



# Řídicí systém pro měření hydro-propustnosti stavebního kompozitu

## Diplomová práce

*Studijní program:*

N3957 Průmyslové inženýrství

*Studijní obor:*

Produktové inženýrství

*Autor práce:*

**Bc. Michal Klaban**

*Vedoucí práce:*

doc. Ing. Ludmila Fridrichová, Ph.D.

Katedra hodnocení textilií





## Zadání diplomové práce

# Řídicí systém pro měření hydro-propustnosti stavebního kompozitu

*Jméno a příjmení:* **Bc. Michal Klaban**  
*Osobní číslo:* T17000311  
*Studijní program:* N3957 Průmyslové inženýrství  
*Studijní obor:* Produktové inženýrství  
*Zadávací katedra:* Katedra hodnocení textilií  
*Akademický rok:* **2017/2018**

### Zásady pro vypracování:

1. Provedte rešerši na téma hydro-propustnost materiálů, popište fyzikální podstatu propustnosti.
2. Vyhledejte, jaké se používají měřicí metody a přístrojová technika. Vyhledejte a popište vhodné komponenty, které použijete v návrhu řídicího systému.
3. Navrhněte řídicí systém měření hydro-propustnosti pro gravimetrickou metodu ve dvou variantách, tj. váha se sériovým portem a hmotnostní senzor pro platformu Arduino. Vytvořte řízení přístroje v programu LabView a v programu Arduino.
4. Vytvořte manuál pro obsluhu řídicího systému, včetně popisu, chyb se kterými se může uživatel při obsluze setkat.
5. Porovnejte oba řídicí systémy, z hlediska přesnosti měření, zhodnoťte výhody a nevýhody včetně uživatelské přívětivosti. Zhodnoťte navržené řídicí systémy z hlediska ekonomického.

*Rozsah grafických prací:*  
*Rozsah pracovní zprávy:*  
*Forma zpracování práce:*  
*Jazyk práce:*

50 – 60 stran  
tištěná/elektronická  
Čeština



### **Seznam odborné literatury:**

[1] CAO, Chong. Transient surface permeability test: Experimental results and numerical interpretation. *Construction and Building Materials* [online]. 2017, 138, 496-507. ISSN 09500618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.02.024

[2] HELSON, Olivier, Javad ESLAMI, Anne-Lise BEAUCOUR, Albert NOUMOWE a Philippe GOTTELAND. Hydro-mechanical behaviour of soilcretes through a parametric laboratory study. *Construction and Building Materials* [online]. 2018, 166, 657-667. ISSN 0950-0618. Dostupné z: doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.01.177

*Vedoucí práce:* doc. Ing. Ludmila Fridrichová, Ph.D.  
Katedra hodnocení textilií

*Datum zadání práce:* 16. března 2018  
*Předpokládaný termín odevzdání:* 18. dubna 2019

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.  
děkanka

L.S.

doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.  
vedoucí katedry

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS/STAG se shodují.

7. ledna 2020

Bc. Michal Klaban

## **Poděkování**

Rád bych na tomto místě poděkoval vedoucí diplomové práce doc. Ing. Ludmile Fridrichové, Ph.D. za motivaci a veškeré vynaložené úsilí k realizaci celého projektu. Děkuji také Ing. Miroslavu Frydrychovi za pomoc při vývoji a testování systému. V neposlední řadě patří poděkování mé rodině za veškerou podporu.

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá vytvořením systému řízení pro měření hydro-propustnosti stavebního kompozitu. Řídicí systém je realizován pomocí platformy Arduino s programem vytvořeným ve vývojovém prostředí LabView a Arduino IDE.

Práce zahrnuje popis fyzikální podstaty propustnosti a aktuální dostupné metody pro měření hydro-propustnosti. Další část se zabývá platformou Arduino, jejím základním využitím a možnostmi propojení s vývojovým prostředím LabView. Dále jsou v práci popsány jednotlivé komponenty potřebné pro realizaci systému řízení a základní princip jejich řízení přes platformu Arduino a LabView.

Diplomová práce je dále dělena na tři základní etapy. Jedná se o vývoj systému na prvním prototypu, druhém prototypu a konečný vytvořený systém řízení.

V rámci prvního prototypu je popsán základ systému řízení, připojení jednotlivých komponent, ovládání pomocí otočného tlačítka a displeje programovaného v Arduino IDE. Dále je možné ovládání pomocí aplikace pro počítač, naprogramované v prostředí LabView, kde je možné měřit na komerční váze KERN. V rámci druhého prototypu došlo hlavně ke změně ovládání přes LabView a zdvojení systému prvního prototypu. Pro měření váhy jsou použity váhové senzory. Je tedy možné spustit dvě měření zároveň.

Závěrečná část práce se zabývá konečnou podobou systému řízení a vizuální podobou pro uživatele.

Výsledkem práce je funkční řídicí systém pro měření hydro-propustnosti až čtyř vzorků stavebního kompozitu. Systém zaznamenává výsledek měření do externího souboru. V rámci ovládání přes počítač umožňuje uživateli základní nastavování chování systému jako je doplňování vody pro udržení konstantního vodního sloupce, odčerpání vody z nádob nad váhovými senzory při dosažení určité váhy nebo zapnutí čerpadel uživatelem.

### **Klíčová slova:**

Arduino, LabView, automatizace, hydro-propustnost, váha KERN.

## **Abstract**

This thesis is focused on creating control system for measuring hydro-permeability of building composite. The control system is realized through Arduino platform and it's program was created in LabView and Arduino IDE programming environments.

This thesis includes description of physics principle of permeability and currently available methods for measuring the hydro-permeability. The next part is focused on the Arduino platform, it's basic usage and the possibility of connection to the LabView programming environment. After that the thesis contains description of each of the parts needed for the realization of the controlling system along with basic principles of how to control them through the Arduino platform and LabView.

The thesis is afterwards divided in three main phases. They are: development of the first prototype, development of the second prototype and final controlling system.

In the development of the first prototype phase is the description of the control system basis, connection of each of the components, control with the rotary button and display controlled through Arduino IDE. After that comes how to control it through application for computer programmed in the LabView programming environment, which allows the possibility to measure with the commercial scale from KERN.

The development of the second prototype is mainly about the change of control through the LabView and adding a second system to the first prototype. For measuring the weight there are now used weight sensors instead of the scale. Thanks to which it is possible to proceed with two measurings at once.

The final phase is focused on final concept of the control system and visual interface for the user.

The result of this thesis is functional control system for measuring hydro-permeability up to four samples of building composite. The system saves the results to external file. The user interface on the computer enables the user to set up some basic behavior of the system, for example the refilling of water to secure the constant water column, drainage of the water from containers above the weight sensors after reaching certain weight or turning on of the pumps by the user.

### **Key words:**

Arduino, LabView, automation, hydro-permeability, scale KERN.

# Obsah

Seznam použitých zkratk a značek .....	11
Seznam obrázků.....	13
Seznam tabulek .....	15
Seznam zdrojových kódů.....	16
1 Úvod.....	17
2 Hydro-propustnost materiálů .....	18
2.1 Difuze vody v pórech .....	20
2.2 Propustnost vody v pórech.....	20
2.3 Absorpce, sorptivita a kapilární sorpce vody.....	21
3 Měřicí metody a přístroje pro měření hydro-propustnosti.....	22
4 Navrhnuté komponenty pro systém řízení .....	25
4.1 Platforma Arduino.....	25
4.2 Záznam objemu proteklé vody.....	28
4.2.1 Váha KERN .....	29
4.2.2 Hmotnostní senzor .....	30
4.2.3 AD převodní HX711 .....	31
4.3 Zajištění konstantní hladiny vody a její koloběh v systému .....	32
4.3.1 Čerpadlo BARWIG typ 04 .....	32
4.3.2 Spínání čerpadel.....	33
4.3.3 Plovák .....	35
4.3.4 Motorizovaný kulový ventil G3/4“ DN20 12VDC CR01 .....	36
5 První prototyp zařízení.....	37



5.1	Propojení komponent prototypu.....	38
5.2	GUI pro prototyp ve vývojovém prostředí LabView.....	38
5.2.1	Záložka Arduino .....	39
5.2.2	Záložka Váha Int1 .....	41
5.2.3	Záložka Váha externí .....	43
5.2.4	Záložka Logika .....	44
5.2.5	Záložka PRG.....	45
5.3	Program a GUI prototypu ve vývojovém prostředí Arduino IDE.....	46
5.3.1	Chování Arduina po zapnutí do napájení .....	47
5.3.2	Vykreslování na displej .....	48
5.3.3	Kalibrace váhy .....	53
5.3.4	Ukládání dat na kartu.....	55
5.3.5	Detekce otočení rotačním tlačítkem .....	56
5.3.6	Ovládání spínání čerpadla.....	57
6	Druhý prototyp systému.....	58
6.1	GUI Záložka Nastavení.....	58
6.2	GUI Záložka Váha .....	61
7	Systém měření hydro-propustnosti – fyzický model .....	62
7.1	Napájení komponent .....	63
7.2	Zapojení komponent.....	64
7.3	Použité komponenty a jejich cena.....	65
8	Systém pro měření hydro-propustnosti – SW LabView .....	66
8.1	Programové propojení Arduino IDE a LabView .....	66

8.1.1	Stažení programu pro komunikaci s LabView .....	66
8.1.2	Úprava staženého programu pro Arduino s váhovým senzorem .....	69
8.2	Program v LabView .....	72
8.2.1	Příklad příkazu pro přečtení hmotnosti přes sériovou komunikaci .....	72
8.2.2	Příklad podprogramu pro ovládání čerpadla.....	73
9	GUI pro systém měření hydro-propustnosti v LabView .....	76
9.1	Záložka Nastavení .....	76
9.2	Záložka Váha .....	79
10	Program a GUI ve vývojovém prostředí Arduino IDE.....	81
11	Příklad výsledku měření .....	82
12	Zhodnocení systémů .....	84
12.1	Výhody a nevýhody.....	84
12.2	Přesnost měření .....	85
12.3	Ekonomické hledisko .....	86
13	Závěr .....	87
	Seznam použité literatury .....	88
	Seznam příloh .....	90

## Seznam použitých zkratk a značek

C	- Koncentrace
PC	- Personal Computer – osobní počítač
USB	- Universal Serial Bus – univerzální sběrnice pro připojení periférií k PC
SW	- Software – počítačový program
HW	- Hard Ware – fyzické komponenty
GUI	- Graphical user interface – Grafické uživatelské rozhraní na PC
MOSI	- „Master Out, Slave IN“ – Hlavní je výstupní signál
MISO	- „Master IN, Slave Out“ – Hlavní je vstupní signál
ICSP	- In-System Programming – programování logických obvodů
RS232	- Sériový port 232
EEPROM	- „Erasable Programmable Read-Only Memmory“ – elektricky vymazatelná paměť
SRAM	- „Static Random Access Memory“ – statická paměť pro dočasná data
OSB	- „Oriented strand board“ – lisovaná deska z velkoplošných třísek
LED	- „Light-Emitting Diode“ – elektroluminiscentní dioda
AC	- „Alternating Current“ – střídavý proud
DC	- „Direct Current“ – stejnosměrný proud

### Značka

### Jednotka

U	- napětí	- V	- volt
I	- proud	- A	- ampér
P	- výkon	- W	- watt

f	- frekvence	- Hz	- hertz
p	- tlak	- Pa / Bar	- pascal / bar
Q	- průtok	- l/h	- litr za hodinu
Ps	- výkon	- W	- watt
S	- plocha	- m <sup>2</sup>	- metr čtvereční
t	- teplota	- °C	- stupeň celsia
R	- odpor	- Ω	- ohm
C	- elektrická kapacita	- F	- farad
M	- hmotnost	- g	- gram

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Přístroj pro rtuťovou porozimetrii a zobrazení tlakové komory [4] [5].....	19
Obrázek 2: Difuze vody v pórech .....	20
Obrázek 3: Propustnost vody v pórech .....	21
Obrázek 4: Kapilární vztlínání vody .....	21
Obrázek 5: Laboratorní permeametr pro hydraulickou vodivost [6] .....	22
Obrázek 6: Schéma metody AUTOCLAM, a) upevnění patrony, b) ovládání [8].....	23
Obrázek 7: Přístroj Autoclam od firmy Amphora [9].....	24
Obrázek 8: Patrona do přístroje Autoclam od firmy Amphora [9].....	24
Obrázek 9: Arduino Mega - umístění pinů .....	27
Obrázek 10: Váha KERN 440 [12].....	29
Obrázek 11: Váhový senzor.....	30
Obrázek 12: Můstkové zapojení se vzorcem pro výčet napětí .....	30
Obrázek 13: AD převodník HX711 [14] .....	31
Obrázek 14: Čerpadlo Barwig typ 04 .....	32
Obrázek 15: Propojení Arduina a relé modulu .....	34
Obrázek 16: Funkce jazýčkového plováku .....	35
Obrázek 17: Motorizovaný kulový ventil s vratnou pružinou .....	36
Obrázek 18: Schéma základního fyzického návrhu prototypu pro měření.....	37
Obrázek 19: Zapojení prototypového řídicího systému.....	38
Obrázek 20: Prototyp program GUI - záložka Arduino .....	39
Obrázek 21: Prototyp program GUI - výběr portu a desky Arduino .....	39
Obrázek 22: Program GUI - Error při inicializaci .....	40

Obrázek 23: Prototyp program GUI - nastavení váhy .....	40
Obrázek 24: Prototyp program GUI - problikávání váhy .....	41
Obrázek 25: Prototyp program GUI - záložka Váha Int1 .....	42
Obrázek 26: Prototyp program GUI – ukládání dat.....	42
Obrázek 27: Prototyp program GUI – záznam dat .....	43
Obrázek 28: Uložená naměřená data .....	43
Obrázek 29: Prototyp program GUI - záložka Váha externí .....	44
Obrázek 30: Prototyp program GUI - záložka Logika .....	45
Obrázek 31: Prototyp program GUI - záložka PRG .....	46
Obrázek 32: Vzhled řídicího systému prototypu .....	46
Obrázek 33: Prototyp GUI - základní obrazovka .....	48
Obrázek 34: Prototyp GUI – menu .....	49
Obrázek 35: Prototyp GUI - nastavení času měření .....	50
Obrázek 36: Prototyp GUI - zapnutí zápisu na kartu.....	50
Obrázek 37: Prototyp GUI - hlavní obrazovka se zapnutým měřením.....	51
Obrázek 38: Prototyp GUI - kalibrace .....	53
Obrázek 39: Druhý prototyp - Program GUI - záložka Arduino .....	59
Obrázek 40: Druhý prototyp - Program GUI - Nastavení Arduina .....	60
Obrázek 41: Druhý prototyp - Program GUI – Záložka váha .....	61
Obrázek 42: Schéma základního návrhu pro měření .....	62
Obrázek 43: Zdroj AD 12 V ; 4,2 A .....	63
Obrázek 44: Zdroj AC 12V 16,6A.....	64
Obrázek 45: Hlavní rozvodná skříň .....	64

Obrázek 46: Základní okno JKI VI Package manager .....	67
Obrázek 47: JKI VI Package manager po zvolení balíčku .....	68
Obrázek 48: Nainstalovaný nástroj pro Arduino v programu LabView.....	69
Obrázek 49: Program GUI - záložka Arduino .....	76
Obrázek 50: Program GUI - výběr portu a desky Arduino.....	77
Obrázek 51: Program GUI - Error při inicializaci .....	77
Obrázek 52: Program GUI - Nastavení Arduina .....	77
Obrázek 53: Uložená naměřená data .....	79
Obrázek 54: Program GUI – Záložka váha .....	80
Obrázek 55: Program GUI - nové zobrazení hmotnosti .....	81
Obrázek 56: Program GUI - nastavení kalibrace.....	81
Obrázek 57: Grafy měření OSB desek .....	83

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Příklad hodnot Hydraulické vodivosti zeminy [7] .....	23
Tabulka 2: Parametry průtokoměru [11] .....	28
Tabulka 3: Propojení kontaktů relé modulu a Arduino Mega .....	33
Tabulka 4: Seznam použitých položek a jejich přibližné ceny.....	65
Tabulka 5: Uložená data na kartě z programu Arduina .....	82
Tabulka 6: Uložená data z programu LabView .....	82
Tabulka 7: Ukázka zpracovaných dat .....	83

## Seznam zdrojových kódů

Zdrojový kód 1: Ukázka manuální ovládnání relé modulu v programu LabView .....	34
Zdrojový kód 2: Podprogram čtení napětí plováku v programu LabView .....	36
Zdrojový kód 3: Prototyp programu Arduino IDE - inicializace.....	47
Zdrojový kód 4: Prototyp program Arduino IDE - hlavní smyčka.....	47
Zdrojový kód 5: Prototyp program Arduino IDE – část pro vykreslování displeje .....	51
Zdrojový kód 6: Prototyp program Arduino IDE - Základní obrazovka.....	52
Zdrojový kód 7: Prototyp program Arduino IDE - Kalibrace váhy .....	53
Zdrojový kód 8: Prototyp program Arduino IDE - Ukládání dat na kartu .....	55
Zdrojový kód 9: Prototyp program Arduino IDE - Detekce rotačního tlačítka.....	56
Zdrojový kód 10: Prototyp program Arduino IDE - Ovládnání spínání čerpadla .....	57
Zdrojový kód 11: Arduino IDE - přidání knihovny pro HX711 a definování vah.....	70
Zdrojový kód 12: Arduino IDE - volání funkce knihovny pro HX711 .....	70
Zdrojový kód 13: Arduino IDE - příklad příkazu přes sériovou komunikaci .....	71
Zdrojový kód 14: Arduino IDE - vložení nového příkazu od LabView.....	72
Zdrojový kód 15: LabView – program pro přečtení váhy .....	73
Zdrojový kód 16: LabView – program zpracování přečtené váhy .....	73
Zdrojový kód 17: Zapnutí/vypnutí hlavního čerpadla .....	75
Zdrojový kód 18: Uložení nastavení Arduina v XML.....	78



# 1 Úvod

Cílem práce je vytvořit plně funkční řídicí systém pro měření hydro-propustnosti stavebního kompozitu.

Hydro-propustnost se většinou vztahuje k měření proudění vody v různých typech půdy. Tato vlastnost se však dá měřit i na stavebních kompozitech, které jsou schopny propouštět vodu, přičemž zařízení, je schopné změřit hydro-propustnost různých kompozitů při dlouhodobém působení vody za stálého působení konstantního tlaku vody.

Komponenty pro řízení jsou vybírány s ohledem na nejnižší cenu. Díky tomu bylo pro ovládání systému zvolena platforma Arduino. Otevřenost této platformy umožňuje použití mnoha levných prvků, které se dají využít různými způsoby.

Pro ovládání systému uživatelem se dají použít klasická tlačítka, vícepolohové otáčkové přepínače, ale i komplikovanější ovládání přes dálkový ovladač, přičemž se cena vybraných ovládacích prvků pohybuje v řádech desítek korun. Pro řízení systému, který následně pracuje s vodou, se dá například využít plovák, ultrazvukový měřič vzdálenosti pro měření hladiny, světelné závory pro detekci vodní hladiny, čerpadlo, vlhkoměr a jiné.

Vývoj systému je rozdělen do tří základních fází, kde nejdříve probíhá testování komponent na prototypch a následně dojde k modifikaci na závěrečný řídicí systém.

První prototyp doprovází programování ve vývojovém prostředí Arduino IDE, které umožňuje nezávislost zařízení, a výstupní data jsou ukládána na paměťovou kartu. Druhým použitým vývojovým prostředím je LabView, které je více uživatelsky příjemné, ovšem je nutné mít k dispozici počítač s nainstalovaným programem a potřebnými ovladači zařízení. Návrh prototypu systému umožňuje měření na jedné externí váze KERN, nebo využít jeden váhový senzor připojený k řídicí desce Arduino. Pro udržení konstantní vodní hladiny je navržen jeden plovák s čerpadlem.

Druhý prototyp je díky příjemnější obsluze vyvíjen pouze v programovém prostředí LabView a umožňuje spuštění dvou měření zároveň.

Výsledný systém je navržen pro čtyři váhové senzory připojené k Arduino a koloběh vody je zajištěn pomocí pěti čerpadel a plovákem.

## 2 Hydro-propustnost materiálů

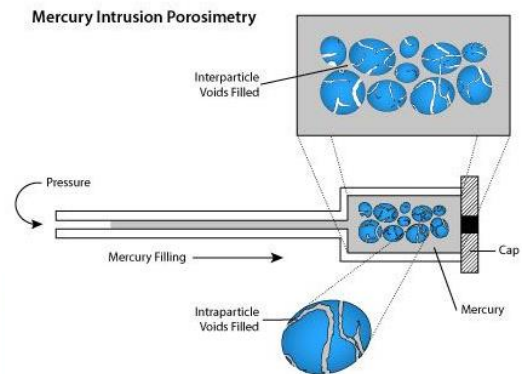
Možnost vody protékat materiálem je dána díky mezerám mezi částicemi, ze kterých je daný materiál složen. Například u sypkých materiálů určuje propustnost vody jemnost zrn, díky kterým vznikají mezery pro propouštění vody. U stavebních kompozitů se jedná o pórovou strukturu, která umožňuje průnik vody do pevného materiálu, popřípadě skrz materiál. Jedná se tedy o pórovité materiály, které jsou složeny z pevné látky neboli matrice a strukturou různě velkých a různě propojených pórů.

Struktura pórů souvisí se samotným průchodem kapalin a plynů pórovitých materiálů. Základní dělení pórů je na póry otevřené, které mohou být průchodné nebo neprůchodné, a póry uzavřené. Dělení pórů dle velikosti se liší podle typu odvětví často na makropóry (větší než 1  $\mu\text{m}$ ) a mikropóry (menší než 1  $\mu\text{m}$ ). Póry o velikostech větší než stovky mikrometrů jsou většinou považovány za vzduchové bubliny.

Pórovitost materiálu neboli porozita materiálu se dá určit jako poměr objemu celé porézní struktury v materiálu ku celkovému objemu materiálu. Jedná se o bezrozměrnou veličinu, která nabývá hodnot v intervalu od 0 do 1, popřípadě je vyjádřena v procentech. Vysoká pórovitost je například využita u izolačních materiálů, opakem pak mohou být kovové materiály, kde je pórovitost minimální.

Pro hydropropustnost materiálu jsou důležité póry, do kterých se vejdou molekuly vody, póry jsou otevřené a tvoří strukturu, přes kterou může voda procházet. Strukturu pórů neboli distribuci pórů je možné zjistit například rtuťovou porozimetrií. Jedná se o nejrozšířenější metodu pro určení distribuce pórů, která pod vysokým tlakem vyplňuje póry rtuť. Tato metoda se také nazývá „Mercury Intrusion Porosimetry“ neboli zkratkou „MIP“. Tlak, pod kterým je rtuť tlačena do materiálu, se pohybuje kolem 10  $\text{kN/mm}^2$  a dokáže vyplnit póry, které mají velikost od 2  $\mu\text{m}$  do 100  $\mu\text{m}$ . Jedná se ovšem o měření malých vzorků, které se musí vejít do tlakové komory, viz Obrázek 1. Při zvyšování tlaku se postupně vyplňují menší póry, díky čemuž je možné změřit celkovou poréznost, distribuci velikosti pórů a objem pórů.

[1] [2] [3]



Obrázek 1: Přístroj pro rtuťovou porozimetrii a zobrazení tlakové komory [4] [5]

Materiál používaný ve stavebnictví je často pórovitý z důvodu využívání přírodních materiálů, které mají přirozenou pórovitost, jako je beton nebo cihly. Opačným případem je použití materiálů s nízkou pórovitostí, jako například sklo, ocel nebo různé druhy plastů, kde se spíše zjišťuje mikropórovitost v úrovni molekul a krystalů. U těchto příkladů jsou póry spíše negativní vlastností a negativně ovlivňují vlastnosti materiálu, jako je například modul pružnosti, pevnost či tažnost. Naproti tomu je možné póry využít jako pozitivní efekt, kde díky zvyšování objemu pórovité struktury je možné dosáhnout lepších izolačních vlastností pomocí snížení celkové objemové hmotnosti materiálu, čímž je možné dosáhnout nízkého součinitele tepelné vodivosti neboli vysoký tepelný odpor.

Vlhkost v pórech je proměnlivá a mění se v závislosti na okolních podmínkách, což vede ke změnám vlastností materiálů a často k degeneračním procesům. Například destrukce pomocí rozpínání ledu nebo tvorba plísní a hub.

[2]

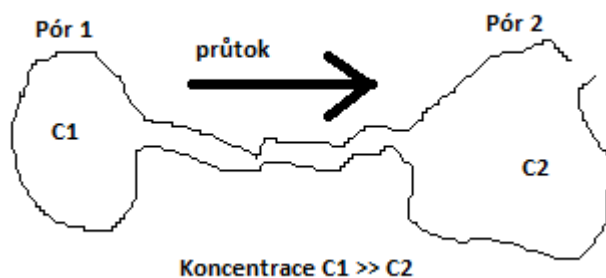
Cesta pro vstup vody do kompozitního materiálu je nejčastěji difúzí, propustností, absorpcí a kapilární sorpcí, což velice souvisí s tvarem pórů. Velice důležitý vliv mají technologické vlastnosti daného materiálu, jako je vodotěsnost, nasákavost, vzlinavost, vodotěsnost nebo hydrofobnost.

[1]

## 2.1 Difuze vody v pórech

Jedná se o transport molekul vody ve vzduchem vyplněných pórech a kanálcích materiálu, kde póry s větší koncentrací vody pomocí koncentračního gradientu mají tendenci vyrovnat koncentraci vody s propojeným pórem, viz Obrázek 2. Často se odehrává na vrstvě, která je v kontaktu se vzduchem kde vlhkost ve vzduchu má tendenci vyrovnávat koncentraci vodních par ve vzduchu a v pórech na povrchu materiálu.

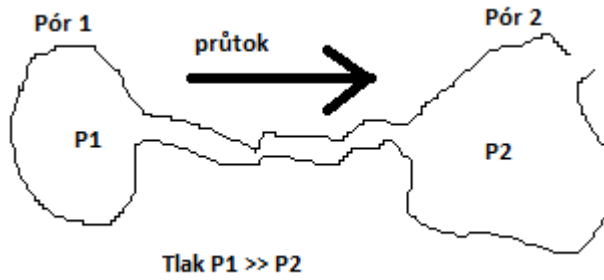
[1]



Obrázek 2: Difuze vody v pórech

## 2.2 Propustnost vody v pórech

Podobně jako v předchozím případě se jedná o transport vody v pórech, ovšem vlivem rozdílu tlaku ve dvou propojených pórech, neboli propustnost vyjadřuje míru snadnosti pronikání vody do pórů vlivem tlaku, viz Obrázek 3.



Obrázek 3: Propustnost vody v pórech

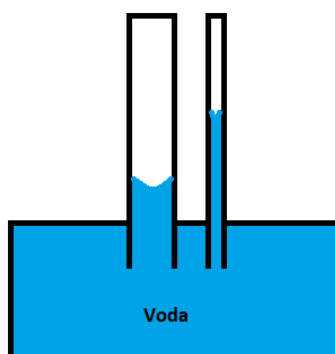
[1]

### 2.3 Absorpce, sorptivita a kapilární sorpce vody

Při absorpci proniká voda do otevřených pórů bez tlaku a snaží se je vyplnit.

Sorptivita je množství absorbované vody na plochu.

Kapilární sorpce je jev, který vlivem kapilárních a sorpčních sil transportuje vodu soustavou kapilárních kanáleků, díky čemuž se hladina vody v materiálu může zvyšovat. Čím jsou kapiláry užší, tím výše může hladina stoupnout, viz Obrázek 4. Tento jev nastává díky povrchovému napětí vody a je možné ho zpozorovat například u staveb se špatně odizolovaným podlažím, kde je vidět pronikání vody betonem ze spodní části nahoru.



Obrázek 4: Kapilární vztlínání vody

[1]

### 3 Měřicí metody a přístroje pro měření hydro-propustnosti

Příklad hodnot hydro-propustnosti viz Tabulka 1.

Pro měření hydro-propustnosti slouží například laboratorní permeametr UMS KSAT viz Obrázek 5. Tento přístroj se dá připojit pomocí USB k PC a má vlastní SW pro vyhodnocení pomocí Darcyho zákona.

Dle návodu se vloží váleček zeminy do připravené nádoby a pomocí vertikálně umístěné trubice působí ze spodní části na zeminu tlak vody. Tento přístroj dokáže využít až 5 litrů objemný barel vody s působícím tlakem přibližně 12kPa. [6]

Jelikož se tento princip dá využít i na jiné materiály, nejspíš by se dala hydro-propustnost tímto přístrojem měřit i pro pevné materiály.

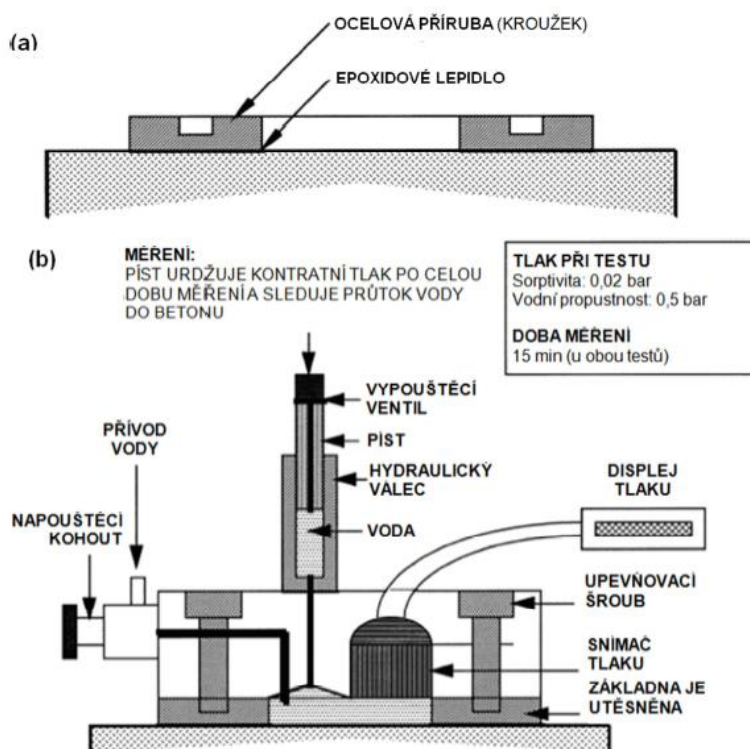


Obrázek 5: Laboratorní permeametr pro hydraulickou vodivost [6]

Tabulka 1: Příklad hodnot Hydraulické vodivosti zeminy [7]

Zemina	K pro vodu [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	K pro motorový olej [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
Písčito-hlinitá zemina	$4,1 \times 10^{-5}$	$1,1 \times 10^{-7}$
Hlinitá zemina	$2,9 \times 10^{-6}$	$8,0 \times 10^{-9}$
Prachová zemina	$6,9 \times 10^{-7}$	$1,9 \times 10^{-9}$
Jílovitá zemina	$5,6 \times 10^{-7}$	$1,5 \times 10^{-9}$

Další komerčně dostupný přístroj určený přímo pro měření hydro-propustnosti je AUTOCLAM. Schéma metody je možné vidět na Obrázek 6. Přístroj je určen pro materiály s maximálním průtokem vody 1 ml/min, což je vhodné například pro testování betonu. Zde se nejčastěji používá patrona o průměru 50 mm, viz Obrázek 8. Tlak vody je udržován na hladině 200 mm a snímá se tlak na druhé polovině patrony, neboli kolik vody bylo schopné materiálem projít. Samotný přístroj je možné vidět na Obrázek 7.



Obrázek 6: Schéma metody AUTOCLAM, a) upevnění patrony, b) ovládání [8]



Obrázek 7: Příklad přístroje Autoclam od firmy Amphora [9]



Obrázek 8: Patrona do přístroje Autoclam od firmy Amphora [9]

V rámci měření vlhkosti ve stavebních materiálech je možnost měřit pomocí snímačů relativní vlhkosti, které se umístí do požadovaného materiálu. Dále pak existují příložné měřiče vlhkosti, které změří vlhkost materiálu do hloubky kolem 2 cm. Tyto metody však neurčují hydraulickou vodivost celkového materiálu a jedná se pouze o povrchové zkoušky, popřípadě podpovrchové zkoušky sorpčních vlastností.



## 4 Navrhnuté komponenty pro systém řízení

Komponenty byly vybrány tak, aby systém řízení byl co nejlevnější.

Zadání systému navrženého přístroje:

- Zaznamenávat objem proteklé vody skrz materiál.
- Udržovat hladinu vodního sloupce na konstantní úrovni.
- Umožnit neustálý koloběh vody v systému.

Pro řízení byla vybrána platforma Arduino, která díky nízké ceně a rozsáhlému využití je vhodná pro mnoho řídicích systémů.

### 4.1 Platforma Arduino

Arduino je otevřená platforma pro návrh a vývoj programovatelných zařízení. Nabízí možnosti programování od jednoduchých elektronických systémů jako například detekci pohybu, voltmetr nebo hlídání hladiny. Ale umožňuje i programování sofistikovanějších zařízení, jako jsou roboti, tiskárny, nebo řízení celého modelového kolejiště.

Díky otevřenosti této platformy je možné používat, upravovat a sdílet již použité programové řešení různých periférií, jako je ovládání segmentových displejů, LCD displejů, regulátorů teploty, komunikace bezdrátových síťových prvků, ultrazvukové senzory a jiné. S různými požadavky na systém pomáhají prodávané vývojové kity, které jsou speciálně určeny například pro ovládání 3D tiskárny nebo frézky.

K deskám Arduino lze připojit jakékoliv periferní hardware od malých až po distribuované systémy. Díky této možnosti jsou kladeny různé nároky na typ mikrokontroléru. Všechna zařízení Arduino jsou vybavena mikrokontrolérem ATmega. Patří sem například ATmega8, ATmega168, ATmega328 a další. Tyto čipy se liší velikostí paměti RAM a FLASH. Každá deska může mít jiný mikrokontroler, popřípadě i výměnný.

Na trhu se objevují klony platformy Arduino. Největší výhodou těchto klonů je cena. Ta se však projevuje na zpracování a možnosti horší kompatibility.

