



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

REGULACE TEPLoty V TECHNOLOGICKÉM PROCESU

TEMPERATURE REGULATION IN TECHNOLOGICAL PROCESS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Marek Kuba

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Daniel Zuth, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Marek Kuba
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Daniel Zuth, Ph.D.
Akademický rok:	2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Regulace teploty v technologickém procesu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se bude zabývat tvorbou systému pro regulaci teploty vinného moštu. Základní vlastnosti systému je udržovat zadanou teplotu v několika oddělených nádržích. Aktuální hodnoty budou vizualizovány přes webserver, kde je také možno vzdáleně měnit žádané hodnoty.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše v oblasti vhodné automatizační techniky a senzorů teploty.
Výběr a zdůvodnění použitých komponent.
Otestovat funkčního řešení.
Vytvořit dokumentaci navrženého řešení.
Vyhodnocení dosažených výsledků.
Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

KREIDL, Marcel. Měření teploty: senzory a měřicí obvody. Praha: BEN - technická literatura, 2005.
Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-7300-145-4.

ŠMEJKAL, Ladislav. PLC a automatizace. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-730-087-3.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Ve své bakalářské práci se zaměřuji na návrh a sestavení vlastního zařízení pro regulaci teploty v jednotlivých kvasných nádržích ve vinařském provozu.

Práce je rozdělena do dvou částí. V rešeršní části je stručně popsána vhodná automatizační technika a teplotní senzory. Návrhová část obsahuje výběr jednotlivých komponent a vyhodnocení výsledků. Dále bylo nutné vytvořit program na regulaci teploty, výkresovou dokumentaci a porovnání finálního výrobku s ostatními komerčními zařízeními. V závěru jsou shrnuta různá doporučení pro praktické užití vlastního navrženého zařízení.

ABSTRACT

My bachelor thesis deals with the concept and construction of my own equipment for temperature control in individual fermentation tanks which is commonly used in winery industry.

The work is divided into two parts. The literature research contains brief description of suitable technology and temperature sensors. My practical part is focusing on the selection of individual components and evaluation of the results. It was also necessary to create a program for temperature control, design documentation and comparison of my final product with others commercial mechanism. In the end of my work I give summary of various recommendations for the practical use of my own product.

KLÍČOVÁ SLOVA

Regulace teploty, vinný mošt, programovatelný logický automat, PLC

KEYWORDS

Temperature control, wine must, programmable logic controller, PLC

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KUBA, Marek. Regulace teploty v technologickém procesu [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/129562>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Daniel Zuth.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu své bakalářské práce Ing. Danielu Zuthovi Ph.D. za jeho odborné návrhy, připomínky, vstřícnost, přístup a cenné rady při vedení této práce od začátku do konce. Také bych rád poděkoval své rodině, která mě plně podporovala ve studiu a umožnila mi realizovat tuto práci.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Daniela Zutha Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 21. 5. 2021

.....

Marek Kuba

Obsah

1	ÚVOD	15
2	TEPLOTNÍ SENZORY	17
2.1	Odporové polovodičové senzory	17
2.1.1	Termistory	17
2.1.2	Negastory (NTC termistory).....	17
2.1.3	Pozistory (PTC termistory).....	17
2.1.4	Monokrystalické odporové senzory.....	18
2.2	Kovové odporové senzory teploty	18
2.2.1	Odporové platinové teplotní senzory.....	18
2.2.2	Odporové měděné snímače teploty.....	19
2.2.3	Odporové niklové snímače teploty	19
2.3	Konstrukce odporových snímačů teploty	19
2.4	Termoelektrické články	20
2.4.1	Seebeckův jev	20
2.4.2	Typy termoelektrických článků	20
3	PROGRAMOVATELNÉ LOGICKÉ AUTOMATY (PLC)	22
3.1	Historie programovatelných logických automatů.....	22
3.2	Přednosti programovatelného automatu	22
4	ELEKTRICKÉ SERVOPOHY	23
4.1	Systémy řízení servopohonů	23
4.2	Servopohon jako mechanismus polohy	24
4.2.1	Rychlostní servopohon a polohový servopohon.....	24
4.3	Návrh servopohonů.....	24
5	NÁVRH A KONCEPCE ZAŘÍZENÍ	25
5.1	Popis a požadavky řešeného problému.....	25
5.2	Výběr použitých komponent.....	26
5.2.1	Programovatelný logický automat.....	26
5.2.2	Teplotní senzor	27
5.2.3	Servopohon.....	27
5.3	Chladicí agregát	28
5.4	Rozvod.....	28
5.5	Zdroj napájení.....	28
5.6	Zapojení	29
6	PROGRAM	30
6.1	Multiprog	30
6.2	Řízení	30
6.3	Vizualizace.....	31
6.4	Ověření funkce.....	32
7	MĚŘENÍ – DYNAMICKÁ CHARAKTERISTIKA	34
8	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	36
9	SROVNÁNÍ S KOMERČNÍMI ZAŘÍZENÍMI	37
9.1	Doporučení pro praxi	37
10	ZÁVĚR	38
11	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	39

12 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	40
12.1 Seznam zkratk a symbolů	40
12.2 Seznam obrázků.....	41
12.3 Seznam tabulek.....	41
13 SEZNAM ELEKTRONICKÝCH PŘÍLOH.....	42
PŘÍLOHA 1	43
PŘÍLOHA 8	44
PŘÍLOHA 9	45
PŘÍLOHA 10	46

1 ÚVOD

Management teploty fermentujícího vinného moštu ve vinařském provozu neodmyslitelně patří k výrobě vína. Teplota kvasícího vinného moštu se reguluje od nepaměti. Regulovala se například pomocí chladných sklepních prostor a malých objemů nádob.

V dnešní době do vinařství pronikají moderní technologie stejně tak jako do ostatních odvětví. Klasické podzemní sklepy nebo sklepy ve skále vystřídaly moderní haly, kde se stálá teplota udržuje vzduchotechnikou. Malé amfory, dubové sudy, skleněné nádoby vystřídaly nerezové tanky velkých objemů, ve kterých je nutné regulovat teplotu individuálně. Pro tyto tanky nestačí jen chladné okolní prostředí pro udržení stálé teploty kvašení. Ve vinařských provozech se pro chlazení moštu využívá chladících agregátů, které udržují stálou teplotu kvašení.

Tato práce se zabývá návrhem a následnou realizací zařízení pro regulaci teploty vinného moštu v malém vinařském provozu. Zařízení je tvořeno programovatelným logickým automatem, servopohony, teplotními senzory, chladícím agregátem a dalšími komponenty.

Při návrhu zařízení byla provedena volba jednotlivých komponent a byl vytvořen program v prostředí Multiprog.

Navržené zařízení bylo sestaveno a následně uvedeno do provozu. Funkčnost zařízení byla ověřena pomocí měření a dvouletým provozem ve sklepním hospodářství.

2 TEPLOTNÍ SENZORY

Zjišťování teploty je stále jedna z nejčastěji měřených fyzikálních veličiny. Znalost teploty využívá člověk každý den. Od pouhého rozhodnutí, jaké oblečení si vzít na sebe před opuštěním bytu až po průmyslové využití. Teplota je důležitým indikátorem stavu strojních součástí, zařízení nebo výrobků. Pokud v průmyslové výrobě monitoruje teplotu, můžeme zvýšit přesnost a kvalitu výrobku. Rovněž důležitou roli hraje teplota při kontrole jakosti výrobků.

Senzor teploty je funkční prvek měřicí soustavy, dochází ke přímému kontaktu s měřeným prostředím.

Teplotní senzory lze rozdělit dle fyzikálního principu na odporové, termoelektrické, polovodičové s PN přechodem, dilatační, optické, radiační, chemické, šumové, akustické, magnetické, aerodynamické a kapacitní [1].

Dále můžeme teplotní senzory rozdělit podle styku s měřeným prostředím na dotykové a bezdotykové. [1]

2.1 Odporové polovodičové senzory

Využívají závislost elektrického odporu materiálu na teplotě vlivem závislosti koncentrace volných nosičů náboje na teplotě. [2]

Polovodičové odporové senzory teploty se rozdělují na termistory, které lze rozdělit na negastory a pozistory, a na monokrystalické odporové senzory. [1]

2.1.1 Termistory

Termistor je teplotně závislý odpor z polovodičových feroelektrických keramických materiálů. Keramická technologie dovolila výrobu termistorů ve tvaru disku, destičky, kapky, válečku a jiné. [1]

Výhody termistoru jsou velká teplotní citlivost, malé rozměry, jednoduchý převod odporu na elektrické napětí nebo proud, relativně velký výstupní signál.

Nevýhody jsou nelineární charakteristika. [1]

2.1.2 Negastory (NTC termistory)

Vyrábí se práškovou technologií, to znamená lisováním směsi oxidů kovů. Vylisovaným senzorům se zvyšuje pevnost slinováním za vysokých teplot.

Teplotní rozsahy negastorů jsou běžně od $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve výjimečných případech je možno měřit od několika Kelvinů nebo na opačné straně stupnice až do $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. [2]

Využívá se jako senzor teploty prostorů ve větracích a klimatizačních zařízeních, venkovní senzory teploty měření teploty chladicí kapaliny v automobilech. [2]

2.1.3 Pozistory (PTC termistory)

Pozistory jsou termistory s kladným teplotním součinitelem odporu. Vyrábí se z polykrystalické feroelektrické keramiky, například z titančitanu barnatého (BaTiO_3). [1]

Teplotní rozsah pozistorů je od $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+180\text{ }^{\circ}\text{C}$.

