

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Provozně ekonomická fakulta**

**Katedra informačních technologií**



## **Bakalářská práce**

**Využití internetu věcí při měření spotřeby paliva  
automobilu**

**Matěj Tvrzník**

© 2022 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Matěj Tvrzník

Informatika

Název práce

Využití internetu věcí při měření spotřeby paliva automobilu

Název anglicky

Internet of things usage in car fuel consumption measurement

---

### Cíle práce

Bakalářská práce je tematicky zaměřená na problematiku využití prvku IoT při měření spotřeby automobilu. Hlavním cílem je implementace systému měření spotřeby paliva pro automobil s využitím IoT.

Dílčí cíle práce jsou:

- charakterizovat problematiku IoT a způsoby měření spotřeby paliva,
- analyzovat vhodné hardwarové komponenty vhodné pro měření spotřeby paliva,
- navrhnout model IoT pro měření spotřeby paliva.

### Metodika

Teoretická část práce se bude zakládat na studiu literatury, které povede k získání znalostí, které budou potřebné k zhotovení práce.

V praktické části bude sestaven model IoT pro měření spotřeby paliva, který se bude skládat z komponent vybraných v předchozí části a softwaru.

Dalším krokem bude vypracování analýzy dostupných mikrořadičů a hardwarových komponent, vhodných k vyhotovení systému měření spotřeby paliva a jejich výběr.

Na základě syntézy teoretických a praktických poznatků budou zpracovány závěry bakalářské práce.

**Doporučený rozsah práce**

40 až 50 stran.

**Klíčová slova**

IOT, spotřeba paliva, měření spotřeby

---

**Doporučené zdroje informací**

BELL, C A. *Beginning sensor networks with Arduino and Raspberry Pi*. [New York, New York]: Apress, 2013. ISBN 1430258241.

*Hradla, volty, jednočipy : úvod do bastlení*. MALÝ, M..  
Měřicí a řídicí technika. Kadlec K., Kmínek M.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2021/22 LS – PEF

**Vedoucí práce**

Ing. Michal Stočes, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra informačních technologií

---

Elektronicky schváleno dne 27. 7. 2021

doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 5. 10. 2021

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 15. 03. 2022

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Využití internetu věcí při měření spotřeby paliva automobilu" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 15.3.2022

---



## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Michalu Stočesovi, Ph.D. za věcné připomínky a cennou pomoc při zpracování předkládané práce. Dále bych rád poděkoval rodině za trpělivost a přítelkyni za revizi celé práce.

# Využití internetu věcí při měření spotřeby paliva automobilu

## Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá problematikou využití internetu věcí v oblasti měření spotřeby paliva automobilu. Na začátku práce je vymezen pojem internet věcí. Hlavním tématem, kterým se práce v teoretické části zabývá je popis technologií a zařízení, kterými je možno měřit průtok, a to především kapalin. Dalším tématem jsou metody snímání rychlosti, které jsou aplikovatelné v automobilu.

V praktické části je vytvořen koncept modelu a díky nabitým znalostem vybrány komponenty, jmenovitě průtokoměr, indukční snímač a mikrokontroler. Dále je celý model fyzicky sestaven, naprogramován a odzkoušen. Z výstupu měření je vyvozen závěr.

**Klíčová slova:** internet věcí, spotřeba paliva, měření spotřeby paliva, programování

# **Internet of things usage in fuel consumption measurement**

## **Abstract**

The bachelor's thesis deals with the use of the internet of things in fuel consumption measurement. At the beginning of the thesis is described term internet of things. The main theme of the theoretical part of the thesis is a description of liquid flow measuring technologies. The next theme of this part is speed measuring methods.

In the practical part of the thesis is created the concept of a model. With the knowledge gained in the theoretical part are chosen parts of the model, especially flowmeter, induction sensor, and microcontroller. The model is then built, programmed, and tested. At the end of the thesis is created a conclusion.

**Keywords:** Internet of things, fuel consumption, fuel consumption measurement, programming

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Cíl práce a metodika</b> .....	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Teoretická východiska</b> .....	<b>11</b>
3.1	Vymezení pojmu internet věcí .....	11
3.1.1	Internet věcí bez připojení k internetu .....	11
3.2	Metody měření průtoku kapalin.....	12
3.3	Druhy měřidel průtoku.....	12
3.3.1	Objemová měřidla .....	12
3.3.2	Lopátková a turbínová měřidla.....	15
3.3.3	Vírová měřidla .....	17
3.3.4	Indukční měřidla.....	18
3.3.5	Ultrazvukové snímače .....	19
3.3.6	Rotametry .....	22
3.3.7	Škrťící měřidla .....	23
3.4	Metody snímání rychlosti .....	25
3.4.1	Global positioning system (GPS) .....	25
3.4.2	Indukční snímač.....	26
3.4.3	Kapacitní snímač .....	27
<b>4</b>	<b>Vlastní práce</b> .....	<b>28</b>
4.1	Základní koncept modelu.....	28
4.2	Výběr komponent pro model IoT .....	29
4.2.1	Mikrokontroler .....	29
4.2.2	Snímač otáček.....	35
4.2.3	Průtokoměr .....	36
4.3	Software .....	41
4.4	Stavba.....	43
<b>5</b>	<b>Výsledky a diskuse</b> .....	<b>47</b>
5.1.1	Výsledky .....	47
5.1.2	Diskuse .....	50
<b>6</b>	<b>Závěr</b> .....	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>Seznam použitých zdrojů</b> .....	<b>53</b>
<b>8</b>	<b>Přílohy</b> .....	<b>55</b>
8.1	Seznam obrázků .....	55
8.2	Seznam tabulek.....	57

# 1 Úvod

Ekologie a s ní spojená spotřeba fosilních paliv dopravních prostředků je v současné době velice ožehavým tématem, které rezonuje celou společností. Tomu přispívají neustále se vyvíjející metodiky měření spotřeby paliva a zpřísnující se EURO normy, které skrze limity na emise dopadají i na spotřebu paliva. Systém pro měření aktuální a průměrné spotřeby paliva již je řadu let standardní výbavou naprosté většiny moderních automobilů. Díky němu má možnost řidič upravit svou jízdu tak, aby byla co nejehospodárnější. Dále spotřeba slouží jako důležitý ukazatel kondice motoru. Její neobvyklý nárůst oproti normálu může signalizovat celou řadu problémů. Nicméně automobily staršího data výroby žádnými podobnými systémy vybaveny nejsou, a tak je řidič odkázán na výpočet průměrné spotřeby skrze objem natankovaného paliva a ujetou vzdálenost.

Internetem věcí je nazývána síť rozličných zařízení, zpravidla připojených k internetu, která mohou mít nespočet funkcí a účelů. Od pouhého měření teploty v místnosti až po kontrolu životních funkcí člověka. Přesnějším vymezení termínu internetu věcí bude věnována část dále v práci.

Účelem této bakalářské práce je navrhnout a implementovat zařízení, které s pomocí principů internetu věcí bude měřit aktuální a průměrnou spotřebu staršího automobilu, který takovýto systém postrádá. Řidič tak získá cenné informace o aktuální a průměrné spotřebě. Komerčně dostupné systémy na měření spotřeby totiž aktuální spotřebu neukazují. Zpravidla snímají průtok paliva do motoru a jejich hlavním účelem je porovnání objemu natankovaného a spotřebovaného paliva, čímž mají zamezit krádežím paliva z firemních automobilů. Některé s pomocí údajů o uražené vzdálenosti počítají i průměrnou spotřebu, kterou má pak možnost zaměstnavatel zhodnotit. Pro řidiče, kterého zajímají údaje o aktuální a průměrné spotřebě, jsou tedy nevhodné.

## 2 Cíl práce a metodika

Bakalářská práce je tematicky zaměřená na problematiku využití prvku internetu věcí při měření spotřeby automobilu. Hlavním cílem je implementace systému měření spotřeby paliva pro automobil s využitím internetu věcí.

Hlavního cíle bude dosaženo splněním následujících dílčích cílů:

- charakterizovat problematiku internetu věcí a způsoby měření spotřeby paliva,
- analyzovat vhodné hardwarové komponenty vhodné pro měření spotřeby paliva,
- navrhnout a zhotovit model internetu věcí pro měření spotřeby paliva.

Struktura práce se skládá z teoretické části a praktické části. V teoretické části je provedeno studium literatury a dalších zdrojů, vedoucí k získání znalostí, které jsou potřebné k zhotovení práce. Výsledkem teoretické části je přehled a popis technologií, souvisejících s tématem práce.

Praktická část je tvořena vypracováním analýzy dostupných mikrořadičů a hardwarových komponent, potřebných k vyhotovení systému měření spotřeby paliva a jejich výběr. Dále bude sestaven a zhotoven model internetu věcí pro měření spotřeby paliva, který se bude skládat z komponent vybraných v předchozí části a softwaru.

## **3 Teoretická východiska**

### **3.1 Vymezení pojmu internet věcí**

Internet věcí je možné definovat jako globální architekturu na bázi internetu, usnadňující výměnu zboží a služeb. Ve stejném zdroji je uvedena ještě jedna definice internetu věcí a to, že internet věcí je složitá platforma na bázi internetu sloužící k propojení věcí se specifickým účelem, ale také senzorů, pohyblivých součástí a jiných technologií. [1]

Pod slovním spojením internet věcí si každý představí něco trochu jiného, což je dáno tím, jak široké spektrum oblastí se snaží tento pojem popsat. Hlavním konceptem internetu věcí je propojování předmětů běžné denní potřeby skrze technologické informační sítě.

#### **3.1.1 Internet věcí bez připojení k internetu**

Slovní spojení internet věcí může evokovat, že použití této technologie vyžaduje připojení k internetu. To ale nemusí být vždy pravidlem. Některá řešení mohou být připojena jen k intranetu, či dokonce nemusí být připojena k síti vůbec.

Jako příklad bude uvedeno několik situací, kdy připojení k internetu není potřeba. První je, že dané IoT řešení připojení nepotřebuje. Například systém, který rozsvítí světla v místnosti při otevření dveří. Dalším důvodem může být strach o únik choulostivých dat. Pokud bude systém pracovat s choulostivými daty a nebude vyloženě potřeba připojení k internetu, je z hlediska bezpečnosti vhodné ho ponechat off-line. A posledním důvodem k nepřipojení k síti může být absence možnosti připojení k internetu v místě používání. Stále totiž existují místa, kde připojení k internetu není dostupné. [2]

## 3.2 Metody měření průtoku kapalin

Průtok kapaliny lze měřit dvěma způsoby. Prvním z nich je hmotnostní měření průtoku. To udává, jaká hmotnost tekutiny  $m$  proteče za určitý časový úsek  $t$ . Výpočet hmotnostního průtoku udává rovnice [3]:

$$Q_m = \frac{dm}{dt} \quad (kg \ s^{-1}).$$

Naproti tomu druhá metoda měření průtoku udává, jaký objem tekutiny  $V$  proteče za určitý časový úsek  $t$ . Výpočet objemového průtoku je proveden podle vzorce [3]:

$$Q_v = \frac{dV}{dt} \quad (m^3 \ s^{-1}).$$

## 3.3 Druhy měřidel průtoku

Prvním krokem ke správnému změření proteklého množství kapaliny je správný výběr průtokoměru. To je podmíněno faktem, že existují velké rozdíly ve fyzikálních a chemických vlastnostech kapalin. V následující části práce bude vysvětlen princip činnosti nejrozšířenějších druhů techniky měřící průtok kapalin. Na základě této rešerše bude v praktické části učiněn výběr nejvhodnějšího měřidla pro zamýšlený systém měření spotřeby.

