

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Katedra materiálů a technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Přípravek pro měření průtoku kapalin

Autor práce: **Jiří Kanta**
Vedoucí práce: **Ing. Martin Sýkora, Ph.D.**

2023

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Jiří KANTA
Osobní číslo:	E19B0047P
Studijní program:	B2612 Elektrotechnika a informatika
Téma práce:	Přípravek pro měření průtoku kapalin
Zadávající katedra:	Katedra materiálů a technologií

Zásady pro vypracování

1. Seznamte se současnými možnostmi měření průtoku kapalin v laboratoři neelektrických veličin.
2. Navrhněte přípravek pro výuku principů měření průtoku kapalin s uzavřeným okruhem kapaliny.
3. Vyberte vhodné komponenty a vytvořte dokumentaci pro realizaci přípravku.

Rozsah bakalářské práce: **30-40**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **elektronická**

Seznam doporučené literatury:

Ďaďo, S., Bejček, L., Platil, A., Měření průtoku a výšky hladiny, 2005, ISBN 80-7300-156-X.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Sýkora, Ph.D.**
Katedra materiálů a technologií

Datum zadání bakalářské práce: **7. října 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **20. srpna 2023**



L.S.

Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan



Prof. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 7. října 2022

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je seznámit se s ověřenými metodami měření průtoku kapalin, přiblížit si tím problematiku měření vodního toku a na základě nabytých znalostí navrhnout optimální měřicí přípravek, který bude sloužit k výuce měření průtoku kapalin.

V první části práce je rozebrána teorie o proudění tekutin, základní principy používané v praxi pro snímání průtoku tekutin a s tím spojené nedostatky. V další části bakalářské práce je vypracovaný teoretický návrh samotné měřicí soustavy, jehož koncept vychází z dohledaných reálných komponentů. Tento návrh zohledňuje praktické aspekty měření průtoku kapalin se zaměřením na průtok vody. Součástí návrhu jsou specifikace jednotlivých částí, popis jejich funkce a volba optimálního zapojení pro dosažení co nejvyšší přesnosti a bezpečnosti při měření.

V závěru práce je proveden rozbor některých nedostatků, které se vyskytly během řešení teoretického návrhu přípravku. Celkově práce přináší ucelený obecný přehled problematiky spojené s měřením průtoku vody a nabízí konkrétní řešení zadaného úkolu v podobě navržené měřicí soustavy, která by mohla být použita jako základ při reálné konstrukci přípravku pro výuku.

Klíčová slova

Měření průtoku, průtok vody, proudění kapalin, průtokoměr, vodní trať, uzavřený vodní okruh, teorie průtoku, návrh přípravku.

Abstract

The goal of this bachelor's thesis is to get acquainted with the proven methods of measuring liquid flow, to get closer to the issue of water flow measurement and, based on the acquired knowledge, to design an optimal measuring device that will be used for teaching liquid flow measurement.

In the first part of the thesis, the theory of fluid flow, the basic principles used in practice for fluid flow sensing and the associated shortcomings are discussed. In the next part of the bachelor's thesis, the theoretical design of the measuring system, which is composed of real elements, is developed. This design takes into account the practical aspects of liquid flow measurement with a focus on water flow. The design includes the specifications of the individual parts, a description of their function and the choice of the optimal connection to achieve the highest possible accuracy and safety during measurement.

At the end of the thesis, an analysis of some shortcomings that occurred during the solution of the theoretical design of the product is carried out. Overall, the work provides a comprehensive general overview of the issue related to the measurement of water flow and offers a concrete solution to the given task in the form of a proposed measuring system, which could be used as a basis for the real construction of a training device.

Key Words

Flow measurement, water flow, liquid flow, flow meter, water line, closed water circuit, flow theory, device design.

Obsah

Úvod.....	- 1 -
1 Teorie průtoku kapalin.....	- 2 -
1.1 Základní pojmy a definice.....	- 2 -
1.1.1 Tekutina	- 2 -
1.1.2 Proudění tekutin.....	- 2 -
1.2 Výpočet průtoku kapaliny	- 2 -
1.2.1 Objem tekutiny	- 2 -
1.2.2 Střední rychlost tekutiny	- 3 -
1.2.3 Hmotnost tekutiny.....	- 3 -
1.2.4 Ideální kapalina.....	- 3 -
1.3 Vlastnosti kapaliny	- 4 -
1.3.1 Viskozita	- 4 -
1.3.2 Kavitace	- 4 -
1.3.3 Mezní vrstva	- 5 -
1.4 Charakteristika průtoku tekutin.....	- 5 -
1.4.1 Reynoldsovo číslo.....	- 5 -
1.4.2 Laminární průtok	- 6 -
1.4.3 Turbulentní průtok	- 6 -
1.5 Vliv tvaru potrubí na průtok kapalin.....	- 7 -
1.5.1 Klidový úsek.....	- 8 -
2 Senzory průtoku kapalin.....	- 9 -
2.1 Rychlostní metoda.....	- 10 -
2.1.1 Turbínový průtokoměry	- 10 -
2.1.2 Vírové průtokoměry.....	- 10 -
2.1.3 Plováčkové průtokoměry	- 10 -
2.1.4 Indukční průtokoměry.....	- 11 -
2.2 Objemová metoda	- 11 -
2.3 Hmotnostní metoda	- 11 -
2.4 Výběr adekvátního průtokoměru.....	- 12 -

2.5	Instalace průtokoměru	- 13 -
3	Teoretický návrh přípravku	- 14 -
3.1	Opěrná konstrukce.....	- 15 -
3.1.1	Návrh opěrné konstrukce	- 15 -
3.2	Pohon a nádrž.....	- 16 -
3.2.1	Výběr vhodného čerpadla	- 16 -
3.2.2	Výběr vhodné nádrže	- 19 -
3.2.3	Víko a montáž nádrže	- 22 -
3.3	Vodní trať a měřicí úsek.....	- 26 -
3.3.1	Výběr prvků měřicí soustavy	- 27 -
3.3.2	Konstrukce měřicího úseku	- 29 -
3.4	Zapojení a regulace	- 30 -
3.4.1	Napájení s regulací napětí.....	- 30 -
3.4.1	Zapojení ovládaní soustavy	- 31 -
3.5	Těsnící spoje.....	- 32 -
3.6	Výsledná navržená soustava.....	- 32 -
4	Obsluha přípravku	- 34 -
4.1	Použitá kapalina	- 34 -
4.2	Údržba	- 34 -
	Zhodnocení a závěr	- 35 -
	Literatura.....	- 36 -
	Příloha 1 - Tabulka výběru průtokoměru dle aplikace	I
	Příloha 2 – Seznam použitých komponentů	II
	Příloha 3 – Technická dokumentace navržených komponentů	III
	Příloha 4 – Technické specifikace funkčních prvků	IX

Seznam symbolů a zkratek

Značka	Popisek	Jednotka
v	Rychlost	$[m \cdot s^{-1}]$
l	Délka	$[m]$
t	Čas	$[s]$
q_v	Objemový průtok	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
V	Objem	$[m^3]$
S	Plocha	$[m^2]$
m	Hmotnost	$[kg]$
ρ	Hustota	$[kg \cdot m^3]$
η	Absolutní viskozita	$[Pa \cdot s]$
τ	Tečné napětí	$[Pa]$
p	Tlak	$[Pa]$
Re	Reynoldsovo číslo	$[-]$
D	Průměr potrubí	$[m]$

Úvod

Bakalářská práce se zabývá teoretickým návrhem přípravku určeného k demonstraci průtoku kapalin pro edukativní účely. Návrhu přípravku předchází teoretický úvod, který se zabývá krátkým rozbohem průtoku tekutin, rozdělením průtoku tekutin a možnostmi, kterými lze průtok zaznamenávat.

Ke krátké úvodní rešerši, jež slouží především k nahlédnutí do obecně platných principů spojených s průtokem tekutin, byla použita doporučená literatura [1] s pomocí doplňkových zdrojů [2-10], které byly dohledány kvůli ověření pravosti zásadních principů a doplnění méně relevantních informací. V pokračování se práce zabývá jedním konkrétním řešením teoretického návrhu samotného přípravku pro průtok kapalin, jehož cílem je poskytnout čtenáři problematiku spojenou s výběrem a komplementací jednotlivých částí. Četné zastoupení jednotlivých kroků návrhu přípravku je doprovázeno vytvořeným virtuálním modelem soustavy, jež vždy uceluje myšlenku pro daný krok komplementace. Součástí této problematiky je také diskuze některých kroků, ve kterých se může návrh rozcházet bez vlivu na celkovou funkčnost soustavy.

Při návrhu byl kladen důraz na jednoduchost, bezpečnost a možnost zreprodukovat navrženou soustavu. Z tohoto důvodu disponuje práce poměrně rozsáhlou přílohou, která obsahuje mimo jiné technické specifikace jednotlivých prvků použitých v aplikaci. Pro optimalizaci celého systému byly vytvořeny některé specifické komponenty přizpůsobené konkrétním potřebám, jež výrazně zvýšily jeho účinnost.

1 Teorie průtoku kapalin

Popis a chování průtoku neideálních tekutin slouží řada matematických modelů a zákonů, kterými se podrobně zabývá obor hydromechanika [1,2]. Pro účel této práce budou v této kapitole pouze stručně popsány základní principy a vlastnosti kapalin, které jsou relevantní pro problematiku spojenou s metodami snímání průtoku.

1.1 Základní pojmy a definice

1.1.1 Tekutina

Mezi tekutiny lze zařadit kapaliny, páry a plyny. Vzájemné působení částic umožňuje tekutinám sledovat obrys nádoby nebo prostředí ve kterém setrvávají, přičemž kapaliny mají vlastnosti, které jsou v některých situacích výhodnější než vlastnosti plynů. Plyny mají tendenci se rozpínat, přičemž navyšují svůj objem a vzdálenost mezi molekulami, kdežto kapaliny tuto tendenci postrádají. Za normálních okolností si udržují relativně malou vzdálenost mezi molekulami, což činí kapaliny v praxi prakticky nestlačitelné [1,3].

1.1.2 Proudění tekutin

Prouděním kapalin se rozumí makroskopický pohyb částic dané tekutiny, který lze dále dělit na jednorozměrný, rovinný a prostorový. Rychlost těchto částic je určen vektorem rychlosti tekutin \vec{v}_t , jenž je dán poměrem délky uražené dráhy Δl a času potřebného k uražení této dráhy Δt , z čehož lze odvodit jednoduchý vzorec 1.1 [1,4].

$$\vec{v}_t = \frac{\Delta l}{\Delta t} \quad (1.1)$$

1.2 Výpočet průtoku kapaliny

Rychlost průtoku kapalin lze stanovit několika metodami, které vychází z charakteristických vlastností proudící tekutiny. Tyto metody lze rozčlenit na přímé a nepřímé závisle na tom, zda se měření provádí přímo na tekutině samotné, nebo zda jsou využívány vedlejší efekty, které jsou způsobeny průtokem tekutiny, jako například změna tlaku, teploty nebo kinetické energie, aj. Každá z těchto metod má své výhody a úskalí. Proto je důležité pečlivě vybrat odpovídající metodu pro konkrétní aplikaci [1,2].

1.2.1 Objem tekutiny

Objem tekutiny V , jenž proteče za daný časový interval Δt , lze vyjádřit z rovnice 1.2, pomocí integrálu z objemového průtoku q_v [1,2].

$$V = \int_0^{\Delta t} q_v dt \quad (1.2)$$

1.2.2 Střední rychlost tekutiny

Z objemového průtoku q_v a plochy průřezové rychlosti S lze ještě vyjádřit střední průřezovou rychlost \bar{v} . Dáno vztahem 1.3 [1,2].

$$\bar{v} = \frac{q_v}{S} \quad (1.3)$$

1.2.3 Hmotnost tekutiny

Podobně jako objem tekutiny lze i hmotnost proteklé tekutiny m vyjádřit skrze integrál z hmotnostního průtoku q_m za daný časový interval Δt , viz následující rovnice 1.4 [1,2].

$$m = \int_0^{\Delta t} q_m dt \quad (1.4)$$

Podílem hmotnostního průtoku q_m a objemového průtoku q_v lze získat hustotu měřené tekutiny ρ . Tuto skutečnost znázorňuje následující rovnice 1.5 [1,2].

$$\rho = \frac{q_m}{q_v} \quad (1.5)$$

1.2.4 Ideální kapalina

Za ideální kapalinu je označován model tekutiny, jenž se využívá pro zjednodušené analýzy chování tekutin. Zjednodušené jsou, protože zanedbávají některé aspekty reálných tekutin, které komplikují jejich popis. Mezi hlavní vlastnosti lze zařadit [1,5]:

- stlačitelnost;
- viskozitu;
- rozpustnost;
- tepelné rozpínání.

Nutno podotknout, že i když se jedná pouze o modelovou tekutinu, tak je hojně využívána například při popisu chování vody a ethanolu, jelikož tyto dvě látky mají vlastnosti blízké ideálním kapalinám [1,5].

1.3 Vlastnosti kapaliny

1.3.1 Viskozita

Viskozita je vlastnost reálné tekutiny způsobená vnitřním třením mezi jejími částicemi. Tření má za následek smykové napětí mezi dvěma sousedícími vrstvami tekutiny. Velikost tohoto tření je závislá na několika faktorech, mezi které lze zařadit teplotu, chemické složení látky a koncentraci roztoku. S rostoucím působením sil mezi částicemi roste taky jejich vzájemná přitažlivost, což se navenek projevuje zpomalením a deformací celé tekutiny [1,6].

Pro vodu je viskozita za běžných podmínek relativně nízká, odpovídá hodnotě 1. Z čehož vyplývá, že při měření průtoku vody za normálních podmínek lze viskozitu považovat za zanedbatelnou. Absolutní viskozita η je implicitně definována vztahem 1.6, kde je vyjádřena skrze tečné napětí τ a gradient rychlosti v . Z Absolutní viskozity označované také jako dynamická viskozita je možné vyjádřit kinematickou viskozitu ν_k podílem dynamické viskozity η a hustoty kapaliny ρ (viz rovnice 1.7) [1,6].

$$\tau = \eta \cdot \frac{dv}{dx} \quad (1.6)$$

$$\nu_k = \frac{\eta}{\rho} \quad (1.7)$$

Viskozita však hraje klíčovou roli při studiu chování tekutin, zejména při určování profilu proudění a měření rychlosti toku tekutiny. Naopak u plynů je viskozita obecně nižší a nemá tak velký vliv na jejich vlastnosti [1,6].

1.3.2 Kavitace

Kavitací je obecně označován proces náhlého vzniku plynné fáze v kapalinách. Tento proces se zpravidla vytváří v kapalinách s větším obsahem vzduchu. Často se vyskytuje v technických zařízeních, podle kterých lze kavitaci rozdělit na několik druhů. Mezi ta nejčastější zařízení patří například čerpadla, kde může vznikat v důsledku rotace lopatek. Dále se může vyskytovat v potrubí, kde vzniká v důsledku rychlostního gradientu, který má za následek snížení tlaku. Posledním ze zde uvedených zařízení lze uvést turbíny, kde může vznikat působením rychlého proudění kapaliny na lopatky podobně jako u dříve čerpadel. Projevuje se v několika formách [1,7]:

- hluk;
- vibrace;

- zvýšení teploty;
- eroze.

Ve spojení s průtokoměry se kavitace jeví jako negativní vliv. V některých typech průtokoměrů má totiž náhlý vznik plynné fáze za následek zmenšení průřezu, čímž zapříčiní změnu rychlosti průtoku. Tato změna je pak zaznamenána průtokoměrem, jenž na výstupu ukazuje zkreslené údaje o rychlosti průtoku média. Pokud je některá část vodního systému dlouhodobě vystavena vlivu kavitace, tak zpravidla dochází k erozi. Tato eroze je způsobena turbulencemi vyvolanými vznikem plynné fáze.

Dosud nebyl vyvinut materiál, který by byl plně odolný vůči kavitační erozi, a proto se jí snaží předcházet speciálními povlaky a vyrovnáváním tlaku v kapalině p_k . Vyrovnání tlaku v kapalině na hodnotě p_k je dáno rovnicí 1.8, tedy součtem dvojnásobku spádu tlaku při maximálním průtoku Δp_{max} a absolutního tlaku par při maximální teplotě p_v [1,7].

$$p_k = 2\Delta p_{max} + 1,25p_v \quad (1.8)$$

1.3.3 Mezní vrstva

Za mezní vrstvu je považována tenká vrstva tekutiny, jež vznikla interakcí mezi molekulami na rozhraní mezi dvěma různými tekutinami nebo mezi tekutinou a pevným povrchem. Pevným povrchem se zde rozumí stěna potrubí či povrch desky. Také ji lze definovat jako tenkou část tekutiny, jež přiléhá k obtékanému tělesu. Charakteristické rysy mezní vrstvy jsou především rozdílné rychlosti proudění. V blízkosti stěn mohou být téměř nulové, zatímco s rostoucí vzdáleností od stěny se postupně přibližují k rychlosti proudění vnitřní části tekutiny. Na tloušťku mezní vrstvy společně s rozdílem rychlostí v závislosti na vzdálenosti od pevného povrchu má vliv především viskozita tekutiny [1,6].

Mezní vrstva má důležitý význam při měření průtoku. Spousta senzorů průtoku je totiž zasazena právě do této vrstvy. Jedná se například o senzory tlakové difference, jenž mají umístěné senzory ve stěně potrubí nebo indukční senzory, které mají ve stěnách potrubí zabudované elektrody, aj [1,6].

1.4 Charakteristika průtoku tekutin

1.4.1 Reynoldsovo číslo

Reynoldsovo číslo Re_D je bezrozměrná jednotka, která slouží k určení charakteru profilu měřené tekutiny. Obecně je definována jako poměr setrvačných a třecích sil. Lze ji vyjádřit ze vzorce 1.9, kde ρ je hustota tekutiny, ν_k je kinematická viskozita, D je průměr potrubí a

η je viskozita. Reynoldsovo číslo odpovídající hodnotě 2320 je parametr označovaný také jako kritická hodnota Reynoldsova čísla Re_{Dkrit} . Tato hodnota je zlomový bod, který rozlišuje průtoky na základě proudění částic v tekutině na [1,2]:

- (a) laminární průtok;
- (b) turbulentní průtok.

