

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Přípravek pro základní detekci znečištění odpadní vody z běžné
domácnosti**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Václav VALENTA**
Osobní číslo: **E13B0232P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**
Název tématu: **Přípravek pro základní detekci znečištění odpadní vody z běžné domácnosti**
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 :

Cíle práce je navrhnout přípravek, který bude schopen elektronicky rozlišit základní typy znečištění odpadní vody z běžné domácnosti.

1. Analyzujte základní detekovatelné druhy znečištění odpadní vody z koupelny a kuchyně v běžné domácnosti.
2. Vyhledejte a porovnejte komerčně dostupné analyzátory kvality vody a jednotlivé senzory.
3. Navrhněte vlastní elektronický přípravek pro měření kvality odpadní vody.
4. Zařízení naprogramujte, zprovozněte a otestujte v laboratorních podmínkách.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

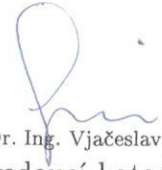
Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jindřich Křivka**
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2015**
Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2016**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

Abstract

This thesis is focused on the pollution detection possibilities in waste water in regular households for its eventual recycling. The thesis is described a breakdown of basic pollution detection methods and their application into the electronic device. The main goal is the comparing of different water property measurement methods. And their further practical using for developing of a detector which will be able to detect the primary pollution sorts. The designed methods were verified in laboratory conditions.

Key words

recycling, photoresistor, the induced voltage, waste water, chemical pollution, microcontroller, analysis

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

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

.....

podpis

V Plzni dne 1.6.2016

Václav Valenta

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Jindřichu Křivkovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Jířímu Žahourovovi nejen za velice přínosné a užitečné rady při osazování a oživování vlastního elektrického přípravku.

OBSAH

1	SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	9
	SYMBOLY.....	9
	ZKRATKY.....	10
2	ÚVOD.....	12
	TEORETICKÁ ČÁST.....	14
3	VODA A DOMÁCNOSTI.....	14
	3.1 SPOTŘEBA A VYUŽITÍ VODY V BĚŽNÉ DOMÁCNOSTI.....	14
	3.2 MOŽNOSTI RECYKLACE A ODVODU ODPADNÍCH VOD.....	15
4	ZNEČIŠTĚNÍ VODY V DOMÁCNOSTI.....	17
	4.1 NEJČASTĚJŠÍ ZNEČIŠTĚNÍ VODY V DOMÁCNOSTECH.....	17
	4.2 DRUHY ZNEČIŠTĚNÍ.....	17
	4.2.1 Chemické znečištění.....	18
	4.2.2 Mechanické znečištění.....	20
	4.2.3 Bakteriální znečištění.....	21
5	METODY ELEKTRICKÉHO MĚŘENÍ ZNEČIŠTĚNÍ VODY.....	22
	5.1 OPTICKÁ METODA MĚŘENÍ.....	23
	5.2 KONTAKTNÍ METODA MĚŘENÍ VODIVOSTI.....	26
	5.3 BEZKONTAKTNÍ METODA MĚŘENÍ VODIVOSTI.....	27
	5.3.1 Princip měření.....	27
	5.3.2 Typické provedení snímače.....	28
6	KOMERČNÍ ANALYZÁTORY ZNEČIŠTĚNÍ VODY.....	29
	6.1 PROVEDENÍ KOMERČNÍCH ANALYZÁTORŮ KVALITY VODY.....	29
	6.2 PROVEDENÍ KOMERČNÍCH SENZORŮ URČENÝCH K ANALÝZE VODY.....	30
	PRAKTICKÁ ČÁST.....	32
7	VLASTNÍ PŘÍPRAVEK.....	32
	7.1 VÝBĚR SENZORŮ.....	32
	7.2 VÝROBA VLASTNÍCH SENZORŮ.....	33
	7.2.1 Bezkontaktní měřicí senzor.....	33
	7.2.2 Optický senzor.....	34
	7.2.3 Dimenzování senzorů.....	34
	7.2.4 Zkušební měření bezkontaktního senzoru (laboratorní měření).....	35
	7.3 TVORBA PROTOTYPU NA PLATFORMĚ ARDUINO.....	37
	7.4 NÁVRH A REALIZACE DPS.....	39
	7.4.1 Návrh DPS v programu Eagle.....	39
	7.4.2 Výroba a osazování DPS.....	42
	7.4.3 Oživování DPS.....	43
8	TVORBA PROGRAMU PRO MCU.....	45
	8.1 VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ CODEWARRIOR.....	45
	8.2 FUNKCE VÝVOJOVÉHO DIAGRAMU.....	45
	8.3 PŘERUŠENÍ.....	46
9	UŽIVATELSKÉ ROZHŘANÍ.....	47

9.1	VÝVOJOVÉ PROSTŘEDÍ VISUAL STUDIO.....	47
9.2	POPIS FUNKCE PROGRAMU V C#.....	47
10	TESTOVÁNÍ DETEKTORU.....	48
11	ZÁVĚR.....	52
12	ZDROJE:.....	53
13	PŘÍLOHY.....	1
	PŘÍLOHA A - BLOKOVÉ SCHÉMA PROGRAMU PRO MCU.....	1
	PŘÍLOHA B - LABORATORNÍ MĚŘENÍ BEZKONTAKTNÍHO SENZORU.....	2
	PŘÍLOHA C - KOMERČNÍ ANALYZÁTORY.....	4
	PŘÍLOHA D - NÁVRH A VÝROBA DPS.....	5

1 SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

$U[V]$	Napětí
$\lambda[nm]$	Vlnová délka (λ)
$G[S]$	Elektrická vodivost
$\gamma[S/m]$	Měrná vodivost (konduktivita)
$S[m^2]$	Plocha
$l[m]$	Délka
$U_m[V]$	Indukované napětí
$U_n[V]$	Výstupní napětí zdroje
$K[-]$	Poměr závitů cívek
$Z[\Omega]$	Impedance
$L[H]$	Indukčnost
$\mu_0[H/m]$	Permeabilita vakua
$\mu_r[-]$	Relativní permeabilita
$N[-]$	Počet závitů
$r_s[m]$	Střední poloměr
$t[s]$	Čas

Zkratky

ČOV	Čistírny odpadních vod
NaCl	Chlorid sodný (kuchyňská sůl)
MCU	Mikrokontrolér (Microcontroller Unit)
PC	Osobní počítač (Personal Computer)
UV	Ultrafialové záření
DNA	Deoxyribonukleová kyselina (deoxyribonucleic acid)
LED	Dioda emitující světlo (Light-Emitting Diode)
TR1,TR2	Transformátor
f_m	Frekvence měřícího obdélníkového signálu
I/O	Vstupně výstupní brána mikrokontroléru
A/D	Analogově/Digitální převodník
ADC_Input	Vstup Analogově/Digitálního převodníku
WiFi	Bezdrátová komunikace počítačových sítí
USB	Univerzální sériová sběrnice (Universal Serial Bus)
DPS	Deska plošných spojů
UART	Asynchronní sériové rozhraní
SMD	Součástky pro povrchovou montáž plošných spojů
BOT	Spodní strana desky plošných spojů
THT	Součástky s drátovými vývody pro montáž plošných spojů

SC	Zapojení bipolárního tranzistoru se společným kolektorem
OZ	Operační zesilovač
H ₂ O	Chemická značka vody

2 ÚVOD

Voda je základní podmínkou života. Lidské tělo obsahuje 70% a rostliny až 90% vody. Voda je nejdůležitější surovinou všech průmyslových odvětví. Je základní podmínkou rostlinné a živočišné výroby. Zdroje pitné vody jsou omezené, proto je třeba hledat různé cesty využití odpadních vod v běžných domácnostech.

Tato bakalářská práce je věnována způsobům analýzy odpadní vody a následné aplikaci těchto poznatků při tvorbě vlastního elektronického přípravku pro detekci znečištění odpadních vod. Součástí práce je také základní přehled komerčních analyzátorů vody. To podmínilo vytvoření teoretického přehledu jednotlivých způsobů znečištění odpadní vody a možností jejich detekce.

Cílem práce je návrh, vývoj a následná kompletace vlastního elektrického přípravku pro detekci základních druhů znečištění odpadních vod za pomoci dosažených znalostí z teoretické části. Následné laboratorní měření ověřuje schopnost detektoru detekovat vodu a rozpoznat její případné znečištění.

Téma je aktuální zejména z důvodu zvýšené poptávky po možnosti znovu využívat odpadní vody. S tím souvisí nutnost odpadní vodu účinným způsobem analyzovat a na základě této analýzy určit její schopnost dalšího využití. Analyzátory detekující parametry čisté vody, případně látky v chemických provozech jsou dnes již běžnou a nezbytnou praxí. Ovšem možnost ušetřit velké množství přírodních zdrojů a financí v prostředí běžných domácností nemá doposud své větší využití.

Samotnou práci je možné rozdělit do dvou hlavních částí. Jak část teoretická, tak část praktická jsou dále členěny do podkapitol zabývajících se řešením jednotlivých problematik. Teoretická část se zabývá především teorií využití vody v domácnostech, způsoby elektrického měření parametrů vody a samotným provedením těchto snímačů a analyzátorů. Praktická část je pak zaměřena na výběr a výrobu vlastních snímačů. Toto doplňuje zkušebními laboratorními měřeními pro ověření jejich předpokládaných parametrů a funkčností. Poté se zabývá návrhem, výrobou, osazením a oživením vlastní DPS pro řízení, zpracování a odesílání dat ze senzorů. Důležitým úsekem praktické části je tvorba programů, jak pro samotné MCU, řídicí měřicí procesy, tak i programu v PC zpracovávajícího naměřená data, která jsou do PC přenášena z analyzátoru za pomoci USB rozhraní.

Vzhledem k velkému rozsahu využití měření vlastností vody je i na trhu velký počet výrobců produkujících senzory, ale i celé měřicí stanice. Převážná většina těchto produktů pracuje na stejném nebo velice podobném principu měření. Z tohoto důvodu nebyl cílem práce výpis konkrétních produktů od daných výrobců, ale vytvoření přehledu dostupných metod, senzorů a analyzátorů na trhu.

TEORETICKÁ ČÁST

3 VODA A DOMÁCNOSTI

Voda je nejdůležitější věcí, kterou člověk ke svému životu potřebuje. Právě proto má tuto surovinu přivedenu do domácnosti každý, kdo má tu možnost. Vodu je možné získávat z různých zdrojů podle možností, lokality pobytu nebo finanční dostupnosti. Převážně se zavádí voda pitná, která při požití nemá způsobit žádné zdravotní potíže. Je možná také instalace užitkové vody, která se používá především pro pomocné a sekundární úkony v domácnostech. Nejčastější možnosti získávání vody pro běžné potřeby jsou obecní nebo městské vodovodní řady, individuální či společné studny, zachytávání pramenů aj.

Po využití této pitné vody, ať už pocházela z jakéhokoliv zdroje, je potřeba ji opět odvést. Dnes již nepoužíváme pouhé vypouštění do řek, jako tomu bylo zvykem na počátku 20. století. Především v městech je dnes nejčastějším řešením odvod odpadní vody pomocí kanalizace do místa centrálního čištění, kde prochází čistícími procesy, aby bylo možné ji opět využívat jako vodu pitnou. Alternativou veřejné kanalizace jsou pro domácnosti, které nemají tuto možnost připojení, septiky a podobná zařízení pro skladování a zpracování odpadní vody.

Pro omezení množství odpadních vod je žádoucí analyzovat odpadní vodu a rozhodnout o opětovné použitelnosti této vody. Díky tomuto kroku by bylo možné velice výrazně omezit náklady na výstavbu dalších nebo rozšiřování stávajících čistících stanic. Také by se omezily náklady na budování s tímto spojené potrubní infrastruktury. Neméně významným faktorem je také množství čisté vody, které by se tímto krokem ušetřilo a s tím související menší dopady na životní prostředí

3.1 Spotřeba a využití vody v běžné domácnosti

Využívání vody v domácnostech je každodenní činností. Bez vody se dnes žádná domácnost neobejde. V roce 2015 lidé z Prahy a okolí spotřebovaly v průměru 106 l vody denně na osobu.[1] Vodu využíváme téměř v každé části bytu nebo domu. Nejčastěji se jedná o vodu pitnou, ale také je rozšířené užití vody užitkové. Pitná voda je využívána převážně v koupelnách a toaletách, kde se jí spolu s kuchyní spotřebuje největší množství. V koupelnách je velice časté využívání a následné odvádění vody, která by mohla svým velice nízkým a neškodným znečištěním posloužit v dané

domácnosti na jiné, z hlediska čistoty vody méně náročné úkony. Při těchto sekundárních využitích, jako je například splachování toalety, by bylo možné ušetřit velké množství často pitné vody. Dále se pitná voda využívá na praní a mytí nádobí; recyklace vody z těchto procesů již není tak vhodná. Při praní se velice často používá velké množství pracích prostředků. Po mytí nádobí voda obsahuje velké množství zbytků potravin. Možnost znovu využívat odpadní vodu, která by vyhovovala odpovídajícím kritériím, je značná. Nejen splachování WC může být způsob využití této vody. Další možností využití takto recyklované vody, při její vysoké čistotě a dostatečné následné filtraci, je při praní prádla. V případě rodinného domu je možno recyklovanou vodu využít ve vnějších prostorách, např. na zalévání trávníků a okrasných zahrad.

