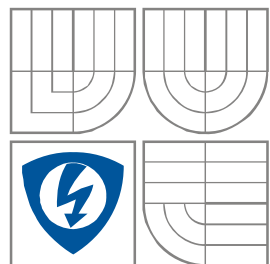


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A
KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND
COMMUNICATION
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

ANALYZÁTOR VODNÉHO ROZTOKU ANALYZER OF WATER SOLUTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

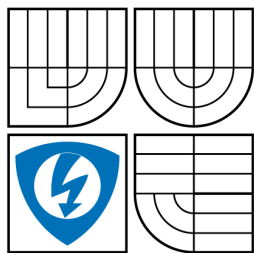
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Lukáš Jeřábek

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

BRNO, 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav mikroelektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Mikroelektronika

Student: Bc. Lukáš Jeřábek

ID: 83692

Ročník: 2

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Analyzátor vodného roztoku

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhnete a sestavte zařízení, které bude schopno měřit kyselost, teplotu a koncentraci chloru ve vodě. Navržené zařízení bude zaznamenávat informace o aktuálním atmosférickém tlaku a teplotě okolí. Zařízení zrealizujete tak, aby umožňovalo zobrazení naměřené hodnoty na lokálním zobrazovači a umožňovalo bezdrátovou komunikaci s počítačem, na kterém lze naměřená data dále zpracovávat.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 29.5.2009

Vedoucí práce: Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

prof. Ing. Vladislav Musil, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....
Nabyvatel

.....
Autor

ABSTRAKT:

Předkládaná práce se zabývá problematikou detekce chloru, měřením pH, atmosférického tlaku a teploty. Základním zaměřením práce je nastudování dané problematiky, volba vhodných senzorů a metod pro detekci, sestavení schématu zapojení a samotná realizace analyzátoru. Nedílnou součástí je bezdrátová komunikace s připojeným počítačem, umožňující ukládání dat a jejich další možné vyhodnocení.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Koncentrace chloru, pH, teplota, měření, zařízení, detekce.

ABSTRACT:

This work deals with issues of detection chlorine, measurement pH, atmospheric pressure and temperature. The general aim is to study of the problem, the choice appropriate sensors and methods for detection, create schematic diagram and implementation of the analyzer. An integral part of wireless communication with the computer, susceptible the storage of date and makes it possible to further evalution.

KEYWORDS:

Chlorine concentration, potential of hydrogen, temperature, measurement, device, detection.

Bibliografická citace díla:

JERÁBEK, L. *Analyzátor vodného roztoku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 58 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedeného diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 29. května 2009

.....
podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Pavlu Šteffanovi, Ph.D. za metodickou, odbornou pomoc a cenné rady, které vedly ke zdárnému vypracování této práce. Dále za poskytnutí dostatečně tvůrčí svobody k uplatnění vlastních myšlenek a postupů.

OBSAH

1	ÚVOD	9
2	POPIS JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ OBVODU	10
2.1	ZÁKLADNÍ POJMY	10
2.2	PH	10
2.2.1	<i>Definice pH.....</i>	<i>11</i>
2.2.2	<i>Instrumentální metody měření</i>	<i>13</i>
2.2.3	<i>Stanovení pH.....</i>	<i>14</i>
2.2.4	<i>Měřicí sondy a elektrody.....</i>	<i>15</i>
2.2.5	<i>Měřicí převodník.....</i>	<i>15</i>
2.2.6	<i>Informace o nabízených čidlech</i>	<i>17</i>
2.3	TEPLOTA	19
2.3.1	<i>Teplotní čidlo PT 100.....</i>	<i>20</i>
2.3.2	<i>Teplotní čidlo SMT-160-30</i>	<i>22</i>
2.4	CHLOR.....	23
2.4.1	<i>Elektrochemické měřicí metody.....</i>	<i>24</i>
2.4.2	<i>Specifikace čidel CSUT 43 a CSCT 43</i>	<i>25</i>
2.4.3	<i>Převodník pro detekci chloru</i>	<i>27</i>
2.4.4	<i>Příklady použití</i>	<i>28</i>
2.5	TLAK.....	29
2.6	MIKROKONTROLÉR AT MEGA 8535	30
2.7	LCD DISPLEJ MC 1602E-SBLH	32
2.8	BEZDRÁTOVÁ KOMUNIKACE	33
2.8.1	<i>Modul Bluetooth.....</i>	<i>33</i>
3	PRAKTICKÁ ČÁST	35
3.1	CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	35
3.2	VOLBA SOUČÁSTEK A DPS	35
3.3	MĚŘENÍ PH	36
3.3.1	<i>Převodní obvod</i>	<i>36</i>
3.3.2	<i>Kalibrace čidla</i>	<i>37</i>
3.4	MĚŘENÍ CHLORU	38
3.4.1	<i>Amperometrická metoda</i>	<i>38</i>
3.4.2	<i>Detekce chloru.....</i>	<i>39</i>
3.4.3	<i>Převodní obvod</i>	<i>40</i>
3.4.4	<i>Naměřené hodnoty</i>	<i>42</i>
3.5	MĚŘENÍ TEPLoty PT 100	44
3.5.1	<i>Naměřená teplotní závislost</i>	<i>45</i>
3.6	MĚŘENÍ TLAKU	45
3.7	BLUETOOTH.....	46
3.7.1	<i>Kompaktní převodník úrovní RS-232/TTL</i>	<i>47</i>
3.7.2	<i>Konfigurace BT modulu.....</i>	<i>48</i>
3.8	ZPRACOVÁNÍ ANALOGOVÝCH VÝSTUPŮ.....	49
3.9	EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ	50
3.10	PŘENOS DAT	52

3.10.1	<i>Sériová komunikace μP</i>	52
3.10.2	<i>Bezdrátový přenos dat</i>	52
3.10.3	<i>Program v PC</i>	53
3.11	POPIS HLAVNÍHO PROGRAMU.....	54
4	ZÁVĚR	56
5	LITERATURA	57
6	SEZNAM PŘÍLOH	59
7	PŘÍLOHY	60

1 Úvod

Náplní diplomové práce je aplikace teoretických poznatků zabývajících se problematikou měření a vyhodnocení vodného roztoku do praxe. Práce je rozdělena na dvě části. První teoretická pojednává o metodách měření a způsobech provedení čidel. Výsledkem je výběr optimálních komponent a zvolení principu detekce náležitých veličin, které jsou blíže popsány v části praktické. Zaměřující se na tvorbu schématu, návrh desek plošných spojů a především experimentální měření s následným zpracováním získaných hodnot. Celé zařízení slouží jako stanice pro analýzu vody - stanovením kyselosti, koncentrace chloru při zohlednění vlivu okolní teploty a tlaku. Stanice nejčastěji nachází uplatnění v bazénech. Samostatné pH metry jsou v současné době velmi kvalitně i komerčně zvládnuté přístroje jak v lékařství, průmyslu, tak i domácnosti. Podobně jsou na tom chlorové přístroje, mající taktéž širokou škálu uplatnění.

V dnešní době přibývá zájemců o vlastní bazén především z důvodu nepříliš kvalitní vody v rybnících a neustále přeplněných koupalištích. Nejdůležitější je zabezpečení čisté vody, aby se v ní během koupací sezóny nerozšiřovaly řasy, rozsivky, bičíkovci a další nežádoucí mikroorganismy. Ošetřování se provádí nejefektivněji chemickými přípravky. Při aplikaci je nutné dodržovat návody k použití pro zabránění vzniku nežádoucích efektů, jako jsou nepříjemné pachy z vody, pálení očí způsobené vysokou zůstatkovou hodnotou chloru.

Nejběžněji se voda analyzuje pomocí kapkového a tabletového testeru, aplikující se do odebraného vzorku z bazénu, tím dochází ke změně, jež se porovnává s barevnou škálou odpovídající jednotlivým koncentracím. Podle zbarvení vzorku nelze přesně určit pH ani množství chloru z důvodu podobnosti barevných odstínů standardů, hodnota je tedy pouze orientační. Oproti tomu digitální přístroje detekují s větší přesností, rychlostí a kontrolu lze provádět nepřetržitě. Čímž omezíme nadměrné chlorování a negativní účinky na naše zdraví. Tyto přístroje jsou výsledkem modernizace usnadňující každodenní obsluhu.

Výsledkem práce je zařízení schopné poskytovat údaje s podobnou přesností a funkcemi jakou jsou detektory již nabízené na trhu.

2 Popis jednotlivých částí obvodu

V této části jsou popsány jednotlivé použité prvky v obvodu, vysvětlena jejich funkce na základě získaných informací. Jedná se především o způsob měření koncentrace chloru, pH, které zároveň obsahuje integrovaný senzor k měření teploty, dále o připojené čidlo k měření okolní teploty a atmosférického tlaku. Rovněž hlavní řídicí obvod, což je v tomto případě mikrokontrolér, zobrazovací prvek LCD (Liquid Crystal Display), zpracování a bezdrátový přenos dat do počítače.

2.1 Základní pojmy

Pod pojmem **senzor** je chápáno zařízení, snímající sledovanou fyzikální nebo chemickou veličinu a dle určitého definovaného principu ji transformuje na veličinu výstupní často elektricky kvantitativní. Stav sledované veličiny snímá citlivá část senzoru občas označovaná jako čidlo a zpracovává vyhodnocovací obvod senzoru. Výstupní informací z vyhodnocovacího obvodu senzoru je obvykle elektrický signál, který je vyhodnocen elektronickým detektorem a lze ho dále zpracovat dalšími obvody.

Každý senzor obsahuje minimálně dvě elektrody z platiny nebo zlata vytvořené na substrátu. Tyto drahé kovy tvoří polarizovatelné elektrody. Elektrody jsou opatřeny vývody sloužícími k propojení s elektronickým detektorem. Mohou být zhotoveny z různých kovů s přihlédnutím k co nejmenším termoelektrickým napětím vznikajícím na spojení kovů.

Elektrochemický převodník je nejčastěji užívaný princip, jehož základem je roztok v pevné nebo kapalně fázi pro převod neelektrické veličiny na elektrickou. Ten je připojený na elektrody, pomocí nichž se elektrická veličina vyhodnocuje metodou měření jednoho nebo více elektrických parametrů. [1]

2.2 pH

Přístroje pro měření elektrochemických veličin, tedy hodnoty pH, redoxního potenciálu nebo množství rozpuštěného kyslíku či jiného plynu ve vodném roztoku, nalézají uplatnění především při analýze provozních a odpadních kapalin, roztoků a finálních produktů v průmyslu i odpadovém hospodářství. Elektrochemické vlastnosti vodných roztoků umožňují velmi přesně posoudit kvalitu měřené kapaliny, tj. jeho kyselost či zásaditost, oxidační nebo redukční schopnost, stupeň znečištění, přítomnost důležitých rozpuštěných složek.

2.2.1 Definice pH

Kyselost neboli pH (*potential of hydrogen*), též vodíkový exponent je číslo v chemii vyjadřující, zda vodný roztok reaguje kyselé či alkalicky.

Hodnota pH je definována jako záporný dekadický logaritmus aktivity oxoniových kationtů. Ve zředěných vodných roztocích lze hodnotu aktivity aproximovat hodnotou koncentrace, pak platí:

$$pH = - \log(c(H_3O^+)) \quad (2.1)$$

pHkyselost [-]

ckoncentrace oxoniových kationtů [mg/l]

H_3O^+oxoniový kationt

Obecně platí rovnice:

$$pH = - \log(a(H_3O^+)), \quad (2.2)$$

a aktivita iontu (H_3O^+)

Ve vodném roztoku je vždy kromě molekul H_2O také určité množství oxoniových kationtů H_3O^+ (přesněji $[H(H_2O)_4]^+$) a hydroxylových aniontů OH^- . Součin koncentrací obou těchto iontů je vždy konstantní, označován jako *iontový součin vody* nabývající hodnoty 10^{-14} . V čisté vodě je látková koncentrace obou iontů stejná: 10^{-7} . To odpovídá pH 7. Kyselost vzniká přebytkem H_3O^+ . Zvýšení jejich koncentrace na stonásobek, tedy 10^{-5} , odpovídá pH 5. Zásaditost je přebytek hydroxylových iontů na úkor oxoniových.

V plaveckých bazénech by měla být hodnota pH v rozsahu od 6,8 do 7,2. Vzorky mající pH menší než 7, jsou kyselé (citrónová šťáva, pivo, kyseliny). Vzorky, jejichž pH je vyšší, jsou zásadité.

Hodnota pH je jeden z nejdůležitějších elektrochemických parametrů a jedno z nejfrekventovanějších měření, výrazně ovlivňující průběh chemických reakcí. Alkalizace a neutralizace patří k nejrozšířenějším technologiím, významně určuje chování mikrobiologických systémů. Proto je významná pro funkci biologických čistíren odpadních vod (ČOV), potravinářských zařízení, pro monitoring povrchových a odpadních vod.

Hodnota oxidačně-redukčního potenciálu (ORP) vyjadřuje intenzitu oxidačního nebo redukčního působení vzorku. Kladný potenciál (proti standardní vodíkové elektrodě) informuje o oxidačním působení vzorku, zatímco záporný potenciál o redukčním. Toto měření se používá např. pro kontrolu a řízení denitrifikačních procesů u biologických ČOV. Měření ORP lze rovněž použít na měření koncentrace chloru, chlordioxidu nebo ozonu v čisté vodě.

Některé organické látky mění uspořádání dvojných vazeb v molekule v závislosti na pH prostředí projevující se změnou zabarvení roztoku. Například čaj změni barvu přidáním kyselé citrónové šťávy. Takovým látkám říkáme acidobazické indikátory. Kyselost můžeme měřit přidáním indikátoru do roztoku a porovnáním barvy s kalibrovanou barevnou škálou. *Nejpoužívanější jsou zejména tyto látky:*

Lakmus přechází z kyselé červené formy na zásaditou modrou.

Fenolftalein přechází z kyselé bezbarvé formy na zásaditou fialovou v oblasti pH 8,0 ÷ 9,8.

Methyloranž přechází z kyselé oranžové formy na zásaditou žlutou v oblasti pH 3,1 ÷ 4,5.

Methylčerven přechází z kyselé červené formy na zásaditou žlutou v oblasti pH 4,4 ÷ 6,3.

Bromthymolová modř přechází z kyselé žluté formy na zásaditou modrou v oblasti pH 6,0 ÷ 7,6.

Pro hrubou orientaci o kyselosti měřeného roztoku se k měření pH používá lakmusový papírek, což je proužek papíru napuštěný lakmusem. Poněkud přesnější údaj o kyselosti měřeného roztoku poskytuje univerzální indikátorový papírek, jehož zbarvení se mění s pH měřeného roztoku od červené až po tmavě modrou.

Barevné přechody indikátorů jsou v praxi nejčastěji využívány pro acidobazické titrace, sloužící pro určení obsahu kyseliny nebo hydroxidu v analyzovaném roztoku. Definovaný objem měřeného vzorku s přidavkem vhodného indikátoru je přitom neutralizován roztokem kyseliny nebo hydroxidu. Dosažením bodu ekvivalence je koncentrace kyseliny a hydroxidu v rovnováze (neutrální roztok) je určena změnou barvy příslušného indikátoru. Z množství a koncentrace roztoku, potřebného pro získání neutrálního roztoku lze jednoduše vypočítat obsah kyseliny nebo hydroxidu v analyzovaném roztoku. [5]

Tab. 2.1: Přehled hodnot pH běžně se vyskytujících roztoků a zbarvení indikátorového papírku [5]

Látka	pH	Látka	pH
Kyselina v bakteriích	<1,0	Sliny onkologických pacientů	4,5-5,7
Žaludeční šťávy	2,0	Mléko	6,5
Citrónová šťáva	2,4	Čistá voda	7,0
Coca-cola	2,5	Sliny zdravého člověka	6,5-7,4
Ocet	2,9	Krev Mořská voda	7,34 - 7,45
Šťáva z pomeranče, jablka	3,5	Mořská voda	8,0
Pivo	4,5	Mýdlo	9,0 - 10,0
Káva	5,0	Čpavek pro domácí použití	11,5
Čaj	5,5	Hašené vápno	12,5
Kyselý déšť	< 5,6	Louh sodný (domácí použití)	13,5

2.2.2 Instrumentální metody měření

Pro přesná měření hodnot pH vodných roztoků se v současné době především používá potenciometrie s využitím skleněné elektrody jako měrného členu. Podstatou uvedené metody je velmi přesné měření elektrického potenciálu mezi měrnou (skleněnou) a referenční elektrodou. Jako referenční elektrody lze v tomto případě využít prakticky každé elektrody II. druhu, tedy elektrody, jejíž potenciál zůstává konstantní při změně prostředí, v němž je ponořena. Nejčastěji se zde uplatňuje kalomelová nebo chloridostříbrná srovnávací elektroda.

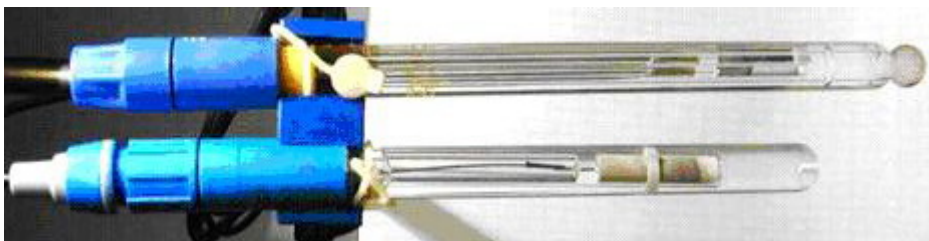
Základní část skleněné elektrody tvoří tenkostěnná miniaturní baňka ze speciálního skla. Vnitřní objem baňky je naplněn puftrem, tedy roztokem o konstantním pH. Vnější povrch baňky je ve styku s měřeným roztokem a rovnováha mezi hydroxoniovými ionty ve zkoumaném roztoku a ionty v povrchu skla způsobují změnu elektrického potenciálu elektrody.

Elektrický potenciál mezi měrnou a referenční elektrodou je měřen citlivým voltmetrem, který musí vykazovat vysoký vstupní odpor, minimální požadavek je $10^{14} \Omega$, kvalitní přístroje mají parametry o řád až dva lepší. Komerčně dodávané pH-metry současně převádějí měřené napětí mezi elektrodami přímo na hodnotu pH, kterou zobrazují digitálně na displeji.

Teoreticky platí, že změna pH o jeden řád (např. z pH 6 na pH 7) vyvolá změnu potenciálu skleněné elektrody o 59 mV. V praxi je však potenciálový rozdíl individuálně měřen pro konkrétní elektrodu pomocí pufrů. Naměřený potenciálový rozdíl slouží ke kalibraci elektrody a zpřesnění výsledných údajů.

Měření pH skleněnou elektrodou se již neomezuje pouze na měření kyselosti roztoků, ale je možno zakoupit speciální elektrody pro sledování kyselosti povrchů (např. navlhčený papír, zemina apod.). V medicíně slouží miniaturní pH-elektrody k monitoringu pH krve pacientů.