Pro řízení systému propustnosti vody kompozitem byla zvolena platforma Arduino Mega, protože umožňuje použít větší počet vstupů a výstupů než jiné typy desek, jako je například Arduino Nano, Arduino Mini nebo Arduino Uno.

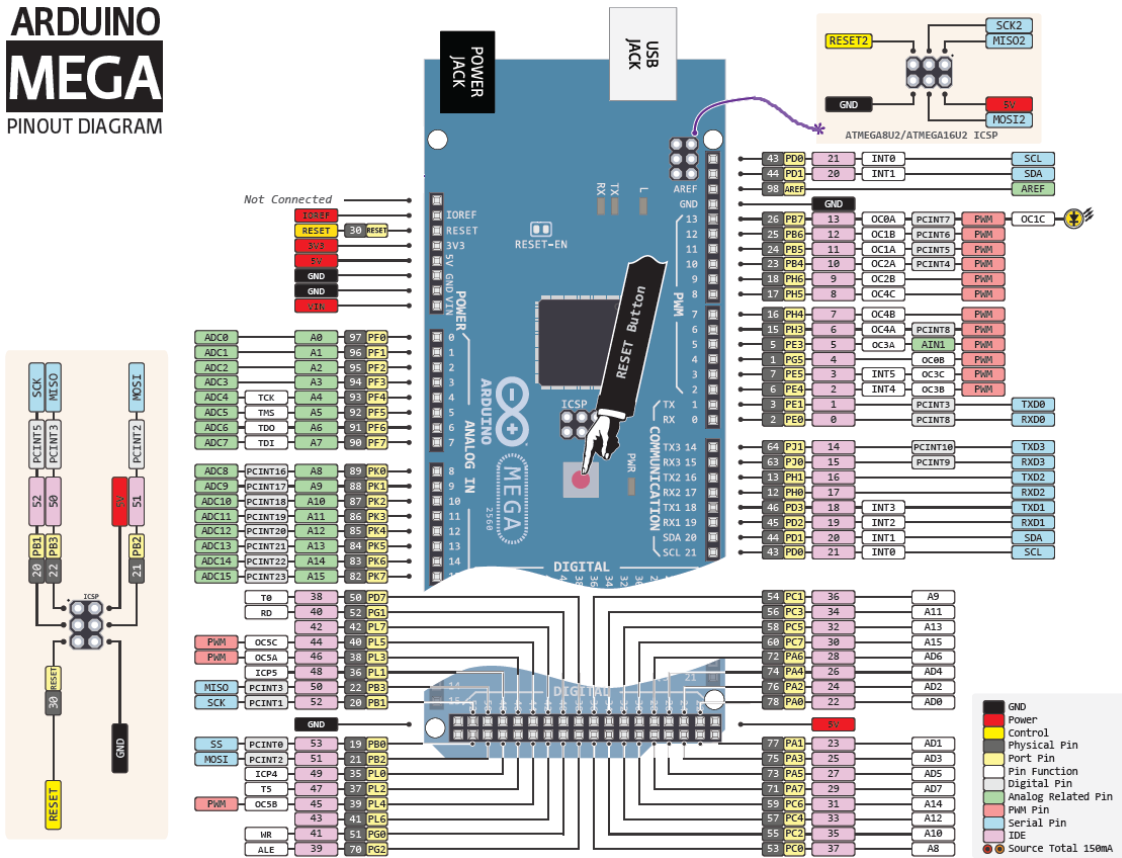
Kompletní rozložení Arduino Mega naleznete na Obrázek 9.

Parametry Arduino Mega:

Microcontroller:	ATmega2560
Taktovací frekvence:	16 MHz
EEPROM:	4 KB
SRAM:	8 KB
Paměť flash:	256 KB z toho 8 KB používá bootloader
Provozní napětí:	5V
Vstupní napětí (doporučeno):	7 – 12 V
Analogové vstupní piny:	16
Digitální I/O piny:	54 - z toho 14 umožňuje PWM výstup
DC proud pro 3,3 V :	50 mA
DC proud na I/O :	40 mA

[10]

# ARDUINO MEGA PINOUT DIAGRAM



Obrázek 9: Arduino Mega - umístění pinů

[10]

Pro účely diplomové práce jsou důležité pouze základní funkce této desky. Popis desky viz Obrázek 9. Využívá se červeně a černě zbarvené napájení 5 V, zelené analogové vstupy a růžové digitální piny, které je možné nastavit jako vstupní nebo výstupní. Ostatní funkce jako například sériové komunikace, PWM nebo externí restartování Arduina nejsou využity.

## 4.2 Záznam objemu proteklé vody

Nejčastější použití pro zaznamenávání protečeného množství vody jsou průtokoměry. Ty však mají velká omezení v závislosti na rychlosti průtoku.

Například průtokoměr Boi-Tech s označením FCH-m-POM-LC Art.-Nr: 150392, jehož parametry jsou vidět v Tabulka 2, jsou korigovány vloženou tryskou do vstupního otvoru. Díky této trysce je vstupní proud sveden do užšího prostoru a tím působení na mechanické lopatky pod větším tlakem. Je tedy nutné, znát předem, jaký přibližný průtok bude třeba. Pokud se do přístroje vloží stavební kompozit, který má na začátku průtok 0,5 l/min a díky vodě bobtná, může se průtok velice snížit například na 1 ml/min. Uvedený průtokoměr by již měřil nulovou hodnotu průtoku. Průtokoměry s velkým rozsahem průtoku jsou mnohem dražší a s ohledem na co nejlevnější zařízení nepřijatelné.

Tabulka 2: Parametry průtokoměru [11]

	<b>Průtokoměr bez trysky</b>	<b>Průtokoměr s tryskou</b>
Minimální průtok	0,03 l/min	1,8 l/min
Maximální průtok	0,05 l/min	3,0 l/min
Počet pulzů na litr	2 500	8 500

Další možností je použití gravimetrické metody, která je v řídicím systému použita. V rámci prototypu byly testovány dvě varianty a to zakoupená váha KERN 440 a hmotností senzor.

#### 4.2.1 Váha KERN

Rozsah a přesnost je přesně definován (2g až 400g s přesností 0,1g). Tato váha je však několikanásobně dražší než varianta váhového senzoru. [12]



Obrázek 10: Váha KERN 440 [12]

Výhodou této váhy je výstup RS232. Pro propojení s PC je použit převodník PremiumCors USB – RS 232. [13]

Tato váha disponuje nastavením kontinuálního zasílání dat, popřípadě zasíláním dat na mechanické tlačítko „PRINT“.

Problémem váhy je její elektronika a nemožnost nastavení pro dlouhodobé měření. Pokud na váhu vložíme misku s vodou a necháme vodu odpařovat, po odpaření vody bude váha neustále posílat hodnotu hmotnosti stejnou. Po odebrání misky z váhy bude váha ukazovat plusovou hodnotu. Váha obsahuje elektronickou logiku, která umožňuje odečítat hodnoty z váhy bez blikání na hranici mezi jednou a druhou hmotností. Pokud se tedy nezmění hmotnost na váze za určitý čas o víc jak jeden gram, vypisovaná hodnota se nezmění.

Tento jev má většina elektronických vah, a i když se jedná o laboratorní váhu, jsou primárně určeny pro krátkodobé měření, popřípadě pro měření s většími skoky ve vážené hmotnosti.

Existují váhy, které tento jev nemají a ukazují hodnotu hmotnosti přesně. Tyto váhy jsou však mnohem dražší a pro navrhovaný systém cenově nevhodné.

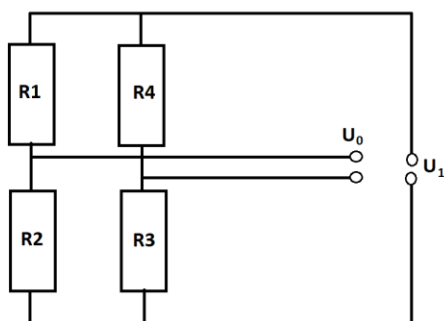
#### 4.2.2 Hmotnostní senzor

Pro řídicí systém byl vybrán hmotnostní senzor díky poměru cena / výkon viz Obrázek 11. Jedná se o můstkové zapojení čtyř tenzometrů, které se v elektrickém obvodu chovají jako odpory. V případě vyváženého stavu neboli stejného odporu na všech tenzometrech je výstupní napětí můstku nulové. Pokud dojde k zatížení, začnou se měnit hodnoty odporu tenzometrů a s nimi i výstupní měřené napětí. Výpočet napětí na můstku a zapojení můstku ve váhovém senzoru je vidět na Obrázek 12. Cena senzoru se pohybuje v řádech sta korun a je možné tento senzor nahradit jiným.

Pro převedení analogové hodnoty je použit převodník HX711 popisován v následující kapitole.



Obrázek 11: Váhový senzor



$$U_0 = \frac{R_1 \cdot R_2 - R_2 \cdot R_4}{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)} U_1$$

Obrázek 12: Můstkové zapojení se vzorcem pro výčet napětí

### 4.2.3 AD převodník HX711

Pro zjištění difference mezi vstupním a výstupním napájením obvodu váhového senzoru a převod do digitálního signálu byl zvolen AD převodník HX711. Převodník je možné koupit na desce s již osazenými základními součástkami a je nutné pouze připojit odporový můstek a řídicí jednotku. Tento obvod je vidět na Obrázek 13.

Na převodníku je možné nastavit frekvenci převodů v hodnotách 10 Hz a 80 Hz. Ovšem díky kupované desce je toto nastavení uzemněno, čímž převodník funguje na rychlosti 10 Hz. V systému dlouhodobého měření není potřeba číst data rychleji.

Další možností je volba zesílení hodnoty mezi vstupním a výstupním napětím váhového senzoru. Tyto hodnoty je možné programově nastavit na hodnoty 32, 64 nebo 128. Při připojení váhových senzorů nebyl problém s maximálním rozlišením a je tedy zvoleno rozlišení 128, což odpovídá napěťového rozsahu +/- 20 mV. [14]

Výstup z převodníku je 24bitový. Při nejvyšším rozlišení je tedy jednotkové rozlišení 4,8 nV, což odpovídá u vybraného váhového senzoru přibližně 1,44 g. Jedná se tedy o extrémně malé hodnoty a kterékoli rušení může ovlivňovat výsledky měření.

Při testování prototypu byly hodnoty měření do 0,1% chyby, což při použití 5 kg váhového senzoru odpovídá odchylce měření maximálně 5 g. Pro srovnání, váha KERN 440 uvedená v kapitole výše má udávanou chybu 0,4%. Poměrná přesnost váhového senzoru s modelem HX711 je tedy lepší než u komerčně dostupné váhy.



Obrázek 13: AD převodník HX711 [14]

### 4.3 Zajištění konstantní hladiny vody a její koloběh v systému

Zajištění konstantní hladiny je pomocí plováku a čerpadla. Koloběh vody je řízen pomocí skupiny čerpadel a zajištění proti přetečení spodních nádob je díky kulovým ventilům s vratnou pružinou.

#### 4.3.1 Čerpadlo BARWIG typ 04

Hlavní čerpadlo, viz Obrázek 14, slouží pro udržování vodního sloupce, které vytváří konstantní tlak na měřený kompozit. Čerpadlo má vlastní napájení, které umožňuje regulaci napětí. S rostoucím napětím roste i výška, do které je schopno čerpadlo přečerpávat vodu. Pro čerpání vody do výšky dvou metrů, je potřeba napětí přibližně 7 V. Velikostí napětí lze regulovat i rychlost, respektive objem přečerpané vody. Provozní napětí čerpadla je udáváno na 12 V ovšem s maximální dobou nepřetržitého čerpání 30 minut. Maximální udávaná rychlost čerpání je 10 l/min.

Díky externímu napájení je možné v případě potřeby vyměnit zdroj i čerpadlo bez nutnosti zásahu do programu.

Dále tu jsou čtyři malá čerpadla, která umožňují přečerpávat proteklou vodu z nádob umístěných na váhových senzorech. Voda je přečerpána do spodního rezervoáru, ze kterého čerpá vodu hlavní čerpadlo pro udržení konstantního vodního sloupce.



Obrázek 14: Čerpadlo Barwig typ 04



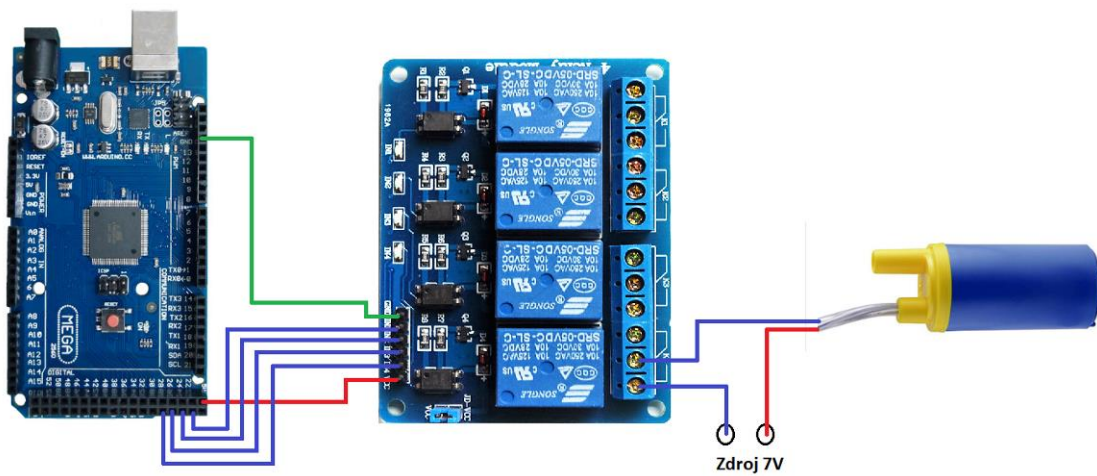
### 4.3.2 Spínání čerpadel

Pro ovládání napájecího napětí pro čerpadla byl zvolen modul se čtyřmi relé prodáváný jako vhodná komponenta k platformě Arduino. Pro znázornění propojených kontaktů Arduina, spínacího relé modulu a čerpadla slouží tabulka 3 a graficky znázorňuje Obrázek 15. Pro napájení relé modulu je použito výstupní napájení Arduina.

Na kontakty relé je připojeno volitelné napájení 0 - 12 V. Základní program pro spínání relé je zobrazen ve zdrojovém kódu 1. Program inicializuje Arduino, nastaví základní hodnotu na vypnuté relé a následně reaguje na akci uživatele. Po stisknutí tlačítka na ovládací obrazovce je nastavena logická hodnota na daném výstupu Arduina na logickou nulu nebo na logickou jedničku. V případě nastavení logické nuly je sepnut tranzistor na relé modulu, pomocí něhož je sepnuto relátko a uzavřen okruh pro napájení čerpadla.

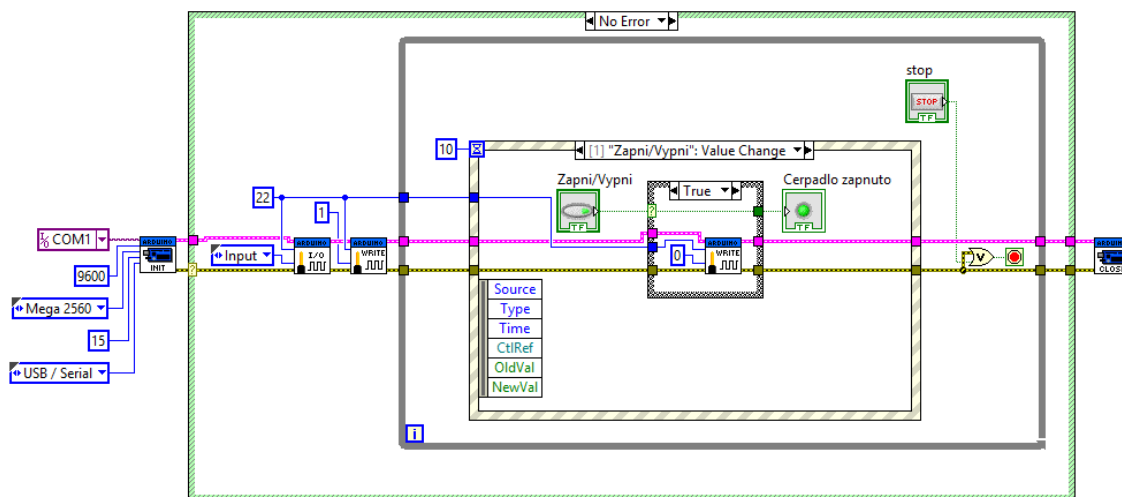
Tabulka 3: Propojení kontaktů relé modulu a Arduino Mega

Dvojitý relé modul	Arduino Mega
GND	GND
VCC	5V
IN0	D22
IN1	D24
IN2	D26
IN3	D28



Obrázek 15: Propojení Arduino a relé modulu

Zdrojový kód 1: Ukázka manuální ovládnání relé modulu v programu LabView



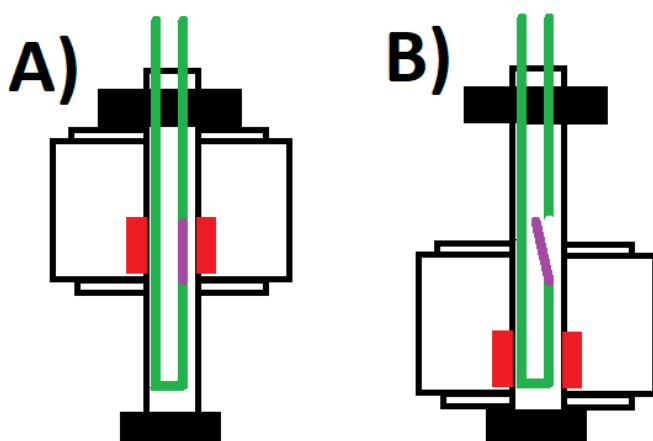
### 4.3.3 Plovák

Jedná se o jednoduché zařízení, které v rámci polohy prstence spíná kontakt, viz Obrázek 16.

Červená barva znázorňuje magnet, který se podle hladiny pohybuje v prstenci podél osy. Osa obsahuje vodič zeleně vyobrazený na obrázku, který je přerušen magnetickým spínačem fialové barvy. Tento spínač se sepne při přiblížení magnetu.

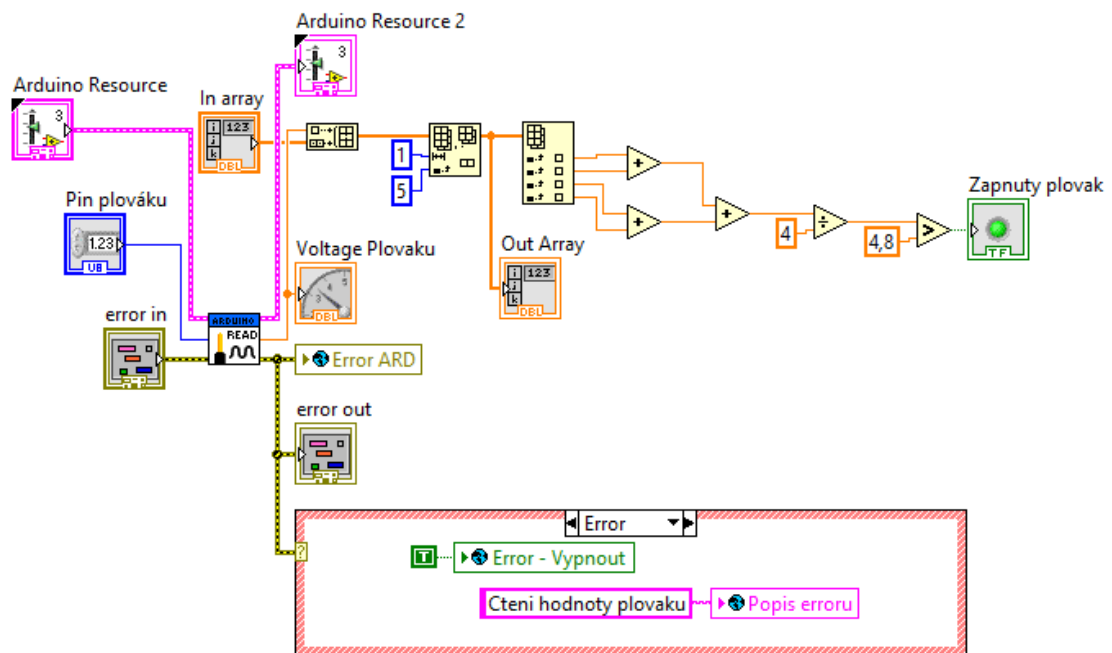
Na kontakt plováku stačí přivést určité napětí a na druhém kontaktu napětí měřit. Při změnách vodní hladiny a tím prstence plováku se mění napětí. Dle schématu by napětí mělo mít dvě hodnoty. Buď rovné přivedenému napětí, nebo nulové. Ovšem při nezapojeném vodiči se jedná o neuzemněný kontakt a měřené napětí je nahodilé. Přičemž při sepnutém kontaktu a tím uzavření obvodu je napětí stále stejné.

Tento problém musí být řešen po programové stránce, viz Zdrojový kód 2. Zde jsou postupně ukládány hodnoty analogového vstupu do pole o čtyřech hodnotách a následně neustále aktualizovány. Pokud je průměr posledních čtyř hodnot větší jak 4,8 V, jedná se o impuls pro sepnutí čerpadla. V rámci testování byla tato hodnota dostačující. Pokud by při rozepnutém stavu byly čtyři hodnoty nedostačující a čerpadlo by se sepnulo, jednalo by se o krátkodobé sepnutí, při němž by čerpadlo vodu nestihlo přečerpat do vrchní pozice.



Obrázek 16: Funkce jazýčkového plováku

## Zdrojový kód 2: Podprogram čtení napětí plováku v programu LabView



### 4.3.4 Motorizovaný kulový ventil G3/4“ DN20 12VDC CR01

Ventil hlídá přetečení nádob na váze a je ovládán stejným způsobem jako čerpadla, neboli sepnutím napájení 12 V. Ventil je zobrazen na Obrázek 17.



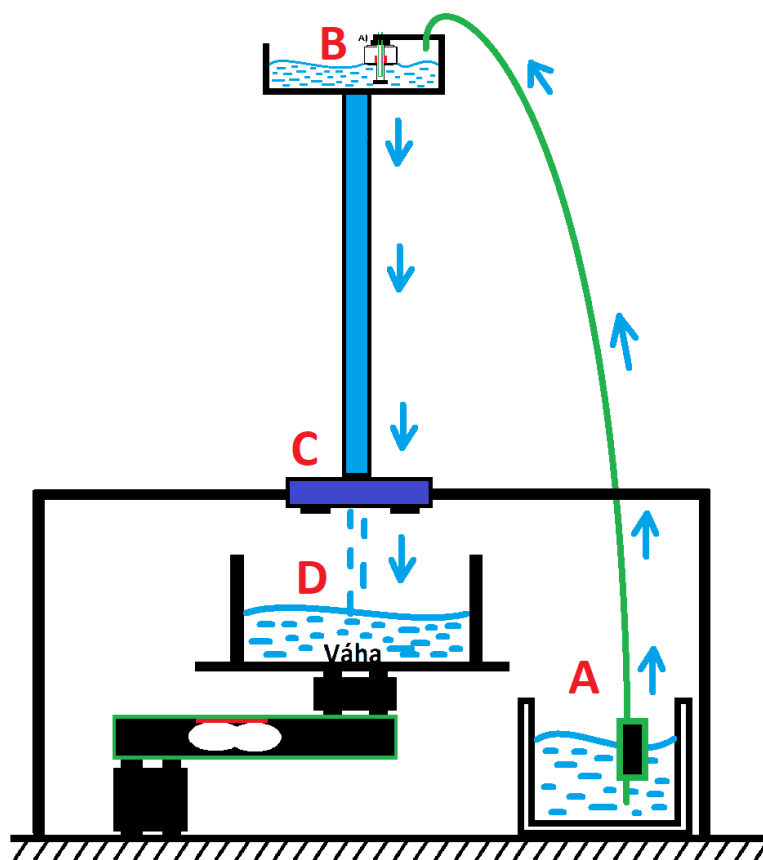
Obrázek 17: Motorizovaný kulový ventil s vratnou pružinou

## 5 První prototyp zařízení

Prototyp systému je určen pouze pro testování a je co nejjednodušší. Obsahuje pouze jednu možnost měření stavebního kompozitu a pouze s omezeným množstvím vody.

Pro znázornění systému řízení ovládacích prvků na prototypu pro měření hydropropustnosti stavebních kompozitů je zde stručně popsán přístroj a funkce jednotlivých komponent, viz Obrázek 18. Reálný pohled na prototyp zařízení je možné vidět v příloze číslo 3.

- A) Voda je pomocí čerpadla odčerpávána z nádrže do vrchního rezervoáru.
- B) Hladina v rezervoáru je hlídána pomocí plováku, který při nízké hladině spíná čerpadlo a tím udržuje stálý vodní sloupec.
- C) Stavební kompozit, kterým protéká voda.
- D) Vážení protečené vody, která protéká do nádoby.

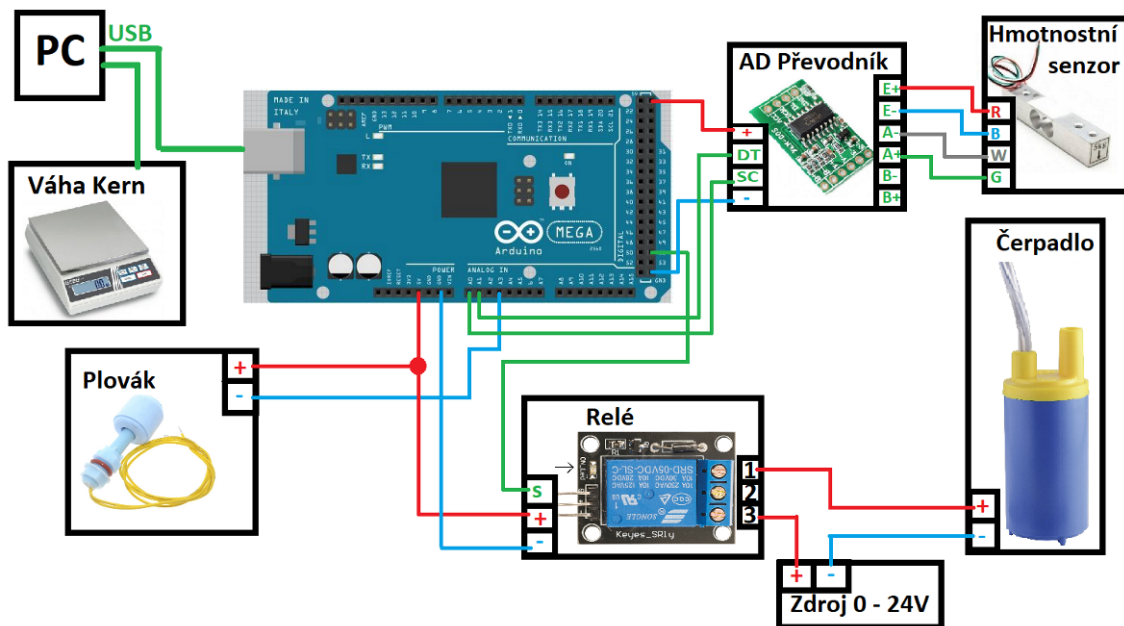


Obrázek 18: Schéma základního fyzického návrhu prototypu pro měření

## 5.1 Propojení komponent prototypu

Základní ovládání prototypového systému je prováděné pomocí Arduino Mega, do kterého je nahrán program, jenž překládá instrukce z programu LabView běžícím na počítači s operačním systémem Windows. Propojení komponent pro základní ovládání a měření je zobrazené v Obrázek 19. Popřípadě je možné využít program ve vývojovém prostředí Arduino IDE.

Napájení komponent je realizované přes připojenou desku Arduino k počítači pomocí USB. Zvláště je nutné napájet čerpadlo, které je realizované stejnosměrným zdrojem napájení. V rámci prototypu byl použit laboratorní zdroj s možností změny výstupního napětí z důvodu testování.



Obrázek 19: Zapojení prototypového řídicího systému

## 5.2 GUI pro prototyp ve vývojovém prostředí LabView

Výhodou prototypu je možnost vážení na váze KERN 440. Do konečného systému nebyla zavedena z důvodu finanční náročnosti.

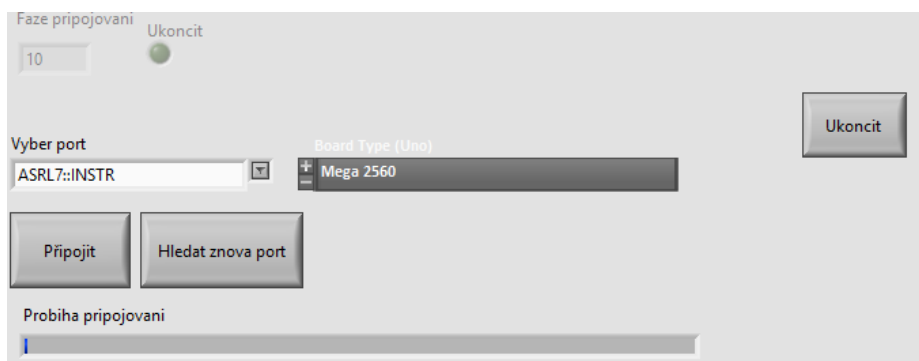
## 5.2.1 Záložka Arduino

Při zapnutí programu je viditelná záložka Arduino, kde je tlačítko připojit, kontrolka, zda je Arduino připojeno a další prvky, které lze ovládat při připojení Arduina viz Obrázek 20.

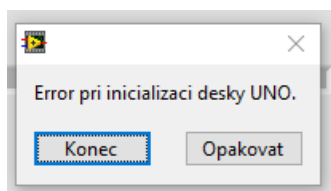


Obrázek 20: Prototyp program GUI - záložka Arduino

Po stisknutí „Připojit“ se objeví volba portu, viz Obrázek 21. Při nalezení pouze jediného portu se automaticky zvolí jediný možný a počítač se pokusí okamžitě připojit. Při úspěšném propojení se výběr portu a desky Arduino zavře a rozsvítí se kontrola připojení Arduina. Při neúspěchu se objeví hláška o chybě při inicializaci Arduina viz Obrázek 22. Zde je možné nastavení portu a desky Arduino opakovat, popřípadě program ukončit.



Obrázek 21: Prototyp program GUI - výběr portu a desky Arduino

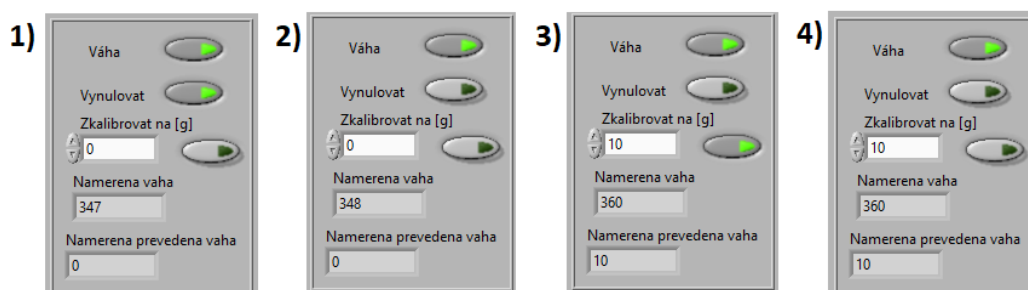


Obrázek 22: Program GUI - Error při inicializaci

Po úspěšném připojení je možné ovládat piny Arduina a možnost volby ultrazvukového měření vzdálenosti.

Důležitou součástí je okno s názvem „Váha“. Jedná se o váhu připojenou k Arduinu, kterou je nutné zapnout a následně nastavit.

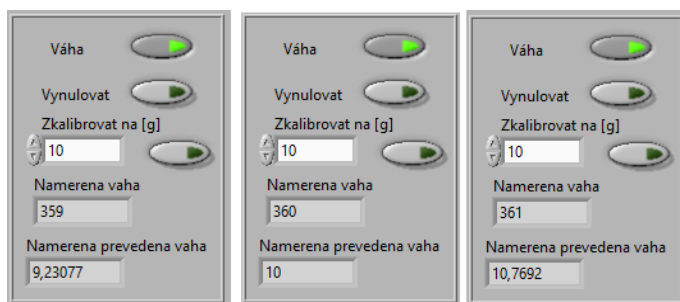
V první fázi určíme nulovou hodnotu váhy. Je tedy vhodné mít prázdnou váhu, popřípadě na váze mít nádobu, do které bude stékat vážená kapalina. Pomocí tlačítka vynulovat se spustí nulování váhy. Nula je vidět v okně „Namerena preveda vaha“. Tlačítko pro nulování váhy je nutné i vypnout. Následně je potřeba na váhu umístit předmět, jehož váhu předem známe. Známou váhu napíšeme do kolonky „Zkalibrovat“ a stiskneme tlačítko. Nyní bude váhový senzor ukazovat přesně danou hodnotu. Při ustálení hodnoty je nutné tlačítko vypnout. Postup kalibrace je vidět na Obrázek 23.



Obrázek 23: Prototyp program GUI - nastavení váhy

Po kalibrování je možné vidět naměřenou hmotnost problikávat. Příklad je vidět na Obrázek 24. Zde hmotnost problikává o 0,7692g nahoru nebo dolů. Jedná se o rozlišení použitého AD převodníku a tím minimální zaznamenávaný přírůstek váhy v závislosti na kalibraci váhy.