### 3.3.1 Objemová měřidla

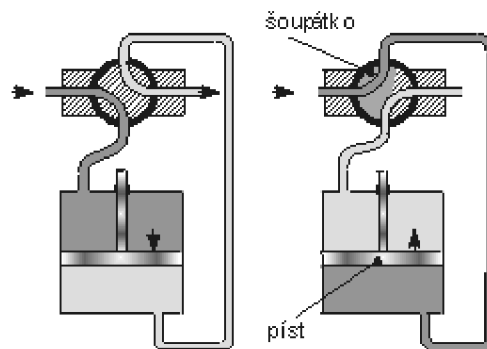
Objemové měřidlo je vybaveno odměrnými prostory se známým objemem, které se v průběhu měření naplňují a vyprazdňují. Podle toho, zda jimi kapalina protéká spojitě nebo v cyklech, dělíme je na měřidla se spojitou činností a na měřidla s nespojitou činností. Měřidla se spojitou činností odměrné prostory plní a vyprazdňují cyklicky, takže měřená tekutina z nich proudí spojitě. Pomyslným opakem jsou měřidla s nespojitou činností, která pracují v cyklech a kapalina z nich proudí ve fázích.

Prvním typem kategorie objemových měřidel je pístové měřidlo. Pístové měřidlo má odměrný prostor vymezený tělesem měřidla a pístem. Tlakem kapaliny dochází k plnění odměrného prostoru a k pohybu pístu. Píst je spojen s počítadlem, které počítá, kolikrát píst



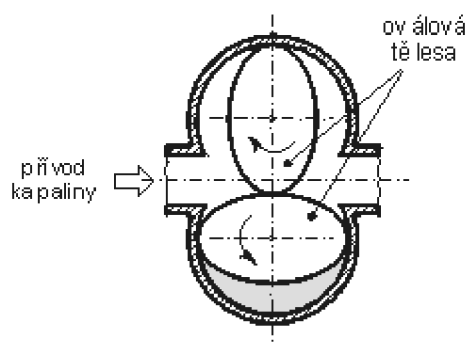
dokončil plnicí cyklus. K výpočtu celkového objemu kapaliny, která měřidlem protekla, je nutné vynásobit počet dokončených cyklů známým objemem odměrného prostoru.

V praxi jsou měřidla vybavena často dvěma a více odměrnými prostorami. Tím se zajišťuje spojitá činnost měřidla a plynulý průtok kapaliny. Plynulý chod se dá zajistit také tím, že píst bude odměřovat i ve fázi vratného pohybu. Kromě uzpůsobeného válce je nutno měřidlo osadit šoupátkem, které bude určovat, která část válce se bude plnit, viz Obrázek 1. Takové měřidlo je pak nazýváno dvojčinným. Jeho činnost se do jisté míry podobá fungování dvojčinného parního stroje. Pístové měřidlo, které by bylo jednočinné a skládalo se z jednoho válce, by spadalo do kategorie měřidel s nespojitou činností. [3].



Obrázek 1: pístové měřidlo [3]

Druhým zástupcem objemových měřidel je tělesové (oválové měřidlo). To se skládá z odměrného prostoru, ve kterém se pohybují dvě tělesa oválného tvaru. Ta jsou propojena přes ozubený převod, který může být přímo na nich nebo mimo komoru, viz Obrázek 2. Tlak kapaliny na jedné straně způsobí rotaci těles a tím odměření kapaliny. Výhody a nevýhody objemových měřidel zobrazuje Tabulka 1.



Obrázek 2: oválné měřidlo [3]

Objemová měřidla	
Výhody	Nevýhody
Poskytují vysokou přesnost.	Nečistoty v kapalině je mohou zadřít.
Mají možnost měřit kapaliny s vysokou viskozitou.	Je potřeba určitá úroveň tlaku kapaliny, aby byla zajištěna správná činnost.
Mohou měřit kapalinu s nestejnou viskozitou.	Vytvářejí tlakovou ztrátu.

Tabulka 1: výhody a nevýhody objemových měřidel, zdroj: autor

### 3.3.2 Lopatková a turbínová měřidla

Princip činnosti této skupiny měřidel je založen na turbíně, lopatkovém kole nebo šroubovém kole, které je tlakem kapaliny roztáčeno. Rychlost otáčení je závislá na rychlosti proudící kapaliny. Tuto závislost popisuje Eulerova turbínová rovnice. Její zjednodušený tvar vypadá následovně:

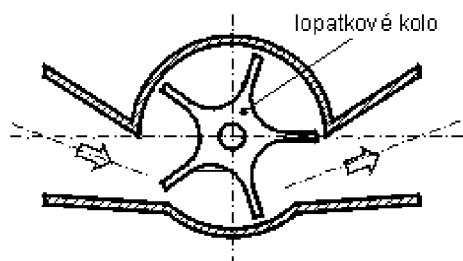
$$f = k \cdot Q_V - s ,$$

kde  $f$  ( $s^{-1}$ ) je frekvence otáčení,  $Q_V$  ( $m^3 s^{-1}$ ) je objemový průtok,  $k$  ( $m^{-3}$ ) je konstanta turbínového průtokoměru a  $s$  ( $s^{-1}$ ) je skluz, který je přímo úměrný zatěžovacímu momentu otočné části a ovlivňuje ho okamžitá hodnota průtoku. Konstanta turbínového průtoku  $k$  má vzorec následující [3]:

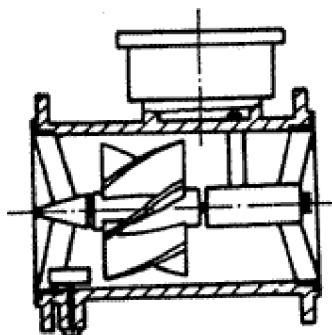
$$k = \frac{f}{Q_v} ,$$

kde  $f$  ( $s^{-1}$ ) je frekvence impulsů. V praxi je konstanta stanovena při kalibraci průtokoměru. [4] Impulsy jsou nejčastěji snímány bezdotykově, a to za použití indukčních, elektromagnetických a fotovoltaických snímačů. Lze se ale setkat i s kontaktním snímačem otáček.

Podle polohy osy rotoru vůči směru proudění kapaliny lze rozlišit měřidla axiální a radiální. Radiální svírají úhel  $90^\circ$  mezi osou rotoru a směrem proudění kapaliny, viz Obrázek 4. Kdežto měřidla axiální mají osu rotoru rovnoběžnou ku směru proudění kapaliny, viz Obrázek 3. Výhody a nevýhody lopatkových a turbínových měřidel zobrazuje Tabulka 2.



Obrázek 3: axiální šroubový vodoměr [3]



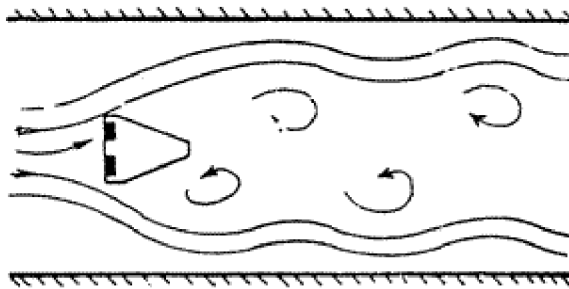
Obrázek 4: radiální lopatkový průtokoměr [5]

Lopatková a turbínová měřidla	
Výhody	Nevýhody
Mají nízké pořizovací náklady.	Mají minimální průtok, pod kterým nezaznamenávají žádné hodnoty.
Montážní poloha je libovolná.	Na začátku stupnice mají měřidla velkou relativní chybu.
Široké spektrum výrobků pro různé jmenovité průtoky.	Vytvářejí tlakovou ztrátu.
	Nevhodné pro kapaliny s nesterjnou viskozitou, či pro kapaliny s erozivními částicemi.

Tabulka 2: výhody a nevýhody lopatkových a turbínových měřidel, zdroj: autor

### 3.3.3 Vírová měřidla

Vírová měřidla využívají principu Karmánových vírů, které vznikají za tělesem neaerodynamického tvaru, umístěného v proudící kapalině, viz Obrázek 5. Frekvence vzniku vírů za vloženým tělesem je přímo úměrná rychlosti proudění kapaliny. Místo, kde se frekvence vzniku vírů snímá, může být buď samo těleso nebo stěna potrubí. Vysokofrekvenční snímače, které se ke snímání frekvence používají, mohou být ultrazvukové, kapacitní, piezoelektrické či tenzometrické. [5] Výhody a nevýhody vírových měřidel shrnuje Tabulka 3.



Obrázek 5: tvorba vírů ve vírovém průtokoměru [5]

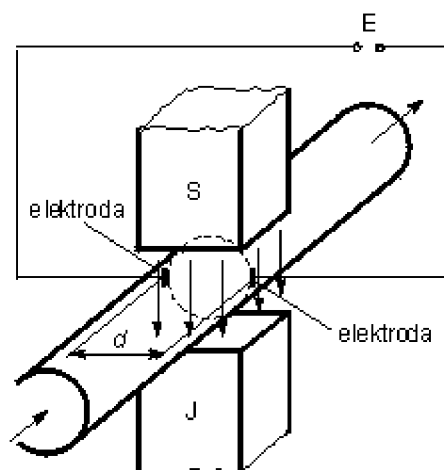
Vírová měřidla	
Výhody	Nevýhody
Dokáží podávat relativně přesné výsledky, i když kapalina mění hustotu, teplotu a tlak.	Nevhodné k měření malých průtoků.
Způsobují minimální tlakovou ztrátu.	Nedokážou měřit příliš viskózní tekutiny, kde nevzniknou víry.
Po změně nastavení elektroniky jsou schopné měřit kromě kapalin i plyny a páry.	Kapaliny s abrasivními částicemi ničí těleso, které je zodpovědné za tvorbu vírů.

Tabulka 3: výhody a nevýhody vírových měřidel, zdroj: autor

### 3.3.4 Indukční měřidla

Indukční měřidla využívají principu Faradayova zákona o elektromagnetické indukci. Ten popisuje že ve vodiči, který se pohybuje v elektromagnetickém poli, je indukováno napětí. V případě indukčních průtokoměrů je vodičem kapalina, která proudí v potrubí. Jako magnet je možno použít permanentní magnet, či elektromagnet. Indukované napětí v kapalině snímají dvě elektrody, umístěné kolmo na směr magnetických siločar, viz Obrázek 6.

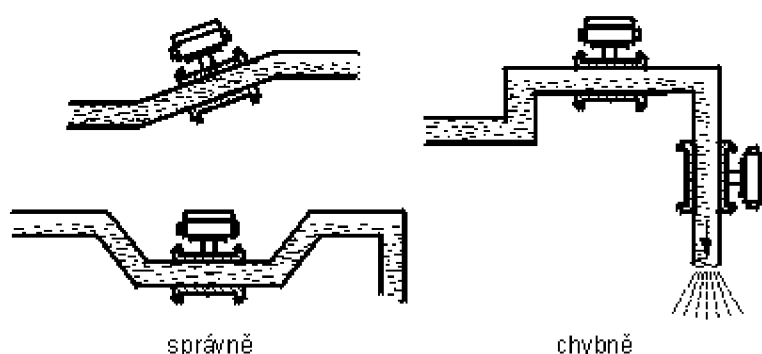
Aby indukční průtokoměr bylo možné použít, je potřeba, aby měřená kapalina byla vodivá a nemagnetická. Další požadavek je kladen na potrubí, které v místě měření též musí být nemagnetické. Také zbytek vedení nesmí do tekutiny uvolňovat magnetické částice, které uvolňuje například zkorodované kovové potrubí v podobě částic rzi. [3]



Obrázek 6: zjednodušený náčrt principu indukčního měřidla [3]

Problematické může být měření kapalin, které na snímacích elektrodách mohou vytvářet vodivý nebo naopak nevodivý povlak. Ten pak ovlivňuje výsledky měření. Pro takové kapaliny je doporučeno zvýšit průtok, čímž se tvorba povlaku výrazně zpomalí. [5]

Protože je průtok počítán ze součinu rychlosti proudící kapaliny zjištěné průtokoměrem a průměru potrubí, výsledky silně ovlivňuje neúplné zaplnění potrubí v měřeném úseku. Montážní pozice indukčního měřidla je tedy libovolná, ale je potřeba vždy zajistit, aby v měřeném úseku bylo potrubí zcela zaplněno, viz Obrázek 7. [3] Výhody a nevýhody indukčních měřidel zobrazuje Tabulka 4.