V současné době patří potenciometrické měření pH k velmi kvalitně i komerčně zvládnutým instrumentálním technikám. Na trhu je celá řada přístrojů špičkové kvality, umožňujících měření s rozlišením na $0,01 \div 0,001$ jednotky pH. Současně jsou však k dispozici cenově dostupné přístroje pro měření v terénu (úpravný a čistírný odpadních vod, monitoring kyselosti zásobních roztoků v průmyslu...), nedosahující špičkové přesnosti měření, ale umožňují velmi rychlé a snadné získání dat. [5]



Obr. 2.1: Skleněná a kalomelová referenční elektroda [5]



Obr. 2.2: Přenosné pH metry [5]

2.2.3 Stanovení pH

Hodnota pH jako kvantitativní míra kyselosti/zásaditosti roztoků. Je to veličina bezrozměrná. Stanoví se potenciometrickým měřením napětí galvanického článku tvořeného měřeným roztokem, do kterého jsou ponořeny dvě elektrody – měřicí a srovnávací (obr. 2.1). Měřené napětí bývá přibližně v rozmezí $-500 \div +500$ mV. Aktivní část měřicí elektrody je vyrobena ze speciálního skla. Lze však použít i neskleněné elektrody vyrobené např. technologií ISFET (Ion Sensitiv Field Effect Transistor) mají rychlejší odezvu a hlavně nižší impedanci. Pokud nejsou elektrody zatíženy proudem, je napětí mezi nimi lineární funkcí koncentrace vodíkových iontů. Strmost lineární charakteristiky je ovšem značně závislá na teplotě, proto se musí měřený údaj pH v měřicím převodníku vždy teplotně kompenzovat, buď ručně zadáním teploty měřeného roztoku, nebo častěji automaticky podle vloženého algoritmu a aktuální teploty měřené teplotním čidlem vestavěným v měřicí sondě. [6]

2.2.4 Měřicí sondy a elektrody

Sondy a elektrody pro měření elektrochemických veličin a elektrolytické vodivosti mají rozhodující vliv na přesnost, stálost i správnost měření. Výrobci je nabízejí v různém mechanickém provedení a uspořádání podle druhu měřené veličiny, jejího rozsahu, způsobu nasazení a začlenění do technologického procesu. Jsou k dispozici jako samostatné měřicí a srovnávací elektrody, vkládající se do měřeného média ve specifikované vzdálenosti od sebe. V poslední době však uživatelé stále více preferují kombinované měřicí sondy obsahující v jednom pouzdře elektrody měřicí i srovnávací, často včetně čidla pro měření aktuální teploty roztoku. Měřicí sondy se vyrábějí v provedení pro průtočné i ponorné použití s různými způsoby připojení (přírubou, šroubením, závitem s převlečenou maticí, volným zavěšením) a je k nim dodáváno bohaté příslušenství jako průtočné a výměnné armatury, T-kusy, ponorné trubky apod.

Velký důraz je kladen na robustnost, mechanickou a korozní odolnost a snadné vkládání i vyjímání sondy nebo elektrody z měřeného média. Uživatel však musí mít stále na zřeteli, že se všemi sondami a elektrodami pro elektrochemické měření se musí pečlivě zacházet, pravidelně se musí čistit, zbavovat nežádoucích nánosů, kalibrovat a uskláňovat předepsaným způsobem.

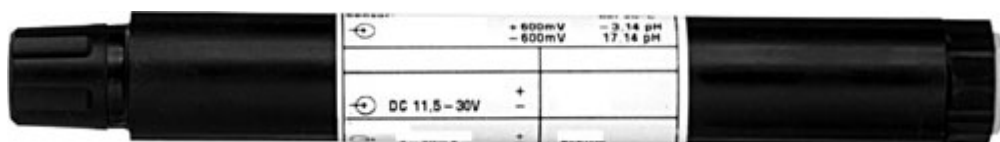
Měřicí sonda nebo jednotlivé elektrody se připojují kabelem o délce až několika metrů k měřicímu převodníku a přivádějí na jeho vstup signál úměrný měřené veličině k zesílení a dalšímu zpracování. Aby se omezila možnost rušení výstupního signálu sondy, zejména při vysoké impedanci skleněných elektrod, musí být kabel stíněný s velmi dobrou izolací. Častým řešením je použití předzesilovače, zajišťující kromě zesílení signálu i snížení impedance. Úplnou novinkou odstraňující všechny dosavadní potíže, je systém Memosens, umožňující poprvé bezkontaktní přenos měřené hodnoty z elektrody pH na převodník. Technologie Memosens navíc poskytuje uživateli přímo v senzoru celou řadu údajů o měření pH, např. označení měřicího místa, provozní hodiny, kalibrační data apod. Přitom lze elektrodu pH bezpečně, jednoduše, spolehlivě kalibrovat v laboratoři a až při vhodné příležitosti vyměnit v provozu. [6]

2.2.5 Měřicí převodník

Měřicí převodník musí mít vstupní obvod navržený tak, aby vyhovoval měřené elektrochemické veličině. U pH je zapotřebí vysoký vstupní odpor. Převodník pracuje většinou ve dvou nebo čtyř-vodičovým zapojení a po náležitém zesílení převádí vstupní měřený signál zpravidla analogový na digitální (digitalizace odpadá, pokud senzor poskytuje digitalizovaný signál jako v případě systému Memosens). Ve vyhodnocovací jednotce řízené

mikrokontrolérem probíhá zpracování zesíleného měřeného signálu, kompenzace vlivu teploty a provozních podmínek, automatická kalibrace, výpočet odvozených veličin apod. Upravený digitalizovaný signál se převádí převodníkem D/A obvykle na analogový výstupní proudový signál $0 \div 20$ mA nebo na napětí $0 \div 10$ V, nebo se zobrazuje v digitálním tvaru na displeji. Převodník lze konfigurovat buď ručně tlačítky, nebo dálkově přes komunikační rozhraní, většinou s podporou menu na displeji. Měřené údaje a konfigurační data se někdy ukládají v elektronické části do energeticky nezávislé paměti (EEPROM).

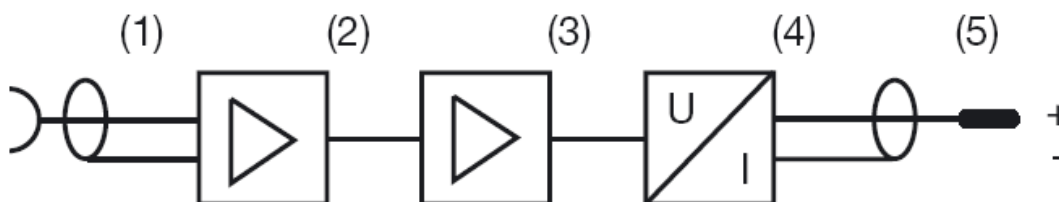
Převodníky bývají vybaveny alfanumerickým, popř. grafickým displejem LCD, na kterém lze odečítat měřenou veličinu i další údaje, obvykle čas, teplotu média, úroveň výstupního signálu. Dražší typy umožňují zobrazit sloupcové grafy, různé grafické symboly nebo krátké texty (pokyny, typy závad, menu aj.). Pro uživatele je důležitá obousměrná komunikace mezi měřicím převodníkem/analyzátozem a nadřazeným PC nebo řídicím systémem. Typy převodníků se liší mechanickým uspořádáním, rozměry, měřicím rozsahem, přesností, ale také obvodovým zapojením, zejména počtem vstupů a výstupů, způsobem teplotní kompenzace, rozsahem zobrazení na displeji, komunikačními schopnostmi a doplňujícím vybavením (dálkové ovládání, autokalibrace s rozpoznáním kalibračního roztoku, hlídání mezí, funkce alarmu, automatického čištění a vymývání elektrod, jednoduché regulační funkce, ochrana proti neoprávněnému přístupu apod.). Vyrábějí se v různém provedení jako kompaktní přístroje pro montáž do panelu, na stěnu nebo přímo na potrubí či nádrž s měřeným médiem, ale také v robustních skříních pro venkovní nasazení. Nabízené produkty se vesměs vyznačují vysokým stupněm krytí, které je pro měření většinou nezbytné, velkým rozsahem provozních teplot, odolností proti chvění a vibracím, elektromagnetickou kompatibilitou a některé i jiskrovou bezpečností pro provoz v prostředí s nebezpečím výbuchu. Všechny důležité parametry dokladují výrobci atesty a certifikacemi renomovaných zkušeben i samozřejmě značkou shody CE. [6]



Obr. 2.3: 2-vodičový převodník pro kombinované elektrody pro pH/redox [7]

Na obr. 2.3 je zobrazen dvou vodičový převodník určený pro připojení kombinovaných čidel popř. redox-sond s konektorovými hlavicemi na zobrazovací/regulační přístroje s aktivním vstupem $4 \div 20$ mA. Tyto dvou vodičové převodníky mají na výstupní straně společné připojení pro napájecí napětí a normovaný signál. Vyrovnání nulového bodu a strmosti pH-sondy se provádí na připojeném přístroji.

Do značné míry eliminuje rušení způsobené znečištěním, vlhkostí nebo elektrickým polem silových vedení. Pro spojení mezi převodníkem a zobrazovačem postačí běžný koaxiální kabel.



Obr. 2.4: Blokové schéma měřicího převodníku [7]

Popis jednotlivých bloků:

Kombinovaná elektroda je připojena na konektor (1). Vstupní napětí je připojené k zesilovači (2), blok (3) určuje začátek a konec signálového převodu. Stupeň (4) přeměňuje napětí na proud obvykle úměrný rozsahu $4 \div 20$ mA. Konektor (5) připojený dvou-vodičově se dále připojuje k dalšímu zařízení, jež zpracovává analogový signál. [7]

2.2.6 Informace o nabízených čidlech

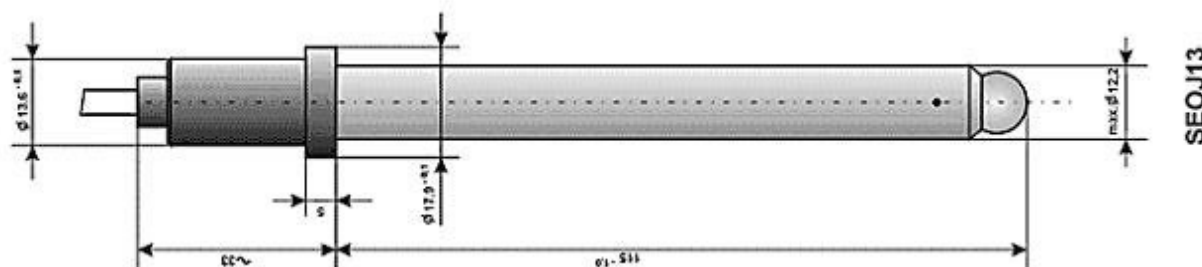
PH Elektrody jsou klasická, velmi dlouhou dobu úspěšně používaná čidla pro potenciometrická stanovení aktivity vodíkového iontu. Při jejich výběru bylo snahou získat podrobný popis o tom, jak čidla pracují, vlastnosti, způsob připojení k řídicí jednotce, výstupní hodnoty, provedení, cena a další parametry. Po kontaktování několika výrobců zabývajících se touto problematikou, většina odpovědí dostatečně nevyhovovala míře kladených otázek, proto rozhodnutí spolupracovat směřovalo k firmě 2THETA. Pro názornost je uvedena nabídka od výrobce Jumo.

Výrobce 2Theta

Elektrody lze použít pro měření se všemi běžnými pH metry se vstupním odporem $10^{12} \Omega$ a vyšším. Standardně jsou zakončeny $0,8 \div 1$ m nízkošumovým koaxiálním kabelem s konektorem typu BNC, který je na většině měřicích přístrojů. Na žádost jsou elektrody osazovány jiným zakončením. Pro teplotní kompenzaci tří-žilovým koaxiálním kabelem s koaxiálním konektorem a banánkem. Obvykle má skleněné pouzdro průměr 12 mm, délku 115 mm.

Provozní kombinované elektrody jsou bez plnicího otvoru, jako bezúdržbové s gelovým referenčním elektrolytem s dostatečnou zásobou referenční soli. Mají standardně referenční chloridostříbrnou elektrodu s referenčním roztokem KCl, $c = 3,0$ mol/l, se zabudovaným teplotním čidlem (Pt 1 k Ω , Ni 1 k Ω , Ni 2 k Ω , termistor NR 3 k Ω).

Některé z dalších typů mají pH článek zabudovaný v mechanicky odolném plastovém pouzdru, chránícím skleněné díly před mechanickým poškozením. Nejsou vhodné pro agresivní prostředí s organickými rozpouštědly. [8]



Obr. 2.5: Rozměry použité elektrody [8]

Výrobce JUMO

Elektrody série JUMO ecoLine a JUMO BlackLine jsou vysoce jakostní měřicí senzory s výhodným poměrem cena/výkon.

Aktivní díly:

- *pH* má vynikající měřicí výsledky díky osvědčenému a mnoho let optimalizovanému JUMO U-skladu
- *redox* vlastní robustní platinovou hlavičku poskytující bezpečné měření hodnot a umožňuje jednoduché čištění senzoru.

Kombinované sondy pro pH a redox ve skleněném a plastovém provedení.



Obr. 2.6: Provedení čidel výrobcem Jumo [7]

Elektrody jsou vybaveny patronovým nebo drátovým svodovým systémem. Drátové vodiče lze použít, pokud médium neobsahuje zvýšenou koncentraci sulfidů, kyanidů atd. U patronového provedení zůstává vztažný elektrolyt po celou dobu životnosti senzoru bez iontů stříbra, díky tomu nepředstavují výše uvedené látky takové riziko pro elektrodu.

Skleněné provedení má funkční část tvořenou z keramiky, u plastového provedení je tvořena skelnými vlákny. Nasazovací ochranný košík chrání senzor před poškozením při

používání s ručními měřicími přístroji. Tělo elektrody je z černého PPO (polyfenylenoxid) a má pevně integrovaný ochranný košík.

Na přání se elektrody dodávají ve speciální úložné nádržce. Tato nádržka se doporučuje tehdy, pokud se senzor používá jen občas, dále k oživení senzoru po delším intenzivním používání nebo po delší době skladování. [7]

Z výše uvedených variant je zvolena elektroda **SEUJ 112** (2Theta), což je kombinovaná, univerzální pH elektroda s vestavěným teplotním (odporovým) čidlem Pt 100 zakončeným konektorem BNC a banánkem, čepicí o průměru 14 mm s nákrůžkem 18 mm pro upevnění v aparatuře snímače. Teplotní rozsah je $10 \div 105\text{ }^{\circ}\text{C}$, rozsah pH je 0-14. Čidlo je rozměrově totožné s SEOJ13 znázorněným na obr. 2.5.

2.3 Teplota

Teplota je stavová veličina. Hodnota teploty se určuje srovnáním daného stavu s teplotní stupnicí. Teplotní stupnice vychází z některých fyzikálních zákonů zejména ze stavové rovnice ideálního plynu:

$$pV = R_p T \quad (2.3)$$

kde ptlak plynu [Pa]
 Vobjem plynu [m^3]
 R_puniverzální plynová konstanta [$\text{J/K}\cdot\text{mol}$]
 Tabsolutní termodynamická teplota [K]

Je několik způsobů jakými lze měřit teplotu a každé má své opodstatnění. Čidla se vybírají podle možností a požadavků na používané zařízení např.: přesnost, napájecí napětí, způsob připojení, cena atd.

Rozdělení čidel teploty:

Čidla teploty můžeme rozdělit dle různých kritérií.

- Podle fyzikálního principu na čidla:
 - a) dilatační (plynové, kapalinové, parní a bimetalové),
 - b) elektrické (kovové, polovodičové, termoelektrické),
 - c) čidla speciální.
- Podle vzájemného působení měřeného objektu a čidla na čidla (metody):
 - a) dotyková,
 - b) bezdotyková.
- Podle typu výstupního signálu na čidla:

- a) analogová,
- b) číslicová.

➤ Podle použitého materiálu se dělí na čidla:

- a) kovová,
- b) polovodičová.
 - polykrystalická
 - monokrystalická

Další dělení je podle teplotního rozsahu, konstrukčního řešení, apod. [9]

Pro odporová čidla se používají především čisté kovy. Požaduje se, aby nereagovaly s izolačním nebo ochranným krytem. Jakékoliv chemické nebo fyzikální vlivy by mohly způsobit nestálost odporu při neměnné teplotě. Použitý materiál musí mít co nejmenší změny teplotního součinitele odporu s časem (stárnutí) a hysterezi.

Tab. 2.2: Odporové parametry čidel [9]

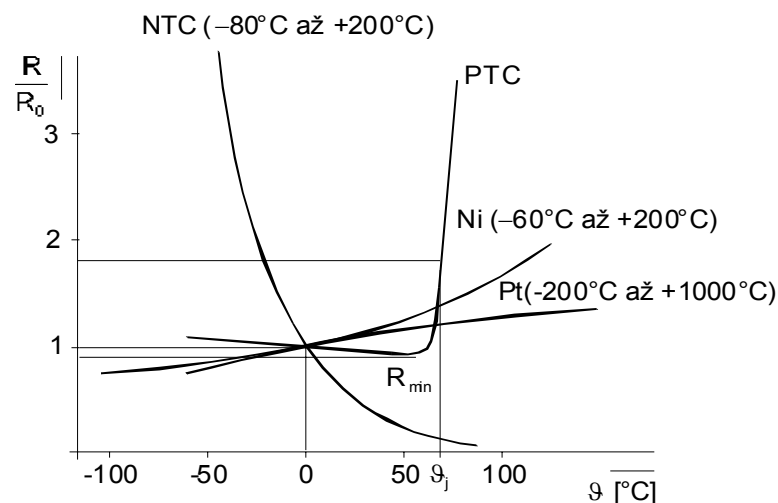
Typ čidla	Označení typu	Pracovní rozsah [°C]	Jmenovitá Hodnota W_{100}
Měděné	Cu	-50 až +180	1,426
Niklové	Ni	-60 až +180	1,617 1,3850
Platinové	Pt	-200 až +650 -200 až +850	1,3910 1,3850 1,3910

Nejčastěji používaným materiálem je *platina*.

2.3.1 Teplotní čidlo PT 100

Funkce platinových čidel je založena na teplotní závislosti odporu. Pro svou pro velkou chemickou stálost, vysokou teplotu tavení a dosažitelnou vysokou čistotu je platina materiál určující velký rozsah, přesnost, popř. konstrukci čidla. Základním požadavkem je, aby teplotní součinitel odporu byl co největší, teplotní závislost odporu lineární. Proud procházející čidlem má být co nejmenší, aby Joulovo teplo vznikající v čidle průchodem proudu způsobilo co nejmenší oteplení.

Na obr. 2.7 je teplotní závislost platinového čidla ve srovnání s ostatními běžně dostupnými, avšak pro názornost nejsou přesně dodržena měřítka os, proto graf slouží pouze jako orientační.