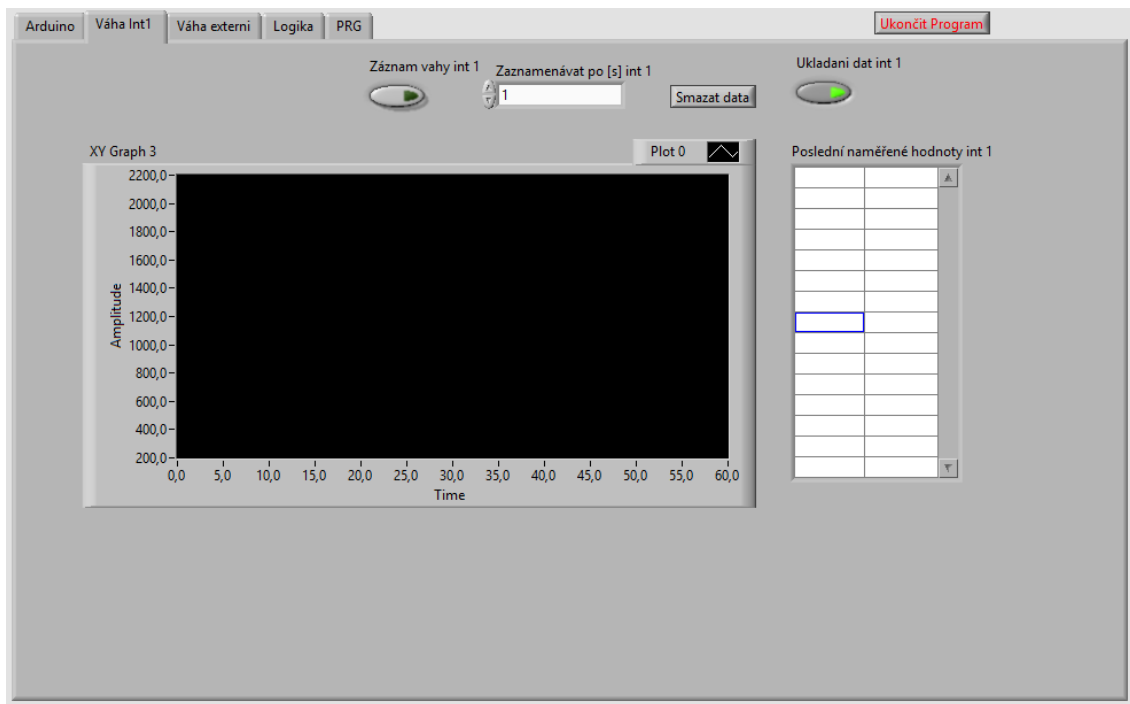
Obrázek 24: Prototyp program GUI - problikávání váhy

### 5.2.2 Záložka Váha Int1

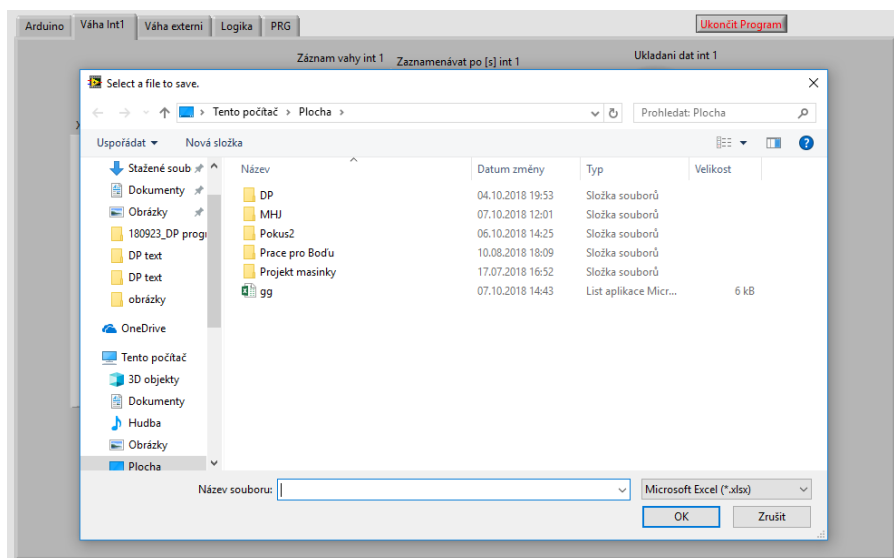
Záložka je zobrazena na Obrázek 25. Zde je vidět graf zaznamenávané naměřené váhy a tabulka posledních hodnot. Při stisknutí tlačítka „Záznam váhy int 1“ se otevře standardní okno pro možnost nastavení názvu výstupního souboru a jeho cestu pro uložení viz Obrázek 26.

Po potvrzení cesty pro ukládání dat se začnou data zobrazovat v grafu a v tabulce posledních naměřených dat viz Obrázek 27.

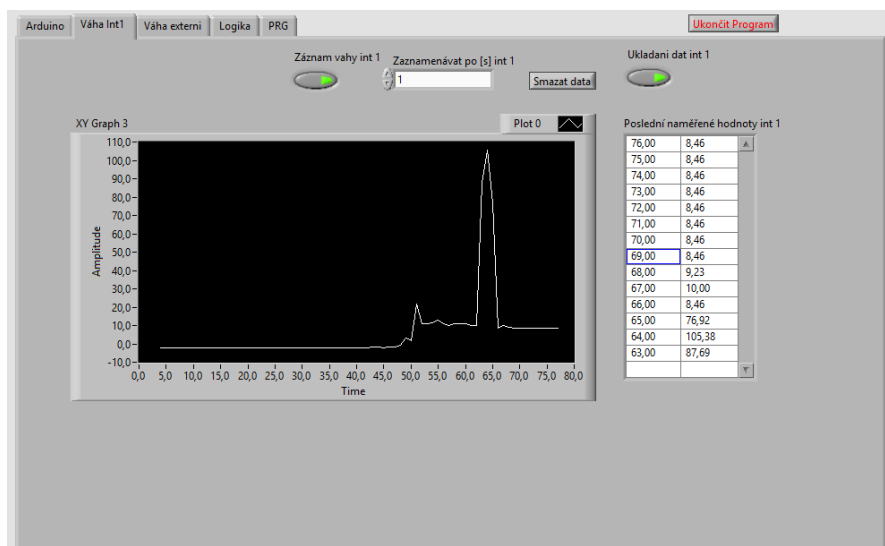
Na zvolené cestě pro ukládání dat je možné nalézt nový soubor, který má příponu „.xlsx“. Jedná se o standardní tabulkový formát, který je možné otevřít v programu „Microsoft Excel“. Soubor se nedá otevřít při spuštění programu, jelikož se do něj stále zapisuje. Pokud je potřeba záznam dat zkontrolovat, je možné soubor zkopírovat a tento zkopírovaný soubor lze bez problému otevřít. Soubor obsahuje šest sloupců, viz Obrázek 28. První tři nesou informaci o hodině, minutě a vteřině zaznamenání váhy. Čtvrtý sloupec pouze odděluje. Pátý sloupec je počet vteřin od spuštění a poslední sloupec je zaznamenaná hmotnost při měření.



Obrázek 25: Prototyp program GUI - záložka Váha Int1



Obrázek 26: Prototyp program GUI – ukládání dat



Obrázek 27: Prototyp program GUI – záznam dat

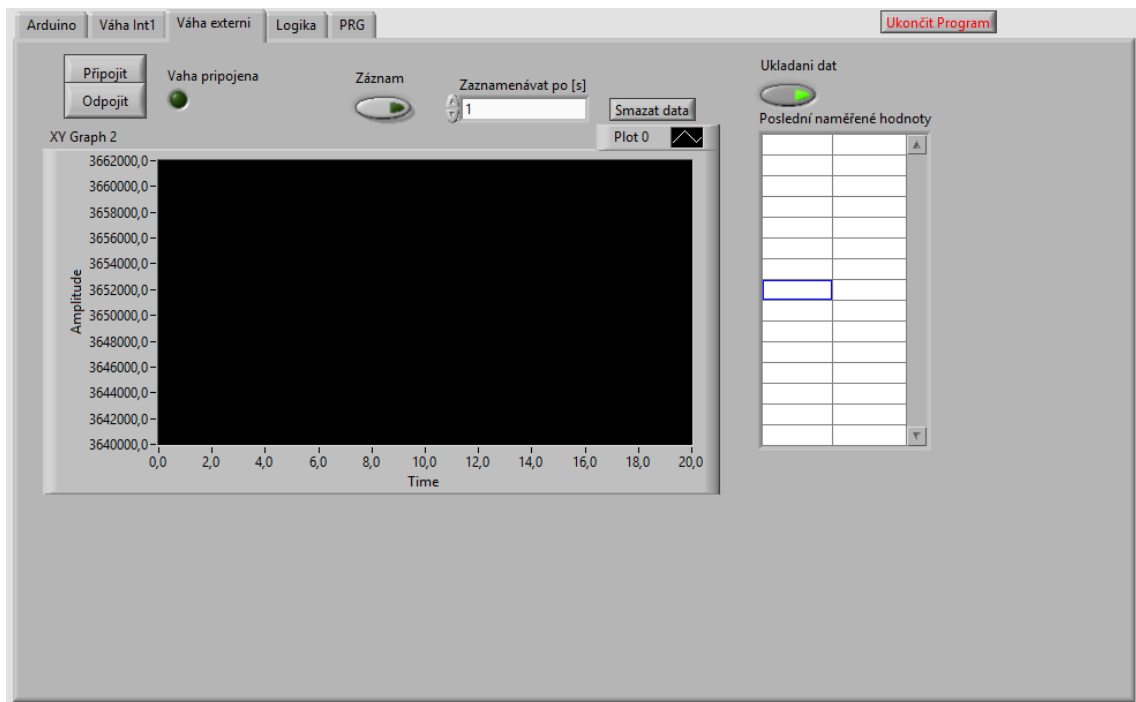
	A	B	C	D	E	F
1	Hodina	Minuta	Vterina	---	Cas	Namereno
2	14	42	41	0	1	332
3	14	42	45	0	4	332
4	14	42	45	0	5	331
5	14	42	46	0	6	331
6	14	42	47	0	7	332
7	14	42	48	0	8	332
8	14	42	49	0	9	332
9	14	42	50	0	10	322
10	14	42	51	0	11	307
11	14	42	52	0	12	291

Obrázek 28: Uložená naměřená data

### 5.2.3 Záložka Váha externí

Ovládání je totožné jako se záložkou „Váha Int 1“. Rozdíl je v možnosti tlačítka „Připojit“ a „Odpojit“ a měření dat probíhá na váze Kern, viz Obrázek 29.

Tlačítko připojit otevře možnost zvolení portu pro váhu stejně jako při připojování Arduina. Tuto váhu lze používat i bez připojení Arduina a tím program umožňuje zaznamenávat měření na váze i při použití váhy na jiném přístroji.



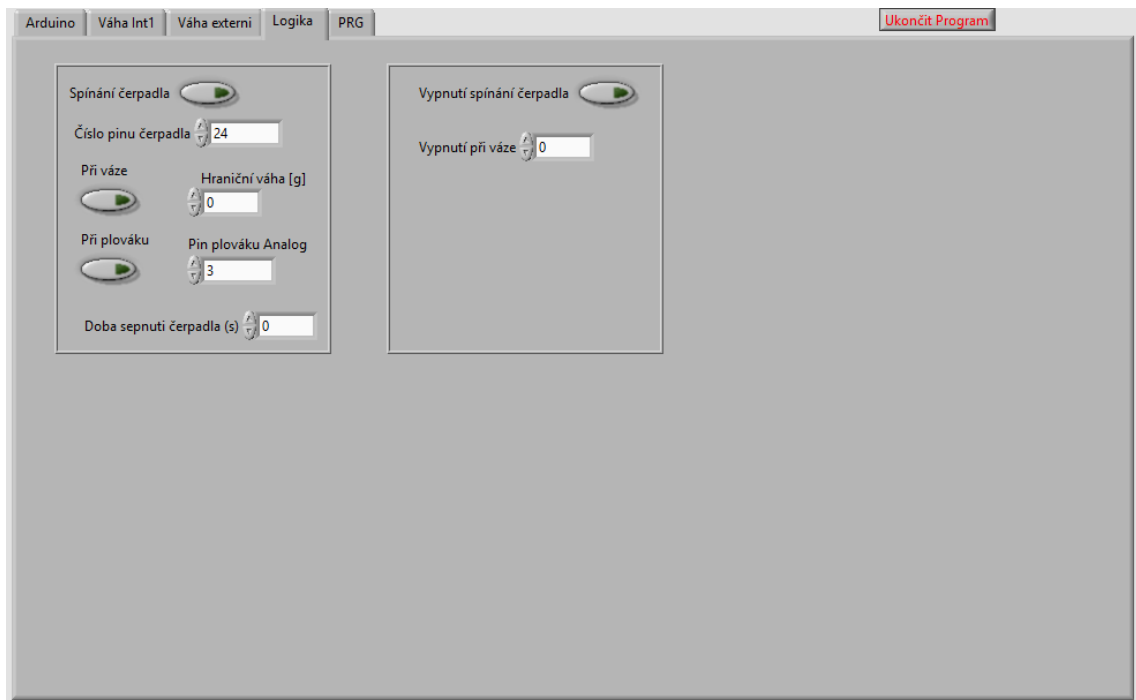
Obrázek 29: Prototyp program GUI - záložka Váha externí

#### 5.2.4 Záložka Logika

Jedná se o základní možnost volby funkce automatického programu, viz Obrázek 30.

Aktuálně je možné sepnutí čerpadla při určité hmotnosti, kterou si uživatel sám nastaví nebo spínat čerpadlo při sepnutí plováku. Jedná se o sepnutí čerpadla při přivedení napětí na určitý pin, který se dá nastavit. Díky tomu se plovák dá nahradit například tlačítkem, nebo jiným spínacím prvkem.

Další možnost nastavení je vypnutí čerpadla při určité hmotnosti. Tato možnost je důležitá při omezení objemu na hmotnosti tak, aby přečerpaná voda do systému na konci nepřetekla.

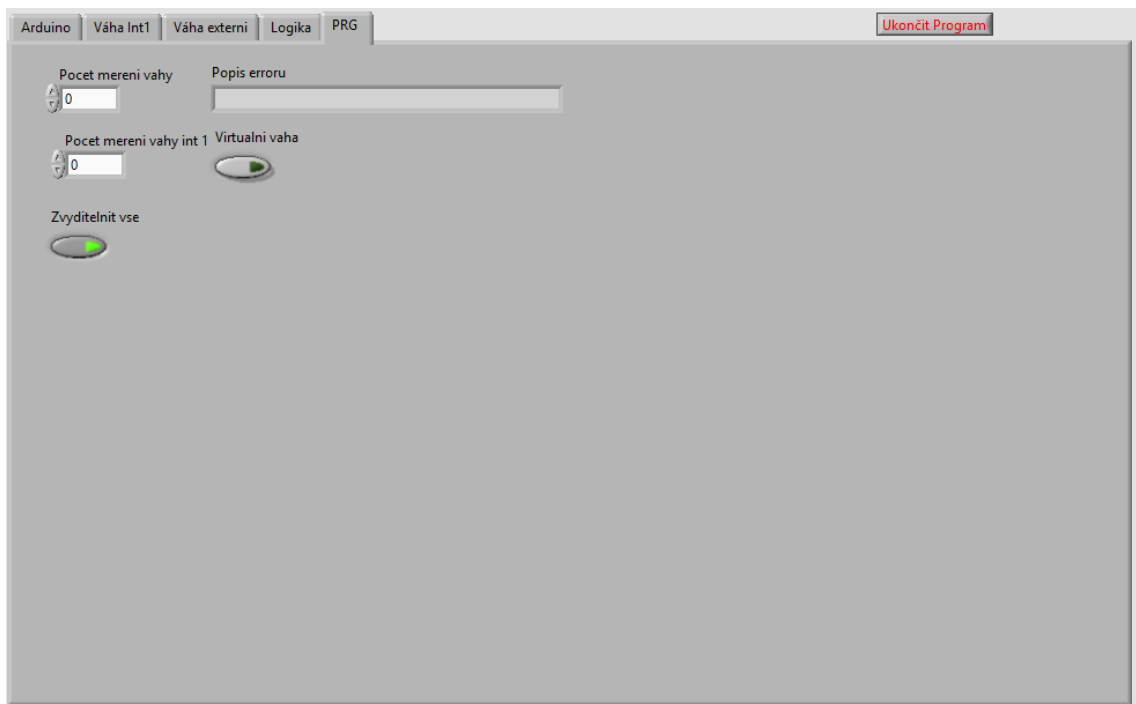


Obrázek 30: Prototyp program GUI - záložka Logika

### 5.2.5 Záložka PRG

Jedná se o pomocné proměnné. Aktuálně se zde dá zjistit, v jaké části selhal program, což se objeví v poli „Popis erroru“, viz Obrázek 31. Je zde vidět počet měření váhou pro kontrolu času měření a je možné zkontrolovat, kolik měření mělo proběhnout.

Jelikož program pracuje s viditelností tlačítek, je možné při chybě zobrazit veškerá tlačítka. Popřípadě toto tlačítka využít v kombinaci s tlačítkem „Virtuální váha“, kde je následně možné testovat v záložce „Váha externí“ ukládání a vyhodnocování dat.



Obrázek 31: Prototyp program GUI - záložka PRG

### 5.3 Program a GUI prototypu ve vývojovém prostředí Arduino IDE

Prototyp byl tvořen bez větších finančních nároků a celý řídicí systém byl implementován do papírové krabice, která obsahovala displej a jedno otočné tlačítko pro ovládání viz Obrázek 32.



Obrázek 32: Vzhled řídicího systému prototypu

### 5.3.1 Chování Arduina po zapnutí do napájení

Při zapojení Arduina do napájení, kde nezáleží na tom, zda je Arduino napájené pomocí externího zdroje například 12 V, nebo je Arduino připojené pomocí USB portu do počítače či jiného zařízení schopného dodávat potřebné napětí 5 V, se začne vykonávat program nahraný v paměti Arduina. Program začíná inicializační sekvencí, viz Zdrojový kód 3. Tato sekvence nastaví přerušovací piny potřebné pro detekci otočení rotačním tlačítkem. Dále nastavuje piny pro displej, váhový senzor, ukládání na paměťovou kartu a pin pro plovák.

#### Zdrojový kód 3: Prototyp programu Arduino IDE - inicializace

```
void setup(void) {
  //nastavení přerušování pro otocne tlačitko
  attachInterrupt(1,OtoceniTlacitkem2, CHANGE);
  attachInterrupt(2,OtoceniTlacitkem2, CHANGE);

  pinMode(pinCLK, INPUT_PULLUP);
  pinMode(pinDT, INPUT_PULLUP);
  pinMode(pinSW, INPUT_PULLUP);

  //Vahovy senzor
  scale.begin(DOUT, PD_SCK);

  //Karta
  pinMode(chipSelect, OUTPUT);
  kartaInicializovana = true;
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    kartaInicializovana = false;
  }

  //Plovak
  pinMode(RelePin, OUTPUT);
}
```

Program následně přejde do části hlavní smyčky, která se neustále dokola opakuje, viz Zdrojový kód 4. Tato smyčka má tři základní funkce kontrolované na základě času tak, aby se dalo vytěžování Arduina regulovat. První část se stará o vykreslování zobrazení každých 100 ms a kontrolu stisknutého tlačítka. Druhá část zapisuje na kartu hodnotu z váhy v případě zapnutého zapisování po zadaném intervalu obsluhou. Třetí část volá funkci kontroly plováku a tím případného spuštění čerpadla.

#### Zdrojový kód 4: Prototyp program Arduino IDE - hlavní smyčka

```
void loop(void) {
  if (millis()-prepis > 100) {
    // obnoví obsah OLED displeje
```

```

    lcd.firstPage();
    do {
        vykresli();
    } while( lcd.nextPage() );

    tlacitko();

    prepis = millis();
}
if (ZapnuteZapisovani) {
    if (millis()-prepisSD > IntervalMereniMS) {
        UlozNaKartu(String(scale.get_units(5)));
        prepisSD = millis();
    }
}
if (millis()-prepisPlovaku > IntervalPlovaku) {
    KontrolaPlovaku();
    prepisPlovaku = millis();
}
}
}

```

### 5.3.2 Vykreslování na displej

Funkce displeje je stavěná na principu krokového automatu. Jedná se tedy o provádění jedné akce v rámci jednoho kroku a do dalšího kroku může cyklus postoupit jen při splnění určitých podmínek.

Pokud tedy naběhne Arduino, objeví se základní obrazovka, viz Obrázek 33: Prototyp GUI - základní obrazovka. Tuto obrazovku vypisuje Zdrojový kód 6: Prototyp program Arduino IDE - Základní obrazovka. Jedná se o vykreslení obrazovky za případného kroku v krokovém automatu mezi 0 – 9 neboli základní zobrazení. V těchto krocích automat čeká na stisknutí a puštění ovládacího tlačítka.



Obrázek 33: Prototyp GUI - základní obrazovka



Pokud je tlačítko stisknuto a puštěno, přejde automat do kroku pro zobrazení základního menu, viz Obrázek 34. V tomto menu je možné se pohybovat pomocí otočného tlačítka a pozici ukazuje šipka v pravé části obrazovky. Vykreslování tohoto textu je podmíněno krokem v krokovém automatu mezi hodnotami 10 - 19 a vypisuje je stejná funkce jako pro základní obrazovku, viz Zdrojový kód 6. Vykreslování pozice neboli šipky na pravé straně je prováděno přímo v hlavním krokovém automatu v krocích 11 – 18 viz Zdrojový kód 5. V případě otočení rotačním tlačítkem přejde krokový automat do jiného kroku a vykreslí šipku na jiné pozici. Pokud bude stisknuto tlačítko, přejde automat do vhodného kroku, kde očekává puštění tlačítka a následně zobrazuje vybranou položku z menu.



Obrázek 34: Prototyp GUI – menu

První položka v menu po kliknutí zobrazí možnost nastavení času měření se šipkou ukazující na čas, viz Obrázek 35. Zde je možné pomocí rotačního tlačítka nastavit časovou hodnotu o což se stará programový krok 21. Při dalším stisknutí tlačítka se šipka posune na jednotku. O nastavování se stará programový krok 23 a je zde možné vybrat jednotku „s“ jako sekunda, „m“ jako minuta a „h“ jako hodina. Při stlačení a puštění tlačítka se objeví informativní obrazovka o nastavené hodnotě v milisekundách a opět je potřeba stisknutí a puštění tlačítka. Tato hodnota je zapamatována do globální proměnné a je možné ji kdykoliv změnit.

Po tomto nastavení se opět zobrazí hlavní obrazovka, ze které je opět možné se dostat do obrazovky menu a pokračovat v nastavování.



Obrázek 35: Prototyp GUI - nastavení času měření

Další položkou v menu je kalibrace. Jedná se o nastavení váhového senzoru, u kterého je nutná kalibrace. Jedná se o krok 31, který volá podprogram popisovaný v kapitole 5.3.3. Po dokončení kalibrace je program opět přesunut na hlavní obrazovku.

Následující položka v menu umožňuje zapnout nebo vypnout zápis. Pokud je zápis vypnutý, zobrazí se text „Zapnout zápis“, viz Obrázek 36. Pokud je zápis již zapnutý, zobrazí se nápis „Vypnout zápis“. Tato akce se opět potvrdí stisknutím a puštěním ovládacího tlačítka a stará se o ni programový krok 40 viz Zdrojový kód 5. Informace o zapnutém či vypnutém zapisování je uvedena na hlavní obrazovce, viz Obrázek 37. Pokud je zapisování spuštěno, automaticky se data ukládají na kartu, kde je zobrazen čas od spuštění a naměřená hmotnost.



Obrázek 36: Prototyp GUI - zapnutí zápisu na kartu



Obrázek 37: Prototyp GUI - hlavní obrazovka se zapnutým měřením

#### Zdrojový kód 5: Prototyp program Arduino IDE – část pro vykreslování displeje

```
int stepvykresleni = 0;
int JednotkaMereni;

void vykresli(void) {
  switch (stepvykresleni){
    case 0:
      lcd.setFont(u8g_font_unifont);
      if (not stisknuteTlacitko) {
        stepvykresleni = 1;
      }
      break;
    case 1:
      if (stisknuteTlacitko) {
        stepvykresleni = 10;
      }
      break;
    case 10:
      if (not stisknuteTlacitko) {
        stepvykresleni = 11;
      }
      break;
    case 11: //cas mereni
      lcd.setPrintPos(100, 10);
      lcd.print("<-");
      if (poziceDoprava){
        stepvykresleni = 12;
        poziceDoprava = false;
      }
      if (poziceDoleva){
        stepvykresleni = 18;
        poziceDoleva = false;
      }
      if (stisknuteTlacitko) {
        stepvykresleni = 20;
      }
  }
}
```

```

    }
    break;
    .
    .
    .
case 40: // Ukladani na kartu
    if (not(stisknuteTlacitko)) {
        stepvykresleni = 41;
    }
    break;
case 41:
    if (!kartaInicializovana) {
        stepvykresleni = 0;
    }
    else if (ZapnuteZapisovani){
        lcd.setPrintPos(0, 25); lcd.print("Vypnout zapis");
    }
    else {
        lcd.setPrintPos(0, 25); lcd.print("Zapnout zapis");
    }
    if (stisknuteTlacitko) {
        ZapnuteZapisovani = not(ZapnuteZapisovani);
        stepvykresleni = 0;
    }
    break;
case 42:
    stepvykresleni = 0;
    break;
} // Konec Case

```

### Zdrojový kód 6: Prototyp program Arduino IDE - Základní obrazovka

```

if (stepvykresleni < 10) {
    if (kartaInicializovana) {
        lcd.setPrintPos(0, 10); lcd.print("Karta Je: ");
        if (!ZapnuteZapisovani) {
            lcd.print("Vypla");
        }
        else {
            lcd.print("Zapla");
        }
    }
    else {
        lcd.setPrintPos(0, 10); lcd.print("Karta NENI");
    }
    lcd.setPrintPos(0, 25); lcd.print("Pozice: ");
    lcd.setPrintPos(60, 25); lcd.print(poziceEnkod);
    lcd.setPrintPos(0, 40); lcd.print("Cas:");
    lcd.setPrintPos(45, 40); lcd.print(millis()/1000);
    lcd.print(" s");
    lcd.setPrintPos(0, 55); lcd.print("Vaha:");
    lcd.setPrintPos(45, 55);
    lcd.print((int)scale.get_units());
}

```

```

    }
    else if ((stepvykresleni > 9) and (stepvykresleni < 20)){
        lcd.setPrintPos(0, 10); lcd.print("Cas mereni");
        lcd.setPrintPos(0, 25); lcd.print("Kalibrace");
        lcd.setPrintPos(0, 40); lcd.print("Ukladani dat");
        lcd.setPrintPos(0, 55); lcd.print("Zpet");
    }
}

```

### 5.3.3 Kalibrace váhy

Jedná se o funkci, která při spuštění předpokládá hmotnost vloženou na váhu jako defaultní. Je tedy vhodné mít na váze položenou nádobu, do které bude protékat voda, viz Zdrojový kód 7. Na začátku funkce je možné vidět příkaz pro vynulování váhy neboli příkaz „scale.tare()“. Následně funkce vypisuje na displej výzvu pro operátora ohledně vložení závaží o hmotnosti 100g, viz Obrázek 38. Zde je také zobrazená hodnota, kolik sekund zbývá do zahájení kalibrace. Jedná se odpočítávání deseti vteřin, během kterých je nutné na váhu položit závaží. Po deseti vteřinách se provede kalibrace váhy a zobrazí se následující obrazovka s nastavenou hodnotou kalibrace a jakou hodnotu váhový senzor aktuálně měří. Kalibrační hodnota je vypočítána z posledních pěti naměřených hodnot po skončení odpočtu.



Obrázek 38: Prototyp GUI - kalibrace

Zdrojový kód 7: Prototyp program Arduino IDE - Kalibrace váhy

```

int ScaleValue = 400;

void KalibraceVahy() {
    scale.set_scale(ScaleValue);
    scale.tare();

    lcd.setFont(u8g_font_unifont);
    for (int i = 10; i > 0; i--){
        lcd.firstPage();
        do {

```

```

        lcd.setPrintPos(0, 10);  lcd.print("Vloz 100g zavazi:
        ");
        lcd.setPrintPos(0, 25);  lcd.print(i);
        lcd.setPrintPos(20, 25);  lcd.print("Sekund");
    } while( lcd.nextPage() );
    delay(1000);
}
float ZvazedaPrumernaHodnota = scale.get_units(5);
while (abs(ZvazedaPrumernaHodnota - 100) > 1){
    if (scale.get_units() > 100) {
        ScaleValue = ScaleValue + 10;
    }
    else {
        ScaleValue = ScaleValue - 10;
    }
    lcd.firstPage();
    do {
        lcd.setPrintPos(0, 10);  lcd.print("Nastaveno: ");
        lcd.setPrintPos(10, 25);  lcd.print(ScaleValue);
        lcd.setPrintPos(0, 40);  lcd.print("Vazena hodnota:
        ");
        lcd.setPrintPos(10, 55);
    lcd.print(ZvazedaPrumernaHodnota);
    } while( lcd.nextPage() );
    scale.set_scale(ScaleValue);
    ZvazedaPrumernaHodnota = scale.get_units(5);
    delay(100);
}
while (abs(ZvazedaPrumernaHodnota - 100) > 0.1){
    if (scale.get_units() > 100) {
        ScaleValue = ScaleValue + 1;
    }
    else {
        ScaleValue = ScaleValue - 1;
    }
    lcd.firstPage();
    do {
        lcd.setPrintPos(0, 10);  lcd.print("Nastaveno: ");
        lcd.setPrintPos(10, 25);  lcd.print(ScaleValue);
        lcd.setPrintPos(0, 40);  lcd.print("Vazena hodnota:
        ");
        lcd.setPrintPos(10, 55);
    lcd.print(ZvazedaPrumernaHodnota);
    } while( lcd.nextPage() );
    scale.set_scale(ScaleValue);
    ZvazedaPrumernaHodnota = scale.get_units(5);
    delay(100);
}
}
}

```

### 5.3.4 Ukládání dat na kartu

Jedná se o funkci použitou v hlavní smyčce programu, která po zapnutí ukládání začne ukládat data v definovaném intervalu a vstupní parametr má naměřenou hodnotu z váhy, viz Zdrojový kód 8. Je tedy vhodné nejdříve provést kalibraci váhy.

Každé zavolání této funkce zapíše na kartu nový řádek do souboru „Data.txt“. Pokud soubor na kartě není, funkce je schopná soubor vytvořit. Pokud bude soubor špatně vytvořen, nebo nebude možné soubor otevřít, vypíše funkce na sériový port chybu zapisování souboru. Následně je nutné Arduino restartovat nebo odpojit od zdroje napájení a pokusit se opětovně zapnout měření. Uživateli je tato chyba sdělena na hlavní obrazovce tím, že karta není k dispozici. Samozřejmě je vhodné zkontrolovat přítomnost SD karty a v případě problému raději vložit prázdnou SD kartu.

V případě dvou po sobě jdoucích měření jsou data ukládána za sebou a nedochází k žádnému mazání. Program tedy není schopen regulovat, popřípadě informovat o zaplnění karty a vyhlásí pouze nemožnost otevření souboru.

#### Zdrojový kód 8: Prototyp program Arduino IDE - Ukládání dat na kartu

```
void UlozNaKartu(String Data) {  
  
    // připraví pole znaků pro čas  
    char cas[9];  
    int casS;  
    int casM;  
    int casH;  
    // zapíše do pole znaků cas hodnoty z rtc  
    casS = millis() / 1000;  
    casM = casS / 60;  
    casH = casM / 60;  
    casM = casM - (casH * 60);  
    casS = casS - (casH * 60 * 60) - (casM * 60);  
    sprintf(cas, "%02d:%02d:%02d", casH, casM, casS);  
  
    String dataString = ""; // inicializuje proměnou pro data  
    dataString = cas; // čas do proměné data  
    dataString = dataString + " :"; // vhodný oddělovač  
    dataString = dataString + Data;  
  
    // otevře soubor data.txt  
    File dataFile = SD.open("data.txt", FILE_WRITE);  
  
    // když soubor existuje zapíše do něj  
    if (dataFile) {  
        // samotný zápis - zapíše a skočí na nový řádek  
        dataFile.println(dataString);  
    }  
}
```

```

    dataFile.close();

    Serial.print("Zapisuji do souboru data - ");
    Serial.println(dataString);
}
// při chybě vypíše hlášku
else {
    kartaInicializovana = false;
    //Serial.println("Chyba - nemohu otevřít soubor !!!");
}
}
}

```

### 5.3.5 Detekce otočení rotačním tlačítkem

Detekce otočení tlačítkem je definována přes přerušovací piny Arduina v inicializační části, viz Zdrojový kód 3. Pokud tedy nastane změna na pinu umožňující přerušování, je zavolána funkce při otočení tlačítka, viz Zdrojový kód 9. Jedná se o porovnání po sobě jdoucích hodnotách, kde se tyto hodnoty mění jiným způsobem v případě otáčení na levou stranu a jiným způsobem při otáčení na stranu druhou. Pokud tedy otáčíme doprava, přečtená binární sekvence je přesně daná a jedná se o jednu z následujících: 1101, 0100, 0010, 1011. Pokud otáčíme na druhou stranu, jedná se o možné sekvence: 1110, 0111, 0001, 1000. Při zjištění jedné z těchto hodnot je nastavena globální proměnná „poziceDoleva“ nebo „poziceDoprava“, kterou při odbavení pokynu shazuje jiná funkce v rámci zobrazování na displeji.

#### Zdrojový kód 9: Prototyp program Arduino IDE - Detekce rotačního tlačítka

```

volatile int lastEncoded = 0;

void OtoceniTlacitkem2(){
    int MSB = digitalRead(pinCLK);
    int LSB = digitalRead(pinDT);
    int encoded = (MSB << 1) |LSB;
    int sum = (lastEncoded << 2) | encoded;
    if(sum == 0b1101 || sum == 0b0100 || sum == 0b0010 || sum
        == 0b1011) {
        poziceEnkod ++;
        poziceDoprava = true;
    }
    if(sum == 0b1110 || sum == 0b0111 || sum == 0b0001 || sum
        == 0b1000) {
        poziceEnkod --;
        poziceDoleva = true;
    }
    lastEncoded = encoded; //store this value for next time
}

```



### 5.3.6 Ovládání spínání čerpadla

Spínání čerpadla je okamžité při spuštění programu. Jelikož má napájení čerpadla externí zdroj, je vhodné ho mít na začátku vypnutý. Následně spustit kalibraci váhy, záznam dat a až poté napájení čerpadla.

Jedná se o jednoduchou funkci, která při sepnutí plováku aktivuje výstupní pin pro sepnutí relátka, na kterém je připojeno čerpadlo, viz Zdrojový kód 10.