Pokud je hodnota Re_D menší než 2320, odpovídá laminárnímu typ průtoku, v opačném případě se jedná o turbulentní průtok. Avšak některé zdroje uvádí [1], že Re_{Dkrit} je přechodový interval náležící hodnotám od 2000 do 4000, přičemž povahu profilu průtoku v tomto intervale nelze zcela určit [1,2].

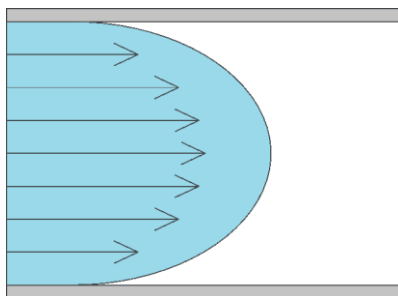
$$Re_D = \frac{\rho \cdot v_k \cdot D}{\eta} \quad (1.10)$$

1.4.2 Laminární průtok

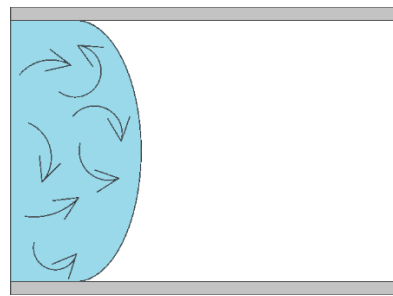
Laminární průtok je charakterizován jako organizovaný pohyb částic v oddělených vrstvách, které se vzájemně neprolínají. Tento typ průtoku lze najít především u průtoků malého objemu s pomalou rychlostí proudění. Na obrázku 1.1, překresleném z knihy [1], lze vidět vyobrazený rychlostní profil paraboloidu při laminárním průtoku [1,2].

1.4.3 Turbulentní průtok

Turbulentní průtok je oproti laminárnímu charakterizován jako neuspořádaný pohyb částic. Trajektorie těchto částic se vzájemně mísí, přičemž vzniká vír, který dále rozrušuje předešlé uspořádání částic. V důsledku vzniká složité proudění, jehož částice mají různý směr a rychlost. Toto proudění lze najít u větších a rychlejších objemů průtoku. Na obrázku 1.2, překresleném z knihy [1], lze vidět vyobrazený rychlostní profil paraboloidu při turbulentním průtoku [1,2].



Obr. 1.1 laminární proudění



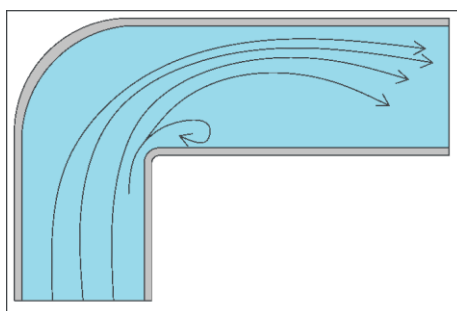
Obr. 1.2 Turbulentní proudění

1.5 Vliv tvaru potrubí na průtok kapalin

Tvar potrubí hraje velkou roli při utváření profilu proudící kapaliny. Mezi parametry ovlivňující rychlost proudícího média uvnitř potrubí náleží [1,5]:

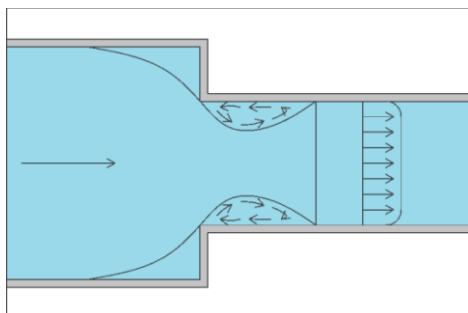
- zakřivení;
- hrubost vnitřního povrchu;
- průměr.

Při proudění kapaliny v ohybech se částice drží vždy cesty nejmenšího odporu (viz obrázek 1.3, překreslen z [1]), přičemž se dráhy některých částic začnou prolínat. To zapříčiní radiální pohyb některých částic kapaliny, což má za následek vznik vírů, turbulencí a možnou deformaci jejího profilu. Tomuto jevu se poměrně špatně zabraňuje, avšak ho zmírnit pomocí tzv. klidového úseku [1,5].

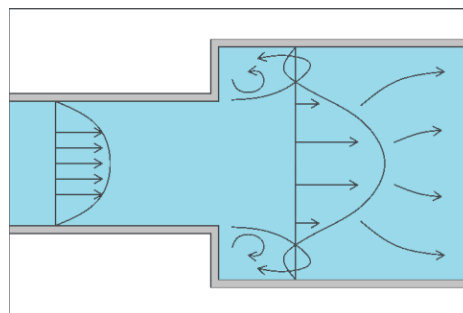


Obr. 1.3 Proudění kapaliny v ohybu

V souvislosti s tvarem potrubí je důležité zmínit vliv expanze a redukce na proudění kapaliny. Při redukci, kdy se průměr potrubí zmenšuje, dochází k zploštění rychlostního profilu (obrázek 1.4, překreslen z [1]). To má za následek zvýšení tlaku, rychlosti a vznik turbulentního průtoku. Velikost těchto jevů závisí na rychlosti média vstupujícího do tohoto úseku. Naopak expanze potrubí (obrázek 1.5, překreslen z [1]), tedy rozšíření průměru, způsobuje ztrátu rychlosti proudícího média [1,5].



Obr. 1.4 Redukce potrubí



Obr. 1.5 Expanze potrubí

1.5.1 Klidový úsek

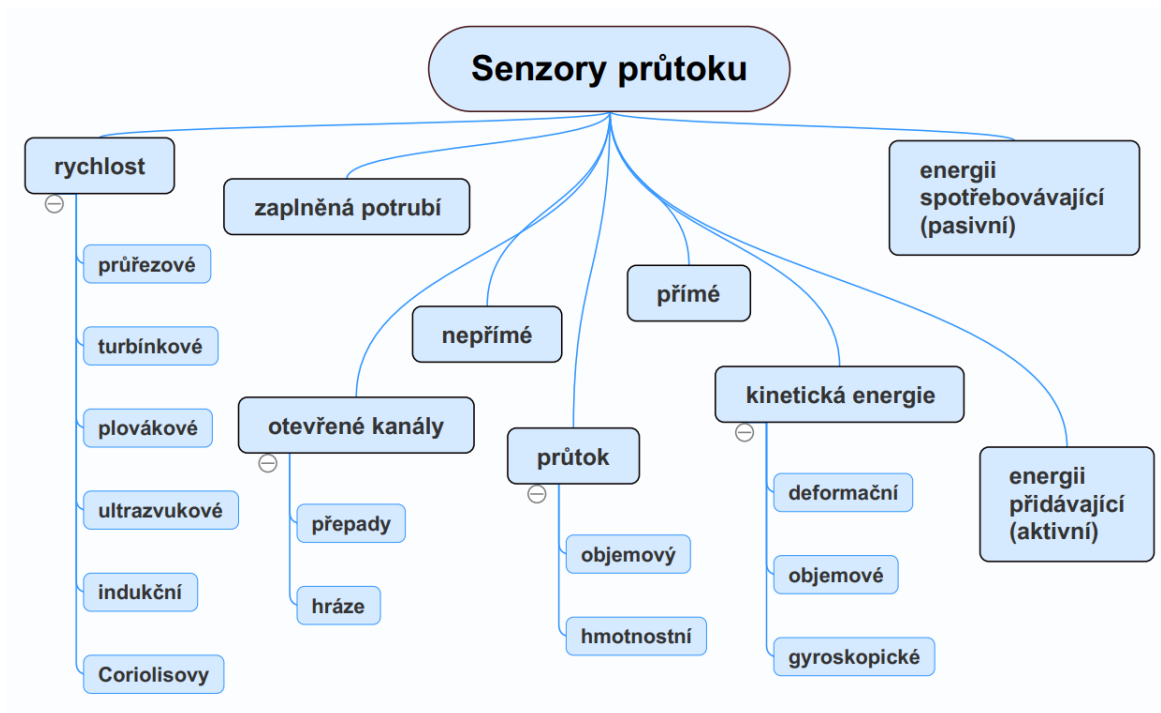
Klidový úsek je termín používaný pro část vodní trati, která má za úkol potlačit turbulence a neočekávané změny toku. Jeho přítomnost je nezbytná pro stabilizaci měřeného média před vstupem do určitých typů průtokoměrů a jiných zařízení, která vyžadují laminární průtok. Vedle měřících systémů se klidový úsek využívá i k odstranění nečistot a dalších faktorů spojených s turbulentním prouděním. Délka klidového úseku bývá často vyjádřena jako násobek průměru potrubí DN (z francouzského "diametre nominal") [1,5].

2 Senzory průtoku kapalin

Průtok kapalin je zaznamenáván pomocí senzorů průtoku. Tyto senzory lze dále rozlišovat na základě několika kritérií, jejichž rozdělení lze vidět na obrázku 2.1, inspirovaného [1]. Rychlostní průtokoměry se skládají ze tří základních komponentů [8]:

- primárního zařízení;
- převodníku;
- vysílače.

Primární zařízení je umístěno v proudu tekutiny, obvykle v otevřeném kanále nebo potrubí, kde slouží k zachycení a měření toku. Převodník poté převede tuto informaci na nezpracovaný signál. Tento signál nakonec zpracovává vysílač, na jehož výstupu jsou požadované údaje o průtoku. Někdy jsou tyto komponenty integrovány do jednoho fyzického zařízení, které je následně považováno za samotný rychlostní průtokoměr. Primárně jsou však průtokoměry rozděleny dle metody, kterou získávají parametry průtoku kapalin (tekutin). Dělí se na rychlostní, objemové, hmotnostní [1,2,8].



Obr. 2.1 Rozdělení senzorů průtoku

2.1 Rychlostní metoda

Tato metoda měření spočívá v detekci rychlosti tekutiny proudící průřezem, na základě které lze následně odvodit velikost objemového průtok. U těchto typů průtokových snímačů platí, že rychlost průtoku je přímo úměrná průtoku samotnému. Existuje několik typických zástupců průtokoměrů, které využívají tento princip. Mezi tyto průtokoměry lze zařadit turbínové, vírové, elektromagnetické, ultrazvukové aj [1,10]

2.1.1 Turbínový průtokoměry

Princip fungování turbínkových průtokoměrů, také označovaných za lopátkové průtokoměry, spočívá ve využití pohybu rotoru umístěného v průtočné dráze tekutiny. Pohybující se médium pohání lopatky turbíny, což způsobuje pohyb rotoru. Rychlost otáčení rotoru přesně odpovídá rychlosti proudící tekutiny. Tento pohyb lopatek je většinou monitorován pomocí sondy umístěné v jejich těsné blízkosti lopatek. Tato sonda zaznamenává frekvenci, kterou se lopatky mívají v blízkosti snímače, kterým je zmíněná sonda vybavena. Zaznamenaná frekvence signálu sondy umožňuje přesně vypočítat rychlost průtoku měřené tekutiny. Často jsou tyto sondy vybaveny displejem, který přímo zobrazuje aktuální rychlost protékajícího média [1,10].

2.1.2 Vírové průtokoměry

Tento typ průtokoměru využívá ke snímání rychlosti průtoku detekci vírů vzniklých v proudící tekutině. Víry vznikají vlivem překážky, která je umístěna v dráze průtoku proudícího média. Na základě detekovaného víru se následně určuje rychlost průtoku skrze senzor detekující velikost změny tlaku na překážce. Vírové průtokoměry lze rozlišovat mimo jiné na základě tvaru překážky, měřicího rozsahu aj [1,10].

2.1.3 Plováčkové průtokoměry

Plováčkový průtokoměr se řadí mezi jedny z nejvíce rozšířených typů průtokoměrů. Mezi jeho hlavní části patří trubice s plováčkem. Plováček je stejně jako trubice vyráběn v různých provedeních. Typ provedení určují kromě rozsahů průtoku ještě vlastnosti měřené tekutiny. Lze rozlišovat rotametry podle tvaru trubice, rozsahu průtoku a měřeného média. Funkce rotometru spočívá ve změně průřezu trubice (nebo plováčku) v závislosti na průtoku kapaliny. Tímto způsobem plováček pohybuje v závislosti na rychlosti proudění média [1,10].

Rotametry nevyžadují složité uspořádání vodní trati, jsou využívány pro měření různých typů tekutin a mají široký měřicí rozsah. Měřicí trubice bývá nejčastěji skleněná a poloha

plováčku je snímána skrze stupnici na její stěně. Agresivní tekutiny, pro které je vyžadován neprůhledný materiál trubice bývají ještě vybaveny displejem nebo jiným indikátorem, jenž zobrazuje aktuální rychlost průtoku. Je důležité udržovat čistotu měřené kapaliny. I přestože je plováček z principu samočisticí, případné usazeniny mohou způsobit zvýšení nepřesnosti při měření. Nejistoty měření se liší podle konkrétního typu rotometru. Celkově jsou rotometry užitečným nástrojem pro měření průtoku tekutin s různými vlastnostmi [1,10].

2.1.4 Indukční průtokoměry

Indukční průtokoměry slouží k měření průtoku vodivých kapalin. Tento typ průtokoměru je založen na principu Faradayova zákona. Průchod vodivé kapaliny způsobuje odchylku v magnetickém poli, které je vytvořeno mezi permanentním magnetem (nebo elektromagnetem) a elektrodami. Tato odchylka je následně zaznamenávána pomocí snímače. V závislosti na velikosti odchylky je následně určena velikost průtoku měřené kapaliny. Konstrukce indukčních průtokoměrů vyžaduje přímé potrubí, na které se pak v kolmém směru na směr průtoku kapaliny umísťují zmíněné elektrody společně s elektromagnety různých provedení. Tento typ průtokoměru je vhodný i pro kapaliny obsahující pevné částice. Mezi výhody tohoto typu lze zařadit jednoduché provedení (malý počet pohyblivých částic) a absenci tlakových ztrát. Naopak mezi nevýhody lze zařadit požadavek na zaplněné potrubí a omezení na vodivé tekutiny [1,10].

2.2 Objemová metoda

Objemovou metodu využívají senzory, které na rozdíl od rychlostních, měří přímo objem proudícího média. Fungují na principu střídavého naplňování a vyprazdňování nádob známého objemu. Součinem objemu naplněných prostor a počtu jejich naplnění se získává hodnota objemového průtoku. Lze je ještě dále rozdělit na objemové průtokoměry s přerušovanou a nepřerušovanou činností, přičemž u průtokoměrů s přerušovanou funkcí probíhá plnění a vyprazdňování ve dvou fázích. Používají se v aplikacích, kde je požadována velká přesnost, naopak jednofázové průtokoměry kontinuálně sledují tok kapaliny a jsou vhodné především pro stabilní proudění. Konstrukce těchto průtokoměrů je velmi náročná díky velkému počtu mechanických částí.

2.3 Hmotnostní metoda

Hmotnostní metody měření průtoku využívá skupina hmotnostních průtokoměrů. Tento typ senzoru měří hmotnost tekutiny procházející průřezem za daný časový interval. Oproti

objemovým průtokoměrem zde nemá hustota tekutin žádný vliv na chod měření. Mezi dva hlavní typy hmotnostních průtokoměrů se řadí Coriolisovy a tepelné průtokoměry.

2.4 Výběr adekvátního průtokoměru

Výběr adekvátního průtokoměru spočívá v první radě na dané aplikaci, především na typu měřeného média, na požadované přesnosti, druhu trati či prostředí nebo způsobu indikace, aj. Postup výběru, který určí nejvhodnější průtokoměr pro danou aplikaci je většinou stanovena výrobcí samotných průtokoměrů. Liší se především v detailech a speciálních aplikacích, z čehož vyplývá, že existují obecně platné principy pro výběr adekvátního typu průtokoměru pro danou problematiku.

Tabulka 2.1 představuje užitečný nástroj pro přehled a porovnání vhodnosti jednotlivých typů průtokoměrů pro různé kapaliny, kde S1 až S12 jsou senzory typu [1]:

- S1: škrťící orgány;
- S2: plováčkové;
- S3: terčíky;
- S4: turbíny;
- S5: vírové;
- S6: indukční;
- S7: ultrazvukové;
- S8: Coriolisovy;
- S9: tepelné;
- S10: jiné (vážení, záření);
- S11: pro pevné částice;
- S12: otevřené kanály.

Pokud je tento typ tekutiny vhodný pro daný typ průtokoměru, má v tabulce označení „X.“ V případě, že je daný typ průtokoměru nevhodný pro vybranou měřenou tekutinu, je v tabulce políčko označené jako „-.“ V situaci, kdy je dané políčko označeno otazníkem, je daný průtokoměr vhodný pro vybranou tekutinu jen za určitých okolností [1]. Plná verze této tabulky, jenž zahrnuje i další tekutiny, je součástí přílohy 1.

