

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A
TELEKOMUNIKACÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Průtokoměr pro internet věci

Autor práce: David Fencel

Vedoucí práce: Ing. Jiří Čengery, Ph.D.

2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **David FENCL**

Osobní číslo: **E16B0072P**

Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**

Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**

Název tématu: **Průtokoměr pro internet věci**

Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznamte se s technologiemi IoT sítí LoRaWAN a Sigfox.
2. Seznamte se s problematikou měření průtoku kapalin.
3. Navrhněte systém měření průtoku kapalin využívající IoT síť a na jednom prototypu tento systém realizujte.
4. Vytvořené technické a programové prostředky podrobně popište.



Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

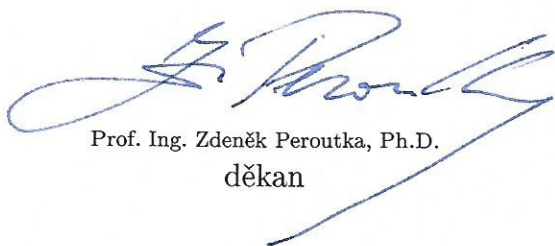
Seznam odborné literatury:

1. Arshdeep Bahga: Internet of Things (A Hands-on-Approach), 2014
2. McEwen, Cassimally: Designing the Internet of Things, 2014
3. Herout, P.: Učebnice jazyka C - 1. díl
4. Internetové zdroje


Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Čengery, Ph.D.
Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: 5. října 2018

Termín odevzdání bakalářské práce: 13. června 2019



Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan



Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 5. října 2018

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na vytvoření funkčního systému pro měření průtoku kapaliny, využívajícího technologii z oblasti internetu věcí. Práce obsahuje přehled používaných měřících metod, které jsou reálně používány. Je zde vytvořen přehled sítí internetu věcí zavedených v České republice a přehled metod 3D tisku, které využívají současné 3D tiskárny.

V praktické části je popsán návrh 3D modelu mechanické části a jeho následné vytištění pomocí 3D tiskárny. Elektronická část založená na ARM mikrokontroléru je následně realizována a její parametry změřeny. Pro reálné použití je vytvořen řídicí program a měřená data jsou vizualizována.

Klíčová slova

Průtokoměr, Iot, 3D tisk

Abstract

This bachelor thesis is focused on creating functioning system for measuring of the flow of a liquid using the technology from the area of internet of things. The thesis contains a survey on common measuring methods, which are used in practice. We discuss several networks of internet of things used in Czech republic and we introduce methods of 3D printing, which are used by modern 3D printers.

In the realization part there is described the design of 3D model of mechanical construction and the printing by 3D printer. The electronical part based on the ARM microcontroller is realized and its parameters are measured. For the practical use, there is created the controlling program and the measured data are visualized.

Keywords

Flowmeter, Iot, 3D print

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem svou závěrečnou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 270 trestního zákona č. 40/2009 Sb.

Také prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 10. června 2019

David Fencel

.....

podpis

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Čengerymu Ph.D. za profesionální rady a připomínky při četných konzultacích a za celkové vedení práce.

Obsah

Seznam obrázků	VIII
Seznam tabulek	IX
Seznam symbolů a zkratk	X
1 Úvod	1
2 Měření průtoku	2
2.1 Základní metody	2
2.2 Měření průtoku v potrubí	2
2.2.1 Elektromagnetické (indukční) průtokoměry	2
2.2.2 Ultrazvukové průtokoměry	3
2.2.3 Coriolisovy průtokoměry	4
2.2.4 Vírové průtokoměry	4
2.2.5 Rotametry	4
2.2.6 Směšovací průtokoměry (se značením tekutiny)	4
2.2.7 Turbínové a lopatkové průtokoměry	4
2.2.8 Průtokoměry se škrťícími orgány	5
2.2.9 Kolenové průtokoměry	6
2.2.10 Rychlostní průtokoměry	6
2.2.11 Fluidikové průtokoměry	6
2.2.12 Tepelné průtokoměry	6
3 IoT technologie	8
3.1 Bezpečnost a soukromí	8
3.2 Průmyslový internet věcí (IIoT)	9
3.3 Spotřebitelský internet věcí (CIoT)	9
3.4 Podnikový internet věcí (EIoT)	10
3.5 LPWAN	10
3.6 LoRaWAN	11
3.7 Sigfox	12
3.8 NarrowBand(NB-IoT)	12
4 Metody 3D tisku	13
4.1 Fusion deposition modeling (FDM)	13
4.2 Selective laser sintering (SLS)	13
4.3 Stereolytografie (SLA)	13
4.4 Laminated object manufacturing (LOM)	14

5	Vlastní realizace	15
5.1	Návrh mechanické konstrukce	15
5.1.1	Slic3r Prusa Edition	18
5.1.2	Original Prusa i3 MK3	20
5.2	Měřicí elektronika	22
5.2.1	Řídící program	24
5.2.2	Výpočetní funkce	26
5.2.3	Měření a výpočet chyb	28
5.2.4	Měření spotřeby	32
5.2.5	Návrh úprav pro snížení spotřeby	34
5.2.6	Úprava programu pro přerušovaný režim měření	35
5.3	Příjem a zobrazení naměřených dat	36
5.4	Finanční náklady	39
6	Závěr	41
7	Zdroje	42
7.1	Seznam literatury a informačních zdrojů	42
8	Přílohy	45

Seznam obrázků

3.1	Časový vývoj počtu připojených zařízení ve světě, převzato z [12]	10
3.2	Pokrytí sítě LoRaWAN na území České republiky, převzato z [26]	11
3.3	Pokrytí sítě Sigfox na území České republiky, převzato z [19]	12
3.4	Pokrytí sítě NB-IoT na území České republiky, převzato z [28]	12
5.1	Tělo lopatkového průtokoměru - pohled zepředu	15
5.2	Tělo lopatkového průtokoměru - pohled zezadu	15
5.3	Lopatkové kolo s příčkou	16
5.4	Víko - pohled zepředu	16
5.5	Víko - pohled zezadu	16
5.6	Sestava lopatkového průtokoměru	17
5.7	Řez sestavou lopatkového průtokoměru	17
5.8	Závitová propojka G3/4"	17
5.9	Rozhraní softwaru Slic3r	18
5.10	Model lopatkového průtokoměru ve Slic3r	19
5.11	Náhled modelu po vytvoření souboru pro tisk	19
5.12	Náhled lopatkového kola po vytvoření souboru pro tisk	19
5.13	Náhled víka po vytvoření souboru pro tisk	19
5.14	Náhled propojky po vytvoření souboru pro tisk	20
5.15	Náhled příčky po vytvoření souboru pro tisk	20
5.16	3D tiskárna Original Prusa i3 MK3	20
5.17	Zapojení měniče napětí a Hallovy sondy	22
5.18	Zapojení mikrokontroléru ATMEGA328	23
5.19	Zapojení Sigfox modulu WISOL SFM10R1	24
5.20	Část programu pro získání ID údaje z vysílacího modulu	25
5.21	Část programu pro získání PAC údaje z vysílacího modulu	25
5.22	Program pro nastavení přerušování od Hallovy sondy	25
5.23	Obslužná funkce přerušování pro měření	25
5.24	Program pro výpočet a vykreslení výpočetní funkce	26
5.25	Graf aproximační funkce (V_{ms}) a naměřených dat	27
5.26	Úprava funkce obsluhující přerušování	28
5.27	Snímek z osciloskopu zobrazující dobu výpočtu	28
5.28	Grafické zobrazení absolutních chyb měření pro celkový objem 6 l	30
5.29	Grafické zobrazení absolutních chyb měření pro objem po ustálení rychlosti toku	30
5.30	Grafické zobrazení absolutních chyb měření průtoku	31
5.31	Grafické zobrazení absolutních chyb měření průtoku po ustálení rychlosti toku	31
5.32	Snímek z osciloskopu zobrazující přepnutí do úsporného režimu	32

5.33	Snímek z osciloskopu zobrazující měřící režim	32
5.34	Snímek z osciloskopu zobrazující režim odesílání dat	33
5.35	Funkce pro odesílání dat	35
5.36	Funkce pro výpočet aritmetického průměru průtoku	35
5.37	Zobrazení přijaté zprávy v cloudu Sigfox	36
5.38	Nastavení callback	36
5.39	Vygenerovaný API zápisový klíč	37
5.40	Příklad vizualizace dat v aplikaci Thingspeak	37
5.41	Zpracování dat v aplikaci Thingspeak	38
5.42	Zobrazení výsledných dat v aplikaci Thingspeak	38
8.1	Graf aproximační funkce (V_{min}) a naměřených dat	46
8.2	Fotografie zařízení (pohled zepředu)	47
8.3	Fotografie zařízení (pohled zezadu)	47
8.4	Schéma průtokoměru	50
8.5	Vrchní vodivá vrstva DPS	51
8.6	Osazovací výkres DPS	51

Seznam tabulek

5.1	Spotřeba materiálu a časová náročnost pro tisk průtokoměru	21
5.2	Vypočítané chyby měření	29
5.3	Vypočítané chyby měření průtoku	29
5.4	Výdrž zařízení na baterii při stálém měření	34
5.5	Výdrž zařízení na baterii s kapacitou 345 mAh při přerušovaném měření	34
5.6	Výdrž zařízení na baterii s kapacitou 1000 mAh při přerušovaném měření	35
5.7	Cena všech potřebných součástí (kromě DPS)	39
5.8	Cena DPS	40
8.1	Naměřené hodnoty pro dobu jedné otáčky 150 ms	45
8.2	Naměřené hodnoty pro dobu jedné otáčky 950 ms	45
8.3	Naměřené hodnoty pro dobu jedné otáčky 655 ms	46
8.4	Naměřené hodnoty pro dobu jedné otáčky 325 ms	46
8.5	Naměřené hodnoty pro dobu jedné otáčky 575 ms	46

Seznam symbolů a zkratek

bps	bytes per second, bajty za sekundu
DBPSK	Differential Binary Phase Shift Keying, Diferenciální binární fázové klíčování
ESD	Electrostatic discharge, Elektrostatický výboj
CAD	Computer Aided design, Počítačem podporované projektování
CIoT	Consumer Internet of Things, Spotřebitelský internet věcí
DDoS	Distributed denial of service, Odepření služby - kybernetický útok
DVR	Digital video recorder, Digitální videorekordér
EIoT	Enterprise Internet of Things, Podnikový internet věcí
FDM	Fusion Deposition Modeling
FSK	Frequency Shift Keying, Klíčování frekvenčním posuvem
IDE	Integrated Development Environment, Vývojové prostředí
IIoT	Industrial Internet of Things, Průmyslový internet věcí
IoT	Internet of Things, Internet věcí
IPA	isopropylalkohol
LED	Light emitting diode, elektroluminiscenční dioda
LPWAN	Low Power Wide Area Network, Nízkoenergetická síť
LOM	Laminated Object Manufacturing
M2M	Machine to Machine, Přímá komunikace mezi zařízeními
OSS	Open-source software, Otevřený software
PLA	Polylactic acid - kyselina mléčná
Q	Flow, Průtok
RAM	Random Access Memory
RFID	Radio Frequency Identification, Identifikace na radiové frekvenci
SLA	Stereolytografie
SLS	Selective laser sintering
SPI	Serial Peripheral Interface, Sériové periferní rozhraní
SS-Chirp	Spread Spectrum Chirp
WPAN	Wireless Personal Area Network, Bezdrátová osobní síť

1. Úvod

Internet věcí (IoT) se v dnešní době rozrůstá o stále nová zařízení, která autonomně získávají a zpracovávají data. Využití těchto dat je velmi široké ať z hlediska finančního zisku či zlepšení životních podmínek populace. Pro připojená zařízení je velmi důležitá spotřeba nebo-li výdrž na baterii. Ta se často pohybuje v řádu několika let, díky čemuž nemusí být zařízení uživatelem často kontrolováno. Důležitá problematika spočívá v zabezpečení dat proti jejich zneužití.

Jeden z možných směrů využití IoT je připojení zařízení, měřících spotřební materiál. V tomto případě se tedy bude jednat o měření průtoku kapaliny. Tato práce je zaměřena na vytvoření průtokoměru pro komerční využití. S upravenými parametry by však bylo možné najít vhodné využití i v průmyslu.

Technologie IoT jsou mimo jiné součástí Průmyslu 4.0. Další technologií spadající do tohoto odvětví je technologie 3D tisku. Využití je opět velmi široké a v dnešní době, kdy jsou 3D tiskárny i cenově dostupné, začínají vznikat rozsáhlá průmyslová využití. Jako příklad lze uvést replikovatelnost 3D tiskáren ve smyslu zavedení výroby, kde 3D tiskárny tisknou díly na další 3D tiskárny.

Kombinování těchto technologií se samo nabízí, proto je v této práci vytvořen průtokoměr, jehož mechanická konstrukce je vytištěna pomocí 3D tiskárny a zařízení je napojeno na síť internetu věcí.

2. Měření průtoku

2.1 Základní metody

Metoda objemová

Do kalibrované nádoby natéká kapalina a měří se čas, za který kapalina dosáhne v nádobě určitého objemu. Měření funguje i opačně, kapalina tedy z nádoby vytéká.

Metoda hmotnostní

Místo objemu se měří hmotnost nebo tíha kapaliny. Pro přesné měření je třeba znát hustotu kapaliny. Používá se pro kalibraci průtokoměrných zařízení.

2.2 Měření průtoku v potrubí

2.2.1 Elektromagnetické (indukční) průtokoměry

Pro úspěšné měření platí základní požadavek na vodivost měřené kapaliny, a to minimálně $0.5 \mu\text{S}/\text{cm}$. Funkce měření je založena na Faradayově zákoně. Měřenou veličinou je zde indukované napětí na elektrodách, které jsou umístěny kolmo ke směru proudění kapaliny a působení magnetického pole. Další možné vysvětlení vychází z Lorentzova zákona, kde vzniklé napětí odpovídá působení magnetických a elektrických sil, které působí na náboj pohybující se v magnetickém a elektrickém poli.

Elektrody jsou nejčastěji v přímém kontaktu s protékající kapalinou, ale mohou být i bezkontaktní kapacitně vázané a připevněné na potrubí zvenčí. Bezkontaktní uspořádání umožňuje odstranit vliv usazenin na elektrodách a je možné měřit kapaliny se 100x menší vodivostí než při kontaktním měření. Princip spočívá v přenosu střídavého napětí pomocí kapacit mezi vodivou kapalinou a elektrodami. Hodnota vazebních kapacit je závislá na ploše elektrod, permitivitě materiálů a tloušťce stěny potrubí. Podmínkou správného měření je, že kapacita vstupního měřicího obvodu musí být větší než vazební kapacita. Vznikají zde rušivá napětí, která se potlačují aktivním stíněním vedení od elektrod na vstup měřicího obvodu.

Magnetické pole vytvořené cívkami přiloženými na potrubí může být stejnosměrné nebo střídavé. V praxi se nejčastěji používají impulzní stejnosměrná pole. Pole s harmonickým průběhem se používají, pokud měřená tekutina obsahuje hodně bublin, pevných částic nebo její tok pulzuje s frekvencí menší než 15 Hz.

Další dělení je možné podle způsobu provedení snímání, a to plošné nebo bodové. Plošné snímání dosahuje nejvyšší přesnosti a jeho magnetické pole je vytvořeno přes celou měřenou oblast. Bodové snímání je levnější, ale méně přesné a je používáno především pro velké průměry potrubí.

2.2.2 Ultrazvukové průtokoměry

Ultrazvukové průtokoměry je možné rozdělit buď podle způsobu vyhodnocení signálu na:

1. průtokoměry s vyhodnocováním doby průchodu signálu
2. průtokoměry využívající Dopplerův jev

nebo podle způsobu montáže na:

1. průtokoměry se zásuvnými snímači
2. průtokoměry s příložnými snímači.

Průtokoměry s vyhodnocováním doby průchodu signálu

Průtokoměr je vytvořen ze snímače a vysílače ultrazvukového signálu. Nejčastěji se používají piezoelektrické měniče, které mohou fungovat jako vysílač i přijímač. Průtokoměry jsou často konstruovány se dvěma vysílači a dvěma přijímači. V takovém případě je měřena doba průchodu signálu ve směru i proti směru proudu kapaliny. Výsledný průtok je potom nezávislý na rychlosti proudění kapaliny nebo na rychlosti šíření ultrazvukového signálu. Pro zvýšení přesnosti je možné zvětšit dráhu, kterou musí urazit měřený signál. V takovém případě se využívá odrazu signálu od stěny potrubí nebo od uměle vytvořené odrazové plochy, tzv. reflektoru.

Průtokoměry využívající Dopplerův jev

Tyto průtokoměry lze použít pouze v případě, že měřená kapalina obsahuje pevné částice či bubliny plynu. Signál z vysílače se v měřené kapalině odrazí od pevné částice či bubliny plynu a při jeho přijetí přijímačem se vyhodnocuje změna frekvence oproti původnímu signálu. Přesnost je závislá na typu i velikosti odrazových částic, na velikosti potrubí a na rychlostním profilu proudění kapaliny (rozložení rychlosti v průřezu). Je možné dosáhnout přesnosti 99 %.

Průtokoměry se zásuvnými snímači

Snímače jsou v tomto případě ve styku s proudící kapalinou, čímž je ovlivněno proudění kapaliny, ale signál není ovlivněn průchodem stěnou potrubí.

Průtokoměry s příložnými snímači

Snímače signálu jsou umístěny zvenčí potrubí. Nezasahují tedy do proudění kapaliny, ale signál je ovlivněn průchodem stěnou potrubí.

Pro velké průměry potrubí nebo nerovnoměrné proudění kapaliny v průřezu se používají vícekanálové průtokoměry s několika páry snímačů v různých axiálních rovinách. S každým párem snímačů se však zvyšuje cena průtokoměru.

2.2.3 Coriolisovy průtokoměry

Princip Coriolisova průtokoměru spočívá ve snímání kmitání soustavy složené z redukované trubice, kterou prochází měřená kapalina. Tyto průtokoměry jsou velmi přesné, jsou nezávislé na vlastnostech kapaliny a je možné jimi měřit i hustotu kapaliny. Pro správné fungování musí být však izolované od vnějších mechanických vibrací, jsou nevhodné pro měření na potrubích o velkých průměrech a jsou drahé.

2.2.4 Vírové průtokoměry

Vírové průtokoměry pracují na principu měření frekvence tzv. Karmánových vírů. Tyto víry se vytvářejí za tělesem vloženým do proudu kapaliny. Při vzniku těchto vírů dochází ke změně tlaku a rychlosti proudění kapaliny. Tyto změny je možné změřit a přepočítat na průtok kapaliny. Vírové průtokoměry jsou levné, ale náročné na vlastnosti měřené kapaliny a potrubí.

2.2.5 Rotametry

Rotametry neboli plováčkové průtokoměry jsou založeny na vložení tělesa (plováčku) do cesty kapalině. Fungují na principu tlakové diference, která je v jejich případě konstantní a plováček mění svou polohu podle rychlosti proudění. Měřicí trubice je kónického tvaru. Plováček je unášen trubicí, až se ustálí v poloze, kdy síla působící ve směru proudění je rovna síle působící proti směru proudění. Na stěně potrubí je nanášena stupnice, ze které se odečte poloha plováčku odpovídající ploše prstence mezi plováčkem a stěnou potrubí.

2.2.6 Směšovací průtokoměry (se značením tekutiny)

Typ rychlostního průtokoměru dříve využívajícího předmět (značku) unášený kapalinou. V dnešní době se jako značka používá vhodná látka přimíchaná do proudící kapaliny. Směšovací průtokoměry vyhodnocují buď dobu postupu značky nebo zředování značkovací látky.

2.2.7 Turbínové a lopatkové průtokoměry

Uvnitř potrubí je umístěn rotor s vhodně tvarovanými lopatkami. Proudící kapalina působí silou na lopatky a roztáčí rotor. Na potrubí je umístěn senzor polohy, pod kterým probíhají lopatky. Objemový průtok odpovídá frekvenci impulzů získaných ze senzoru polohy. Před a za rotorem bývají umístěny usměrňovače proudění, které upravují turbulentní proudění na přibližně laminární. Pro měření se velmi často používají Hallovy senzory, které při průchodu lopatky pod senzorem vygenerují napěťový impulz. K lopatkám je možné umístit permanentní magnety. V takovém případě ale může docházet k nepřesnostem vznikajícím ze vzájemného silového působení magnetu a lopatek. Obecně lze lopatkové průtokoměry použít do 32 MPa a pro potrubí o průměrech 5 až 70 mm. Nevýhodou představuje nemožnost měřit přímo od nulového průtoku. Ke snížení tření je často rotor umístěn do ložisek, která se časem opotřebují stejně jako lopatky. Velký obsah plynu v kapalině působí též negativně na výdrž lopatek. Přesnost může být dále negativně ovlivněna pevnými částicemi v kapalině, ty je však možné odstranit předřazením filtru.

2.2.8 Průtokoměry se škrťícími orgány

Průtok se určuje z tlakové difference v zúžení potrubí a vychází z Bernoulliho rovnice. Zúžení je vytvořeno škrťícím orgánem. Při průchodu kapaliny škrťícím orgánem dojde k zvýšení rychlosti průtoku, snížení statického a zvýšení dynamického tlaku. Rychlost proudění odpovídá dynamickému tlaku, který je možné získat rozdílem statických tlaků před a za škrťícím orgánem nebo rozdílem celkového tlaku a statického tlaku. Dále jsou uvedeny některé používané škrťící orgány.

Clony

Mají tvar desky s otvorem uprostřed a vkládají se kolmo na směr proudění. Je možné dosáhnout nepřesnosti menší než 1%. Minimální statický tlak se měří ve vzdálenosti od clony takové, kde je nejvyšší rychlost proudění a koncentrace proudnic.

Venturiho trubice

Jedná se o dlouhou trubici pomalu se zužující a poté rozšiřující. Je třeba zabránit prudkým změnám profilu, aby nedošlo k turbulentnímu proudění. Obě části trubice jsou vyvedeny do prstencových dutin pro získání průměrného tlaku po obvodu potrubí.

Dallova trubice

Na rozdíl od Venturiho trubice je kratší a neobsahuje zaoblené úseky zvyšující náklady na výrobu. Používá se pro měření větších průtoků a znečištěných kapalin.

Dýza

Má tvar trysky. Skládá se z hladké náběhové části a ostrého ukončení. Nároky na přesnost a pořízení jsou nižší než u clon. Používají se pro vysoké teploty a vysoké rychlosti proudění. Základní nepřesnost představuje 1% z naměřeného údaje. Tuto nepřesnost je možno snížit kalibrací. Nedoporučuje se použití pro špinavé kapaliny a kaly.

V-kužely

Překážka má tvar delšího rozbíhavého kužele a kratšího sbíhavého kužele na druhé straně. V mezeře mezi překážkou a potrubím dochází ke zvýšení rychlosti průtoku a tedy k poklesu statického tlaku. Používá se pro velké rychlosti průtoku a erozivní nebo abrazivní tekutiny. Je možné je použít i v blízkosti kolen potrubí.

Klínové segmenty

Klínový segment má tvar písmene "V", vniká do průtoku z potrubí a způsobuje zvýšení rychlosti průtoku a změnu tlaku. V samotném klínu je senzor k měření tlakové difference. Používá se pro měření znečištěných kapalin. Je možné ho použít pro obousměrné měření, ale musí být doplněn druhým senzorem tlaku.