Obr. 2.7: Teplotní závislost odporových snímačů teploty [9]

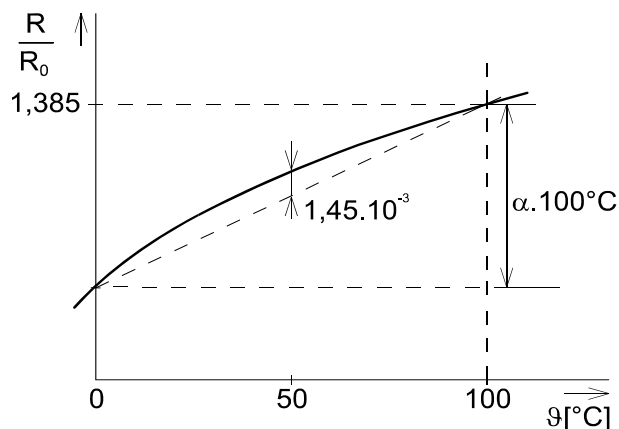
Poměr odporu čidla R_{100} a R_0 (při 100 a 0 °C), tzv. redukovaný odpor W_{100} , musí odpovídat hodnotám uvedeným v tab. 2.2.

$$W_{100} = \frac{R_{100}}{R_0} \quad (2.4)$$

W_{100}redukovaný odpor [-]

R_{100}odpor senzoru pro 100 °C [Ω]

R_0 odpor senzoru pro 0 °C [Ω]

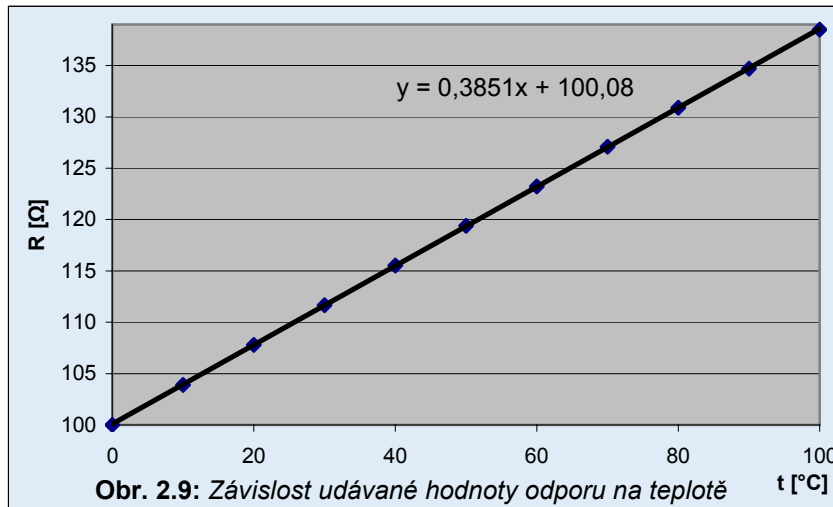


Obr. 2.8: Teplotní závislost Pt čidla [9]

Již výše je uvedeno, že se jedná o lineární závislost odporu na teplotě, z té se vychází při kalibraci. Pro čidlo Pt 100 (tab. 2.3) je popsána teplotní závislost výstupních hodnot. Rozdíl teplot $\Delta t = 1\text{ °C}$ vyvolá změnu odporu o $\Delta R = 0,3851\text{ Ω}$. Vzhledem k nepatrným změnám odporu lze uvažovat i samotný odpor vedení. [9]

Tab. 2.3: Teplotní závislost Pt 100 [11]

T [°C]	R [Ω]
0	100,00
10	103,90
20	107,79
30	111,67
40	115,54
50	119,40
60	123,24
70	127,08
80	130,90
90	134,71
100	138,51



Obr. 2.9: Závislost udávané hodnoty odporu na teplotě

2.3.2 Teplotní čidlo SMT-160-30

Převodník SMT 160-30 je snímač, kterým lze jednoduše a přesně měřit teplotu téměř jakýmkoliv mikrokontrolérem, za použití pouze jednoho výstupního pinu. Teplota je převedena na střidu (frekvenci) výstupního signálu.

Důvody pro použití snímače jsou následující: napájecí napětí se shoduje s napájením ostatních použitých prvků v obvodu (+5 V DC), není zapotřebí jako u ostatních teplotních čidel používat převodník úrovní (frekvence na napětí nebo obdobné převody), ale stačí pouze připojit na jakýkoliv 1 bit portu mikropočítače a vzorkováním zjišťovat logické úrovně napětí na výstupu a tento výsledek dosadit do výrobcem zadané rovnice (2.6, s využitím 2.7):

$$D.C. = 0,32 + 0,0047 * t \quad (2.5)$$

kde $D.C.$střída (duty cycle)

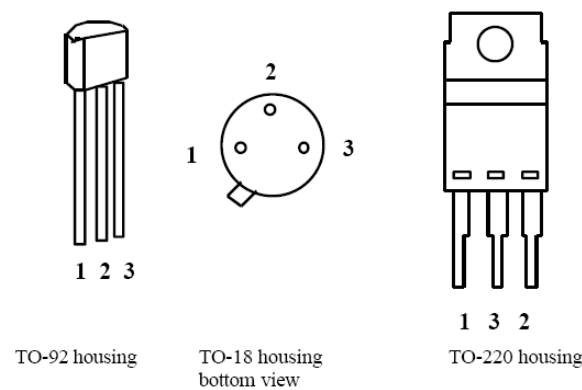
tvypočítaná teplota [$^{\circ}\text{C}$]

$$t = \frac{D.C - 0,32}{0,0047} \quad (2.6)$$

$$D.C = \frac{X_2}{X_1 + X_2}, \quad (2.7)$$

X_1počet měření, kdy byla zjištěna úroveň log. 0

X_2počet měření v log. 1



housing / pinning	TO-18	TO-92	TO-220	SO8L	HE
+ V _{cc}	Pin 2	Pin 2	Pin 2	Pin 1	Pin 2
GND	Pin 3	Pin 3	Pin 3	Pin 7	Pin 3
Output	Pin 1	Pin 1	Pin 1	Pin 8	Pin 1

Obr. 2.10: Možné pouzdření obvodu [10]

Čidlo je možné pořídit ve 3 pouzdrech, z toho nejpoužívanější TO-92. Pracovní teplota se pohybuje od -45 °C do +130 °C, kompatibilita s technologií CMOS, absolutní přesnost je $\pm 0,7$ °C, velmi malá proudová spotřeba obvodu (200 μ A). [10]

2.4 Chlor

Tyto sondy jsou schopny měřit koncentraci chloru, dioxid chloru, peroxid vodíku a kyselinu peroctovou.

Jedná se o:

- 2- popř. 3-elektrodový systém
- osvědčený měřicí systém
- jednoduchá kalibrace
- integrovaná teplotní kompenzace

Měřicí sondy s měřicími senzory a krytou membránou založené na amperometrickém principu se používají k měření obsahu volného chloru, dioxidu chloru popř. ozónu ve vodních roztocích (např. pitná, bazénová, užitková, procesní a chladicí voda). Lze měřit následující anorganické chlorové prostředky: chlorový plyn (Cl_2), elektrolyticky získaný chlor, hypochlorid sodíku (NaOCl , louhy chloru), hypochlorid vápníku (Ca(OCl)_2) nebo chlorové vápno (Ca(OCl)Cl). Pomocí měřicí sondy pro dioxid chloru lze měřit tyto látky vznikající v zařízeních chlorit/chlor a chlorit/kyselina solná.



Obr. 2.11: Čidlo pro měření koncentrace chloru [7]

Elektronika integrovaná v samotné sondě poskytuje teplotně kompenzovaný proudový signál $4 \div 20$ mA. Kalibrace se obecně provádí pomocí připojeného přístroje (zobrazovač, regulátor, zapisovač apod.). [7]

Měřicí sondy lze přímo připojit k určenému přístroji, poskytující odpovídající napájení a umožňuje jednoduchou kalibraci měřicího systému.

2.4.1 Elektrochemické měřicí metody

Elektrochemické metody využívají mnoho senzorů. Pro analýzu plynů se jedná zejména o amperometrické a galvanometrické. Elektrochemické se uplatňují především při měření koncentrace kyslíku a měření nízkých koncentrací některých toxických plynů. [12]

Tyto metody sledují chování pracovního roztoku v závislosti na jeho složení a koncentraci. Elektrochemická aparatura se skládá z elektrodového systému - senzoru obvykle dvou-elektrodový nebo tří-elektrodový, elektrochemického analytického přístroje a nádoby s pracovním roztokem (pufrem).

Dělení elektrochemických metod:

- Založené na elektrodovém ději (konduktometrie, dielektrimetrie)
- Založené na elektrických vlastnostech roztoků (amperometrie, polarografie, potenciometrie, elektrogravimetrie)
- S vnucovaným napětím – sleduje se proud procházející mezi elektrodami při připojení předem definovaném napětí
 - Chronoamperometrie – vstupní signál je skokový
 - Amperometrie – vstupní signál je konstantní
 - Voltametrie – vstupní signál je lineárně narůstající
 - Cyklická voltametrie – pilový průběh vstupního signálu
 - Polarografie – diferenciální, pulzní, schodovitá, apod.
- S vnucovaným proudem – při procházení definovaného proudu mezi elektrodami se měří napětí

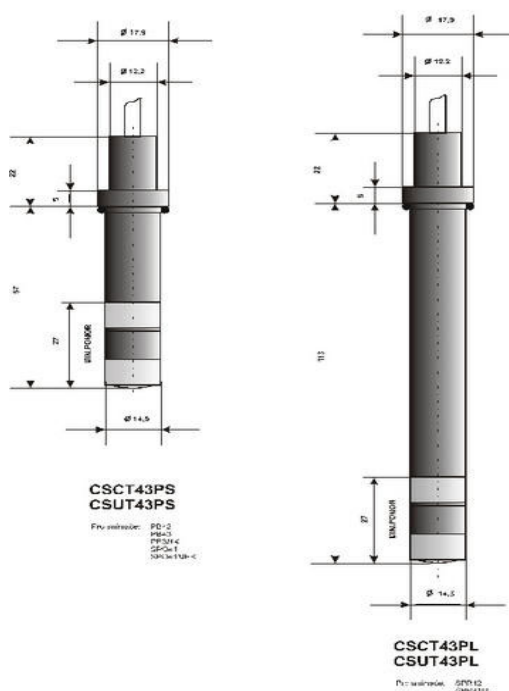
- Lineární chronopotenciometrie – vstupní signál lineárně narůstající
- Galvanostatická chronopotenciometrie – vstupní signál je skokový
- Oscilografická polarografie – periodická změna vstupního signálu

2.4.2 Specifikace čidel CSUT 43 a CSCT 43

Pro měření koncentrace chloru jsou dodávána čidla:

- CSCT 43
- CSUT 43

Obě čidla jsou membránová difúzní, určená pro měření koncentrace chloru ve vodě za současného měření teploty.



Obr. 2.12: Rozměrové provedení jednotlivých čidel [13]

Chlorovou část tvoří polarizovaná elektroda - katoda a nepolarizovaná chloridostříbrná elektroda. Obě elektrody jsou ponořeny do elektrolytu a odděleny od měřeného prostředí separační membránou prostupnou pro chlor (ale i pro jiné plyny, jako např. O_2 , ClO_2 , CO_2).

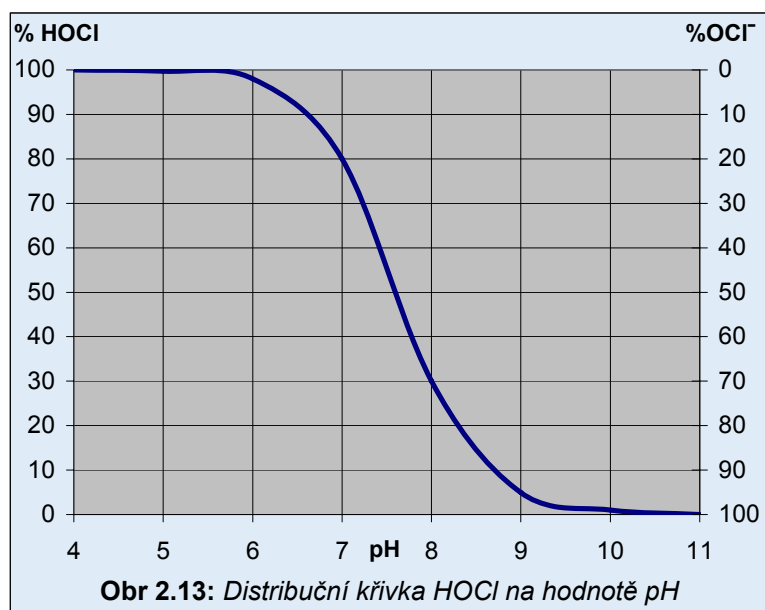
Vložení vhodného polarizačního napětí mezi elektrody dochází na povrchu katody k redukci chloru (kyseliny chlorné, chlorného iontu). Důsledkem této reakce je elektrický

proud protékající mezi elektrodami, který je úměrný parciálnímu tlaku HOCl u čidla CSCT 43 a $\text{HOCl}^+ \text{OCl}^-$ u čidla CSUT 43.

Při své činnosti spotřebovávají chlor (kyselinu chlornou, chlornan), který odebírají měřenému prostředí. Proto se při měření uplatní všechny faktory ovlivňující rychlost difúze k povrchu katody.

Protékající proud je ovlivněn teplotou. Teplotní závislost je exponenciální a musí být v měřicím přístroji vykompenzována. Aby bylo možné provést kompenzaci dostatečně kvalitně, je do senzorů integrováno čidlo teploty.

Při dávkování chloru ve formě plynu nebo chlornanu vzniká (zjednodušeně) kyselina chlorná (HOCl) a chlorný iont (OCl^-), které jsou ve vzájemné rovnováze řízené hodnotou pH. Kyselina chlorná (případně i volný plynný chlor) je účinným dezinfekčním prostředkem. Její dezinfekční mohutnost je 20 ÷ 100-krát větší než dezinfekční mohutnost chlorného iontu. Čidlo CSCT měří koncentraci elementárního chloru a kyseliny chlorné. Jeho signál je přibližně do hodnoty 5 na pH nezávislý. Při vyšší hodnotě pH se signál čidla snižuje podle níže uvedené distribuční křivky.



Při stanovení volného chloru, metodou DPD se stanoví elementární chlor, kyselina chlorná a chlornany. Při stanovení celkového chloru (celkového zbytkového chloru), metodou DPD se stanovují stejné látky jako u volného chloru, navíc i chloraminy, původního vzorku. Obě hodnoty jsou vyšší než hodnota získaná čidlem CSCT 43. Signál čidla CSUT 43 je úměrný koncentraci kyseliny chlorné a chlorného iontu. [13]

Tab. 2.4: Tabulka vlastností čidla CSCT 43 [10]

Druh čidla	polarografické membránové čidlo
Signál čidla	signál čidla je úměrný parciálnímu tlaku chloru (kyseliny chlorné), signál je závislý na hodnotě pH
Rozsah měření	0,01 až 5,0 mg/l
Kolísání nulového signálu	typ. $\pm 0,02$ mg/l
Teplotní kompenzace	integrovaný 2x termistor NTC
Pracovní teplota	1 až 40°C
Rozsah pH	4 až 7,8 jednotek pH
Rychlost pohybu měřeného vzorku	min. 20 cm/s

Tab. 2.5: Tabulka vlastností čidla CSUT 43 [13]

Druh čidla	polarografické membránové čidlo
Signál čidla	signál čidla je úměrný koncentraci kyseliny chlorné a chlorného iontu
Rozsah měření	0,01 až 10,0 mg/l
Kolísání nulového signálu	typ. $\pm 0,02$ mg/l
Teplotní kompenzace	integrovaný - 2x termistor NTC
Pracovní teplota	1 až 40°C
Rozsah pH	5,5 až 9,0 jednotek pH
Rychlost pohybu měřeného vzorku	min. 4 cm/s (0,3 l/min v bloku PB 42,3)

Změny v tabulkách se vztahují především na rozsah měření chloru, rychlostní průtok a rozsah pH.

2.4.3 Převodník pro detekci chloru

Převodník MPC 66 je určen pro provozní měření koncentrace chloru a případně i pH v rozsahu 0,1 ÷ 10 mg/l (pH = 0 ÷ 14). Může signalizovat překročení nastavených mezních hodnot chloru v přednastavených 4 mezích. Signalizace bývá zpožděna několik minut. Toto omezení však nelze použít u měření teploty. Převodník může být také doplněn regulátorem PID se spojitým nebo nespojitým (pulzním) výstupem využitým pro regulaci chloru zakončeným relé. Dále obsahuje 4 analogové vstupy/výstupy v rozsahu 4 ÷ 20 mA a 4 reléové výstupy. Proudové výstupní signály jsou galvanicky odděleny od signálů vstupních a sítě.

Součástí je zároveň sériový výstup RS 485 pro přímou komunikaci s počítačem, jednotka paměťového bloku, data a času pro registraci měřených veličin a následné zpracování

měřených hodnot offline. Pro zobrazení měřených hodnot a komunikaci s obsluhou, operátorem slouží 2-řádkový alfanumerický LCD displej.

Převodník může řídit dávkování chlornanu nebo plynného chloru v úpravných vod a plaveckých bazénech. Současně může ovládat dávkovací čerpadla pro řízení hodnoty pH. [13]

Technické parametry:

Tab. 2.6: Technické parametry CI převodníku [13]

Rozsah měření chloru (displej)	0,01 až 5 mg/l
Dílčí rozsahy (analogový výstup)	1,0-2,0-5,0 mg/l nebo jiný
Rozsah měření pH (displej)	0,0 až 14,0 jednotek pH
Dílčí rozsahy (analogový výstup)	0,0 až 14,0 0,0 až 10,0 2,0 až 12,0 4,0 až 14 nebo jiný
Zobrazení měřené hodnoty	alfanumerický displej s podsvícením
	dvě řádky, 16 znaků na řádek
Výstupní signál (obě veličiny)	0 až 20 mA nebo 4 až 20 mA
Korekce teplotní závislosti čidla	automatická (obě veličiny) v rozsahu 1 až 40 °C
Základní chyba měření chloru	±3% z rozsahu při konstantní teplotě (±1°C)
Základní chyba měření pH	±0,5% z rozsahu
Signalizace překročení mezních hodnot	2 nebo 4 horní nebo dolní meze
Časové zpoždění	0,0 až 240 minut
Krytí	IP 65
Příkon	max. 20 VA



Obr. 2.14: Převodník MPC 66 pro měření chloru [13]

2.4.4 Příklady použití

Převodníky umožňují kontrolovat a řídit dávkování při dezinfekci a zajištění hygienické nezávadnosti, v rozvodech vody, potrubí a vodojemech.

Typické použití se nachází v úpravnách oblasti pitné, užitkové vody, rovněž tak v bazénech a koupalištích.

Přístroje automaticky řídí proces k dosažení požadovaných koncentrací dezinfekčních prostředků ve vodě. Bez automatického dávkování nelze potřebné koncentrace udržet v požadovaných mezích.



Obr. 2.15: Použití zařízení v praxi [13]

2.5 Tlak

Atmosférický (barometrický) tlak je ovlivňován atmosférou planety Země. Tento tlak je vyvolán tíhou vzduchového sloupce sahajícího od hladiny (nadmořské výšky) až po horní hranici atmosféry. Hodnota tlaku je největší na zemském povrchu, s rostoucí výškou však klesá. Není stálý, ale kolísá v daném bodě zemského povrchu kolem určité hodnoty. Tlak menší než barometrický se nazývá podtlak, tlak větší než barometrický je přetlak. Prostor s nulovým tlakem, tzn. dokonale prázdný prostor označujeme vakuum.

Tlak vzduchu je závislý na nadmořské výšce, na velikosti tíhového zrychlení, na mocnosti, teplotě a hustotě atmosféry v daném místě. Z důvodu snazšího porovnávání výsledků různých měření barometrického tlaku byl zaveden tzv. *normální tlak vzduchu* (atmosférický tlak) p_n (též p_0), definovaný jako přibližně průměrná hodnota tlaku vzduchu při mořské hladině 45° s.š. za teploty 15 °C a tíhovém zrychlení $g_n = 9,80665 \text{ ms}^{-2}$. [14]

$$p_n = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1013,25 \text{ hPa} = 760 \text{ torr} \quad (2.8)$$

p_nnormální atmosférický tlak [Pa]

K měření absolutního tlaku a tlakového rozdílu slouží tlakoměr měřící v nejrůznějších rozsazích od desetin Pa do desítek GPa.