Obrázek 7: ukázka správné a špatné montáže indukčního průtokoměru [3]

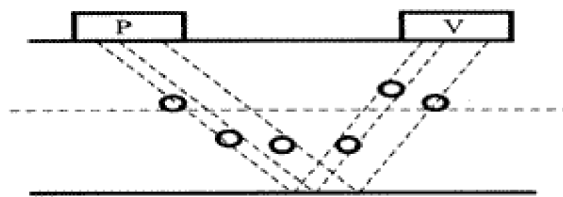
Indukční měřidla	
Výhody	Nevýhody
Nezpůsobují žádnou tlakovou ztrátu.	Možnost zanesení elektrod.
Jsou schopné měřit i kapaliny, které jiné metody měření nedokáží. Např. kaly, vysoce viskózní látky a kapaliny velkým obsahem sedimentujících částic.	Potrubí v měřeném úseku musí být vždy zaplněno na celém svém řezu.
Neobsahují pohyblivé části.	

Tabulka 4: výhody a nevýhody indukčních měřidel, zdroj: autor

### 3.3.5 Ultrazvukové snímače

Snímače průtoku, které využívají ultrazvuku, se skládají z elektroakustických měničů, které mají za cíl generování akustických vln z elektrického signálu, popřípadě naopak. Jsou rozlišovány dva základní druhy indukčních průtokoměrů.

Prvním druhem jsou průtokoměry využívající Dopplerova principu. V nich figurují dva elektroakustické měniče, jeden jako vysílač (viz Obrázek 8, na obrázku značeno „V“) a jeden jako přijímač (na obrázku značeno „P“). Vysílač vysílá ultrazvukové vlny s konstantní frekvencí, které prochází skrze proudící tekutinu, odráží se od částic a bublin rozptýlených v tekutině a tyto odrazy jsou snímány přijímačem. Protože pohybující se částice a bubliny proudí stejnou rychlostí jako kapalina, je frekvence přijatého signálu odlišná od frekvence, která je do kapaliny vysílána. Rozdíl mezi frekvencemi vyslaného a přijatého signálu je úměrný rychlosti proudění kapaliny v potrubí. [5]

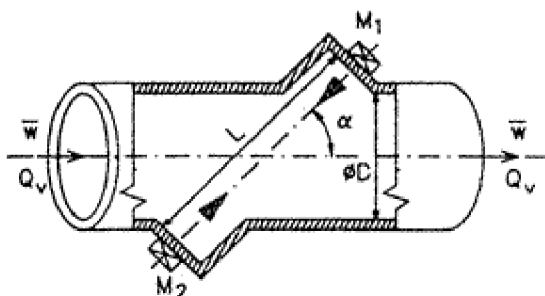


Obrázek 8: průtokoměr využívající Dopplerova principu [5]

Druhým principem využití ultrazvuku k zjištění rychlosti proudící kapaliny v potrubí je měření doby průchodu ultrazvukové vlny proudícím médiem. V průtokoměrech, využívající této technologie, figurují dva elektroakustické měniče, přičemž každý z nich je zároveň vysílačem i přijímačem. Klíčová je jejich vzájemná poloha, kdy jsou řazeny za sebou a čelem k sobě, viz Obrázek 9. Jeden tedy k druhému vysílá vlny ve směru proudění a druhý k prvnímu vysílá proti směru proudění.



Samotné měření pak probíhá tak, že měniče ve stejný okamžik vyšlou signál a je změřena doba průchodu obou vln médii. Rozdíl v dobách průchodu vln po směru a proti směru proudění kapaliny je přímo úměrný rychlosti, kterou kapalina potrubím proudí. [5] Výhodami a nevýhodami ultrazvukových měřidel se zabývá Tabulka 5.



Obrázek 9: řez ultrazvukovým průtokoměrem [5]

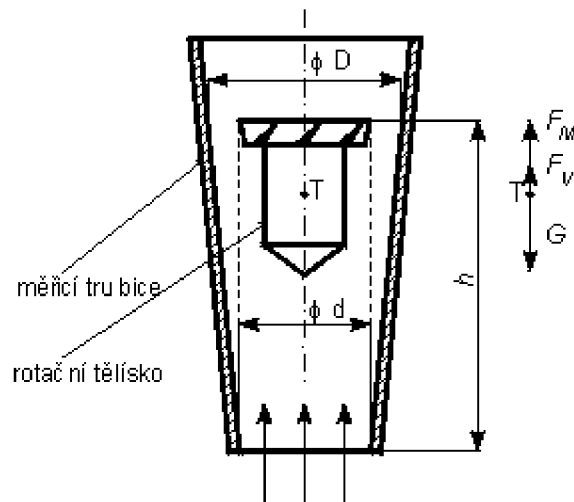
Ultrazvuková měřidla	
Výhody	Nevýhody
Možnost měření nevodivé kapaliny, kalů a znečištěné tekutiny.	Dopplerovým principem není možné změřit čisté kapaliny.
Nevytváří žádnou tlakovou ztrátu.	Potřeba docílit laminárního proudění v místě měření, což klade nároky na délku rovného potrubí před místem měření.
Možnost dodatečné montáže na potrubí bez nutnosti zásahu do vedení.	Jsou náročné na technické provedení a správnou kalibraci

Tabulka 5: výhody a nevýhody ultrazvukových měřidel, zdroj: autor

### 3.3.6 Rotametry

Rotametr se skládá z měřicí trubice kónického tvaru, ve které je vloženo rotační tělísko. Název rotametr je odvozen od rotačního tělíska, které má na stranách drážky šroubovitého tvaru, díky kterým při proudění kapaliny potrubím rotuje a stabilizuje tělísko uprostřed trubice, viz Obrázek 10. Tělísko musí mít hustotu vyšší, než je hustota měřené kapaliny.

Trubice také musí být umístěna ve svislé poloze a směr proudící kapaliny musí být opačný k působení gravitační síly. Když trubicí začne proudit kapalina, tělísko nadzvedne do polohy, kdy je síla, kterou kapalina tělísko vytlačuje, v rovnováze se silou gravitační. Čím je tělísko v trubici výše, tím je díky kónickému tvaru trubice, průřezná plocha větší.



Obrázek 10: řez rotametrem [3]

Průtok lze z rotametru odečíst přímo, když je trubice transparentní a je na ní umístěna stupnice nebo lze použít elektromagnetický přenos k zobrazení analogového výstupu o údajích aktuálního průtoku [3]. Tabulka 6 popisuje výhody a nevýhody rotametru.

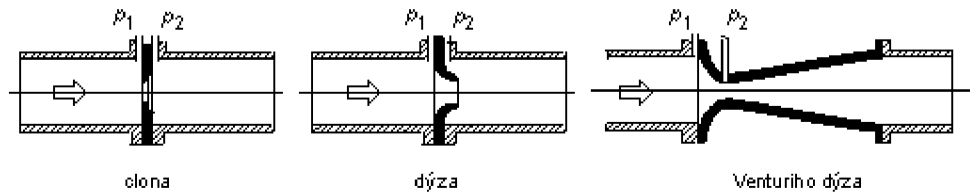
Rotametry	
Výhody	Nevýhody
Možnost měření bez elektřiny.	Kapalina musí mít konstantní hustotu.
Vytvářená tlaková ztráta není vysoká.	Přísné požadavky na orientaci při montáži zařízení.
Jsou citlivé i při nízkém průtoku.	Nehodí se pro snímání větších průtoků.

Tabulka 6: výhody a nevýhody rotametru, zdroj: autor

### 3.3.7 Škrťící měřidla

Škrťící měřidla měří tlak v potrubí před a po průchodu překážkou (škrťícím orgánem, jejich druhy viz Obrázek 11), která je do potrubí vložena a jistým způsobem omezuje průtok kapaliny. Před překážkou a za překážkou jsou umístěny tlakoměry snímající statický tlak v kapalině. Jeho rozdíl je úměrný rychlosti proudění kapaliny. Vztah mezi rozdílem tlaků a rychlostí proudění popisuje Bernulliho rovnice.

Je rozlišováno více základních druhů škrťících orgánů podle jejich tvaru (viz obrázek 11,  $p_1$  a  $p_2$  označují místa pro umístění tlakoměrů). Pro ně jsou pak známé matematické funkce pro výpočet průtoku. Škrťící orgán lze ale navrhnout i pro specifické potřeby prostředí, ve kterém bude měřit. Pro něj je potřeba provést zkušební měření a kalibraci. [3]



Obrázek 11: tvary základních škrťících orgánů [3]

Pokud je stanoven požadavek na co nejmenší tlakovou ztrátu před a po průchodu škrťícím orgánem, ze základních tvarů je nejvhodnější Venturiho dýza, která nezpůsobuje víry v měřené kapalině. Výhody a nevýhody škrťících měřidel shrnuje Tabulka 7.

Škrťící měřidla	
Výhody	Nevýhody
Jejich konstrukce je jednoduchá.	Kapalina nesmí pulsovat, změny rychlosti proudění by měly být pozvolné.
	Jsou kalibrovány na určité měřicí podmínky, k nepřesnostem tedy může dojít se změnou hustoty či teploty kapaliny.
	Způsobují tlakovou ztrátu.

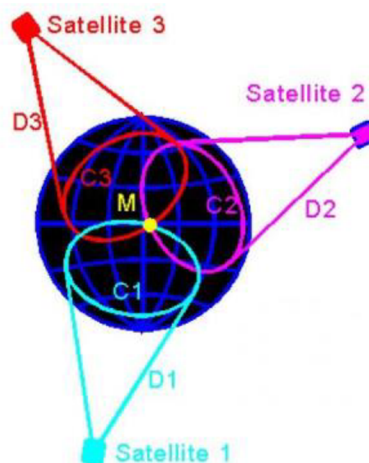
Tabulka 7: výhody a nevýhody škrťících měřidel, zdroj: autor

### 3.4 Metody snímání rychlosti

Pro výpočet průměrné spotřeby vozidla bude muset zamýšlený IOT model muset znát rychlost vozidla, kterou je možné zjistit dvěma způsoby. A to přes technologii GPS nebo vypočítat matematickou funkcí. V případě takového výpočtu budeme potřebovat znát otáčky z některé části pohonného ústrojí automobilu. V následujících kapitolách budou popsány základní metody určování polohy a měření otáček, ze kterých bude v praktické části vybrána nejvhodnější k měření rychlosti.

#### 3.4.1 Global positioning system (GPS)

GPS je technologie, která je primárně určena k zjištění pozice přijímače signálu na zemském povrchu. V době vzniku této práce technologie využívá 31 satelitů na oběžné dráze Země. Satelity vysílají signál a zároveň s ním údaj o čase, kdy byl signál vyslán, a o poloze satelitu. Každý ze satelitů má v sobě zakomponované atomové hodiny, protože přesnost časového údaje je kritická pro přesnost určování polohy. V momentě, kdy má přijímač signál ze tří satelitů, je pak teoreticky schopný vypočítat svou polohu pomocí triangulace, viz Obrázek 12.

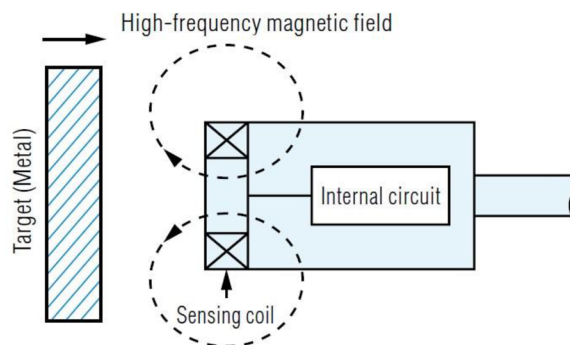


Obrázek 12: zjednodušené schéma principu GPS [6]

V praxi je ale potřeba signálu z vícero satelitů pro přesné určení polohy přijímače, a to kvůli proměnným podmínkám v atmosféře, které ovlivňují dobu letu signálu. Z čím více zdrojů přijímač získává signál, tím se zpřesňuje určení jeho polohy. Výpočet rychlosti přijímače je prováděn měřením času, za který urazí vzdálenost mezi dvěma známými polohami. [7]

### 3.4.2 Indukční snímač

Princip, na kterém je založen indukční senzor, je vcelku jednoduchý. V hlavici senzoru se nachází cívka, která kolem sebe vytváří elektromagnetické pole, viz Obrázek 13. Když se do jejího magnetického pole dostane vodič, její impedance se změní. Senzor podle míry změny impedance dokáže mimo jiné určit, jak daleko se vodivý objekt nachází.