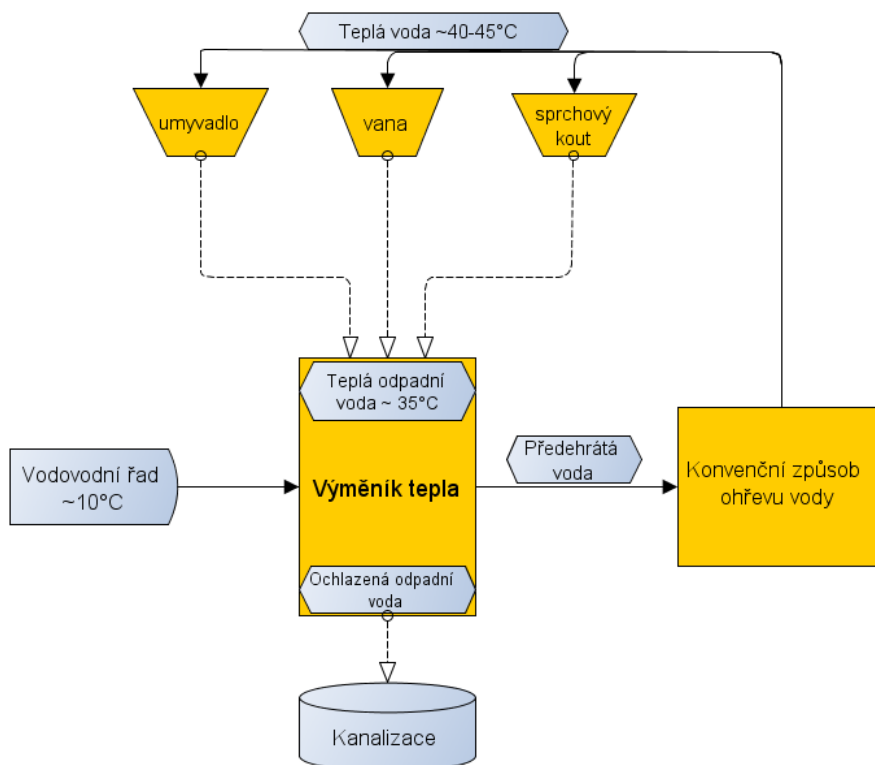
Užitková voda je často využívána tam, kde má domácnost přístup nejen k vodovodnímu řadu, ale také k vlastnímu zdroji vody. Tento zdroj ovšem často nemusí splňovat kritéria pro pitnou vodu. Nejčastějším důvodem je znečištění prosakujícími jímkami z okolí nebo výskyt průmyslové zóny v blízkosti obydlí. Tuto vodu využíváme nejčastěji na zahradách k zalévání a také k napouštění bazénů. Také je možné ji využívat pro práce v garážích a dílnách. Analýza této vody by byla také možná. Ovšem uvážíme-li, že při činnostech, při kterých je využívána užitková voda, dochází k velkému znečištění odpadní vody, nebylo by procento recyklovatelné vody příliš vysoké.

3.2 Možnosti recyklace a odvodu odpadních vod

Odpadní vodu můžeme buď přímo odvádět do kanalizace či vlastní jímkou, nebo ji nadále zpracovávat a určité její množství posléze ještě využívat. Vodou nejvhodnější k následnému druhotnému využití v domácnostech je voda šedá. Jedná se o vodu převážně z koupelen a kuchyní. Neobsahuje fekálie a moč. Objemově je právě šedé vody za celý den vyprodukováno nejvíce, odhadem až okolo 50 % denní produkce odpadní vody domácnosti.

Tuto vodu je vhodné nadále využívat k splachování záchodů a pisoárů. Je ovšem možné využívat nejen samotnou vodu, ale také její energii, kterou může poskytnout k dalšímu využití. Může se jednat o tepelnou energii předanou nově přichozí vodě, která je nazývána vodou bílou, ve speciálních tepelných výměnících, které předají část tepla bílé vodě z vody šedé. Množství vzájemně předané energie závisí na typu výměníku a na vzájemném rozdílu teplot vody šedé a vstupní vody bílé. Tímto způsobem, kdy využíváme tepelné energie šedé vody, se do systému dostává již předehřívána voda,

kteří při pozdějším ohřevu na požadovanou provozní teplotu nebude potřeba dodávat takové množství energie. Způsob tepelné výměny je zobrazen na Obr.1.



Obr. 1: Blokové schéma výměny energie vody

Stále rozšířenějším způsobem zpracování odpadních vod je svod do vlastní ČOV (čistírny odpadních vod). V tomto zařízení je voda nejprve zbavena hrubých nečistot a posléze biologicky čištěna mikroorganismy, které rozkládají nebezpečné látky odpadních vod na zdravotně nezávadné. Takto zpracovaná voda se nadále využívá nejčastěji na zahradě. Usazený kal je potřeba podle velikosti nádrže několikrát ročně externě vyvážet. Dnešní modernější technologie obsažené v ČOV umožňují ovšem také zpětný odběr vody do domácnosti již v kvalitě pitné vody. Díky této rozšiřující možnosti je snížený objem odpadních vod, který se odvádí do veřejné kanalizace. Takovéto případné plošné využívání osobních ČOV, by mohlo vést ke snížení nákladů na výstavbu nových i opravu stávajících kanalizačních potrubí. Nevýhodou jsou nároky na místo potřebné k instalaci, a proto nelze tuto technologii využívat pro menší objekty a byty. Pro ČOV se nejčastěji používá podzemní umístění na zahradách rodinných domů.

4 ZNEČIŠTĚNÍ VODY V DOMÁCNOSTI

4.1 Nejčastější znečištění vody v domácnostech

V domácnosti může vzniknout široká škála znečištění vody, od vody využití v kuchyních, přes vodu vypouštěnou pračkami v koupelnách, až po odpadní vodu vytvořenou na WC. Všechny tyto druhy znečištění se vzájemně odlišují a každé má jiný charakter. Některé je chemické, jiné má spíše mechanický charakter a jiné znečištění může být způsobeno působením mikrobů a jinými biologickými faktory. Veškeré takové znečištění je potřeba před znovupoužitím (recyklací) analyzovat a určit, zda je pro ni vhodné. Je třeba určit, jaký účel má tato recyklovaná voda splňovat, a podle toho vytvořit detektor s požadovanými senzory. Takový detektor by měl být schopen analyzovat jednotlivé základní složky vody a vyhodnotit její případné znovupoužití dle zvolených kritérií.

Chemické znečištění vody je nežádoucí. Nadměrně chemicky znečištěná voda se nadále nemůže účastnit dalšího zpracování a využití, a to ani ke splachování WC, z důvodu možného dlouhodobého působení chemikálií ve vodě obsažených na materiály nádrží uchovávajících tuto vodu určenou k recyklaci. Některé chemické látky by mohly také způsobit zdravotní potíže a komplikace při jejich využívání.

4.2 Druhy znečištění

Některé domácnosti mají zdroj vody z vlastních studní, jiné jsou zásobovány z obecního řádu. Už jen tato skutečnost nám odlišuje vstupní parametry vody, nehledě na její následné využití a znečištění při každodenních potřebách a úkonech.

Po využití vody a jejím odvodu do odpadního potrubí je potřebné toto znečištění analyzovat.

Mezi obecnější a nejvýznamnější druhy znečištění můžeme zařadit chemické znečištění, do kterého spadá široká škála chemikálií používaných denně, ale i některé chemikálie vyskytující se v domácnosti zřídka. Je také možný výskyt chemikálií, které jsou nebezpečné a v odpadním vedení by se vůbec vyskytovat neměly. Chemické znečištění vyskytující se denně může zahrnovat přípravky potřebné k umývání nádobí a přípravky na praní. Další využíváme také v koupelnách na koupání a sprchování, například koupelové soli, pěny, sprchové šampóny a mýdla. Chemické znečištění je schopné velice často degradovat svým působením materiály použité pro rozvod a odvod vody v domácnostech.

Ani neregulovaný odvod velice chemicky znečištěného roztoku do případné kanalizace není vhodný a žádoucí.

Mechanické znečištění vzniká hlavně omýváním potravin v kuchyni, dále sprchováním, mytím v koupelně a dalšími hygienickými úkony. Může se jednat o znečištění od velkých pískových částic až po jemné prachové částičky. Velice často se také v odpadní vodě vyskytují vlasy, nehty a další biologické materiály.

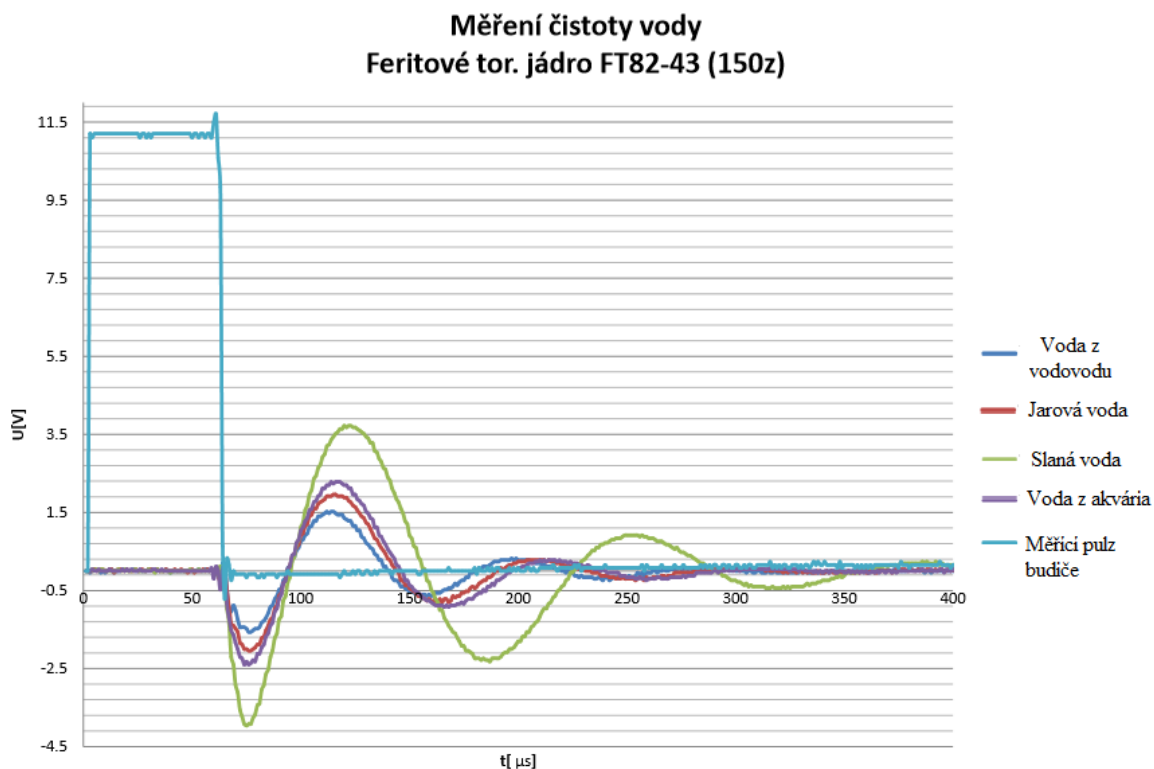
Bakteriální znečištění vzniká všude, kde je dostatek vlhkosti. Proto nelze toto znečištění hned z několika důvodů. Tento druh znečištění nám může znemožnit využití vody k recyklaci, jak z důvodu případného zápachu vody, tak z důvodu dalšího rozmnožování bakterií, plísní a možných chorob šířících se podobným způsobem.

4.2.1 Chemické znečištění

Chemické znečištění vody má ve většině případů za následek hlavně změnu vodivosti vody, ale nemusí zapříčinit změnu viskozity vody nebo optické vlastnosti průhlednosti. Například v důsledku přidání soli do vody se téměř nezmění optické vlastnosti roztoku, ale velice významně se mění vodivost vody. Toto nám dokazuje vlastní laboratorní měření a jeho výsledek popsany grafem (Obr. 2). Při měření slané roztoku, který můžeme také nazývat elektrolytem, bylo dosaženo mnohem vyššího indukovaného napětí oproti měření s obyčejnou vodou z vodovodu. Tento rozdíl je způsoben větší vodivostí slané roztoku. Čím více je obsaženo soli ve vodě, tím více se v ní nachází nosičů náboje. Tyto nosiče náboje nazýváme ionty. Nosiče kladného náboje se nazývají kationty, nosiče záporného náboje anionty, a tak rozpuštěním soli NaCl ve vodě vzniknou procesem zvaným disociace¹ kationty Na⁺ a anionty Cl⁻. Jsou-li následně ponořeny do roztoku elektrody, začnou se kladně nabití ionty přesouvat k záporně nabití elektrodě a opačně. Tento děj představuje elektrický proud procházející roztokem. Z těchto důvodů má přímý vliv na vodivost vody množství solí, kyselin a zásad v ní obsažených. Chemické znečištění je ve většině případů pro recyklaci vody a pro mnoho druhotných účelů použití nežádoucí.

¹-Disociace je rozklad molekuly na jednotlivé ionty. Nejčastěji dochází k disociaci chemických látek jejich rozpuštěním ve vodném roztoku.[7]

Účelem detektoru není přesná analýza a rozbor jednotlivých látek obsažených ve vodě, ale obecné zjištění a přibližná koncentrace znečištění. Při požadavku přesného měření složení by se technické nároky měření zněkolikanásobily a cenová relace by neodpovídala snadno dostupnému měřicímu zařízení.



Obr. 2: Měření elektromagnetických vlastností vody znečištěné vybranými (chemickými) látkami
Použita metoda bezkontaktního měření viz kapitola 5.3.

Pro naše účely je možné rozdělit chemické znečištění do dvou kategorií, jako znečištění přijatelné a nežádoucí. Hlavním úkolem proto bylo z výsledků měření a z určité jejich kombinace určit vyhovující hranici mezi tímto rozdělením. To se stalo důvodem odměření některých odlišných druhů znečištění, se kterými je možné se v běžné domácnosti setkat. Z výsledků měření bylo možné určit základní rastr, podle kterého je možné detekovat znečištění. Přidáním vyhodnocování pomocí optického senzoru a porovnáním obou měření je možné zvýšit přesnost odhadu znečištění vody.

4.2.2 Mechanické znečištění

Pod pojmem mechanické znečištění si můžeme představit znečištění, které je způsobeno především částicemi, které nejsou rozpustné ve vodě a tím pádem se v ní i pohybují.

Tímto znečištěním mohou být myšlena například zrna písku, hlína a různé částice v ní obsažené, nehty, vlasy nebo chlupy. V jistém případě a v malém množství je tato kontaminace zanedbatelná. Takto mechanicky znečištěná voda je vhodná pro následnou recyklaci. Pro účely splachování na WC je toto znečištění zanedbatelné a nevýznamné.