Tabulka 2.1 Vzdálenost mezi měřicími prvky [1]

Kapaliny	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
čisté (voda)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X
pomalou proudící (< 2 l/min)	X	X	X	X	-	X	?	X	X	?	-	-
rychle proudící (> 20 l/min)	X	-	?	X	?	X	X	-	-	-	-	X
nevodivé (např. oleje)	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	-	-
velké potrubí (DN > 500)	X	-	-	?	-	X	X	-	-	X	-	X
horké (> 200 °C)	X	?	-	X	X	-	?	X	?	X	-	-
viskozni (> 50 cP)	?	-	X	-	-	X	?	X	-	?	-	-
kryogenné (tekutý O ₂)	-	-	X	X	-	X	X	X	-	X	-	-
potravinny (mléko, pivo)	-	-	X	X	-	X	X	X	-	-	-	-

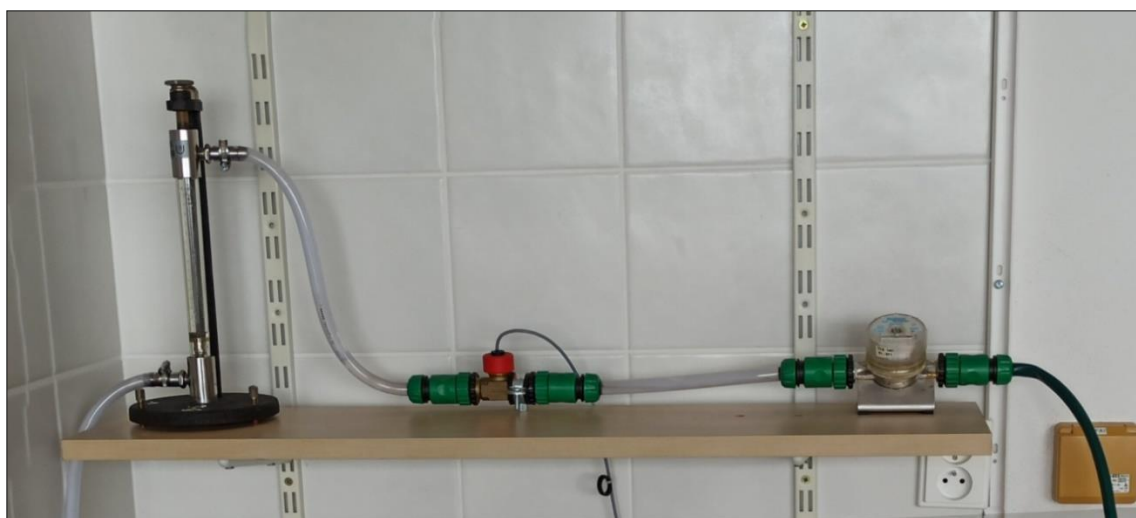
2.5 Instalace průtokoměru

Při instalaci průtokoměru je klíčové si uvědomit, že umístění rušivých prvků před a za průtokoměrem (ohyby potrubí trubek, ventily a podobně) může záporně ovlivnit přesnost měření. Tímto způsobem průtokoměr nemusí být schopen dosáhnout přesnosti měření deklarované výrobcem, protože zmíněné prvky narušují tok tekutiny [1,8].

V důsledku je tedy nezbytné pečlivě navrhnout vstupní a výstupní potrubí s dostatečně dlouhým přímým úsekem, aby se minimalizovalo rušení, které by mohlo negativně ovlivnit přesnost měření. Tento přímý úsek potrubí napomáhá tekutině k ustálení a dosáhnout klidného a stabilního proudění, což je důležité pro dosažení co nejpřesnějšího měření průtoku. Ve výsledku správná instalace a design potrubí tak přispěje k optimálnímu výkonu průtokoměru a zajištění spolehlivých a přesných výsledků měření [1,8].

3 Teoretický návrh přípravku

Podnět k vytvoření měřicího přípravku s uzavřeným vodním okruhem vychází z původní měřicí soustavy. Tato původní vodní trať (kterou lze vidět na obrázku 3.1) sloužila k demonstraci vodního průtoku a studenti se na ní, v rámci laboratorních úloh, učili pracovat s několika různými typy senzorů průtoku. Bohužel však měřené médium po opuštění tratě končilo v odpadu, čímž docházelo k nadměrnému plýtvání čisté vody. V důsledku toho se tento koncept měření průtoku kapaliny jevil jako neekologický a byl jedním z hlavních příčin vzniku návrhu na nový přípravek.



Obr. 3.1 Původní měřicí soustava

Nový měřicí přípravek by tedy měl předcházet nadměrnému plýtvání a zároveň nabídnout několik dalších benefitů. Mezi tyto benefity lze mimo jiné zařadit i možnost, že uzavřený vodní okruh nebude nadále fixovaný na místo zdroje vody, jako tomu bylo u původní vodní trati, kde byl přívod napojen a regulován skrze ventil vodní baterie. Také se zde nabízí prostor pro zdokonalení měřicího úseku formou modifikací či výměny jednotlivých průtokoměrů, aj.

V této kapitole jsou rozebrány možnosti, které se nabízely v souvislosti s návrhem nového přípravku s uzavřeným vodním okruhem. Při volbě jednotlivých komponentů byl dbán důraz na možnost, že přípravek má sloužit při výuce. Musí tedy splňovat určitá kritéria, zejména ohledně bezpečnosti, hluku a několika dalších aspektů spojených s tímto účelem. Pro přehlednost a snadnější orientaci byl návrh pomyslně rozdělen do několika částí:

- opěrná konstrukce;
- pohon a nádrž;
- vodní trať a měřicí úsek;
- zapojení a regulace;
- obsluha přípravku.

Pro snadnější popis jednotlivých částí navrženého přípravku byl vypracován jednoduchý model přípravku v programu ProgeCAD. Jednotlivé díly každé části navržené soustavy vychází z technické dokumentace, kterou poskytují distributoři daného komponentu. Zmíněné technické specifikace poskytnuté distributorem pro daný komponent jsou uvedeny v přílohách 2 až 4 této práce.

Příloha 2 obsahuje seznam použitých komponentů. Jedná se především o podstatné prvky měřicí soustavy, které byly pečlivě vybrány právě pro tuto aplikaci. Každá položka seznamu obsahuje kromě názvu ještě odkaz na webovou stránku distributora, její počet (popřípadě metráž) a cenu bez DPH. Cena se však může s časovým odstupem lišit, stejně jako odkaz prodejce. Většinou se jedná o běžně dostupné komponenty, které jsou čteně zastoupeny i v mnoha dalších internetových obchodech. Jsou proto lehce nahraditelné.

Tento uvedený seznam slouží především k hrubému odhadu ceny a jako zmiňovaný seznam použitých částí.

3.1 Opěrná konstrukce

Opěrná konstrukce hraje důležitou roli při návrhu přípravku, neboť nese zodpovědnost za stabilitu, pevnost a celkovou nosnost celého zařízení. Její provedení může výrazně ovlivnit bezpečnost, spolehlivost a dlouhodobou udržitelnost přípravku jako celku. Jde o jeden z klíčových prvků, který zajišťuje optimální podporu a ochranu velké části složek a komponentů, čímž umožňuje přípravku plnit svou funkci efektivně a především bezpečně. Po důkladném zvážení byl jako konstrukční prvek vybrán hliníkový profil BH 30-8 o průměru 30×30 mm. Jeho provedení nabízí širokou škálu možností, které lze v navrhovaném přípravku uplatnit, zejména připevňování různých komponentů. Zároveň se jedná o dostatečně odolný materiál, který je hojně užíván v aplikacích podobných této.

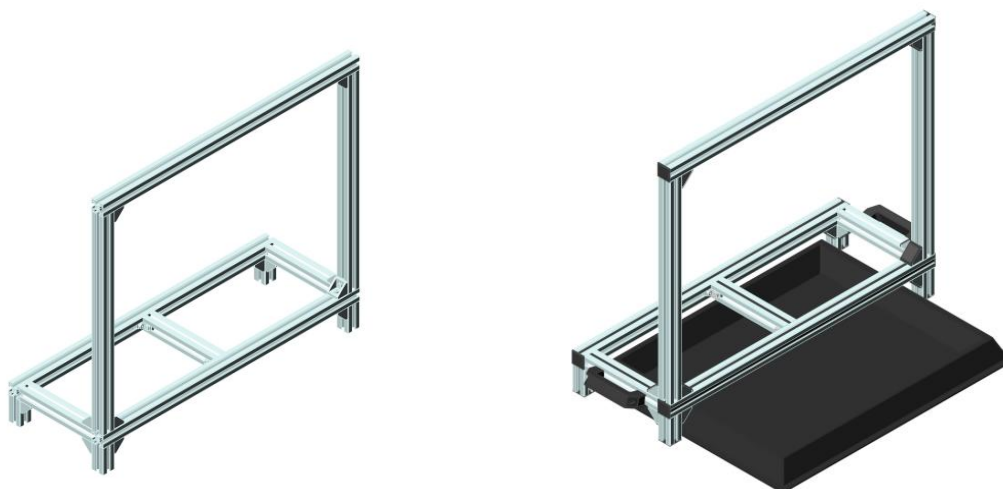
3.1.1 Návrh opěrné konstrukce

Rozměry podstavy konstrukce jsou 690×250 mm a její výška dosahuje 590 mm. Plocha utvořená ze tří profilů o délce 190 mm a dvou profilů o délce 690 mm má zajistit pevný základ pro následné upevnění nádrže s kapalinou. Čtyři profily o délce 60 mm na spodní

straně podstavy tvoří „nohy“ přípravku a prostor vzniklý vyvýšením podstavy bude následně sloužit pro vložení úkapové vany. Na horní stranu čela této konstrukce jsou ještě připojené dva profily o délce 500 mm, přičemž jsou na horní straně propojené profilem o délce 690 mm kvůli následnému připojení měřicího panelu.

Jednotlivé profily jsou pospojovány patřičným spojovacím materiálem, tedy čtvercovými maticemi a šrouby M6 různé délky, v rozích jsou použity 90° úhlové spojky nebo drážkové úhlové spojky.

V poslední fázi komplementace jsou použity doplňky jako například záslepky nebo protiskluzové podložky. Pro usnadnění manipulace s přípravkem jsou po stranách ještě umístěna jednoduchá madla. Drážky profilů, které nejsou využívány, jsou zaplněny gumovou záslepkou jako prevence proti nečistotám. Spodní strana podpěr (nohou) je vybavena nalepovací protiskluzovou podložkou, která by měla zabránit poškrábání stolu a částečně zamezit nechtěnému pohybu přípravku. Návrh opěrné konstrukce včetně doplňků a úkapové vany o objemu deseti litrů lze vidět na obrázku 3.2. Všechny použité komponenty opěrné konstrukce včetně jejich ceny a distributora jsou součástí přílohy 2.



Obr. 3.2 Opěrná soustava přípravku

3.2 Pohon a nádrž

3.2.1 Výběr vhodného čerpadla

Oběh vody v navrhovaném uzavřeném okruhu přípravku zajišťuje čerpadlo. Před výběrem konkrétního čerpadla byly stanoveny parametry, které musí vybrané čerpadlo splňovat. Mezi tyto parametry byl zařazen:

- hluk;
- rozsah průtoku (a regulace);

- průměr vstup (výstup);
- typ provedení.

Jelikož by měl přípravek sloužit při výuce, je nezbytné, aby nebylo příliš hlučné a přípravek nenarušoval průběh výuky. Rozsah průtoku čerpadla byl stanoven na 0 až 600 litrů za hodinu, z čehož vyplývá, že musí být regulovatelné od nuly. Velikost průměru vstupního a výstupního závitu byl stanoven na $\frac{1}{2}$ ". V neposlední řadě by mělo být čerpadlo kompaktní, kvůli snadnější manipulaci a zároveň bezpečné, aby neohrozilo okolí v případě poruchy nebo při špatném zacházení.

Při výběru čerpadla, jenž by odpovídalo stanoveným parametrům pohonné části, byla prozkoumána běžně dostupná nabídka komerčně používaných modelů čerpacích jednotek pro malé průtoky na webových stránkách. Po odebrání všech nežádoucích variant, jež nevyhovovaly požadavkům soustavy zbyla jen malá hrstka čerpadel. Malé rozsahy průtoku společně s regulací z nulových hodnot byly hlavní příčinou odseparování velkého množství potencionálně vhodných variant. Ve finálním výběru se rozhodovalo mezi dvěma čerpadly, jež odpovídaly parametrům soustavy. Konkrétně mezi šroubovým a odstředivým čerpadlem, které jsou uvedeny v pokračování této kapitoly.

Šroubové čerpadlo, také známé jako vrtačkové, bylo mezi případné adepty zařazeno hned zpočátku. Tento typ čerpadla se jevil jako vhodný, kvůli svému jednoduchému provedení, dostupnosti, typicky malými otáčkami (vhodnými pro tuto aplikaci), aj. Konkrétně bylo pro bližší zkoumání vybráno čerpadlo značky MAGG, které lze vidět na obrázku 3.3 (převzatého z webu [11]). Splňuje výše uvedené minimální stanovené požadavky soustavy (rozsah průtoku, průměr napojovacího závitu, atd). Navíc je opatřeno rychlospojkami pro snadnější údržbu a manipulaci.



Obr. 3.3 Šroubové (vrtačkové) čerpadlo

Jak už bylo zmíněno, toto čerpadlo má několik výhod, mezi které lze zařadit:

- malé rozměry;

- nízká cena;
- zanedbatelný hluk a vibrace;
- jednoduché provedení.

Bohužel se však k tomuto typu váže i několik nedostatků, mezi ty klíčové byly zařazeny:

- náchylné na chod naprázdno;
- kluzná pouzdra;
- provoz v intervalech;
- bez pohonné jednotky.

Výrobce a uživatelé uvádí, že tento typ čerpadla je velmi náchylný na chod naprázdno a nepřetržitý provoz. Bohužel je tomu tak dáno především díky jeho provedení. Vinnu na tom nese v první řadě plastová konstrukce a další na pohled chatrné prvky. Ačkoliv výrobce neuvádí podrobnější detaily o provozu tohoto zařízení, díky zpětné vazbě distributora a zákazníků bylo zjištěno, že čerpadlo je nevhodné pro nepřetržitý provoz v časovém horizontu několika desítek minut vlivem tření kluzných ložisek. Při překročení této pomyslné hranice téměř vždy dojde k úplné destrukci zařízení, případný chod naprázdno by tento proces zcela jistě urychlil.

Ačkoliv jde této skutečnosti předejít výběrem vhodnějšího modelu s kovovým pouzdem a kvalitnějšími součástkami, potýká se tento typ čerpadla ještě s problematikou kluzných ložisek (pouzdra). Ta vyžadují zvláštní péči zahrnující údržbu a v případě opotřebení je zde riziko netěsnosti, což by mohlo zapříčinit značný únik vody a ztrátu efektivity. Ani jedna z těchto variant zde není příliš žádoucí.

V neposlední řadě je nutné podotknout, že součástí tohoto typu čerpadla není pohonná jednotka. Ze zařízení vystupuje hřídel, která v dané aplikaci vyžaduje dodatečný mechanismus pro pohon. I navzdory těmto okolnostem se toto čerpadlo jeví jako vhodný kandidát pro navrhovaný přípravek.

Dalším z dvojice favoritů se stalo odstředivé čerpadlo model WPDC-10.5L, které lze vidět na obrázku 3.4 (získaný z webu [12], jehož technické specifikace jsou dostupné v příloze 4).

Toto konkrétní čerpadlo je výrobcem doporučováno pro oběhové soustavy. Je tedy přímo určené pro nepřetržitý provoz, což je značná výhoda oproti prvnímu adeptovi, avšak není samonasávací, tudíž k zaručení plynulého chodu musí setrvat pod hladinou média. Má

v sobě zabudovaný motor, tudíž není třeba se poohlížet po dalších zařízeních, vyjma napájení. Maximální průtok čerpadla stanoven výrobcem na 630 litrů za hodinu (tedy 10,5 litrů za minutu při hodnotě 24 V), což je hodnota odpovídající minimálním požadavkům oběhové soustavy. Mezi další výhody lze zařadit:

- stupeň krytí IP65;
- MTBF¹ > 50000 hod;
- hluk menší než 30 dB;
- bez kluzného pouzdra.

Ochrana IP65 zaručuje bezpečný chod zařízení. Hermeticky uzavřenou pohyblivou částí čerpadla se vylučuje problematika s kluzným pouzdem. Hlučnost nepřesahující 30 dB ve vzdálenosti jednoho metru od čerpadla byl také velmi pozitivní parametr.



Obr. 3.4 Odstředivé čerpadlo

Po zhodnocení kladných a záporných parametrů obou čerpadel bylo nakonec vybráno právě toto odstředivé čerpadlo.

3.2.2 Výběr vhodné nádrže

Po zvolení čerpadla bylo nezbytné rovněž vybrat vhodnou nádrž. Účelem nádrže je v této aplikaci pojmout dostatečné množství kapaliny k zachování plynulého chodu celého přípravku. Kromě toho je nezbytné, aby nádrž byla odolná, aby nedocházelo k úniku kapaliny do okolí. V neposlední řadě je třeba dbát na požadavky čerpadla. Konkrétně je nutné vzít v potaz, že vybrané čerpadlo musí pro plnění své funkce setrvat pod hladinou kapaliny, jelikož není samonasávací. Tento detail může značně zkomplikovat výběr vhodné nádrže.

¹MTBF z překladu „Mean Time Between Failures“ je označení výrobce pro dobu, po kterou je čerpadlo schopno pracovat bez poruchy. Jedná se ale pouze o orientační údaj a může se v praxi lišit v závislosti na podmínkách provozu a pravidelnosti údržby.

Různých nádob a nádrží existuje široká škála, avšak po podrobnějším průzkumu bylo vybráno několik možných variant:

- (a) plastová nádoba;
- (b) nádoba ze skla;
- (c) nádoba z plexiskla.

Plastovou nádobou se rozumí běžně dostupná nádoba, také označovaná za plastový obal nebo plastový sud. Pro tento konkrétní typ byl vybrán malý sud o objemu 10 litrů s víkem uzavíratelným pomocí závitu. Zpočátku se tato možnost jevila jako adekvátní řešení. Po podrobnějším průzkumu se vybraná nádoba ukázala jako chatrná, což se z pohledu udržitelnosti jevilo jako špatná volba. Celý výběr se tak posunul k dalším variantám.

Následující variantou se tedy stala skleněná nádoba, za kterou je označeno klasické akvárium kvádrového tvaru o objemu 12 litrů, kterou lze vidět na obrázku 3.5 (převzatého z webu [13]). Vzhledem k jejímu účelu se jeví jako lepší volba, neboť je pevnější, snadněji omyvatelná a tvrdší oproti předchozí zmíněné nádobě. Avšak volba této možnosti by vyžadovala dodatečná opatření, aby se minimalizovalo riziko poškození křehkého skla a výběr vhodného uzavírání.

Poslední z uvedených možností je nádoba identických rozměrů jako skleněná nádrž o objemu 12 litrů, avšak je vyrobená z plexiskla. Po detailnějším průzkumu, který zahrnoval nezávaznou objednávku u místního výrobce, bylo zjištěno, že výroba této nádoby je téměř desetkrát dražší než výroba jeho skleněného protějšku. Tento zjištěný fakt sehrál klíčovou roli při konečném rozhodování o vhodné nádrži.



