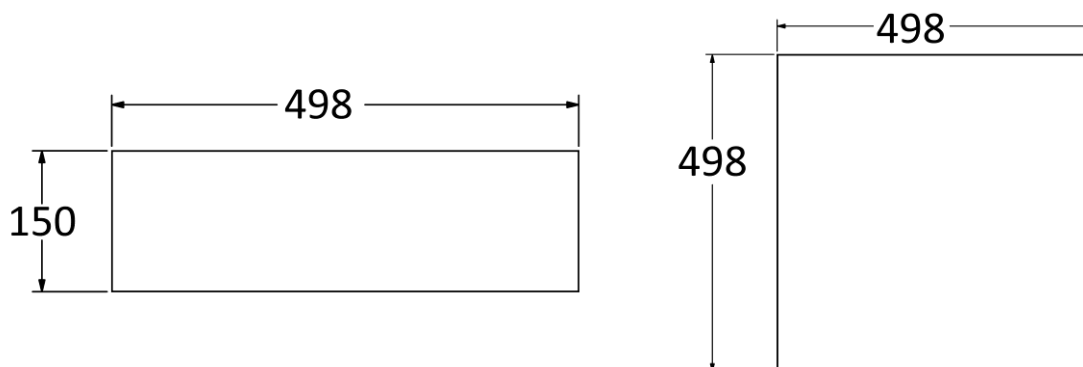
Samotná hlavní konstrukce modelu simulátoru tvaru kvádru je vytvořena z milimetrových plátů nerez oceli, do které je pomocí CNC laseru vypáleno několik děr, pomocí kterých lze propojit vnitřní část konstrukce s vnější částí (např. ovládání autíčka na vrchní desce pomocí motoru umístěného uvnitř kvádru). Technický výkres kvádru naleznete na obrázcích níže (obr. 2, 3, 4, 5)



Obr. 2: Technický náčrtek vrchní stěny kvádru, 2023



Obr. 3: Technický nákres přední stěny kvádru (a), zadní stěny kvádru (b), 2023



Obr. 4: Technický nákres boční stěny kvádru (a), spodní stěny kvádru (b), 2023

3.4.3 Cena hardwaru

Cena veškerých hardwarových komponent pro sestavení simulátoru byla poměrně vysoká, mezi nejdražší součástky patří jednodeskové počítače Raspberry Pi a milimetrové pláty z nerez oceli. Celková částka byla vyčíslena na 15 119 Kč. Celý ceník všech součástí naleznete v tabulce níže (Tab. 3):

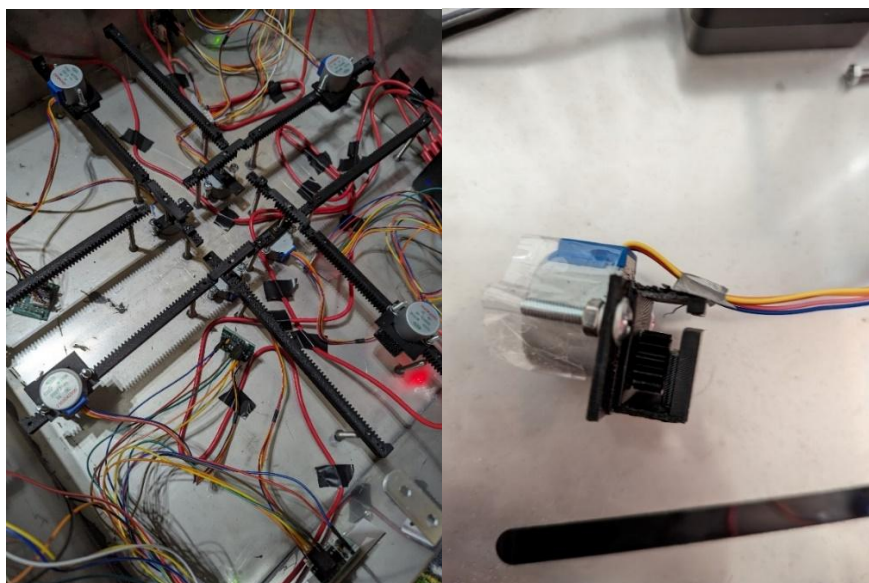
Název položky	Cena (v Kč)
Raspberry Pi 4B	2 069
7palcový displej	1 739
4x 1,5palcový OLED displej	1 876
5x Micro USB kabel	445
4x Raspberry Pi Zero WH	1800
Raspberry Pi Pico WH	209
5x microSDHC	995
Milimetrové pláty z nerez oceli + práce CNC laseru	1 500
DuPont kabely	378
Filament	2 000 ¹
8x krokový motor s řadičem	568
4x semafor	76
Zdroj pro Raspberry Pi Zero WH	664
Šrouby a ostatní součástky	800
Celkem	15 119

Tab. 3: Ceník veškerého hardwaru využitého na stavbu 3D modelu

3.5 Mechanismy použité v simulátoru

Pro pohyb autíček po vrchní desce simulátoru byly využity ozubené kolejnice (obr. 6) a ozubená kola (obr. 7), vytištěná na 3D tiskárně, které umožňují plynulý a přesný pohyb. Ozubené kolejnice drží na „sloupcích“ vyrobených ze dvou šroubů spojených dohromady (vrchní šroub M2 a spodní M5). Celý princip pohybu spočívá na krokovém motoru, na kterém je přidělané ozubené kolo, pomocí kterého se motor pohybuje po ozubené kolejnici, na kterou je navíc přidělán pomocí „krabičky“ z 3D tisku (obr. 7). „Krabice“ vyvíjí menší tlak na kolejnici, díky čemuž motor z kolejnice nemůže nikdy vyjet pryč.