Kapacitní senzory

Používají se pro měření plynů při malých rychlostech. Plyn vstoupí do senzoru opatřeného membránou, k níž je připojen kapacitní senzor posuvu. Membrána se prohýbá z důvodu rozdílných tlaků na jejích stranách.

2.2.9 Kolenové průtokoměry

Využívají tlakové diference vznikající odstředivou silou, která působí na stěny potrubí kruhového tvaru. Síla, která působí na vnitřní stranu kolena, je nepřímo úměrná poloměru kolena. Pro měření je možné použít jakékoli koleno, pouze stačí vyvrtat otvory do potrubí pod úhlem 45° a do otvorů připojit senzory tlakové diference. Tlakový rozdíl je velmi malý, a proto je nutné použít dostatečně citlivé senzory.

2.2.10 Rychlostní průtokoměry

Pitotova trubice

Překážka umístěná v potrubí způsobí rozdělení toku tak, že jeho proudnice obepínají vložené těleso. Proudnice, která je umístěna dokonale ve středu průřezu proudění, se však zastaví na vrcholu tělesa. V tomto bodě má tok nulovou rychlost a zvýšený tlak o hodnotu dynamického tlaku. Tento bod se nazývá bod stagnace. K měření rychlosti proudění je tedy nutné znát statický tlak v okolí střední proudnice v části potrubí před vloženým tělesem a totální tlak v bodě stagnace. Pomocí kapalinových manometrů je možné změřit potřebné výšky sloupce kapaliny, které odpovídají potřebným tlakům.

Prandltova trubice

Jedná se o Pitotovu trubici tvarovanou do písmene "L". Výhodou tohoto tvaru je možnost měřit celkový a statický tlak ve stejném místě. Totální tlak je měřen přes otvor u bodu stagnace. Otvory pro odběr a měření statického tlaku jsou potom umístěny ve vzdálenosti trojnásobku průměru válcové sondy od bodu stagnace.

2.2.11 Fluidikové průtokoměry

Využívají vzájemného působení proudící tekutiny a snímače a aerodynamických jevů mezi nimi. Platí zde elektro-fluidiková analogie, tzn. že za veličiny popisující fluidikový obvod považujeme veličiny popisující měřenou kapalinu. Jako čidla se zde používají laminární odpor, fluidiková dýza a fluidikový difuzor. Průtokoměry založené na fluidikových principech jsou vhodné pro použití v náročných pracovních podmínkách např. při vysokých teplotách, silných vibracích nebo ve výbušných prostředích. Tyto průtokoměry mají dlouhou životnost, nízké pořizovací náklady a mají vysokou spolehlivost, pokud jsou správně definovány parametry měřené tekutiny.

2.2.12 Tepelné průtokoměry

Tepelné průtokoměry využívají výměnu tepla mezi vyhřívaným tělesem umístěným do tekutiny a samotnou tekutinou. Vyznačují se rychlostí a přesností měření se stabilními parametry. Podle způsobu měření se dělí na termoanemometry a kalorimetry.

Termoanemometry měří ochlazení vyhřívaného tělesa, zatímco kalorimetry měří otep-
lení tekutiny vyhřívaným prvkem. Pro správné měření však tepelné průtokoměry kla-
dou požadavek na čistotu složení tekutiny. Často jsou průtokoměry použitelné pouze
pro plyny a při změně měřené tekutiny je třeba průtokoměr překalibrovat. Za výhody
jsou uváděny rychlost a přesnost měření, velký rozsah průměrů potrubí, na kterých lze
měřit, a velký rozsah provozních podmínek i velikostí průtoku.

Další informace jsou dostupné z [1].

3. IoT technologie

V roce 1999 Kevin Ashton poprvé použil pojem "Internet věcí" ve své prezentaci pro firmu Procter & Gamble, čímž se snažil prosadit použití RFID čipů ke kontrole uskladněných produktů. Internet věcí představuje síť propojených objektů, které vzájemně komunikují, získávají a zpracovávají data. Objekty díky vzájemné interakci mohou reagovat na data z jiných zařízení. Věcí mohou být veškeré objekty, které snímají danou veličinu. Příkladem může být bezpečnostní kamera, senzor teploty a tlaku, monitor tepové frekvence nebo průmyslové stroje. Klíčové je, že takový objekt musí být připojen k síti, a to kabelem či bezdrátově. Velkou výhodou představuje samostatné fungování připojených zařízení bez nutnosti lidského zásahu. Snímaná data se vysílají do cloudových serverů, kde jsou uchována, a je možné je přeposlat pro následné zpracování a analýzu. Další informace je možné získat z [4][5][9][10][11].

3.1 Bezpečnost a soukromí

Díky velkému množství zařízení, která sbírají data vzniká u IoT technologií problém s bezpečností a ochranou soukromí. Jelikož se tento problém podařilo odhalit teprve v několika posledních letech, existuje mnoho zařízení, která nejsou dostatečně chráněná. Zařízení se tedy mohou snadno stát obětí kybernetického útoku. Jako jeden z nejhorších případů je uváděn útok z 21. října roku 2016 na společnost Dyn, která kontroluje velkou část světové infrastruktury internetu. Útok byl zaměřen na napadení koncových zařízení, např. digitální fotoaparáty nebo DVR přehrávače. Napadeno bylo asi 100 000 zařízení a jednalo se o jeden z nejhorších DDoS útoků do této doby. Další odhalená zranitelná zařízení byla např. smart TV, elektronický zámek, automobil, dětská kamera, žárovka nebo kardiostimulátor.

Ochrana soukromí představuje další problém. Některá zařízení mohou vyžadovat od uživatele vložení citlivých osobních údajů, např. jméno, věk, adresa, telefonní číslo, v některých případech přihlašovací údaje k sociálním sítím a jiným službám. U některých zařízení v počátcích IoT byla shromážděná data odeslána do lokálního rozbočovače, který shromažďoval data z více zařízení a tato data byla posléze odeslána najednou. Tento způsob představoval problém ve shromažďování velkého množství citlivých dat na jednom nepřítis chráněném místě. Další riziko zneužití hrozí od společností vlastnících cloudová úložiště, kde se data uchovávají. Další informace je možné získat z [6][7][8][13][14].

Podle směru vývoje je možné rozdělit internet věcí na:

1. Průmyslový internet věcí
2. Spotřebitelský internet věcí
3. Podnikový internet věcí

3.2 Průmyslový internet věcí (IIoT)

Průmyslové odvětví internetu věcí se soustřeďuje na propojování pracovních strojů a zařízení v ropném, plynovém, dopravním, energetickém průmyslu, průmyslové automatizaci, výrobních závodech nebo zemědělství. Jeho základem je M2M komunikace rozšířená o analýzu dat v cloudových úložištích.

Ve výrobním průmyslu je použití IIoT vhodné hlavně při údržbě strojů. Jedním ze znaků předcházejících poruše může být např. zvýšení vibrací. Díky snímání, dat a následné analýze je možné vadu včas odhalit a zajistit opravu.

Většina strojů má doporučené pracovní podmínky týkající se teploty, tlaku, vlhkosti vzduchu nebo vibrací. Díky dlouhodobému snímání těchto veličin je možné odhalit prostředí nevhodná pro dané stroje.

IIoT dokáže zvyšovat spokojenost zákazníků snímáním a analýzou dat o tom, jak zákazník daný výrobek využívá. Výrobce je potom schopen lépe přizpůsobit své produkty požadavkům zákazníka.

Sledování výrobků umožňuje dodavatelům, výrobcům nebo zákazníkům sledovat polohu a stav výrobku ve výrobním řetězci. V případě hrozícího poškození je možné z výrobku vyslat upozornění a tím zabránit zničení produktu.

IIoT může představovat výhodu pro terénní pracovníky tím, že jim usnadní identifikaci závady u zákazníka před tím, než dojde k poruše.

Využitím IIoT dojde k zvýšení efektivity a produktivity práce, snížení výrobních nákladů díky efektivnějšímu využívání zdrojů a materiálu, zvýšení bezpečnosti pracovníků. V důsledku představuje IIoT ekonomicky výhodnou technologii. V současné době k uplatnění dochází i ve zdravotnictví nebo v konceptu Smart city zlepšujícím životní podmínky ve městech. U IIoT je objem využívaných dat relativně velký a fungování systémů má kritický vliv na život a zdraví lidí.

3.3 Spotřebitelský internet věcí (CIoT)

Využití CIoT a IIoT se v některých ohledech překrývá. Například sledování objektů se využívá u IIoT, ale je ho možno použít i u CIoT pro sledování lidem cenných předmětů. Sledování se nemusí týkat pouze neživých objektů, ale je možné sledovat i zvířata, čímž může u IIoT být zemědělský dobytek a u CIoT domácí mazlíčci. CIoT se od IIoT liší především objemem zpracovaných dat a důležitostí využívaných systémů z hlediska globální populace. U CIoT je objem dat relativně malý a využívané systémy nemají kritický vliv na zdraví a život uživatelů.

Pod CIoT je možné zařadit koncepty Smart home a Smart security. Smart home představuje automatizaci domácnosti ve smyslu zavedení chytrých zařízení, jako jsou termostaty, osvětlení nebo jiné prvky sloužící k ovládní prostředí v místnosti. Smart security se týká zajištění bezpečnosti domácnosti použitím kamer, elektronických zámků nebo sledováním neoprávněných vstupů.

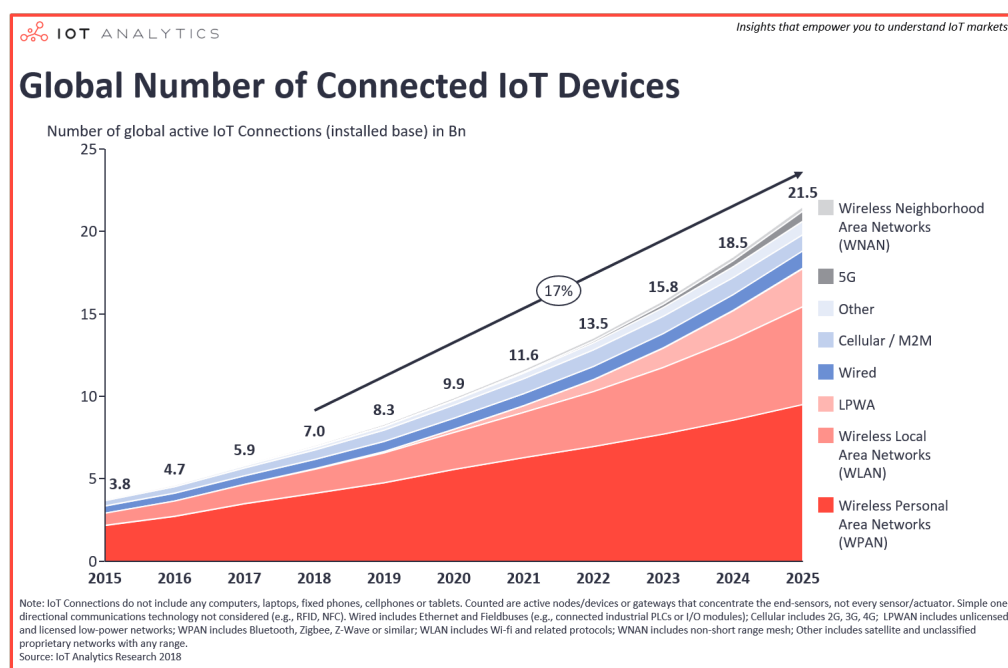
Využití lze nalézt také ve zdravotnictví např. jako náramky měřící krevní tlak a srdeční tep. Tyto objekty bývají pomocí CIoT přímo napojeny na zdravotnický systém umožňující rychlý zásah při nebezpečných hodnotách. Dále technologie umožňuje sledování zdravotního stavu sportovců, dohled nad pacienty, seniory a invalidy nebo také detekci pádu člověka.

Nositelné objekty jako hodinky nebo sledovače pro fitness jsou dnes velmi rozšířené. Podobná zařízení se používají u IIoT k ochraně pracovníků, což opět ukazuje podobnost CIoT a IIoT. Méně rozšířeným prvkem jsou brýle tzv. Smart glasses, jejichž funkci je možné popsat jako hands-free smart-phone. Cena takovýchto brýlí se pohybuje kolem tisíce dolarů.

3.4 Podnikový internet věcí (EIoT)

Společnosti využívající EIoT jsou schopny pomocí sběru a analýzy dat zlepšovat stávající služby a poskytovat nové lepší služby více odpovídající požadavkům zákazníka. S tím souvisí tvorba nových obchodních modelů, zvýšení produktivity urychlením výrobních procesů a lepší operační rozhodování. Ve výsledku toto vše umožňuje zvýšení příjmů společnosti. Další informace jsou dostupné z [15][16][17].

Do internetu věcí jsou firmami v dnešní době investovány nemalé ekonomické prostředky. Investované částky se pohybují v řádech milionů až miliard dolarů. Společnost IoT Analytics [12] uvádí, že v roce 2018 bylo registrováno 7 miliard připojených zařízení. Do roku 2025 se počítá s nárůstem na hodnotu 21.5 miliardy. Tento vývoj je vyobrazen v grafu na obrázku 3.1



Obrázek 3.1: Časový vývoj počtu připojených zařízení ve světě, převzato z [12]

3.5 LPWAN

LPWAN je technologie pro propojení nízkoenergetických zařízení na vzdálenosti až 100 km. Mezi nejznámější technologie patří LoRaWAN a Sigfox. Oproti technologiím Bluetooth, Zigbee nebo Wi-Fi spadajícím do kategorie WPAN představují LPWAN

technologie alternativu s vyšším dosahem, často nižší spotřebou, ale také nižší přenosovou rychlostí. LPWAN oproti buňkovým sítím umožňuje lepší pokrytí a sníženou spotřebu.

3.6 LoRaWAN

Sít LoRaWAN využívá modulaci SS-Chirp a FSK a její frekvenční rozsah se liší podle geografického umístění. V Evropě jsou využívány frekvence 867 MHz až 869 MHz, v Severní Americe 902 MHz až 928 MHz. V dalších převážně asijských oblastech se tyto frekvence také liší. V Evropě je využíváno 10 přenosových kanálů s přenosovými rychlostmi od 250 bps do 50 kbps. Vysílací výkon je stanoven na 25 mW/ 14 dBm. Dosah sítě v terénu je až 40 km. Velikost odeslané zprávy je 256 bajtů. LoRaWAN rozlišuje koncová zařízení do tří tříd podle výdrže jejich baterie a způsobu komunikace.

1. Class A

Nejméně energeticky náročná třída A umožňuje zpětnou komunikaci ze serveru pouze potom, co koncové zařízení vyvolalo komunikaci na server.

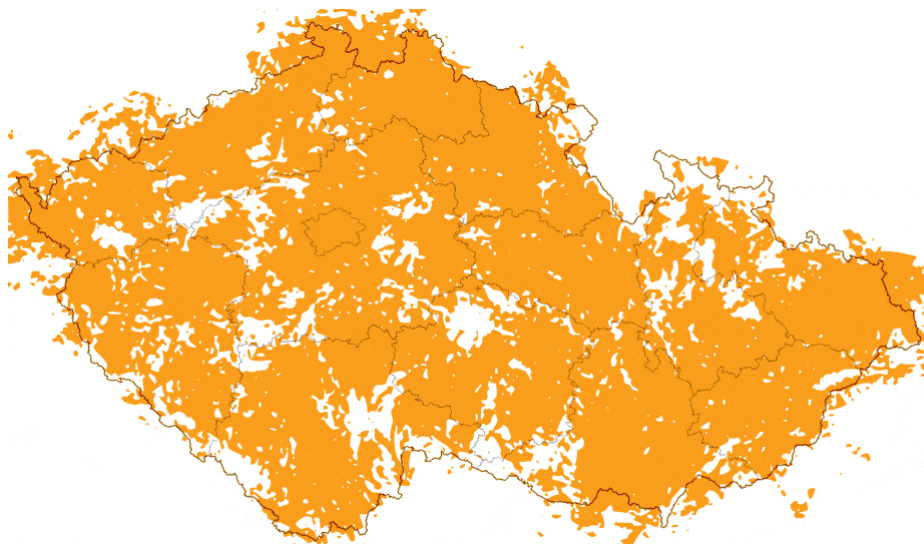
2. Class B

Narozdíl od třídy A je komunikace ze serveru do koncového zařízení naplánována na předem stanovené časy. Vůči třídě A je třída B více energeticky náročná.

3. Class C

Zařízení třídy C mají největší energetickou náročnost, protože příjem ze serveru je prováděn téměř permanentně. K přerušení dochází pouze v případě, že zařízení potřebuje vysílat.

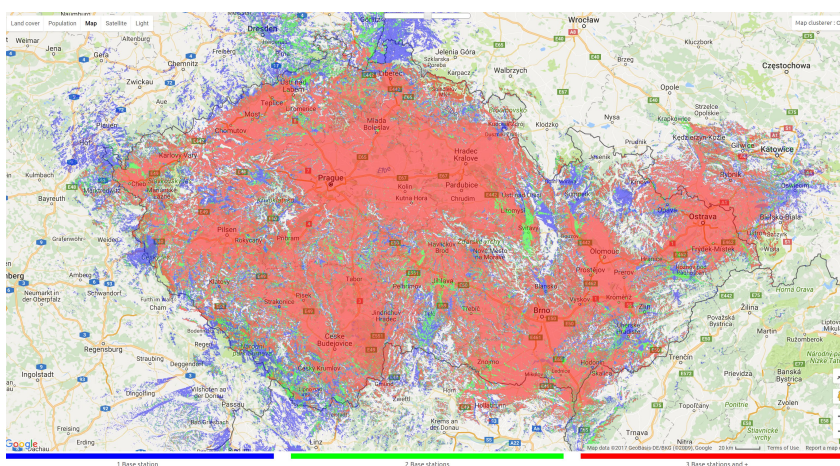
Na obrázku 3.2 je vidět pokrytí České republiky sítí LoRaWAN v roce 2018.



Obrázek 3.2: Pokrytí sítí LoRaWAN na území České republiky, převzato z [26]

3.7 Sigfox

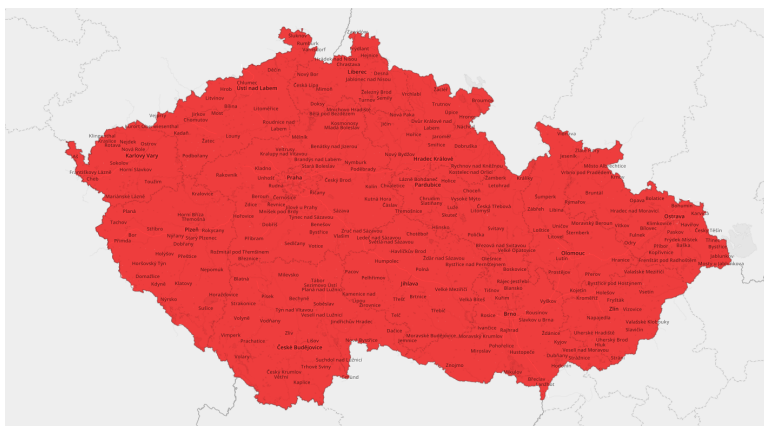
Sigfox představuje síť využívající pro přenos frekvenci 868 MHz v Evropě a 915 MHz v USA. Využívá modulaci DBPSK s dosahem až 50 km v terénu. Maximální velikost zprávy je 12 bajtů při rychlosti přenosu 100 bps, každé zařízení může za den odeslat 144 zpráv. Na území České republiky je Sigfox rozšířeno společností SimpleCell Networks a.s., spolupracující se společností T-Mobile. Sigfox pokrývá 94% území České republiky a 96% populace. Detailní pokrytí je vidět na obrázku 3.3.



Obrázek 3.3: Pokrytí sítí Sigfox na území České republiky, převzato z [19]

3.8 NarrowBand(NB-IoT)

NB-IoT je relativně nová úzkopásmová síť, která je v České republice zajišťována hlavně společností Vodafone. Hlavní výhodou představuje možnost použití v pásmech GSM a LTE. Je zde využívána FDMA technologie s šířkou pásma 200 kHz a licencovaným pásmem 7 až 900 MHz. Výhodou zde je tak nízká spotřeba zařízení, že je možné dosáhnout životnosti 10 let na baterii. Cena vysílacích modulů je zde oproti předchůdcům vyšší, ale zároveň je dosaženo přenosové rychlosti až 200 kbps. Plošné pokrytí v ČR je 100 % s pokrytím 94 % populace ve vnitřních prostorech.



Obrázek 3.4: Pokrytí sítí NB-IoT na území České republiky, převzato z [28]

Další informace jsou dostupné z [18][19][20][29][30].

4. Metody 3D tisku

4.1 Fusion deposition modeling (FDM)

Metoda je založena na natavování drátu v tiskové hlavě, který je potom tryskou nanášen na tiskovou plochu. Tryska se ve vrstvě pohybuje ve směru osy x a y a po dokončení vrstvy se posune ve směru osy z . Tisk umožňuje vysokou přesnost při dostatečné pevnosti. Tisknout je možné z plastových materiálů, polymerů s příměsmi umožňujícími vzhled podobající se kovu nebo např. dřevu. Ve speciálních tiskárnách je možné tisknout i z čistě kovových materiálů. Podpůrné konstrukce je možné tisknout ze stejného materiálu, ze kterého je vytvořen samotný objekt. Dnes se však často využívá materiálů rozpustných ve vodě, přičemž tiskárna musí podporovat tisk z více materiálů najednou. Na přesnost a kvalitu tisku má vliv směr a způsob kladení vláken. Pro každý tisk je klíčové správné přichycení první vrstvy k tiskové podložce.

4.2 Selective laser sintering (SLS)

Metoda spočívá ve spojování vrstev práškového materiálu výkonovým laserem. Při nanášení práškového materiálu dochází k jeho natavení, případně k úplnému roztavení. Tiskárny se dělí podle způsobu nanášení materiálu. Jedna možnost je, že se materiál nanese na celou tiskovou plochu a laser potom vytvrdí a spojí místa, kde bude pevná konstrukce (zbylý materiál funguje jako podpora). V druhém případě tiskárna obsahuje kromě laserové hlavy také hlavu pro nanášení materiálu a materiál je tedy na tiskové ploše pouze v místech, kde je požadována pevná konstrukce. SLS tiskárny umožňují tisk z plastových, kovových a keramických materiálů.

4.3 Stereolytografie (SLA)

U SLA probíhá tisk z tekutého polymeru. Ten je umístěn v nádobě, ve které je zároveň tisková podložka. Na začátku tisku je podložka překrývána hladinou polymeru o výšce jedné tiskové vrstvy. Pro vznik požadované konstrukce se využívá vytvrzování materiálu pomocí UV světla. Laser tedy osvítí pouze místa, kde má být pevná konstrukce, následně se vrstva zarovná nožem a podložka se posune ve směru osy z tak, aby vytvrzená vrstva byla opět překryta polymerem o výšce tiskové vrstvy. Dříve se využívala obdoba této metody Solid ground curing, kde docházelo k osvětlení celé tiskové plochy a místa, kde neměl být materiál vytvrzen, byla překryta maskou.

Místo polymeru je možné použít pastu, což umožňuje zanesení kovových nebo keramických částic pro zpevnění výtisku. Případně je možné polymer následně odstranit a dostat pouze kovovou nebo keramickou strukturu.