Obr. 3.5 Skleněná nádoba

Nakonec byla vybrána skleněná varianta nádrže o objemu 12 litrů s vnějšími rozměry 300×200×200 mm. Zda tato nádoba bude postačující bylo zjištěno jednoduchým výpočtem.

Vychází se zde z rozměrů nádoby (akvária) a technické dokumentace čerpadla, která byla dodatečně dohledána.

Pokud teoreticky položíme vybrané čerpadlo na dno, dle tech. dokumentace je osa nasávacího otvoru 21 mm nad dnem akvária. Nasávací otvor má vnější závit o velikosti 1/2“, což odpovídá dle [9] 20,955 mm. Pokud je tedy požadavek, aby byl tento závit zcela pod hladinou kapaliny, musí být hladina kapaliny v nádrži alespoň ve výšce 31,4775 mm (pro přehlednost zaokrouhlo na 32 mm). Z rozměrů podstavy nádoby a horní hranici závitu nasávacího otvoru čerpadla lze jednoduchým výpočtem zjistit hodnotu minimální objemu kapaliny, kterým musí nádoba disponovat pro správnou funkci čerpadla (není zde brána v potaz šířka stěn, jelikož se jedná o zanedbatelný údaj).

Z rovnice 3.1, kde A je délka strany, B je šířka strany a C je minimální výška hladiny lze po dosazení odvodit, že minimální objem kapaliny potřebné pro chod čerpadla odpovídá 1,92 litrům vody.

$$V = A \cdot B \cdot C = 300 \cdot 200 \cdot 32 = 1,92 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 = 1,9 \text{ l} \quad (3.1)$$

Pokud tedy ještě vezmeme v potaz, že nádrž nebude naplněna až po okraj (cca 30 mm od horního okraje) a čerpadlo bude položené na dně, bude v nádrži použitelných zhruba 8 litrů kapaliny.

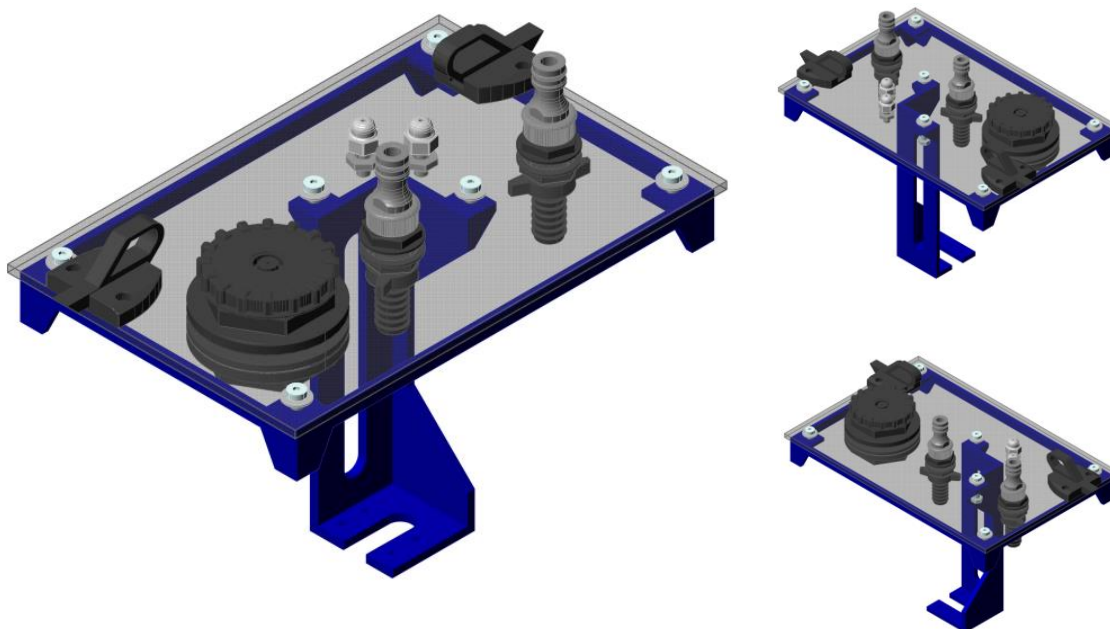
Pokud uvažujeme použití standartní hadice či potrubí o vnitřním průměru 10 mm a použitelných 8 litrů kapaliny v nádobě, tak lze podobně jako u předchozího jednoduchého výpočtu určit maximální možnou délku vodní trati. Maximální délka vodní trati je dána rovnicí 3.2, kde d je délka vodní trati, r je poloměr vnitřního průměru hadice a V je použitelný objem kapaliny v nádobě.

$$d = \frac{V}{\pi \cdot r^2} = \frac{0,00192}{\pi \cdot 0,005^2} = 24,446 \text{ m} \quad (3.2)$$

Maximální délka možné vodní trati je dle uvedeného výpočtu přes 24 m. Není zde tedy pochyb, že rozměry nádoby jsou postačující a nalézá se zde patřičná rezerva, která může pokrýt další negativní vlivy, jako například únik vody vlivem netěsností, odpařování vody atd.

3.2.3 Víko a montáž nádrže

Jelikož není vybraná nádrž opatřena víkem, bylo zapotřebí navrhnout horní kryt, který umožní výměnu kapaliny mezi měřicí měřícím úsekem a nádobou samotnou. Zároveň také musí obsahovat průchod pro vodiče, jenž mají na starosti regulaci čerpadla. Za tímto účelem bylo navrženo víko, které lze vidět na obrázku 3.6.



Obr. 3.6 Víko nádrže

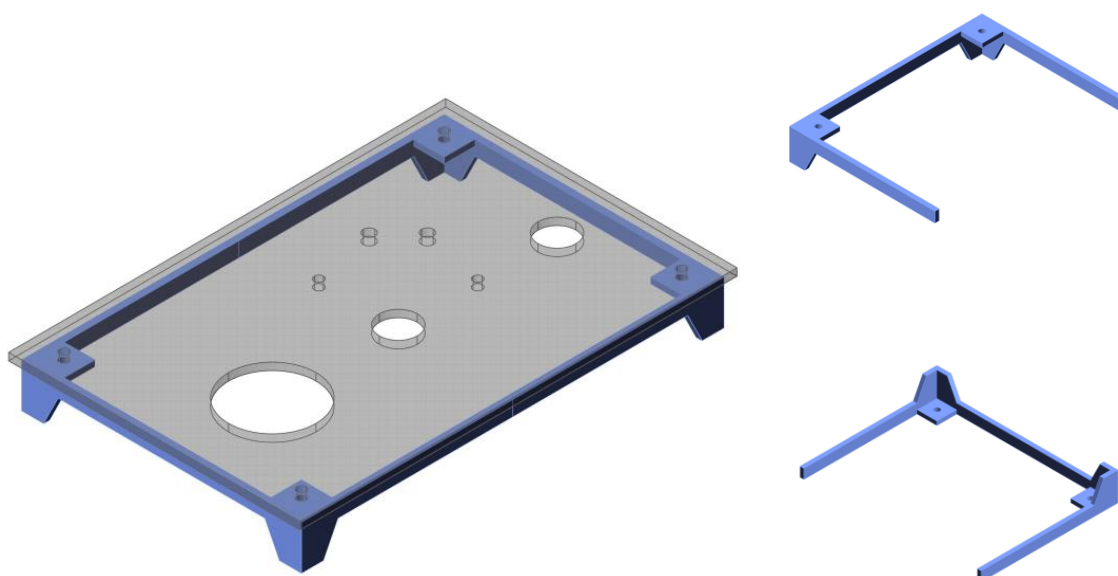
Navržené víko je v porovnání s přechozími částmi soustavy poněkud komplexnější, avšak bylo navrženo tak, aby kromě funkcí výměny kapaliny a regulace čerpadla ještě navíc mimo jiné zajistilo ponor čerpadla v kapalině.

Základ víka je tvořen deskou o rozměrech 300×200×5 mm. V tomto konkrétním řešení je základ horního krytu (deska) navržený z plexiskla, kvůli zachování transparentního vzhledu nádoby. Lze však použít i jiný materiál, který dokáže dlouhodobě odolat působení vody. Ve víku jsou vytvořeny otvory, jejichž přesné umístění a rozměry jsou součástí přílohy 3. Do těchto otvorů jsou vsazeny komponenty, které zajišťují funkčnost prvku. Komponenty ve víku se rozumí:

- průchodky pro hadice a vodiče;
- hadičníky a rychlospojky;
- průchodka s víčkem na IBC nádrž;
- rám a zámky pro zajištění proti samovolnému pohybu;
- pomocný držák na zafixování čerpadla.

Jednotlivé komponenty jsou vymodelovány dle technické dokumentace dostupné od distributora, jejich soupis je součástí přílohy 2. Některé z uvedených komponent jsou však navrženy na míru tak, aby byly snadno tisknutelné na 3D tiskárně². Konkrétně se jedná o rám víka a držák čerpadla (rám lze vidět na obrázku 3.7). Jejich technická dokumentace je součástí přílohy 3.

Rám nádrže je jednoduchý prvek ve tvaru „U“, jenž je v každém rohu opatřen otvorem kvůli upevnění na dolní straně víka. Byl navržen jako opatření proti samovolnému pohybu víka po nádrži v horizontální poloze. Pro zvýšení vodotěsnosti je zde doporučeno ho po montáži na dolní stranu víka ještě opatřit silikonovou těsnicí hmotou, není to však nezbytné.

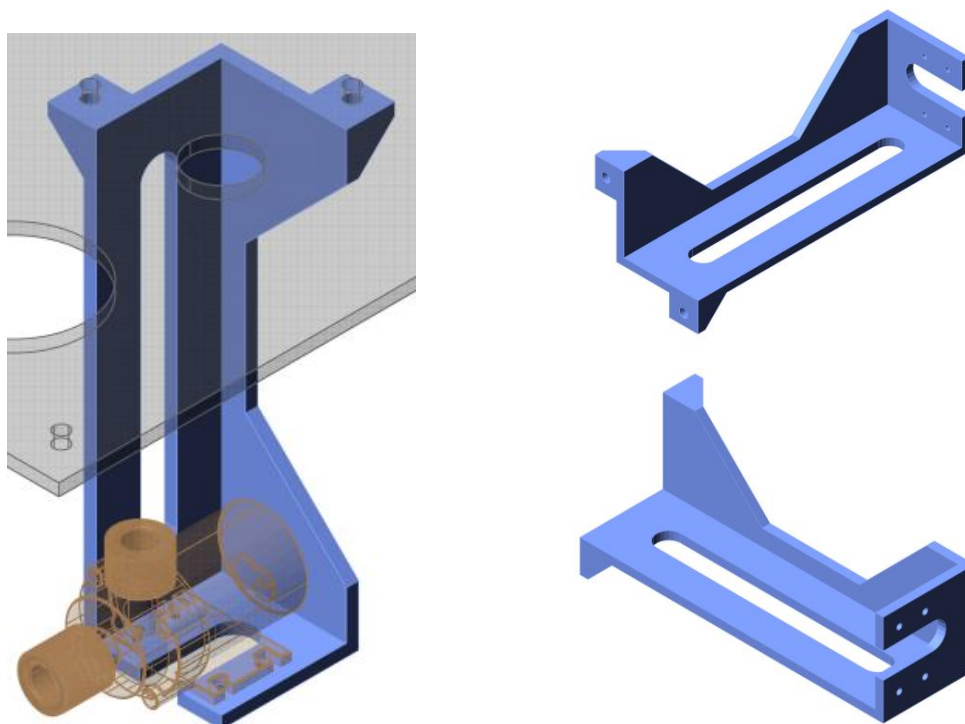


Obr. 3.7 Rám víka nádrže

Držák čerpadla, který lze vidět na obrázku 3.8 a jehož kompletní technická dokumentace je součástí přílohy 3, je navržen tak, aby pevně zafixoval čerpadlo na dně nádoby. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, bylo vybráno čerpadlo, které není samonasávací a musí setrvat pod hladinou vody. I přestože není ponorné, je výrobcem stanovené (technické specifikace čerpadla jsou součástí přílohy 4), že mu tento stav nevádí a je možné ho trvale ponořit do kapaliny.

²Pro 3D tisk součástek, které jsou dlouhodobě vystavené působení vody nebo nadměrné vlhkosti, je v současné době nejvhodnější filament PETG. Konkrétně tento druh filamentu je v dnešní době velmi rozšířený a vhodný i pro začátečníky. Důležité je však při tisku dbát na větší počet perimetrů v horních a dolních vrstvách komponentu společně s hustší výplní.

V dolní části držáku jsou čtyři otvory, jenž slouží k připevnění čerpadla pomocí šroubků M3. V horní části jsou dva otvory, jež jsou určeny k připevnění držáku k hornímu krytu (víku) skrze dva M6 šrouby. Všechny uvedené spojovací materiály jsou vzhledem k aplikaci doporučeny použít v nerezovém provedení. Po připevnění komponentu k víku je vzdálenost mezi držákem a dnem nádoby 10 mm. Tato vzdálenost navyšuje potřebné nároky na minimální výšku hladiny z předchozích 32 mm na 47 mm (pokud přičteme tloušťku držáku odpovídající 5 mm), avšak vzhledem k velké kapacitní rezervě by toto nemělo mít žádný vliv na chod přípravku.



Obr. 3.8 Držák čerpadla

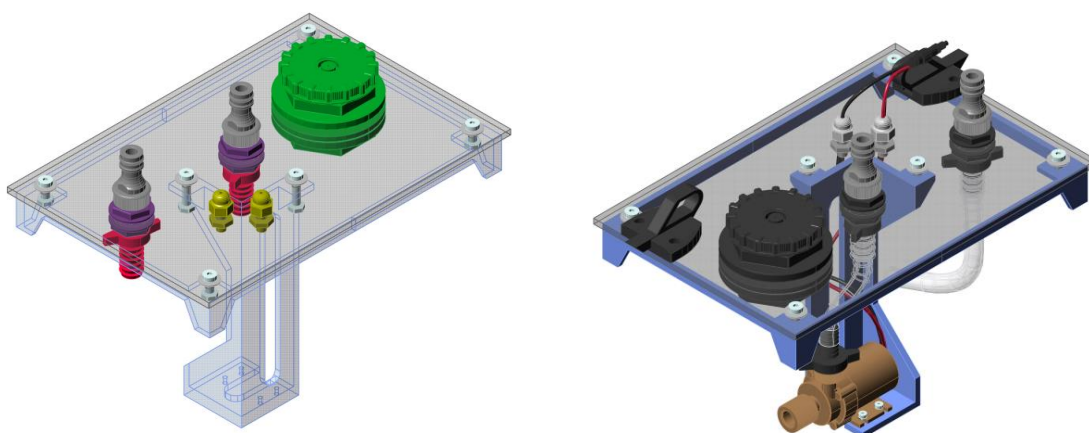
Zbylé osazení víka tvoří převážně průchodky s rychlospojkami a spojovací materiál M6. Pro lepší popis byly jednotlivé části barevně oddělené v obrázku 3.9. Zeleně je zde vyznačená hadicová průchodka o vnitřním průměru 50 mm. Z vnějšku je opatřena 2“ závitem. Z obou stran je utěsněna matkami a z vrchu je průchodka uzavřena pomocí víčka od IBC nádrže. Tento otvor je zde pro případné doplnění kapaliny do nádrže.

Žlutě jsou zde zvýrazněny průchodky pro napájení čerpadla, tedy pro dva vodiče o průměru 2,5 mm, které jsou blíže specifikovány v pokračování této kapitoly.

Fialově jsou zvýrazněny průchodky s vnějším 1/2“ závitem, které jsou stejně jako předchozí průchodka opatřeny z každé strany těsnícími maticemi. Z vnitřní strany jsou opatřeny hadicovým nástavcem (červená barva) vhodným pro nasazení hadice o vnitřním

průměru 10 až 12 mm. Z vnější strany je průchodka opatřena rychlospojku (šedivá barva) pro jednoduché připojení (odpojení) nádrže od soustavy.

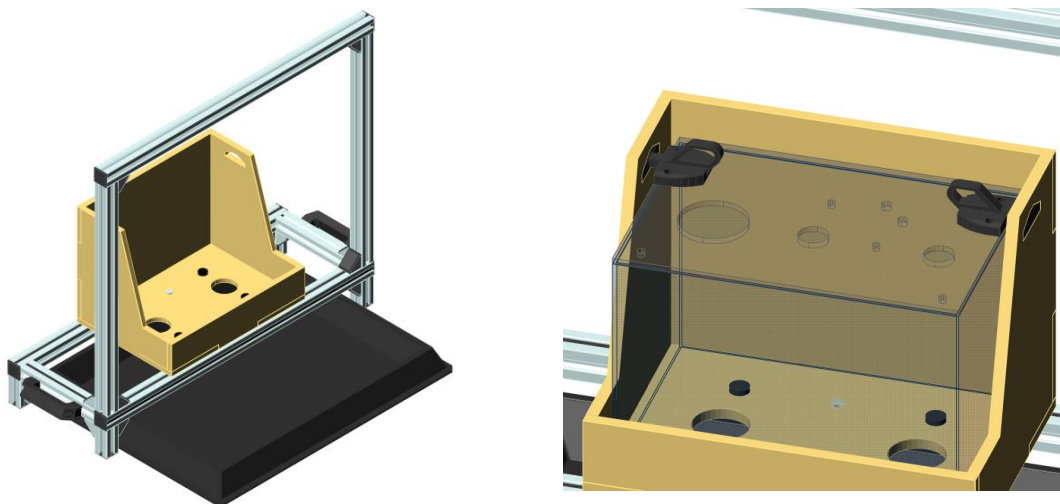
V rozích jsou použity nerezové šrouby a matky M6. Úchyt čerpadla je připevněn pomocí dvou šroubů M6. Mezi jednotlivými šrouby a povrchem nádoby jsou použity těsnící gumové kroužky. Na hadicové koncovky ze spodní strany víka nádoby jsou připevněny hadice, které umožňují výměnu kapaliny v mezi nádobou a měřicí soustavou a jsou uvedeny v seznamu součástek v příloze 1. Hadice ve středu je napojená na výstup čerpadla. Druhá hadice (blíže k okraji) je napojená pouze jedním koncem, druhý konec není v návrhu k ničemu připevněný a slouží k napouštění nádoby kapalinou po opuštění měřicí soustavy, čímž uzavírá vodní okruh zamýšlené soustavy.