Zdrojový kód 10: Prototyp program Arduino IDE - Ovládání spínání čerpadla

```
void KontrolaPlovaku() {
    sensorValue = analogRead(sensorPin);
    if (sensorValue > 4000) { //and not(StartRele)  {
        digitalWrite(RelePin, HIGH);
    }
    else if ((sensorValue < 1000)) {
        digitalWrite(RelePin, LOW);
    }
}
```

## 6 Druhý prototyp systému

Druhý prototyp umožňuje spuštění dvou měření zároveň. Díky podobným vlastnostem komerční váhy KERN a váhového senzoru, probíhá měření pouze na váhových senzorech. Největší rozdíl je v ceně, kde cena váhy KERN je mnohem dražší. V dalších fázích vývoje systému není váha KERN využita.

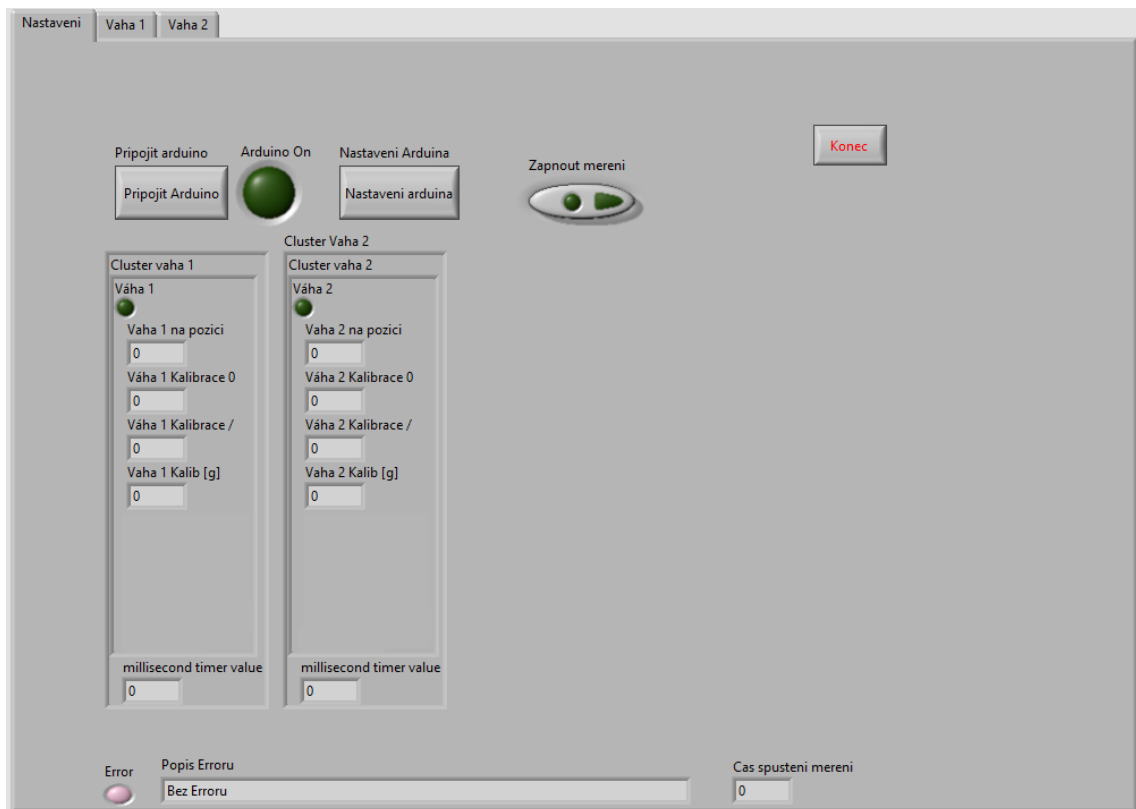
Vzhled a funkce zařízení je totožná s prvním prototypem, nyní jsou však vedle sebe dvě totožná zařízení připojená k jednomu řídicímu Arduinu.

Arduino je nyní umístěno v plastové krabici pro lepší odolnost vůči vodě a veškeré elektrické propojení provedeno precizněji. Nejdůležitější části jako například připojení váhových senzorů jsou pájené.

Vývoj druhého prototypu pokračuje pouze ve vývojovém prostředí LabView díky příjemnější obsluze při testování zařízení, což je dáno možností sledování průběhu měření včetně jeho historie. Navíc se výsledná data v souboru dají zkopírovat a následně zpracovávat za průběhu měření bez nutnosti zastavení experimentu.

### 6.1 GUI Záložka Nastavení

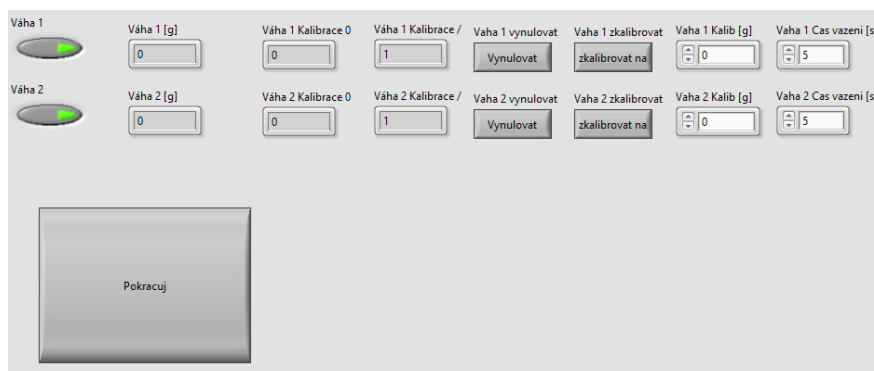
Při zapnutí programu je viditelná záložka „Nastavení“, kde je tlačítko „Připojit Arduino“, kontrolka, zda je Arduino připojeno, tlačítko „Nastavení Arduina“, tlačítko pro zapnutí měření a ukončení měření viz Obrázek 39. V případě neočekávaného ukončení měření je zde popis chyby, díky kterému se dá určit, v jaké části programu k chybě došlo.



Obrázek 39: Druhý prototyp - Program GUI - záložka Arduino

Po stisknutí „Připojit Arduino“ se program připojí k Arduino. V rámci druhého prototypu je připojení definováno přímo v programu a port, na který se připojuje, je nastaven na konstantní hodnotu. Po připojení Arduina k počítači je přiřazený port nastaven v systému Windows tak, aby bylo testování co nejjednodušší. Ve výsledném programu je plánovaná možnost volby portu. Pokud se Arduino úspěšně připojí, je toto připojení indikované zelenou diodou na obrazovce s názvem „Arduino On“.

Po úspěšném připojení je vhodné kliknout na tlačítko „Nastavení Arduina. Následně se objeví kompletní možnost kalibrace dvou vah, viz Obrázek 40.



Obrázek 40: Druhý prototyp - Program GUI - Nastavení Arduina

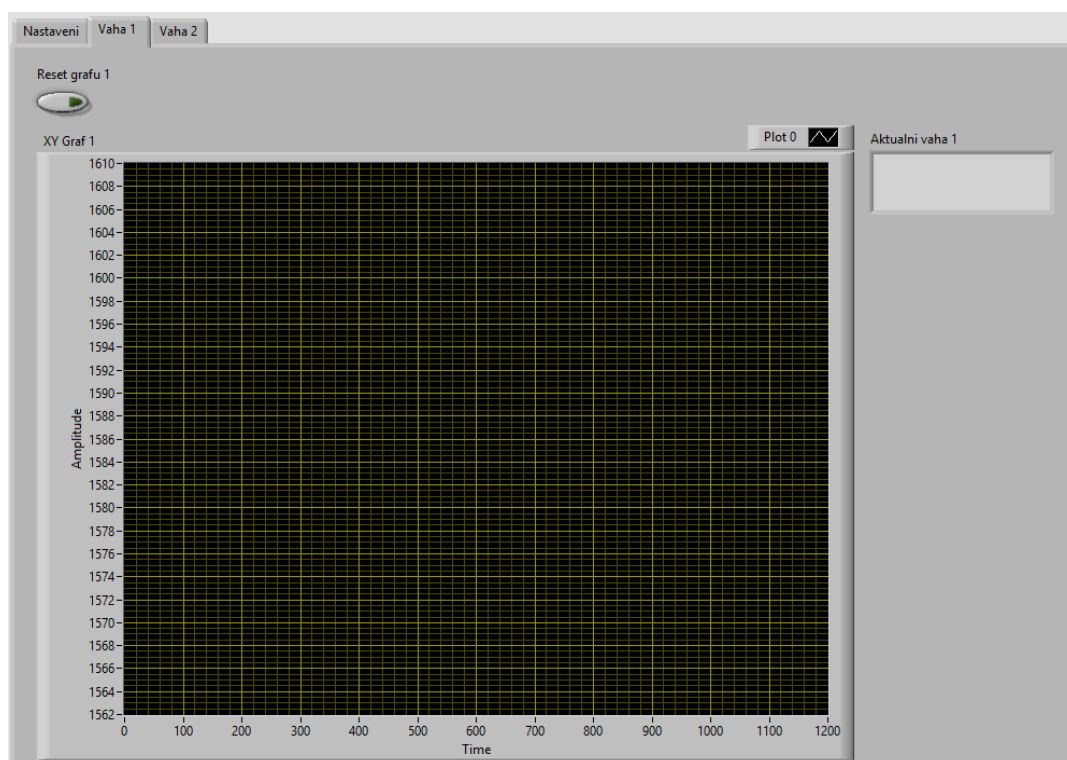
Pomocí tlačítka „Vynulovat“ se hodnota váhy vynuluje. Nula je vidět ve sloupcích „Vaha X [g]“. Následně je potřeba na váhu umístit předmět, jehož hmotnost předem známe. Známou hmotnost napíšeme do kolonky „Vaha X Kalib [g]“ a stiskneme tlačítko „zkalibrovat na“. Nyní bude váha ukazovat přesně danou hodnotu. Dále je zde možné nastavit interval měření pro jednotlivé váhy.

Po nastavení všech potřebných hodnot je možné se tlačítkem „Pokracuj“ vrátit na úvodní obrazovku a stiskem na tlačítko „Zahájit měření“ se měření spustí.

## 6.2 GUI Záložka Váha

Jedná se o dvě následující záložky, kde každá zobrazuje graf naměřených hodnot pro jednotlivou váhu a zobrazuje aktuální hodnotu váhového senzoru. Dále je tu možnost restartování grafu viz Obrázek 41.

Naměřené hodnoty se ukládají do složky umístěné v dokumentech a tuto cestu je možné změnit pouze přímo v programovém kódu.

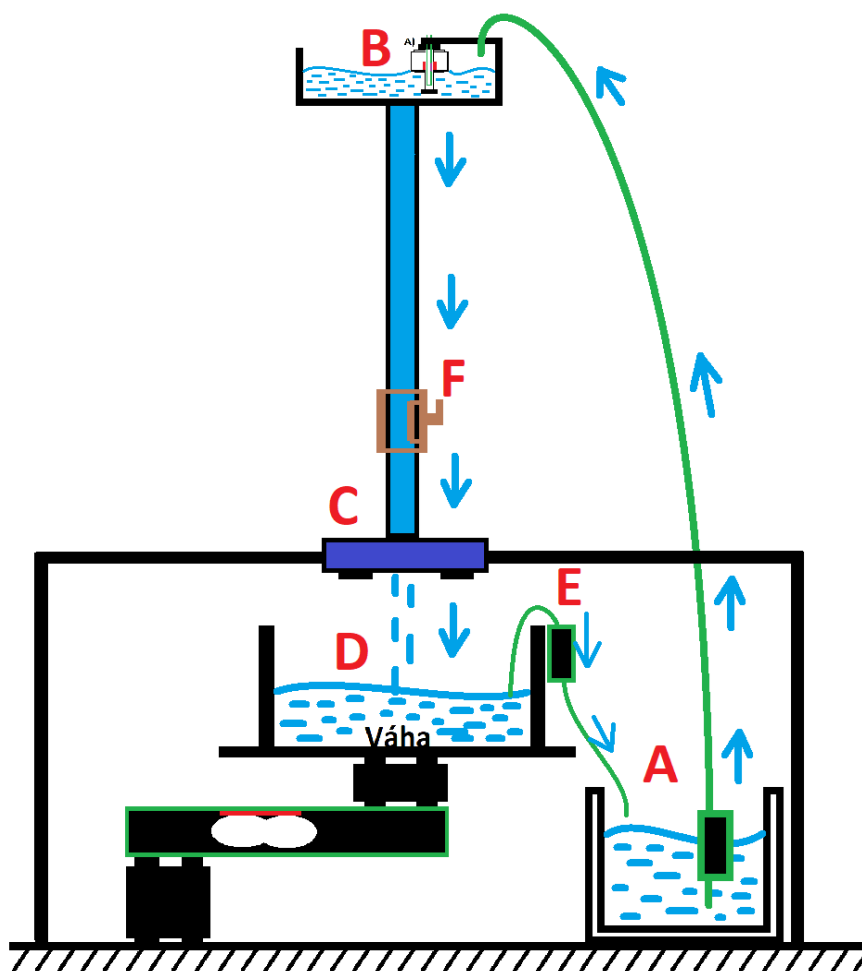


Obrázek 41: Druhý prototyp - Program GUI – Záložka váha

## 7 Systém měření hydro-propustnosti – fyzický model

Aktuální systém vychází z prototypu, na kterém proběhlo testování většiny komponent. Prototyp obsahuje pouze jednu možnost měření stavebního kompozitu. Konečný systém umožňuje měřit až čtyři stavební kompozity a udržuje koloběh vody, kde je sdružená nádrž s vodou a hlavní rezervoár pro všechny čtyři měření. Zbylé části, čímž je kulový ventil, váhový senzor a čerpadlo pro odčerpání vody z nádoby na váhovém senzoru, jsou umístěné pro každé měření zvlášť.

Znázornění systému je ukázáno na zjednodušeném systému pro měření hydropropustnosti stavebních kompozitů viz Obrázek 42. Vzhled celého systému je možné vidět v příloze číslo 4.



Obrázek 42: Schéma základního návrhu pro měření

Popis předcházejícího obrázku:

- A) Voda je pomocí čerpadla odčerpávána z nádrže do vrchního rezervoáru.
- B) Hladina v rezervoáru je hlídána pomocí plováku, který při nízké hladině spíná čerpadlo a tím udržuje stálý vodní sloupec.
- C) Stavební kompozit, kterým protéká voda.
- D) Vážení protečené vody, která protéká do nádoby.
- E) Čerpadlo pro odčerpání vody z nádoby na váze.
- F) Elektronický kulový ventil s vratnou pružinou.

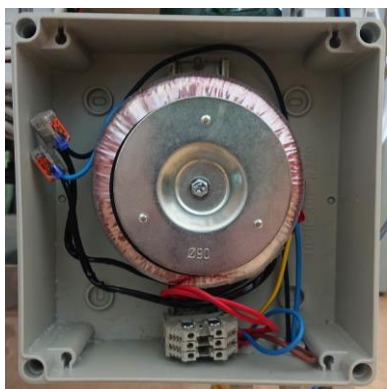
## 7.1 Napájení komponent

Pro napájení systému jsou použity dva zdroje. První zdroj byl v rámci prototypu vybírán tak, aby byl schopen napájet celý systém s jedním čerpadlem. Jelikož tento zdroj napájí Arduino, byla zvolena varianta elektronického transformátoru, který se standardně používá pro LED žárovky. Tento zdroj má výkon 50 W, což je dostatečné i pro použití jednoho čerpadla, viz Obrázek 43.



Obrázek 43: Zdroj AD 12 V ; 4,2 A

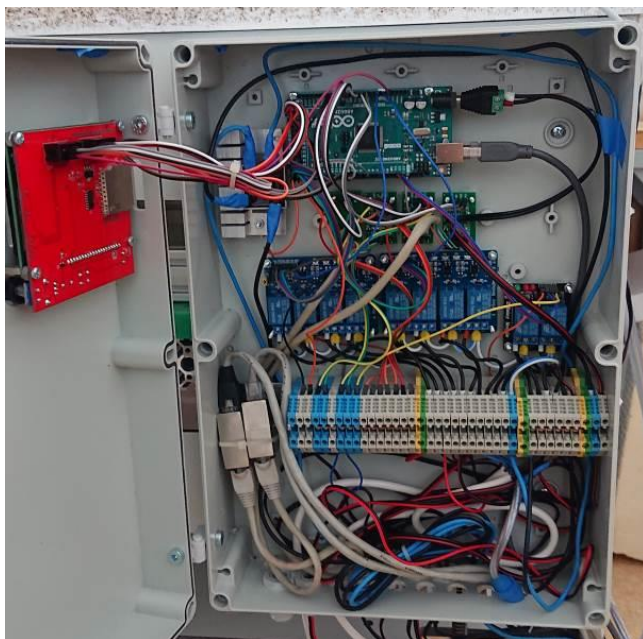
V konečném systému je však pět čerpadel. První čerpadlo určené pro udržování konstantní hladiny v hlavní nádobě na vodu má udávaný příkon až 20 W. Další čtyři průtoková čerpadla určená pro rychlé odčerpání vody z nádob umístěných na váhových senzorech mají udávaný příkon až 40 W. Celkový příkon je tedy mnohem vyšší a napájení čerpadel je oddělené. Pro napájení čerpadel byl zvolen toroid s výkonem až 200 W, viz Obrázek 44. Toroid je kvůli nedostatečnému místu v hlavní rozvodné skříni umístěn do samostatné malé skříně. V hlavní rozvodné skříni je umístěn převodník AC – DC, z něhož jsou následně napájena čerpadla. První zdroj je použit pro napájení Arduina, z něhož jsou napájeny ostatní komponenty systému.



Obrázek 44: Zdroj AC 12V 16,6A

## 7.2 Zapojení komponent

Komponenty umístěné mimo rozvodnou skříň mají prodloužené kabely pomocí pájení a jsou přivedené do rozvodné skříně. Jedná se o kulové ventily, váhové senzory, plovák, čerpadla a zdroje. Kvůli malému prostoru v rozvodné skříně jsou kabely umístěny neuspořádaně. Je ovšem dodrženo připojení všech součástí mimo rozvodnou skříň přes svorkovnici, popřípadě v rámci připojení váhových senzoru jsou využity ethernetové propojky. Díky umístění váhových senzoru po dvojici na dvou deskách je propojení svedeno do dvou ethernetových kabelů. Kompletní schéma zapojení je možné vidět v příloze číslo 5 a vzhled rozvodné skříně je vidět na Obrázek 45.



Obrázek 45: Hlavní rozvodná skříň



### 7.3 Použité komponenty a jejich cena

Díky výběru komponent s ohledem na cenu je zde výpis přibližných cen, viz Tabulka 4. Jedná se o komponenty a součástky použité k řízení a elektroinstalaci. Celková cena se zdá poměrně vysoká, ovšem při použití aktuálně využívaných průmyslových systémů by tato celková cena byla pouze za řídicí jednotku.

Tabulka 4: Seznam použitých položek a jejich přibližné ceny

Položka	počet	cena za kus [Kč]	
Zdroj 12V	1	510,-	510,-
Toroid	1	998,-	998,-
Kulový ventil	4	1535,-	6140,-
Plovák	1	200,-	200,-
Ponorné čerpadlo 10 l/min	1	419,-	419,-
Průtokové čerpadlo 19 l/min	4	585,-	2340,-
Arduino Mega	1	1080,-	1080,-
Displej s SD kartou	1	418,-	418,-
Relé modul 4x	2	159,-	318,-
Relé modul 2x	1	91,-	91,-
Váhový senzor	4	203,-	812,-
Převodník AC - DC 12V	1	120,-	120,-
AD převodník HX711	4	77,-	308,-
Kabeláž	1	600,-	600,-
Hadice a spojovací materiál	1	1000,-	1000,-
Ethernetová propojka	2	50,-	100,-
Svorka pro DIN lištu	38	25,-	950,-
Malá rozvodná skříň	1	150,-	150,-
Velká rozvodná skříň	1	700,-	700,-
Celková cena			17254,-

## **8 Systém pro měření hydro-propustnosti – SW LabView**

Aktuální plně funkční program běží na systému Windows 10, ke kterému jsou potřeba doinstalovat knihovny LabView. Tyto knihovny obsahuje instalační program, který se vytváří v programu LabView a jsou kompatibilní s většinou verzí systému Windows.

Další důležitou součástí instalačního programu je knihovna pro správnou komunikaci s převodníkem sériové komunikace na USB. Tento převodník je přímo na desce Arduino. Existují dva typy těchto převodníků. V rámci originálních zařízení se jedná o převodník s označením „FTDI“. Pro tento převodník si systém automaticky nainstaluje ovladače a komunikace je téměř okamžitá. Druhý typ převodníků se vyskytuje na klonech Arduino. Tyto klony jsou mnohem levnější, čemuž také odpovídá zpracování. Jsou však funkční. Klony obsahují převodník s označením „CH-340“. Většina počítačů si ovladač pro tento převodník nedokáže nainstalovat, popřípadě s ním nedokáže správně komunikovat. Je tedy nutné nalézt a doinstalovat vhodný ovladač.

### **8.1 Programové propojení Arduino IDE a LabView**

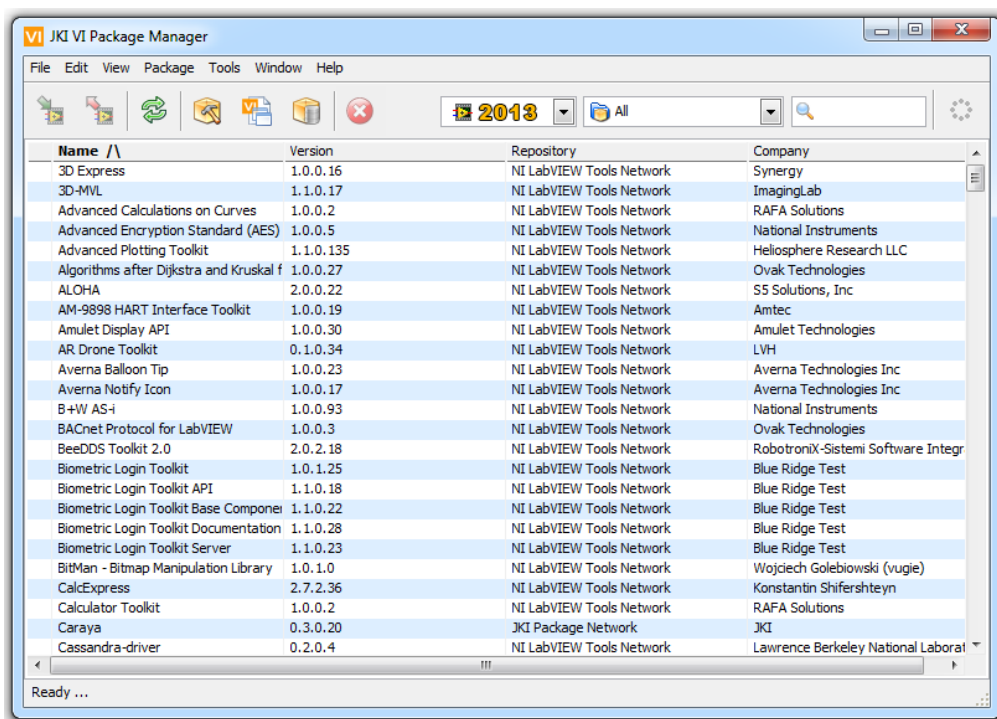
Arduino aktuálně slouží spíše jako překladač instrukcí z programu LabView. Tento program je dostupný jako doplněk k LabView s názvem „LabView interface for arduino“. Program dokáže obsluhovat digitální vstupy a výstupy, analogové vstupy a PWM výstupy. Problém ovšem nastal při použití váhového senzoru, kde je nutné nastavit použité piny při startu Arduina a tím upravit program nahrávaný do Arduina viz kapitola 8.1.2.

#### **8.1.1 Stažení programu pro komunikaci s LabView**

Podpora LabView má široké využití a bylo by nepřehledné, pokud by základní program obsahoval kompletní sadu vývojových nástrojů. Pro instalaci dalších programových nástrojů slouží doplněk „JKI VI Package Manager“.

Většinou je doplněk obsažen v instalaci LabView. Pokud je již nainstalován, stačí doplněk v počítači spustit. Pokud doplněk není možné nalézt, je možné ho stáhnout na adrese „<http://jki.net/vipm>“.

Při správném spuštění se zobrazí základní okno, které je zobrazeno na Obrázek 46. V tomto doplňku jsou nejdůležitější první dva obrázky, které umožňují instalovat, nebo odinstalovat balíčky z LabView. Dále pak obsahuje zvolení verze LabView, pro které jsou zobrazené nástroje určeny, a vyhledání potřebného balíčku.



Obrázek 46: Základní okno JKI VI Package manager

Pro využití Arduina je potřeba vyhledat balíček „LabVIEW Interface for Arduino“. Tento balíček obsahuje nástroje pro jednoduché ovládání desky Arduino. Jedná se o otevřenou platformu v rámci celého projektu Arduino, díky čemuž je možné tento balíček využívat bezplatně.

Po vyhledání tohoto balíčku je vhodné tento balíček označit a kliknout na možnost „Instal package(s)“, popřípadě je možné balíček otevřít, kde se objeví okno, které je zobrazeno na Obrázek 47. V tomto okně jsou zobrazeny informace ohledně otevřeného balíčku. Zde je potřeba zvolit verzi LabView, do které je nutné doplněk nainstalovat

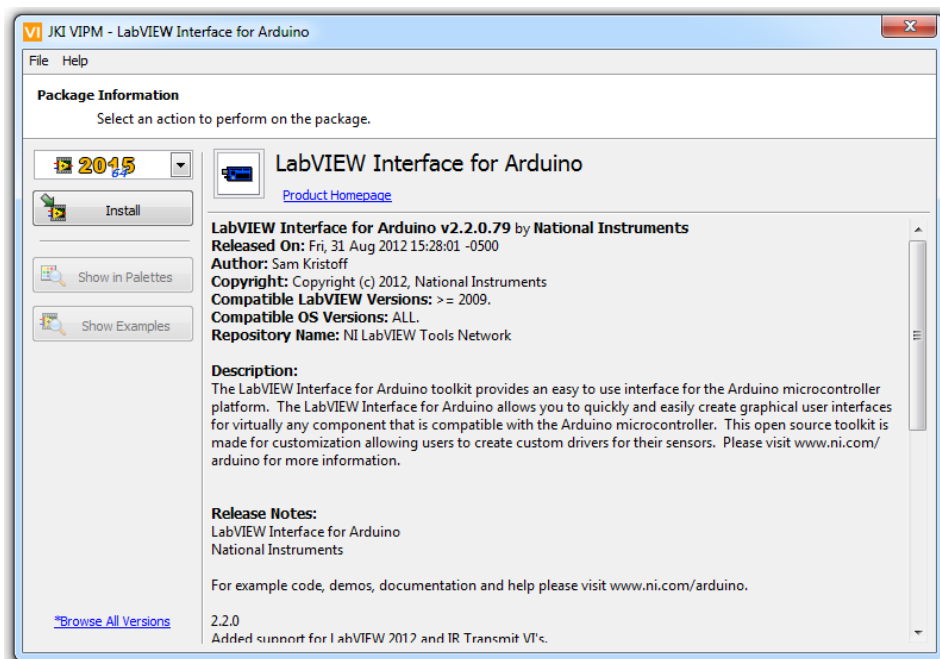
a následně kliknout na volbu „Install“. Po instalaci se objeví okno s informací, zda byly nástroje úspěšně nainstalovány.

Po nainstalování je možno „VI package manager“ vypnout a spustit LabView. Po otevření nabídky „Funkcí“ je nová možnost nástrojů s názvem „Arduino“, která je zobrazena na Obrázek 48.

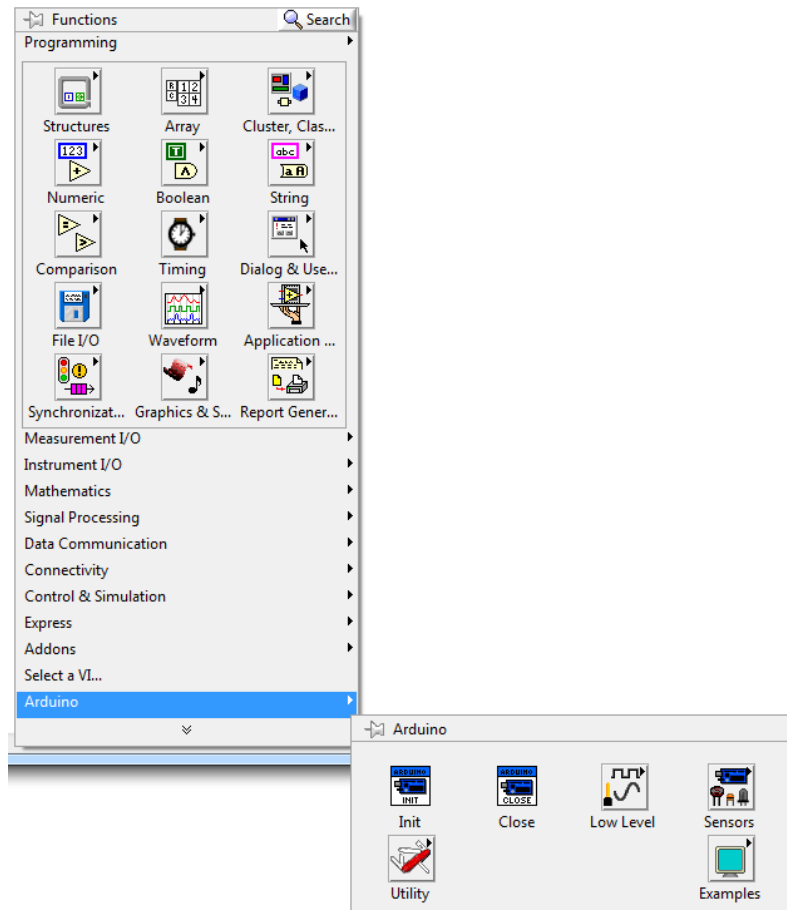
Pro zahájení ovládání desky Arduino přes LabView je nutné nahrát do Arduina program, který reaguje na příkazy LabView přes USB a správně odesílá požadovaná data. Tento program je stažen společně s balíčkem „LabVIEW Interface for Arduino“.

Pro nalezení tohoto programu je potřeba znát uložení nainstalovaného LabView. Příklad uložení:

„C:\Program Files (x86)\National Instruments\LabVIEW 2013\vi.lib  
\LabVIEW Interface for Arduino\Firmware\LIFA\_Base“.



Obrázek 47: JKI VI Package manager po zvolení balíčku



Obrázek 48: Nainstalovaný nástroj pro Arduino v programu LabView

### 8.1.2 Úprava staženého programu pro Arduino s váhovým senzorem

Pro načítání správné hodnoty z váhového senzoru slouží AD převodník. Pro tento převodník je k dispozici několik knihoven. Různé knihovny se liší i zapojením na různé piny. Aktuální použitý převodník má označení HX711.

Byla zkoušena knihovna, která vyžadovala připojení převodníku na piny Arduina s funkcí MOSI a MISO. Zde Arduino začne generovat hodinový signál na MOSI a naslouchá odezvě na MISO. Jedná se o obousměrnou komunikaci po sběrnici „SPI“. Vysílaný hodinový signál je z hlavního zařízení, čímž je nyní Arduino. Přijímaná data se čtou stejnou rychlostí, jako je přijímaný signál. Tato data se uloží do paměťového zásobníku a následně překládají do podoby čísel. Tato možnost je v rámci implementace nejpřesnější, ovšem deska Arduino Mega umožňuje pouze jedno komunikační propojení tímto stylem.

Druhá odzkoušená knihovna a aktuálně implementována vyžaduje připojení na dva analogové vstupní piny. Popis k této knihovně je k nalezení na těchto stránkách: „<https://github.com/bogde/HX711>“.

Problém této knihovny je nutnost inicializace váhy při startu Arduina. Díky tomu je potřebné zanést inicializaci přímo do programu Arduina. Upraven je soubor „LIFA\_Base – LabVIEWInterface.ino“. Na začátku je nutné přidat knihovnu a proměnou, do které se bude hmotnost ukládat, viz Zdrojový kód 11. Následně je vhodné do inicializace Arduina zavést funkci knihovny s předdefinovanými piny. Jednou z inicializačních funkcí je funkce „syncLV“, viz Zdrojový kód 12.

Zdrojový kód 11: Arduino IDE - přidání knihovny pro HX711 a definování vah

```
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include "HX711.h"
int DOUTKlaby;
int PD_SCKKlaby;
HX711 scale(A1, A0);
HX711 scale2(A3, A2);
HX711 scale3(A5, A4);
HX711 scale4(A7, A6);
unsigned long scaleRead;
```

Zdrojový kód 12: Arduino IDE - volání funkce knihovny pro HX711

```
void syncLV()
{
  Serial.begin(DEFAULTBAUDRATE);
  i2cReadTimeouts = 0;
  spiBytesSent = 0;
  spiBytesToSend = 0;
  Serial.flush();
  scale.set_scale(400);
  scale2.set_scale(400);
  scale3.set_scale(400);
  scale4.set_scale(400);
}
```

Těmito dvěma kroky jsme nastavili vyčítání hodnoty z AD převodníku na analogových pinech A0 a A1. Toto nastavení se v programu zavolá pouze jednou a nedá se měnit v průběhu běžícího programu.

Dalším krokem je vložení nového příkazu, které bude možné obdržet od programu LabView. Příklad příkazu je možné vidět ve Zdrojový kód 13, kde zdrojový kód ukazuje pouze začátek možných příkazů. Těchto příkazů je několik desítek. Příkaz je uložený v proměnné „command[1]“, který se vyhodnocuje a například při hodnotě “0x02” se daný pin nastavuje na vstupní nebo výstupní.

Přečtení váhy na příkaz a odeslání do LabView je vidět ve Zdrojový kód 14.