4.4 Laminated object manufacturing (LOM)

Tato metoda umožňuje tisk velkých součástí při relativně vysoké rychlosti tisku. Při tisku jednotlivé vrstvy se na celou tiskovou plochu nanese fólie z tiskového materiálu. Ta je připojena k předchozí vrstvě vyhřívaným válcem. Požadovaný tvar ve vrstvě je vyříznut nožem nebo laserem, který zároveň nařeže i zbytek fólie pro snadnější odstranění. Nevýhodou je velké množství odpadu a komplikace při tisku podpurných konstrukcí. Naopak výhodou je možnost tisku z různých materiálů, např. z papíru, polymerů, kovů. Další výhodou je nízká cena tiskového materiálu a nejvyšší kvalita povrchu ve vodorovné směru.

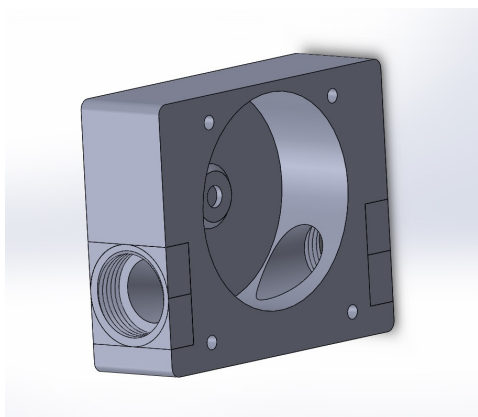
Další informace jsou dostupné z [2][3].

5. Vlastní realizace

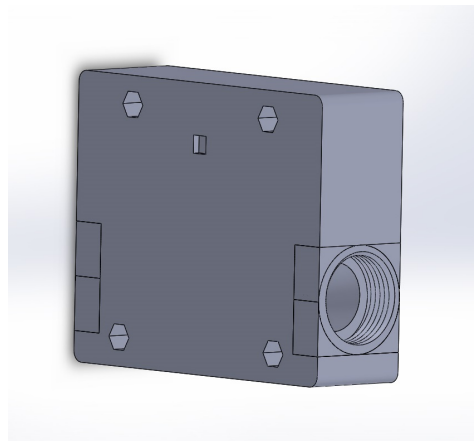
Pro vlastní realizaci byl zvolen princip lopatkového průtokoměru pro jeho měřící a konstrukční jednoduchost. Jak již bylo uvedeno jeho základní nevýhodou je nemožnost měřit od nulové hodnoty průtoku. Snímání otáček bude probíhat pomocí Hallovy sondy a magnetu umístěného v lopatkách. Pro návrh mechanických částí byl zvolen software SolidWorks. Následně vytvořené modely ve formátu .stl byly otevřeny v softwaru Slic3r Prusa Edition, kde došlo k vytvoření souborů pro 3D tiskárnu. Nakonec byly modely vytisknuty na 3D tiskárně Original Prusa i3 MK3. Jako Iot síť byla zvolena síť Sigfox především pro nízkou cenu vysílacích modulů.

5.1 Návrh mechanické konstrukce

SolidWorks je 3D CAD systém založený na technologii SWIFT. Jeho základní vlastností je, že umožňuje plošné a objemové modelování neomezeně velkých sestav. Díky technologii SWIFT je ovládání snadné a intuitivní. Na modelování je navázáno mnoho dalších produktů od společnosti SolidWorks. Nevýhodou pro běžného uživatele může představovat potřeba licence a zpětná nekompatibilita souborů se staršími verzemi softwaru. Další informace jsou dostupné z [21].



Obrázek 5.1: Tělo lopatkového průtokoměru - pohled zepředu

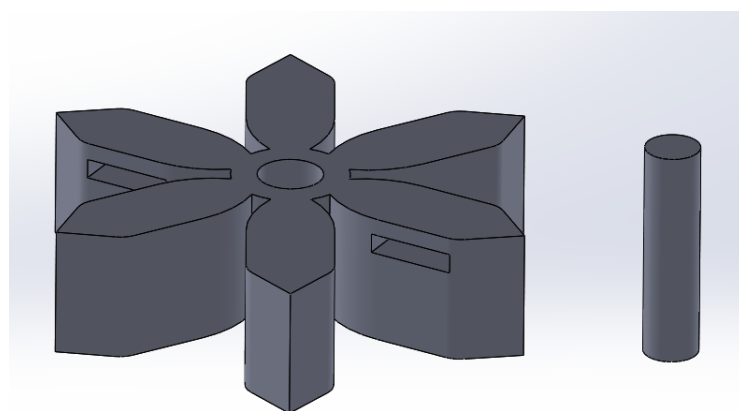


Obrázek 5.2: Tělo lopatkového průtokoměru - pohled zezadu

Na obrázcích 5.1 a 5.2 je vyobrazen návrh hlavní části (těla) průtokoměru. Už při návrhu bylo třeba uvažovat nad způsobem tisku modelu. Pro přívod a vývod kapaliny jsou zde umístěny 2 vnitřní trubkové závity G 3/4". Jak bude dále ukázáno, do těchto závitů bude našrobována propojka, která bude druhým koncem připojena na potrubí nebo hadici. Tento způsob připojení byl zvolen kvůli komplikaci vznikající při tisku

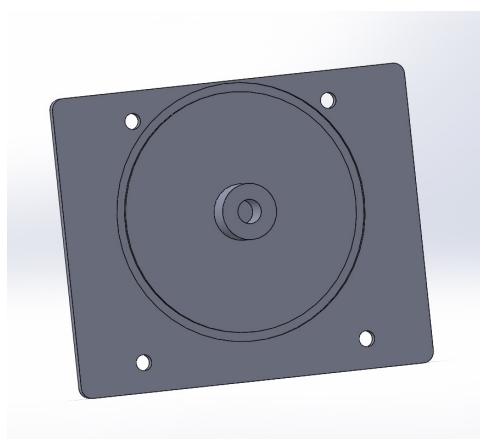
závitů. Pokud by závit při tisku byl orientován tak, že by jeho středová osa byla rovnoběžná s podložkou, bylo by nezbytné využít k tisku podpory. Ale i v takovém případě by došlo ke značné deformaci a závit by byl nepoužitelný. Tento problém se vyřeší orientováním středové osy závitů kolmo k podložce. Pro připojení by bylo možné použít pouze vnějšího závitů vyčnívajícího z těla. V tomto případě by však při tisku nedoléhal model k podložce, což by mohlo být nahrazeno velkým množstvím podpor, ale zároveň by celá konstrukce při tisku byla vratká a snadno by mohlo dojít ke zhroucení. Dále jsou v těle 4 otvory pro šrouby velikosti M4 a ze zadní strany otvory pro distanční sloupky. Ve vnitřní části je výstupek s otvorem pro příčku, na kterou bude umístěno kolo s lopatkami. Na zadní straně je dále vyhloubení pro Hallovu sondu.

Na obrázku 5.3 je vyobrazeno lopatkové kolo s postranními otvory na dvou protilehlých lopatkách. Do těchto otvorů budou po vytištění umístěny neodymové magnety. Stejný obrázek dále zobrazuje příčku, na kterou bude umístěno lopatkové kolo.

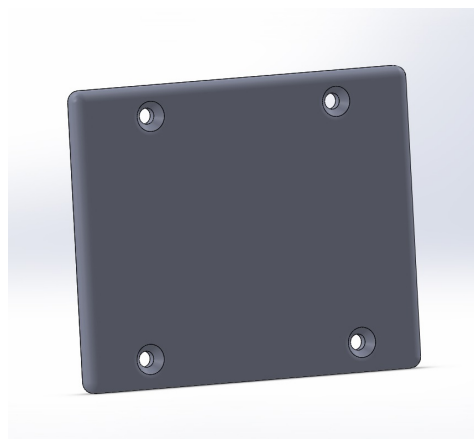


Obrázek 5.3: Lopatkové kolo s příčkou

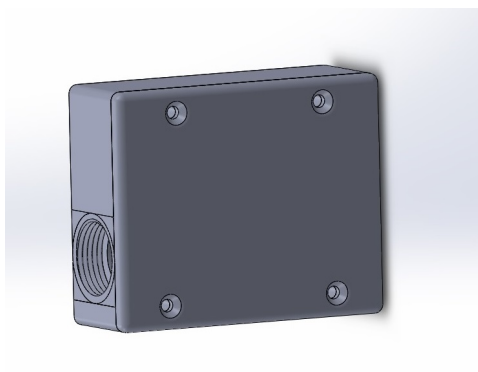
Na obrázcích 5.4 a 5.5 je vyobrazeno víko průtokoměru. Jsou zde vidět 4 otvory pro šrouby velikosti M4 se zápusťnou hlavou. Víko má na sobě výstupek s otvorem, do kterého bude vložena příčka pro lopatkové kolo. Výstupek zároveň zabrání kývání lopatkového kola, které by mohlo způsobit tření konců lopatek o stěny. Ve víku je dále vidět drážka, do které bude umístěno gumové těsnění.



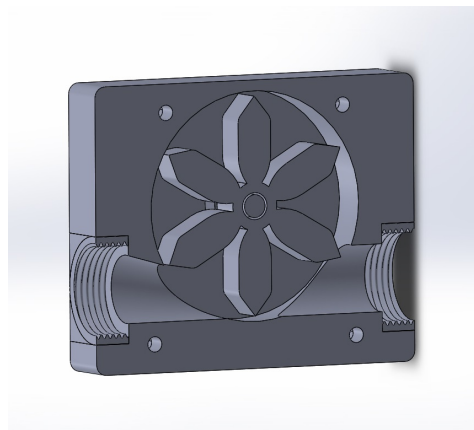
Obrázek 5.4: Víko - pohled zepředu



Obrázek 5.5: Víko - pohled zezadu

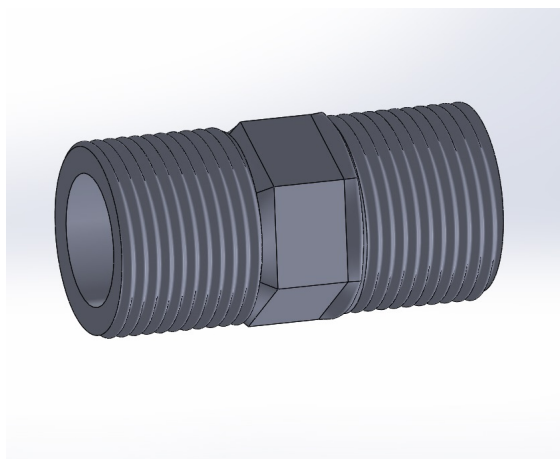


Obrázek 5.6: Sestava lopatkového průtokoměru



Obrázek 5.7: Řez sestavou lopatkového průtokoměru

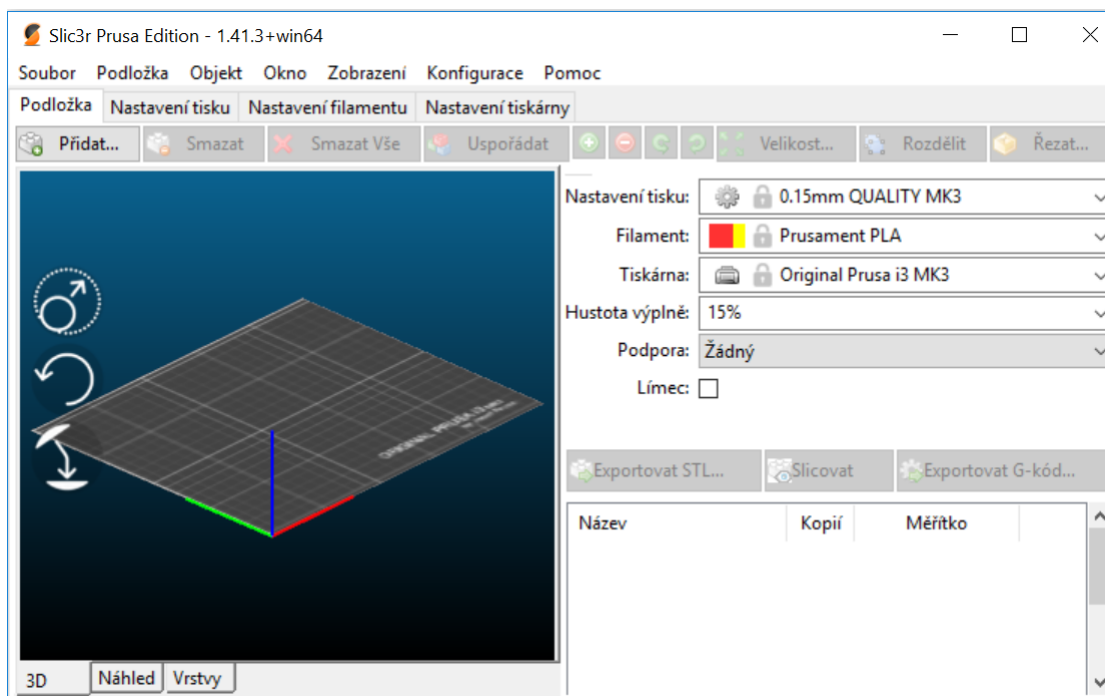
Obrázek 5.6 zobrazuje sestavený průtokoměr a obrázek 5.7 jeho řez. Na obrázku 5.8 je zobrazena závitová propojka. Na obou koncích má závit G3/4" a uprostřed šestihran vhodný pro klíč 24 mm. Vnitřní průměr propojky je 18 mm.



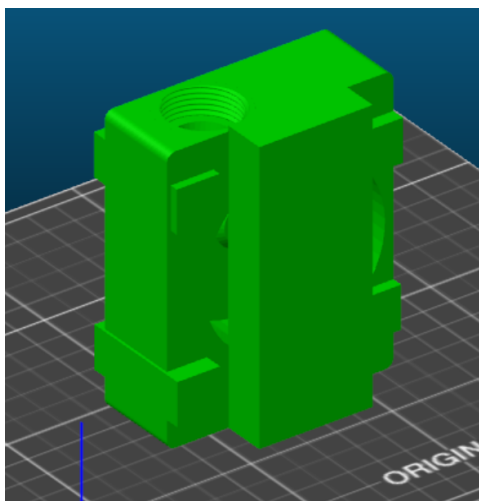
Obrázek 5.8: Závitová propojka G3/4"

5.1.1 Slic3r Prusa Edition

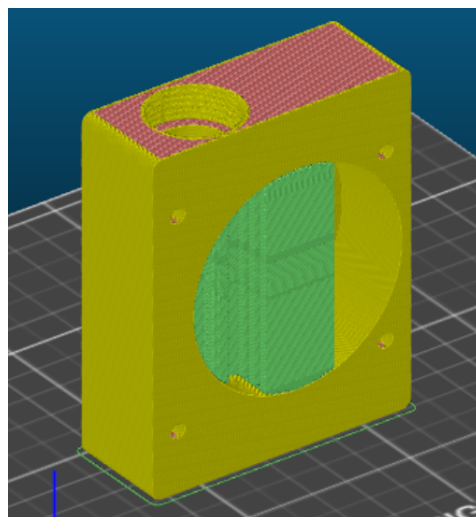
Slic3r je nástroj pro úpravu modelu do podoby, která je vhodná pro 3D tisk. Modely je třeba vkládat ve formátu .stl. Na obrázku 5.9 je zobrazeno rozhraní softwaru. V pravé části můžeme vidět základní nabídku pro tisk. Nastavení tisku ovlivňuje výšku tisknuté vrstvy. Nejmenší vrstva má velikost 0,05 mm a největší 0,2 mm. Toto nastavení ovlivňuje kvalitu i dobu tisku. Novější verze umožnila ještě nastavení quality nebo speed, které ovlivní dobu tisku změnou dráhy trysky. V další nabídce je výběr materiálu. Kvůli potřebě přesnosti tisku u závitů byl zvolen materiál PLA. PLA je výhodné právě díky jeho snadnému tisku, dobře přilne k podložce, při tisku se nedeformuje a velikost tisknutých objektů tedy není omezena. Nedoporučuje se pro tisk objektů, které budou používány za vyšších teplot, protože PLA ztrácí pevnost při teplotě vyšší než 60°C. Jeho post-processing, tedy úprava povrchu po vytisknutí, je také relativně složitá. V další nabídce je výběr tiskárny. Následuje hustota výplně, která má vliv na dobu tisku a pevnost výsledného objektu. Pro běžný tisk stačí hustota 20%. Dále je zde nabídka pro tisk podpor, které mohou být všude nebo pouze na tiskové ploše. V záložce nastavení tisku je možné nastavit automatickou detekci míst, kde mají být podpory. Poslední nabídka je límec, který vytvoří kolem první vrstvy tělesa přidanou plochu. Tato možnost je vhodná pro modely, které mají malou podstavu a špatně by držely na podložce. V záložkách nastavení tisku je možné upravit mnoho dalších parametrů. Možností slicovat se vytvoří náhled modelu, kde je možné prohlédnout si jednotlivé vrstvy a také dráhu trysky. Možností exportovat g-kód dojde k vytvoření souboru ve formátu .gcode, který již dokáže 3D tiskárna zpracovat. Následně se také na obrazovce Slic3r objeví informace o době tisku a spotřebě materiálu.



Obrázek 5.9: Rozhraní softwaru Slic3r

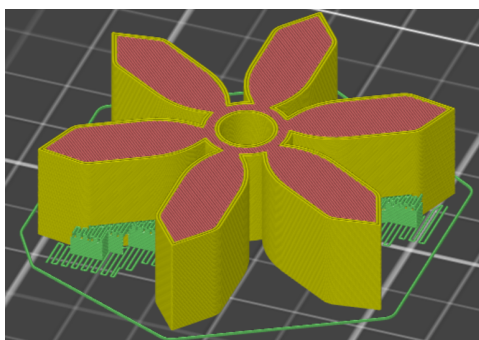


Obrázek 5.10: Model lopatkového průtokoměru ve Slic3r

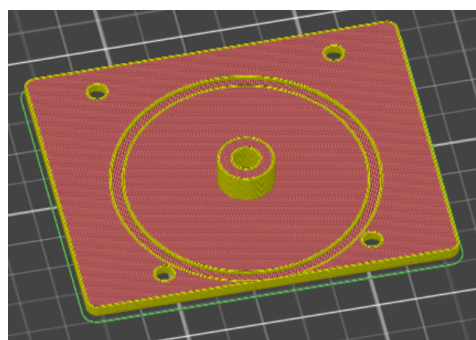


Obrázek 5.11: Náhled modelu po vytvoření souboru pro tisk

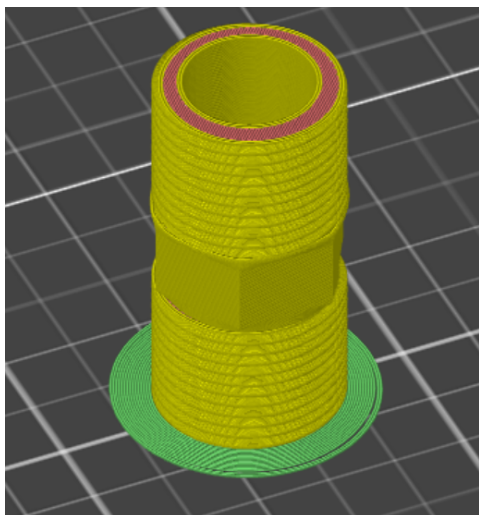
Na obrázku 5.10 je vidět model těla průtokoměru již vhodně orientovaný pro tisk. Model je doplněn o 5 bloků typu support blocker, které umožňují zablockovat vytvoření podpor v konkrétních místech. Tyto bloky byly zde přidány, aby bylo zabráněno obtížnému odstraňování podpor z otvorů pro šrouby. Největší blok potom zabraňuje vytvoření tenké podpory na tiskové ploše, která by dosahovala až k vrcholu ostatních podpor. Její plocha by byla na tiskové ploše tak malá, že by mohlo dojít během tisku k jejímu odtržení a celý tisk by se mohl zhroutit. Náhled na výsledek je vidět na obrázku 5.11. Na obrázku 5.12 je potom vidět lopatkové kolo ve stejném stavu. Zde byly také využity podpory do otvorů pro umístění magnetů. Obrázek 5.13 zobrazuje stejný stav u víka. Nebylo třeba u něj využít podpor ve stoupání zapuštění pro šroub. Toto stoupání má úhel vůči podložce větší než 45° , což je hraniční hodnota pro úspěšnost tisku. Stoupání s úhlem větším než 45° se s jistotou vytisknou, zatímco s nižším úhlem může dojít k selhání. V lepším případě by se stoupání vytisklo, ale jeho povrch by byl zdeformovaný.



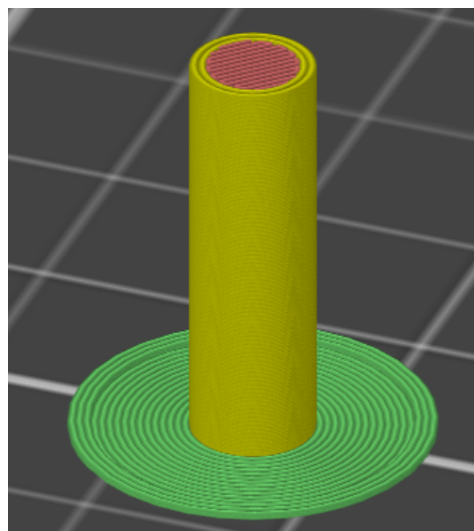
Obrázek 5.12: Náhled lopatkového kola po vytvoření souboru pro tisk



Obrázek 5.13: Náhled víka po vytvoření souboru pro tisk



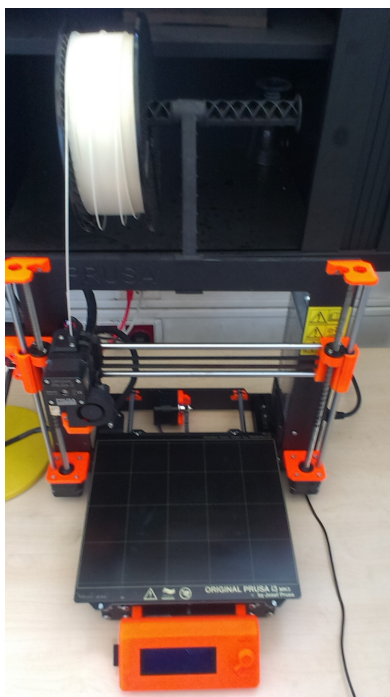
Obrázek 5.14: Náhled propojky po vytvoření souboru pro tisk



Obrázek 5.15: Náhled příčky po vytvoření souboru pro tisk

Na obrázcích 5.14 a 5.15 je zobrazena propojka a příčka. Zde bylo využito tisku límce pro zvýšení plochy, kterou model drží na podložce.

5.1.2 Original Prusa i3 MK3



Obrázek 5.16: 3D tiskárna Original Prusa i3 MK3

3D tiskárna Original Prusa i3 MK3 od společnosti Prusa Research je vyráběna od roku 2017 jako nástupce Original Prusa i3 MK2S. Obrázek 5.16 zobrazuje fotografii tiskárny. Tiskárna se od konkurenčních odlišuje několika parametry. Tisková podložka je magnetická, na ni se přikládá ocelový plát a na ten je nanášen tiskový materiál. To

usnadňuje především oddělení vytisknutého modelu od podložky, jelikož ocelový plát je pružný. Maximální tisknutelný objem je 11 025 cm³, rozměry podložky jsou 250 x 210 mm a v ose z je výška 210 mm. U tiskárny je možné nastavit tichý chod a je schopna reagovat na výpadek napájení, takže nedojde ke ztrátě času a materiálu. Dále tiskárna obsahuje senzor filamentu a podávací válečky v extruderu. Tryska typu E3D V6 je vyráběna buď z oceli nebo z tvrzeného nerez. Ocelová varianta umožňuje výběr ze 4 vnitřních průměrů trysky. Tento průměr má velký vliv na přesnost a rychlost tisku. Varianta z tvrzeného nerez je vhodná pro abrazivní materiály, tedy plasty s příměsmi. Danou příměsí mohou být uhlíková vlákna, měď, bronz, mosaz nebo korkové dřevo. Další informace jsou dostupné z [22].