PTC termistory se využívají jako dvoustavové senzory, kde zlomová hodnota teploty je dána chemickým složením pozistoru. [3]

2.1.4 Monokrystalické odporové senzory

Monokrystalické senzory teploty se vyrábějí z křemíku, germania india včetně jejich slitin, většinou se setkáváme pouze se senzory z křemíku. [1]

Monokrystalické křemíkové senzory se vyrábí pomocí nevlastního polovodiče typu N, s dominantní elektronovou vodivostí. Pohyblivost volných nosičů náboje v krystalové mřížce křemíku je závislá na teplotě a počtu příměsí v daném objemu. S rostoucí teplotou dochází kvůli rozptylu nosičů náboje na mřížce polovodiče ke snížení pohyblivosti těchto nosičů, v důsledku čehož narůstá rezistivita, podobně jako k tomu dochází u kovů. [1]

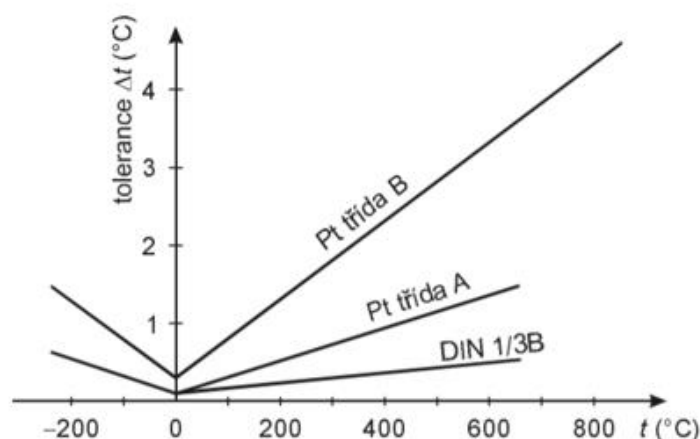
2.2 Kovové odporové senzory teploty

Kovové odporové teplotní senzory pracují na principu teplotní závislosti odporu kovu. Ta je způsobena zrychlením pohybu volných elektronů v krystalické mřížce kovu. Výhodou je vysoký rozsah měřitelných teplot, dobrá linearita, časová stálost. Naopak nevýhodou je malý teplotní součinitel a pomalá reakce na změnu teploty, proto se nehodí pro systémy s velkou dynamikou změn teplot. [2]

2.2.1 Odporové platinové teplotní senzory

Platina se vyznačuje chemickou netečností, časovou stálostí a vysokou teplotou tání.

Čistota platiny provozních snímačů teploty (Pt 100) je předepsána normou IEC-751 (IEC-ČSN 751). Pro metrologické účely jsou nároky na čistotu platiny vyšší (čistota 99,999%). Čistota platiny se stanovuje pomocí poměru odporů při bodě tání galia a trojného bodu vody. Odporové platinové senzory pro průmyslové použití dělíme do dvou tolerančních tříd viz (Obr. 1). Třída A je stanovena pro teplotní rozsah od $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ a třída B je stanovena pro rozsah teplot od $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $850\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kromě těchto odporových platinových senzorů existují i vysokoteplotní snímače až do teploty $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kromě základní hodnoty odporu $R_0 = 100\ \Omega$ se vyrábí snímače se základní hodnotou odporu 50, 200, 500, 1000 a 2000 Ω . V praxi jsou ovšem nejběžnější Pt 100 a Pt 1000. [1]



Obr. 1) Toleranční třídy platinových teplotních senzorů [1]

2.2.2 Odporové měděné snímače teploty

Měď se využívá v teplotním rozsahu od $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Díky malé rezistivitě mědi (6krát menší než u platiny) a snadné oxidaci mědi se měděné snímače teploty nevyrábějí. V praxi se měděné odporové snímače teploty využívají k přímému měření teploty měděného vinutí elektrických strojů prostřednictvím měření odporu vinutí. [1]

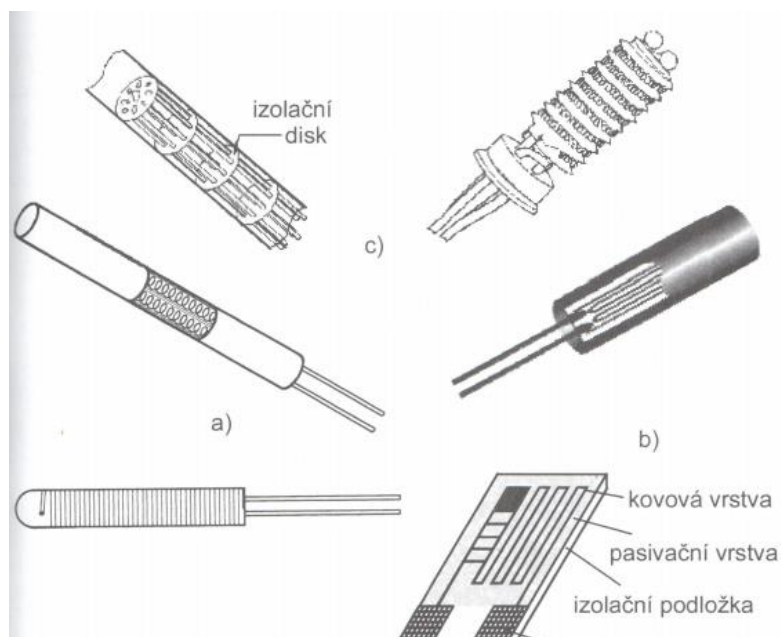
2.2.3 Odporové niklové snímače teploty

Niklové snímače teploty se většinou vyrábějí tenkovrstvou technologií. Výhoda niklových snímačů teploty je vysoká citlivost, rychlá odezva a malé rozměry naopak nevýhodou je omezený teplotní rozsah a oproti platině značná nelinearita, horší dlouhodobá stabilita a odolnost vůči působení okolního prostředí. Podobně jako platinová čidla se kromě základní hodnoty odporu $R_0 = 100\ \Omega$ vyrábí i snímače teploty se základní hodnotou odporu 200, 500, 1000, 2000 Ω . [1]

2.3 Konstrukce odporových snímačů teploty

Kovové odporové snímače teploty se vyrábí třemi způsoby drátkovou technologií, tenkovrstvou technologií, tlustovrstvou technologií. Ukázka odporových měřicích odporů (Obr. 2).

Drátkový měřicí odpor je vyroben stočeným platinovým drátkem (průměr od 0,007 mm do 0,05 mm), fixovaným do keramiky (ve válcových kapilárách keramických tělísek) nebo je bifilárně navinuto na keramickém či skleněném tělísku a zataveno do skla. Měřicí odpor je obvykle uložen v ochranné (obvykle kovové) trubici (v některých konstrukcích je označována jako stonek). Kromě spirálového uspořádání drátku se pro rozsah do $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ vyrábějí snímače s platinovým drátkem navinutým na pertinaxové nebo slídové podložce nebo tenkovrstvou technologií, to znamená technikou napařování a iontovým leptáním na podložce Al_2O_3 (korundová keramika). Jmenovitý odpor se u napařovaných čidel přesně nastavuje



Obr. 2) Konstrukce měřicích odporů. [1]

a – drátkový platinový měřicí odpor v keramice a ve skle, b - tenkovrstvý platinový nebo niklový měřicí odpor, c – standartní měřicí

nízkovýkonovým laserem. Teplotní délková roztažnost platiny ($9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) se liší teplotní roztažností výše uvedených izolačních materiálů, a protože se platinový drátek nebo film dotýkají izolátoru, dochází k systematické odchylce způsobené relativními délkovými změnami obou materiálů. Takto vzniklá nejistota měření má charakter nejistoty způsobené hysterezí a u průmyslových měřicích odporů dosahuje při teplotách nad $400 \text{ }^\circ\text{C}$ hodnoty až $\pm 0,25 \text{ }^\circ\text{C}$. Pro metrologické účely se nejlepší stability (minimální nejistoty hodnoty odporu) docílí volným uložením platinové cívečky ve vzduchu nebo ve směsi helia a kyslíku. Přímým stykem s atmosférou dochází vlivem vodíku a kysličníku uhlíku nárůst nejistoty měření.“ [1]

2.4 Termoelektrické články

Základem termoelektrických článků je Seebeckův jev. To je jev převodu tepelné energie na elektrickou neboli přeměna teplotních rozdílů přímo na elektrické napětí.

2.4.1 Seebeckův jev

Seebeckův jev byl poprvé objeven náhodou v roce 1821 německým fyzikem Thomasem Johannem Seebeckem, který objevil, pokud budeme mít uzavřený obvod složený ze tří různých kovů. V obvodu budou mít styčná místa jednotlivých kovů různou teplotu a bude obvodem procházet malý, ale přesto měřitelný proud. Z čehož je jasné, že se v obvodu objevil zdroj elektromotorického napětí. [4]

Seebeckův jev se vytváří tím, že v teplejší části vodiče nositelé náboje větší energii v polovodičích i větší prostorovou hustotu, to znamená koncentraci, a proto difundují ve větším množství do míst, kde je vodič chladnější než nositelé z chladnějších míst do teplejších. Tím vzniká jednostranná převaha nábojů kladných a záporných, a proto znaménka absolutních Seebeckových koeficientů souhlasí se znaménkem těch nositelů nábojů, kterých je ve vodiči více. [1]

2.4.2 Typy termoelektrických článků

Pro výrobu termoelektrických článků byly normalizovány jednotlivé materiály. Některé typy termoelektrických článků jsou znázorněny v (Tab. 1), kde najdeme i měřicí rozsah k jednotlivým typům termočlánků.

