



## **Středoškolská technika 2018**

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

# **AUTOMATICKÉ LODNÍ ZDYMADLO**

**Tomáš Mezera**

SPŠE V Úžlabině

V Úžlabině 320, Praha 10

## **Poděkování**

Děkuji rodinným příslušníkům za morální a finanční podporu po celou dobu práce, vedoucímu práce Ing. P. Hellebrandovi za jeho vedení a věcné připomínky, dále Doc. Ing. J. Pollertovi ml. Ph. D. z ČVUT stavební za konzultaci při výběru materiálu pro konstrukci zdymadla, p. Škvorovi za možnost zapůjčení nářadí a pomůcek pro svařování PP, Ing. R. Pawingerovi z PVL za upřesnění názvosloví, p. M. Trhlíkovi z VD Štěchovice a p. J. Marsínovi z VD Vrané nad Vltavou za možnost prohlídky plavebních komor a zodpovězení všech mých otázek a jejich věcné připomínky k mé práci

## **Anotace**

Práce se zabývá ovládáním automatického lodního zdymadla pro samoobslužné proplutí řízeného pomocí procesoru Arduino. Pro bezpečnou funkci zdymadla jsou zde použity LCD displeje, semaforey a optické senzory výšky hladiny a zaplavení. K přednostem tohoto způsobu řešení zdymadla patří absence pracovníka pro nutnost trvalé obsluhy zdymadla a automatizace provozu lodní dopravy. Tento model zdymadla se samoobslužným proplutím ještě nebyl realizován na žádném povodí v ČR.

## **Annotation**

My project deals with the control of the automatic ship latch for self-service navigation that is controlled by the Arduino processor. There are used LCD displays, traffic lights and optical sensors of the height of the surface and deluge for the safe latch operation. The preference of the way of method solution of the latch working belongs the absence of a worker with permanent sluice servicing and automation of shipping operation. That model of the self-service navigation has not been implemented on any river basin in the Czech Republic yet.

## Obsah

Úvod	6
1. Zdymadlo	6
1.1. Co je to zdymadlo?	6
1.2. Dělení zdymadel	7
1.3. Překonání dvou rozdílných hladin	7
2. Historie	8
3. Příprava projektu	9
3.1. Předloha	9
3.2. Výběr měřítka	9
3.3. Výběr materiálu	9
4. Hlavní konstrukce zdymadla	10
4.1. Vana	10
4.2. Vrata	10
4.3. Stavidla	11
4.4. Semaforey a informační panely	11
5. Mechanika	12
5.1. Vrata	12
5.2. Stavidla	12
5.3. Čerpadlo a senzor	12
5.4. Tlačítka pro připravení plavební komory	13
5.5. Stop tlačítka	13
5.6. Svorkování	13
5.7. Napájecí zdroje	14
6. Signalizace	15
6.1. Informační panely	15
6.2. Semafor malý	15
6.3. Semafor velký	16
7. Ovládání	17
7.1. Stavidla a vrata	17
7.2. Tlačítka	17
7.3. Optický senzor hladiny	18
7.4. Čerpadlo a optický senzor	19
7.5. Arduino	20
8. Návod na použití automatického zdymadla	21

8.1.	Návod na bezpečné proplutí zdymadlem.....	21
8.2.	Výbava plavební komory .....	21
8.3.	Nebezpečné situace a jak jim předcházet .....	21
9.	Zhodnocení a možné vylepšení.....	23
9.1.	Zhodnocení.....	23
9.2.	Možné budoucí rozšíření.....	23
	Závěr .....	25
	Seznam zkratk.....	26
	Přílohy.....	29

## Úvod

Proč jsem si vlastně vybral toto téma. Před několika lety jsme začali jezdit s rodiči a sourozenci na dovolenou na hausbóty. Nejprve jsme spluli na Moravě Bařův kanál, poté kanály v severním Holandsku, ve Francii Canal du Midi (spojuje Středozevní moře s Atlantikem) a nakonec v Německu oblast Meklenburských jezer. Při plavbě po kanálu bylo nutné zdolávat různé výšky hladin (kanál – řeka, jezero, kanál), k tomu jsme využívali zdymadla. Jejich funkce mne fascinovala. Po přijetí na školu s elektrotechnickým zaměřením jsem začal vstřebávat informace o fyzice, jejích zákonitostech, vodě, elektronice, logických obvodech, programování atd. Postupně mi vše začalo zapadávat dohromady. Předloni v létě jsme byli na hausbótu v Německu v oblasti Meklenburských jezer, zde mě nadchlo zdymadlo bez obsluhy (hrázného). Vše jsem si fotil, s tím, že tohle musím ukázat v Čechách. Plán dozrál nyní, když jsem v maturitním ročníku. Rozhodl jsem se, že vyrobím funkční model automatického samoobslužného zdymadla.



Obrázek 1 Francie: plavební komora - vrata

## 1. Zdymadlo

### 1.1. Co je to zdymadlo?

Zdymadlo je vodní dílo nejčastěji mezi přehradou a řekou nebo jezerem a kanálem, nebo vedle jezu, zkrátka tam, kde máte nějaký rozdíl vodních hladin a potřebujete dostat loď z dolní vody do horní, nebo naopak. Pro tuto funkci se využívá spojených nádob. Zdymadlo má 3 části:

horní hladinu(rejdu) s vraty, plavební komoru a dolní hladinu(rejdu) s vraty. Zdymadlem obvykle dokážete překonat převýšení až 10metrů. Popřípadě pokud je převýšení větší, využívá se kaskáda více zdymadel za sebou. Tím můžete překonat vlastně libovolnou výšku.

### 1.2. Dělení zdymadel

Zdymadla se dále dělí na: - mechanická,

- elektrická s obsluhou,
- elektrická automatická,
- hydraulické ovládání (vrata, stavidla)

Podle způsobu proplouvání na:- jednosměrné proplutí

- obousměrné proplutí

Podle použitých vrat na:- opěrná desková – jednovratá

- stavidlová – „gilotina“(spustné – zdvižné)
- vzpěrná – 2 samostatná křídla – nejpoužívanější



Obrázek 2 Německo: vrata stavidlová

### 1.3. Překonání dvou rozdílných hladin

Při překonání rozdílných hladin se používají tyto způsoby:

Jeřáb – pomalé, nákladné

Traktor – na podvalníku, pro menší lodě a hausbóty

Přenášení – pouze pro kajaky, plastové lodě, nebo nafukovací čluny

Sjíždění přes jez – pouze pro kajaky, plastové lodě, nebo nafukovací čluny

Zdymadlo - plavební komora – jednostupňová (jednokomorová)

- kaskáda - více komor za sebou, překonání velkého spádu řeky

Zdvihadlo - žlab s vodou v něm loď, taženo motorem, překonání velkých spádů

- Falkirk Wheel – lodní výtah na principu vah, propojuje průplavy (Skotsko)

- lodní výtahy – Orlík, Slapy (projektuje se)

Zdymadla využívají hlavně velké lodě, nákladní, nebo hausbóty a jachty.



Obrázek 3 Skotsko: Falkirk Wheel, lodní výtah

## 2. Historie

V době, kdy mlynáři začali využívat vodu jako pohon pro své stroje v mlýně a vytvořili první překážky na řece (jezy) začala se řeka stávat nesplavnou. Proto nařídil Karel IV, že na každé řece musí být vorové propustě pro zachování splavnosti řeky.

Za tuto dobu vodní hospodářství prošlo velikým vývojem vyšší jezy a přehrady, vodní elektrárny, a plavební komory.