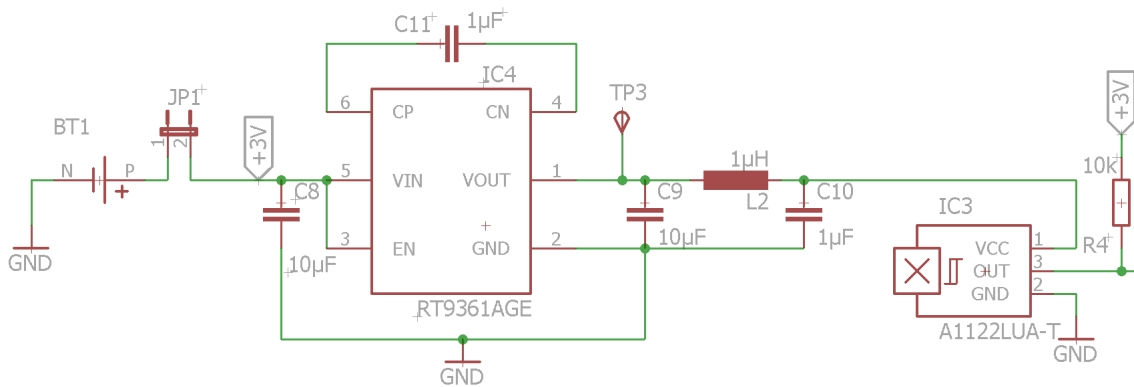
Jak bylo již výše zmíněno, pro tisk byl použit materiál PLA, a to především kvůli jeho přesnosti tisku. Konkrétně byl použit materiál Prusament PLA Azure Blue. Před tiskem ještě bylo potřeba vyčistit tiskovou podložku roztokem IPA. První bylo tištěno tělo průtokoměru. Po vytištění bylo vidět, že zhruba v polovině tisku nedošlo k úplnému spojení dvou vrstev, což ve výsledku způsobilo rozlomení výtisku. Pro testovací účely byl výtisk slepen pomocí speciálního lepidla Marley, které je původně určené k lepení okapových žlabů. Po vytvrzení za 24 hodin si výtisk zachoval pevnost, ale nebylo dosaženo vodotěsnosti ve zlomu. Tento problém bude ještě zmíněn dále. Jelikož se tento tiskový materiál ukázal i ve výtiscích mimo tuto práci jako problémový, pro další tisk byl zvolen materiál Prusa PLA silver. Z tohoto materiálu bylo již bez problémů vytištěno víko, lopatkové kolo, příčka a závitová propojka. Následně bylo třeba upravit otvor pro magnet kvůli Hallově sondě, která by byla příliš daleko a na magnet by nereagovala. Po úpravě otvoru byl magnet uvnitř zalit pomocí tavné pistole. Kvůli těsnění, které bude zmíněno dále, bylo potřeba vytisknout sloupek, který se nasune na příčku a s pomocí víka bude udržovat lopatkové kolo ve vzdálenosti, při které bude Hallova sonda schopna reagovat na magnet. V tabulce 5.1 je uvedena spotřeba materiálu a časová náročnost potřebná pro vytištění průtokoměru.

Tabulka 5.1: Spotřeba materiálu a časová náročnost pro tisk průtokoměru

součást	spotřeba (m)	spotřeba (g)	doba tisku (h,min)
tělo	26,19	78,11	13 h 56 min
lopatkové kolo	4,04	12,07	1 h 35 min
příčka	0,22	0,66	10 min
víko	9,37	27,99	1 h 35 min
2x propojka	8	23,9	7 h 12 min
sloupek	0,08	0,23	4 min
celkem	47,9	142,96	24 h 32 min

5.2 Měřicí elektronika

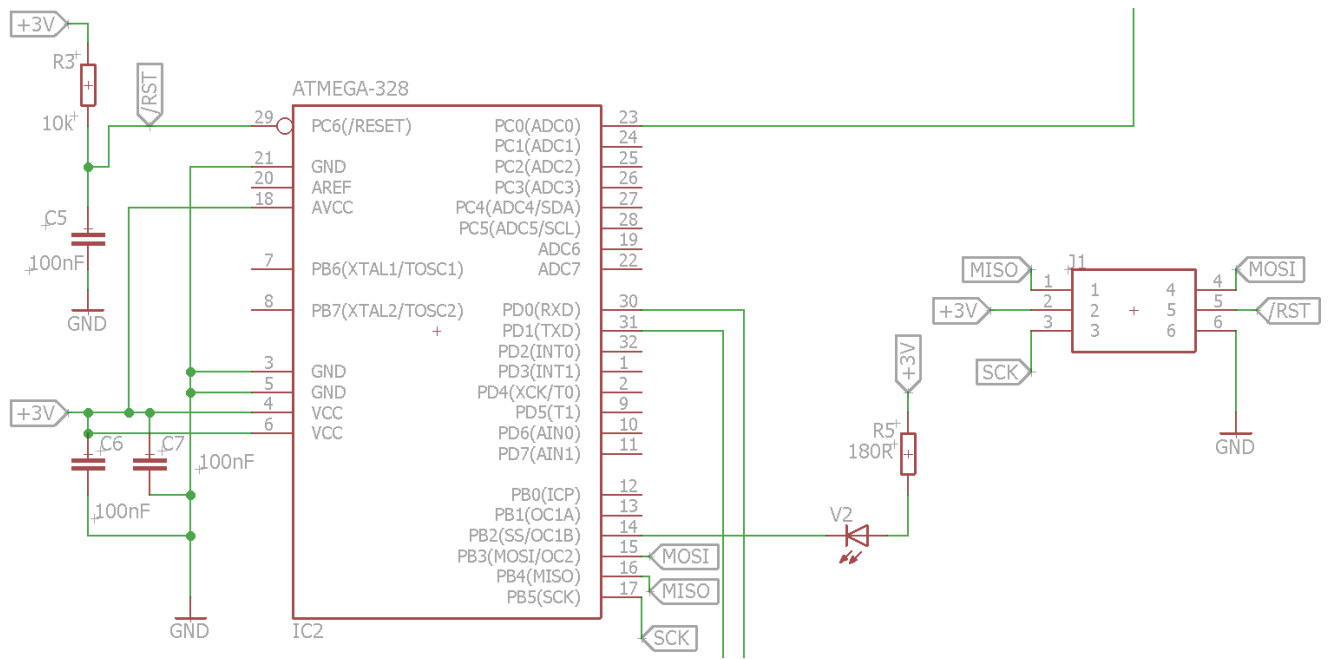
Jak bylo zmíněno výše, pro snímání otáček lopatkového kola byla použita Hallova sonda, konkrétně unipolární typ A1122LUA-T s napájecím napětím od 3 V do 24 V. Tato sonda se při přítomnosti magnetické indukce překlápí do nízké úrovně. Zapojení Hallovy sondy a měniče napětí je zobrazeno na obrázku 5.17. Pro nastavení vysoké úrovně slouží pull-up rezistor R4. Pro napájení obvodu byla zvolena baterie CR2050W o napětí 3 V. Aby napětí na Hallově sondě bylo s jistotou vyšší než 3 V, byl do obvodu zařazen pevný měnič napětí s bezinduktorovou nábojovou pumpou RT9361AGE. Jeho vstupní napětí je v rozsahu 2.8 V až 5 V a výstupní napětí je pevné a to 5 V. Kondenzátory C8, C9, C10, C11 a cívka L2 jsou zde zařazeny dle technického listu pro obvod s konstantním odběrem proudu. Je zde testovací bod TP3 a jumper propojka JP1 pro snadné odpojení napětí. Jumper propojka JP1 dále našla využití při měření spotřeby celého zařízení, kdy na ni byl připojen odpor, na němž byl připojen osciloskop.



Obrázek 5.17: Zapojení měniče napětí a Hallové sondy

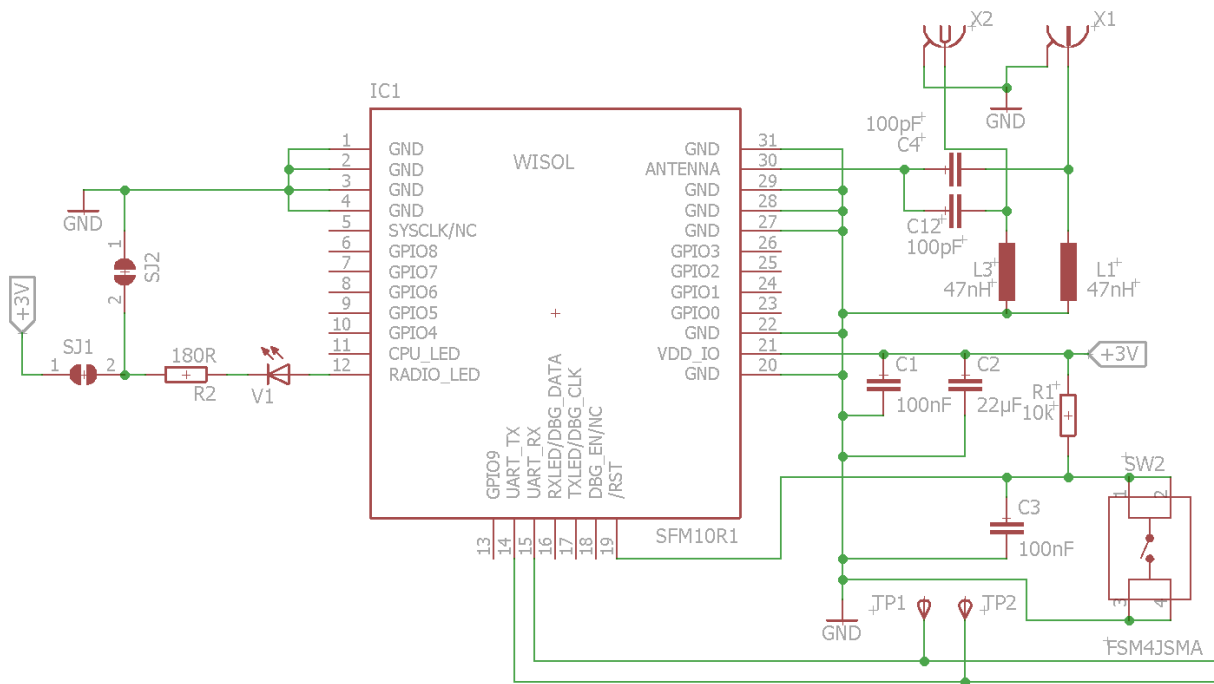
Pro řízení zařízení byl zvolen 8-bitový mikrokontrolér ATMEGA328. Mikrokontrolér má architekturu AVR a je vyráběn společností Atmel. Tuto architekturu využívá společnost Arduino pro výrobu svého hardwaru. Kvůli možnosti naprogramovat mikrokontrolér v prostředí Arduino IDE, které je snadno přístupné, byl vybrán mikrokontrolér právě od společnosti Atmel. Rodina ATMEGA obsahuje několik verzí čipu, které se liší především ve velikosti vnitřních pamětí. Jelikož nebylo možné předem odhadnout potřebnou velikost pamětí, byl použit čip ATMEGA328 s nejvyššími kapacitami. Alternativu představuje rodina ATTINY s minimalistickým počtem vývodů, malými paměťmi a nízkým výkonem. Jejich výhodou může být nízká cena a malá velikost.

Zapojení mikrokontroléru je zobrazeno na obrázku 5.18. Mikrokontrolér pracuje při napětí od 1.8 V do 5.5 V. Obsahuje 23 vstupně výstupních bran, programovou paměť 32 kB a RAM paměť 2 kB. V aktivním režimu při frekvenci 1 MHz má podle technického listu odběr 0.2 mA, při režimu Power-down 0.1 μ A a v režimu Power-save 0.75 μ A. Na jeho bránu PC0 je připojen výstup Hallové sondy. Na bráně PB2 je připojena zelená LED dioda s předřadným odporem, která slouží k signalizaci. Kondenzátory C6 a C7 mají blokovací funkci. Blok J1 je SPI konektor pro programování mikrokontroléru. Rezistor R3 s kondenzátorem C5 tvoří standartní RC filtr pro reset pin.



Obrázek 5.18: Zapojení mikrokontroléru ATMEGA328

Pro vysílání do sítě Sigfox byl zvolen modul WISOL SFM10R1. Modul je dodáván buď na hotové DPS nebo jako samostatný čip. Jeho hlavní výhodou je velmi nízká cena a jednoduchá ovladatelnost. Jako alternativu vyrábí společnost WISOL modul SFM20R1, který je možné použít pro WiFi, Bluetooth, GPS, Sigfox. Dále obsahuje akcelerometr, ale jeho cena je vyšší. Společnost WISOL vyrábí i další použitelné moduly, ale ve vyšší cenové kategorii. Dalšími společnostmi vyrábějícími vysílací moduly jsou například Murata nebo InnoComm. Jeho zapojení je zobrazeno na obrázku 5.19. Kondenzátory C1 a C2 plní blokovací funkci. K zařízení jsou připojeny dva anténní konektory. Konektor X1 je mikro-koaxiální konektor pro připojení antény přímo na zařízení a X2 je SMA koaxiální konektor pro připojení antény přes kabel pro případ, že by v místě umístění průtokoměru nebyl signál. Kondenzátory C4, C12 a cívky L1, L3 dle technického listu tvoří ochranu vůči ESD. K pinu RADIO LED je připojena LED dioda V1, která je přes předřadný odpor R2 připojena na dvě pájecí propojky. Propojka SJ1 je připojena k napájecímu napětí a propojka SJ2 k zemi. K tomuto řešení došlo, jelikož v technickém listu nebylo uvedeno, zda při vysílání bude na pinu RADIO LED logická "0" nebo "1". Dioda by byla v případě potřeby otočena. Po vykonání testovacího odesílání se ukázalo, že je dioda orientována správně. Na příslušném pinu se tedy při vysílání objevuje logická "1". Piny UART RX a UART TX jsou připojeny na brány PD0 a PD1 na mikrokontroléru a na těchto spojích jsou umístěny testovací body TP1 a TP2. Rezistor R1 s kondenzátorem C3 tvoří standardní RC filtr pro reset pin. Tlačítko SW2 umožňuje hardwarový reset.



Obrázek 5.19: Zapojení Sigfox modulu WISOL SFM10R1

Pro vytvoření DPS byl použit software EAGLE 7.4.0. U společnosti PragoBoard s.r.o. byla vyrobena deska plošných spojů. Na DPS byla pomocí kovové šablony nanesena pájecí pasta, do které byly osazeny součástky. Celá DPS byla zapájena pomocí zařízení pro pájení v parách.

Pro zkompletování zařízení byly dále třeba šrouby, matky, distanční sloupky M4 a těsnění pro víko a propojky. Pro víko byl použit gumový O-kroužek 66x2,5 S0355-ND a pro propojky fibrový O-kroužek N1/205.

5.2.1 Řídící program

Jako programovací prostředí bylo zvoleno Arduino IDE pro jeho snadnou přístupnost. Díky tomu, že Arduino IDE je OSS, poskytuje velké množství volně dostupných knihoven a podpůrných kódů. Pro naprogramování hardwaru byl použit programátor mySmartUSB light, což je AVR-ISP programátor, ale v programovacím prostředí byl vydáván za STK500. Jeho ovládací software je dostupný z [27]. Před samotným programováním bylo třeba do mikrokontroléru nahrát bootloader nebo-li zavaděč. Nahrání zavaděče bylo nezbytné pro možnost využití Arduino funkcí. Dále bylo třeba vytvořit soubor obsahující informace o hardwaru, jelikož na rozdíl od Arduino zařízení tento hardware neobsahoval vnější krystal. Potřebné soubory bylo možné získat z [23]. Soubor boards.txt mimo jiné obsahuje informace o nastavení tří pojistek. Pojistka LOW nastavuje např. výběr zdroje hodinového signálu, pojistka HIGH mimo jiné zpřístupňuje programování po sériové lince. Pojistka EXTENDED obsahuje informace o nastavení Brown-out detekce, tedy informace o tom, při jak nízkém napětí dojde k resetu mikrokontroléru. Právě pojistku EXTENDED bylo třeba změnit na 0xfe, což nastaví reset na napětí 1.8 V. K tomuto řešení došlo, jelikož se ukázalo, že napětí baterie má při odběru proudu tendenci klesnout pod 2.7 V, což je nejbližší vyšší hodnota Brown-out detekce. Více o nastavení pojistek lze zjistit např. z [24]. Soubor boards.txt dále obsahuje informace o typu mikrokontroléru, kterou bylo v tomto případě také třeba upravit, jelikož

prodejce dodal jeden mikrokontrolér ATMEGA328P a jeden ATMEGA328.

Po vybrání příslušné vývojové desky a programátoru v Arduino IDE je možné naprogramovat zavaděč. Pro zobrazování dat ze zařízení v PC byl použit sériový převodník TTL-232RG, jehož RX vývod byl vždy připojen na testovací bod TP1 nebo TP2 podle toho, zda bylo potřeba číst data z mikrokontroléru nebo z vysílacího modulu. Data je následně možné číst např. terminálem Hercules. Na následujících obrázcích 5.20 a 5.21 je zobrazena část programu pro získání registračních údajů vysílacího modulu, které jsou potřeba pro registraci zařízení v síti Sigfox.

```
void setup() {  
  Serial.begin(9600);  
  Serial.println("AT$I=10");  
}
```

Obrázek 5.20: Část programu pro získání ID údaje z vysílacího modulu

```
void setup() {  
  Serial.begin(9600);  
  Serial.println("AT$I=11");  
}
```

Obrázek 5.21: Část programu pro získání PAC údaje z vysílacího modulu

Jako další bylo třeba vytvořit program pro změření chování průtokoměru, aby bylo následně možné vytvořit výpočetní funkci. Program je zobrazen na obrázcích 5.22 a 5.23 (pro přehlednější popis byl program přesunut do PSPad editoru, který na rozdíl od Arduino IDE čísluje řádky).

```
1 #include <avr/interrupt.h>  
2 volatile int cnt = 0;  
3 int cnt_predchozi = 0;  
4 unsigned long cas = 0;  
5 unsigned long cas_predchozi = 0;  
6 unsigned long cas_celkovy = 0;  
7 void setup() {  
8   Serial.begin(9600);  
9   pinMode(A0, INPUT);  
10  PCICR |= B00000010;  
11  PCMSK1 |= B00000001;  
12  sei();  
13 }
```

Obrázek 5.22: Program pro nastavení přerušení od Hallovy sondy

```
1 ISR(PCINT1_vect) {  
2   if(digitalRead(A0)==HIGH)  
3     { cnt++;  
4       cas = millis();  
5       cas_celkovy = cas - cas_predchozi;  
6       cas_predchozi = cas;  
7     }  
8   if (cnt != cnt_predchozi)  
9     { Serial.println(cnt);  
10      Serial.print(cas_celkovy);  
11      Serial.println("ms");  
12     }  
13   cnt_predchozi = cnt;  
14 }
```

Obrázek 5.23: Obslužná funkce přerušení pro měření

Na řádcích 1 až 6 v obrázku 5.22 je možné vidět deklarované proměnné a zahrnutou knihovnu umožňující přerušení. Kód na řádku 9 nastavuje daný pin na vstup. Řádek 10 povoluje vnější přerušení pro brány PC a řádek 11 ho povoluje na konkrétní pin. Funkce na řádku 12 dále povolí užívání přerušení po jejich nastavení.

Obrázek 5.23 zobrazuje funkci obsluhující přerušení. Podmínka na řádku 2 zajišťuje reakci pouze na náběžnou hranu tím, že zjistí zda je vstup ve vysoké úrovni po přerušení. Řádek 3 inkrementuje proměnnou počítající otáčky lopatkového kola. Řádek 4 zaznamenává dobu v milisekundách od začátku běhu programu. Hodnota funkce millis() přeteče za cca 50 dní a poté začne počítat znovu. Řádek 5 zaznamenává čas jedné otáčky lopatkového kola. Řádek 6 slouží jako hodnota pro výpočet na předchozím

řádku. Podmínka na řádku 8 umožňuje výpisy na sériovou linku z řádků 9 až 11 pouze v případě dokončení otáčky. Této podmínce slouží i zaznamenání na řádku 13.

Při měření se ukázala netěsnost v místě, kde došlo ke zlomu těla průtokoměru. Při dalších měřeních bohužel došlo ke vzniku další trhliny. Tyto trhliny poskytují velmi malý únik kapaliny vzhledem k celkovému měřenému objemu, proto měření téměř neovlivnily. S výše zmíněným programem bylo možno změřit chování průtokoměru, pro analýzu získaných dat byl využit MATLAB R2016a.

5.2.2 Výpočetní funkce

Pro vytvoření funkce z naměřených dat byla využita nelineární regrese. Nelineární regresní model je udáván dle rovnice 5.1.

$$y_i = f(x_i, \Theta) + \varepsilon_i \quad (5.1)$$

V tomto případě x_i je vektor naměřených dob jedné otáčky, Θ je neznámý vektor parametrů, f je známá funkce (v tomto případě polynom třetího stupně), ε_i jsou náhodné odchylky. Dále y_i jsou odpovídající hodnoty proteklého objemu na jednu otáčku. Pro polynom třetího stupně je možné rovnici 5.1 přepsat do tvaru:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \beta_3 x_i^3 + \varepsilon_i. \quad (5.2)$$

Další informace je možné získat z [25].

```

1 X=[delta_t2L];
2 Y=[V_otacky_2L];
3 A=ones(length(X'),4);
4 A(:,2)=X';
5 A(:,3)=X'.^2;
6 A(:,4)=X'.^3;
7 beta= A\Y';
8 x=100:1:1200;
9 y= beta(1)+beta(2)*x + beta(3)*x.^2 + beta(4)*x.^3;
10 figure;
11 hold on;
12 plot(x,y);
13 plot(delta_t2L,V_otacky_2L,'bo');
14 hold off;
```

Obrázek 5.24: Program pro výpočet a vykreslení výpočetní funkce

Obrázek 5.24 zobrazuje program pro výpočet funkce a vykreslení jejího grafu. Na prvních dvou řádcích byla do vektorů X a Y vložena naměřená data dob jedné otáčky a proteklého objemu na jednu otáčku. Řádky 3 až 6 vytvoří matici A naplněnou daty z X a jejich mocninami, čímž se vytvoří soustava rovnic. Řádek 7 poskytne řešení této soustavy v podobě koeficientů polynomu uložených ve vektoru β . Řádky 8 až 14 slouží k vykreslení spojitě funkce a naměřených údajů.