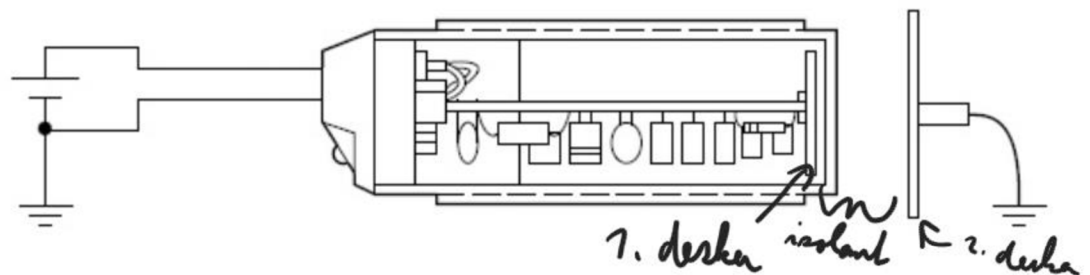


Obrázek 13: schéma indukčního senzoru [8]

Z principu, na kterém indukční snímače pracují, vyplívá jejich důležitá vlastnost. Nedokáží totiž snímat pohyby izolantů. Což může být výhodou i nevýhodou zároveň, vždy záleží na zamýšleném použití. [9]

### 3.4.3 Kapacitní snímač

Kapacitní snímače pracují na základě měření dielektrické konstanty kondenzátoru. První část kondenzátoru ve snímači tvoří kapacitní deska, jako izolant slouží kryt snímače (nejčastěji plastový). Druhou desku kondenzátoru pak dotváří předmět, který se dostane do blízkosti kondenzátoru. Schéma kapacitního snímače zobrazuje Obrázek 14. Pokud dojde k přiblížení jiného předmětu, snímač registruje změnu dielektrické konstanty kondenzátoru.



Obrázek 14: schéma kapacitního snímače [10], popisky autor

Jako pomyslná druhá deska kondenzátoru mohou sloužit jak kovové, tak i nekovové předměty, což je rozdíl oproti indukčním sensorům. Kovové předměty také registrují ve větší vzdálenosti než indukční snímače. V praxi se tedy kapacitní senzory používají například v obalovém průmyslu nebo při snímání hladiny tekutiny či jiných sypkých materiálů. [10]

## 4 Vlastní práce

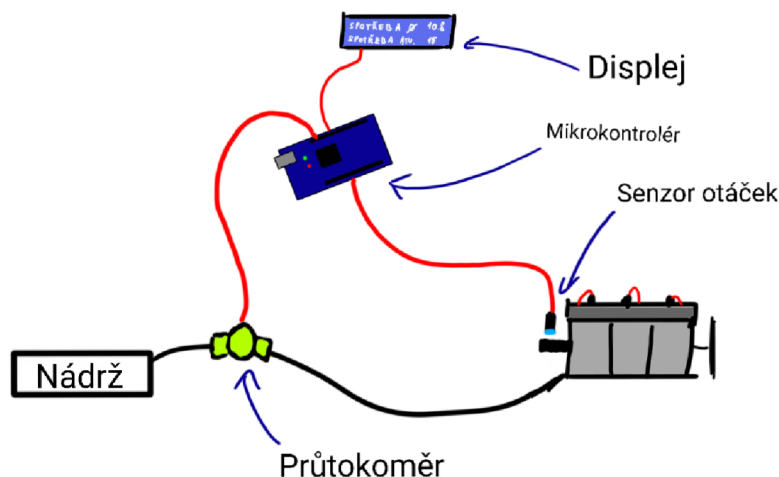
V praktické části bude popsán koncept modelu a budou vybrány komponenty, ze kterých se IoT model bude skládat. Dále bude posápána tvorba IoT modelu.

### 4.1 Základní koncept modelu

Základní poslání IoT modelu je měření průměrné a aktuální spotřeby automobilu. Ke splnění účelu budou potřeba dva vstupy, a to údaj o aktuální rychlosti a údaj o aktuální spotřebě. Tato získaná data bude třeba ukládat, aby z nich bylo možné vypočítat průměrné hodnoty. Kvůli uživatelské přívětivosti bude model osazen i zobrazovacím zařízením, aby bylo možné získaná data za jízdy sledovat. Graficky model ilustruje Obrázek 15.

Model se tedy bude skládat z:

- mikrokontroleru,
- snímače otáček,
- průtokoměru,
- displeje.



Obrázek 15: zjednodušené schéma IOT modelu, zdroj: autor



## 4.2 Výběr komponent pro model IoT

Následující část práce rozebere výběr komponent. Na výběr mikrokontroleru bude potřeba klást velký důraz, protože se na trhu nabízejí dva velice konkurence schopní kandidáti. Výběr průtokoměru bude specifický tím, že bude nutné provést řadu výpočtů které stanoví, jaké technické parametry průtokoměr musí mít k zajištění správného fungování modelu.

### 4.2.1 Mikrokontroler

Jádrem celého modelu bude mikrokontroler, který bude zaznamenávat data ze senzorů, vyhodnocovat je a zpracovávat do výstupů. Klíčovým prvkem při výběru mikrokontroleru bude rozpětí napětí, při kterém dokáže fungovat. To vyplývá z faktu, že IoT model bude zabudován do poměrně starého automobilu, kde napětí jeho elektrické soustavy osciluje mezi. Měření prokázalo, že napětí se pohybuje v rozmezí 11-13 V. Pokud to bude možné, bude mikrokontroler zapojen přímo do elektrické soustavy.

Vzhledem k omezeným finančním zdrojům hrají cena a dostupnost také důležitou roli. Naopak co se výpočetního výkonu týče, ten vzhledem k předpokládaným jednoduchým operacím není důležitým předpokladem.

Samozřejmě jistou roli ve výběru bude hrát to, jakým způsobem se na dané platformě tvoří programy. Upřednostňováno bude samozřejmě řešení, které je na používání snazší.

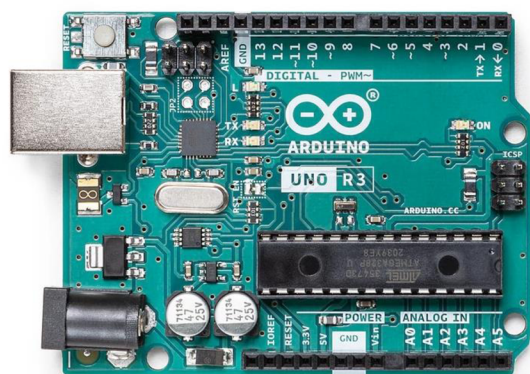
Na trhu se vyskytují dva hlavní kandidáti, kteří by v navrhovaném IoT modelu mohli figurovat. Jednodušší Arduino UNO a komplexnější Raspberry Pi.

#### 4.2.1.1 Arduino UNO

Zcela jistě jeden z nejznámějších mikrokontrolerů na trhu. Jedním z důvodů, proč je tak populární je bezesporu snadné používání. Kód, který bude deska vykonávat, uživatel napíše na počítači v programovacím prostředí Arduino IDE. Prostředí IDE kód zkompiluje a nahraje přes USB na desku do paměti flash, kde je pak vykonáván. Samotný jazyk, který se pro psaní kódu používá je zjednodušená verze programovacího jazyka C++.

Co se technických parametrů týče, tak poslední generace (Rev3) je založena na mikrokontroleru ATmega328P. Poskytuje 32 KB paměti flash (0,5 KB využívá zavaděč, využitelných je tedy 31,5 KB) a v základní verzi není letovaný k přímo k desce, ale je osazen do patice, aby ho bylo možné vyměnit. Na desce se nachází 6 pinů pro analogový vstup a dále je k dispozici 14 digitálních vstupně-výstupních pinů. [11] 6 z nich podporuje funkci PWM (Pulse Width Modulation, česky pulzně šířková modulace), která za pomoci digitálního signálu dokáže simulovat výstup určitého napětí. Pracuje na principu vypínání a zapínání plného napětí (5 V) v různých časových intervalech. Toho je možné využít například při regulaci výkonu elektromotoru, či k regulaci jasu LED žárovky. [12]

Další výhodou je fakt, že celá platforma Arduino je open source, což dalo možnost ostatním výrobcům vyrábět obdobné desky, které je možné připojit k Arduino IDE a dále s nimi pracovat. Na trhu je možné sehnat značné množství různých „klonů“ originální desky (originální deska viz Obrázek 16), za ceny začínající pod 100 Kč včetně DPH za desku.



Obrázek 16: Arduino UNO Rev3 [11]

#### 4.2.1.2 Raspberry Pi

Dalším dostupným mikropočítačem je Raspberry Pi. Aktuální model velikostně odpovídající Arduinu Uno je Raspberry Pi 4 Model B. Na rozdíl od Arduina, do kterého se nahraje jen zkompileovaný kód který je poté vykonáván, je Raspberry Pi kompletní mikropočítač, na který lze nahrát operační systém. K dispozici je oficiální operační systém Raspbian OS, ve verzi s grafickým rozhraním i bez. Je ale možné vybírat i z jiných operačních systémů, podmínkou je podpora architektury ARM. [13]

Běžný proces tvorby kódu začíná nahráním Raspbianu, ve kterém lze psát a spouštět programy vytvořené v programovacím jazyku Python. Ten byl výrobcem zvolen jako hlavní programovací jazyk. [14] Nicméně kód lze tvořit i v jiných jazycích. Kromě Pythonu je předinstalováno ještě C/C++. Další jazyky jako například Java je možné doinstalovat.

Hardwarově disponuje mikropočítač oproti Arduinu značnými prostředky. Jako procesor je použit 1.5 GHz čtyřjádrový procesor ARM Cortex-A72 s adresním prostorem 64 bitů. Velikost paměti RAM rozlišuje jednotlivé verze. Je možné dostat 2 GB, 4 GB a 8 GB. V oblasti konektivity je k dispozici 5 GHz Wi-Fi modul, Bluetooth 5.0, gigabitový ethernet port, čtyři USB porty, dva ve verzi 2.0 a dva ve verzi 3.0. Pro výstup obrazu slouží dva microHDMI porty. Jeden umožňuje přenos 4k 60FPS videa. Pro připojení jiných senzorů a zařízení slouží 40pinový GPIO header. Pro napájení je použit USB-C konektor, 5 V a výrobcem je doporučován minimálně 3A zdroj. [15]

Další rozdíl je, že hardware není opensourcový, takže jediná možnost, jak mikropočítač sehnat, je od oficiálního výrobce. Cena od oficiálního českého distributora je 1 189 Kč včetně DPH v případě verze s 2 GB RAM, který by pro řešený IoT model parametry bohatě dostačoval. [16]

#### 4.2.1.3 Výběr mikrokontroleru

Výběr mikrokontroleru bude proveden vícekritériální analýzou variant, konkrétně bodovací metodou v šesti krocích. Metoda začíná slovním nebo číselným popisem hodnot jednotlivých hodnocených kritérií, viz Tabulka 8. Dále je určen charakter kritérií, tj. stanovení, jestli v daném kritériu chceme dosáhnout minima, nebo maxima viz Tabulka 9. Poté jsou hodnoty převedeny na stejný charakter (v případě této práce maximalizační), viz Tabulka 10, a stejnou bodovací škálu (v případě této práce se jedná o bodovou škálu s rozsahem pěti bodů), viz Tabulka 11. V dalším kroku jsou kritéria seřazena podle důležitosti a na základě tohoto řazení je stanovena jejich váha metodou pořadí, viz Tabulka 12. Skalárním součinem vah a bodů je získáno výsledné skóre jednotlivých mikrokontrolerů ve stanoveném maximalizačním charakteru Tabulka 13. [17]

