

# STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 10: Elektrotechnika, elektronika a telekomunikace

# V O D N Í D I S P L E J

Tomáš Nekut  
Jihomoravský kraj

Brno, 2017

# STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 10: Elektrotechnika, elektronika a telekomunikace

V O D N Í   D I S P L E J

W A T E R   D I S P L A Y

**Autor:** Tomáš Nekut

**Škola:** Gymnázium Brno, třída Kapitána Jaroše, příspěvková organizace,  
tř. Kpt. Jaroše 1829/14, 658 70 Brno

**Kraj:** Jihomoravský kraj

**Konzultant:** Mgr. Tomáš Nečas, Ph.D.

Brno, 2017

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval samostatně a použil jsem pouze prameny uvedené v seznamu na konci práce.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

v Brně dne 15. 2. 2017

.....

Tímto bych rád poděkoval mému školiteli, Tomáši Nečasovi, za jeho připomínky a užitečné rady.

Práce byla vypracována za finanční podpory JMK. Proto bych rád poděkoval i Jihomoravskému centru pro mezinárodní mobilitu a Jihomoravskému kraji.



## **ANOTACE**

Tato práce popisuje návrh a konstrukci zařízení, které umožňuje vytvářet pomocí padajících kapek vody ve vzduchu obrazce. Zařízení lze využít jako doplněk interiéru, zpestření veřejného prostranství či jako netradiční reklamu. Jelikož hlavní součástí zařízení tvoří sada mnoha elektrických vodních ventilů, práce kromě výroby zařízení popisuje i vývoj a výrobu mých vlastních ventilů. Cílem práce bylo navrhnout ventily a zbytek zařízení, tak aby vše bylo snadno a levně vyrobitelné. Podobná průmyslově vyráběná zařízení jsou totiž velice drahá. Ventily se podařilo navrhnout a vyrobit, stejně tak jako zbytek zařízení.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

displej; padající voda; vodní ventil; Arduino

## **ANNOTATION**

This work describes design and construction of a device, which enables creating pictures from water drops in the air. This device could be used as a decoration in the interior or in public places and as an unusual advertisement. The main part of the device consist of a set of many electric water valves, so apart from manufacturing of the device this work also describes the design and manufacturing of my own valves. The goal of this work was to design these valves and the rest of the device, so the device was easy and cheap to build in comparison with the factory-made devices which are very expensive. Finally, valves and the whole device were successfully manufactured.

## **KEYWORDS**

display; falling water; water valve; Arduino

## OBSAH

1	Úvod.....	7
2	Teoretická část .....	8
2.1	Princip displeje.....	8
2.2	Vývoj vodních ventilů.....	8
2.2.1	Škrčení hadičky.....	9
2.2.2	Vychylování proudu .....	12
2.3	Fyzikální omezení.....	15
2.3.1	Deformace obrazce.....	15
2.3.2	Trhání vodního proudu.....	15
3	Konstrukce displeje.....	17
3.1	Rozmístění součástí zařízení.....	17
3.2	Hlavní panel.....	20
3.3	Spodní nádrž.....	23
3.4	Čerpadlo.....	24
4	Elektronické obvody .....	26
4.1	Elektrické rozvody v zařízení .....	26
4.2	Řídící obvod.....	27
4.2.1	Řídící mikrokontrolér.....	28
4.2.2	Slot pro SD kartu .....	29
4.2.3	Modul reálného času.....	30
4.2.4	Posuvné registry .....	30
4.2.5	Řízení ostatních periférií.....	32
4.3	Spínací obvody elektromagnetů.....	36
4.4	Zdroj napětí .....	37
5	Software.....	39
5.1	Řídící program displeje .....	39
5.1.1	Vykonávané činnosti.....	39

5.1.2	Knihovny .....	39
5.1.3	Data na SD kartě .....	39
5.2	Aplikace pro tvorbu obrazců.....	42
5.2.1	Funkce aplikace .....	42
5.2.2	Knihovny .....	43
5.2.3	Zpracování obrázku .....	43
5.2.4	Uložení souboru .....	43
6	Závěr .....	45
7	Použité zdroje.....	46
8	Použitý obrazový materiál.....	46
9	Seznam obrázků a tabulek .....	47

# 1 ÚVOD

Obsahem práce je návrh a konstrukce vodního displeje – zařízení, které dokáže pomocí padajících kapek vody ve vzduchu vytvářet obrazce. Toto zařízení je možné použít jako zpestřující prvek interiérů nebo bez problému i venkovních prostranství. Zařízení je stejně tak možné použít k propagačním účelům – jako netradiční reklamu. Rozlišení padajících obrazců je sice omezené, přesto není problém zobrazit jednodušší loga či krátké slogany.

Podobná zařízení jsou dostupná, ovšem jejich ceny se pohybují extrémně vysoko. Hlavním cílem mé práce tedy bylo vyrobit zařízení, které by stálo násobně méně. Bylo tedy nutné využít jiných úspornějších principů, a proto jsou útroby displeje úplně jiné, i když se může na první pohled zdát, že zařízení je kopií profesionálně vyráběných výrobků.

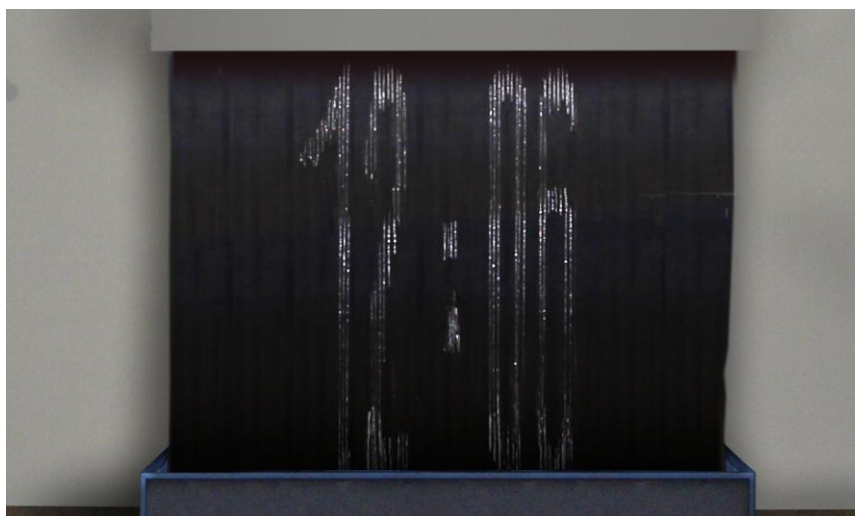
Podstatnou náplní práce byl i samotný návrh zařízení. Hlavní součástí zařízení je velké množství vodních ventilů v řadě vedle sebe – v případě mého výrobku 104 – bylo proto nutné vymyslet takový princip vodního ventilu, který by byl levný a úsporný. První část této práce se tedy zabývá vývojem ventilů. Popisuje vybrané prototypy, které byly zkonstruovány. Dále popisuje další fyzikální jevy, které ovlivňují pád vody a se kterými bylo nutné počítat při konstrukci ventilů a celého zařízení. Poslední prototyp ventilu byl využit ke stavbě samotného zařízení. Zařízení a jeho technické řešení je popsáno v další kapitole. Třetí kapitola se zabývá elektrickými obvody, které byly navrženy a instalovány do zařízení. Poslední část práce popisuje jednak software, který byl vytvořen pro řízení zařízení, a také počítačovou aplikaci sloužící k snadnému převedení fotek na soubory, které lze nahrát do zařízení a zobrazit.



## 2 TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Princip displeje

Vodní displej je zařízení, které dokáže vytvořit obrazec z padajících vodních kapek. Princip displeje je prostý. Základ zařízení představuje sada vodních ventilů v řadě vedle sebe řízená počítačovým programem. Vytvářený obrazec je rozložen na jednotlivé sloupce – každému sloupci odpovídá jeden ventil, jehož průtok je počítačem podle daného sloupce v příslušné okamžiky zastavován a spouštěn.



*Obr. 1: Vodní displej v chodu*

### 2.2 Vývoj vodních ventilů

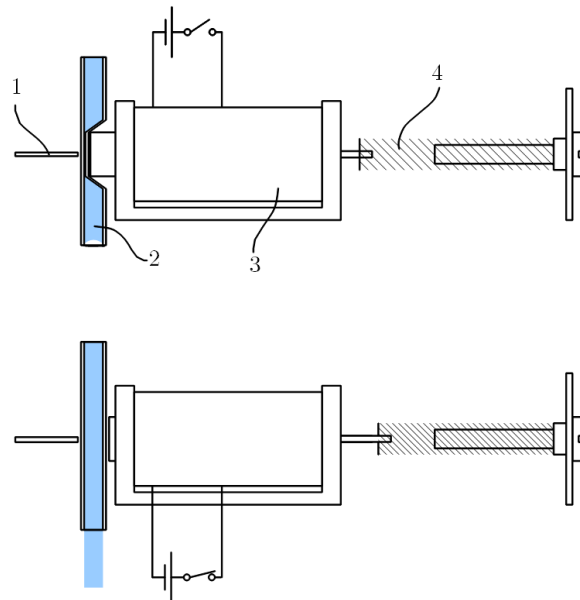
Vzhledem k tomu, že průmyslově vyráběné vodní ventily jsou poměrně drahé a vodní displej jich k dostačujícímu rozlišení obrazců potřebuje velké množství, rozhodl jsem se jít cestou výroby vlastních ventilů. Tyto ventily jsou pak přímo navrhované pro užití ve větším počtu vedle sebe a hodí se tak daleko více než průmyslové.

Postupně jsem navrhoval ventily pracující na různých principech, než jsem dospěl k ideálnímu řešení. Některé z nich nevyhověly ani prvotním testům – měly například příliš malý průtok, vysokou dobu otevírání či zavírání, příliš vysoký odběr proudu a tak dále. Jiné vyhověly a na jejich základě jsem zkonstruoval celý prototyp vodního displeje zatím s omezeným počtem ventilů. Konečný návrh jsem pak vypracoval s větším počtem ventilů jako hlavní výsledek mé práce.

### 2.2.1 Škrčení hadičky

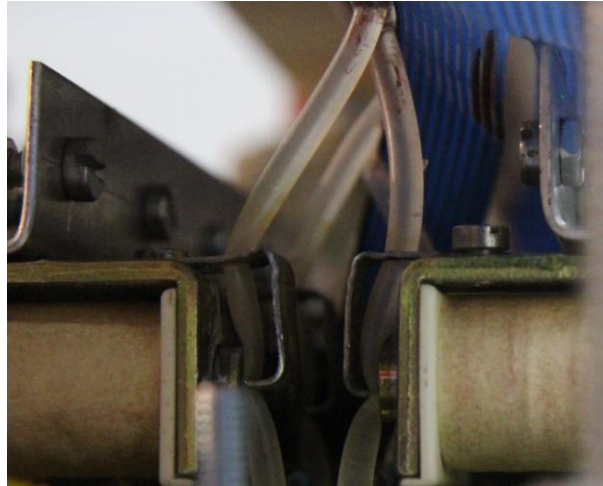
Úplně první prototyp ventilu pracoval na principu škrčení silikonové hadičky, čímž bylo docíleno zastavení průtoku. Elastická hadička o vnějším průměru 3 mm byla elektromagnetem stlačována mezi dvěma ploškami. Ventil sice fungoval, ale bylo nutné použít velmi silný elektromagnet, aby byl proud dostatečně utěsněn, i přesto docházelo k jeho prokapávání.

V další pokusu jsem dvě plošky nahradil ploškou a ostrým plíškem. Hrana plíšku tlačila proti ploše a škrtila hadičku umístěnou mezi nimi. Se snížením plochy stisku se zvýšil tlak na hadičku, což přispělo k větší těsnosti ventilu. V klidovém stavu byly hadičky stlačeny pomocí pružinky a při přivedení napětí na elektromagnet došlo k vtažení jádra, čímž byl tlak uvolněn a ventil otevřen.



Obr. 2: Náskres ventilu stlačujícího hadičku proti plíšku  
1 plíšek, 2 hadička, 3 solenoidní elektromagnet, 4 pružinka

Tohoto principu bylo využito u prvního prototypu celého displeje. Jednalo se o zařízení složené z 16 takových ventilů a dokázalo zobrazit jednodušší tvary jako obdélník, elipsa či vlnovka.



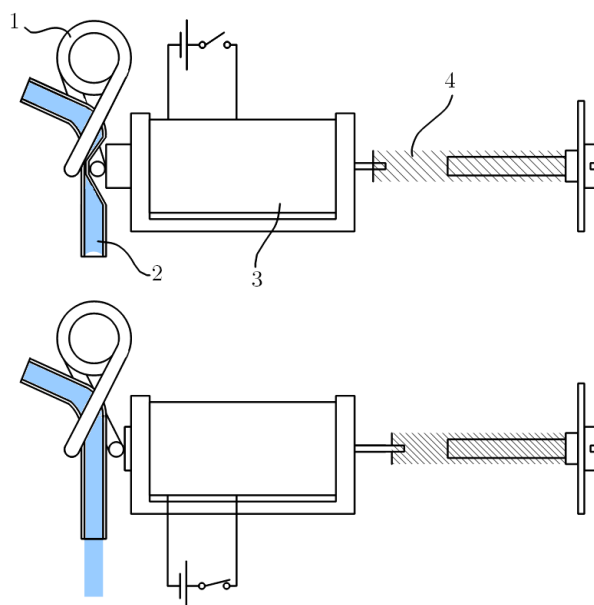
*Obr. 3: Vyrobené ventily stlačující hadičku proti plíšku*

Problém nastal při delším nepoužívání zařízení. Vzhledem k tomu, že v klidovém stavu byly hadičky stlačené, došlo po nějaké době k jejich slepení a opětovné zprovoznění displeje, i v tak malém množství ventilů, trvalo značnou dobu. Tato komplikace by byla vyřešena, kdyby byla hadička v klidovém stavu nezdeformovaná a až síla elektromagnetu by ji stlačila. Znamenalo by to ale, že pokud bychom vypnuly displej, tekla by voda ze všech ventilů, což mi nepřišlo zrovna praktické. Lepší mi přišlo řešení, kdy voda i po vypnutí zařízení zůstane v zásobní nádrži v horní části zařízení až do dalšího používání displeje. Aby byla tato poměrně užitečná vlastnost zařízení zachována, bylo nutné přepracovat původního uspořádání s plíškem.