### Zdrojový kód 13: Arduino IDE - příklad příkazu přes sériovou komunikaci

```
// Processes a given command
void processCommand(unsigned char command[])
{
    // Determine Command
    if(command[0] == 0xFF && checksum_Test(command) == 0)
    {
        switch(command[1])
        {
            /*****
            ** LIFA Maintenance Commands
            *****/
            case 0x00:    // Sync Packet
                Serial.print("sync");
                Serial.flush();
                break;
            case 0x01:    // Flush Serial Buffer
                Serial.flush();
                break;
            /*****
            ** Low Level - Digital I/O Commands
            *****/
            case 0x02:    // Set Pin As Input Or Output
                pinMode(command[2], command[3]);
                Serial.write('0');
                break;
            case 0x03:    // Write Digital Pin
                digitalWrite(command[2], command[3]);
                Serial.write('0');
                break;
            case 0x04:    // Write Digital Port 0
                writeDigitalPort(command);
                Serial.write('0');
                break;
        }
    }
}
```

## Zdrojový kód 14: Arduino IDE - vložení nového příkazu od LabView

```
case 0xF6:
    scaleRead = (int)scale.get_units();
    //Send result to LabVIEW
    Serial.write((scaleRead >> 24) & 0xFF);
    Serial.write((scaleRead >> 16) & 0xFF);
    Serial.write((scaleRead >> 8) & 0xFF);
    Serial.write(scaleRead & 0xFF);
    break;
```

## 8.2 Program v LabView

LabView je grafické vývojové prostředí, ve kterém se zdrojový kód píše v jazyce „G“, neboli grafický programovací jazyk. Například vývojové prostředí Arduino IDE podporuje jazyk Wiring, což je strukturovaný text a má samostatný kompilátor. Stejně jako pro ostatní programovací jazyky existuje kompilátor pro jazyk G, který vytváří samostatné spustitelné programy. V jazyce G jsou dostupné rychlé programovací základní funkce, tak i kompilované podprogramy pro komunikaci, matematickou analýzu, statistiku a podobně.

### 8.2.1 Příklad příkazu pro přečtení hmotnosti přes sériovou komunikaci

Podprogram pro přečtení váhy viz Zdrojový kód 15. Vstupem jsou čísla pinů, na které je váha připojena. Aktuálně jsou tato čísla irelevantní, jelikož jsou pevně daná v Arduinu. Tato čísla se dají vyčíst, ovšem zatím se nepodařilo je bez inicializace změnit viz kapitola 8.1.2. Tato čísla se prvními dvěma bloky kontrolují, zda spadají do intervalu počtu pinů na dané Arduino desce.

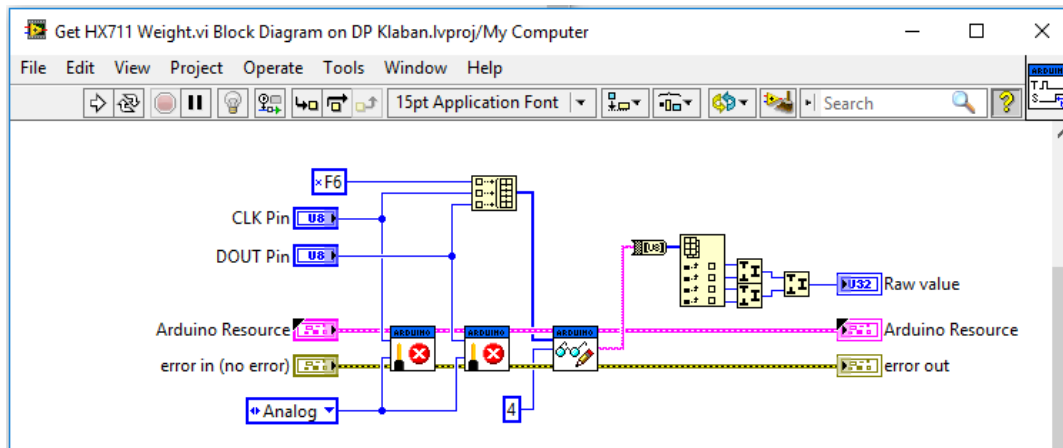
Třetí blok posílá příkaz pro přečtení hodnoty a vyčkává na odpověď. Příkaz pro Arduino je číslo „xF6“, neboli „0xF6“, což je hexadecimální hodnota čtená Arduinem viz Zdrojový kód 15. Hodnota „4“ přivedená do třetího bloku je počet očekávaných bajtů. Tyto bajty se následně spojí v jedno číslo a uložené do výstupní proměnné „Raw value“.

Práce s přečtenou hmotností viz Zdrojový kód 16. Na začátku se zavolá blok pro přečtení váhy, následně se uloží do globální proměnné a přepočítá se výsledná

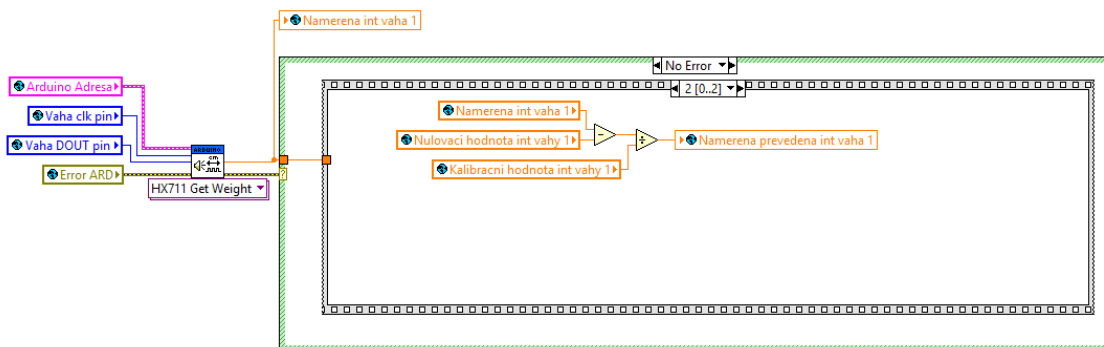


hodnota v závislosti na parametrech kalibrace, které jsou uloženy v rámci globálních proměnných.

Zdrojový kód 15: LabView – program pro přechtení váhy



Zdrojový kód 16: LabView – program zpracování přechtené váhy



## 8.2.2 Příklad podprogramu pro ovládání čerpadla

Příklad zdrojového kódu viz Zdrojový kód 17.

Vstupní proměnné:

- Vypinaci vaha – hmotnost, při jejímž dosažení nesmí dojít k sepnutí čerpadla.
- Aktuální vaha – hmotnost naměřená v aktuálním cyklu.

- Cluster vaha – struktura dat nastavená uživatelem při spuštění programu. Struktura obsahuje: zda je váha aktivní, na jaké je pozici v rámci zařízení, její kalibrační hodnoty, na jakém pinu má připojený plovák, na jakém pinu má připojené spínání čerpadla pro odčerpání vody, časový interval, po jakém mají být uloženy hodnoty měření a čas zahájení měření.
- Cerpadlo in – hodnota čerpadla nastavené z předchozího cyklu.
- Zapnout cerpadlo – možnost zapnutí čerpadla uživatelem.
- Spinat pri plovaku – možnost vypnutí spínání čerpadla uživatelem.
- Vypnout cerpadlo nad vahou – možnost uživatelského zapnutí zastavení čerpání vody do hlavní nádoby při dosažení určité váhy.
- Out Array in – vstupní pole uchovávající předchozí hodnoty plováku.

Výstupní proměnné:

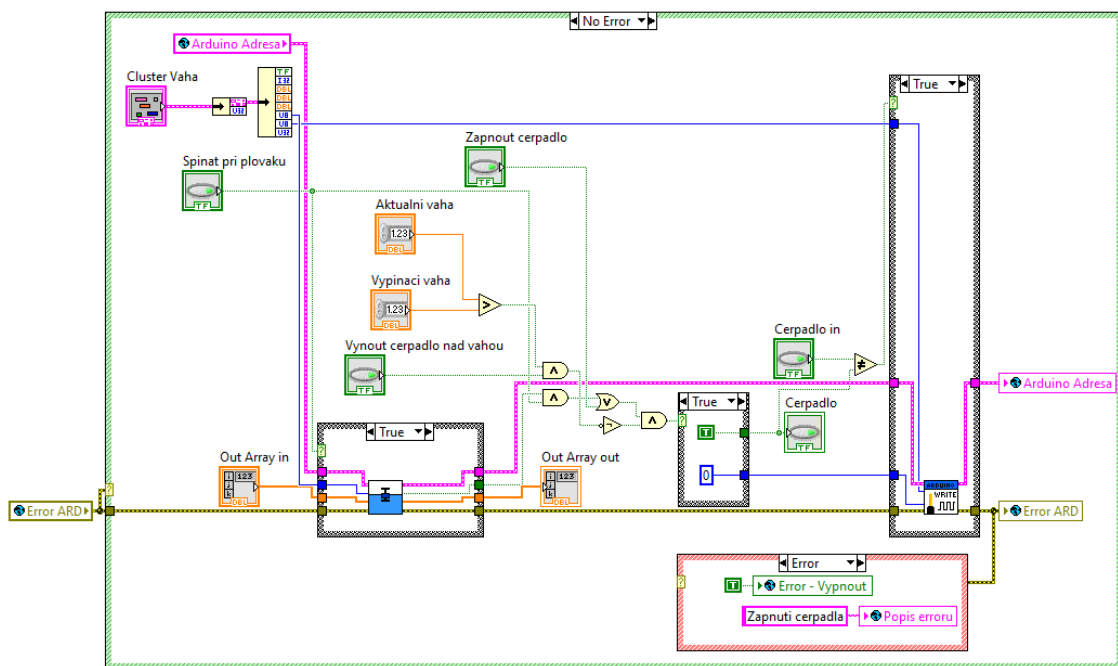
- Cerpadlo – informace o aktuálním zapnutí nebo vypnutí čerpadla.
- Out Array out – výstupní pole uchovávající předchozí hodnoty plováku.

Tento blok se provede pouze v případě správné předchozí komunikace Arduina a počítače. Po spuštění bloku se nejdříve načtou veškeré vstupní proměnné, přičemž z proměnné „Cluster Vaha“ jsou zjištěny piny pro čtení hodnoty plováku a na jakém pinu je umístěné spínání čerpadla. Pokud je zapnutá volba spínání plováku při sepnutém plováku, provádí se podprogram přečtení hodnoty plováku, viz Zdrojový kód 2. Následně se vyhodnotí, zda má být čerpadlo sepnuté v závislosti na proměnných ovládané uživatelem. Pokud je zapnutá volba vypínání čerpadla nad určitou hmotností a aktuální hmotnost je větší než zadaná vypínací hmotnost uživatelem, zůstane čerpadlo vždy vypnuté. Pokud je předchozí podmínka negativní a je zapnutá volba přímého zapnutí čerpadla nebo zapnutá volba spínání čerpadla při plováku, přičemž hodnota plováku je zjištěna jako, pozitivní bude čerpadlo zapnuto.

V následující podmínce je připravena hodnota „0“ pro sepnutí čerpadla a hodnota „1“ pro vypnutí čerpadla. Zde se i připraví hodnota pro výstupní proměnnou „Cerpadlo“

Sloužící k vizualizaci zapnutého nebo vypnuté čerpadla. Po nastavení těchto hodnot je uložena hodnota do výstupní proměnné „Cerpadlo“ a proběhne porovnání, zda v předchozím cyklu byl výsledek zapnutí nebo vypnutí čerpadla stejný. Pokud byl výsledek stejný, dojde k dokončení podprogramu. Pokud se výsledek z aktuálního vyhodnocení a vyhodnocení z předchozího cyklu liší, dojde k vyvolání podprogramu pro zápis hodnoty na určitý pin Arduina. Pokud zápis proběhne bez problému, dojde k úspěšnému dokončení. Při chybném zápisu, například kvůli přerušené komunikaci s Arduinem, dojde k zapsání chyby do globální proměnné, včetně globálního popisu, kde k chybě došlo. Následné provádění kompletního programu bude přeskakováno díky neustálé kontrole bezchybné komunikace a v určitý moment dojde k ukončení programu.

Zdrojový kód 17: Zapnutí/vypnutí hlavního čerpadla

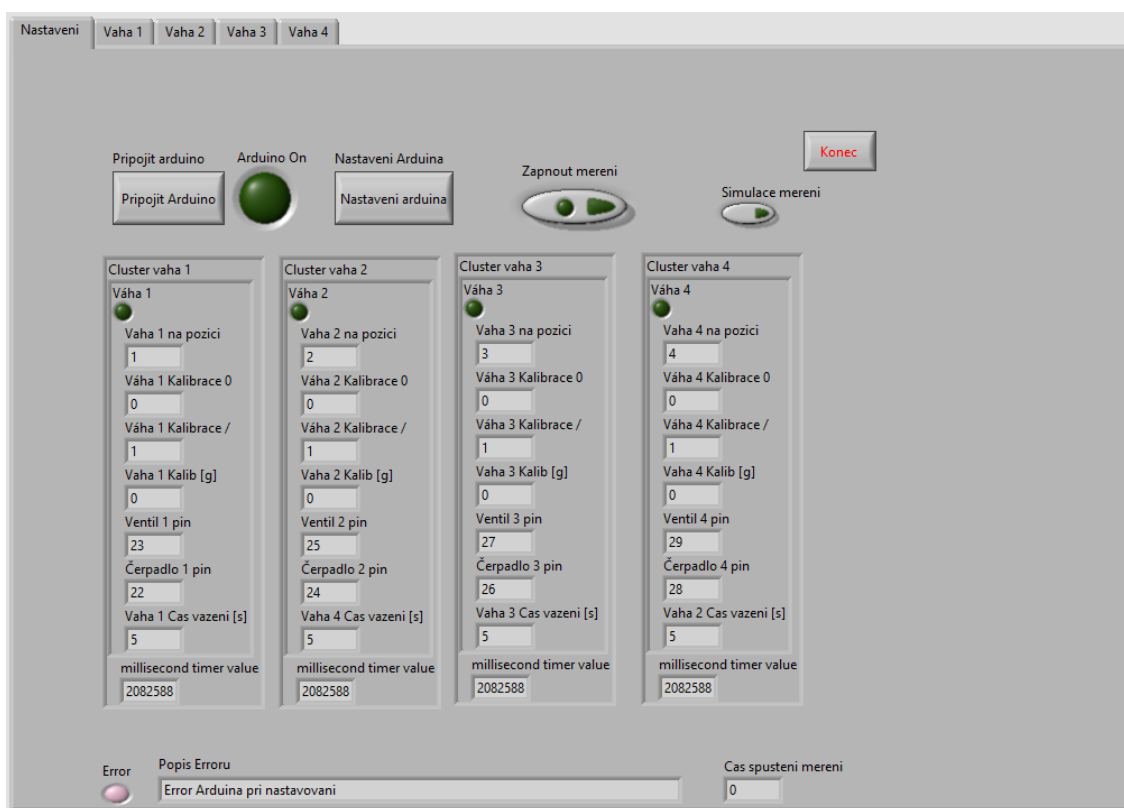


## 9 GUI pro systém měření hydro-propustnosti v LabView

Vizuální podoba programu je tvořena co nejjednodušší pro příjemné ovládání. Nejsložitější část je základní nastavení, kde je nutné všechny váhy kalibrovat a nastavit vhodné piny. Toto nastavení je však možné ukládat a následně neustále používat.

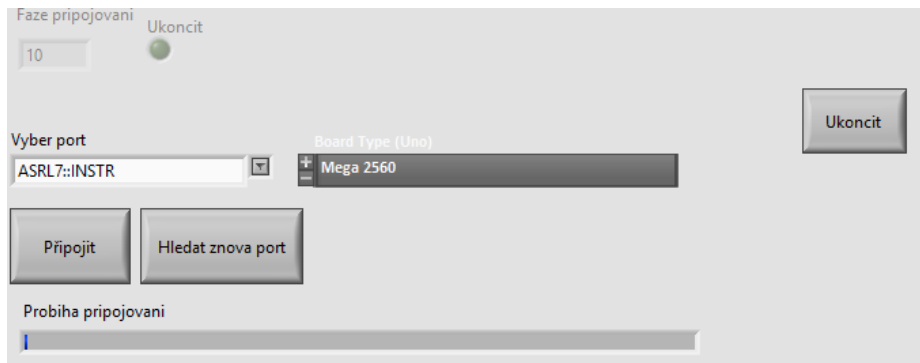
### 9.1 Záložka Nastavení

Při zapnutí programu je viditelná záložka „Nastavení“, kde je hlavně tlačítko „Připojit Arduino“, kontrolka, zda je Arduino připojeno, tlačítko „Nastavení Arduina“ a zapnutí měření viz Obrázek 49.

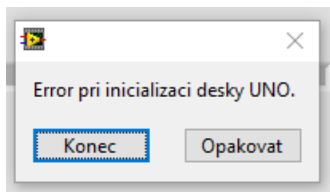


Obrázek 49: Program GUI - záložka Arduino

Po stisknutí „Připojit Arduino“ se objeví volba portu, viz Obrázek 50. Při nalezení pouze jediného portu se automaticky zvolí jediný možný a počítač se pokusí okamžitě připojit. Při úspěšném propojení se výběr portu a desky Arduina zavře a rozsvítí kontrolka připojení Arduina. Při neúspěchu se objeví hláška o chybě při inicializaci Arduina viz Obrázek 51. Zde je možné nastavení portu a desky Arduino opakovat, popřípadě program ukončit.

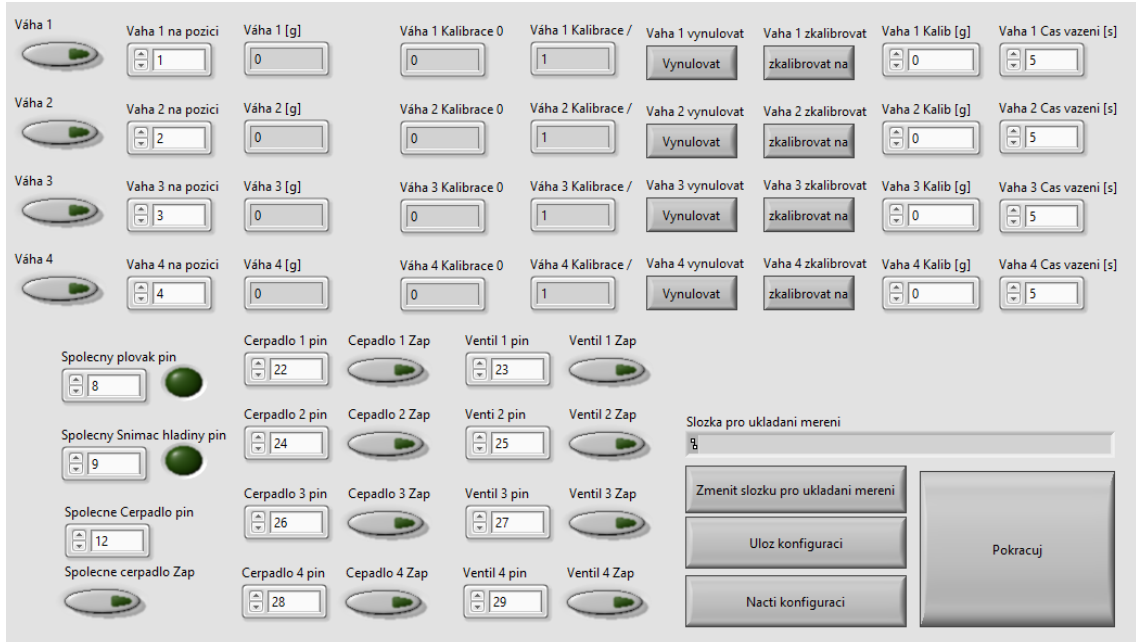


Obrázek 50: Program GUI - výběr portu a desky Arduino



Obrázek 51: Program GUI - Error při inicializaci

Po úspěšném připojení je vhodné kliknout na tlačítko „Nastavení Arduino“. Následně se objeví kompletní možnost nastavení systému měření, viz Obrázek 52.



Obrázek 52: Program GUI - Nastavení Arduino

V první fázi je potřeba určit, jaké váhy se budou používat pomocí tlačítek na levé straně, následně u nich určit nulovou hodnotu váhy. Je tedy vhodné mít prázdnou váhu, popřípadě na váze mít nádobu, do které bude stékat vážená kapalina. Pomocí tlačítka

„Vynulovat“ se hodnota váha vynuluje. Nula je vidět ve sloupcích „Vaha X [g]“. Následně je potřeba na váhu umístit předmět, jehož váhu předem známe. Znamou váhu napíšeme do kolonky „Vaha X Kalib [g]“ a stiskneme tlačítko „zkalibrovat na“. Nyní bude váha ukazovat přesně danou hodnotu. Dále je zde možné nastavit interval měření pro jednotlivé váhy a piny, na kterých jsou zapojené plováky a čerpadla k jednotlivým vahám.

V pravém spodním rohu je možné zvolit složku, kam se dané měření bude ukládat a je zde možnost uložit nadefinovanou konfiguraci popřípadě konfiguraci načíst. Tato konfigurace se ukládá ve formě textového souboru jako typ „xml“. Jedná se o datový typ určený pro uchovávání a uspořádání informací. Příklad pro uchování informace pro jednu zvolenou váhu je vidět ve Zdrojový kód 18.

Po nastavení všech potřebných hodnot je možné se tlačítkem „Pokracuj“ vrátit na úvodní obrazovku a stiskem na tlačítko „Zahájit měření“ se měření spustí.

#### Zdrojový kód 18: Uložení nastavení Arduina v XML

```
<?xml version="1.0" standalone="yes"?>
<unnamed_cluster>
  <Váha_1>true</Váha_1>
  <Vaha_1_na_pozici>1</Vaha_1_na_pozici>
  <Váha_1_Kalibrace_0>0</Váha_1_Kalibrace_0>
  <Váha_1_Kalibrace_>1</Váha_1_Kalibrace_>
  <Vaha_1_Kalib_g>0</Vaha_1_Kalib_g>
  <Plovak_1_pin>8</Plovak_1_pin>
  <Čerpadlo_1_pin>22</Čerpadlo_1_pin>
  <Vaha_1_Cas_vazeni_s>3</Vaha_1_Cas_vazeni_s>
  <Váha_2>true</Váha_2>
  <Vaha_2_na_pozici>2</Vaha_2_na_pozici>
  <Váha_2_Kalibrace_0>0</Váha_2_Kalibrace_0>
  <Váha_2_Kalibrace_>1</Váha_2_Kalibrace_>
  <Vaha_2_Kalib_g_>0</Vaha_2_Kalib_g_>
  <Plovak_2_pin>9</Plovak_2_pin>
  <Čerpadlo_2_pin>24</Čerpadlo_2_pin>
  <Vaha_2_Cas_vazeni_s>1</Vaha_2_Cas_vazeni_s>
  <Váha_3>false</Váha_3>
  <Vaha_3_na_pozici>3</Vaha_3_na_pozici>
  <Váha_3_Kalibrace_0>0</Váha_3_Kalibrace_0>
  <Váha_3_Kalibrace_>1</Váha_3_Kalibrace_>
  <Vaha_3_Kalib_g_>0</Vaha_3_Kalib_g_>
  <Plovak_3_pin_>10</Plovak_3_pin_>
  <Čerpadlo_3_pin>26</Čerpadlo_3_pin>
  <Vaha_3_Cas_vazeni_s_>5</Vaha_3_Cas_vazeni_s_>
  <Váha_4>false</Váha_4>
```

```

<Vaha_4_na_pozici>4</Vaha_4_na_pozici>
<Váha_4_Kalibrace_0>0</Váha_4_Kalibrace_0>
<Váha_4_Kalibrace_>1</Váha_4_Kalibrace_>
<Vaha_4_Kalib_g>0</Vaha_4_Kalib_g>
<Plovak_4_pin>11</Plovak_4_pin>
<Čerpadlo_4_pin>28</Čerpadlo_4_pin>
<Vaha_4_Cas_vazeni_s_>5</Vaha_4_Cas_vazeni_s_>
</unnamed_cluster>

```

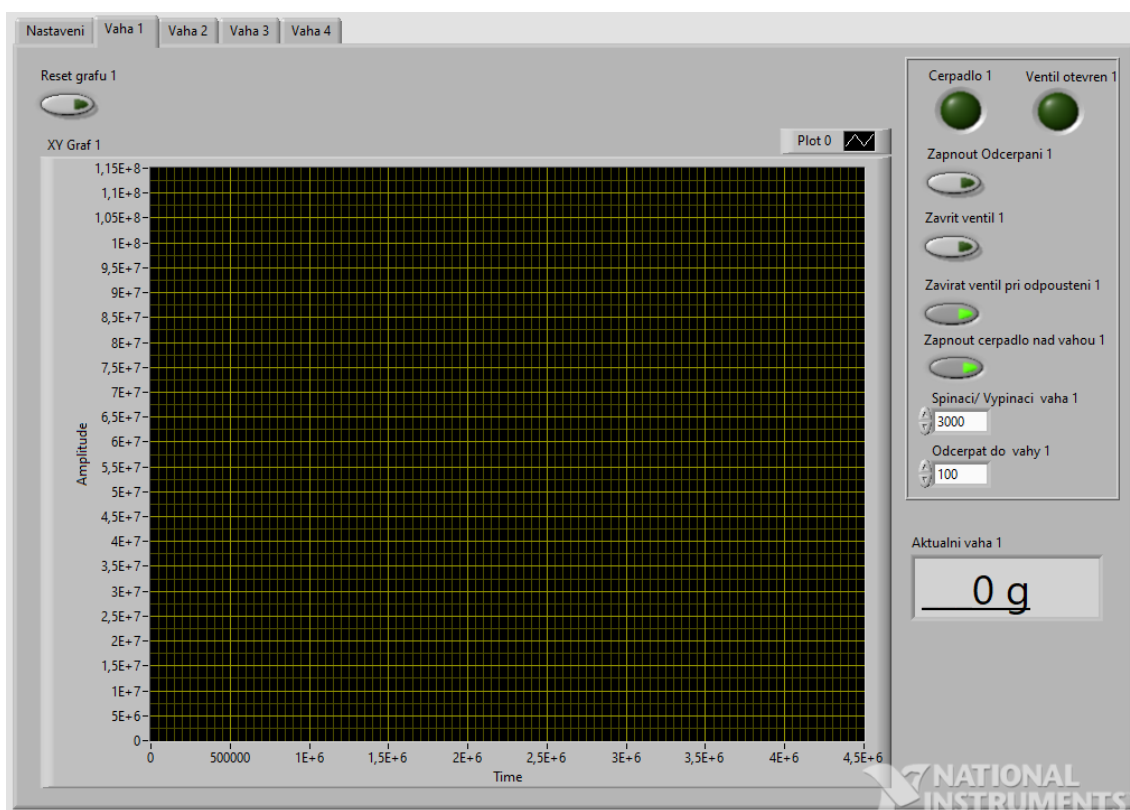
Na zvolené cestě pro ukládání dat je možné nalézt až čtyři nové soubory, které mají příponu „.xlsx“. Jedná se o standartní tabulkový formát, který je možné otevřít v programu „Microsoft Excel“. Soubor se nedá otevřít při spuštění programu, jelikož se do něj stále zapisuje. Pokud je potřeba záznam dat zkontrolovat, je možné soubor zkopírovat a tento zkopírovaný soubor jde bez problému otevřít. Soubor obsahuje šest sloupců, viz Obrázek 53. První tři nesou informaci o hodině, minutě a vteřině zaznamenání váhy. Čtvrtý sloupec pouze odděluje. Pátý sloupec je počet vteřin od spuštění a poslední sloupec je zaznamenaná váha při měření.

	A	B	C	D	E	F
1	Hodina	Minuta	Vterina	---	Cas	Namereno
2	14	42	41	0	1	332
3	14	42	45	0	4	332
4	14	42	45	0	5	331
5	14	42	46	0	6	331
6	14	42	47	0	7	332
7	14	42	48	0	8	332
8	14	42	49	0	9	332
9	14	42	50	0	10	322
10	14	42	51	0	11	307
11	14	42	52	0	12	291

Obrázek 53: Uložená naměřená data

## 9.2 Záložka Váha

Jedná se o čtyři následující záložky, kde každá zobrazuje graf naměřených hodnot pro jednotlivou váhu a umožňuje ovládání jednotlivého měření. Aktuálně je možné sledovat aktuální váhu, otevření ventilu a sepnutí čerpadla. Dále je možné zapnout čerpadlo bez ohledu na jiné podmínky, vypnout spínání čerpadla při sepnutí plováku a možnost nastavení hodnoty hmotnosti, při které přestane čerpadlo čerpat vodu. Poslední nastavitelná hodnota hmotnosti je určena pro zastavení odčerpávání vody při dosažení zadané hmotnosti.



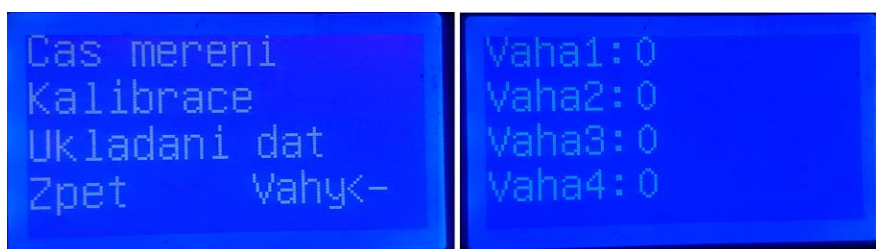
Obrázek 54: Program GUI – Záložka váha



## 10 Program a GUI ve vývojovém prostředí Arduino IDE

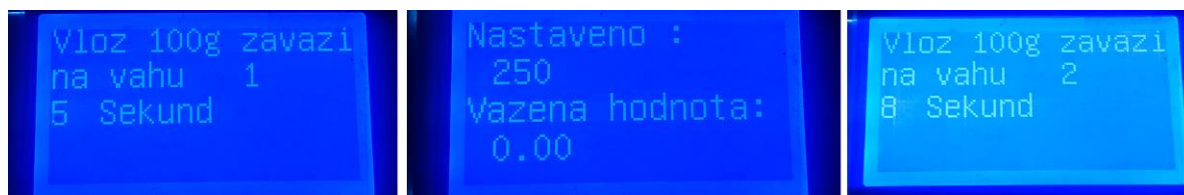
Program z prvního prototypu je rozšířen o možnost měření na čtyřech vahách a umožněn koloběh vody pomocí ovládání pěti čerpadel. Kompletní program je možné vidět v příloze číslo 7.

Hlavní změnou oproti prototypu je přidaná možnost v menu. Nyní je zde vedle volby „Zpet“ možné zvolit volbu „Vahy“. Následně zobrazí obrazovka se čtyřmi váhami a jejich aktuální hodnota viz Obrázek 55: Program GUI - nové zobrazení hmotnosti. Zde je vhodné zjistit, jaké je fyzické umístění vah a následně provést kalibraci.



Obrázek 55: Program GUI - nové zobrazení hmotnosti

Druhou změnou je průběh kalibrace. Při spuštění kalibrace systém vyzve k vložení závaží na váhu 1. V tento moment probíhá časový odpočet, který je na displeji také zobrazen. Po dokončení odpočtu začne automatická kalibrace. Po dokončení kalibrace systém vyzve k položení závaží na druhou váhu. Tímto způsobem se provede kalibrace všech vah, viz Obrázek 56.



Obrázek 56: Program GUI - nastavení kalibrace

Třetí hlavní změnou je udržení stálého koloběhu vody, zajištěné pomocí funkce s názvem „KontrolaVahAOdcerpani“, kterou je možné najít v příloze číslo 7. Zde je zahájení odčerpání při váze 4kg a odčerpává do váhy 1kg.

## 11 Příklad výsledku měření

Výsledek měření se v případě použití programu přes Arduino IDE je ukládán na paměťovou kartu. Soubor na kartě je text, kde každý řádek znamená jeden záznam dat. Každý záznam obsahuje čas a váženou hodnotu na každé váze. Příklad těchto dat je možné vidět v následující tabulce.

Tabulka 5: Uložená data na kartě z programu Arduina

00:00:09	:V1:	0.00	:V2:	0.00	:V3:	0.00	:V4:	-1.00
00:00:10	:V1:	1.00	:V2:	0.00	:V3:	0.00	:V4:	-1.00
00:00:11	:V1:	1.00	:V2:	0.00	:V3:	0.00	:V4:	-1.00
00:00:12	:V1:	1.00	:V2:	0.00	:V3:	0.00	:V4:	-1.00
00:00:12	:V1:	1.00	:V2:	0.00	:V3:	0.00	:V4:	-1.00
00:00:13	:V1:	1.00	:V2:	0.00	:V3:	0.00	:V4:	-1.00

Text v souboru obsahuje častý oddělovač „:“, který je možné využít při exportování do tabulkového systému a následně s daty pracovat.

Výsledek měření z programu LabView je rovnou v tabulkovém formátu, viz následující tabulka. Cesta pro uložení dat se volí při nastavování měření v programu. V udané cestě jsou následně vytvořeny čtyři tabulkové soubory, kde každý obsahuje měření z jedné váhy. Tato varianta byla zvolena z důvodu možnosti nastavení různého časového úseku pro každou váhu, po kterém má dojít k záznamu.

Tabulka 6: Uložená data z programu LabView

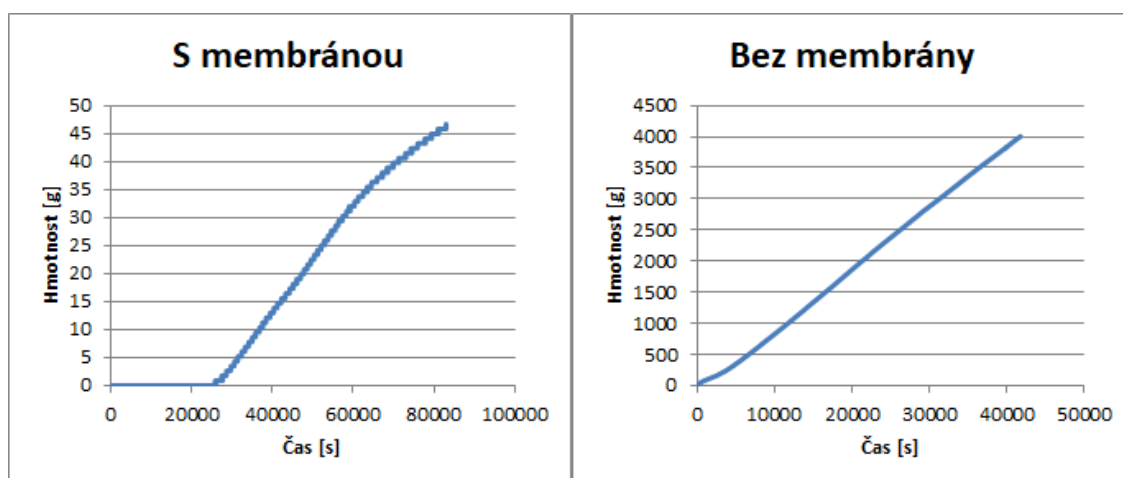
Hodina	Minuta	Vterina	---	Cas	Namereno
11	17	21	0	60	0
11	18	20	0	120	0
11	19	20	0	180	0
11	20	20	0	240	0
11	21	21	0	300	0

V rámci testovacího měření bylo provedeno měření na OSB deskách. Kompletní změřené hodnoty jsou uvedené v příloze číslo 5 a v obrázku s grafy viz Obrázek 57. V následující tabulce je vidět výtah dat. Měření bylo provedeno na OSB desce s membránou a na OSB desce bez membrány. Zde je vidět, že deska s membránou začala protékat až přibližně po 7 hodinách působení vody na desku. V datech je možné

zpozorovat chybu měření, kde v následující měřený čas je hodnota měření menší. K této chybě může dojít ze dvou důvodů. První je možnost odpařování vody. Druhým důvodem je přesnost váhového senzoru, která se mění v závislosti na kalibraci váhy. V tomto příkladu měření se jedná o možnou chybu 0,864407 gramů, což je aktuální minimální zaznamenatečný přírůstek váhy.