#### **Matice variant** (kritériální matice)

	Cena vč. DPH (Kč)*	Dostupnost*	Náročnost použití	Výpočetní výkon	Rozpětí vstupního napětí
Arduino UNO	436	Skladem	Arduino IDE, C++	Dostačující	5 V
Raspberry Pi	1189	Skladem pouze 8 GB	Instalace Linuxu, Python	Vysoký	0 V

\*k 2.11.2021

*Tabulka 8: matice variant, zdroj: autor*

#### **Kvantifikace a určení charakteru kritérií**

	Cena vč. DPH (Kč)	Dostupnost	Náročnost použití	Výpočetní výkon	Rozpětí vstupního napětí
Arduino UNO	436	5	5	2	5
Raspberry Pi	1189	3	4	5	1
Charakter kritéria	min	max	max	max	max

*Tabulka 9: kvantifikace a určení charakteru kritérií, zdroj: autor*

### Převod všech kritérií na stejný charakter (max)

	Cena vč. DPH (Kč)	Dostupnost	Náročnost použití	Výpočetní výkon	Rozpětí vstupního napětí
Arduino UNO	753	5	5	2	5
Raspberry Pi	0	3	4	5	1
Charakter kritéria	max	max	max	max	max

Tabulka 10: převod kritérií na stejný charakter, zdroj: autor

### Převod ohodnocení na stejnou škálu (bodová škála: 1–5)

	Cena vč. DPH (Kč)	Dostupnost	Náročnost použití	Výpočetní výkon	Rozpětí vstupního napětí
Arduino UNO	5	5	5	2	5
Raspberry Pi	1	3	4	5	1
Charakter kritéria	max	max	max	max	max

Tabulka 11: převod ohodnocení na stejnou škálu, zdroj: autor

Stanovení vah kritérií bude probíhat pomocí metody pořadí. Jako první je zařazena dostupnost (možnost zboží sehnat na českém trhu), protože i když bude mikrokontroler přesně odpovídat ostatním požadavkům, ale nebude možné ho snadno na trhu sehnat, bude to pro stavbu modelu problémem. Druhým kritériem v pořadí je rozpětí vstupního napětí. Protože zamýšlené napájení bude poskytováno starším automobilem, kde může napětí značně kolísat, je rozpětí vstupního napětí důležitý parametr. Na třetí místo je řazena náročnost použití a cena. Významností jsou zmíněné dva parametry na podobné úrovni a zároveň jsou pro model méně důležité než rozsah vstupního napětí. Jsou ale důležitější než výpočetní výkon, který nebude pro model tolik důležitý, proto je zařazen na posledním místě.

## Stanovení vah kritérií

	Pořadí		váha (preference)
Cena vč. DPH (Kč)*	3	3	0,19
Dostupnost*	1	5	0,31
Náročnost použití	3	3	0,19
Výpočetní výkon	5	1	0,06
Rozpětí vstupního napětí	2	4	0,25
<b>Součet</b>		<b>16</b>	<b>1,00</b>

Tabulka 12: stanovení vah kritérií metodou pořadí

## Matice bodování variant dle kritérií

	Cena vč. DPH (Kč)	Dostupnost	Náročnost použití	Výpočetní výkon	Rozpětí vstupního napětí	Bodovací metoda s vahami
Arduino UNO	5	5	5	2	5	4,26
Raspberry Pi	1	3	4	5	1	2,30
Charakter kritéria	max	max	max	max	max	
Váha	0,12	0,12	0,03	0,25	0,49	

Tabulka 13: matice bodování variant dle kritérií, zdroj: autor

Analýza ukázala, že vhodnějším mikrokontrolerem pro danou aplikaci bude Arduino UNO. To je zřejmé už po převodu na stejnou bodovou škálu, kdy Arduino v hodnocených parametrech dominuje Raspberry Pi ve všech parametrech, až na výpočetní výkon.

## 4.2.2 Snímač otáček

Snímání otáček bude realizováno na poloose, na kterou budou připevněny dva plastové držáky, do kterých budou osazeny kovové matice. Čidlo bude snímat průchod matic. Nejvhodnějším typem čidla je tedy čidlo indukční, protože bude snímat pouze průchody kovových matic a ničeho jiného. Klíčovým parametrem bude zajisté detekční vzdálenost, ta by měla být co nejvyšší, aby čidlo mohlo být co nejdál od rotující poloosy. Při drobnějších pohybech pak bude mezi maticí a čidlem dostatečná rezerva, aby nedošlo k poškození čidla. Co se ceny týče, je samozřejmé, že by měla být co nejnižší. Výběr typu NPN, PNP, případně NC/NO (normal open, normal close) není důležitý. Software je totiž možné velice snadno upravit pro všechny typy.

Po průzkumu trhu vyplývá najevo, že do cenové hladiny se vejdou typy snímačů se snímací vzdáleností 8 mm, což by mělo být dostačující. Vzhledem k tomu, že senzory s požadovanými parametry jsou běžně dostupné a je jich celá řada, byl vybrán obchod s dobrou dostupností v Praze. Byl jím GM Electronic s pobočkou na Karlíně. Konkrétní model čidla je LJ18A3-8-Z/BX (viz Obrázek 17) od společnosti HWE. Byl vybrán, protože měl nejnižší cenu (152 Kč včetně DPH) s tím, že zároveň splňoval všechny technické parametry.

Technické parametry	
Typ	Indukční, NPN/NO
Snímací vzdálenost	8 mm

Tabulka 14: technické parametry indukčního čidla, zdroj: autor



Obrázek 17: vybrané indukční čidlo [18]

### 4.2.3 Průtokoměr

Přesnost celého řešení bude záviset z velké části na odchylce, se kterou bude schopen měřit průtokoměr. Z teoretických východisek vyplývá, že je velice důležité, aby svými parametry vyhovoval zamýšlenému použití. Pokud by byl vybrán typ s malým maximálním průtokem, mohl by omezovat přísun paliva do motoru a tím i jeho chod a výkon. Naopak, pokud by průtokoměr měl vysoký minimální průtok, nemusel by registrovat spotřebu při nízkém zatížení motoru. To by ale nemělo vliv na funkčnost automobilu jako celku, pouze na přesnost měřícího zařízení.

Klíčovým technickým parametrem při výběru bude tedy hodnota maximálního průtoku. Méně důležitá, ale stále významná bude hodnota minimálního průtoku. Dále je potřeba výběr přizpůsobit specifickým podmínkám, ve kterých bude průtokoměr pracovat. Bude muset dlouhodobě snášet kontakt s benzínem, aniž by to omezilo jeho funkčnost.



#### 4.2.3.1 Určení požadovaných technických parametrů průtokoměru

Hodnoty minimálního a maximálního průtoku jsou u průtokoměrů nejčastěji udávány v litrech za minutu. Je tedy nutné tyto hodnoty dopočítat. Jako první bude odhadnut průtok paliva při dálniční rychlosti, který poslouží jako přibližná horní mez. Dále pak bude spočítán průtok při běžném stylu jízdy (průměrná rychlost  $70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ).

Hodnoty pro výpočty jsou zobrazeny v grafu (viz Obrázek 18), který vznikl měřením spotřeby paliva Wartburgu 353 W průtokoměrem. Vůz, který byl k tomuto měření využit, je novější (rok výroby 1981) než ten, na který bude IoT model umístěn (rok výroby 1967). Udávaná průměrná spotřeba měřeného vozu je  $8,45 \text{ l} \cdot 100\text{km}^{-1}$ . Udávaná průměrná spotřeba vozu z roku 1967 v technickém průkazu je  $10,7 \text{ l} \cdot 100\text{km}^{-1}$ . Z tohoto stavu lze vyjádřit koeficient ( $k$ ), kterým budou výsledné průtoky vynásobeny, pro získání hodnot bližších realitě:

$$k = \frac{10,7}{8,45}$$

$$k = 1,266.$$

K výpočtu průtoku je potřeba znát rychlost ( $v$ ), ujetou vzdálenost ( $s$ ) a objem spotřebovaného paliva ( $V$ ). Nejprve je potřeba zjistit čas ( $t$ ), který automobil potřeboval k ujetí vzdálenosti ( $s$ ). Ten je získán ze vztahu:

$$\frac{s}{v} = t.$$

Čas, potřebný u uražení vzdálenosti ( $s$ ) 100 km rychlostí ( $v$ ) 130  $km \cdot h^{-1}$ , je vypočítán následovně:

$$\frac{100}{130} = 0,769 [h].$$

Z grafu lze vyčíst, že při zařazeném 4. rychlostním stupni by motor za tu dobu spálil objem paliva ( $V$ ) 14 l. To se stává prvním údajem o průtoku. Je ale potřeba ho převést na jednotky použitelné při výběru průtokoměru a to  $l \cdot min^{-1}$ . To je provedeno následovně:

$$y = \frac{V}{t} \cdot k$$

$$y = \frac{14}{0,769} \cdot 1,226$$

$$y = 0,371 [l \cdot min^{-1}].$$

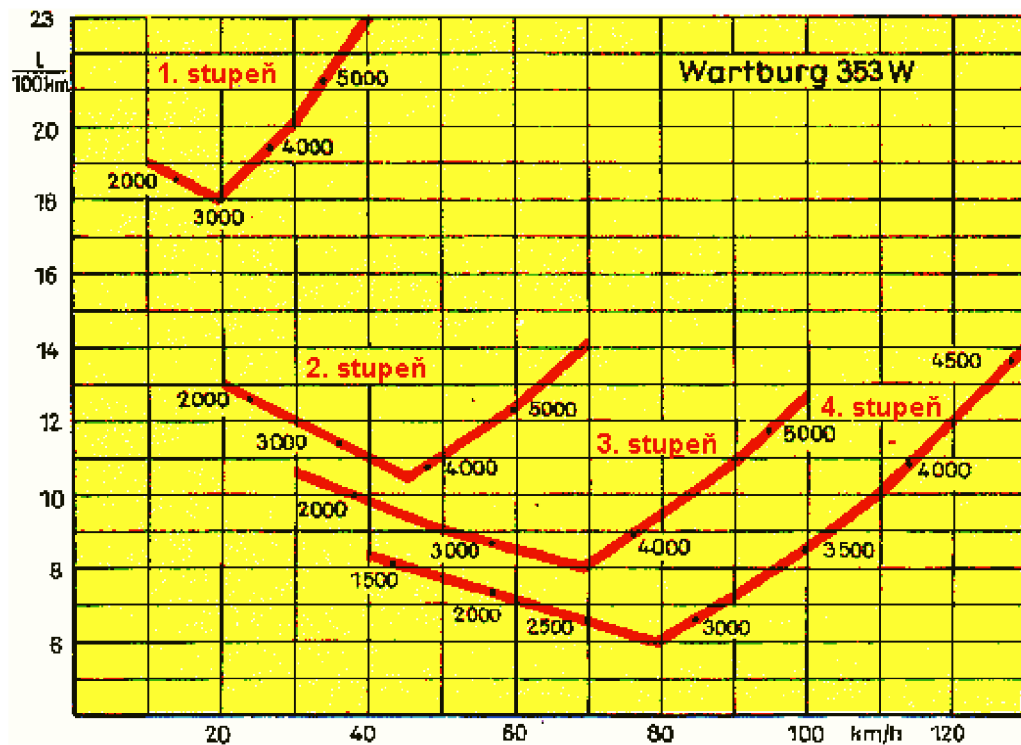
Veličina  $y$  ukazuje hodnotu, která bude sloužit jako přibližný maximální průtok, který bude potřeba měřit. Většina měřených údajů by se měla pohybovat pod touto hodnotou. Pro běžnou jízdu, tj. průměrná rychlost  $70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  a 4. rychlostní stupeň, bude výpočet vypadat následovně:

$$\frac{100}{70} = 1,429 \text{ [h]}$$

$$x = \frac{V}{t} \cdot k$$

$$x = \frac{6,5}{1,429} \cdot 1,226$$

$$x = 0,093 \text{ [l} \cdot \text{min}^{-1}\text{].}$$



Obrázek 18: graf spotřeby Wartburgu 353 v závislosti na rychlostním stupni [19]

#### 4.2.3.2 Výběr konkrétního průtokoměru

Z předchozí kapitoly vyplívají následující nutné požadavky na průtokoměr:

1. maximální průtok alespoň  $0,371 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ ,
2. schopnost spolehlivě měřit průtok kolem hodnoty  $0,093 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ ,
3. chemická odolnost vůči benzínu.