Vytvoření nového ventilu bylo nutné i kvůli dalšímu problému, který se při testování displeje objevil. Plíšek, který hadičku stlačoval, měl tloušťku 0,5 mm, což byla sice dostatečně ostrá hrana k téměř dokonalému utěsnění, ovšem na druhou stranu docházelo k extrémnímu namáhání hadičky. K stlačování a uvolňování docházelo – v závislosti na složitosti obrazce – i několikrát za sekundu a po nějaké době došlo k proříznutí hadičky. Voda pak začala nekontrolovatelně proudit z porušené hadičky a mohla poničit elektroniku. I když k této situaci při mých testech došlo jen zřídka, byl princip ventilu přepracován.

U škrcení silikonové hadičky jsem však nadále zůstal. Hadička však nebyla stlačována mezi plochu a hranu plíšku, ale mezi dva dráty o průměru 1,5 mm. Vzhledem k tomu, že dráty byly umístěny po obou stranách hadičky, mohla být tloušťka, při zachování srovnatelné těsnosti, snížena a problémy se slepením či

porušením hadičky byly značně eliminovány. Pro zajištění umístění drátů přesně proti sobě byly použity pérka z prádelních kolíků.



*Obr. 4: Nákres ventilu stlačujícího hadičku mezi dráty  
1 pérko z kolíku, 2 hadička, 3 solenoidní elektromagnet, 4 pružinka*

Druhý prototyp celého zařízení využíval právě tohoto principu ventilů. Pro větší rozlišení displeje jsem vyrobil celkem 20 ventilů a na rozdíl od předchozího prototypu displej vybavil i čerpadlem, které automaticky na základě dat ze senzorů vodních hladin doplňovalo vodu ze spodní nádrže do horní.



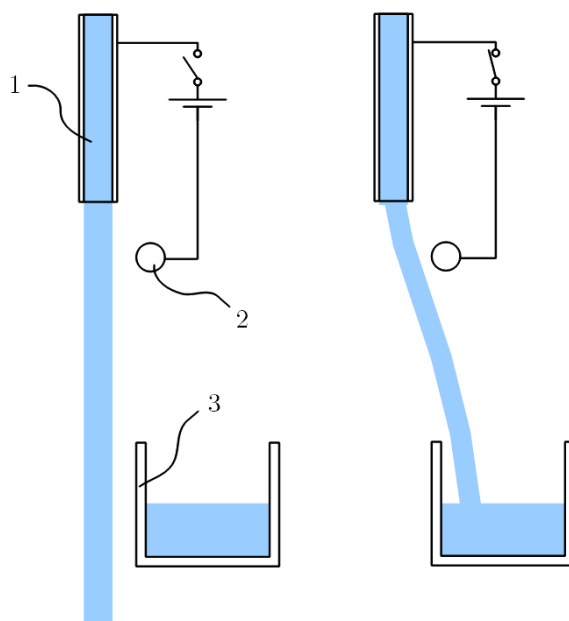
*Obr. 5: Vyrobené ventily stlačující hadičku mezi dráty*

Síla potřebná k dokonalému utěsnění hadičky byla i tak příliš vysoká a příkon celého zařízení byl tedy asi 150 W. Jednalo se však o displej s pouze 20 ventily,

příčemž zamýšlený konečný výrobek měl mít kolem 100 ventilů. Rozhodl jsem se tedy vytvořit ventil pracující na jiném principu, který by měl nižší proudový odběr. Navíc silné elektromagnety, které jsem používal, nebyly natolik levnější oproti prodávaným vodním ventilům, aby se tento postup vyplatil. Jedním z cílů, který jsem si dal na začátku práce, totiž bylo pokusit se o co nejlevnější řešení displeje.

### 2.2.2 Vychylování proudu

Jak jsem nastínil výše, síla potřebná k utěsnění proudu je příliš vysoká, a proto jsem se rozhodl vyzkoušet úplně jiný princip ventilu. Moje prvotní myšlenka byla, že by z trysky vytékal proud vody, který by volně padal dolů. Tento stav by odpovídal otevřenému ventilu z předchozích prototypů. V blízkosti proudu těsně pod tryskou by se nacházela elektroda a po připojení vysokého napětí (v řádu jednotek kV) mezi elektrodou a proud vody by došlo k vychýlení proudu směrem k elektrodě. Vychýlená voda by byla jímána do nádrže umístěné pod elektrodou a opět čerpána do horní nádrže, nebo by samospádem tekla do nádrže spodní. Po odpojení napětí a zániku elektrického pole by se proud vrátil zpět do původního směru. Takto zkonstruovaný ventil by byl velmi úsporný, co se týče elektrické energie, kterou by potřeboval. Výkon generátoru, který by vytvářel vysoké napětí, by byl ve srovnání s elektromagnety podstatně nižší. Další výhodou odchylování proudu je, že voda teče neustále a tlak v systému je tedy konstantní – není závislý na zobrazovaném tvaru.

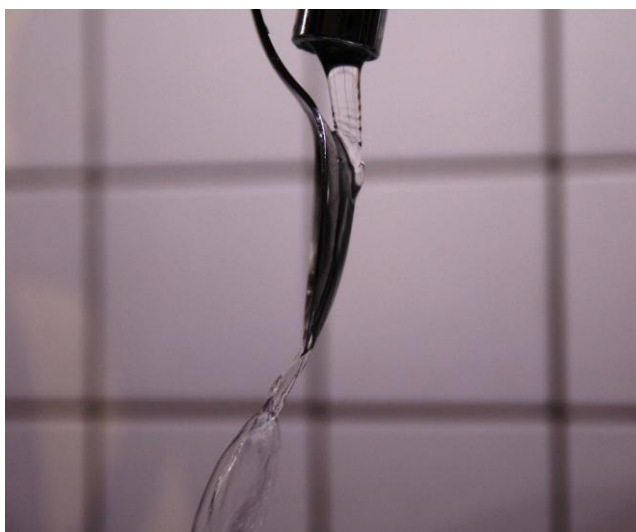


Obr. 6: Nákres ventilu vychylujícího proud vody elektrickým polem  
1 tryska, 2 elektroda, 3 nádrž jímající odchýlenou vodu

Funkčnost takového ventilu byla nejprve ověřena pomocí generátoru 7 kV. Proud vody byl sice dostatečně vychýlen, ale ne okamžitě. Vychýlení až do nejzazší polohy totiž trvalo asi 100 ms. Tato rychlost nebyla dostačující, protože během této doby voda netekla ani přímo svisle dolů, ani do nádrže, dopadala většinou na hranu nádrže, což ji rozstříkovalo a předěl mezi otevřeným a zavřeným stavem ventilu tudíž nebyl dostatečně ostrý. Kromě toho, aby displej dokázal zobrazit i obrazec s drobnými detaily, musel by zvládnout vytvořit krátké proudy vody – odpovídající přibližně 50 ms otevření ventilu. Nedostatečnou rychlost vychylování jsem se snažil vyřešit zvýšením napětí. Dvojnásobné napětí sice vychylovalo lépe, ale často docházelo k přeskoku jiskry mezi elektrodou a proudem vody, což nebylo bezpečné, ani energeticky úsporné.

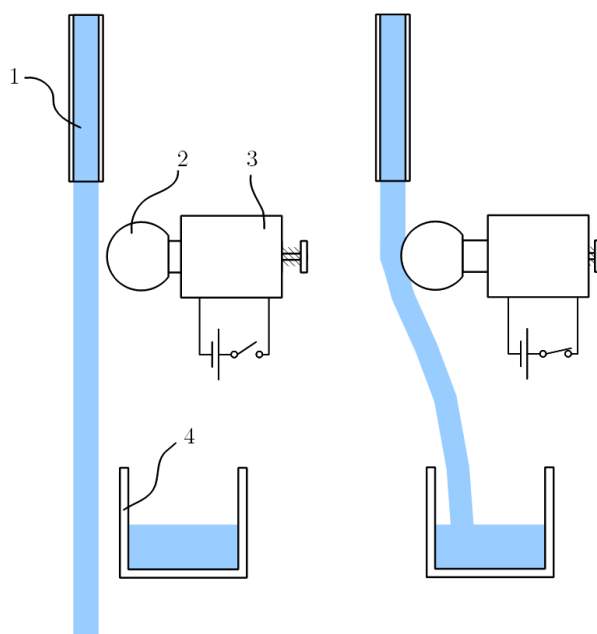
Další problémem spojeným s tímto typem ventilu byla nemožnost řídit ventily pomocí transistorů, vzhledem k tomu, že se jednalo o daleko vyšší napětí, než na jaké je většina konstruována. Jedinou rozumnou možností by bylo použít samostatný generátor pro každý ventil. Řídící obvod by pak spínal pouze vstupní napětí generátoru, tedy 5 V. Cena jednoho generátoru se ale blíží ceně profesionálního vodního ventilu, což nakonec vedlo k upuštění od tohoto principu.

Dalším pokusem, jak vodu odchýlit, bylo využití Coandova efektu. Kapaliny mají díky tomuto jevu tendenci téct přimknuté k povrchu předmětů, i když by například působením gravitace měly téct jiným směrem. Pokud by se padajícímu vodnímu proudu postavil do cesty nějaký oblý předmět, který by voda obtekla, došlo by k potřebnému odchýlení.

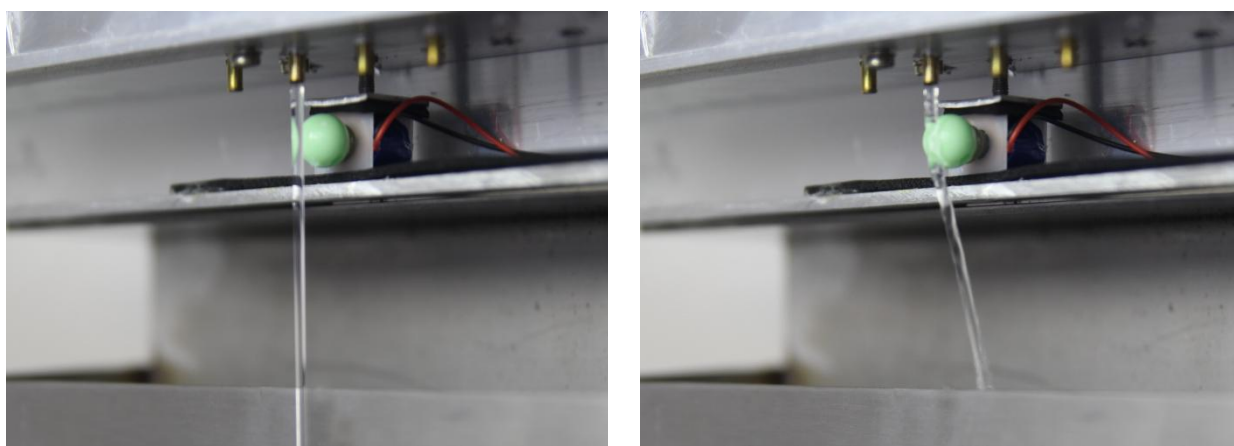


*Obr. 7: Projev Coandova efektu*

Nakonec jsem se po pokusech s různými tvary rozhodl jako předmět, který by voda obtékala, využít nejjednodušší variantu, a to kuličku. Jednalo se o korálek s průměrem 10 mm. Korálek jsem uchytil k jádru elektromagnetu, který ho posouval do a z proudu vody.



*Obr. 8: Nákres ventilu vychylujícího proud vody pomocí Coandova efektu  
1 tryska, 2 kulička, 3 solenoidní elektromagnet, 4 nádrž jímající odchýlenou vodu*



*Obr. 9: Vychýlování proudu vody pomocí Coandova efektu*

Vychýlení proudu vody bylo v tomto případě dostatečné a – dá se říct – okamžité. Elektromagnet pouze posouval kuličkou, a to jen přibližně o 2 mm, jeho výkon tedy mohl být násobně nižší, než při stlačování hadičky.

Tento princip vodního ventilu jsem se rozhodl použít při konstrukci finálního zařízení obsahujícího 104 ventilů. Podrobnějšímu popisu se budu věnovat v dalších kapitolách.

## **2.3 Fyzikální omezení**

Pro vodní displej by bylo samozřejmě nejlepší, kdyby voda z trysek padala v stále stejně širokých proudech konstantní rychlostí. Ve skutečnosti to ale bohužel neplatí a voda se chová poněkud složitěji, což má za následek roztrhání proudu vody či deformaci celého obrazce. Tyto jevy mají negativní vliv na celkový dojem z padajícího obrazce.