Typický snímač tlaku sestává ze sondy připojené k elektronickému vyhodnocovacímu zařízení. Jako celek se tedy jedná o elektronický senzor, někdy i inteligentní. Tlak v sondě se měří mnohonásobným převodem, sestávající se z těchto základních kroků:

- Tlak se převádí na průhyb membrány, převod tlak – deformace.
- Průhyb (deformace) membrány se snímá vhodně umístěnými tenzometrickými snímači, převod deformace – změna odporu.
- Tenzometrické snímače jsou zapojeny do můstku, změna odporu se převádí na změnu elektrického napětí, převod odpor – napětí.

Sondy měřící tlakový rozdíl mají dva přívody. Je-li jeden z přívodů znepřístupněn a prostor pod ním vyčerpán, měří se absolutní tlak.

Elektronická část musí zajistit napájení můstku, odečet napětí a jeho převod na tlak. Obvykle se tento převod provede digitálně, a tlak se zobrazí na displeji. Kromě toho existuje řada dalších voleb, např. přepočít tlaku na hladinu moře, maximum, minimum, odchylka od vybrané hodnoty. [15]

Při samotné realizaci je použito integrované čidlo absolutního tlaku od výrobce Motorola, typové označení (MPXAZ6115A) s analogovým výstupem. Potřebné parametry a získané hodnoty jsou blíže specifikovány v kap. 3.6.



Obr. 2.16: Tlakové čidlo
MPXAZ6115A

2.6 Mikrokontrolér AT Mega 8535

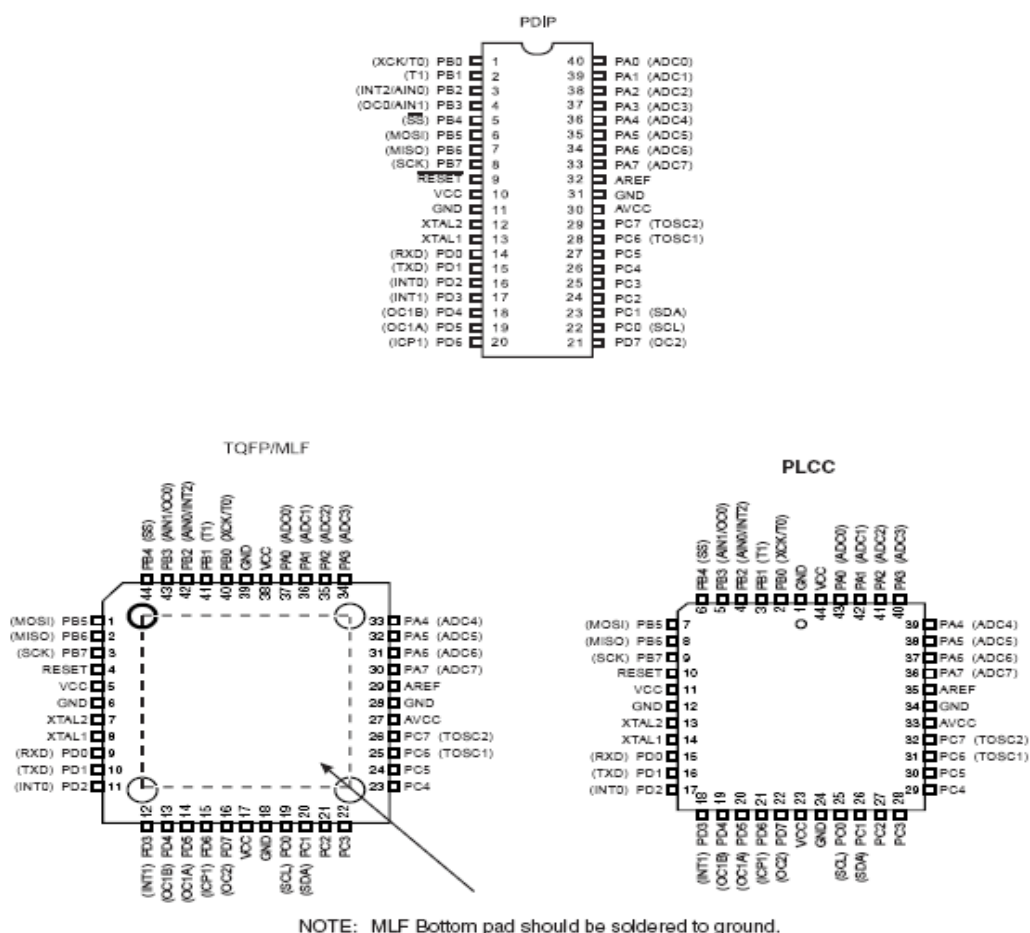
Mikrokontrolér je logický obvod, jehož funkce je řízena programem. Pro navrhované zařízení byl vybrán typ ATmega 8535 výrobce Atmel. Jedná se osmibitový procesor, instrukční sada obsahuje 130 instrukcí, 8 kB paměti programu s možností 10 000-krát mazání a opětovného nahrání programu, 512 bytů paměti dat typu EEPROM (electrically erasable

programmable read-only memory). Při maximální frekvenci oscilátoru 16 MHz lze dosáhnout 16 MIPS (million instructions per second) výpočetního výkonu.

Program je uložen v paměti programu typu FLASH. Při běhu programový čítač (Program counter) vybere instrukci z paměti programu, přesune ji do dekodéru instrukcí a podle typu instrukce provede následující činnost (přesun dat, aritmeticko-logické operace, bitové operace, skoky apod.). Paralelně s vykonáváním instrukcí jsou prováděny další činnosti nezávislé na programu – kontrola napájení, hlídání zdrojů přerušení, analogový komparátor, A/D převody, sériový kanál a další. Výsledky těchto činností mohou ovlivnit činnost programu, případně ji přerušit nebo dokonce resetovat procesor. [16], [17]

Hlavním důvodem výběru tohoto mikrokontroléru je vlastní schopnost převodu analogové hodnoty na digitální (A/D). Těchto vstupů má 8 a jsou 10-ti bitové. Na obr. 2.17 jsou znázorněny pouzdra obvodu včetně popisu jednotlivých vývodů.

Další informace o obvodu lze nalézt v katalogovém listu výrobce [16].



Obr. 2.17: Nabízená pouzdra mikrokontroléru s popisy vývodů [16]

2.7 LCD displej MC 1602E-SBLH

Tento displej je alfanumerický 2-řádkový s řadičem HD44780 od firmy Hitachi s modrým led-diodovým podsvícením (modrý negativ, bílá led). Jeden řádek umožňuje zobrazit až 16 znaků. Rovněž je napájen +5 V DC, připojení je realizováno pomocí 4 bitů k mikrokontroléru ovládajícím a řídícím veškeré funkce. Jeho proudový odběr je poměrně nízký, ale při zapnutém podsvětlení hodnota vzroste na 75 mA [18].



Obr. 2.18: Vzhled LCD displeje [18]

Tab. 2.7: *Popis jednotlivých pinů u LCD displeje*

Pin	Popis
1	Gnd
2	+ 5 V
3	Nastavení kontrastu
4	Register Select
5	Read / Write
6	Enable
7 ÷ 14	DB0 ÷ DB7
15	Podsvícení (anoda)
16	Podsvícení (katoda)

2.8 Bezdrátová komunikace

Podíváme-li se trochu do historie zjistíme, že název je odvozen z anglického jména dánského krále Haralda Bluetooth vládnoucího v 10. století. Ten využil svých diplomatických schopností k tomu, aby válčící kmeny přistoupily k diskuzi a ukončily vzájemné rozepře. Právě této analogie bylo využito pro název technologie Bluetooth, která podobně jako kdysi král Harald slouží k usnadnění vzájemné komunikace využívající Bluetooth protokoly.

Bezdrátová komunikační technologie Bluetooth se již prakticky stala standardem ve všech přenosných zařízeních a přístrojích jako náhrada za dříve velmi rozšířený infračervený port. Se specifikací označenou jako 2.0 nebo 2.1 lze přenášet data rychlostí 600 kb/s nebo až 2,1 Mb/s v otevřeném prostoru až na vzdálenost 250 m. Komunikace probíhá na radiové frekvenci 2,4 GHz ve volném pásmu a využívá technologii adaptivního přeskokování nosné frekvence. To vše vytváří velký prostor pro použití v řadě aplikací, nejen v přenosu digitálních dat, ale i v oblasti vzdáleného řízení, audio komunikace a přenosu zvuku. Vzdálenost jakou komunikace umožňuje je v rozmezí cca 10 ÷ 100 m, vše závisí na překážkách stojícím v cestě signálu. Většinou ovšem nedochází ke skokové ztrátě spojení, ale postupně se zvyšuje počet chybně přenesených paketů. [19]

2.8.1 Modul Bluetooth

Pro přenos naměřených informací je využita komunikace Bluetooth, obsahující modul BTM-112 Class 2 od výrobce Rayson.

Moduly Bluetooth Class 1 (dosah až 100 m) a Class 2 (dosah až 10 m). Jsou určené pro systémy vyžadující rychlou a ekonomickou bezdrátovou komunikaci. Nízký příkon, speciální režimy správy energie a malé rozměry je předurčují pro použití v přenosných zařízeních napájených baterií provedené v SMD technologii. Použití je mimo jiné u GPS, bezdrátových

snímačů, čárových kódů, sluchátek, digitálních přístrojů, u průmyslové aplikace a mnoho dalšího.

Základní parametry modulu jsou definovány v tab. 2.8. Výrobce nabízí modul ve dvou provedeních pod označením BTM-222 a BTM-330, změny jsou pouze v citlivosti a výkonu oproti BTM-112. [20]

Tab. 2.8: *Vlastnosti Bluetooth modulu*

Parametr/Symbol	BTM-112
Class	2
Výkon vysílače (max.)	4 dBm
Citlivost přijímače (max.)	-80 dBm
Napájecí napětí	3 - 3,3 V
Rozměry [mm]	14,5 x 12,5 x 2,2
Komunikační protokol	SPP
Rozhraní	PCM, UART, USB
Verze Bluetooth	2,0 + EDR (2Mbps a 3Mbps)
Rozsah provozní teploty	-40°C až +85°C



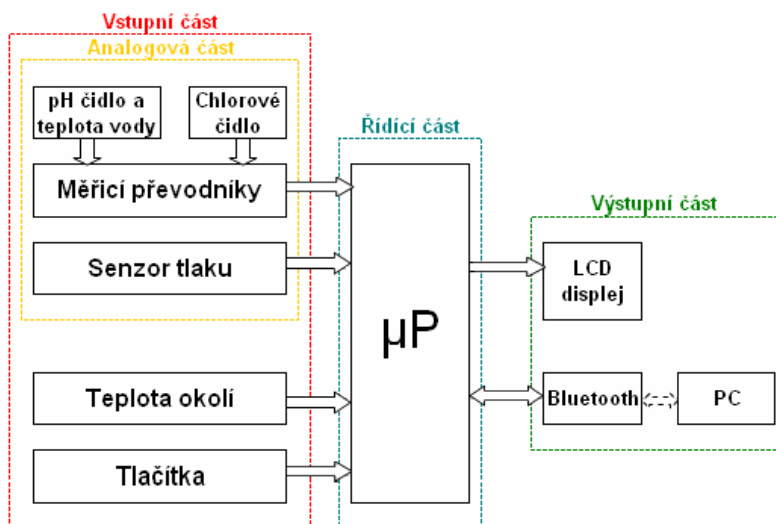
Obr. 2.19: *Bluetooth modul* [20]

3 Praktická část

3.1 Cíle praktické části

Hlavním cílem je návrh zapojení, z něj následné rozvržení součástek na DPS, vytvoření vodivých spojů, zhotovení desky, její samotné osazení elektronikou, testování funkčnosti a správnosti zapájených součástek.

Měření s čidly (pH, Cl, Pt-100, Smt-160, tlaku), navázání komunikace prostřednictvím řídicího mikrokontroléru, provést donastavení měřicích převodníků vhodnou kalibrací a konečné programování dle změřených výsledků. Zobrazování dat na vestavěném LCD displeji. Pomocí bezdrátového přenosu Bluetooth přenést tyto data do počítače s možností dalšího vyhodnocení a zpracování.



Obr. 3.1: Blokové schéma

Blokové schéma lze začlenit do několika částí. Analogová část upravuje úroveň signálů z připojených senzorů, aby bylo možné zpracovávat pomocí digitální části (μP). Řídicí část zajišťuje propojení mezi obsluhou a samotným přístrojem, udává funkci celému zařízení. Pomocí tlačítek se provádí nastavení připojených komponent. Výstupní část zahrnuje jak vypisování naměřených hodnot na lokálním zobrazovači, tak i možnost dalšího zpracování v počítači.

3.2 Volba součástek a DPS

Většina součástek je v miniaturním provedení SMD, s výjimkou transformátoru, konektorů a součástek, které nejsou běžně v miniaturním provedení dostupné. Je to z důvodu

úspory místa a také proto, že v dnešní době je snaha všechna elektronická zařízení minimalizovat, ale nesmíme zapomínat na negativní vlivy, které mohou v některých případech nastat a ovlivnit tak funkci zařízení.

Pro výrobu je použita oboustranná deska plošného spoje. Ze spodní strany (bottom) je rozmístěno více součástek (všechny SMD), vylitá měď a spojená se zemí (GND) proti výskytu nežádoucích rušení. Na desce je několik prokůvů a celou desku plošného spoje pokrývá nepájivá maska.

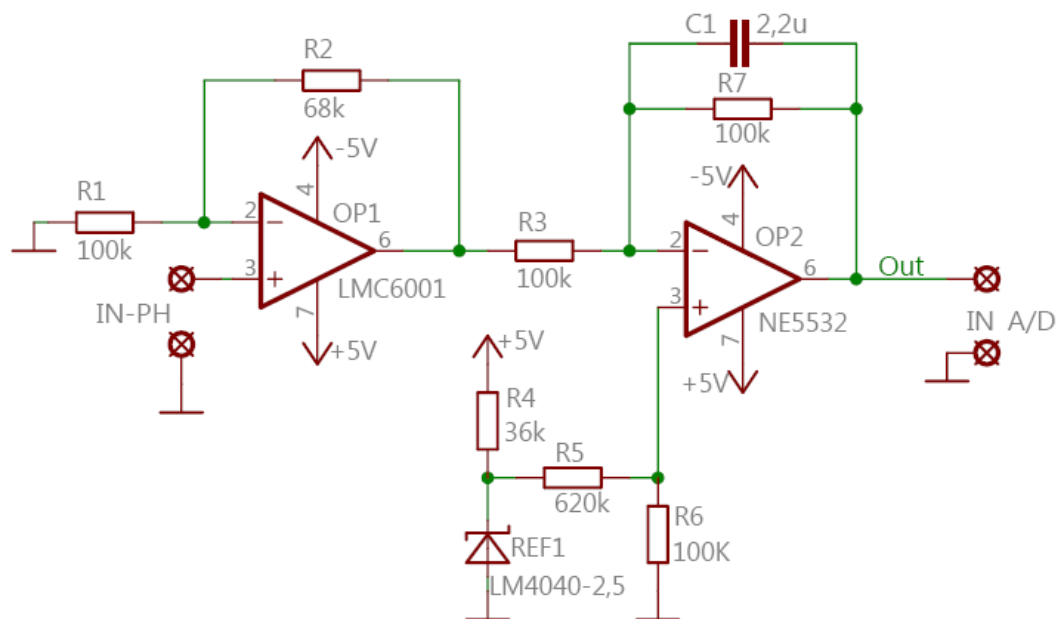
3.3 Měření pH

Pro stanovení hodnoty pH bylo zvoleno čidlo SEUJ 112 obsahující dvě čidla v jednom pouzdře. Jedno je klasické skleněné sloužící k měření pH, vyznačuje se velkým vnitřním odporem cca 100 M Ω , proto jej musíme zapojit přes převodní obvod znázorněný na obr. 3.2. Připojuje se koaxiálním kabelem, vnitřní vodič je připojen na měrnou a stínění na referenční elektrodu, druhé je teplotní (odporové) sloužící pro měření teploty roztoku.

3.3.1 Převodní obvod

Kvůli vysoké hodnotě vnitřního odporu pH čidla je důležité, aby měl použitý operační zesilovač v převodním obvodu co nejmenší vstupní proud (neboli vysokou vstupní impedanci). Z tohoto důvodu je zvolen operační zesilovač LMC 6001 [21] se vstupním proudem méně než 25 fA.

Operační zesilovač LMC 6001 převádí signál ze sondy připojený na neinvertující vstup a na výstupu odečítáme hodnotu ± 100 -ky mV v závislosti na pH. Druhý operační zesilovač v tomto případě NE 5532 provede úpravu úrovně signálu. Kondenzátor C_1 poskytuje stabilitu obvodu. K výslednému zobrazení hodnot na LCD displeji je výstupní napětí připojené k vyhodnocovací jednotce mikrokontroléru obsahující A/D převodník s přepočtem dle výsledné rovnice z grafu na obr. 3.3. Celková spotřeba převodního obvodu nepřesahuje hodnotu 1 mA.



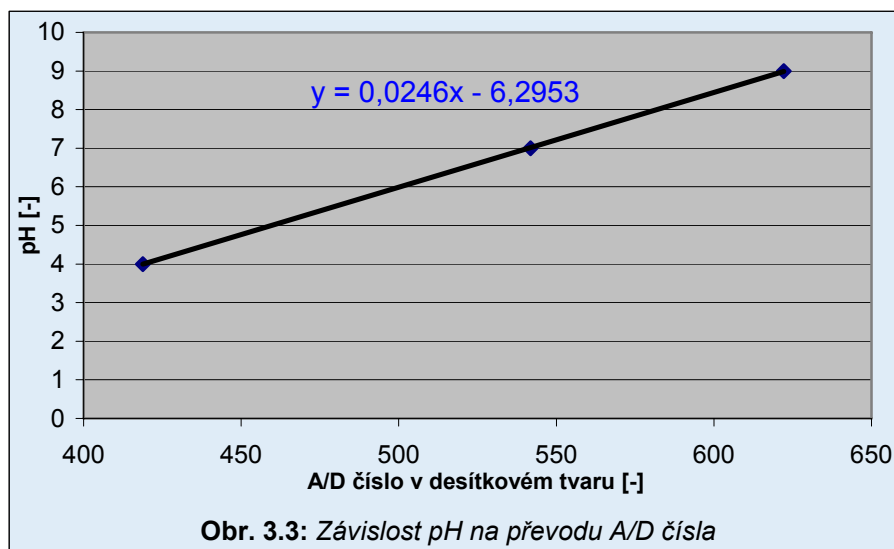
Obr. 3.2: Zapojení převodního obvodu pro pH

Tab. 3.1: Součástky převodního obvodu pH

Součástky	Hodnoty	Součástky	Hodnoty
R _{1,3,6,7}	100 kΩ	REF1	LM4040CIM3-2,5 V
R ₂	68 kΩ	OP1	LMC 6001
R ₄	36 kΩ	OP2	NE 5532
R ₅	620 kΩ		
C ₁	2,2 μF		

3.3.2 Kalibrace čidla

Zapojením obvodu dle obr. 3.2 je výstupní napětí v rozsahu $0 \div 2 \text{ V}$ se změnou maximálního rozmezí pH. Je tedy dosaženo strmosti 114 mV / pH . Tato hodnota je téměř dvojnásobná než běžně udávaná u pH-metrů. Znamená to přesnější odečtení a lepší přepočet. Měření bylo provedeno na ústavu mikroelektroniky v laboratoři výzkumu senzorů, kde byly k dispozici 3 druhy teplotně nezávislých roztoků s přesně stanoveným pH (4, 7 a 9). Grafické zobrazení výsledných hodnot je uvedeno na obr. 3.3, proložené lineární přímkou.



