

***Studentská tvůrčí a odborná činnost***  
***STOČ 2017***

**System pro monitorování hladiny vody  
v odlehlém rezervoáru**

**Martin Vlácil (14pt, tučně)**

FAI UTB ve Zlíně

**20. dubna 2017**  
FAI UTB ve Zlíně

***Klíčová slova:*** hladina, hladinoměr, rezervoár

***Anotace:*** Cílem práce je vytvoření komplexního systému pro monitorování úrovně hladiny vody v odlehlem rezervoáru, kde není dostupná elektrická síť. Systém musí být schopen měřit a zaznamenávat úroveň hladiny s přesností na centimetry při rozsahu několika metrů. Data budou bezdrátově přenášena na monitorovací zařízení. Při definovaných událostech (pokles hladiny pod stanovenou úroveň, rychlá změna hladiny, ...) bude vyhlášen alarm. Důraz bude kladen také na nízké pořizovací náklady a minimalizaci provozních nákladů zařízení.

## **Obsah**

1.	Úvod.....	4
2.	Měření .....	4
2.1	Principy měření .....	4
2.1.1	Bezdotykové hladinoměry .....	4
2.1.2	Dotykové hladinoměry.....	4
2.2	Výběr vhodného způsobu měření .....	5
3.	Hardware.....	6
3.1	Arduino .....	6
3.2	Výroba hladinoměru .....	6
3.3	Výroba rozvodné desky (shieldu) .....	7
3.4	Další hardware .....	7
4.	Software .....	8
4.1	Měřicí stanice.....	8
4.2	Zobrazení .....	8
5.	Splnění kritérií .....	8
5.1	Přesnost měření.....	9
5.2	Výdrž baterie.....	9
5.3	Cena .....	9
6.	Závěr .....	10
	Literatura .....	10

## 1. Úvod

Práce se zabývá problematikou měření výšky vodní hladiny v nádrži do maximální hloubky 5 metrů. Práce je řešena jako komplexní systém pro monitorování vývoje úrovně vodní hladiny v čase, reakce na extrémní stavy (příliš vysoká hladina či příliš nízká) a potenciální nežádoucí chování (rychlé změny výšky vodní hladiny).

Tento systém musí umět všechny výše zmíněné problémy vyhodnotit, požadovaným způsobem zprostředkovat naměřené údaje a upozornit na nežádoucí či extrémní chování měřených veličin.

Systém bude provozován na odlehleém místě bez možnosti napájení z elektrické sítě. Je tedy nutné přístroj pro měření napájet pomocí baterií. Z tohoto důvodu byl kladen velký důraz na nízkou spotřebu konečného výrobku.

Ze stejného důvodu není možné naměřená data přenášet pomocí fyzického média (ethernet) a přenos tedy musí být zprostředkovan bezdrátově.

## 2. Měření

### 2.1 Principy měření

Existuje několik způsobů realizace měření úrovně vodní hladiny a bylo tedy nutné vybrat takový, který se nejvíce hodí pro daný případ. Přístroje pro měření stavu hladiny se nazývají hladinoměry nebo také stavoznaky a můžeme je rozdělit na dvě základní skupiny, a to bezdotykové a dotykové.

#### 2.1.1 Bezdotykové hladinoměry

K bezdotykovému měření výšky vodní hladiny v nádrži lze využít princip pulzního měření vzdálenosti mezi vysílačem a přijímačem některé formy záření (princip radaru). Při něm se vyhodnocuje čas mezi vyslaným a přijatým impulsem modulovaným některým typem vlnění a z něj se pro známou rychlost šíření vypočítává vzdálenost (vztah 1.6). Podle typu vln lze využít:

- a) Ultrazvuk
- b) Elektromagnetické vlny v pásmu centimetrových vln
- c) Infračervené vlny
- d) Koherentní laserové záření
- e) Izotopové hladinoměry

#### 2.1.2 Dotykové hladinoměry

K dotykovému měření výšky hladiny v nádrži lze využít několika principů, které jsou na rozdíl od principů bezdotykového měření (viz. 1.1.1) navzájem velice odlišné. Jsou to například mechanické hladinoměry.

