



Fakulta zemědělská
a technologická
Faculty of Agriculture
and Technology

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH FAKULTA ZEMĚDĚLSKÁ A TECHNOLOGICKÁ

Katedra techniky a kybernetiky

Diplomová práce

Návrh optimalizace hmotnostního průtokoměru pro dojené
mléko

Autor práce: Mgr. Radim Stehlík

Vedoucí práce: Mgr. Zbyněk Havelka, Ph.D.

České Budějovice
2022

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne

.....

Mgr. Radim Stehlík

Abstrakt

Tématem diplomové práce je návrh optimalizace hmotnostního průtokoměru pro dojení mléko. Jedná se o přepracování již navržené koncepce, která vykazovala při testování v provozu zásadní nedostatky v mnoha aspektech.

K tomuto návrhu byl vytvořen nový koncept za pomoci programu SolidWorks. Koncept byl vyroben prostřednictvím 3D tiskárny. Na základě svých vlastností byl pro výrobu zvolen materiál v podobě kopolyesteru PET-G ve formě tiskové struny.

Dále bylo navrženo získávání dat za pomoci minipočítače Arduino UNO Rev3. Následný koncept byl testován na svou funkčnost. V rámci práce byl rovněž řešen návrh způsobu přenosu dat a jejich zpracování za pomoci výpočetní techniky.

Klíčová slova: 3D konstrukční návrh; 3D tisk; Arduino UNO; hmotnostní průtokoměr; dojení

Abstract

The topic of diploma thesis is the optimization of a mass flow meter for milking. It is a reworking of an already proposed concept that showed major shortcomings in many aspects during the operational testing.

The concept for the new proposal was created by using the program SolidWorks. The concept was produced through 3D printer. For the production was due to its properties chosen PET-G copolyester in the form of a printing string.

Furthermore, it was proposed to acquire data using a minicomputer Arduino UNO Rev3. The subsequent concept was tested for its functionality. The suggestion of data transmission and its processing using computer technology is also included in this thesis.

Keywords: 3D structural design; 3D printing; Arduino UNO; mass flow meter; milking

Poděkování

Rád bych touto formou poděkoval mému vedoucímu, panu Mgr. Zbyňku Havelkovi, Ph.D., za jeho vstřícný přístup, trpělivost a cenné rady v průběhu vedení mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat celé své rodině, přátelům a spolužákům za podporu po celou dobu mého studia.

Obsah

Úvod	7
1 Dojení mléka	8
1.1 Řízené dojení	11
1.2 Automatické dojící systémy (AMS)	11
2 Zjišťování hmotnosti dojeného mléka	15
2.1 Kontrola mléčné užitkovosti (KU)	18
2.2 Měření hmotnosti mléka ICAR	19
2.2.1 Certifikované měřiče mléka	19
3 3D tisk	22
3.1 Materiály pro 3D tisk v potravinářství	23
4 Arduino UNO	24
5 Metodika a cíle práce	25
6 Optimalizace hmotnostního průtokoměru	26
6.1 Modelování nových komponent	26
6.1.1 Horní víko	27
6.1.2 Plášť nádoby	30
6.1.3 Spodní víko	31
6.1.4 Nádobka	31
6.1.5 Spojka nádoby a snímače	32
6.1.6 Těsnění	33
6.2 Tisk modelů	35
6.2.1 Nastavení tisku	37
6.3 Ověření funkčnosti	45
6.4 Návrh přenosu a zpracování dat	45
7 Výsledky a diskuse	47
Závěr	50
Seznam použitých zdrojů	51
Seznam obrázků	58

Úvod

Svět, jak jej známe, je neustále zdokonalován v oblasti technologií všeho druhu. Většina lidí se již na základní škole setkala s pojmem průmyslová revoluce. Tento termín naše životy doprovází na každém kroku, byť si to spousta lidí neuvědomuje.

V současné době se dostal do povědomí lidí novodobý termín Průmysl 4.0. Pod tímto termínem si lze představit automatizaci a robotiku využívající například i umělé inteligence především v průmyslech zemědělských, strojírenských, lékařských, ale i dalších odvětvích. Současný trend je i nadále založen na principu nahrazení lidské činnosti s co možná nejpreciznějšími možnými výsledky, které mnohonásobně přesahují samotnou lidskou činnost. Jedná se o technologie, které dokáží zefektivnit, případně zdokonalit procesy, které mohou v konečném důsledku zkrátit dobu práce a zefektivnit výrobu formou aplikace více pracovních úkonů v jeden okamžik. Tím lze docílit rovněž snížení nákladů v podobě energií pro dané stroje nezbytných (pohonné hmoty, elektrická energie).

V případě různých aplikačních úloh např. v zemědělství je důležité, aby zařízení, která jsou využívána pro práci na polích, ale i v prostorách farem potažmo dojíren, plnila své úkony co možná nejprecizněji, a to za předpokladu dlouhodobé činnosti bez případných závad. V takovémto případě je daleko výhodnější, je-li to možné, využívat různých senzorů atp. namísto mechanických součástí, které jsou daleko více náchylné na mechanická opotřebení.

Jedním z příkladů může být dojení mléka. Doba, kdy bylo dojení mléka pouze otázkou lidské zručnosti, je dávno pryč. V současné době se můžeme setkat s celou řadou zařízení, která zastoupila lidskou práci pro tuto velmi náročnou činnost. Nutno však podotknout, že plně automatizovaný proces dojení mléka tj. od přivedení dojnice, podojení a následného vypuštění zpět do prostor potřebných k odpočinku a krmení, není stále standardem. Jedna z činností, která své zastoupení při získávání mléka již většinou má, je dojení s následným vážením mléka. V případě farem čítajících stovky dojnic je nemyšlitelné, aby tyto úkony prováděli samotní zaměstnanci.

Dříve, ale i v současnosti je k úkonu zjišťování hmotnosti nadojeného mléka využíváno mechanických přístrojů. V posledních letech se lze ovšem setkat také s přístroji, které jsou založeny na principu optickém. Vše je pouze otázkou lidských představ a možností, které jsou posléze zhmotněny ve výsledný technologický pokrok.

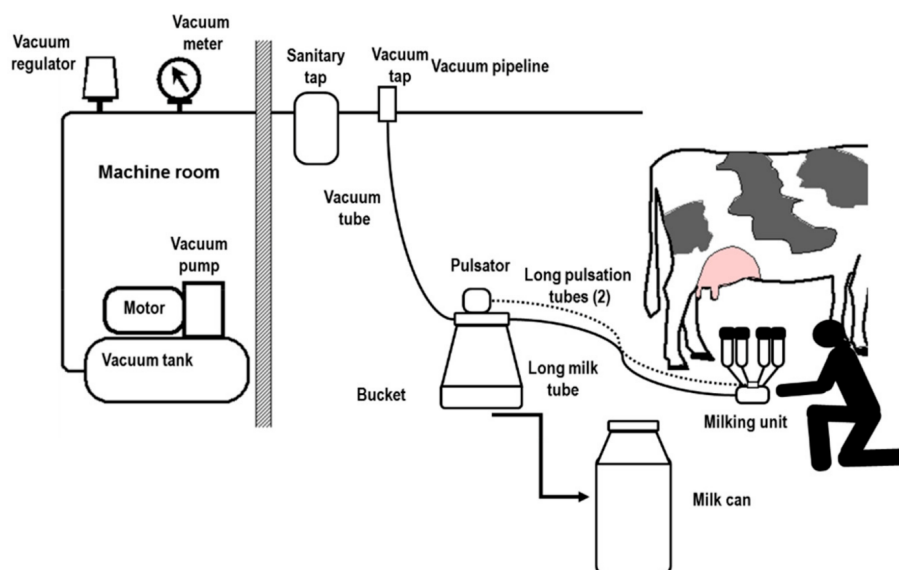
1 Dojení mléka

Je obecně známo, že dojení krav a dalších druhů hospodářských zvířat je velmi složitým úkolem, který spojuje fyzickou činnost v podobě ošetřování struků před dojením a ovládním dojící jednotky spolu s různými biologickými aspekty zahrnujícími sekreci mléka a stimulaci vemene k odstříkání prvních stříků mléka z každé jednotlivé čtvrti mléka dojeného. Z důvodu vynakládání značné fyzické námahy pracovníků v rámci ručního dojení bylo nasnadě hledat technická řešení, jak nahradit tuto aktivitu jedné z nejnáročnějších operací při dojení.

K předložení prvních návrhů pro mechanické dojení došlo již před více než sto lety. Trvalo téměř 50 let, než se dojící stroj stal běžnou instalací na farmách produkujících mléko alespoň v některých částech světa. Všechny podrobnosti o interakci tohoto zařízení se zvířaty určenými k dojení nicméně nejsou známy (Ordolff, 2001).

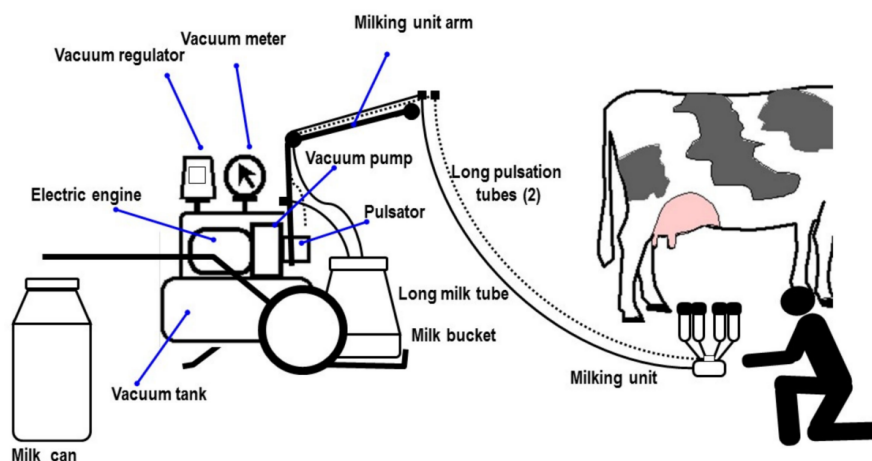
V současné době volí chovatelé mléčného skotu počet skupin pro dojení v závislosti na několika faktorech. Těmito faktory mohou být velikost stáda, typ stání a systému dojení v dojárnách. V těchto prostorech se mohou vyskytovat různé typy systémů pro dojení mléka v závislosti na celkové velikosti chovu. Může se tedy jednat například o systémy dojení do konve nebo mobilní konvového dojení. Dále jsou využívány k dojení systémy dojíren typu tandemová, paralelní, rybinová a další. Tyto dojírenské linky jsou využívány v závislosti na jednotlivých aspektech daného provozu, jelikož určují počet dojených kusů za hodinu (Calvo a Airoidi, 2020).

U konvových systémů jsou mobilní jednotka a podtlakový systém umístěny ve zvláštní místnosti v blízkosti stáje. Mobilní dojící konve jsou připojeny k vakuovému potrubí a obsluha v nich musí mléko přenést do přepravní velkoobjemové nádrže. Následně dochází k přemístění ze stáje. Systém konvového dojení je znázorněn na obrázku 1.1 (Calvo a Airoidi, 2020).



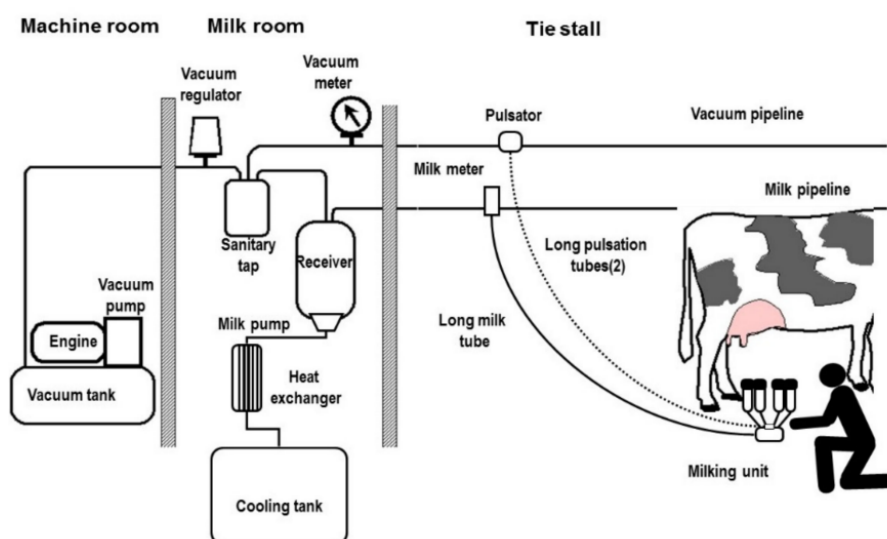
Obrázek 1.1: Schéma konvového dojícího systému

V případě mobilního konvového dojení se jedná o systémy zahrnující komponenty tvořící podtlakový a mléčný systém, který je umístěn na mobilním rámu. Tato sestava je přepravována uvnitř stáje. Její schéma je znázorněno na obrázku 1.2. Na vozíku je umístěna jedna nebo maximálně dvě dojící jednotky, které řídí jeden operátor. Se dvěma dojícími jednotkami může operaci dojení současně provádět stejný operátor na dvou dojnicích. Musí ale počkat na ukončení toku mléka (Calvo a Airoidi, 2020).



Obrázek 1.2: Schéma mobilního konvového dojícího systému

U dojírenských linek jsou v blízkosti dojírny dvě místnosti v podobě strojovny a mlékárny. Existují dvě pevné trubky pro mléko a pro podtlak. Dojnice v rámci tohoto systému může čekat na poslední dojící rutinu bez jakéhokoli rizika nadměrného dojení. Na obrázku 1.3 je znázorněno schéma pro tento systém dojení (Bridges et al., 1998).



Obrázek 1.3: Schéma systému dojírenských linek

Mechanické dojení se skládá z logického sledu opakujících se úkonů pro pracovníky dojíren. Tyto úkony jsou vypsány v bodech níže (Bridges et al., 1998). Předposlední bod je realizován pracovníkem dojírní, případně automatickým odpojovačem:

- příchod dojnice,
- příprava vemene,
- hygiena vemen,
- připojení dojicí jednotky,
- dojení mléka,
- čekání na tok mléka,
- odpojení dojicí jednotky
- hygiena vemene.

Hlavním zájmem mechanického dojení bylo zpočátku zvýšit efektivitu procesu dojení spolu se zlepšením kvality a kvantity dojeného mléka (Armstrong a Quick, 1986b; Bickert et al., 1974; Blake a McDaniel, 1978). Od sedmdesátých let dvacátého století proto probíhaly počítačem podporované simulační modely výkonnosti dojírní. Ty se zaměřovali především na zlepšení kapacity dojení a pracovní výkonnosti (Bickert et al., 1972; Micke a Appleman, 1973; Price et al., 1972a). Důvodem tohoto kroku bylo zejména snížení každodenní rutinní práce a souvisejících nákladů na dojení (Thomas et al., 1997a; Wagner et al., 2001). V následujících letech se výzkumníci se svými studii mechanizovaných dojicích systémů zaměřili na lepší pracovní podmínky operátorů a welfare zvířat s ohledem na dopady procesů dojicích úkonů (Baines et al., 2010; Blowey et al., 2010; Smith et al., 1998). Některé studie například zjistily, že optimální doba pro nasazení strukových násadců měla přínosy pro stav struků i pro vyšší dojivost (Hamann et al., 1992; Reneau et al., 1994).

Novější studie si posléze kladly za cíl především optimalizovat dojírny (Bridges et al., 1998; Nitzan et al., 2006a) ve snaze pomoci farmářům při co nejúčinnějším návrhu dojení (Hatem et al., 2009) a řízení (Armstrong et al., 2001; Herd a Seufert, 2007; Smith et al., 1997). Pro mléčnou farmu je totiž dojicí centrum nejnákladnější položkou (Smith et al., 1997).

S velikostí stáda a typem stání musí chovatel zvolit adekvátní systém dojení (Smith et al., 1998). V souladu s tím je nutné i pořízení určitého počtu dojicích jednotek a zajištění pracovní síly. Hlavní aspekt, který je nutné brát v potaz pro správné rozhodnutí, je pracovní postup dojení. Čas, který proběhne u úkonů předcházejících a následujících po dojení, je zásadní pro určení počtu dojicích stanovišť a jednotek. Ty může obsluha zvládnout v časovém rámci operace. Rutina dojení definuje, jak jeden nebo více operátorů provádí postup mechanického dojení u většího počtu dojnic. Předběžné znalosti o využití času na přípravu a dokončení dojení určuje počet dojnic, které lze podojit za hodinu. Jedná se tedy o předpoklad pro vyhodnocení volby dojicích zařízení (Armstrong a Quick, 1986a; Kingwill et al., 1979).

Řadou autorů jsou hodnoceny efektivní procesy dojení za pomoci optimalizace dojicích rutiny. U některých z těchto autorů dochází k aplikování daných výsledků převážně na dojírny paralelní, rotační a rybinové (Edwards et al., 2013; Micke a Appleman, 1973; Nitzan et al., 2006b; Price et al., 1972b; Thomas et al., 1997b).

Mechanické dojení je po mnoho desetiletí rozšířeno ve všech typech mléčných farem (skot, ovce, kozy, buvoli a další). V současnosti je mechanické dojení běžné i v tradičních malých mléčných farmách, nacházejících se v oblasti středomoří (Doupbrate et al., 2013; Marnet, 2013; Sturaro et al., 2013). Zde jsou někdy k dispozici zastaralé dojicí systémy konvového typu a mobilního konvového dojení. Mezi parametry ovlivňující výběr dojicího systému patří ve velkochovech i malochovech počet krav, kvalifikovaná pracovní síla, časová dostupnost a v neposlední řadě finanční zdroje. To, co na mléčných farmách s počtem dojnic do 100–120 kusů chybí, je indikace pro dimenzování potřebných skupin dojení, ať už je použitý systém pro získávání mléka jakýkoli (Bridges et al., 1998).

1.1 Řízené dojení

Potřeba lidské práce při získávání mléka strojovým dojením byla značně snížena. Rychle však vyšlo najevo, že z důvodu nepravidelných intervalů dojení se obsluha nemohla vždy vrátit včas, aby ukončila dojicí proces jednotlivých krav. To vedlo k nadměrnému dojení. Jednotlivé kusy dojeného skotu tak byly vystaveny vyššímu riziku poškození struků a mastitidy. To platilo především pro země Sovětského svazu a bývalé Německé demokratické republiky (NDR), kde bylo cílem dosáhnout industrializované produkce mléka ve velkých stádech. Z důvodu těchto nedostatků byly poměrně brzy uvedeny do procesu výzkumy zaměřující se na rizika automatizace strojového dojení. První výsledky počátečních výzkumů byly k dispozici již v roce 1955 (Ordolff, 2001).

1.2 Automatické dojicí systémy (AMS)

Detekce ukončeného dojení a automatické sejmutí strukového násadce, byly prvními kroky vedoucími k automatizaci procesu dojení. O novém postupu automatického vypnutí dojicích

jednotky referovali Hoffmann a Wehowsky (2015a). Díky tomu mohlo dojít k zastavení pulzace během klidové fáze a všechny čtyři strukové násadce zůstaly u vemene bez dojení.

Pro detekci úrovně toku mléka $200 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}$, tedy předpokládaného ukončení dojícího procesu, byly vyvinuty různé senzory, založené na optických, kapacitních, indukčních a dalších mechanizmech (Hoffmann a Wehowsky, 2015b).

Zpočátku byl snímač průtoku připojen přímo k relé. Zde plnil funkci ovládání ventilu pro vypínání pulzace. V dalším kroku sloužilo relé k aktivaci zařízení pro stahování nebo odebrání strukových násadců. Prodleva mezi dosažením minima průtoku mléka a inicializační zastavení dojení byla řešena formou vhodné konstrukce výstupu mléka z průtokoměru (Ordolff, 2001).

