

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘÍCÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

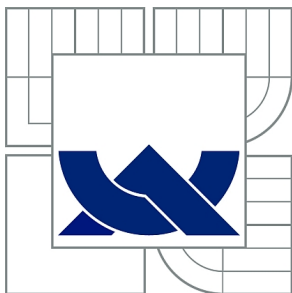
BEZDRÁTOVÝ MONITOR VODNÍCH TOKŮ

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

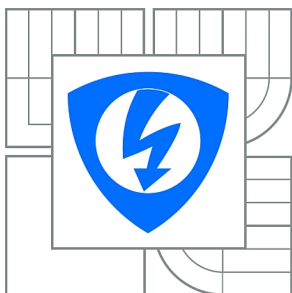
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. JAKUB MICHNÍK

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

BEZDRÁTOVÝ MONITOR VODNÍCH TOKŮ

RIVER WIRELESS MONITOR

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

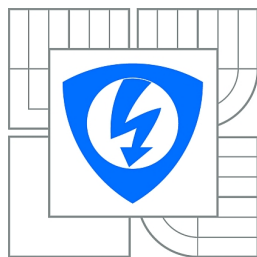
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JAKUB MICHNÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ZDENĚK BRADÁČ, Ph.D.

BRNO 2010



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Kybernetika, automatizace a měření

Student: Bc. Jakub Michník

ID: 77948

Ročník: 2

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Bezdrátový monitor vodních toků

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte koncepci bezdrátového monitoru vodního toku. Koncepci zaměřte na tvorbu distribuovaného systému s více měřicími stanicemi. Systém navrhněte na základě WiFi komunikačního modulu Rabbit. Navrhněte a realizujte elektroniku monitoru. Vytvořte programové vybavení a zajistěte bezdrátovou komunikaci.

Navrhněte koncepci zařízení, reaizujte jej a oživte. Vytvořte programové vybavení a demonstруйте funkčnost. Sepiše diplomovou práci.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Pavel Herout: Učebnice jazyka C, KOPP, 2004, IV. přepracované vydání, ISBN 80-7232-220-6
Dle zadání vedoucího práce.

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 24.5.2010

Vedoucí práce: doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

prof. Ing. Pavel Jura, 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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

V této práci je popsán návrh hardwaru a softwaru pro bezdrátový monitor vodních toků s použitím modulu Rabbit RCM5400W. V textu jsou popsána možná řešení měření parametrů toku, především výšky hladiny. Podrobněji je pak popsán vlastní návrh pro měření tlakovou metodou a výběr důležitých součástí. Je zde navrhnut software pro modul RCM5400W a webová prezentace měření.

Summary

This work presents hardware and software design for River wireless monitor Rabbit Core module RCM5400W. It describes possible solutions for measurement of river characteristics, in particular water level height. Pressure method measuring and selection of important electric parts are described in more detail. The software for Rabbit Core module RCM5400W and also web sites are described here.

Klíčová slova

povodeň, měření hladiny, měření průtoku, měření teploty, Rabbit RCM5400W

Keywords

flood, water level measuring, flow measuring, temperature measuring, Rabbit RCM5400W

MICHNÍK, J. *Bezdrátový monitor vodních toků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 61 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Bezdrátový monitor vodních toků jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené 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

.....

(podpis autora)

Děkuji svému vedoucímu Ing. Zdeňku Bradáčovi, Ph.D. za odborné konzultace při řešení problémů, cenné rady a užitečné připomínky, které mi pomohly při zpracování této semestrální práce.

Dále bych chtěl také poděkovat Povodí Odry za poskytování dat z měřicí stanice v Zebrzydowicích.

OBSAH

Úvod	6
1 Popis problému	7
2 Obdobná zařízení	9
2.1 Měřicí stanice v Povodí Odry	9
2.1.1 Metoda probublávání	9
2.1.2 Plovákové snímače	10
2.1.3 Radar a ostatní druhy přístrojů	10
2.1.4 Sběr dat	10
3 Koncepce měřicího systému	12
4 Návrh hardwaru	13
4.1 RabbitCore Module RCM5400	13
4.2 Napájení	13
4.2.1 Napájecí zdroje	13
4.2.2 Zdroj referenčního napětí pro ADC	14
4.3 AD převodník	14
4.4 Teploměry	15
4.5 Rádiový modul BiM1	16
4.6 Měření tlaku vody	16
4.7 Konfigurace a programování stanice	17
4.8 Shrnutí	17
5 Oživení a test hardwaru	19
5.1 Sestavení a oživení	19
5.2 Testovací program	20
6 Software	21
6.1 Software RCM5400	21
6.1.1 Konstanty a proměnné	22

6.1.2	Soubory	24
6.1.3	USB konfigurace	25
6.1.4	Běh programu	28
6.1.5	Webové rozhraní	31
6.2	PHP skripty	33
6.2.1	Download měřených dat	33
6.2.2	Download ze stanic Povodí Odry	34
6.2.3	Zasílání varovných e-mailů	34
6.2.4	Archivování měřených dat	34
6.3	Webová prezentace projektu	34
6.3.1	Redakční systém Joomla	35
6.3.2	Obsah stránek	35
7	Kalibrace	37
8	Závěr	38
	Reference	41
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	43
	Seznam příloh	44
A	První příloha – schéma měřicí stanice	45
B	Druhá příloha	48
B.1	DPS měřicí stanice – strana Top	48
B.2	DPS měřicí stanice – strana Bottom	49
B.3	DPS měřicí stanice – osazovací plán	50
C	Třetí příloha – Seznamy součástí	51
C.1	Seznam součástí pro CPU jednotku	51

D Čtvrtá příloha - Web	53
D.1 Úvodní strana - index.zhtml	53
D.2 Natavení měření - measure_form.zhtml	53
D.3 Natavení času - time_form.zhtml	53
D.4 Natavení WiFi - wifi_form.zhtml	53
E Pátá příloha - Tabulky	58
E.1 Tabulky kalibrace hladinoměru	58
F Šestá příloha - Mapa Petrůvky	59
F.1 Řeka Petrůvka na českém území	59
G Sedmá příloha - Obsah přiloženého DVD	61

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Meandry Petřůvky a její soutok s Olší	8
3.1	Koncepce měřicího systému	12
4.1	Blokové schéma měřicí stanice	14
4.2	Parametry modulu RCM5400W	15
5.1	Osazená a oživená DPS	19
5.2	Okno Stdio vypisující hodnoty změřené testovacím programem	20
6.1	Okno programu Termite po vypsání nápovědy	28
6.2	Příklad konfigurace stanice a výpisu aktuálního nastavení	29
6.3	Vývojový diagram programu RCM5400W	30
6.4	Vývojový diagram měření	31
6.5	Výřez okna nastavení času	32
6.6	Graf srovnání vodní hladiny	35
7.1	Závislost měřené hloubky hladiny na ponoření	37
8.1	Závislost měřené hloubky hladiny na ponoření	38

SEZNAM TABULEK

6.1	Význam řádků souboru ACT_MAR.TXT	26
6.2	Seznam příkazů USB konfigurace	27
7.1	Závislost změřené hloubky na ponoření hadice	37
8.1	Parametry systému	40
E.1	Měřené hodnoty při ponořování hadice tlakového čidla	58
E.2	Měřené hodnoty při vynořování hadice tlakového čidla	58

ÚVOD

Tato práce navazuje na mou bakalářskou práci, zabývající se měřením stavu vodní hladiny v říčních tocích. Od té doby se ukázalo, že detailnější sledování výšky vodní hladiny je nutné pro snížení obav lidí ohrožených povodní a pro reálnější pohled na nastalou situaci. Pokud totiž obyvatelé v postižené oblasti mají přesné údaje o stavu na tocích v jednotlivých místech, mohou si udělat lepší představu o míře hrozícího nebezpečí. Tyto údaje lze najít např. na internetových stránkách povodí, ČHMÚ nebo z televizních zpráv. Někdy ale ani tyto zdroje nejsou dostačující, protože srážkové předpovědi nebývají příliš přesné a měření vodního stavu se provádí především na větších tocích. Tyto nedostatky se v praxi promítly při povodni v roce 2009 v Jeseníku nad Odrou, kde přívalový déšť zvedl hladiny blízkých řek velmi rychle. Jedním z možných řešení podobných problémů je zvýšit přesnost srážkových předpovědí (Superpočítač ČHMU a numerický model ALADIN), nebo zvýšení počtu míst měřících aktuální vodní stav. Právě to si klade za cíl tato práce. Vytvořit distribuovaný systém optimalizovaný pro řeku Petrůvku, přidat měřicí stanici v Dolních Marklovicích a připravit systém pro případné přidání dalších.

Řeka Petrůvka se běžně vylévá několikrát za rok a v srpnu roku 2005 se naší obcí prohnala více než stoletá voda. To mě pobídlo k tomu, abych využil svých znalostí a navrhnul monitorovací zařízení, které by informovalo ostatní občany naší obce o stavu hladiny řeky. Těsně po zrodu této myšlenky postavilo Povodí Odry své zařízení na polském území v Zebrzydowicích, vzdálené vzdušnou čarou přibližně 3km. S ním jsem si vyjednal poskytování dat z této stanice a budu je tak moci použít pro rozšíření mé práce.

1 POPIS PROBLÉMU

Řeka Petřůvka pramení na území Polské republiky, asi 15 km za hranicemi, protéká obcí Petrovice u Karviné, za níž se vlévá do Olše. Na území České republiky je její délka vzdušnou čarou asi 8km, ale délka řečiště činí přes 15km. To je způsobeno značnou meandrovitostí toku, což je jedna z hlavních příčin povodní. Jak ostré a dlouhé jsou tyto meandry ukazuje obrázek (1.1), na kterém je vidět i soutok s Olší. Břehy této řeky jsou v různých místech různě vysoké (můžeme pozorovat rozdíly několika metrů) a i šířka řečiště se nezanedbatelně mění. Důležitou informací je také to, že na polském území byla řeka v 80. letech 20. století částečně zregulována, a to je opět jedna z dalších příčin povodní u nás. Voda v Polsku nabere větší rychlost, než jakou je schopna přes meandry na českém území projít, a tak se vlivem zpomalení rozlévá. Nelze si však myslet, že by pouhá regulace a narovnání koryta v Petrovicích povodně eliminovalo. Pravděpodobně by si ulehčili obyvatelé Dolních Marklovic (část obce blíže k hranicím), ale Závad'ané (část obce blízko soutoku s Olší) by trpěli o to více, protože by se voda o plnou Olši zastavila a rozlila tam, v horším případě by se vlna mohla odrazit a postupovat zpět.

Jak jsem již naznačil v úvodu, Povodí Odry nainstalovalo na polském území měřicí stanici, která snímá výšku vodní hladiny a průtok. Tato stanice je však položená v místě, kde řeka ještě není příliš rozsáhlá, a tak údaje z této stanice pro obyvatele Petrovic (prostřední část obce) a Závady ztrácejí na hodnotě. Je těžké předvídat, jak moc srážky spadlé v okolí Marklovic a Petrovic přispějí k výšce hladiny na řece.

Uvedu zde případ, který se stal v srpnu roku 2005 a Petrovicemi prošla více než stoletá voda. Tehdy spadlo v Beskydech přes jednu noc enormně vysoké množství srážek, které naplnily řeku Olši. Voda se zvedla i na Petřůvce. Největší povodňová vlna Olší přešla, stejně tak jako se mraky překlenuly přes Beskydy a začalo vydatně pršet nad polským územím. V té době byla v Petrovicích obyčejná povodeň, na jakou tam jsou všichni zvyklí, ale Olše byla stále plná a voda odtékala pomalu. V tu dobu se z napadaných srážek začala tvořit v Polsku druhá vlna, která přes území Petrovic šla přibližně tři až čtyři hodiny. Smutné na tom je právě to, že pokud by existovalo



Obrázek 1.1: Meandry Petrušky a její soutok s Olší

monitorovací zařízení v té době, mohli si mnozí lidé uchránit cenný majetek.

Po této události jsem se rozhodl vyvinout zařízení, které by hloubku vody v řece měřilo a pomohlo tak při povodních lidem žijícím v dolní části toku. Stejný nápad mělo v té době i Povodí Odry, které však svou myšlenku stihlo realizovat dříve. Z mého nápadu se postupem času vyvinula bakalářská práce, využívající také již zmíněná data ze stanice Povodí Odry. Tato data měla sloužit ke sledování povodňové vlny, především její rychlosti, s jakou postupuje směrem k soutoku s Olší. Bohužel i bohudík, dosud nepřišla povodeň s podobnou charakteristikou jako v roce 2005, aby sledování vln reálně vyzkoušela.