Tab. 1) Měřicí rozsahy termočlánků [12]

Typ termočlánku	Měřicí rozsah [$^\circ\text{C}$]
T (Cu - CuNi)	- 200 až 400
J (Fe - CuNi)	-200 až 760
E (NiCr - CuNi)	- 100 až 700 (900)
K (NiCr - NiAl)	- 200 až 1000 (1300)
S (PtRh10 - Pt)	0 až 1300 (1600)
R (PtRh13 - Pt)	0 až 1300 (1600)
B (PtRh36 - PtRh6)	300 až 1600 (1800)
A (WRe5 - WRe20)	0 až 2500
N (nicrosil - nisil)	- 270 až 1370

Typ K: je vhodný pro oxidační a inertní atmosféru, je necitlivý pro neutronový tok, není vhodný pro měření ve vakuu.

Typ T: je nejlepší z termoelektrických článků pro nízké teploty kryogenní aplikace, v redukční, oxidační atmosféře a ve vakuu ho lze použít do teploty 700 °C.

Typ J: je vhodný pro oxidační, redukční i inertní atmosféru a vakuum. V redukční atmosféře ho lze použít bez ochranného krytí.

Typ N: má složení NiCrSi-NiSiMg a má velmi stabilní charakteristiku až do 1300 °C, je vhodný pro cyklické změny teploty a dále je vhodný pro jadernou energetiku, protože je odolný vůči neutronovému toku.

Typ E: má nejvyšší hodnotu termoelektrického koeficientu, vhodný pro vakuum a středně oxidační atmosféru kde se dá využít bez ochranného krytí.

Typ R: je využíván pro měření vysokých teplot až do 1780 °C, je také odolný vůči oxidaci a korozi, ale musí být v ochranném provedení.

Typ S: je využíván pro měření vysokých teplot až do 1780 °C, je také odolný vůči oxidaci a korozi, ale vždy musí být v ochranném provedení.

Typ B: je použitelný až od teploty 100 °C v rozsahu do 300 °C má velmi malou citlivost, má podobné vlastnosti jako R a S, ale při teplotách nad 1200 °C je stabilnější.

Typ G: má složení W-WRh a používá se pro extrémně vysoké teploty, většinou se nepoužívá pro rozsahy teplot pod 400 °C, je chemicky stabilní a vhodný k použití v oxidační i inertní atmosféře, ve vakuu a vodíku.

Typ C: má složení WRh5-WRh26 a má podobné vlastnosti jako typ G. [1]

3 PROGRAMOVATELNÉ LOGICKÉ AUTOMATY (PLC)

Programovatelný logický automat, který se zkracuje pod písmeny PLC vychází z anglického názvu programmable logic controller. Jedná se o docela malý průmyslový počítač, který se využívá k automatizaci v průmyslu. Dokáže řídit provoz průmyslových linek nebo jiných zařízeních v reálném čase.

3.1 Historie programovatelných logických automatů

Historie programovatelných logických automatů se začíná psát, když se americký výrobce automobilů General Motors začal poohlížet po náhradě nevyhovujících reléových řídicích systémů s pevnou logikou počítačovými systémy, které by byli schopné pružněji reagovat na potřeby výroby. Společnost General Motors vyhlásila v roce 1968 soutěž pro dodávku počítačového řízení pro své výrobní závody. Do soutěže se přihlásily čtyři společnosti: Information Instruments, Inc (po roce přejmenována na Allen-Bradley, nyní Rockwell Automation), Digital Equipment Corp. (DEC), Century Detroit a Bedford Associates (později Modicon). Soutěž vyhrála společnost Bedford Associates a vyrobila první PLC v roce 1969. Sestavení prvního PLC vedlo k dalšímu rozvoji výroby PLC a s postupem času se objevovali nové PLC a nové firmy vyrábějící PLC. [5]

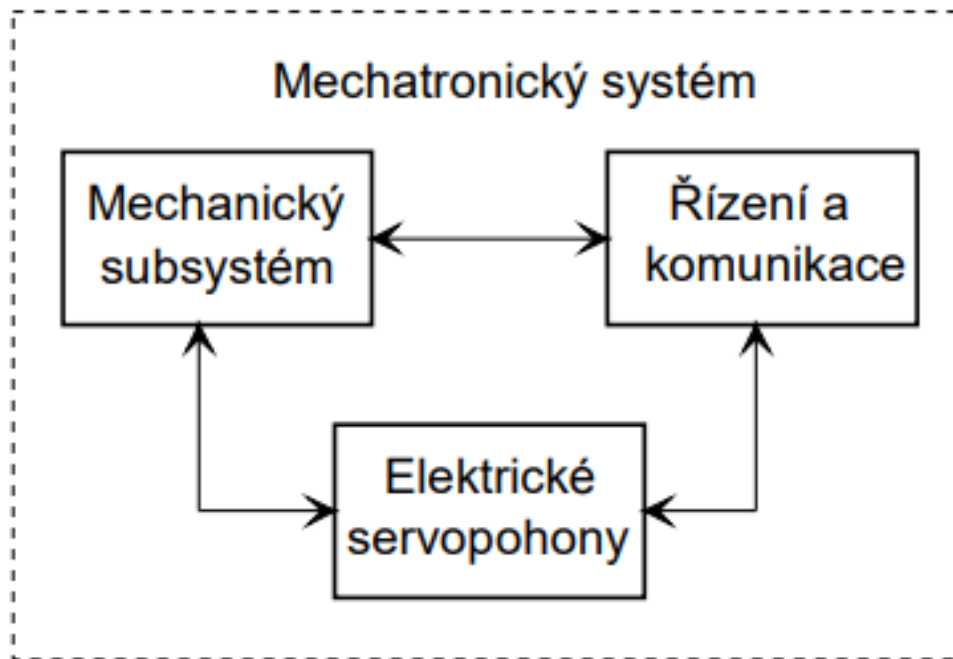
3.2 Přednosti programovatelného automatu

Hlavní předností programovatelných automatů je možnost rychlé realizace systému. Technické komponenty nemusí uživatel vyvíjet, ale stačí navrhnout sestavu modulu programovatelného automatu pro určenou aplikaci, vytvořit projekt, napsat uživatelský program a pak provést realizaci a uvést ji do chodu. Technické vybavení programovatelných logických automatů je vymyšleno tak, že jsou spolehlivé i v těžkém prostředí průmyslu, jsou odolné proti rušení, mají vysokou spolehlivost. Programovatelné logické automaty bývají vybavené vnitřní diagnostikou, která průběžně kontroluje činnost systému a dokáže včas zjistit závadu, lokalizovat ji a usnadnit její odstranění.

Jen zřídka kdy se podaří, že první varianta řešení zůstane tou poslední. Při použití systémů s pevnou logikou je každá změna zdrojem problému, u programovatelných automatů stačí mnohdy jen opravit, změnit nebo rozšířit uživatelský program. Pokud požadavky vyžadují použití nových vstupů a výstupů, může stačit využitím volných vstupů nebo výstupů, pokud nějaké zbyly. Pokud nám žádné volné vstupy nebo výstupy nezůstaly, stačí jednoduše dokoupit vhodný modul. Programovatelné logické automaty se díky velké variabilitě staly oblíbené technické řešení, protože programovatelné automaty umožňují relativně snadno, a hlavně rychle změnit program již v zavedeném provozu. [6]

4 ELEKTRICKÉ SERVOPOHY

Elektrický servopohon v mechatronice vyznačuje subsystém mechatronického systému, v němž zajišťuje řízení pohybu při současné přeměně elektrické energie na mechanickou práci. Dalšími subsystémy mechatronického systému jsou subsystém řízení a komunikace a subsystém mechaniky, to je kinematika a dynamika přenosu pohybu, jak je znázorněno na obrázku (Obr. 3). [7]



Obr. 3) Mechatronický systém [7]

Elektrický servopohon je regulační pohon, sestávající z jednoho nebo více elektrických motorů, napájecích výkonových měničů a řídicích a regulačních obvodů. Zatímco běžný elektrický pohon dokáže pracovat v mnoha případech i v otevřené regulační smyčce, to znamená bez zpětné vazby, servopohon je zapojen vždy v uzavřené regulační smyčce, se zpětnou vazbou rychlostní a většinou i polohovou. Hlavními požadavky na servopohony jsou jejich regulační parametry, to je přesnost a rychlost regulace a dále také jejich spolehlivost, protože často bývají součástí rozsáhlých automatizovaných soustav. [7]

4.1 Systémy řízení servopohonů

Nejjednodušší autonomní servopohony individuálně využívaných pracovních strojů mohou být ovládány jen ručně z ovládání stroje. Častěji se však setkáváme se servopohony, které jsou součástí rozsáhlejšího systému řízení nejčastěji uspořádaným hierarchicky. [7]

Na nejnižší úrovni (to znamená nejbližší technologickému procesu) jsou servopohony autonomní rychlostní nebo polohové servomechanismy. Tato řešení řízení zajišťuje dynamiku pohybu a zpětná diagnostická hlášení. Střední úroveň řízení je nejčastěji řídicí počítač (numerický řídicí systém), který řídí v reálném čase technologický proces, u servopohonů určuje polohu a rychlost pohybu, pokud aplikace vyžaduje dokáže řídit i kroutící moment nebo

sílu potřebnou pro technologický proces. Řídící počítače jednotlivých pracovních strojů, řazených do technologických linek, jsou zapojeny do lokální počítačové sítě a řízeny z nadřazeného počítače, který řídí celý cyklus včetně obslužných funkcí, jako může být doprava materiálu a polotovarů, kontrola a testování nebo operativní plánování. Systém hierarchie řízení vždy předpokládá, že pokud nastane porucha vyšší úrovně řízení je nižší úroveň schopna samostatné funkce, ale bohužel většinou s určitými omezeními. [7]

Pro spojení řídicích počítačů střední úrovně se servopohony se používá řešení se společnou sběrnici, s paralelním přenosem informace, nebo tak zvaná kruhová síť, se sériovým přenosem informace. Řešení se společnou sběrnici se používá, pokud se servopohony nachází na jednom mechanickém celku například u robotů. Když je potřeba komunikovat na větší vzdálenost využívá se kruhová síť, nejčastěji s optickým přenosem signálu. [7]