Po 2. sv. válce bylo porušeno pradávne nařízení Karla IV a postavili se nové přehrady na Vltavě - Slapy, Orlík, Hněvkovice... Bohužel žádná z těchto přehrad neměla plavební komory, tudíž se řeka Vltava stala nesplavnou. (Jen na přehradě Orlík je dodnes funkční výtah pro malá plavidla do 3,5t). V tu dobu to byla otázka nejen nemalých dalších investic do přehrad, ale i obtížně řešitelný technický problém. Kupříkladu Slapská přehrada má převýšení 65 metrů. A je vklíněna mezi skály. Nedávno byl navržen projekt pro vybudování lodního zdvihadla na Slapech, Orlíku a dalších přehradách, takže do budoucna by mohla být Vltava plně splavná i pro velké lodě. Tím se kupříkladu dostanete z Českých Budějovic až do Severního moře. To doposud není možné.

### **3. Příprava projektu**

#### **3.1. Předloha**

Jako předlohu pro model mého zdymadla jsem využil vlastní poznatky, které jsem získal při plutí různými druhy zdymadel v Čechách na Baťově kanále, v Německu, v Holandsku a ve Francii. Dále jsem využil vlastní fotografie automatických zdymadel z oblasti Meklenburských jezer v Německu. Tam se nachází právě tato automatická zdymadla.

#### **3.2. Výběr měřítka**

Zvolit měřítka byla jedna z nejobtížnějších věcí na celém zdymadle. Kdyby byl model moc malý, tak bych musel příliš dbát na těsnost vrat a stavidel, protože každá sebemenší netěsnost by byla znát na výšce hladiny, a zdymadlo by tak bylo nepoužitelné. Pokud by byl naopak model zas moc veliký, tak by měl zas přehnaně velké nároky na výkon použitých servomotorů, čerpadla, byl by neskladný, těžký, špatně by se přepravoval a potřeboval by o hodně větší barel na vodu. Nakonec jsem zvolil měřítka asi 1:50. Některé části ale zůstali nepoměrně větší např. semaforey s informačními panely, ty jsem musel ponechat v měřítku 1:25, protože na informační panely jsem použil standardizované displeje 1602, které jsem vybral kvůli nejlepšímu rozměru, nízké ceně, nejširšímu pozorovacímu úhlu a s možností připojení pomocí rozšiřujícího modulu PCF85574, který podporuje I2C sběrnici.

#### **3.3. Výběr materiálů**

O tom, jaký materiál lze pro mou práci použít jsem se byl poradit s panem Doc. Ing. J. Pollertem ml., Ph.D. z ČVUT stavební, který na škole stavěl model plavebního kanálu na olympiádu v Soči. Navrhl mi použít voděodolnou překližku a polystyrenové voděodolné desky. Vše se dobře

opracovává, ale jsou zde problémy s těsněním a krátkou životností, proto jsem tento materiál nakonec nevyužil. Dále jsem oslovil pana Škvora, který má v naší vesnici firmu na výrobu bazénů. Ten mi poradil s výběrem polypropylenových (PP) desek. PP desky mají výhodu, že se výborně svařují, mají velkou životnost, dobře se těsní, jsou zdraví neškodné, nevýhoda je, že se nedají lepit žádným lepidlem. Ty jsem nakonec použil na celou hlavní konstrukci. Dalším použitým materiálem bylo plexisklo na vrata, skrz které jsou dobře vidět rozdíly výšek hladin. Krajinu jsem vyrobil z tvrzeného polystyrénu XPS a natřel Balakrylem (vodou rozpustná barva) v barvě zelené a šedé. Táhla a páky jsou díly ze stavebnice Merkur. Těsnění do vrat (u pantů) je částí škrťacího obinadla z lékárníčky, stejný materiál jsem použil i na utěsnění prostupu táhel. Utěsnění vrat ke komoře je z gumového těsnění do oken. Všechny složité konstrukce semaforů, informačních panelů a tlačítek jsou vyrobené z barevného PLA na 3D tiskárně Anet A8, kterou vlastním.

## **4. Hlavní konstrukce zdymadla**

### **4.1. Vana**

Celá „vana“ je vyrobená z PP desek tloušťky 5mm. Na desky jsem si nejprve nakreslil rozměry jednotlivých částí, ty jsem si pak v truhlářství nařezal formátovací pilou podle nákresu. Nejsložitější část byla to celé svařit. Vařil jsem to svářečkou na plasty, což je vlastně horký vzduch a plastová struna, která se zapeče do materiálu desek. Většinu co šlo, jsem vařil z obou stran, a to co nešlo, to jsem zavařil jen z jedné a škvíry jsem přetřel silikonem. Po dokončení sváření jsem zjistil, že se mi celá konstrukce zkroutila, to byl veliký problém, protože by vrata dřela o dno. Řešení bylo jednoduché, přišroubovat pod celou konstrukci silnou dřevěnou desku, tím se celý model zpevnil. Než jsem tuto desku přivrtal, vybrousil jsem v ní příčně žlábek, kterým jsem pak později protáhl datové a napájecí vodiče z výstupů Arduina na protější břeh ke svorkovnici s displeji a semafory.

### **4.2. Vrata**

Na opravdových zdymadlech jsou řešená vrata různě. Jako „gilotina“ z- hora (desková, stavidlová), nebo stěna zespod, ale nejčastěji mají dvě křídla ze stran (vzpěrná a opěrná vrata). Pro jednoduchost a snazší těsnění jsem zvolil verzi s jedním křídlem vrat. Vrata musí být dvoje: mezi horní hladinou a komorou, a mezi komorou a spodní hladinou. Ovšem všechna vrata se musí otevírat proti proudu, jinak by mohlo dojít k prolomení vrat a nárazové vlně.

Pro jednoduchost a dobré těsnění jsem udělal pouze jednokřídlá vrata, což by bylo v reálu docela nepraktické, už jen z toho důvodu, že při otevírání zabírají hodně místa v komoře. Tento prostor by mohl být využit lépe, např. místa pro další lodě.

Vrata jsou z průhledného, čirého plexiskla tloušťky 10mm. V počátku jsem přemýšlel, že vrata budou také z PP, ale pak mě napadlo, že když použiji plexisklo, bude skrz vrata vidět rozdíl hladin. Vrata mají na boku plastové panty. Mezery mezi nimi a za nimi jsou zatěsněny šedivým obinadlem z lékárničky a přilepeny Chemoprenem k plexisklu. Otevírací strana vrat je těsněna gumovým těsněním do oken s drážkou v plexiskle.

### **4.3. Stavidla**

Stavidla jsou určena k vyrovnávání hladin mezi horní hladinou a plavební komorou, a mezi plavební komorou a dolní hladinou. Od začátku stavidla na mém projektu prošla poměrně značným vývojem od obtokové hadice s elektromagnetickým ventilem (malý průtok, potřebuje minimální tlak) až po nynější stav. Stavidlo se skládá ze šoupátka vyrobeného z PP, kovového pásku ze stavebnice Merkur, servomotoru a z kulatého otvoru mezi horní hladinou a plavební komorou, nebo mezi plavební komorou a dolní hladinou.

### **4.4. Semaforey a informační panely**

Informační panely nahrazují obsluhu zdymadla, je nutno se proto řídit jejími instrukcemi a zároveň informuje o stavu plavební komory.

Konstrukce semaforů a krabičky displeje je také převzata z automatického zdymadla v Německu. Pro inspiraci jsem měl pouze pár vlastních fotografií. Z nich jsem vytvořil vlastní 3D modely na počítači v programu Tinkercad. Ten je poměrně jednoduchý a zadarmo dostupný v prohlížeči. Konstrukce se skládá z 6 částí, a to z krabičky semaforu, zadního krytu semaforu, krabičky displeje, předního krytu displeje a dvou tyčí. Celá tato konstrukce je smontována imbusovými šrouby M3. Tato největší sestava je na modelu 2x, a to na horní a spodní hladině, dále je pouze informační panel s displejem, a pak dva jednoduché semaforey uvnitř plavební komory.