Tato diplomová práce si klade za cíl změnit koncepci měřícího zařízení do formy distribuovaného systému a případně ho i rozšířit o původní zařízení.

2 OBDOBNÁ ZAŘÍZENÍ

Měření vodních toků se v ČR nejvíce zabývají jednotlivá povodí a ČHMU. Povodí Odry má na svém území vybudováno asi devadesát měřicích stanic, z nichž asi čtvrtina patří ČHMU. Obce jako takové se měřením většinou nezabývají, protože provoz a údržba měřicí stanice stojí peníze a data z ní mají význam pouze při povodních. Proto je pro ně výhodnější žádat o provoz stanice povodí daného toku, které data předává ČHMU nebo jiným institucím, které se zabývají zpracováváním těchto dat i pro jiná využití, než jenom pro povodně.

Mezi asi nejznámější výrobce hydrologických měřicích přístrojů patří např. německá SEBA, nebo KROHNE, OTT a další. Na českém trhu by to mohl být např. AQUATEAM, nebo PARS AQUA.

2.1 Měřicí stanice v Povodí Odry

Povodí Odry pro měření hladiny používá převážně tyto metody a snímače:

- Metodu probublávání
- Plovákové snímače
- Měření radarem

2.1.1 Metoda probublávání

Tato metoda je založena na principu měření tlaku vzduchu, tlačného kompresorem v hadici ke dnu řeky. Konec této hadice je otevřen a tak je v době nečinnosti v hadici voda. Ta se při měření vytlačuje vzduchem zpět a tím v hadici roste tlak, který se ustálí ve chvíli, kdy vzduch z hadice začne "probublávat" ven. Tento tlak se změří a z něho se vypočte výška hladiny.

Tato metoda měření je použita právě v zebrzydowské stanici. Průtok se zde neměří přímo, ale určuje se z výšky hladiny a průtokové křivky. Průtoková křivka je tabulka hodnot, ve které je pro několik desítek až stovek údajů o výšce hladiny uvedena hodnota průtoku a skutečný průtok se pak odečte z této tabulky. Průtoková

křivka se získává složitějším měřením, několikrát do roka a to tak, že se proměří rychlost vody v celém říčním profilu v místě měřicí stanice.

2.1.2 Plovákové snímače

Druhým typem snímačů, které pro svá měření používá Povodí Odry, jsou snímače plovákové. Kousek od koryta řeky je do země vyvrtána díra o průměru několika desítek cm, která je u svého dna spojena s dnem říčního koryta. Nad touto dírou je postaven jakýsi ochranný domek, ve kterém jsou umístěny vlastní měřicí přístroje. Měření probíhá tak, že do jímky je přes kladku spuštěno lanko, na jednom konci s plovákem, na druhém se závažím. Při pohybu plováku se otáčí kladka, na které je umístěn kruhový disk se značkami v BCD kódu. Optický snímač pak tento údaj přečte a data se odešlou na vodohospodářský dispečink.

2.1.3 Radar a ostatní druhy přístrojů

Mezi poslední a stále používanější metody patří měření radarem. Ten se upevňuje převážně na mostovkách a podobných konstrukcích nad řečištěm. Jeho hlavní výhodou je malá konstrukční a mechanická náročnost, protože stačí zpravidla radar připevnit k mostovce a opatřit napájením. Není potřeba hloubit měřicí šachty, stavět ochranné budovy atd. Nevýhodou je nemožnost použití v místech, kdy voda běžně dosahuje k okrajům mostovky a hrozilo by zatopení radaru.

Ultrazvukové snímače se příliš nepoužívají a pokud ano, tak jen pro malý rozsah měřené hladiny. Pro větší rozsahy jsou nespolehlivé především za silnějšího větru, kdy zvukový paprsek vítr odnese mimo přijímač a měření se neprovede.

Měřicí rozsah těchto stanic se pohybuje zpravidla v jednotkách metrů a jejich rozlišení bývá kolem 1cm.

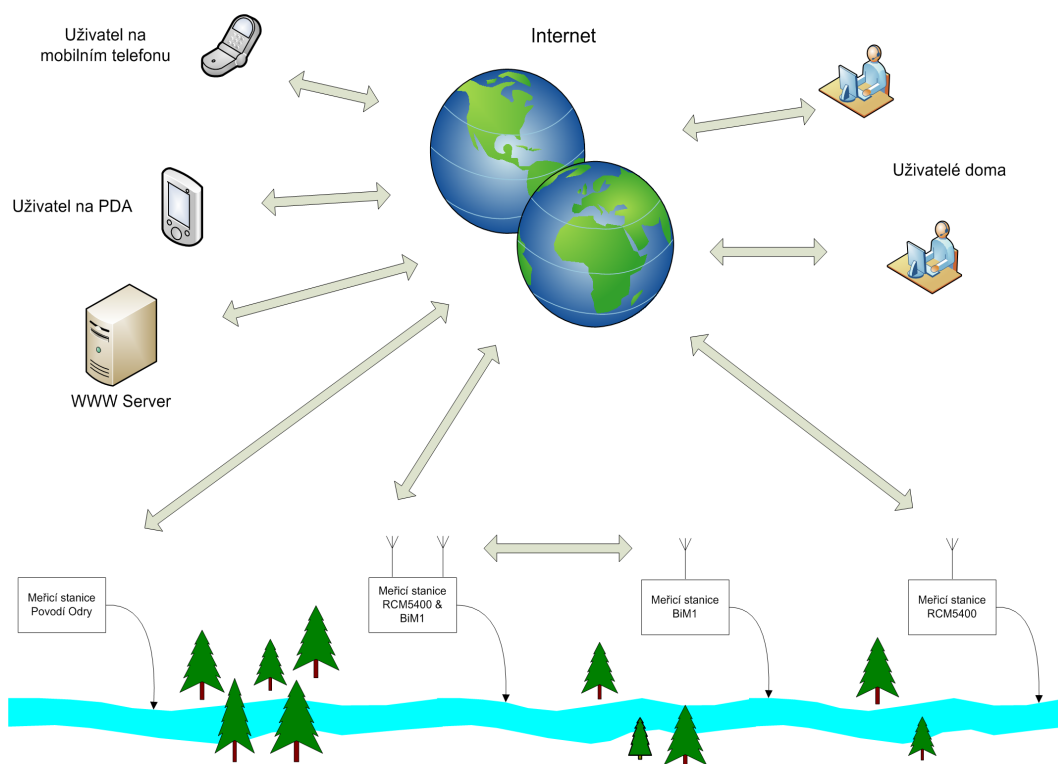
2.1.4 Sběr dat

Data jsou z jednotlivých stanic rádiově vysílána na centrální dispečink, který data dále zpracovává. Samotný sběr funguje tak, že se z dispečinku volají příslušné stanice a čeká se na jejich odpověď. V případě, že je některá ze stanic takto nedostupná,

pokusí se k ní dostat data přes jinou, funkční stanici. Jeden takovýto sběr ze všech devadesáti stanic trvá asi 12 minut. To je celkem dostatečná doba k tomu, aby sebraná data měla stále svou vypovídací hodnotu. Je totiž potřeba si uvědomit, že pokud by sběr probíhal např. co hodinu, varování záchranných, evakuačních, hasičských a jiných sborů z dispečinku by nemělo velký smysl, poněvadž by se o hrozící povodni dozvěděli z jiných zdrojů mnohem dříve. Jinak je tomu např. v povodí Moravy, kde voda z polí nestéká tak rychle jako z hor ve Slezsku, a měření se nemusí provádět tak často.

3 KONCEPCE MĚŘICÍHO SYSTÉMU

Funkci systému jako celku znázorňuje obrázek (3.1). Jeho jádrem je webserver, umístěný kdekoli v internetu. Jednotlivé měřicí stanice, které jsou v dosahu bezdrátového WiFi připojení se k němu připojují a nahrávají svá změřená data. Server je zpracuje do člověku srozumitelné formy (tabulek, grafů), a uživatelé si poté mohou ze svého počítače, PDA, mobilního telefonu nebo jiného zařízení s internetovým připojením tyto údaje prohlížet. Počet takovýchto stanic může být teoreticky nekonečně velký a dá se tak vytvořit rozsáhlá monitorovací síť. Do systému se budou moci také zapojit jednodušší stanice, vyvinuté při mé bakalářské práci, které sice neobsahují WiFi, ale budou se k takovýmto stanicím připojovat pomocí rádiového modulu BiM1, který bude volitelnou součástí měřicí stanice. Obrázek (3.1) znázorňuje koncepci celého měřicího systému.



Obrázek 3.1: Koncepce měřicího systému

4 NÁVRH HARDWARU

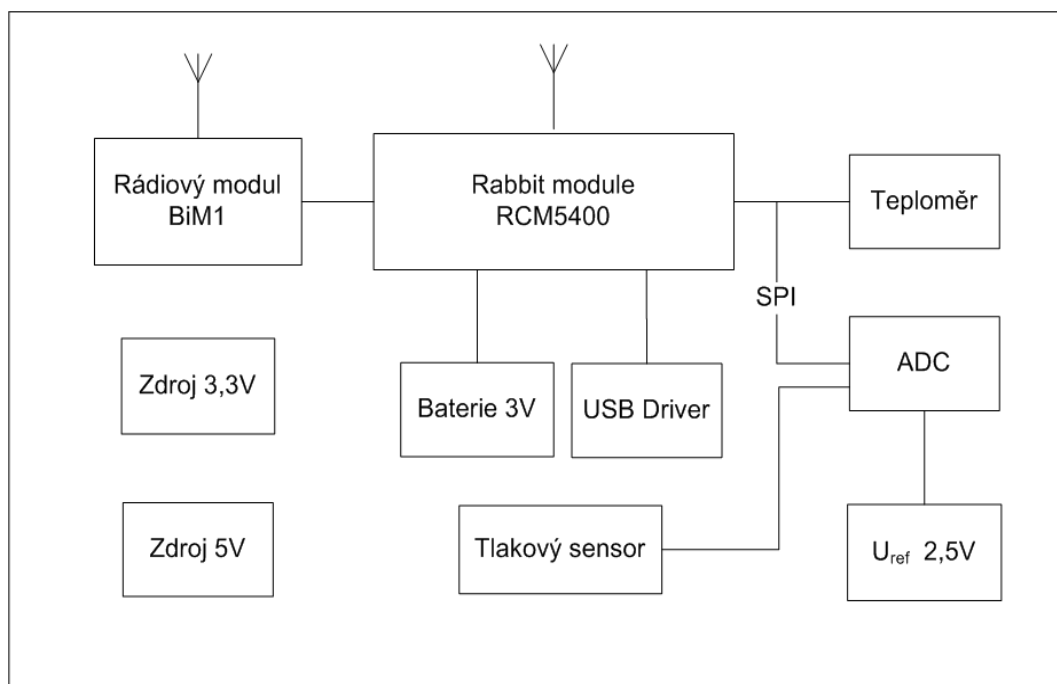
4.1 RabbitCore Module RCM5400

Jádro měřicí stanice tvoří výkonný modul firmy Rabbit RCM5400W. Jde o mikroprocesorový modul s procesorem Rabbit 5000 o taktu 73,73Mhz a s několika periferiemi, jako jsou např. 512kB SRAM, 1MB Flash, RTC, 6 sériových portů a především 2,4GHz WiFi připojení. Bližší specifikace ukazuje tabulka 4.2. Díky svým malým rozměrům, velkému počtu výkonných periferií a dodávaným knihovným funkcí je tento modul vhodný pro rychlý vývoj menších aplikací s požadavky na komunikaci po ethernetu, nebo WiFi. Programování a ladění aplikací v tomto modulu je možné přes sériovou linku s pomocí vhodného konvertoru pro připojení na USB. Modul je napájen napětím 3,3V a proudem 625mA. Jsou k němu připojeny další periferie, jako rádiový modul BiM1 pro komunikaci se starší verzí systému, teploměry a AD převodník pro měření signálu z tlakového čidla. Zdroj hodin reálného času a SRAM jsou zálohovány lithiovou baterií o kapacitě 180mAh, která by je měla podle údajů výrobce udržet po dobu přibližně dvou let. Obrázek 4.1 ukazuje blokové schéma měřicí stanice.

4.2 Napájení

4.2.1 Napájecí zdroje

Většina použitých součástek je napájena napětím 3,3V, z nichž největší proudový odběr má modul RCM5400W a to okolo 625mA při vysílání. pouze tlakové čidlo a rádiový modul BiM1 vyžaduje napětí 5V. Rádiový modul je schopen pracovat od 3,8V, ale je také napájen tímto napětím. Pro vyšší účinnost a také s přihlédnutím na dnes čím dál méně opomíjenou ekologii jsem zvolil pro regulaci napětí spínané stabilizátory. Konkrétně typ TPS54231, který je schopný pracovat v rozsahu vstupních napětí 3,5-28V, maximálním výstupním proudem 2A a regulovatelným výstupním napětím pomocí napěťového děliče.