4.2 Servopohon jako mechanismus polohy

Elektrický servopohon je regulační pohon, skládající se z elektromotoru, výkonového polovodičového měniče pro napájení a řízení motoru a regulátoru otáček neboli polohy. Součástí motoru jsou obvykle i součásti na snímání rychlosti a polohy. Pohon musí umožňovat čtyřkvadrantový provoz, to znamená, že se motor dokáže otáčet na oba směry a vyvodit moment na oba směry. Servopohon pracuje v uzavřené zpětné vazbě. [7]

4.2.1 Rychlostní servopohon a polohový servopohon

Rychlostní servopohon nebo taky otáčkový servopohon má pouze otáčkovou zpětnou vazbu a umožňuje rychlé a přesné sledování zadávané rychlosti, kde zadávaná rychlost může být výstupem nadřazeného regulátoru, který může být na příklad regulátor polohy nebo technologický regulátor. [7]

Polohový servopohon je servomechanismus pro řízení polohy. Dokáže řídit polohu úhlem natočení nebo díky převodu posuvné dráhy [7]

4.3 Návrh servopohonů

Servopohony se dimenzují pomocí výpočtů statických a dynamických zatěžovacích momentů, cílem výpočtů je určení velikosti motoru a přiřadit k nim příslušné měniče, zpravidla podle požadavku proudové přetížitelnosti. Návrh koncepce a struktury regulačních obvodů obsahuje volbu snímačů a čidel polohy, rychlosti, případně jiných technologických veličin. Dále se musíme rozhodnout, zda bude regulace analogová, digitální, hybridní. V potaz musíme vzít také návrh regulačních smyček a jejich syntézu to znamená návrh přenosových funkcí jednotlivých regulátorů. [7]

Nesmíme zapomenout na volbu jištění a ochran, která je velmi důležitá z hlediska bezpečnosti, musí zahrnovat jištění proti zkratu a jištění proti nadproudu, někdy i ochranu proti přepětí nebo podpětí. Teplotní ochrany se používají proti přetížení, což jsou termistory nebo bimetalová relé zabudovaná přímo do vinutí elektromotorů a do chladičů výkonových polovodičových prvků. [7]

5 NÁVRH A KONCEPCE ZAŘÍZENÍ

Cílem bakalářské práce je navrhnout a sestrojít zařízení pro regulaci teploty v kvasných tancích ve sklepním hospodářství. Zařízení bude mít za úkol udržovat konstantní žádanou teplotu. Zařízení bude realizováno pomocí programovatelného logického automatu, teplotních senzorů a servopohonů.

5.1 Popis a požadavky řešeného problému

Během kvašení vinného moštu v kvasných tancích dochází vlivem alkoholové fermentace k nežádoucímu navyšování jeho teploty. Zvýšená teplota vinného moštu má za následek výrazné zhoršení jeho vlastností a to zejména intenzitu aromat, chuti a dále vede ke snížení koncentrace alkoholu. Optimální teplota kvašení se liší dle odrůdy vína a filozofie výroby vín jednotlivých vinařství.

Následující tabulka (Tab.2) uvádí vybrané odrůdy a jejich optimální teplotní rozsah alkoholového kvašení.

Tab. 2) Optimální teploty kvašení jednotlivých odrůd

Název odrůdy	Min. teplota [°C]	Max. teplota [°C]
Muškát moravský	12	14
Rulandské šedé	15	17
Hibernal	14	15
Pálava	13	15
Neuburské	15	17
Ryzlink vlašský	15	18
Rosé	14	16

V neautomatizovaném provozu probíhá řízení teploty alkoholového kvašení manuálně. V daných časových intervalech obsluha kvasných tanků provádí ruční měření teploty kvasícího vinného moštu, na základě kterého vyhodnotí, zda zvýšit nebo snížit intenzitu chlazení. Intenzita chlazení je regulována pomocí kulového ventilu, který řídí velikost průtoku chladícího média do dvouplášťového kvasného tanku. Kvasný proces je nedeterministický a stanovení měřících intervalů je velmi obtížné, proto tato metoda není vhodná. Často vzhledem k velké setrvačnosti této regulované soustavy dochází k překročení optimálních teplot, a tedy ztráty výsledné kvality vína.

Požadavky na navrhovaný systém řešení jsou:

- Minimalizace zásahů člověka do systému
- Kontinuální měření a regulaci teploty
- Zamezení přehřátí kvasícího vinného moštu
- Zamezení přechlazení kvasícího vinného moštu
- Možnost vzdáleného přístupu

5.2 Výběr použitých komponent

Na začátku práce bylo uvažováno nad využitím k řízení chladicího systému multikontrolér (například Arduino uno), ale kvůli značným nevýhodám oproti PLC. Bylo rozhodnuto využít pro řízení programovatelný logický automat.

Výhody programovatelné logického automatu:

- Dlouhá životnost
- Zvládne nepřetržitý provoz
- Vhodný do průmyslových provozů
- Certifikace, vyvinuté a otestované zařízení

Výhody programovatelných logických automatů jsou detailněji popsány v kapitole 3.2

5.2.1 Programovatelný logický automat

Výběrová kritéria pro volbu programovatelného logického automatu:

- Napájení pomocí 24V
- Ethernet
- Webservice
- Provozní teplota 0 °C až 30 °C

Programovatelný automat byl vybrán Orbit merret OMC 8000 (Obr. 4), hlavním důvodem byla nízká cena oproti konkurenčním výrobcům PLC. Technické parametry zvoleného programovatelného logického automatu jsou: Provozní teplota -20 °C až 60 °C, připojení ethernetu, možnost vizualizace přes webservice, napájení 24V)

Programovatelný automat obsahuje 3 digitální vstupy, 6 univerzálních vstupů se společnou zemní svorkou.

K Orbit merret OMC 8000 lze připojit až 31 modulů, díky tomu lze velmi snadno regulační zařízení rozšířit o další fermentační nádrže.



Obr. 4) PLC Orbit merret OMC 8000 [9]

5.2.2 Teplotní senzor

Teplotní senzor bude umístěn do jímky kvasného tanku o průměru 10 mm a bude měřit nepřímo teplotu kvasícího vinného moštu. V prostředí sklepního hospodářství se vyskytuje zvýšená vlhkost vzduchu (i nad 65 %). Během provozu může nastat přímý kontakt teplotního senzoru s vodou.

Výběrová kritéria pro teplotní senzor byla zvolena:

- Stupeň krytí IP 67
- Teplotní rozsah měřených teplot 0 °C až 40 °C
- Přesnost měření 0,1 °C
- Vhodné rozměry

Teplotní senzor byl zvolen PT100 od firmy WZP. Technické parametry zvoleného teplotního senzoru jsou: stupeň krytí IP67, rozsah měřených teplot je –20 °C až 450 °C, průměr teplotního senzoru jsou 4 mm.

Detailněji rozebrané výhody a informace o platinových odporových teplotních senzorech jsou popsány v kapitole 2.2.1

5.2.3 Servopohon

Servopohon bude řídit tok chladicího média do dvouplášťového kvasného tanku.

Jeden z požadavků na servopohon byl vybrat značku Belimo, která je ověřená aplikacemi, výrobcí komerčních zařízení.

Požadavky na servopohon byla vybrána:

- Napájení a řízení 24V
- Možnost připojení na stávající rozvod chladicího média
- Plná změna krajních poloh ventilu pod dvě minuty
- Značka Belimo

Servopohon byl zvolen Belimo TR 24 (Obr. 6), který využívá ke své správné funkci dvoucestný kulový kohout Belimo R2015-S1 (R 215) (Obr. 5), ke kterému byl upevněn pomocí šroubu a vějířovité podložky. Technické parametry servopohonu Belimo TR 24: napájecí napětí 24VDC, doba přestavení 100 sekund.



Obr. 6) Servopohon Belimo TR 24 [11]



Obr. 5) Kulový kohout Belimo R2015 – S1 [10]

5.3 Chladicí agregát

Pro chlazení kvasícího vinného moštu v malých vinařských provozech, je běžně využíván chladicí agregát primárně určený k chlazení piva. Kvůli jeho nízké pořizovací ceně a dostatečné chladicí kapacitě, pro malé vinařské provozy.

Chladicí agregát byl instalován na vnější stěně vinařského provozu.

Vybraná kritéria na chladicí agregát:

- Elektrické napětí 230V
- Chladicí výkon minimálně 250 l/hod ($T_o 0^{\circ}\text{C}/T_k 50^{\circ}\text{C}$)
- Minimální příkon 1000W

Chladicí agregát byl zvolen značky Lindr CWP 300. Technické parametry chladícího agregátu Lindr: příkon 1750W, elektrické napětí 230V, chladicí výkon 300 l/hod ($T_o 0^{\circ}\text{C}/T_k 50^{\circ}\text{C}$)

5.4 Rozvod

Rozvod chladícího média byl realizován pomocí PPR (polypropylen-random) potrubí, které tvoří uzavřený okruh. V uzavřeném okruhu je nainstalován chladicí agregát. Rozvod chladícího média je veden od chladícího agregátu, který je umístěn na vnější straně zdi sklepního hospodářství, do tří nerezových nádrží s dvouplášťovými stěnami, které se nachází na vnitřní straně zdi sklepního hospodářství. Dále byly vytvořeny dva samostatné výstupy rozvodu ukončené kulovým ventilem pro možnost připojení dalších kvasných tanků na manuální provoz.

5.5 Zdroj napájení

Zdroj napájení byl zvolen GST25E – 24V. Následující tabulka (viz Tab. 3)) udává potřebné příkony daných zařízení.