## **5. Mechanika**

### **5.1. Vrata**

Z počátku jsem chtěl zrealizovat pohyb vrat spojením převodových koleček od osy vrat na krokový motor, který by jimi otáčel, a tím otevíral vrata. Ovšem to po několika pokusech selhalo z toho důvodu, že motor neměl dostatečný výkon k otevření, přesnému dovření a utěsnění vrat a také se nepříjemně klepal. Dalším důvodem bylo i to, že převodovka zabírala spoustu místa, a model by tak nevypadal esteticky hezky a další nevýhodou nutnost použití koncových spínačů neboli End-Stopů.

Na opravdových zdymadlech se používají buďto velké hydraulické písty, které jsou zabudované v betonových kapsách plavební komory, nebo je na křídlech vrat masivní ozubený hřeben, který se za pomoci ozubeného kola zasouvá do břehu zdymadla.

Mé konečné řešení spočívalo v užití servomotorů stejných, které jsem využil pro ovládání stavidel, tedy MG996R. a dvou kovových pásků ze stavebnice Merkur. Toto řešení je elegantní, v komoře zabírá minimum místa, a při otevření se celý mechanismus zajíždí pod břeh. Servopohony jsou plynulé, přesné a mají dostatečnou sílu pro utěsnění vrat.

### **5.2. Stavidla**

Otevírání a zavírání stavidla je řešeno pomocí 55gramového servomotoru MG996R s krouticím momentem 15 kg-cm (použito z projektu robotického ramene) a 10cm kovového pásku ze stavebnice Merkur přišroubovaného k plastovému šoupátku, které zakrývá otvor mezi horní hladinou a plavební komorou, nebo mezi plavební komorou a dolní hladinou. Tímto dokonalým řešením mohu libovolně nastavovat průtok a vyrovnávání hladin. Přiblížil jsem se tím k řešení na reálných zdymadlech, kde jsou tyto stavidla podobná jen uložena přímo ve vratech.

### **5.3. Čerpadlo a senzor**

Čerpadlo slouží k zásobování zdymadla vodou a simulaci proudu vody. Použil jsem vodotěsné čerpadlo JT-800(B) na 12V s výkonem až 1000L/Hodinu, které spolehlivě zabezpečí dostatek vody v horní hladině. Na hadici, kterou přivádím vodu ze zásobárny (barelu) do „vany“ zdymadla jsem umístil hned za čerpadlo zpětnou klapku, ta při vypnutí zabrání úniku vody zpět do barelu.

K ovládání čerpadla slouží infračervený optický senzor zaplavení, který přes tranzistor spíná a odpíná čerpadlo a tím hlídá dostatečnou výšku horní hladiny vody.

#### **5.4. Tlačítka pro připravení plavební komory**

Jediné ovládání, které musí řešit uživatel tohoto typu zdymadla je tlačítko pro přivolání plavební komory (z horní i spodní hladiny) a tlačítko pro pokračování programu (procesu v plavební komoře). Tato zelená tlačítka jsou na mém modelu umístěna pouze ilustrativně. V reálu to nejsou tlačítka, ale páky, které jsou na stěně komory v dostatečné velikosti a výšce, aby za ně bylo možné bez problému zatáhnout.

#### **5.5. Stop tlačítka**

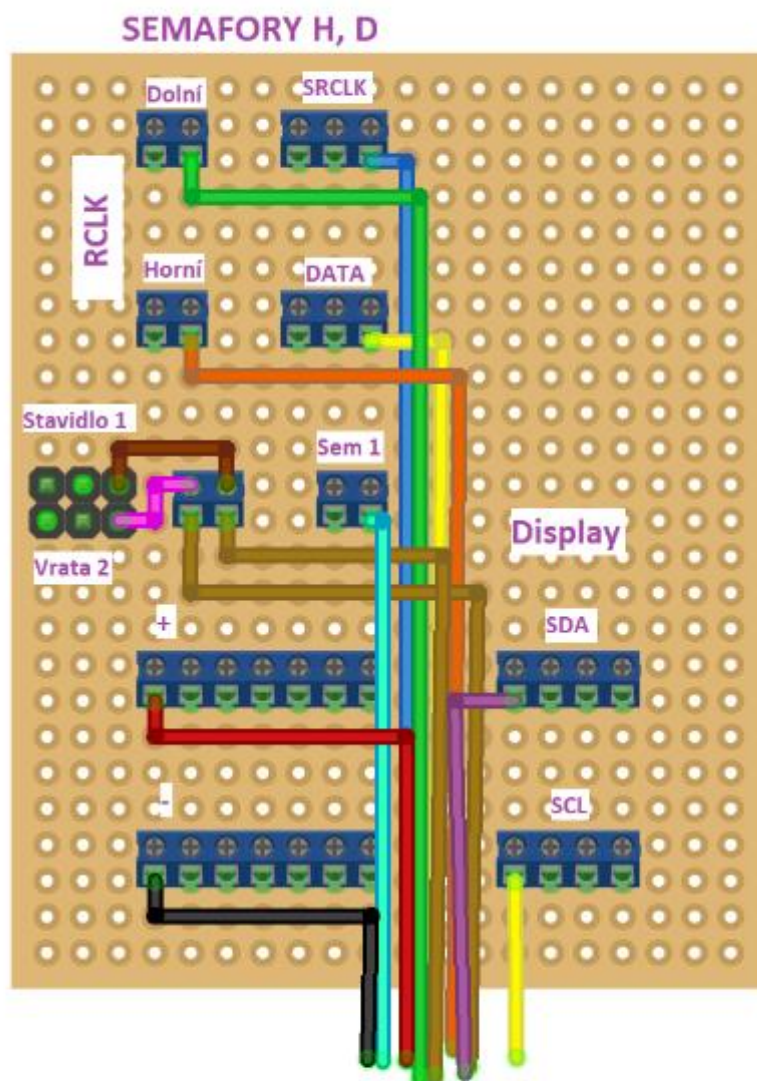
Vedle zelené páky existují v plavební komoře ještě červené páky a tlačítka. Ty mají pouze jednu funkci, možnost v jakékoliv chvíli je stisknout v případě potíží nebo nebezpečí a okamžitě zastavit průběh napouštění, vypouštění, otevírání či zavírání plavební komory a automatickému zavolání dispečinku (vzdálené obsluhy) a monitoringu zdymadla.

#### **5.6. Svorkování**

Pro větší přehlednost, rozšiřitelnost a případně jednodušší opravy, diagnostiku a omezení výskytu studených spojů jsem zapojil všechny vodiče přes svorkovnice. Samozřejmostí je napájecí svorkovnice na 5V, ale na zdymadle najdete i velké množství datových svorkovnic třeba pro sběrnici I2C na které jsou připojené všechny 3 displeje. Jsou to však i další datové vodiče, které jsou společné pro více periférií jako třeba SRCLK, nebo DATA pro velké semaforey. Svorkovnice, které jsem používal:

2 pin a 3 pin 5.08mm do DPS, 50ks

Kabely (lanko) FLRY-B 1mm<sup>2</sup> různé barvy, 20m



Obrázek 4 Zadní svorkovnice

### 5.7. Napájecí zdroje

Pro napájení ovládní a servomotorů je použit stabilizovaný zdroj 230V AC / 5V DC 5A a pro čerpadlo je použit zdroj 230V AC /12V DC 0,4A.