Tato technologie byla vyvinuta a představena poprvé v NDR. Samotný vývoj byl možný díky existenci velmi úzké spolupráce mezi vědci z Univerzity Karla Marxe v Lipsku a výrobcem dojícího zařízení. V NDR poprvé představilo tento typ zařízení na zemědělské výstavě v roce 1972 několik výrobců (Miele, Alfa-Laval, Big Dutchman, Gascoigne) (Ordolff, 1972). Technický pokrok nejenže zlepšil spolehlivost jednotlivých komponent, ale v některých případech vedl posléze k poměrně sofistikovaným produktům.

Stále se zvyšující nárůst průměrné velikosti stáda spojený s obtížemi přilákat a udržet zaměstnance na farmách, ohrožuje dlouhodobou životaschopnost mlékárenského průmyslu. Tento jev se vyskytuje u většiny regionů produkujících mléko. Výrobci mléčné produkce jsou nuceni hledat řešení tohoto problému. Technologie a automatizace se v tomto případě nabízí jako nejslibnější a nejúčinnější. Technologie může nahradit opakující se úkony, zvýšit přesnost a frekvenci jednotlivých měření nebo umožnit lepší řízení na farmě. V rámci široké škály aktuálně dostupných technologií, je robotické dojení pravděpodobně tím, co by mohlo poskytnout zemědělcům skvělou příležitost ke zvýšení celkové produktivity, ziskovosti a udržitelnosti. Prostřednictvím efektivního využití informací shromážděných jednotlivými senzory, lze dosáhnout lepší kvality práce, welfare a obecného managementu na farmě (Lyons et al., 2022).

Mnoho vysoce užitečných krav vstupuje do dojírny s těžkými vemeny. Pro tyto potřeby se jeví jako velmi žádoucí již zmíněné AMS v rámci zvýšení frekvence dojení a snížení nároků na fyzickou práci obsluhy. V roce 1996 bylo na farmách používáno přibližně 45 zařízení. Jednalo se konkrétně o farmy v Nizozemsku, Belgii, Kanadě, Francii, Německu, Japonsku a Spojeném království. Technická výkonnost se postupně vyvíjela na úroveň, která v současné době umožňuje rutinní provoz bez nutnosti zásahu člověka. Je tomu tak s výjimkou dvou až tří období za den, ve kterých mohou být některé zbývající nedojené krávy podojeny za pomoci člověka (Rossing a Hogewerf, 1997).

Zavedení AMS na počátku 90. let 20. století, nepochybně představovalo velký průlom v technikách chovu dojníc. Úspěch AMS byl dán především lepší kvalitou práce a pracovní úrovní farmářů na mléčných farmách ve srovnání s konvenčními dojícími systémy (CMS) v dojírně (Rotz et al., 2003). V posledních dvou desetiletích se počet farem na světě, které automaticky dojí své dojnice, dramaticky zvýšil. Začátkem 21. století to bylo přibližně 1 250 farem disponujících tímto systémem (De Koning a Van der Vorst, 2002). Jedná se zejména o země v severozápadní Evropě. V Nizozemsku má AMS téměř 2 000 farem (10 %) a tento počet se stále zvyšuje (De Koning, 2010). Na konci roku 2010 již více než 10 000 komerčních farem využívalo k dojení mléka jeden nebo více AMS (De Koning, 2011).

Jedna z charakteristik automatického dojení spočívá v navštěvování dojícího robota dojnící dobrovolně. To vyvolává velké rozdíly ve frekvenci návštěv dojícího robota, i v in-

tervalech dojení. Na produkci mléka a jeho průtok má má vliv nejenom samotná dojnice, ale také intervaly dojení. Tato optimalizace bere v úvahu vliv intervalu dojení na produkci mléka, kapacitu automatického dojicího systému a zdraví vemene (Hogeveen et al., 2001).

Je zřejmé, že při zvýšení frekvence dojení dvakrát až třikrát denně, dochází ke zlepšení zdravotního stavu vemene. V řadě studií bylo pozorováno snížení počtu somatických buněk (SCC) (Allen et al., 1986; Hogeveen et al., 2000; Klei et al., 1997). S tímto faktem souvisí i skutečnost, že byla klinická mastitída pozorována v nižším rozsahu u dojnic dojených vícekrát denně v porovnání s dojnicemi dojenými pouze dvakrát (Hillerton, 1991). V testu však nebylo detekováno výrazné zlepšení zdraví vemene v důsledku frekvence dojení. Toto zjištění poukazuje na fakt, že vyšší frekvence dojení nezaručuje vždy příznivé účinky Waterman et al. (1983)..

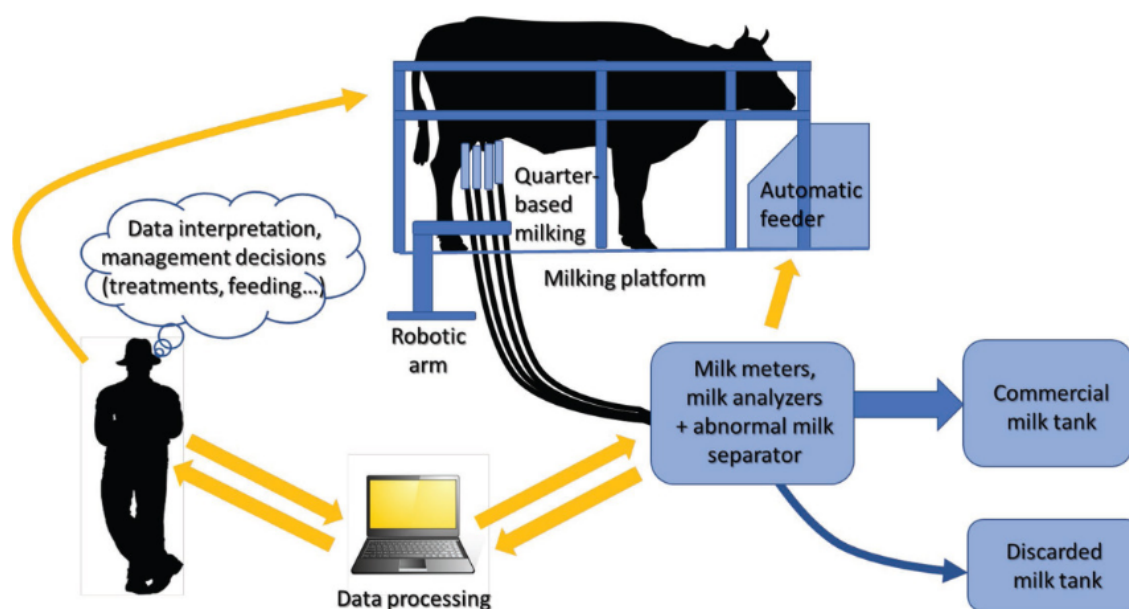
Ačkoli zvýšení frekvence dojení z třikrát namísto dvakrát denně zvyšuje celkový nádoj, je z důvodu nedostatečného množství pracovníků v konvenčních systémech zpravidla omezena. Vlivem zavedení systémů AMS již není proces dojení závislý na dostupné pracovní síle (Rossing et al., 1997). Zdá se, že zavedení AMS nemá žádný významný příznivý účinek na snížení hodnoty somatických buněk. V kontrolním experimentu bylo zjištěno pouze nepatrné snížení somatických buněk u skupiny krav dojených automaticky (Ipema et al., 1996).

Díky změně z konvenčních systémů dojení na automatické jsou vyžadovány nové přístupy k řízení (Svennersten-Sjaunja a Pettersson, 2008) a s nimi odpovídající změny pracovních úkonů. Dojení pomocí AMS vede sice k eliminaci pracovních úloh v procesu dojení. Současně s tím ale dochází k zavedení pracovních úkonů nových v podobě kontroly a údržby AMS. Je nutné věnovat pozornost dvakrát až třikrát denně kontrole detekčních seznamů. V případě, že dojnice překročí stanovený denní interval pro dojení, je nutné ji odvézt. To je však bez vizuální kontroly jen těžko splnitelné. Zemědělci, kteří přijali volbu AMS nyní potřebují čas na přechod v rámci nových pracovních úloh. Očekává se, že k samotným úsporám začne docházet až po určitém období adaptace dojíren na tento typ systému. V současné době probíhá fáze studování. U farem s AMS byly zjištěny vyšší kapitálové náklady. Důvodem jsou odpisy a vyšší náklady na údržbu. To naznačuje minimálně v krátkodobém časovém horizontu snížení ekonomické efektivity při využívání AMS(Bijl et al., 2007).

V rámci nahrazení práce na farmách byl očekáván odlišný poměr mezi kapitálovým výnos ta danou prací při porovnávání AMS a CMS, spolu s technickou efektivitou. Ale- spoň tedy v období přeučování na modernizovaný typ. Předchozí výzkumy nezjistily, zda dosavadní zkušenosti s přijetím AMS vedly k nahrazení práce zaměstnanci. Ačkoli technologická efektivita mléčných farem byla již dříve měřena (Bravo-Ureta et al., 2007; Lansink et al., 2002; Stokes et al., 2007), nebyl kladen důraz na zjišťování rozdílů mezi těmito mlékárenskými provozy (Steenefeld et al., 2012).

Od doby, kdy byly vyvinuty první prototypy, začal průmysl investovat do zlepšení účinnosti zařízení AMS. V současné době se lze setkat s plně automatizovaným řešením správy. Předpokladem však bylo překonat různá kritická úskalí při zavádění elektronických senzorů, laserů a záznamníků dat. Dojnice jsou jednotlivě dojeny v boxech. Tam vstupují bez nátlaku, který jim v dřívějších dobách způsoboval stres. Lákány do těchto boxů jsou za využití krmných doplňků (Jacobs a Siegford, 2012). Robotická ramena jsou schopna vykonávat kompletní škálu přípravných operací (čištění, dezinfekce a stimulace vemene a struků). Na základě identifikačního štítku krávy dochází k přizpůsobení podmínek dojení robotem. V rámci nových systémů jsou zohledňovány i morfologické vlastnosti vemene

(výška, velikost, tvar struku a jejich úhel) a interval od předchozího dojení. Rovněž je brán v potaz zdravotní stav dojnice (Hogenboom et al., 2019). Konceptní systém AMS je znázorněna na obrázku 1.4 (Hogenboom et al., 2019).



Obrázek 1.4: *Koncepte systému automatizovaného dojení*

V roce 2017 bylo odhadnuto, že celosvětová instalace AMS činila přibližně 38 000 jednotek (Sandgren a Emanuelson, 2017), přičemž největší zastoupení měl tento systém právě v Evropě (Barkema et al., 2015).

2 Zjišťování hmotnosti dojeného mléka

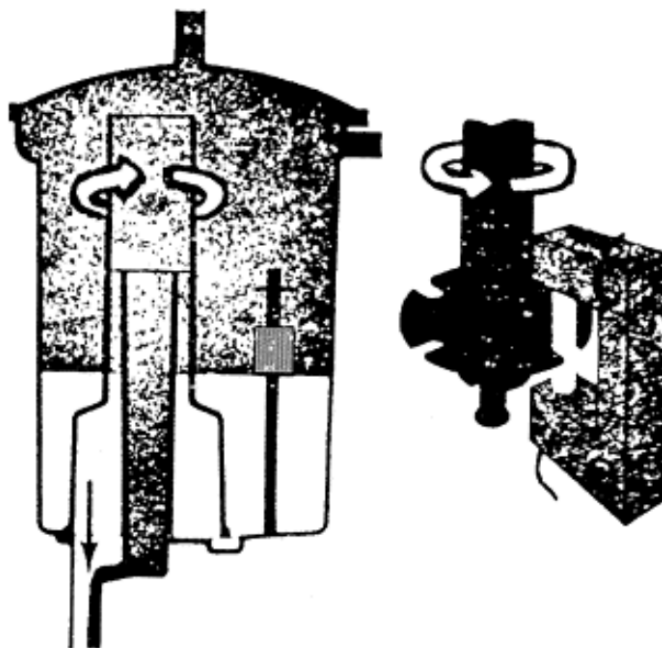
Zavedení dojicích systémů využívajících potrubí zapříčinilo problémy s konvenčními postupy pro evidenci mléka, např. vážením množství mléka přijatého do konve. Aby se zamezilo občasným kontrolám dojivosti jednotlivých dojnic, došlo v dojárnách k instalaci záznamové nádoby, kde docházelo k odečítání skutečného nádoje při každém dojení ze stupnice. K výměně konve zde posloužily mobilní přístroje. Byly vybaveny zařízením pro odebírání poměrné části z celkové dojivosti do přijímací nádoby se stupnicí na odečítání získaného množství mléka. Velká nevýhoda tohoto typu dávkovacích zařízení spočívala v nutnosti ručního odběru vzorků pro analýzu mléka. To bylo navíc možné provést až po důkladném promíchání mléka v nádobě. Pro shromáždění celkového výnosu dojnice to bylo velmi důležité. Vyprazdňování nádob výlučně v dojárnách zabíralo nezanedbatelné množství času. V roce 1980 bylo již známo několik elektronických zařízení pro odečítání množství mléka v záznamové nádobě. Ty byly založeny na principu detekce hladiny plováku, případně prostřednictvím optických senzorů a dalších zařízení (Cant, 1980).

Pro překonání diskomfortu se záznamovými nádobami byly vyvinuty měřiče mléka založené na principu kontinuálního měření průtoku. Překlápěcí zařízení, používané pro tento účel, bylo první, které se objevilo v praxi Bothur a Wehowsky (1976).

V prvopočátcích mnoho výrobců prezentovalo měřiče mléka s volumetrickými měřicími systémy. K prvním předloženým patentovaným přihláškám došlo již před více jak sto dvaceti lety (Babson, 1963). Pro správné objemové měření bylo třeba dbát na snížení nebo kompenzaci množství vzduchu vždy obsaženého v mléce, který přicházel z dojicí jednotky. Zpočátku byly objemové měřiče mléka konstruovány pro počítání porcí mléka s konstantním objemem. Pro tento účel měly být odměrné nádoby naplněny mlékem po určité úrovni. Vhodnými detektory hladiny byly plováky a elektrody, které při ponoření v mléce vytvářely nízký proud (Ordolff, 2001).

Směs vzduchu a mléka však komplikovala správnou činnost objemových měřicích zařízení. Proto byly testovány alternativní možnosti, jak tento jev pro zvýšení přesnosti eliminovat. Jeden z prvních mléčných měřičů, schválený nejen Národní asociací pro informace o mléčných stádech (DHIA) v USA, ale také na mezinárodní úrovni v podobě Mezinárodního výboru pro evidenci zvířat ICAR (International Committee for Animal Recordin) a prodáváný ve značném množství i v Evropě, byl vyvinut koncem sedmdesátých let ve Wisconsinu v USA. Tangenciální průchod způsobil oddělení vzduchu od mléka díky proudění ve spirálách dolů po stěně nádoby téměř válcového tvaru. Tento princip je znázorněn na obrázku 2.1 (Ordolff, 2001). Na dně se nacházela kruhová sestava malých nádobek s poměrně širokým průměrem ve spodní části a malým průměrem nahoře. Spodní otvor těchto nádob byl zakryt obvodovým těsněním, které bylo v kontaktu se dnem přijímací nádoby. Tyto nádoby byly poháněny elektromotorem ovládaným plovákem, který plaval ve směsi mléka a vzduchu v přijímací nádobě. V daném bodě rotace mléko proudilo

kanálem ve spodní části přijímací nádoby do dalších nádob a plnilo je až po vnější úroveň, která odpovídala jejich úzké části otvoru. Z tohoto důvodu měla hladina mléka pouze omezený vliv na množství shromážděného mléka. Těsně před dokončením cyklu prošlo mléko z nádoby výstupem do mléčné trubice. Během každého cyklu přístroj odebral definované množství mléka. Celkové množství mléka procházející jednotkou bylo spočítáno polohou magnetických senzorů v nádobce na mléko, a bylo indikováno elektronickým displejem. Samostatný výstup pro vzduch, přicházející s mlékem z dojící jednotky, omezoval ztráty podtlaku u měřiče mléka na přijatelnou míru (Ordolff, 2001).



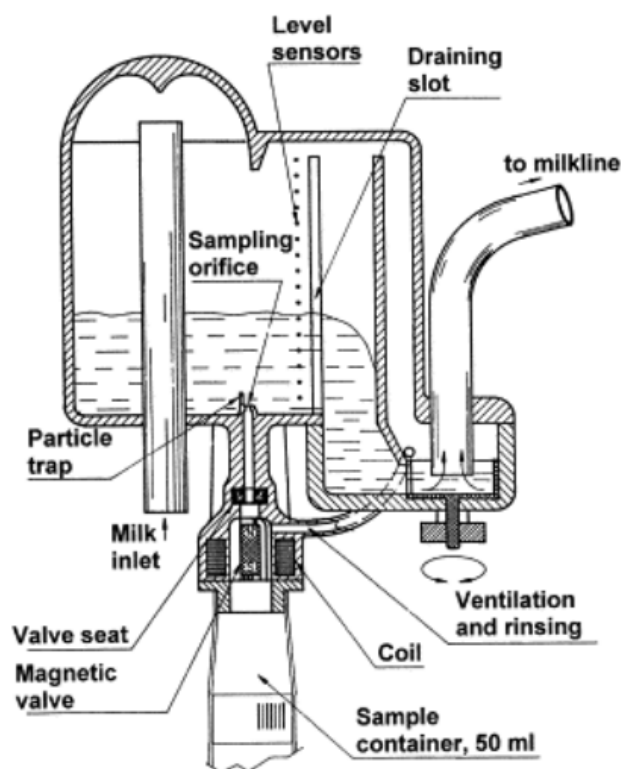
Obrázek 2.1: Měřič dojeného mléka zaznamenávající konstantní objem

Přesnost prvního integrovaného měřiče, který měl být testován pro schválení ke záznamu mléka, zpočátku nebyla uspokojivá. Nějakou dobu trvalo, než se ukázalo, že proudění uvnitř měřiče není lineární. Když byla řídicí jednotka přeprogramována, její funkce už byla správná. Dalším úskalím tohoto zařízení bylo, že náhlé spuštění nebo zastavení toku mléka na zkušebním zařízení poskytovalo nesprávné údaje. Muselo se tedy upravit nejen měřidlo, ale i samotný zkušební postup musel být přizpůsoben novému principu měření.

S pozdějším zvýšením počtu měřičů ke schválení ICAR bylo zjištěno, že všechny principy měření mají tendenci se chovat nelineárně. Zejména se jednalo o situace, kdy měřičem protékalo vysokém množství mléka. Zvyšující se výkon řídicích systémů umožnil linearizovat zařízení s relativně nestabilním fyzikálním chováním. Když se farmářské počítače staly běžnějšími, byly s nimi spojeny i měřiče mléka. Bylo tedy možné kromě pouhého indikování dojivosti a kontroly dojené jednotky vyměňovat data a informovat dojící personál o podrobnostech jednotlivých dojnic za účelem jejich kontroly (Ordolff, 2001).