Tab. 3) Příkon komponent

Název	příkon/kus	příkon
PLC	7,2W	7,2W
3 – servopohony	0,5W	1,5W
Celkový příkon		8,7W

Technické parametry zdroje:

- Input: 100 – 240V, 50/60 Hz, 0,6A
- Output: 24V 1 1,04 A, 25W

Zdroj napájení je pro naše sestavené zařízení dostatečný.

5.6 Zapojení

Zapojení komponentů bylo realizováno do plastové průmyslové krabičky o stupni krytí IP67, která byla umístěna na stěnu sklepního hospodářství vedle kvasných nádob, kam byl přiveden Ethernet. V zapojení jsou celkem tři servopohony Belimo TR24, tři PT100 WZP, PLC Orbit merret OMC 8000, napájecí zdroj 24V, svorkovnice a DIN lišty. Zapojení bylo realizováno podle přiloženého schématu viz příloha 1.

6 PROGRAM

Program pro řízení navrženého zařízení byl vytvořen v prostředí Multiprog.

6.1 Multiprog

Multiprog je programovací software vytvořený německou společností KW-Software pro PC s operačním systémem Windows. Programovací software Multiprog využívá výrobce Orbit merret pro své programovatelné logické automaty. [8]

V systému Multiprog, lze programovat následujícími programovacími režimy:

- Seznam instrukcí (LS)
- Strukturovaný text (ST)
- Liniové (žebříčkové, reléové) schéma (LD)
- Schéma funkčních bloků (FBD)
- Sekvenční funkční diagram (SFC)

6.2 Řízení

K programování byly využity dva programovací jazyky:

- Strukturovaný text (ST)
- Funkční blokové schémata (FBD).

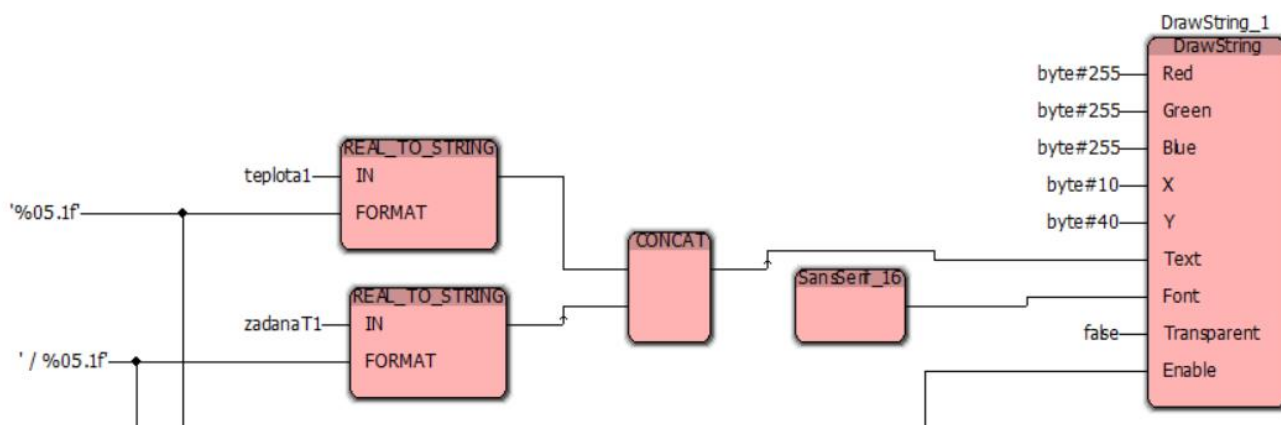
Ukázka části kódu (oblast regulace teploty) viz (Obr. 7). Pokud je teplota nižší než nastavená (s uvažáním hystereze), tak v případě že bylo relé sepnuto, dojde k jeho vypnutí. Pokud je teplota vyšší než nastavená (s uvažáním hystereze), tak v případě že nebylo relé sepnuto, dojde k jeho sepnutí.

```
IF (teplota1 <= (zadanaT1 - hystereze)) AND (rele1) THEN
    rele1 := false;
ELSIF (teplota1 >= (zadanaT1 + hystereze)) AND (NOT rele1) THEN
    rele1 := true;
END_IF;
```

Obr. 7) Ukázka kódu – regulace teploty

6.3 Vizualizace

Následující uvedené funkční blokové schéma na Obr. 8), znázorňuje zpracování vstupních dat pro zobrazení na integrovaný displej programovatelného logického automatu (Obr. 9).



Obr. 8) Blokové schéma – zobrazení na integrovaný displej



Obr. 9) Integrovaný displej PLC

Dále je možné zobrazit aktuální hodnoty a vzdáleně měnit nastavení požadovaných hodnot pomocí webového rozhraní. Ukázka je uvedena na (Obr. 11) a (Obr. 10) níže.

The screenshot shows the 'Chlazení - Domu' page with the following table:

Variable name	Value
teplota1	25.1519
teplota2	28.5651
teplota3	21.914
hystereze	0.5
rele1	1
rele2	0
rele3	0

Additional elements include a 'Refresh' button, a 'Periodic:' checkbox, and links for 'OMC 8000 product page' and 'Settings'.

Obr. 10) Webserver - přehled

The screenshot shows the 'Chlazení - Nastavení' page with the following table:

Variable name	Value
zadanaT1_RW	12
zadanaT2_RW	30
zadanaT3_RW	30

Additional elements include 'Refresh', 'Periodic:', and 'Send' buttons, along with links for 'OMC 8000 product page' and 'Settings'.

Obr. 11) Webserver - ovládání

6.4 Ověření funkce

Ověření funkce proběhlo experimentálně. Hodnoty nastavení byly zvoleny viz (Tab. 4)

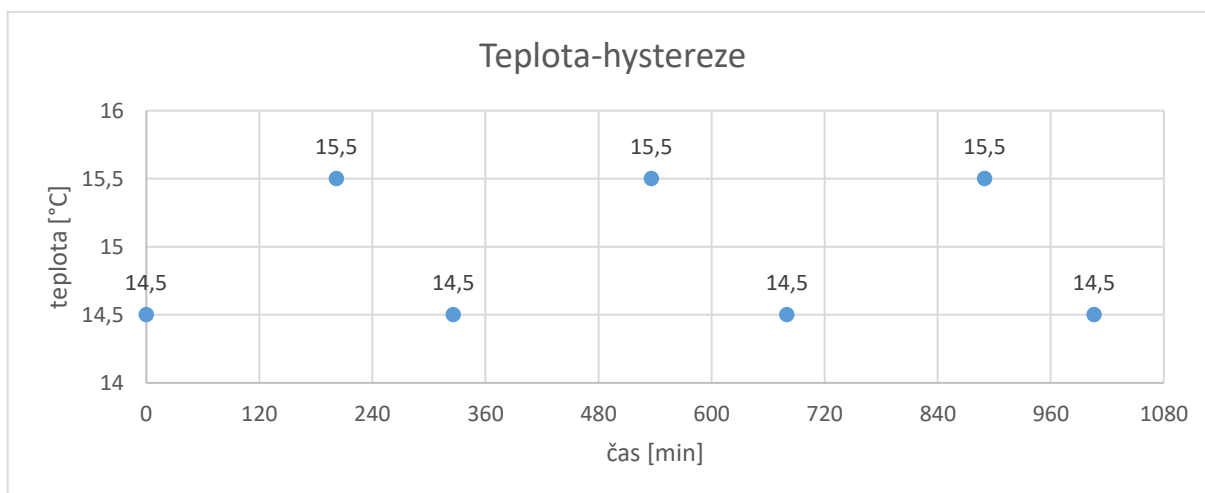
Parametry pro experimentální ověření funkce.

Tab. 4) Nastavení chladícího zařízení

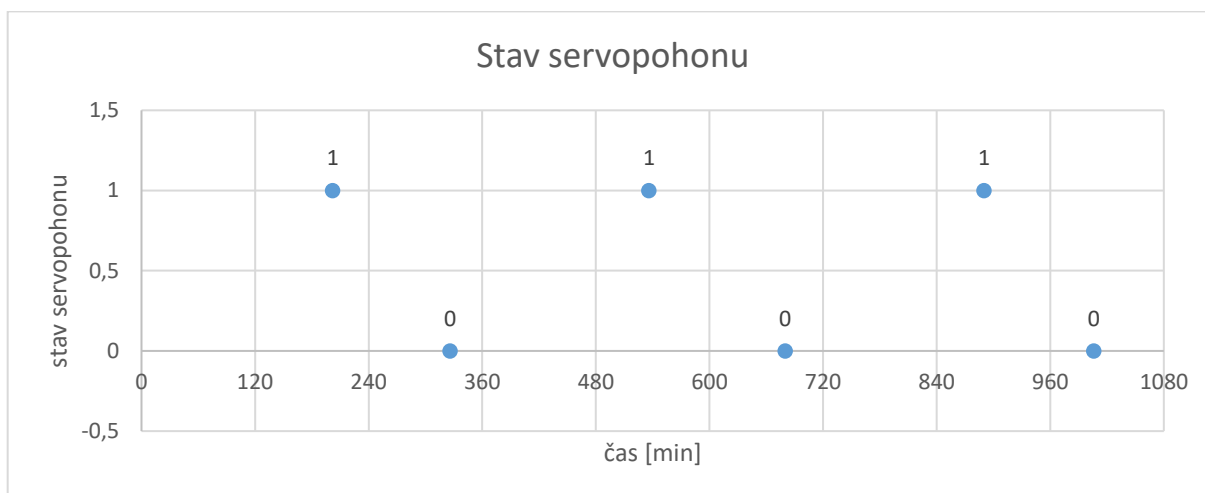
název	Hodnota
Nastavená teplota	15 °C
hystereze	0,5 °C

System byl pozorován po dobu měření a při změně stavu relé, byly zachyceny veličiny viz následující grafy (Obr. 12), (Obr. 13).