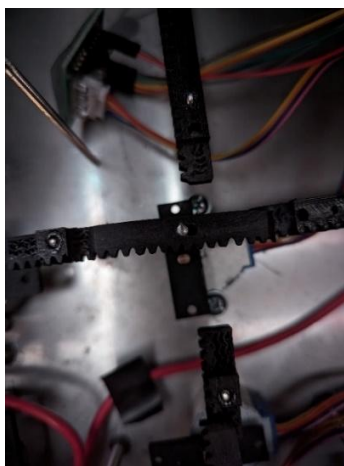
¹ Cena pouze orientační (pravděpodobně je vyšší, než je uvedena)



Obr. 6: Vnitřní část modelu s ozubenými koležnicemi, 2023

Obr. 7: Krokový motor s ozubeným kolečkem a „krabičkou“, 2023

Pro zatočení autíčka na křižovatce se využívá princip výhybky. Na krokovém motoru upevněném na vnitřní části dna je připevněna ozubená koležnice (obr. 8), kterou lze za použití tohoto motoru otáčet, a přesouvat tak motory s autíčky na další statické koležnice, čímž auta zatočí.



Obr. 8: Krokový motor s otočnou ozubenou koležnicí, 2023

4 SOFTWARE VYUŽITÝ V SIMULÁTORU

Ke správnému chodu simulátoru je třeba, mimo hardwarové, také softwarová část. Všechny programy pro ovládání simulátoru jsou tvořeny pomocí programovacího jazyka Python, včetně mnoha knihoven pro tento jazyk. Nedílnou součástí softwaru v simulátoru tvoří komunikace mezi jednotlivými počítači, kterou zajišťuje SSH protokol. Více o softwaru použitém v simulátoru si můžete přečíst v této části.

4.1 Raspberry Pi OS

Každý z počítačů Raspberry Pi 4 a Raspberry Pi Zero, využitý v simulátoru, běží na operačním systému Raspberry Pi OS, uloženém na SD kartě. Raspberry Pi OS je operační systém postavený na Debianu, který je primárně určen pro počítače od firmy Raspberry Pi. Díky tomu, že byl vyvíjen právě z Debianu, tak téměř jakýkoliv balíček nebo rozšíření určený pro Debian je funkční i na Raspberry Pi OS. Velkou výhodou používání tohoto operačního systému je jeho aktivní vývoj a pravidelné aktualizace. V základním nastavení tohoto operačního systému se musí spustit aktualizace pokaždé manuálně. Ve všech počítačích v simulátoru je ale využíván balíček Unattended Upgrades, které aktualizuje operační systém automaticky, a tím pádem není potřeba zapínat terminál a celý proces aktualizace se tím velmi zjednoduší. [1][38][46]

4.2 Python

Jako programovací jazyk pro programování GUI i funkční stránky programu simulátoru byl zvolen Python. Tento programovací jazyk byl vybrán na základě předchozích testování mezi jazykem C a Pythonem, ve kterých bylo zjištěno, že oproti programovacímu jazyku C má Python na výběr větší množství knihoven, které jsou potřebné k provozu mého simulátoru, a navíc Python spolupracuje s Raspberry Pi a ostatním hardwarem mnohem lépe než jazyk C. Python má ovšem i své nevýhody, jako například rychlost provedení příkazů, kvůli které musí uživatel simulátoru delší dobu (asi 5 sekund) počkat, než se spustí názorná ukázka situace křižovatky. Tento problém byl vyřešen tím, že na něj program při spuštění sám uživatele upozorní. I přes svoje nedostatky je ale Python pro tento projekt vhodnější než jazyk C. [3][38]

4.2.1 Knihovny

Pro správné ovládání simulátoru jazykem Python bylo využito vícero knihoven, které zajišťují například komunikaci mezi jednotlivými Raspberry Pi nebo komunikaci mezi Raspberry Pi a dalším hardwarem.