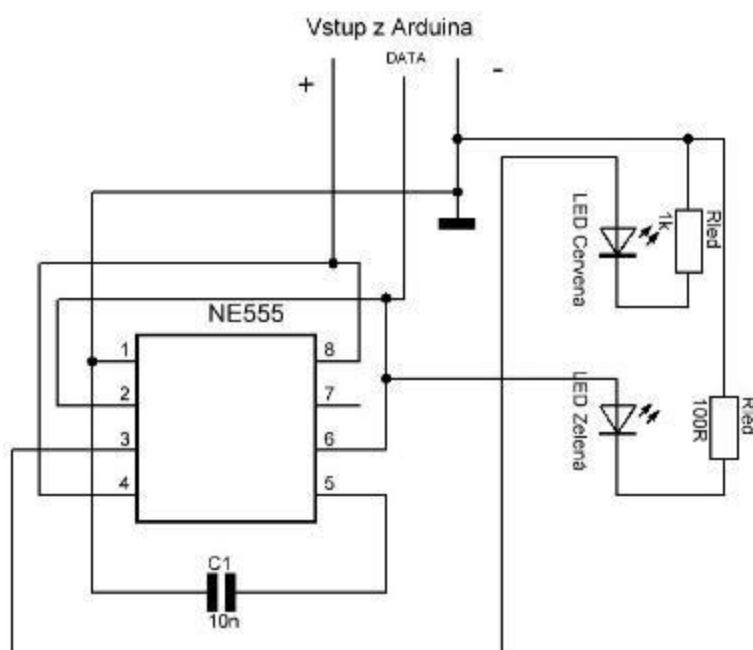
## 6. Signalizace

### 6.1. Informační panely

Informační panely LCD displeje 1602 s modulem PCF85574, který podporuje I2C sběrnici, čímž ušetřím mnoho datových vodičů. Každý display má svou vlastní pevnou adresu, která se dá měnit proletováním plošek A0, A1, A2 na zadní straně I2C modulu. Pro komunikaci těchto modulů s Arduinem jsem použil knihovnu <LiquidCrystal\_I2C.h> která se mi zdála jako nejsrozumitelnější a nejpřehlednější.

### 6.2. Semafor malý

Pro ušetření dalších datových vodičů jsem na malý semafor použil integrovaný obvod NE555 v podobě Schmittova obvodu s negací. Což znamená, když na datový pin semaforu 1 nebo 2 přivedu logickou 1, tak se rozsvítí zelená, ovšem když na tento pin přivedu log. 0 tak se rozsvítí na semaforu červená. Tady je úspora jednoho datového vodiče. Integrovaný obvod 555 jsem využil, protože jsem doma nenašel obvod pro logickou negaci (7404) a další důvod byl takový, že IO 7404 je v pouzdře DIP14 a má 6 negací a IO 555 je v pouzdře DIP8 což je skoro o polovinu menší a dá se zapojit jako jedna negace. Takže pro úsporu místa v krabici semaforu jsem zapojil NE555, dokonce i bez jakéhokoliv plošného obvodu, pouze ve stylu „vrabčího hnízda“. Schéma zapojení je přiložené na CD.



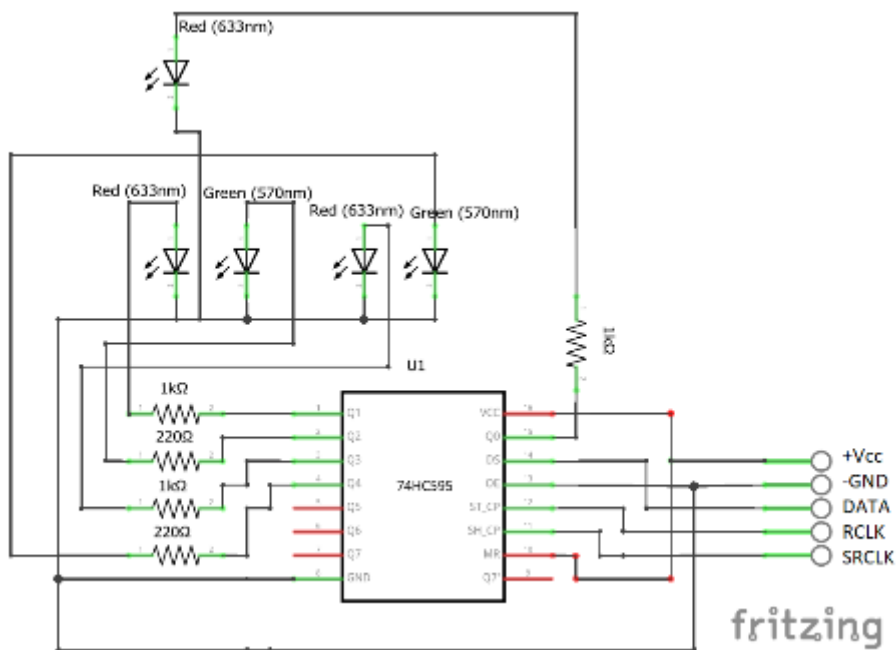
Obrázek 5 Semafor malý schéma

### 6.3. Semafor velký

Na úsporu drátů ve velkém semaforu jsem měl několik prototypů, ale nakonec jsem použil zapojení s posuvným registrem 74HC595. Tady máme u jednoho semaforu úsporu dvou datových vodičů, ale při zapojení dvou těchto semaforů s registrem máme již úsporu šesti datových vodičů oproti standardnímu zapojení ledek, a o tom už se vyplatí přemýšlet. Posuvný registr má jeden datový vstup (14), jeden pin pro povolení zápisu (12) a jeden pin pro hodiny (11), ten řídí posuv dat při zápisu, dále pak 8 výstupů pro led (využil jsem jich pouze 5) a samozřejmě napájení 5V. Kdyby bylo potřeba zapojit druhý semafor, tak bude zapojení stejné. Vodiče Dat a hodin do Arduina budou také stejné, akorát pin pro povolení zápisu musí být zvlášť. Při nahrávání dat do 74HC595 nastavíte logickou 0 na pin 12 u toho semaforu, do kterého chcete nahrávat, čímž do něj povolíte zápis, jinak by na data ani hodiny nereagoval. Pro pochopení funkce tohoto IO jsem na internetu našel hezký článek. Je na adrese <https://arduino8.webnode.cz/news/lekce-12-posuvny-registr-74hc595/> Schéma je v příloze na CD.

Větší semafony zobrazují, zdali loď může vplout (dvě zelené vedle sebe), musí zastavit na čekacích stáních (jedna červená v levém dolním rohu) a počkat na zelenou, nebo že zdymadlo je mimo provozní dobu (tři červené). Menší semafony ukazují, jestli je možné pokračovat a vyplout z komory (zelená), anebo jestli to není možné (červená).





Obrázek 6 Semafor velký schéma

## 7. Ovládání

### 7.1. Stavidla a vrata

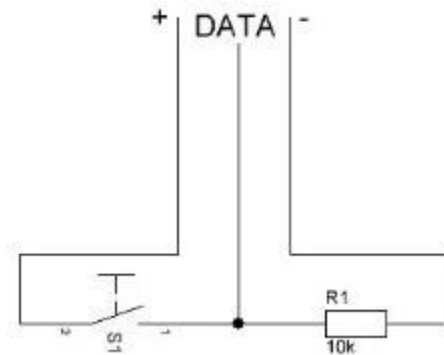
Ovládání stavidel je řešeno servomotory. Ty ovládá Arduino pomocí PWM signálů. Každý servomotor má v sobě elektroniku, která dokáže hodnotu tohoto signálu rozpoznat a převést na požadovaný úhel natočení osy serva. K udržení nastaveného úhlu používá servo vnitřní zpětné vazby (potenciometr a vyhodnocovací elektronika), která při daném natočení dodává elektronice danou úroveň napětí, ta to vyhodnotí a pokud je úhel moc malý, nebo moc velký, tak dodá elektronika impuls motoru, ke správnému natočení.

Na tom samém principu pracují i servomotory u vrat. Bohužel servo má jen vnitřní ale ne vnější zpětnou vazbu, proto není možné z vnějšku zjistit stav – úhel serva, nebo náraz do překážky ať na vývodu, nebo proudově. To má za následek možnou deformaci a skřípnutí lodí ve vratech. V reálu se to řeší např. různými optickými branami. Tuto bezpečnost jsem na modelu ale moc neřešil, už jen pro zbytečnou složitost utěšňování optických bran pod vodou a také protože jsem použil pouze jedno velké křídlo vrat. V mém případě by optická brána musela zasahovat vlastně až do poloviny plavební komory a to by znamenalo obrovského zmenšení převozní kapacity pro lodě.