Tabulka 7: Ukázka zpracovaných dat

OSB desky					S membránou	Bez membrány
Hodina	Minuta	Vterina	---	Cas	Namereno	Namereno
11	17	21	0	60	0	1,789474
11	18	20	0	120	0	10,73684
11	19	20	0	180	0	19,68421
.	.	.	.	.	.	.
18	24	20	0	25680	0	2441,737
18	25	21	0	25740	0,864407	2448
18	26	20	0	25800	0,864407	2454,263
18	27	20	0	25860	0,864407	2459,632
18	28	20	0	25920	0,864407	2465
18	29	21	0	25980	0	2471,263
18	30	20	0	26040	0,864407	2477,526
18	31	21	0	26100	0,864407	2483,789
.	.	.	.	.	.	.
22	48	21	0	41520	14,69492	3975,316
22	49	21	0	41580	14,69492	3980,684



Obrázek 57: Grafy měření OSB desek

## 12 Zhodnocení systémů

Porovnání obou systémů z hlediska přesnosti, ekonomického hlediska a jejich výhod a nevýhod.

### 12.1 Výhody a nevýhody

#### Program v Arduino IDE

Výhody:

- Přístroj je možné zapojit do napájení a okamžitě začít měřit.
- Je možné nastavení intervalu pro ukládání měření.
- Téměř okamžité nastavení výstupních pinů.

Nevýhody:

- Zapojení musí být kompletně shodné s dokumentací.
- Cyklus měření není možné nijak ovlivňovat. Funkce by se daly doprogramovat, ovšem pohyb na malém displeji by byl mnohem více nekomfortní.
- Vždy je nutné měřit na všech čtyřech váhových senzorech.
- Výsledek měření zjistitelný až po ukončení měření.
- Ovládání přes malý displej není komfortní.
- Arduino nestíhá dostatečně rychle detekovat směr pohybu otočného tlačítka, díky čemuž je možný pohyb v menu náhodným směrem.
- Hmotnost, při které dojde k odčerpání a do jaké váhy bude odčerpávat, je pevně nastaveno přímo v programu.

#### Program v LabView

Výhody:

- Možné přenastavení pořadí váhových senzorů.

- Volba, na jakých váhových senzorech se bude vážit, přičemž u ostatních větví zůstanou zavřené kulové ventily.
- Možnost záměny a následné nastavení ovládacích pinů čerpadel a ventilů.
- Možnost pracovat s výsledkem měření v průběhu měření a tím kontrolovat správnost zapisování dat do souboru.
- Zobrazování grafu měření v reálném čase.
- Možnost zasahovat do cyklu měření. Například vypínat nebo zapínat čerpadla.
- Interval měření je možné nastavit pro každou váhu zvlášť.

Nevýhody:

- Pro obsluhu je nutné mít připravený počítač s vývojovým prostředím LabView, které je licencované a jsou nutné ovladače ke komunikaci s Arduinem.

## 12.2 Přesnost měření

U obou systému jsou použity váhové senzory s AD převodníkem. Výstup z převodníku HX711 je 24bitový. Při nejvyšším nastaveném rozlišení na převodníku je tedy jednotkové rozlišení 4,8 nV, což u 5kg váhového senzoru odpovídá přibližně 1,44 g. Jedná se tedy o extrémně malé hodnoty a kterékoli rušení může ovlivňovat výsledky měření. Po kalibraci váhových senzorů na reálné hodnoty se dostáváme na přesnost 1g.

V rámci dlouhodobého měření jsou váhové senzory přesnější než zkoušená váha KERN. V případě položení nádoby s vodou na váhu KERN a umožnění volného odpařování vody z nádoby, nebyla hmotnost na váze změněna. V případě váhového senzoru docházelo ke snižování zobrazené hmotnosti.

Program v Arduino IDE má přesnější časový údaj při načtení dat z váhových senzorů díky absenci sériové komunikace. Jedná se ovšem o řád setin vteřiny a při dlouhodobém měření nemá tato výhoda podstatný vliv.

### 12.3 Ekonomické hledisko

Většina použitých součástí je pro oba systémy totožná, viz kapitola 7.3.

Při použití programu v Arduino IDE je nutné mít k dispozici displej v hodnotě 417 Kč, což je zanedbatelná částka v rámci celkové ceny systému, která je přibližně 17 000 Kč.

V rámci použití programu v LabView, je nutné mít k dispozici licencované vývojové prostředí. Aktuálně je možné využít studentskou licenci, která je na půl roku bezplatně. Následně se studentská licence pohybuje kolem ceny 10 000 Kč. Popřípadě je možné využít základní licenci v hodnotě 10 000 Kč, která má omezení na operační systémy Windows. V případě distribuce programu by bylo nutné zakoupit licenci „Professional“, která umožňuje vytvoření instalačního programu s následným používáním standardního spustitelného programu v počítačích. Tato licence se pohybuje kolem 150 000 Kč.

Díky těmto cenám je použití programu v Arduino IDE mnohem přijatelnější a jednodušší.

## 13 Závěr

První prototyp systému byl tvořen jednou váhou, čerpadlem a plovákem. Řízení, které obsahovalo převodník pro váhový senzor, řídicí desku Arduino Mega, displej s otočným tlačítkem a relátka. Arduino bylo osazeno v papírové krabici a komponenty pouze provizorně připojeny. Bylo možné měřit na váhovém senzoru nebo na váze KERN. Díky nekvalitnímu propojení komponent vznikaly chyby při odečítání hodnot z váhového senzoru projevující se obrovskou hodnotou ve výpisu měření. Tyto velké hodnoty se daly ignorovat, jelikož nebyly tak časté a dalo se na zařízení testovat. Zařízení bylo spustitelné v obou naprogramovaných prostředích, což je kompletní implementace v Arduino IDE, kde se využíval váhový senzor nebo možnost ovládání přes počítač, kde byl program vyvíjen ve vývojovém prostředí LabView. Zde bylo možné zvolit, zda měření probíhá na váhovém senzoru nebo na váze KERN. Jelikož standardní váha KERN je mnohem dražší a její přesnost v okamžitém vážení byla stejná jako při použití váhového senzoru, bylo rozhodnuto při dalším postupu využívat pouze váhové senzory.

Následně byl vytvořen druhý prototyp, ve kterém byly důležité spoje pájené a proběhlo k rozšíření zařízení na dva testovací stroje, každý o jednom váhovém senzoru. Tento prototyp měl řídicí komponenty umístěné v plastové krabici a řídicí program byl dále vyvíjen pouze v programovém prostředí LabView kvůli příjemnější obsluze zařízení. Došlo ke kompletní úpravě rozhraní pro uživatele tak, aby bylo co nejjednodušší. V programu bylo možné pouze nastavit kalibraci vah a spustit měření. K dispozici byla pouze čerpadla pro udržení konstantní vodní hladiny, a pokud došlo k naplnění nádob umístěných nad váhovými senzory, bylo měření ukončeno.

Závěrečný systém měření obsahuje čtyři váhové senzory, umožňuje stálý koloběh vody a rozšířenější ovládání v rámci obsluhy přes počítač.

Systém měření je možné dále rozvíjet, například je aktuálně plánované otestování přidání průtokoměru za kulový ventil a nad ventilem bude vytvořena odbočka s dalším ventilem a druhým průtokoměrem. V rámci odbočky bude připevněn průtokoměr pro malé průtoky a v rámci hlavní větve bude průtokoměr pro větší průtoky. Díky tomu by mohla být zjišťována nasákavost materiálu. Průtokoměry jsou ovšem násobně dražší než aktuálně použité komponenty.

## Seznam použité literatury

- [1] KADLECOVÁ, Zlata. *Analýza výsledků měření propustnosti betonu pro vzduch a vodu jako podklad pro odhad jeho aktuální trvanlivosti*. Brno, 2016. DISERTAČNÍ PRÁCE. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. ONDŘEJ ANTON, Ph.D.
- [2] GAJDOŠÍK, Radek. *Charakterizace porézních materiálů pomocí RTG mikrotomografie*. Zlín, 2014. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Ing. Antonín Minařík, Ph.D.
- [3] MEC, Pavel. *Charakterizace porézních materiálů pomocí RTG mikrotomografie*. Ostrava, 2012. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Brožovský, Ph.D.
- [4] Pascal Mercury Porosimeters. *Thermofisher* [online]. [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/11510140>
- [5] MERCURY INTRUSION POROSIMETRY TESTING. *Particletechlabs* [online]. [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://www.particletechlabs.com/analytical-testing/gas-adsorption-porosimetry-analyses/mercury-intrusion-porosimetry>
- [6] *Laboratorní permeometr UMS KSAT pro hydraulickou vodivost* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://www.ekotechnika.cz/ums-ksat-laboratorni-permeometr>
- [7] KURÁŽ, Michal. *HYDRODYNAMIKA PORÉZNÍHO PROSTŘEDÍ* [online]. Fakulta životního prostředí Praha, 2014 [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://nostromo.fsv.cvut.cz/skripta.pdf>. Skripta. Česká zemědělská univerzita v Praze. Vedoucí práce Jiří MLS
- [8] DAVIS, A.G. a kol. *ACI 228.2R-98 Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures*. Reported by ACI Committee 228. American Concrete Institute. 1998 (Reapproved 2004). 62s.



- [9] Autoclam. *Amphorandt* [online]. [cit. 2019-03-24]. Dostupné z:  
<http://www.amphorandt.com/autoclam.html#Technical>
- [10] Arduino Mega. *Bitsandparts* [online]. [cit. 2018-09-29]. Dostupné z:  
[https://www.bitsandparts.eu/Arduino-and-compatible-microcontroller-boards/Arduino-Mega-2560-met-USB-kabel-\(open-source-kloon\)/p122082](https://www.bitsandparts.eu/Arduino-and-compatible-microcontroller-boards/Arduino-Mega-2560-met-USB-kabel-(open-source-kloon)/p122082)
- [11] KLABAN, Michal. *Systém řízení laboratorní filtrační jednotky*. Liberec, 2016. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií. Vedoucí práce Lenka KRETSCHMEROVÁ
- [12] Váha KERN 440-43N. *KERN* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z:  
<https://www.kern-sohn.com/shop/en/laboratory-balances/precision-balances/440/>
- [13] Převodník RS232-USB. *Czc.cz* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z:  
<https://www.czc.cz/premiumcord-usb-rs-232-prevodnik/80180/produkt>
- [14] HRBÁČEK, Jiří. *24 bitový dvoukanálový AD převodník s obvodem HX711* [online]. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z:  
<http://wrack.ped.muni.cz/hrbacek/ardMod/ADkonv24bHx711.pdf>

## Seznam příloh

Příloha č. 1: Příložené CD – externí příloha.....	91
Příloha č. 2: Uživatelský manuál – externí příloha.....	92
Příloha č. 3: Fotografie prototypu měřicího přístroje .....	93
Příloha č. 4: Fotografie měřicího přístroje.....	94
Příloha č. 5: Schéma elektrického zapojení .....	95
Příloha č. 6: Příklad naměřených dat dvou měření.....	102
Příloha č. 7: Kompletní program v Arduino IDE .....	133

## **Příloha č. 1: Přiložené CD – externí příloha**

Součástí diplomové práce je přiložené CD obsahující tyto adresáře:

- **Text**

Tato práce v digitální podobě a uživatelský manuál. Formát „PDF“.

- **Software pro systém měření hydro-propustnosti v LabView**

- **LabView**

Kompletní program spustitelný ve vývojovém prostředí LabView 2013 SP1.

- **ArdinoIDE**

- **LIFA\_Base**

Program nutný pro komunikaci programu v LabView a Arduina, stáhnutelný do Arduina přes vývojové prostředí Arduino IDE verze 1.8.5. Jedná se o upravený program, jehož úpravy jsou popsány v této diplomové práci. Složka obsahuje soubor o autorských právech, autorech a možnostech volného používání tohoto programu spolu s knihovnami.

- **Software pro systém měření hydro-propustnosti v Arduino IDE**

- **HlavníProgram**

Kompletní program, který lze nahrát do Arduina přes vývojové prostředí Arduino IDE verze 1.8.5.

- **Knihovny**

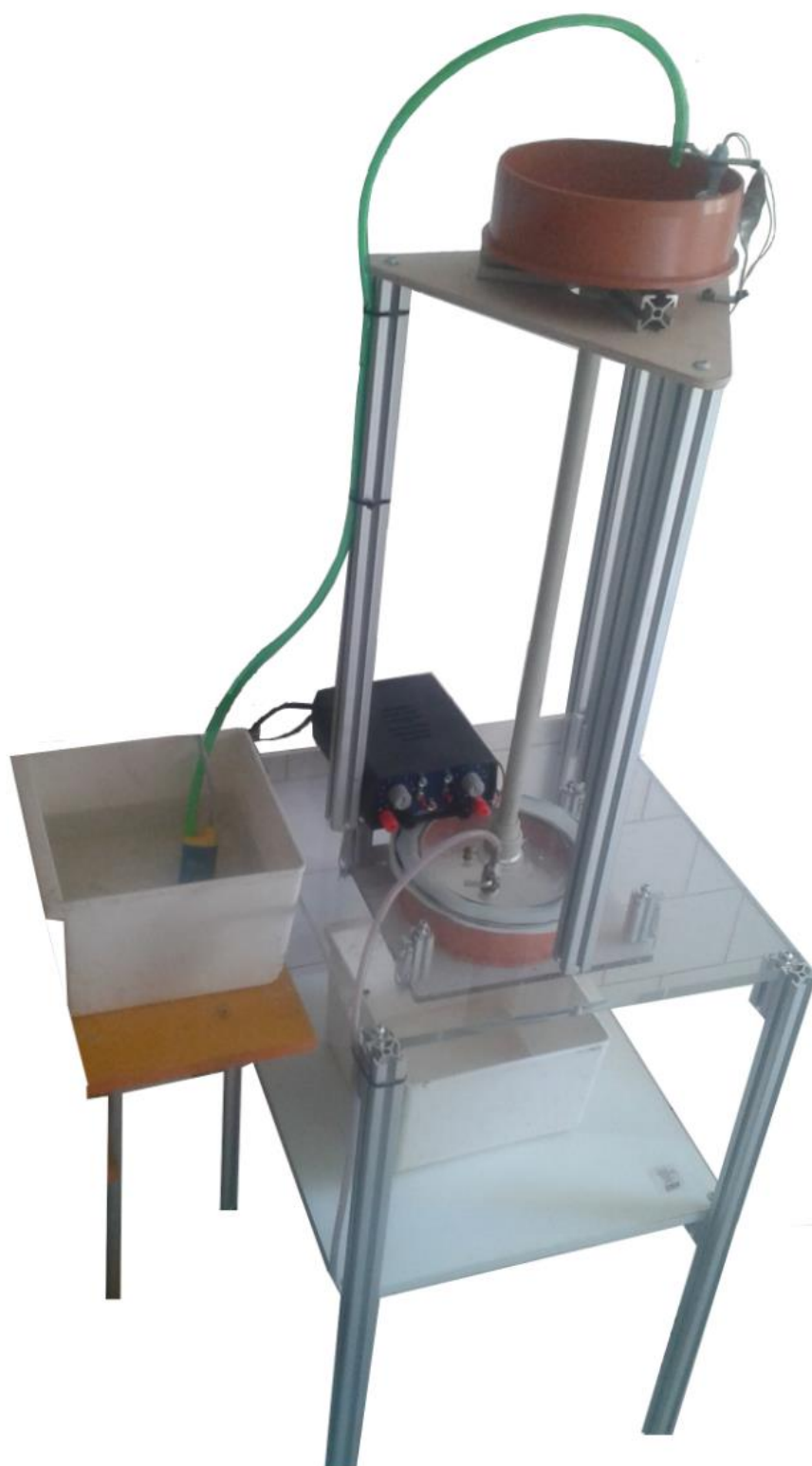
Externí knihovny použité v programu. Jsou nutné pro nahrání programu do Arduina. Každá knihovna obsahuje soubor o autorských právech, autorech a možnostech volného používání těchto knihoven.

## **Příloha č. 2: Uživatelský manuál – externí příloha**

Součástí diplomové práce je přiložený uživatelský manuál s následujícím obsahem:

1	Program LabView .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
1.1	Hlavní zásady .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
1.2	Zapojení kabelů v rozvodné skříni .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
1.3	Připojení Arduino k počítači .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
1.3.1	Ověření instalace ovladačů .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
1.3.2	Nastavení portů Arduina .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
1.4	Spuštění programu pro měření hydropropustnosti	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
1.4.1	Popis nastavení Arduina.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
1.4.2	Záložky Vaha 1, 2, 3, 4 .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
1.5	Výstupní soubor .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
1.6	Chyba: selhání inicializace Arduina.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
2	Program Arduino IDE .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
2.1	Hlavní zásady .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
2.2	Zapojení kabelů v rozvodné skříni .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
2.3	Spuštění Arduino.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
2.3.1	Hlavní nabídka .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
2.3.2	Volba: Cas mereni.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
2.3.3	Volab: Vahy .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
2.3.4	Volba: Ukladani dat .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
2.3.5	Volba: Kalibrace .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
2.4	Výstupní soubor .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
3	Schéma zapojení.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>

### **Příloha č. 3: Fotografie prototypu měřicího přístroje**



## Příloha č. 4: Fotografie měřicího přístroje



















## Příloha č. 6: Příklad naměřených dat dvou měření

OSB desky					S membránou	Bez membrány
Hodina	Minuta	Vterina	---	Cas	Namereno	Namereno
11	17	21	0	60	0	1,789474
11	18	20	0	120	0	10,736842
11	19	20	0	180	0	19,684211
11	20	20	0	240	0	27,736842
11	21	21	0	300	0	34,894737
11	22	20	0	360	0	41,157895
11	23	21	0	420	0	46,526316
11	24	20	0	480	0	51
11	25	20	0	540	0	55,473684
11	26	20	0	600	0	59,052632
11	27	21	0	660	0	63,526316
11	28	21	0	720	0	67,105263
11	29	20	0	780	0	69,789474
11	30	21	0	840	0	73,368421
11	31	20	0	900	0	76,947368
11	32	20	0	960	0	80,526316
11	33	20	0	1020	0	83,210526
11	34	20	0	1080	0	86,789474
11	35	20	0	1140	0	89,473684
11	36	21	0	1200	0	93,052632
11	37	20	0	1260	0	95,736842
11	38	21	0	1320	0	99,315789
11	39	21	0	1380	0	102
11	40	20	0	1440	0	104,684211
11	41	20	0	1500	0	108,263158
11	42	21	0	1560	0	110,947368
11	43	20	0	1620	0	113,631579
11	44	20	0	1680	0	116,315789
11	45	20	0	1740	0	119,894737
11	46	20	0	1800	0	122,578947
11	47	21	0	1860	0	125,263158
11	48	21	0	1920	0	128,842105
11	49	21	0	1980	0	131,526316
11	50	21	0	2040	0	135,105263
11	51	20	0	2100	0	137,789474
11	52	20	0	2160	0	141,368421
11	53	20	0	2220	0	144,052632
11	54	20	0	2280	0	146,736842
11	55	21	0	2340	0	150,315789
11	56	20	0	2400	0	153,894737

11	57	21	0	2460	0	156,578947
11	58	20	0	2520	0	160,157895
11	59	21	0	2580	0	163,736842
12	0	20	0	2640	0	167,315789
12	1	21	0	2700	0	170,894737
12	2	21	0	2760	0	174,473684
12	3	20	0	2820	0	178,947368
12	4	21	0	2880	0	182,526316
12	5	20	0	2940	0	186,105263
12	6	20	0	3000	0	190,578947
12	7	21	0	3060	0	194,157895
12	8	21	0	3120	0	197,736842
12	9	20	0	3180	0	202,210526
12	10	20	0	3240	0	205,789474
12	11	20	0	3300	0	210,263158
12	12	21	0	3360	0	213,842105
12	13	20	0	3420	0	218,315789
12	14	21	0	3480	0	222,789474
12	15	20	0	3540	0	226,368421
12	16	21	0	3600	0	230,842105
12	17	21	0	3660	0	234,421053
12	18	20	0	3720	0	239,789474
12	19	20	0	3780	0	244,263158
12	20	21	0	3840	0	248,736842
12	21	21	0	3900	0	253,210526
12	22	21	0	3960	0	257,684211
12	23	20	0	4020	0	262,157895
12	24	20	0	4080	0	266,631579
12	25	20	0	4140	0	272
12	26	20	0	4200	0	277,368421
12	27	20	0	4260	0	281,842105
12	28	20	0	4320	0	287,210526
12	29	20	0	4380	0	292,578947
12	30	21	0	4440	0	297,947368
12	31	21	0	4500	0	302,421053
12	32	21	0	4560	0	307,789474
12	33	20	0	4620	0	313,157895
12	34	21	0	4680	0	318,526316
12	35	20	0	4740	0	323,894737
12	36	20	0	4800	0	328,368421
12	37	20	0	4860	0	333,736842
12	38	20	0	4920	0	339,105263
12	39	21	0	4980	0	344,473684
12	40	21	0	5040	0	349,842105
12	41	20	0	5100	0	355,210526

12	42	21	0	5160	0	360,578947
12	43	21	0	5220	0	365,947368
12	44	20	0	5280	0	371,315789
12	45	20	0	5340	0	376,684211
12	46	21	0	5400	0	382,052632
12	47	20	0	5460	0	387,421053
12	48	20	0	5520	0	392,789474
12	49	21	0	5580	0	398,157895
12	50	20	0	5640	0	403,526316
12	51	20	0	5700	0	408,894737
12	52	21	0	5760	0	414,263158
12	53	21	0	5820	0	420,526316
12	54	20	0	5880	0	425,894737
12	55	20	0	5940	0	432,157895
12	56	21	0	6000	0	437,526316
12	57	20	0	6060	0	442,894737
12	58	20	0	6120	0	448,263158
12	59	21	0	6180	0	453,631579
13	0	21	0	6240	0	459,894737
13	1	21	0	6300	0	465,263158
13	2	20	0	6360	0	470,631579
13	3	20	0	6420	0	476
13	4	20	0	6480	0	482,263158
13	5	21	0	6540	0	487,631579
13	6	20	0	6600	0	493,894737
13	7	21	0	6660	0	499,263158
13	8	20	0	6720	0	504,631579
13	9	20	0	6780	0	510
13	10	21	0	6840	0	516,263158
13	11	20	0	6900	0	521,631579
13	12	21	0	6960	0	527
13	13	20	0	7020	0	533,263158
13	14	20	0	7080	0	538,631579
13	15	21	0	7140	0	544,894737
13	16	20	0	7200	0	551,157895
13	17	20	0	7260	0	556,526316
13	18	21	0	7320	0	562,789474
13	19	20	0	7380	0	568,157895
13	20	20	0	7440	0	574,421053
13	21	21	0	7500	0	579,789474
13	22	20	0	7560	0	585,157895
13	23	21	0	7620	0	590,526316
13	24	21	0	7680	0	596,789474
13	25	21	0	7740	0	603,052632
13	26	20	0	7800	0	608,421053



13	27	21	0	7860	0	614,684211
13	28	20	0	7920	0	620,052632
13	29	20	0	7980	0	626,315789
13	30	20	0	8040	0	632,578947
13	31	20	0	8100	0	637,947368
13	32	20	0	8160	0	644,210526
13	33	20	0	8220	0	650,473684
13	34	21	0	8280	0	655,842105
13	35	20	0	8340	0	662,105263
13	36	20	0	8400	0	668,368421
13	37	21	0	8460	0	674,631579
13	38	20	0	8520	0	680
13	39	21	0	8580	0	686,263158
13	40	20	0	8640	0	691,631579
13	41	20	0	8700	0	697,894737
13	42	20	0	8760	0	704,157895
13	43	20	0	8820	0	709,526316
13	44	21	0	8880	0	715,789474
13	45	20	0	8940	0	721,157895
13	46	20	0	9000	0	727,421053
13	47	20	0	9060	0	732,789474
13	48	20	0	9120	0	739,052632
13	49	20	0	9180	0	745,315789
13	50	20	0	9240	0	751,578947
13	51	20	0	9300	0	757,842105
13	52	20	0	9360	0	763,210526
13	53	20	0	9420	0	769,473684
13	54	20	0	9480	0	774,842105
13	55	20	0	9540	0	780,210526
13	56	20	0	9600	0	785,578947
13	57	21	0	9660	0	791,842105
13	58	20	0	9720	0	798,105263
13	59	20	0	9780	0	804,368421
14	0	20	0	9840	0	810,631579
14	1	21	0	9900	0	816
14	2	21	0	9960	0	822,263158
14	3	20	0	10020	0	828,526316
14	4	20	0	10080	0	833,894737
14	5	20	0	10140	0	839,263158
14	6	20	0	10200	0	845,526316
14	7	21	0	10260	0	851,789474
14	8	20	0	10320	0	857,157895
14	9	20	0	10380	0	863,421053
14	10	21	0	10440	0	868,789474
14	11	21	0	10500	0	875,052632

14	12	20	0	10560	0	880,421053
14	13	21	0	10620	0	886,684211
14	14	20	0	10680	0	892,052632
14	15	21	0	10740	0	898,315789
14	16	21	0	10800	0	904,578947
14	17	20	0	10860	0	910,842105
14	18	21	0	10920	0	916,210526
14	19	20	0	10980	0	922,473684
14	20	20	0	11040	0	928,736842
14	21	20	0	11100	0	934,105263
14	22	20	0	11160	0	939,473684
14	23	21	0	11220	0	945,736842
14	24	20	0	11280	0	952
14	25	20	0	11340	0	957,368421
14	26	20	0	11400	0	963,631579
14	27	21	0	11460	0	969,894737
14	28	20	0	11520	0	976,157895
14	29	20	0	11580	0	982,421053
14	30	20	0	11640	0	988,684211
14	31	20	0	11700	0	994,947368
14	32	20	0	11760	0	1000,315789
14	33	20	0	11820	0	1006,578947
14	34	20	0	11880	0	1012,842105
14	35	21	0	11940	0	1019,105263
14	36	21	0	12000	0	1026,263158
14	37	20	0	12060	0	1031,631579
14	38	21	0	12120	0	1037,894737
14	39	21	0	12180	0	1044,157895
14	40	20	0	12240	0	1050,421053
14	41	20	0	12300	0	1055,789474
14	42	20	0	12360	0	1062,052632
14	43	20	0	12420	0	1068,315789
14	44	20	0	12480	0	1073,684211
14	45	20	0	12540	0	1079,947368
14	46	20	0	12600	0	1086,210526
14	47	20	0	12660	0	1092,473684
14	48	20	0	12720	0	1098,736842
14	49	21	0	12780	0	1105
14	50	21	0	12840	0	1111,263158
14	51	21	0	12900	0	1117,526316
14	52	20	0	12960	0	1122,894737
14	53	20	0	13020	0	1129,157895
14	54	20	0	13080	0	1135,421053
14	55	21	0	13140	0	1141,684211
14	56	20	0	13200	0	1147,947368

14	57	20	0	13260	0	1154,210526
14	58	21	0	13320	0	1159,578947
14	59	21	0	13380	0	1165,842105
15	0	20	0	13440	0	1172,105263
15	1	21	0	13500	0	1178,368421
15	2	21	0	13560	0	1184,631579
15	3	20	0	13620	0	1190,894737
15	4	21	0	13680	0	1196,263158
15	5	20	0	13740	0	1203,421053
15	6	20	0	13800	0	1208,789474
15	7	20	0	13860	0	1215,947368
15	8	21	0	13920	0	1222,210526
15	9	21	0	13980	0	1229,368421
15	10	20	0	14040	0	1235,631579
15	11	20	0	14100	0	1241,894737
15	12	20	0	14160	0	1249,052632
15	13	20	0	14220	0	1254,421053
15	14	21	0	14280	0	1260,684211
15	15	21	0	14340	0	1266,947368
15	16	21	0	14400	0	1273,210526
15	17	21	0	14460	0	1279,473684
15	18	20	0	14520	0	1285,736842
15	19	20	0	14580	0	1291,105263
15	20	21	0	14640	0	1297,368421
15	21	20	0	14700	0	1304,526316
15	22	20	0	14760	0	1309,894737
15	23	21	0	14820	0	1316,157895
15	24	20	0	14880	0	1322,421053
15	25	21	0	14940	0	1328,684211
15	26	21	0	15000	0	1334,947368
15	27	21	0	15060	0	1341,210526
15	28	20	0	15120	0	1347,473684
15	29	20	0	15180	0	1353,736842
15	30	21	0	15240	0	1360
15	31	21	0	15300	0	1365,368421
15	32	20	0	15360	0	1372,526316
15	33	21	0	15420	0	1378,789474
15	34	21	0	15480	0	1385,052632
15	35	20	0	15540	0	1391,315789
15	36	20	0	15600	0	1397,578947
15	37	20	0	15660	0	1403,842105
15	38	20	0	15720	0	1410,105263
15	39	21	0	15780	0	1415,473684
15	40	20	0	15840	0	1421,736842
15	41	20	0	15900	0	1428

15	42	20	0	15960	0	1435,157895
15	43	20	0	16020	0	1441,421053
15	44	20	0	16080	0	1447,684211
15	45	20	0	16140	0	1453,947368
15	46	21	0	16200	0	1460,210526
15	47	20	0	16260	0	1465,578947
15	48	21	0	16320	0	1471,842105
15	49	21	0	16380	0	1479
15	50	20	0	16440	0	1484,368421
15	51	21	0	16500	0	1490,631579
15	52	20	0	16560	0	1496,894737
15	53	21	0	16620	0	1504,052632
15	54	21	0	16680	0	1510,315789
15	55	20	0	16740	0	1515,684211
15	56	20	0	16800	0	1522,842105
15	57	21	0	16860	0	1529,105263
15	58	20	0	16920	0	1535,368421
15	59	20	0	16980	0	1541,631579
16	0	21	0	17040	0	1547
16	1	21	0	17100	0	1553,263158
16	2	20	0	17160	0	1559,526316
16	3	21	0	17220	0	1565,789474
16	4	20	0	17280	0	1572,052632
16	5	20	0	17340	0	1577,421053
16	6	20	0	17400	0	1584,578947
16	7	20	0	17460	0	1589,947368
16	8	20	0	17520	0	1596,210526
16	9	20	0	17580	0	1602,473684
16	10	20	0	17640	0	1608,736842
16	11	21	0	17700	0	1615
16	12	20	0	17760	0	1621,263158
16	13	20	0	17820	0	1627,526316
16	14	21	0	17880	0	1634,684211
16	15	20	0	17940	0	1640,947368
16	16	20	0	18000	0	1648,105263
16	17	20	0	18060	0	1654,368421
16	18	21	0	18120	0	1660,631579
16	19	20	0	18180	0	1666,894737
16	20	20	0	18240	0	1673,157895
16	21	20	0	18300	0	1679,421053
16	22	20	0	18360	0	1685,684211
16	23	21	0	18420	0	1691,947368
16	24	21	0	18480	0	1698,210526
16	25	20	0	18540	0	1704,473684
16	26	20	0	18600	0	1710,736842

16	27	21	0	18660	0	1717
16	28	21	0	18720	0	1723,263158
16	29	20	0	18780	0	1729,526316
16	30	21	0	18840	0	1735,789474
16	31	21	0	18900	0	1742,052632
16	32	21	0	18960	0	1748,315789
16	33	21	0	19020	0	1755,473684
16	34	21	0	19080	0	1761,736842
16	35	21	0	19140	0	1768
16	36	20	0	19200	0	1774,263158
16	37	20	0	19260	0	1780,526316
16	38	20	0	19320	0	1786,789474
16	39	21	0	19380	0	1793,052632
16	40	20	0	19440	0	1798,421053
16	41	20	0	19500	0	1805,578947
16	42	20	0	19560	0	1811,842105
16	43	21	0	19620	0	1818,105263
16	44	20	0	19680	0	1824,368421
16	45	21	0	19740	0	1831,526316
16	46	20	0	19800	0	1837,789474
16	47	20	0	19860	0	1844,947368
16	48	21	0	19920	0	1851,210526
16	49	21	0	19980	0	1858,368421
16	50	20	0	20040	0	1864,631579
16	51	21	0	20100	0	1870,894737
16	52	20	0	20160	0	1876,263158
16	53	21	0	20220	0	1883,421053
16	54	20	0	20280	0	1889,684211
16	55	20	0	20340	0	1895,947368
16	56	20	0	20400	0	1903,105263
16	57	21	0	20460	0	1908,473684
16	58	21	0	20520	0	1914,736842
16	59	21	0	20580	0	1921
17	0	21	0	20640	0	1927,263158
17	1	20	0	20700	0	1933,526316
17	2	20	0	20760	0	1939,789474
17	3	20	0	20820	0	1946,052632
17	4	21	0	20880	0	1952,315789
17	5	20	0	20940	0	1958,578947
17	6	21	0	21000	0	1964,842105
17	7	20	0	21060	0	1971,105263
17	8	21	0	21120	0	1977,368421
17	9	20	0	21180	0	1982,736842
17	10	20	0	21240	0	1989
17	11	21	0	21300	0	1995,263158