Pro elektrickou detekci mechanického znečištění se jeví jako nejvíce vhodná optická metoda měření. Tato metoda dokáže přímo rozeznat přítomnost mechanické částice díky zastínění měřicího paprsku touto nečistotou.

Pokud je detekováno malé množství menších částic, je voda vhodná k následné recyklaci. Je důležité, a také přímo žádoucí, v systému navrhnout a vhodně zapojit filtr mechanických částic. Tento filtr eliminuje toto mechanické znečištění podle typu filtru, a tak dále do oběhu proteče již jen přefiltrovaná voda. Tato voda není nezávadná, je pouze zbavena velkých a významných nečistot. Tento filtr mechanických částic je však nutné průběžně kontrolovat a čistit od zachycených nečistot, aby bylo možné zachovat jeho plnou funkci. Velkým nebezpečím hrozícím od mechanických nečistot je jejich nahromadění v zúžených částech potrubí, což může způsobit jeho ucpání.

Voda obsahující větší množství částic, než je povolené zvoleným kritériem, je dále vypuštěna do kanalizace. Pro případ rodinného domu je možnost i takto znečištěnou vodu odvést na zahradu a zde ji využívat k účelům zalévání.

Biologické znečištění je dalším druhem znečištění, s kterým se u šedé odpadní vody můžeme setkat. Tento druh znečištění může mít největší vliv na zdraví člověka. Jakýkoliv nežádoucí zvýšený kontakt s bakteriemi nebo mikroby může způsobit zdravotní potíže.

Biologické znečištění se již dnes dá částečně analyzovat za provozu. Poukazují na to výzkumy a vývoj firmy SBT Aqua, ve spolupráci s technickou univerzitou v Denmarku. Ta vytvořila senzor umožňující tuto detekci v reálném čase. Detektor je založen na principu měření impedance prostředí. Samotné ústrojí senzoru je vytvořeno z mnoha mikrofluidických kanálků. Každý z kanálků obsahuje

několik elektrod. Každý druh bakterie má dle výzkumu rozdílnou impedanci. Vlastním protékáním mění impedanci mezi elektrodami a zařízení je schopno analyzovat znečištění. Vhodným zpracováním naměřených údajů jsou následně schopni určit druh a množství daného druhu bakterie. [5]

4.2.3 Bakteriální znečištění

Znečištění vody biologickými složkami se dá eliminovat případným použitím UV zářičů. Použití UV záření eliminuje až 99,9% bakterií, virů a jiných mikroorganismů, tím zvyšuje čistotu vody, a tak možnost jejího dalšího použití. UV záření proniká ochrannou bariérou bakterie, kterou tvoří cytoplazmatická membrána, do jádra a napadá DNA. Tím ji fotochemicky poškodí, a tak zastaví jakoukoli další replikaci a napadená buňka odumírá. Jako zdroje UV záření se dají využívat LED vyzařující vlnovou délku ve spektru UV záření.

Nejvíce účinnou vlnovou délkou pro eliminaci mikroorganismů je $\lambda = 253,7\text{nm}$. Pro efektivní eliminaci znečištění při průtokové aplikaci UV zářičů je potřeba zapojení většího počtu UV LED o velkém vyzařovacím výkonu, a tedy větším celkovém elektrickém příkonu. Další možností likvidace mikroorganismů jsou UV zářivky. Zářivky mají vysoký vyzařovací výkon, ale vyžadují jistý čas, než jejich vyzařovací výkon dosahuje maxima, a proto není možné je neustále vypínat a zapínat podle protékající, či neprotékající vody v odpadu. UV ozařování se již v praxi využívá pro ozařování vody přitékající do domácností, kde se již na vstupu do domácnosti nebo vstupu do kohoutku v kuchyni eliminuje biologické znečištění.

Tento způsob čištění je možné realizovat jako průtokový, kde voda určená k recyklaci je ozařována již v potrubí. Další možností je umístění výkonnějších zdrojů záření a tuto metodu aplikovat plošně až v místě shromažďování vody. Plošné ozařování, pro úplnou eliminaci mikroorganismů, je energeticky náročné. Proto je třeba zvážit, zda finance ušetřené recyklací vody nebudou nižší, než pořizovací a provozní náklady spojené s eliminací tohoto druhu znečištění. [8]

5 METODY ELEKTRICKÉHO MĚŘENÍ ZNEČIŠTĚNÍ VODY

K měření znečištění vody se dá využít velké množství principů a metod, které vycházejí buď z chemických, elektrických, optických nebo fyzikálních vlastností vody.

Veškeré vlastnosti vody se dají převádět na požadované elektrické veličiny a ty následně zpracovat pomocí MCU nebo je jiným způsobem využít.

Dnes průmyslově vyráběné senzory pro automatizaci nebo i pro domácnosti využívají unifikované signály. Může se jednat o proudové, napěťové, tlakové nebo číslicové signály. V případě analogových snímačů se jedná o proud v rozmezí 4mA – 20mA. Počátek tohoto rozmezí je zvolen z důvodu poruchy, která by se v případě počátku v 0mA mohla zaměnit za platný signál. U napěťových signálů se jedná o rozmezí 0 – 100mV a 0 – 1V v případě vstupního signálu. Pro výstupní signály je možné pracovat v rozpětí 0 – 10V. Pro prostředí nevhodné anebo nebezpečné k užívání elektrických signálů je využíváno signálů pneumatických, a to v rozsahu 20kPa – 100kPa.

Pro číslicová data jsou též vytvořené určité standardy, podle kterých by se měla data odesílat. Jedním z nejčastěji používaných způsobů je dnes odesílání dat pomocí bezdrátové komunikace. Dalším velmi užívaným způsobem je posílání dat pomocí sběrnic, které se také musí řídit jistými zásadami.

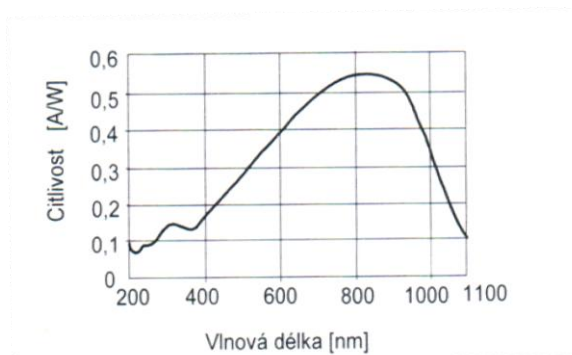
Pro elektrickou detekci čistoty vody se využívá především měření její vodivosti. Dokonale čistá destilovaná voda se chová jako izolant. Až jejím znečištěním a dalšími látkami přimíchanými do vody se stává vodivou. Výsledná vodivost je závislá na množství přidaných látek a na jejich koncentraci obsažené ve vodě. K měření vodivosti vody a jiných látek se využívá více způsobů. Základními způsoby jsou kontaktní a bezkontaktní měření vodivosti. Každé z těchto měření má své přednosti, ale také slabiny. Způsoby použití je potřeba volit individuálně dle prostředí, kde bude senzor instalován. Důležitá je také korekce a kompenzace nevýhod každého z měření. Těchto principů je velice často využíváno, proto se jimi budu dále podrobněji zabývat v kapitole 5.2. *Kontaktní metoda měření vodivosti* a v kapitole 5.3. *Bezkontaktní metoda měření vodivosti*.

5.1 Optická metoda měření

Optické vlastnosti jsou jedním ze základních parametrů čistoty vody. Již pouhým zrakem je možné určit hrubý odhad míry znečištění vody, ovšem pouze látkami pevnými, nerozpustnými ve vodě nebo látkami ovlivňující optické parametry vody. Mezi měřitelné a viditelné optické parametry mohou patřit průzračnost vody a její zbarvení, které jsou opět závislé na míře znečištění vody. Jak jsem již deklaroval v kapitole 4.2.1. *Chemické znečištění*, například znečištění solí ovlivňuje optické parametry vody minimálně. Z těchto důvodů je výhodnější a pro přesnější detekci lepší tuto metodu nevyužívat samostatně, ale kombinovat ji s ještě dalšími.

K měření optických parametrů se využívá několik variant provedení, které lze vzájemně kombinovat. Jako zdroj měřeného záření se využívá LED nebo laserová dioda. Tyto zdroje světelného záření jsou v tomto případě svou elektrickou spotřebou, velikostí, ovladatelností, účinností a cenou nejvhodnější. Pro měření lze využívat část spektra o vlnových délkách 400–800nm, které se nacházejí v oblasti, na které je lidské oko citlivé a označuje se tedy jako viditelné světlo. Nejpoužívanější je vlnová délka v oblasti červeného a infračerveného záření cca (750nm – 1100nm). Toto spektrum je vybíráno z několika důvodů. Infračervené záření je minimálně ovlivňováno viditelným spektrem světla, proto může být měření prováděno i za běžného osvětlení. Měření tedy není tolik ohroženo parazitním zářením dopadajícím na měřicí člen.

Dalším důvodem volby tohoto rozsahu je citlivost měřicího členu, kterým bývá křemíková fotodioda citlivá na dopadající záření. Právě její citlivost je nejvyšší v oblasti infračerveného záření. Závislost citlivosti na vlnové délce záření je zobrazena na Obr.3.



Obr. 3: Spektrální charakteristika Si fotodiody [3]

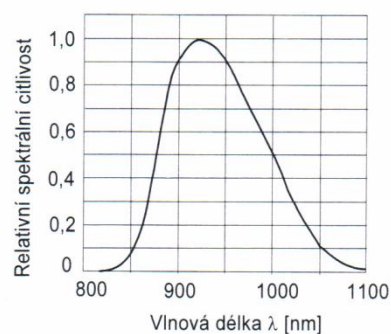
Jak již bylo zmíněno, pro detekci dopadu signálu je využívána jako jedna z možností fotodiody, u které při dopadání záření na přechod PN dojde k difúzi děr z oblasti typu P do oblasti typu N a elektronů z oblasti typu N do oblasti typu P.

„V okolí PN přechodu tak vznikne úzká oblast, která se nazývá ochuzená, a v oblasti přechodu se projevuje vznikem vnitřního elektrického napětí, které způsobuje vytvoření elektrického pole.“ [3, s. 38]

Další fotoelektrický prvek využívaný při detekci dopadajícího měřeného záření je fototranzistor. „Fototranzistor je uspořádán tak, aby optické záření bylo pohlcováno v oblasti báze. Můžeme si jej představit jako kombinaci fotodiody umístěné v bázi tranzistoru. Může být typu NPN nebo PNP. Optické záření pohlcované v oblasti báze generuje páry elektron-díra, které jsou oddělovány kolektorovým a emitorovým přechodem. Tím se mění potenciál kolektorového a emitorového přechodu.“ [3, s. 44]

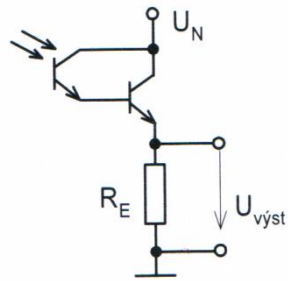
„Aby fototranzistor nebyl ovlivňován optickým zářením nežádoucích vlnových délek, bývá vybaven světelným filtrem, který omezuje pásmo spektrální citlivosti. Světelný filtr je tvořen epoxidovým pouzdrem“ [3, s. 46]

Příklad spektrální charakteristiky fototranzistoru je zobrazen na Obr.4, kde je znázorněna citlivost pro úzký rozsah spektra záření.



Obr. 4: spektrální charakteristika fototranzistoru [3]

„Pro aplikace, ve kterých je vyžadována velká citlivost, jsou vyráběny fototranzistory v Darlingtonově zapojení.“ [3, s. 46]



Obr. 5: Fototranzistor v Darlingtonově zapojení[6]

„Protože fototranzistory vykazují zesilovací činitel, jsou v porovnání s fotodiodami stejných rozměrů na optické záření mnohem citlivější. To je jeden z důvodů jejich častého použití v širokém spektru aplikací“ [3, s. 47]

5.2 Kontaktní metoda měření vodivosti

Pro měření vodivosti vody a tím i jejího znečištění se dá využívat kontaktní metoda, která je velice jednoduchá a snadno realizovatelná. Pro tento princip měření se využívají dvě elektrody, které jsou ponořené do tekutiny. Pomocí střídavého signálu, který přivádíme na jednu elektrodu, získáme podle vodivosti vody odpovídající měřenou hodnotu na elektrodě druhé. Tato metoda je velice citlivá a její pomocí lze získat přesné hodnoty koncentrace látek. Rozsah měření je velice široký, lze měřit od malých až po velice velké koncentrace látek obsažených ve vodě.

Tento způsob je v praxi značně rozšířený a využívaný jak z důvodu jednoduchosti měření, tak z důvodu malých pořizovacích nákladů. Měření vodivosti kontaktní metodou přináší i svá úskalí, například teplotní závislost měření. Pro přesné měření vodivosti se používá elektronický odporový teploměr a následné hardwarové nebo softwarové korekce. Pro měření vodivostí se vychází ze vztahu

$$G = \gamma \cdot \frac{S}{l} \quad (1)$$

Kde elektrická vodivost G je:

- nepřímo úměrná vzdálenosti obou elektrod l
- přímo úměrná jejich ploše S
- je závislá na měrné elektrické vodivosti měřeného prostředí (konduktivitě) γ

Dále je při používání kontaktních snímačů potřebná pravidelná kalibrační kontrola. V průmyslovém využití se korekce provádí za pomoci chloridu sodného. Tento roztok se svou konduktivitou nachází přibližně v polovině řady technických látek. Při tomto způsobu měření také dochází k možné chemické reakci, elektrolyze. Ta dále způsobuje znehodnocování elektrod, tím pádem ke ztrátě jejich měřicích vlastností. Dalším rizikem při měření je vznik povlaku organických látek na elektrodách. Tento problém může vznikat postupně a nemusí být detekován jako porucha, není-li prováděna pravidelná kontrola.