Obrázek 4.1: Blokové schéma měřicí stanice

4.2.2 Zdroj referenčního napětí pro ADC

Analogově digitální převodník potřebuje pro svou činnost externí zdroj referenčního napětí o velikosti 2,5V. To zajišťuje zdroj ADR121 a pár blokovacích kondenzátorů C15 a C16 o velikosti 100nF.

4.3 AD převodník

Použité tlakové čidlo má analogový výstup v rozsahu 0-5V. Pro číslicové zpracování je tento údaj nutno převést do digitální podoby. O to se stará dvanáctibitový AD převodník AD7924. Je napájen napětím 3,3V a využívá výše popsany zdroj referenčního napětí. Tento převodník má čtyři multiplexované vstupy a data z jeho výstupu jsou přenášena po sběrnici SPI. Pin Vdrive je pro napájení logické části převodníku a je připojen na napětí 3,3V, protože vstupy RCM5400W pracují také na této úrovni.

RCM5400W RabbitCore* Specifications		
Features	RCM5400W	RCM5450W
Microprocessor	Rabbit* 5000 @ 73.73 MHz	
Data SRAM	512K	512K
Program Execution Fast SRAM	512K	1 MB
Flash Memory	512K	1 MB
Serial Flash Memory	1 MB	2 MB
Wi-Fi Compliance	802.11b/g standard, ISM 2.4 GHz	
Backup Battery Connection	Supports RTC and data SRAM	
General Purpose I/O	Up to 39 parallel digital I/O lines	
Additional Inputs	Startup mode (Z), reset in	
Additional Outputs	Status, reset out	
External I/O Bus	Can be configured for 8 data lines and 6 address lines (shared with parallel I/O lines), plus I/O read/write	
Serial Ports	6 high-speed, CMOS-compatible ports	
Serial Rate	Maximum asynchronous baud rate = CLK/8	
Slave Interface	Use the RCM5400W as an intelligent peripheral device slaved to a master processor	
Real Time Clock	Yes	
Timers	Ten 8-bit timers, one 10-bit timer, and one 16-bit timer	
Watchdog/Supervisor	Yes	
Pulse-Width Modulators	4 channels	
Input Capture	2-channel	
Quadrature Decoder	2-channel	
Power (Pins Unloaded)	3.3 V.DC ±5% 625 mA @ 3.3V while transmitting/receiving 175 mA @ 3.3V while not transmitting/receiving	
Operating Temperature	-30° C to +75° C	
Humidity	5% to 95%, noncondensing	
Connectors	One RP-SMA antenna connector One 2 × 25, 1.27 mm pitch IDC signal header One 2 × 5, 1.27 mm pitch IDC programming header	
Board Size	1.84" × 2.85" × 0.55" (47 mm × 72 mm × 14 mm)	

Obrázek 4.2: Parametry modulu RCM5400W

4.4 Teploměry

Měřicí stanice obsahuje také dva teploměry, z nichž jeden je umístěn na plošném spoji, pro měření teploty uvnitř zařízení, druhý je externí, připojen přes konektor SV2 pro měření teploty okolí. Oba teploměry, společně s AD převodníkem, jsou připojeny na sběrnici SPI. Použil jsem teplotní čidla ADT7301, která integrují veškeré potřebné části, jako je vlastní teplotní sensor, AD převodník a SPI rozhraní.

4.5 Rádiový modul BiM1

Aby mohl měřicí systém pracovat i s měřicí stanicí, kterou jsem již vyvinul dříve, a která je postavena na jednočipu AVR a rádiové komunikaci přes transceiver BiM1, zařadil jsem tento modul také do toho zapojení.

Modul Radiometrix BiM1 je FM transceiver pracující na frekvenci 151,3MHz s dosahem až 10km, přenosovou rychlostí do 10kbps a výkonem 100mW. Protože umí pracovat pouze v halfduplexním módu, je potřeba vždy zapnout buď jeho přijímací, nebo vysílací část. To se provádí přivedením log. 0 na piny RX_SEL, nebo TX_SEL. Vnitřní logika tohoto modulu pracuje s napětím 3,3V, proto jsou vysílaná data přiváděna přes odpor R25 o velikosti 10K Ω , který spolu s vstupním děličem napětíovou úroveň sníží. Tato hodnota je získána z tabulky katalogového listu BiM1. Přijímaná data jsou upravena na 3,3V logiku tranzistory Q1 a Q2 s odpory R27 a R26. BiM1 také měří sílu přijímaného signálu (RSSI). Ta je digitalizována AD převodníkem a odesílána spolu s ostatními změřenými hodnotami po SPI do modulu Rabbit RCM5400W. Modul je napájen napětím 5V. Jeho spotřeba je při vysílání 80mA a při příjmu 8mA. Protože při vysílání odebírá tento modul poměrně velké proudové špičky, je jeho napájecí pin připojen přes cívku L3 a kondenzátor C27.

4.6 Měření tlaku vody

Jak jsem se již zmínil v úvodu, pro měření výšky hladiny používám tlakové čidlo, a ze změřeného tlaku vypočítávám výšku hladiny. Existují i lepší metody měření, ale ty jsou buď návrhově složitější, nebo jejich poměr cena–složitost–výkon není příliš dobrý. Je potřeba si také uvědomit, že se měří poměrně velký rozsah hladiny (0-5m) a v otevřené přírodě, kde se pohybuje řada zvířat, které by mohly měření svou přítomností či jednáním ovlivnit.

Tlaková čidla MPX od firmy Freescale použitá v tlakové sondě mají výstupní napětí ve většině případů 0–5V pro celý svůj tlakový rozsah. Ten se může pohybovat od jednotek až po stovky kPa podle konkrétního typu.

Při poslední stoleté vodě se voda zvedla oproti normálu přibližně o 4m. Potřebný rozsah tlaku tlakového čidla bude tedy podle rovnice (4.1) pro hydrostatický tlak

$$P = h\rho g \quad (4.1)$$

$$P = 4 \cdot 1000 \cdot 9,81$$

$$P = 39,2kPa$$

Ten splňuje např. tlakové čidlo MPX5050. To pracuje v diferenčním módu, kterému je na pozitivní vstup hadicí připojen tlak vody ode dna řečiště, negativní vstup je volný a vstupuje do něj tlak okolí. Tím se eliminuje chyba způsobená změnou tlaku pod vodou, při změně tlaku vzduchu. Tato metoda je poměrně spolehlivá, selhává však při teplotách pod bodem mrazu, když dojde k zamrznutí vody v hadici a změny tlaku se tak nepřenáší. Takto vzniklé nepřesnosti se však dají odstranit prohlášením dat za neplatná, poklesne-li teplota okolí pod určitou mez. V tom případě je i výskyt povodně nepravděpodobný.

4.7 Konfigurace a programování stanice

Paměti a další prvky v modulu RCM5400W jsou programovány přes sériovou linku s USB převodníkem FT232RL. Ten integruje veškeré potřebné prvky pro svou činnost a není proto nutné připojovat externí oscilátor, konfigurační EEPROM a další. Po nahrání programu slouží tento kanál pro konfiguraci modulu. Bylo by efektní pro různá nastavení vybavit zařízení displejem a klávesnicí, ale ta půjde provádět přes WiFi rozhraní a v případě jeho nefunkčnosti z PC či notebooku po USB.

4.8 Shrnutí

Všechny komponenty jsou umístěny na oboustranné desce plošných spojů. Na její horní straně se nachází konektor pro připojení externího teploměru, konektor s výstupy zdrojů a pětice univerzálních LED diod. Na pravé straně je umístěn SMA konektor pro připojení antény modulu BiM1 a vstupy tlakového čidla. Resetovací

tlačítko se nachází uprostřed desky, USB konektor na spodním okraji. Deska má rozměry 80x100mm a jsou na ní umístěny čtyři montážní otvory, vždy 5mm od okraje desky. Schéma měřicí stanice je uvedeno v první příloze (A), deska plošného spoje spolu s osazovacím plánem v přílohách B.2, B.1 a B.3.

5 OŽIVENÍ A TEST HARDWARU

5.1 Sestavení a oživení

Na obrázku 5.1 je vyfocen osazený hardware. Na desce jsou všechny potřebné komponenty včetně senzorů. Případné další senzory je možno připojit přes konektory SV1 a SV2, na které jsou připojena napájení (VCC, 5V, 3,3V, GND) a sběrnice SPI. Lze je také použít pro měření při oživování.

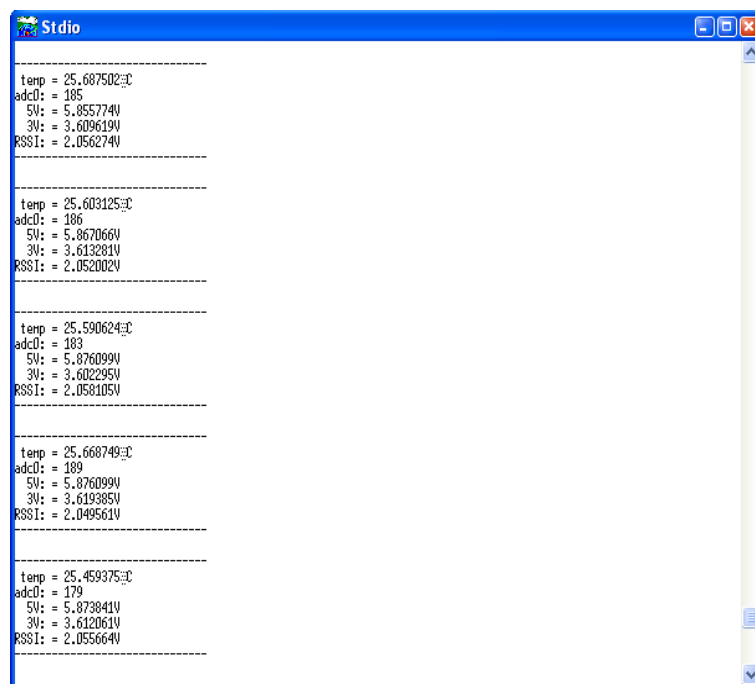
Na desce se neobjevila žádná větší komplikace v zapojení, snad jen programovací interface k modulu Rabbit5400 byl připojen k hornímu programovacímu konektoru na modulu, aby zbytečně nedošlo k přepájení jumperů na zapůjčeném modulu. Deska při spuštění testovacím programu odebírá proud přibližně 200mA, což odpovídá spotřebě modulu Rabbit5400 při vypnuté WiFi, několika rozsvíceným LED diodám a případným ztrátám ve zdrojích. Napájecí napětí 5V a 3,3V jsou stabilní se zvlněním přibližně 10mV.



Obrázek 5.1: Osazená a oživená DPS

5.2 Testovací program

Pro ožívování jsem sepsal jednoduchý testovací program, který po spuštění bliká připojenými LED diodami a v intervalu jedné sekundy vypisuje na obrazovku hodnoty senzorů a ADC, tzn. teplotu v zařízení, hodnoty napájecích napětí 5V a 3,3V, RSSI a výstupní hodnotu tlakového čidla. Obrázek 5.2 ukazuje Stdio okno s výpisem měřených hodnot. Na prvním místě je vypisována teplota, na druhém (označeném jako adc0) výstup tlakového čidla a změřená napětí 5V, 3,3V a RSSI. Po spuštění testovacího programu jsou tyto hodnoty vypisovány na obrazovku a na DPS postupně blikají LED3-6 s různými časovými intervaly.

The image shows a window titled 'Stdio' with a blue title bar and standard Windows window controls. The window contains a text area with five groups of sensor data, each separated by a dashed line. The data includes temperature (temp), ADC0 value, 5V supply voltage, 3V supply voltage, and RSSI signal strength. The values change slightly between the five groups, indicating real-time measurements.

```
temp = 25.687502°C  
adc0: = 185  
5V: = 5.855774V  
3V: = 3.609619V  
RSSI: = 2.056274V  
-----  
temp = 25.603125°C  
adc0: = 186  
5V: = 5.867066V  
3V: = 3.613281V  
RSSI: = 2.052002V  
-----  
temp = 25.590624°C  
adc0: = 183  
5V: = 5.876099V  
3V: = 3.602295V  
RSSI: = 2.058105V  
-----  
temp = 25.668749°C  
adc0: = 189  
5V: = 5.876099V  
3V: = 3.619385V  
RSSI: = 2.049561V  
-----  
temp = 25.459375°C  
adc0: = 179  
5V: = 5.873841V  
3V: = 3.612061V  
RSSI: = 2.055664V
```

Obrázek 5.2: Okno Stdio vypisující hodnoty změřené testovacím programem

6 SOFTWARE

Software tohoto projektu tvoří několik vzájemně propojených částí. Jádrem je program modulu RCM5400, který zajišťuje komunikaci s HW, jako např. s teplotními čidly a AD převodníky, dále pak webové rozhraní pro konfiguraci a správu RCM5400, PHP skripty pro stahování naměřených dat z měřicích stanic a webová prezentace projektu umístěná na <http://petruvka.okamzite.eu>¹.