Pro otevřené nádrže se z mechanických hladinoměrů používají například plovákové hladinoměry. Pohyb plováku, který plave na hladině měřené kapaliny, je vyveden z nádrže přes kladku lankem nebo řetízkem, obvykle ve spojení s protizávažím. Plovák zavěšený na

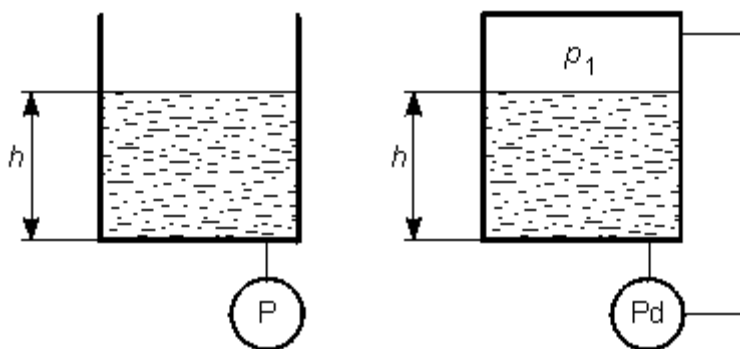
lanku či řetězu je obvykle veden tak, aby nedocházelo k jeho rozkývání při neklidné hladině. Výška hladiny, tj. poloha plováku se určuje buď přímo odečtením polohy protizávaží na podložené stupnici, nebo se převádí na elektrický signál pomocí převodníku. [3]

Dalším typem dotykového hladinoměru je hydrostatický hladinoměr. U toho se výška hladiny vyhodnocuje z hydrostatického tlaku sloupce kapaliny v nádrži. K měření hydrostatického tlaku se používá vhodného kapalinového nebo deformačního tlakoměru; současné systémy využívají často snímačů tlaku s polovodičovými tenzometry. [3]

$$h = \frac{p}{\rho g},$$

Rovnice 1: Výpočet výšky hladiny

Z rovnice výše (Rovnice 1) vyplývá, že výsledek měření závisí na hustotě a tedy i na teplotě kapaliny.



Obr. 1: Způsob měření v otevřené a uzavřené nádrži [3]

Dále existují hladinoměry s ponorným tělesem, kapacitní hladinoměry, vodivostní hladinoměry, atd..

## 2.2 Výběr vhodného způsobu měření

Při výběru vhodného typu snímače pro konkrétní provozní aplikaci je zapotřebí brát v úvahu:

- fyzikální a chemické vlastnosti měřeného média
- charakter okolního prostředí a podmínky měření
- požadavek na spojitě či nespojitě snímání stavu hladiny
- specifikace účelu měření
- signalizace mezních stavů
- měřicí rozsah
- požadavek na přesnost měření
- ekonomické náklady na zařízení

S ohledem na tato kritéria byl pro měření zvolen hydrostatický hladinoměr a to z několika důvodů. Ve specifikaci zadání byl požadavek na měření hloubky do 5 metrů, což by pro většinu mechanických hladinoměrů mohlo představovat komplikace a celková instalace a výroba takového zařízení by byla velice komplikovaná a v extrémních případech, kdy zamrzne vodní hladina, by bylo toto řešení nepoužitelné. To samé platí o všech bezdotykových principech vyjma izotopového, u kterého je nereálné takovýto hladinoměr sestavit v amatérských podmínkách. Také spotřeba u bezdotykových hladinoměrů je řádově vyšší než u bezdotykových.

Co se ostatních způsobů týče, rozhodovacím kritériem byla hlavně rovnováha mezi poměrem ceny, přesnosti a spotřeby.

### **3. Hardware**

Tato kapitola se bude věnovat popisu konstrukce zařízení a výrobě komponent.

#### **3.1 Arduino**

Pro ovládání všech komponent byla použita otevřená elektronická platforma Arduino, konkrétně model Arduino Mega 2560. Arduino bylo zvoleno z několika důvodů, a to kvůli rozsáhlé vývojářské komunitě, osobních zkušeností s touto platformou, nízké pořizovací ceně a uspokojivé robustnosti. [1]

Mikroprocesor na desce Arduina se programuje pomocí speciálního Arduino programovacího jazyku (založený na jazyku Wiring - podobný C++) ve vlastním Arduino vývojovém prostředí. Navíc není nutné vlastnit samostatný programátor, jelikož jej již obsahuje samotná deska Arduina a stačí jej tak pouze připojit pomocí USB do počítače s vývojovým prostředím. [1]