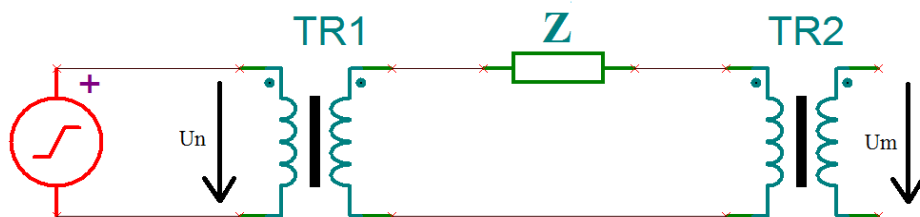
5.3 Bezkontaktní metoda měření vodivosti

Bezkontaktní metoda měření poskytuje, jak samotný název napovídá, výhodu v nepotřebném používání měřících elektrod. Měřící elektrody pro metodu kontaktního měření podléhají často destruktivním vlivům měřených látek. Tato metoda poskytuje snížené náklady na revizní kontrolu senzoru.

5.3.1 Princip měření

Princip spočívá ve vzájemné interakci mezi dvěma cívkami namotanými na samostatných toroidních jádrech z materiálů o vysoké relativní permeabilitě. Takovéto zapojení dvou cívek lze nahradit náhradním schématem viz. Obr. 6. Voda protékající středem a okolo toroidních jader tvoří závit nakrátko pro TR1. Proto se výsledný proud procházející závitem měří pomocí TR2. V náhradním schématu je zobrazena impedance Z , která odpovídá impedanci měřené vody. Hodnota impedance Z odpovídá míře znečištění vody, tedy obrácené hodnotě její vodivosti. Z těchto parametrů je možné vypočítat výstupní napětí U_m . Jeho hodnota odpovídá rovnici (2). Konstanta K odpovídá poměru cívek namotaných na jádrech.

$$U_m = K \frac{U_n}{Z} \quad (2)$$



Obr. 6: Principiální zapojení bezkontaktního senzoru

5.3.2 Typické provedení snímače

Snímače používané v průmyslových aplikacích jsou nejčastěji v provedení inteligentních snímačů. Pod tímto označením si lze představit komplexní zařízení měřící požadované parametry a následně poskytující výstupní data v předem známé podobě.

Snímač obsahuje vlastní generátor střídavého signálu přiváděný na první cívku a měřící obvody snímající a vyhodnocující indukované napětí na cívce druhé. Cívky jsou nejčastěji namotané o stejném počtu závitů, tedy v poměru 1:1.

6 KOMERČNÍ ANALYZÁTORY ZNEČIŠTĚNÍ VODY

Na trhu se nachází nepřehledné množství společností, které se zabývají výrobou a vývojem analyzátorů a senzorů pro detekci znečištění vody. Ovšem drtivá většina z nich se specializuje na analýzu průmyslové vody nebo vody přitékající do domácností. Jen málo ze společností nabízí přímo analyzátory určené pro detekci odpadních vod v domácnostech.

Výroba analyzátorů je určena převážně do průmyslového sektoru, kde je dnes již nezbytnou nutností přítomnost těchto detektorů. Ovšem ať už se jedná o analyzátory určené pro měření parametrů pitné nebo odpadní vody, případně chemických látek v provozech, je především využíváno stejných vlastností a principů. Zásadní rozdíl je znatelný pouze v způsobu a rozsahu měření. Analyzátory komerčního provedení mají velkou škálu měřených a detekovatelných látek. Tato přesnost je ovšem podmíněna i nutností externího dodávání provozních chemikálií podporujících některá měření. Celkové rozměry takovýchto analyzátorů nejsou zanedbatelné.

Proto je snahou této bakalářské práce najít vhodný kompromis mezi přesností a rozsahem měření parametrů a celkovými rozměry detektoru. Komerční analyzátory předstihují mnou vyrobený detektor značně lepší schopností analýzy složení znečištěné vody. Obecně se ovšem jedná o mnohonásobně větší a na výrobu složitější zařízení, než v případě mého elektronického přípravku.

Je ovšem potřebné najít rozumný kompromis mezi potřebou přesného měření a snahou o zmenšování a zjednodušování zařízení. Při snížení nároků na přesnost analýzy by též mohla odpadnout nutnost doplňování provozních chemikálií potřebných pro přesnější analýzu. V následujících dvou podkapitolách se budu zabývat komerčními analyzátory čistoty vody využívajícími pro svá měření principů vysvětlených v předchozích kapitolách.

6.1 Provedení komerčních analyzátorů kvality vody

V případě výroby a prodeje kompletních analyzátorů se jedná především o firmu Endress+Hauser, která nabízí širokou škálu analyzátorů specializovaných na specifické druhy znečištění v průmyslu. Jedná se o detekci mědi, hliníku, železa, chromu a dalších látek vyskytujících se při výrobě. V nabídce produktů se nachází i detektory pro monitorování pitné vody, komunálních a odpadních vod. Jedním ze zástupců těchto analyzátorů je model Stamolys CA71AM, určený k vzorkové analýze vody. Společnost MUNTAC nabízí Murtac - On-Line - měřicí systémy určené k měření koncentrace kyseliny,

louhu, hodnoty pH a obsahu kovů v potrubí, nádržích a tancích. Analyzátor OMT-20SX/DXN je určen především pro průmyslové využití, ale je také schopen měřit znečištění vod v domácnostech.

Veškerá tato zařízení jsou velice přesná, spolehlivá a obsahují měření mnoha parametrů. Značnou nevýhodou a překážkou při snaze minimalizace a aplikace detekce v kuchyních a koupelnách v běžných domácnostech jsou vysoké pořizovací náklady a značné rozměry. Model Stamolys CA71AM má rozměry 648 x 436 x 250 mm, které při instalaci nejsou zanedbatelné. [16]

6.2 Provedení komerčních senzorů určených k analýze vody

Na trhu se vyskytuje velké množství výrobců senzorů určených pro detekci dílčích parametrů čistoty vody a dalších kapalin. Výčet několika výrobců je následující. Emerson, výrobce široké škály senzorů a měřících systémů pro průmyslové využití. SWAN, švýcarský výrobce provozních analyzátorů pro kontinuální měření kvality vody v úpravnách pitné vody (vodivost, pH, redox, kyslík, křemík, fosfát, sodík, chlor, ozon, atd.). Výrobce SIGRIST PHOTOMETR ze Švýcarska vyrábějící nejen špičkové provozní fotometry určené především pro aplikace na úpravnách vody (zákal, UV absorbance, ropné látky) v průmyslu, ale i senzory pro další sektory průmyslu. Dalším švýcarským výrobcem nejen senzorů je firma Hemilton. MURTAC z Rakouska je výrobce provozních analyzátorů pro široké spektrum měřících aplikací. Většinou se používají pro kontrolu a řízení průmyslových výrobních technologií nebo pro monitoring odpadních a povrchových vod. Jedním z nejzásadnějších výrobců je výrobce široké škály senzorů, švýcarská společnost Endress+Hauser. Společnost Endress+Hauser má dlouhou historii na poli výzkumu a výroby senzorů pro průmyslové aplikace. Na svých webových stránkách také podrobně vysvětlují principy, na kterých jsou jejich produkty založené. [9,10,11,12,13,14]

Senzory vyráběné všemi těmito výrobci pracují na stejném principu a využívání vlastností vody, které jsme si přiblížili v kapitole 5. *Metody elektrického měření znečištění vody*. Výrobci také poskytují širší škálu senzorů, než která byla představena pro měření specifických druhů znečištění. Zásadní rozdíly mezi senzory jsou v měřících rozsazích, v kterých pracují, provozní teplotě a způsobu montáže. Způsoby montáže senzorů jsou odlišné dle místa použití, ovšem nejčastější je způsob šroubování pomocí metrického závitu do měřeného potrubí nebo nádrže. Pozdější návrh a výroba vlastního bezkontaktního senzoru, popsána v kapitole 7.2.1. *Bezkontaktní měřící senzor*, vyplývá ze snahy

maximální minimalizace. Průmyslové senzory dosahují velice přesných výsledků měření, která je podmíněna většími rozměry a složitostí zařízení. [15]

PRAKTICKÁ ČÁST

7 VLASTNÍ PŘÍPRAVEK

Mým úkolem bylo vytvořit vlastní zařízení, které bude schopné provádět měření znečištění vody. Získaná data z měření následně zanalyzuje. Před samotnou výrobou detektoru bylo třeba ověřit teoretické úvahy v praxi. Dále jsem se musel rozhodnout, jakým způsobem bude přípravek pracovat a kterých vlastností vody bude využívat pro měření.

7.1 Výběr senzorů

V každé domácnosti se vyskytuje více odpadních potrubí, která slouží k odvodu odlišných druhů odpadních vod z domácností. Z tohoto důvodu je potřeba vhodný výběr způsobu měření znečištění. Ne všechny způsoby měření mohou být vhodné na každý druh znečištění. V kuchyňském odpadním potrubí se vyskytují nejčastěji a převážně zbytky jídla z omývání nádobí, ale také přípravky na mytí. Tyto chemické přípravky by svým opakovaným působením mohly mít též za následek poškození materiálů použitých na výrobu senzorů detektoru. Do těchto odpadů umístěných v kuchyni se také velice často vylévají zbytky tekutin. Tyto zbytky mívají zvýšenou viskozitu a při špatném zvolení způsobu měření by mohlo docházet k zanášení a znečištění měřících členů.

Pro výběr senzorů byly velice důležité faktory, které vychází ze samotných vlastností odpadní vody. Odpadní voda může obsahovat velké množství znečištění, které případné kontaktní senzory mohou velice lehko znečistit, usazovat se na nich a tím měření ovlivňovat a následně ho zcela znemožnit. V odpadním potrubí jsou také často řasy, které svým růstem a následným pokrytím elektrod kontaktního senzoru mohou ovlivňovat velice výrazně vlastní měření.

Snahou bylo vytvoření sady bezkontaktních senzorů měřících odlišné parametry vody, které by se následně pomocí různé kombinace vyhodnocovaly, a tím se zjišťoval stav čistoty vody. Dále bylo důležité si určit měřítko, dle kterého se bude tento stav čistoty vody vyhodnocovat, tj. podle něhož se následně určí vhodnost vody k dalšímu recyklování nebo nutnost tuto vodu odvést do kanalizace.

7.2 Výroba vlastních senzorů

Pro vytvoření vlastního přípravku detekce čistoty vody bylo zapotřebí i senzorů, kterými jej byla potřeba osadit. Na trhu jsou již dostupné různé senzory, které jsou schopné účinně detekovat jednotlivé vlastnosti a složky znečištění. Tyto jednotlivé komponenty jsou ovšem prodávány a vyráběny sériově a tomu také odpovídá i zvýšená pořizovací cena. Účelem této práce také bylo navrhnout a vyrobit kompletní přípravek, do kterého zapadá i vytvoření vlastních senzorů, dále seznámit se s jednotlivými vlastnostmi vody a dle jejich specifického chování navrhnout a vyrobit vhodné detektory.

7.2.1 Bezkontaktní měřicí senzor

Pro výrobu bezkontaktních senzorů bylo zapotřebí toroidních jader, na která byl posléze namotán přesně definovaný počet závitů. Na trhu je k dostání několik druhů toroidních jader. Navzájem se odlišují především objemem materiálu jádra a relativní permeabilitou materiálu, z kterého jsou vyrobená. Relativní permeabilita je nejdůležitějším parametrem při návrhu cívek. Její velikost nám určuje objem materiálu a tím velikost výsledné indukčnosti. Od velikosti celkové permeability je odvozen celkový potřebný počet závitů. Výrobci nejčastěji udávají indukčnost toroidního jádra na 1 nebo 1000 závitů. V případě absence tohoto údaje se dá indukčnost vypočítat dle vzorce.

$$L = \mu_0 \mu_r \frac{N^2 S}{2\pi r_s} \quad [4] \quad (3)$$

Kde:

- L -Vlastní indukčnost toroidního jádra
- μ_r, μ_0 - relativní permeabilita a permeabilita vakua
- N- počet závitů
- S- plocha průřezu jádra
- r_s - střední poloměr jádra

Proto pro první tři páry cívek bylo zvoleno odlišné použití materiálů jader, ovšem se stejným počtem závitů. První počet závitů byl určen odhadem, a to na 150. Každý závit bylo zapotřebí samostatně provléct a pečlivě utáhnout. Snahou bylo předejít co nejvíce mezerám mezi závitem

a vlastním jádrem. Tyto mezery by nepříznivě ovlivňovaly výsledné parametry. K namotávání závitů bylo použito lakovaného měděného vodiče o průměru 0,4mm. Průměr vodiče musel být dimenzovaný minimálně na proud 0,04A, což je proud protékající první cívkou senzoru. Tento lak bylo potřeba zachovat neporušený. K porušení by mohlo snadno dojít přílišným utahováním vodiče okolo jádra, a tak vytvořit zkrat mezi závity. Po namotání závitů na jednotlivé cívky se jádra ze stejného materiálu přiložila k sobě. Tímto se vytvořily jednotlivé páry cívek. Obě cívky se vzájemně vodivě spojili na jedné straně a toto spojení je pro oba toroidy společná zem. Plánované využití bezdotykového senzoru je v odpadním potrubí, kde se může senzor snadno poškodit. Proto byla provedena opatření chránící cívky proti vnějšímu poškození. Celý pár cívek byl zalitý tavnou pryskyřicí. Izolačními vlastnostmi ovlivňuje měření minimálně a má vysokou odolnost vůči vnějším vlivům. Pracovní teplota pryskyřice je - 40 – 80 °C. K tavení dochází až při teplotě 120 °C.

Celkem bylo vytvořeno 5 párů cívek o různém počtu závitů, odlišném objemu a poloměru jader. Jako nejlepší byl vyhodnocen pár cívek z feritového materiálu (FT82-43) se 150 závity. Jádra mají vnější průměr 21mm a vnitřní 13,1mm. Celkový objem materiálu jádra dosahuje hodnoty 1290mm³.

7.2.2 Optický senzor

Při navrhování optického senzoru je několik možností volby optického snímacího prvku. O vlastnostech optických snímačů bylo pojednáno v kapitole 5.1 *Optická metoda měření*.