Z grafů (Obr. 12), (Obr. 13) vyplývá, že doba zchlazení z horní přípustné teploty na dolní přípustnou teplotu se pohybuje přibližně okolo 120 minut (vnější podmínky: teplota 12 °C, vlhkost vzduchu 66 %, teplota chladiva 4°C). Servopohon mění svou polohu přibližně každých 120 minut



Obr. 12) Ověření funkce - teplota



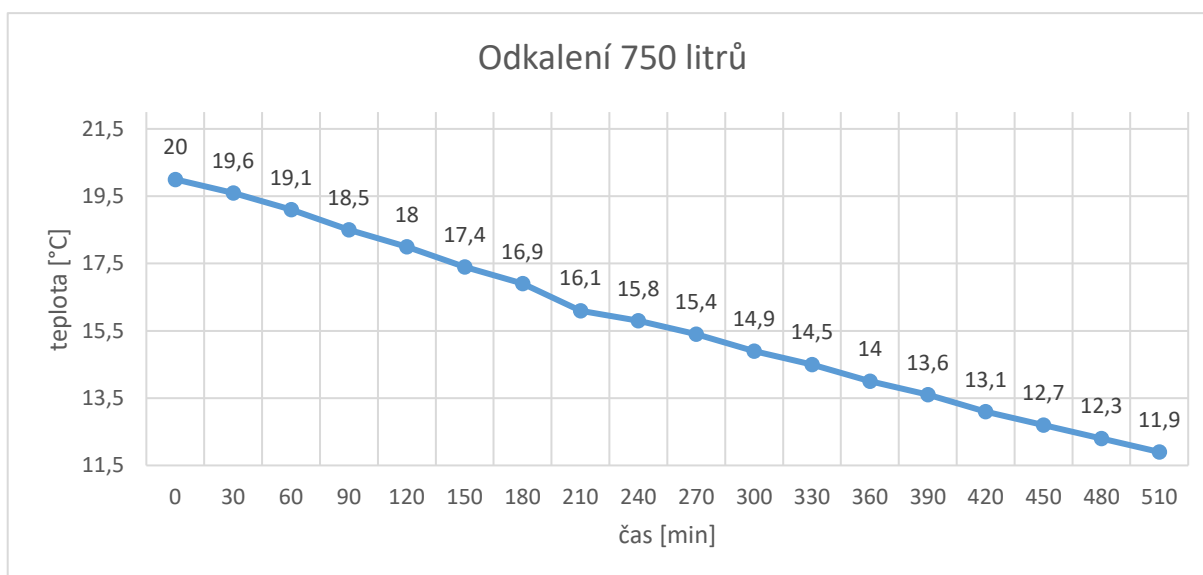
Obr. 13) Ověření funkce – stav servopohonu

7 MĚŘENÍ – DYNAMICKÁ CHARAKTERISTIKA

Byly provedeny celkem dvě měření. Měření bylo uskutečněno manuálně, pomocí ručního teploměru, změřené teploty byly zaznamenány společně s časem. Na základě naměřených hodnot byly vytvořeny grafy.

První měření bylo uskutečněno při takzvaném odkalením vinného moštu.

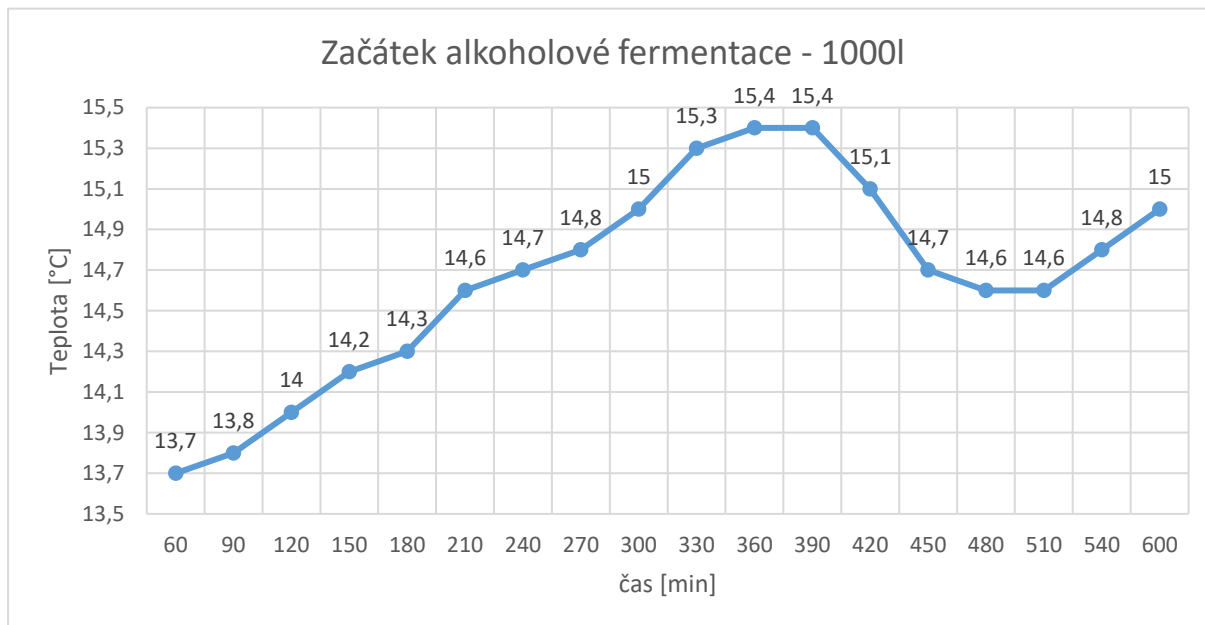
Odkalení vinného moštu probíhá těsně po vylisování hroznů révy vinné. Vinný mošt je chlazen v tanku na nízkou teplotu 8 °C až 12 °C. Při této nízké teplotě sedimentují hrubé částice ve vinném moštu na dno nádrže, které se následně po cca 24 hodinách oddělí od již, čistého moštu. Oddělením hrubých částic z vinného moštu se zajistí kvalitnější, zdravější a bezpečnější alkoholová fermentace. Nízká teplota zabraňuje alkoholovému kvašení, které je při odkalení nežádoucím jevem. Poté je čistý vinný mošt zakvašen čistou kulturou kvasinek. Následně začne vinný mošt fermentovat při optimální teplotě pro danou odrůdu vína. Optimální teplota se volí podle požadavků enologa na výsledné víno.



Obr. 14) Odkalení vinného moštu

Z grafu (Obr. 14) vyplývá, že zchlazení 750 litrů vinného moštu z 20 °C na 11,9 °C trvá 510 minut, a že průměrné zchlazení přibližně o 0,5 °C trvá cca 30 minut. (vnější podmínky: teplota 14 °C, vlhkost vzduchu 67 %, teplota chladiva 4 °C).

Druhé měření bylo provedeno jeden den po odkalení vinného moštu do doby, než se teplota vinného moštu nezvedla na optimální teplotu kvašení. Následně po dosažení optimální teploty kvašení začal navržený systém regulovat teplotu vinného moštu na žádanou teplotu alkoholové fermentace vinného moštu.



Obr. 15) Začátek kvašení vinného moštu

Z grafu (Obr. 15) vyplívá, že doba zchlazení vinného moštu na minimální přípustnou teplotu i při začátku alkoholové fermentace, kdy je menší intenzita ohřívání vinného moštu, je přibližně 130 minut, ale za jiných vnějších podmínek než při prvním měření. (vnější podmínky: teplota 25 °C, vlhkost vzduchu 60 %, teplota chladiva 7 °C).

8 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Navrhované zařízení je o cca dvě třetiny levnější než komerčně dostupná zařízení, tudíž z pohledu vstupního kapitálu a návratnosti investice je pro malé vinařské provozy ekonomicky výhodnější a atraktivnější pořídit navrhovanou variantu zařízení.

Tab. 5) Přehled cen jednotlivých komponent

komponent	Počet kusů	Cena/ks [Kč]	Cena [Kč]
Orbit merret OMC 8000 (PLC)	1	7792	7792
PT100 WZP	3	49	147
Rozvod	1	8000	8000
Chladicí agregát	1	35437	35437
Servopohon	3	2370	7110
Kulový ventil	3	1278	3834
Elektro materiál	-	2535	2535
celkem			64855

Konečná cena zařízení činí 64 855Kč (Tab. 5), ale byl zvolen dražší agregát chlazení primárně určený na pivo. Menší vinařské provozy by mohly volbou levnějšího chladícího agregátu výrazně snížit pořizovací cenu, ale zároveň sníží chladicí kapacitu. Cena chladících agregátů primárně určených na pivo se pohybuje přibližně od 16 000Kč do 60 000Kč. Je vhodné zvolit chladicí agregát podle objemu vyráběného vína.

Cena komerčního zařízení pro naši aplikaci by činila přibližně 250 000Kč, což je pro vyráběné množství vína zcela nerentabilní. Vysoká pořizovací cena komerčních zařízení byl hlavní důvod pro vytvoření vlastního zařízení pro regulaci teploty vinného moštu.

9 SROVNÁNÍ S KOMERČNÍMI ZAŘÍZENÍMI

Navržený systém zařízení je možné srovnávat s komerčními zařízeními například od firmy Unicom, HM, ale i se zařízeními od jiných firem.

Specializované firmy využívají výkonnější chladicí agregáty, které nejsou primárně určené pro chlazení piva. Výkon těchto chladicích agregátů umožňuje rychlejší snížení teploty, chladit při odkalení vinného moštu na nižší teplotu. Největší nevýhodou je vysoká pořizovací cena a nerentabilita. Komerční zařízení využívá ovládání teploty pomocí manuálních tlačítek na rozvaděči.