Tab. 3.2: Naměřené hodnoty pH čidla

A/D hodn. [-]	pH [-]
542	7
622	9
418	4

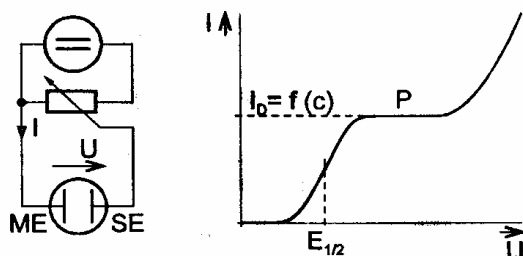
3.4 Měření chloru

Měření je realizováno čidlem CSUT 43 od výrobce Insa. Za použití amperometrické metody (kap. 3.4.1). Vlastnosti použitého čidla jsou specifikovány v tab. 2.5. Mezi hlavní přednosti membránového difúzního čidla se řadí odolnost proti kontaminaci, dlouhá životnost, odolnost vůči atmosférickému přepětí a elektromagnetickému rušení.

3.4.1 Amperometrická metoda

Amperometrie je založená na měření proudu procházejícího mezi dvěma elektrodami ponořenými do roztoku. V měřicím obvodu je zařazen zdroj stejnosměrného napětí. Jedna elektroda je polarizovatelná (pracovní), druhá nepolarizovaná (vztažná). Hodnota vloženého napětí musí odpovídat tzv. limitnímu proudu I_D viz. obr. 3.4, určený ze složky v měřeném médiu. Velikost limitního proudu je funkcí koncentrace. [22]

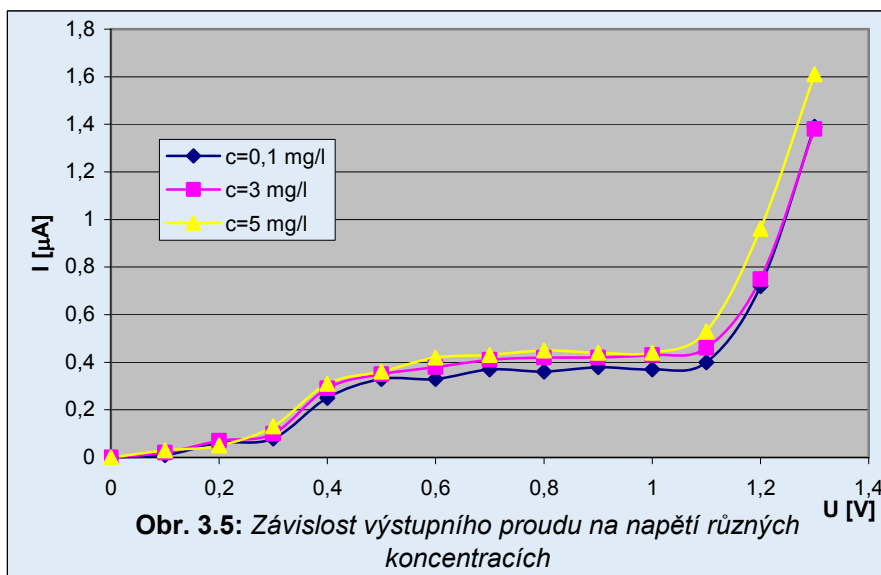
3.4.2 Detekce chloru



Amperometrický měřicí řetězec a závislost $I = f(U, c)$
(ME - měřicí elektroda, SE - srovnávací elektroda)

Obr. 3.4: Principiální zapojení amperometrického obvodu [22]

Výrobce neuvedl do katalogového listu konkrétní hodnoty pracovního napětí elektrod, kalibrační křivku apod. Proto bylo limitní napětí zjištěno experimentálně viz. obr. 3.5 přiložením proměnného napětí na elektrody za současného odečítání proudu pro tři různé koncentrace vodného roztoku.



Tab. 3.3: Výstupní proudové hodnoty

U [V]	I [μ A]		
	c=0,1 mg/l	c=4 mg/l	c=5 mg/l
0	0	0	0,01
0,1	0,01	0,02	0,03
0,2	0,06	0,07	0,05
0,3	0,08	0,10	0,13
0,4	0,25	0,29	0,31
0,5	0,33	0,35	0,36
0,6	0,33	0,38	0,42
0,7	0,37	0,41	0,43
0,8	0,36	0,42	0,45
0,9	0,38	0,42	0,44
1,0	0,37	0,43	0,44
1,1	0,40	0,46	0,53
1,2	0,72	0,75	0,96
1,3	1,39	1,38	1,61

Hodnoty v tab. 3.3 jsou stanoveny na základě opakovaného měření s následným průměrováním před sestrojením grafu. Při dalším zvyšování napětí, velikost proudu prudce narůstá, tyto hodnoty nejsou zaznamenány, neboť by se změnilo měřítko os a snížila rozeznávací schopnost oblasti, ve které se stanovuje koncentrace přítomného chloru.

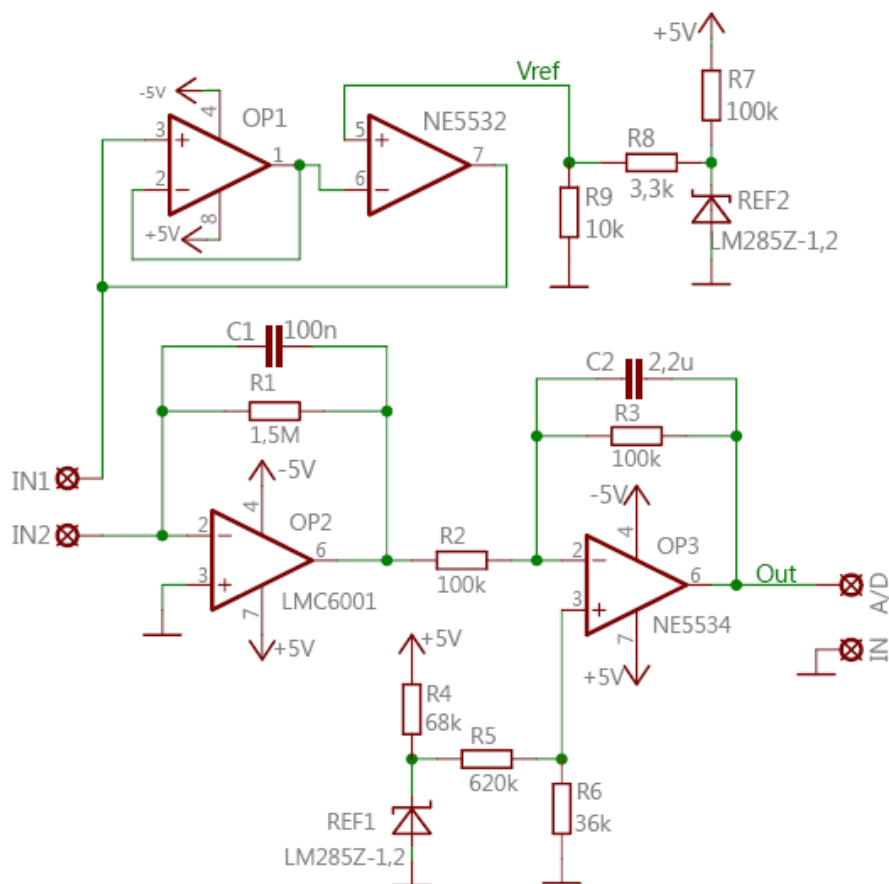
Mezi hodnotami 0,6 ÷ 1,1 V je průběh proudu téměř konstantní pro jednotlivé koncentrace chloru, proto se tato oblast (pracovní) využívá pro detekci.

3.4.3 Převodní obvod

Převodní obvod je zapojen dle obr. 3.6. Jeho funkce je podobná jako v zapojení obr. 3.2 (převodní obvod pro pH) s rozdílem připojení čidla k přesnému referenčnímu napětí, vytvořeného pomocí napěťové reference a odporového děliče přes buffer - obvod tvořený dvěma operačními zesilovači s jednotkovým zesílením, vysokou vstupní a nízkou výstupní impedancí. Potlačuje vliv fyzikálních a chemických dějů v daném systému na připojenou zátěž (čidlo, obvody v systému).

Důsledkem připojení napětí mezi elektrody, jimi začne protékat proud v řádech nA , jež je přiveden na vstup převodníku I/U tvořený operačním zesilovačem LMC6001. Zisk je dán velikostí rezistoru zapojeného v záporné zpětné vazbě. Tento obvod se vyznačuje ultra vysokou vstupní impedancí, proto je schopen detekovat tak malý proud. Důležitým faktorem je také napěťový offset obou vstupů a provedení stínění. Dosud nezmíněný operační zesilovač

NE5534 slouží k úpravě úrovní signálu posunutím do kladných hodnot, kondenzátor ve zpětné vazbě zaručuje stabilitu celého vyhodnocovacího obvodu.



Obr. 3.6: Zapojení převodního obvodu pro CI

Tab. 3.4: Součástky převodního obvodu CI

Součástky	Hodnoty	Součástky	Hodnoty
R ₁	1,5 MΩ	C ₁	100 nF
R _{2,3,7}	100 kΩ	C ₂	2,2 μF
R ₄	68 kΩ	REF _{1,2}	LMZ285Z – 1,2 V
R ₅	620 kΩ	C ₃	2,2 μF
R ₆	36 kΩ	OP ₁	O.Z. NE5532
R ₈	3,3 kΩ	OP ₂	O.Z. LMC6001
R ₉	10 kΩ	OP ₃	O.Z. NE5534

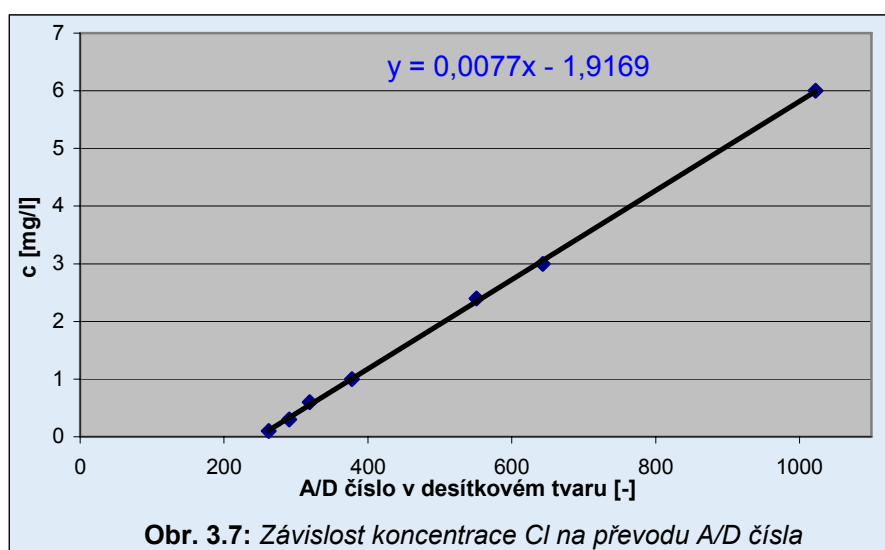
Z principu funkce zapojení viz. obr. 3.6 plyne, že tento obvod resp. část (převodník proudu na napětí) je nejnáchylnější z pohledu rušení, a proto je nutnou podmínkou pro realizaci provést

vhodná opatření. Jedno z nich spočívá v umístění do vhodné vzdálenosti od zdroje rušení především digitálních obvodů pracujících na vysokých kmitočtech. To je zaručeno implementací na samostatné DPS. Další opatření je provedeno pomocí stínícího prstence, ohraničujícího na horní straně DPS vstupy operačního zesilovače spojené s napájecím napětím. Pro konstrukci jsou použity odpory s malou toleranční hodnotou a nízkým TKR (teplotní součinitel odporu) k přesnému nastavení napěťových úrovní a eliminace teplotní závislosti.

3.4.4 Naměřené hodnoty

Napěťový signál z převodního obvodu je připojený k A/D převodníku navrženého, aby se v krajních mezích ($c = 0 \div 6 \text{ mg/l}$) nacházel v intervalu 2,5 V, proto je zvolena taková velikost reference. Závislost digitálních hodnot v desítkovém tvaru na proměnné koncentraci chloru při opakovaném měření jsou zaznamenány v tab. 3.5 a posléze vyneseny do grafu na obr. 3.7. Výsledkem je využití regresní rovnice pro univerzální přepočet.

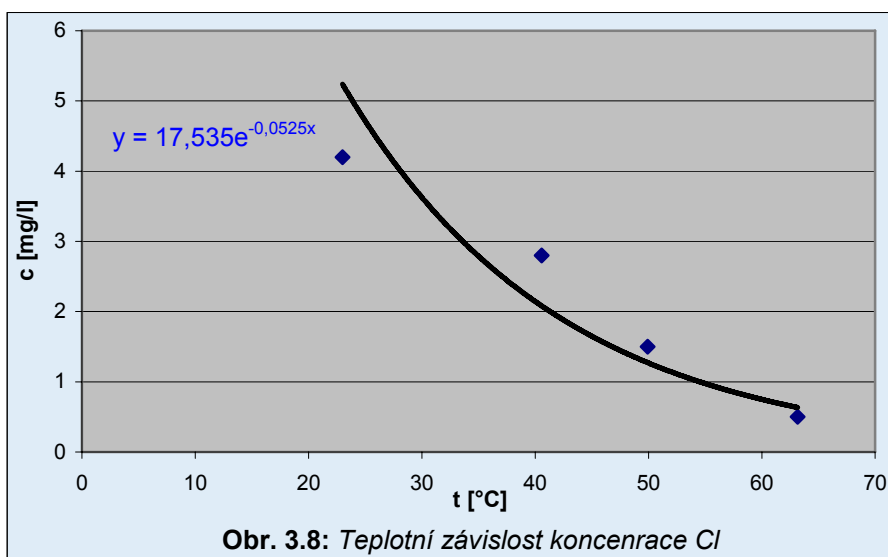
Princip detekce spočíval ve vkládání čidla do vodných roztoků s různou koncentrací za dodržení konstantního průtoku.



Tab. 3.5: Naměřené hodnoty Cl čidla

A/D hodn. [-]	c [mg/l]
262	0,1
291	0,3
319	0,6
378	1,0
551	2,4
643	3,0
1022	6,0

Vzhledem k poklesu obsahu chloru v závislosti na teplotě bylo provedeno měření viz. obr. 3.8 znázorňující míru ovlivnění koncentrace na tepelné změně. Na základě toho slouží níže uvedená rovnice exponenciálního průběhu jako kompenzace.



Obr. 3.8: Teplotní závislost koncentrace Cl

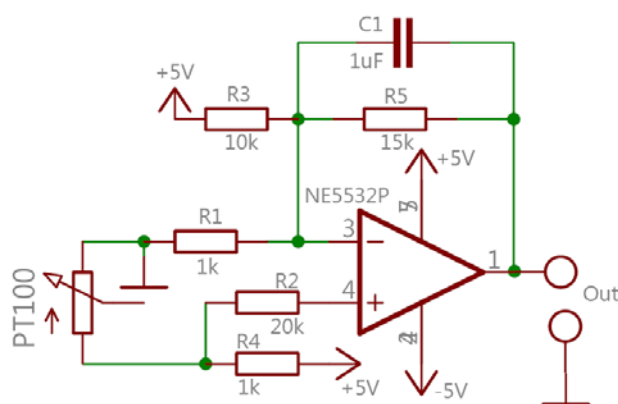
Tab. 3.6: Teplotní závislost chloru

teplota [°C]	c [mg/l]
22,8	4,2
40,5	2,8
49,9	1,4
63,1	0,5

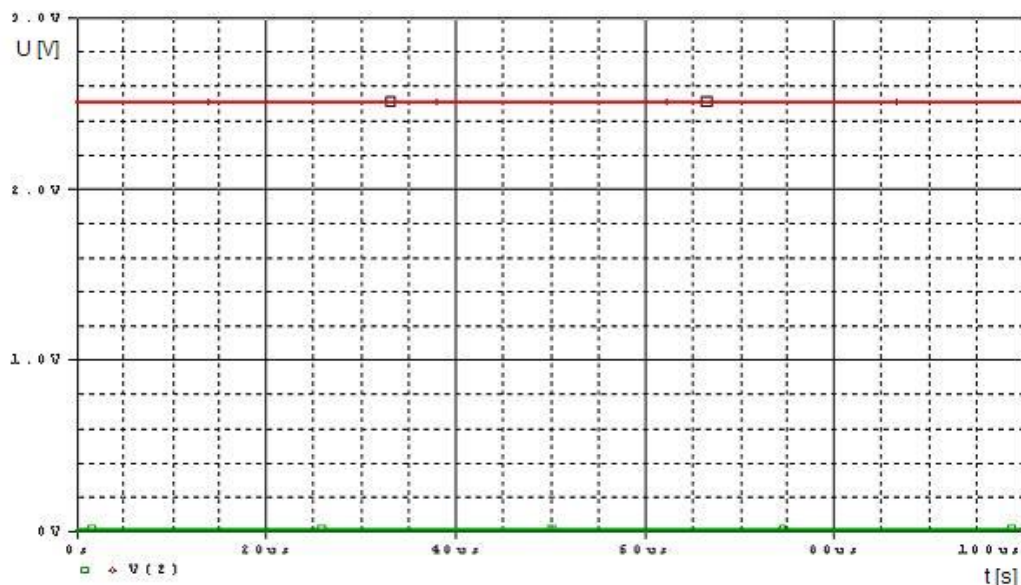
3.5 Měření teploty Pt 100

Po prvotním zapojení čidla jako děliče napětí se projevil tento způsob velice nepřesný, neboť k měření v rozsahu teplot $0 \div 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ byl dosažen rozptyl $0,4\text{ V}$ při použití napět'ové reference $2,5\text{ V}$. Výsledkem bylo nepřesné zobrazování teploty, sebemenší změna napětí resp. odporu způsobila velké vychýlení teploty a hodnota byla nestabilní.

Proto zapojení bylo modifikováno dle obr. 3.9, které vstupní signál posouvá od 0 V při $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, a zároveň zesiluje natolik, aby při teplotě $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ odpovídal hodnotě napětí $2,5\text{ V}$, což je využití maximálního rozsahu, tím se docílí nejvyšší přesnosti použitého 10-ti bitového A/D převodníku.