Stanzel (1977) představil průtokový senzor s kontinuálním měřením průtoku mléka s prstencovými elektrodami. Ve své původní verzi nebyl dostatečně přesný na to, aby mohl být použit jako měřič hmotnosti průtoku mléka, ale nasměřoval jiné řady dojících zařízení pracujících s kontinuálním průtokem mléka. Tento typ zařízení je znázorněn na obrázku 2.2 a popsán Hoefelmayr a Maier (1990). Tento přístroj je vybavena polem asi 60 elektrod

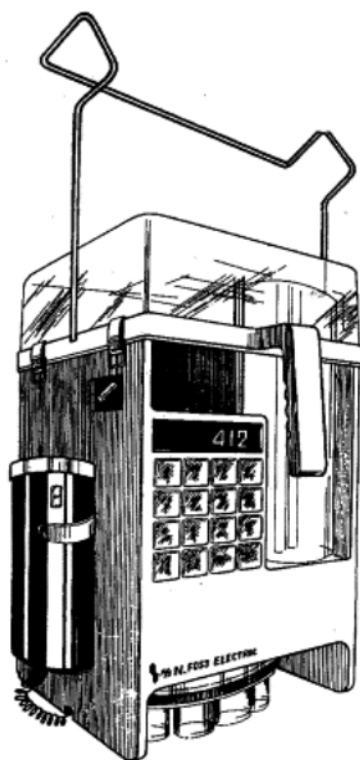
uspořádaných vertikálně pro detekci hladiny. Jejich umístění je v nádobě s omezeným průtokem mléka. Průtok mléka se měřil podle hladiny mléka. I v tomto případě se dojivost vypočítávala integrací průtoku v čase. Bere také v úvahu skutečné složení směsi mléka a vzduchu na každé elektrodě, která je určena elektrickou vodivostí. Pro odběr vzorků pro analýzu mléka je nejprve nutné zadat očekávanou dojivost dojně krávy pomocí klávesnice dojícího přístroje. Řídící jednotka poté otevře vstup do nádoby na vzorky s frekvencí úměrnou průtoku mléka. Na rozdíl od měřičů mléka vyžadujících dvoustupňový odběr vzorků, tento měřič přímo naplní příslušné množství mléka do vzorkovnic, které jsou posléze odeslány do laboratoře k analýze. Výkonný software potřebný k provozu tohoto zařízení pro měření dojeného mléka nabízí některé další možnosti pro sběr dat týkajících se jednotlivých dojnic. Na konci dojení jsou k dispozici informace o vzorcích, toku mléka a elektrické vodivosti od všech dojených kusů. Přístroj je také vybaven čtečkou čárových kódů pro koordinaci identity lahví se vzorky pro jednotlivé dojnice (Ordolff, 2001).



Obrázek 2.2: Měřič dojeného mléka s kontinuálním průtokem

Toto zařízení do jisté míry splňuje požadavky na automatický systém záznamu mléka (AMR), který byl poprvé specifikován v roce 1955 v Dánsku (Anon, 1982). V Nizozemí byl v roce 1979 definován seznam specifikací pro systém AMR. Mezi běžné požadavky, které mají měřiče mléka splňovat, byly požadovány možnosti ukládání a přenosu dat, identifikace lahví se vzorky a jednoduchá a spolehlivá identifikace dojnic. Podobné případy jsou známy i z jiných zemí jako je Francie a Německo. V důsledku toho započal vývoj těchto zařízení výzkumnými a průmyslovými organizacemi. Jedno z nich vzniklo ve Francii jako výsledek spolupráce CEMAGREF (Centre National du Machinisme Agricole, du Genie Rural, des Eaux et des Forêts) v Anthony u Paříže a společnosti Lorraine-Cotibar vyrábějící v té době dojící stroje. Je popsána ve francouzském patentu (Montalescot, 1981).

Nádoj mléka v tomto zařízení byl zaznamenáván objemově konstantními podíly. Detekce hladiny v měřicí komoře byla prováděna opět plováky. Signály byly ze záznamové jednotky odesílány do paměti mikroprocesoru integrovaného v zařízení. Odběr vzorků byl řízen ventilem, který měl pevný podíl z celkového výtěžku tekoucího do primární části nádoby. Po ukončení dojení bylo zde uskladněné mléko promícháno pro rovnoměrný obsah tuku. Následovalo naplnění konstantního množství do lahve pro konečný vzorek. Po skončení dojení byla data shromážděná, zkopírována na disketu a následně odeslána do laboratoře spolu s odpovídajícími vzorky mléka. Ve Francii došlo u některých z těchto prototypů zmíněného zařízení k úspěšnému použití v zemědělských podmínkách. Stejně jako další prototyp systému AMR (viz obrázek 2.3), který ve stejné době představila společnost Foss Electric v Dánsku, i tento přístroj však nebyl nikdy vyroben na průmyslové úrovni (Ordolff, 2001).



Obrázek 2.3: Návrh zařízení pro automatickou evidenci nadojeného mléka

2.1 Kontrola mléčné užitkovosti (KU)

Mezi základní chovatelská opatření patří u krav mléčná kontrola užitkovosti. Tato metoda plní účel pro šlechtitele a chovatele. S ohledem na zvířata se jedná především o práci se stádem, získávání dat v rámci zjišťování plemenných hodnot pro potřeby kontroly dědičnosti a v neposlední řadě slouží tyto kontroly pro selekci zvířat. Jedná se rovněž o zdroj informací, které mohou upozornit na nedostatky managementu v oblastech prevence, výživy a zoohygienu. Výstupy mohou posloužit pro zlepšení jakosti mléka. Jedná se o pokyny, které jsou určovány normami specifikujícími analytickou činnost laboratoří a to

v souladu s mezinárodně platnými postupy pro potřeby rozborů mléka. V roce 2018 došlo ke schválení těchto postupů platnou legislativou ICAR (ČMSCH, 2018).

Česká republika je jednou z členských zemí ICAR. Je tak učiněno prostřednictvím Českomoravské společnosti chovatelů a.s., odpovídající za provádění kontrol užítkovosti pro území České republiky.

KU slouží ke kontrole zjišťování obsahu složek v mléce (bílkoviny, tuky, laktóza, počet somatických buněk a močovina) a jeho samotného množství, které dojnice vyprodukují. Jednotlivé záznamy KU jsou evidovány do předem předčištěných formulářů. Mohou se vézt rovněž prostřednictvím vybraného softwaru v elektronické podobě. Záznamy a výstupy z KU je možno vystavit pouze pověřenou osobou, která je přímo odpovědná za vývoj a správu softwaru (ČMSCH, 2018).

2.2 Měření hmotnosti mléka ICAR

ICAR je nevládní organizace, která poskytuje směrnice, normy a certifikace pro identifikaci, evidenci a hodnocení zvířat. Pracovní skupina pro zaznamenávání mléka dojnic při ICAR je zodpovědná za zajištění toho, aby směrnice ICAR týkající se zaznamenávání mléka dojnic byly aktuální. Dále je zodpovědná za tvorbu nových pokynů v souladu s pokrokem vědeckých poznatků (MRV, 2018).

Měřiče mléka používané na farmách umožňují odvodit objem mléka, užítkovost tuku a bílkovin pro jednotlivý kus dojnice při každém cyklu dojení, ale produkují méně přesná měření oproti měřičům používaným při testování stáda, které jsou k tomuto účelu využívány každá měsíc (Anderson et al., 2017).

2.2.1 Certifikované měřiče mléka

Dojivost je základním pozorováním většiny mléčných experimentů a běžně se určuje pomocí integrovaných měřičů mléka, které měří jeho hmotnost v průběhu dojení. Tyto měřiče jsou často používány v nehostinném prostředí a často nejsou pravidelně kalibrovány. V tomto důsledku chyby kalibrace a mechanické problémy mohou způsobit umělé odchylky v údajích o hmotnosti mléka. (Andreen et al., 2020).

Všechna zařízení certifikovaná ICAR musí být označena štítkem vydaným ICAR, který je neodnímatelný. Tento štítek ICAR (2018) obsahuje:

- jméno výrobce,
- název zařízení,
- rok schválení,
- druhovou identifikaci,
- montážní polohu,
- logo ICAR.

Zařízení určená pro záznam mléka dle ICAR ve verzi od října 2020 má za úkol:

- změřit mléčnou užítkovost pro jedno dojené zvíře,
- poskytnout reprezentativní vzorek tohoto mléka nebo provést vlastní analýzu mléka.

Konstrukčně–kontrolní parametry v rámci měřících přístrojů pro dojené mléko dle ICAR jsou uvedeny v tabulce 2.1 (ICAR, 2020).

Tabulka 2.1: Normy pro dojicí zařízení.

Norma	Určení
ISO 3918	Instalace dojicího stroje – Termíny a definice
ISO 5707	Instalace dojicího stroje – Konstrukce a výkon
ISO 6690	Instalace dojicího stroje – Mechanické zkoušky
ISO 20966	Automatická dojicí zařízení – Požadavky a testování

Specifikace požadavků pro dojicí zařízení skotu jsou uvedeny v tabulce 2.2 (ICAR, 2020).

Tabulka 2.2: Normy pro dojicí zařízení skotu

Požadavky	Hodnoty
Odolnost vůči podtlaku	90 kPa, pro materiály nebezpečné v případě poškození 5 <i>times</i> 90 kPa
Kapacita zařízení pro znám mléka	40 kg
Tolerance chyby pro mléčnou užitkovost	0,5 kg pro 2 – 10 kg, 5 % pro > 10 kg

V případě testování přístroje na přesnost měření průtoku dochází k minimálně třem opakováním, přičemž jsou testovány v případě skotu průtokové rychlosti 1, 2, 3, 6, 9 a 12 kg · min⁻¹. Správná funkce průtokoměru by měla být do 4 kg · min⁻¹. Při vyšších průtocích by neměla být narušena jeho funkčnost. Mezi další testované aspekty u zařízení měřícího hmotnost dojeného mléka dle ICAR (2020) patří:

- vliv úrovně vakua na přesnost a odběr vzorků,
- vliv vypouštění vzduchu,
- vliv naklonění zařízení.

Doposud známé značky přístrojů pro měření hmotnosti dojeného mléka u skotu vedené u ICAR (2018) jako vyhovující těmto požadavkům včetně počtu jejich evidovaných přístrojů jsou uvedeny abecedně v tabulce 2.3.

Tabulka 2.3: Průtokoměry disponující Certifikací ICAR

Počet evidovaných zařízení	Počet evidovaných zařízení
AB Manus 4	Manovac S.L. 1
Afimilk 6	Melotte AG 2
Agro-Vertriebsgesellschaft GmbH 1	Milan GmbH 1
Boumatic 8	Milkiner 2
Crysta Flo 1	Nedap Agri B.V. 1
CrystaFlo+ 1	Nedap Livestock Management 2
Dairymaster 1	Orion Machinery Co. Ltd. 2
Dataflo 1	Panazoo 4
DeLaval 4	Panazoo Italia SrL 3
DeLaval AB 3	Polanes 1
Farmtec a.s 1	S.A. Christensen Co. 5
Fullflow 1	Siliconform GmbH Co 2
Gascoigne Melotte 2	Strangko AS 2
GEA Farm Technologies GmbH 7	Sureflow 1
Graf-Melktechnik 1	Surge [Babson Bros Co.] 1
Greenoak Equipment LTD 2	System Happel 1
Idento 1	Tru-Test Ltd 9
Impulsa 4	Universal Dairy Equipment Inc. 1
InterPuls S.p.A 10	VarioFlow 1
ITEC 3	Waikato Milking Systems 2
Labor-und Messgeräte GmbH 2	WMB AG 2
LM1 Fullwood 1	

3 3D tisk

Trojrozměrný tisk (3D), známý také pod pojmem aditivní výroba, nabízí svobodu designu a možnost vyrábět složité struktury s minimálním odpadem. Tyto výhody přilákaly mnoho výzkumných pracovníků, inženýrů a technologů k vývoji technologií 3D tisku při výrobě rychlého prototypového procesu směrem k funkčnímu objektu (Nugroho et al., 2021; Sangeetha et al., 2022).

Tato technologie, při které dochází k tisknou 3D struktury se v současné době osvědčuje ve výrobním sektoru mnoha průmyslových odvětví (automobilový, letecký, lékařský, šperkařský, stavební atd.). Aditivní výroba je rychle se rozvíjející technologie, která je mimořádně využívána pro hromadnou výrobu produktů s různorodým designem. Aditivní výroba spočívá ve skládání materiálů dohromady do požadovaného tvaru pomocí určitého procesu s vhodným typem materiálu. Vlastnost materiálů použitých pro 3D tisk je velmi závislá na typu a složení materiálu. Různé typy a složení materiálů (kovy, plasty, keramika, beton, biomateriály a tp.) výrazně ovlivňují jejich implementaci v potenciálních aplikacích. Každý konkrétní materiál má svůj vlastní typ vstupních surovin pro efektivní tisk. Běžně používané typy jsou vlákna, prášek nebo pelety. Oblast použití jednotlivých použitých materiálů jsou ovlivněny jejich vlastnostmi (Sangeetha et al., 2022).

V posledním desetiletí dramaticky vzrostla dostupnost 3D tiskáren pro průmyslové využití i širokou veřejnost. Globální tržby, které zahrnují techniku, materiály a služby pro tiskárny běžně spotřebitelského charakteru, vzrostly za poslední tři roky v ročním průměru o více než 33 % na 4,1 miliardy USD (pro rok 2014) (Wohlers, 2016). Významnou hnací silou tohoto růstu je vypršení patentů týkajících se aditivní výroby. To otevřelo cestu mnoha začínajícím společnostem k vývoji nových 3D tiskáren, které prosadily inovativní designové přístupy a zároveň snížily náklady, v některých případech výrazně pod 1 000 USD za tiskárnu v rámci základní úrovně. Nyní existuje více než 300 společností, které prodávají tato relativně levná zařízení (Chuang, 2015; Stansbury a Idacavage, 2016).

3D tisk z materiálů na bázi polymerů má významný dopad na současné výrobní technologie. Výrobky vytištěné 3D tiskem z čistých polymerů však vykazují nedostatečnou pevnost a funkčnost. Roli alternativní v tomto případě hrají polymerní kompozity vyrobené z kombinované matrice a výztuh. Ty díky modifikaci poskytují mnohem lepší strukturální a funkční vlastnosti. Mezi běžné metody 3D tisku polymerů patří Fused Deposition Modeling (FDM), ve volném překladu postupné nanášení vrstev roztaveného materiálu, Stereolitografie (SLA) a selektivní laserové sintrování (SLS).

Mezi nejpoužívanější polymerní kompozity patří kompozity vyztužené částicemi, polymerní kompozity vyztužené vlákny a nanokompozity (Balla et al., 2019). Vyztužení částicemi se provádí za účelem zlepšení požadovaných vlastností polymerní matrice. Částice lze snadno smíchat s požadovanými polymery buď v kapalně, nebo práškové formě. Tisk konstrukčních prvků pro reálné aplikace je využíván pomocí kompozitů vyztužených

částicemi (Singh et al., 2002). Vyztužení vlákný se provádí za účelem zlepšení vlastností polymerní matrice. Použitá výchozí surovina je ve formě pelet. Tyto pelety jsou smíchány s vhodnými vlákny a poté putují do extruderu. Vytlačovací stroj vyrobí vlákno, z něhož se dále tvoří 3D objekty. Uhlíkové nanotrubičky, keramika, kovové nanočástice a grafit jsou běžné nanomateriály, které vykazují jedinečné elektrické, mechanické a tepelné vlastnosti. Vyztužení těchto polymerních materiálů usnadňuje výrobu vysoce výkonných funkčních kompozitů (Sangeetha et al., 2022).

3.1 Materiály pro 3D tisk v potravinářství

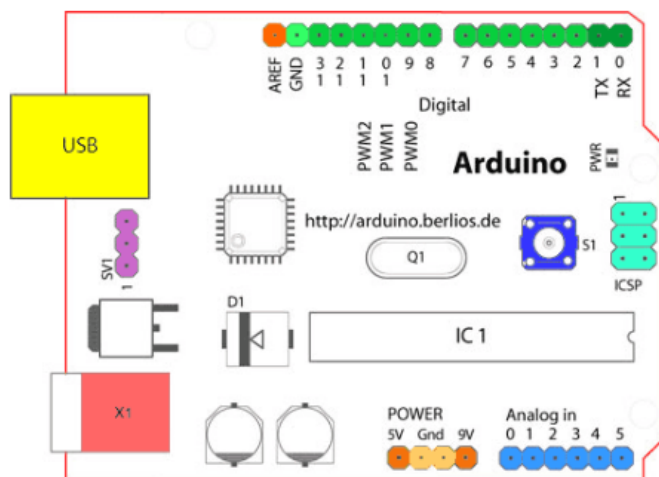
Materiály typu PETG, a někdy i PLA, jsou ve 3D tiskařské komunitě vyzdvihovány díky své chemické neutralitě a jsou v podstatě bezpečné pro potraviny. Plastové láhve na vodu, nádoby na potraviny a salátové boxy jsou vyrobeny z polyethylentereftalátu (PET), blízkého PETG. Komplikace u všech 3D tištěných objektů obecně spočívají v procesu výroby založeném na principu nanášení jednotlivých vrstev. Drážky které jsou utvářeny mezi těmito vrstvami jsou ideálním prostředím pro bakterie, protože je téměř nemožné je adekvátně vyčistit a zároveň v sobě drží další usazeniny různého charakteru. Dalším úskalím v této problematice jsou barevné pigmenty a neznámé přísady, které nemusí být pro lidský organismus tak neutrální, jako tomu je u čistého polymeru. Nejlepší volbou v této problematice je PET-G filament bez jakékoliv barvy. I v takovém případě je ale obtížné přesně definovat jeho složení. Některá vlákna jsou schválena Úřadem pro kontrolu potravin a léčiv v souladu s potravinářským Nařízením Komise (EU) č. 10/2011. Nařízením Komise (EU) č. 10/2011 stanovilo bezpečnostní požadavky na plastové materiály a předměty určené pro styk s potravinami. Jedná se o zvláštní opatření pro plastové materiály přicházející do styku s potravinami, jak je uvedeno v Nařízením Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1935/2004 (IntertekGroup, 2011; PrusaResearch, 2022c).

PET/PETG filament je svým složením podobný materiálu používanému k výrobě PET lahví a je tudíž recyklovatelný. Jedná se o pružný materiál s dobrou odolností vůči kyselinám, rozpouštědlům a teplem, který je vhodný především pro tisk mechanických částí. Díky svým vlastnostem je příznivou volbou v případě tisku velkých objektů a je možné jej používat v interiéru i v exteriéru. Jde o netoxický a zdravotně nezávadný materiál, který se běžně využívá například v potravinářském průmyslu (PrusaResearch, 2022c).

4 Arduino UNO

Arduino je fyzická programovatelná deska k níž lze připojit širokou škálu senzorů. Ve srovnání s jinými typy architektury regulátorů vycházejí hardwarové komponenty od Arduina podstatně levněji. Samotný programovací jazyk není obtížný (Kaswan et al., 2020).

Arduino UNO je běžně používaná programovatelná deska, která je také známá jako klasické Arduino. Tato deska disponuje čtrnácti digitálními I/O piny, z nichž 6 pinů lze použít jako PWM (Pulse Width Modulation), 6 plní funkci analogových vstupů, dále obsahuje resetovací tlačítko, napájecí jack, USB (Universal Serial Bus) připojení, obvodový sériový programátor, napájecí a zemnicí kolíky a další. Tato deska dále může přijímat a odesílat informace přes internet. Její schématické zobrazení je znázorněno na obrázku 2.1 (Arduino, 2022; Louis, 2018).



Obrázek 4.1: Schématické zobrazení Arduina UNO

Desky Arduino dnes hrají velmi důležitou roli v mnoha vědních oblastech, mezi které lze zařadit biochemii (Gallego et al., 2016), fyziku (Poh et al., 2021) zemědělství (Amu et al., 2019) a další.

Velice populárním prvkem se Arduino rovněž stalo v případě chytrých domácností. Obsahuje vše potřebné pro podporu různých mikrokontrolérů, a proto je sníženo možné řídit široké spektrum systémů, jako jsou pohybové, teplotní a další senzory, přes které lze ovládat mnoho věcí v domácnosti (světla, ventilátory, garážová vrata a tp.) (David et al., 2015).