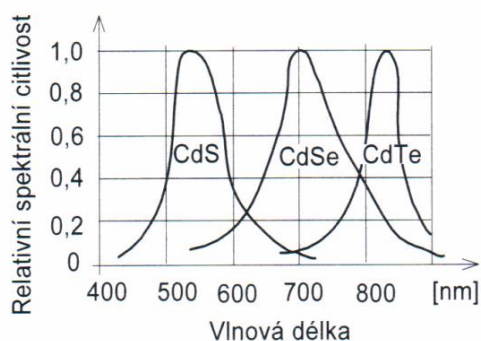
Výběr snímacího prvku osvětlení pro použití v naší aplikaci nebyl svázán tak přísnými pravidly, proto našim požadavkům vyhovoval fotorezistor, fotodioda i fototranzistor. Vybraným prvkem byl fotorezistor. Pro jeho snadné měření je zapojen v odporovém děliči společně s 37 kΩ rezistorem. Použitý fotorezistor má proměnný odpor od 500 kΩ při absolutní tmě, po 50 kΩ při osvětlení 10 lux. Fotorezistor má též nejpříznivější citlivost ve spektru viditelného spektra ze všech snímacích prvků.

7.2.3 Dimenzování senzorů

Senzory se musely navrhnout tak, aby co nejlépe odpovídaly požadavkům detektoru. Bezkontaktní snímač musel svou velikostí odpovídat takovým parametrům, aby bylo možné ho zabudovat do odpadního potrubí. Optický senzor musí být umístěn tak, aby mohl měřit v místě plně zaplněném vodou a ne v prostředí, kde by docházelo k snímání vody i vzduchu zároveň. Takovéto měření by vedlo k nepřesným a chybným údajům.

Snahou bylo vytvořit co nejmenší snímače pro co nejlepší možnost integrace do běžného provozu v domácnostech. Překážkou ve zmenšování bezkontaktního snímače je však snadnější možnost znečištění středu toroidu a následné chybné měření. Po odměření 5 párů cívek, více viz kapitola 7.2.4 *Zkušební měření bezkontaktního senzoru (laboratorní měření)*, byl vybrán z důvodu nejlepších výstupních hodnot pár namotaný na feritovém materiálu (FT82-43).

Jako optický senzor byl vybrán fotorezistor pro svou dobrou citlivost ve spektru viditelného záření. Výhodou byla možnost použití běžně dostupnou LED vyzařující ve viditelném spektru, a to z důvodu tmy v místech měření (odpadní potrubí). LED a fotorezistor jsou připevněny za pomoci objímky s možnou snadnou instalací.



Obr. 7: Spektrální citlivost fotorezistoru [3]

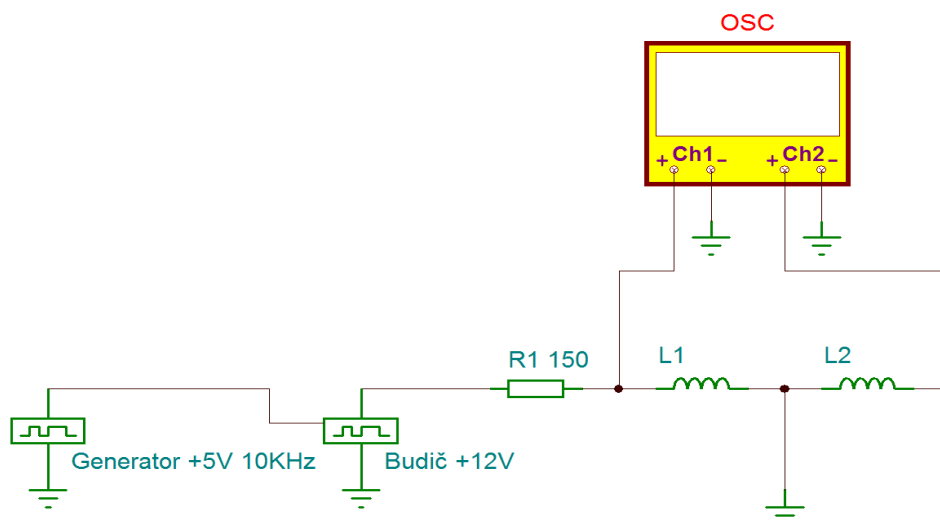
7.2.4 Zkušební měření bezkontaktního senzoru (laboratorní měření)

Pro navržené toroidní cívky bylo potřeba provést laboratorní měření, při kterém se změřily jejich parametry. Hlavním úkolem laboratorního měření bylo zjistit, které z navržených a zkonstruovaných párů cívek nejlépe vyhovují účelům dané aplikace. Požadavkem bylo dosáhnout co největších odstupů peak to peak indukovaného napětí na měřené cívce pro různé druhy znečištění. Dále bylo žádoucí, aby průběh indukovaného napětí byl co nejvíce vyhlazený (nerozkmitaný) pro dobré vyhodnocení tohoto napětí. Dalším parametrem, na který se kladl důraz, byla rychlost odeznění přechodového děje na cívce. Bylo nutné, aby hodnota indukovaného napětí na začátku každého dalšího měřicího pulzu byla nulová. Dále bylo zapotřebí, aby přechodný děj trval maximálně po dobu $\frac{1}{f_m}$ (4). Kde f_m je frekvence měřicího obdélníkového signálu. V našem měření se jednalo o měřicí frekvenci 10KHz. Čas, po který mohl přechodový děj maximálně trvat, byla tedy $t = \frac{1}{10000} = 1 \cdot 10^{-4} s = 0,1ms$.

K měření bylo použito:

- Osciloskop (Agilent technologies - DS01102B)
- Generátor (Agilent – 33220A)
- Napájecí zdroje
 - 1. Měření (MANSON – EP-613)
 - 2. Měření (Metex - MS 9160)
- Budič signálu (12V)

Obvod jsem zapojil dle následného schéma (Obr.8). Obdélkový signál o frekvenci 10KHz a amplitudě 5V přivádíme do budiče. Budič je napájen 12V a zesiluje přijímaný signál na velikost amplitudy 12V. Proud odebíraný budičem byl 0,04A. Takto zesílený signál přivádíme přes rezistor 150 Ω na cívku. Rezistor slouží k ochraně proti zkratu v důsledku připojení cívky o malé jmenovité indukčnosti k výstupu budiče.



Obr.8: Schéma zapojení laboratorního měření

Osciloskop se zapojenými oběma kanály byl připojen jak na výstup budiče, tak na výstup druhé cívky, na které se indukovalo napětí. Při měření jsem se zaměřil na sestupnou hranu měřícího signálu.

Tato hrana byla strmější nežli hrana vzestupná. Deformace hrany vzestupné byla způsobena Zenerovou diodou v budiči signálu na 12V.

Během prvního měření došlo k proměření tří párů cívek. Každý pár obsahoval dvojici cívek po 150 závitěch. Průměry všech jader měly podobnou velikost. Odlišným parametrem byl pouze materiál, z kterého byla cívka/jádra vyrobena. Jednalo se o feritové jádro (RIK20), železoprachové jádro (T80-2) a feritové jádro (FT82-43). Při připojení prvních dvou cívek a spuštění měření došlo k hlasitému a nepříjemnému pískání cívek způsobenému malou indukčností cívek a následným přesycením jádra. Protože měřicí frekvence byla 10kHz, bylo pískání slyšitelné. Průběhy měření jsou dostupné v příloze a na přiloženém CD.

Při druhém měření byla snahou změřit parametry pro cívky s menším celkovým rozměrem a počtem závitů. Jednalo se o jádra: železoprachové (T80-2) s 12 závitů, železoprachové (T37-2) s 26z a feritové jádro (RIK10) s 6 závitů. Výsledky ovšem již nebyly tak dobré jako v případě měření (FT82-43). Průběhy měly značně nižší vzájemný odstup pro různé druhy znečištění.

Výsledkem laboratorních měření byl výběr páru cívek k použití v detektoru. Výběr byl proveden na základě porovnání jednotlivých výsledků měření. Vybraný pár obsahující feritový materiál (FT82-43) prokázal nejlepší odstup jednotlivých měření pro různé druhy znečištění. Nadále měl nejvíce vyhlazený průběh vstupního měřeného signálu. Jednou z nevýhod tohoto výběru je větší rozměr a s tím spojené komplikace při integraci do odpadu. Další nevýhoda spočívá ve větším počtu závitů, které je potřeba namotat na toroidová jádra.

7.3 Tvorba prototypu na platformě Arduino

Nejprve jsem si pro ověření teorie optického snímače vytvořil dočasný testovací model. Ten se skládal z nepájivého pole a plastové nádoby na testování znečištění vody. Na nepájivé pole se osadily elektronické součástky potřebné k této aplikaci. Na průhlednou nádobu se připevnilo vzájemně proti sobě vybraný fotorezistor zapojený do odporového děliče a LED dioda. Tímto rozmístěním se mezi diodou a rezistorem nacházela testovací kapalina, která svým znečištěním ovlivňovala množství procházejícího osvětlení až k fotorezistoru. Na nepájivém poli se dále nacházely pomocné signalizační LED určené pouze pro tuto zkušební verzi signalizující čistotu vody podle programově nastavených parametrů.

Dělič byl připojen na analogový vstup desky Arduino UNO R3. Arduino je open-source platforma založená na snadno použitelném hardwaru a softwaru. Jedná se o desku osazenou MCU s příslušenstvím k jeho naprogramování a provozu. Na okraji desky jsou vyvedeny vývody MCU. Arduino nabízí vlastní programovací prostředí založené na jazyce C++. K tomuto prostředí jsou též dostupné rozsáhlé knihovny určené k využití v různých aplikacích a přídavném hardwaru.

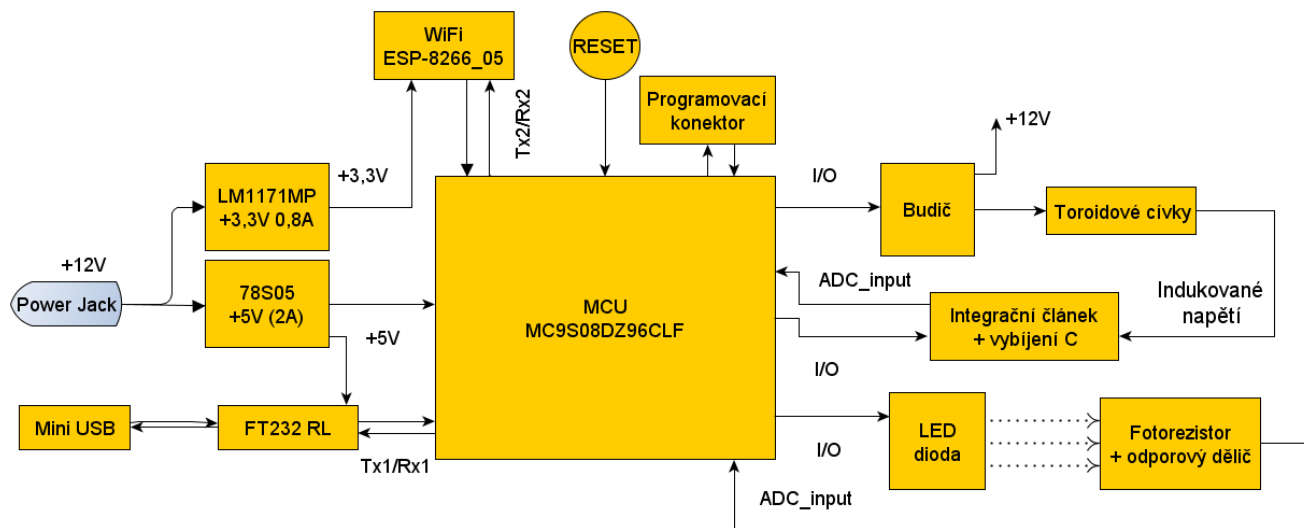


Obr. 9: Testování optického senzoru pomocí platformy Arduino

V programovacím prostředí Arduino jsem vytvořil funkční program, který po zapnutí, resetování či stisknutí tlačítka nastavil aktuální čistotu vody jako výchozí parametr. S tímto parametrem dále pracoval jako s hodnotou čisté vody. Tato funkce zde byla použita z důvodu rozdílné čistoty vody v různých místech použití. Každou vteřinu program provedl sérii deseti měření po 20ms, z kterých vytvořil průměrnou hodnotu. Tato průměrná hodnota byla porovnána s 5 kategoriemi čistoty vody, které se automaticky odstupňovaly dle výchozího parametru. Tyto kategorie byly vytvořeny pouze subjektivním pocitem, dojmem a odhadem. První dvě kategorie s nejnižším znečištěním byly určeny k následovné recyklaci vody z hlediska optického senzoru. V pravidelných vteřinových intervalech také procesor odesílal po sériové komunikaci informaci do PC o aktuálním stavu znečištění a o vhodnosti recyklace této vody. Údaje o měření se v MCU ukládají a zpracovávají, proto je možné i s údaji o čistotě odesílat i počet měření a celkový procentuální podíl recyklovatelné vody. Tento program je dostupný v příloze s potřebnými dalšími komentáři.

7.4 Návrh a realizace DPS

Po ověření funkčnosti detekce optického senzoru za pomoci Arduina jsem se rozhodl vytvořit vlastní návrh desky osazené MCU a dalším příslušenstvím pro samostatné a nezávislé fungování detektoru. Prvním krokem bylo vymyslet a navrhnout blokové schéma celého zařízení se vším potřebným k obsluze detektoru. Toto blokové schéma je znázorněné na obrázku (Obr. 10).



Obr. 10: Blokové schéma návrhu DPS

7.4.1 Návrh DPS v programu Eagle

Pro návrh a tvorbu elektrického schématu a posléze samotné DPS jsem si vybral program Eagle. Tento program je dostupný i ve free verzi. Mám s ním zkušenosti z předešlého studia, proto znalosti prostředí rozhodly, že vlastní návrh uskutečním zde.