6.1 Software RCM5400

Program RCM5400 je napsán v Dynamic C 10.54 a využívá především tyto jeho funkce:

- FAT File System
- Rabbit Web
- Sériovou a SPI komunikaci
- HTTP server
- Chráněné proměnné

Je rozdělen do několika souborů. *Main.c* obsahuje definice struktur, deklarace globálních proměnných, importy *.zhtml* *.gif* a jiných souborů, definice konstant a další. Především obsahuje funkci *main()* zajišťující chod celé měřicí stanice. Dále jsou přidány tyto knihovny:

- VODOMERKA_RCM54xxW.LIB
 - nastavení I/O portů
- VODOMERKA_MEASURE.LIB
 - SPI komunikace
 - ADC měření

¹Web byl testován a optimalizován pro prohlížeč Firefox verze 3.6.3

- měření teplot
- výpočty korekcí měření
- VODOMERKA_LED.LIB
 - funkce pro obsluhu LED diod
- VODOMERKA_FUNCTIONS.LIB
 - ukládání změřených dat do XML
 - zálohování změřených dat a nastavení na FAT
 - funkce pro nastavení po sériové lince
 - jiné FAT a WiFi funkce

6.1.1 Konstanty a proměnné

Konstanty

Aby se dala rozlišovat data z jednotlivých měřicích stanic distribuovaného systému, je v programu definováno několik konstant. `DEVICE_IDENT` je identifikátor stanice, resp. její zkrácený název. Tento projekt je psán pro Marklovickou stanici, tudíž `DEVICE_IDENT` je definován jako "MAR". Dále jsou definovány názvy souborů, které se při měření vytvoří. První písmeno označuje obsah souboru (S-struktura, W-water, T-temperature, E-extern temperature), druhé časový rozsah dat v souboru (24-24 hodin, W-week), následuje třípísmenný identifikátor stanice a přípona souboru. Takto je označeno prvních sedm souborů. V dalších třech jsou uložena nastavení stanice, log a poslední změřené hodnoty pro jednoduchý výpis aktuálního stavu na webu projektu.

```
#define DEVICE_IDENT "MAR"
#define MEAS_STRUCT_NAME "S_W_MAR.TXT"
#define WATER_24_XML "W_24_MAR.XML"
#define TEMP_24_XML "T_24_MAR.XML"
#define EXT_24_XML "E_24_MAR.XML"
#define WATER_W_XML "W_W_MAR.XML"
#define TEMP_W_XML "T_W_MAR.XML"
```

```

#define EXT_W_XML          "E_W_MAR.XML"
#define OPT_NAME           "OPT_MAR.OPT"
#define LOG_NAME           "LOG_MAR.TXT"
#define ACTUAL_VALUES      "ACT_MAR.TXT"

```

Proměnné

Pro ukládání naměřených hodnot je deklarována proměnná *meas_week*, která obsahuje čtyři pole po tisíci osmi prvcích. Právě tolik hodnot je změřeno za jeden týden, při měření v intervalu deseti minut. *Last_write* obsahuje číslo prvku, na který byla data zapsána v minulém měření.

```

typedef struct{
    long  time[1008];
    float water[1008];
    float temp[1008];
    float ext_temp[1008];
    int   last_write;
} week_t;
week_t meas_week;

```

Nastavení jsou uložena v proměnné *opt*. Tato proměnná je deklarována jako *protected*. Dojde-li k resetu programu či formátování FAT, stanice si nastavení udrží. Ve struktuře *opt* jsou uloženy proměnné pro kalibraci (*t_cal*, *q_cal*, *k_cal*), tři možná nastavení WiFi *wifi[3]*, aktuálně používané WiFi nastavení *wifi_opt_num* a nastavení WiFi, které je možno konfigurovat *wifi_opt_conf*.

```

//WiFi
typedef struct{
    long ipaddr;
    long netmask;
    long router_set;
    int  dhcp;
    char wifi_ssid[20];
    int  wifi_tx_rate;
    int  wifi_tx_power;
    int  http_port;
} wifi_opt_t;

```

```
//OPTIONS
typedef struct{
    //measure
    float t_cal, q_cal, k_cal;
    //wifi
    wifi_opt_t wifi[3];
    int wifi_opt_num;
    int wifi_opt_conf;
} options_t;
protected options_t opt;
```

6.1.2 Soubory

S_W_MAR.TXT

Nejdůležitějším souborem je S_W_MAR.TXT. Do něj je po každém měření uložena struktura *meas_week*, aby byla zachována např. v případě výpadku napájení změřená data.

*.XML

Webová prezentace používá k vykreslení grafů Java knihovnu, která zdrojová data čerpá z XML souborů. Ten je rozdělen do dvou částí. První, trvale umístěná na serveru webové prezentace, obsahuje nastavení vzhledu grafu, druhá, generovaná v RCM5400W jsou vlastní hodnoty k vykreslení. Jejich struktura je následující:

```
<chart_data>
  <row>
    <null/>
    <string>12:00</string>
    <string>13:00</string>
    <string>14:00</string>
  </row>
  <row>
    <string>Marklovice</string>
    <number>56</number>
    <number>21</number>
```

```
<number>5</number>
</row>
</chart_data>
```

V prvním řádku jsou definovány popisky na vodorovné ose grafu, ve druhém je název řady a její hodnoty.

OPT_MAR.OPT

V tomto souboru je podobně jako v S_W_MAR.TXT zálohována struktura nastavení *opt*.

LOG_MAR.TXT

Průběh programu je logován do tohoto souboru. Pokud dojde např. k formátování FAT, restartu, nastavení času a podobných funkcí, je proveden záznam. Při formátování FAT je však tento soubor ztracen, ale aby mohla být později dohledána příčina formátování, je před voláním funkce *format()* zapsána příčina do proměnné *last_err* a zapsána do logu později. Tato proměnná je také definována jako *protected*.

ACT_MAR.TXT

Aby nemusely být na serveru webové prezentace složitě prohledávány XML soubory pro zobrazení posledních změřených hodnot, jsou ukládány do tohoto souboru, kde každá hodnota je zapsána na vlastní řádek. Význam jednotlivých řádků je v tabulce 6.1.

6.1.3 USB konfigurace

Je-li měřicí stanice nainstalována, je nutné v ní nastavit reálný čas, WiFi a skalibrovat. Kalibrace i nastavení lze provádět přes webové rozhraní, k němu však bez nastaveného WiFi není možný přístup. K tomuto nastavení slouží jednoduché rozhraní, podobné příkazovému řádku systému Windows. Konfigurace probíhá po USB. Na straně měřicí stanice je USB-sériový konvertor, takže po nainstalování příslušného ovladače lze na stanici přistupovat jako po sériovém portu RS232 pomocí programů

Číslo řádku	Význam
1	Výška hladiny [cm]
2	Napájecí napětí 5V [V]
3	Napájecí napětí 3,3V [V]
4	RSSI [V]
5	Teplota zařízení [°C]
6	Externí teplota [°C]
7	Rychlost vzestupu hladiny [cm/hod]

Tabulka 6.1: Význam řádků souboru ACT_MAR.TXT

podobným např. hyperterminalu. Takovýchto programů je na internetu ke stažení celá řada. Použil jsem velice jednoduchý, avšak plně dostačující program Termite. Je nutné nastavit přenosovou rychlost 19200Bd, 8 datových bitů, 1 stop bit a linky RTS a DTR v log.0. V opačné případě modul RCM5400W předpokládá připojený programovací kabel.

Nápověda

Po správném připojení a restartu stanice se v okně programu Termite zobrazí uvítací zpráva a návod jak vypsát nápovědu. Ta se vypíše po zadání příkazu "x?". Na obrázku 6.1 je zobrazeno konfigurační okno po vypsání nápovědy.

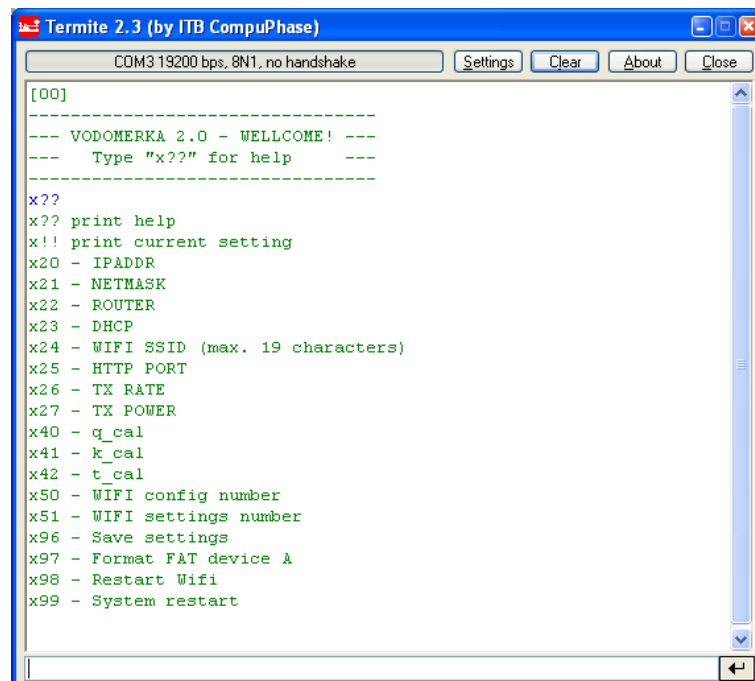
Příkazy

Celá konfigurace probíhá zadáváním příkazů s případným parametrem. Např. *x24 totoJEssid* nastaví WiFi SSID na "totoJEssid". Seznam všech příkazů a jejich význam je uveden v tabulce 6.2.

Vyjma "x?" vypisujícím nápovědu existuje ještě jeden speciální příkaz "x!", který vypíše aktuální nastavení stanice. Protože existují tři možná nastavení WiFi připojení, je vypsáno vždy jen to, které je možné konfigurovat. Na obrázku 6.2 je příklad vypsání aktuálního nastavení, nastavení WiFi SSID, HTTP portu a uložení nastavení.

Příkaz	Příklad parametru	Význam
x??	-	Vypíše nápovědu
x!!	-	Vypíše aktuální nastavení
x20	10.0.0.123	Nastaví IP adresu
x21	255.255.255.0	Nastaví masku sítě
x22	10.0.0.1	Nastaví gateway
x23	1	Povolí DHCP (0 nebo 1)
x24	KubasNET	Nastaví WIFI SSID (max. 19 znaků)
x25	80	Nastaví HTTP port
x26	540	Nastaví Tx rate (*100kbps)
x27	4	Nastaví Tx power (0-13)
x40	500	Nastaví q_cal - aditivní korekce (float)
x41	1.4	Nastaví k_cal - multiplikativní korekce (float)
x42	23	Nastaví t_cal - teplota, při které byla provedena kalibrace (float)
x50	1	Číslo WiFi nastavení, které bude nastavováno (0-2)
x51	1	Číslo WiFi nastavení, které bude používáno (0-2)
x96	-	Uloží nastavení
x97	-	Formátuje paměťovou jednotku A
x98	-	Wifi restart
x99	-	System restart