4.2.1.1 Knihovna os

Knihovna os může přistupovat k jednotlivým souborům v počítači a otevírat je, nebo je měnit. Pomocí os jsou definovány proměnné pro využití knihovnou sys. [47]

4.2.1.2 RPi.GPIO

Knihovna RPi.GPIO slouží pro ovládání GPIO pinů v počítačích Raspberry Pi. Tato knihovna je využita pro ovládání ostatního hardwaru, jako například motorů nebo OLED displejů. [48]

4.2.1.3 Knihovna logging

Knihovna logging je jednou z nejzákladnějších knihoven Pythonu, a slouží k vyhledávání chyb v kódu. [49]

4.2.1.4 Knihovna time

Knihovna time slouží k používání času v Python scriptech. Knihovna time je využita k nastavení doby čekání u motorů nebo u OLED displejů. [50]

4.2.1.5 Pillow

Knihovna Pillow přidává do Pythonu možnost zpracování, rozpoznávání a vykreslování obrázků. V simulátoru je tato knihovna využívána k vykreslování obrázků na OLED displeje. [51]

4.2.1.6 Waveshare OLED

Firma Waveshare vytvořila ke svým OLED displejům i oficiální knihovny, které slouží ke konfiguraci OLED displejů. Tyto knihovny jsou využívány v simulátoru k zjednodušení práce s OLED displeji, na kterých jsou vyobrazeny dopravní značky.

4.2.1.7 Knihovna subprocess

Knihovna subprocess umožňuje Pythonu spustit více příkazů najednou. V simulátoru tato knihovna umožňuje například spuštění více motorů najednou nebo připojení Raspberry Pi 4 pomocí SSH protokolu k více počítačům současně, a tím výrazně urychlit proces spuštění 3D vizualizace průběhu křížovky. [52]

4.2.1.8 CustomTkinter

Knihovna CustomTkinter přidává do jazyku Python mnoho možností k vytvoření moderního GUI, které funguje a vypadá stejně na všech platformách podporujících Python. Tato knihovna byla vytvořena z knihovny Tkinter, které rovněž slouží k podobnému účelu, tedy tvorby uživatelského rozhraní, ale nedokáže vytvořit moderní widgety a celé GUI vypadá velice zastarale a nepřehledně. Pomocí CustomTkinter je vytvořeno uživatelské rozhraní na 7palcové obrazovce v simulátoru. [53]

4.2.1.9 Paramiko

Knihovna Paramiko implementuje do jazyku Python podporu SSH protokolu, pomocí kterého lze přesunovat soubory mezi zařízeními, nebo ovládat z jednoho zařízení jiné. V simulátoru je knihovna Paramiko velice důležitou součástí, protože pomocí SSH protokolu je zavedena komunikace mezi hlavní Raspberry Pi 4 a ostatními počítači. [54]

4.3 SSH protokol

Všechny počítače Raspberry Pi v simulátoru spolu komunikují prostřednictvím SSH protokolu. SSH protokol je end-to-end encrypted kanál, který propojuje dvě zařízení připojené k internetu. Pomocí SSH si mohou dvě zařízení mezi sebou posílat nejenom příkazy, ale i soubory, navíc je tento kanál velice dobře zabezpečen proti vnějšímu vniknutí, takže je hojně využíván při i složitějších projektech. Při propojení dvou zařízení na stejné síti tak hrozí nebezpečí pouze na minimální úrovni, nicméně pokud útočník získá SSH klíč z jednoho z mnoha zařízení, potom už je hrozba velká. [55][56]

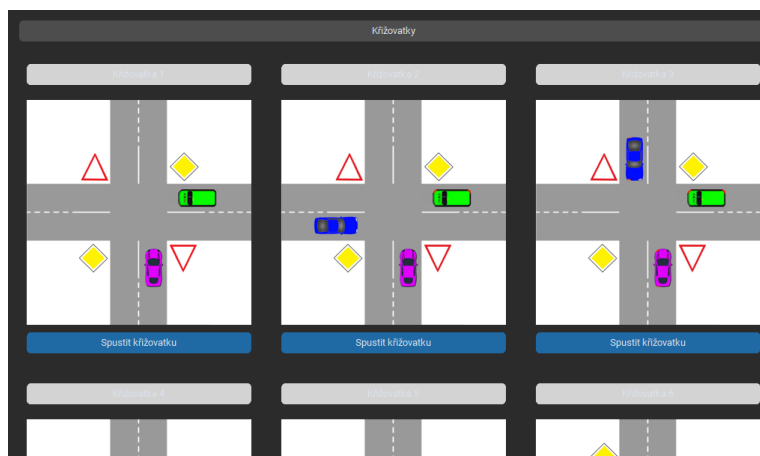
Tento způsob jsem zvolil jako vhodný z mnoha důvodů:

- Počítače Raspberry Pi nespolupracují mezi sebou pomocí kabelového připojení (které je nejvíce bezpečné proti vnějšímu proniknutí), proto jsem musel zvolit jinou dostatečně zabezpečenou metodu.
- Pomocí SSH protokolu lze přesunovat data velmi rychle a spolehlivě. V tomto projektu potřebuji, aby zadané příkazy vždy proběhli co nejdříve. V těchto ohledech je SSH protokol lepší než Bluetooth, které při testování nefungovalo vždy.
- Jednoduchost implementace příkazů na posílání dat do programu.