Pomocí koeficientů z vektoru β je následně možné vytvořit výpočetní funkci zapsanou jako:

$$V_{ms} = \beta_0 + \beta_1 \Delta t + \beta_2 \Delta t^2 + \beta_3 \Delta t^3 \quad (5.3)$$

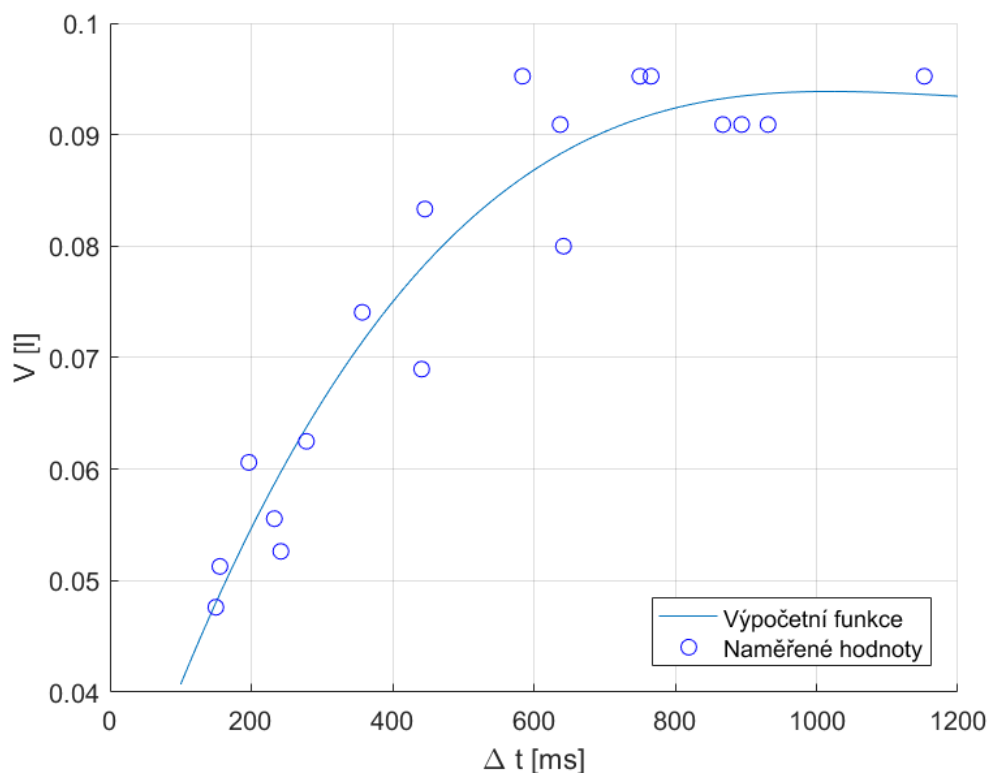
$$\begin{aligned} \beta_0 &= 0.0237446920917642 \\ \beta_1 &= 0.000184986794541955 \\ \beta_2 &= -1.60441684215259 \cdot 10^{-7} \\ \beta_3 &= 4.55788900143354 \cdot 10^{-11}, \end{aligned}$$

kde V_{ms} je objem proteklý za jednu otáčku a Δt je doba jedné otáčky. Tato funkce platí pro hodnoty na ose x v ms. Dále po převedení doby jedné otáčky na minuty se funkce změní na:

$$V_{min} = \beta_4 + \beta_5 \Delta t + \beta_6 \Delta t^2 + \beta_7 \Delta t^3 \quad (5.4)$$

$$\begin{aligned} \beta_4 &= 0.0237446920917641 \\ \beta_5 &= 11.0992076725174 \\ \beta_6 &= -577.590063174938 \\ \beta_7 &= 9845.04024309662 \end{aligned}$$

Tato funkce bude potřeba pro výpočet aktuálního průtoku. Obrázek 5.25 zobrazuje tuto funkci graficky spolu s naměřenými daty. Pro hodnoty na ose x v minutách má graf stejný průběh a je uveden v přílohách.



Obrázek 5.25: Graf aproximační funkce (V_{ms}) a naměřených dat

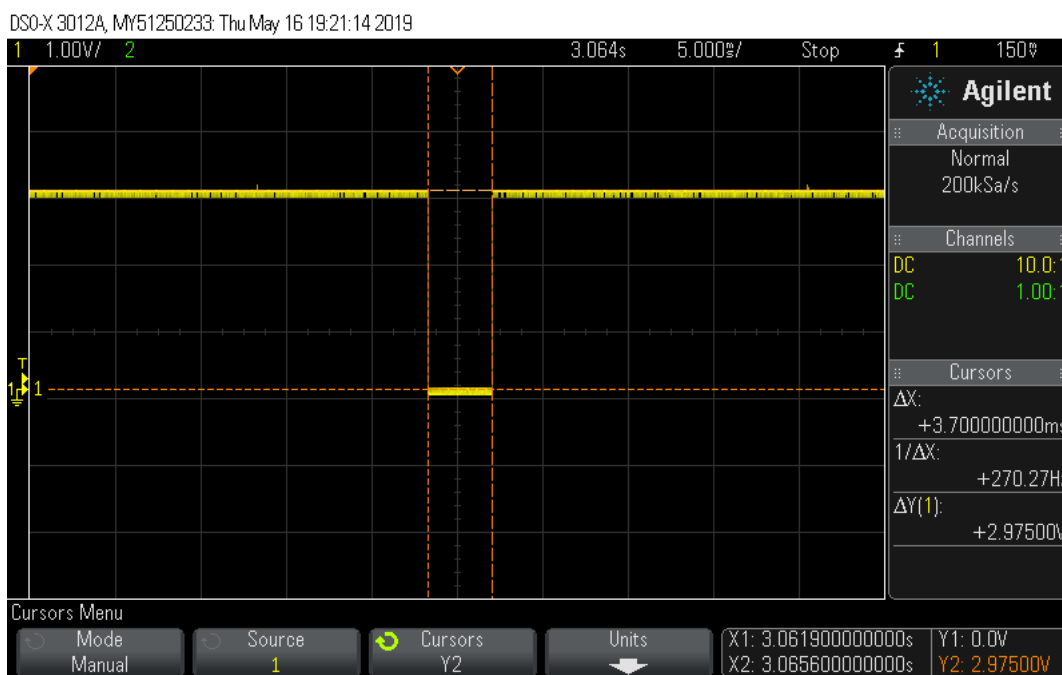
5.2.3 Měření a výpočet chyb

Pro zjištění s jakou přesností bude průtokoměr měřit, bylo potřeba upravit funkci obsluhující přerušení. Tuto úpravu zobrazuje obrázek 5.26. Na řádce 3 je podmínka zabezpečující, že výpočet proběhne pouze v rozsahu rychlostí otáčení, pro který je výpočetní funkce platná. Řádek 4 slouží k načítání objemu podle funkce V_{ms} , pro kterou byl využit čas z proměnné $cas_celkovy$. Řádky 5 až 7 provádějí výpočet aktuálního průtoku v jednotkách l/min. Dále byl program doplněn o několik dalších výpisů proměnných.

```
1    ...
2    cas_predchozi=cas;}
3    if ((100 < cas_celkovy) && (cas_celkovy < 1200)) {
4        objem += V_ms;
5        cas_celkovy_min = (double)cas_celkovy / 60000;
6        prutok = V_min;
7        prutok_za_min = prutok * (1 / cas_celkovy_min);
8    }
9    Serial.print(cnt);
10   ...
```

Obrázek 5.26: Úprava funkce obsluhující přerušení

Pro ověření, zda mikrokontrolér počítá s dostatečnou rychlostí, byl na začátek výpočtu přidán příkaz k rozsvícení LED diody a na konec výpočtu příkaz k jejímu zhasnutí. Na obrázku 5.27 je zobrazen snímek z osciloskopu, kterým bylo ověřeno, že doba výpočtu je 3.7 ms. Nejmenší doba jedné otáčky, odpovídající nejvyšší rychlosti průtoku, byla 150 ms. Mikrokontrolér tedy dokáže vykonat výpočet včas.



Obrázek 5.27: Snímek z osciloskopu zobrazující dobu výpočtu

Při otevírání kohoutu dochází k poměrně prudkým změnám tlaku, a tím i rychlosti proudění, proto bylo třeba měření rozdělit. Celkově měření probíhalo pro proteklý

objem 6 l do odměrné nádoby a pro zjištění chyby po ustálení rychlosti toku bylo využito měření od 2 l do 6 l. Absolutní odchylka těchto měření byla vypočítána podle vzorce 5.5 pro celkový objem a pro objem po ustálení toku ze vzorce 5.6.

$$\Delta V_{celk} = |V_{celk} - 6| \quad (5.5)$$

$$\Delta V_{konst} = |V_{konst} - (6 - 2)| \quad (5.6)$$

Z několika měření byla vypočítána průměrná odchylka pro různé rychlosti toku. Z této průměrné odchylky byla vypočítána relativní odchylka měření podle vzorce 5.7 pro celkový objem a ze vzorce 5.8 pro objem po ustálení toku.

$$\delta \bar{V}_{celk} = \frac{\Delta \bar{V}_{celk}}{6} \quad (5.7)$$

$$\delta \bar{V}_{konst} = \frac{\Delta \bar{V}_{konst}}{6 - 2} \quad (5.8)$$

Tabulka 5.2 zobrazuje vypočítané chyby rozdělené podle rychlostí toku, které jsou zde reprezentované dobou jedné otáčky Δt . Při měření není možné udržet dobu jedné otáčky na konstantní hodnotě, proto je uváděna zprůměrovaná hodnota s odpovídající hodnotou průtoku.

Tabulka 5.2: Vypočítané chyby měření

Q (l/min)	Δt (ms)	$\Delta \bar{V}_{celk}$ (l)	$\Delta \bar{V}_{konst}$ (l)	$\delta \bar{V}_{celk}$ (%)	$\delta \bar{V}_{konst}$ (%)
19.21	150	0.11	0.15	1.79	3.63
5.92	950	0.2	0.12	3.33	2.94
8.14	655	0.19	0.06	3.13	1.63
12.64	325	0.17	0.07	2.88	1.75
8.95	575	0.19	0.17	3.17	4.19

Vzájemná závislost doby jedné otáčky s objemem a průtokem je po převedení na správné jednotky stejná. Tento fakt vyplývá z grafických průběhů aproximačních funkcí. Proto lze považovat relativní chybu objemu za relativní chybu průtoku. V tabulce 5.3 jsou uvedeny absolutní dopočítané chyby pro průtok.

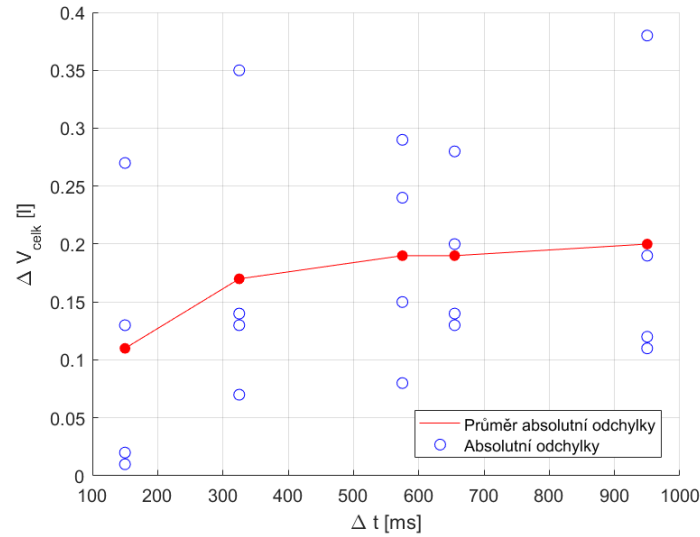
Tabulka 5.3: Vypočítané chyby měření průtoku

Q (l/min)	$\Delta \bar{Q}_{celk}$ (l/min)	$\Delta \bar{Q}_{konst}$ (l/min)
19.21	0.34	0.7
5.92	0.2	0.17
8.14	0.25	0.13
12.64	0.36	0.22
8.95	0.28	0.38

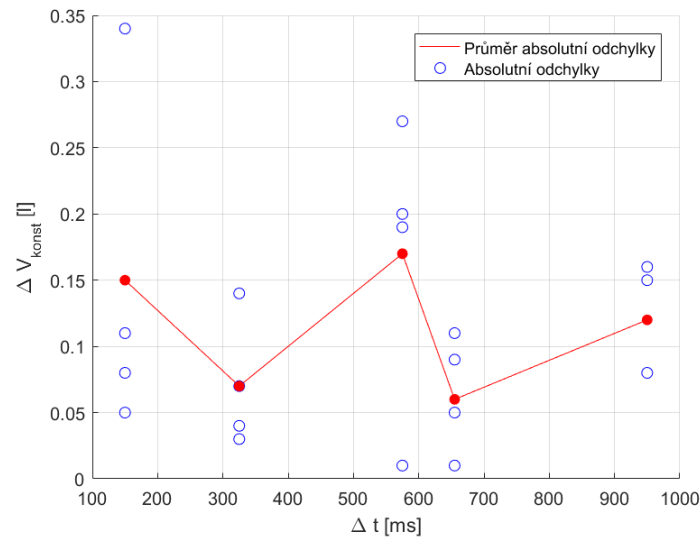
Výchozí naměřená data jsou uvedena jako přílohy v tabulkách 8.1, 8.2, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5.

Obrázek 5.28 zobrazuje graf absolutních chyb a jejich průměrnou hodnotu pro celkový objem. Z grafu vyplývá, že nejmenší chyba vzniká při měření s nejvyšší rychlostí

toku, což je v grafu zobrazeno jako nejkratší doba jedné otáčky. Tato skutečnost vychází již ze způsobu měření, kdy pro tuto rychlost bylo možné otevřít kohout rychleji na maximální hodnotu a nebylo třeba postupně otevírat až na požadovanou rychlost. V tomto případě byla tedy doba, kdy se průtok mění, kratší, ale zároveň jeho změna byla mnohem větší. Pro nižší rychlosti se chyba zvýšila, ale její další nárůst již byl nízký.



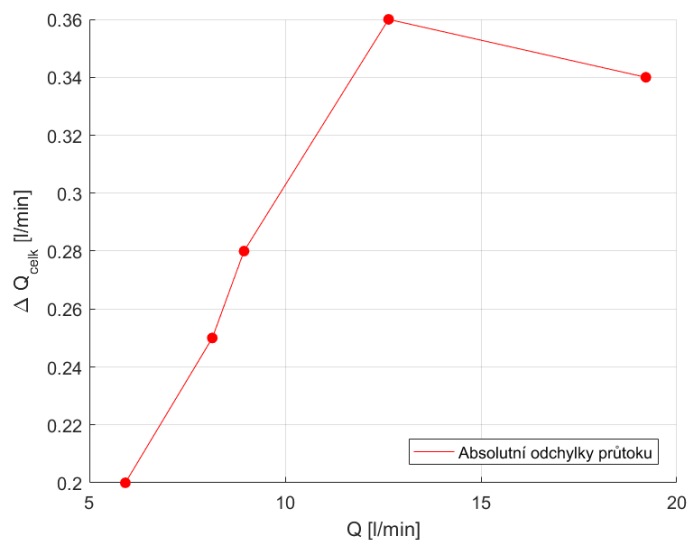
Obrázek 5.28: Grafické zobrazení absolutních chyb měření pro celkový objem 6 l



Obrázek 5.29: Grafické zobrazení absolutních chyb měření pro objem po ustálení rychlosti toku

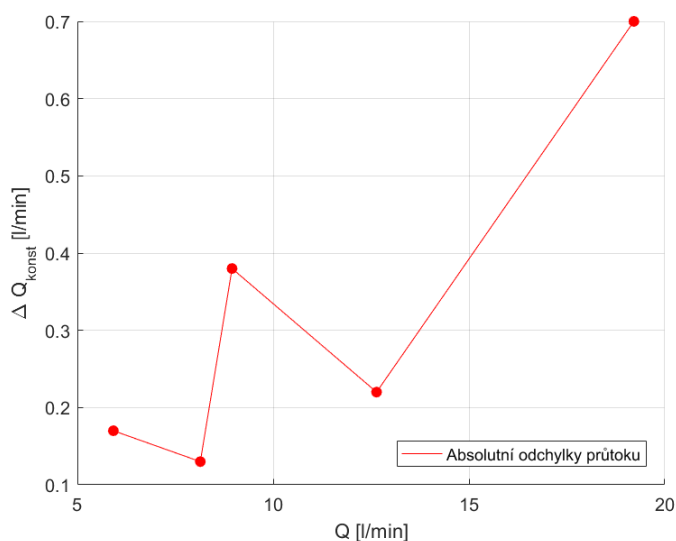
Obrázek 5.29 zobrazuje graf absolutních chyb a jejich průměrnou hodnotu pro měření po ustálení rychlosti toku. Očekávání pro toto měření bylo, že odchylka zde bude téměř konstantní oproti předchozímu měření. Jak je vidět z grafu, tato skutečnost se na první pohled nepotvrdila. Rozdíl odchylek je zde pro různé rychlosti větší,

než tomu bylo v předchozím grafu. Tyto chyby mohou být způsobeny nepřesným měřením průtokoměru, ale je třeba zdůraznit, že chyby se pohybují v desetínách až setinách litru, což při měření s přesností na celé litry, mohlo být způsobeno nepřesností měřitele. Takto vznikající nepřesnost by se pravděpodobně týkala těchto malých odchylek, kvůli kterým naměřená hodnota nedosahuje hodnoty odečtené z nádoby, nebo ji přesahuje.



Obrázek 5.30: Grafické zobrazení absolutních chyb měření průtoku

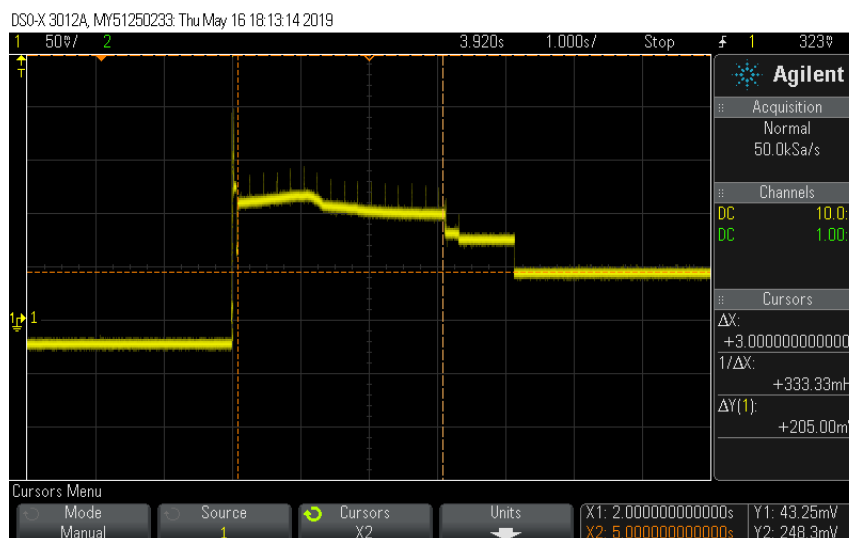
Obrázky 5.30 a 5.31 zobrazují grafy absolutních chyb měření pro průtok. Grafy jsou opět rozděleny na celkové měření a měření po ustálení rychlosti toku. V obou případech platí, že pro vyšší hodnoty průtoku došlo ke vzniku větší chyby.



Obrázek 5.31: Grafické zobrazení absolutních chyb měření průtoku po ustálení rychlosti toku

5.2.4 Měření spotřeby

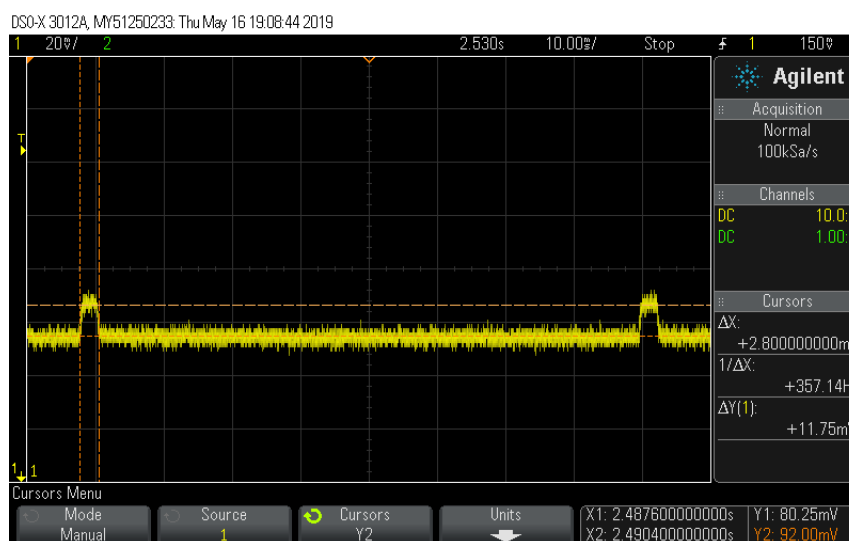
Pro měření spotřeby byl mezi zdroj napětí a průtokoměr připojen odpor o hodnotě 10.22Ω . Na tento odpor byl připojen osciloskop a podle Ohmova zákona přepočítána změna napětí na odporu na proud odebíraný ze zdroje. Pro následné nastavení pracovního režimu bylo třeba změřit tři pracovní režimy, a to režim měření průtoku, režim odesílání dat do sítě Sigfox a úsporný režim mikrokontroléru a vysílacího modulu.



Obrázek 5.32: Snímek z osciloskopu zobrazující přepnutí do úsporného režimu

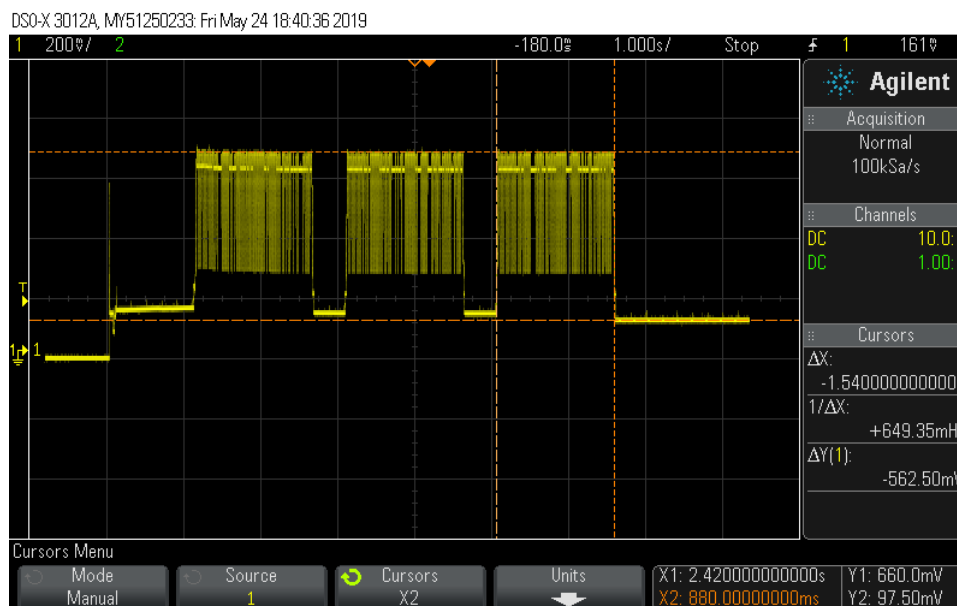
Úsporný režim zobrazuje výše umístěný obrázek 5.32. Na začátku bylo zařízení vypnuto a po připojení napájecího napětí bylo napětí na odporu 80.25 mV , což v přepočtu odpovídá odběru 7.85 mA . Zařízení bylo nastaveno, aby po 3 vteřinách nastavilo vysílací modul do úsporného režimu a po další vteřině totéž vykonalo s mikrokontrolérem. Odběr při úsporném režimu odpovídal 4.23 mA .