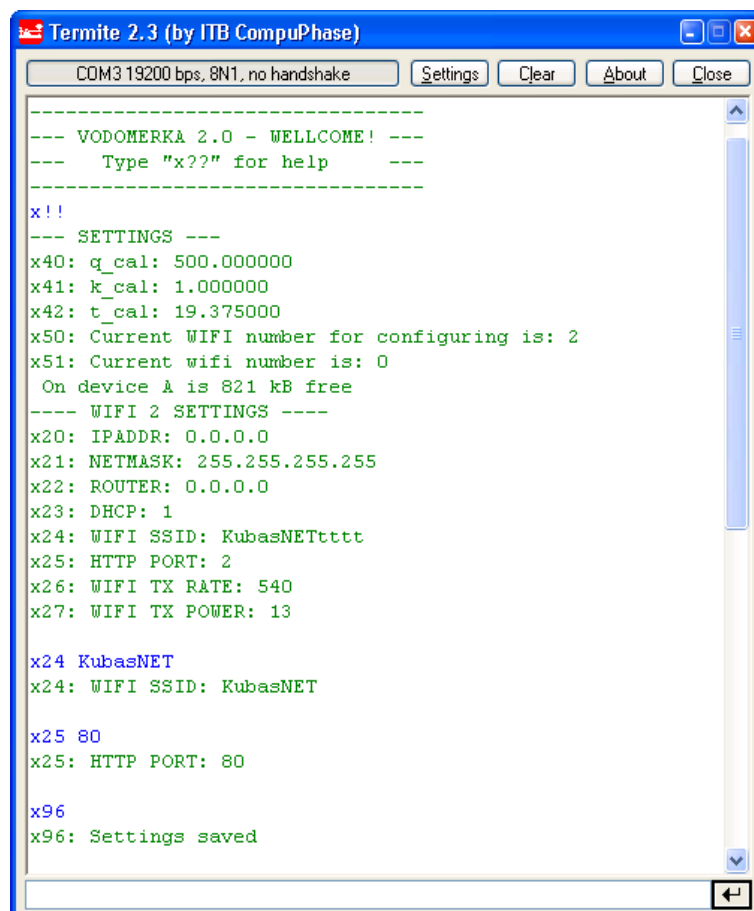
Tabulka 6.2: Seznam příkazů USB konfigurace



Obrázek 6.1: Okno programu Termite po vypsání nápovědy

6.1.4 Běh programu

Běh programu je znázorněn na vývojovém diagramu 6.1.4. Ihned po startu a inicializaci proměnných je volána funkce *isSysSoftReset()*, která obnoví chráněné proměnné. *BrdInit()* inicializuje I/O brány modulu RCM5400W a na 500ms se rozsvítí červená LED. Ta signalizuje právě proběhlý reset. Dále se funkce *fat_up()* pokusí spustit FAT file system. Pokud při spouštění dojde k chybě, je automaticky vyvolán reset, protože FAT file system je klíčový pro chod měřicí stanice. Ve funkci *after_reset()* je ověřeno nastavení hodin reálného času, načtení uložených měření a nastavení z FAT. *Wifi_up()* se pokusí připojit k jedné ze tří možných sítí. Pokud se připojení nezdaří, nebudou sice měřená data aktuálně k dispozici, ale budou ukládána do paměti alespoň pro pozdější čtení. Spustí se HTTP server a volá se funkce *wifi_opt_to_web()*, která nastaví proměnné pro webovou konfiguraci. Dále je ověřen počet resetů vyvolaných softwarově od posledního hardwarového resetu. Je-li jejich počet větší než pět, rozsvítí se červená LED. To může signalizovat obsluze např. to, že se programu nedařilo měřená data zapisovat do paměti, byl automaticky vyvolán restart atp.

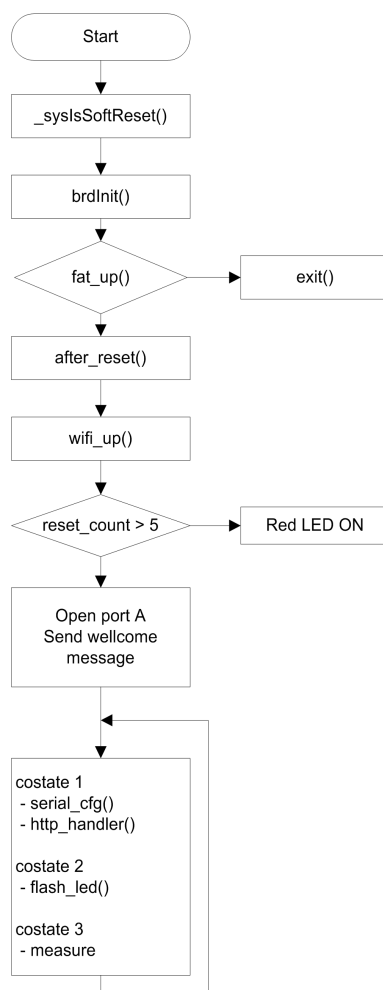


Obrázek 6.2: Příklad konfigurace stanice a výpisu aktuálního nastavení

Jako poslední, před vstupem do nekonečné smyčky, je otevřen port A pro sériovou komunikaci a zaslána uvítací zpráva.

V nekonečné smyčce jsou tři *costate* bloky, přičemž první cyklicky kontroluje, zda nepřišla data pro konfiguraci po sériové lince, a spouští funkci *http_handler()*. Druhý blok pouze bliká zelenou LED v intervalu 900ms. Ta signalizuje čekání na určený čas, ve kterém proběhne měření. Ve třetím bloku je prováděno vlastní měření, jehož vývojový diagram je znázorněn na obrázku 6.1.4.

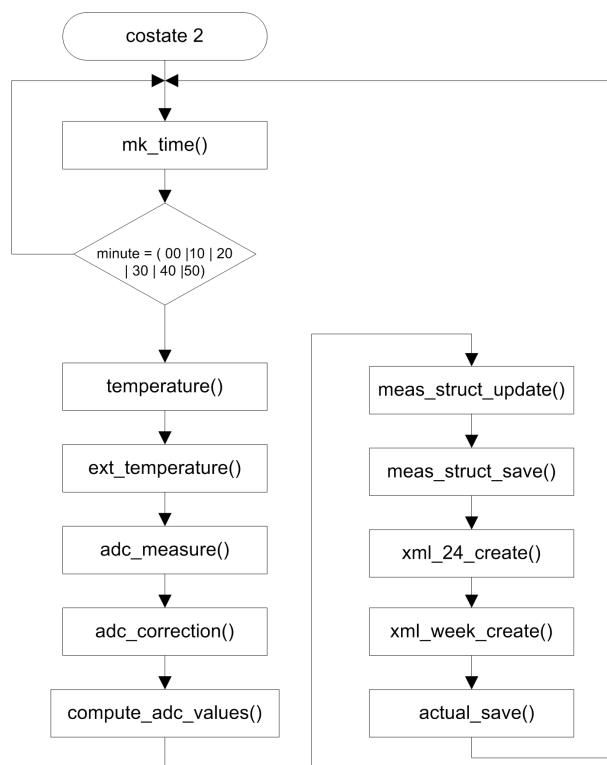
Na začátku se v intervalu pěti sekund kontroluje shoda minut aktuálního času s jedním z desetinásobků hodnot 1-6. Pokud takový čas nastal, dojde k měření. Nejdříve jsou změřeny aktuální hodnoty interní a externí teploty, protože budou později potřebné pro korekce měření hladiny. Funkce *adc_measure()* načte hodnoty všech čtyř vstupů AD převodníku a funkce *compute_adc_val()* vypočítá hodnoty



Obrázek 6.3: Vývojový diagram programu RCM5400W

měřených veličin (hladiny, napájení napětí, RSSI). Zde je také počítána korekce vlivu teplotní roztažnosti vzduchu v hadici tlakového čidla a klasická lineární korekce.

V druhé části tohoto bloku jsou změřená data ukládána a jsou z nich tvořeny XML soubory pro zobrazení grafů na webu projektu. *Meas_struct_update()* najde následující pozici pro uložení ve struktuře měřených dat *meas_week* a uloží na ni aktuální změřené hodnoty. *Meas_struct_save()* tuto strukturu uloží do flash paměti. Dále jsou volány funkce *xml_24_create()* a *xml_week_create()*, které vytvoří XML soubory s měřenými hodnotami, pro zobrazení v grafu. *Actual_save()* uloží do textového souboru aktuální hodnoty.



Obrázek 6.4: Vývojový diagram měření

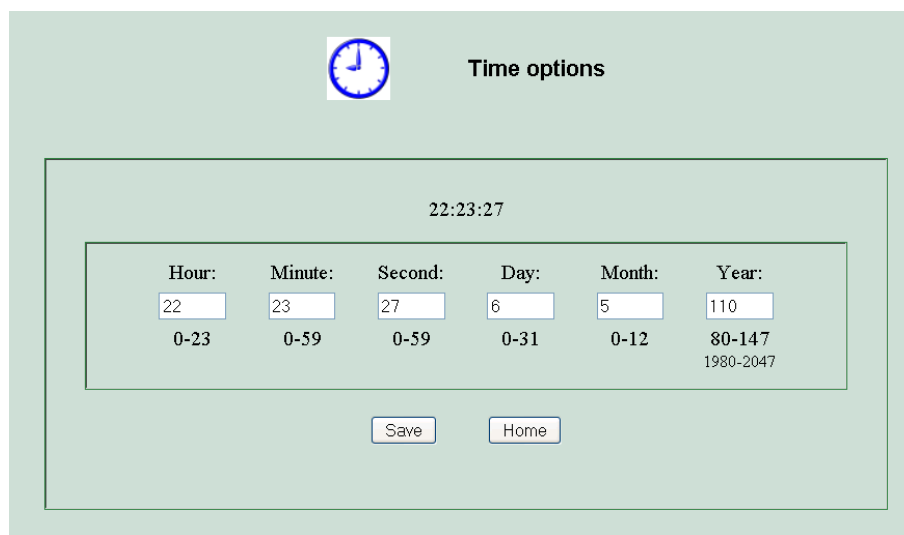
6.1.5 Webové rozhraní

Aby bylo možné konfigurovat parametry měřicí stanici vzdáleně, je vybavena webovým rozhraním. Obsahuje nastavení času, měření, kalibrace, formátování, mazání měřených dat a nastavení WiFi. Přístup na web je zabezpečen jménem a heslem. Pro tuto práci je jméno a heslo "admin", "admin", stanice je umístěna na IP adrese 90.178.218.95, portu 80. Stálost IP adresy není zaručena, poněvadž jde o domácí ADSL připojení, bez této služby.

Po přihlášení k webu se zobrazí úvodní stránka index.html (D.4). Protože později bude webové rozhraní stanice znepřístupněno změnou hesla, aby nedošlo k případnému neodbornému zásahu do měření, uvádím jeho vizuální podobu v přílohách. Nastavení času D.4, měření D.4, WiFi D.4.

Nastavení času

Nastavení času je velice jednoduché. V horní části stránky je zobrazen aktuální čas, jeho dílčí části jsou v editačních polích níže. Hodnota zobrazeného a zadávaného roku je, z důvodu použití hotových softwarových knihoven, o 1900 nižší než skutečná. Tedy pro nastavení roku 2010 je potřeba zadat 110.



The screenshot shows a window titled "Time options" with a clock icon. Inside, the current time "22:23:27" is displayed. Below it is a table of input fields for time components, each with a range below it. At the bottom are "Save" and "Home" buttons.

Hour:	Minute:	Second:	Day:	Month:	Year:
<input type="text" value="22"/>	<input type="text" value="23"/>	<input type="text" value="27"/>	<input type="text" value="6"/>	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="110"/>
0-23	0-59	0-59	0-31	0-12	80-147 1980-2047

Save Home

Obrázek 6.5: Výřez okna nastavení času

Nastavení měření

Stránka nastavení měření (D.4) je rozdělena do čtyř částí. V první se nastavuje korekce aditivní chyby. To umožňuje při instalaci měřicí stanice hadici tlakového čidla ponořit pod vodní hladinu do neznámé hloubky a provést kalibraci podle vodočtu. Při kalibraci se zároveň ukládá hodnota venkovní teploty, která je nutná pro pozdější výpočty korekcí. Hodnoty obou těchto veličin jsou zobrazeny pod editačním polem aditivní korekce.

V dalších dvou částech je možno zasáhnout do systému formátováním FAT, nebo vymazáním struktury obsahující změřená data. Formátování je provedeno ihned, vymazání naměřených dat se projeví až po následujícím měření, kdy se přepíše XML a další soubory.

Poslední částí je tabulka obsahující aktuální naměřené hodnoty, tzn. především výšku hladiny, teploty a napájecí napětí.

Nastavení WiFi

Je-li povoleno použití DHCP, má tato stránka spíše informativní charakter. V tom případě lze nastavovat WiFi SSID a HTTP port pro danou WiFi konfiguraci. Číslo aktuálně používané konfigurace se zobrazuje v prvním editačním poli a lze též měnit.

6.2 PHP skripty

Na serveru, na kterém je umístěna webová prezentace, je kromě ní umístěno také několik php skriptů zajišťujících stahování XML souborů, archivování měřených dat a zasílání varovných e-mailů v případě povodně.