Navržený systém zařízení reguluje teplotu na stejném principu jako komerční zařízení, ale disponuje nižším chladicím výkonem, protože využívá k chlazení chladicí agregát primárně určený k chlazení piva. Výhodou navrženého systému zařízení je přítomnost webserveru, který umožňuje vzdálený přístup k ovládání a vizualizaci hodnot do mobilního telefonu nebo počítače.

9.1 Doporučení pro praxi

Vytvořené zařízení lze doporučit pro všechny malé vinařské provozy, kde bude výkonnostně dostačovat chladicí agregát, který je primárně určený na chlazení piva, anebo tento agregát je již využíván a není zautomatizovaný provoz řízení teploty. Tato metoda je hojně využívána u malých vinařských provozů. Nově vytvořené zařízení dokáže usnadnit práci, neboť zautomatizuje proces regulace teploty. Tato automatizace teploty má přímý vliv na kvalitu výsledného vína. Pro velké provozy, kde se pracuje s velkými objemy vína, už není vytvořené zařízení vhodné, protože chladicí agregát určený na chlazení piva nemá dostatečnou chladicí kapacitu. V praxi se u středních vinařství běžně využívá více chladicích agregátů na pivo v jednom provozu s manuálním řízením teploty. Za těchto okolností by sestavené zařízení opět dávalo smysl využívat, ale u více chladicích agregátů by se cena vytvořeného zařízení, zvýšila počtem servopohonů, armatur a teplotních senzorů, případně rozšiřujících modulů programovatelného logického automatu.

10 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a sestavit zařízení, které zautomatizuje proces regulace teploty kvasícího vinného moštu ve vinařském provozu.

Tato práce popisuje v prvních kapitolách automatizační techniku jako jsou programovatelné automaty, servopohony a teplotní senzory. Dále se zabývá volbou vhodných komponentů pro danou aplikaci.

V další části práce je prezentován vytvořený řídicí program pro navržené zařízení, který byl vytvořen v prostředí Multiprog. Byla vytvořena výkresová dokumentace zapojení navrženého zařízení.

Na základě vlastního návrhu bylo zařízení sestaveno. Byla provedena zkušební měření, která verifikovala funkčnost zařízení. Následně navržené řešení ověřil dvouletý provoz ve vinařském provozu.

Navržené zařízení bylo porovnáno s komerčními zařízeními. V této části práce bylo navržené zařízení zhodnoceno. Během zhodnocení byla zohledněna funkčnost a výkon, ale i ekonomické parametry, přičemž náklady na navržené zařízení jsou jen přibližně třetinové oproti komerčním zařízením.

Využití navrženého automatizačního zařízení ve vinařském provozu má přímý vliv na výslednou kvalitu vína a také ušetří čas, protože není potřeba řídit teplotu manuálně.

Další vývoj zařízení je možný například v zápisu naměřených hodnot pomocí PLC na micro – SD kartu. S naměřenými daty je možné dále pracovat, protože enolog bude znát přesnou kinetiku kvašení. Bude moci přesně načasovat vstupy do fermentace vinného moštu. Tento vývoj by vedl k dalšímu zvýšení kvality konečného produktu.

Zařízení je možné rozšířit o další kvasné tanky, ale bude nutné dokoupit rozšiřující PLC modul a zvážit zda bude dostačující stávající chladicí agregát nebo bude nutné pořídit výkonnější model.

Finální produkt bych doporučil do všech menších vinařských provozů, kde nemají zautomatizovaný provoz chlazení a z hlediska vstupního kapitálu a návratnosti investice se nevyplatí pořídit komerční zařízení na regulaci teploty.

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KREIDL, Marcel. *Měření teploty: senzory a měřicí obvody*. 1. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2005. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-730-0145-4.
- [2] *Automatizace* [online]. [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/>
- [3] Redakce HW serveru. *Redakce HW serveru* [online]. Praha: Redakce HW serveru, 2004 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-teploty-polovodicove-odporove-senzory-teploty.html>
- [4] GOLAB, František a František KAMENČÁK. *Termoelektrické jevy a jejich užití*. 1. vydání. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1975. Pomocné knihy pro žáky (Státní pedagogické nakladatelství). ISBN -.
- [5] Plc-automatizace. *Plc-automatizace* [online]. -: -, - [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: <http://plc-automatizace.cz/knihovna/historie/historie-plc.htm>
- [6] *Programovatelné automaty (PLC)* [online]. 2016 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/automatizace/programovatelne-automaty-plc>
- [7] SKALICKÝ, Jiří. *Elektrické servopohony*. Vyd. 2. Brno: Vysoké učení technické, 2001. ISBN 80-214-1978-4.
- [8] České PLC od českého výrobce Orbit Merret. *Automatizace.hw* [online]. 2013 [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/ceske-plc-od-ceskeho-vyrobce-orbit-merret>
- [9] *PLC Orbit merret OMC 8000* [online]. In: . [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://www.merret.cz/omc-8000>
- [10] *Belimo kulový kohout* [online]. In: . [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://www.bola.cz/dvoucestny-kulovy-kohout-belimo-r2015-s1-r-215>
- [11] *Servopohon Belimo TR24* [online]. In: . [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://www.bola.cz/servopohon-belimo-tr24>
- [12] *Měřicí rozsahy termočlánků* [online]. In: . [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: http://user.mendelu.cz/xklepar0/fls/sn_tcl.htm

12 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

12.1 Seznam zkratek a symbolů

Označení	Jednotka	Název
PLC	[-]	Programmable Logic Controller
T	°C	Teplota
t	s	Čas
R	Ω	Elektrický odpor
T	K	Termodynamická teplota
U	V	Elektrické napětí
PPR	[-]	Polypropylen-random
I	A	Elektrický proud
f	Hz	Frekvence
P	W	Elektrický výkon
P	W	Elektrický příkon
t	min	Čas
Φ	%	Relativní vlhkost vzduchu
V	l	Objem

12.2 Seznam obrázků

Obr. 1) Toleranční třídy platinových teplotních senzorů [1].....	18
Obr. 2) Konstrukce měřících odporů. [1].....	19
Obr. 3) Mechatronický systém [7].....	23
Obr. 4) PLC Orbit merret OMC 8000 [9].....	26
Obr. 5) Kulový kohout Belimo R2015 – S1 [10].....	27
Obr. 6) Servopohon Belimo TR 24 [11].....	27
Obr. 7) Ukázka kódu – regulace teploty.....	30
Obr. 8) Blokové schéma – zobrazení na integrovaný displej.....	31
Obr. 9) Integrovaný displej PLC.....	31
Obr. 10) Webserver - přehled.....	32
Obr. 11) Webserver - ovládání.....	32
Obr. 12) Ověření funkce - teplota.....	33
Obr. 13) Ověření funkce – stav servopohonu.....	33
Obr. 14) Odkalení vinného moštu.....	34
Obr. 15) Začátek kvašení vinného moštu.....	35

12.3 Seznam tabulek

Tab. 1) Měřicí rozsahy termočlánků	20
Tab. 2) Optimální teploty kvašení jednotlivých odrůd.....	25
Tab. 3) Příkon komponent.....	28
Tab. 4) Nastavení chladícího zařízení.....	32
Tab. 5) Přehled cen jednotlivých komponent.....	36