### **2.3.1 Deformace obrazce**

Voda v horní části obrazce padá nízkou rychlostí, postupně zrychluje, níže by kvůli odporu vzduchu přestala zrychlovat, ale to by se dělo až kdyby obrazce padaly z větší výšky. I tak před pádem do spodní nádrže padá voda poměrně vysokou rychlostí. Proto je vždy obrazec deformován, a to tak, že horní část je v porovnání se spodní stlačená a spodní naopak roztažená. Tento efekt velmi ovlivňuje výsledný dojem a bohužel mu nijak nelze zabránit. Pouze by bylo možné zakrýt vrchní zdeformovanou oblast a nechat viditelnou jen spodní část, kde je zrychlení vody nižší a obrazce nejsou tolik deformovány. Toto řešení by však zvětšilo výšku zařízení a kladlo by tak větší nároky na potřebný prostor k instalaci.

### **2.3.2 Trhání vodního proudu**

Z rovnice kontinuity vyplývá, že voda nebude padat stále stejně širokým proudem. Jestliže po opuštění trysky působením gravitační síly zrychluje, musí dojít k zúžení proudu. Příliš malý průřez, neplynulost proudu a další nedokonalosti, jako například turbulentní proudění ve vodě, způsobí následné trhání proudu na menší celky. Obrazec tedy není dokonale souvislý, což lze pozorovat především při pádu vody z vyšší výšky, kdy se jednotlivé části vody od sebe vzdalují a dochází mezi nimi k vytváření nežádoucích prázdných míst.

Tomu by se dalo zabránit zvětšením průřezu proudu, což by však kladlo vyšší nároky na objem nádrže, výkon čerpadla, průtok ventilů a příliš by to konstrukci displeje ztížilo. Navíc pouhým okem roztrhání není příliš viditelné. Že se ve



skutečnosti padající proud vody skládá ze samostatných kapiček, lze postřehnout až na vysokorychlostních záběrech.

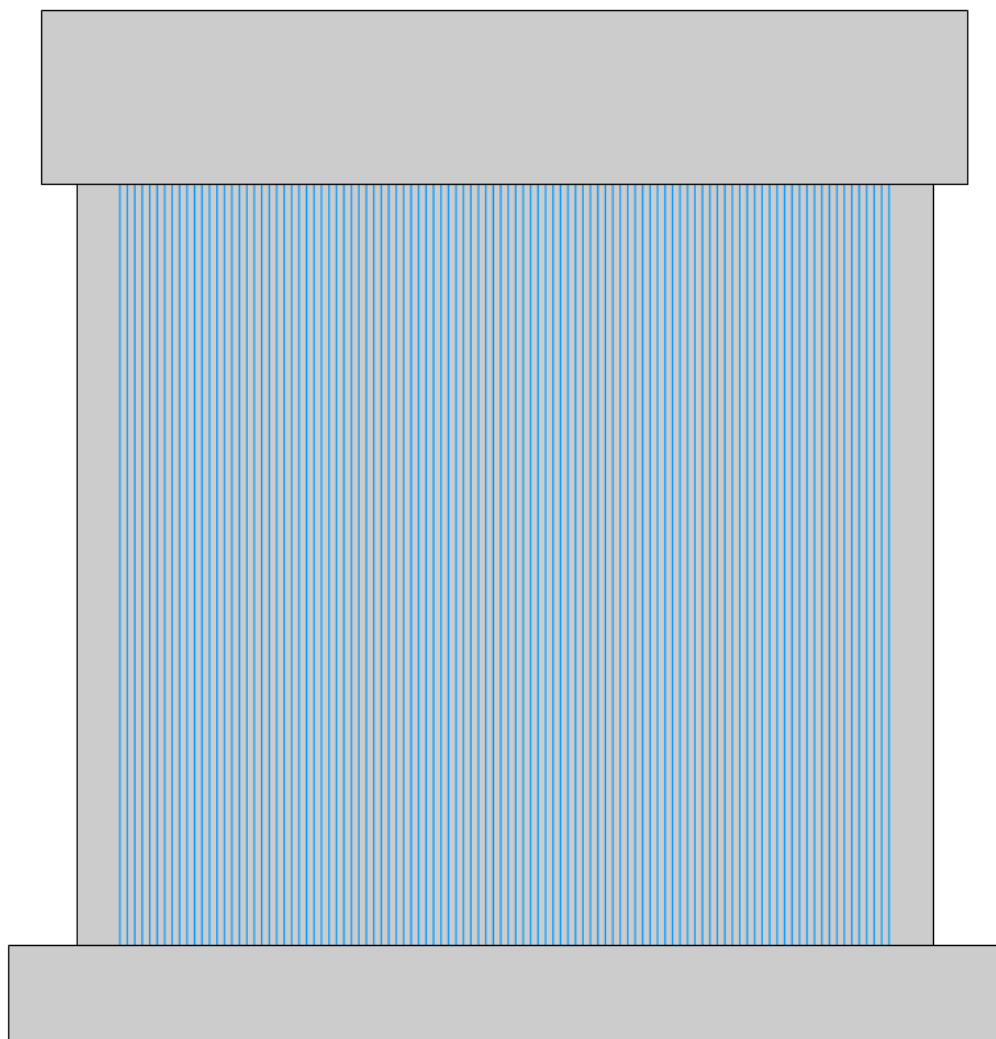


*Obr. 10: Roztrhání proudu vody*

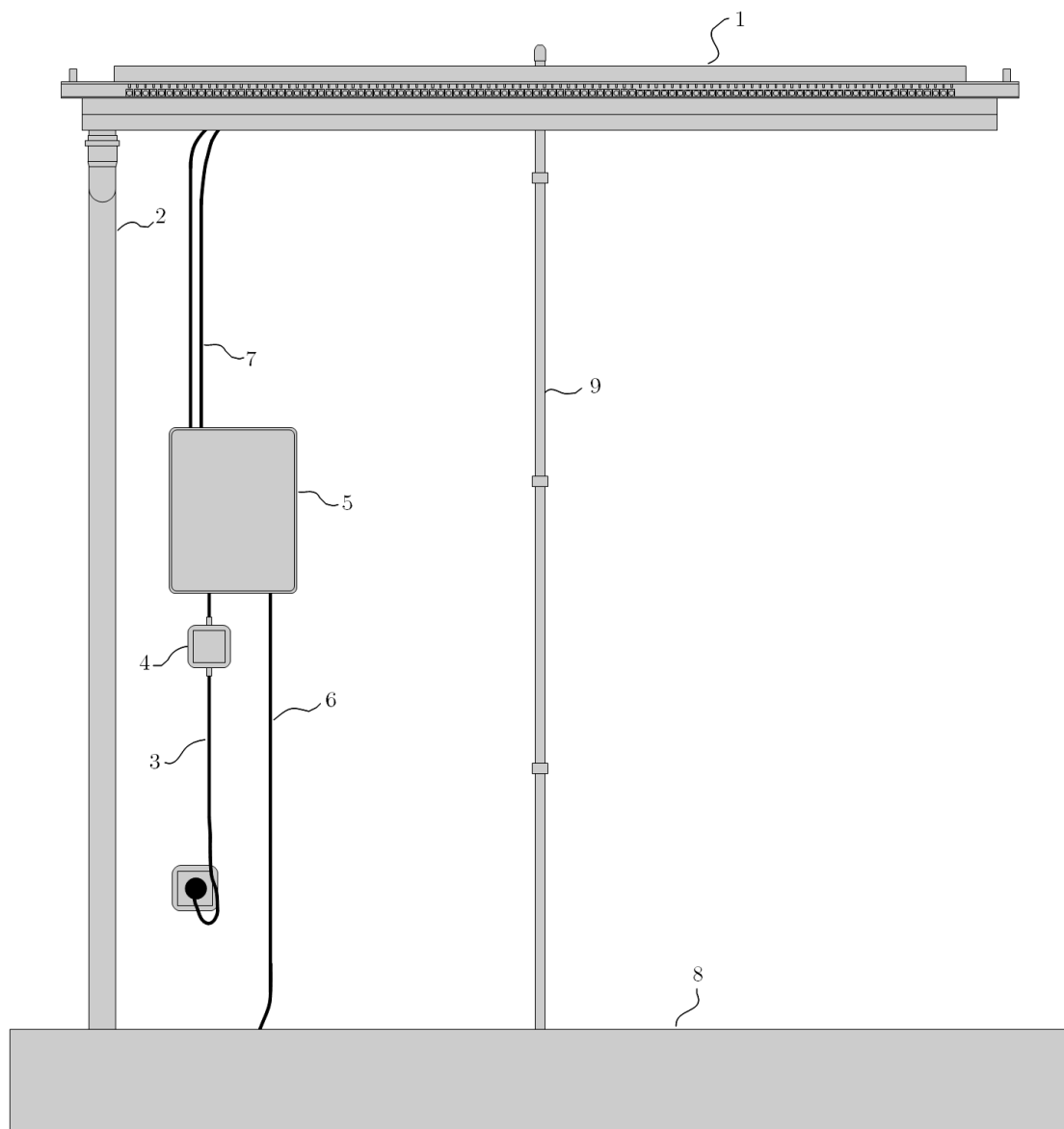
### 3 KONSTRUKCE DISPLEJE

#### 3.1 Rozmístění součástí zařízení

Hlavní částí celého displeje je panel, na kterém jsou vedle sebe uchyceny vodní ventily, kterých je celkem 104. Tento počet byl vybrán, protože je to násobek osmi, řízení elektromagnetů totiž zajišťují 8bitové integrované obvody. Panel je pomocí konzol přichycen ke zdi ve výšce asi 2 m nad zemí, 40 cm od zdi. Na zemi pod tímto panelem se nachází nádrž, do které padá voda. Pod hlavním panelem je uchycena černá gumová fólie, která visí podél zdi až dolů k nádrži, aby odstříkující voda nedopadala na zeď a také proto, aby byly vodní obrazce lépe vidět, protože proti bílé ploše by zanikly. Fólie je od zdi vzdálená asi 15 cm, čímž za ní vzniká prostor, kterým jsou taženy veškeré dráty a hadice. Nachází se za ní i čerpadlo a zdroj napětí.



*Obr. 11: Náčrt vodního displeje (1 : 15)*



Obr. 12: Nákres vodního displeje po odstranění krytu a černé fólie (1 : 15)

1 hlavní panel

2 trubka dopravující odchýlenou vodu dolů

3 přívodní kabel

4 vypínač

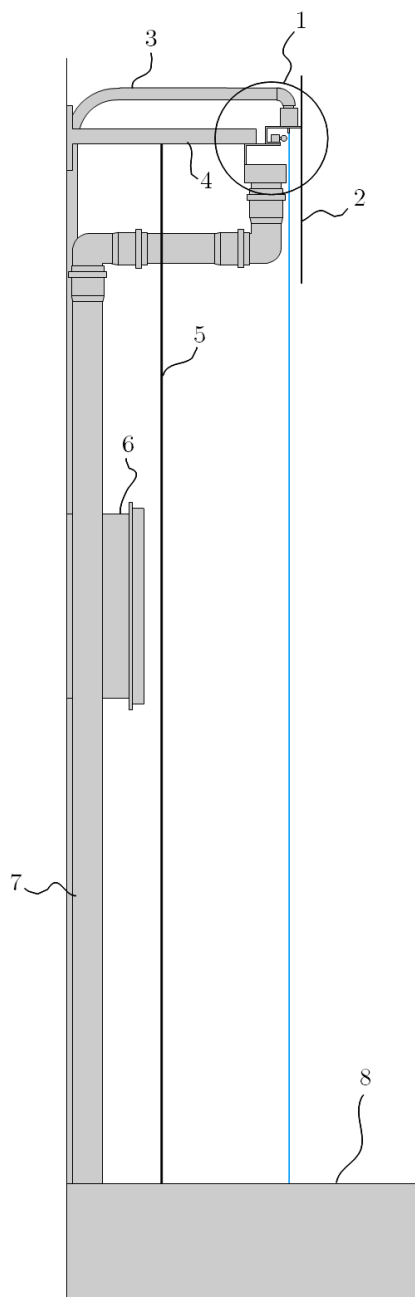
5 krabice se zdrojem

6 napájecí vodič čerpadla

7 napájecí vodiče řídicího obvodu

8 spodní nádrž

9 hadice přivádějící vodu do horní nádrže



Obr. 13: Nákres vodního displeje z boku (1 : 13)