#### **3.2 Výroba hladinoměru**

Srdcem hladinoměru je tlakoměr MPS20N0040D-D. Tento tlakoměr je určen pro měření barometrického tlaku od 0 kPa do 40 kPa, převedeno na tlak vody tedy od 0 do 4 metrů. Což by v tomto případě nesplňovalo zadání, kde je řečeno, že přístroj musí být schopen měřit hloubku do 5 metrů. Z datasheetu je však patrné, že skutečný rozsah tohoto tlakoměru je – 100 kPa až 70 kPa, což odpovídá 7 metrům hloubky a to již kritérium splňuje. Tlakoměr vrací hodnotu napětí přímo úměrnou rozdílu tlaků na jeho přední a zadní straně, nebo přesněji rozdílu tlaku v měřicí trubičce a okolního tlaku.

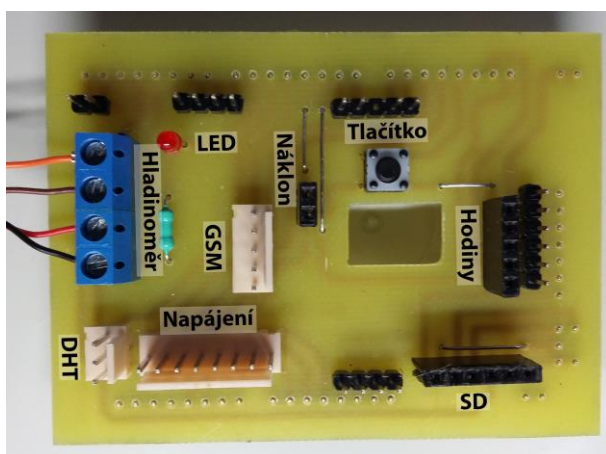
Tlakoměr bylo nutné uzavřít do vodotěsného krytu, z jehož jedné strany ústí trubička pro měření tlaku vody a ze strany druhé vede hadička na vodní hladinu, sloužící k zavedení atmosférického tlaku k tlakoměru a k porovnávání tlaku s touto hodnotou. Jelikož se jedná o otevřenou nádrž, na vodní hladinu také působí atmosférický tlak. Tímto způsobem se navzájem tyto tlaky vyruší a tlakoměr měří pouze tlak vody bez ovlivnění atmosférickým tlakem. Tímto způsobem není nutné započítávat do výpočtu proměnlivý tlak vzduchu působící na vodní hladinu a celé měření se tak usnadňuje. Tou samou hadičkou je navíc veden kabel pro komunikaci a napájení tlakoměru, který tak nepřijde do kontaktu s vodou.

Uvnitř vodotěsného pouzdra pro tlakoměr je navíc přítomen 24bitový A-D převodník HX711, který převádí naměřené hodnoty napětí hned u tlakoměru, čímž jsou vyřešeny problémy jako je rušení či úbytek napětí způsobené odporem vodičů v závislosti na jejich délce nebo teplotě.

### 3.3 Výroba rozvodné desky (shieldu)

Návrh rozvodné desky potřebné pro zapojení všech potřebných periférií byl vytvořen v programu Eagle, který je určen k navrhování plošných spojů. Z návrhu byl vytvořen plošný spoj firmou Plosnaky.cz a následně byla deska osazena potřebnými součástkami. Deska byla navržena jako shield z důvodu jednoduché manipulace, zapojení shieldu do Arduina se tak stává úplně triviální záležitostí, stejně tak žádný konektor pro zapojení není totožný, čímž se zamezí nesprávnému zapojení.

Toto řešení bylo zvoleno kvůli apelaci zadavatele práce na možnost zapojení celého systému naprostým laikem.