Následující obrázek 5.33 zobrazuje měřicí režim. Na snímku jsou vidět dvě výchylky časově odpovídající dvěma pulzům z Hallovy sondy. Pulz je dlouhý 2.8 ms a odběr při jeho vysoké úrovni je 9 mA .



Obrázek 5.33: Snímek z osciloskopu zobrazující měřicí režim

Obrázek 5.34 zobrazuje snímek z osciloskopu při odesílání dat do sítě Sigfox. Měřený interval obsahuje 3 vysílací rámce. Maximální odběr při vysílání byl 64.58 mA. Tato hodnota odpovídá odběru udávanému v technickém listu vysílacího modulu, který je 60 mA. Jeden rámec je dlouhý 1.54 s a celý přenos je dlouhý 5.42 s.



Obrázek 5.34: Snímek z osciloskopu zobrazující režim odesílání dat

Podle výše uvedených měření bylo možno navrhnout pracovní režim průtokoměru. Ukázalo se, že Hallova sonda má velký odběr, což souhlasí s technickým listem, který uvádí odběr 4 mA. Tato skutečnost značně zkomplikovala životnost zařízení při napájení z baterie. Pokud bychom uvažovali pouze běh zařízení v úsporném režimu, jeho výdrž na baterii by byla 86 h a 15 min. Odběr se samozřejmě zvýší v aktivním režimu, při měření a při odesílání dat.

Jedna z možností využití průtokoměru by byla jeho použitím pouze při měření. V době, kdy by nedocházelo k měření, by byl průtokoměr odpojen od baterie, což by zvýšilo její výdrž. Tohoto odpojení by mohlo být dosaženo spínačem, který by ale musel být ovládán uživatelem. Výdrž v tomto režimu by byla dále ovlivněna četností vysílání dat do sítě. Doba jedné otáčky by také ovlivnila spotřebu, ale tato změna by byla mnohem menší než v předchozím případě.

Tabulka 5.4 uvádí odhad výdrže na baterii. Veličina Δt udává dobu, po které dojde k odeslání dat. Veličiny t_{150} a t_{1000} představují dobu výdrže baterie při době jedné otáčky 150 ms a 1000 ms. Tabulka dále uvádí odpovídající hodnoty při použití baterie o větší kapacitě. Z této tabulky je zřejmé, že doba jedné otáčky ovlivňuje spotřebu pouze minimálně. Naopak četnost odesílání dat má značný vliv. Jak bude dále uvedeno, odesílány jsou pouze dva údaje. Jedním je aktuální průtok, který se ale s každou otáčkou může změnit, a to i při konstantní rychlosti, i když minimálně. Proto je třeba data průměrovat, což na krátkém časovém úseku nepředstavuje problém. Při odesílání dat po delším časovém úseku např. 60 s, jak je uvedeno v tabulce 5.4, by se ale průtok mohl více měnit a jeho průměrování by značně ovlivnilo výslednou přesnost zařízení. Proto tento časový úsek odesílání dat není možné příliš navyšovat, i když by se tím zvýšila výdrž na baterii. Jiný problém by mohl nastat při časovém úseku 6 s, který je pouze o 0.58 s delší než potřebný čas vysílacího modulu k odeslání dat. Mohlo by tak

snadno dojít ke ztrátě dat kvůli tomu, že vysílač nebude reagovat na další požadavek o další odeslání dat, zatímco bude vysílat. Pro odesílání celkového proteklého objemu tento problém odpadá.

Tabulka 5.4: Výdrž zařízení na baterii při stálém měření

Kapacita baterie (mAh)	345			1000		
Δt (s)	6	10	60	6	10	60
t_{150} (h)	4.98	8.93	26.3	14.45	25.9	76.27
t_{1000} (h)	5	8.97	26.58	14.5	25.98	77.08

5.2.5 Návrh úprav pro snížení spotřeby

Aby průtokoměr mohl dlouhodobě fungovat samostatně, je třeba zajistit odpojení Hallovy sondy od napětí. Toho je možné dosáhnout zařazením MOSFET tranzistoru typu N (např. RHU002N06FRAT106 z důvodu nízké ceny) mezi pin pro uzemnění a zem GND. Mikrokontrolér IC2 udržuje na svých výstupech nastavené hodnoty i v režimu spánku, proto není třeba tranzistor doplnit o pull-down rezistor. Podle technického listu má Hallova sonda odběr 4 mA. V režimu spánku mikrokontroléru a vysílacího modulu byl naměřen odběr 4.23 mA. Teoreticky by tedy po vykonání úprav měl odběr klesnout na 0.23 mA. Tato hodnota je sice značně nižší, avšak neodpovídá hodnotám daným technickými listy. Pokud bychom sečetli hodnoty odběru v režimech spánku pro vysílací modul a mikrokontrolér, dostaneme hodnotu $2.1 \mu A$.

V tomto případě by bylo nutné změnit pracovní režim průtokoměru, jelikož by již nebylo možné jeho probouzení ve chvíli, kdy jím začne procházet kapalina. Bylo by třeba nastavit časování např. pomocí časovače watchdog, který běží i v režimu spánku, aby zařízení po určité době opustilo režim spánku a vykonalo měření.

Tabulka 5.5 ukazuje odhad výdrže na baterii s kapacitou 345 mAh při výše popsaném režimu. Veličiny t_{min} , t_h , t_{den} představují výdrž zařízení při jeho probouzení jednou za minutu, hodinu, den. V porovnání s režimem bez odpojování Hallovy sondy je zde dosaženo několikanásobně delší výdrže. Samozřejmě pokud by v předchozím režimu bylo zařízení málo využíváno, bylo by u něj možné dosáhnout výdrže ještě vyšší.

Tabulka 5.5: Výdrž zařízení na baterii s kapacitou 345 mAh při přerušovaném měření

Δt (s)	6	10	60
t_{min} (h)	62.35	60.38	51.69
t_h (h)	1059.43	1030.69	781.88
t_h (den)	44.14	42.95	32.58
t_{den} (h)	1474.4	1471.61	1443.88
t_{den} (den)	61.43	61.32	60.16

V tabulce 5.6 jsou uvedena data pro výdrž zařízení při použití baterie s kapacitou 1000 mAh. Při měření po dobu 6 sekund a probouzení zařízení jednou za den by bylo možné dosáhnout nejvyšší výdrže na baterii.

Tabulka 5.6: Výdrž zařízení na baterii s kapacitou 1000 mAh při přerušovaném měření

Δt (s)	6	10	60
t_{min} (den)	7.53	7.3	6.25
t_h (den)	128	124.56	94.48
t_{den} (den)	178.15	177.83	174.46

Tento režim by mohl být využit na potrubí, které je konstantně protékáno kapalinou. Požadavkem by mohlo být snímání vzorků průtoku z dlouhodobého hlediska.

5.2.6 Úprava programu pro přerušovaný režim měření

Po vyřešení pracovního režimu bylo třeba upravit předchozí program tak, aby tomuto režimu odpovídal. Bylo třeba vytvořit dvě nové funkce. První funkce sloužila k odesílání dat a druhá k výpočtu aritmetického průměru ze vzorků průtoku.

```

1 void odeslat() {
2   prumer();
3   sprintf(zprava, "%04X%04X", (int)(prutok_prumer*100), (int)(objem*100));
4   Serial.print("AT$SF=");
5   Serial.println(zprava);
6   posledni_odeslani = millis();
7   prutok_prumer=0;
8 }

```

Obrázek 5.35: Funkce pro odesílání dat

Obrázek 5.35 zobrazuje funkci pro odesílání dat. Nejdříve je spuštěna funkce pro výpočet průměru. Následně jsou hodnoty průtoku a objemu vynásobeny 100 a převedeny na jeden řetězec, který je odeslán po příslušném AT příkazu. Přenásobení umožňuje přenést číslo se dvěma desetinnými místy jako celé číslo. Na straně zpracování dat bude převod opačný. Řádek 6 zaznamenává čas posledního vysílání. Funkce pro odesílání je volána ze smyčky vždy po 10 sekundách. Po odeslání je průtok vynulován.

```

1 void prumer() {
2   int b = 0;
3   for (int a = 0; a < pocet_zaznamu; a++) {
4     if (prutok_zaznam[a] != 0) {
5       b++;
6       prutok_prumer += prutok_zaznam[a];
7     }
8   }
9   prutok_prumer = prutok_prumer / b;
10  i = 0;
11  memset(prutok_zaznam, 0, pocet_zaznamu);
12 }

```

Obrázek 5.36: Funkce pro výpočet aritmetického průměru průtoku

Pro zaznamenávání vzorků průtoku bylo vytvořeno pole, které je plněno ve funkci obsluhující přerušování. Obrázek 5.36 zobrazuje funkci pro výpočet aritmetického průměru průtoku. Nejdříve jsou vyčtena data z pole a jsou sečtena v proměnné *prutok_prumer*.

Zároveň je zjišťován počet těchto dat, aby byl následně na řádku 9 vykonán výpočet průměrné hodnoty. Řádky 10 a 11 zajistí, že pole bude vynulováno a ukládání do něj započne opět od začátku.

5.3 Příjem a zobrazení naměřených dat

Po registraci zařízení v síti Sigfox pomocí údajů PAC a ID je možné zobrazit data o přenosu v záložce messages. Tento stav je zobrazen na obrázku 5.37. Jsou zde zobrazena data o času přijetí zprávy, zpoždění, vlastní data v podobě hexadecimálního ASCII kódu, SNR a další údaje.

Time	Delay (s)	Data / Decoding	Base station	RSSI (dBm)	SNR (dB)	Freq (MHz)	Frames
2019-05-22 15:48:39	2.1	089805de	788B	-129.00	14.75	868.1452	2/3
2019-05-22 15:47:45	1.2	00c80096	788B	-129.00	6.00	868.2011	1/3
			68BD	-141.00	7.71	868.2009	1/3

Obrázek 5.37: Zobrazení přijaté zprávy v cloudu Sigfox

Pro zobrazení dat byla zvolena webová aplikace Thingspeak umožňující snadné zobrazení dat a jejich případnou analýzu pomocí funkcí MATLABU. Pro přeposlání dat do Thingspeak je třeba nastavit callback. Jeho nastavení je zobrazeno na obrázku 5.38.

Callbacks

Type: DATA UPLINK

Channel: URL

Send duplicate:

Custom payload config: prutok::int:16 objem::int:16

URL syntax: `http://host/path?id={device}&time={time}&key1={var1}&key2={var2}...`
 Available variables: device, time, duplicate, snr, station, data, avgSnr, lat, lng, rssi, seqNumber
 Custom variables: customData#prutok, customData#objem

The feature send duplicate and the following information: snr, station, avgSnr, lat, lng, rssi, will n
 callback feature from the first of June 2019.

Url pattern: `https://api.thingspeak.com/update?api_key=MPZMVGZMPYLDWYE&field1={custo`

Use HTTP Method: POST

Send SNI: (Server Name Indication) for SSL/TLS connections

Headers: header value

Content type: application/x-www-form-urlencoded

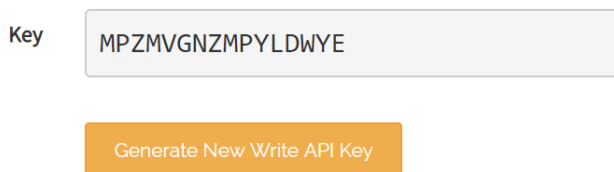
Obrázek 5.38: Nastavení callback

Na začátku se nastaví typ služby, v tomto případě uplink dat. Možnost Channel určuje, kam budou data přeposlána. Další možností kromě zde použitého URL je např. e-mail. Možnost Custom payload config slouží k nastavení počtu a datového typu přeposílaných proměnných. URL pattern představuje adresu, kam budou data přeposlána.

Tato adresa obsahuje API klíč vygenerovaný aplikací Thingspeak, dále rozdělení posílaných proměnných do polí, se kterými Thingspeak dále pracuje. Poslední možností je použitá HTTP metoda, která může být, kromě zde použité POST, GET nebo PUT. Celý Url pattern má potom tuto podobu: `https://api.thingspeak.com/update?api_key=MPZMVGZMPYLDWYE&field1={customData#prutok}&field2={customData#objem}`.

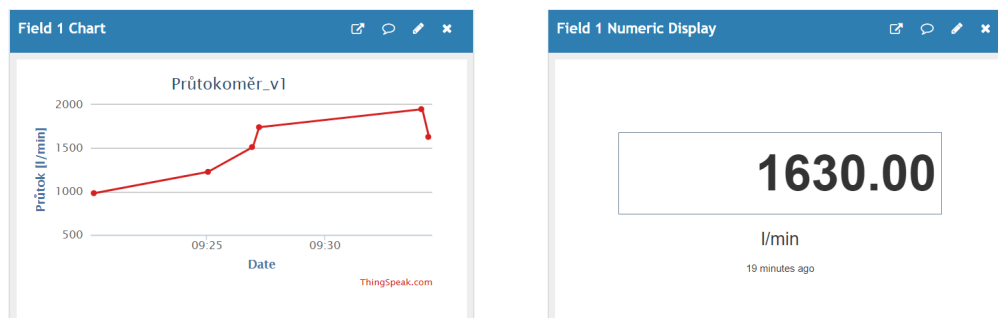
Jak bylo výše zmíněno, v aplikaci Thingspeak dojde po vytvoření nového kanálu k vygenerování API zápisového klíče, jak zobrazuje obrázek 5.39. Na stejné záložce je možné získat předpis pro Url pattern pro nastavení callback.

Write API Key



Obrázek 5.39: Vygenerovaný API zápisový klíč

Při vytvoření nového kanálu je třeba nastavit přiřazení přijímaných proměnných do polí (field). Číslování těchto polí je stejné jako ve výše zobrazeném Url pattern. Následně je možné v záložce Private view nastavit zobrazení dat. Základní zobrazení představuje v grafu proměnnou závislou na čase. Další možné základní vizualizace jsou číselné zobrazení, budíkové zobrazení nebo světelný identifikátor. U všech těchto vizualizací je možné měnit jejich nastavení, např. popis a rozsah os, dobu obnovy, jednotky a další. Záložka dále zobrazuje celkový počet přijatých zápisů. Příklad vizualizace přijatých dat zobrazuje obrázek 5.40.



Obrázek 5.40: Příklad vizualizace dat v aplikaci Thingspeak

Výše uvedený obrázek zobrazuje přijatá data, která byla na straně zařízení vynásobena 100. Tato data bylo tedy třeba opět vydělit. Thingspeak bohužel limituje volnou licenci počtem zápisů a jiných výkonů v čase. Zápis do kanálu je limitován na jedno zapsání za 15 s. Proto bylo třeba upravit konstantu `CAS_ODESILANI` na 16000 ms. Hodnota je pro jistotu přijetí dat o 1 s větší. Další omezení nastává při vykonání práce s daty. Omezení je v případě reagování při příjmu omezeno na 10 min. V případě pravidelné kontroly je omezeno na 5 min.

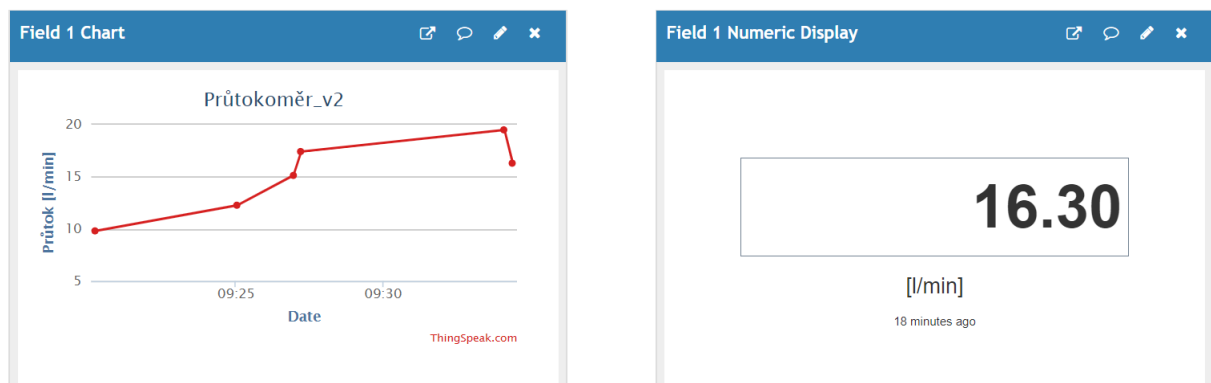
Byl tedy vytvořen druhý kanál, do kterého jsou data z prvního kanálu vydělena 100 vkládána každých 5 min. Bylo třeba zde nastavit, aby z jednoho kanálu do druhého

byla přenášena data z celého intervalu 5 min i s jejich časem příchodu. Obrázek 5.41 zobrazuje program vykonávající výše popsanou funkci.

```
1 readChannelID = 775547;
2 readAPIKey = 'H82UDW8ATVIIMP94';
3 writeChannelID = 793657;
4 writeAPIKey = '5C83MGNRNSYT29MS';
5 [data,timestamps] = thingSpeakRead(readChannelID,'ReadKey',readAPIKey,
6 'Fields',[1,2],'NumMinutes',5);
7 analyzedData=data/100;
8 if(analyzedData~=0)
9 thingSpeakWrite(writeChannelID,analyzedData,'TimeStamp',timestamps,
10 'WriteKey', writeAPIKey);
11 end
```

Obrázek 5.41: Zpracování dat v aplikaci Thingspeak

Tato funkce byla vytvořena v aplikaci Thingspeak pod záložkou MATLAB analysis. K vytvořenému programu bylo možné hned připojit TimeControl řídící časy vykonávání funkce. Výsledné zobrazení je na obrázku 5.42.



Obrázek 5.42: Zobrazení výsledných dat v aplikaci Thingspeak

5.4 Finanční náklady

Tabulka 5.7: Cena všech potřebných součástí (kromě DPS)

součástka	označení podle výrobce	cena (Kč)
BT1	CR2050W	33.127
V1, V2	KP-1608CGCK	4.109
C1, C3, C5, C6, C7	C0603C104Z3VACTU	0.501
C4, C12	MC0603N101J500CT	0.619
R1, R3, R4	MCWR06X1002FTL	0.152
C8, C9	GRM21BR61C106KE15L	6.857
R2, R5	MCMR06X181 JTL	0.141
C10, C11	LMK107B7105KA-T	1.489
L2	LK16081R0K-T	5.675
C2	GRM188R60J226MEA0D	6.343
L1, L3	744786147A	9.398
X1	73412-0110	10.323
IC3	A1122LUA-T	40.831
IC2	ATMEGA328-AU	41.345
SW2	FSM4JSMA	3.544
IC4	RT9361AGE	22.907
IC1	WSSFM10R1AT	274.68
X2	142-0711-821	110.938
držák baterie	1066	24.627
distanční sloupky	AB 4X18IA	32.8
matky		1.4
šrouby		2.88
anténa - sma konektor	ANT-SS900	110.938
anténa - ufl konektor	66089-0830	178.219
O-kroužek S03555-ND	S03555-ND	60
O-kroužek N1/205	N1/205	10.53
filament pro 3D tisk	FLM-PLA-175	58.8065
celkem		994

Výše umístěná tabulka 5.7 zobrazuje finance potřebné na výrobu jednoho prototypu. Není zde zahrnuta cena DPS, jelikož ta se velmi liší podle výrobce, jak bude ukázáno dále. Některé součástky mají minimální počet pro objednání vyšší než 1 kus. V tabulce jsou uvedeny ceny za minimální objednatelný počet. Cena jedné součástky by při objednávce velkého počtu byla samozřejmě nižší. Buňka filament pro 3D tisk byla vypočtena podle spotřebované hmotnosti, protože cívky s filamentem jsou dodávány podle hmotnosti, nikoli podle namotané délky.

Tabulka 5.8: Cena DPS

výrobce	allpcb.com	plosnaky.cz	printed.cz	pcbway.com
cena za 1 DPS (Kč)	-	210	1200	-
cena za 5 DPS (Kč)	116	628	1484	510
cena za 100 DPS (Kč)	1554	12598	8720	3155
cena za 1000 DPS (Kč)	12366	25198	59804	18096

Výše uvedená tabulka 5.8 zobrazuje cenu DPS podle výrobce a počtu kusů. Výrobci uvedení allpcb.com a pcbway.com mají výrobu v Číně, čímž může vzniknout poplatek za dopravu. Z tabulky ale jasně vyplývá, že cena samotné DPS je u těchto výrobců výhodnější než u výrobců v ČR.

Pokud bychom u všech výrobců přepočítali cenu na jedno zařízení, dostali bychom interval od 910 Kč do 2087 Kč. K porovnání je možné uvést např. zařízení vytvořené z průtokoměru určeného pro Arduino[31] a hardwaru Arduino MKRFOX1200[32], který má zabudovaný modul pro Sigfox. Výsledná cena takového zařízení bude 1612 Kč. V této části samozřejmě není zahrnuta práce, kterou by běžný uživatel musel vykonat, aby zařízení zprovoznil. Z porovnání zařízení je možné odvodit, že při dostatečně levné výrobě DPS by bylo možné dosáhnout příznivé ceny, nehledě na možnost snížení finančních nároků při návrhu druhého prototypu. Snížení ceny by mohlo být dosaženo celkovým snížením rozměrů průtokoměru, čímž by došlo ke snížení ceny především u DPS.

6. Závěr

Cílem této práce bylo vytvořit funkční systém pro měření průtoku kapaliny s použitím technologie IoT. K vytvoření mechanické části bylo využita technologie 3D tisku. Výše popsaný systém byl realizován a uveden do funkční podoby.

Při využití technologie 3D tisku se ukázaly současné nedokonalosti této technologie. Hlavní problém nastal s materiálem Prusament PLA Azure Blue. Při jeho tisku nedošlo ke spojení následujících vrstev v několika bodech, což ve výsledku mělo za následek únik kapaliny z průtokoměru. Tento únik není natolik velký, aby ovlivnil měřicí schopnosti průtokoměru, ale z uživatelského hlediska představuje velmi nepříjemnou záležitost. Při dalším použití 3D tisku tyto problémy již nevznikly a projevil se spíše přednosti této technologie. Ty spočívají především ve velmi širokých možnostech tisknutelných tvarů. Mechanická konstrukce je funkční, ale podléhá nedokonalostem využití lopatkového principu měření. Nicméně se při kompletaci ukázaly návrhové nedostatky. První nedostatek byla příliš velká vzdálenost magnetu od Hallovy sondy. Tento problém byl snadno opraven na již vytištěném modelu a jeho úpravu pro tisk dalšího prototypu by bylo možné snadno provést. Druhý nedostatek se týkal estetické části. Při návrhu víka byla vytvořena drážka na těsnění, ta však nemá dostatečné rozměry. To způsobí deformaci víka, což narušuje celkový vzhled zařízení. Tento nedostatek neovlivňuje vodotěsnost mezi součástmi. Další úpravou mechanické části by mohl být post-processing materiálu, který by také zlepšil výsledný vzhled.

Řídící elektronika splnila svůj účel a pro měření je plně postačující. Nicméně pro využití jako zařízení v IoT sítích má průtokoměr příliš velkou spotřebu energie. Byl zde navržen způsob úprav pro její snížení. Takováto změna režimu fungování však značně omezuje možnosti využití zařízení. Při požadavku funkčnosti zařízení v řádu několika let by bylo třeba rozsáhlejších změn, případně jiného principu měření průtoku.