1 hlavní panel

2 přední kryt

3 hadice přivádějící vodu do horní nádrže

4 konzola

5 černá fólie

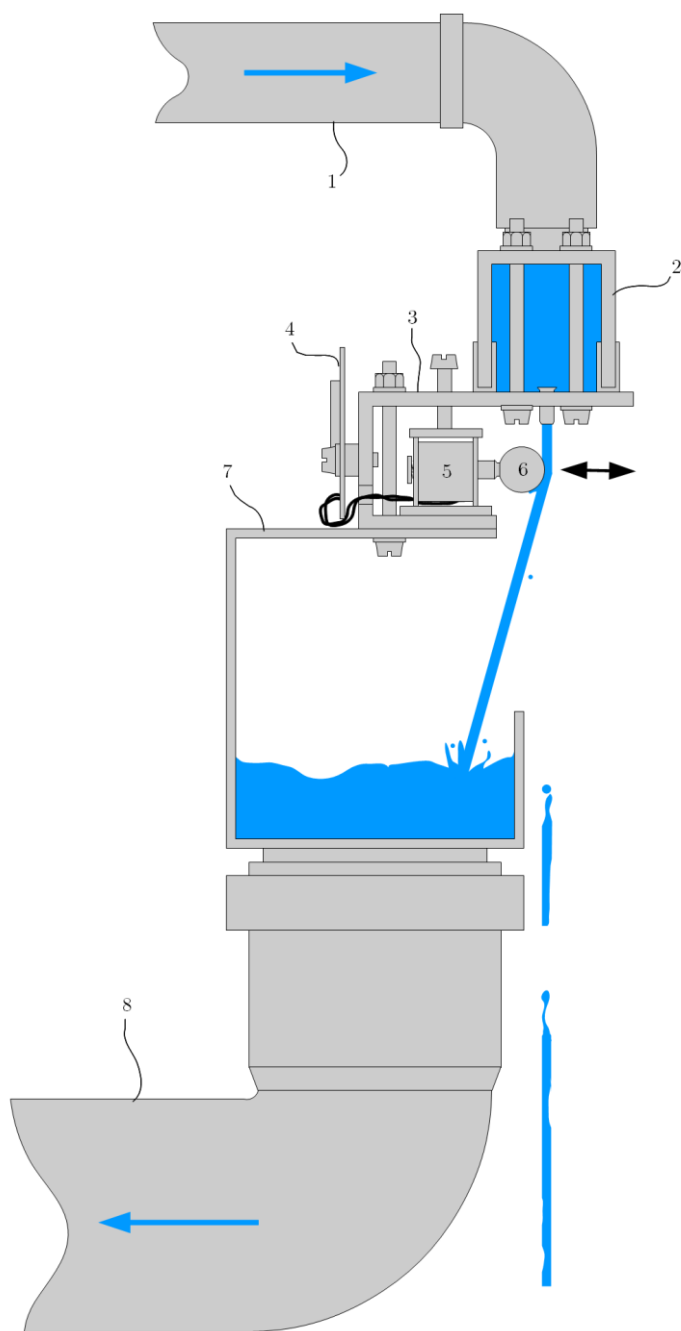
6 krabice se zdrojem

7 trubka dopravující odchýlenou vodu dolů

8 spodní nádrž

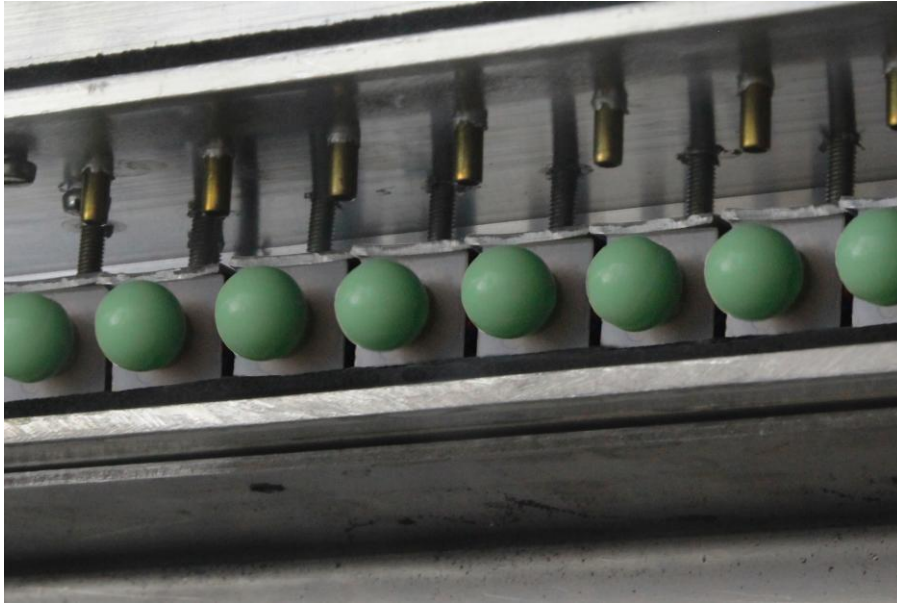
### 3.2 Hlavní panel

Tuhost panelu zajišťují dva hliníkové profily, které jsou jeho součástí – jeden 180 cm dlouhý a druhý 160 cm. Na delším z nich je vedle sebe v rozestupech 15 mm přišroubováno 104 elektromagnetů, zároveň je v něm osazeno stejné množství trysek tvořících proudy vody – ve stejných intervalech jako elektromagnety. Kratší profil plní kromě zpevňující funkce i funkci nádrže na vodu, ze které ústí trysky. Pod oběma profily je ještě přišroubována nádrž jímající odchýlenou vodu zhotovená z nerezového plechu.



Obr. 14: Řez hlavním panelem  
(1 : 1,6)

- 1 přívodní hadice
- 2 kratší hliníkový profil (nádrž na vodu)
- 3 delší hliníkový profil
- 4 plošný spoj spínající elektromagnety
- 5 solenoidní elektromagnet
- 6 kulička
- 7 nádrž na odchýlenou vodu
- 8 trubka odvádějící odchýlenou vodu do spodní nádrže



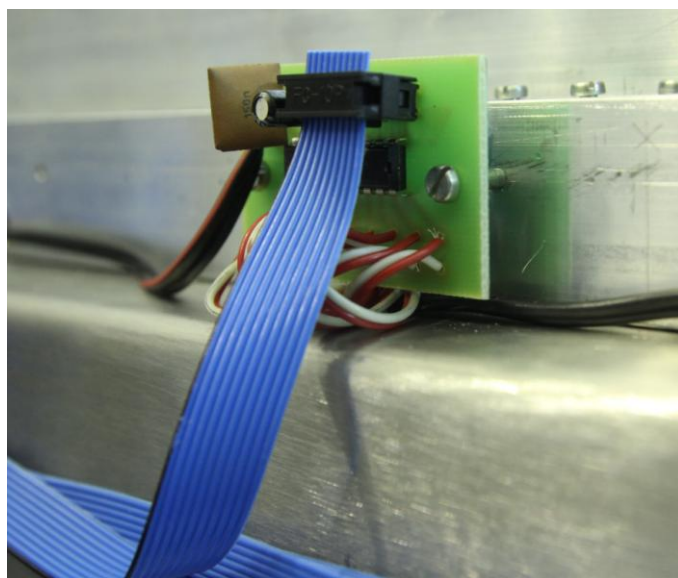
*Obr. 15: Uspořádání elektromagnetů vedle sebe*

Elektromagnety, které jsem použil při stavbě hlavního panelu, jsou určeny pro napětí 5 V, při kterém odebírají 200 mA. Což je poměrně málo ve srovnání s elektromagnety z předchozích návrhů, které – kvůli jinému principu ventilů – musely být silnější a jejichž příkon proto byl 4× větší. Rozměry těchto součástek jsou také příznivě malé –  $13 \times 13 \times 14$  mm – a umožňují tak, aby rozteč mezi jednotlivými vodními proudy byla, i když jsou elektromagnety jen v jedné řadě, pouze 15 mm. V předešlých pokusech, kdy elektromagnety byly větší, bylo nutné uspořádání do dvou řad, aby byly mezery mezi proudy vyhovující. Jádrem elektromagnetu je tvořeno tyčovým magnetem, což způsobuje, že otočení polarity napájení způsobí pohyb jádra v opačném směru. Bylo by však zapotřebí složitějšího elektrického zapojení, pro které jsem se nerozhodl – elektromagnety jsou napájeny pouze, když vtahují jádro, a o zpětný pohyb se starají pružinky, jimiž byly elektromagnety opatřeny již při výrobě.

Tab. 1: Přehled základních parametrů elektromagnetů

napětí	5 V DC
proud	200 mA
výška	13 mm
šířka	13 mm
délka	14 mm
zdvih	4 mm
doba přitahu	7 ms
doba uvolnění	12 ms

Zezadu na hliníkovém profilu jsou připevněny malé plošné spoje – vždy jeden společný pro 8 elektromagnetů – ze kterých vedou napájecí vodiče k jednotlivým elektromagnetům. Ke každému plošnému spoji pak vede z řídicí elektroniky plochý vícežilový kabel s informacemi o otevírání a zavírání jednotlivých ventilů. Krabice obsahující řídicí obvod je přišroubována uprostřed k profilu.



Obr. 16: Obvod spínající osmici elektromagnetů

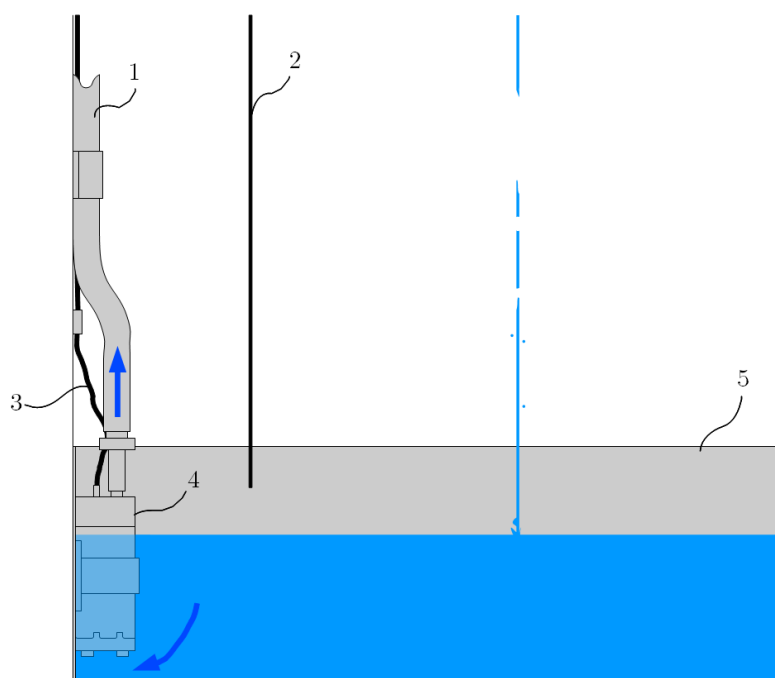
Z nádrže jímající odchýlenou vodu vede trubka dolů zpět do spodní nádrže. Voda tedy buď teče přímo, tvoří část obrazce a je jímána ve spodní nádrži, nebo je odchýlena a zmíněnou trubkou se také vrací do spodní nádrže. Průměr trubky vedoucí dolů musí být dostatečně velký, aby voda stíhala odtékat a nedošlo k přetečení nádrže v případě, že většina proudů bude odchýlena. Experimentálně

jsem došel k závěru, že průměr 5 cm by měl postačovat. To, že voda i v případě, že je odchýlena, teče až dolů, se může zdát neefektivní. Uvažoval jsem i o možnosti využít dvě čerpadla – jedno, které by vodu čerpalo ze spodní nádrže do nádrže jímající odchýlenou vodu, a druhé, které by ji dopravovalo z této nádrže do vrchní. Odchýlená voda by tedy netekla až dolů. Čerpadla by však musela být sofistikovaněji řízena, což sice není až takový problém, ale je to v každém případě komplikace stejně jako další s tím spojené konstrukční problémy. Ztráty, které použitím pouze jednoho čerpadla vznikají, jsou přijatelné ve srovnání s komplikacemi.

Aby byly vodní obrazce lépe vidět, bylo na spodu hlavního panelu instalováno osvětlení. Proudění vody světlo rozptyluje a díky tomu jsou obrazce proti černému pozadí dobře viditelné. Použity by tři LED pásy o výkonu 7,5 W/m – tedy celkem přibližně 36 W. Jsou přilepeny zespodu na nádrž na odchýlenou vodu, díky čemuž jsou dostatečně chlazené.

### 3.3 Spodní nádrž

Na zemi pod hlavním panelem, ze kterého padají vodní obrazce, se nachází nádrž. Je tvaru kvádrů o šířce 60 cm, délce 200 cm a výšce 20 cm. Rozměry jsou záměrně větší, aby nedocházelo k odstříkání vody z nádrže ven. Stěny a dno nádrže jsou vyrobeny z voděodolné překližky a vnitřek nádrže pak byl potažen gumovou fólií, aby došlo k utěsnění nádrže.



Obr. 17: Řez spodní nádrží  
(1 : 6)

- 1 čerpací hadice
- 2 černá fólie
- 3 napájecí vodič čerpadla
- 4 čerpadlo
- 5 spodní nádrž



### 3.4 Čerpadlo

Ponořené ve spodní nádrži schované za černým pozadím se nachází vodní ponorné čerpadlo. Čerpadlo vodu dopravuje hadicí nahoru do vrchní nádrže. Vnitřní průměr hadice – 18 mm – je kompromisem mezi hadicí o velkém průměru, která při proudění vody nezpůsobuje velké tlakové ztráty, a úzkou hadicí, se kterou se podstatně lépe manipuluje. Tlakový úbytek je v tomto případě asi 4,3 kPa. [1]

Aby průtok tryskami nebyl příliš malý a odchylování proudů správně fungovalo, je nutné, aby v horní nádrži byl asi 30 cm vysoký vodní sloupec. Pokud tomu tak není, hydrostatický tlak je příliš malý a proud vody není ideální. V předchozích modelech zařízení jsem byl nucen nádrž umístit do patřičné výšky nad hlavní panel a regulovat výkon čerpadla, aby hladina v ní byla stálá. Ve finálním zařízení, jsem se ale rozhodl vrchní nádrž neumístit do výšky, aby celý hlavní panel i s nádrží byl kompaktní. Není využíváno hydrostatického tlaku, ale přímo tlaku, který vytváří čerpadlo. Výkon čerpadla je konstantní a je nastaven vhodně tak, aby průtok tryskami byl ideální. Vrchní nádrž tedy v podstatě slouží k rozvětvení hadic vedoucích od čerpadla na 104 vývodů a ne k vytvoření požadovaného hydrostatického tlaku. Toto řešení je možné pouze v případě, že průtok tryskami je stále stejný, což displej založený na vychylování proudů splňuje. Uzavřený ventil totiž neznamená, že tryskou neteče voda, ale jen to, že je proud odchýlen a teče do spodní nádrže jinou cestou. Kdyby se průtok měnil – ventily by byly opravdu uzavírány – bylo by nutné pro udržení stále stejného tlaku v horní nádrži výkon čerpadla regulovat.