Požadavek autora:

4. důraz bude kladen i na pořizovací cenu.

Z průzkumu aktuální nabídky (konec září 2021) vychází jediný kandidát. Je jím průtokoměr od firmy B.I.O-TECH e.K., konkrétně model FCH-m-POM-LC. Jeho hlavní parametry jsou následující:

Typ	turbínový
Druh snímače	Hallova sonda
Minimální průtok	$0,05 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$
Maximální průtok	$3 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$
Použití	Voda, benzín, diesel, olej
Cena	735,52 Kč včetně DPH

Tabulka 15: technické parametry průtokoměru, zdroj: autor

Není ani možné vybírat z obchodů. Jediný, který má zmíněný model skladem, je e – shop Půhy.cz. V nabídce ho má i známější a větší obchod s elektronikou Conrad.cz, tam je ale bohužel vyprodán. I když se překročí cenová hladina 1 000 Kč včetně DPH, není skladem žádný vhodnější kandidát. Průzkum trhu probíhal i na čínských obchodních portálech (aliexpress.com), kde nebyl nalezen kandidát s nižším minimálním průtokem.

Maximální průtok zmíněného modelu bohatě dostačuje stanoveným potřebám. Je přibližně osmkrát vyšší, než vyšlo v odhadu maximálního průtoku. Větší rezerva by naopak byla potřeba v případě minimálního průtoku. Je sice dvakrát menší než odhadovaný průtok při běžném použití, ale je otázkou, jestli bude dostačující pro volnoběžné otáčky motoru. To bude zjištěno až při pokusných měřeních.

Pokud minimální průtok bude velkým limitem a bude způsobovat velké odchylky v měření, bude možné průtokoměr vyměnit za jiný, pokud dojde ke zlepšení dostupnosti. Vhodným kandidátem by pak mohl být FCH-M-PP-LC od stejného výrobce. Ten by poskytoval maximální průtok  $0,8 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ , což je podle odhadu stále dostačující a minimální průtok  $0,015 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ , ten by měl případně vykrýt i průtok při volnoběžných otáčkách, pokud stávající svým rozsahem stačit nebude. V době vypracování práce ale ani tento typ není v žádném e-shopu skladem.

### 4.3 Software

V kódu, který systém používá jsou použity dvě knihovny. První je knihovna Wire. Ta je nutná k tomu, aby Arduino mohlo komunikovat s rozhraním I2C. To umožňuje, aby displej mohl být připojen přes menší počet pinů. Originálně má displej 16 pinů. Díky rozhraní I2C lze displej připojit přes piny čtyři (GND, VCC, SDA, SCL).

Druhá knihovna je LiquidCrystal\_I2C. Ta vychází z knihovny LiquidCrystal a je modifikována právě pro komunikaci přes I2C. Knihovna se zaměřuje na ovládání LCD displejů založených na chipsetu Hitachi HD44780, či ostatních kompatibilních chipsetů. Ty se nachází na většině LCD displejů, které se orientují na text. Díky této knihovně lze snadnými funkcemi vypisovat a mazat obsah z displeje.

Část kódu, kterou zobrazuje Obrázek 19, je zodpovědná za výpočet rychlosti. Funkce `detachInterrupt` je se používá v případě, kdy je nutné neustále monitorovat vstup na některém pinu a zároveň je nutné provádět jiné operace na mikrokontroleru. V tomto případě je jinou operací myšlen výpočet času od posledního výpočtu a uložení do proměnné `time`, výpočet otáček za minutu (proto násobení 60 000, proměnná `time` je v milisekundách), výpočet aktuální rychlosti a výpis na displej. V proměnné `rev` se kumulují otáčky zaznamenané snímačem v jiné funkci. Na podobném principu je realizován i výpočet průtoku, opět je využito funkce `detach/attachInterrupt`.

```
detachInterrupt(digitalPinToInterrupt(Pin));           //detaches the interrupt
time = millis() - oldTime;                             //finds the time
rpm = ((rev / time) * 60000) / measurePoints; //calculates rpm
rev = 0;
kmh = (rpm * tiresize * 60) / 1000;                   //calculating current speed
lcd.setCursor(6, 0);                                  //printing data on display
lcd.print(rpm);
lcd.setCursor(6, 1);
lcd.print(kmh);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(Pin), isr, FALLING);
```

Obrázek 19: část kódu starající se o výpočet rychlosti, zdroj: autor

Kód, který zobrazuje Obrázek 20, provádí výpočet aktuální a průměrné spotřeby a jejich výpis na displej. Obě hodnoty jsou v litrech na sto kilometrů. V proměnné `totalLiters` je uschována hodnota celkového objemu paliva v litrech, který od začátku jízdy zaznamenal průtokoměr. Naproti tomu v proměnné `flowLiters` je uschovávána hodnota o aktuálním průtoku v litrech za minutu.

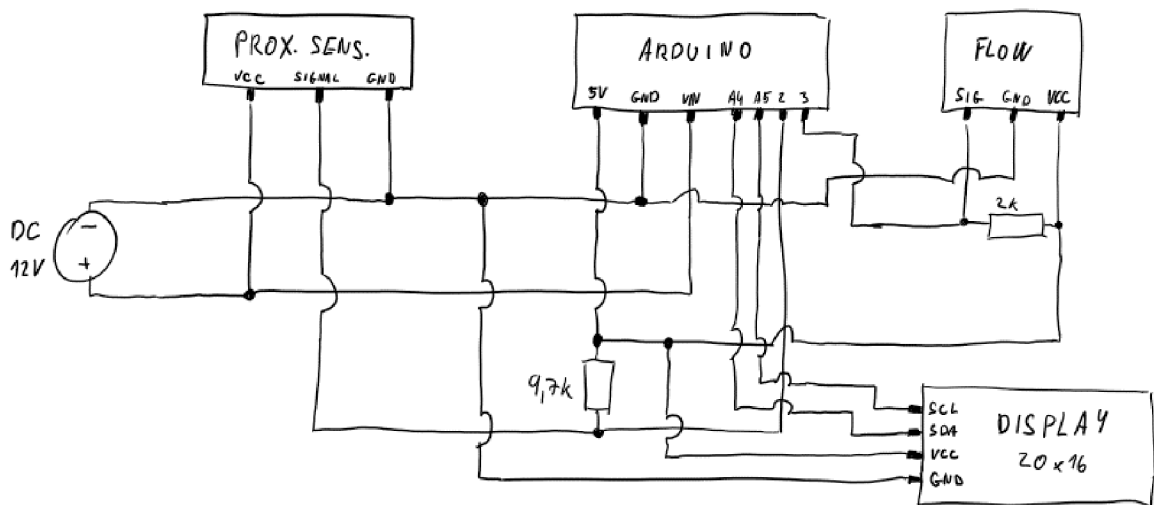
```
avg = totalLiters / dist * 100;                       //calculating average fuel consumption
lcd.setCursor(15, 0);
lcd.print(avg);

current = ((flowLiters * 60) / kmh) * 100; //calculating current fuel consumption
lcd.setCursor(15, 1);
lcd.print(current);
```

Obrázek 20: výpočet aktuální a průměrné spotřeby, zdroj: autor

## 4.4 Stavba

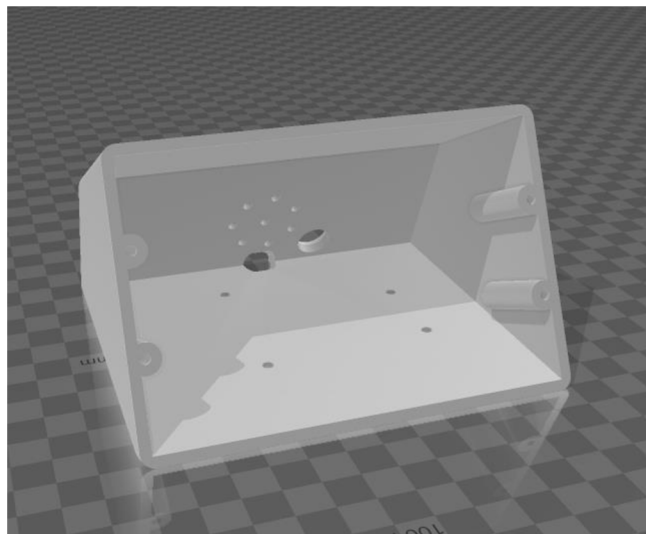
Před fyzickým sestavením je vhodné vytvořit schéma (viz Obrázek 21) celého modelu, aby pak bylo možné se jím řídit při výrobě. Co se napájení týče, bude systém připojen k napájení zapalovacích cívek, což je tedy 12 V stejnosměrný proud. Výhodou zapojení na zapalovací cívky je, že se okruh sepne při startování a běhu motoru. Není tedy potřeba před systém přidávat vypínač a vždy se zapne s nastartováním auta. Z důvodu úspory pinů je displej k Arduino připojen přes sběrnici I2C. Díky tomu k jeho připojení stačí 4 piny.



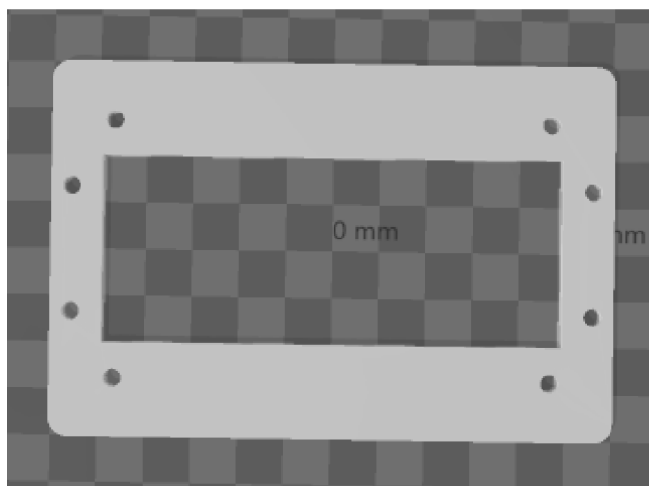
Obrázek 21: elektrické schéma zapojení

V následujícím kroku stavby byl podle schématu vyroben obvod na univerzální PCB desku. Díky tomu je možné ušetřit některé výstupy, které používá více zařízení (například GND, 5V). Dalším důvodem je možnost připojení zařízení přes konektory, aby bylo možné systém z auta snáze demontovat, pokud by to situace vyžadovala.

Aby byla elektronika ochráněna před vnějšími vlivy, je vhodné celému projektu dát formu v podobě obalu. Na tuto aplikaci se hodí technologie 3d tisku. Výrobky jsou plastové, tudíž nevodivé. Samotný obal se bude skládat z hlavní krabice (viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**) a víka (viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**), které budou za pomoci šroubů držet pohromadě. Krabice má v sobě vymodelované otvory, které odpovídají otvorům na Arduinu, otvory pro kabeláž a chlazení. Přes vytisknuté vložky a šrouby s matkami bude deska Arduina uchycena ke krabici. Do víka bude stejným způsobem osazen displej.