13 SEZNAM ELEKTRONICKÝCH PŘÍLOH

Příloha 1

Schéma zapojení

Příloha 2

Program – řídicí software

Příloha 3

Technický list - Orbitt merret OMC 8000

Příloha 4

Technický list - PT100

Příloha 5

Technický list - Belimo TR24

Příloha 6

Technický list - kulový ventil

Příloha 7

Technický list – chlazení

Příloha 8

Realizace – obrázek – rozvod chladicího média

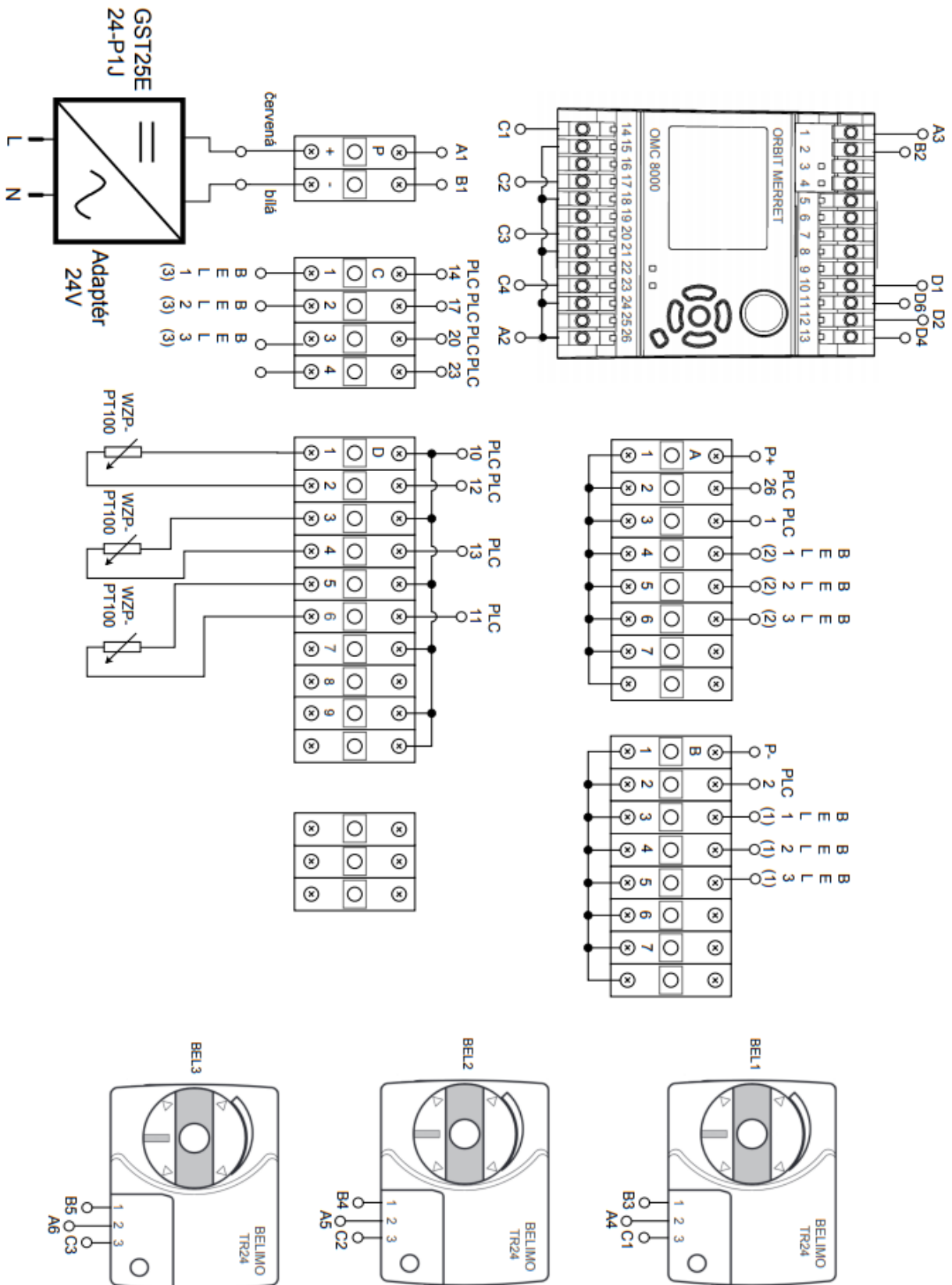
Příloha 9

Realizace – obrázek – kvasné tanky

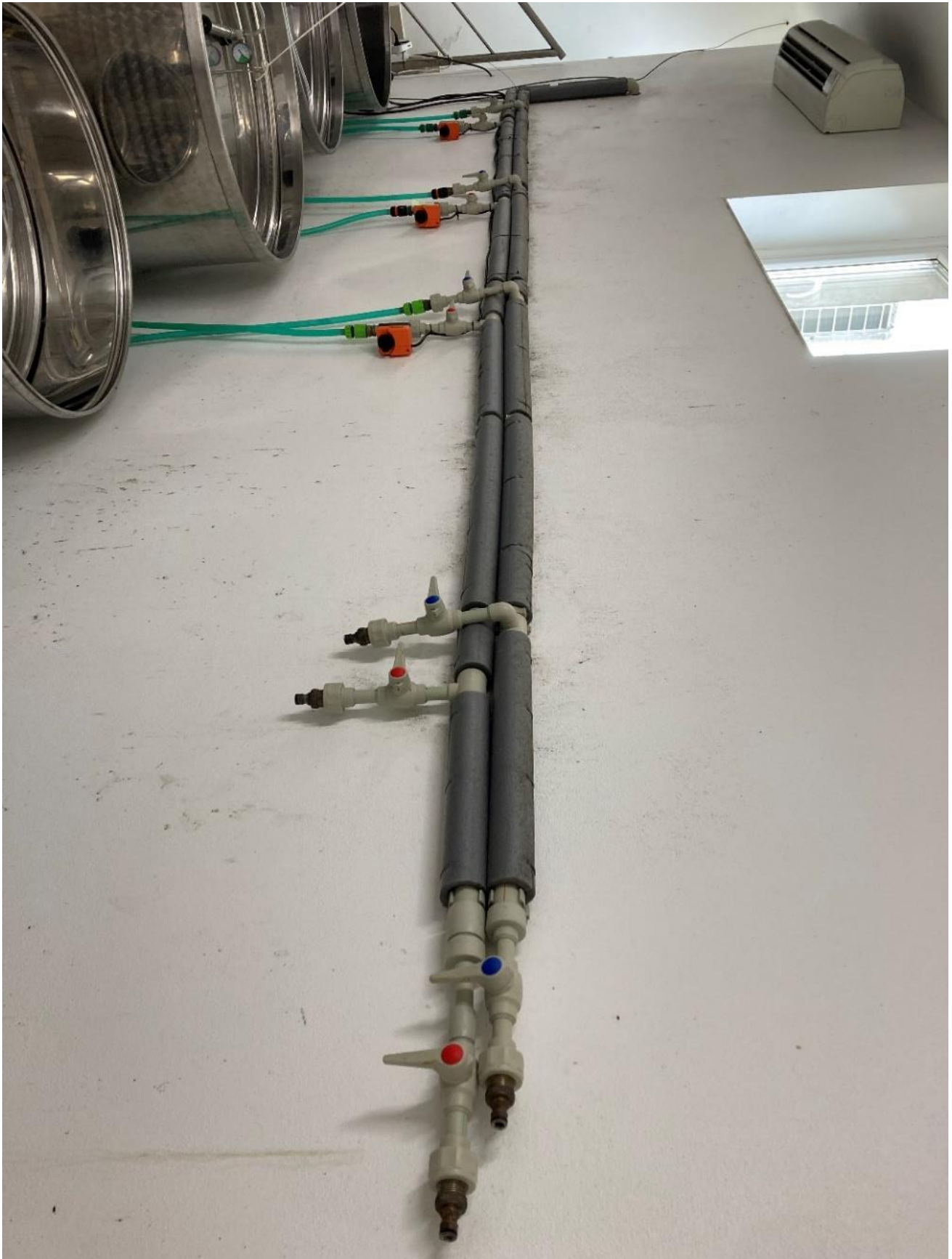
Příloha 10

Realizace – obrázek – zapojení do průmyslové krabičky

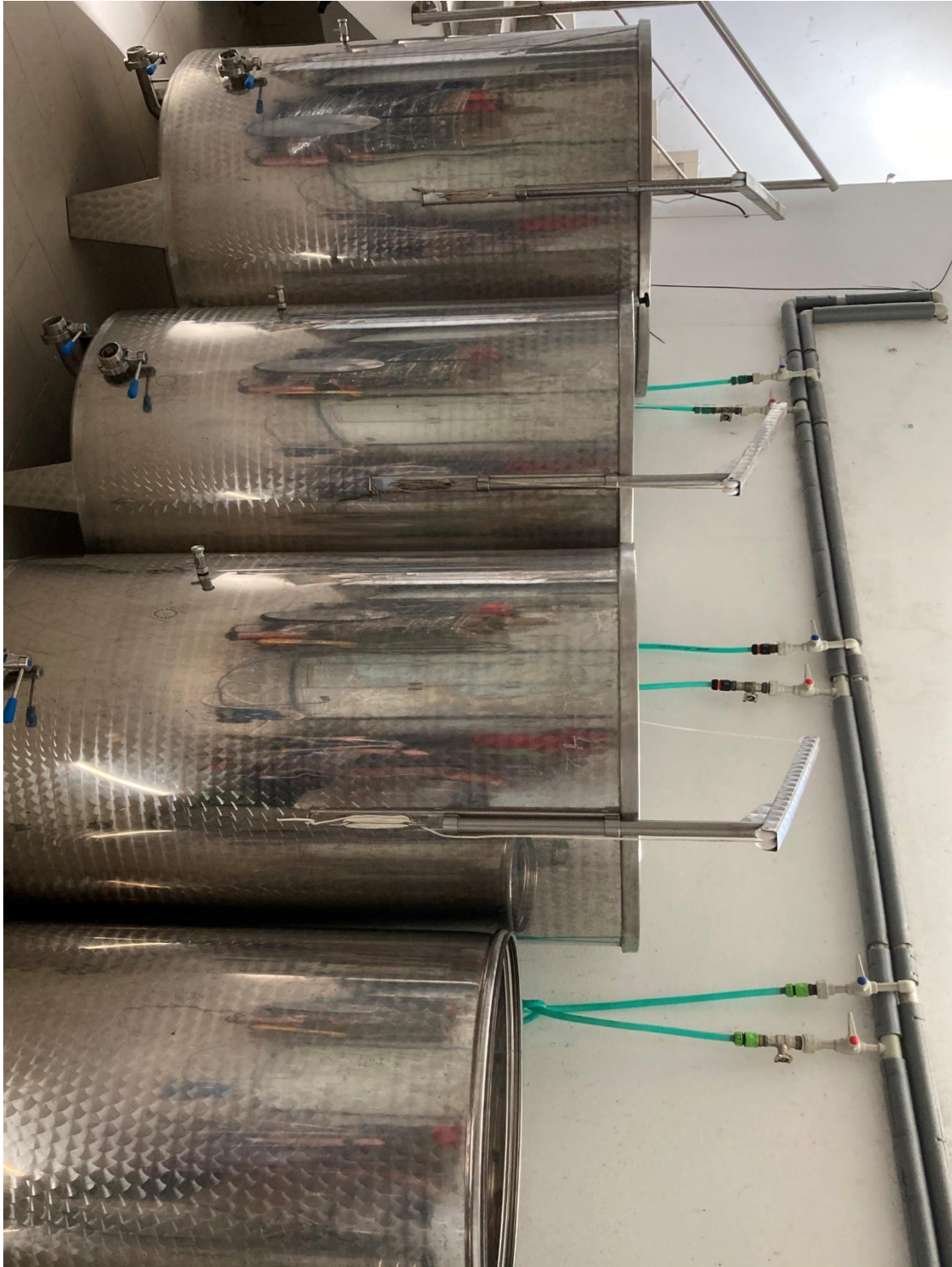
PŘÍLOHA 1



PŘÍLOHA 8



PŘÍLOHA 9



PŘÍLOHA 10