Při prvotních testech ventilů jsem zjistil, že ideální průtok tryskou je asi 150 ml za minutu. Při příliš nízkém průtoku se může stát, že proud nepoteče souvisle, ale voda bude z trysek kapat. V opačném případě vytéká příliš rychle a obrazec pak padá krátkou dobu. V obou případech dochází ke komplikacím s odchylováním proudu. Toto znamená, že čerpadlo musí být schopno dopravit do vrchní nádrže necelých 16 litrů za minutu, tedy 936 litrů za hodinu. Pokud počítáme s rezervou, je třeba čerpadlo s průtokem kolem 1 000 litrů za hodinu. Musel jsem však použít výkonnější čerpadlo – kolem 1 500 litrů za hodinu – protože uváděné údaje o průtoku čerpadla odpovídají průtoku při nulovém výtlaku. Záleží pak na typu čerpadla, jak klesá průtok s rostoucím výtlakem. Z grafu, který někteří výrobci poskytují ke svým výrobkům, lze zjistit, jakého průtoku by čerpadlo mělo dosahovat při čerpání do různých výšek. V mém případě je výška 2 m, ale je potřeba ještě přičíst ztráty tlaku způsobené odporem hadice vedoucí nahoru a uvažovat tedy výšku necelé 3 m. Průtok

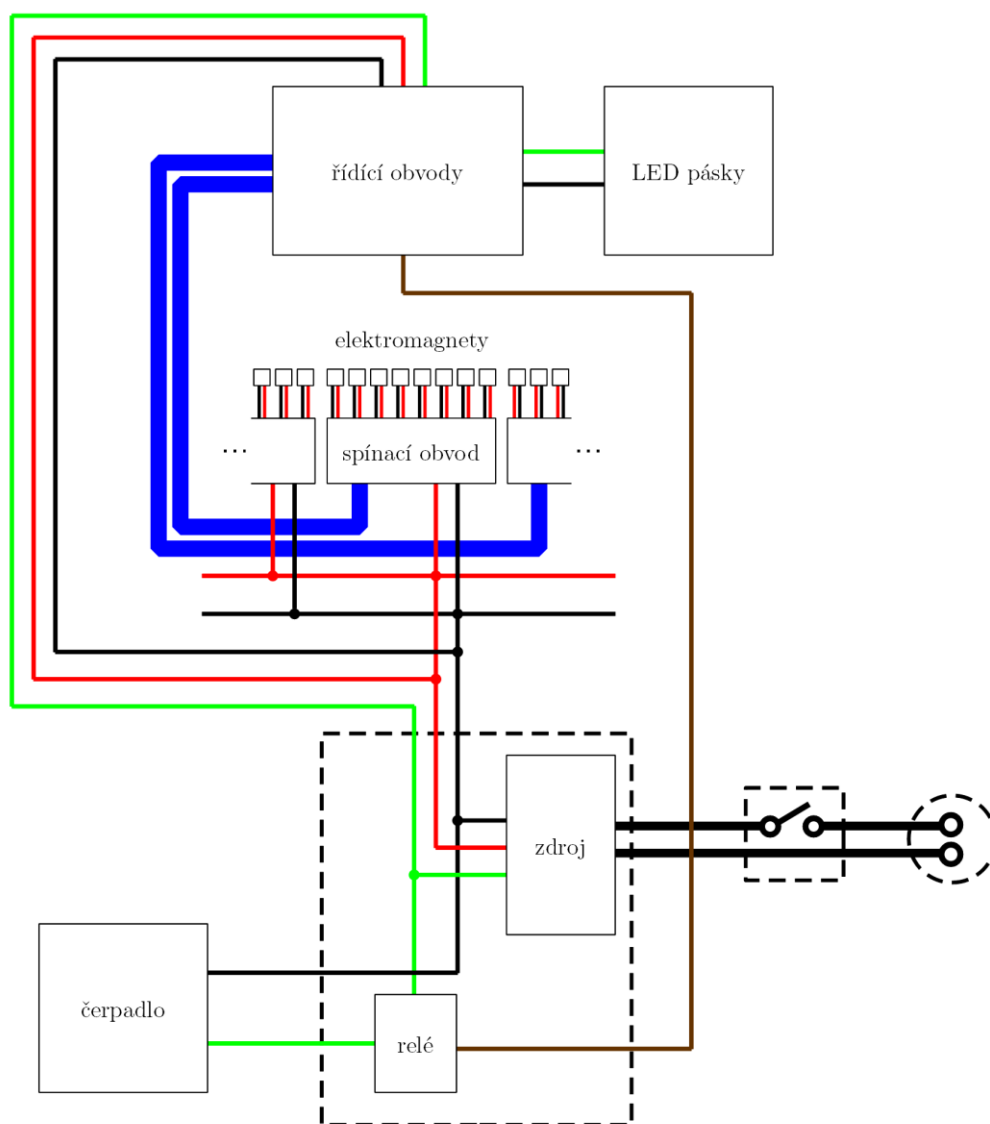
čerpadla tedy musí být přibližně 1 500 litrů za hodinu, aby ve výšce 3 m průtok dosahoval zmíněných 1 000 litrů za hodinu.

Původně jsem zamýšlel použití čerpadla určeného na napětí 230 V, vzhledem k tomu, že tato čerpadla jsou dostupná a jejich výkony jsou poměrně vysoké. Většina čerpadel na nižší napětí totiž nemá výkon a výtlač, který je třeba. Nakonec jsem však našel malé akvarijní ponorné čerpadlo na napětí 12 V, které svými parametry ještě vyhovělo. Čerpadlo má válcový tvar o výšce 133 mm a průměrem 48 mm. Je tedy velice kompaktní a k instalaci do zařízení ideální, hlavně však je displej díky nízkému napětí bezpečnější.

## 4 ELEKTRONICKÉ OBVODY

### 4.1 Elektrické rozvody v zařízení

Za černou fólií se přichycená ke zdi nachází elektrikářská rozváděcí krabice, ve které je umístěný zdroj elektrického napětí. Přívodní kabel ze zásuvky, který do krabice vede, nejdříve prochází vypínačem, který slouží k celkovému vypínání zařízení. Ze zdroje vedou vodiče s napětím 5 V (červená) a 12 V (zelená) do řídicího obvodu, dále vodič 5 V ke spínacím obvodům na hliníkovém profilu, které spínají elektromagnety. Zdroj dále napájí čerpadlo, proto se v krabici vedle zdroje nachází relé, které zajišťuje jeho spínání. Z krabičky řídicích obvodů vedou napájecí vodiče LED pásek, dále signály do spínacích obvodů u elektromagnetů (modrá) a k relé (hnědá).

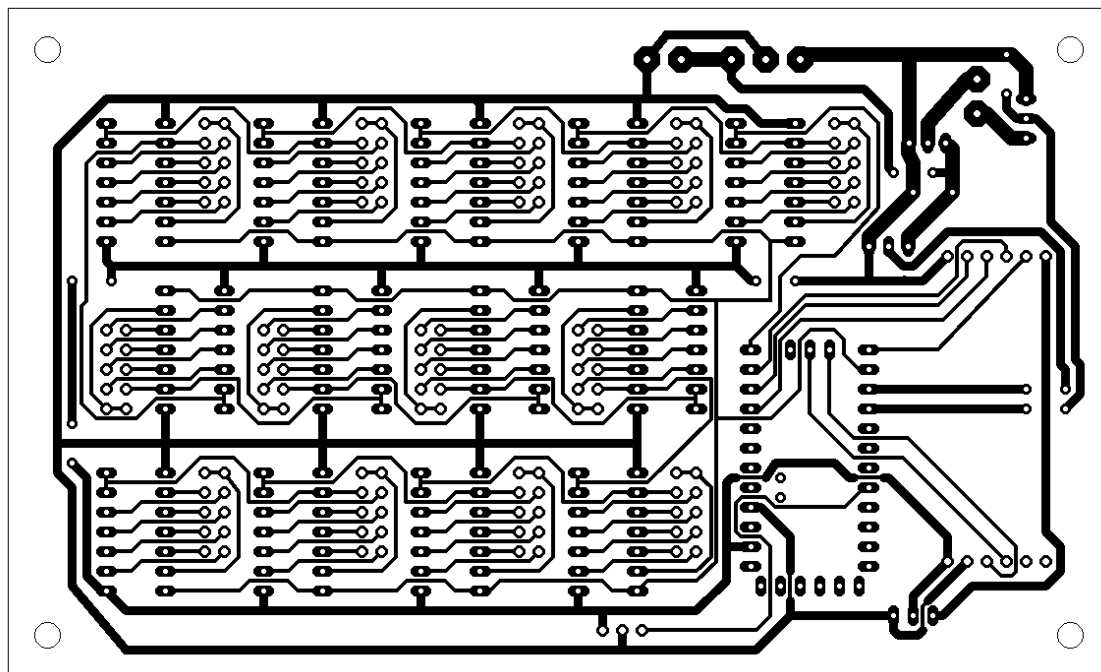


Obr. 18: Schéma elektrických rozvodů ve vodním displeji

Aby nedocházelo k příliš velkým napěťovým ztrátám na vodičích bylo zapotřebí zvolit dostatečné průřezy rozvodů, protože zařízení má poměrně vysoký proudový odběr – každý elektromagnet 200 mA, celkem tedy necelých 21 A na 5 V, čerpadlo a LED pásy jsou stavěny na 12 V a odebírají celkem přibližně 11 A. Co se týče napětí 5 V, hlavní přívodní drát vedoucí k elektromagnetům má průřez 2,5 mm<sup>2</sup>, zde se vodič rozděluje na dva a vede postupně k jednotlivým spínacím odvodům. Tyto větve mají průřez 1,5 mm<sup>2</sup>. Maximální úbytek může být až 0,3 V, ale to pouze na posledním elektromagnetu, v případě, že budou sepnuty všechny elektromagnety naráz. Napěťové ztráty u rozvodu 12 V už nejsou tolik nežádoucí jako u 5 V, protože čerpadlo či LED osvětlení bude fungovat i tak, kdežto TTL logika by mohla při poklesu napětí například pod 4 V přestat spolehlivě fungovat. I tak však jsou vodiče dimenzovány, aby docházelo k minimálním úbytkům, a to na 1,5 mm<sup>2</sup>.

## 4.2 Řídící obvod

Hlavní deskou plošných spojů v zařízení je řídicí obvod, který obstarává řízení 104 elektromagnetů, řídí osvětlení displeje a spíná čerpadlo. Deska plošných spojů byla navržena v programu *Eagle* a poté vyrobena odbornou firmou.



Obr. 19: Návrh plošného spoje řídicího obvodu



Obr. 20: Osazený plošný spoj umístěný do krabičky

#### 4.2.1 Řídící mikrokontrolér

Vzhledem k jednoduché obsluze modulů pro *Arduino* i samotných *Arduin* jsem se jich rozhodl využít k řízení celého zařízení na místo původně zamýšlených samotných mikrokontrolérů ATmega. Využil jsem klon *Arduina pro mini*, jehož vlastnosti jsou shodné jako originálního výrobku. Má také – co se týče mých potřeb – velmi podobné parametry jako *Arduino Nano* či *Uno*, je však dostupnější a má menší rozměry.

Tab. 2: Přehled základních parametrů *Arduina pro mini* [2]

mikrokontrolér	ATmega328
pracovní napětí	5 V
taktovací frekvence	16 MHz
digitální piny	14×
analogové piny	6×
PWM piny	6×
maximální proudový odběr z pinů	40 mA
UART	piny 0 (RX), 1 (TX)
SPI	piny 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (CLK)
I <sup>2</sup> C	piny A4 (SDA), A5 (CLK)
externí přerušování	piny 2, 3
flash paměť	32 KB (2 KB zabírá bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB

### 4.2.2 Slot pro SD kartu

Tento modul určený pro *Arduino* byl na řídicí desce osazen, aby bylo možné pracovat s pamětí SD karty, na které jsou uložena data potřebná k chodu zařízení. Paměť, kterou poskytuje samotné *Arduino* je pro tyto účely příliš malá, na SD kartě jsou totiž uloženy všechny obrazce, které zařízení zobrazuje. Tento modul je stavěn na napájení 3,3 V, proto je na plošném spoji osazen i napěťový stabilizátor, protože ostatní osazená elektronika pracuje s napětím 5 V.

Komunikace s *Arduinem* probíhá pomocí SPI rozhraní. Jedná se o sériové rozhraní, které je často využíváno ke komunikaci *Arduina* – či jiného mikrokontroléru – s perifériemi. Řídící mikrokontrolér je označován jako „master“ a jemu podřadný je „slave“ – periferie, se kterou komunikuje. Přenos probíhá přes vodiče MOSI, MISO, CLK a SS. První tři jsou pevně spojeny s piny 11, 12 a 13 a jako pin SS je možné využít jakýkoliv z ostatních pinů.