6.2.1 Download měřených dat

Změřená data jsou uložena v paměti modulu RCM5400. Lze však předpokládat, že během povodně po nich bude vysoká poptávka a HTTP server v tomto modulu by nebyl schopen tolik požadavků obsloužit. Proto jsou data v periodě pěti minut stahována na server s webovou prezentací, který je mnohonásobně výkonnější. Spouštění skriptu *auth_http_down.php*, který data nahraje z modulu RCM5400 na server, se provádí službou Cron. Tato služba spouští zvolený skript na serveru v určený čas, maximálně však v intervalu jedné minuty. Hosting, na kterém je momentálně umístěna tato práce, má tuto periodu omezenou na pět minut.

Skript *auth_http_down.php* stáhne všech šest XML souborů, soubor *log*, aktuální měřené hodnoty a data měřená ve stanici Povodí Odry. Na konci skriptu jsou spojeny soubory obsahující vlastní data grafu a jeho nastavení. Tento XML soubor je pak používán Java knihovnou, která vykresluje měření do grafu.

6.2.2 Download ze stanic Povodí Odry

Povodí Odry vystavuje výsledky svých měření na FTP serveru v textovém souboru. Přístupná jsou však jen aktuální data, takže k tomu, aby bylo možné vykreslit grafy, je nutno dřívější měření ukládat. Ve skriptu *povodi_to_xml.php* jsou funkce velmi podobné funkcím z knihovny *VODOMERKA_FUNCTIONS.LIB/* pro modul Rabbit. Ty vyhledají v textovém souboru měření Povodí Odry hodnotu výšky hladiny na toku Petrůvky, uloží ji do pole k dřívějším měřením a vytvoří zdrojové XML soubory pro vykreslení grafu.

6.2.3 Zasílání varovných e-mailů

Pro registrované uživatele je zde možnost zasílat varovné e-maily o stavu na toku. Zasílají se automaticky po přechodu z určitého stupně povodňové aktivity na jiný. Skript *mail_warning.php*, starající se o tuto službu, je spouštěn po aktualizaci dat, jak bylo popsáno v předchozí kapitole. Tento skript se připojí k MySQL databázi vytvořené při instalaci webové prezentace, načte z ní e-mailové adresy registrovaných uživatelů a těm rozešle varování.

6.2.4 Archivování měřených dat

Každé pondělí v 0:00 je spuštěn skript *archive.php*, který archivuje naměřená data pro případné pozdější použití. Možnosti knihovny pro kreslení grafů jsou velmi široké a s použitím archivních dat bude možné prohlížet stav toku v průběhu např. celého roku. Dalším možným využitím archivovaných dat může být výpočet statistik a další.

6.3 Webová prezentace projektu

Stav vodního toku je pro veřejnost přístupný na internetové adrese <http://petruvka.okamzite.eu>². Návštěvníci mohou sledovat aktuální stav vodní hladiny, prohlížet

²Hosting, na kterém je umístěna tato práce, mívá občas problémy s přístupem, a proto, pokud naleznete stránky nefunkční, pokuste se je prosím navštívit později

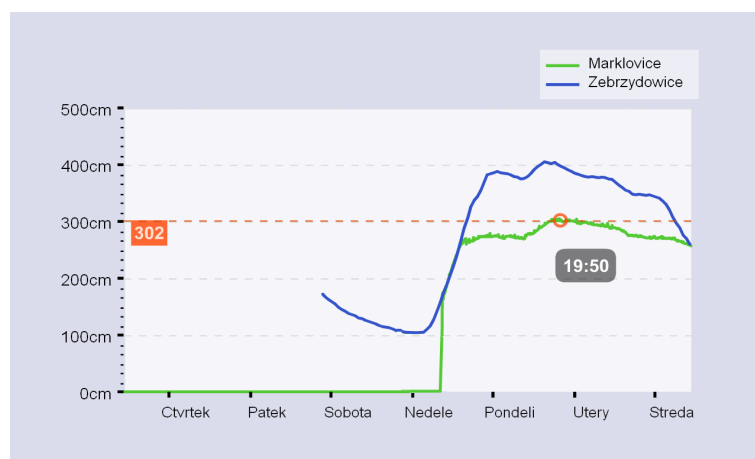
grafy vývoje hladiny za poslední týden a čtyřadvacet hodin, sledovat srovnání stavu v Zebrzydovicích a Petrovicích a další.

6.3.1 Redakční systém Joomla

Webová prezentace je vytvořena v redakčním systému Joomla, který poskytuje mnoho hotových funkcí, rozšíření a tvorba stránek je v něm tedy poměrně snadná. Po instalaci na hostující server je nutno nastavit přístup k FTP, MySQL a pomocí administračního rozhraní lze již vytvářet vlastní stránky. Joomla je licencována pod GNU GPL, není tedy nutné za licenci platit, což je pro použití v diplomové práci výhodné.

6.3.2 Obsah stránek

Na úvodní stránce uživatelé naleznou aktuální stav v měřicí stanici v Marklovicích a graf srovnání stavu vodní hladiny mezi Marklovicemi a Zebrzydowickou stanicí Povodí Odry (obrázek 6.6). V menu se dále nachází dva odkazy pro zobrazení grafů za posledních čtyřadvacet hodin a za poslední týden. Grafy je také možno zobrazit přes celou obrazovku kliknutím pravým tlačítkem myši.



Obrázek 6.6: Graf srovnání vodní hladiny

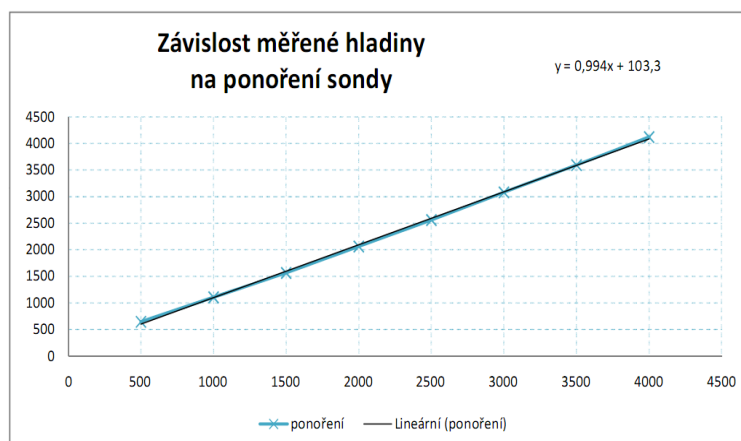
Lidé žijící v zátopovém území, a nejen ti, se mohou na stránkách zaregistrovat a nechat si zasílat informace o stavu na toku na svou e-mailovou adresu. Při změně stupně povodňové aktivity je všem registrovaným uživatelům zaslán e-mail s varováním.

$H_s[mm]$	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
$H_{m\Phi}[mm]$	646,2	1106,7	1565,9	2063,0	2560,9	3079,8	3593,3	4119,7

Tabulka 7.1: Závislost změřené hloubky na ponoření hadice

7 KALIBRACE

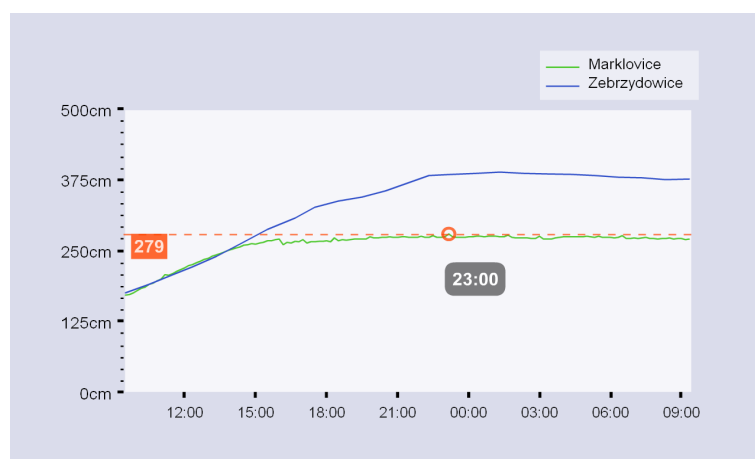
Před instalací měřicí stanice jsem prováděl kalibraci měření výšky vodní hladiny. Vzduchová hadice tlakového čidla byla při kalibraci ponořována do čtyři metry vysoké trubky naplněné vodou. Měřené hodnoty jsem odečítal jak při ponořování, tak při vynořování. Z obou hodnot byl vypočten aritmetický průměr a výsledná závislost měřené hodnoty na ponoření byla vynesena do grafu (7.1). Z rovnice přímky ($y=kx+q$) prokládající tuto závislost byly odečteny hodnoty k a q a zadány do programu RCM5400W jako výchozí. Lze je však měnit přes USB nebo webové rozhraní. (7.1) je tabulka hodnot pro graf 7.1, tabulky celého měření jsou v příloze



Obrázek 7.1: Závislost měřené hloubky hladiny na ponoření

8 ZÁVĚR

Navrhl jsem distribuovaný měřicí systém pro měření parametrů vodních toků, především výšky vodní hladiny. Celý návrh je optimalizován pro řeku Petřůvku, ale vhodným rozmístěním jednotlivých stanic a použitím čidel s potřebnými rozsahy, bude možné použít tento systém téměř pro libovolný tok. V době psaní této práce jsem instaloval jednu měřicí stanici v Dolních Marklovicích, ale systém umí používat i data z měřicí stanice Povodí Odry v Zebrzydowicích, a tak je možné sledovat rozdíl ve výšce hladiny, který odpovídá hloubce koryta a modulaci okolního terénu. Ve dnech 16. - 18. května 2010 jej otestovala rozsáhlá povodeň, která ověřila smysluplnost mého projektu. Mezi okamžitým stavem vody v Zebrzydowicích a Marklovicích byl patrný rozdíl až 1m a v odpoledních hodinách 16. května, kdy voda v Polsku stále stoupala, bylo z grafů patrné, že v Marklovicích díky vybřežení bude růst již téměř nepatrný. Toto srovnání je na obrázku 8.1.



Obrázek 8.1: Závislost měřené hloubky hladiny na ponoření

Jádrem měřicí stanice navržené v této práci je modul Rabbit RCM5400W. Ten je pomocí Wifi připojen k internetu a stará se o měření a ukládání dat do své paměti. Lze v něm pomocí USB a webového rozhraní nastavovat parametry měření, WiFi připojení a času. Změřená data jsou nahrávána na server webové prezentace, kde jsou za pomoci několika PHP skriptů a Java knihovny zobrazovány do

grafů. Uživatelé mohou měření sledovat na <http://petruvka.okamzite.eu/>³. Na stránkách je možné se zaregistrovat a nechat si zasílat e-mailem varování při hrožících povodních. Celkový souhrn funkcí a parametrů je uveden níže a v tabulce 8.1.

- Webová prezentace
 - <http://petruvka.okamzite.eu/>
 - Srovnání stavu vodní hladiny mezi stanicemi
 - Grafy vývoje hladiny a teploty za posledních 24h
 - Grafy vývoje hladiny a teploty za poslední týden
 - Registrace - zasílání varovných e-mailů
 - Administrátor - vývoj teploty systému za 24h/týden
- Web měřicí stanice (RCM5400W)
 - <http://90.178.218.95/>, jméno a heslo: admin
 - Nastavení času
 - Kalibrace
 - Mazání měřených dat
 - Formátování paměti
 - Nastavení WiFi připojení
- USB konfigurace
 - Nastavení Wifi
 - Kalibrace
 - Formátování paměti

V budoucnu by bylo zajímavé rozšířit tento systém o další měřicí body, případně aplikovat na změřená data neuronovou síť a predikovat vývoj hladiny alespoň v nejbližších hodinách. Další úpravou by mohla být změna zdroje napájení ze síťového na

³Web byl testován a optimalizován pro prohlížeč Firefox verze 3.6.3

Meřící rozsah	0-5m	(MPX5050)
Interval měření	10min	
Napájecí napětí	7-28V	
Spotřeba	3,36W	
Význam LED		
LED1	červená	USB Tx
LED2	zelená	USB Rx
LED3	červená	svítí 1s po resetu
LED4	žlutá	stítí při měření
LED5	zelená	svítí při ukládání dat
LED6	zelená	bliká v normálním stavu

Tabulka 8.1: Parametry systému

solární, to však spolu s rozšířením celého systému v současnosti naráží na nedostatek financí, které by bylo nutno zajistit buď prostřednictvím dotace z evropských fondů nebo jednáním s obcemi, které mají s povodněmi opakované zkušenosti.

Již teď mohu říci, že povodeň, která přišla těsně před odevzdáním mé diplomové práce, prověřila funkčnost zařízení k plné spokojenosti uživatelů.