Obrázek 22: hlavní krabice elektroniky, zdroj: autor



Obrázek 23: víko krabice, zdroj: autor

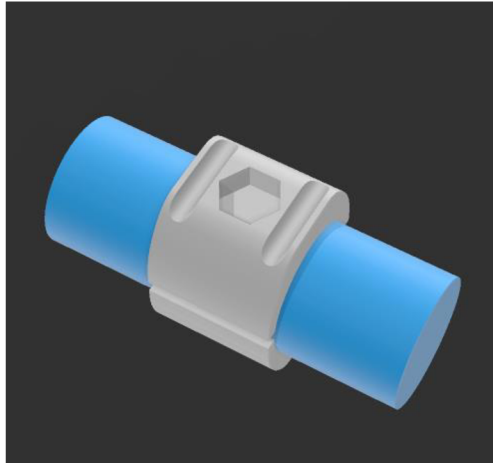


V programu Fusion 360 byly vymodelovány trojrozměrné modely, které byly vytisknuty z materiálu PETG. Pro něj bylo rozhodnuto zejména protože ze zkušenosti autora vyplívá, že jeden z nejpoužívanějších plastů pro 3d tisk PLA, špatně snáší horké letní dny v autě. Zvláště pokud je zaparkováno na přímém slunci. PETG má oproti PLA zvýšenou teplotní odolnost. Hotové zařízení bylo umístěno na odkládací plochu v interiéru vozidla, viz Obrázek 24.

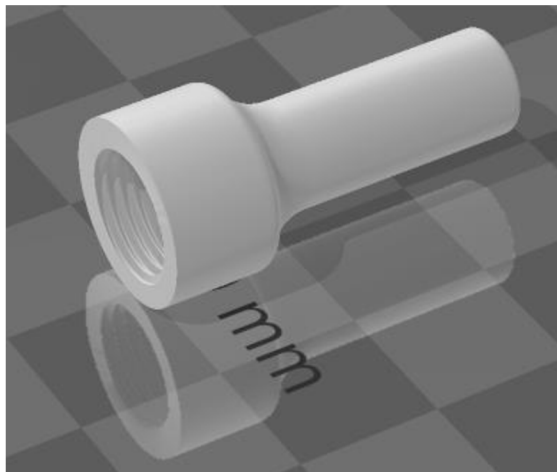


*Obrázek 24: umístění systému v interiéru automobilu*

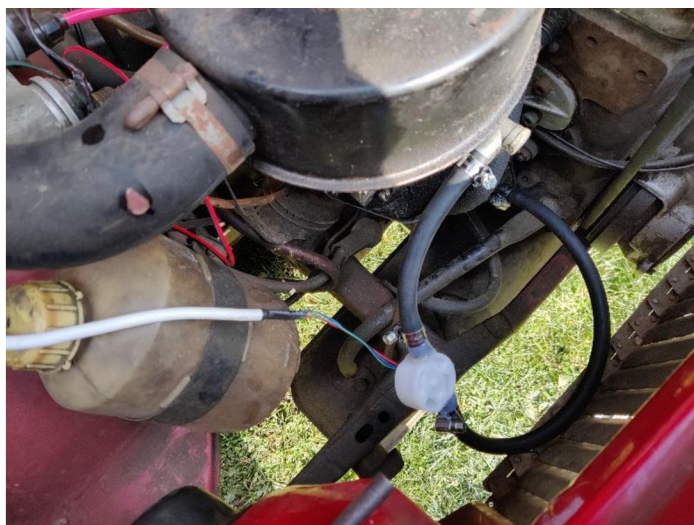
Další 3d model, který bylo nutné vytvořit je držák matic (viz Obrázek 25), do kterého se matice lepidlem, do přesně vymodelovaných otvorů, vlepí. Držáky s maticemi budou stahovacími páskami připevněny k poloose. Držáky budou na poloose dva, aby nedocházelo k vibracím kvůli nevyvážení. Posledním vyrobeným modelem je příruba na připevnění palivové hadice k průtokoměru (viz Obrázek 26). Z dokumentace průtokoměru lze vyčíst, že závit pro nasazení těchto přípravek je značen jako G 1/8. Průtokoměr je do motorového prostoru vsazen mezi palivové čerpadlo a karburátor, viz Obrázek 27.



Obrázek 25: držák matice



Obrázek 26: příruba na připevnění hadice



Obrázek 27: průtokoměr začleněn do palivového systému

Snímač otáček bude připevněn stahovacími páskami k rámu auta u přední poloosy, viz Obrázek 28. Pro lepší ochranu byl obalen do elektrickářské pásky.



Obrázek 28: upevnění držáků a snímače k automobilu

## 5 Výsledky a diskuse

Následující dvě kapitoly mají shrnout výsledky, kterých model dosáhl a rozvést diskusi na tím, kde je případný prostor pro zlepšení.

### 5.1.1 Výsledky

Testování systému probíhalo na silnicích 3. třídy, tudíž i částečně ve městské zástavbě. Rychlost, a především uražená vzdálenost, byla měřena pomocí GPS z mobilního telefonu. Měření zahrnovalo celkově tři jízdy, každá po odlišné trase. První jízda byla měřena při originálním zapojení palivové nádrže, to znamená že palivový systém byl kompletní se zdrojem paliva z nádrže. Tato jízda měla za cíl zejména prověřit, jestli někde v oblasti kolem průtokoměru nedochází k únikům paliva. Průtokoměr je totiž umístěn přímo nad první expanzní nádobou výfukového systému, která se za jízdy značně zahřívá. Únik benzínu by tedy mohl být kritický, co se zvýšení pravděpodobnosti vznícení týče. Z první jízdy tedy chybí údaj o spotřebovaném palivu.

Metoda měření objemu spotřebovaného paliva, která byla pro testování samotného průtokoměru zvolena, spočívala v nahrazení palivové nádrže jako primárního zdroje paliva. Tím se pro účely testování stala nádoba zakončená vývodem do trubice, která byla napojená již

přímo na palivové čerpadlo. Tento systém měl za cíl přesně zjistit množství paliva, které bylo za jízdy spotřebováno. Na nádobě byla vyznačena ryska, po kterou bylo vždy před jízdou palivo dolito a po jízdě bylo měřeno, kolik paliva je třeba dolít, aby hladina opět vystoupala ke stejné rysce. Výsledkem byl tedy objem paliva, spotřebovaný při testovací jízdě. Všechna data ze tří jízd jsou shrnuta v následujících tabulkách.

	objem paliva dle průtokoměru [l]	objem paliva dle ručního měření [l]	rozdíl [%]	vzdálenost dle snímače otáček [km]	vzdálenost dle GPS [km]	rozdíl [%]
jízda 1	2,07	-	-	18,07	18,97	4,74
jízda 2	2,48	2,54	2,36	25,41	27,32	6,99
jízda 3	3,50	3,59	2,51	34,21	36,96	7,44

Tabulka 16: výsledky jednotlivých jízd, zdroj: autor

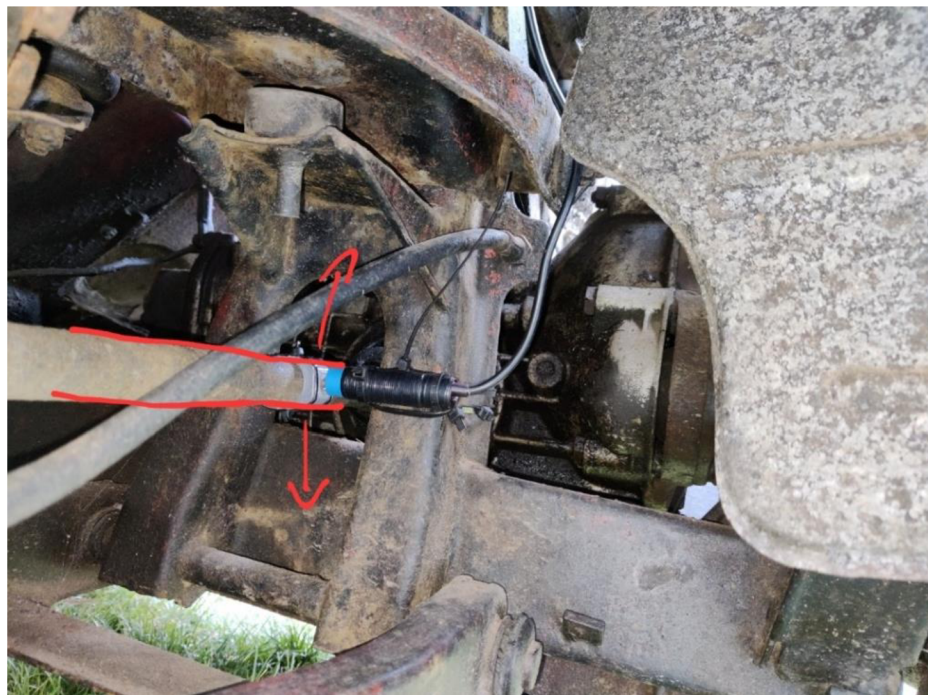
	průměrná spotřeba měřená systémem [l/100 km]	průměrná spotřeba měřená ručním měřením a GPS [l/100km]	rozdíl [%]
jízda 1	11,46	-	-
jízda 2	9,76	9,30	-4,98
jízda 3	10,23	9,71	-5,33

Tabulka 17: porovnání průměrných spotřeb, zdroj: autor

Rozdíly v procentech jsou vždy počítány vůči ručnímu měření objemu paliva a GPS. Z tabulek je zřejmé, že rozdíl v obou měřených jízdách v objemu paliva se procentuálně liší vždy o méně než tři procenta. Když se vezme v potaz, že ani metoda dolévání paliva do nádoby nemusí být absolutně přesná, je míra diference mezi metodami přijatelná.



Co se týče metody měření vzdálenosti, tak při testování se vyskytl problém, který má přímý vliv na přesnost měření. Spočívá v tom, že držáky matic a s nimi snímané matice jsou připevněné na poloosa. Poloosa se ale za jízdy hýbe, a to zejména při náklonech v zatáčkách, kde na auto působí odstředivá síla a celé se nakloní. Wartburg 353 je navíc známý pro své měkké nastavení podvozku, je tedy již z výroby velice náchylný na boční náklony i při slabém přetížení. Snímač je na rámu auta, který je ale pevný a s osou se nehýbe. Výsledkem je, že na rovině snímač funguje bezchybně, ale v ostrých zatáčkách se díky náklonu karoserie dostanou matice mimo snímací oblast a snímač tedy nesnímá otáčky pneumatiky. Problematiku nastiňuje Obrázek 29.



Obrázek 29: problematika pohybu poloosy, zdroj: autor

Díky tomu vzniká rozdíl mezi metodami měření vzdálenosti, kdy snímač oproti GPS naměří menší vzdálenost, protože v některých ostrých zatáčkách nesnímá. Nicméně i tak se přesnost držela pod osmi procenty. Není to sice ideální, ale ve finále se celková přesnost měření průměrné spotřeby pohybovala kolem pěti procent. V roce 2020 provedl renomovaný německý autoklub ADAC test přesnosti měření spotřeby paliva u 80 nových automobilů. Z testu vyplývá, že se přesnost měření konvenčních systémů zabudovaných v novějších modelech automobilů z výroby v některých případech pohybuje i nad hodnotou deseti procent. [20] Podle metodiky ADAC by systém, kterým se zabývá tato práce, byl v první jízdě označený jako dostatečně přesný. Nicméně ve druhé se do stanovené hranice pěti procent pro tuto kategorii nevešel o 0,33% procenta.

### 5.1.2 Diskuse

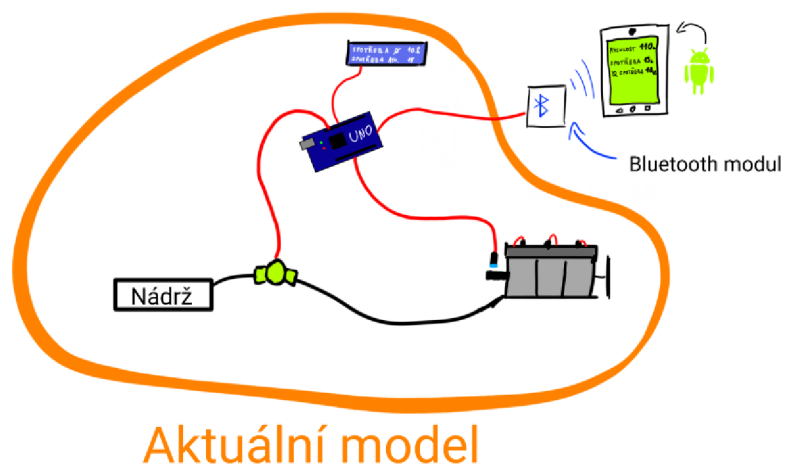
Větší přesnosti měření by určitě přispělo vymyšlení nového místa pro snímání otáček pneumatiky. Požadované místo musí být takové, aby se snímač zároveň hýbal s maticí. To by zamezilo výpadkům měření v prudkých zatáčkách, což by pozitivně ovlivnilo celkovou přesnost měření. Další možnost pro zlepšení je jednoznačně příruba pro upevnění palivové hadice k průtokoměru. Když bylo zařízení po třetí jízdě demontováno, tak totiž i přes malý tlak praskla viz Obrázek 30.