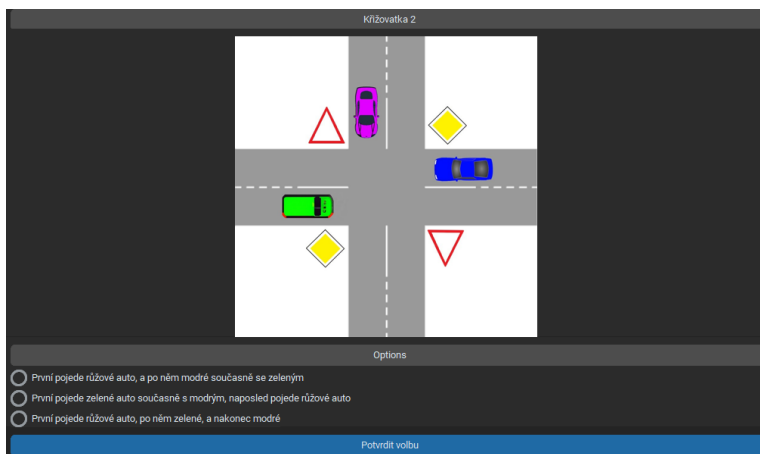
5 APLIKACE

Pro lepší přehled a ovládání simulátoru, byla implementována do 7palcové dotykové obrazovky přehledná aplikace, vytvořená v jazyku Python s pomocí knihovny CustomTkinter, obsahující obrázky jednotlivých křižovatek (Obr. 9), které si může uživatel kliknutím spustit, a otestovat znalost pravidel silničního provozu pomocí jednoduchého kvízu se třemi odpověďmi (Obr. 10), kde po zvolení a potvrzení jedné možnosti může uživatel spustit 3D simulaci pomocí autíček napojených na krokové motory. Správná možnost se po zvolení obarví zeleně (Obr. 11), špatná červeně (Obr. 12).

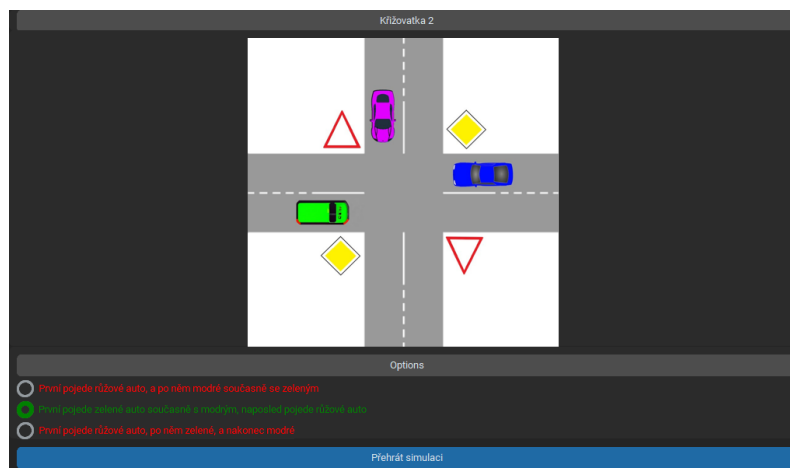
Aplikace byla vytvořena tak, aby se mohla dále rozšiřovat o více křižovatek, ale i nových funkcí. Pro lepší přehlednost kódu aplikace bylo využito tzv. Object-oriented programming [63].



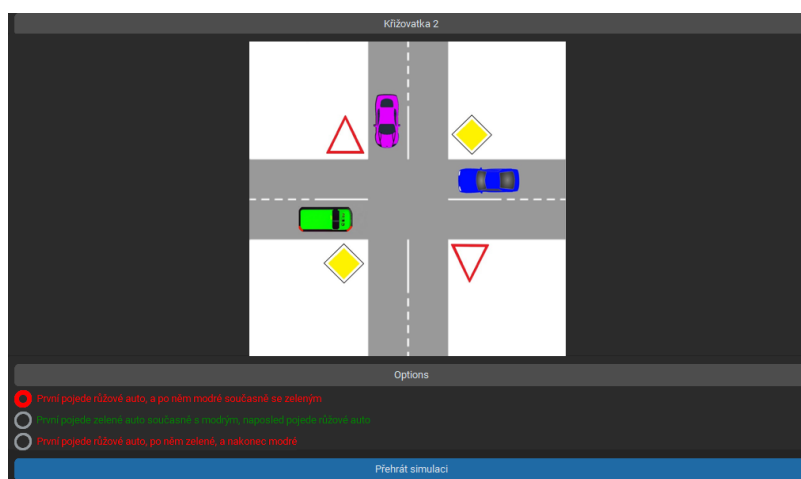
Obr. 9: Ukázka hlavního rozcestníku v aplikaci, 2023