### 7.2. Tlačítka

Snímání stavu tlačítek jsem řešil nejjednodušší formou zapojení a to tlačítkem a jedním odporem. Kdybych měl tlačítek více, už bych se zamýšlel nad zapojením do matice, nebo ušetření datových vodičů nějaký jiným způsobem, ale pro 3 tlačítka (3 datové vstupy) to nemělo smysl.

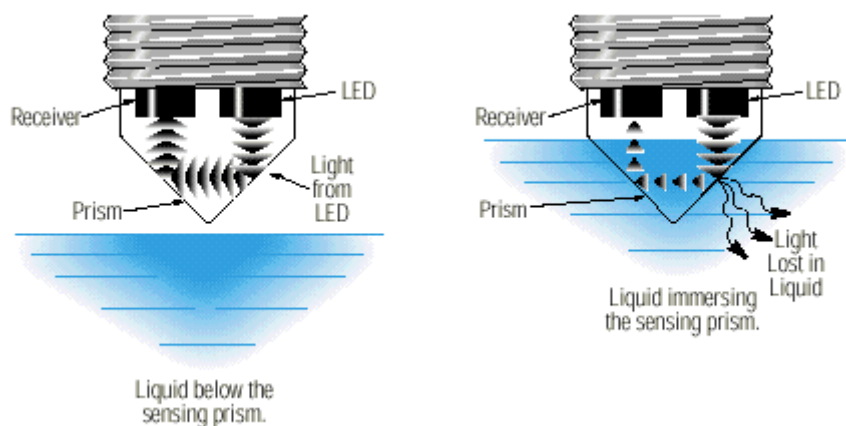
Schéma tlačítka s ochranným rezistorem



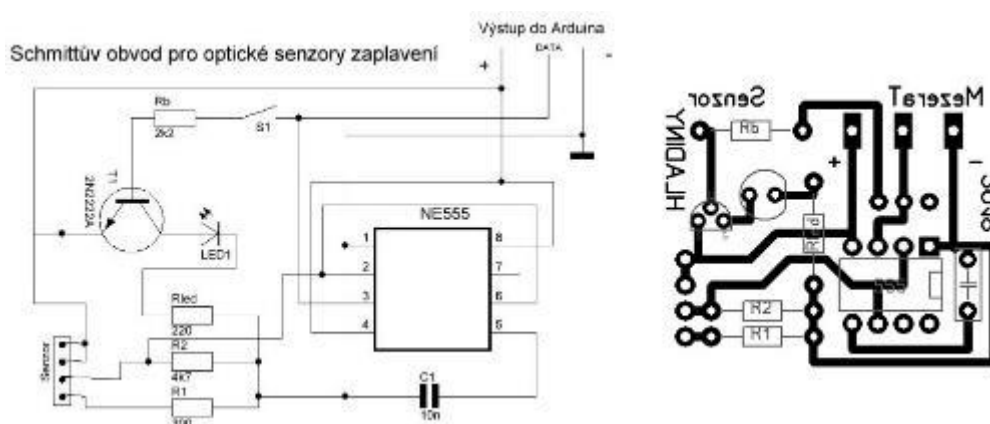
Obrázek 7 Tlačítko schéma

### 7.3. Optický senzor hladiny

Aby bylo Arduino schopno rozpoznat kde se zrovna hladina nachází, používá optický senzor výšky hladiny a zaplavení. Měl jsem různé možnosti měření hladiny levnější i dražší např.: odporový senzor, kapacitní senzor (ty mají nevýhodu, že mohou časem zoxidovat a zkorodovat) nebo ultrazvukové, ty mají výhodu, že měří spojitě, ale ty levnější jsou hodně nepřesné a pro tohle řešení nepoužitelné. Tenhle optický senzor je částečně spojitý, ale pouze v malé výšce 5mm to je pro mé řešení zanedbatelné a arduino potřebuje přesně definované napěťové hladiny 0 a 5V. A tak jsem ten senzor musel digitalizovat, k tomu mi stačil zase jeden IO NE555 v zapojení Schmittova obvodu, který při napětí senzoru pod 2,3V na výstupu ukáže logickou 1, a při napětí 2,6V logickou 0. Senzor se skládá z vysílače (IR led diody) a přijímače (fototranzistoru). Led dioda svítí na fototranzistor odrazem od průsvitného pouzdra (hranolu). Pokud je hranol ve vzduchu, všechno světlo se odráží do fototranzistoru a ten je otevřen. Pokud je ovšem hranol pod vodou, dochází k lomu světla a část paprsků se vyzáří do okolí. Tím se fototranzistor uzavře.