Obr. 3.9: Zapojení převodního obvodu pro Pt 100



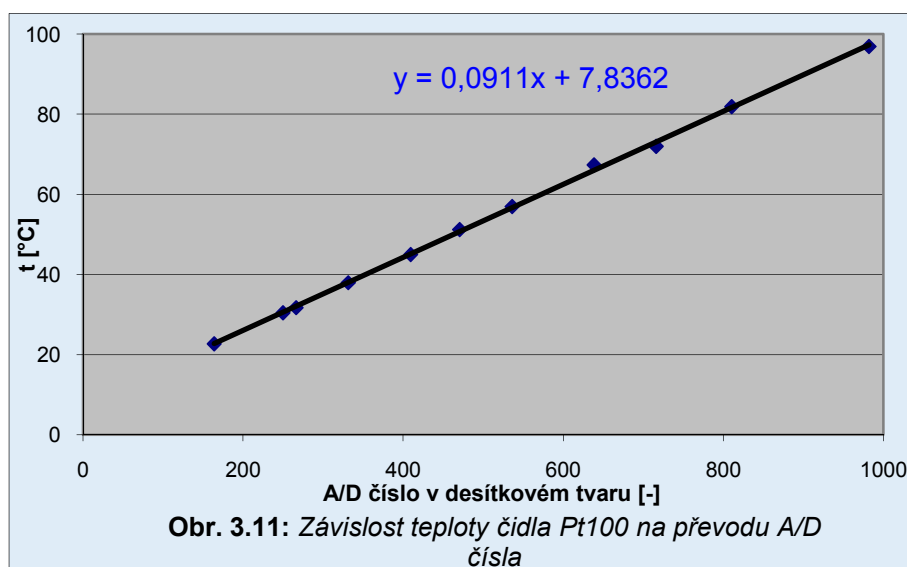
Obr. 3.10: Simulace obvodu obr. 3.9 programem PC Spice

3.5.1 Naměřená teplotní závislost

Jedná se o závislost A/D čísla převodníku získaného z rovnice 3.3 na teplotě. Regresní rovnice ve tvaru uvedeném na obr. 3.11 slouží pro nejpřesnější přepočet na teplotu, které lze během měření dosáhnout.

Tab. 3.7: Naměřené hodnoty Pt čidla

A/D hodn. [-]	teplota [°C]	A/D hodn. [-]	teplota [°C]
163	22,6	536	56,9
249	30,4	638	67,3
331	37,9	716	71,8
409	44,9	810	81,6
470	51,2	982	96,9



3.6 Měření tlaku

Integrované absolutní čidlo tlaku od Motoroly *MPXAZ6115A* s analogovým výstupem je vhodné pro konstrukci výškoměrů nebo barometrů a pro měření tlaku v průmyslu. Čidlo se vyznačuje maximální chybou 1,5% v rozsahu teplot $0 \div 85$ °C, vnitřní teplotní kompenzace umožňuje činnost při teplotách $-40 \div +125$ °C. Je vhodné pro použití s mikroprocesory či mikrokontroléry v řízených systémech. Je vhodné pro aplikaci v SMT technologii. Měří v rozsahu absolutního tlaku $15 \div 115$ kPa, což odpovídá výstupní napětí $0,2 \div 4,8$ V přepočteno z rovnice 3.2. [23]

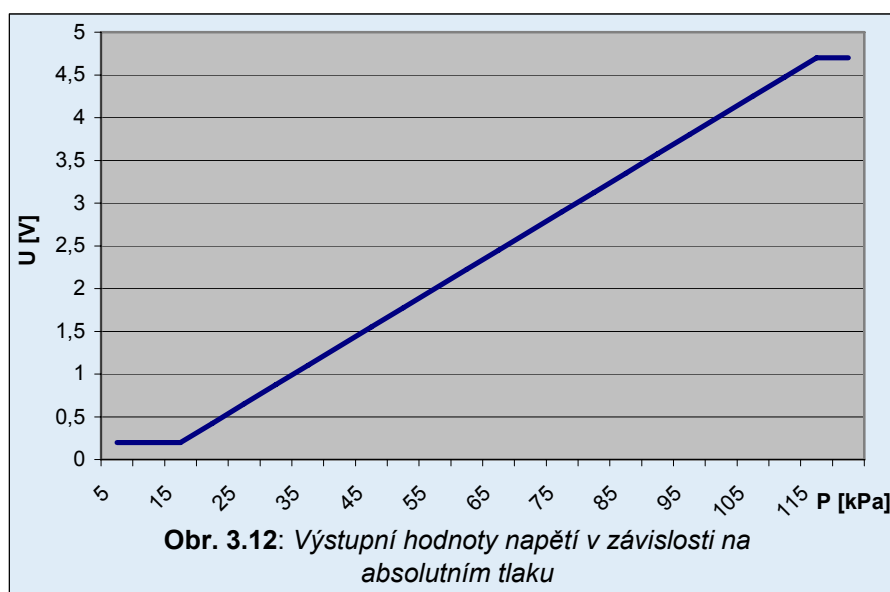
$$V_{OUT} = V_{DD} \cdot (0,009 \cdot P - 0,095) \quad (3.1)$$

V_{OUT}výstupní napětí [V]

V_{DD}napájecí napětí [V]

Patmosférický tlak [Pa]

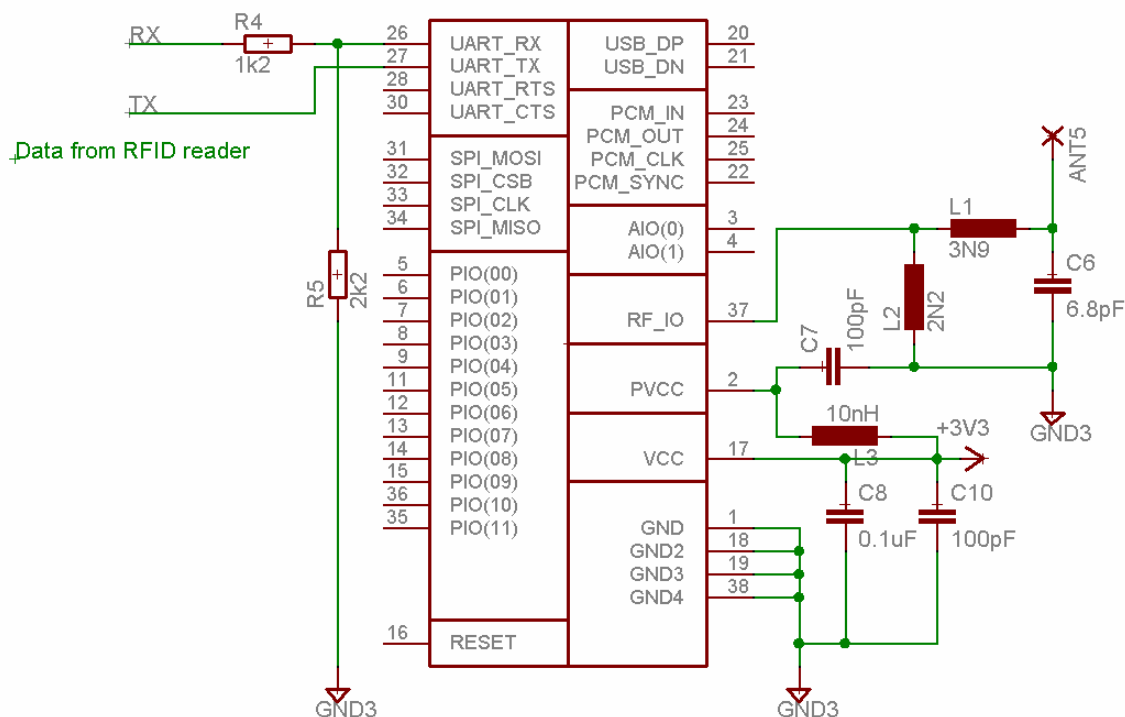
$$\text{pro } V_{DD} = 5 \text{ V} \Rightarrow V_{OUT} = 0,045 \cdot P - 0,475 \quad (3.2)$$



Průběh výstupního napětí popisující obr. 3.12 udává strmost křivky 45 mV / kPa. Pro měření atmosférického tlaku se nejčastěji pohybujeme v hodnotách okolo 100 kPa, čemu odpovídá výstupní napětí 4 V, tato hodnota je následně převedena v mikrokontroléru na přesnou hodnotu tlaku.

3.7 Bluetooth

V této kapitole je nastíněna technická dokumentace a jednoduchý návod k obsluze BT modulu. Zejména programový přístup, možnosti využití nabízených funkcí včetně vlastního nastavení přenosu.



Obr. 3.13: Zapojení Bluetooth části

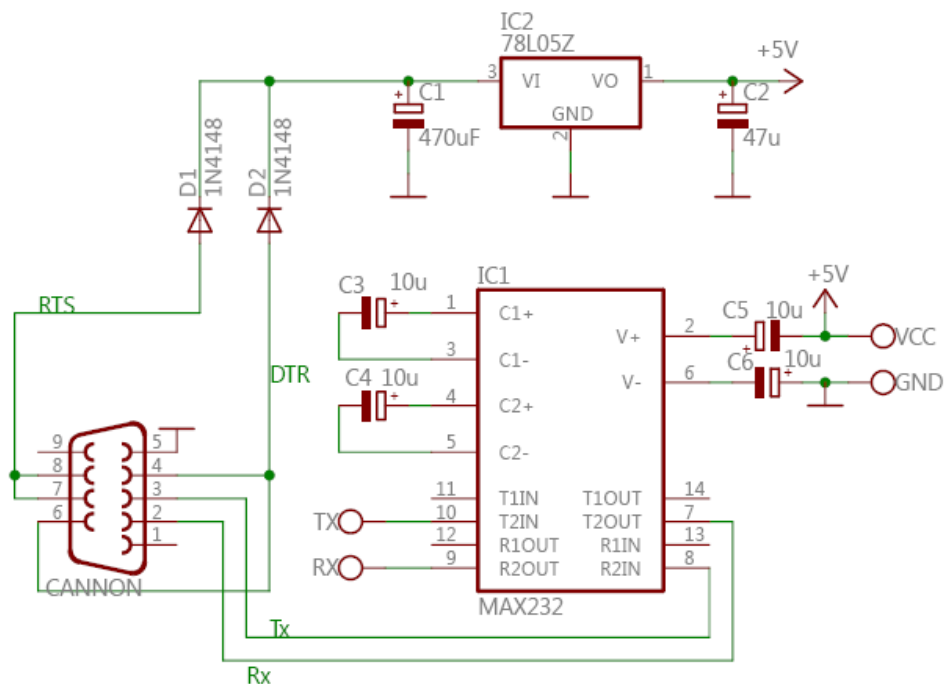
Tab. 3.8: Seznam součástek pro BT část

Součástka	Hodnota	Součástka	Hodnota
R ₄	1,2 kΩ	C ₁₀	100 pF
R ₅	2,2 kΩ	L ₁	3,9 nH
C ₆	6,8 pF	L ₂	2,2 nH
C ₇	100 pF	L ₃	10 nH
C ₈	0,1 μF		

3.7.1 Kompaktní převodník úrovní RS-232/TTL

Obecně se modul BT připojuje do obvodu pomocí 4 vstupů (Rx, Tx, Vcc, Gnd), jak je patrné z obr. 3.14, znázorňující převodník úrovní RS-232 na TTL. Převodník slouží především k předefinování parametrů. Pro samotnou komunikaci už není potřebný, proto je využit pouze ve fázi realizace.

Hlavní část zapojení tvoří obvod MAX232 obsahující 2 převodníky TTL → RS232 a 2 převodníky RS232 → TTL s napájením 5 V dosažených stabilizací napětí ze sériového portu PC. Princip spočívá v přeměně komunikačních úrovní RS232 (sériová linka pracující v rozsahu ±15 V) na TTL. Zapojení se vyznačuje jednoduchostí a nízkou cenou.



Obr. 3.14: RS-232/TTL konvertor [24]

3.7.2 Konfigurace BT modulu

Pracovní postup (naprogramování):

- Na vstupy RX a TX se připojí sériový kabel s převodníkem RS-232 a propojí se s PC např. přes port (COM 1)
- Spustíme hyperterminál (standardně ve Windows - příslušenství)
- Zvolíme: Nové připojení → nastavíme parametry přenosu (od výrobce přednastavená rychlost na 19200 b/s)

Tab. 3.9: Parametry komunikace

Bits za sekundu	19200
Datové bity	8
Parita	není
Počet stop bitů	1
Řízení toku	není

- Napíše se „AT“ a odezva by měla být „OK“
- Dále se přistoupí k vlastnímu nastavení modulu dle našich potřeb

- Příklad nastavení přenosu:

Tab. 3.10: Nastavení přenosu

Parametr	Hodnota	Příkaz
Bity za sekundu	9600	ATL1
Datové bity	8	
Parita	není	ATM0
Počet stop bitů	1	ATK0
Řízení toku	není	

- Příklad pojmenování zařízení:
 - pro název např. „Projekt_1“ se napíše v hyperterminálu „ATM=Projekt_1“
 - pro kontrolu názvu „ATD?“
- Pro další nastavení se využívá seznam několika AT příkazů. Tento seznam je uveden v katalogovém listu výrobce i s dalšími údaji.

3.8 Zpracování analogových výstupů

Veškerá změřená data jsou zpracována a vyhodnocována mikrokontrolérem AVR, zobrazována na displeji, případně v počítači s možností ukládání do souboru.

Integrovaný A/D převodník obsahuje pouze některé typy procesorů (ATmega8535, ATtiny26 atd.). Pomocí 10-ti bitů lze rozlišovat 2^{10} úrovní odpovídající číslu 1024. Pracuje na principu převodu s postupnou aproximací. Disponuje s 8-mi vstupními kanály, přepínáný analogovým multiplexerem nebo měří napětí mezi dvěma vstupy - diferenciálně. Tento výběr se provádí v registru ADMUX. V případě malého vstupního napětí je možné provést zesílení 10x, 200x. Řídící frekvence převodníku je odvozená od frekvence krystalu dělená $2 \div 128$. Rozsah měřeného napětí je od 0 V do napájecího napětí (V_{cc}).

Na výběr jsou různé režimy převodu. *Jednorázový převod* je vyvolán automaticky např. externí čítač/časovač, analogový komparátor. Doba převodu závisí na frekvenci oscilátoru a hodnotě děličky převodníku, pohybuje se však v rozmezí $13 \div 260 \mu s$. Druhý způsob je *volně běžící režim*, měřící vstupní napětí v periodických intervalech s výsledným uložením hodnot do registrů ADCL a ADCH.

Referenční zdroj lze zvolit z těchto možností:

- AREF – vnější ref. zdroj připojený k tomuto vstupu

- AVC - vnější ref. zdroj připojený k tomuto vstupu
- Interní referenční zdroj 2,56 V

Jsou využity 3 analogové vstupy, na nichž jsou výstupní napěťové úrovně z převodních obvodů (pH, Cl, Pt), zvolená reference je interní.

Přepoččet vstupního napětí na A/D číslo:

$$ADC = \frac{V_{IN} \cdot 1024}{V_{REF}} \quad (3.3)$$

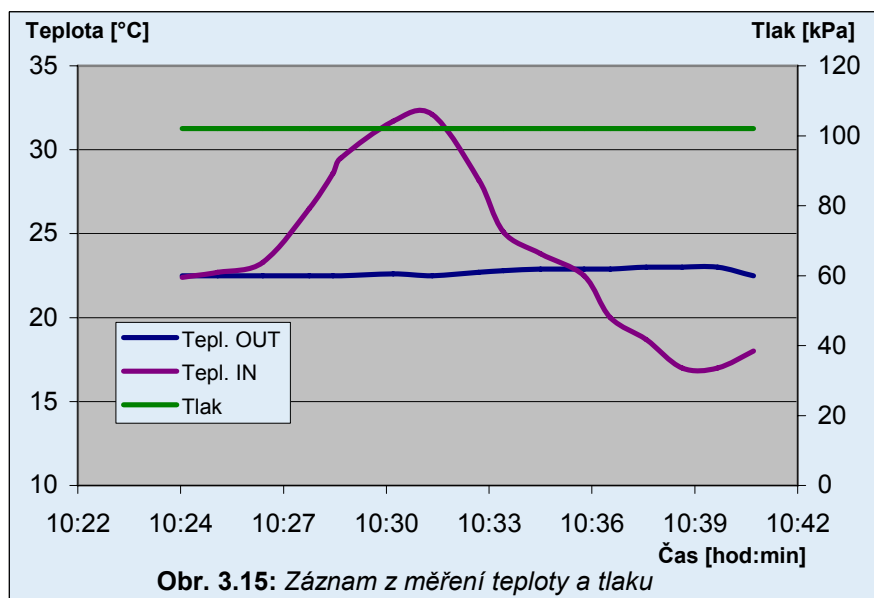
ADCpřevedené analogově-digitální číslo [-]

V_{in}vstupní napětí (zvoleného kanálu) [V]

V_{ref} ...referenční napětí [V]

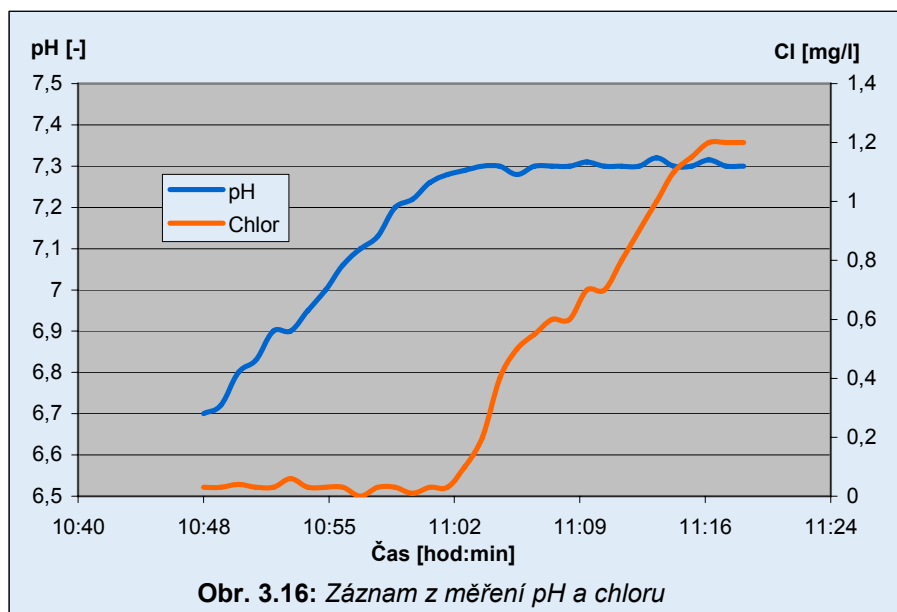
3.9 Experimentální měření

Cílem experimentálního měření bylo ověření funkčnosti navrženého analyzátoru při reakcích na změny. Jednalo se o působení teploty po určitý čas za konstantního tlaku a okolní teploty, jak je patrné z obr. 3.15. Čidlo bylo nejprve zahříváno a po dosažení předem stanoveného maxima (32 °C) zchlazeno. Celé měření probíhalo v časově omezeném intervalu 20 minut.



Obr. 3.15: Záznam z měření teploty a tlaku

Obdobným způsobem byla provedena i druhá část experimentu. Po optimalizaci hodnoty pH (7,3) byla sledována rychlost náběhu na požadovanou koncentraci chloru (1,2 mg/l).



Obr. 3.17: Analyzátor vodného roztoku

3.10 Přenos dat

Tato část je zaměřena na princip nastavení řídicího obvodu pro sériovou komunikaci, využívající pro spojení s bezdrátovým Bluetooth modulem. Úkolem je odeslat převedené výstupní hodnoty z přístroje do připojeného počítače, v němž je program pro jejich zobrazení.