17	12	20	0	21360	0	2001,526316
17	13	20	0	21420	0	2006,894737
17	14	21	0	21480	0	2013,157895
17	15	20	0	21540	0	2019,421053
17	16	20	0	21600	0	2025,684211
17	17	21	0	21660	0	2031,052632
17	18	20	0	21720	0	2037,315789
17	19	21	0	21780	0	2042,684211
17	20	20	0	21840	0	2048,947368
17	21	20	0	21900	0	2056,105263
17	22	21	0	21960	0	2062,368421
17	23	20	0	22020	0	2068,631579
17	24	20	0	22080	0	2074,894737
17	25	21	0	22140	0	2081,157895
17	26	20	0	22200	0	2088,315789
17	27	20	0	22260	0	2094,578947
17	28	20	0	22320	0	2100,842105
17	29	20	0	22380	0	2107,105263
17	30	20	0	22440	0	2114,263158
17	31	20	0	22500	0	2120,526316
17	32	20	0	22560	0	2126,789474
17	33	20	0	22620	0	2133,947368
17	34	21	0	22680	0	2140,210526
17	35	20	0	22740	0	2146,473684
17	36	20	0	22800	0	2152,736842
17	37	20	0	22860	0	2159
17	38	20	0	22920	0	2165,263158
17	39	20	0	22980	0	2170,631579
17	40	21	0	23040	0	2176,894737
17	41	20	0	23100	0	2183,157895
17	42	21	0	23160	0	2189,421053
17	43	20	0	23220	0	2194,789474
17	44	20	0	23280	0	2201,052632
17	45	20	0	23340	0	2207,315789
17	46	21	0	23400	0	2213,578947
17	47	21	0	23460	0	2218,947368
17	48	20	0	23520	0	2226,105263
17	49	21	0	23580	0	2231,473684
17	50	20	0	23640	0	2237,736842
17	51	21	0	23700	0	2244
17	52	21	0	23760	0	2250,263158
17	53	20	0	23820	0	2255,631579
17	54	21	0	23880	0	2261,894737
17	55	20	0	23940	0	2268,157895
17	56	21	0	24000	0	2274,421053

17	57	21	0	24060	0	2279,789474
17	58	20	0	24120	0	2286,947368
17	59	21	0	24180	0	2292,315789
18	0	20	0	24240	0	2298,578947
18	1	20	0	24300	0	2304,842105
18	2	21	0	24360	0	2311,105263
18	3	21	0	24420	0	2316,473684
18	4	21	0	24480	0	2322,736842
18	5	20	0	24540	0	2328,105263
18	6	20	0	24600	0	2334,368421
18	7	21	0	24660	0	2340,631579
18	8	21	0	24720	0	2346
18	9	21	0	24780	0	2352,263158
18	10	20	0	24840	0	2357,631579
18	11	21	0	24900	0	2363,894737
18	12	20	0	24960	0	2369,263158
18	13	20	0	25020	0	2375,526316
18	14	20	0	25080	0	2381,789474
18	15	20	0	25140	0	2388,052632
18	16	21	0	25200	0	2394,315789
18	17	20	0	25260	0	2400,578947
18	18	21	0	25320	0	2405,947368
18	19	20	0	25380	0	2412,210526
18	20	20	0	25440	0	2417,578947
18	21	21	0	25500	0	2423,842105
18	22	20	0	25560	0	2430,105263
18	23	20	0	25620	0	2436,368421
18	24	20	0	25680	0	2441,736842
18	25	21	0	25740	0,864407	2448
18	26	20	0	25800	0,864407	2454,263158
18	27	20	0	25860	0,864407	2459,631579
18	28	20	0	25920	0,864407	2465
18	29	21	0	25980	0	2471,263158
18	30	20	0	26040	0,864407	2477,526316
18	31	21	0	26100	0,864407	2483,789474
18	32	21	0	26160	0,864407	2489,157895
18	33	20	0	26220	0,864407	2495,421053
18	34	21	0	26280	0,864407	2501,684211
18	35	20	0	26340	0,864407	2507,947368
18	36	21	0	26400	0,864407	2513,315789
18	37	20	0	26460	0,864407	2518,684211
18	38	21	0	26520	0,864407	2524,947368
18	39	21	0	26580	0,864407	2531,210526
18	40	20	0	26640	0,864407	2537,473684
18	41	20	0	26700	0,864407	2542,842105

18	42	20	0	26760	0,864407	2549,105263
18	43	20	0	26820	0,864407	2555,368421
18	44	21	0	26880	0,864407	2561,631579
18	45	21	0	26940	0,864407	2567
18	46	20	0	27000	0,864407	2574,157895
18	47	20	0	27060	0,864407	2579,526316
18	48	20	0	27120	0,864407	2585,789474
18	49	20	0	27180	0,864407	2592,052632
18	50	21	0	27240	0,864407	2597,421053
18	51	20	0	27300	0,864407	2603,684211
18	52	21	0	27360	1,728814	2609,947368
18	53	20	0	27420	1,728814	2616,210526
18	54	20	0	27480	1,728814	2622,473684
18	55	20	0	27540	1,728814	2628,736842
18	56	21	0	27600	0,864407	2635
18	57	20	0	27660	1,728814	2641,263158
18	58	21	0	27720	1,728814	2646,631579
18	59	20	0	27780	1,728814	2652,894737
19	0	21	0	27840	1,728814	2658,263158
19	1	20	0	27900	1,728814	2664,526316
19	2	20	0	27960	1,728814	2671,684211
19	3	20	0	28020	1,728814	2677,052632
19	4	21	0	28080	1,728814	2683,315789
19	5	20	0	28140	1,728814	2688,684211
19	6	20	0	28200	1,728814	2694,947368
19	7	20	0	28260	1,728814	2701,210526
19	8	21	0	28320	1,728814	2706,578947
19	9	20	0	28380	1,728814	2712,842105
19	10	21	0	28440	1,728814	2718,210526
19	11	20	0	28500	1,728814	2725,368421
19	12	21	0	28560	2,59322	2730,736842
19	13	21	0	28620	2,59322	2737,894737
19	14	20	0	28680	2,59322	2743,263158
19	15	20	0	28740	2,59322	2749,526316
19	16	20	0	28800	2,59322	2755,789474
19	17	21	0	28860	2,59322	2762,947368
19	18	20	0	28920	2,59322	2768,315789
19	19	20	0	28980	2,59322	2774,578947
19	20	21	0	29040	2,59322	2779,947368
19	21	21	0	29100	2,59322	2786,210526
19	22	20	0	29160	2,59322	2792,473684
19	23	20	0	29220	2,59322	2797,842105
19	24	21	0	29280	2,59322	2804,105263
19	25	20	0	29340	2,59322	2810,368421
19	26	20	0	29400	2,59322	2815,736842



19	27	21	0	29460	2,59322	2822
19	28	21	0	29520	2,59322	2827,368421
19	29	20	0	29580	2,59322	2833,631579
19	30	21	0	29640	3,457627	2839
19	31	20	0	29700	3,457627	2844,368421
19	32	21	0	29760	3,457627	2849,736842
19	33	20	0	29820	3,457627	2855,105263
19	34	20	0	29880	3,457627	2861,368421
19	35	21	0	29940	3,457627	2866,736842
19	36	20	0	30000	3,457627	2872,105263
19	37	21	0	30060	3,457627	2878,368421
19	38	21	0	30120	3,457627	2883,736842
19	39	21	0	30180	3,457627	2889,105263
19	40	21	0	30240	3,457627	2895,368421
19	41	20	0	30300	3,457627	2900,736842
19	42	20	0	30360	3,457627	2906,105263
19	43	20	0	30420	3,457627	2912,368421
19	44	20	0	30480	3,457627	2917,736842
19	45	20	0	30540	4,322034	2923,105263
19	46	20	0	30600	4,322034	2929,368421
19	47	20	0	30660	4,322034	2934,736842
19	48	20	0	30720	4,322034	2940,105263
19	49	20	0	30780	4,322034	2946,368421
19	50	20	0	30840	4,322034	2952,631579
19	51	21	0	30900	4,322034	2958
19	52	21	0	30960	4,322034	2963,368421
19	53	20	0	31020	4,322034	2969,631579
19	54	20	0	31080	4,322034	2975
19	55	20	0	31140	4,322034	2980,368421
19	56	20	0	31200	4,322034	2985,736842
19	57	20	0	31260	4,322034	2992,894737
19	58	20	0	31320	4,322034	2997,368421
19	59	20	0	31380	5,186441	3003,631579
20	0	20	0	31440	5,186441	3009
20	1	20	0	31500	5,186441	3015,263158
20	2	20	0	31560	5,186441	3020,631579
20	3	20	0	31620	5,186441	3026,894737
20	4	20	0	31680	5,186441	3033,157895
20	5	20	0	31740	5,186441	3038,526316
20	6	20	0	31800	5,186441	3043,894737
20	7	20	0	31860	5,186441	3050,157895
20	8	20	0	31920	5,186441	3055,526316
20	9	20	0	31980	5,186441	3061,789474
20	10	20	0	32040	5,186441	3067,157895
20	11	21	0	32100	5,186441	3073,421053

20	12	21	0	32160	5,186441	3078,789474
20	13	21	0	32220	5,186441	3085,052632
20	14	20	0	32280	5,186441	3090,421053
20	15	20	0	32340	6,050847	3095,789474
20	16	20	0	32400	6,050847	3102,052632
20	17	20	0	32460	6,050847	3107,421053
20	18	21	0	32520	6,050847	3113,684211
20	19	21	0	32580	6,050847	3119,947368
20	20	21	0	32640	6,050847	3125,315789
20	21	20	0	32700	6,050847	3131,578947
20	22	20	0	32760	6,050847	3136,947368
20	23	20	0	32820	6,050847	3144,105263
20	24	20	0	32880	6,050847	3149,473684
20	25	21	0	32940	6,050847	3154,842105
20	26	20	0	33000	6,050847	3161,105263
20	27	20	0	33060	6,050847	3167,368421
20	28	20	0	33120	6,050847	3172,736842
20	29	20	0	33180	6,915254	3179
20	30	20	0	33240	6,915254	3184,368421
20	31	21	0	33300	6,915254	3189,736842
20	32	20	0	33360	6,915254	3196,894737
20	33	20	0	33420	6,915254	3202,263158
20	34	20	0	33480	6,915254	3207,631579
20	35	21	0	33540	6,915254	3213,894737
20	36	20	0	33600	6,915254	3219,263158
20	37	20	0	33660	6,915254	3225,526316
20	38	21	0	33720	6,915254	3230,894737
20	39	21	0	33780	6,915254	3237,157895
20	40	20	0	33840	6,915254	3243,421053
20	41	20	0	33900	6,915254	3248,789474
20	42	21	0	33960	6,915254	3255,052632
20	43	21	0	34020	6,915254	3260,421053
20	44	20	0	34080	7,779661	3266,684211
20	45	20	0	34140	7,779661	3272,947368
20	46	20	0	34200	7,779661	3278,315789
20	47	20	0	34260	7,779661	3284,578947
20	48	21	0	34320	7,779661	3289,947368
20	49	20	0	34380	7,779661	3296,210526
20	50	20	0	34440	7,779661	3301,578947
20	51	20	0	34500	7,779661	3307,842105
20	52	21	0	34560	7,779661	3314,105263
20	53	20	0	34620	7,779661	3320,368421
20	54	21	0	34680	7,779661	3325,736842
20	55	20	0	34740	7,779661	3332
20	56	20	0	34800	7,779661	3337,368421

20	57	20	0	34860	7,779661	3343,631579
20	58	21	0	34920	7,779661	3349
20	59	21	0	34980	8,644068	3355,263158
21	0	20	0	35040	8,644068	3361,526316
21	1	21	0	35100	8,644068	3366,894737
21	2	20	0	35160	8,644068	3373,157895
21	3	21	0	35220	8,644068	3379,421053
21	4	20	0	35280	8,644068	3384,789474
21	5	21	0	35340	8,644068	3391,052632
21	6	20	0	35400	8,644068	3396,421053
21	7	20	0	35460	8,644068	3401,789474
21	8	21	0	35520	8,644068	3408,052632
21	9	20	0	35580	8,644068	3413,421053
21	10	21	0	35640	8,644068	3419,684211
21	11	20	0	35700	8,644068	3425,052632
21	12	20	0	35760	8,644068	3430,421053
21	13	20	0	35820	9,508475	3436,684211
21	14	21	0	35880	9,508475	3442,052632
21	15	20	0	35940	9,508475	3447,421053
21	16	20	0	36000	9,508475	3453,684211
21	17	20	0	36060	9,508475	3459,947368
21	18	20	0	36120	9,508475	3465,315789
21	19	21	0	36180	9,508475	3470,684211
21	20	21	0	36240	9,508475	3476,947368
21	21	21	0	36300	9,508475	3483,210526
21	22	20	0	36360	9,508475	3488,578947
21	23	20	0	36420	9,508475	3493,947368
21	24	20	0	36480	9,508475	3500,210526
21	25	20	0	36540	9,508475	3505,578947
21	26	20	0	36600	9,508475	3510,947368
21	27	20	0	36660	9,508475	3517,210526
21	28	20	0	36720	9,508475	3522,578947
21	29	20	0	36780	10,372881	3527,947368
21	30	21	0	36840	10,372881	3534,210526
21	31	20	0	36900	10,372881	3539,578947
21	32	21	0	36960	10,372881	3545,842105
21	33	20	0	37020	10,372881	3550,315789
21	34	21	0	37080	10,372881	3556,578947
21	35	20	0	37140	10,372881	3561,947368
21	36	20	0	37200	10,372881	3567,315789
21	37	21	0	37260	10,372881	3572,684211
21	38	20	0	37320	10,372881	3578,947368
21	39	20	0	37380	10,372881	3584,315789
21	40	20	0	37440	10,372881	3589,684211
21	41	20	0	37500	11,237288	3595,052632

21	42	21	0	37560	10,372881	3600,421053
21	43	21	0	37620	11,237288	3606,684211
21	44	20	0	37680	11,237288	3612,947368
21	45	20	0	37740	11,237288	3618,315789
21	46	21	0	37800	11,237288	3623,684211
21	47	20	0	37860	11,237288	3629,052632
21	48	20	0	37920	11,237288	3634,421053
21	49	20	0	37980	11,237288	3640,684211
21	50	20	0	38040	11,237288	3646,052632
21	51	20	0	38100	11,237288	3651,421053
21	52	21	0	38160	11,237288	3656,789474
21	53	21	0	38220	11,237288	3662,157895
21	54	21	0	38280	11,237288	3667,526316
21	55	21	0	38340	11,237288	3673,789474
21	56	20	0	38400	12,101695	3679,157895
21	57	20	0	38460	12,101695	3684,526316
21	58	20	0	38520	12,101695	3689,894737
21	59	20	0	38580	12,101695	3696,157895
22	0	21	0	38640	12,101695	3701,526316
22	1	21	0	38700	12,101695	3706,894737
22	2	21	0	38760	12,101695	3712,263158
22	3	20	0	38820	12,101695	3718,526316
22	4	20	0	38880	12,101695	3723,894737
22	5	20	0	38940	12,101695	3729,263158
22	6	21	0	39000	12,101695	3735,526316
22	7	20	0	39060	12,101695	3740
22	8	20	0	39120	12,101695	3746,263158
22	9	20	0	39180	12,101695	3752,526316
22	10	21	0	39240	12,101695	3757,894737
22	11	20	0	39300	12,101695	3764,157895
22	12	20	0	39360	12,101695	3769,526316
22	13	20	0	39420	12,966102	3774,894737
22	14	20	0	39480	12,966102	3780,263158
22	15	21	0	39540	12,966102	3785,631579
22	16	20	0	39600	12,966102	3791,894737
22	17	20	0	39660	12,966102	3797,263158
22	18	20	0	39720	12,966102	3802,631579
22	19	21	0	39780	12,966102	3808,894737
22	20	21	0	39840	12,966102	3814,263158
22	21	21	0	39900	12,966102	3819,631579
22	22	21	0	39960	12,966102	3825
22	23	20	0	40020	12,966102	3831,263158
22	24	21	0	40080	12,966102	3836,631579
22	25	20	0	40140	12,966102	3842,894737
22	26	21	0	40200	12,966102	3848,263158

22	27	20	0	40260	12,966102	3853,631579
22	28	21	0	40320	13,830508	3859,894737
22	29	20	0	40380	13,830508	3865,263158
22	30	20	0	40440	13,830508	3871,526316
22	31	20	0	40500	13,830508	3876,894737
22	32	21	0	40560	13,830508	3883,157895
22	33	21	0	40620	13,830508	3889,421053
22	34	20	0	40680	13,830508	3894,789474
22	35	20	0	40740	13,830508	3900,157895
22	36	21	0	40800	13,830508	3906,421053
22	37	20	0	40860	13,830508	3912,684211
22	38	20	0	40920	13,830508	3918,052632
22	39	20	0	40980	13,830508	3924,315789
22	40	20	0	41040	13,830508	3929,684211
22	41	20	0	41100	13,830508	3935,947368
22	42	20	0	41160	13,830508	3941,315789
22	43	20	0	41220	14,694915	3946,684211
22	44	20	0	41280	14,694915	3952,947368
22	45	21	0	41340	14,694915	3958,315789
22	46	20	0	41400	14,694915	3964,578947
22	47	20	0	41460	14,694915	3969,947368
22	48	21	0	41520	14,694915	3975,315789
22	49	21	0	41580	14,694915	3980,684211
22	50	21	0	41640	14,694915	3986,052632
22	51	20	0	41700	14,694915	3991,421053
22	52	21	0	41760	14,694915	3997,684211
22	53	21	0	41820	14,694915	4003,052632
22	54	21	0	41880	14,694915	
22	55	20	0	41940	14,694915	
22	56	20	0	42000	14,694915	
22	57	20	0	42060	14,694915	
22	58	20	0	42120	14,694915	
22	59	20	0	42180	15,559322	
23	0	20	0	42240	15,559322	
23	1	20	0	42300	15,559322	
23	2	20	0	42360	15,559322	
23	3	21	0	42420	15,559322	
23	4	21	0	42480	15,559322	
23	5	21	0	42540	15,559322	
23	6	20	0	42600	15,559322	
23	7	20	0	42660	15,559322	
23	8	21	0	42720	15,559322	
23	9	21	0	42780	15,559322	
23	10	21	0	42840	15,559322	
23	11	20	0	42900	15,559322	

23	12	20	0	42960	15,559322	
23	13	20	0	43020	15,559322	
23	14	21	0	43080	15,559322	
23	15	20	0	43140	15,559322	
23	16	21	0	43200	16,423729	
23	17	20	0	43260	16,423729	
23	18	21	0	43320	16,423729	
23	19	20	0	43380	16,423729	
23	20	21	0	43440	16,423729	
23	21	21	0	43500	16,423729	
23	22	21	0	43560	16,423729	
23	23	20	0	43620	16,423729	
23	24	20	0	43680	16,423729	
23	25	21	0	43740	16,423729	
23	26	21	0	43800	16,423729	
23	27	21	0	43860	16,423729	
23	28	21	0	43920	16,423729	
23	29	21	0	43980	16,423729	
23	30	20	0	44040	16,423729	
23	31	21	0	44100	16,423729	
23	32	20	0	44160	16,423729	
23	33	20	0	44220	17,288136	
23	34	20	0	44280	17,288136	
23	35	21	0	44340	17,288136	
23	36	20	0	44400	17,288136	
23	37	20	0	44460	17,288136	
23	38	20	0	44520	17,288136	
23	39	21	0	44580	17,288136	
23	40	20	0	44640	17,288136	
23	41	20	0	44700	17,288136	
23	42	20	0	44760	17,288136	
23	43	21	0	44820	17,288136	
23	44	20	0	44880	17,288136	
23	45	21	0	44940	17,288136	
23	46	21	0	45000	17,288136	
23	47	20	0	45060	18,152542	
23	48	20	0	45120	17,288136	
23	49	21	0	45180	18,152542	
23	50	20	0	45240	18,152542	
23	51	20	0	45300	18,152542	
23	52	20	0	45360	18,152542	
23	53	21	0	45420	18,152542	
23	54	20	0	45480	18,152542	
23	55	20	0	45540	18,152542	
23	56	20	0	45600	18,152542	

23	57	20	0	45660	18,152542	
23	58	20	0	45720	18,152542	
23	59	20	0	45780	18,152542	
0	0	21	0	45840	18,152542	
0	1	20	0	45900	18,152542	
0	2	21	0	45960	19,016949	
0	3	20	0	46020	18,152542	
0	4	21	0	46080	19,016949	
0	5	21	0	46140	19,016949	
0	6	20	0	46200	19,016949	
0	7	21	0	46260	19,016949	
0	8	20	0	46320	19,016949	
0	9	21	0	46380	19,016949	
0	10	20	0	46440	19,016949	
0	11	21	0	46500	19,016949	
0	12	20	0	46560	19,016949	
0	13	20	0	46620	19,016949	
0	14	20	0	46680	19,016949	
0	15	20	0	46740	19,016949	
0	16	20	0	46800	19,016949	
0	17	20	0	46860	19,016949	
0	18	21	0	46920	19,016949	
0	19	21	0	46980	19,881356	
0	20	21	0	47040	19,881356	
0	21	21	0	47100	19,881356	
0	22	21	0	47160	19,881356	
0	23	21	0	47220	19,881356	
0	24	21	0	47280	19,881356	
0	25	21	0	47340	19,881356	
0	26	20	0	47400	19,881356	
0	27	21	0	47460	19,881356	
0	28	20	0	47520	19,881356	
0	29	20	0	47580	19,881356	
0	30	21	0	47640	19,881356	
0	31	20	0	47700	19,881356	
0	32	21	0	47760	19,881356	
0	33	20	0	47820	20,745763	
0	34	20	0	47880	20,745763	
0	35	21	0	47940	20,745763	
0	36	21	0	48000	20,745763	
0	37	21	0	48060	20,745763	
0	38	20	0	48120	20,745763	
0	39	20	0	48180	20,745763	
0	40	20	0	48240	20,745763	
0	41	20	0	48300	20,745763	

0	42	20	0	48360	20,745763	
0	43	21	0	48420	20,745763	
0	44	21	0	48480	20,745763	
0	45	20	0	48540	20,745763	
0	46	20	0	48600	20,745763	
0	47	20	0	48660	21,610169	
0	48	21	0	48720	21,610169	
0	49	20	0	48780	21,610169	
0	50	21	0	48840	21,610169	
0	51	21	0	48900	21,610169	
0	52	20	0	48960	21,610169	
0	53	21	0	49020	21,610169	
0	54	21	0	49080	21,610169	
0	55	20	0	49140	21,610169	
0	56	20	0	49200	21,610169	
0	57	20	0	49260	21,610169	
0	58	20	0	49320	21,610169	
0	59	21	0	49380	21,610169	
1	0	20	0	49440	21,610169	
1	1	20	0	49500	22,474576	
1	2	20	0	49560	22,474576	
1	3	20	0	49620	22,474576	
1	4	20	0	49680	22,474576	
1	5	21	0	49740	22,474576	
1	6	20	0	49800	22,474576	
1	7	21	0	49860	22,474576	
1	8	20	0	49920	22,474576	
1	9	21	0	49980	22,474576	
1	10	21	0	50040	22,474576	
1	11	21	0	50100	22,474576	
1	12	20	0	50160	22,474576	
1	13	20	0	50220	22,474576	
1	14	21	0	50280	22,474576	
1	15	20	0	50340	23,338983	
1	16	20	0	50400	23,338983	
1	17	21	0	50460	23,338983	
1	18	21	0	50520	23,338983	
1	19	21	0	50580	23,338983	
1	20	20	0	50640	23,338983	
1	21	21	0	50700	23,338983	
1	22	20	0	50760	23,338983	
1	23	20	0	50820	23,338983	
1	24	21	0	50880	23,338983	
1	25	20	0	50940	23,338983	
1	26	20	0	51000	23,338983	



1	27	21	0	51060	23,338983	
1	28	21	0	51120	24,20339	
1	29	20	0	51180	23,338983	
1	30	20	0	51240	24,20339	
1	31	21	0	51300	24,20339	
1	32	21	0	51360	24,20339	
1	33	20	0	51420	24,20339	
1	34	21	0	51480	24,20339	
1	35	20	0	51540	24,20339	
1	36	20	0	51600	24,20339	
1	37	21	0	51660	24,20339	
1	38	21	0	51720	24,20339	
1	39	21	0	51780	24,20339	
1	40	20	0	51840	24,20339	
1	41	20	0	51900	24,20339	
1	42	21	0	51960	24,20339	
1	43	21	0	52020	24,20339	
1	44	21	0	52080	25,067797	
1	45	21	0	52140	25,067797	
1	46	21	0	52200	25,067797	
1	47	21	0	52260	25,067797	
1	48	20	0	52320	25,067797	
1	49	20	0	52380	25,067797	
1	50	20	0	52440	25,067797	
1	51	21	0	52500	25,067797	
1	52	21	0	52560	25,067797	
1	53	20	0	52620	25,067797	
1	54	20	0	52680	25,067797	
1	55	20	0	52740	25,067797	
1	56	20	0	52800	25,067797	
1	57	20	0	52860	25,932203	
1	58	20	0	52920	25,932203	
1	59	20	0	52980	25,067797	
2	0	21	0	53040	25,932203	
2	1	20	0	53100	25,932203	
2	2	21	0	53160	25,932203	
2	3	20	0	53220	25,932203	
2	4	20	0	53280	25,932203	
2	5	20	0	53340	25,932203	
2	6	20	0	53400	25,932203	
2	7	20	0	53460	25,932203	
2	8	20	0	53520	25,932203	
2	9	20	0	53580	25,932203	
2	10	20	0	53640	25,932203	
2	11	21	0	53700	25,932203	

2	12	20	0	53760	25,932203	
2	13	20	0	53820	26,79661	
2	14	21	0	53880	26,79661	
2	15	20	0	53940	26,79661	
2	16	20	0	54000	26,79661	
2	17	21	0	54060	26,79661	
2	18	20	0	54120	26,79661	
2	19	20	0	54180	26,79661	
2	20	21	0	54240	26,79661	
2	21	20	0	54300	26,79661	
2	22	21	0	54360	26,79661	
2	23	20	0	54420	26,79661	
2	24	20	0	54480	26,79661	
2	25	20	0	54540	27,661017	
2	26	21	0	54600	27,661017	
2	27	20	0	54660	26,79661	
2	28	20	0	54720	27,661017	
2	29	21	0	54780	27,661017	
2	30	20	0	54840	27,661017	
2	31	21	0	54900	27,661017	
2	32	20	0	54960	27,661017	
2	33	20	0	55020	27,661017	
2	34	21	0	55080	27,661017	
2	35	21	0	55140	27,661017	
2	36	21	0	55200	27,661017	
2	37	20	0	55260	27,661017	
2	38	21	0	55320	27,661017	
2	39	20	0	55380	27,661017	
2	40	20	0	55440	27,661017	
2	41	20	0	55500	27,661017	
2	42	20	0	55560	27,661017	
2	43	21	0	55620	28,525424	
2	44	21	0	55680	28,525424	
2	45	20	0	55740	28,525424	
2	46	20	0	55800	28,525424	
2	47	20	0	55860	28,525424	
2	48	21	0	55920	28,525424	
2	49	21	0	55980	28,525424	
2	50	20	0	56040	28,525424	
2	51	21	0	56100	28,525424	
2	52	20	0	56160	28,525424	
2	53	20	0	56220	28,525424	
2	54	20	0	56280	28,525424	
2	55	20	0	56340	29,389831	
2	56	20	0	56400	29,389831	

2	57	20	0	56460	29,389831	
2	58	21	0	56520	29,389831	
2	59	20	0	56580	29,389831	
3	0	21	0	56640	29,389831	
3	1	20	0	56700	29,389831	
3	2	21	0	56760	29,389831	
3	3	20	0	56820	29,389831	
3	4	20	0	56880	29,389831	
3	5	20	0	56940	29,389831	
3	6	21	0	57000	29,389831	
3	7	21	0	57060	29,389831	
3	8	20	0	57120	29,389831	
3	9	20	0	57180	29,389831	
3	10	20	0	57240	29,389831	
3	11	20	0	57300	29,389831	
3	12	21	0	57360	30,254237	
3	13	20	0	57420	30,254237	
3	14	20	0	57480	30,254237	
3	15	20	0	57540	30,254237	
3	16	20	0	57600	30,254237	
3	17	21	0	57660	30,254237	
3	18	20	0	57720	30,254237	
3	19	21	0	57780	30,254237	
3	20	20	0	57840	30,254237	
3	21	21	0	57900	30,254237	
3	22	20	0	57960	30,254237	
3	23	20	0	58020	30,254237	
3	24	20	0	58080	30,254237	
3	25	20	0	58140	30,254237	
3	26	20	0	58200	30,254237	
3	27	20	0	58260	30,254237	
3	28	20	0	58320	31,118644	
3	29	20	0	58380	31,118644	
3	30	20	0	58440	31,118644	
3	31	20	0	58500	31,118644	
3	32	20	0	58560	31,118644	
3	33	20	0	58620	31,118644	
3	34	20	0	58680	31,118644	
3	35	20	0	58740	31,118644	
3	36	21	0	58800	31,118644	
3	37	20	0	58860	31,118644	
3	38	21	0	58920	31,118644	
3	39	21	0	58980	31,983051	
3	40	20	0	59040	31,118644	
3	41	20	0	59100	31,118644	

3	42	20	0	59160	31,118644	
3	43	21	0	59220	31,118644	
3	44	20	0	59280	31,118644	
3	45	20	0	59340	31,983051	
3	46	21	0	59400	31,983051	
3	47	21	0	59460	31,983051	
3	48	20	0	59520	31,983051	
3	49	21	0	59580	31,983051	
3	50	21	0	59640	31,983051	
3	51	20	0	59700	31,983051	
3	52	21	0	59760	31,983051	
3	53	21	0	59820	31,983051	
3	54	20	0	59880	31,983051	
3	55	20	0	59940	31,983051	
3	56	20	0	60000	31,983051	
3	57	20	0	60060	31,983051	
3	58	21	0	60120	31,983051	
3	59	20	0	60180	31,983051	
4	0	20	0	60240	31,983051	
4	1	20	0	60300	31,983051	
4	2	20	0	60360	32,847458	
4	3	20	0	60420	32,847458	
4	4	20	0	60480	32,847458	
4	5	20	0	60540	32,847458	
4	6	20	0	60600	32,847458	
4	7	20	0	60660	32,847458	
4	8	20	0	60720	32,847458	
4	9	20	0	60780	32,847458	
4	10	20	0	60840	32,847458	
4	11	21	0	60900	32,847458	
4	12	20	0	60960	32,847458	
4	13	21	0	61020	32,847458	
4	14	21	0	61080	32,847458	
4	15	20	0	61140	32,847458	
4	16	21	0	61200	32,847458	
4	17	20	0	61260	33,711864	
4	18	20	0	61320	33,711864	
4	19	21	0	61380	33,711864	
4	20	21	0	61440	33,711864	
4	21	20	0	61500	33,711864	
4	22	21	0	61560	33,711864	
4	23	20	0	61620	33,711864	
4	24	20	0	61680	33,711864	
4	25	21	0	61740	33,711864	
4	26	21	0	61800	33,711864	

4	27	20	0	61860	33,711864	
4	28	21	0	61920	33,711864	
4	29	21	0	61980	33,711864	
4	30	20	0	62040	33,711864	
4	31	20	0	62100	33,711864	
4	32	20	0	62160	33,711864	
4	33	21	0	62220	33,711864	
4	34	20	0	62280	33,711864	
4	35	20	0	62340	33,711864	
4	36	21	0	62400	33,711864	
4	37	21	0	62460	34,576271	
4	38	21	0	62520	34,576271	
4	39	20	0	62580	34,576271	
4	40	20	0	62640	34,576271	
4	41	21	0	62700	34,576271	
4	42	20	0	62760	34,576271	
4	43	20	0	62820	34,576271	
4	44	21	0	62880	34,576271	
4	45	20	0	62940	34,576271	
4	46	21	0	63000	34,576271	
4	47	20	0	63060	34,576271	
4	48	20	0	63120	34,576271	
4	49	21	0	63180	34,576271	
4	50	20	0	63240	34,576271	
4	51	20	0	63300	34,576271	
4	52	21	0	63360	34,576271	
4	53	20	0	63420	35,440678	
4	54	20	0	63480	35,440678	
4	55	20	0	63540	34,576271	
4	56	20	0	63600	34,576271	
4	57	21	0	63660	35,440678	
4	58	20	0	63720	35,440678	
4	59	20	0	63780	35,440678	
5	0	20	0	63840	35,440678	
5	1	21	0	63900	35,440678	
5	2	20	0	63960	35,440678	
5	3	21	0	64020	35,440678	
5	4	20	0	64080	35,440678	
5	5	21	0	64140	35,440678	
5	6	20	0	64200	35,440678	
5	7	20	0	64260	35,440678	
5	8	21	0	64320	35,440678	
5	9	20	0	64380	35,440678	
5	10	20	0	64440	35,440678	
5	11	20	0	64500	35,440678	

5	12	20	0	64560	36,305085	
5	13	20	0	64620	36,305085	
5	14	20	0	64680	36,305085	
5	15	20	0	64740	36,305085	
5	16	21	0	64800	36,305085	
5	17	20	0	64860	36,305085	
5	18	20	0	64920	36,305085	
5	19	20	0	64980	36,305085	
5	20	21	0	65040	36,305085	
5	21	20	0	65100	36,305085	
5	22	20	0	65160	36,305085	
5	23	20	0	65220	36,305085	
5	24	20	0	65280	36,305085	
5	25	21	0	65340	36,305085	
5	26	21	0	65400	36,305085	
5	27	20	0	65460	36,305085	
5	28	20	0	65520	36,305085	
5	29	20	0	65580	36,305085	
5	30	21	0	65640	36,305085	
5	31	21	0	65700	36,305085	
5	32	21	0	65760	36,305085	
5	33	21	0	65820	36,305085	
5	34	21	0	65880	36,305085	
5	35	20	0	65940	37,169492	
5	36	21	0	66000	37,169492	
5	37	21	0	66060	37,169492	
5	38	20	0	66120	37,169492	
5	39	20	0	66180	37,169492	
5	40	20	0	66240	37,169492	
5	41	20	0	66300	37,169492	
5	42	20	0	66360	37,169492	
5	43	20	0	66420	37,169492	
5	44	20	0	66480	37,169492	
5	45	20	0	66540	37,169492	
5	46	20	0	66600	37,169492	
5	47	20	0	66660	37,169492	
5	48	21	0	66720	37,169492	
5	49	20	0	66780	37,169492	
5	50	20	0	66840	37,169492	
5	51	21	0	66900	37,169492	
5	52	21	0	66960	37,169492	
5	53	20	0	67020	37,169492	
5	54	20	0	67080	37,169492	
5	55	20	0	67140	38,033898	
5	56	20	0	67200	37,169492	