5 Metodika a cíle práce

Cílem diplomové práce byla **optimalizace modelu hmotnostního průtokoměru** vzniklého v rámci řešení projektu na Katedře techniky a kybernetiky Fakulty zemědělské a technologické na Jihočeské univerzitě v Českých Budějovicích. Důvodem bylo vyřešit jeho konstrukční nedostatky omezující stabilní funkci. Následovalo navržení řešení sběru a vyhodnocování naměřených dat za pomoci vybraného softwaru.

K dosažení cíle práce bylo nutné splnit několik dílčích cílů. Tyto dílčí cíle pro řešení dané problematiky v rámci praktické části jsou uvedeny pod jednotlivými body následovně:

1. analýza nedostatků předchozího průtokoměru,
2. navržení konceptu nového hmotnostního průtokoměru pro vyřešení nedostatků,
3. namodelování nových součástí ve vybraném CAD programu,
4. ověření správného vytvoření všech součástí průtokoměru za pomoci vytvoření sestavy ve vybraném CAD programu,
5. výroba nových součástí hmotnostního průtokoměru pomocí 3D tisku,
6. sestavení a ověření eliminace dřívějších nedostatků průtokoměru,
7. návrh sběru a vyhodnocení dat z hmotnostního průtokoměru.

6 Optimalizace hmotnostního průtokoměru

V průběhu testování předchozího průtokoměru v Uhelné Příbrami po dobu pěti dní a následném testování v prostorách laboratoře Fakulty zemědělské a technologické Jihočeské Univerzity v Českých Budějovicích byly analyzovány velké konstrukční nedostatky modelu vyžadující jejich řešení. Muselo tedy být přistoupeno k úpravám jednotlivých částí.

6.1 Modelování nových komponent

Pro optimalizaci vlastní konstrukce hmotnostního průtokoměru bylo využito programu SolidWorks / Student Edition 2021–2022. V programu proběhlo namodelování sedmi hlavních komponent průtokoměru, mezi které patří:

1. horní víko s dávkovačem,
2. plášť,
3. spodní víko,
4. dvě těsnění mezi horním víkem, pláštěm a spodním víkem,
5. spojka držáku tenzometrického snímače a nádobky,
6. nádobka.

Další komponentou, která byla namodelována je samotný tenzometrický snímač. Svou funkci zde plnil pouze pro vytvoření kompletní sestavy v programu SolidWorks, aby bylo možné ověřit správnost sesazení a pozice všech potřebných komponent průtokoměru. Samotný snímač jakožto pomocný prvek pro sestavu do výkresové dokumentace zařazen nebyl. Dále byl namodelován upínací mechanismus pro ukotvení průtokoměru. Tento prvek rovněž není uveden v projektové dokumentaci. Jeho tvar bude nutné vždy modifikovat dle možností ukotvení ve vybraném prostředí.

V programu SolidWorks byla vytvořena výkresové dokumentace. Ta zahrnuje prvních sedm výše zmíněných komponent a je součástí příloh práce. Popis řešení modifikace nových komponent a jejich odůvodnění je popsán níže.

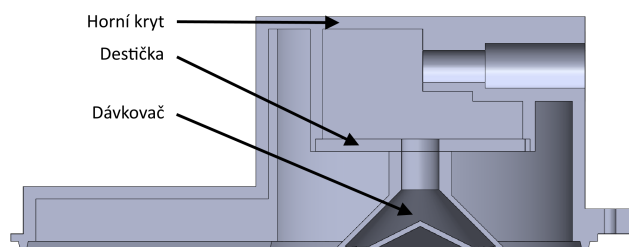
Vnější obal průtokoměru je tvořen horním víkem disponujícím dávkovačem, pláštěm a spodním víkem. Mezi těmito součástmi se nachází vždy těsnění. Design těchto částí byl uzpůsoben pro lepší manipulaci a instalaci pro potřeby měření na různých typech míst. Ve vnitřním prostoru tohoto obalu se nachází nádobka, spojka nádobky s tenzometrickým snímačem a samotný snímač.

6.1.1 Horní víko

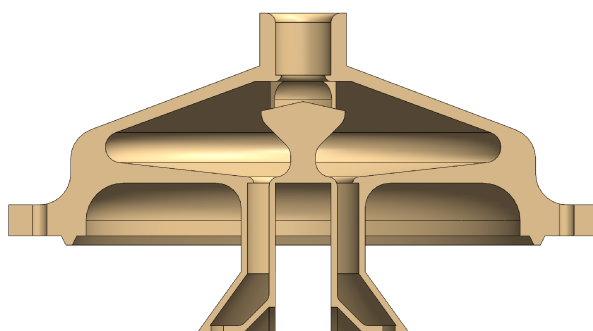
Příčina optimalizace

Samotná koncepce první z uvedených komponent byla modifikována především kvůli pozici snímače pro zajištění minimalizace jeho kontaktu s kapalinami (mléko, voda, sanitální roztok). Původní model horní části průtokoměru byl tvořen třemi částmi (horní kryt, destička a trychtýř). Tyto tři díly byly k sobě uchyceny pomocí tavné pistole se silikonovými lepícími tyčinkami značky Pattex. Při delší době simulování podmínek v dojárně však došlo k uvolnění destičky s dávkovačem a mléko zahltilo vnitřní prostor nádoby. Mléko a ostatní sanitální prostředky by se tak mohli při reálném dojení dostat do kontaktu se snímačem. Byla by tak ovlivněna funkce průtokoměru a dále by byly ohroženy hygienické podmínky s ohledem na distribuci dojeného mléka.

Optimalizace horního krytu tedy spočívala v návrhu krytu, který disponuje všemi třemi komponentami tvořícími jeden celek. Nehrozí tak oddělení jednotlivých částí. Samotná pozice snímače je v porovnání s předchozím modelem rovněž odlišná. V případě pouhého spojení tří částí v jeden celek u starého průtokoměru by vyžadovalo využití rozpustných podpor, proto byl celý model přepracován. Na obrázcích 6.1 a 6.2 je možné porovnat úpravy horního krytu.

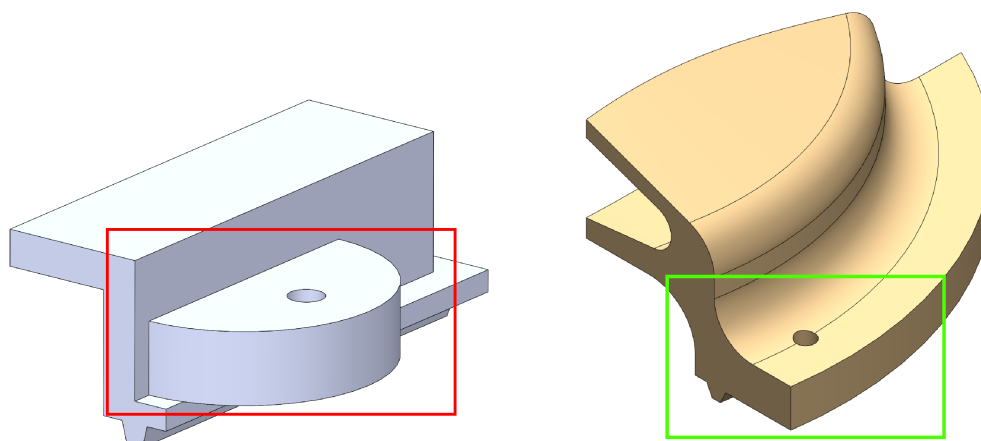


Obrázek 6.1: Původní horní víko hmotnostního průtokoměru tvořené třemi díly



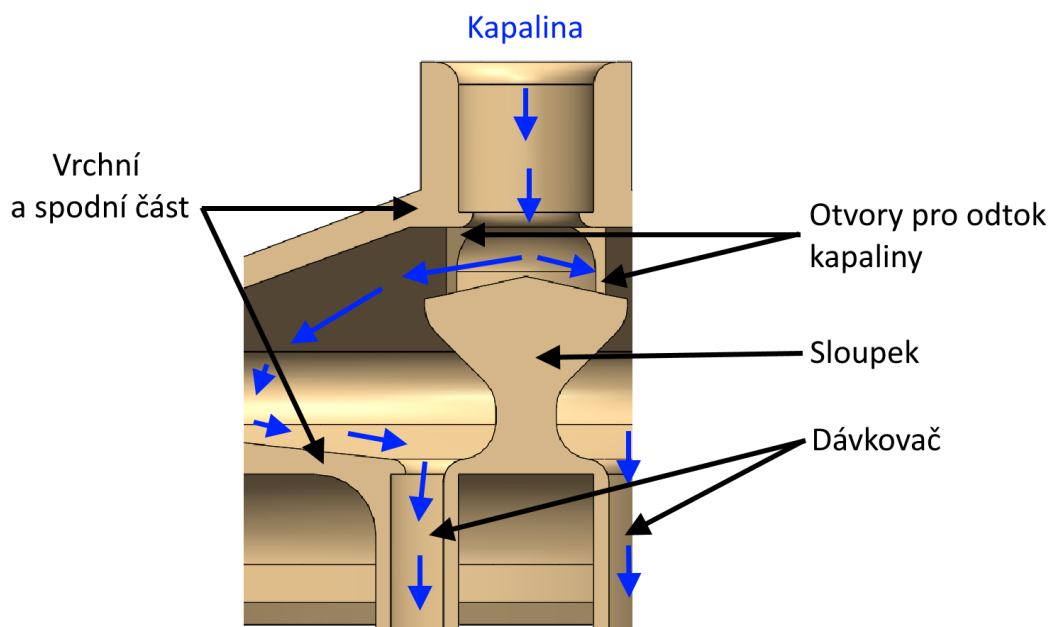
Obrázek 6.2: Nové horní víko tvořeno všemi třemi komponentami jako jeden celek

Pro spojování horního víka se spodní částí sloužily u starého průtokoměru výstupky s otvory pro sešroubování. Tyto výstupky však při vyvinutí vyšší síly při spojování měly tendenci praskat. V optimalizovaném modelu jsou výstupky nahrazeny a otvory jsou řešeny v rámci vnějšího límce, který je celistvý po celém obvodu horního víka průtokoměru. Optimalizované řešení je vyobrazeno na obrázku 6.3.



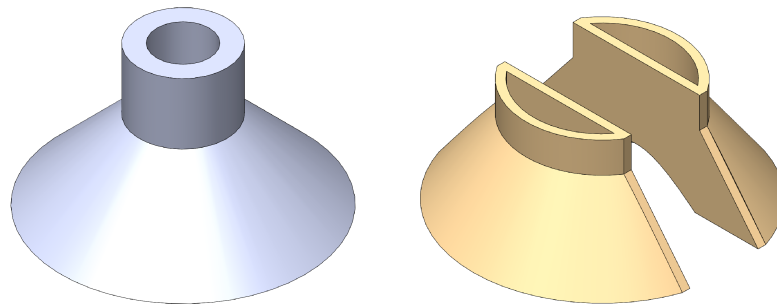
Obrázek 6.3: Řešení upínacího mechanismu horního krytu, vlevo před úpravou, vpravo po úpravě

Aby bylo možné zajistit rozptyl mléka v prostoru první komory před vtokem kapaliny do dávkovače, je v dutině namodelován sloupek po jehož dvou protilehlých stranách jsou vytvořeny otvory, kterými se mléko rozprostírá a směřuje poté do prostoru dávkovače. Prvek také slouží jako spoj mezi vrchní a spodní částí. Zvyšuje se soudržnost těchto dvou ploch a nedochází tak k oddělení spodní části při vyšším tlaku kapaliny. Detail tohoto funkčního prvku je na obrázku 6.4.

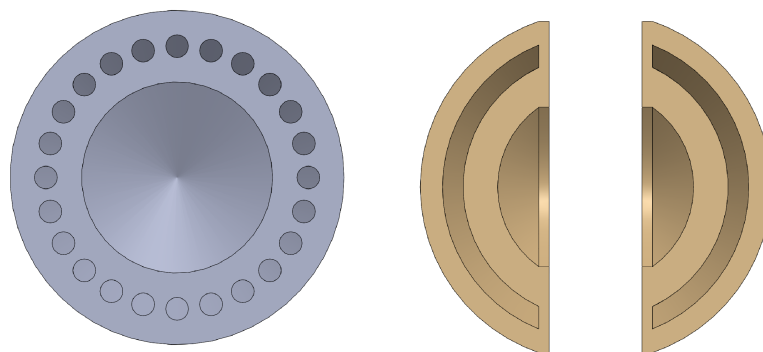


Obrázek 6.4: Grafické znázornění funkce sloupku.

Ve spodní části víka se nachází dávkovač. Ten byl z důvodu odlišné pozice tenzometrického snímače oproti původnímu konceptu rozdělen na dvě poloviny. Další úprava spočívala v odstranění děr pro průtok. Tento prostor je nyní tvořen celistvým otvorem. Nemělo by tak docházet k ucpávání dávkovače nečistotami procházejícími průtokoměrem. Zmínované změny jsou patrné z obrázku 6.5 a 6.6.

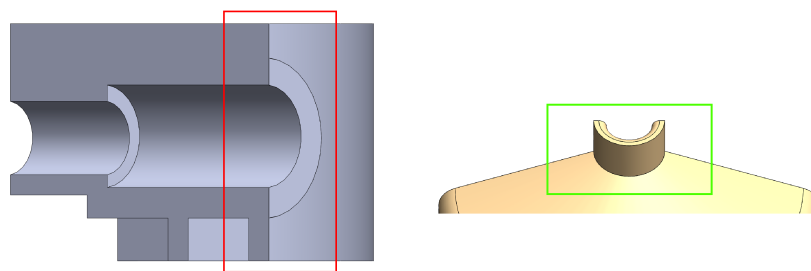


Obrázek 6.5: Optimalizace dávkovače, vlevo starý návrh, vpravo nový návrh



Obrázek 6.6: Úprava spodní části dávkovače, vlevo starý návrh, vpravo nový návrh

Pro spojení hadice s průtokoměrem je využito kovové spojky kulatého průřezu. Její uchycení bylo problematické. Princip je založen na připevnění spojky s horním krytem za pomoci tavné pistole. Jako náplň sloužily již výše zmíněné silikonové lepicí tyčinky značky Pattex. Horní část byla proto zaoblena, aby se silikon lépe dostal do prostoru mezi krytem a kovovou spojkou. Tato úprava je znázorněna na obrázku 6.7.



Obrázek 6.7: Zaoblení prostoru pro upevnění spojky k hadici, vlevo starý návrh, vpravo nový návrh

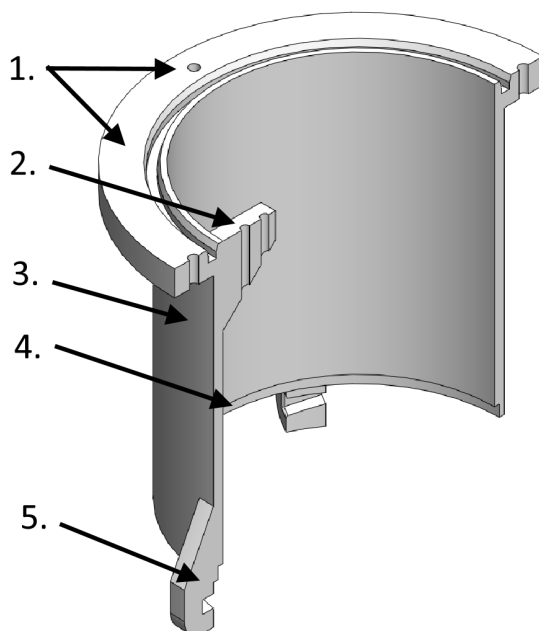
6.1.2 Plášť nádoby

Příčina optimalizace

Tělo nádoby je důležitým prvkem sloužícím pro ukotvení samotného tenzometrického snímače nacházejícího se v jeho horní části. Dříve byl návrh koncipován způsobem, kdy pozice snímače byla mimo dosah dávkovače sloužícího pro průtok mléka do nádoby. Tímto způsobem se mělo zamezit kontaktu mléka a dalších kapalin s tenzometrickým snímačem. Avšak při porušení pevnosti horní části se opakovaně dostali kapaliny do tohoto prostoru. Tento nedostatek byl v rámci optimalizace horního víka vyřešen. Samotná pozice snímače tak mohla být posunuta více ke středu nádoby, aniž by se snímač mohl jakkoli dostat do kontaktu s kapalinou.

Celkový kruhový průměr pláště byl rozšířen, nicméně úprava v důsledku posunu snímače nijak významně nezvětšila celkové rozměry průtokoměru. Vnější obal dále disponuje jednoduchým úchytem, ke kterému lze vytisknout přípravek sloužící pro ukotvení na povrch libovolného tvaru.

Další změnou je uchycení obalu ke spodnímu krytu nádoby. Jedná se o mechanismus, který umožňuje nádobu zkompletovat bez použití materiálu, jak tomu bylo v předchozí verzi v podobě lepících silikonových tyčinek, případně jiných spojovacích metod vyžadujících další spojovací prvky typu šroub a matice. Realizace spoje za pomoci silikonových tyčinek nebyla rovněž dobrým řešením, jelikož se část této spojovací hmoty vždy při lepení dostala i do vnitřních prostor. Tím pádem docházelo ke kontaktu silikonu se sanitacními prostředky. Modifikace tohoto spojení celkově zjednodušila samotnou instalaci a v případě potřeby i demontáž obou částí. Model nového těla průtokoměru je na obrázku 6.8.

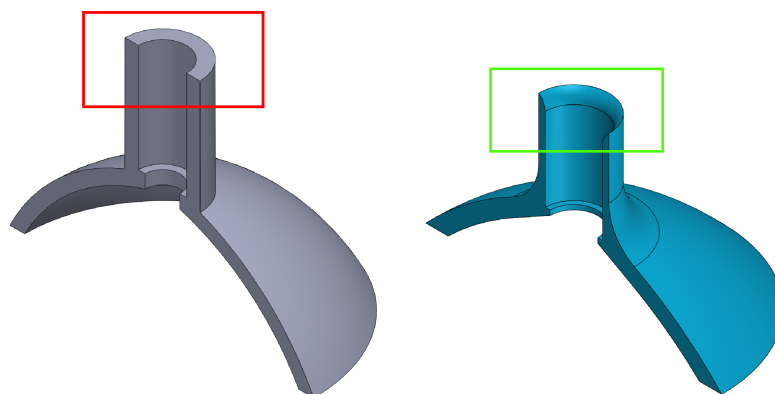


Obrázek 6.8: Plášť nádoby, 1. lúmec po celém obvodu s otvorem pro šroubový spoj, 2. prostor pro upnutí tenzometrického snímače, 3. tělo pláště, 4. prostor zajišťující lepší vedení spodního víka při upnutí, 5. upínací mechanismus spodního víka

6.1.3 Spodní víko

Příčina optimalizace

Spodní víko nádoby muselo být taktéž optimalizováno. V případě první verze byl sklon, který směřoval k výpusti nedostatečný. Při vyšších průtocích nad $12 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ docházelo k zahlcení tohoto prostoru a k nadnášení nádoby. Tento nedostatek byl opraven jednak zvětšením průměru spodního krytu a snížením úhlu sklonu nádoby ve směru průtoku mléka. Jako tomu bylo u horního víka, došlo k zakulacení otvoru pro kovovou spojku na hadici. Porovnání modelů původní nádoby s novou je vyobrazeno na obrázku 6.9.



Obrázek 6.9: Zaoblení prostoru pro upevnění spojky k hadici na spodním víku, vlevo starý návrh, vpravo nový návrh

Vnitřní prostor hmotnostního průtokoměru tvoří tři součásti. První je snímač, druhá je nádobka, kterou protéká kapalina a třetí součástí je spojka mezi snímačem a nádobkou.

Celkový koncept pozice vnitřního uspořádání byl do značné míry ovlivněn rozměry samotného tenzometrického přístroje a možnostmi jeho budoucího ukotvení. V tomto důsledku muselo rovněž dojít i k přepracování způsobu uchycení snímače a nádoby na něm připevněné.