Obr. 3.9 Zbylé osazení víka

Nádrž včetně víka je vsazena do podstavce, který připevněn k opěrné soustavě (viz obrázek 3.10). Podstavec je v návrhu vytvořen z překližky o tloušťce 10 mm, jejíž kompletní technická dokumentace je součástí přílohy 3. K opěrné soustavě je připevněna dvěma šrouby M6 mm a příslušnou hranatou maticí. Tvar podstavce zajišťuje zvýšenou ochranu nádoby především ze zadní strany přípravku. Po stranách je zkosený pro snadnější prostup světla a zachování transparentního charakteru nádoby. Vzdálenost mezi stěnou nádrže a podstavcem je 10 mm. Ve spodní části jsou umístěny čtyři protiskluzové podložky s minimální výškou 5 mm, které mají zabránit volnému pohybu nádrže po podstavci a zároveň zajistit mezeru mezi nádobou a překližkou (a také aby nádoba nedoléhala na hlavy šroubů). Zároveň jsou ve spodní části dva otvory o průměru 50 mm každý. Tyto otvory mají v přípravku funkci rychlého odtoku v případě nadměrného úniku vody v nádobě. V případě, že by teoreticky došlo k narušení struktury nádrže, nebo netěsnostem na přechodu víka a nádrže, kapalina by měla samovolně vytéct do úkapové vany umístěné pod přípravkem.

V horní části tohoto podstavce jsou ještě dva postranní otvory. Jsou vytvořené tak, aby do nich zapadl vybraný dveřní posuvný zámek z polyamidu (který je také uveden v seznamu součástí v příloze 1). Tento zámek má zajistit, aby se víko na nádobě samovolně nepohybovalo ve vertikálním směru. V návrhu je však tento zámek pouze přilepený k hornímu víku, neboť jeho technická dokumentace nedovolovala přesné umístění na hornímu krytu. V případě pořízení právě tohoto komponentu by se tedy musela provést instalace až s fyzickými prvky. Vzhledem k jeho rozměrům by však měl být dostačující.



Obr. 3.10 Podstavec nádrže

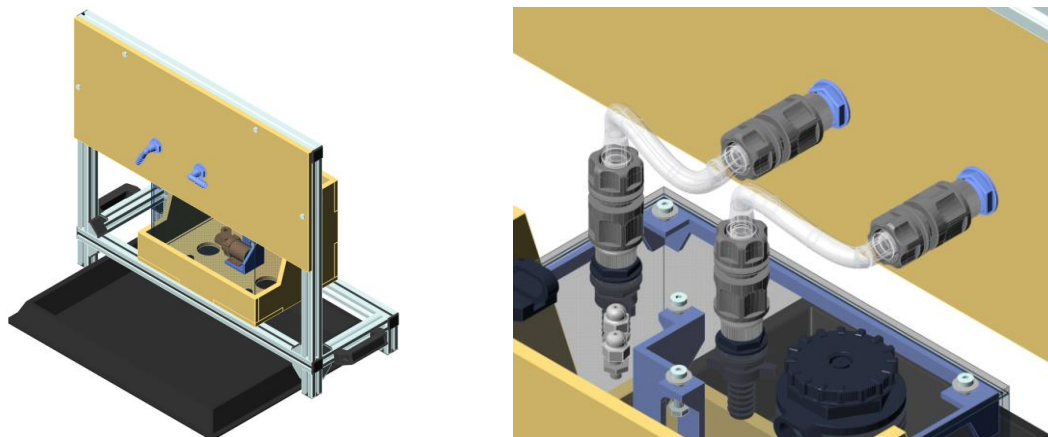
3.3 Vodní trať a měřící úsek

V návrhu uzavřeného vodního okruhu byla jako hlavní propojovací prvek vodní trati použita transparentní hadice o vnitřním průměru 10 mm. Konce této hadice byly v závislosti na místě použití opatřeny buď rychlospojkou náležitého průměru nebo nasazeny na hadicové koncovky pro trvalé spojení hadice s měřícím prvkem či opěrnou soustavou (v návrhu nejsou uvedeny, avšak je doporučeno všechny hadicové koncovky opatřit alespoň hadicovými sponami kvůli zajištění).

Za měřící úsek nebo také měřící panel je považována deska o rozměrech 680×300×10 mm, která je později osazena průchodkami společně s měřícími prvky. V návrhu je upřednostněna překližka především pro svou dostupnost, avšak lze ji nahradit i deskou z jiného materiálu. Tato varianta byla vybrána, protože nabízí nespočet možností, jak uspořádat jednotlivé průtokoměry.

Do této překližky jsou umístěny dvě průchodky, jež jsou ze zadní strany opatřeny adaptérem na rychlospojku. Tyto rychlospojky slouží k rychlému napojení a případnému odpojení přípravku. Z přední strany je průchodka opatřena 90° hadicovou koncovkou. Na

tuto koncovku je následně připevněna vybraná transparentní hadice, která tvoří mimo jiné vodní trať a zajišťuje průchod kapaliny mezi jednotlivými prvky. Měřicí panel s napojením na vodní nádrž lze spatřit na obrázku 3.11.



Obr. 3.11 Měřicí panel

3.3.1 Výběr prvků měřící soustavy

Jak již bylo řečeno, měřicí panel nabízí širokou škálu možností, jak uspořádat jednotlivé průtokoměry a zároveň i možnost výběru mezi měřicími prvky samotnými. V rámci návrhu přípravku byl navrženo jedno konkrétní řešení částečně inspirované původní měřicí soustavou.

V tomto řešení je použita čtveřice prvků, konkrétně se jedná o:

- rotometr;
- kulový ventil;
- lopatkový průtokoměr s měřicí sondou;
- vodoměr.

Dohledaná technická dokumentace, která je poskytnuta distributory k jednotlivým průtokoměrům, je součástí přílohy 4.

Vzhledem k parametrům soustavy byl vybrán rotometr, který lze vidět na obrázku 3.12, který je převzatý z webu [14]. Tento průtokoměr je vhodný pro rozsah průtoku 60 až 600 litrů za hodinu, což je vhodné vzhledem k rozsahu průtoku soustavy (čerpadla). Je vyroben z ABS plastu, který umožňuje odečítání aktuální rychlosti průtoku kapaliny a svým transparentním vzhledem skvěle zapadá do navržené měřící soustavy.

Dalším z uvedených průtokoměrů je jeden z nejrozšířenějších průtokoměrů, klasický bytový vodoměr, který lze vidět na obrázku 3.13, který je převzatý z webu [15]. Jedná se o

objemový průtokoměr, který je opatřený na vstupu i výstupu závitem o průměru ½“, takže skvěle zapadá do měřicí soustavy. Výrobce stanovil maximální výkon průtokoměru na 1600 litrů za hodinu. Jelikož tuto hodnotu v přípravku nelze překročit vzhledem k použitému čerpadlu, je průtokoměr dostačující i s náležitou rezervou.



Obr. 3.12 Rotametr



Obr. 3.13 Vodoměr

Posledním vybraným průtokoměrem na seznamu je lopatkový (turbínkový) průtokoměr společně s měřicí sondou, jež lze vidět na obrázku 3.14, které jsou převzaty z [16,17]. Tento průtokoměr označený jako YF-S201C se vstupním a výstupním závitem o velikosti ½“ je jednoduchým průtokoměrem, který na základě principu Hallovy sondy posílá na výstup pulzy ve frekvenci, jež odpovídá aktuální rychlosti průtoku kapaliny. Tyto pulzy jsou následně zpracovány sondou, která je označena jako „Displej pro průtokoměry YF.“ Mimo zpracování pulzů vysílaných lopatkovým průtokoměrem ještě plní funkci napájení snímače. Konkrétně je sonda i s průtokoměrem napájena třemi AAA bateriemi umístěnými v sondě, ke které je průtokoměr připojený pomocí tří-pinového konektoru.

Rozsah průtoku, ve kterém pracuje průtokoměr je výrobcem stanoven na 1 až 30 litrů za minutu, což spadá do parametrů soustavy s poměrně velkou rezervou. Výrobce tento průtokoměr doporučuje k použití především v jednoduchých aplikacích, například pro Arduino. Svými parametry se však hodí i pro navrhovaný přípravek.



Obr. 3.14 Lopatkový průtokoměr se sondou

Posledním prvkem měřicí soustavy, který byl v tomto konkrétním řešení vybrán, je kulový ventil. Jedná se o jednoduchý kulový ventil v plastovém provedení, který je z obou

stran opatřený závitem o velikosti $\frac{1}{2}$." Tento ventil byl do soustavy vybrán pro rozšíření možností měření, které lze provádět s navrženou měřicí soustavou. Bližší specifikace ohledně možností měření budou dále popsány v kapitole 4.

3.3.2 Konstrukce měřícího úseku

V této fázi bylo nezbytné vybrané průtokoměry rozmístit na měřicí panel, navržený v předchozí kapitole. Podobně jako u předchozích částí byl i pro tuto úlohu vypracován jednoduchý 3D model. Nicméně vzhledem k nedostačujícím informacím v technické dokumentaci příslušných komponentů měřicí soustavy nebylo možné vypracovat přesné detaily o rozmístění nebo upevnění jednotlivých prvků. Z tohoto důvodu zde nejsou uvedeny otvory v desce podobně jako u krytu nádoby a detailní popis o způsobu jejich připevnění.

Posloupnost jednotlivých průtokoměrů lze vidět v blokovém schématu na obrázku 3.15. První v pořadí na vodní trati se nachází rotametr, vzhledem ke svému principu funkce je odolný vůči zakřivení vodní trati jak na vstupu, tak na výstupu. Tento fakt z něj dělá skvělý prvek, který kromě průtoku také usměrňuje kapalinu na vstupu měřící trati.

Za rotametrem je v měřícím úseku umístěn kulový ventil. Jeho schopnost částečného či úplného uzavření průřezu vodního toku zde otevírá nové možnosti pro zkoumání vodního toku a vlivu průřezu na rychlost proudění kapaliny.

Za kulovým ventilem je ve schématu zařazen lopatkový průtokoměr, propojený s měřicí sondou. Jeho široký měřicí rozsah s dostatečnou rezervou poskytuje možnost detailního studia kapaliny a analýzy vlivu kulového ventilu na její chování.

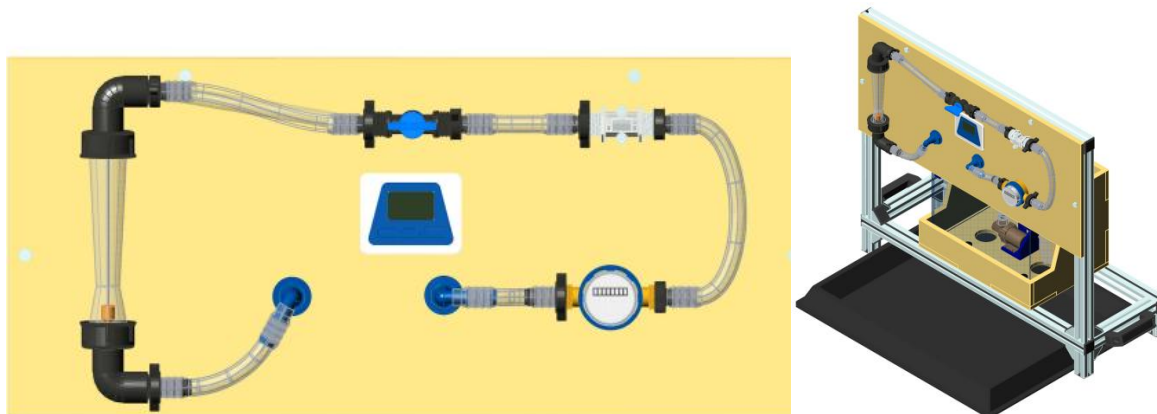
Jako poslední je v soustavě umístěn vodoměr. Který zaznamenává proteklé množství média během měření a lze tak určit objem měřené vody, popřípadě tento údaj porovnávat s předchozími naměřenými hodnotami.



Obr. 3.15 Schéma zapojení průtokoměrů

Tato vodní trať byla rozmístěna do uskupení, které lze vidět na obrázku 3.16. Toto uspořádání je však pouze jedna možnost z mnoha variant, jak lze sestavit měřicí trať s vybranými průtokoměry. Rozměry jednotlivých prvků v modelu měřicí soustavy jsou získány z technické dokumentace každého z nich. I přesto se může tento model mírně lišit kvůli nedostatečným údajům o rozměrech jednotlivých prvků. Při reálné montáži by měla být

dodržena dostatečná vzdálenost, aby jednotlivé průtokoměry splňovaly parametry udávané výrobcem. Některé technické specifikace vybraných průtokoměrů však tento údaj nemají, jelikož vzdálenost z principu nemá vliv na funkčnost průtokoměru, jako je tomu například u vybraného rotametru.



Obr. 3.16 Návrh zapojení průtokoměrů

3.4 Zapojení a regulace

3.4.1 Napájení s regulací napětí

Jelikož součástí vybraného čerpadla nebyl zdroj napájení, bylo zapotřebí vybrat adekvátní zdroj, jenž by pokryl požadavky čerpadla stanovené výrobcem k zajištění plynulé cirkulace vody v navrhovaném přípravku. Z technických specifikací čerpadla udávaných výrobcem je známo, že se ovládá pomocí rozsahu napětí mezi 18 až 24 V. Přičemž při nejvyšším zatížení odebírá čerpadlo proud o velikosti 0,85 A.

V návaznosti na stanovené požadavky čerpadla byl podobně jako u předchozích výběrů komponentů proveden průzkum běžně dostupných zdrojů. Avšak při tomto průzkumu nebyl nalezen adekvátní zdroj s integrovaným regulátorem, jenž by odpovídal těmto požadavkům. V návaznosti na tuto skutečnost bylo učiněno rozhodnutí vybrat zvlášť zdroj napětí a regulátor. Jako zdroj byl následně vybrán napěťový zdroj značky Scharfer, jenž svými parametry vyhovuje minimálním požadavkům soustavy. Parametry se rozumí:

- dostatečný výkon;
- vysoký stupeň krytí IP67.

Technický list vybraného zdroje je součástí přílohy 4. Následně byl vybrán regulátor značky Kemo, konkrétně typ M171. Jedná se o standartní regulátor napětí, jehož rozsah lze ovládat pomocí potenciometru. Detailní technické specifikace regulátoru lze nalézt v příloze

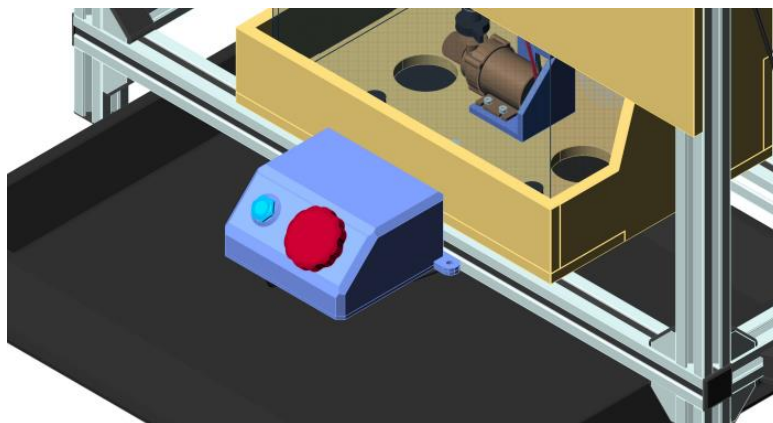
číslo 4. Jako poslední z prvků regulační soustavy bylo vybráno tlačítko vhodné pro daný rozsah. Konkrétně se jedná o vodotěsné tlačítko s aretací, jenž poskytuje mimo jiné možnost vypnout přípravek v případě poruchy. Jeho technické specifikace jsou společně s ostatními v příloze 4.

Je nutné zdůraznit, že pro zachování integrity stupně ochrany jednotlivých prvků této jednoduché regulační soustavy se musí dbát na odpovídající propojky, zejména při nasazování koncovek vybraných kabelových spojek. Vybraný regulátor nedisponuje žádným stupněm ochrany jako předchozí zmíněné prvky regulační soustavy. Ve světle této skutečnosti by měl být regulátor umístěn v místech, kde není zcela vystaven riziku smáčení při případném úniku kapaliny.

3.4.1 Zapojení ovládání soustavy

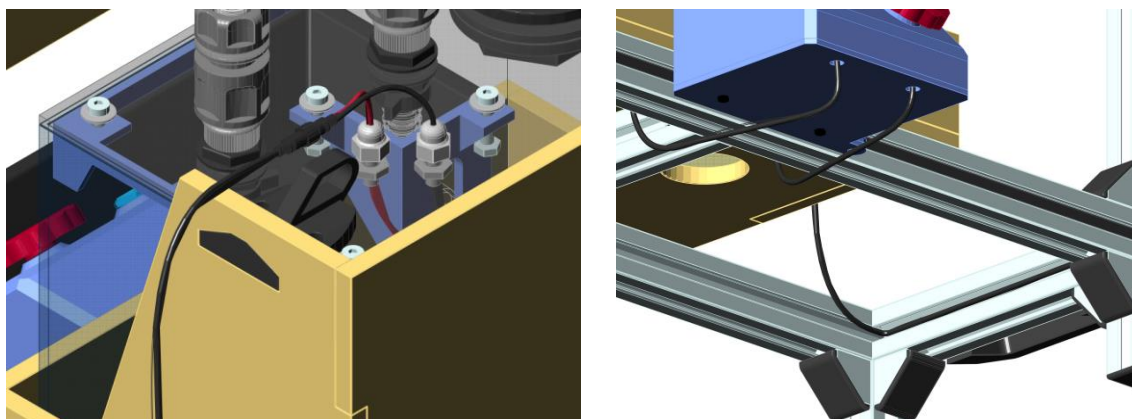
Před zapojením jednotlivých prvků bylo nutné v daném návrhu opatřit jednotlivé komponenty kabelovými propojkami, které jsou součástí přílohy 4. Tyto propojky umožňují mimo jiné odepnout odpojit víko od soustavy například kvůli možné údržbě. Pro umístění regulátoru společně s tlačítkem byla navržena jednoduchá krabička, kterou lze vidět na obrázku 3.17 a jejíž technická dokumentace je součástí přílohy 3.