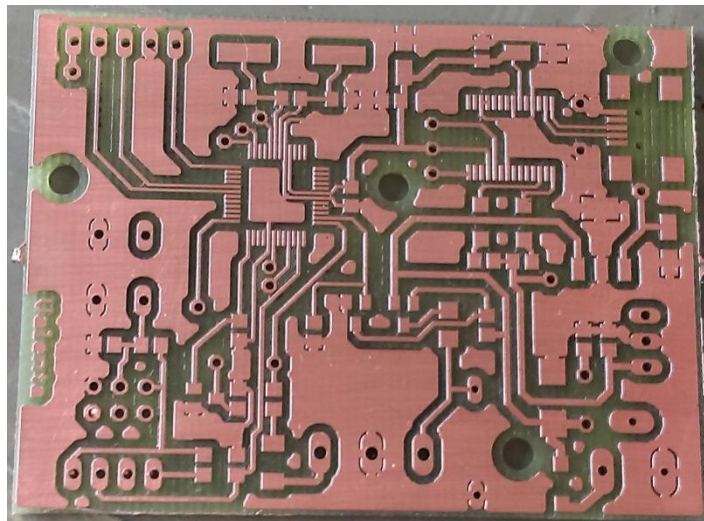
Nejprve jsem sestavil vlastní elektrické schéma dostupné v příloze. To jsem vytvořil postupným rozkreslováním a propojováním jednotlivých bloků z Obr.10 na úrovni elektrických součástek. Po dokončení kompletního návrhu elektrického zapojení následoval návrh DPS, při kterém jsem kromě rad vedoucího získal také cenné informace z knihy *Návrh a konstrukce DPS* [2]. Podrobnější popis tvoření návrhu DPS je popsán v kapitole 7.4.1.2. *Rozložení součástek na DPS*.

7.4.1.1 Výběr součástek

Pro co největší možnou minimalizaci celého zařízení byla zvolena práce s SMD součástkami. Součástky byly dále navrženy dle potřebných parametrů a pouzdra vybírána podle výkonových ztrát. Z tohoto důvodu byl např. R0OUT zvolen v provedení 1206, kde je možný větší provozní tepelný úbytek. Pro umožnění komunikace po USB byl do návrhu zahrnut převodník mezi USB a UART.

7.4.1.2 Rozložení součástek na DPS

Po vytvoření elektrického schématu a výběru vhodných součástek s jasně definovaným pouzdrem jsem přešel na samotný návrh DPS. Návrh DPS se musel řídit několika pravidly, která se odvíjela od způsobu výroby. K dispozici byla oboustranná deska umožňující vedení vodivých cest po obou stranách a tím vytvoření velké úspory místa. Deska je koncipována tak, aby se napájecí a vstupní obvody nacházely na levé straně DPS a hlavní prvek MCU byl ve středu. Snahou bylo umístit programovací konektor přístupný na okraji v blízkosti tlačítka reset. Na desce se také nachází dvě signalizační LED, které detekují zapnuté napájení a připojení USB kabelu.

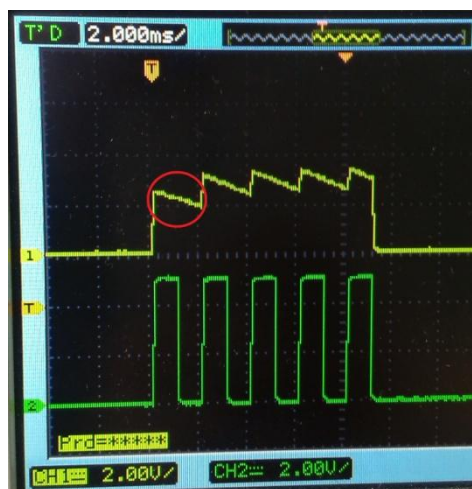


Obr. 11: Vyfrézovaná TOP strana DPS

7.4.1.3 Možnosti dalšího vylepšení návrhu DPS

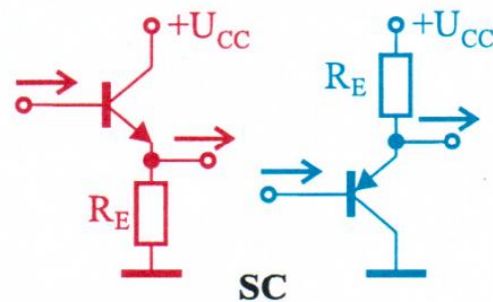
Přes velký počet hodin strávených doladováním návrhu a několika konzultacím se v návrhu vyskytlo několik možností vylepšení a nutných úprav, které odhalilo až následné laboratorní měření. Jako vhodné se ukázalo zapojit na vstup napájení další lineární napěťový regulátor na 12V. Stávající koncept počítá s dokonalým zdrojem vstupního napětí, s kterým následně pracuje při zesilování pulzu do bezkontaktního senzoru. Ne všechny používané zdroje jsou napěťově tvrdé a jejich průběh nemusí být zcela vyhlazený a odpovídající následným požadavkům při práci s bezkontaktním senzorem. Změna zapojení vývodů nebo zakoupení správného typu lineární napěťový stabilizátor na 3,3V je další z možných vylepšení. Stávající návrh nemá osazené SMD součástky na BOT straně z důvodu možného poškození při manipulaci během důkladného prvního měření v laboratoři. K podstatnému celkovému zmenšení by mohlo dojít právě oboustranným osazováním součástek. Poslední z možných úprav souvisí s přechodem na jiný typ snímacího prvku u optického zařízení. Jedná se o změnu z fotorezistoru na zapojení s použitím několika fototranzistorů v Darlingtonově zapojení. Toto zapojení je již vysvětleno v kapitole 5.1. *Optická metoda měření*. S tímto přechodem na jiný typ snímače je nutné i přidání několika součástek na samotnou DPS a rozšíření konektoru.

Postupné poklesy napětí na kondenzátoru Co_IN zjištěné během testování jsou způsobeny malým vnitřním odporem A/D převodníku v MCU. Vybíjení vstupního kondenzátoru vlivem vnitřní impedance převodníku je zachyceno na Obr. 12. Hodnota vnitřního rezistoru je 10k Ω a vzhledem k malé kapacitě kondenzátoru dochází k rychlému vybíjení.



Obr.12: Vybíjení C0_IND příčinou nízkého vstupního odporu A/D převodníku

Pro následné zlepšení měření by bylo žádoucí zavést napět'ový sledovač, který by vždy odpovídal hodnotě napětí na kondenzátoru, ale nezpůsobil by jeho razantní vybíjení. Jednou z možností realizace je zapojení s operačním zesilovačem zapojeným jako převodník impedance. V tomto zapojení je výstup OZ zavedený na invertující vstup a měřené napětí je přivedeno na neinvertující vstup. Pro tuto aplikaci je řešení neuplatitelné z hlediska potřeby napájení OZ symetrickým napájením, které se na této DPS nevyskytuje. Proto je výhodnější a technicky méně náročné využít zapojení bipolárního tranzistoru v zapojení SC. Toto zapojení se také nazývá emitorový sledovač. Parametry zapojení jsou pro tento návrh příznivé. Vstupní impedance je vysoká a to splňuje naše požadavky. Vysoká vstupní impedance zajistí snížené vybíjení kondenzátoru C0_IND. Vysoká vstupní impedance je vyvážena nepříznivou energetickou náročností bipolárního tranzistoru.



Obr.13: Zapojení bipolárního tranzistoru se společným kolektorem[6]

Dalším krokem k vylepšení detektoru by bylo vytvoření dekády vstupních kondenzátorů pro přepínání rozsahu měření. V případě naměření plné hodnoty na vstupu A/D převodníku u kondenzátoru s nejnižší hodnotou by proběhlo měření s následujícím kondenzátorem z dekády. Toto rozšíření by zaručilo širší a flexibilnější detekční rozsah.

7.4.2 Výroba a osazování DPS

Samotná deska byla vyrobena na katedře KAE. Způsob výroby byl frézování. Z výroby byla DPS také již předvrtána. Prvním krokem byla důkladná kontrola vyfrézovaných izolačních mezer. Důvodem bylo odhalení a odstranění možných nežádoucích vlásečnicových spojů, které mohou způsobovat zkrat mezi vodiči. Poté následovala kontrola správnosti vyfrézování vodivých cest mezi součástkami podle

schéma zapojení. Jelikož je DPS oboustranná a při výrobě se nepoužívalo pokovování průchozích otvorů, bylo zapotřebí tyto spoje mezi vrstvami dodatečně vytvořit za pomoci měděného vodiče provlečeného deskou a připájeného z obou stran.

Následně byly připájeny SMD součástky od těch s nejmenšími rozměry po ty největší. Především pájení MCU a FT232 bylo velice náročné. Vývody MCU mají mezi sebou izolační vzdálenost přibližně 0,2mm. Proto se nejprve nanasla cín na rohovou plošku MCU na DPS a za ní se MCU přichytilo. Následovalo přesné vycentrování a přichycení úhlopříčně od již přichyceného vývodu. Po kontrolním zjištění, že veškeré vývody sedí na ploškách DPS, se zapájely zbylé vývody. Opětovné zajištění vzájemného odizolování se provedlo odebráním přebytečného cínu za pomoci odsávacího měděného knotu. Pro úplnou kontrolu je možné jednotlivé vývody ještě proměřit voltmetrem.

Následovalo osazení zbylých SMD součástek. Jediným výraznějším úkonem byla důkladná kontrola osazení diod ve správném natočení, aby součástka byla připájena v propustném směru dle schématu zapojení. Nastalo několik problémů se součástkami SMD, které se podařilo vyřešit. Některá řešení byla na úkor vzhledu detektoru, ale celkové funkčnosti bylo dosaženo. Prvním z problémů bylo navržení DPS na menší pouzdro elektrolytických kondenzátorů, než které byly dostupné na univerzitě. Ovšem i pro větší typ pouzdra bylo na DPS místo, a tak se sem veškeré součástky vešly. Při vytváření návrhu byla použita již integrovaná knihovna pro lineární napěťový stabilizátor LM1171MP-3,3V. Toto zapojení ovšem neodpovídá zapojení vývodů od výrobce ST, od kterého má měniče nakoupené katedra. Rozdíl mezi těmito vývody jsou v prohození vstupního a zemního pinu. Tato komplikace vedla k následné úpravě na DPS.

Při pájení THT součástek musel být kladen důraz na připájení z obou stran DPS z důvodu nepokovování propojek. Toto se stalo obzvláště obtížným úkolem při pájení konektoru pro bezkontaktní senzor.

7.4.3 Oživování DPS

Po osazení všech součástek a připojení k napájení se rozsvítila LED dioda indikující zapnuté napájení. Laboratorní zdroj ukazoval odběr 50mA. Lineární napěťový stabilizátor na 3,3V se značně zahříval. Vše poukazovalo na možný zkrat. Tato příčina byla již vysvětlena v kapitole 7.4.2. *Výroba a osazování DPS* (prohození vstupního a zemního pinu). Po odpájení měniče sloužícího pouze k napájení WiFi modulu, který je sekundárním komunikačním kanálem, byl zaznamenán pokles

odběru na pouhých 10mA. Další potíže nebyly zaznamenány, a tak bylo možné připojit programátor a MCU spojit s PC.

Programátor identifikoval mikrokontrolér a byl schopen do něj nahrát zkušební program. Tímto krokem byla ověřena funkčnost a provozuschopnost MCU.

8 TVORBA PROGRAMU PRO MCU

Po osazení a oživení desky bylo zapotřebí vymyslet, naprogramovat a nahrát do MCU program, který bude ovládat senzory a zpracovávat jejich naměřená data. Dále mikrokontrolér musí pravidelně komunikovat po sériové komunikaci s PC, kterému odesílá naměřené hodnoty.

Pro danou aplikaci byl vybrán 8-bitový procesor MC9S08DZ96CLF od výrobce Freescale. Tyto procesory mají vlastní programovou podporu v podobě vývojového prostředí založeného na jazyce C++ a dalších podpůrných funkcích. Jedná se o kompletní integrované vývojové prostředí CodeWarrior.

8.1 Vývojové prostředí CodeWarrior

Vývojové prostředí CodeWarrior je navrženo k programování a přímé práci s mikrokontroléry. Prostředí umožňuje programování v jazyce C++, také i nastavování hardwarových parametrů za pomoci uživatelského rozhraní založeného na výběru z rozbalovacích položek.

CodeWarrior je možné používat jako programovací prostředí, simulátor a s připojeným programátorem jako nástroj k přímému naprogramování hardwaru. Při spuštění programu lze jeho pomocí provádět přímé softwarové zásahy do mikrokontroléru, pozastavit běh programu, přepsat hodnotu proměnných nebo postupně krokovat program po řádcích. Pomocí krokování jsem při vývoji programu ověřil několik postupů a detekoval nesprávné postupy během programování.

8.2 Funkce vývojového diagramu

Cílem bylo vytvořit program obsluhující detektor a zajistit odesílání naměřených dat. Program má obsahovat pravidelné úseky měření, délky měřících pulzů a přesné čtení hodnot ze senzorů. V příloze se nachází blokové schéma pro tvorbu programu do MCU.

Hlavní program v nekonečné smyčce testuje příchod nových dat a vyhodnocuje hodnotu proměnné stav. Přerušení vyvolané časovačem každou milisekundu změní hodnotu proměnné *stav*. Po ukončení přerušení a návratu do hlavního programu se opět vyhodnocují podmínky a vykonávají se příslušné operace.

Každou vteřinu se vyvolá sekvence pěti měření bezkontaktního senzoru. Z těchto hodnot se vytvoří průměrná hodnota. Přesáhne-li naměřená hodnota minimální hranici, která byla měřením zjištěna jako hodnota senzoru při ponoření do neznečištěné vody, vyvolá se optické měření. V případě nepřesáhnutí této hodnoty se žádná další akce nevykonává. Při optickém měření se též provádí sekvence měření. Jedná se o sekvenci 10-ti měření a opětovného vyhodnocení průměru. Po vykonání obou měření se proměnné odešlou po sériové komunikaci k dalšímu zpracování.

Hlavních vytyčených cílů se podařilo při programování dosáhnout. Přípravek provádí pravidelná vteřinová měření. Délky měřících pulzů jsou stejně dlouhé díky použití přerušení viz kapitola 8.3. *Přerušeni*. Přesnějšího čtení hodnot ze senzoru bylo dosaženo zprůměrováním více naměřených hodnot v jednom úseku měření.