5	57	20	0	67260	38,033898	
5	58	21	0	67320	37,169492	
5	59	21	0	67380	38,033898	
6	0	20	0	67440	38,033898	
6	1	20	0	67500	38,033898	
6	2	20	0	67560	38,033898	
6	3	20	0	67620	38,033898	
6	4	21	0	67680	38,033898	
6	5	21	0	67740	38,033898	
6	6	20	0	67800	38,033898	
6	7	20	0	67860	38,033898	
6	8	20	0	67920	38,033898	
6	9	20	0	67980	38,033898	
6	10	21	0	68040	38,033898	
6	11	20	0	68100	38,033898	
6	12	20	0	68160	38,033898	
6	13	20	0	68220	38,033898	
6	14	21	0	68280	38,033898	
6	15	20	0	68340	38,033898	
6	16	20	0	68400	38,898305	
6	17	20	0	68460	38,033898	
6	18	20	0	68520	38,898305	
6	19	21	0	68580	38,898305	
6	20	21	0	68640	38,033898	
6	21	20	0	68700	38,898305	
6	22	20	0	68760	38,898305	
6	23	20	0	68820	38,898305	
6	24	20	0	68880	38,898305	
6	25	20	0	68940	38,898305	
6	26	20	0	69000	38,898305	
6	27	20	0	69060	38,898305	
6	28	21	0	69120	38,898305	
6	29	20	0	69180	38,898305	
6	30	20	0	69240	38,898305	
6	31	20	0	69300	38,898305	
6	32	21	0	69360	38,898305	
6	33	20	0	69420	38,898305	
6	34	20	0	69480	38,898305	
6	35	21	0	69540	38,898305	
6	36	20	0	69600	38,898305	
6	37	20	0	69660	38,898305	
6	38	20	0	69720	38,898305	
6	39	20	0	69780	38,898305	
6	40	20	0	69840	39,762712	
6	41	20	0	69900	39,762712	

6	42	20	0	69960	38,898305	
6	43	20	0	70020	39,762712	
6	44	20	0	70080	39,762712	
6	45	20	0	70140	39,762712	
6	46	20	0	70200	39,762712	
6	47	21	0	70260	39,762712	
6	48	20	0	70320	39,762712	
6	49	20	0	70380	39,762712	
6	50	21	0	70440	39,762712	
6	51	21	0	70500	39,762712	
6	52	20	0	70560	39,762712	
6	53	20	0	70620	39,762712	
6	54	21	0	70680	39,762712	
6	55	20	0	70740	39,762712	
6	56	20	0	70800	39,762712	
6	57	20	0	70860	39,762712	
6	58	21	0	70920	39,762712	
6	59	20	0	70980	39,762712	
7	0	20	0	71040	39,762712	
7	1	21	0	71100	39,762712	
7	2	21	0	71160	39,762712	
7	3	20	0	71220	39,762712	
7	4	20	0	71280	40,627119	
7	5	20	0	71340	39,762712	
7	6	21	0	71400	40,627119	
7	7	20	0	71460	40,627119	
7	8	20	0	71520	40,627119	
7	9	21	0	71580	40,627119	
7	10	20	0	71640	40,627119	
7	11	20	0	71700	40,627119	
7	12	21	0	71760	40,627119	
7	13	21	0	71820	40,627119	
7	14	21	0	71880	40,627119	
7	15	20	0	71940	40,627119	
7	16	21	0	72000	40,627119	
7	17	21	0	72060	40,627119	
7	18	21	0	72120	40,627119	
7	19	20	0	72180	40,627119	
7	20	21	0	72240	40,627119	
7	21	20	0	72300	40,627119	
7	22	21	0	72360	40,627119	
7	23	20	0	72420	40,627119	
7	24	20	0	72480	40,627119	
7	25	20	0	72540	40,627119	
7	26	20	0	72600	40,627119	



7	27	20	0	72660	40,627119	
7	28	21	0	72720	40,627119	
7	29	20	0	72780	40,627119	
7	30	20	0	72840	40,627119	
7	31	20	0	72900	40,627119	
7	32	20	0	72960	41,491525	
7	33	21	0	73020	41,491525	
7	34	20	0	73080	40,627119	
7	35	21	0	73140	41,491525	
7	36	20	0	73200	41,491525	
7	37	21	0	73260	41,491525	
7	38	21	0	73320	41,491525	
7	39	20	0	73380	41,491525	
7	40	20	0	73440	41,491525	
7	41	21	0	73500	41,491525	
7	42	20	0	73560	41,491525	
7	43	20	0	73620	41,491525	
7	44	21	0	73680	41,491525	
7	45	21	0	73740	41,491525	
7	46	21	0	73800	41,491525	
7	47	20	0	73860	41,491525	
7	48	20	0	73920	41,491525	
7	49	21	0	73980	41,491525	
7	50	20	0	74040	41,491525	
7	51	21	0	74100	41,491525	
7	52	21	0	74160	41,491525	
7	53	20	0	74220	41,491525	
7	54	20	0	74280	42,355932	
7	55	20	0	74340	41,491525	
7	56	20	0	74400	41,491525	
7	57	20	0	74460	41,491525	
7	58	21	0	74520	42,355932	
7	59	21	0	74580	41,491525	
8	0	20	0	74640	42,355932	
8	1	21	0	74700	42,355932	
8	2	20	0	74760	42,355932	
8	3	20	0	74820	42,355932	
8	4	21	0	74880	42,355932	
8	5	20	0	74940	42,355932	
8	6	20	0	75000	42,355932	
8	7	20	0	75060	42,355932	
8	8	21	0	75120	42,355932	
8	9	21	0	75180	42,355932	
8	10	21	0	75240	42,355932	
8	11	20	0	75300	42,355932	

8	12	21	0	75360	42,355932	
8	13	21	0	75420	42,355932	
8	14	21	0	75480	42,355932	
8	15	20	0	75540	42,355932	
8	16	21	0	75600	42,355932	
8	17	20	0	75660	42,355932	
8	18	21	0	75720	42,355932	
8	19	21	0	75780	42,355932	
8	20	21	0	75840	42,355932	
8	21	20	0	75900	42,355932	
8	22	20	0	75960	42,355932	
8	23	20	0	76020	43,220339	
8	24	21	0	76080	43,220339	
8	25	21	0	76140	43,220339	
8	26	20	0	76200	43,220339	
8	27	20	0	76260	43,220339	
8	28	20	0	76320	43,220339	
8	29	20	0	76380	43,220339	
8	30	20	0	76440	43,220339	
8	31	20	0	76500	43,220339	
8	32	21	0	76560	43,220339	
8	33	20	0	76620	43,220339	
8	34	20	0	76680	43,220339	
8	35	21	0	76740	43,220339	
8	36	20	0	76800	43,220339	
8	37	20	0	76860	43,220339	
8	38	21	0	76920	43,220339	
8	39	20	0	76980	43,220339	
8	40	20	0	77040	43,220339	
8	41	20	0	77100	43,220339	
8	42	20	0	77160	43,220339	
8	43	20	0	77220	43,220339	
8	44	21	0	77280	43,220339	
8	45	20	0	77340	43,220339	
8	46	21	0	77400	43,220339	
8	47	20	0	77460	43,220339	
8	48	20	0	77520	43,220339	
8	49	20	0	77580	43,220339	
8	50	21	0	77640	43,220339	
8	51	21	0	77700	43,220339	
8	52	20	0	77760	44,084746	
8	53	20	0	77820	44,084746	
8	54	21	0	77880	43,220339	
8	55	21	0	77940	43,220339	
8	56	20	0	78000	44,084746	

8	57	20	0	78060	44,084746	
8	58	21	0	78120	44,084746	
8	59	20	0	78180	44,084746	
9	0	21	0	78240	44,084746	
9	1	20	0	78300	44,084746	
9	2	20	0	78360	44,084746	
9	3	21	0	78420	44,084746	
9	4	21	0	78480	44,084746	
9	5	20	0	78540	44,084746	
9	6	20	0	78600	44,084746	
9	7	21	0	78660	44,084746	
9	8	21	0	78720	44,084746	
9	9	21	0	78780	44,084746	
9	10	20	0	78840	44,084746	
9	11	20	0	78900	44,084746	
9	12	20	0	78960	44,084746	
9	13	21	0	79020	44,084746	
9	14	20	0	79080	44,084746	
9	15	21	0	79140	44,084746	
9	16	20	0	79200	44,084746	
9	17	21	0	79260	44,084746	
9	18	20	0	79320	44,949153	
9	19	20	0	79380	44,084746	
9	20	21	0	79440	44,084746	
9	21	21	0	79500	44,084746	
9	22	20	0	79560	44,949153	
9	23	20	0	79620	44,949153	
9	24	21	0	79680	44,949153	
9	25	20	0	79740	44,949153	
9	26	21	0	79800	44,949153	
9	27	20	0	79860	44,949153	
9	28	20	0	79920	44,949153	
9	29	20	0	79980	44,949153	
9	30	21	0	80040	44,949153	
9	31	20	0	80100	44,949153	
9	32	21	0	80160	44,949153	
9	33	21	0	80220	44,949153	
9	34	21	0	80280	44,949153	
9	35	20	0	80340	44,949153	
9	36	20	0	80400	44,949153	
9	37	20	0	80460	44,949153	
9	38	20	0	80520	44,949153	
9	39	21	0	80580	44,949153	
9	40	20	0	80640	44,949153	
9	41	20	0	80700	44,949153	

9	42	20	0	80760	44,949153	
9	43	20	0	80820	44,949153	
9	44	20	0	80880	44,949153	
9	45	20	0	80940	44,949153	
9	46	21	0	81000	45,813559	
9	47	21	0	81060	44,949153	
9	48	20	0	81120	45,813559	
9	49	21	0	81180	44,949153	
9	50	21	0	81240	44,949153	
9	51	20	0	81300	45,813559	
9	52	20	0	81360	45,813559	
9	53	21	0	81420	45,813559	
9	54	20	0	81480	45,813559	
9	55	20	0	81540	45,813559	
9	56	21	0	81600	45,813559	
9	57	20	0	81660	45,813559	
9	58	21	0	81720	45,813559	
9	59	21	0	81780	45,813559	
10	0	21	0	81840	45,813559	
10	1	21	0	81900	45,813559	
10	2	21	0	81960	45,813559	
10	3	21	0	82020	45,813559	
10	4	20	0	82080	45,813559	
10	5	20	0	82140	45,813559	
10	6	21	0	82200	45,813559	
10	7	20	0	82260	45,813559	
10	8	21	0	82320	45,813559	
10	9	22	0	82380	45,813559	
10	10	20	0	82440	45,813559	
10	11	20	0	82500	45,813559	
10	12	20	0	82560	45,813559	
10	13	20	0	82620	45,813559	
10	14	21	0	82680	45,813559	
10	15	20	0	82740	45,813559	
10	16	21	0	82800	45,813559	
10	17	20	0	82860	45,813559	
10	18	20	0	82920	45,813559	
10	19	21	0	82980	45,813559	
10	20	21	0	83040	46,677966	
10	21	20	0	83100	45,813559	

## Příloha č. 7: Kompletní program v Arduino IDE

```
#include "U8glib.h"
#include <HX711.h>
#include <SD.h>
HX711 scale;
HX711 scale2;
HX711 scale3;
HX711 scale4;

// nastavení propojovacích pinů pro display
#define EN 49 //13
#define RW 48 //12
#define RS 2 //11

// nastavení propojovacích pinů pro tlačítka
#define pinCLK 2
#define pinDT 3
#define pinSW 4

//Nastavení pinů pro vahový senzor
#define DOUT A1
#define PD_SCK A0

#define DOUT2 A3
#define PD_SCK2 A2

#define DOUT3 A5
#define PD_SCK3 A4

#define DOUT4 A7
#define PD_SCK4 A6

//Nastavení pro plovák a rele hlavního čerpadla
#define RelePin 12
#define sensorPin A8

#define ReleCerpadloVaha1 22
#define ReleCerpadloVaha2 24
#define ReleCerpadloVaha3 26
#define ReleCerpadloVaha4 28

#define ReleVentilVaha1 23
#define ReleVentilVaha2 25
#define ReleVentilVaha3 27
#define ReleVentilVaha4 29

//Nastavení pro kartu
int rtc[7];
const int chipSelect = 53;
bool ZapnuteUkladani = false;
String DataVah = "";
```

```

// proměnné pro uložení pozice a stavů pro určení směru
// a stavu tlačítka
int poziceEnkod = 0;
bool poziceDoprava = false;
bool VentilyOtevreny = false;
bool poziceDoleva = false;
bool stisknuteTlacitko = false;
int stavSW;
int i;
unsigned long IntervalMereni = 1;
unsigned long IntervalMereniMS = 1000;
bool kartaInicializovana = false;
bool ZapnuteZapisovani = false;

// inicializace OLED displeje z knihovny U8glib
U8GLIB_ST7920_128X64_1X lcd(EN, RW, RS);

// proměnná pro uchování času poslední obnovy displeje
long int prepis = 500;
long int prepisSD = 500;
long int prepisPlovaku = 500;
long int IntervalPlovaku = 200;

void setup(void) {
  //nastaveni preruseni pro otocene tlacitko
  attachInterrupt(1,OtoceniTlacitkem2, CHANGE);
  attachInterrupt(2,OtoceniTlacitkem2, CHANGE);

  pinMode(pinCLK, INPUT_PULLUP);
  pinMode(pinDT, INPUT_PULLUP);
  pinMode(pinSW, INPUT_PULLUP);
  //stavPred = digitalRead(pinCLK);

  //Vahovy senzor
  scale.begin(DOUT, PD_SCK);
  scale2.begin(DOUT2, PD_SCK2);
  scale3.begin(DOUT3, PD_SCK3);
  scale4.begin(DOUT4, PD_SCK4);
  //KalibraceVahy();

  //Karta
  pinMode(chipSelect, OUTPUT);
  kartaInicializovana = true;
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    kartaInicializovana = false;
  }

  //Plovak
  pinMode(RelePin, OUTPUT);

  //Ventily
  pinMode(ReleCerpadloVaha1, OUTPUT);
  pinMode(ReleCerpadloVaha2, OUTPUT);
  pinMode(ReleCerpadloVaha3, OUTPUT);
  pinMode(ReleCerpadloVaha4, OUTPUT);
  ZavreniVentilu();
}

```

```

}

void loop(void) {
  if (millis()-prepis > 100) {
    // obnoví obsah OLED displeje
    lcd.firstPage();
    do {
      vykresli();
    } while( lcd.nextPage() );

    tlacitko();

    prepis = millis();
  }
  //Zapis na kartu
  if (ZapnuteZapisovani) {
    if (millis()-prepisSD > IntervalMereniMS) {
      DataVah = "";
      DataVah = "V1: " + String(scale.get_units(5)) + " :V2: " +
String(scale2.get_units(5)) + " :V3: " +
String(scale3.get_units(5)) + " :V4: " +
String(scale4.get_units(5)) ;
      UlozNaKartu(DataVah);
      prepisSD = millis();
    }
  }

  //Ovdani cerpadel
  if ((millis()-prepisPlovaku > IntervalPlovaku) and
ZapnuteZapisovani) {
    KontrolaPlovaku();
    KontrolaVahAOdcerpani();
    if (not VentilyOtevreny){
      OtevreniVentilu();
      VentilyOtevreny = true;
    }
    prepisPlovaku = millis();
  }
}

//Ovaldani tlacitka
void tlacitko(void) {
  stisknuteTlacitko = false;
  stavSW = digitalRead(pinSW);
  if (stavSW == 0) {
    stisknuteTlacitko = true;
  }
}

int ScaleValue = 400;
float ZvazedaPrumernaHodnota = 0;
float Zvazeno = 0;

//kalibrace pro ejjdnou vahu
void KalibraceVahy(){
  scale.set_scale(ScaleValue);
}

```

```

scale.tare();

lcd.setFont(u8g_font_unifont);
for (int i = 10; i > 0; i--){
  lcd.firstPage();
  do {
    lcd.setPrintPos(0, 10);  lcd.print("Vloz 100g zavazi: ");
    lcd.setPrintPos(0, 25);  lcd.print(i);
    lcd.setPrintPos(20, 25); lcd.print("Sekund");
  } while( lcd.nextPage() );
  delay(1000);
}
float ZvazedaPrumernaHodnota = scale.get_units(5);
while (abs(ZvazedaPrumernaHodnota - 100) > 1){
  if (scale.get_units() > 100) {
    ScaleValue = ScaleValue + 10;
  }
  else {
    ScaleValue = ScaleValue - 10;
  }
  lcd.firstPage();
  do {
    lcd.setPrintPos(0, 10);  lcd.print("Nastaveno: ");
    lcd.setPrintPos(10, 25); lcd.print(ScaleValue);
    lcd.setPrintPos(0, 40);  lcd.print("Vazena hodnota: ");
    lcd.setPrintPos(10, 55);
  } while( lcd.nextPage() );
  scale.set_scale(ScaleValue);
  ZvazedaPrumernaHodnota = scale.get_units(5);
  delay(100);
}
while (abs(ZvazedaPrumernaHodnota - 100) > 0.1){
  if (scale.get_units() > 100) {
    ScaleValue = ScaleValue + 1;
  }
  else {
    ScaleValue = ScaleValue - 1;
  }
  lcd.firstPage();
  do {
    lcd.setPrintPos(0, 10);  lcd.print("Nastaveno: ");
    lcd.setPrintPos(10, 25); lcd.print(ScaleValue);
    lcd.setPrintPos(0, 40);  lcd.print("Vazena hodnota: ");
    lcd.setPrintPos(10, 55);
  } while( lcd.nextPage() );
  scale.set_scale(ScaleValue);
  ZvazedaPrumernaHodnota = scale.get_units(5);
  delay(100);
}
}

//postupna kalibrace ctyr vah
void KalibraceVah(){
  scale.set_scale(ScaleValue);
}

```



```

scale.tare();
scale2.set_scale(ScaleValue);
scale2.tare();
scale3.set_scale(ScaleValue);
scale3.tare();
scale4.set_scale(ScaleValue);
scale4.tare();

for (int j = 1 ; j < 5 ; j++) {
    ScaleValue = 400;
    lcd.setFont(u8g_font_unifont);
    for (int i = 10; i > 0; i--){
        lcd.firstPage();
        do {
            lcd.setPrintPos(0, 10);  lcd.print("Vloz 100g zavazi ");
            lcd.setPrintPos(0, 25);  lcd.print("na vahu ");
            lcd.setPrintPos(80, 25);  lcd.print(j);
            lcd.setPrintPos(0, 40);  lcd.print(i);
            lcd.setPrintPos(20, 40);  lcd.print("Sekund");
        } while( lcd.nextPage() );
        delay(1000);
    }
    switch (j){
    case 1: ZvazedaPrumernaHodnota = scale.get_units(5); break;
    case 2: ZvazedaPrumernaHodnota = scale2.get_units(5); break;
    case 3: ZvazedaPrumernaHodnota = scale3.get_units(5); break;
    case 4: ZvazedaPrumernaHodnota = scale4.get_units(5); break;
    }

    while (abs(ZvazedaPrumernaHodnota - 100) > 1){
        switch (j){
        case 1: Zvazeno = scale.get_units(); break;
        case 2: Zvazeno = scale2.get_units(); break;
        case 3: Zvazeno = scale3.get_units(); break;
        case 4: Zvazeno = scale4.get_units(); break;
        }
        if (Zvazeno > 100) {
            ScaleValue = ScaleValue + 10;
        }
        else {
            ScaleValue = ScaleValue - 10;
        }
        lcd.firstPage();
        do {
            lcd.setPrintPos(0, 10);  lcd.print("Nastaveno : ");
            lcd.setPrintPos(10, 25);  lcd.print(ScaleValue);
            lcd.setPrintPos(0, 40);  lcd.print("Vazena hodnota: ");
            lcd.setPrintPos(10, 55);
        } while( lcd.nextPage() );
        lcd.print(ZvazedaPrumernaHodnota);
        switch (j){
        case 1: scale.set_scale(ScaleValue); break;
        case 2: scale2.set_scale(ScaleValue); break;
        case 3: scale3.set_scale(ScaleValue); break;
        case 4: scale4.set_scale(ScaleValue); break;
        }
    }
}

```



```

int stavPred;
int stavCLK;

void OtoceniTlacitkem(){
    stavCLK = digitalRead(pinCLK);
    if (stavCLK != stavPred) {
        if (digitalRead(pinDT) != stavCLK) {
            poziceDoprava = true;
            poziceEnkod ++;
        }
        else {
            poziceDoleva = true;
            poziceEnkod--;
        }
    }
    stavPred = stavCLK;
}

volatile int lastEncoded = 0;

void OtoceniTlacitkem2(){
    int MSB = digitalRead(pinCLK); //MSB = nejvyssi byt
    int LSB = digitalRead(pinDT); //LSB = nejnizsi

    int encoded = (MSB << 1) |LSB;
    //konverze 2 pinu na jednobitove cislo
    int sum = (lastEncoded << 2) | encoded;
    //pridani do predchoziho stavu a kotnrola
    if(sum == 0b1101 || sum == 0b0100 || sum == 0b0010 || sum ==
0b1011) {
        poziceEnkod ++;
        poziceDoprava = true;
    }
    if(sum == 0b1110 || sum == 0b0111 || sum == 0b0001 || sum ==
0b1000) {
        poziceEnkod --;
        poziceDoleva = true;
    }
    lastEncoded = encoded; //ulozeni hodnoty pro dalsi cyklus
}

int sensorValue = 0;
bool StartRele = false;
int NumberOfStartRele = 0;

void KontrolaPlovaku(){
    sensorValue = analogRead(sensorPin);
    //Serial.println(sensorValue);
    if (sensorValue > 1000) {
        digitalWrite(RelePin, HIGH);
    }
    else if ((sensorValue < 1000)) {
        digitalWrite(RelePin, LOW);
    }
}

```

```

}

int CerpadloZapnute1 = 0;
int CerpadloZapnute2 = 0;
int CerpadloZapnute3 = 0;
int CerpadloZapnute4 = 0;

void KontrolaVahA0dcerpani() {
    if ((scale.get_units(5) > 4000) and (not CerpadloZapnute1)) {
        digitalWrite(ReleCerpadloVaha1, LOW);
        CerpadloZapnute1 = 1;
    }
    else{
        if (CerpadloZapnute1 and (scale.get_units(5) < 1000)){
            digitalWrite(ReleCerpadloVaha1, HIGH);
            CerpadloZapnute1 = 0;
        }
    }

    if ((scale2.get_units(5) > 4000) and (not CerpadloZapnute2)) {
        digitalWrite(ReleCerpadloVaha2, LOW);
        CerpadloZapnute2 = 1;
    }
    else{
        if (CerpadloZapnute2 and (scale2.get_units(5) < 1000)){
            digitalWrite(ReleCerpadloVaha2, HIGH);
            CerpadloZapnute2 = 0;
        }
    }

    if ((scale3.get_units(5) > 4000) and (not CerpadloZapnute3)) {
        digitalWrite(ReleCerpadloVaha3, LOW);
        CerpadloZapnute3 = 1;
    }
    else{
        if (CerpadloZapnute3 and (scale3.get_units(5) < 1000)){
            digitalWrite(ReleCerpadloVaha3, HIGH);
            CerpadloZapnute3 = 0;
        }
    }

    if ((scale4.get_units(5) > 4000) and (not CerpadloZapnute4)) {
        digitalWrite(ReleCerpadloVaha4, LOW);
        CerpadloZapnute4 = 1;
    }
    else{
        if (CerpadloZapnute4 and (scale4.get_units(5) < 1000)){
            digitalWrite(ReleCerpadloVaha4, HIGH);
            CerpadloZapnute4 = 0;
        }
    }
}

void ZavreniVentilu() {
    digitalWrite(ReleVentilVaha1, HIGH);
    digitalWrite(ReleVentilVaha2, HIGH);
}

```

```

        digitalWrite(ReleVentilVaha3, HIGH);
        digitalWrite(ReleVentilVaha4, HIGH);
    }
void OtevreniVentilu() {
    digitalWrite(ReleVentilVaha1, LOW);
    digitalWrite(ReleVentilVaha2, LOW);
    digitalWrite(ReleVentilVaha3, LOW);
    digitalWrite(ReleVentilVaha4, LOW);
}

void UlozNaKartu(String Data) {

    // připraví pole znaků pro čas
    char cas[9];
    int casS;
    int casM;
    int casH;
    // zapíše do pole znaků cas hodnoty z rtc
    casS = millis() / 1000;
    casM = casS / 60;
    casH = casM / 60;
    casM = casM - (casH * 60);
    casS = casS - (casH * 60 * 60) - (casM * 60);
    sprintf(cas, "%02d:%02d:%02d", casH,casM,casS);

    String dataString = ""; // inicializuje proměnou pro data
    dataString = cas; // čas do proměné data
    dataString = dataString + " :"; // vhodný oddělovač
    dataString = dataString + Data;

    // otevře soubor data.txt
    File dataFile = SD.open("data.txt", FILE_WRITE);

    // když soubor existuje zapíše do něj
    if (dataFile) {
        // samotný zápis - zapíše a skočí na nový řádek
        dataFile.println(dataString);
        dataFile.close();

        Serial.print("Zapisuji do souboru data - ");
        Serial.println(dataString);
    }
    // při chybě vypíše hlášku
    else {
        kartaInicializovana = false;
        //Serial.println("Chyba - nemohu otevřít soubor !!!");
    }
}

int stepvykresleni = 0;
int JednotkaMereni;

void vykresli(void) {
    switch (stepvykresleni){
        case 0:
            lcd.setFont(u8g_font_unifont);

```

```

    if (not stisknuteTlacitko) {
        stepvykresleni = 1;
    }
    break;
case 1:
    if (stisknuteTlacitko) {
        stepvykresleni = 10;
    }
    break;
case 10:
    if (not stisknuteTlacitko) {
        stepvykresleni = 11;
    }
    break;
case 11: //cas mereni
    lcd.setPrintPos(100, 10);
    lcd.print("<-");
    if (poziceDoprava){
        stepvykresleni = 12;
        poziceDoprava = false;
    }
    if (poziceDoleva){
        stepvykresleni = 18;
        poziceDoleva = false;
    }
    if (stisknuteTlacitko) {
        stepvykresleni = 20;
    }
    break;
case 12: // Kalibrace
    lcd.setPrintPos(100, 25);
    lcd.print("<-");
    if (poziceDoprava){
        stepvykresleni = 13;
        poziceDoprava = false;
    }
    if (poziceDoleva){
        stepvykresleni = 11;
        poziceDoleva = false;
    }
    if (stisknuteTlacitko) {
        stepvykresleni = 30;
    }
    break;
case 13: //Karta
    lcd.setPrintPos(100, 40);
    lcd.print("<-");
    if (poziceDoprava){
        stepvykresleni = 14;
        poziceDoprava = false;
    }
    if (poziceDoleva){
        stepvykresleni = 12;
        poziceDoleva = false;
    }
    if (stisknuteTlacitko) {

```

```

        stepvykresleni = 40;
    }
    break;
case 14: //Vahy
    lcd.setPrintPos(100, 55);
    lcd.print("<-");
    if (poziceDoprava){
        stepvykresleni = 18;
        poziceDoprava = false;
    }
    if (poziceDoleva){
        stepvykresleni = 13;
        poziceDoleva = false;
    }
    if (stisknuteTlacitko) {
        stepvykresleni = 50;
    }
    break;
case 18: //Zpet
    lcd.setPrintPos(30, 55);
    lcd.print("<-");
    if (poziceDoprava){
        stepvykresleni = 11;
        poziceDoprava = false;
    }
    if (poziceDoleva){
        stepvykresleni = 14;
        poziceDoleva = false;
    }
    if (stisknuteTlacitko) {
        stepvykresleni = 0;
    }
    break;

case 20: // Cas mereni
    if (not(stisknuteTlacitko)) {
        stepvykresleni = 21;
    }
    break;
case 21:
    lcd.setPrintPos(0, 40); lcd.print("Cas: ");
    lcd.setPrintPos(45, 40); lcd.print(IntervalMereni);
    lcd.setPrintPos(100, 40); lcd.print("<-");
    lcd.setPrintPos(0, 55); lcd.print("Jednotka:  s");
    if (poziceDoleva) {
        if (IntervalMereni > 0){
            IntervalMereni = IntervalMereni - 1;
        }
    }
    if (poziceDoprava) {
        IntervalMereni = IntervalMereni + 1;
    }
    poziceDoleva = false;
    poziceDoprava = false;
    if (stisknuteTlacitko) {
        stepvykresleni = 22;
    }

```

```

    }
    break;
case 22:
    if (not(stisknuteTlacitko)) {
        stepvykresleni = 23;
    }
    break;
case 23:
    lcd.setPrintPos(0, 40); lcd.print("Cas: ");
    lcd.setPrintPos(45, 40); lcd.print(IntervalMereni);
    lcd.setPrintPos(100, 55); lcd.print("<-");
    lcd.setPrintPos(0, 55); lcd.print("Jednotka: ");
    lcd.setPrintPos(75, 55);
    if (JednotkaMereni == 1) {
        lcd.print("s");
    }
    else if (JednotkaMereni == 2) {
        lcd.print("m");
    }
    else if (JednotkaMereni == 3) {
        lcd.print("h");
    }
    else {
        lcd.print("Neni");
    }
    if (poziceDoleva or poziceDoprava) {
        JednotkaMereni = JednotkaMereni + 1;
    }
    if (JednotkaMereni > 3){
        JednotkaMereni = 1;
    }
    poziceDoleva = false;
    poziceDoprava = false;
    if (stisknuteTlacitko) {
        IntervalMereniMS = 0;
        if (JednotkaMereni == 1) {
            IntervalMereniMS = IntervalMereni * 1000;
        }
        else if (JednotkaMereni == 2) {
            IntervalMereniMS = IntervalMereni * 1000 * 60;
        }
        else if (JednotkaMereni == 3) {
            IntervalMereniMS = IntervalMereni * 1000 * 60 * 60;
        }
        stepvykresleni = 24;
    }
    break;
case 24: // Kalibrace
    if (not(stisknuteTlacitko)) {
        stepvykresleni = 25;
    }
    break;
case 25:
    lcd.setPrintPos(0, 25); lcd.print("Nastaveni v ms: ");
    lcd.setPrintPos(0, 40); lcd.print(IntervalMereniMS);
    if (stisknuteTlacitko) {

```



```

        ZapnuteZapisovani = not(ZapnuteZapisovani);
        stepvykresleni = 0;
    }
    break;

case 30: // Kalibrace
    if (not(stisknuteTlacitko)) {
        stepvykresleni = 31;
    }
    break;
case 31:
    //KalibraceVahy();
    KalibraceVah();
    stepvykresleni = 0;
    break;

case 40: // Ukladani na kartu
    if (not(stisknuteTlacitko)) {
        stepvykresleni = 41;
    }
    break;
case 41:
    if (!kartaInicializovana) {
        stepvykresleni = 0;
    }
    else if (ZapnuteZapisovani){
        lcd.setPrintPos(0, 25); lcd.print("Vypnout zapis");
    }
    else {
        lcd.setPrintPos(0, 25); lcd.print("Zapnout zapis");
    }
    if (stisknuteTlacitko) {
        ZapnuteZapisovani = not(ZapnuteZapisovani);
        stepvykresleni = 0;
    }
    break;
case 42:
    stepvykresleni = 0;
    break;

case 50: // Zobrazeni vah
    if (not(stisknuteTlacitko)) {
        stepvykresleni = 51;
    }
    break;
case 51:
    lcd.setPrintPos(0, 10); lcd.print("Vaha1:");
    lcd.setPrintPos(50, 10);
lcd.print((int)scale.get_units());
    lcd.setPrintPos(0, 25); lcd.print("Vaha2:");
    lcd.setPrintPos(50, 25);
lcd.print((int)scale2.get_units());
    lcd.setPrintPos(0, 40); lcd.print("Vaha3:");
    lcd.setPrintPos(50, 40);
lcd.print((int)scale3.get_units());
    lcd.setPrintPos(0, 55); lcd.print("Vaha4:");

```

```

        lcd.setPrintPos(50, 55);
lcd.print((int)scale4.get_units());
        if (stisknuteTlacitko) {
            stepvykresleni = 0;
        }
        break;
    case 52:
        stepvykresleni = 0;
        break;
} // Konec Case
if (stepvykresleni < 10) {
    if (kartaInicializovana) {
        lcd.setPrintPos(0, 10); lcd.print("Karta Je: ");
        if (!ZapnuteZapisovani) {
            lcd.print("Vypla");
        }
        else {
            lcd.print("Zapla");
        }
    }
    else {
        lcd.setPrintPos(0, 10); lcd.print("Karta NENI");
    }
    lcd.setPrintPos(0, 25); lcd.print("Pozice: ");
    lcd.setPrintPos(60, 25); lcd.print(poziceEnkod);
    lcd.setPrintPos(0, 40); lcd.print("Cas:");
    lcd.setPrintPos(45, 40); lcd.print(millis()/1000);
lcd.print(" s");
    lcd.setPrintPos(0, 55); lcd.print("Vaha:");
    lcd.setPrintPos(45, 55); lcd.print((int)scale.get_units());
}
else if ((stepvykresleni > 9) and (stepvykresleni < 20)){
    lcd.setPrintPos(0, 10); lcd.print("Cas mereni");
    lcd.setPrintPos(0, 25); lcd.print("Kalibrace");
    lcd.setPrintPos(0, 40); lcd.print("Ukladani dat");
    lcd.setPrintPos(0, 55); lcd.print("Zpet");
    lcd.setPrintPos(70, 55); lcd.print("Vahy");
}
}
}

```