6.1.4 Nádobka

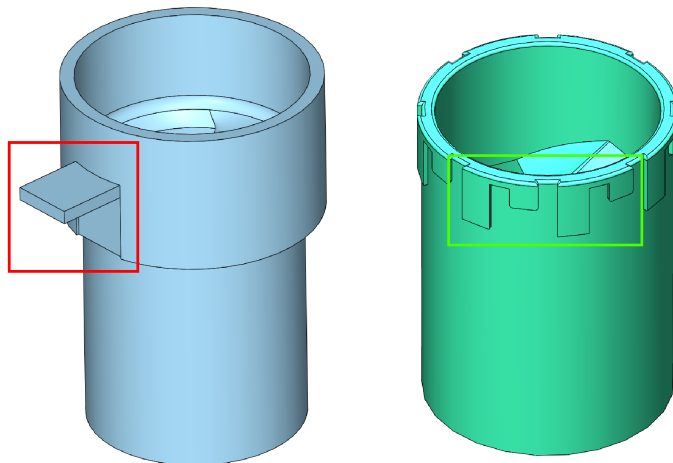
Příčina optimalizace

V důsledku změny pozice tenzometrického snímače ve vnitřním prostoru průtokoměru bylo nutné navrhnout nový způsob ukotvení s nádobkou. V prvotním návrhu byl snímač uchycen na vnějším okraji nádoby. Toto řešení nebylo ideální z důvodu samotného rozložení váhy při průtoku kapaliny nádobkou. Samotná nádobka byla rovněž na tento způsob příliš těžká. Při jednom z prováděných zkoušek průtokoměru dokonce došlo k ulomení upínací plochy nádoby.

Byl zvolen nový způsob upnutí, kdy pozice snímače je nad nádobkou. Tato možnost eliminuje riziko odtržení nádoby a následného kontaktu snímače s kapalinou v důsledku ucpání a nahromadění kapaliny v průtokoměru. Pro tuto potřebu byl navrhnout naprosto odlišný mechanismus upnutí s následnou aretací, a to bez nutnosti použití šroubů, jak tomu bylo v předchozím návrhu. Tímto způsobem je celkově usnadněna i montáž a demontáž

nádobky v případě potřeby. Další změnou bylo zmenšení obvodu horní části a zmenšení délky nádobky.

Nový způsob upnutí je navržen způsobem, kdy kotvící prvky jsou po celém obvodu nádobky. Tento návrh umožňuje rovnoměrné rozložení hmotnosti na celou nádobu bez rizika ulomení upínacích částí. Princip aretace se spojkou je jednoduchý. Jedná se o pohyb nádobky směrem nahoru ke spojkce tak, aby otvory prošly výstupky na spojkce. Poté následuje pootočení nádobkou po směru hodinových ručiček a následném pohybu dolů. Princip ukotvení staré a nové nádobky je vyobrazen na obrázku 6.10.



Obrázek 6.10: Optimalizace ukotvení nádobky, vlevo starý návrh, vpravo nový

6.1.5 Spojka nádobky a snímače

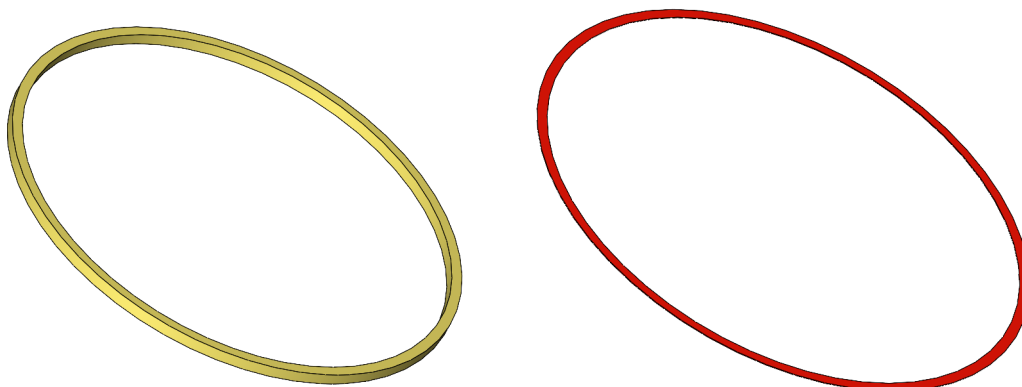
Z důvodu změny vnitřního uspořádání bylo zapotřebí navrhnout způsob jak uchytit snímač a nádobku na protékající kapaliny. Pro tuto potřebu byla nově navržena spojka. Tato součást je zkonstruována tak, aby při přetečení nádobky mohla kapalina odtékat po stranách a zabránilo se tím ke kontaktu snímače s kapalinou. Spodní díl spojky tvoří prstenec s ukotvovacími prvky. Horní díl je navržen pro připojení konce tenzometrického snímače. Model je vyobrazen na obrázku 6.11.



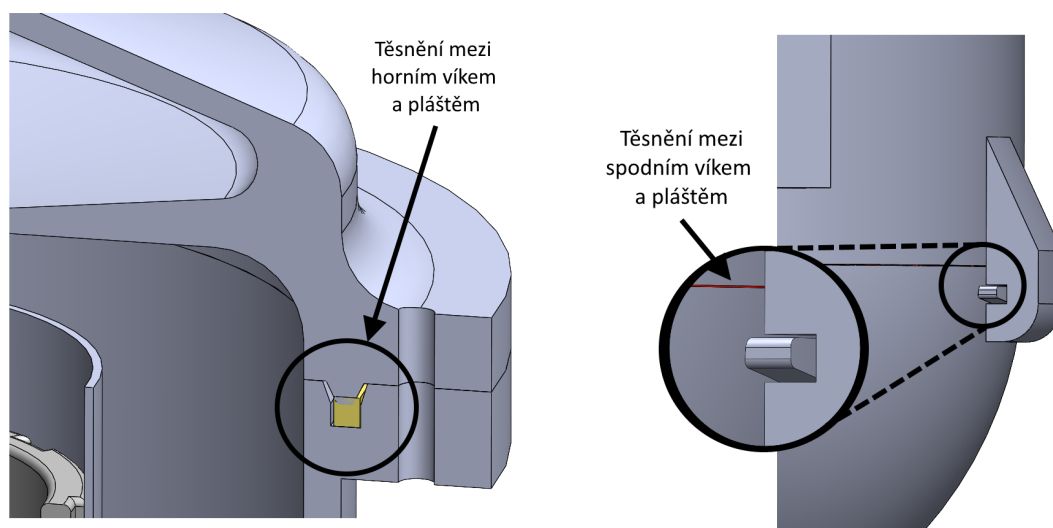
Obrázek 6.11: Spojka nádobky a tenzometrického snímače

6.1.6 Těsnění

Mezi horní víko, plášť a spodní víko bylo nutné namodelovat dvě těsnění sloužící k zabránění přisávání vzduchu. K tomuto přisávání by mohlo docházet v době, kdy dochází k dojení mléka a následné sanitaci. Jednotlivá těsnění kruhovitěho tvaru mají jiné tloušťky a průměry. Jejich vyobrazení je na obrázku 6.12. Zakomponování v rámci sestavy je vyobrazeno na obrázku 6.13.



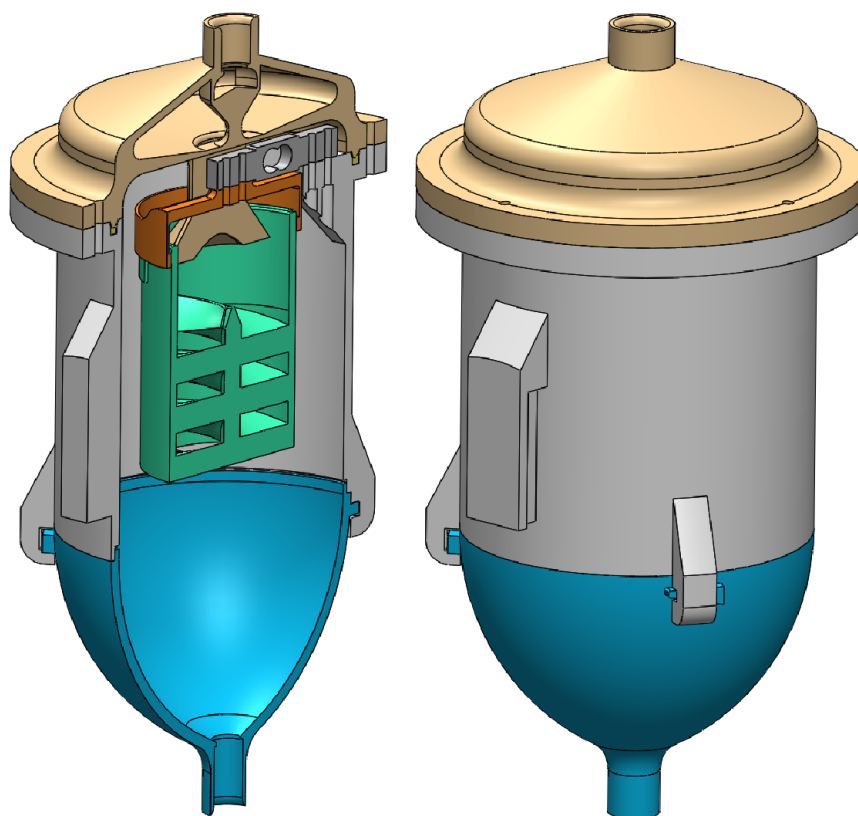
Obrázek 6.12: Namodelovaná těsnění, vlevo pro horní víko a plášť, vpravo pro spodní víko a plášť



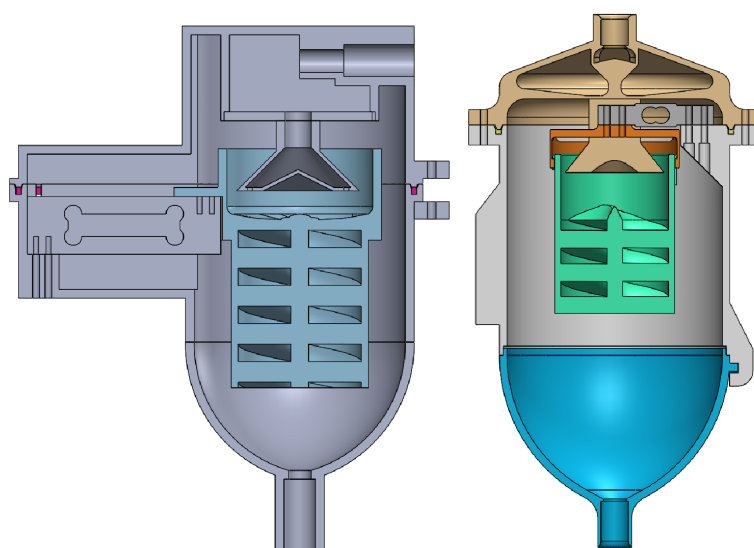
Obrázek 6.13: Těsnění v rámci sestavy

Po namodelování všech potřebných komponent došlo k vytvoření sestavy a ověření správných rozměrů a pozice jednotlivých dílů průtokoměru. Sestava byla vyhodnocena jako správně vytvořená. Tím pádem mohl dojít k následnému tisku jednotlivých dílů. Sestava obsahující všechny komponenty navrženého hmotnostního průtokoměru je na obrázku 6.14. V levé části se jedná o znázornění průtokoměru v řezu. Je zde názorné uspořádání dílů v rámci vnitřního prostoru. Vpravo je vyobrazen vnější obal průtokoměru.

Na obrázku 6.15 je pro možnost porovnání uveden starý a nový koncept hmotnostního průtokoměru. Po zdárném navržení všech výše uvedených konstrukčních změn následovalo vytištění jednotlivých dílů na 3D tiskárně.



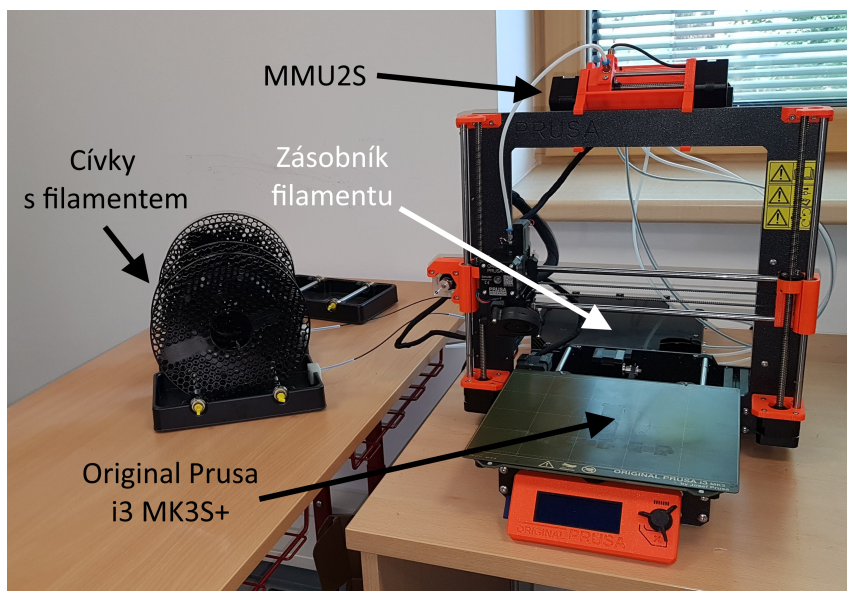
Obrázek 6.14: *Sestava se všemi hlavními díly hmotnostního průtokoměru*



Obrázek 6.15: *Porovnání staré a nové sestavy, vlevo starý koncept, vpravo nový koncept*

6.2 Tisk modelů

Po úspěšném návrhu všech komponent byly díly jednotlivě ve formátu .STL vloženy do softwaru PrusaSlicer 2.4.2. V tomto softwaru byly vygenerovány NC kódy. Následovalo nahrání NC kódů na paměťovou kartu a na základě těchto NC kódů byly komponenty vytištěny na tiskárně Original Prusa i3 MK3S+ s upgradem v podobě MMU2S. Tento typ tiskárny je znázorněn na obrázku 6.16. V tabulce 6.1 (PrusaResearch, 2022c) jsou uvedeny základní technologické parametry tiskárny. Prvotní myšlenkou pro využití této tiskárny s upgradem MMU2S byla možnost jejího nepřetržitého tisku komponent se spotřebou většího množství materiálu za předpokladu, kdy tisk komponent v některých případech trval více než 22 hodin. Tato tiskárna totiž umožňuje zavedení až pěti filamentů. Po vyčerpání první cívky mohlo proto dojít k samočinnému zavedení cívky další.



Obrázek 6.16: Komponenty pro 3D tisk

Tabulka 6.1: Hlavní technické parametry tiskárny Original Prusa i3 MK3S+

Maximální rozměry tisku	250 × 210 × 210 mm
Výška vrstvy	0,05–0,35 mm
Tryska	0,4 mm jako základ, možnost využít i jiné
Průměr filamentu	1,75 mm
Maximální rychlost posuvu	200 mm · s ⁻¹
Maximální teplota trysky	300 °C / 572 °F
Maximální teplota podložky	120 °C / 248 °F
Velikost tiskárny (bez cívky)	50 × 55 × 40 cm (X × Y × Z)

Jako tiskový materiál posloužil PET-G od firmy PrusaResearch pod označením Prusament PETG. Materiál byl barevného označení Jet Black a Clear. Dále došlo k testování filamentu PrimaSelect PVA+ pro aplikaci rozpustných podpor od výrobce PRIMACREATOR. Poslední z použitých materiálů byl filament pro těsnění s označením TPE 88 RubberJet Flex – Černá od výrobce FilamentPM (Plasty Mladeč). Jednotlivé parametry, výhody a nevýhody těchto typů filamentů udávané výrobcem jsou uvedeny v tabulkách 6.2, 6.3 a 6.4 (FilamentPM, 2022; PrusaResearch, 2022a,b).

Tabulka 6.2: Tiskové nastavení a základní vlastnosti filamentů PET-G

Teplota trysky	250 °C
Teplota vyhřívané podložky	70–90 °C
Základní vlastnosti +	Vysoká teplotní odolnost, snadný tisk, malá smrštitivost a kroucení, síla a odolnost, jednoduché broušení
Základní vlastnosti -	Nevhodné pro drobné díly, možnost stringování, horší kvalita přemostění
Hmotnost cívky	1 kg
Cena za kg	699 Kč s DPH

Tabulka 6.3: Tiskové nastavení a základní vlastnosti filamentu TPE

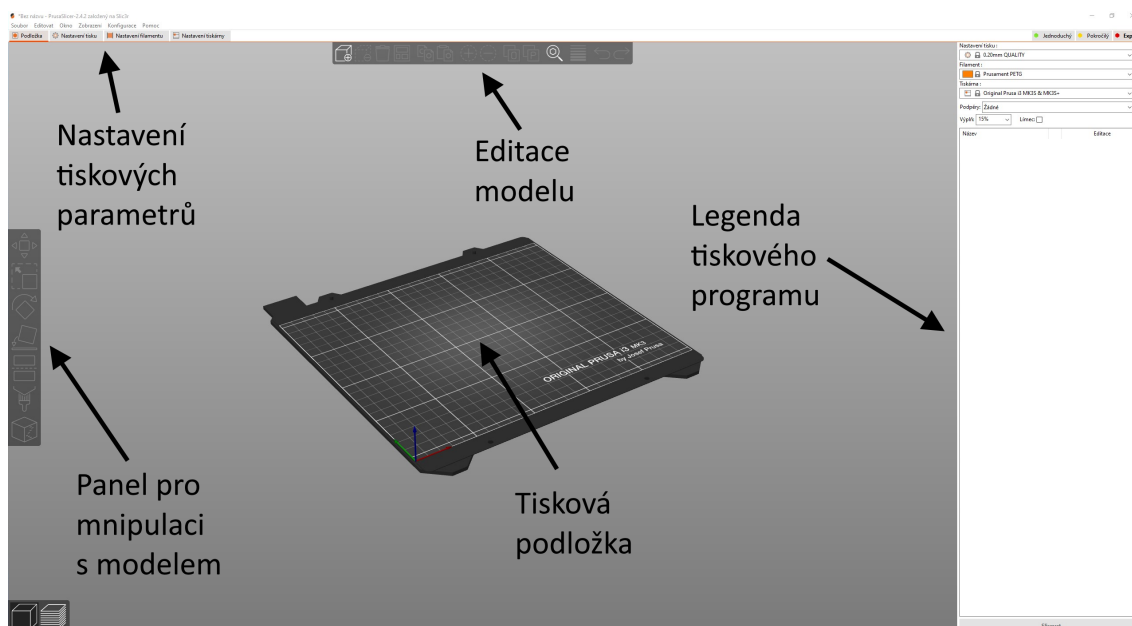
Teplota trysky	205–210 °C
Teplota vyhřívané podložky	50–60 °C
Rychlost tisku	10–20 mm · s ⁻¹
Základní vlastnosti +	snadný tisk, neucpává trysku, flexibilita tištěných objektů, skvěle tlumí vibrace, vysoce odolný vůči tlaku, nárazu, chemikáliím a vodě, přilnavost vrstev, omyvatelnost, skvělé mechanické vlastnosti – pevnost v tahu, odolnost proti oděru
Základní vlastnosti -	horší přilnavost k podložce, problémový tisk na tiskárnách s bowdenovým extruderem
Hmotnost cívky	0,5 kg
Cena za kg	1 718 Kč s DPH

Tabulka 6.4: Tiskové nastavení a základní vlastnosti filamentu PVA+

Teplota trysky	205–210 °C
Teplota vyhřívané podložky	50–60 °C (vyšší teplota pro velké výtisky)
Základní vlastnosti +	rozpustný ve vodě
Hmotnost cívky	0,5 kg
Cena za kg	2 598 Kč s DPH

6.2.1 Nastavení tisku

Program PrusaSlicer disponuje širokým spektrem nastavení jednotlivých tiskových parametrů dle potřeb uživatele. Uživatel může volit mezi tiskem rozmanitých typů materiálů a s různými užitnými vlastnostmi. Je tak možné volit širokou škálu aplikací pro které lze 3D tisk využít. Při tisku je uživatel částečně omezen velikostí tiskového prostoru. V případě velkých komponent jak je tomu i v případě průtokoměru mléka je zapotřebí vhodně konstrukčně rozdělit model bez omezení jeho funkčnosti při zaručení smontovatelnosti jednotlivých dílů. Oproti konvenčním výrobním metodám pak lze volit složitější řešení konstrukce při zachování vyrobitelnosti jednotlivých komponent za náklady, za kterých by nebylo možné některé z dílů buď vyrobit vůbec nebo by tyto díly byly příliš nákladné. Níže jsou uvedeny jednotlivé typy komponent pro tisk, které doplňují tabulky základních tiskových parametrů a ekonomického zhodnocení spotřeby materiálu. Volba pořadí tisku komponent byla stanovena na základě jejich složitosti a délky tisku od nejsložitějších po méně náročné na tisk. Na obrázku 6.17 je znázorněno uživatelské prostředí PrusaSliceru se základním popisem jednotlivých modulů.