8.3 Přerušeni

Přerušeni se vyvolává v pravidelných intervalech dle nastavení. Přerušeni vyvolává časovač integrovaný v mikrokontroléru. Po vyvolání přerušeni je možné vykonat požadovaný úkon, je ovšem potřeba, aby přerušeni trvalo co nejkratší dobu. Důvodem je pozastavení časování během vykonávání přerušeni.

Pro případné využití detektoru na bateriové napájení by se dal naprogramovat tak, aby bylo MCU v režimu spánku a tím odebíralo minimální proud. K probuzení by docházelo pouze při přetečení na dobu nutnou k provedení měření, následně by byl opět přiveden do režimu spánku.

9 UŽIVATELSKÉ ROZHRAŇÍ

Uživatelské rozhraní má sloužit především ke spojení mezi PC s detektorem H₂O. Po navázání spojení má přijímat a ukládat přijatá data do tabulek. Zajistí zobrazování naměřených dat v přehledných tabulkách i pro uživatele. Dále uživatelské rozhraní umožňuje ukládání dat do samostatného souboru s příponou (*.xlsx) nebo (*.xls). Rozšířenou funkcí je možnost náhledu do statistik již naměřených údajů v průběhu času.

9.1 Vývojové prostředí Visual Studio

K vytvoření uživatelského programu do osobního počítače jsem volil programovací jazyk C# a vývojové prostředí Visual Studio 2013. Základní znalosti a postupy pro vytváření aplikací jsem již získal v předcházejícím studiu třetího ročníku. Vyvinutý obslužný software je plně kompatibilní s operačním systémem Windows doplněným o prostředí .NET Framework ve verzi 4.5. Volba programovacího jazyka C# byla také vhodná z hlediska objektového programování a tvorby uživatelsky příjemného prostředí.

9.2 Popis funkce programu v C#

Celý program je nahráný na CD, které je přiloženo k bakalářské práci. Program je pro lepší orientaci opatřen komentáři umístěnými přímo v jeho programovém kódu. Program je schopen automaticky vyhledat volné sériové porty a vytvořit jejich nabídku uživateli. Po vybrání detektoru a volby spuštění příjmu dat program začíná přijímat data z detektoru a ukládat je do tabulek. Tyto tabulky jsou uživateli přístupné a ten má tak aktuální přehled o přichozích datech. Data se ukládají s aktuálním časem příjmu pro přehlednější ruční i automatickou analýzu a zpracování. Je zde povolena možnost zastavit příjem dat z detektoru a možnost vybrat jiné zařízení pro příjem dat. Nechybí ani tlačítko pro ukládání tabulek do úložného prostoru podle vlastní volby ve formátu Excel Microsoft Office. Po stisknutí volby statistika se uživateli otevře nové okno s historií předchozích měření.

10 TESTOVÁNÍ DETEKTORU

Přípravek byl otestován v laboratoři na katedře KAE. Byl připojen na osciloskop Agilent technologies - DS01102B. Na první kanál byl přiveden výstupní signál MCU, který spíná 12V budící obvod vysílající pulzy do bezkontaktního senzoru. Pro tyto účely byl potřebný zásah do DPS. Jednalo se o dodatečné připájení pomocného vodiče na I/O výstup miktokontroleru za účelem připojení sondy osciloskopu. Druhým kanálem se měřilo napětí na vstupním kondenzátoru C0_IND.

Před samotným měřením detektoru byly změřeny hodnoty indukovaného napětí na různých typech měřících cívek. Měření bylo provedeno v několika miskách s odlišně znečištěnou vodou. Jednalo se o vodu z vodovodu, vodu s přidaným Járovým přípravkem, vodu z akvária a slanou vodu. Nakonec bylo provedeno i měření bez ponoření do vody. Výsledná měření poskytují Tab.1 a 2.

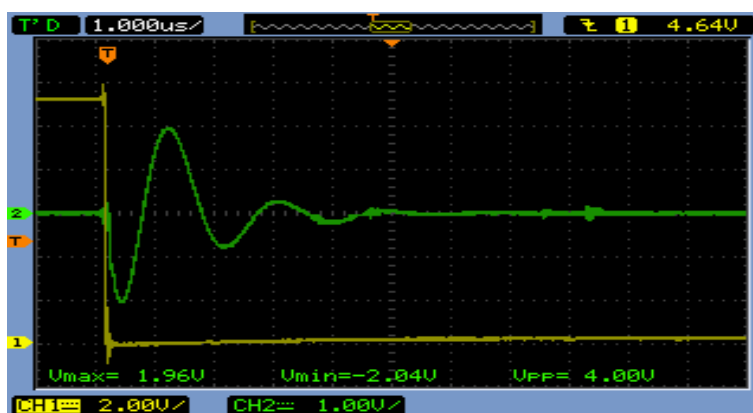
Druh znečištění vody	Feritové jádro FT82-43 (150z)			Feritové jádro RIK20 (150z)		
	U_{\min} [V]	U_{\max} [V]	U_{p-p} [V]	U_{\min} [V]	U_{\max} [V]	U_{p-p} [V]
Voda z vodovodu	-1,56	1,52	3,08	-4,16	4,96	9,12
Jarová voda	-2,04	1,96	4,00	-4,24	5,12	9,36
Voda z akvária	-2,40	2,28	4,68	-4,72	4,88	9,44
Slaná voda	-3,92	3,60	7,56	-6,56	4,82	11,3
Bez vody	-300[mV]	200[mV]	0,50	-0,56	160[mV]	0,72

Tab 1: Laboratorní měření toroidních cívek

Druh znečištění vody	Železoprachové jádro T80-2 (150z)			Železoprachové jádro T80-2 (12z)		
	U_{\min} [V]	U_{\max} [V]	U_{p-p} [V]	U_{\min} [V]	U_{\max} [V]	U_{p-p} [V]
Voda z vodovodu	-4,16	3,68	7,84	-4,32	2,00	6,30
Jarová voda	-4,48	4,00	8,48	-4,40	2,08	6,50
Voda z akvária	-5,04	4,24	9,28	-4,72	2,48	7,20
Slaná voda	-6,88	5,60	12,6	-4,52	2,24	6,76
Bez vody	-160[mV]	120[mV]	280[mV]	-80[mV]	160[mV]	240[mV]

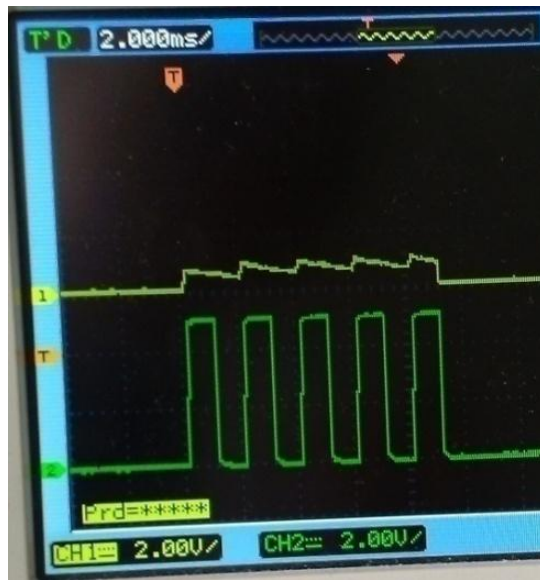
Tab 2: Laboratorní měření toroidních cívek

Závěrem měření byl výběr páru cívek, který se dále použil na zhotovení bezkontaktního snímače. Bylo vybráno feritové jádro (FT82-43) o 150 závitů. Důvod výběru byl největší rozdíl napětí U_{p-p} pro jednotlivé druhy znečištění. To zaručuje přesnější detekci rozdílného znečištění.

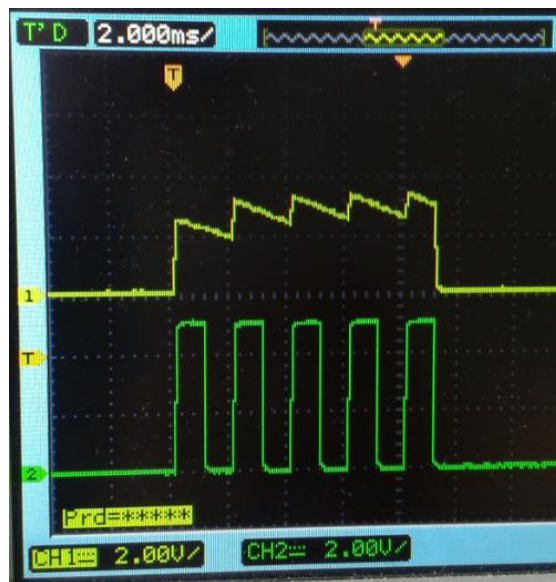


Obr. 14: Indukované napětí na cívce FT82-43 (Jarová voda)

Obrázky níže zobrazují rozdílné hodnoty napětí na kondenzátoru v závislosti na znečištění měřené vody. Obr. 15 zachycuje napětí na kondenzátoru v případě ponoření do neznečištěné vody a Obr. 16 ponoření do slané vody. Hodnota napětí v případě čisté vody dosahovala průměrně 0,8V - 1V. Napětí na C0_IND po ponoření do středně silného roztoku soli vzrostlo na průměrnou hodnotu 3,4 - 3,7V



Obr.15: Napětí na C0_IND při měření čisté vody



Obr. 16: Napětí na C0_IND při měření slané roztoku

Po naměření výstupních hodnot jsem dospěl k závěru, že bezkontaktní senzor spolehlivě detekuje tekutinu a zachycuje i případné znečištění vody. Bezdotykové měření vhodně doplněné o měření optického senzoru dává hrubý odhad znečištění odpadní vody.

Ke zvýšení citlivosti detektoru pro detekci ve větším rozsahu by vedlo zavedení dekády vstupních kondenzátorů viz kapitola 7.4.1.3 *Možnosti dalšího vylepšení návrhu DPS*.

11 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce byl komplexní pohled na problematiku možnosti analýzy odpadních vod v běžné domácnosti. V návaznosti na teoretickou přípravu v oblasti detekčních senzorů čistoty vody byl proveden návrh a následná výroba funkčního přípravku, který byl použit v navazujícím měření. Základním požadavkem celého zařízení byla schopnost detekce základního znečištění odpadních vod.

V první části práce byla vytvořena rešerše jednotlivých způsobů měření, umožňující detekci čistoty vody. Z této rešerše bylo nutné provedení volby omezeného množství vyhodnocovacích postupů, které byly následně aplikovány na výrobu konkrétního přípravku. Před finálním návrhem měřicího systému bylo provedeno ověření jednotlivých principů typů senzorů. Na základě porovnání dosažených výsledků měření byly zvoleny optimální metody měření, a to bezkontaktní měření vodivosti odpadní vody v kombinaci s optickým měřením čistoty vody.

Bezkontaktní měření založené na páru cívek s toroidními jádry eliminuje problémy, oproti standardně využívaným principům přímého měření vodivosti, se zanášením elektrod a vznikem galvanického článku. To umožňuje podstatné prodloužení servisních intervalů samotného detektoru a zvýšení spolehlivosti celého zařízení.

Protože vodivost vody nemusí mít vždy vypovídající hodnotu o znečištění vody, zejména pokud se jedná o znečištění čistě mechanického rázu, tak bylo nutné měřicí systém dále rozšířit. Vhodná metoda splňující požadavky na detekci těchto typů znečištění, byla definována na principu optického měření průhlednosti vody. Tímto bylo zajištěno pokrytí většiny běžných typů znečištění odpadní vody v domácnosti.

Aby bylo možné využívat měřicí systém běžným netechnickým uživatelem, byl vytvořen uživatelský interface v podobě PC aplikace. Ta byla napsána v programovacím jazyce C# s využitím .NET Framework 4.5. Data z jednotlivých senzorů, která jsou přenášena do PC pomocí USB sběrnice, je možné zobrazovat ve formě grafů a tabulek, jež je možné exportovat ve formátu .xlsx.

V další práci bych chtěl zprovoznit WiFi modul, který byl nad rámec zadání implementován do hardwaru a usnadní praktické využití měřicího systému. Dále bych chtěl implementovat do zařízení modul umožňující separaci odpadní vody na základě její vhodnosti k recyklaci.