Obrázek 8 Lom světla v optickém senzoru



Obrázek 9 Optický senzor, schéma a plošný spoj

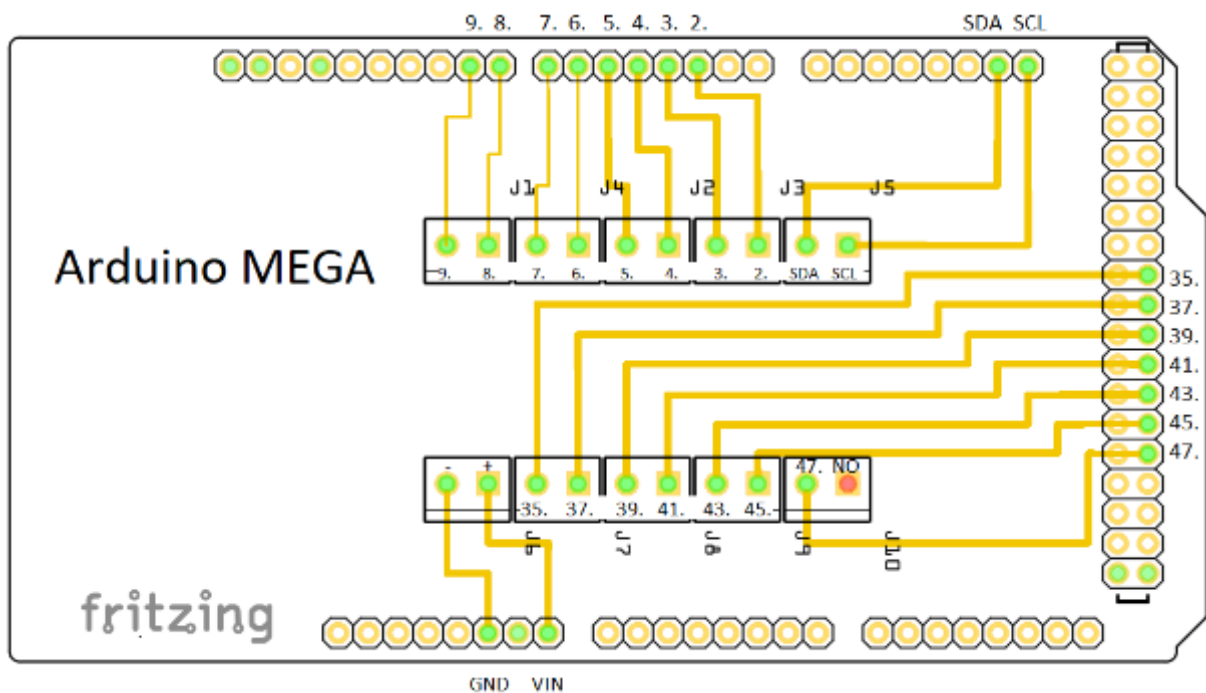
#### 7.4. Čerpadlo a optický senzor

Čerpadlo zajišťuje vždy plnou hladinu na horní hladině a jeho činnost je ovládána optickým senzorem. Čerpadlo je na 12V, ale optický senzor jen na 5V, proto jsem použil spínací tranzistor. Signál ze senzoru vyvedeme na bázi tranzistoru, ten spíná gate mosfetu, a mosfet spíná 12V zátěž zdroje. Všechna elektronika na zdymadle je na napětí 5V, pouze čerpadlo je na 12V. Měl jsem 2 možnosti, buď použít step-up měnič z 5V na 12V a nebo připojit zdroj 230V ST/12V SS. Moje řešení doplňování horní hladiny vody není úplně ideální. Je zde pouze jedno čidlo pro výšku hladiny a tak čerpadlo neustále spíná, tady jsem ale využil toho mělkého stavu, kde je senzor spojitý, takže čerpadlo dokáže chvílemi běžet i na poloviční výkon. Jakmile se ale lehce zvlí hladina, čerpadlo začne neustále spínat a odpínat. Myslím si, že se tím jeho životnost nezkrátí. Vypozoroval jsem, že spínací mosfet se při častém spínání značně zahřívá, proto jsem na něj jednoduše přimontoval chladič a stav se zlepšil. Problém častého spínání by se dal řešit ještě jinak, např.: dvěma senzory pod sebou, tím nebude docházet k tak častému spínání čerpadla. Tomuto řešení se říká hystereze. Další možnost by byla přes mikroprocesor.

Zdymadlo by dalo čerpadlu zprávu, že potřebuje vodu, nebo více vody a čerpadlo by se podle toho spínalo. Těchto dvou posledních návrhů jsem nevyužil z důvodu větší náročnosti jak programování na mikroprocesor, tak i použití dalšího senzoru. Abych zachoval co největší reálnost nemožnosti klesnutí hladiny, využil jsem prvního návrhu, protože se mi zdál nejjednodušší a dostačující pro toto řešení.

### 7.5. Arduino

Hlavní a nejdůležitější zařízení celého zdymadla. Použil jsem model Arduino MEGA z důvodu větší paměti a více pinů pro připojení periférií než mají menší Arduina. Na něm je nasunut prototypový shield. Do něj jsem naletoval svorkovnice pro lepší uchycení datových vodičů. V mém řešení používám 5 vstupů, 10 výstupů, napájení 5V a I2C sběrnici.



Obrázek 10 Arduino MEGA, svorkování

Tabulka zapojení pinů Arduina

Pin Arduino	Druh zařízení	Popis	Signál IN/OUT
2	Vrata 1	Servomotor MG996R	OUT/PWM
3	Vrata 2	Servomotor MG996R	OUT/PWM
4	Stavidlo 1	Servomotor MG996R	OUT/PWM
5	Stavidlo 2	Servomotor MG996R	OUT/PWM
6	Semafor D, H	Data	OUT

7	Semafor D, H	SRCLK	OUT
8	Semafor D	RCLK	OUT
9	Semafor H	RCLK	OUT
20	Displej	SDA	I2C
21	Displej	SCL	I2C
35	Semafor 1	Data	OUT
37	Semafor 2	Data	OUT
39	Hladina H	Data	IN
41	Hladina D	Data	IN
43	Tlačítko H	Data	IN
45	Tlačítko S	Data	IN
47	Tlačítko D	Data	IN
GND	Napájení	-	
VIN	Napájení	+ 5V	

## 8. Návod na použití automatického zdymadla

### 8.1. Návod na bezpečné proplutí zdymadlem

Lod' připluje na horní hladinu (rejdu), na displeji se objeví informace o tom, zda je v plavební komoře volno. Pokud svítí červená, znamená to, že jsou odbavovány lodě z opačného směru a proto je nutno lod' přivázat lanem k pacholetu na čekacím místě a počkat, až tyto plavidla po otevření vrat komoru opustí. Pokud na semaforu svítí zelená, znamená to, že je komora připravena v našem směru a na displeji se objeví „vplujte a uvažte se“, lod' odvážeme a můžeme vplout do komory. Lod' v plavební komoře přivážeme lanem k pacholetu, či tyči tak, abychom mohli reagovat (utažením, či povolením) na změny výšky hladiny v komoře, opět zatáhneme za zelenou páku, na semaforu se objeví červená (další lodě již nesmí vplouvat) a vrata se uzavřou a tím oddělí horní hladinu (rejdu), od hladiny vody v komoře. Na displeji se objeví „vypouštění komory“ Postupně dojde k vyprázdnění komory na úroveň spodní hladiny a vyrovnají se tlaky vody. Na semaforu se rozsvítí zelená, otevřou se dolní vrata a na displeji se objeví informace „opusťte komoru“. Odvážete lod' a vyplujete na dolní hladinu (rejdu). Totéž platí i při opačném směru (plutí z dolní hladiny přes plavební komoru na horní hladinu).

### 8.2. Výbava plavební komory

Mezi povinnou výbavu plavební komory patří: pacholata, kruhy na přivázání, žebříky po obou stranách komory, semaforey, displeje – signalizace, osvětlení používané při zhoršených světelných podmínkách, centrální ovládání celé komory a jejího provozu.

### 8.3. Nebezpečné situace a jak jim předcházet

K nebezpečné situaci může při nepozornosti dojít celkem snadno. Například pokud se někdo na poslední chvíli bude snažit vplout do zdymadla, které je už plné a zavírají se mu vrata, tak může dojít k poškození vrat, skřípnutí lodi v nich. Všechny neuvázané i uvázané lodě ve zdymadle i před ním jsou v neustálém pohybu a při plutí na nich je nutno dbát velké opatrnosti, jelikož loď má obrovskou setrvačnost i při menší rychlosti a proto ji nelze hned zastavit, nebo změnit směr. Další k čemu může během plavby, v blízkosti zdymadla i v komoře dojít je, že loď vůbec je jen ledabyle uvázaná lanem ke kolíku, či pacholetu na břehu. Vlivem proudící vody, nebo průplavu jiné lodi, poryvu větru může dojít k otáčení, couvání a nárazům do jiných plavidel a tím k jejich poškození. To pak loď začne náparem proudící vody couvat a otáčet se, a to způsobí nárazy a poškození dalších lodí. Může nastat i opačný extrém a to, že je loď přivázána k pacholetu „natvrdo“ a dojde k tomu, že při poklesu hladiny zůstane loď viset na pacholetu a hrozí utržení, nebo dochází k zvednutí hladiny v komoře a „natvrdo“ přivázaná loď nemá šanci se pohybovat spolu s hladinou vzhůru a hrozí riziko jejího potopení. Další příklad kdy je nutno použít červené tlačítko je při pádu člověka do plavební komory. Toto je dost nebezpečné už jen pro to, že v komoře jsou další lodě, pod které může člověk zaplout a při chodu zdymadla dochází ke vzniku velmi silných proudů a vírů. Z důvodu bezpečnosti jsou proto povinnou výbavou lodí a hausbótů plovací vesty pro každého člena posádky a na každé lodi i plavební komoře musí být plovací kruh a další bezpečnostní prvky v podobě tlačítek a ochranných označení nebezpečných úseků.

## **9. Zhodnocení a možné vylepšení**

### **9.1. Zhodnocení**

Práce na modelu probíhala od října 2017 do března 2018 vlastně každou volnou chvíli. Při vývoji jsem se mnoho věcí naučil a spoustu souvislostí pochopil, ale když se mi nedařilo, tak jsem se rozmýšlel, jestli ještě pokračovat dál, nebo toho raději nechat. Dnes, když vidím, že je to hotové, věřím, že jsem udělal dobře, že jsem to dotáhl až do konce. Zpočátku jsem si dal cíle vyrobit funkční model automatického zdymadla se senzory výšky hladiny, měření průtoku a řídicím systémem. Od vedoucího práce jsem dostal v zadání zvážit využití PLC.