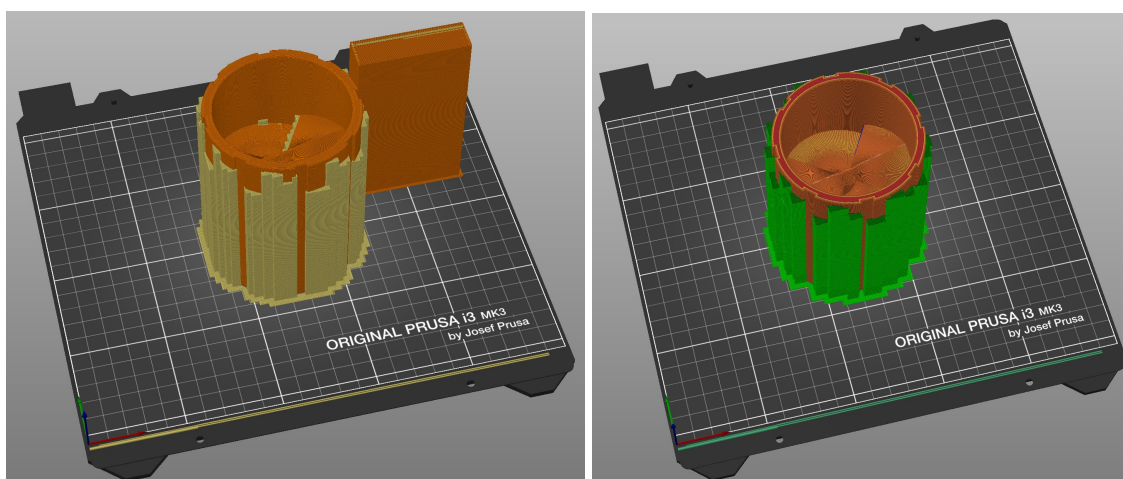
**Obrázek 6.17:** Uživatelské prostředí programu PrusaSlicer

Nádobka

Prvním z tisknutých dílů byla nádobka. U tohoto dílu došlo k testování aplikace tisku vodou rozpustných podpěr. Bohužel výsledek nenaplnil očekávání. Následoval tedy tisk bez vnitřních podpěr. Výsledek následného tisku nezaznamenal konstrukční nedostatky. Hlavní parametry tisku obou nádobek a cenová rozvaha materiálu potřebného k tisku jsou znázorněny v tabulce 6.5. Na obrázku 6.18 jsou vyobrazeny nádobky s odlišnými druhy podpěr. V levé části obrázku se nachází nádobka č. 1 s vodou rozpustnými podpěrami a čistící věží. Pravá část obrázku ilustruje nádobku č. 2 tisknutou pouze s podpěrami totožného filamentu, jako je tomu u samotného modelu. Navíc podpěry u druhé nádobky vycházeli pouze od tiskové podložky.

Tabulka 6.5: Hlavní parametry a cenová rozvaha nádobek

Parametr	Nádobka č. 1	Nádobka č. 2
Zastoupení filamentu v modelu (%)	57,4	83,6
Zastoupení filamentu v podpěrách (%)	42,6	16,4
Použito filamentu (g)	467,6	167,5
Cena použitého filamentu vč. DPH (Kč)	704	117
Čas tisku (d:hh:mm)	1:12:56	0:15:51
Typ a hustota výplně (%)	Kubická 15	Kubická 15
Teplota podložky (°C)	85	85
Teplota trysky (°C)	250 (PET-G), 200 (PVA+)	250



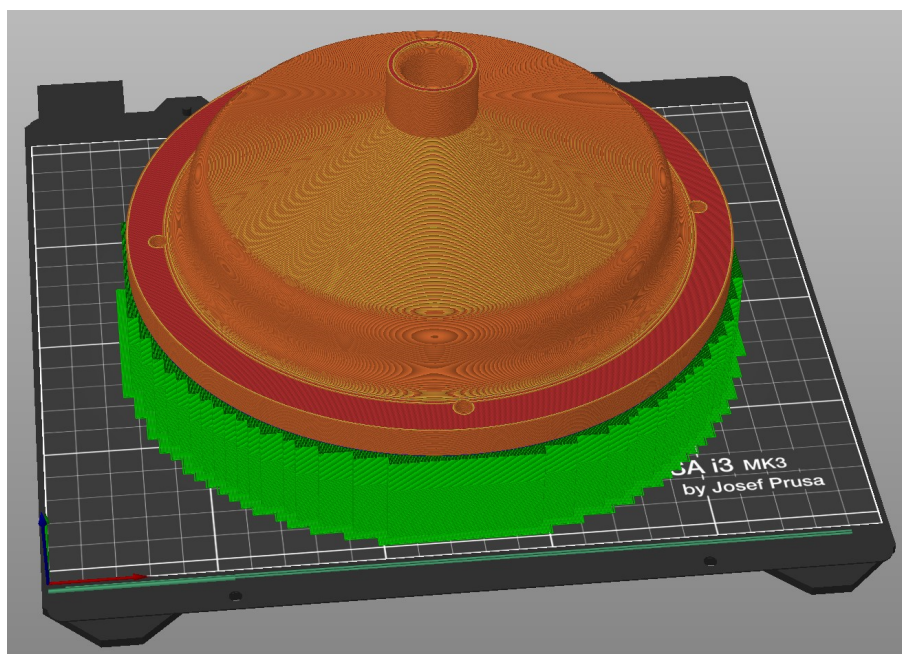
Obrázek 6.18: Rozdíl ve slicování nádobek

Horní víko

Druhou komponentou velmi složitého tvaru bylo horní víko. Její zařazení v pořadí jakožto druhý díl bylo z důvodu celkové složitosti a časové náročnosti tisku. Bylo nutné ověřit konstrukčně navržené plochy v rámci tisku bez využití podpor ve vnitřním prostoru horního víka. Jednotlivé parametry tisku jsou znázorněny v tabulce 6.6. Vyobrazení modelu s podpěrami je na obrázku 6.19.

Tabulka 6.6: Hlavní parametry a cenová rozvaha horního víka

Parametr	Hodnota
Zastoupení filamentu v modelu (%)	62,1
Zastoupení filamentu v podpěrách (%)	37,9
Použito filamentu (g)	383,5
Cena použitého filamentu vč. DPH (Kč)	268
Čas tisku (d:hh:mm)	1:07:16
Typ a hustota výplně (%)	Kubická 15
Teplota podložky (°C)	85
Teplota trysky (°C)	250



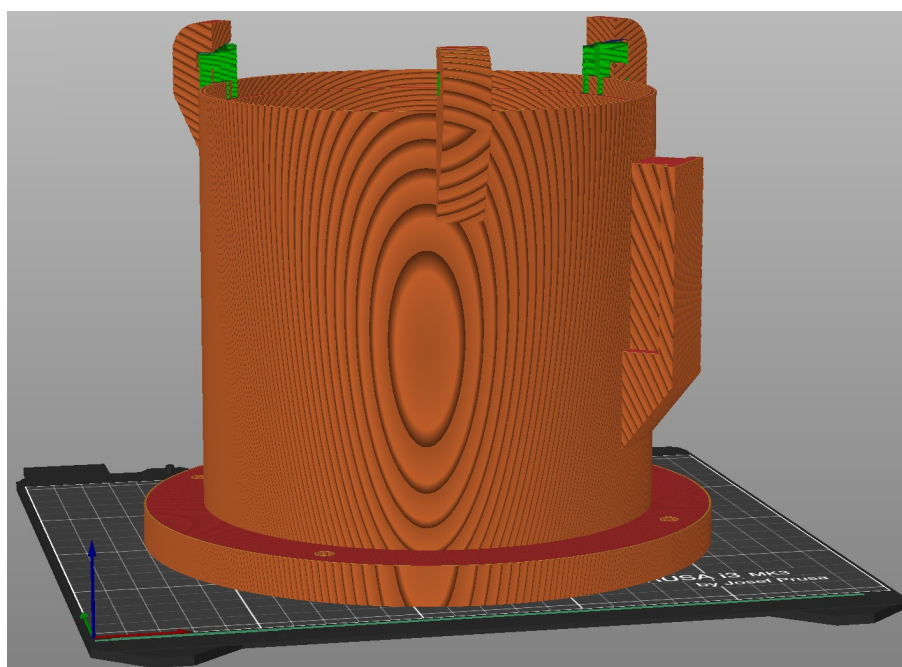
Obrázek 6.19: Slicování horního víka

Plášť

Tisk samotné konstrukce pláště nebyl nijak náročný na nastavení parametrů tisku. Model byl upraven pro použití minima podpěr. Avšak vzhledem k jeho rozměrům byla tato komponenta náročná především na dobu tisku. Jednotlivé parametry tisku jsou znázorněny v tabulce 6.7. Vyobrazení modelu pláště s podpěrami je na obrázku 6.20.

Tabulka 6.7: Hlavní parametry a cenová rozvaha pláště

Parametr	Hodnota
Zastoupení filamentu v modelu (%)	97,1
Zastoupení filamentu v podpěrách (%)	2,9
Použito filamentu (g)	296,6
Cena použitého filamentu vč. DPH (Kč)	207
Čas tisku (d:hh:mm)	1:02:07
Typ a hustota výplně (%)	Kubická 15
Teplota podložky (°C)	85
Teplota trysky (°C)	250



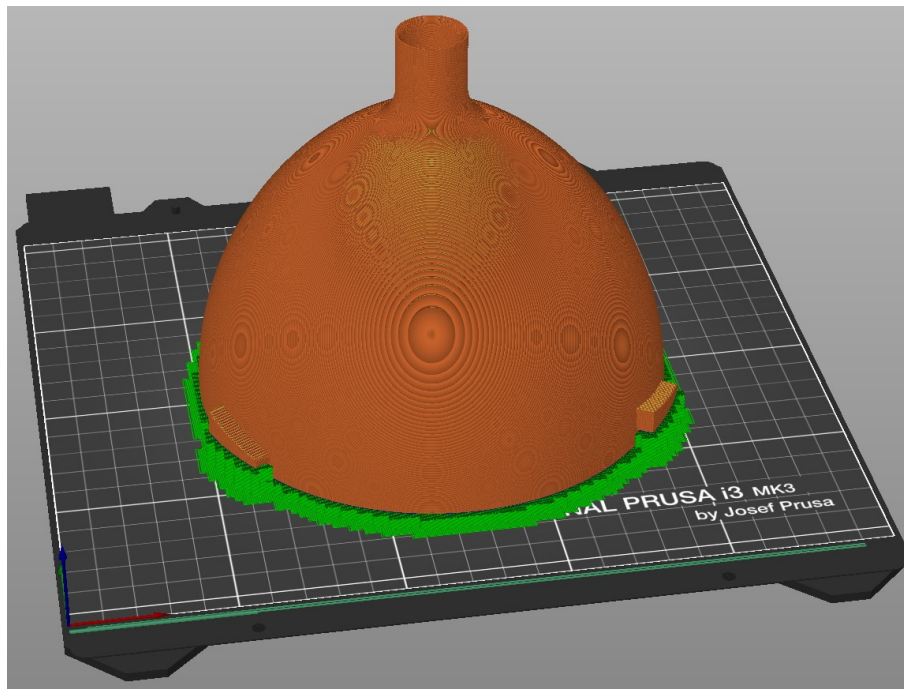
Obrázek 6.20: Slicování pláště

Spodní víko

Vnitřní zaoblení tohoto víka mělo dva základní konstrukční významy. První byl z důvodu funkčnosti pro lepší výstup kapaliny, druhý byl v rámci samotného tisku vnitřní části bez podpěr. Jednotlivé parametry tisku jsou znázorněny v tabulce 6.8. Vyobrazení modelu spodního víka s podpěrami pod aretačním mechanismem je na obrázku 6.21.

Tabulka 6.8: Hlavní parametry a cenová rozvaha spodního víka

Parametr	Hodnota
Zastoupení filamentu v modelu (%)	97
Zastoupení filamentu v podpěrách (%)	3
Použito filamentu (g)	146,5
Cena použitého filamentu vč. DPH (Kč)	102
Čas tisku (d:hh:mm)	0:14:50
Typ a hustota výplně (%)	Kubická 15
Teplota podložky (°C)	85
Teplota trysky (°C)	250



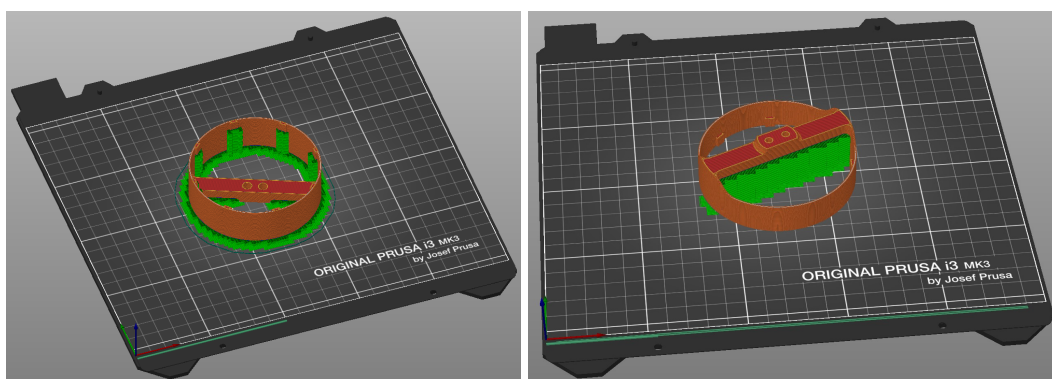
Obrázek 6.21: Slicování dolního víka

Spojka nádoby a tenzometrického snímače

V případě tisku této komponenty byl v první fázi zvolen postup, při kterém byla dotyková plocha spojky s tenzometrickým snímačem na tiskové ploše. Při pokusu o sestavení v důsledku zbytků podpěr u aretačního mechanismu nebylo možné díl spojit s nádobkou bez použití hrubší síly. Průchodnost nádoby otvorem spojky nebyla optimální a proto došlo následně k tisku druhého modelu otočeného na tiskové podložce podle osy Z o 180°. Na obrázku 6.22 jsou znázorněny rozdíly obou variant tisku z hlediska spojky na tiskové podložce spolu s podpěrami. Jednotlivé parametry obou tisků jsou znázorněny v tabulce 6.9.

Tabulka 6.9: Hlavní parametry a cenová rozvaha spojek

Parametr	Spojka č. 1	Spojka č. 2
Zastoupení filamentu v modelu (%)	77,7	79,1
Zastoupení filamentu v podpěrách (%)	22,9	20,9
Použito filamentu (g)	23	24
Cena použitého filamentu vč. DPH (Kč)	16	17
Čas tisku (d:hh:mm)	0:02:22	0:02:16
Typ a hustota výplně (%)	Přímočará 100	Přímočará 100
Teplota podložky (°C)	85	85
Teplota trysky (°C)	250	250



Obrázek 6.22: Slicování spojek

Těsnění

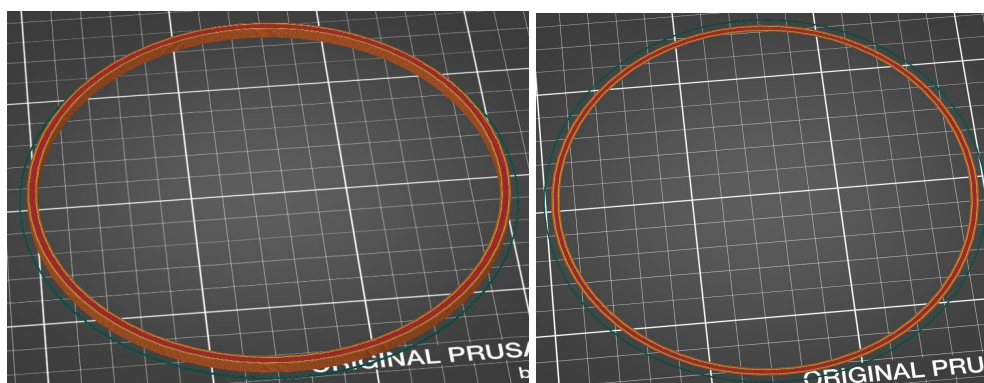
Náročnost tisku obou dílů těsnění byla dána vlastnostmi tohoto materiálu. Jedná se především o nízkou přilnavost k tiskové podložce. První pokusy o tisk těsnění nebyly zdárné. I přes nastavení parametrů dle výrobce materiálu se nedařilo dané díly vytisknout v požadované kvalitě.

Po následných úpravách podmínek tisku došlo k jejich zdárné výrobě. Na obrázku 6.23 je v levé části vyobrazeno těsnění pro horní víko a plášť. Pravá část obrázku znázorňuje

těsnění pro plášť a spodní víko. Jednotlivé parametry tisku jsou znázorněny v tabulce 6.10, sloupce označující druh těsnění odpovídají rozložení obrázků.

Tabulka 6.10: *Hlavní parametry a cenová rozvaha těsnění*

Parametr	Těsnění č. 1	Těsnění č. 2
Zastoupení filamentu v modelu (%)	100	100
Zastoupení filamentu v podpěrách (%)	0	0
Použito filamentu (g)	7,9	1
Cena použitého filamentu vč. DPH (Kč)	14	2
Čas tisku (d:hh:mm)	0:01:12	0:00:08
Typ a hustota výplně (%)	Přímočará 100	Přímočará 100
Teplota podložky (°C)	55	55
Teplota trysky (°C)	210	210

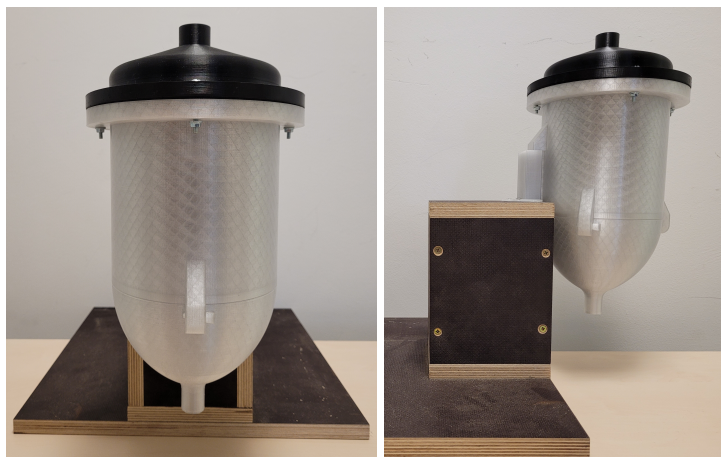


Obrázek 6.23: *Slicování těsnění*

Složení všech komponent

Po vytištění všech částí hmotnostního průtokoměru následovala kompletace prototypu. Jednotlivé aretační mechanismy se osvědčily. Pro spojení tenzometrického snímače a pláště průtokoměru bylo využito šroubů s vnitřním šestihranem DIN 912-A4 M4 × 25mm. Spojení tenzometrického snímače se spojkou by realizováno rovněž volbou šroubu s vnitřním šestihranem DIN 912-A4 M4 × 20mm. Ke spojení horního víka a pláště došlo za pomoci šroubu s půlkulatou hlavou a křížovou drážkou s límce dle DIN 967 M4 × 35mm a šestihrannou maticí s ozubeným límce DIN 6923 M4.