Tato krabička se skládá ze dvou částí, tedy ze spodního a horního dílu. Spodní díl tohoto boxu je určen k připevnění na opěrnou soustavu (k profilu na čele soustavy) pomocí dvou otvorů pro šrouby M6. Horní díl navržen tak, aby pojmul jak tlačítko, tak regulátor samotný, přičemž disponuje dvěma otvory pro zmíněné tlačítko a potenciometr regulátoru. Na potenciometr lze následně nasadit libovolný aparát (kolečko), kterým lze efektivně řídit průtok kapaliny v přípravku. Jelikož nejsou rozměry potenciometru součástí technických specifikací regulátoru, tak není kolečko nasazené na potenciometru ve vyobrazeném návrhu součástí přílohy. V zadní části je tento box ještě opatřen otvorem pro zajištění horního krytu. Podobně jako předchozí navržené části je i tento navržený pro snadný 3D tisk.



Obr. 3.17 Umístění regulátoru s tlačítkem

Propojení mezi regulátorem a čerpadlem zajišťuje vybraná kabelová propojka. Ta je vedena vnitřkem opěrné soustavy, přičemž její druhý konec je propojen s regulátorem pomocí otvoru vespod v navrženém boxu. Totožným způsobem je veden i spoj mezi regulátorem a zdrojem napětí. Obě propojení jsou uvedena na obrázku 3.18.



Obr. 3.18 Propojení ovládací soustavy

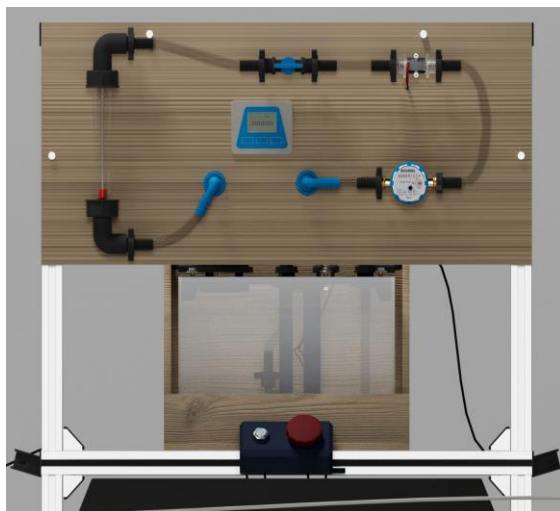
3.5 Těsnící spoje

Pro spojení jednotlivých komponentů, která umožňují průtok kapaliny v zařízení, byly hojně využity šroubové spoje. Pro zajištění vyšší účinnosti těchto spojů je vhodné zvážit použití běžně dostupných teflonových těsnících pásek nebo jiných obdobných těsnících prvků. Vzhledem k povaze aplikace má tato volba zásadní vliv na zabránění jakémukoli úniku kapaliny v rámci celého zařízení, což zvyšuje jeho spolehlivost a funkčnost.

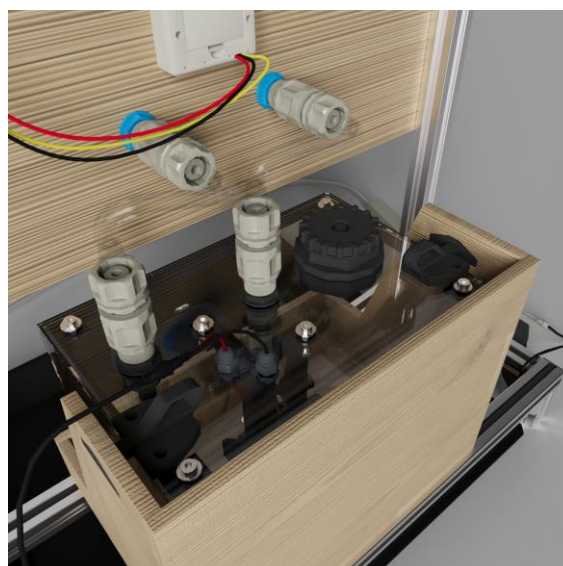
3.6 Výsledná navržená soustava

Jelikož je přípravek navržen z reálných komponentů (ze kterých je zároveň vymodelován), nabízí se zde možnost detailně vyobrazit výsledný návrh. Bylo tedy vyvinuto

úsilí k napodobení realistických obrázků pro bližší představu o možném finálním návrhu měřicí soustavy (viz obrázky 3.19 a 3.20).



Obr. 3.19 Realistický návrh soustavy 1



Obr. 3.20 Realistický návrh soustavy 2

4 Obsluha přípravku

4.1 Použitá kapalina

Soustava je navržena pro obyčejnou vodu. Právě toto médium bylo vybrané především protože je lehce dostupné a zdravotně nezávadné. Po případném úniku vlivem netěsností jednotlivých komponentů nebo po odpařování ji lze jednoduše doplnit skrze otvor ve víku opatřený víčkem od IBC nádrže.

Vzhledem k tomu, že během návrhu přípravku byly upřednostňovány komponenty s průhledným charakterem, nabízí se možnost estetického vylepšení tím, že voda bude obarvena pomocí běžně dostupného potravinářského barviva. Je však důležité podotknout, že tento krok má čistě estetický prvek, který nemá žádný vliv na funkčnost samotného zařízení.

4.2 Údržba

Pro navržený přípravek se počítá s případnou výměnou kapaliny v intervalu jednou za půl roku. Společně s výměnou kapaliny by bylo vhodné i propláchnout měřicí úsek, aby se předešlo možným nečistotám, které se mohou v přípravku nashromáždit například vlivem špatné kvality vody, aj. Ze stejného důvodu by nebylo na škodu náležitě vyčistit i skleněnou nádobu.

Zhodnocení a závěr

Pro splnění hlavního cíle této bakalářské práce bylo nezbytné získat poznatky o způsobech a současných trendech měření průtoku kapalin. Po bližším zkoumání obecných principů zaznamenávání průtoku kapalin bylo několik těchto metod společně se základními hydrodynamickými vztahy sepsáno v úvodní části práce. Jedná se však pouze o rozbor základních principů spojené s průtokem kapalin a jejich měření. Vzhledem k povaze této práce by hlubší rešerše neměla opodstatnění.

V následující části se práce zaměřuje na jedno z možných řešení zadaného úkolu. Konkrétně se věnuje teoretickému návrhu zařízení, které bylo navrženo z reálných dostupných komponentů. Pro popis jednotlivých kroků a problematiky spojené s návrhem byl vypracován trojrozměrný model, jehož přesnost je v první řadě dána technickou dokumentací, kterou poskytují výrobci a distributoři vybraných komponentů. Vybrané prvky použitých dílů jsou dohledatelné v přílohách této práce pro možnou realizaci. Některé prvky byly navrženy speciálně pro tento přípravek tak, aby zaručily efektivní chod soustavy. Tyto prvky jsou mimo jiné součástí digitální přílohy práce.

Po dokončení modelu bylo zjištěno několik drobných nedostatků. Jeden z nich spočívá v tom, že při případné realizaci navrhovaného přípravku by bylo vhodné zajistit opěrný systém buď připevněním zadní části k libovolnému pevnému bodu, nebo prodloužením základny samotné opěrné soustavy. I přestože by vzhledem k poloze nádoby a předpokládané hmotnosti přípravku měla být soustava stabilní, mohlo by nedopatřením dojít k vychýlení přední části, což by mohlo mít za následek převážení nádoby a přípravku samotného. Celý návrh přípravku je převážně teoretická práce. Proto je nutné při eventuální realizaci jednotlivých částí nebo přípravku jako celku počítat s možnými nedostatky, které nebyly v rámci návrhu přípravku objeveny.

Literatura

- [1] ĎADO, Stanislav, Ludvík BEJČEK a Antonín PLATIL. Měření průtoku a výšky hladiny. Praha: BEN – technická literatura, 2005. Sensory neelektrických veličin. ISBN 80-7300-156-X.
- [2] JENČÍK, Josef. Principy měření průtoku a množství tekutin. Automa: časopis pro automatizační techniku [online]. 02/2002 [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/principy-mereni-prutoku-a-mnozsvi-tekutin2002_02_28336_320/.
- [3] SVOBODA, Emanuel. Přehled středoškolské fyziky. 6., upravené a doplněné vydání. Praha: Prometheus, 2019. ISBN 978-80-7196-475-9.
- [4] TEYSSLEROVÁ, Marcela. Měření průtoku tekutin v uzavřených profilech – terminologie: ČSN EN 24006 (25 7701). Praha: Český normalizační institut, 1995.
- [5] KOLÁŘ, Václav; PATOČKA, Cyril; BÉM, Jiří. Hydraulika. 1. vydání. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1983.
- [6] OCKENDON, H a J. R OCKENDON. Viscous Flow. University of Oxford: Cambridge University Press, 1995. ISBN 9780521452441.
- [7] NOSKIEVIČ, Jaromír. Kavitace v hydraulických strojích a zařízeních.
- [8] Universal flow monitors. UFM: DwyerOmega product brand [online]. [cit. 2023-08-17]. Dostupné z: <https://www.flowmeters.com/how-flowmeters-work>.
- [9] Trubkový závit. E-konstruktor: Portál pro strojní konstruktéry [online]. [cit. 2023-08-17]. Dostupné z: <https://e-konstruktor.cz/prakticka-informace/trubkovy-zavit-g>.
- [10] Měření průtoku a proteklého množství [online]. [cit. 2023-07-10]. Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/f4/f4k45-prut.htm>.
- [11] Vrtačkové čerpadlo. Elvin: E-SHOP [online]. [cit. 2023-08-19]. Dostupné z: <https://www.elvin.cz/p/magg-070009-cerpadlo-na-vodu-k-vrtacce-1200l-h>.
- [12] Odstředivé čerpadlo: Mini. To čo potrebuješ [online]. [cit. 2023-08-19]. Dostupné z: <https://www.tocopotrebujes.sk/Mini-odstredive-cerpadlo-s-jednosmernym-motorom-WPDC-10-5L-5-0M-24-VP-ROTEK-PUM375-d17455.htm#detail-anchor-description>.
- [13] Akvárium. Rostlinná akvária [online]. [cit. 2023-08-19]. Dostupné z: <https://www.rostlinna-akvaria.cz/akvarium-rovne-30x20x20-cm-12-l>.
- [14] Rotametr. HP Control [online]. [cit. 2023-08-19]. Dostupné z: <https://hpcontrol.cz/przeplywomierz-cieczzy-rotametr-ls15-60-dn15-cala.html>.

- [15] Vodoměr. MARO [online]. [cit. 2023-08-19]. Dostupné z: <https://www.maro.cz/v/1292394/enbra-vodomer-bytovy-suchobezny-er-am-1-2-roztec-110-mm-q3-16-m3-h-na-studenou-vodu>.
- [16] Lopatkový průtokoměr. Hadex [online]. [cit. 2023-08-19]. Dostupné z: https://www.hadex.cz/m462c-prutokomer-yf-s201c-12-1-30lmin-pro-arduino/?gclid=Cj0KCQjwz8emBhDrARIsANNJjS5ina0xZJA1Zrx7OXlofbpqDQmpsPZIYwZsNRAnIaKEZyjGgg0aj7MaApyNEALw_wcB.
- [17] Měřicí sonda. Dratek [online]. [cit. 2023-08-19]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/122724-displej-pro-prutokomery-yf.html>.
- [18] Napájecí zdroj. Scharfer [online]. [cit. 2023-07-10]. Dostupné z: https://shop.scharfer.cz/napajeci-zdroj-24v-30w/?gclid=Cj0KCQjwwvilBhCFARIsADvYi7I03cnYMngYSzCHSu0CHfchPwrTRNyArCWZF16sLT7PVD_GIh3k1oMaAgl5EALw_wcB.
- [19] Kabelová spojka. Onpira [online]. [cit. 2023-07-10]. Dostupné z: https://www.onpira.cz/zbozi/vodotesna-kabelova-spojka-rovna/?variantId=28428&gclid=Cj0KCQjw2qKmBhCfARIsAFy8buLVpIQTxdkofytJZV9_YGaCO4R9iUMEuOOckhoXgw3pawmBlE9zzlMaAjsKEALw_wcB.
- [20] Tlačítko. Neven [online]. [cit. 2023-07-10]. Dostupné z: <https://www.neven.cz/kategorie/elektronicke-soucastky/stmivace/tlacitka-a-prepinace/led-tlacitkovy-spinac-12-24v-3a-16mm-ip66/>.
- [21] Regulátor. Conrad [online]. [cit. 2023-07-10]. Dostupné z: https://www.conrad.cz/cs/p/kemo-m171-regulator-vykonu-hotovy-modul-9-v-dc-12-v-dc-24-v-dc-191273.html?gclid=Cj0KCQjwwvilBhCFARIsADvYi7I1kCmqttXnbP59iBvVWlayc0E3bt3MGzXVzVKhjrEZwVpAT_XBMI0aAv95EALw_wcB&refresh=true.

Příloha 1 - Tabulka výběru průtokoměru dle aplikace

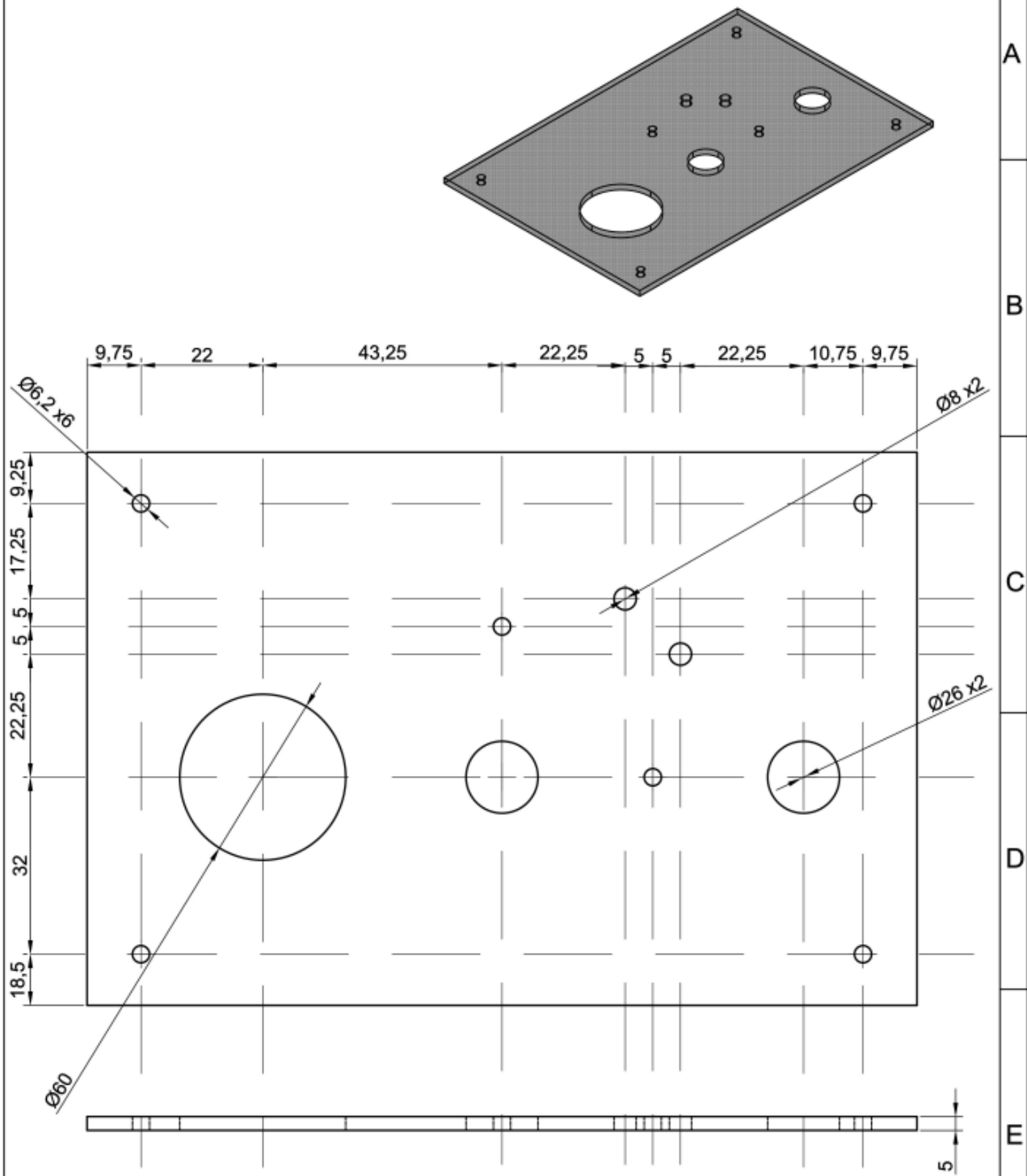
Tabulka výběru vhodného průtokoměru dle měřeného média (překresleno z [1]).