Měření průtoku bylo zpočátku v plánu, koupil jsem průtokoměr, ale později, jak jsem model zvětšoval a vylepšoval, zjistil jsem, že průtokoměr má malý průtok a brzdil by odtok a přítok vody. Hledal jsem tedy jiný s větší průtokem a zjistil jsem, že by byly dost drahé. Protože jsem si celou práci financoval sám, s podporou rodičů, rozhodl jsem se, že tento model nebude zbytečně prodražovat a že měření průtoku není pro tento model tak důležité.

U řídicí elektroniky jsem váhal mezi Arduinem a PLC. Nakonec jsem zvolil Arduino, protože jsem s ním už měl nějaké zkušenosti, ale také z hlediska finančního (Arduino je levnější než PLC) a cenové dostupnosti jeho dalších modulů. Když se teď nad tím zamyslím, možná jsem s tím Arduinem udělal chybu. PLC se přeci jen lépe programuje, je na něm už hodně věcí vyřešených dopředu, např. řízením na dálku, lepší spolehlivost, vizualizace a propojení s PC.

### **9.2. Možné budoucí rozšíření**

Model zdymadla má obrovské možnosti budoucího rozšíření, které jsem ještě nestihl udělat. Jako třeba použití vzdáleného ovládání a monitorování, nebo možnost objednání zdymadla na

určitý čas mobilní aplikací, měření výšky hladiny spojitě, záměny Arduina za PLC, popřípadě SCADA/HMI vizualizaci pro techniky, opraváře, provozovatele o stavu hladin nad a pod zdymadlem, stáří a opotřebování součástí, statistiku proplutých lodí. Je možné zvýšit bezpečnost přidáním stop tlačítek, senzorů a zpětné vazby pro motory vrat, kamerovým systémem, nočním osvětlením...



## **Závěr**

Na závěr bych napsal, že jsem si v první řadě splnil svůj dlouholetý sen. Poznal jsem hodně nových lidí z PVL, kteří se mnou ochotně mou práci konzultovali a rádi se dělili i o vlastní zkušenosti a zajímali se o můj projekt. Práce na výrobě modelu automatického zdymadla byla hodně časově náročná, ale naučil jsem se při tom spoustu nových věcí a využil i zkušeností o výrobě rozvaděčů, které jsem získal o letních brigádách. Moderní řešení zdymadel má určitě velký potenciál, i když základ je už od dob Karla IV pořád stejný. Lidé dnešní doby se rádi obklopují věcmi, které se dají ovládat a slouží jim, ať jde o pračky, přes inteligentní domy, pivovary, třeba až po inteligentní automatické zdymadlo. To je pokrok, který se nedá zastavit.

## **Seznam zkratek**

**Arduino** – jednodeskový počítač s mikro kontrolérem ATmega

**PLC** – programovatelný logický automat, průmyslový počítač

**NE555** – časovač, v různých zapojeních může mít spoustu užitečných funkcí od negace po oscilátory

**74HC595** – posuvný registr použitý ve velkých semaforech, má 8 výstupů

**Schmittův obvod** – NE555 v zapojení s hysterezí. Pokud přivedeme na vstup napětí menší než 1/3 napájecího napětí, je na výstupu log. 1, pokud bude na vstupu 2/3 napájecího napětí, na výstupu bude log. 0.

**Anet A8** – 3D tiskárna

**Chemopren** – lepidlo

**XPS** – tvrzený polystyren

**Balakryl** – vodou ředitelná barva

**PLA** – materiál v podobě struny, používá se při 3D tisku

**PP (Polypropylen)** - materiál křehký při nízkých teplotách, odolný vůči olejům, rozpouštědlům, nedá se ničím lepit, dobře se svařuje, od 150°C měkne a taví se. Běžové plastové desky

**Rejda** – prostor před a za plavební komorou

**PVL** – Povodí Vltavy

**VD** – vodní dílo

## Seznam použitých zdrojů

### LCD I2C display

Arduino. In: *Arduino8,webnode: Lekce 10 - Arduino a i2c lcd* [online]. arduino8.cz © 2015 [cit. 2018-02-11]. Dostupné z: <https://arduino8.webnode.cz/news/lekce-10-arduino-a-i2c-lcd/>

### Semafor velký

Arduino. In: *Arduino8,webnode: Lekce 12 - Posuvný registr 74HC595* [online]. arduino8.cz © 2015 [cit. 2018-02-11]. Dostupné z: <https://arduino8.webnode.cz/news/lekce-12-posuvny-registr-74hc595/>

### Arduinopinout

BWRJ Wiring Diagram Library. In: *BWRJ Wiring Diagram Library: ArduinoMega 2560 PinoutDiagramsForTheNanoHave SCL And SDA On TheWrongPins* [online]. © 2003 - 2018 Domain Media [cit. 2018-03-14]. Dostupné z: <https://www.bwrj.org/arduino-uno-r3-pinout-diagram-schematic/arduino-mega-2560-pinout-diagrams-for-the-nano-have-scl-and-sda-on-the-wrong-pins/>

Lodní výtah Falkirk Wheel. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. CC BY-SA 3.0, 2008 [cit. 2018-03-11]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Wikipedie:Obrázek\\_týdne/2006/25](https://cs.wikipedia.org/wiki/Wikipedie:Obrázek_týdne/2006/25)

Lodní zdvihadlo Slapy. Ředitelství vodních cest ČR. In: *Youtube* [online]. CTECH, 2014 [cit. 2018-1-3]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=dnrHe-uJPt4>

### NE555

Petan. In: *MyIms...web o elektronice: Zapojení časovače 555* [online]. ©myIms.cz2006-2018 [cit. 2018-03-14]. Dostupné z: <https://www.myIms.cz/text-zapojeni-casovace-555/>

Zdymadlo. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. CC BY-SA 3.0, c2018 [cit.2018-2-10]. Dostupné z:<https://cs.wikipedia.org/wiki/Zdymadlo>