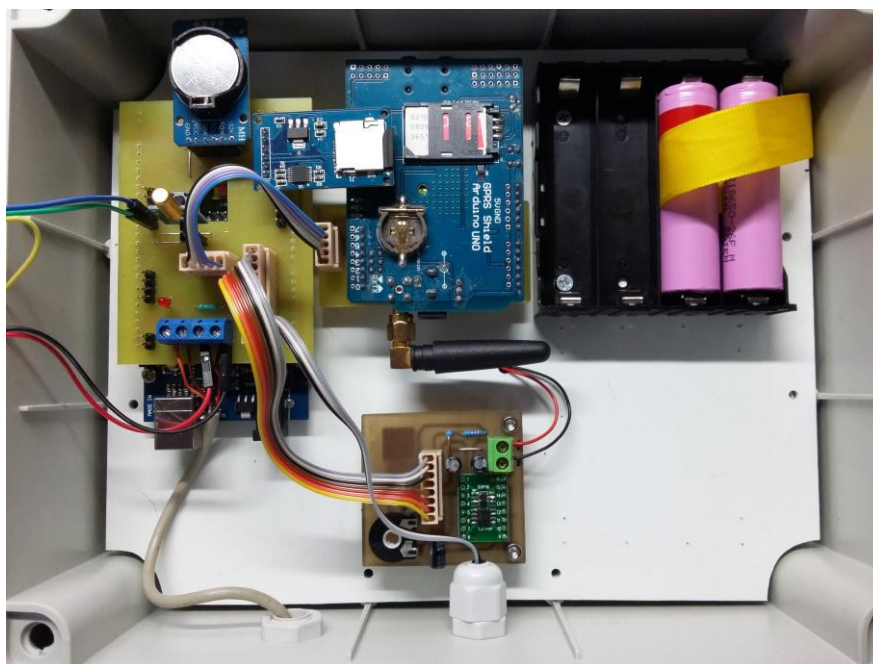


Obr. 2: Rozvodná deska

### 3.4 Další hardware

Mezi další použitý hardware patří GSM Shield pro arduino založeném na chipu SIM900, který zabezpečuje bezdrátovou komunikaci po GSM síti, a to jak telefonické služby a SMS, tak služby datové.

Dále byl použit hodinový modul RTC DS3231 s možností vyslání signálu alarmu použitému k buzení Arduina, SD modul pro Arduino včetně SD karty pro zápis naměřených hodnot, jejich archivaci a uchování nastavení, modul pro měření teploty a vlhkosti vzduchu DHT22, senzor signalizace náklonu a tlačítko.



Obr. 3: Hardware

## 4. Software

### 4.1 Měřicí stanice

Software pro obsluhu měřicí stanice byl napsán v jazyce Wiring v prostředí Arduino IDE. Software byl napsán výhradně pro desku Arduino Mega 2560. Tento kód se stará o veškerou činnost nutnou k úspěšnému měření, zaznamenání, archivování a odeslání naměřených údajů. Stará se o probouzení a uspávání periférií a přímo se tak podílí na úspoře energie.

V případě poruchy či převržení má přístroj možnost dát vědět pomocí e-mailu či SMS. Vlastní kód má více jak 1200 řádků vlastního funkčního kódu. Tento kód využívá jak vestavěných knihoven prostředí Arduino IDE, tak opensource knihoven třetích stran (SdFat, RTC, DHT,...).

### 4.2 Zobrazení

Zobrazení naměřených hodnot je řešeno pomocí webových stránek psaných v PHP a JS ve formě přehledného grafu použitelného díky knihovně CanvasJS, která je pro nekomerční použití poskytována zdarma. [2]

Ostatní informace jsou zapsány v přehledné tabulce na téže stránce.

## 5. Splnění kritérií

Tato kapitola krátce shrne splnění požadovaných kritérií při zadání práce.



## **5.1 Přesnost měření**

Při zadávání práce byl požadavek na přesnost měření v řádu centimetrů. Nejedná se ani tak o přesnou výšku hladiny, ale o dostatečně přesné určení změn výšky hladiny tak, aby bylo možné předcházet kritickým stavům, jako je rychlý úbytek vody v nádrži.

V laboratorních podmínkách byla chyba měření skutečné výšky hladiny menší než 1 centimetr, a to jak v hloubkách okolo 5 metrů, tak těsně pod hladinou v řádu centimetrů. Reakce na změnu hladiny je okamžitá a není nutné nějaké ustálení. Jediný problém vzniká při neklidné hladině, kdy jsou výsledky jednotlivých měření zkresleny. Tento problém je řešen průměrováním naměřených hodnot ořezaných o extrémy.

## **5.2 Výdrž baterie**

Při zadávání práce byl požadavek na výdrž baterií alespoň týden mezi jejich výměnou. Na úsporu baterií byl kladen během návrhu celého řešení značný ohled. Z tohoto důvodu celý přístroj funguje ve 3 módech spotřeby.