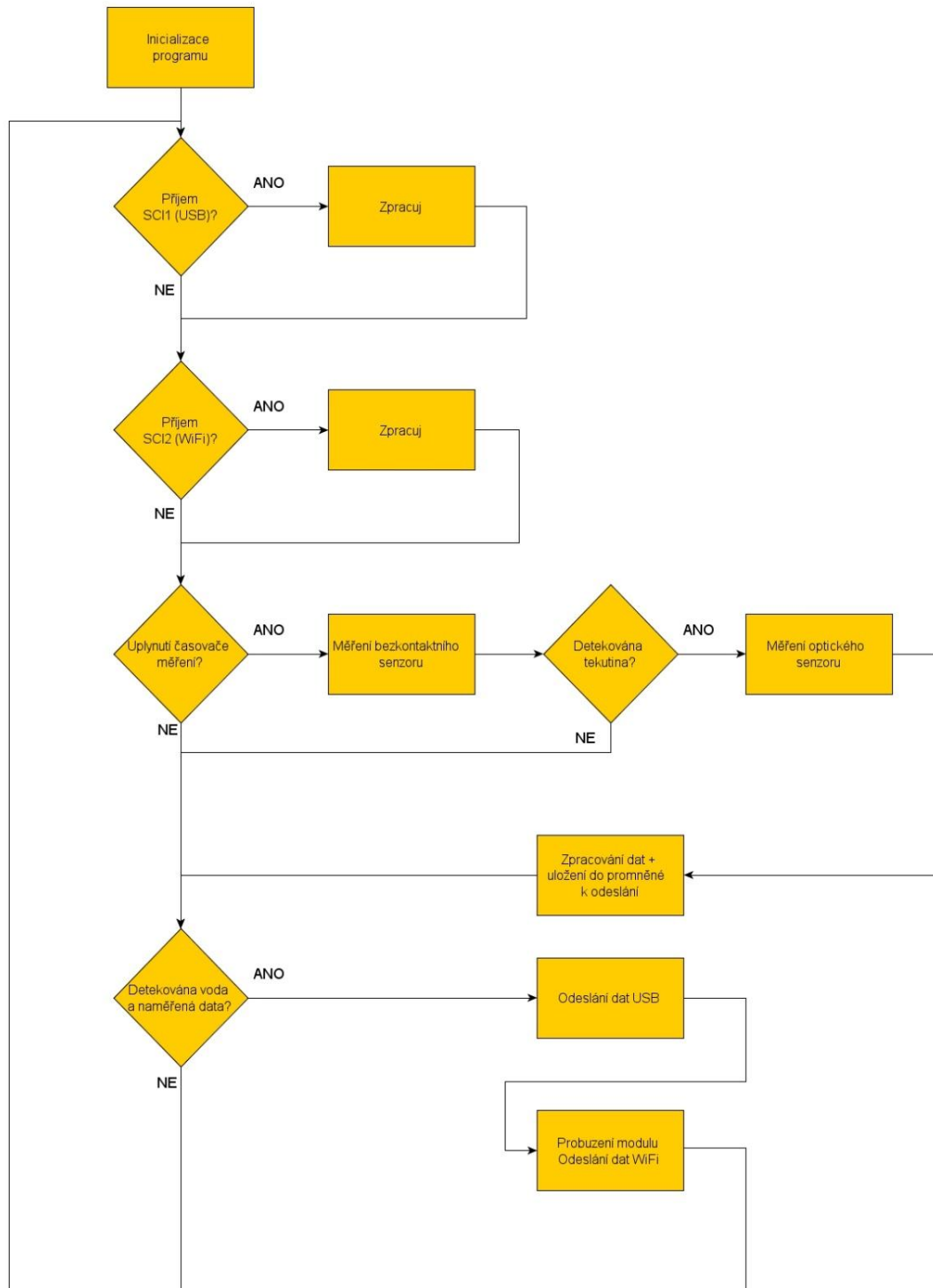
12 ZDROJE:

- [1] Průměrná spotřeba vody. Pražské vodovody a kanalizace [online]. Praha: Veolia, 2015 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <http://www.pvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/spotreba-vody/>
- [2] ZÁHLAVA, Vít. Návrh a konstrukce desek plošných spojů: principy a pravidla praktického návrhu. Praha: BEN - technická literatura, 2010. ISBN 978-80-7300-266-4.
- [3] DOLEČEK, Jaroslav. Moderní učebnice elektroniky-3. díl. Praha: BEN, 2005, ISBN 80-7300-184-5.
- [4] BENEŠOVÁ, Zdeňka a Daniel MAYER. Základní příklady z teorie elektromagnetického pole. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2008. ISBN 978-80-7043-737-7.
- [5] Technology. SBTAQUA [online]. Lyngby: SBT Aqua, 2014 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: <https://sbtaqua.com/technology/>
- [6] VOBECKÝ, Jan a Vít ZÁHLAVA. Elektronika: součástky a obvody, principy a příklady. 3., rozš. vyd. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-1241-5.
- [7] Disociace. Aristoteles [online]. Praha: Ing. Petr Schuhmeier, 2007 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.aristoteles.cz/chemie/ph/disociace.php>
- [8] Industrielle Ultraviolett-Lösungen. Peschl Ultraviolet [online]. Mainz: Peschl Ultraviolet, 2014 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://peschl-ultraviolet.com/>
- [9] Liquid Analysis. Endress+Hauser [online]. Reinach: Endress+Hauser Consult AG, 2008 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.endress.com/en/Tailor-made-field-instrumentation/liquid-analysis-product-overview>

- [10] LIQUID SENSORS. EMERSON Process Management [online]. Emerson Electric Co, 2013 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www2.emersonprocess.com/en-US/brands/rosemountanalytical/Liquid/Sensors/Pages/index.aspx>
- [11] Conductivity. SWAN Analytical Instruments [online]. Hinwil: Swan Analytische Instrumente AG [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.swan.ch/default.aspx>
- [12] Overview. Sigrist-Photometer [online]. Ennetbürgen: Sigrist-Photometer AG [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.photometer.com/en/products/summary.html>
- [13] Analytische Chemie GmbH. MURTAC [online]. Knittelfeld - Austria: MURTAC Mess- und Regeltechnik, 2010 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.murtac.at/index.php?lang=en>
- [14] Sensors. HAMILTON [online]. Bonaduz - Switzerland: Hamilton Company [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.hamiltoncompany.com/products/process-analytics/sensors>
- [15] MARTINEK, Radislav. Senzory v průmyslové praxi. Praha: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-114-4.
- [16] Stamolys CA71AM. Endress+Hauser [online]. Reinach - Switzerland: Endress+Hauser Consult AG [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: https://portal.endress.com/wa001/dla/5000486/5585/000/04/TI00353CEN_1412.pdf

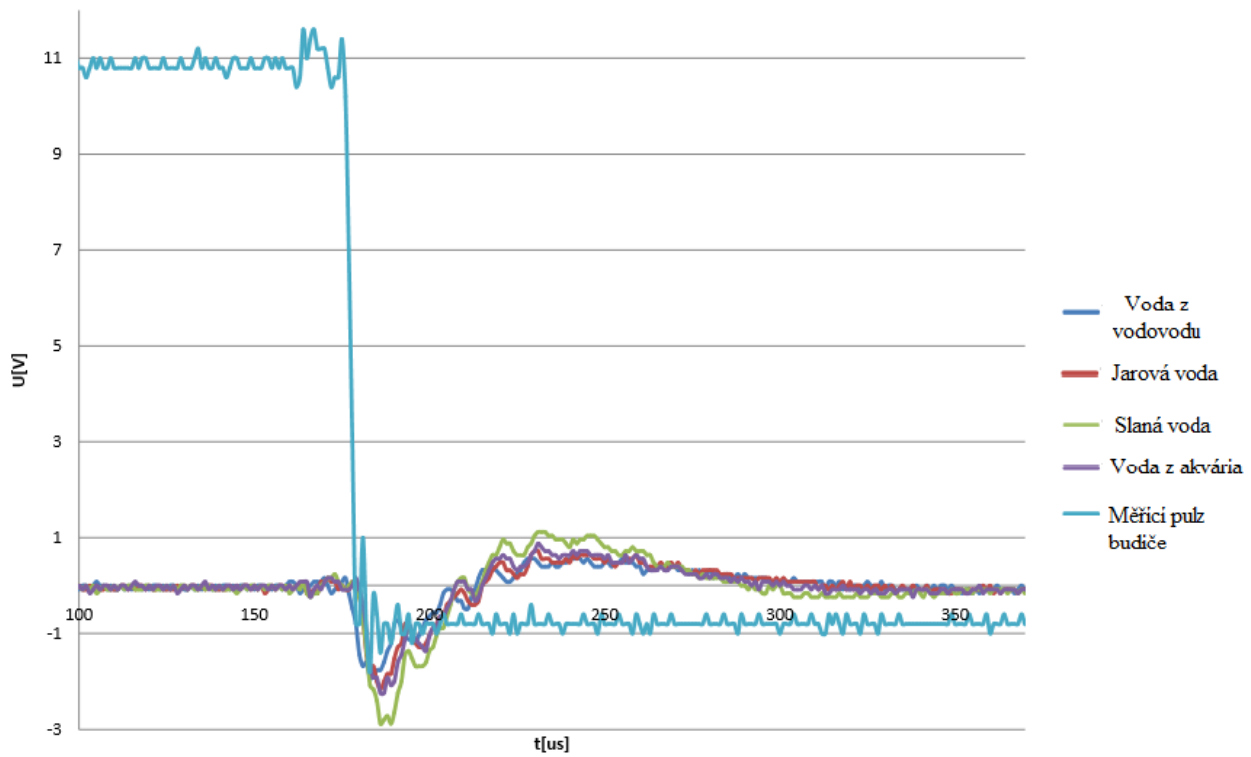
13 PŘÍLOHY

Příloha A - Blokové schéma programu pro MCU

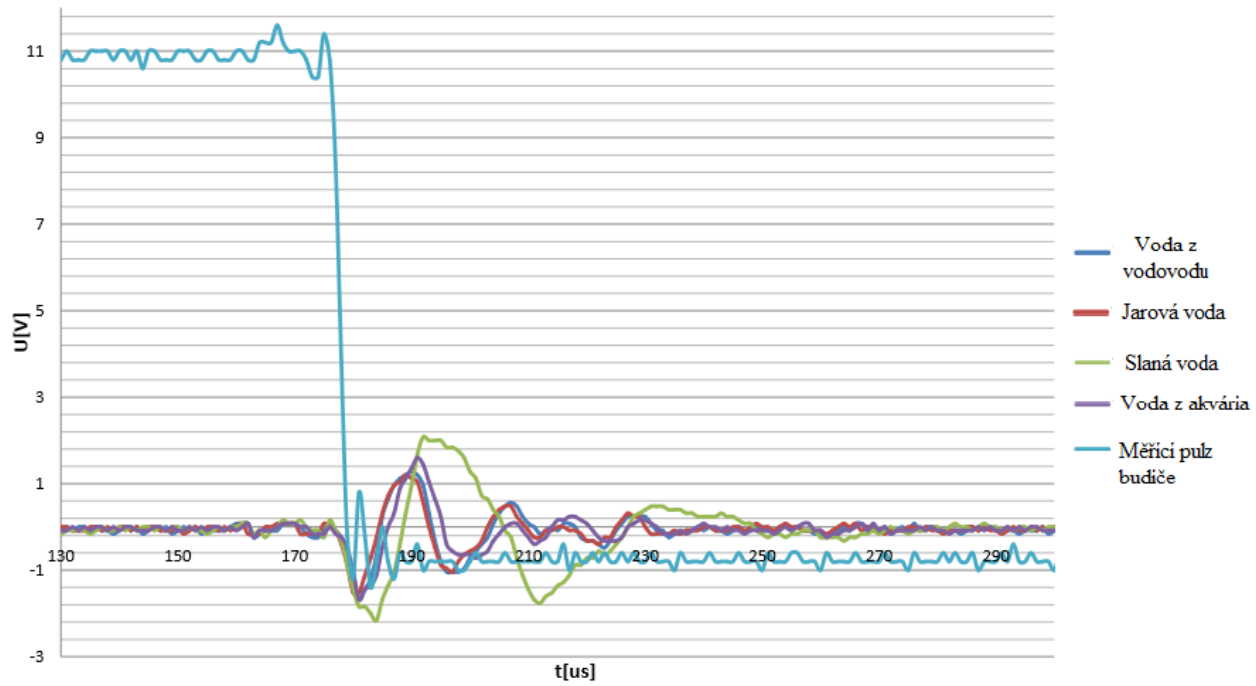


Příloha B - Laboratorní měření bezkontaktního senzoru

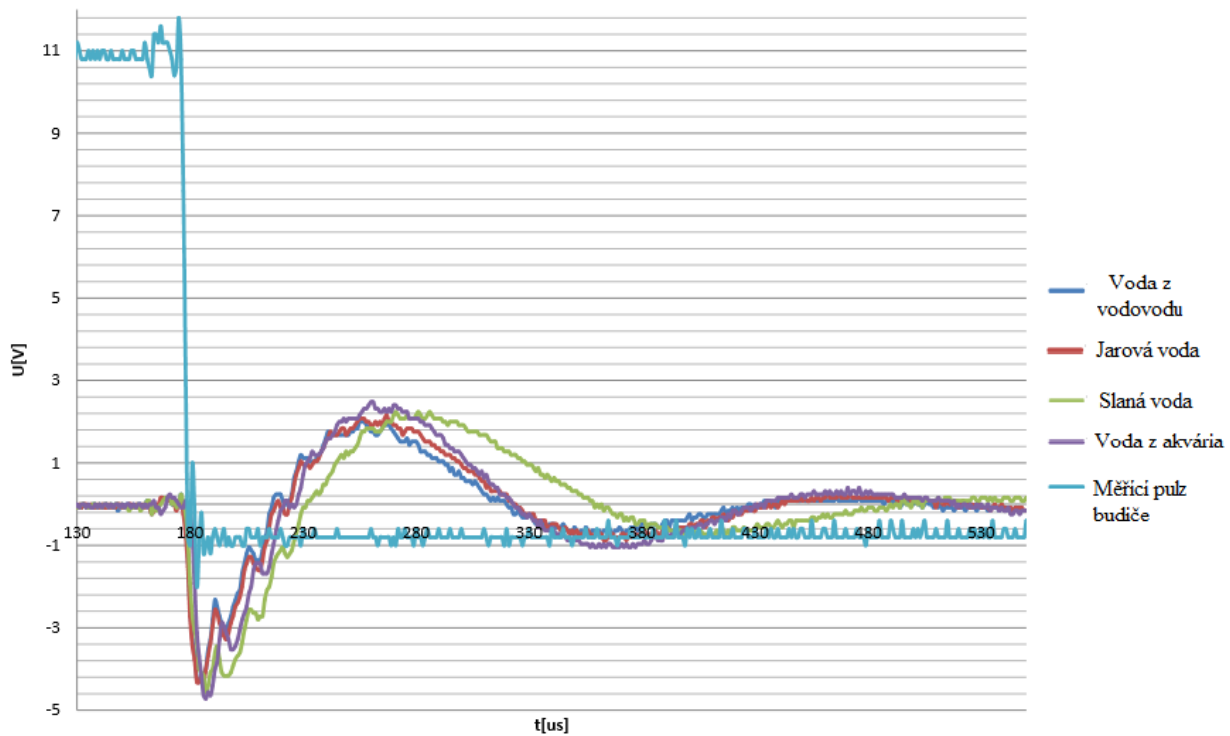
**Měření čistoty vody
Feritové tor. jádro RIK10 (6z)**



Měření čistoty vody Železoprachové tor. jádro T37-2 (26z)



Měření čistoty vody Železoprachové tor. jádro T80-2 (12z)



Příloha C - Komerční analyzátory



© Endress + Hauser

Analyzátor firmy Endress+Hauser Stamolys CA71AM [16]



Analyzátor firmy MURTAC OMT-20 SX/DXN [13]

Příloha D - Návrh a výroba DPS