REFERENCE

- [1] ĎAĎO, S. *Měření průtoků a výšky hladiny* 2005.
- [2] KREIDL, M. *Měření teploty : senzory a měřicí obvody* 2005.
- [3] BURGHARD, M. *C pro mikrokontroléry*. 2003, 280 stran B5.
- [4] HEROUT, P. *Učebnice jazyka C*. 2004, 272 stran.
- [5] Mikulčák J. a kol.: *Matematické, fyzikální a chemické tabulky*, SPN, Praha, 1989.
- [6] RABBIT *RCM5400W RabbitCore User's Manual* [online]. Dostupné z URL: <<http://www.rabbit.com/products/rcm5400W/docs.shtml>>.
- [7] RABBIT *Designing With Wireless Rabbits* [online]. Dostupné z URL: <<http://www.rabbit.com/products/rcm5400W/docs.shtml>>.
- [8] RABBIT *Dynamic C Function Reference Manual* [online]. Dostupné z URL: <<http://www.rabbit.com/products/rcm5400W/docs.shtml>>.
- [9] RABBIT *Dynamic C 10 User's Manual* [online]. Dostupné z URL: <<http://www.rabbit.com/products/rcm5400W/docs.shtml>>.
- [10] RABBIT *Dynamic C TCP/IP User's Manual Vol. 1 and 2*. [online]. Dostupné z URL: <<http://www.rabbit.com/products/rcm5400W/docs.shtml>>.
- [11] TEXAS INSTRUMENTS *Datasheet TPS54231* [online]. Dostupné z URL: <<http://www.ti.com/>>.
- [12] ANALOG DEVICES *Datasheet ADT7301* [online]. Dostupné z URL: <<http://www.analog.com/en/index.html>>.
- [13] ANALOG DEVICES *Datasheet ADR121* [online]. Dostupné z URL: <<http://www.analog.com/en/index.html>>.
- [14] ANALOG DEVICES *Datasheet AD7914* [online]. Dostupné z URL: <<http://www.analog.com/en/index.html>>.

- [15] FREESCALE *Datasheet MPX5050* [online]. Dostupné z URL:
<<http://www.freescale.com>>.
- [16] FTDI *Datasheet FT232RL* [online]. Dostupné z URL:
<<http://www.datasheetcatalog.com>>.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

ADC analogově-digitální převodník – Analog to Digital Converter

PC osobní počítač – Personal Computer

RTC Real-Time-Clock

ČHMÚ Český hydrometeorologický ústav

SW Software

HW Hardware

FTP Protokol pro přenos souborů – File transfer protokol

PNG Portable network graphics

HTTP Hypertext transfer protokol

USB Universal Serial Bus

P.O. Povodí Odry

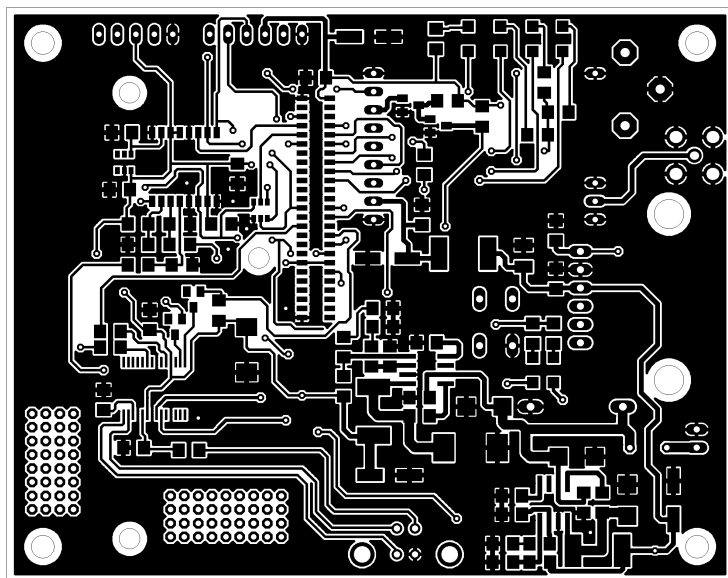
SEZNAM PŘÍLOH

A První příloha – schéma měřicí stanice	45
B Druhá příloha	48
B.1 DPS měřicí stanice – strana Top	48
B.2 DPS měřicí stanice – strana Bottom	49
B.3 DPS měřicí stanice – osazovací plán	50
C Třetí příloha – Seznamy součástek	51
C.1 Seznam součástek pro CPU jednotku	51
D Čtvrtá příloha - Web	53
D.1 Úvodní strana - index.zhtml	53
D.2 Natavení měření - measure_form.zhtml	53
D.3 Natavení času - time_form.zhtml	53
D.4 Natavení WiFi - wifi_form.zhtml	53
E Pátá příloha - Tabulky	58
E.1 Tabulky kalibrace hladinoměru	58
F Šestá příloha - Mapa Petrůvky	59
F.1 Řeka Petrůvka na českém území	59
G Sedmá příloha - Obsah přiloženého DVD	61

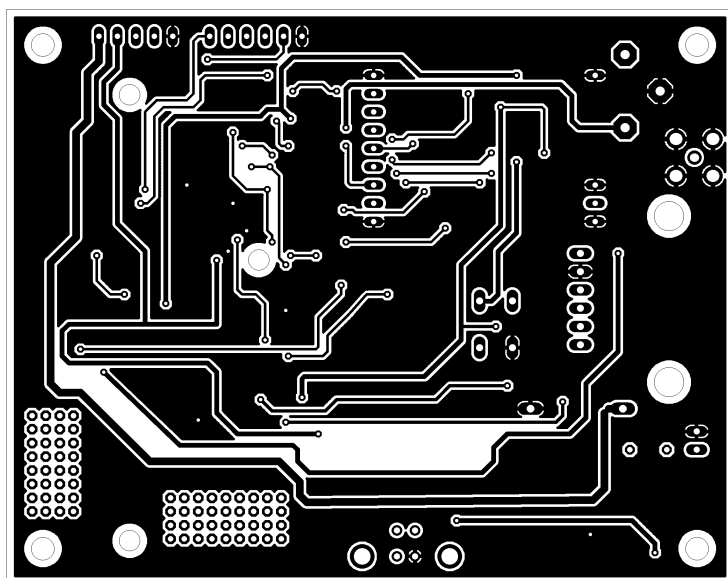
A PRVNÍ PŘÍLOHA – SCHÉMA MĚŘICÍ STANICE

B DRUHÁ PŘÍLOHA

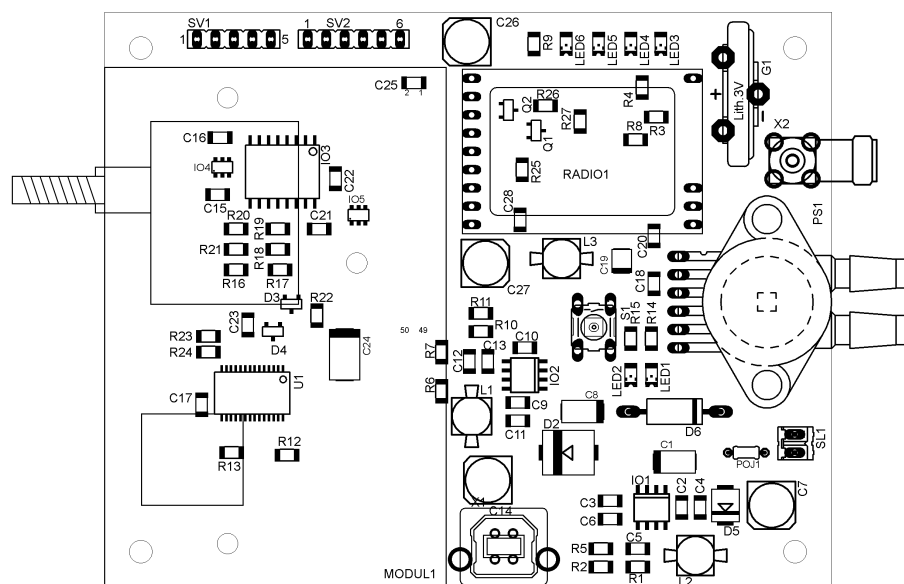
B.1 DPS měřicí stanice – strana Top



B.2 DPS měřicí stanice – strana Bottom



B.3 DPS měřicí stanice – osazovací plán



C TŘETÍ PŘÍLOHA – SEZNAMY SOUČÁSTEK

C.1 Seznam součástek pro CPU jednotku

Počet	Hodnota	Název
6		LED1, LED2, LED3, LED4, LED5, LED6
1	1,8k	R2
1	1N5062	D6
1	1k	R7
2	1n8	C5, C12
1	1u	C19
1	2k2	R11
2	4,7u/35V	C1, C8
1	4k7	R12
7	10k	R1, R6, R13, R22, R25, R26, R27
10	10n	C2, C3, C9, C10, C17 C18, C21, C22, C23, C25
2	10uH	L1, L3
1	15uH	L2
2	22k	R5, R10
2	47p	C6, C13
2	100	R23, R24
6	100k	R16, R17, R18, R19, R20, R21
5	100n	C4, C11, C15, C16, C28
4	100u	C7, C14, C26, C27
4	270	R3, R4, R8, R9
2	470	R14, R15

1	470p	C20
1	AD7914	IO3
1	ADR121	IO4
1	ADT7301	IO5
2	BAS40	D3, D4
1	BIM1	RADIO1
2	BSS123	Q1, Q2
1	CTS 47M/10V	C24
1	FT232RL	U1
1	PFRX.300	POJ1
1	RCM5400SMD	MODUL1
1	SK24	D5
1	SK36	D2
1	SMA	X2
2	TPS54321	IO1, IO2
1	USB-B	X1