Obr. 10: Ukázka GUI levelu, 2023



Obr. 11: Ukázka zvolení správné odpovědi, 2023



Obr. 12: Ukázka zvolení špatné odpovědi, 2023

5.1 Adresářová struktura

Celý program je možné nalézt na https://github.com/Lambdacorporation/Seminarni_prace_Dvorak_2023. Strukturu tohoto média naleznete níže:

README.md.....Stručný popis obsahu
src

- Levely_UI.....Program pro zobrazení GUI
- OLED_Module_Code.....Knihovna funkcí pro OLED displeje
- levely.....skripty pro krokové motory v jednotlivých levelech
- modely.....3D modely jednotlivých součástí
- obrázky.....obrázky použité v GUI a v této práci

ZÁVĚR

Hlavním cílem bylo vytvoření 3D modelu pro simulaci křižovatek, s využitím jednodeskového počítače Raspberry Pi, který má pomoci lépe porozumět pravidlům silničního provozu na křižovatkách. Protože cílovou skupinu tvoří hlavně mladší žáci základních škol, bylo nutné vytvořit i přehlednou aplikaci zobrazenou na displeji, pomocí které se může simulátor ovládat.

V teoretické části jsou zahrnuty jednotlivé vlastnosti a funkce počítačů Raspberry Pi. Dále teoretická část obsahuje výpis základních pravidel silničního provozu na křižovatkách, které jsou nutné pro pochopení funkčnosti simulátoru.

V praktické části jsou uvedeny jednotlivé hardwarové prvky a mechanismy použité při stavbě 3D modelu. Následuje výpis softwarových prvků použitých pro zajištění funkčnosti hardwaru, a také výpis softwaru využitého pro vytvoření aplikace zobrazené na displeji. Celý model a aplikace jsou tvořeny tak, aby co nejlépe mezi sebou spolupracovali. Aplikace je tvořena jako přehledný panel pro ovládání, aby se v ní vyznal každý uživatel.

Při návrhu 3D modelu bylo potřeba nejprve navrhnout jeho samotný tvar. Do vrchní desky byly vyříznuty pomocí CNC laseru díry tak, aby vrchní deska nepřekážela tyčkám, na kterých jsou napojena autíčka, a aby jimi mohly procházet kabely ven z modelu.

Dále bylo nutné vymyslet mechanismus pro pohyb autíček po vrchní desce. Nakonec byl použit mechanismus kolejnic, po kterých se pomocí ozubených koleček pohybují motory, na nichž jsou napojeny tyčky s autíčky.

Pro vývoj aplikace byl využit jazyk Python z důvodu oficiální podpory počítačů Raspberry Pi a výrobců ostatního hardwaru využitého v 3D modelu. Aplikace bude sloužit jako základ pro přidávání dalších křižovatek a jiných kvízových otázek. Celý program je možné nalézt na https://github.com/Lambdacorporation/Seminarni_prace_Dvorak_2023.

Výsledný 3D fyzický model pro simulaci křižovatek je možné využít nejen pro výuku pravidel silničního provozu žáků na základní škole, ale také v autošcole. Bohužel 3D model se potýká s vysokou poruchovostí a nepřesností krokových motorů, a zvolením materiálu s příliš velkou hustotou, a tím způsobenou velkou hmotností. Také pro budoucí využití je překážkou cena zhotovení jednoho kusu. Ta činí přibližně 15 119 Kč.

ZDROJE

- [1] LIBERAL, Alberto. *Linux Driver Development with Raspberry Pi*. 1. vydání. Madrid: Alberto Liberal, 2021. ISBN 979-85-161-2068-8.
- [2] SCHRÖTER, Zdeněk. *Autoškola? Pohodlně!*. 30. vydání. Plzeň: Helena Schröterová, 2023. ISBN 978-80-908237-4-7.
- [3] PECINOVSKÝ, Rudolf. *Python – Kompletní příručka jazyka pro verzi 3.11*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing a.s., 2023. ISBN 978-80-271-3891-3.
- [4] UPTON, Liz. *The Raspberry Pi Launch*. Online. Raspberry Pi. 2012. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/news/the-raspberry-pi-launch/>. [cit. 2023-11-20].
- [5] BROADCOM CORPORATION. *BCM2835 ARM Peripherals*. Online. Raspberry Pi. 2012. Dostupné z: <https://datasheets.raspberrypi.com/bcm2835/bcm2835-peripherals.pdf>. [cit. 2023-11-20].
- [6] ARM LIMITED. *ARM1176JZF-S Technical Reference Manual*. Online. Arm Developer. 2009. Dostupné z: <https://developer.arm.com/documentation/ddi0301/latest/>. [cit. 2023-11-20].
- [7] WAVESHARE. *1.5inch RGB OLED Module*. Online. Waveshare Electronics. 2011. Dostupné z: https://www.waveshare.com/wiki/1.5inch_RGB_OLED_Module. [cit. 2023-11-20].
- [8] UPTON, Eben. *New product launch! Introducing Raspberry Pi Model B+*. Raspberry Pi [online]. 2014. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/news/introducing-raspberry-pi-model-b-plus/> [cit. 2023-11-20].
- [10] AYYUB, Ibrar. *Raspberry Pi 2 Model B – BCM2836 PDF Download*. Online. Raspberry Pi. 2015. Dostupné z: <https://projects-raspberry.com/raspberry-pi-2-model-b-bcm2836-pdf-download/>. [cit. 2023-11-20].
- [12] RASPBERRY PI LTD. *Raspberry Pi 2 Model B*. Online. Raspberry Pi. 2015. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-2-model-b/>. [cit. 2023-11-20].
- [13] LYNN, Helen. *Serving the Raspberry Pi 3 launch from a Raspberry Pi 3*. Online. Waveshare Electronics. 2016. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/news/serving-raspberry-pi-3-launch-raspberry-pi-3/>. [cit. 2023-11-20].