MOSI (master out slave in)

Data, která *Arduino* odesílá SD modulu.

MISO (master in slave out)

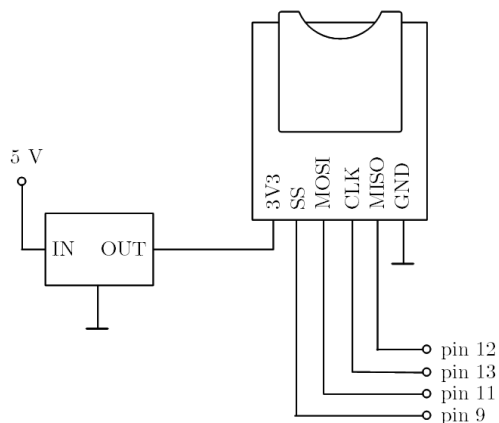
Data odesílaná SD modulem *Arduinu*.

CLK (clock)

Jedná se o hodinový signál sloužící k synchronizaci přenosu.

SS (slave select)

V případě, že mikrokontrolér komunikuje s více perifériemi, je nutné určit, se kterou bude komunikovat. Pokud mikrokontrolér přivede na pin SS dané periferie logickou hodnotu nula, zahajuje s ní komunikaci. [3]



Obr. 21: Schéma propojení SD modulu s *Arduinem*

### 4.2.3 Modul reálného času

Druhým modulem osazeným na řídicím plošném spoji je obvod reálného času také určený pro práci s *Arduinem*. Nezbytný je proto, aby program *Arduina* měl k dispozici přesný čas. Zařízení díky tomu může například zobrazovat aktuální čas nebo se samo vypínat a zapínat v předem určených časech. Modul poskytuje správná data, i pokud dojde k odpojení zařízení ze sítě a opětovnému připojení, součástí modulu je totiž i knoflíková baterie, která modul neustále napájí v případě, že k odpojení opravdu dojde, a díky níž nedojde k vynulování času. Hlavní součástí modulu je integrovaný obvod DS3231, který informace o čase i datu poskytuje.

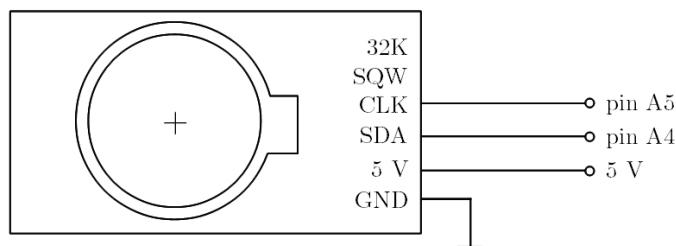
Modul využívá ke komunikaci s *Arduinem* rozhraní I<sup>2</sup>C. Tato sériová sběrnice využívá k přenosu dva vodiče, a to SDA a CLK. Rozhraní je pevně umístěno na pinech A4 a A5.

#### SDA (data)

Data vysílaná buď řídicím obvodem, nebo periferií. Pro identifikaci, jaké jednotce jsou data určena, slouží adresy, které každá z nich má.

#### CLK (clock)

Hodinový signál sloužící k synchronizaci vysílaných dat. [4]

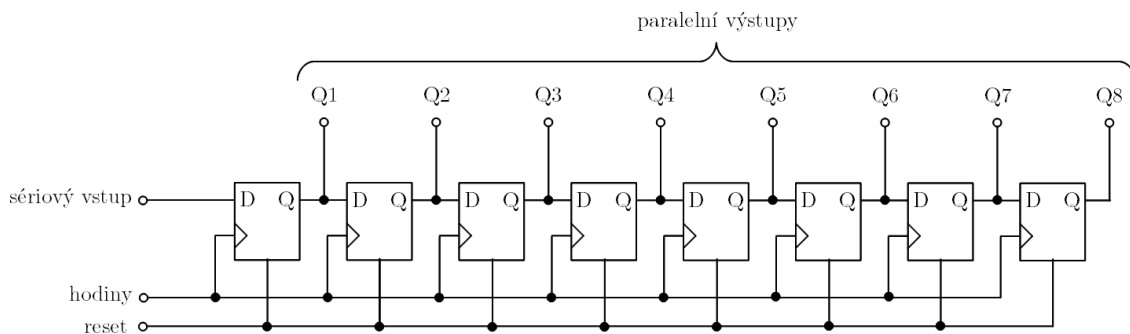


Obr. 22: Schéma propojení modulu reálného času s *Arduinem*

### 4.2.4 Posuvné registry

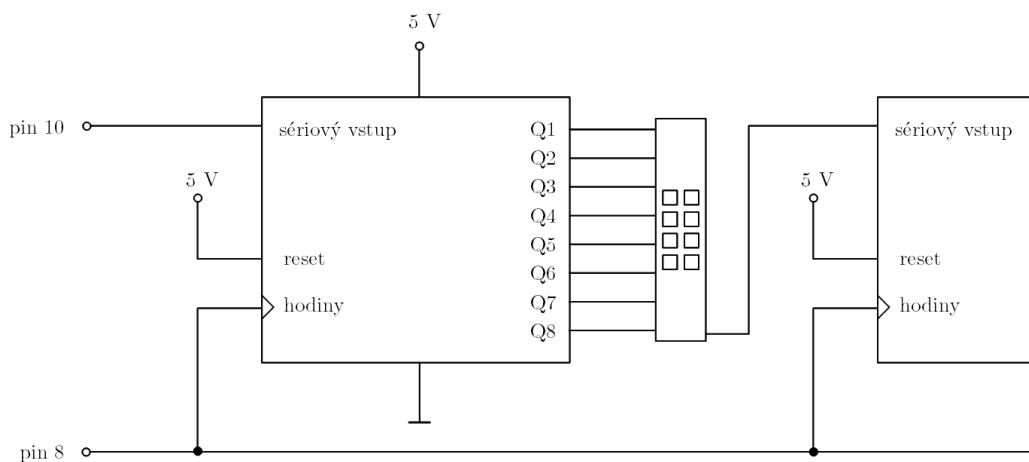
Největší plochu plošného spoje zabírají posuvné registry. Jde o integrované obvody, které sériově vysílaná data ze vstupu převádějí na paralelní výstup. Jinými slovy lze díky nim rozšířit počet výstupů například *Arduina* na libovolný počet. *Arduino pro mini* disponuje 14 digitálními piny, což samozřejmě samo o sobě neumožňuje řídit 104 elektromagnetů. Nehledě na to, že několik z nich musí být ještě užito ke komunikaci s periferiemi.

Posuvný registr je v podstatě skupina klopných obvodů (KO), které jsou propojeny vždy svým výstupem na vstup dalšího KO; hodinový signál je všem společný. S náběžnou hranou na hodinovém signálu tedy dojde k převedení logické hodnoty z každého klopného obvodu na další. Paralelní data se tedy posunou o jeden bit dále.



Obr. 23: Vnitřní schéma posuvného registru

Každé spojení výstupu a vstupu KO a výstup posledního jsou vyvedeny jako bity paralelního výstupu. Vstup prvního KO je vstupem celého posuvného registru a poslední bit – neboli výstup posledního KO – je možné využít jako vstup pro další posuvný registr. Takto jsou registry za sebou řetězeny a vzniká tak požadovaný počet výstupů.



Obr. 24: Schéma řetězení posuvných registrů



Posuvné registry umožňují ještě využití funkce reset. Pokud přivedeme logickou hodnotu 0 na patřičný vstup, dojde k vynulování registru. Tato možnost však při návrhu zařízení využita nebyla a na tento vstup je stabilně přivedeno napětí. [5]

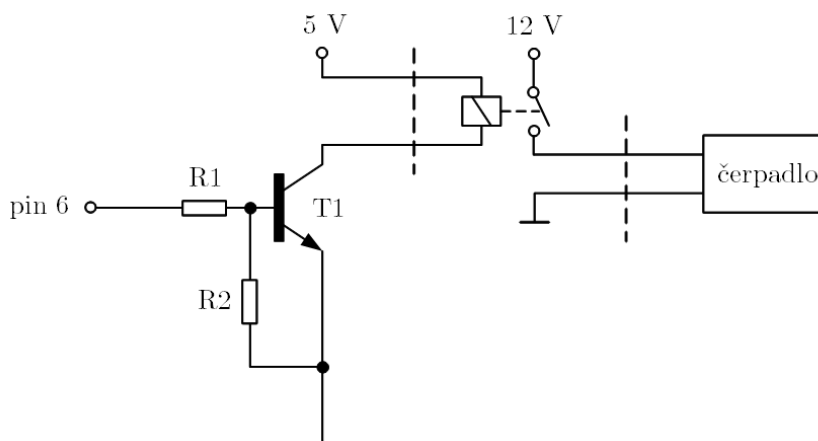
K řízení 104 elektromagnetů je využito 13 osmibitových posuvných registrů zapojených za sebou. Konkrétně jsou použity integrované obvody 74HCT164. *Arduino* tedy pracuje pouze se dvěma výstupy, a to s pinem 10 (data) a 8 (hodiny).

Výstupy každého posuvného registru jsou vyvedeny na konektor; protikusem ke každému z nich je samořezný konektor na plochý vícežilový kabel, který vede ke každému spínacímu obvodu společnému osmi elektromagnetům.

#### 4.2.5 Řízení ostatních periférií

Další součástí řídicího obvodu jsou spínací obvody řídicí čerpadlo a LED pásy.

Ovládání čerpadla spočívá ve spínání relé, které je na jednoduchém plošném spoji umístěno v krabici u zdroje. To zajišťuje tranzistor T1. Na jeho bázi vede signál z pinu *Arduina* přes rezistor. Báze je dále přivedena přes rezistor na zem, aby byl tranzistor zavřený, pokud by se pin *Arduina* například po spuštění vyskytl ve stavu vysoké impedance. Paralelně k relé je zapojena dioda, která chrání součástky před napěťovými špičkami, které vznikají při odpojení cívky od napětí.



Obr. 25: Schéma spínání čerpadla

Jako tranzistor T1 byl zvolen:

Tab. 3: Přehled parametrů tranzistoru T1 [6]

označení	BC337-25
typ	NPN
I <sub>c</sub>	0,8 A
U <sub>ce0</sub>	45 V
h <sub>21E</sub>	160 – 400

Aby došlo ke správnému sepnutí transistoru a nedocházelo k jeho přehřívání, bylo nutné vhodně zvolit hodnotu rezistoru R1. Relé, které jsem použil je určeno na napětí 5 V a odpor jeho cívky je 68 Ω, teče jím tedy proud 73,5 mA. Aby bylo zajištěno, že tranzistor určitě sepne tento proud, je třeba při výpočtu proudu tekoucího jeho bází počítat s nejnižším možným zesílením.

$$I_{bmin} = \frac{73,5 \text{ mA}}{160} \doteq 0,46 \text{ mA}$$

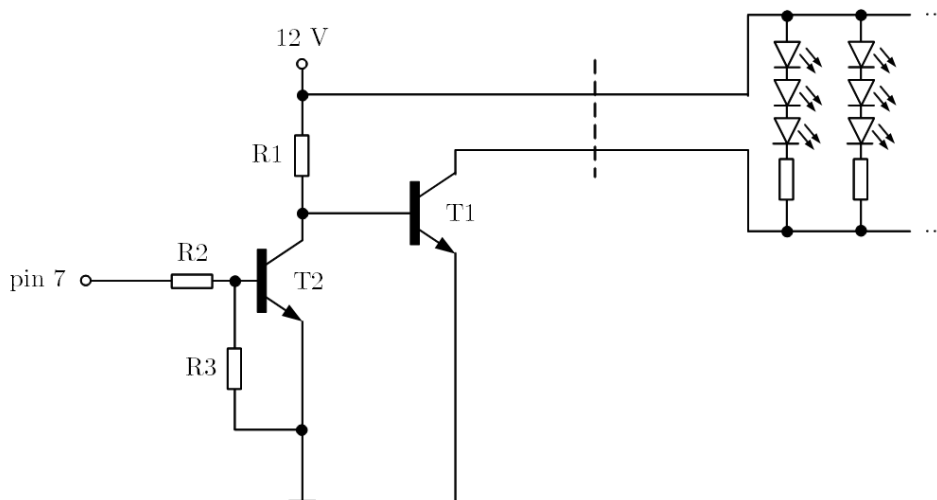
Jedná se však o hodnotu nejnížší možnou, proto se v praxi volí hodnota násobně větší – zvolil jsem přibližně 3× tolik – 1,5 mA. Takový proud musí téct rezistorem R1. Napětí mezi bází a emitorem T1 by mělo být při sepnutí 0,7 V a na pinu *Arduina* je 5V, na rezistoru R1 je v tom případě rozdíl. Odpor R1 tedy činí:

$$R1 = \frac{5 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{1,5 \text{ mA}} \doteq 2 \text{ } 867 \text{ } \Omega$$

Zvolil jsem nejbližší hodnotu, a to rezistor 2k7. Hodnota R2 se pro jednoduchost často volí stejná jako R1 – i v tomto zapojení to tak je. Tato hodnota totiž není kritická. Rezistor R2 zde není nezbytně nutný. Obvod by pravděpodobně fungoval stejně i při jeho vynechání, protože pin by se ve stavu vysoké impedance, pokud bude vše správně fungovat, snad vyskytnout neměl.