LCD I2C knihovna

<https://github.com/fdebrabander/Arduino-LiquidCrystal-I2C-library>

**Programy:**

sPlan 7.0

Sprint – Layout 6.0

Fritzing

3D modely - program

<https://www.tinkercad.com/#/>

## **Přílohy**

- 1) Nákres
- 2) Fotografie



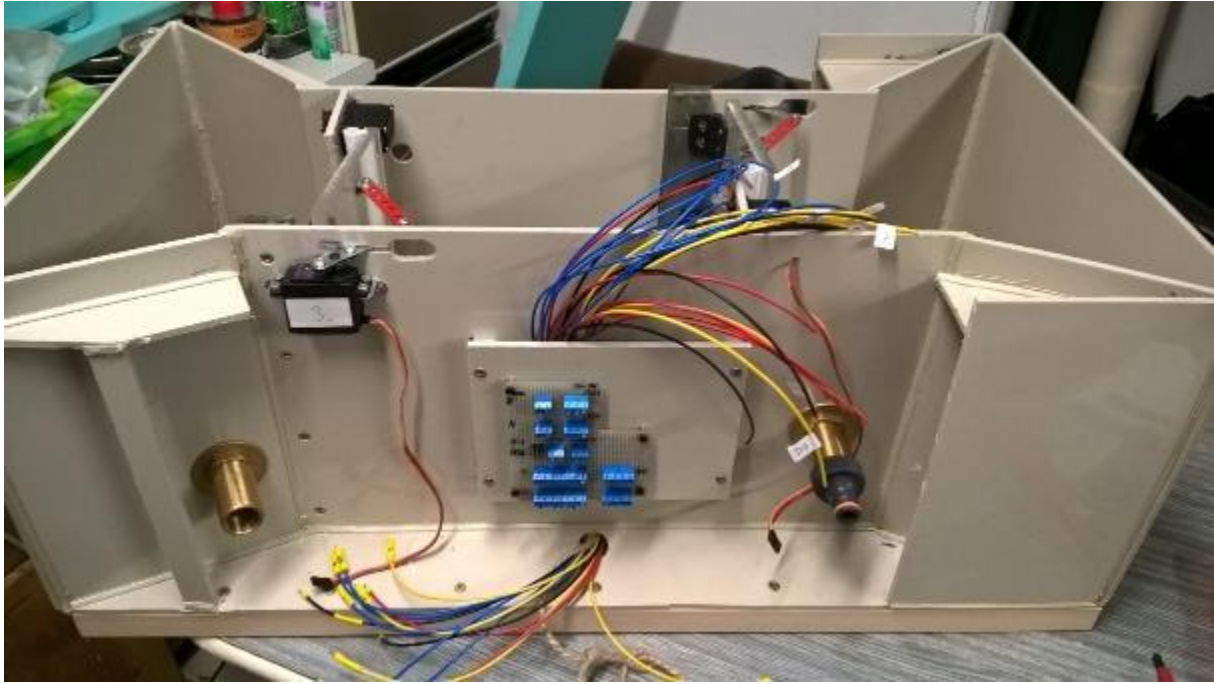
Příloha 2 - Fotografie



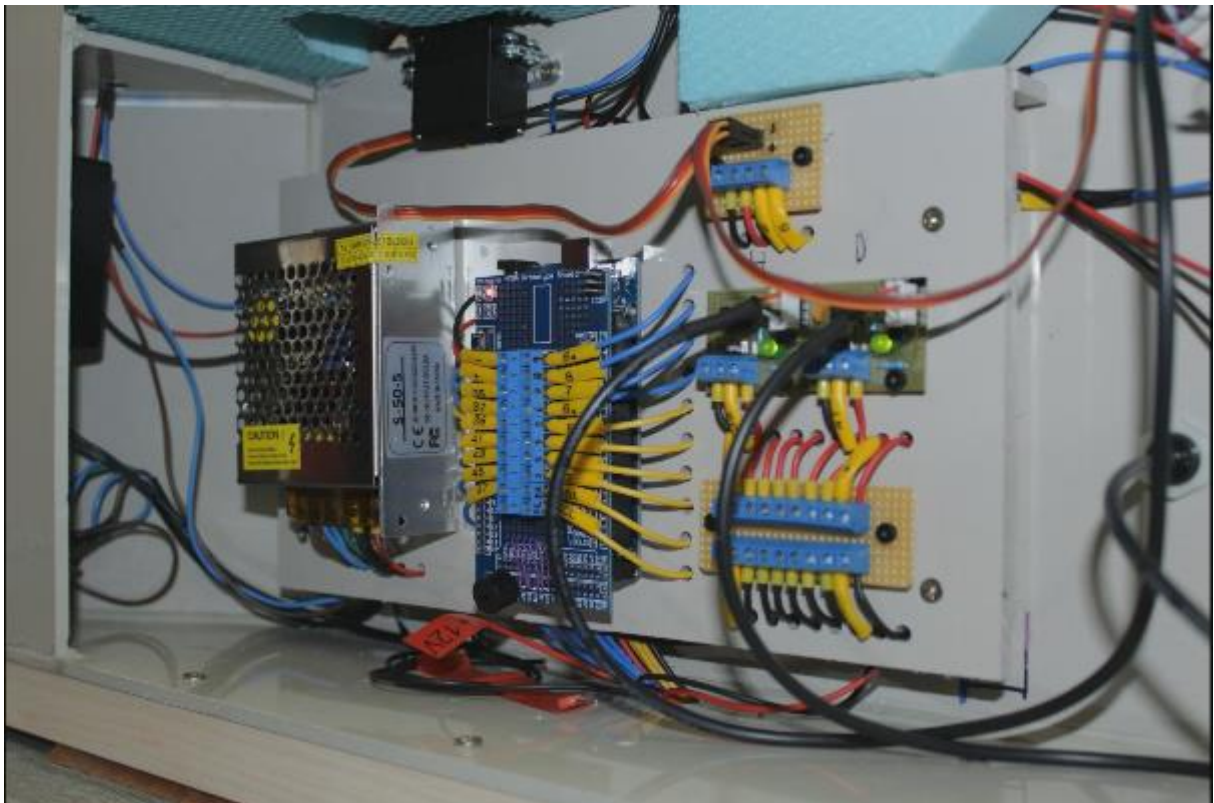
Obrázek 11 Stavba vany



Obrázek 12 Stavba vrat

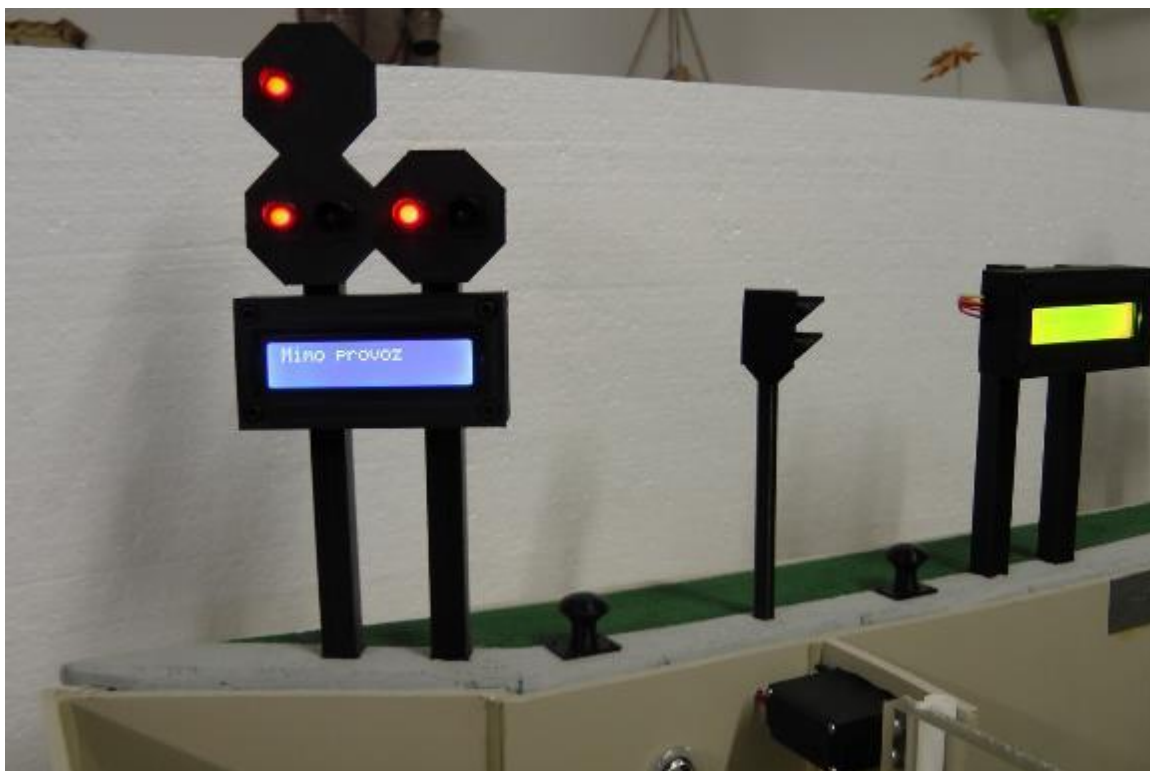


Obrázek 13 Svorkování zadní strana



Obrázek 14 Svorkování přední strana





Obrázek 15 Semafor velký, model



Obrázek 16 Semafor velký, předloha (Německo)



Obrázek 17 Automatické zdymadlo, pohled z horní rejdy



Obrázek 18 Páky pro ovládání zdymadla





Obrázek 19 Automatické zdymadlo, pohled z dolní rejdy



Obrázek 20 Hotový model automatického lodního zdymadla