- [14] RASPBERRY PI LTD. *Raspberry Pi Zero*. Online. Raspberry Pi. 2016. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-zero/>. [cit. 2023-11-20].
- [15] QUADE, Jürgen a KUNST, Eva-Katharina. *Operating the Raspberry Pi 3 in 64-bit mode*. Online. Raspberry Pi Geek. 2017. Dostupné z: <https://www.raspberry-pi-geek.com/Archive/2017/23/Operating-the-Raspberry-Pi-3-in-64-bit-mode>. [cit. 2023-11-20].
- [16] RASPBERRY PI LTD. *Raspberry Pi 3 Model B*. Online. Raspberry Pi. 2017. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b/>. [cit. 2023-11-20].
- [17] CYPRESS SEMICONDUCTOR. *BCM43438 Datasheet*. Online. Alldatasheet. 2017. Dostupné z: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1018493/CYPRESS/BCM43438.html>. [cit. 2023-11-20].
- [18] UPTON, Eben. *New product! Raspberry Pi Zero W joins the family*. Online. Raspberry Pi. 2017. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/news/raspberry-pi-zero-w-joins-family/>. [cit. 2023-11-20].
- [19] ADAFRUIT. *Raspberry Pi Zero W*. Online. Adafruit. 2017. Dostupné z: <https://www.adafruit.com/product/3400>. [cit. 2023-11-20].
- [20] RASPBERRY PI LTD. *Raspberry Pi 3 Model A+*. Online. Raspberry Pi. C2023. Dostupné z: <https://datasheets.raspberrypi.com/rpi3/raspberry-pi-3-a-plus-product-brief.pdf>. [cit. 2023-11-20].
- [21] EDWARDS, Benj. *What is HDMI?* Online. How-To Geek. 2022. Dostupné z: <https://www.howtogeek.com/778339/what-is-hdmi/>. [cit. 2023-11-20].
- [22] RASPBERRY PI LTD. *Raspberry Pi 3 Model A+*. Online. Raspberry Pi. 2018. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-a-plus/>. [cit. 2023-11-20].
- [23] RASPBERRY PI LTD. *Raspberry Pi 3 Model B+*. Online. Raspberry Pi. 2018. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>. [cit. 2023-11-20].
- [24] RASPBERRY PI LTD. *Raspberry Pi 4*. Online. Raspberry Pi. 2019. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>. [cit. 2023-11-20].
- [25] RASPBERRY PI LTD. *BCM2711 ARM Peripherals*. Online. Raspberry Pi. 2022. Dostupné z: <https://datasheets.raspberrypi.com/bcm2711/bcm2711-peripherals.pdf>. [cit. 2023-11-20].

- [26] RASPBERRY PI LTD. *Raspberry Pi 4 Tech Specs*. Online. Raspberry Pi. 2020. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/>. [cit. 2023-11-20].
- [27] UPTON, Eben. *8GB Raspberry Pi 4 on sale now at \$75*. Online. Raspberry Pi. 2020. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/news/8gb-raspberry-pi-4-on-sale-now-at-75/>. [cit. 2023-11-20].
- [28] UPTON, Eben. *Raspberry Pi 400: the \$70 desktop PC*. Online. Raspberry Pi. 2020. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/news/raspberry-pi-400-the-70-desktop-pc/>. [cit. 2023-11-20].
- [29] RASPBERRY PI LTD. *Raspberry Pi 400 Tech Specs*. Online. Raspberry Pi. 2020. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-400/specifications/>. [cit. 2023-11-20].
- [30] RASPBERRY PI LTD. *RP3A0*. Online. Github. 2022. Dostupné z: <https://github.com/raspberrypi/documentation/blob/develop/documentation/asciidoc/computers/processors/rp3a0.adoc>. [cit. 2023-11-20].
- [31] RASPBERRY PI LTD. *Raspberry Pi Zero 2 W*. Online. Raspberry Pi. 2022. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-zero-2-w/>. [cit. 2023-11-20].
- [32] RASPBERRY PI LTD. *RP2040 Tech Specs*. Online. Raspberry Pi. 2021. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/products/rp2040/specifications/>. [cit. 2023-11-20].
- [33] RASPBERRY PI LTD. *Raspberry Pi Pico*. Online. Raspberry Pi. 2021. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-pico/>. [cit. 2023-11-20].
- [34] UPTON, Eben. *Introducing: Raspberry Pi 5!*. Online. Raspberry Pi. C2023. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/news/introducing-raspberry-pi-5/>. [cit. 2023-11-20].
- [35] RASPBERRY PI LTD. *Raspberry Pi 5*. Online. Raspberry Pi. C2023. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-5/>. [cit. 2023-11-20].
- [36] CIRCUIT DIGEST. *The New Raspberry Pi 5 is here: Faster than Ever*. Online. Circuit Digest. C2023. Dostupné z: <https://circuitdigest.com/news/the-new-raspberry-pi-5-is-here-faster-than-ever>. [cit. 2023-11-20].