Nejúspornější mód je spací, kdy jsou od napájení odpojeny všechny periferie kromě hodinového modulu z důvodu probouzení Arduina, který je ve stavu hlubokého spánku. To vše navíc při napětí 3,3V pro dosažení ještě větší úspory. V tomto módu se nachází přístroj po většinu času a protékající proud je přibližně 3,6mA.

Druhý mód pak zapíná napájení pro všechny ostatní periferie kromě GSM modulu a zvyšuje napětí na 5V. Při tomto módu se vše změní a uloží na SD kartu. Časově jedno takovéto probuzení vychází na přibližně 10 vteřin. Protékající proud je přibližně 60mA.

Třetí mód k druhému navíc přidává GSM modul a odesílají se při něm všechna doposud naměřená a neodeslaná data. Tento mód má logicky nejvyšší spotřebu, avšak (dle nastavení) připadá jedno takovéto probuzení na pět probuzení druhého módu. Doba tohoto probuzení je přibližně 1 minuta. Spotřeba v tomto módu se bohužel kvůli velice proměnlivé spotřebě GSM modulu nedala určit.

Přístroj je nyní napájen pomocí 4 Li-Ion baterií 18650 s kapacitou 2200mAh s možností rozšířit jejich množství na dvojnásobek.

Z nedostatku času byl přístroj provozován na baterie nepřetržitě pouze 6 dní, avšak za tuto dobu nebyly baterie ani v polovině své kapacity (podle vybíjecí křivky z datasheetu) čili požadovaných 7 dní by nemělo činit problém.

## **5.3 Cena**

U ceny nebyl kladen žádný specifický nárok, ale platilo, čím levněji, tím lépe.

Většina součástí byla kupována ze zahraničí (eBay, Banggood,..) , kde jejich nákup vyšel relativně levně oproti pořízení v ČR (průměrně o 40-50%). Výroba samotného hladinoměru vyšla včetně s převodníkem HX711 na necelých 600 korun. Profesionální ponorný hydrostatický měřič, který je k dostání v ČR, stojí okolo 9000 Kč, zde se samozřejmě nedá konkurovat kvalitou ani rozsahem, avšak levnější alternativa na našem trhu bohužel není.

## 6. Závěr

Cílem práce bylo prostudovat možnosti měření úrovně vodní hladiny, navrhnout vlastní komplexní systém pro monitorování hladiny včetně zobrazení a správy a navrhnout obvodové zapojení a výrobní podklady pro desku plošných spojů a následně realizovat navržené zařízení a ověřit jeho funkčnost.

Na základě bližších specifikací jako je cena, rozsah, spotřeba, přesnost a spolehlivost byla pro realizaci zvolena metoda měření pomocí hydrostatického hladinoměru. Návrh počítá s měřením do vzdálenosti cca 5 metrů, přičemž by výsledná chyba měla být pod hranicí 2%.

Hydrostatický hladinoměr byl vyroben z barometrického tlakoměru a A-D převodníku. Oboje bylo uzavřeno do vodotěsného pouzdra a spojeného s okolím mimo nádrž pomocí hadičky pro vyrovnávání tlaku u tlakoměru.

Celé zařízení bylo posléze realizováno a byla ověřena jeho funkčnost při zadaném rozsahu. Zařízení umožňuje teoreticky měřit hladinu až do 7 metrů a dokáže upozornit na některé jevy jako převržení či vznik chyby během fungování programu, jako je třeba nefungující dílčí modul a to pomocí SMS či mailu.

Celý systém pak dokáže upozornit na množství různých kritických stavů, jako je slabý signál GSM modulu, nízké napětí na baterii, rychlá změna hladiny vody nebo hladina vody překračující limitní meze.

## Literatura

- [1] MARGOLIS, Michael. Arduino cookbook. Second edition. Sebastopol: O'Reilly, 2011, xx, 699. ISBN 978-1-4493-1387-6.
- [2] BROOKS, David R. Guide to HTML, JavaScript and PHP: for scientists and engineers. London: Springer, c2011, xiii, 415 s. ISBN 978-0-85729-449-4. Dostupné také z: <http://www.springerlink.com/content/978-0-85729-448-7/contents/>
- [3] Měření výšky hladiny. Ústav počítačové a řídicí techniky [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F4/F4k44-hlad.htm>