Kapaliny	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
čistá (voda)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X
pomalou proudící (< 2 l/min)	X	X	X	X	-	X	?	X	X	?	-	-
rychle proudící (> 20 l/min)	X	-	?	X	?	X	X	-	-	-	-	X
nevodivé (např. oleje)	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	-	-
velké potrubí (DN > 500)	X	-	-	?	-	X	X	-	-	X	-	X
horké (> 200 °C)	X	?	-	X	X	-	?	X	?	X	-	-
viskozní (> 50 cP)	?	-	X	-	-	X	?	X	-	?	-	-
kryogenní (tekutý O ₂)	-	-	X	X	-	X	X	X	-	X	-	-
potraviny (mléko, pivo)	-	-	X	X	-	X	X	X	-	-	-	-
Plyny												
obecné (např. vzduch)	X	X	?	X	X	-	?	X	X	?	-	-
pomalou proudící (< 20 l/min)	?	X	X	?	-	-	-	X	X	X	-	-
rychle proudící (klimatizace)	X	-	-	-	?	-	-	-	X	?	-	-
horké (> 200 °C)	X	-	-	-	X	-	?	?	?	X	-	-
pára	X	-	-	-	X	-	?	?	-	X	-	-
Různé směsi												
kaše (např. barvy)	?	-	-	-	-	X	?	?	-	-	-	-
směs kapalin (voda, olej)	X	-	?	?	X	?	?	X	-	?	-	-
směs plyn/kapalina	-	-	-	-	-	?	-	?	-	-	-	-
korozivní kapalina	?	?	?	?	?	X	X	X	-	-	-	-
korozivní plyny (HCl)	?	?	-	?	?	-	-	-	-	-	-	-
kaly v hornictví	?	-	-	-	-	X	-	-	-	?	X	-
prášky/zrna	-	-	-	-	-	-	-	-	-	?	X	-
Otevřené kanály												
obecné (řeky, kanály)	-	-	-	-	-	X	-	-	-	X	-	X
odpadové kanály	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	X
zavlažování	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	X

Příloha 2 – Seznam použitých komponentů

Položka	Počet kusů	Cena /ks /m /m ²	Internetový prodejce
Nízká plastová záchytná vana	1	729,00 Kč	reoamos.cz
Hliníkový profil BH 30-8 (30x30x60 mm)	4	50,29 Kč	alusic-profilly.cz
Hliníkový profil BH 30-8 (30x30x190 mm)	3	76,92 Kč	alusic-profilly.cz
Hliníkový profil BH 30-8 (30x30x500 mm)	2	140,41 Kč	alusic-profilly.cz
Hliníkový profil BH 30-8 (30x30x680 mm)	3	177,28 Kč	alusic-profilly.cz
Záslepka drážky profilu / těsnění profilu BH 30-8	4	49,78 Kč	alusic-profilly.cz
Záslepka profilu BH 30-8	10	25,53 Kč	alusic-profilly.cz
Úhelník 90° (28x27 mm)	6	56,05 Kč	alusic-profilly.cz
Madlo z polymidu	2	89,22 Kč	alusic-profilly.cz
Krytka úhelníku 27x27, černá	14	32,74 Kč	alusic-profilly.cz
Matice M6 čtvercová s vedením BH 30-8	34	20,28 Kč	alusic-profilly.cz
Dveřní zámek posuvný	2	80,60 Kč	alusic-profilly.cz
Šroub M6x12 s válcovou hlavou	20	2,56 Kč	alusic-profilly.cz
Šroub M8x16 s válcovou hlavou	20	4,91 Kč	alusic-profilly.cz
Šroub M6x20 s válcovou hlavou	10	2,88 Kč	alusic-profilly.cz
Překližka celobuk (1200x600x10)	2	386,31 Kč	obi.cz
Kryt z plexiskla (300x200x5)	1	379,20 Kč	www.multiplast.cz
Kabelová průchodka 53015000 Polyamid	2	120,00 Kč	cz.rs-online.com
Kemo M171 regulátor výkonu	1	612,25 Kč	conrad.cz
Napájecí zdroj Scharfer	1	252,89 Kč	shop.scharfer.cz
LED tlačítkový spínač	1	59,25 Kč	neven.cz
Kabelová spojka	2	39,00 Kč	onpira.cz
Hadice na vodu	3	40,50 Kč	svetkaravanu.cz
Gumová podložka	1	21,00 Kč	walteco.cz
Průchodka stěnou PVC 50 mm s těsněními	1	122,45 Kč	bazenonline.cz
Průchodka k nádrži 1/2"	2	129,56 Kč	bauhaus.cz
Koncovka hadicová 1/2"	11	16,00 Kč	mojezelezarstvi.cz
Bradas rychlospojka 1/2"	4	25,28 Kč	mall.cz
Bradas adaptér 1/2"	4	12,64 Kč	mall.cz
Průchodka 90°	2	139,67 Kč	svetkaravanu.cz
IBC víčko	1	53,00 Kč	tbaplast.cz
Kulový ventil 1/2"	1	28,10 Kč	doltak.cz
Enbra Vodoměr	1	540,36 Kč	maro.cz
Rotametr	1	316,59 Kč	allegro.cz/
Lopatkový průtokoměr	1	94,01 Kč	hadex.cz
Display pro průtokoměr YF	1	900,00 Kč	dratek.cz
Čerpadlo	1	1 198,15 Kč	tocopotrebujes.sk
Akvárium	1	334,96 Kč	rostlinna-akvaria.cz
Podložka D6340	1	12,70 Kč	vtools.cz
Prusament PETG Ultramarine Blue Transparent 1kg	1	577,69 Kč	prusa3d.com
		Cena	12 010,88 Kč

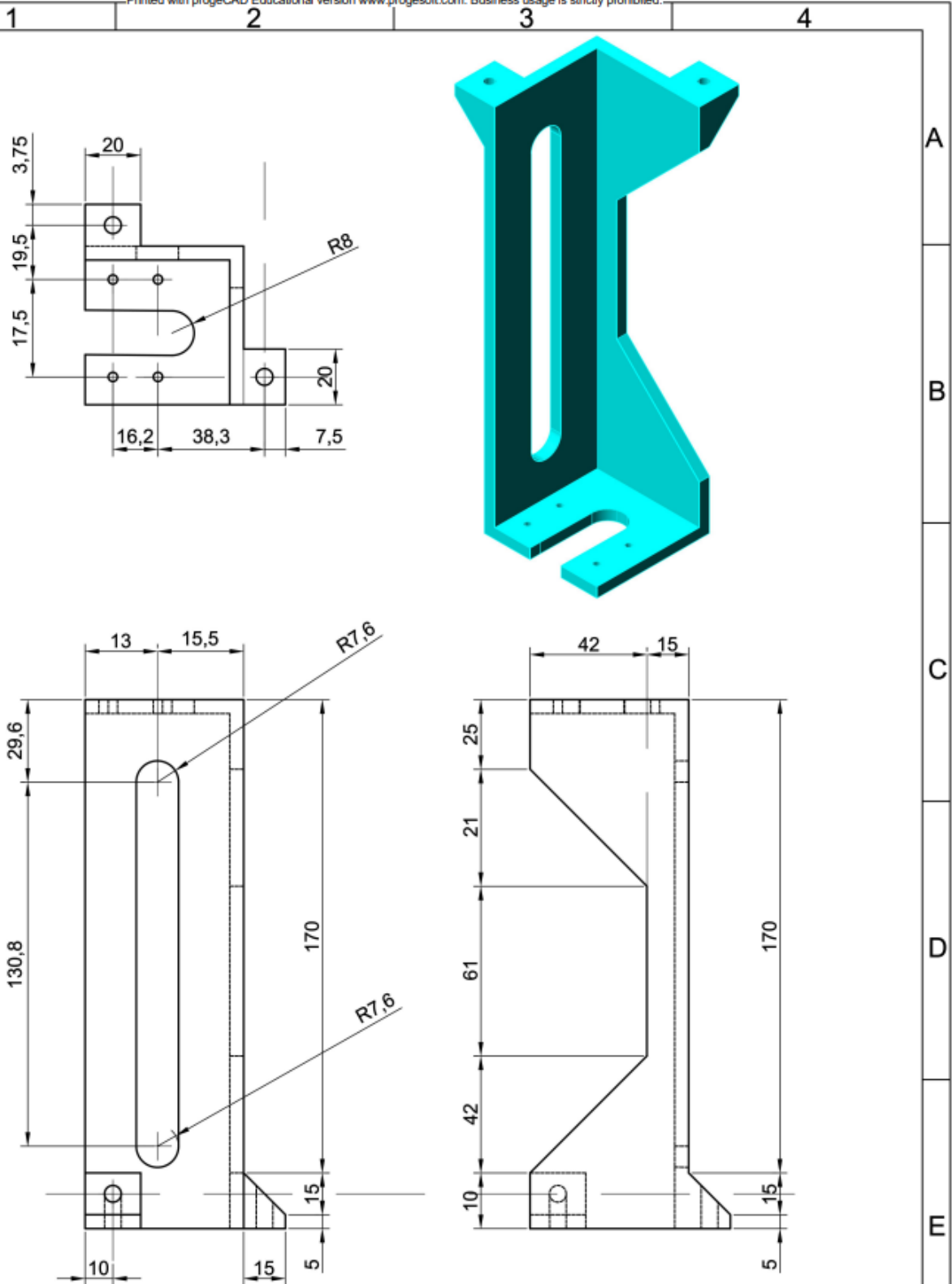
Příloha 3 – Technická dokumentace navržených komponentů



Oddělení	Tech. referent	Druh dokumentu	Status dokumentu
Měřítko 1:2	Kreslil J. Kanta	Název Horní kryt	Číslo dokumentu
Držitel práv	Přezkoušel	Doplňující název	List 1/1

PŘÍLOHA 3 – TECHNICKÁ DOKUMENTACE NAVRŽENÝCH KOMPONENTŮ

Printed with progeCAD Educational version www.progesoft.com. Business usage is strictly prohibited.

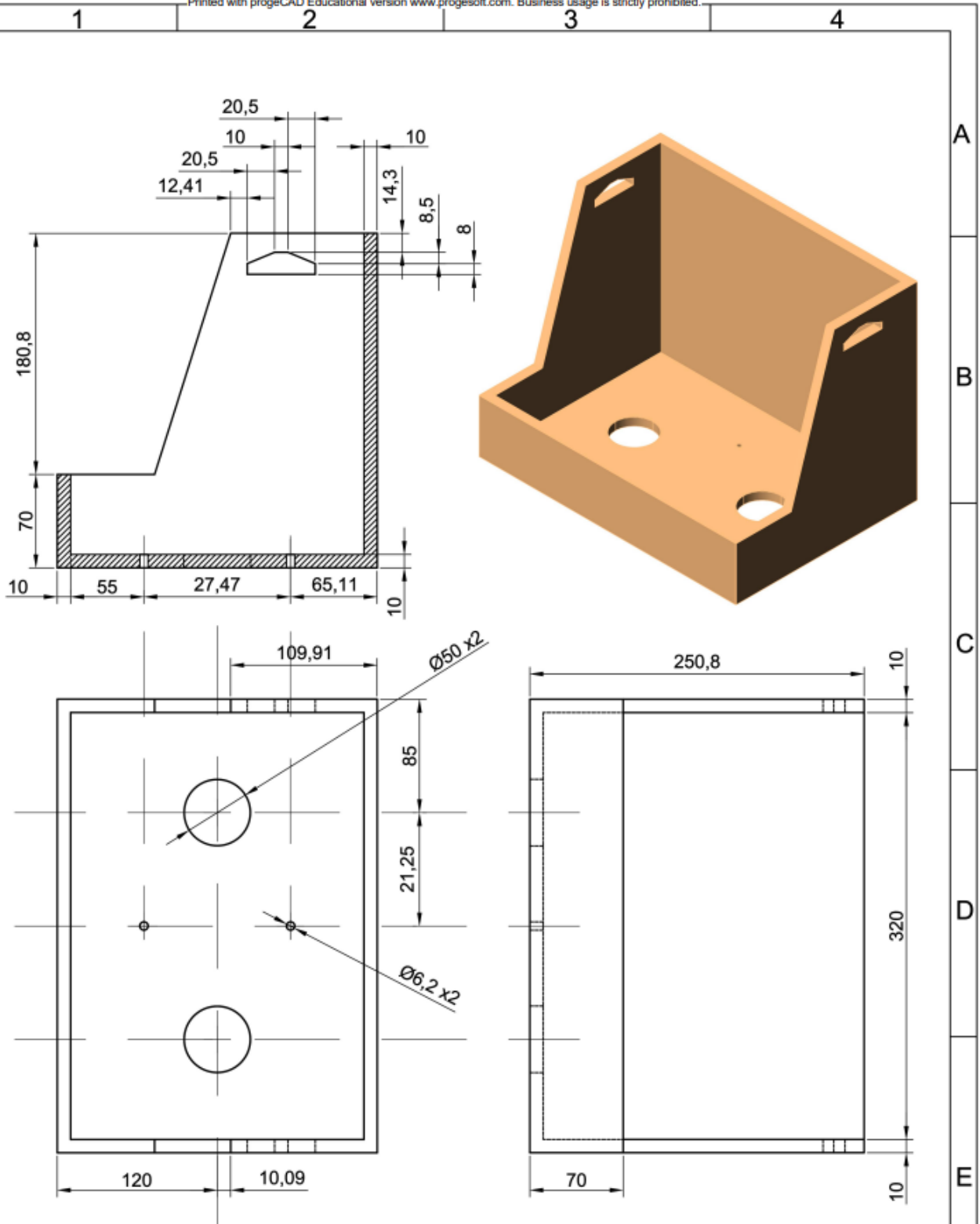


Oddělení	Tech. referent	Druh dokumentu	Status dokumentu
Měřítko 1:2	Kreslil J. Kanta	Název Držák čerpadla	Číslo dokumentu
Držitel práv	Přezkoušel	Doplňující název	List 1/1

Printed with progeCAD Educational version www.progesoft.com. Business usage is strictly prohibited.

PŘÍLOHA 3 – TECHNICKÁ DOKUMENTACE NAVRŽENÝCH KOMPONENTŮ

Printed with progeCAD Educational version www.progesoft.com. Business usage is strictly prohibited.

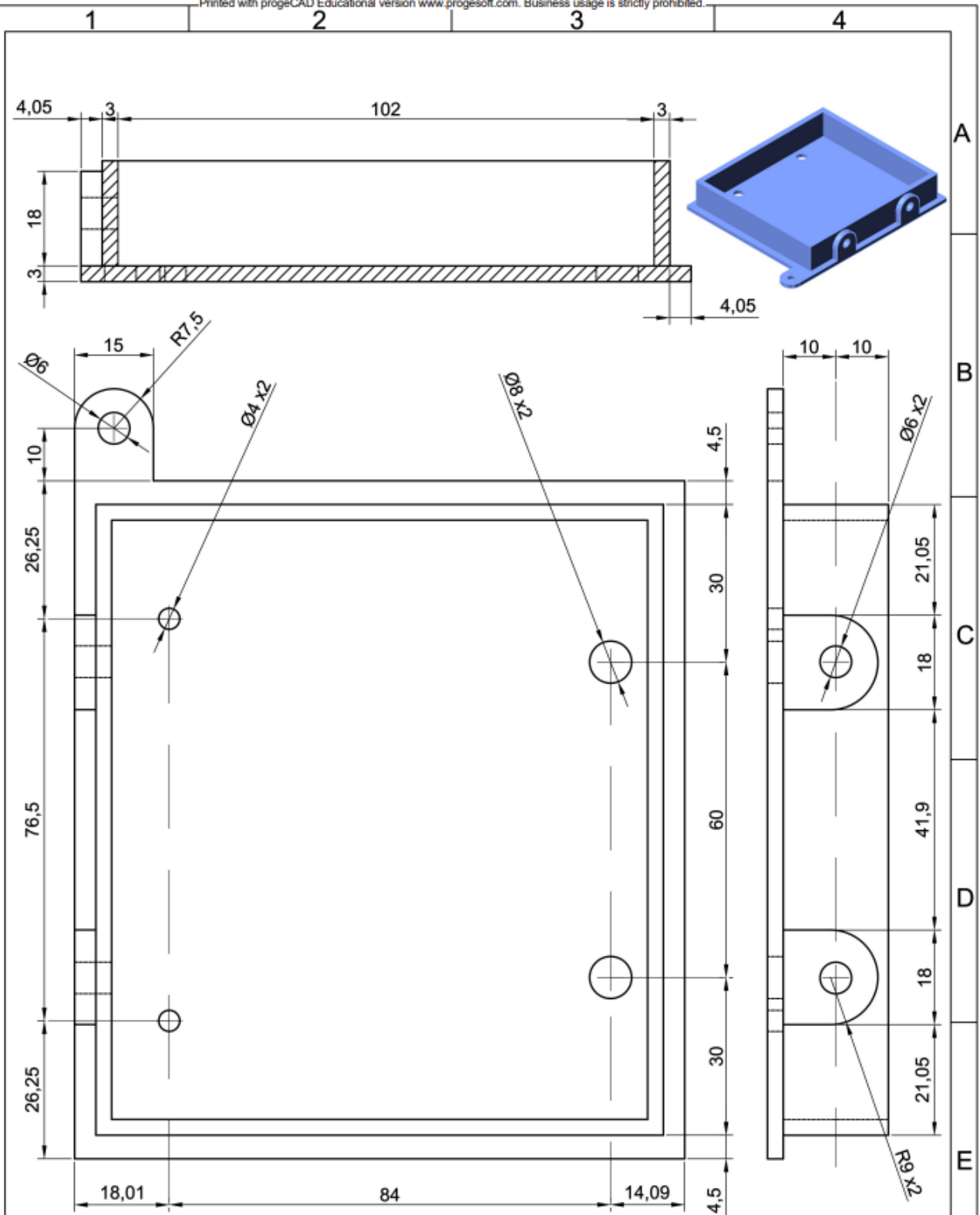


Oddělení	Tech. referent	Druh dokumentu	Status dokumentu
Měřítko 1:4	Kreslil J. Kanta	Název Podstavec	Číslo dokumentu
Držitel práv	Přezkoušel	Doplňující název	List 1/1

Printed with progeCAD Educational version www.progesoft.com. Business usage is strictly prohibited.

PŘÍLOHA 3 – TECHNICKÁ DOKUMENTACE NAVRŽENÝCH KOMPONENTŮ

Printed with progeCAD Educational version www.progesoft.com. Business usage is strictly prohibited.