- [38] RASPBERRY PI LTD. *Raspberry Pi OS*. Online. Raspberry Pi. 2012. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/os.html#introduction>. [cit. 2023-12-02].
- [39] RASPBERRY PI LTD. *Configuration*. Online. Raspberry Pi. 2012. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/configuration.html#the-raspi-config-tool>. [cit. 2023-12-02].
- [40] UBUNTU MATE TEAM. *Ubuntu MATE*. Online. Ubuntu MATE. 2014. Dostupné z: <https://ubuntu-mate.org/>. [cit. 2023-12-02].
- [41] MICROSOFT CORPORATION. *Setting up a Raspberry Pi*. Online. Microsoft Learn. C2023. Dostupné z: <https://learn.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/iot-core/tutorials/rpi>. [cit. 2023-12-02].
- [42] KLIMASZEWSKI, Steev. *Raspberry Pi 4*. Online. Kali. C2023. Dostupné z: <https://www.kali.org/docs/arm/raspberry-pi-4/>. [cit. 2023-12-02].
- [43] GUPTA, Vibha. *10 Best Programming Languages for Raspberry Pi*. Online. Alma Better. C2023. Dostupné z: <https://www.almabetter.com/bytes/articles/best-programming-languages-for-raspberry-pi>. [cit. 2023-12-10].
- [44] WARD, Jessica. *List of Raspberry Pi Video Players and How to Play Guide*. Online. Raspberry Pi Starter Kits. 2018. Dostupné z: <https://www.raspberrypistarterkits.com/guide/raspberry-pi-video-player/>. [cit. 2023-12-10].
- [45] SUNFOUNDER. *Traffic Light Module*. Online. SunFounder. C2023. Dostupné z: https://docs.sunfounder.com/projects/ultimate-sensor-kit/en/latest/components_basic/23-component_traffic.html. [cit. 2023-12-10].
- [46] SOFTWARE IN THE PUBLIC INTEREST, INC. *UnattendedUpgrades*. Online. Debian Wiki. C2023. Dostupné z: <https://wiki.debian.org/UnattendedUpgrades>. [cit. 2023-12-10].
- [47] PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. *Os — Miscellaneous operating system interfaces*. Online. Python Documentation. C2023. Dostupné z: <https://docs.python.org/3/library/os.html#module-os>. [cit. 2023-12-10].
- [48] PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. *RPi.GPIO 0.7.1*. Online. PyPI. C2023. Dostupné z: <https://pypi.org/project/RPi.GPIO/>. [cit. 2023-12-10].

- [49] PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. *Logging — Logging facility for Python*. Online. Python Documentation. C2023. Dostupné z: <https://docs.python.org/3/library/logging.html>. [cit. 2023-12-10].
- [50] PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. *Time — Time access and conversions*. Online. Python Documentation. C2023. Dostupné z: <https://docs.python.org/3/library/time.html?highlight=time#module-time>. [cit. 2023-12-10].
- [51] CLARK, Jeffrey. *Pillow (PIL Fork) 10.2.0 documentation*. Online. Pillow. C2023. Dostupné z: <https://pillow.readthedocs.io/en/stable/index.html>. [cit. 2023-12-13].
- [52] PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. *Subprocess — Subprocess management*. Online. Python Documentation. C2023. Dostupné z: <https://docs.python.org/3/library/subprocess.html>. [cit. 2023-12-10].
- [53] SCHIMANSKY, Tom. *CustomTkinter*. Online. CustomTkinter. C2023. Dostupné z: <https://customtkinter.tomschimansky.com/>. [cit. 2023-12-13].
- [54] FORCIER, Jeff. *Paramiko*. Online. Paramiko. C2023. Dostupné z: <https://www.paramiko.org/>. [cit. 2023-12-13].
- [55] SSH COMMUNICATIONS SECURITY INC. *What is SSH (Secure Shell)?* Online. PAM solutions, Key Management System, Secure File Transfers | SSH. C2023. Dostupné z: <https://www.ssh.com/academy/ssh>. [cit. 2023-12-13].
- [56] CLOUDFLARE, INC. *What is SSH? / Secure Shell (SSH) protocol*. Online. Connect, Protect and Build Everywhere | Cloudflare. C2023. Dostupné z: <https://www.cloudflare.com/learning/access-management/what-is-ssh/>. [cit. 2023-12-13].
- [57] RASPBERRY PI LTD. *Raspberry Pi*. Online. Raspberry Pi Foundation. C2023. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/about/>. [cit. 2023-12-13].
- [58] VILCHES, Jose. *Interview with Raspberry's Founder Eben Upton*. Online. TechSpot. C1998 - 2023. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/about/>. [cit. 2023-12-13].
- [59] JAGGER, Paul. *Interview with Eben Upton CBE*. Online. Oral Histories of IT and Tech. C2023. Dostupné z: <https://archivesit.org.uk/interviews/eben-upton-cbe/>. [cit. 2023-12-13].
- [60] TIWARI, Ashish. *What Is OLED And How Does It Work?* Online. Science ABC. C2023. Dostupné z: <https://www.scienceabc.com/innovation/what-is-oled-and-how-does-it-work.html>. [cit. 2023-12-13].