3.10.1 Sériová komunikace μP

Mikrokontrolér obsahuje dva stejné sériové kanály plně duplexní sériové komunikace USART0 a USART1, které mohou pracovat ve dvou základních režimech:

- synchronní režim (master nebo slave) - bity TxD – vysílací bit, RxD – přijímací bit a XCK hodiny (master režim vysílá hodiny, slave režim přijímá hodiny)
- asynchronní režim - bity TxD – vysílací bit, RxD – přijímací bit

Pro vysílání a přijímání je nutné povolit bity RXEN a TXEN, čímž vznikne zákaz normální činnosti pinů RxD a TxD. Nepovolení způsobí nepřijetí dat a nastavení chybových bitů FE, DOR a UPE.

Přijímací registr je tvořen:

- přijímací registr UDR, ke kterému máme přístup a můžeme ho číst
- sériový přijímací registr, do kterého se data během příjmu posouvají

Do registru UDR se data přepisují v okamžiku, kdy přijmeme celý byte a procesor detekuje startbit dalšího bytu. Přijmeme-li první byte, při startbitu druhého bytu se přepíše do UDR. Potom přijmeme celý druhý byte, který se přepíše do UDR při detekování startbitu třetího bytu. Do té doby musíme mít z registru UDR přečten první byt, jinak se přepíše druhým bytem. V tomto případě by se nastavil chybový příznak DOR.

3.10.2 Bezdrátový přenos dat

Postupem času se standardní sériové rozhraní RS-232 na straně počítačů téměř nevyskytuje, nicméně je zastoupeno několika totožnými způsoby přenosu dat. Z pohledu kabelového propojení se jedná o rozhraní USB, na straně druhé je jedna z možností využití bezdrátového přenosu prostřednictvím modulů Bluetooth.

Aplikovaný modul Rayson BTM-112 v navrženém systému, jehož parametry jsou uvedeny v tab. 2.8 slouží jako prostřední člen mezi zařízením a PC. Ze strany přístroje se obvod chová jako klasické sériové rozhraní UART, a tak se k němu rovněž přistupuje. Na straně druhé je PC, kde se v operačním systému vytvoří virtuální port COM, na nějž jsou

směřovány veškeré obslužné programy komunikující přes tento sériový bezdrátový přenos. Výhodou je snadná manipulace a nastavení modulu bez nutnosti seznámení s komunikačním protokolem. Přístup je téměř shodný s rozhraním USB (pomocí obvodu FT232).

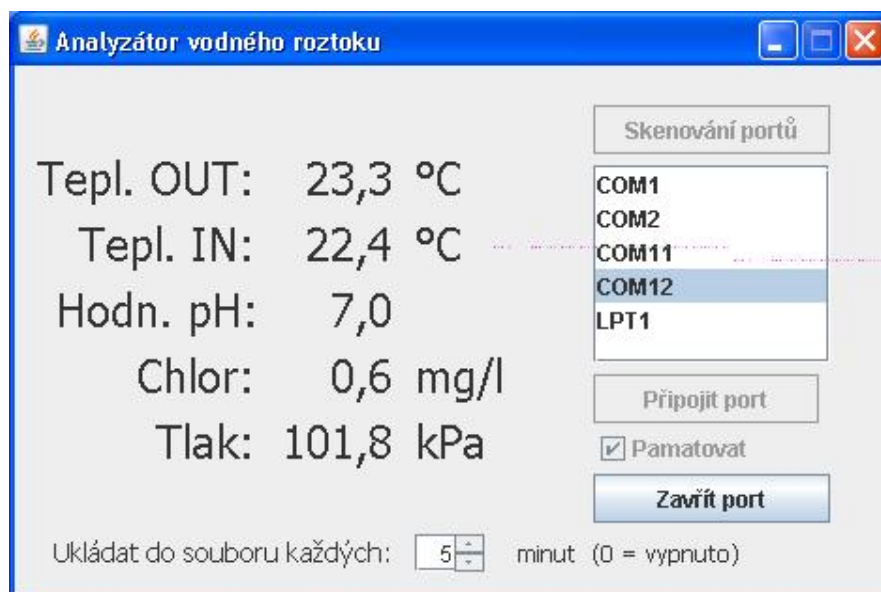
3.10.3 Program v PC

Program slouží pro zobrazení a zpracovávání přijatých dat prostřednictvím bezdrátového přenosu resp. sériového kanálu PC. Je napsán v jazyce Java, vyznačující se svou multiplatformou, nicméně v případě sériového portu je nutná implementace knihoven (rxtxSerial.dll, RXTXcomm.jar), jež slouží ke zpřístupnění COM portu (LPT, USB) pro daný operační systém.

Na základě toho se provede spárování s přístrojem. Spuštěný program podá na žádost - formou klíčového slova pro odeslání dat z přístroje do PC, kde jsou zobrazeny viz. obr. 3.18.

Data se ukládají s libovolně definovaným opakovacím intervalem v minutách do souboru pod názvem "aktuálního data měření", jsou oddělovány středníkem a každé přijaté informaci přísluší čas, kdy bylo měření provedeno včetně nadepsané hlavičky vztahující se k jednotlivým údajům. Soubor má příponu *.csv pro editování dat programem MS EXCEL s možností sestrojení grafu nebo jiné vyhodnocovací operace.

Vytvořením aplikace v prostředí Java odpadá nutnost vlastnit licenci, jak je tomu u obdobných vývojových prostředí.



Obr. 3.18: Zobrazení naměřených dat programem v PC

3.11 Popis hlavního programu

V hlavní programové smyčce se provádí následující operace:

- Testování stisku tlačítek
- Měření střidy SMT 160-30
- Měření pH
- Měření Cl
- Měření Pt-100
- Měření atmosférického tlaku
- Odesílání všech výsledných hodnot do PC

Všem měřením přísluší výpočet dle dané rovnice a zobrazení na LCD displeji.

Tlačítka jsou připojena oproti zemi (GND), proto se v každém cyklu testují, zda nemají tuto log. úroveň, pokud ano vyvolá se podprogram pro jejich obsluhu. Zámkity tlačítek jsou ošetřeny programově. Jsou použita tři tlačítka pro ovládání, jejich funkce udává možnost uživatelské a tovární kalibrace (chloru, pH), změnu pinu na BT modulu.

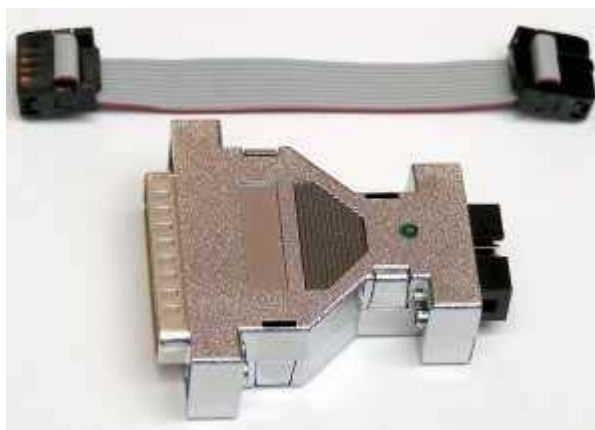
Protože mikrokontrolér nepočítá s desetinnými čísly, jsou všechny hodnoty ve výpočtech vynásobeny tolika řády, jakou chceme mít přesnost výsledku (počet míst za desetinnou čárkou). Průměrování a zaokrouhlování hodnot se provádí pro plynulý nárůst či pokles hodnot, kvůli zabránění vzniku skokových změn. Při počítání se využívá 32-bitová aritmetika, ačkoliv je mikrokontrolér 8-mi bitový, je 32 bitů rozděleno do 4 operandů.

Okamžitá kalibrace znamená u pH vložení do roztoku pH 7, pro Cl vložení do vody s koncentrací $c_{(Cl)} = 0$ mg/l nebo tovární nastavení, kdy se počítá s regresní rovnicí (obr. 3.3, popř. 3.7). Podprogram pro měření pH po převodu čísla analogového na digitální (výstup z převodního obvodu) zprůměruje převedené binární číslo s 25-ti naměřenými hodnotami, provede výpočet, zaokrouhlení a zpětný převod do vhodného tvaru. Obdobným způsobem je provedeno zpracování u zbylých snímačů: chloru, vnitřní teploty a atmosférického tlaku.

V podprogramu měření okolní teploty SMT 160-30 se nejdříve provede vzorkování signálu, zjištění kolik vzorků z celkového počtu 50 000 je v úrovni log. 1, proběhne průměrování s 50-ti okolními, následný přepočet (dle rovnice 2.6, 2.7) na teplotu a zaokrouhlení. Čím větší je počet vzorků, tím se zvyšuje přesnost měřené teploty a doba trvání vzorkování.

Posledním krokem všech uvedených operací je zobrazení dat na LCD displeji a odeslání do počítače. Odeslání se provádí pouze při spárování přístroje s počítačem a spuštění programu pro zpracování.

Program v mikrokontroléru je napsán v kódu Assembler v prostředí *AVR Studio 4*, kde je možné program krokovat, zobrazovat obsah registrů a překládat do souboru *.hex. Samotné programování bylo provedeno programem *Atmel AVR ISP programmer v6.00*, umožňující naprogramování, čtení a verifikaci FLASH, EEPROM paměti mikrokontroléru přes programátor (viz. obr. 3.19) ParProg-R (Xilinx FPGA, CPLD & Atmel AVR) připojený k paralelnímu portu LPT počítače, na straně druhé rozhraní JTAG se systémem ISP (in-system programming).



Obr. 3.19: Foto používaného programátoru ISP

4 Závěr

Při řešení diplomové práce byly prozkoumány metody analyzující vodný roztok se zaměřením na detekci pH, chloru, teploty a tlaku okolí. Byl kladen důraz na kvalitu a vlastnosti čidel, jejich odolnost a životnost. Výběrem byly zvoleny a posléze použity metody méně náročné, avšak dostatečně přesné.

Výsledkem práce je realizace zařízení umožňující nepřetržité sledování výše uvedených parametrů, především chloru z důvodu jeho úbytku v závislosti na teplotě i čase. Analyzátor s připojeným počítačem komunikuje prostřednictvím vestavěného modulu Bluetooth pomocí programu na přiloženém CD, kde probíhá zobrazování naměřených dat v časově předvoleném intervalu, jejich ukládání s možností dalšího zpracování. Provoz přístroje nevyžaduje odborné znalosti, stačí pouze seznámení s návodem pro obsluhu.

V prvním kroku měření je nutné zkontrolovat pH vody a případně ho upravit vhodnými přípravky na hodnotu $6,8 \div 7,6$ za současného měření teploty. Ve druhém kroku se vyhodnotí množství chloru, je-li nutné, provede se zachlorování. Ve třetím, a zároveň posledním kroku dochází ke kontrole parametrů, aby vlivem nesprávného nadávkování nedocházelo k ucpávání filtrace, korozi kovů a betonů, blednutí barev apod.

Hlavními přednostmi je vysoká citlivost, široký koncentrační rozsah, mobilnost, jednoduchost ovládání a údržba. V neposlední řadě též nízké investiční náklady, pohybující se okolo 13 000 Kč. Při porovnání ceny s komerčně vyráběnými přístroji ve stejné třídě je cena analyzátoru přibližně 7-krát nižší.

Takto sestrojené jednoúčelové zařízení slouží především ke kontrole parametrů vod v bazénech během koupací sezóny. Rozšířením o další senzory měřící např. oxidačně-redukční potenciál, konduktivitu, koncentraci kyslíku, celkovou koncentraci organických látek, zákal vody a malou úpravou programu vzrůstá možnost uplatnění, avšak na úkor vyšších nákladů.

Vlastním přínosem je realizace měřicí jednotky, kde největší důraz byl kladen na návrh převodních obvodů pro zmíněné senzory. Jednou z doplňujících funkcí je kalibrace chemických senzorů z důvodu změny jejich parametrů v čase, umožňující eliminaci vzniklé odchylky. Dále vytvoření obslužného programu se schopností již uvedené komunikace s připojeným PC.

Zadání práce se zdařilo realizovat v plném rozsahu.

5 Literatura

- [1] HUBÁLEK J., ADÁMEK M. *Mikrosenzory a mikroelektromechanické systémy*. Brno. Vysoké učení technické Brno, 2007. 125 stran.
- [2] TOCKSTEIN, A. *Elektrochemie*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p., 1984. 120 s.
- [3] PLATIL, A. *Senzory a převodníky*. Praha: BEN – Nakladatelství ČVUT, 2006. 170 s. ISBN 80-01-02873-9
- [4] KADLEC, K.: *Elektrochemické snímače*. Automatizace, 1999, s. 901–905. ISSN 0005-125X.
- [5] Wikipedia: *Otevřená encyklopedie* – Informace o kyselosti, definici pH. [cit. 2007-02-19]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Stupnice_pH>.
- [6] KABEŠ, K. *Elektrochemické snímače a převodníky* – přehled trhu [cit. 2007-04-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.automatizace.cz/article.php?a=598>>.
- [7] JUMO – Měření a regulace, firma zabývající se výrobou a prodejem elektrochemických čidel [cit. 2008-01-04]. Dostupné z WWW: <http://www3.jumo.de/pio/JUMO/cs_CZ/cat/dddfc5b60a0a025d224701f0f330f406/chl%C3%B3r.html>.
- [8] 2Theta: Firma zabývající se prodejem, výrobou a obchodem s laboratorními přístroji. [cit. 2007-12-17]. Dostupné z WWW: <<http://www.2theta.cz>>.
- [9] BEJČEK, L. *Měření fyzikálních veličin*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2002. 194 stran.
- [10] Sensor Tec: *Katalogový list teplotního čidla SMT 160-30*. [cit. 2008-02-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/90332/ETC/SMT160.html>>.
- [11] Maxim Integrated Products Inc.: *Katalogový list Teplotního čidla PT100* [cit. 2008-03-11]. Dostupné z WWW: <<http://pdfserv.maxim-ic.com/en/an/AN3450.pdf>>.
- [12] MUSTAFA, A. Senzor pro analýzu plynu. [cit. 2009-03-12]. Dostupné z WWW: <http://web.umel.feec.vutbr.cz/BMMS/projekty_2004/Aboelhassan/>.
- [13] INSA s.r.o.: *Společnost vyrábí a dodává provozní a laboratorní přístroje pro měření vlastností vody* [cit. 2007-11-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.insa.cz/>>.

- [14] Wikipedia: *Otevřená encyklopedie* – Atmosférický tlak. [cit. 2008-12-20]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Atmosf%C3%A9rick%C3%BD_tlak>.
- [15] E-learning TUL: *Měření absolutního tlaku a tlakového rozdílu*. [cit. 2008-12-22]. Dostupné z WWW: <<http://e-learning.tul.cz/elearning/obr/system/jiny/216/atm-tlak.doc>>.
- [16] ATMEL Corporation: *Katalogový list mikrokontroléru Atmel ATmega8535*. [cit. 2007-06-25]. Dostupné z WWW: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2502.pdf>.
- [17] VÁŇA, V. *Mikrokontroléry Atmel AVR: Assembler*. Praha: BEN – technická literatura, 2003. 144 s. ISBN 80-7300-093-8.
- [18] GM electronic – *Informace, rozměry, dostupnost součástek, datasheety*. [cit. 2008-10-07]. Dostupné z WWW: <<http://www.gme.cz/>>.
- [19] HW server: *Bluetooth* [cit. 2009-21-04]. Dostupné z WWW: <<http://hw.cz/listyhwc/art2835-bluetooth-moduly-bluegiga-s-dosahem-az-250-m-a-dsp.html>>.
- [20] TME Electronic components: *Moduly Bluetooth class 1 a class 2*. [cit. 2008-02-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.tme.cz/ip/579/moduly-bluetooth-class-1-a-class-2.cz.html>>.
- [21] National Semiconductor: *Katalogový list operačního zesilovače LMC 6001*. [cit. 2007-04-14]. Dostupné z WWW: <<http://www.national.com/ds/LM/LMC6001.pdf>>.
- [22] Chemické senzory: *Amperometrie*. [cit. 2009-02-12]. Dostupné z: <http://measure.feld.cvut.cz/groups/edu/sz/pdfs/prednasky/11_Chemick%20senzory%201.pdf>.
- [23] Zapojení teplotního čidla Pt 100 [cit. 2007-01-17]. Dostupné z WWW: <<http://mikrocontroller.cco-ev.de/forum/topic-300.html>>.
- [24] FREESCALE - *Světový výrobce a dodavatel elektronických součástek* – Katalogový list čidla tlaku MPXAZ4115A [cit.2007-12-20]. Dostupné z WWW: <http://www.freescale.com/webapp/sps/site/prod_summary.jsp?code=MPXAZ4115A&fsrch=1>.
- [25] DH Servis: *Kompaktní převodník RS-232*. [cit. 2008-07-12]. Dostupné z WWW: <<http://focus.ti.com/lit/ds/slos075h/slos075h.pdf>>.

6 Seznam příloh

Příloha 1: Návod k obsluze

Příloha 2: Technické parametry

Příloha 3: Schéma zapojení

Příloha 4: Seznam použitých součástek

Příloha 5: Návrh DPS

Příloha 6: Fotografie zařízení

7 Přílohy

Příloha 1: Návod k obsluze

Hlavní částí zařízení je vyhodnocovací jednotka, ke které jsou externě připojeny tři čidla pro analýzu vodného roztoku a další dvě implementovány v samotném zařízení. Každý senzor má specifický konektor, díky čemu je přesně definována pozice připojení. Čidlo pro detekci chloru je zakončeno konektorem cinch, pH konektorem BNC, teploty banánkem, jež je jeho součástí.

Postup měření by měl být následující. Po připojení detekčních čidel k zařízení z nich sejmeme ochranný kryt, vložíme do analyzovaného vzorku, připojíme napájecí kabel do sítě a spustíme měření. Na displeji se postupně zobrazují údaje (Tepl. OUT, Tepl. IN, Hodn. pH, Chlor, Tlak). Při použití v bazénech nás v první řadě zajímá údaj pH, ten by se měl pohybovat v rozmezí $6,8 \div 7,2$. Pokud tomu tak není, je nutné provést donastavení kyselosti do těchto mezí. Poté se provede detekce chloru, nabývající koncentrace okolo 0,5 mg/l, současně se pomocí integrovaného teplotní čidla měří teplota vody a probíhá teplotní kompenzace. Zbýlé dva senzory nám poskytují údaj o teplotě a tlaku okolí.

Zařízení obsahuje tři nastavovací tlačítka, jejichž funkce umožňuje provést kalibraci chemických senzorů. Tlačítka jsou označena popisky. Levé (označené MENU) slouží jako vstup / návrat z menu, prostřední ($\uparrow$) umožňuje pohyb / inkrementaci a konečně pravé (OK) pro potvrzení vybraných údajů.

V menu pro kalibraci pH jsou na výběr dvě možnosti, buď zkalibrování krátkým stiskem (OK) za současného vložení do roztoku o pH 7 na tuto hodnotu, nebo přidržetím několik sekund se vrátíme k továrnímu nastavení. Podobné je tomu v menu kalibrace chloru, s rozdílem vložení do nulové koncentrace vody. Kalibrace na vyšší úrovni v některých případech nabízí výrobce (znovu naplnění čidla elektrolytem, čištění apod.). K dispozici je bezdrátové propojení s počítačem pomocí Bluetooth, proto poslední podmenu je věnována změně jeho čtyř-místného pinu.