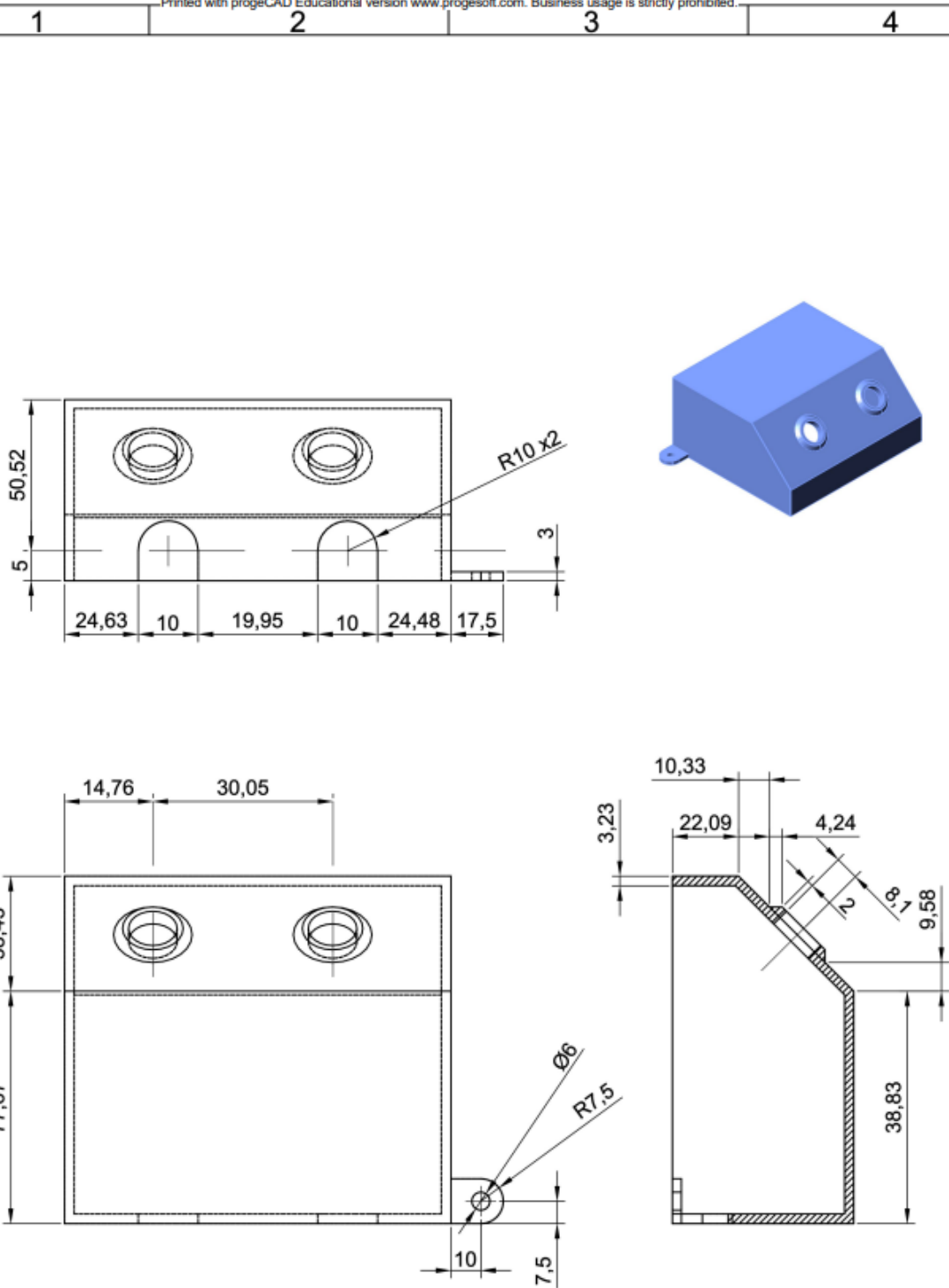


Oddělení	Tech. referent	Druh dokumentu	Status dokumentu
Měřítko 1:1	Kreslil J. Kanta	Název Box	Číslo dokumentu
Držitel práv	Přezkoušel	Doplňující název Spodní díl	List 1/2

Printed with progeCAD Educational version www.progesoft.com. Business usage is strictly prohibited.

PŘÍLOHA 3 – TECHNICKÁ DOKUMENTACE NAVRŽENÝCH KOMPONENTŮ

Printed with progeCAD Educational version www.progesoft.com. Business usage is strictly prohibited.

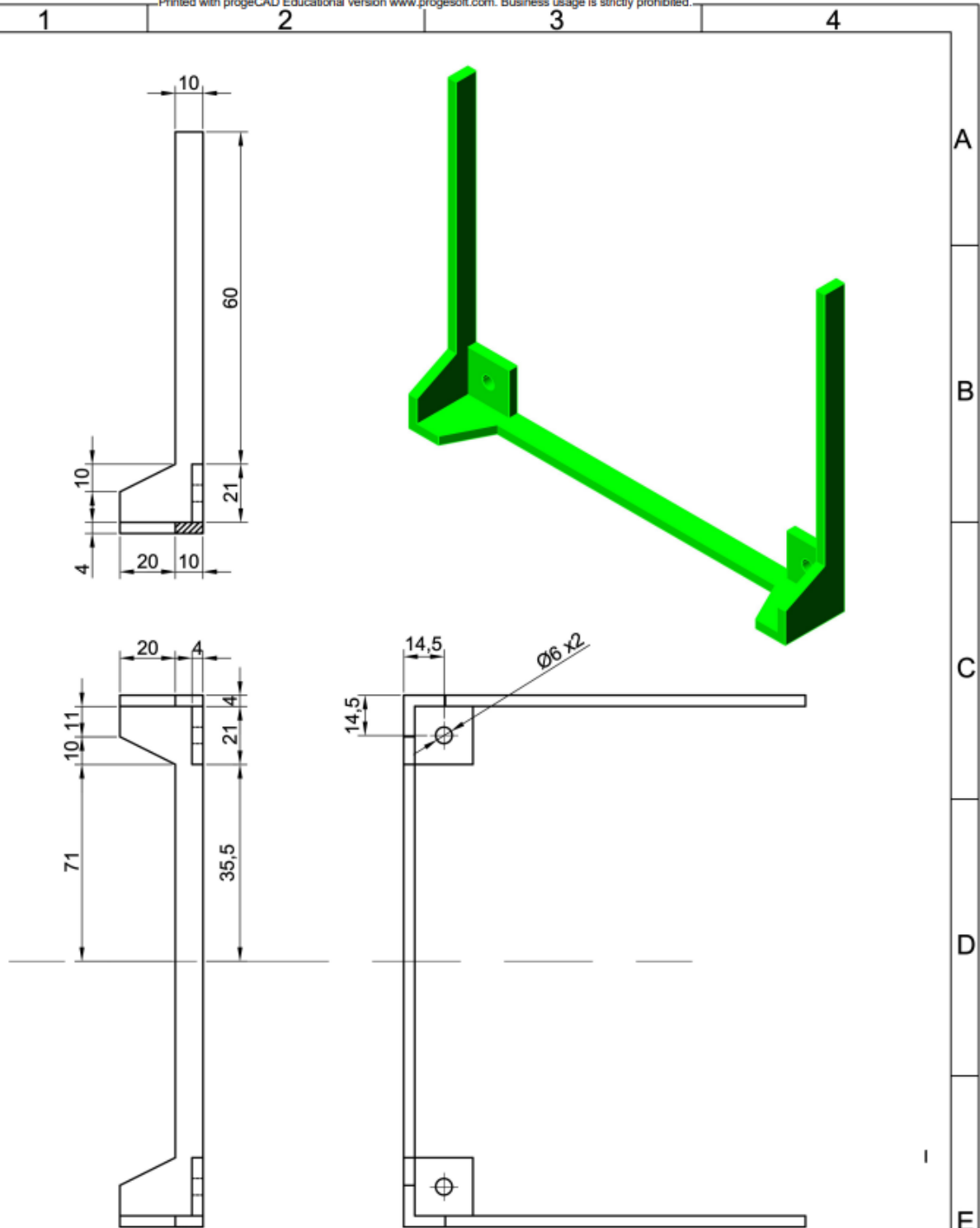


Oddělení	Tech. referent	Druh dokumentu	Status dokumentu
Měřítko 1:2	Kreslil J. Kanta	Název Box	Číslo dokumentu
Držitel práv	Přezkoušel	Doplňující název Horní díl	List 2/2

Printed with progeCAD Educational version www.progesoft.com. Business usage is strictly prohibited.

PŘÍLOHA 3 – TECHNICKÁ DOKUMENTACE NAVRŽENÝCH KOMPONENTŮ

Printed with progeCAD Educational version www.progesoft.com. Business usage is strictly prohibited.



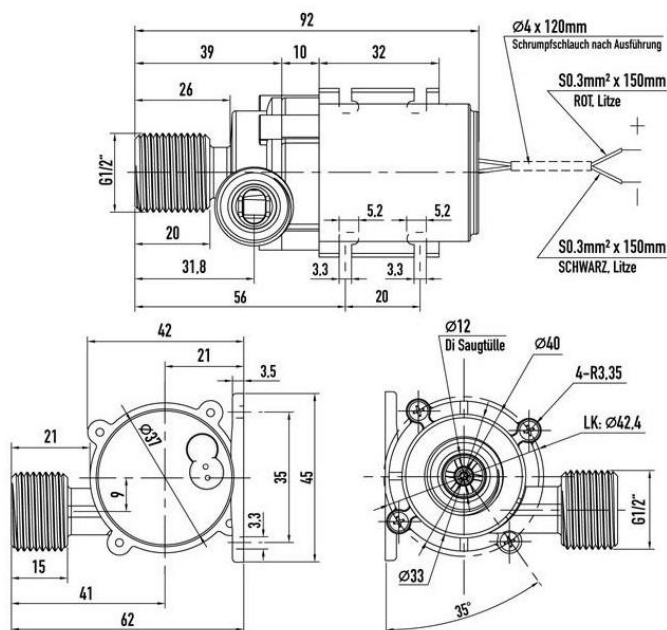
Oddělení	Tech. referent	Druh dokumentu	Status dokumentu
Měřítko 1:2	Kreslil J. Kanta	Název Upevňovací lem	Číslo dokumentu
Držitel práv	Přezkoušel	Doplňující název	List 1/1

Printed with progeCAD Educational version www.progesoft.com. Business usage is strictly prohibited.

Příloha 4 – Technické specifikace funkčních prvků


Technická dokumentace vybraného čerpadla převzatá z [12].

Model:	WPDC-10.5L-5.0M-24-VP
Maximální průtok:	10,5 l/min
Minimální průtok:	5% Q _{max}
Maximální dopravná výška:	5.0 mWs (0,50 bar)
Samonasávání:	0m, není samonasávací
Vstup (s):	G1/2" (Ø12) mm
Výstup (y):	G1 / 2 "(Ø12) mm
Směr otáčení:	proti směru hodinových ručiček
Teplota média:	Max. 95 °C
Napájecí napětí:	24 VDC Jmenovitý (Min.18/max.26 VDC)
Spotřeba proudu:	≤ 850 mA (při 24 V DC)
Připojovací kabel:	Vodiče, délka: 150 mm (červená +, černá - pól)
Izolační odpor:	≥ 10 M (500V)
Ochrana proti přepětí:	500V / 10mA / 1s
Rozměry:	viz výkres
Hmotnost:	198 g
Hluk:	≤ 30 dB (A) @ 1 m



Technické specifikace vybraného zdroje převzaté z [18].


Kategorie:	Scharfer napájecí napětí zdroje pro LED
Záruka:	7 let
Hmotnost:	0,21 kg
Výkon:	30W
Výstupní napětí:	24V DC
Výstupní proud:	1,25A
Vstupní napětí:	185-250V AC
Krytí:	IP 67
Rozměry:	162x29x21 mm
Váha:	190 g
Balení:	100 ks



The image shows a Scharfer LED power supply module. It is a long, narrow, white rectangular device with a black cable on the left and a white cable on the right. The top surface has a label with technical specifications and the Scharfer logo. The label includes the model number SCH-30-24, input voltage range 185-250V AC, output voltage 24V DC, and output current 1.25A. It also features an IP67 rating and CE certification marks.

Technické specifikace vybraného regulátoru převzaté z [21].

Provozní napětí:	9-28 V/DC
Příkon proudu:	5 nebo 10 A
Provedení:	Hotový modul
Rozměry:	87x60x33 mm
Provozní napětí:	9, 12, 24 V/DC
Kategorie produktu:	Regulátor výkonu



The image shows a Kenno DC power control module. It is a small, black, rectangular module with a metal base. The top surface has a label with the text 'POWER CONTROL DC 5A' and 'Kenno GERMANY # MT71'. There are several terminals on the front for wiring, and a small potentiometer or switch is visible on the top. The module is shown with several colored wires (red, yellow, green, black) connected to its terminals.

Technické specifikace vybraného tlačítka převzaté z [20].

Průměr závitů:	16 mm
Funkce (přepínač/tlačítko):	s aretací
Konfigurace kontaktů:	NO, NO
Barva LED:	modrá
Potisk (motiv):	I/O
Spínací napětí:	12-24V AC
Spínací proud:	3A
Odpor kontaktu:	< 50Ω
Izolační odpor:	> 1000MΩ
Stupeň krytí IP:	IP66, IK09
Typ montáže:	montáž do panelu
Materiál:	poniklovaná mosaz
Rozsah provozních teplot:	-30 ~ +50°C

Technické specifikace vybrané propojky převzaté z [21].

Kategorie:	Napájecí kabely, konektory a koncovky
Maximální napětí:	50V
Maximální proudové zatížení:	3A
Kontakty:	2 pinové
Délka kabelu:	100 cm (2x50 cm)

Technická dokumentace vybraného vodoměru převzatá z [15].

Radiový antimagnetický suchoběžný vodoměr ER-AM

Bytový vodoměr ER-AM je suchoběžný jednovtokový vodoměr vyznačující se mimořádně zdařilou konstrukcí s použitím mnoha technických vylepšení. To spolu s precizní výrobou zajišťuje mimořádnou přesnost měřidla nejen při ustáleném průtoku vody, ale také při rychlém náběhu a doběhu průtoku, což je zvláště důležité při používání pákových baterií.

Technická specifikace a výhody:

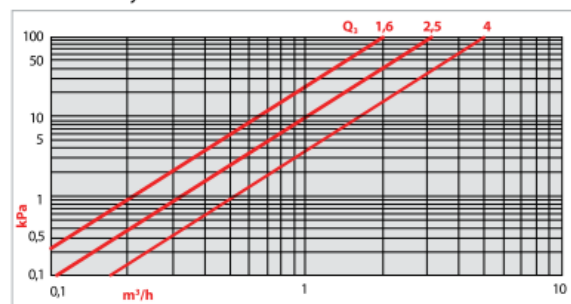
- mimořádně přesný ($R_{max} = 100$)
- zvýšená citlivost v kombinaci s pákovými bateriemi
- zvýšená magnetická odolnost
- bez nutnosti uklidňujících dělek na vstupu a výstupu
- speciální tvar tlakové desky zvyšuje odolnost proti mrazu
- masivní, mechanicky velmi odolná konstrukce
- kryt číselníku z rázuvzdorného materiálu je otočný pro snadný odečet údajů a je hermeticky uzavřen-ochrana proti zamlžení
- připravený pro montáž radiomodulu a M-Bus modulu
- montážní poloha vodorovná a svislá
- záruka 3 roky



Tabulka průtoků [l/h]

	$Q_3 = 1,6 \text{ m}^3/\text{h}$		$Q_3 = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$		$Q_3 = 4,0 \text{ m}^3/\text{h}$	
Měřicí rozsah SV	Q_1	Q_2	Q_1	Q_2	Q_1	Q_2
H R 100	16	25,6	25	40	40	64
V R 50	32	51,2	50	80	80	128
Měřicí rozsah TV	minim.	přechod.	minim.	přechod.	minim.	přechod.
H R 80	20	32	31,25	50	50	80
V R 40	40	64	62,5	100	100	160

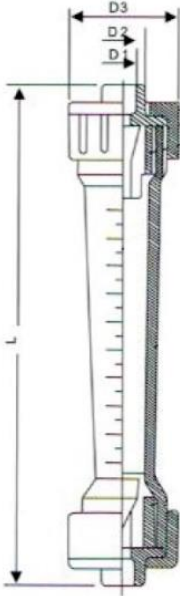
Křivka tlakových ztrát



Jmenovitá světlost	DN	mm	15	15	20
Připojovací závit vodoměru			G 3/4"		G 1"
Trvalý průtok	Q_3	m^3/h	1,6	2,5	4
Přetěžovací průtok	Q_4	m^3/h	2	3,125	5
Rozběhový průtok	S	l/h	6	8	15
Max. pracovní tlak	MAP	MPa	1,6		
Teplotní třída			T30, T50, T90		
Třídy citlivosti na nepravidelnosti v rychlost. polích			U0/D0		
Stavební délka	L	mm	110	80	130
Hmotnost	W	kg	0,5		0,6
Výška bez/s radiomodulem, M-Bus modulem	H	mm	69/86		
Šířka	B	mm	72		

Technická dokumentace vybraného rotametru převzatá z [14].

Průměr vstupního otvoru:	DN15
Rozsah průtoku:	60–600 l/h
Přesnost:	$\pm 4 \%$
Pracovní teplota:	0-60 °C
Maximální tlak:	6 bar
Rozměr:	L = 280 mm D1 = 1/2" D2 = 26 mm D3 = 45 mm



Technická dokumentace vybraného lopatkového průtokoměru převzatá z [16].

Závit:	G 1/2"
Rozsah měření průtoku:	1 ~ 30 l/ min
Maximální pracovní tlak:	1.75 MPa
Výstup:	5 V TTL
Maximální pracovní teplota:	Do 80 °C
Provozní vlhkost:	35 % ~ 90 % RH (bez námrazy)
Napájení:	5–18VDC
Max. spotřeba proudu:	15 mA
Charakteristika pulzů:	450 pulzů/litr nebo $f \text{ (Hz)} = 7,5 * \text{průtok}$ (l/min)

Přesnost měření:	2 %
Délka kabelu:	~15 cm
Rozměry:	65×40 mm
Průměr závitů:	20 mm
Zapojení:	
Červená	+5 V
Černá:	GND
Žlutá:	OUT (výstup digitální pin)



Technická dokumentace sondy k vybranému lopatkovému průtokoměru převzatá z [17].

Specifikace:	
Rozsah měření průtoku:	1-9999,9 l
Zobrazení teploty kapaliny:	0-100 °C
Napájení:	3x AAA baterie
Konektor pro připojení průtokoměru:	JST SM 3 pin
Konektor pro připojení termistoru:	JST SM 2 pin

Vlastnosti:

- Upozornění na vybitou baterii
- Zobrazení animace průtoku vody