- [61] TYSON, Jeff. *How LCDs Work*. Online. HowStuffWorks - Learn How Everything Works!. C2023. Dostupné z: <https://electronics.howstuffworks.com/lcd.htm>. [cit. 2023-12-13].
- [62] ESET. *Co je DDoS útok a jaká je ochrana?* Online. ESET. C1992 - 2023. Dostupné z: <https://www.eset.com/cz/ddos-utok/>. [cit. 2023-12-13].
- [63] MDN CONTRIBUTORS. *Object-oriented programming*. Online. MDN Web Docs. C1998-2023. Dostupné z: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn/JavaScript/Objects/Object-oriented_programming. [cit. 2023-12-13].
- [64] SPARKES, Matthew. *What does Wi-Fi stand for?* Online. New Scientist. C2023. Dostupné z: <https://www.newscientist.com/question/what-does-wi-fi-stand-for/>. [cit. 2023-12-13].
- [65] HIRZEL, Timothy. *Basics of PWM (Pulse Width Modulation)*. Online. Arduino Docs. C2023. Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/learn/microcontrollers/analog-output/>. [cit. 2023-12-13].
- [66] TOWNSEND, Kevin. *Introduction to Bluetooth Low Energy*. Online. Adafruit Learning System. C2023. Dostupné z: <https://learn.adafruit.com/introduction-to-bluetooth-low-energy/introduction>. [cit. 2023-12-13].

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

3D	Trojdimenzionální
ABS	Acrylonitril-butadien-styren
ARM	Advanced RICS Machines – architektura procesorů s malou spotřebou energie
BLE	Bluetooth Low Energy – bezdrátová komunikační technologie s velmi malou spotřebou energie [66]
CNC	Computer Numerical Control (stroje řízené počítačem)
DDoS	Distributed Denial-of-service – pomocí mnoha zařízení se útočník snaží zahltit cíl útoku. [62]
GB	Gigabyte
Gbps	Gigabits per second
GND	Ground (uzemnění)
GPIO	General-purpose input/output
GUI	Graphical User Interface (grafické uživatelské rozhraní)
HDMI	High-Definition Multimedia Interface – rozhraní pro přenos obrazového a zvukového signálu v digitálním formátu pomocí jednoho kabelu [21]
IoT	Internet of Things (internet věcí) – síť zařízení, která jsou navzájem bezdrátově propojena a mohou si vyměňovat data [41]
LCD	Liquid-crystal display – typ displeje skládající se z barevných pixelů seřazených před zdrojem světla [61]
LED	Light-Emitting Diode (elektroluminiscenční dioda) – dioda, která vyzařuje světlo
MB	Megabyte
OLED	Organic Light-Emitting Diode – displej obsahující pixely, z nichž úplně každý má vlastní zdroj světla, a proto lépe vyobrazuje černou barvu [60]
OOP	Object-oriented programming – typ programování vytvářející program pomocí bloků kódu, které mezi sebou mohou navzájem komunikovat
OS	Operating System (operační systém)
PCB	Printed circuit board (deska plošných spojů)
PWM	Pulse-width modulation (pulzně šířková modulace) – modulace pro přenos analogového signálu pomocí dvouhodnotového signálu [65]
RAM	Random Access Memory (operační paměť)
RGB	Red Green Blue – typ displeje, který používá barevné zobrazení pomocí míchání červené, zelené a modré
SD	Secure Digital
SoC	System on a chip – integrovaný obvod zahrnující všechny elektronické součásti počítače do jednoho čipu

SSH	Secure Shell
TFT	Thin-film-transistor (tenkovrstvý tranzistor
UI	User Interface (Uživatelské rozhraní)
USB	Universal Serial Bus (univerzální sériová sběrnice)
VUT	Vysoké učení technické v Brně
Wi-Fi	Bezdrátový přenos dat pomocí rádiových vln založený na standardech IEEE 802.11 [64]
WLAN	Wireless Local Area Network (bezdrátová místní síť)