Obrázek 30: prasklá příruba průtokoměru

Zde jsou bohužel nalezeny limity technologie FDM 3d tisku (FDM — Fused deposit modeling). Plocha, kterou na sebe jednotlivé vrstvy výtisku dosedají, není dostatečná k tomu, aby byly spojeny v dostatečné pevnosti. Často se tento problém dá řešit změnou orientace modelu při tisku. V určitě by pomohlo, kdyby model nebyl tisknut vertikálně, ale horizontálně. V tomto případě by ale zase závit nebyl dostatečně kvalitní, aby plnil svou funkci. Jako řešení lze nechat vyrobit přírubu z kovu, nabízela by se možnost soustružení. Bohužel taková technologie autorovi (ale i obecně) není tak snadno dostupná, jako technologie 3d tisku.

Další možnost pro vylepšení celého modelu je rozšíření o modul pro microSD kartu. To by uživateli umožnilo data o jízdě ukládat. S tím by zároveň bylo vhodné zařízení vybavit Bluetooth modulem pro propojení s chytrým telefonem. Poté by se dalo přemýšlet o vytvoření aplikace, která by dokázala data lépe zobrazit než jen LCD displej. Bylo by též možné sbírat údaje o poloze z telefonu a tím zanášet data o jízdě do mapy. Nabízí se i možnost tvorby grafů o spotřebě během jízdy, či profily pro jednotlivé řidiče, aby bylo možné sledovat a porovnat styly jízdy. Aktuální stav a možnost rozšíření ilustruje Obrázek 31.



Obrázek 31: možnost rozšíření modelu

## 6 Závěr

Bakalářská práce rozebírá tematiku internetu věcí, konkrétně jeho využitelnost v oblasti měření spotřeby automobilu. Hlavním cílem byla implementace systému měření spotřeby paliva pro automobil s využitím internetu věcí.

Teoretická část vymezuje pojem internet věcí a detailněji rozebírá problematiku jednotlivých druhů zařízení, která jsou určena pro měření průtoku kapalin a charakterizuje jejich výhody a nevýhody. Ve třetí části teoretické části jsou popsány metody snímání rychlosti, které jsou k měření spotřeby paliva využitelné.

Praktická část práce představuje základní koncept modelu a jeho komponenty. Na základě rešerše teoretické části byly v následujících kapitolách komponenty vybrány. Výběr mikrokontroleru byl proveden vícekritériální analýzou s vahami kritérií, která ukázala, že vhodnou volbou je Arduino UNO. Následně byl stručně představen software, který byl pro model vyvinut. Po představení základních částí softwaru byla popsána stavba modelu a bylo vytvořeno jeho elektrické schéma.

V poslední části jsou prezentovány výsledky, kterých model dosáhl při testování. Též je rozvinuta diskuse na téma zlepšení přesnosti současného modelu a jeho možné budoucí rozšíření.



## 7 Seznam použitých zdrojů

- [1] WEBER, Rolf a Romana WEBER. *Internet of Things: Legal Perspectives* [online]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2010 [cit. 2021-06-20]. ISBN 978-3-642-11710-7. Dostupné z: <https://www.dhi.ac.uk/san/waysofbeing/data/governance-crone-weber-2010.pdf>
- [2] DUNKELS, Adam. The IoT without the Internet: 3 Use Cases. *Thingsquare* [online]. 2020 [cit. 2021-07-03]. Dostupné z: <https://www.thingsquare.com/blog/articles/iot-without-internet/>
- [3] KADLEC, Karel a Miloš KMÍNEK. *Měřicí a řídicí technika* [online]. [cit. 2021-07-25]. Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/ucebnice/mrt/>
- [4] KADLEC, Karel. *Měření provozních veličin v cukrovarnictví* [online]. [cit. 2021-07-25]. Dostupné z: [http://www.cukr-listy.cz/on\\_line/2017/PDF/116-119.pdf](http://www.cukr-listy.cz/on_line/2017/PDF/116-119.pdf)
- [5] KLEPÁRNÍK, Jan. Snímače průtoku. *Jan Klepárník - WEB podpora výuky* [online]. [cit. 2021-08-01]. Dostupné z: [http://user.mendelu.cz/xklepar0/fls/sn\\_prutoku.htm](http://user.mendelu.cz/xklepar0/fls/sn_prutoku.htm)
- [6] SVATOŇOVÁ, Hana. *Využití navigačních systémů ve školních enviromentálních projektech* [online]. Masarykova univerzita Brno, 2014 [cit. 2021-08-01]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/113744435-Vyuziti-navigacnich-systemu-ve-skolnich-environmentalnih-projektech.html>
- [7] Satellite Navigation - GPS - How It Works. *Federal Aviation Administration* [online]. [cit. 2021-08-01]. Dostupné z: [https://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ato/service\\_units/te\\_chops/navservices/gnss/gps/howitworks/](https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/te_chops/navservices/gnss/gps/howitworks/)
- [8] What is a inductive proximity sensor?. *Introductory Guide to Sensors Sensor Basics* [online]. [cit. 2021-08-01]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/ss/products/sensor/sensorbasics/proximity/info/>
- [9] Inductive vs. capacitive sensors: differences and how it works. *Sensor partners* [online]. [cit. 2021-08-01]. Dostupné z: <https://www.sensorpartners.com/en/knowledge-base/the-difference-between-inductive-and-capacitive-sensors/>
- [10] Kapacitní senzory. *EATON* [online]. [cit. 2021-10-10]. Dostupné z: <http://www.eatonelektrotechnika.cz/kapacitni-senzory.html>

- [11] Arduino Uno Rev3. *Arduino* [online]. [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/collections/special-offers/products/arduino-uno-rev3>
- [12] HIRZEL, Timothy. PWM. *Arduino* [online]. [cit. 2021-11-17]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/Foundations/PWM>
- [13] Raspberry Pi 4 Model B. *RaspberryPi* [online]. [cit. 2021-11-27]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>
- [14] VAN SCHOONEVELD, Jason. Build Physical Projects With Python on the Raspberry Pi. *Real Python* [online]. [cit. 2021-11-27]. Dostupné z: <https://realpython.com/python-raspberry-pi/>
- [15] Raspberry Pi 4 Tech Specs. *RaspberryPi* [online]. [cit. 2021-11-27]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/>
- [16] Raspberry Pi 4 Model B - 2GB RAM. *RPishop* [online]. [cit. 2021-11-27]. Dostupné z: <https://rpishop.cz/raspberry-pi-4b/1599-raspberry-pi-4-model-b-2gb-ram-765756931175.html>
- [17] ŠUBRT, Tomáš. *Ekonomicko-matematické metody*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2011. ISBN 978-807-3803-452.
- [18] *Indukční čidlo, M18, 0-8 mm, NPN/NO, průměr čidla 18mm, kabel LJ18A3-8-Z/BX* [online]. [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/indukcni-cidlo-lj18a3-8-z-bx-m18-0-4-mm-npn-no-kabel>
- [19] PREUSCH, Eberhard. Wartburg testy z NDR. W353 [online]. [cit. 2021-11-28]. Dostupné z: <https://www.w353.cz/testy/Farbe/353-farbe.htm>
- [20] BLAŽEK, Jan. *Palubní počítač často lže o spotřebě, ukázal test 80 aut. U některých vozů o více než 20 procent* [online]. In: . 2020 [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: <https://www.autosalon.tv/novinky/nova-auta/udaj-o-prumerne-spotrebe-na-palubnim-pocitaci-muze-byt-presny-i-uplne-mimo-misu-ukazal-test-80-aut>

## 8 Přílohy

### 8.1 Seznam obrázků

Obrázek 1: pístové měřidlo [3].....	13
Obrázek 2: oválné měřidlo [3].....	14
Obrázek 3: axiální šroubový vodoměr [3].....	16
Obrázek 4: radiální lopatkový průtokoměr [5].....	16
Obrázek 5: tvorba vírů ve vírovém průtokoměru [5] .....	17
Obrázek 6: zjednodušený nákres principu indukčního měřidla [3].....	18
Obrázek 7: ukázka správné a špatné montáže indukčního průtokoměru [3].....	19
Obrázek 8: průtokoměr využívající Dopplerova principu [5].....	20
Obrázek 9: řez ultrazvukovým průtokoměrem [5].....	21
Obrázek 10: řez rotametrem [3] .....	22
Obrázek 11: tvary základních škrťících orgánů [3] .....	24
Obrázek 12: zjednodušené schéma principu GPS [6] .....	25
Obrázek 13: schéma indukčního senzoru [8] .....	26
Obrázek 14: schéma kapacitního snímače [10], popisky autor .....	27
Obrázek 15: zjednodušené schéma IOT modelu, zdroj: autor .....	28
Obrázek 16: Arduino UNO Rev3 [11] .....	30
Obrázek 17: vybrané indukční čidlo [18].....	35
Obrázek 18: graf spotřeby Watrburgu 353 v závislosti na rychlostním stupni [19] .....	39
Obrázek 19: část kódu starající se o výpočet rychlosti, zdroj: autor .....	42
Obrázek 20: výpočet aktuální a průměrné spotřeby, zdroj: autor .....	42
Obrázek 21: elektrické schéma zapojení .....	43
Obrázek 22: hlavní krabice elektroniky, zdroj: autor .....	44
Obrázek 23: víko krabice, zdroj: autor .....	44
Obrázek 24: umístění systému v interiéru automobilu.....	45
Obrázek 25: držák matice.....	46
Obrázek 26: příruba na připevnění hadice .....	46
Obrázek 27: průtokoměr začleněn do palivového systému.....	46
Obrázek 28: upevnění držáků a snímače k automobilu.....	47
Obrázek 29: problematika pohybu poloosy, zdroj: autor .....	49
Obrázek 30: prasklá příruba průtokoměru.....	50

Obrázek 31: možnost rozšíření modelu.....51

## 8.2 Seznam tabulek

Tabulka 1: výhody a nevýhody objemových měřidel, zdroj: autor.....	14
Tabulka 2: výhody a nevýhody lopatkových a turbínových měřidel, zdroj: autor.....	16
Tabulka 3: výhody a nevýhody vírových měřidel, zdroj: autor .....	17
Tabulka 4: výhody a nevýhody indukčních měřidel, zdroj: autor.....	19
Tabulka 5: výhody a nevýhody ultrazvukových měřidel, zdroj: autor.....	21
Tabulka 6: výhody a nevýhody rotametrů, zdroj: autor .....	23
Tabulka 7: výhody a nevýhody škrtcích měřidel, zdroj: autor.....	24
Tabulka 8: matice variant, zdroj: autor .....	32
Tabulka 9: kvantifikace a určení charakteru kritérií, zdroj: autor .....	32
Tabulka 10: převod kritérií na sejný charakter, zdroj: autor .....	33
Tabulka 11: převod ohodnocení na stejnou škálu, zdroj: autor.....	33
Tabulka 12: stanovení vah kritérií metodou pořadí.....	34
Tabulka 13: matice bodování variant dle kritérií, zdroj: autor.....	34
Tabulka 14: technické parametry indukčního čidla, zdroj: autor.....	35
Tabulka 15: technické parametry průtokoměru, zdroj: autor.....	40
Tabulka 16: výsledky jednotlivých jízd, zdroj: autor.....	48
Tabulka 17: porovnání průměrných spotřeb, zdroj: autor.....	48

## 8.3 Soubor ZIP se zdrojovým kódem

Přílohou této bakalářské práce je soubor ZIP se zdrojovým kódem, který lze importovat do vývojového prostředí Arduino IDE.