Ke spínání LED pásků muselo být využito o něco složitější zapojení, protože je nutné spínat větší proud. Tranzistor T1 nemůže být přímo spínán pinem *Arduina*, protože ten dodá maximálně 40 mA, což je příliš málo. Proto je obvod upraven. Báze T1 je připojena přes R1 k napětí, čímž je T1 sepnut. Pokud dojde k otevření T2 je báze T1 přivedena na zem a T1 je uzavřen. Dále byl osazen rezistor R2, přes který

teče proud z pinu *Arduino* na bázi T2, a rezistor R3 který spolehlivě uzavře tranzistor T2 v případě, že pin *Arduino* bude ve stavu vysoké impedance. Stejně jako v předchozím zapojení i zde rezistor není ze stejných důvodů nezbytně nutný.



Obr. 26: Schéma spínání LED pásků

LED pásky jsou napájeny 12 V, jejich celkový výkon je 36 W – teče jimi tedy proud 3 A. Ke spínání byl zvolen výkonový tranzistor T1, který svými parametry vyhovuje.

Tab. 4: Přehled parametrů tranzistoru T1 [7]

označení	2SC5200
typ	NPN
I <sub>c</sub>	15 A
U <sub>ce0</sub>	230 V
h <sub>21E</sub>	55 – 160

Pokud uvažujeme nejnižší možnou hodnotu zesílení, musí do báze transistoru téct alespoň:

$$I_{bmin} = \frac{3\,000\,mA}{55} \doteq 55\,mA$$

Počítal jsem opět s hodnotou  $3\times$  větší, aby sepnutí bylo dokonalé, tedy se 165 mA. Přes rezistor R1 musí do báze T1 téct tento proud. Napětí mezi bází a emitorem sepnutého T1 je opět 0,7 V. Odpor R1 je:

$$R1 = \frac{12\text{ V} - 0,7\text{ V}}{165\text{ mA}} \doteq 68\ \Omega$$

Ze zmíněných důvodů bylo schéma doplněno o tranzistor T2. Jedná se o stejný tranzistor, jaký byl použit ve spínacím obvodu čerpadla.

*Tab. 5: Přehled parametrů tranzistoru T2 [6]*

označení	BC337-25
typ	NPN
Ic	0,8 A
Uce0	45 V
h21E	160 – 400

Při sepnutí musí přes T2 téct zmíněných 165 mA.

$$I_{bmin} = \frac{165\text{ mA}}{160} \doteq 1\text{ mA}$$

Zvolen byl opět trojnásobek – 3 mA. Postup výpočtu R2 je totožný jako v předchozím postupu.

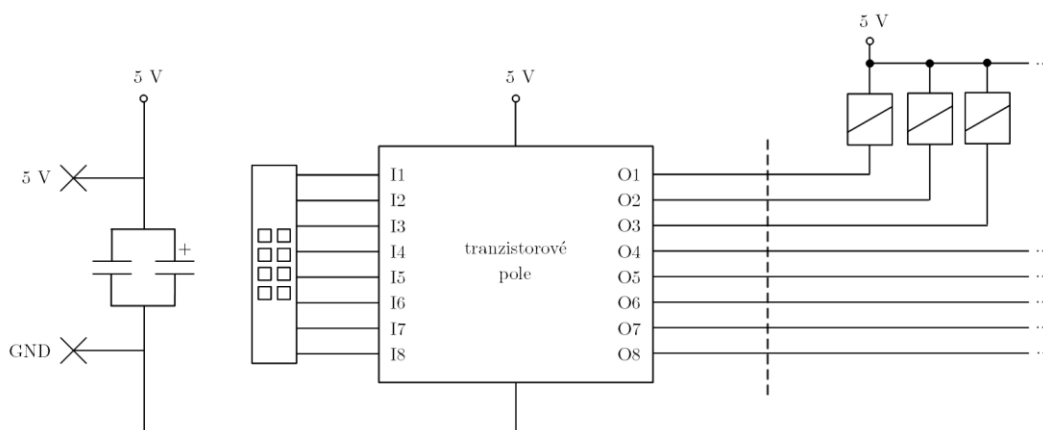
$$R2 = \frac{5\text{ V} - 0,7\text{ V}}{3\text{ mA}} \doteq 1\,433\ \Omega$$

Byla zvolena nejbližší hodnota, tedy 1k3.

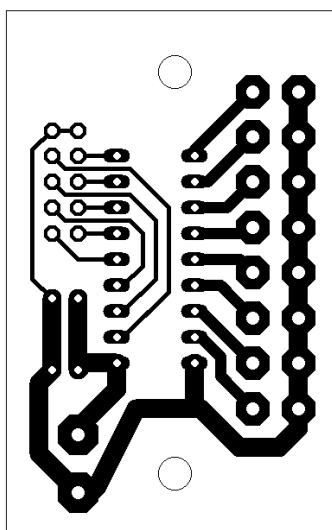
Dále byl osazen rezistor R2, který spolehlivě uzavře tranzistor T1. Na jeho přesné hodnotě až tolik nezáleží – zapojen byl rezistor 3k3.

### 4.3 Spínací obvody elektromagnetů

Jak bylo řečeno výše, signály z posuvných registrů jsou vedeny po osmi plochým kabelem ke spínacím obvodům. Každý kabel je přiveden k samostatnému plošnému spoji, který spíná osm elektromagnetů. Plošný spoj byl opět navržen v programu *Eagle* a vyroben odbornou firmou.



Obr. 27: Schéma spínání elektromagnetů



Obr. 28: Návrh plošného spoje spínajícího elektromagnety

Místo řízení každého elektromagnetu zvláštním tranzistorem, jsem zvolil řízení pomocí integrovaného obvodu – tranzistorového bipolárního pole. Osazování všech součástek spínače na plošný spoj – kromě tranzistorů i ochranných diod a rezistorů – by bylo časově a finančně náročnější, stejně tak i velikost plošného spoje by musela být větší. Integrovaný obvod všechny potřebné prvky obsahuje.

Tab. 6: Přehled parametrů tranzistorového pole [8]

označení	ULN2803A
V <sub>in</sub>	30 V
V <sub>out</sub>	50 V
I <sub>in</sub>	25 mA
I <sub>out</sub>	500 mA

Spínač obsahuje 8× stejný obvod, který využívá Darlingtonova zapojení. Jedná se o dva za sebou zapojené tranzistory, díky čemuž má zapojení vyšší proudové zesílení, než samotný tranzistor.

Zapojení bylo tedy podstatně jednodušší. Tranzistorové pole je kompatibilní s TTL logikou, kterou využívají posuvné registry, a díky tomu stačilo pouze přivést výstupy PO na vstupy spínacího integrovaného obvodu. Na jeho výstupy jsou přímo připojeny elektromagnety.

Kromě signálů je na plošný spoj samostatnými vodiči přivedeno ještě napětí 5 V. Mezi napětí a zem byly zapojeny paralelně dva kondenzátory – keramický a elektrolytický – které vyhlazují případné špičky vznikající spínáním a rozepínáním elektromagnetů.

#### 4.4 Zdroj napětí

V zařízení je třeba napětí jak 5 V, tak i 12 V, proto byl zvolen počítačový zdroj, který obě napětí poskytuje. Také jeho cena je nižší než jiného – například průmyslového – zdroje o stejném výkonu. Použil jsem zdroj o celkovém výkonu 350 W. Rozložení výkonu zdroje mezi jednotlivá napětí je shrnuto v tabulce 7.

Tab. 7: Maximální výstupní proudy zdroje

3,3 V	24 A
5 V	35 A
12 V	16 A
-5 V	0,5 A
-12 V	0,8 A

Z napětí, která poskytuje zdroj, zařízení využívá pouze 5 V a 12 V. Napětí 5 V využívá řídicí obvod, jehož proudový odběr však není příliš vysoký, a elektromagnety. Každý z nich odebírá 200 mA – celkem tedy necelých 21 A. Zdroj tuto zátěž s rezervou zvládá. Napětí 12 V napájí LED pásy, které odebírají 3 A, a čerpadlo s odběrem 8 A. Celkem tedy 11 A – opět zdroj proud s rezervou dodá.

## 5 SOFTWARE

### 5.1 Řídící program displeje

#### 5.1.1 Vykonávané činnosti

Software zařízení nahraný do *Arduina* zajišťuje čtení dat z SD karty a modulu reálného času, ovládání jednotlivých ventilů, čerpadla a světel. Struktura programu může být různá – jedna z možností je obrazce prokládat každou minutu zobrazením aktuálního času. Popisu této varianty se budu věnovat dále. Další funkcí je nastavení času spouštění a vypínání zařízení. Toto řešení je vhodné například pro školy – doby, kdy je zařízení v provozu, jsou nastaveny na přestávky.

#### 5.1.2 Knihovny

Pro čtení dat z SD karty program využívá knihovnu *SPI.h*, která zajišťuje komunikaci pomocí rozhraní SPI se slotem pro SD kartu, a knihovnu *SD.h*, která obsahuje funkce potřebné ke čtení dat. Pro správnou funkci modulu reálného času je nutné připojit knihovnu *Wire.h*, která opět obstarává komunikaci s periferií tentokrát přes rozhraní I<sup>2</sup>C, a knihovnu *DS3231.h*, která data z modulu čte. Sériové vysílání dat do posuvných registrů není řešeno pomocí zvláštní knihovny, protože se nejedná o nijak zvlášť složitou operaci.

#### 5.1.3 Data na SD kartě

Veškeré informace o přehrávaných obrazcích jsou uloženy na SD kartě. Na kartě jsou uloženy textové soubory. Hlavní soubor, který se jmenuje „časy.txt“ obsahuje informace, kdy se má v jaký den zařízení spouštět. Každý den v týdnu je reprezentován jedním řádkem, který obsahuje střídavě čas spuštění a čas ukončení. Časy jsou zaznamenány ve formátu počet minut od půlnoci.

**po 480 540 600 660**

**ut 420 480 780 900**

.

.

Další soubory obsahují data o obrazcích, které zařízení zobrazuje – každý soubor reprezentuje jeden obrazec. Soubory jsou pojmenovány čísly, protože přístup k takto pojmenovaným souborům je přehlednější. Každý z nich je tvořen posloupností znaků „0“, „1“ a „x“. Nula znamená zavřený, jednička otevřený ventil a „x“ konec řádku



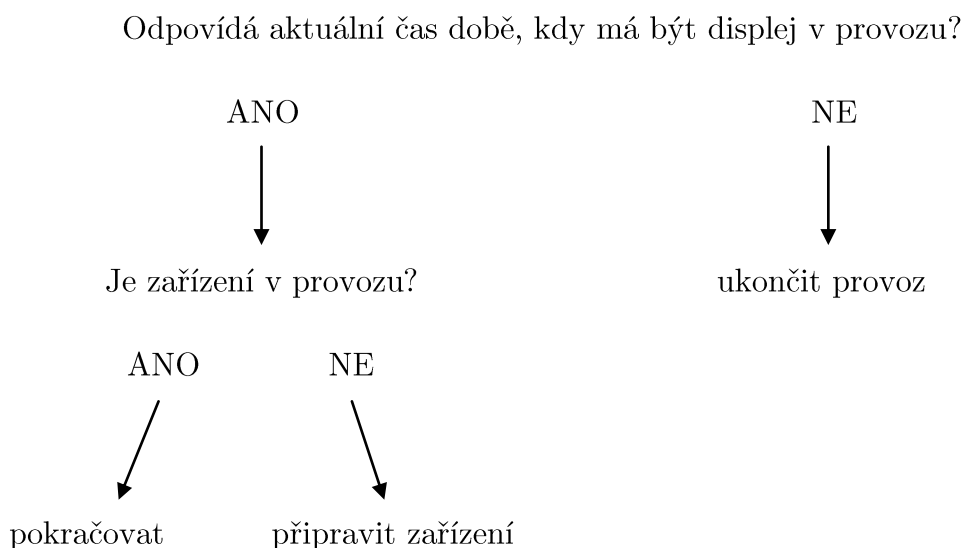
obrazce. Tento ukončující znak není nutný, je použit pro případ, že selže čtení z SD karty, aby nedošlo k posunutí obrazce. Textové soubory „0.txt“ až „9.txt“ obsahují data umožňující zobrazit číslice 0 až 9. Další soubory pak ostatní obrazce – například geometrické tvary, loga, nápisy a další.

#### 4.2.4 Struktura programu

Po spuštění zařízení je vždy zavolána funkce `void setup()`, která provede potřebná nastavení před spuštěním provozu, a funkce `void loop()`, která se stále opakuje a zajišťuje řízení celého zařízení.

Ve funkci `void setup()` dojde k nastavení pinů *Arduina*. Jako výstupné jsou deklarovány piny 10 a 8, které ovládají posuvné registry, pin 7 spínající LED osvětlení a pin 6 spínající čerpadlo. Ostatní piny zajišťující SPI a I<sup>2</sup>C komunikaci jsou deklarovány v příslušných funkcích knihoven, které komunikaci obstarávají. Dále jsou zahájeny komunikace s periferiemi a je vytvořeno pole `easyProvozu`, do kterého jsou načtena data ze souboru „easy.txt“. Nakonec je vytvořeno druhé pole `obrazce`, které obsahuje jména jednotlivých obrazců uložených na SD kartě a je zavolána funkce, která prvky pole náhodně přehází – `void losovani()`. Aby chod displeje nebyl pokaždé stejný.