Přenos dat do sítě Sigfox se ukázal jako téměř bezproblémový. To z velké části umožnil vysílací modul, který je velmi snadno ovladatelný a přitom cenově dostupný. Následné zobrazování dat pomocí aplikace Thingspeak bylo též bezproblémové.

Po finanční stránce je výsledná částka nejvíce zatížena cenou DPS. Výrobou u vhodného výrobce by ji bylo možné zredukovat. To způsobí, že zařízení je cenově srovnatelné s alternativami na trhu vytvořenými kombinací průtokoměru, řídicí elektroniky a vysílacího modulu. Kompletní snížení rozměrů mechanické konstrukce a tím i DPS, by mohlo přinést snížení výsledné částky. Další snížení by mohlo představovat využití pouze jedné antény. Varianta antény s ufl konektorem by nastala v případě, že bude předem zajištěn dostatečný signál v místě měření.

7. Zdroje

7.1 Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] ĎAĎO, Stanislav; BEJČEK, Ludvík; PLATIL, Antonín. *Měření průtoku a výšky hladiny*. Senzory neelektrických veličin 3. díl. 2005. ISBN 80-7300-156-X
- [2] *3D tisk-metody* [online] [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/3d-tisk-metody/>.
- [3] *Technologie 3D tisku* [online] [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: <http://www.pkmodel.cz/3dtisk.html>.
- [4] *Kevin Ashton, Father of the Internet of Things & Network Trailblazer* [online] [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://newsroom.cisco.com/feature-content?articleId=1558161>.
- [5] *A Primer On The Internet of Things & RFID* [online] [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://blog.atlasrfidstore.com/internet-of-things-and-rfid>.
- [6] *Internet of Things privacy (IoT privacy)* [online] [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-privacy-IoT-privacy>.
- [7] *Secure all the (Internet of) Things* [online] [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://searchsecurity.techtarget.com/feature/Secure-all-the-things>.
- [8] *The internet of things is set to change security priorities* [online] [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://www.computerweekly.com/feature/The-internet-of-things-is-set-to-change-security-priorities>.
- [9] *internet of things (IoT)* [online] [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>.
- [10] *Základní úvod do oblasti internetu věcí (IoT)* [online] [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz//zakladni-uvod-do-oblasti-internetu-veci-iot.html>.
- [11] *Internet věcí* [online] [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <http://i2ot.eu/internet-of-things/#portfolio-image/0/>.
- [12] *State of the IoT 2018: Number of IoT devices now at 7B – Market accelerating* [online] [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-update-q1-q2-2018-number-of-iot-devices-now-7b/>.

- [13] *The 5 Worst Examples of IoT Hacking and Vulnerabilities in Recorded History* [online] [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://www.iotforall.com/5-worst-iot-hacking-vulnerabilities/>.
- [14] *DDoS attack that disrupted internet was largest of its kind in history, experts say* [online] [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/technology/2016/oct/26/ddos-attack-dyn-mirai-botnet>.
- [15] *industrial internet of things (IIoT)* [online] [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Industrial-Internet-of-Things-IIoT>.
- [16] *Consumer Internet of Things (CIoT) – what is it and how does it evolve?* [online] [cit. 2019-02-28]. Dostupné z: <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/what-is-consumer-internet-of-things-ciot/>.
- [17] *Which two companies will lead the enterprise Internet of Things?* [online] [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: <https://www.networkworld.com/article/3293409/which-two-companies-will-lead-the-enterprise-internet-of-things.html>.
- [18] *LPWAN (low-power wide area network)* [online] [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/LPWAN-low-power-wide-area-network>.
- [19] *SIGFOX* [online] [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://simplecell.eu/technologie-sigfox/>.
- [20] *LoRaWAN* [online] [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <https://lora-alliance.org/sites/default/files/2018-04/what-is-lorawan.pdf>.
- [21] *SolidWorks - 3D CAD navrhování* [online] [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://www.solidvision.cz/solidworks/>.
- [22] *3D TISKÁRNA ORIGINAL PRUSA I3 MK3* [online] [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/original-prusa-i3-mk3/>.
- [23] *ELECTRONOBS* [online] [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: http://www.electrionoobs.com/eng_arduino_breadboard8MHZ.php.
- [24] *Engbedded Atmel AVR® Fuse Calculator* [online] [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <http://www.engbedded.com/fusecalc/>.
- [25] REIF, Jiří. *Metody matematické statistiky*. 2004. ISBN 80-7043-302-7
- [26] *Služby CRA IoT* [online] [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.cra.cz/sluzby-iot>.
- [27] *mySmartUSB light - AVR ISP programmer* [online] [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://shop.myavr.com/index.php?sp=article.sp.php&artID=200006>.
- [28] *Mapy pokrytí* [online] [cit. 2019-05-29]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/mapa-pokryti/>.

- [29] *NarrowBand IoT* [online] [cit. 2019-05-29]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/2016/04/30/narrowband-iot/>
- [30] *Co je NB – IoT* [online] [cit. 2019-05-29]. Dostupné z: <https://www.vodafone.cz/internet-veci/>.
- [31] *Arduino průtokoměr 1-30L/min* [online] [cit. 2019-05-30]. Dostupné z: https://arduino-shop.cz/arduino/831-arduino-prutokomer-1-30l-min.html?gclid=EAIaIQobChMI34Lg-dTD4gIVGs13Ch2ILwscEAYYASABEgIE9PD_BwE.
- [32] *Original Arduino MKRFOX1200* [online] [cit. 2019-05-30]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/5181-arduino-mkrfox1200.html>.

8. Přílohy

Seznam příloh

1. Naměřená data pro výpočet chyb měření. 44
2. Graf výpočetní funkce (V_{min}) a naměřených dat. 45
3. Fotografie zařízení. 46
4. Kompletní program pro režim přerušovaného měření. 47
5. Výkresy schématu zařízení, DPS a mechanické konstrukce. 49

Příloha 1

Tabulky obsahují naměřené objemy V_{celk} pro 6 l a V_{konst} pro 4 l při konstantím průtoku. Následně jsou uvedeny vypočítané chyby měření. Doba jedné otáčky je zprůměrovaná hodnota.

Tabulka 8.1: Naměřené hodnoty pro dobu jedné otáčky 150 ms

číslo měření	Δt (ms)	V_{celk} (l)	V_{konst} (l)	ΔV_{celk} (l)	ΔV_{konst} (l)
1	150	5.73	3.66	0.27	0.34
2	150	6.02	3.92	0.02	0.08
3	150	5.99	3.95	0.01	0.05
4	150	5.87	3.89	0.13	0.11
$\Delta \bar{V}$ (l)				0.11	0.15
$\delta \bar{V}$ (%)				1.79	3.63

Tabulka 8.2: Naměřené hodnoty pro dobu jedné otáčky 950 ms

číslo měření	Δt (ms)	V_{celk} (l)	V_{konst} (l)	ΔV_{celk} (l)	ΔV_{konst} (l)
1	950	5.62	3.84	0.38	0.16
2	950	5.81	3.85	0.19	0.15
3	950	5.89	3.92	0.11	0.08
4	950	5.88	3.92	0.12	0.08
$\Delta \bar{V}$ (l)				0.20	0.12
$\delta \bar{V}$ (%)				3.33	2.94

Tabulka 8.3: Naměřené hodnoty pro dobu jedné otáčky 655 ms

číslo měření	Δt (ms)	V_{celk} (l)	V_{konst} (l)	ΔV_{celk} (l)	ΔV_{konst} (l)
1	655	6.2	3.89	0.2	0.11
2	655	6.13	3.99	0.13	0.01
3	655	6.14	3.91	0.14	0.09
4	655	6.28	4.05	0.28	0.05
$\Delta \bar{V}$ (l)				0.19	0.06
$\delta \bar{V}$ (%)				3.13	1.63

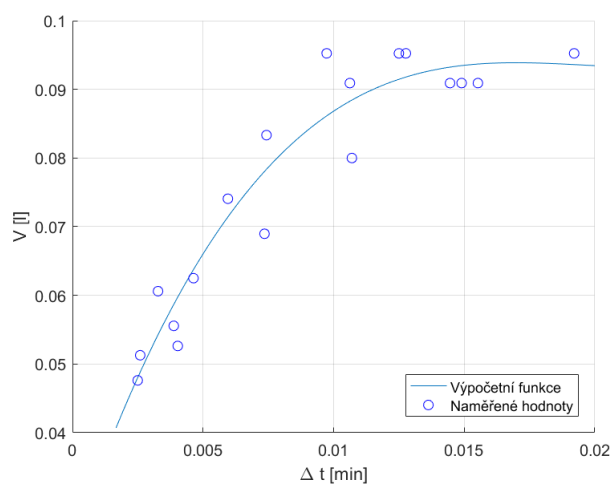
Tabulka 8.4: Naměřené hodnoty pro dobu jedné otáčky 325 ms

číslo měření	Δt (ms)	V_{celk} (l)	V_{konst} (l)	ΔV_{celk} (l)	ΔV_{konst} (l)
1	325	6.14	4.03	0.14	0.03
2	325	6.13	4.14	0.13	0.14
3	325	6.35	4.07	0.35	0.07
4	325	6.07	3.96	0.07	0.04
$\Delta \bar{V}$ (l)				0.1	0.07
$\delta \bar{V}$ (%)				2.88	1.75

Tabulka 8.5: Naměřené hodnoty pro dobu jedné otáčky 575 ms

číslo měření	Δt (ms)	V_{celk} (l)	V_{konst} (l)	ΔV_{celk} (l)	ΔV_{konst} (l)
1	575	5.85	3.8	0.15	0.2
2	575	5.92	3.99	0.08	0.01
3	575	5.76	3.81	0.24	0.19
4	575	5.71	3.73	0.29	0.27
$\Delta \bar{V}$ (l)				0.19	0.17
$\delta \bar{V}$ (%)				3.17	4.19

Příloha 2

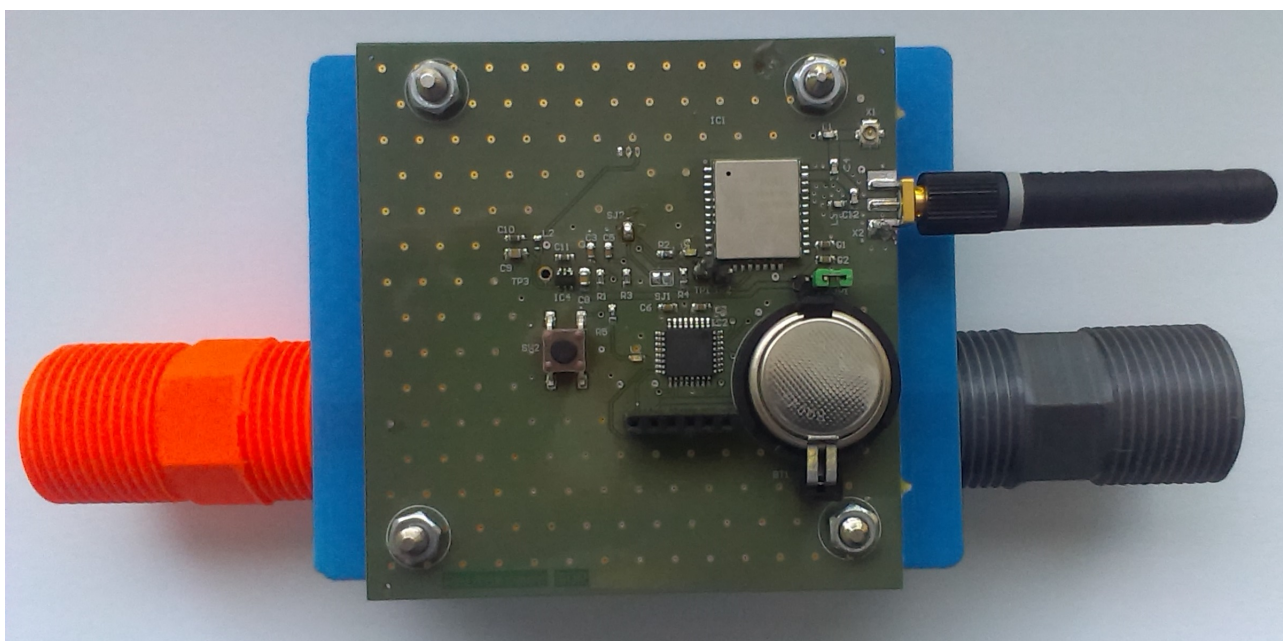


Obrázek 8.1: Graf aproximační funkce (V_{min}) a naměřených dat

Příloha 3



Obrázek 8.2: Fotografie zařízení (pohled zepředu)



Obrázek 8.3: Fotografie zařízení (pohled zezadu)

Příloha 4

```
#include <avr/interrupt.h>
volatile int cnt = 0;
int cnt_predchozi = 0;
unsigned long cas = 0;
unsigned long cas_predchozi = 0;
unsigned long cas_celkovy = 0;
double objem = 0;
double prutok = 0;
double prutok_za_min = 0;
double cas_celkovy_min = 0;
int const CAS_ODESILANI = 16000; // odesilani dat po 16 s
int zaznam = 0;
int const POCET_ZAZNAMU=CAS_ODESILANI/100; //100<min. doba jedne
    ↪ otacky = velikost pole je vice nez dostatecna
double prutok_zaznam[POCET_ZAZNAMU];
unsigned long posledni_odeslani = 0;
char zprava[4];
double prutok_prumer = 0;
void setup() {
Serial.begin(9600);
pinMode(A0, INPUT);
PCICR |= B00000010;
PCMSK1 |= B00000001;
sei();
}

ISR(PCINT1_vect) {
    if(digitalRead(A0)==HIGH) //reakce jen na nabeznou hranu
    { cnt++;
        cas = millis();
        cas_celkovy = cas - cas_predchozi;
        cas_predchozi = cas;
    }
    if ((cnt != cnt_predchozi) && (cnt != 1) ) {
        if ((100 < cas_celkovy) && (cas_celkovy < 1200)) {
            objem += 0.0237446920917642 +
                ↪ 0.000184986794541955 * cas_celkovy -
                ↪ 1.60441684215259 * pow(10, -7) * pow(
                ↪ cas_celkovy, 2) + 4.55788900143354 * pow
                ↪ (10, -11) * pow(cas_celkovy, 3);
            cas_celkovy_min = (double)cas_celkovy / 60000;
            prutok = 0.0237446920917641 + 11.0992076725174 *
                ↪ cas_celkovy_min - 577.590063174938 * pow(
                ↪ cas_celkovy_min, 2) + 9845.04024309662 *
                ↪ pow(cas_celkovy_min, 3);
            prutok_za_min = prutok * (1 / cas_celkovy_min);
        }
    }
}
```

```

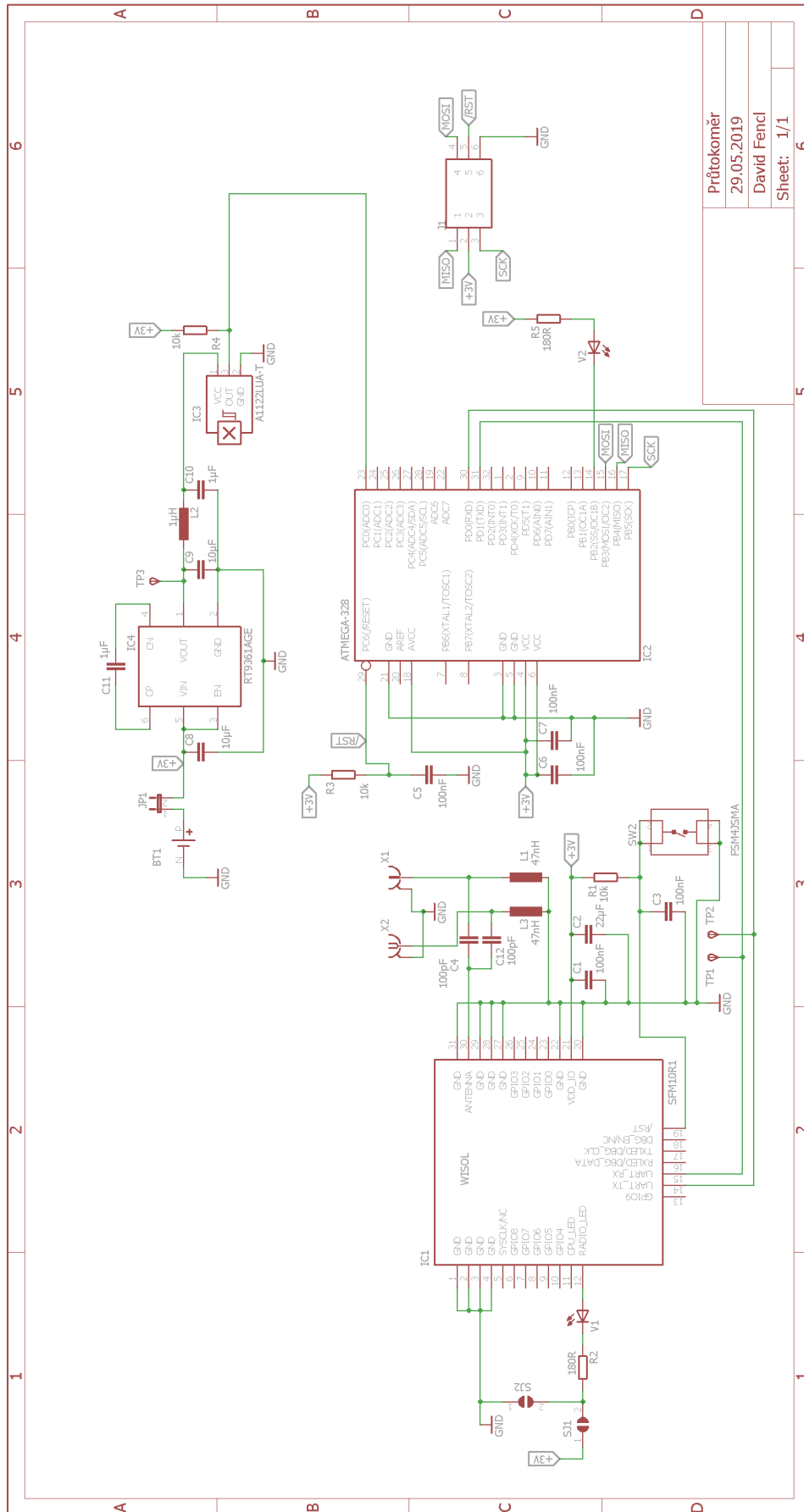
        prutok_zaznam[zaznam] =prutok_za_min;
        zaznam++;
    }
}
cnt_predchozi = cnt;
}

void prumer() {
int b = 0;
    for (int a = 0; a < POCET_ZAZNAMU; a++) {
        if (prutok_zaznam[a] != 0) {
            b++;
            prutok_prumer += prutok_zaznam[a];
        }
    }
prutok_prumer = prutok_prumer / b;
zaznam = 0;
memset(prutok_zaznam, 0, POCET_ZAZNAMU);//vynulovani pole
}

void odeslat() {
prumer();
sprintf(zprava, "%04X%04X", (int)(prutok_prumer*100), (int)(objem*100))
    ↪ ;
Serial.print("AT$SF=");
Serial.println(zprava);
posledni_odeslani = millis();
prutok_prumer=0;
}

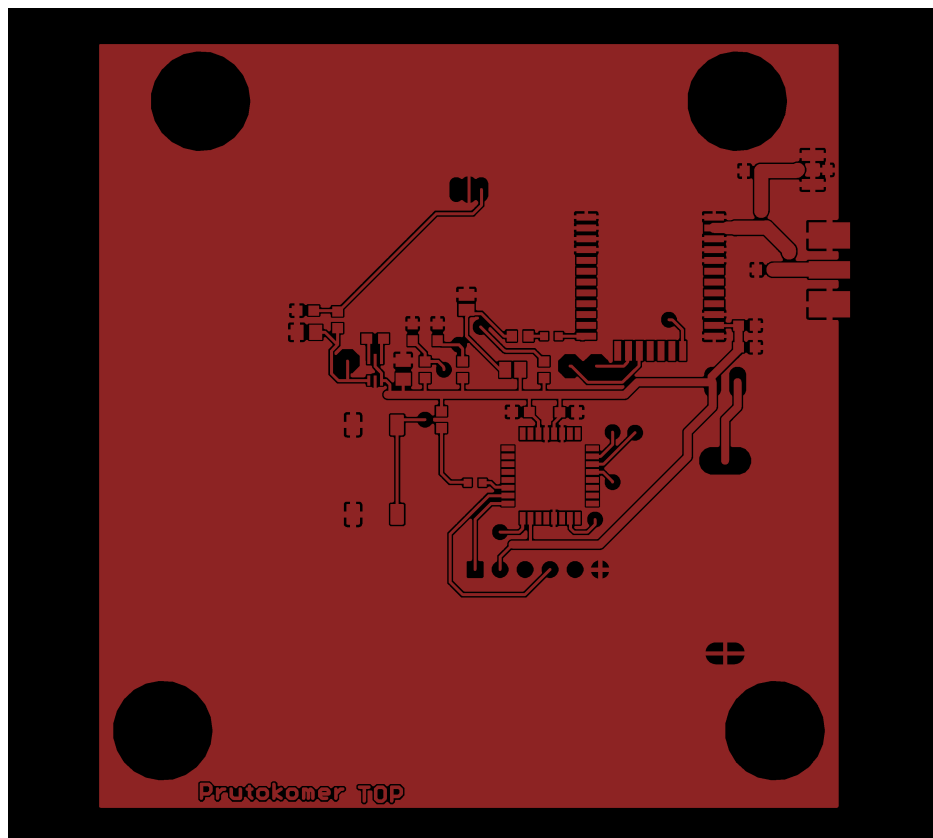
void loop() {
    if (posledni_odeslani == 0)
    {
        if (CAS_ODESILANI <= millis())//prvni odeslani
        { odeslat();
        }
    }
    if ((millis() - posledni_odeslani) >= CAS_ODESILANI)
    {
        odeslat();
    }
}
}