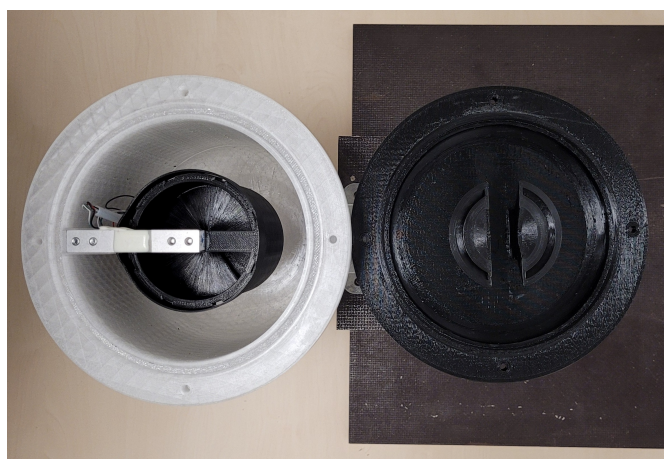
Celá sestava je znázorněna v pozicích ze předu a z boku na obrázku 6.24, ze shora na obrázku 6.25 a vnitřní uspořádání je na obrázku 6.26. Na závěr došlo k instalaci spojek k hornímu a spodnímu víku za pomoci tavné pistole a silikonových lepících tyčinek značky Pattex.



Obrázek 6.24: *Hmotnostní průtokoměr, pohled ze předu a z boku*



Obrázek 6.25: *Hmotnostní průtokoměr, pohled ze shora*



Obrázek 6.26: *Vnitřní uspořádání, pohled ze shora*

6.3 Ověření funkčnosti

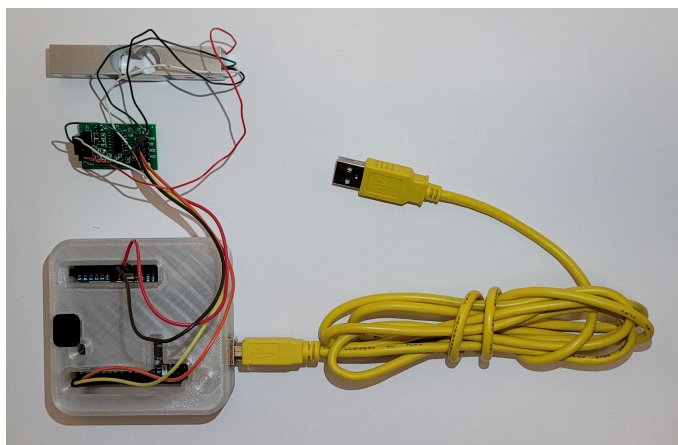
Celá sestava byla po smontování v jeden celek testována na těsnost a odolnost proti úniku kapalin a přísávání vzduchu ze spojů při nasimulování provozních podmínek. Průběh testování byl realizován v prostorách laboratoře Katedry techniky a kybernetiky na Fakultě zemědělské a technologické Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích (viz obrázek 6.27). Ověření dalších funkčních parametrů v reálném provozu doposud neproběhlo.



Obrázek 6.27: *Test hmotnostního průtokoměru v laboratoři.*

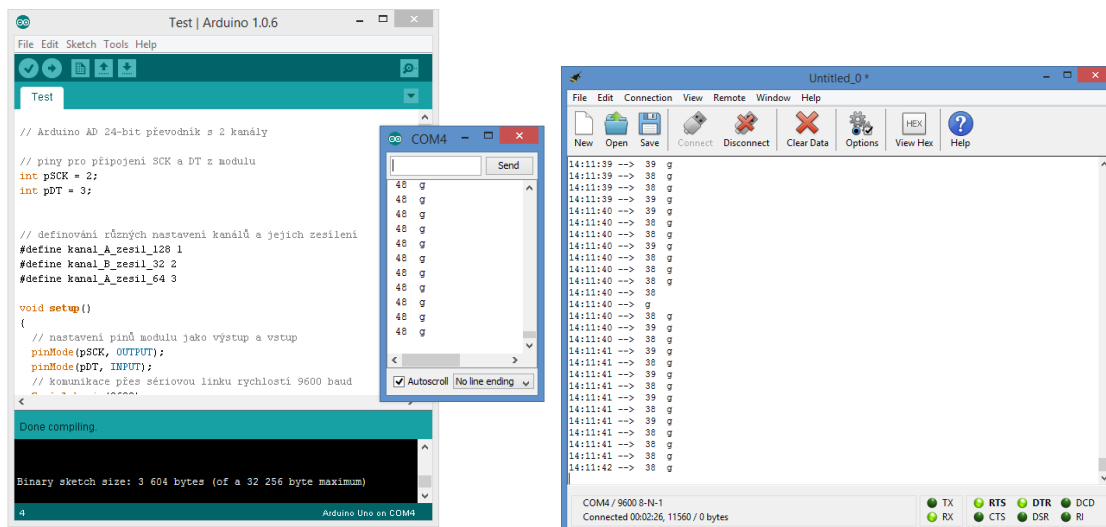
6.4 Návrh přenosu a zpracování dat

Návrh přenosu a zpracování dat byl realizován za pomoci zařízení Arduino UNO Rev3. Toto zařízení nepracuje samo. K tomuto zařízení bylo nutné připojit tenzometrický modul a mezičlánek tvořil A/D převodník Modul 24-bit 2 kanály HX711. Samotné připojení Arduina k PC bylo zprostředkováno za pomoci kabelu, kdy USB-B je konektorem pro Arduina a USB-A slouží pro zapojení k PC. Na obrázku 6.28 je znázorněna samotná konfigurace. Možnost využití zmíněného přístroje se nabízela především z důvodu nízkých pořizovacích nákladů. Běžné moduly sloužící k měření pomocí tenzometrického snímače se pohybují v řádech deseti tisíců, až sta tisíců korun.



Obrázek 6.28: Konfigurace zapojení Arduina UNO Rev3

Pro generování dat do počítače a následné zpracování bylo nutné stáhnout a nainstalovat program Arduino. V tomto případě se jednalo o verzi 1.0.6. Další krok spočíval v nalezení odpovídajícího skriptu (část programu) pro zobrazení a následný export dat. Na obrázku 6.29 (vlevo) je znázorněno uživatelské prostředí programu Arduino společně s vyobrazením získávaných dat. V samotném zobrazovacím módu pro získávaná data je možné k těmto datům přiřadit čas jejich pořízení. Tento způsob řešení je výhodný z hlediska zpětné kontroly a věrohodnosti naměřených dat.



Obrázek 6.29: Uživatelské prostředí aplikace Arduino (vlevo) a CoolTerm (vpravo)

Samotný export dat byl realizován za pomoci aplikace CoolTerm na obrázku 6.29 (vpravo), která disponuje schopností komunikace s hardwarovými rozhraními, jak tomu bylo v tomto případě s minipočítačem Arduino. Prostřednictvím této aplikace docházelo k exportu dat ve formátu .txt.

7 Výsledky a diskuse

Při volbě variant konstrukčních návrhů docházelo k častým změnám. Jednalo se především o důvody zapříčiněné technologickou optimalizací a tím i zdokonalováním hmotnostního průtokoměru. V případě této optimalizace byly brány v potaz i finanční náklady na výrobu jednotlivých prototypů.

Jako první případ lze uvést nádobku, u které se jednalo o konstrukční nedostatky především v oblasti upevnění a varianty výplně, která byla v původním modelu vždy volena jako 100%. Nádobka tak nepřiměřeně zatěžovala tenzometrický snímač i po dobu jeho nečinnosti. V důsledku toho mohlo docházet ke snižování jeho přesnosti a měřicího rozsahu. Demontáž nádoby vyžadovala odšroubování dílu ze snímače. Při tomto úkonu docházelo k vytváření tlaku na šroub, potažmo snímač, který se nacházel pod ním. Tyto vlivy tak mohly zapříčinit další nepřesnost měření a snížení životnosti tenzometrického snímače. Eliminace tohoto nedostatku spočívala v konstrukčním návrhu nového prvku, který by usnadnil případnou instalaci a demontáž nádoby bez vyvinutí tlaku na snímač. Realizace řešení spočívala v zabudování spojky mezi snímač a nádobku. Po každém měření se tak může nádobka demontovat pro potřeby údržby a kontroly jejího stavu.

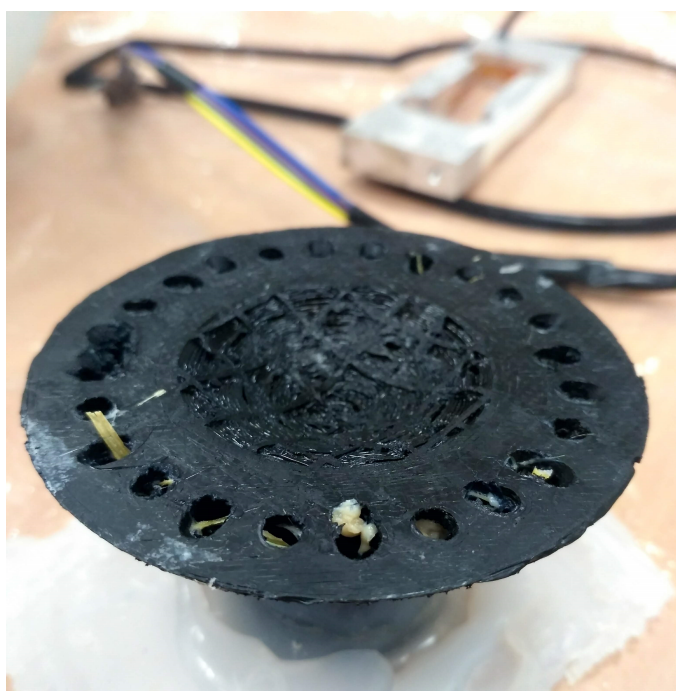
V minulém provedení však spodní víko bylo spojeno způsobem, který neumožňoval snadnou demontáž. Došlo tak k přepracování spodního víka, kdy k návrhu rozebíratelného spojení už nebylo nutné narušení struktury opláštění. Předchozí spojovací materiál nicméně plnil i těsnící funkci. Proto došlo k výrobě těsnění mezi těmito dvěma komponentami. Pro tyto účely byla většina komponent kompletně přepracována k dosažení vyšší funkčnosti.

Nejslabším a nejnáchylnějším prvkem celé konstrukce je tenzometrický snímač. Jedná se o nejdražší komponentu celé sestavy. Z tohoto důvodu většina zabezpečovacích opatření byla cílena na zabránění jeho kontaktu s kapalinami. V roce 2020 došlo k nákupu tenzometrických snímačů pro tyto účely, přičemž pořizovací cena jednoho kusu snímače byla 1 494 Kč bez DPH. Jedná se o neopravitelnou komponentu a jeho výměna za nový kus se jeví jako velmi nákladná. Vzhledem k tomuto faktu muselo dojít ke konstrukčním úpravám. V případě předchozího návrhu horního víka docházelo k uvolnění komponent a následnému kontaktu tenzometrického snímače s mlékem a sanitacním prostředkem. Incident byl zdokumentován a je vyobrazen na obrázku 7.1. Na obrázku je již snímač demontován a v místě jeho uložení je vidět veliké znečištění protékajícím mlékem.



Obrázek 7.1: Znečištění vnitřního prostoru hmotnostního průtokoměru dojeným mlékem

Na horní víko navazuje destička a dávkovač, u kterého docházelo k jeho zahlcování v důsledku odtokového systému vytvořeného kruhovými otvory s nedostatečným průřezem (viz obrázek 7.2). Hmotnostní průtokoměr tak měl tendence k ucpávání – hromadění mléka v oblasti horního víka. Docházelo ke zvyšování tlaku na destičku a mohlo tak dojít k jejímu uvolnění od horního víka. Kapaliny by se bezprostředně po této situaci dostaly do kontaktu se snímačem. Proto došlo ke změně a komponenty horního víka, destičky a dávkovače jsou zhotoveny v nynějším návrhu jako jeden celek. Úprava dávkovače viz kapitola materiály a metody, obrázek 6.6 a výkres číslo 1_5, který je součástí výkresové dokumentace.



Obrázek 7.2: Ucpaný dávkovač

Další úprava nádoby spočívala ve zkrácení její délky. Jednalo se o reakci na případ, kdy při proplachu sanitacním roztokem v důsledku vyššího průtoku docházelo k jejímu nadnášení. Tento problém vedl k tlaku na tenzometrický snímač v opačném směru. K incidentu mohlo rovněž docházet v případě vysokého průtoku dojeného mléka. Další reakcí na tuto komplikaci bylo rozšíření průměru celého průtokoměru a snížení sklonu spodního víka.

V rámci budoucího vylepšení je možno doporučit vytvoření průhledu krytého tvrzovým plexisklem v horní části pláště pro možnost ověření přetékaní nádoby. V současné době bylo možné ověřit tento aspekt pouze při otevření průtokoměru a kontroly vnějšího obalu nádoby. Rovněž tato změna bude moci vést k analýze zahlcování vnitřních prostor hmotnostního průtokoměru.

Posledním hlavním aspektem, kterému by měla být věnována pozornost v rámci výroby průtokoměru je samotná cenová rozvaha výroby komponent se zaměřením na materiál pro tisk. I když je možné brát v úvahu tisk vodou vymývatelných podpěr, které umožňují větší volnost konstrukčnímu návrhu, je nutné brát zřetel na celkovou pevnost vytisknutého modelu a jeho výrobní náklady viz tabulka 6.5. V případě pevnosti lze uvést příklad tisku nádoby za pomoci vodou rozpustných podpěr. Při kontrole kvality byla detekována nedostatečná soudržnost materiálu. U nádoby bylo prakticky možné oddělovat ručně jednotlivé vrstvy od sebe bez použití větší námahy viz obrázek 7.3.



Obrázek 7.3: *Narušení soudržnosti nádoby*

Při záznamu a převodu dat z tenzometrického čidla byla detekována chyba v podobě zápisu dat, kdy jednotlivé řádky neobsahovaly žádnou hodnotu, případně docházelo k výpadku dat (viz obrázek 6.29, vpravo). Docházelo též k situacím, kdy hodnoty stonásobně převyšovaly sousední naměřené hodnoty. Jednalo se o data nabývající kladných i záporných hodnot. Z tohoto důvodu je pro následné experimenty vhodné vyloučit tato data za pomoci vhodného filtru měřicího programu. Jedná se o krok vedoucí k odstranění hrubých chyb měření. V rámci zkušebních měření byla data zaznamenávána s frekvencí 10 Hz. Následná měření by bylo vhodné provádět s mnohem vyšší frekvencí přesahující 1 000 Hz.

Závěr

Stejně jak ostatní odvětví průmyslu, tak i zemědělství zažívá poslední dekády vysoký pokrok díky počítačové technice. Společně s nedostatkem pracovní síly v zemědělství, fyzickému diskomfortu při realizaci různých pracovních úkonů je zaznamenán značný pokrok v zavádění automatizačních prvků. Mezi tyto faktory lze považovat i kontrolu hmotnosti dojeného mléka, která se dnes bez určitého stupně automatizace neobejde, pokud je brán v potaz efektivní způsob této činnosti.

K dosažení stanovených cílů lze využívat nejmodernější způsoby včetně aditivní technologie. Touto technologií lze snadno a rychle tvořit variabilní konstrukční prvky, které lze po úpravě zavést do hromadné výroby. Je tak docíleno rychlejšího vývoje, následkem toho je dosaženo vysokých úspor nákladů.

V diplomové práci byly výše zmíněné metody využity k dosažení požadovaných cílů. K naplnění cílů byl využit programu SolidWorks pro návrh několika inovativních řešení v rámci optimalizace hmotnostního průtokoměru. V průběhu modelování a následných zkušebních 3D tiscích jednotlivých součástí docházelo k častým změnám rozměrů a tvarů. V práci je tedy uveden téměř vždy pouze finální model. Vyhotovení modelů bylo zrealizováno prostřednictvím 3D tiskárny Original Prusa i3 MK3S+, ze kterých posléze po zhodnocení všech doposud zjištěných výhod a nevýhod mohl být vybrán návrh konečný pro diplomovou práci.

Po sestavení a ověření optimalizace prototypu hmotnostního průtokoměru pro dojené mléko lze konstatovat, že cíl práce byl naplněn. Vytvořený návrh v blízké budoucnosti poslouží jako jeden z dalších prototypů pro měření hmotnosti dojeného mléka.

Samotná realizace všech dílčích cílů ke splnění hlavního cíle byla časově velmi náročná. Návrh nového konceptu a namodelování trvalo stovky hodin a samotný tisk finálních dílů trval přes 90 hodin. V otázce výrobních nákladů se zaměřením na tiskový materiál vychází celková cena na 727 Kč. Po započtení ceny tenzometrického snímače a ceny spojovacího materiálu je celková cena prototypu 2603 Kč.

Seznam použitých zdrojů

- Allen, D. B., DePeters, E., a Laben, R. (1986). Three times a day milking: effects on milk production, reproductive efficiency, and udder health. *Journal of dairy science*, 69(5):1441–1446.
- Amu, D., Amuthan, A., Gayathri, S. S., a Jayalakshmi, A. (2019). Automated Irrigation using Arduino sensor based on IOT. In *2019 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)*, pp. 1–6.
- Anderson, G. P. S., Zhang, I. L., Winkelman, A. M., a Harris, B. L. (2017). Comparison of records from in-line milk meters and conventional herd testing for management and genetic evaluation of dairy cows. In *40th ICAR Biennial Session, Puerto Varas, Chile, 24-28 October 2016.*, 21, pp. 203–209.
- Andreen, D., Salfer, I., Ying, Y., Reinemann, D., a Harvatine, K. (2020). Technical note: Method for improving precision of in-parlor milk meters and adjusting milk weights for stall effects. *Journal of Dairy Science*, 103(6):5162–5169.
- Anon (1982). Automatic Milk Production Recording.
- Arduino (2022). Přehled komponent Arduino UNO. [cit. 2022-03-02], Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/tutorials/uno-rev3/intro-to-board/>.
- Armstrong, D. V., Gamroth, M., a Smith, J. (2001). Milking parlor performance. In *Proc. of the 5 th Western Dairy Management Conference*, pp. 7–12.
- Armstrong, D. V. a Quick, A. (1986a). Time and motion to measure milking parlor performance. *Journal of Dairy Science*, 69(4):1169–1177.
- Armstrong, D. V. a Quick, A. (1986b). Time and Motion to Measure Milking Parlor Performance1. *Journal of Dairy Science*, 69(4):1169–1177.
- Babson, H. D. (1963). *Milk Flow Measuring Apparatus*. United States Patent US 3,115,038.
- Baines, J. et al. (2010). The role of machine milking in quality milk production and ensuring dairy cow welfare. *Cattle Practice*, 18(1):48–52.
- Balla, V. K., Kate, K. H., Satyavolu, J., Singh, P., a Tadimeti, J. G. D. (2019). Additive manufacturing of natural fiber reinforced polymer composites: Processing and prospects. *Composites Part B: Engineering*, 174:106956.