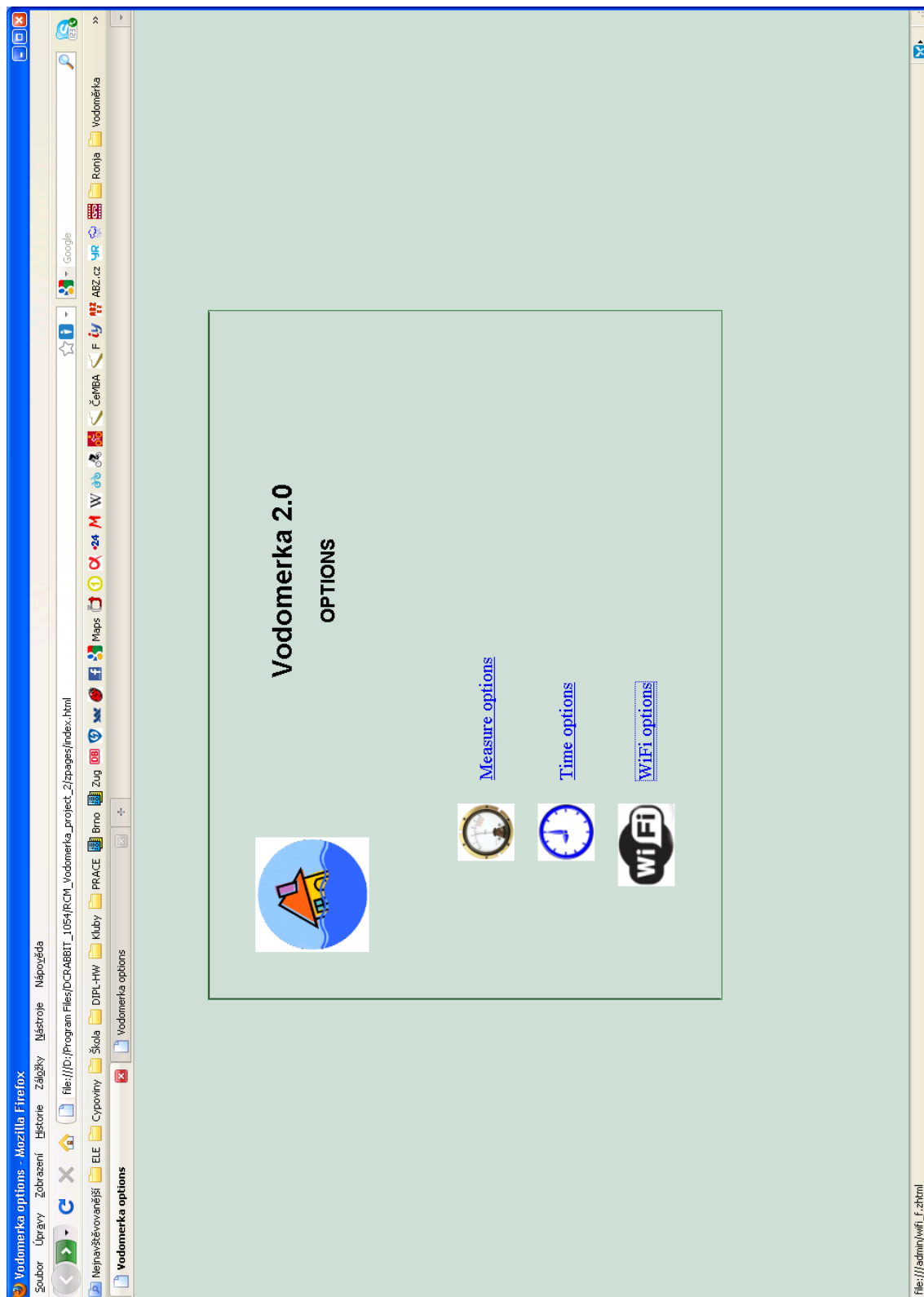
D ČTVRTÁ PŘÍLOHA - WEB

D.1 Úvodní strana - index.zhtml

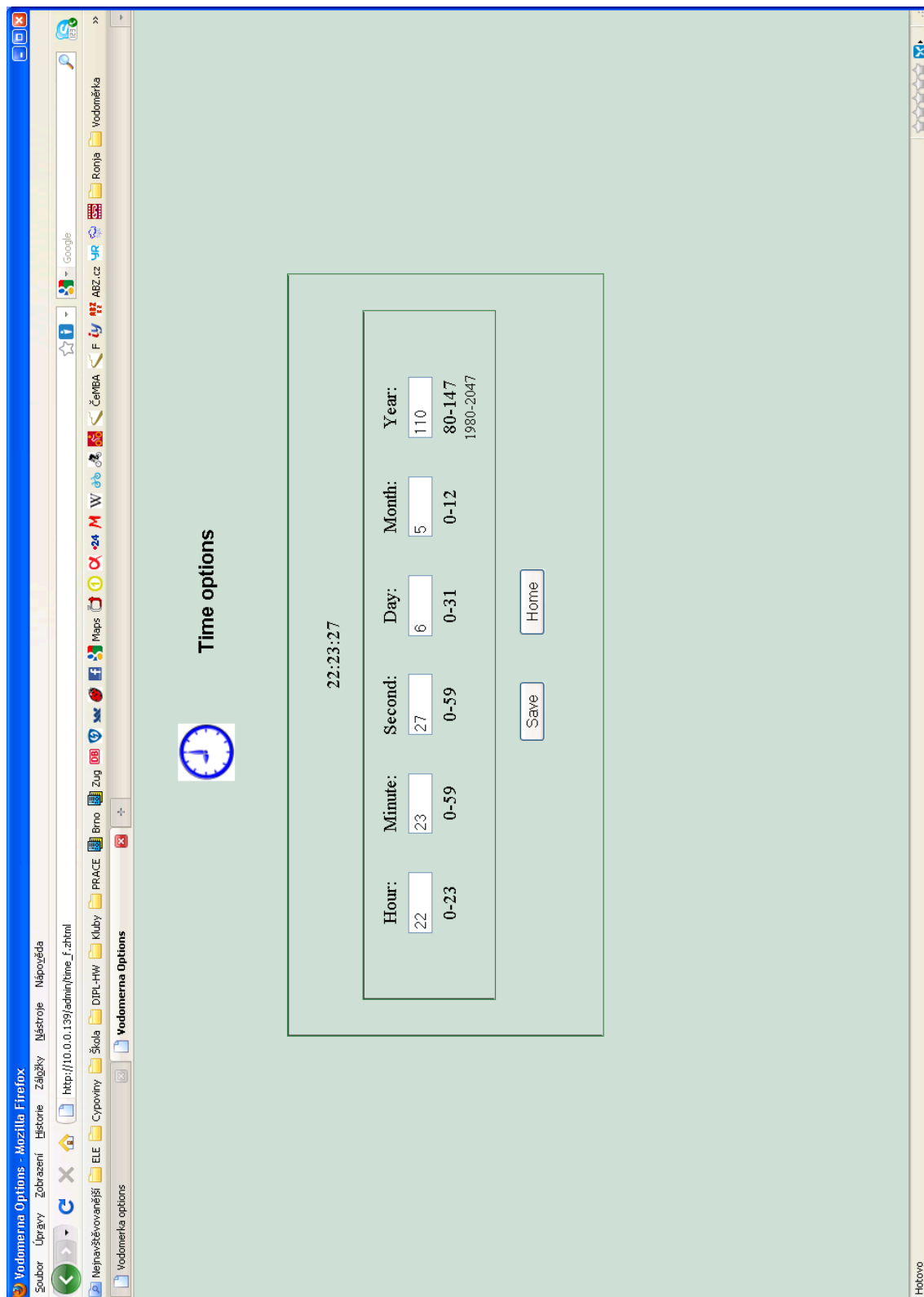
D.2 Natavení měření - measure_form.zhtml

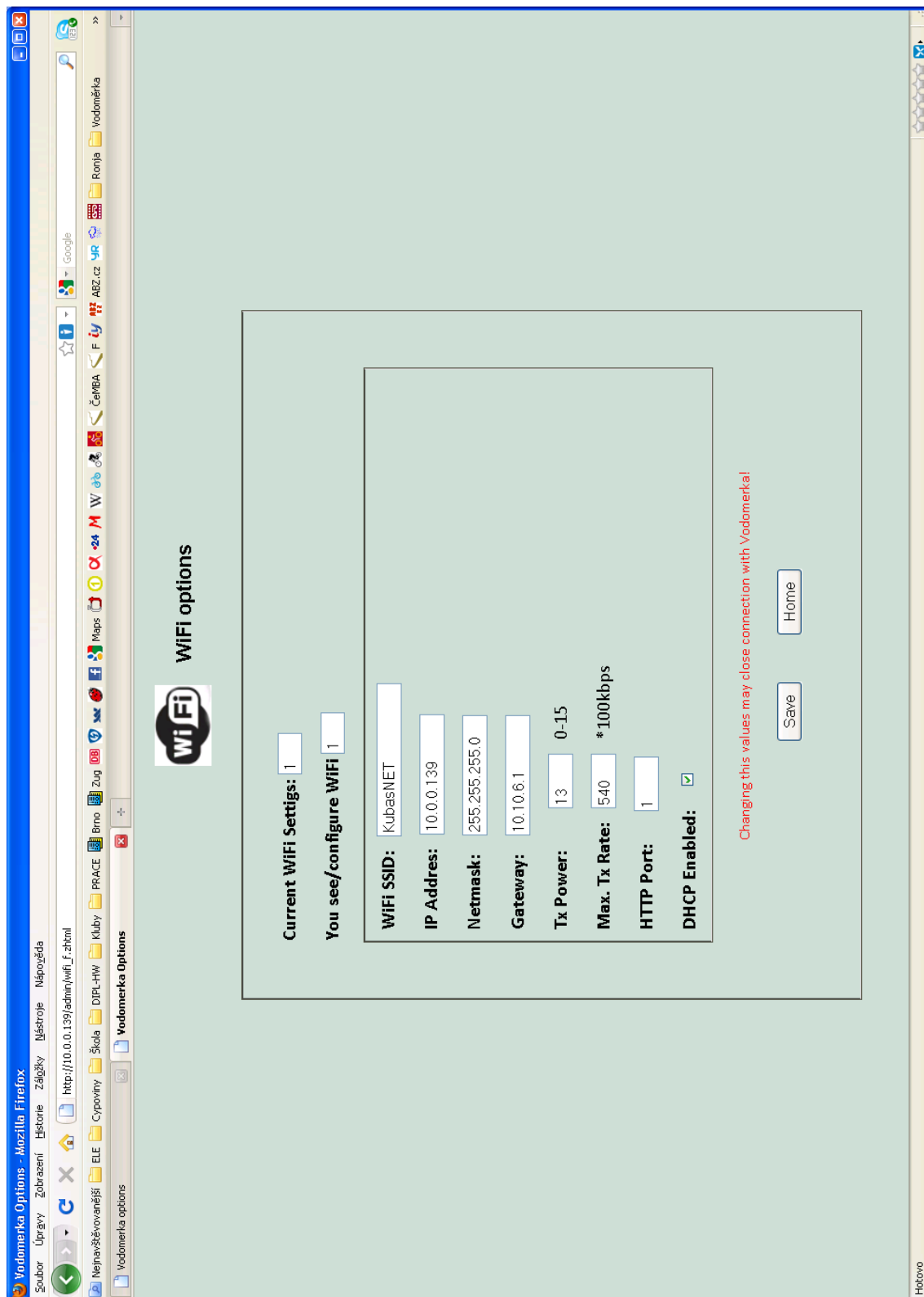
D.3 Natavení času - time_form.zhtml

D.4 Natavení WiFi - wifi_form.zhtml









E PÁTÁ PŘÍLOHA - TABULKY

E.1 Tabulky kalibrace hladinoměru

Tabulka E.1: Měřené hodnoty při ponořování hadice tlakového čidla

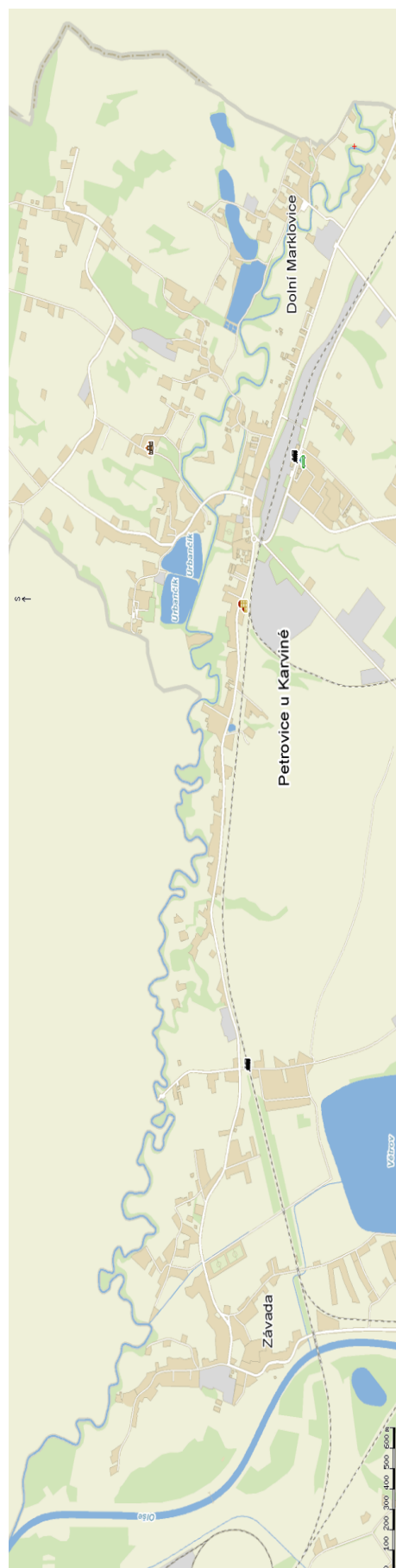
$H_s[mm]$		500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
$H_m[mm]$	1	651	1108	1552	2061	2556	3076	3573	4120
	2	651	1113	1571	2061	2561	3097	3578	4120
	3	656	1113	1571	2061	2552	3077	3579	4118
	4	651	1118	1556	2061	2561	3078	3578	4122
	5	656	1112	1556	2062	2561	3077	3579	4115
	6	661	1113	1550	2066	2555	3077	3585	4121
$H_\Phi[mm]$		654	1113	1559	2062	2558	3080	3579	4119

Tabulka E.2: Měřené hodnoty při vynořování hadice tlakového čidla

$H_s[mm]$		500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
$H_m[mm]$	1	635	1103	1574	2062	2563	3077	3602	4120
	2	637	1103	1575	2067	2558	3084	3608	4121
	3	640	1098	1570	2067	2564	3076	3613	4119
	4	636	1098	1570	2062	2564	3078	3607	4122
	5	636	1102	1575	2062	2570	3080	3607	4116
	6	641	1098	1570	2061	2564	3080	3609	4121
$H_\Phi[mm]$		654	1113	1559	2062	2558	3080	3579	4119

F ŠESTÁ PŘÍLOHA - MAPA PETRŮVKY

F.1 Řeka Petrůvka na českém území



G SEDMÁ PŘÍLOHA - OBSAH PŘILOŽENÉHO DVD

Součástí této bakalářské práce je i CD, které má následující adresářovou strukturu:

/eagle schémata a návrhy plošných spojů v programu Eagle verzi 5.4.0

/RCM5400W program pro modul RCM5400W spolu s Rabbit Web (nastavení zařízení)

/web webová prezentace měřicího zařízení spolu s php skripty – aktuální viz.
<http://petruvka.okamzite.eu>

/text elektronická verze této práce ve formátu PDF