Spárováním analyzátoru s PC se vytvoří virtuální port COM. Po nahrání knihoven *rxtxSerial.dll* a *RXTXcomm.jar* do systému z příloženého CD ([\jre\bin\rxtxSerial.dll](#) a [\jre\lib\ext\RXTXcomm.jar](#)) se tento port zpřístupní pro aplikaci, která je rovněž součástí CD. V té po spuštění tlačítkem *skenování portů* vybereme port, kde je připojeno zařízení (resp. BT pojmenován jako SuperBT), stiskem *připojit port* se začnou přijímat a zobrazovat data. Možností je ukládat data v přednastaveném časovém intervalu do souboru pod názvem "data měření" s příponou *.csv pro editaci údajů programem MS Excel. V případě

komunikace mezi PC a samotnou jednotkou je na LCD displeji uveden status *PC připojen*, v opačném případě *PC odpojen*.

Čidla nevyžadují speciální péči, stačí jen však po provedení měření osušit jemným hadříkem, aby nedošlo k poškození membrány a patřičně uskladnit v transportním pouzdru (součástí originálního balení) utěsněné silikonovým kroužkem pro zabránění vyschnutí elektrolytu u Cl, pro pH platí navíc aplikování uchovávacího roztoku KCl.

Příloha 2: Technické parametry

Tab. P1: Technické údaje

pH	Rozsah 0 ÷ 14
	Přesnost ± 0,1
Chlor	Rozsah koncentrace 0 ÷ 6 mg/l
	Přesnost ±0,05 mg/l
	Rozsah pH 5,5 ÷ 9
	Rychlost pohybu min. 4 cm/s
Teplota vnitřní	Rozsah -80 ÷ +150 °C
Teplota venkovní	Rozsah -45 ÷ +130 °C
	Přesnost ±0,7 °C
Tlak	Rozsah 15 ÷ 115 kPa
	Max. chyba 1,5%
	Tepl. rozsah 0 ÷ 85 °C
Pracovní teplota	0 ÷ 50 °C
Proudový odběr	200 mA
Napájecí napětí	230 V AC
Připojení k PC	dosah až 10 m
Hmotnost	480 g

Příloha 3: Schéma zapojení

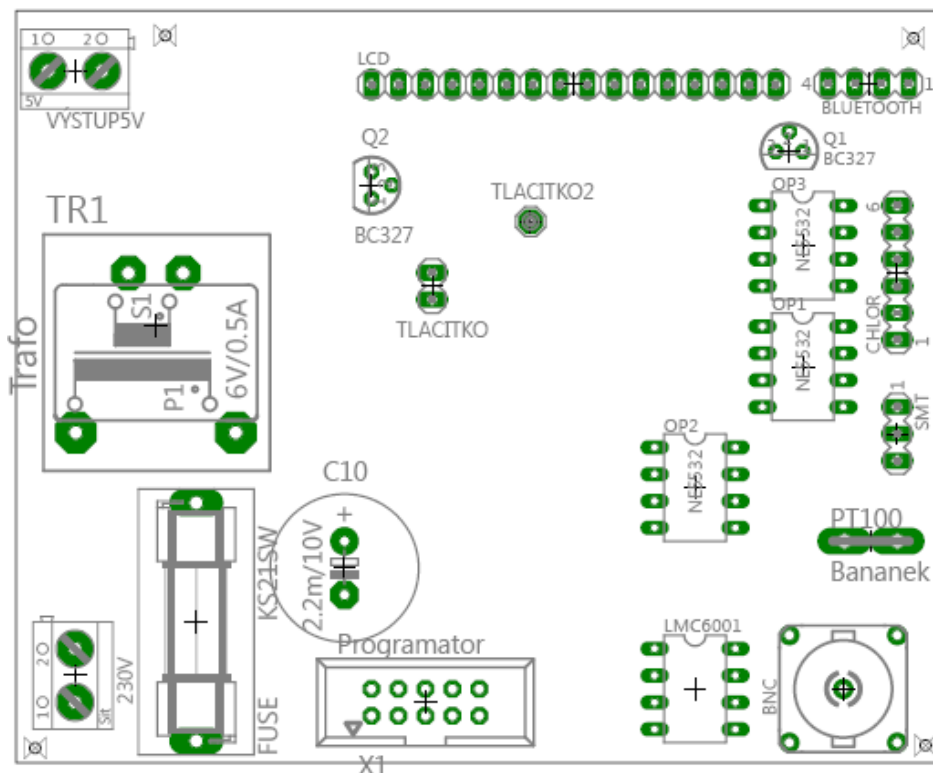
Schéma zapojení přiloženo ve formátu A3

Obr. P1: *Zapojení obvodu*

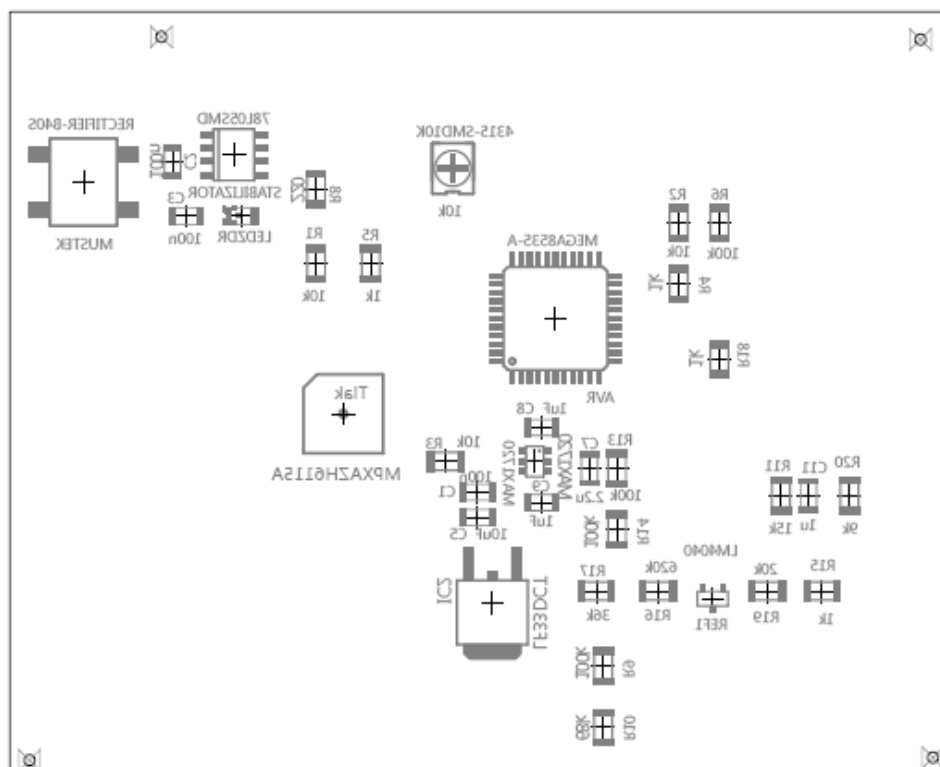
Příloha 4: Seznam použitých součástek

<u>Odpor:</u>	<u>Led-dioda:</u>	<u>Tranzistory:</u>
$R_{1,2,3,27} = 10 \text{ k}\Omega$	$LEDZDR = \text{Modrá led}$	$Q_{1,2} = \text{BC 327}$
$R_{4,5,15,18} = 1 \text{ k}\Omega$	$LCD \text{ displej} = \text{MC 1602E-SBLH}$	<u>Reference:</u>
$R_{6,9,12,13,14,21,25} = 100 \text{ k}\Omega$	$TR1 = \text{Transformátor } 6 \text{ V}/0,5 \text{ A}$	$REF_1 = \text{LM4040CIM3-2.5 V}$
$R_7 = 1,5 \text{ M}\Omega$	<u>Operační zesilovače, IO obvody:</u>	$REF_{2,3} = \text{LM285Z-1,2 V}$
$R_8 = 220 \Omega$	$OP_{1,3} = \text{LMC6001}$	<u>Konektory:</u>
$R_{10,24} = 68 \text{ k}\Omega$	$OP_{2,5} = \text{NE5532}$	$BNC = \text{BNC-Z 50 zásuvka do panelu}$
$R_{11} = 15 \text{ k}\Omega$	$OP_4 = \text{NE5534}$	$FUSE = \text{KS21SW with cover}$
$R_{16,23} = 620 \text{ k}\Omega$	$AVR = \text{mikrokontrolér AT-MEGA 8535}$	$X_1 = \text{MLW10}$
$R_{17,22} = 36 \text{ k}\Omega$	$Mústek = \text{B-DIL 250C1000SMD}$	$230V, VYSTUP5V = \text{svorkovnice ARK500/2}$
$R_{19} = 20 \text{ k}\Omega$	$Stabilizátor = 78L05SMD$	$CHLOR = \text{PSH02-06}$
$R_{20} = 9,1 \text{ k}\Omega$	$IC_2 = \text{stabil. LF33DCT}$	$SMT = \text{PSH02-03 ()}$
$R_{26} = 3,3 \text{ k}\Omega$	$MAX1720 = \text{konvertor napětí na -5 V}$	$LCD = \text{PSH02-2x08}$
$4315 = \text{SMD } 10 \text{ k}\Omega$	$TLAK = \text{MPXAZH6115A senzor tlaku}$	$BLUETOOTH = \text{PSH02-04}$
<u>Kondenzátory:</u>	$Tlac_{1,2,3} = \text{ovládací tlačítka do panelu}$	$PT100 = \text{SBZ Blue-zdířka ban.}$
$C_{1,2,3,4} = 100 \text{ nF}$		
$C_5 = 10 \mu\text{F}$		
$C_{6,7} = 2,2 \mu\text{F}$		
$C_{8,9,11} = 1 \mu\text{F}$		
$C_{10} = 2,2 \text{ mF} / 10 \text{ V}$		

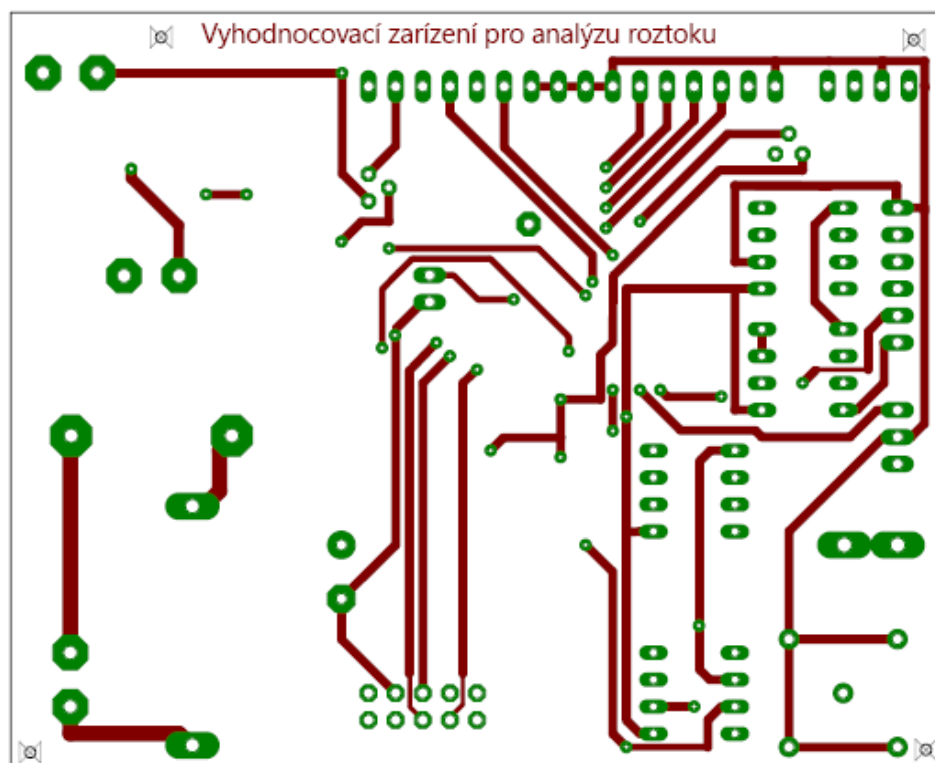
Příloha 5: Návrh DPS



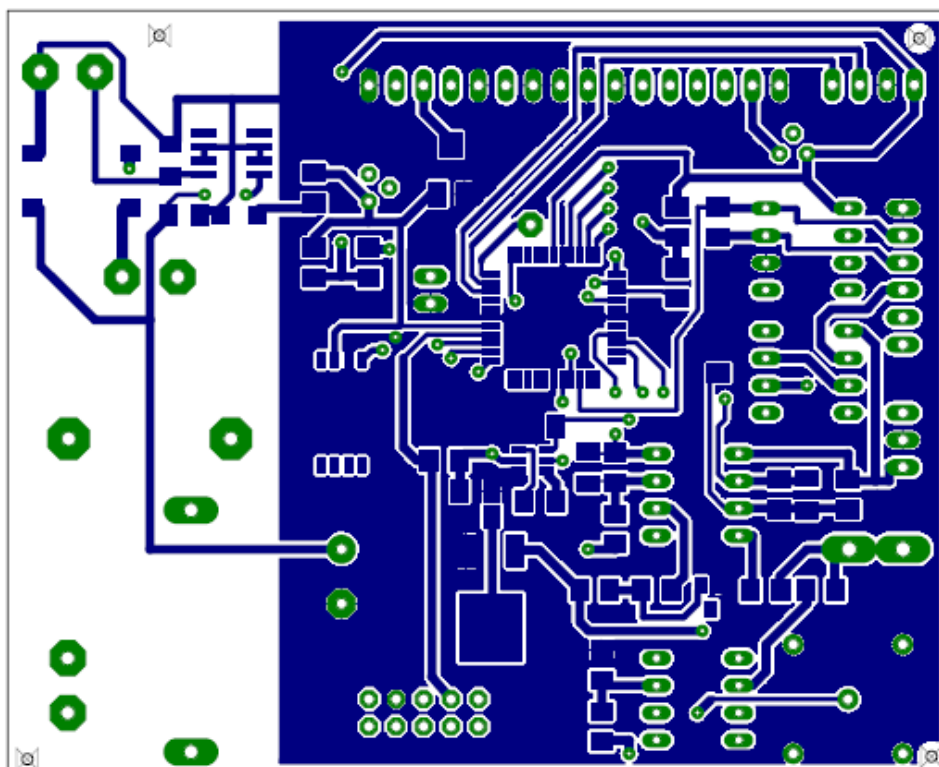
Obr. P2: Zobrazení osazení součástek DPS při pohledu TOP



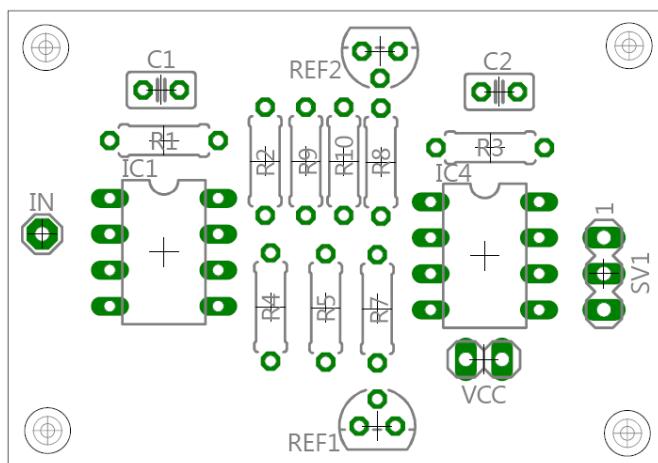
Obr. P3: Zobrazení osazení součástek DPS při pohledu BOTTOM



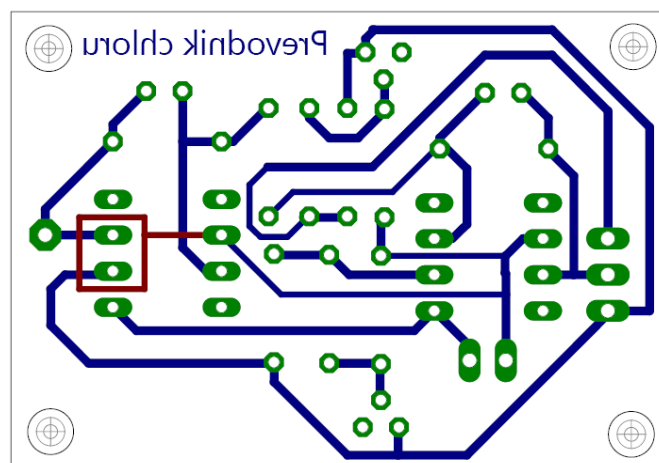
Obr. P4: Zobrazení návrhu DPS při pohledu TOP



Obr. P5: Zobrazení návrhu DPS při pohledu BOTTOM



Obr. P6: Osazení součástek CI převodníku

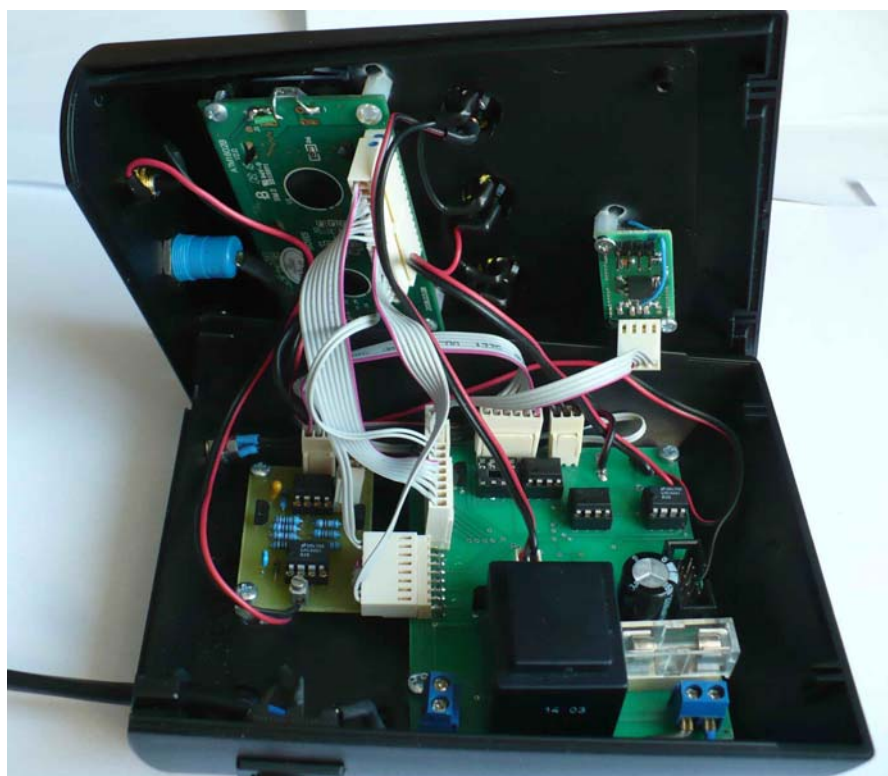


Obr. P7: Návrh DPS převodníku chloru - TOP+BOT

Příloha 6: Fotografie zařízení



Obr. P8: Foto zařízení z horního pohledu



Obr. P9: Foto otevřeného přístroje



Obr. P10: *Zařízení včetně připojených čidel*



Obr. P11: *Externí čidla pH a Cl*