- Barkema, H. W., von Keyserlingk, M. A., Kastelic, J. P., Lam, T., Luby, C., Roy, J.-P., LeBlanc, S. J., Keefe, G. P., a Kelton, D. F. (2015). Invited review: Changes in the dairy industry affecting dairy cattle health and welfare. *Journal of dairy science*, 98(11):7426–7445.
- Bickert, W., Gerrish, J., a Hutt, J. (1972). Simulated milking rates in various semi-automatic milking parlors. *Transactions of the ASAE*, 15(3):482–0485.
- Bickert, W., Speicher, J., a Armstrong, D. (1974). Milking Systems for Large Herds 1. *Journal of Dairy Science*, 57(3):369–377.
- Bijl, R., Kooistra, S., a Hogeveen, H. (2007). The profitability of automatic milking on Dutch dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 90(1):239–248.
- Blake, R. W. a McDaniel, B. (1978). Relationships among Rates of Milk Flow, Machine Time, Udder Conformation, and Managemental Aspects of Milking Efficiency: A Review. *Journal of Dairy Science*, 61(4):363–378.
- Blowey, R., Edmondson, P., et al. (2010). The milking routine and its effect on mastitis. *Mastitis control in dairy herds*, pp. 95–115.
- Bothur, D. a Wehowsky, G. (1976). Beziehungen zwischen Milchstrom und Euterentleerung in der Endphase des maschinellen Melkprozesses. *Monatshefte fur Veterinarmedizin*.
- Bravo-Ureta, B. E., Solís, D., Moreira López, V. H., Maripani, J. F., Thiam, A., a Rivas, T. (2007). Technical efficiency in farming: a meta-regression analysis. *Journal of productivity Analysis*, 27(1):57–72.
- Bridges, T., Burks, T., Turner, L., Gates, R., a Crist, W. (1998). A stochastic simulation model for predicting cow throughputs in dairy parlors. *Transactions of the ASAE*, 41:1789–1797.
- Calvo, A. a Airoidi, G. (2020). Sizing Milking Groups in Small Cow Dairies of Mediterranean Countries. *Animals*, 10(5).
- Cant, E. (1980). Milk yield recording. *BSAP Occasional Publication*, 2:43–54.
- Chuang, T. (2015). 3D printer counts kids as customers. *The Denver Post*.
- ČMSCH, a. s. (2018). Zásady provádění kontroly mléčné užitkovosti. [cit. 2022-03-02], Dostupné z: <https://www.cmsch.cz/novinky/zasady-provadeni-kontroly-mlacne-uzitkovosti/>.
- David, N., Chima, A., Aronu, U., a Obinna, E. (2015). Design of a Home Automation System Using Arduino. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 6.
- De Koning, C. (2010). Automatic milking—common practice on dairy farms. *Business*.

- De Koning, K. (2011). Automatic milking: Common practice on over 10,000 dairy farms worldwide. In *Proceedings of the Dairy Research Foundation Symposium*, volume 6, pp. 14–31. The University of Sydney Camden, Australia.
- De Koning, K. a Van der Vorst, Y. (2002). Automatic milking-changes and chances. In *Proceedings of the British Mastitis Conference*, pp. 68–80. Citeseer.
- Douphrate, D. I., Hagevoort, G. R., Nonnenmann, M. W., Lunner Kolstrup, C., Reynolds, S. J., Jakob, M., a Kinsel, M. (2013). The dairy industry: a brief description of production practices, trends, and farm characteristics around the world. *Journal of agromedicine*, 18(3):187–197.
- Edwards, J., Jago, J., a Lopez-Villalobos, N. (2013). Milking efficiency for grazing dairy cows can be improved by increasing automatic cluster remover thresholds without applying premilking stimulation. *Journal of Dairy Science*, 96(6):3766–3773.
- FilamentPM (2022). TPE 88 RubberJet Flex - Černá. [online]. [cit. 2022-05-15], Dostupné z: <https://www.filament-pm.cz/tpe-88-rubberjet-flex-cerna-1-75-mm-0-5-kg/p97>.
- Gallego, P., Pérez-Alija, J., Olivares, S., Loscos, S., Ambroa, E., a Pedro, A. (2016). EP-1733 Deep inspiration breath-hold technique using an Arduino. *Radiotherapy and Oncology*, 119:S811. ESTRO 35, 29 April - 3 May 2016, Turin, Italy.
- Hamann, J., Dodd, F., et al. (1992). Milking routines. *Machine milking and lactation.*, pp. 69–96.
- Hatem, M., Samer, M., Grimm, H., Doluschitz, R., a Jungbluth, T. (2009). An expert system for planning and designing corral systems and their concrete constructions for dairy farms in hot climates. In *Proceedings of CIGR Workshop Section II: "Animal Housing in Hot Climates"*, CIGR Working Group, volume 13.
- Herd, D. a Seufert, H. (2007). Work organization in large parallel or herringbone milking Parlours. *Landtechnik*, 2:110–111.
- Hillerton, J. (1991). The effects of milking frequency on mastitis. In *Proceedings of the British Mastitis Conference, Stoneleigh, UK*, pp. 61–69.
- Hoefelmayr, T. a Maier, J. (1990). Milk Flow Meter. *Milk Flow Meter*. Deutch patent DE,3,101,302 C2.
- Hoffmann, H.-W. a Wehowsky, G. (2015a). Ein neues Verfahren zum Abschalten der Melkzeuge gegen Ende des Melkaktes. *Deutsche Agrartechnik*, 16(5).
- Hoffmann, H.-W. a Wehowsky, G. (2015b). Ein neues Verfahren zum Abschalten der Melkzeuge gegen Ende des Melkaktes. *Deutsche Agrartechnik*, 16(5).
- Hogenboom, J., Pellegrino, L., Sandrucci, A., Rosi, V., a D’Incecco, P. (2019). Invited review: Hygienic quality, composition, and technological performance of raw milk obtained by robotic milking of cows. *Journal of Dairy Science*, 102(9):7640–7654.

- Hogeveen, H., Miltenburg, J., Hollander, S. d., a Frankena, K. (2000). A longitudinal study on the influence of milking three times a day on udder health and milk production. In *International Symposium on Robotic Milking, Lelystad (Netherlands), 17-19 Aug 2000*. Wageningen Pers.
- Hogeveen, H., Ouweltjes, W., de Koning, C., a Stelwagen, K. (2001). Milking interval, milk production and milk flow-rate in an automatic milking system. *Livestock Production Science*, 72(1):157–167. Interaction between Research and Innovation.
- ICAR (2018). Certified milk meters. [cit. 2022-03-02], Dostupné z: <https://www.icar.org/index.php/certificationsicar-certifications-for-milk-meters-for-cow-sheep-goats/certified-milk-meters/>.
- ICAR (2020). Section 11 - Guidelines for Testing, Approval and Checking of Milk Recording Devices. [cit. 2022-04-02], Dostupné z: <https://www.icar.org/Guidelines/11-Milk-Recording-Devices.pdf/>.
- IntertekGroup, p. (2011). Food Contact Plastics Regulation (EU) 10/2011 Solutions. [cit. 2022-06-02], Dostupné z: <https://www.intertek.com/assuris/food-contact/regulatory/eu-10-2011/>.
- Ipema, A., Ketelaar-de Lauwere, C., de Koning, C., Smits, A., a Stefanowska, J. (1996). Robotic milking of dairy cows. In *Beitrag zur 3e. Internationalen Tagung 'Bau, Technik und Umwelt in der Landwirtschaftlichen Nutztierhaltung'*. Kiel, 1997, pp. 290–297.
- Jacobs, J. a Siegford, J. (2012). Invited review: The impact of automatic milking systems on dairy cow management, behavior, health, and welfare. *Journal of dairy science*, 95(5):2227–2247.
- Kaswan, K. S., Singh, S. P., a Sagar, S. (2020). Role Of Arduino In Real World Applications. *International Journal of Scientific & technology Research*, 9(1).
- Kingwill, R., Dodd, F., a Neave, F. (1979). Machine milking and mastitis. *Machine milking. Tech. Bull*, 1:231–285.
- Klei, L. R., Lynch, J. M., Barbano, D. M., Oltenacu, P. A., Lednor, A. J., a Bandler, D. K. (1997). Influence of milking three times a day on milk quality. *Journal of Dairy Science*, 80(3):427–436.
- Lansink, A. O., Pietola, K., a Bäckman, S. (2002). Efficiency and productivity of conventional and organic farms in Finland 1994–1997. *European Review of Agricultural Economics*, 29(1):51–65.
- Louis, L. (2018). Working Principle of Arduino and Using it as a Tool for Study and Research. In *International Journal of Control, Automation, Communication and Systems*, volume 1.
- Lyons, N. A., Gargiulo, J. I., Clark, C. E., a Garcia, S. C. (2022). Technology and Robotic Milking in Dairy Production. In McSweeney, P. L. a McNamara, J. P., eds., *Encyclopedia of Dairy Sciences (Third Edition)*, pp. 823–829. Academic Press, Oxford, third edition edition.

- Marnet, P.-G. (2013). Milking procedures and facilities. *Milk and Dairy Products in Human Nutrition: Production, Composition and Health*, pp. 46–64.
- Micke, C. a Appleman, R. (1973). Simulating herringbone and side-opening milking parlor operations. *Journal of Dairy Science*, 56(8):1063–1069.
- Montalescot, J. (1981). *Liquid-counter, especially a milk-counter, provided with a device for withdrawing samples*. French patent EP 0,023,449.
- MRV (2018). ICAR Dairy Cattle Milk Recording Working Group. [cit. 2022-03-02], Dostupné z: <https://www.agmrv.org/knowledge-portal/resources/icar-dairy-cattle-milk-recording-working-group/>.
- Nitzan, R., Bruckental, I., Bar Shira, Z., Maltz, E., a Halachmi, I. (2006a). Stochastic Models for Simulating Parallel, Rotary, and Side-Opening Milking Parlors. *Journal of Dairy Science*, 89(11):4462–4472.
- Nitzan, R., Bruckental, I., Shira, Z. B., Maltz, E., a Halachmi, I. (2006b). Stochastic models for simulating parallel, rotary, and side-opening milking parlors. *Journal of dairy science*, 89(11):4462–4472.
- Nugroho, W. T., Dong, Y., a Pramanik, A. (2021). Chapter 4 - 3D printing composite materials: A comprehensive review. In Low, I.-M. a Dong, Y., eds., *Composite Materials*, pp. 65–115. Elsevier.
- Ordolff, D. (1972). *Eine neue Generation von Melkmaschinen. A new generation of milking equipment*.
- Ordolff, D. (2001). Introduction of electronics into milking technology. *Computers and Electronics in Agriculture*, 30(1):125–149.
- Poh, J.-J., Wu, W.-L., Goh, N. W.-J., Tan, S. M.-X., a Gan, S. K.-E. (2021). Spectrophotometer on-the-go The development of a 2-in-1 UV–Vis portable Arduino-based spectrophotometer. *Sensors and Actuators A Physical*, 325:112698.
- Price, D., Heathington, K., a Peart, R. (1972a). Computer simulation of dairy milking parlors. *Transactions of the ASAE*, 15(2):317–0319.
- Price, D., Heathington, K., a Peart, R. (1972b). Computer simulation of dairy milking parlors. *Transactions of the ASAE*, 15(2):317–0319.
- PrusaResearch, a. s. (2022a). PrimaSelect PVA+ rozpustné podpory 500g. [online]. [cit. 2022-05-05], Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/produkt/primaselect-pva-rozpustne-podpory-500g/>.
- PrusaResearch, a. s. (2022b). Prusament PETG Jet Black 1kg. [online]. [cit. 2022-05-05], Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/produkt/prusament-petg-jet-black-1kg/>.
- PrusaResearch, a. s. (2022c). Stavebnice 3D tiskárny Original Prusa i3 MK3S+. [online]. [cit. 2022-05-05], Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/produkt/stavebnice-3d-tiskarny-original-prusa-i3-mk3s-3/>.

- Reneau, J., Farnsworth, R., a Johnson, D. (1994). Practical milking routines. In *Proceedings of the National Mastitis Council Regional Meeting, East Lansing, MI, USA*, pp. 22–32.
- Rossing, W. a Hogewerf, P. (1997). State of the art of automatic milking systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 17(1):1–17. Robotic Milking.
- Rossing, W., Hogewerf, P., Ipema, A., Ketelaar-de Lauwere, C., a De Koning, C. (1997). Robotic milking in dairy farming. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 45(1):15–31.
- Rotz, C., Coiner, C., a Soder, K. (2003). Automatic Milking Systems, Farm Size, and Milk Production. *Journal of Dairy Science*, 86(12):4167–4177.
- Sandgren, C. a Emanuelson, U. (2017). Is there an ideal automatic milking system cow and is she different from an ideal parlormilked cow. In *Proceedings of the National Mastitis Council 56th Annual Meeting, At St. Pete Beach, Florida, USA*, pp. 61–68.
- Sangeetha, N., Monish, P., a Brathikan, V. M. (2022). Review on various materials used in Additive Manufacturing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1228(1):012015.
- Singh, R., Zhang, M., a Chan, D. (2002). Toughening of a brittle thermosetting polymer: effects of reinforcement particle size and volume fraction. *Journal of materials science*, 37(4):781–788.
- Smith, J., Armstrong, D., Gamroth, M., a Harner III, J. (1998). Factors affecting milking parlor efficiency and operator walking distance. *Applied Engineering in Agriculture*, 14(6):643–647.
- Smith, J., Armstrong, D., Gamroth, M., a Martin, J. (1997). Planning the milking center in expanding dairies. *Journal of dairy science*, 80(8):1866–1871.
- Stansbury, J. W. a Idacavage, M. J. (2016). 3D printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities. *Dental Materials*, 32(1):54–64.
- Stanzel, H. (1977). Elektronische Programmsteuerung von Melkzeugen.(Programmed electronic control of milking units). In *Probleme der modernen Melktechnik.(Problems of modern milking technology)*, volume 217, pp. 64–75. KTBL-Schrift Münster-Hiltrup.
- Steenefeld, W., Tauer, L., Hogeveen, H., a Lansink, A. O. (2012). Comparing technical efficiency of farms with an automatic milking system and a conventional milking system. *Journal of Dairy Science*, 95(12):7391–7398.
- Stokes, J., Tozer, P., a Hyde, J. (2007). Identifying efficient dairy producers using data envelopment analysis. *Journal of Dairy Science*, 90(5):2555–2562.
- Sturaro, E., Marchiori, E., Cocca, G., Penasa, M., Ramanzin, M., a Bittante, G. (2013). Dairy systems in mountainous areas: Farm animal biodiversity, milk production and destination, and land use. *Livestock Science*, 158(1-3):157–168.

- Svennersten-Sjaunja, K. a Pettersson, G. (2008). Pros and cons of automatic milking in Europe. *Journal of Animal Science*, 86(suppl_13):37–46.
- Thomas, C., DeLorenzo, M., Bray, D., Weldon, R., Bucklin, R., a Martin III, J. (1997a). A stochastic economic analysis of large herringbone and parallel milking parlors. *Journal of dairy science*, 80(10):2418–2428.
- Thomas, C., DeLorenzo, M., Bray, D., Weldon, R., Bucklin, R., a Martin III, J. (1997b). A stochastic economic analysis of large herringbone and parallel milking parlors. *Journal of dairy science*, 80(10):2418–2428.
- Wagner, A., Palmer, R., Bewley, J., a Jackson-Smith, D. B. (2001). Producer satisfaction, efficiency, and investment cost factors of different milking systems. *Journal of dairy science*, 84(8):1890–1898.
- Waterman, D. F., Harmon, R., Hemken, R., a Langlois, B. (1983). Milking frequency as related to udder health and milk production. *Journal of Dairy Science*, 66(2):253–258.
- Wohlers, T. (2016). *Wohlers report 2016*. Wohlers Associates, Inc.

Seznam obrázků

1.1	Schéma konvového dojicího systému	9
1.2	Schéma mobilního konvového dojicího systému	9
1.3	Schéma systému dojírenských linek	10
1.4	Koncepce systému automatizovaného dojení	14
2.1	Měřič dojeného mléka zaznamenávající konstantní objem	16
2.2	Měřič dojeného mléka s kontinuálním průtokem	17
2.3	Návrh zařízení pro automatickou evidenci nadojeného mléka	18
4.1	Schématické zobrazení Arduina UNO	24
6.1	Původní horní víko hmotnostního průtokoměru tvořené třemi díly	27
6.2	Nové horní víko tvořeno všemi třemi komponentami jako jeden celek	27
6.3	Řešení upínacího mechanismu horního krytu, vlevo před úpravou, vpravo po úpravě	28
6.4	Grafické znázornění funkce sloupku.	28
6.5	Optimalizace dávkovače, vlevo starý návrh, vpravo nový návrh	29
6.6	Úprava spodní části dávkovače, vlevo starý návrh, vpravo nový návrh	29
6.7	Zaoblení prostoru pro upevnění spojky k hadici, vlevo starý návrh, vpravo nový návrh	29
6.8	Plášť nádoby, 1. límec po celém obvodu s otvorem pro šroubový spoj, 2. prostor pro upnutí tenzometrického snímače, 3. tělo pláště, 4. prostor zajišťující lepší vedení spodního víka při upnutí, 5. upínací mechanismus spodního víka	30
6.9	Zaoblení prostoru pro upevnění spojky k hadici na spodním víku, vlevo starý návrh, vpravo nový návrh	31
6.10	Optimalizace ukotvení nádoby, vlevo starý návrh, vpravo nový	32
6.11	Spojka nádoby a tenzometrického snímače	32
6.12	Namodelovaná těsnění, vlevo pro horní víko a plášť, vpravo pro spodní víko a plášť	33
6.13	Těsnění v rámci sestavy	33
6.14	Sestava se všemi hlavními díly hmotnostního průtokoměru	34
6.15	Porovnání staré a nové sestavy, vlevo starý koncept, vpravo nový koncept	34
6.16	Komponenty pro 3D tisk	35
6.17	Uživatelské prostředí programu PrusaSlicer	37
6.18	Rozdíl ve slicování nádobek	38
6.19	Slicování horního víka	39

6.20	Slicování pláště	40
6.21	Slicování dolního víka	41
6.22	Slicování spojek	42
6.23	Slicování těsnění	43
6.24	Hmotnostní průtokoměr, pohled ze předu a z boku	44
6.25	Hmotnostní průtokoměr, pohled ze shora	44
6.26	Vnitřní uspořádání, pohled ze shora	44
6.27	Test hmotnostního průtokoměru v laboratoři.	45
6.28	Konfigurace zapojení Arduina UNO Rev3	46
6.29	Uživatelské prostředí aplikace Arduino (vlevo) a CoolTerm (vpravo) . . .	46
7.1	Znečištění vnitřního prostoru hmotnostního průtokoměru dojeným mlékem	48
7.2	Ucpaný dávkovač	48
7.3	Narušení soudržnosti nádoby	49

Seznam tabulek

2.1	Normy pro dojící zařízení.	20
2.2	Normy pro dojící zařízení skotu	20
2.3	Průtokoměry disponující Certifikací ICAR	21
6.1	Hlavní technické parametry tiskárny Original Prusa i3 MK3S+	35
6.2	Tiskové nastavení a základní vlastnosti filamentů PET-G	36
6.3	Tiskové nastavení a základní vlastnosti filamentu TPE	36
6.4	Tiskové nastavení a základní vlastnosti filamentu PVA+	37
6.5	Hlavní parametry a cenová rozvaha nádobek	38
6.6	Hlavní parametry a cenová rozvaha horního víka	39
6.7	Hlavní parametry a cenová rozvaha pláště	40
6.8	Hlavní parametry a cenová rozvaha spodního víka	41
6.9	Hlavní parametry a cenová rozvaha spojek	42
6.10	Hlavní parametry a cenová rozvaha těsnění	43