Po provedení funkce `void setup()` pokračuje program funkcí `void loop()`. Na začátku každého opakování této funkce dochází k načtení času z modulu a jeho porovnání s daty v poli `easyProvozu`. Důležitá je zde i proměnná `bool stavZarizeni` – pokud je její hodnota `true` zařízení je v provozu, pokud `false` není. Porovnávání probíhá takto:



Pokud je vyhodnoceno, že má být provoz ukončen, je zavolána funkce **void konec()**. Dojde k odpojení čerpadla a LED osvětlení od napájení. Voda, která zůstala v nádrži, pak samovolně vytéká z trysek, proto jsou všechny elektromagnety na dobu 20 sekund sepnuty, aby došlo k odchýlení nekoordinovaně vytékající vody. Na konec je do proměnné **stavZarizeni** vložena hodnota false.

Když je zjištěna nutnost přípravy zařízení, funkce **void priprava()** zajistí sepnutím čerpadla a tím naplnění horní nádrže. Po dobu čerpání jsou opět všechny proudy vychýleny, jelikož při nízkém tlaku v nádrži voda také vytéká nerovnoměrně. Poté je sepnuto LED osvětlení a hodnota proměnná **stavZarizeni** změněna na true.

V případě, že má provoz pokračovat je zavolána funkce **void provoz()**. Tato funkce zobrazí tři obrazce – každý trvající 17 sekund – a poté zobrazí aktuální čas. V globální proměnné **int poradi** je uložen index obrazce z pole **obrazce**, který má být zobrazen. Je zavolána funkce **void zobrazTvar(int)**. Jako parametr je do funkce vloženo číslo obrazce, který má být zobrazen. Po vykonání funkce je proměnná **poradi** navýšena o jedna. Pokud už program dojde na konec pole a není kam dále navyšovat, je znovu zavolána funkce **void losovani()** a do proměnné opět vložena nula. Příslušný soubor obrazce je podle parametru otevřen a je zahájeno čtení. Po každém načteném znaku „0“ nebo „1“ je do proměnné **bool hodnota** vloženo true nebo false – podle načteného znaku – a je daný bit odvíšlán do posuvných registrů.

```
digitalWrite (10, hodnota);    //pin data
delayMicroseconds (10);      //časová prodleva
digitalWrite (8, HIGH);      //vzestupná hrana na hodinovém pinu
                              dochází k přenesení dat
delayMicroseconds (10);
digitalWrite (8, LOW);       //návrat hodinového pinu zpět
delayMicroseconds (10);
```

Pokud čtecí cyklus narazí na znak „x“, dojde k ukončení cyklu. Celý řádek dat je na elektromagnety přenesen velmi rychle – asi za 4 ms. Poté je zařazena prodleva 50 ms – voda vytéká a tvoří jeden řádek obrazce. Pak přejde program na další řádek souboru a čtení probíhá dále. Řádky jsou vykreslovány, dokud neuběhne 17 sekund, čas určený pro jeden obrazec. Funkce **void zobrazTvar(int)** probíhají 3× za sebou, uběhne tedy 51 sekund a je zavolána funkce **void zobrazCas()**, která zbylých 9 sekund zobrazuje aktuální čas. Nejprve tedy dojde k načtení dat z modulu reálného času a poté probíhá podobný čtecí cyklus jako u předchozí funkce, s tím rozdílem, že

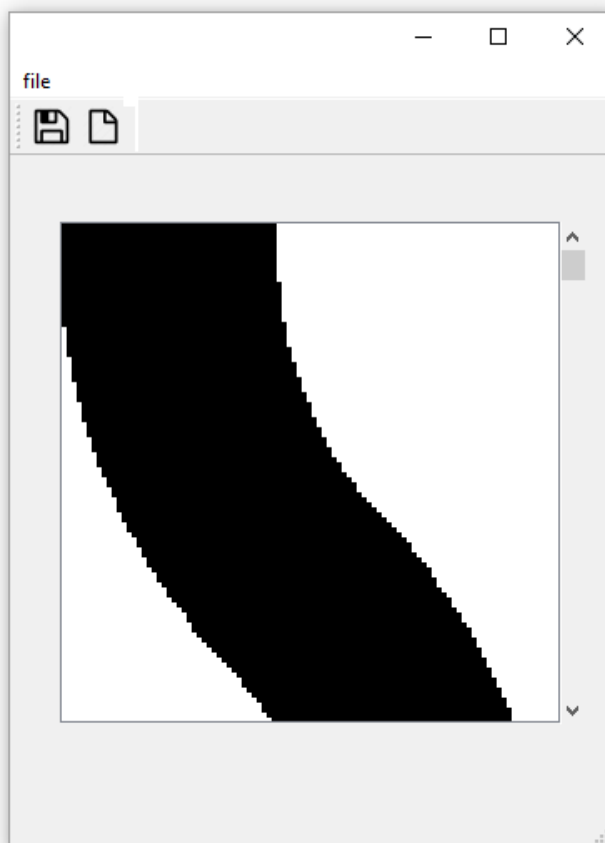
program musí přepínat mezi čtením různých souborů – různých číslic – protože číslice jsou zobrazeny vedle sebe a ne pod sebou.

Po vykonání jedné z funkcí `void konec()`, `void priprava()` nebo `void provoz()` se program opět vrací na začátek funkce `void loop()` a větvení probíhá znovu.

## 5.2 Aplikace pro tvorbu obrazců

### 5.2.1 Funkce aplikace

Aplikace umožňuje nahrát obrázek, který budeme chtít zobrazit, a zpracovat ho do podoby textového souboru, který je pak možné uložit na SD kartu displeje. Ovládání probíhá jednoduše pomocí ikon – vytvoření nového obrázku a uložení obrázku v podobě textového souboru.



*Obr. 29: Okno aplikace*

K vytvoření této aplikace bylo využito prostředí QT Creator, které umožňuje jednoduchou tvorbu multiplatformních okenních aplikací.

## 5.2.2 Knihovny

Vedle běžných knihoven byly v programu použity jednak knihovny pro zpracování obrázků a práci s barvami jednotlivých pixelů – *QPixmap*, *QImage* a *QRgb* – a dále knihovny k práci s textovými soubory *QFile* a *QFileDialog*.

## 5.2.3 Zpracování obrázku

Po stisknutí ikony „nový obrázek“ (klávesová zkratka Ctrl+N) se spustí funkce, která si nejdříve pomocí okna z knihovny *QFileDialog* vyžádá od uživatele cestu k obrázku na disku. Poté obrázek dané cesty uloží do globální proměnné **QImage obrazek**.

Poté je spuštěna funkce **void nastaveniPosuvniku()**, která podle výšky obrázku nastaví rozsah posuvníku, umístěného vedle náhledu obrázku, který slouží k jeho posouvání v případě, že je příliš vysoký.

Dále je spuštěna funkce **QImage zpracovatObrazek()**, která nejdříve upraví rozlišení obrázku tak, aby odpovídalo počtu ventilů displeje – tedy 104 – dále změní barvu každého pixelu obrázku na černou (otevřený ventil) či bílou (zavřený) podle toho, zda je intenzita barvy daného pixelu vyšší či nižší než průměrná hodnota. Funkce pak vrací zpracovaný obrázek.

Funkce **void zobrazitNahled(QImage)** zobrazí do vymezeného čtverce upravený obrázek, který získá jako parametr. Pokud je obrázek příliš vysoký, má po úpravě rozlišení například 104 krát 300 pixelů, a nevejde se tedy do čtvercového zobrazovacího pole, je zobrazen pouze výřez 104 krát 104 pixelů (bráno od bodu [0; hodnota posuvníku]). Pokud bude uživatel posouvat posuvníkem, bude se měnit výřez, který se zobrazí – obrázek se bude tedy posunovat. Proto je poté, co je obrázek nahrán, nutné, podle rozlišení obrázku, rozsah posuvníku nastavit – v případě tohoto obrázku na rozsah od 0 do 196. Pokud uživatel posune posuvníkem, je opět zavolána funkce **void zobrazitNahled(QImage)**, která zobrazí jiný výřez obrázku podle nové hodnoty posuvníku. Nepotřebný posuvník – v případě, že se obrázek celý do prostoru vejde – je na konci funkce zablokovaný.

## 5.2.4 Uložení souboru

Klávesovou zkratkou Ctrl+S nebo ikonou „uložit“ se spustí funkce, která pomocí funkce z knihovny *QFileDialog* zobrazí okno sloužící k výběru složky na disku,

kam má být soubor uložen. Dále si od uživatele vyžádá jméno, pod kterým má být soubor uložen, vytvoří textový soubor s daným jménem a zapíše do něj jednotlivé řádky obrazce.

## 6 ZÁVĚR

V úvodu této práce jsem si dal za cíl, vymyslet a zrealizovat vodní displej tak, aby cena i náročnost výroby byla co možná nejnižší oproti průmyslově vyráběným displejům. Nakonec jsem po testování několika různých prototypů došel k přijatelnému řešení a na jeho základě zkonstruoval celé zařízení. Princip je poměrně jednoduchý a cena také mnohonásobně nižší. Myslím si tedy, že zařízení splňuje podmínky, které jsem si vytyčil před začátkem práce.

Ve zdokonalování zařízení však budu nadále pokračovat, displeji je totiž možné přidávat další funkce, které by mohly zvýšit jeho efektnost, jako například pracovat s nasvícením displeje či hudebním doprovodem. Samotný vodní displej, který během práce vznikl, bych rád instaloval, aby mohl plnit svůj účel – pravděpodobně v budově gymnázia Kpt. Jaroše.

## 7 POUŽITÉ ZDROJE

- [1] Anon. Výpočet tlakové ztráty třením v potrubí. *Tzbinfo* [online]. [cit. 2016-12-20].  
Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/87-vypocet-tlakove-ztraty-trenim-v-potrubi>
- [2] Anon. Arduino Pro Mini. *Arduino* [online]. [cit. 2016-11-05].  
Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardProMini>
- [3] Anon. SPI library. *Arduino* [online]. [cit. 2016-11-30].  
Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/reference/SPI>
- [4] Anon. I<sup>2</sup>C. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-11-30].  
Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>
- [5] Anon. Parallel-in, Parallel-out, Universal Shift Register. *All about circuits* [online]. [cit. 2016-12-05].  
Dostupné z: <http://www.allaboutcircuits.com/textbook/digital/chpt-12/parallel-in-parallel-out-universal-shift-register/>
- [6] Motorola. BC337-25 Datasheet. *Alldatasheet* [online]. [cit. 2017-01-06].  
Dostupné z: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/2888/MOTOROLA/BC337-25.html>
- [7] Toshiba Semiconductor. 2SC5200 Datasheet. *Alldatasheet* [online]. [cit. 2017-01-06].  
Dostupné z: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/30356/TOSHIBA/2SC5200.html>
- [8] ON Semiconductor. ULN2803 Datasheet. *Alldatasheet* [online]. [cit. 2017-01-07].  
Dostupné z: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/12687/ONSEMI/ULN2803.html>

## 8 POUŽITÝ OBRAZOVÝ MATERIÁL

Veškeré nákresy a fotografie použité v této práci pochází z archivu autora.

## 9 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1: Vodní displej v chodu	8
Obr. 2: Nákres ventilu stlačujícího hadičku proti plíšku	9
Obr. 3: Vyrobené ventily stlačující hadičku proti plíšku	10
Obr. 4: Nákres ventilu stlačujícího hadičku mezi dráty	11
Obr. 5: Vyrobené ventily stlačující hadičku mezi dráty	11
Obr. 6: Nákres ventilu vychylujícího proud vody elektrickým polem	12
Obr. 7: Projev Coandova efektu	13
Obr. 8: Nákres ventilu vychylujícího proud vody pomocí Coandova efektu	14
Obr. 9: Vychylování proudu vody pomocí Coandova efektu	14
Obr. 10: Roztrhání proudu vody	16
Obr. 11: Nákres vodního displeje (1 : 15)	17
Obr. 12: Nákres vodního displeje po odstranění krytu a černé fólie (1 : 15)	18
Obr. 13: Nákres vodního displeje z boku (1 : 13)	19
Obr. 14: Řez hlavním panelem (1 : 1,6)	20
Obr. 15: Uspořádání elektromagnetů vedle sebe	21
Obr. 16: Obvod spínající osmici elektromagnetů	22
Obr. 17: Řez spodní nádrží (1 : 6)	23
Obr. 18: Schéma elektrických rozvodů ve vodním displeji	26
Obr. 19: Návrh plošného spoje řídicího obvodu	27
Obr. 20: Osazený plošný spoj umístěný do krabičky	28
Obr. 21: Schéma propojení SD modulu s Arduinem	29
Obr. 22: Schéma propojení modulu reálného času s Arduinem	30
Obr. 23: Vnitřní schéma posuvného registru	31
Obr. 24: Schéma řetězení posuvných registrů	31
Obr. 25: Schéma spínání čerpadla	32
Obr. 26: Schéma spínání LED pásků	34
Obr. 27: Schéma spínání elektromagnetů	36
Obr. 28: Návrh plošného spoje spínajícího elektromagnety	36
Obr. 29: Okno aplikace	42
Tab. 1: Přehled základních parametrů elektromagnetů	22
Tab. 2: Přehled základních parametrů Arduina pro mini	28
Tab. 3: Přehled parametrů tranzistoru T1	33
Tab. 4: Přehled parametrů tranzistoru T1	34
Tab. 5: Přehled parametrů tranzistoru T2	35
Tab. 6: Přehled parametrů tranzistorového pole	37
Tab. 7: Maximální výstupní proudy zdroje	37