```

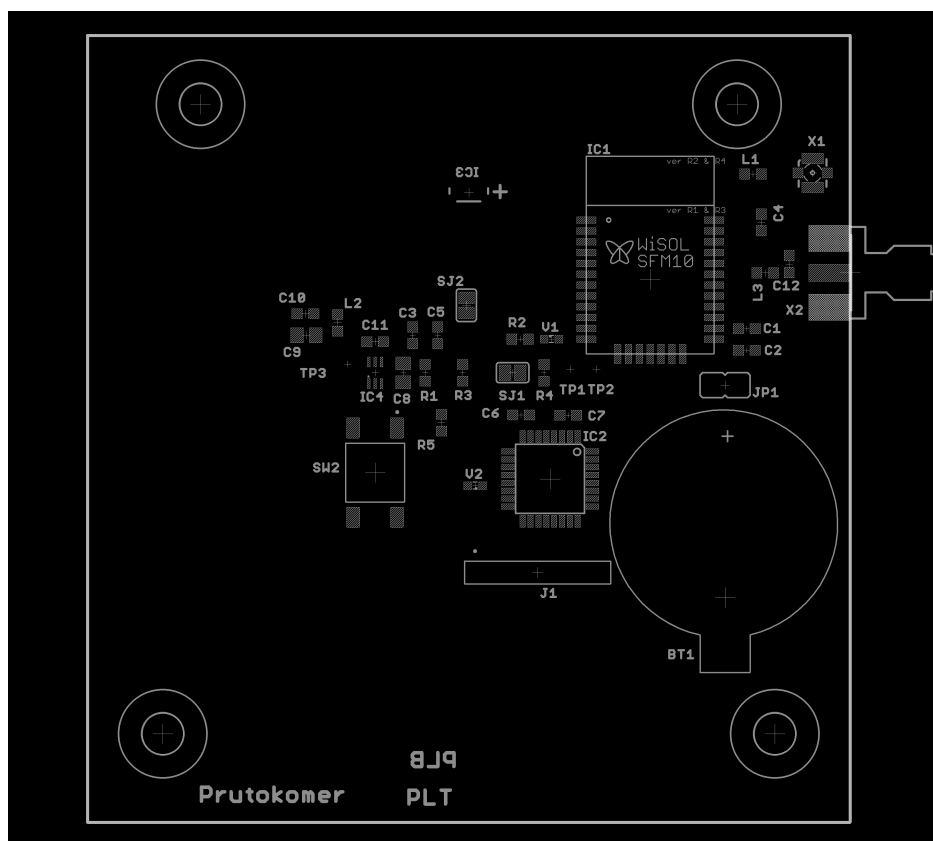


Průtokoměr
29.05.2019
David Fencel
Sheet: 1/1

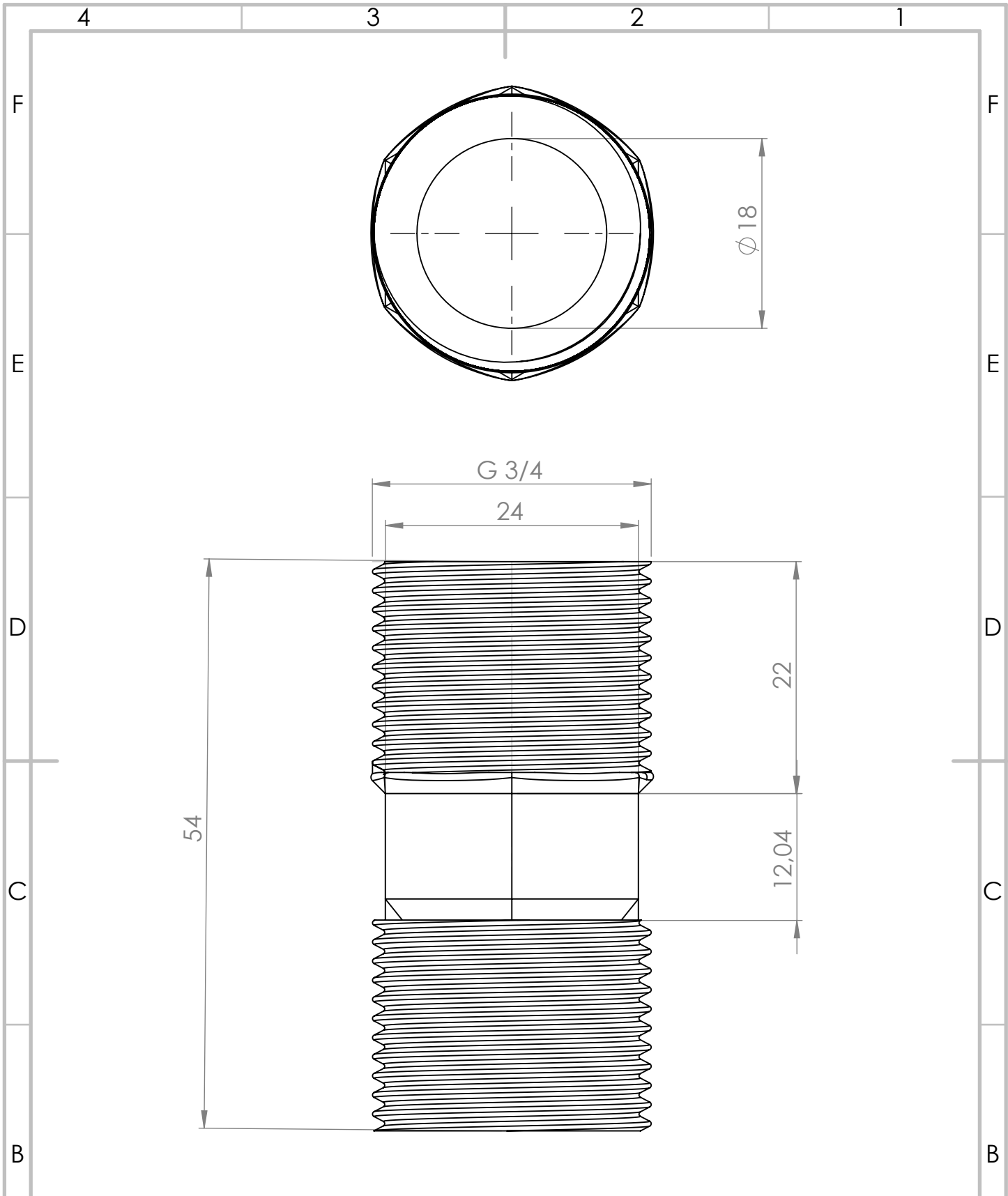
Obrázek 8.4: Schéma průtokoměru



Obrázek 8.5: Vrchní vodivá vrstva DPS



Obrázek 8.6: Osazovací výkres DPS



POKUD NENÍ UVEDENO JINAK:
 JEDNOTKY JSOU V MILIMETRECH
 DRSNOST:
 TOLERANCE:
 LINEÁRNÍ:
 ÚHLOVÁ:

OPRACOVÁNÍ:

ODSTRANIT
 OSTRÉ HRANY

NEUPRAVOVAT MĚŘÍTKO VÝKRESU

ZMĚNA

	JMÉNO	PODPIS	DATUM
NAVRHL	DAVID FENCL		3.5.2019
PŘEZKOUŠEL			
SCHVÁLIL			
VÝROBA			
Z. JAKOSTI			

NÁZEV:

Propojka

MATERIÁL:

PLA

Č. VÝKRESU

1

A4

HMOTNOST:

MĚŘÍTKO:2:1

LIST 1 Z 1 LISTŮ

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

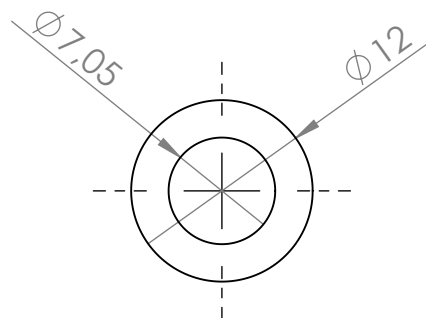
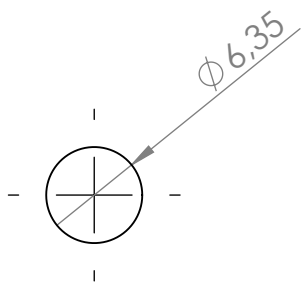
D

C

C

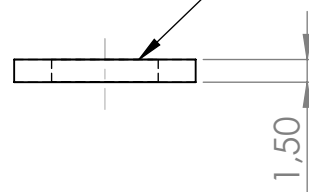
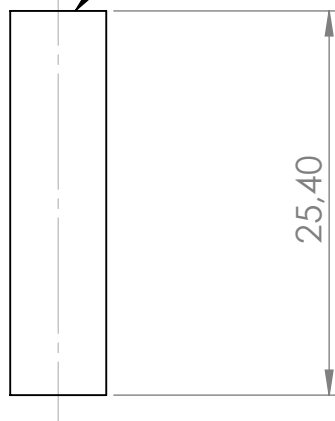
B

B



příčka

sloupek



25,40

1,50

POKUD NENÍ UVEDENO JINAK:
JEDNOTKY JSOU V MILIMETRECH
DRSNOST:
TOLERANCE:
LINEÁRNÍ:
ÚHLOVÁ:

OPRACOVÁNÍ:

ODSTRANIT
OSTŘÉ HRANY

NEUPRAVOVAT MĚŘÍTKO VÝKRESU

ZMĚNA

	JMÉNO	PODPIS	DATUM
NAVRHL	DAVID FENCL		3.5.2019
PŘEZKOUŠEL			
SCHVÁLIL			
VÝROBA			
Z. JAKOSTI			

NÁZEV:

Příčka a sloupek

MATERIÁL:

PLA

Č. VÝKRESU

2

A4

HMOTNOST:

MĚŘÍTKO:2:1

LIST 1 Z 1 LISTŮ

4

3

2

1

A

A

4

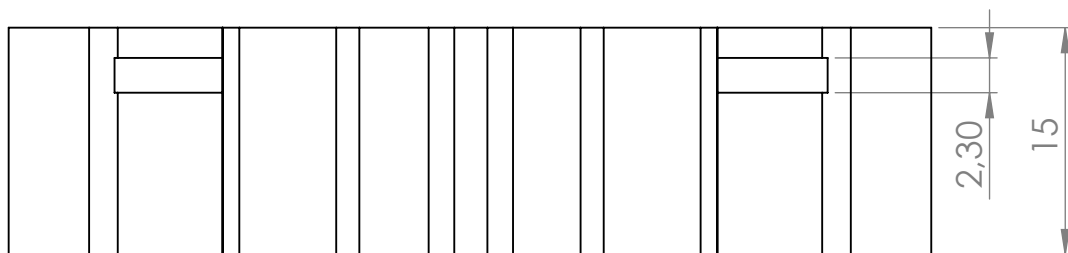
3

2

1

F

F

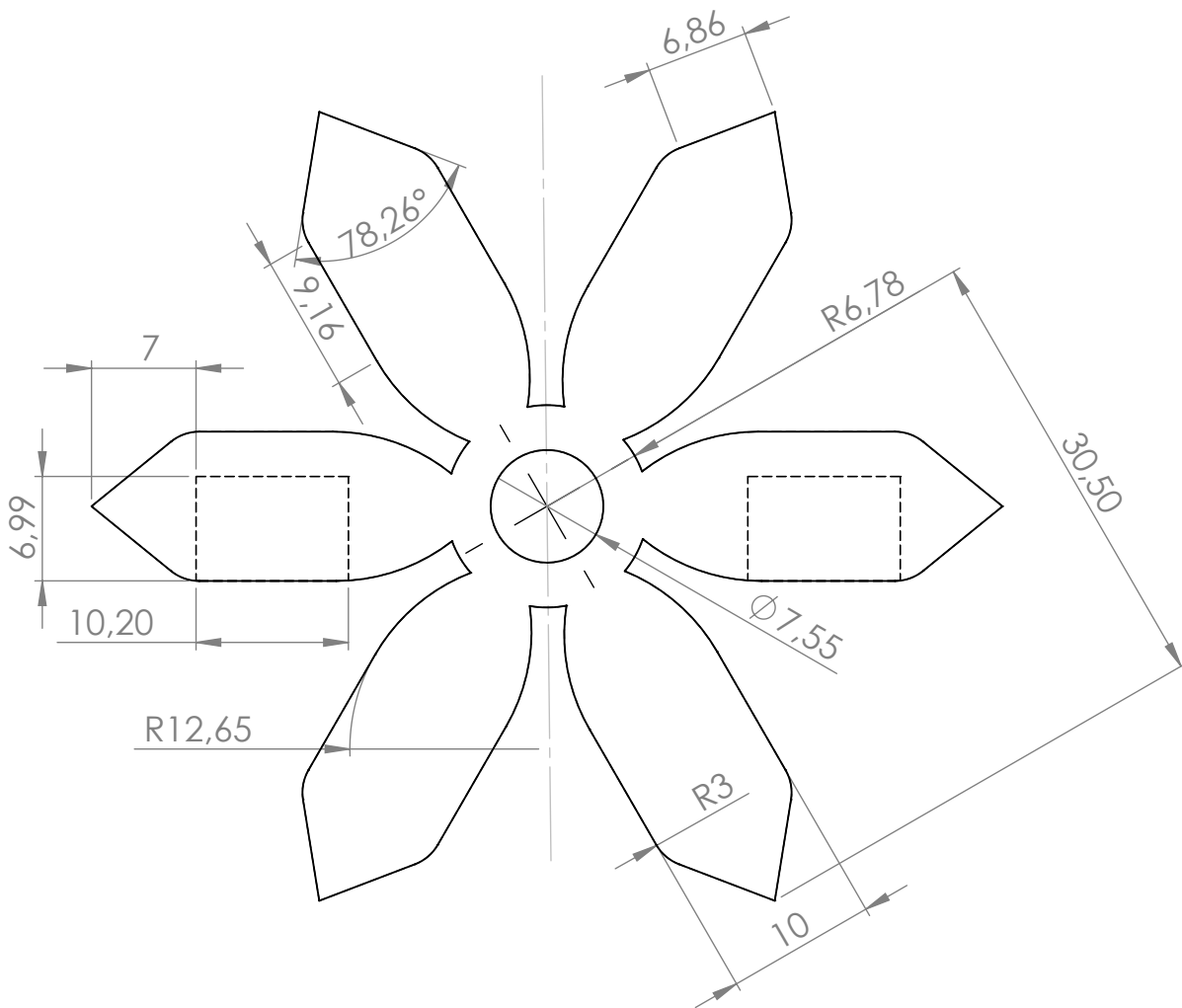


E

E

D

D



C

C

B

B

POKUD NENÍ UVEDENO JINAK:
JEDNOTKY JSOU V MILIMETRECH
DRSNOST:
TOLERANCE:
LINEÁRNÍ:
ÚHLOVÁ:

OPRACOVÁNÍ:

ODSTRANIT
OSTŘÍ HRANY

NEUPRAVOVAT MĚŘÍTKO VÝKRESU

ZMĚNA

	JMÉNO	PODPIS	DATUM
NAVRHL	DAVID FENCL		3.5.2019
PŘEZKOUSEL			
SCHVÁLIL			
VÝROBA			
Z. JAKOSTI			

NÁZEV:

Lopatkové kolo

A

A

MATERIÁL:

PLA

Č. VÝKRESU

3

A4

HMOTNOST:

MĚŘÍTKO:2:1

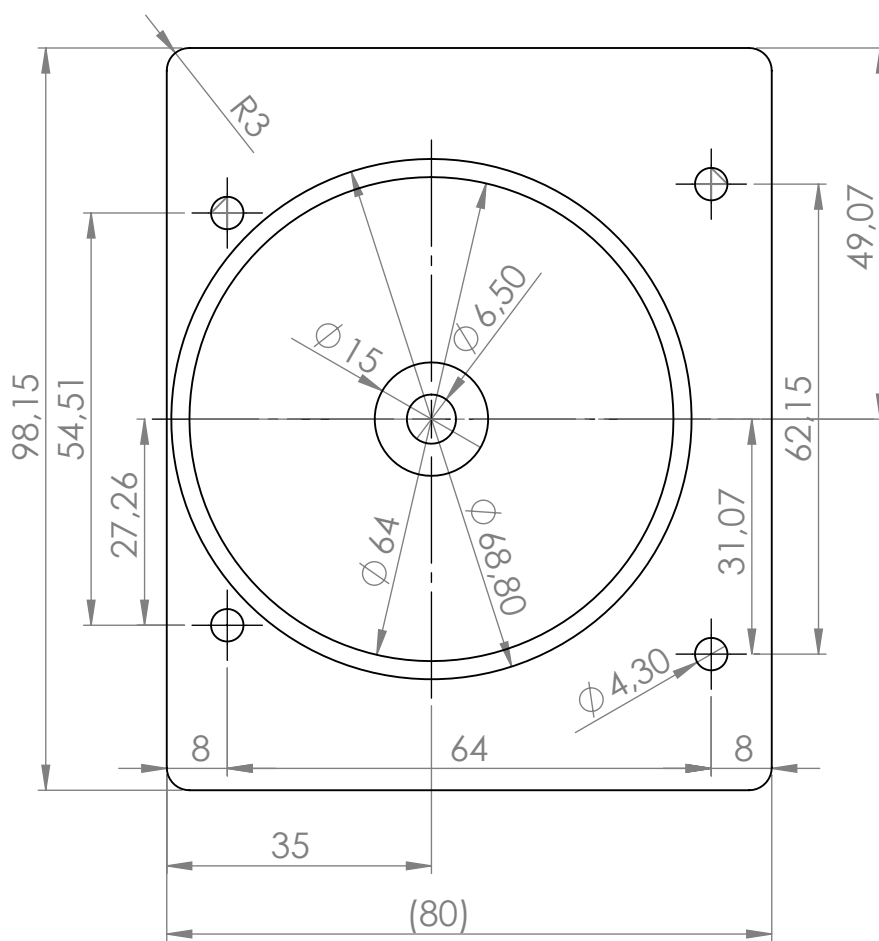
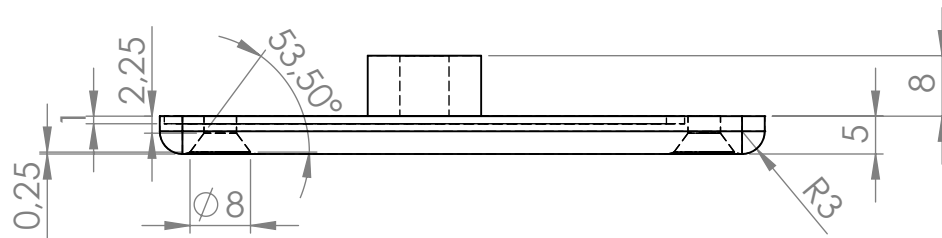
LIST 1 Z 1 LISTŮ

4

3

2

1



POKUD NENÍ UVEDENO JINAK:
JEDNOTKY JSOU V MILIMETRECH
DRSNOST:
TOLERANCE:
LINEÁRNÍ:
ÚHLOVÁ:

OPRACOVÁNÍ:

ODSTRANIT
OSTŘE HRANY

NEUPRAVOVAT MĚŘÍTKO VÝKRESU

ZMĚNA

	JMÉNO	PODPIS	DATUM
NAVRHL	DAVID FENCL		3.5.2019
PŘEZKOUSEL			
SCHVÁLIL			
VÝROBA			
Z. JAKOSTI			

MATERIÁL:

PLA

HMOTNOST:

NÁZEV:

Víko

Č. VÝKRESU

4

MĚŘÍTKO: 1:1

LIST 1 Z 1 LISTŮ

A4

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

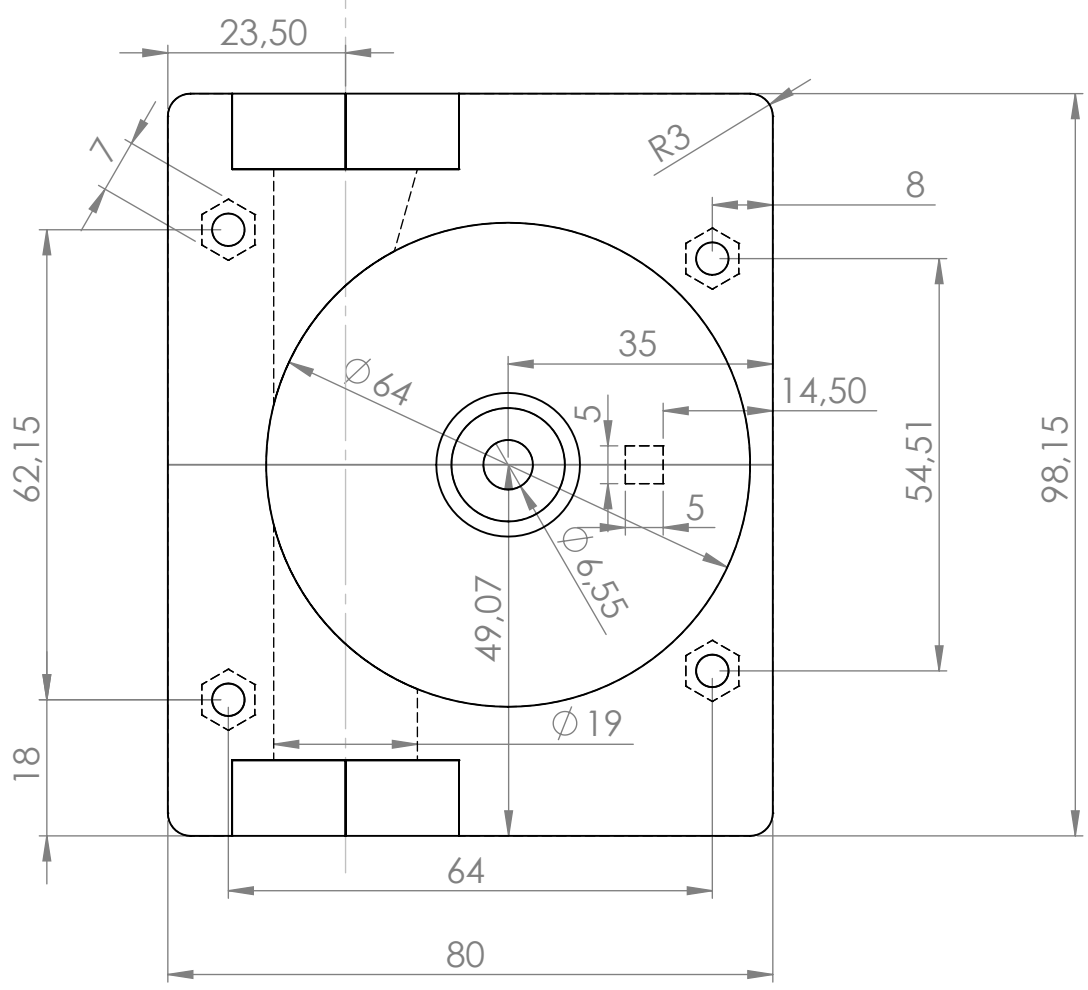
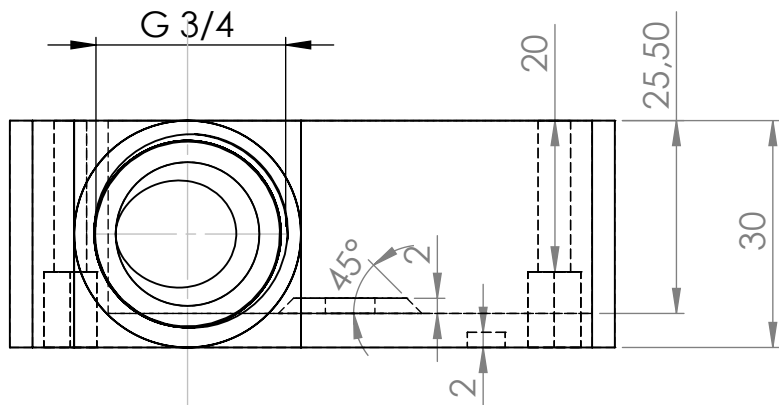
D

C

C

B

B



POKUD NENÍ UVEDENO JINAK:
 JEDNOTKY JSOU V MILIMETRECH
 DRSNOST:
 TOLERANCE:
 LINEÁRNÍ:
 ÚHLOVÁ:

OPRACOVÁNÍ:

ODSTRANIT
OSTŘE HRANY

NEUPRAVOVAT MĚŘÍTKO VÝKRESU

ZMĚNA

	JMÉNO	PODPIS	DATUM	
NAVRHL	DAVID FENCL		6.5.2019	
PŘEZKOUSEL				
SCHVÁLIL				
VÝROBA				
Z. JAKOSTI				

NÁZEV:	Tělo		
Č. VÝKRESU	5	A4	
MĚŘÍTKO: 1:1			
HMOTNOST:			

4

3

2

1

A

A

LIST 1 Z 1 LISTŮ