



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

**Návrh malého destilačního zařízení pro
osobní použití**

**Design of Small Distillation Equipment for
Personal Use**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2022

Jaromír Moureček

Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ
Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový
Vedoucí práce: Ing. Josef Kamenický

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci s názvem „Návrh malého destilačního zařízení pro osobní použití“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Josefa Kamenického, s použitím odborné literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne 3.6.2022

Jaromír Moureček

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Josefu Kamenickému za ochotu nechat mě ji vypracovat na zvolené téma, za jeho vstřícnost a konstruktérské rady. Velký dík patří doc. Ing. Janu Skočilasovi Ph.D., bez kterého by tato práce nemohla vzniknout. Jako specializovaný potravinář mi pomohl se všemi výpočty, návrhy a věnoval mi řadu drahocenných rad. V neposlední řadě bych chtěl také poděkovat mé rodině a přátelům za podporu při studiu a vypracování této bakalářské práce.

ANOTAČNÍ LIST

Jméno autora:	Jaromír Moureček
Název Bakalářské práce:	Návrh malého destilačního zařízení pro osobní použití
Název anglicky:	Design of Small Distillation Equipment for Personal Use
Rok zpracování:	2022
Studijní program:	B2342 Teoretický základ strojního inženýrství
Studijní obor:	2301R000 Studijní program je bezoborový
Ústav:	Ústav konstruování a částí strojů
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Kamenický Josef
Konzultant:	doc. Ing. Skočilas Jan, Ph.D.
Bibliografické údaje:	
	<ul style="list-style-type: none">• Počet stran: 60• Počet obrázků: 41• Počet tabulek: 4• Počet příloh: 6
Klíčová slova:	Destilační zařízení, destilace, výroba alkoholu
Keywords:	Distillation equipment, distillation, production of alcohol
Anotace:	Obsahem práce je popis funkce a konstrukční návrh malého destilačního zařízení pro domácí použití. V teoretické části je vysvětlen princip destilace, její historie a rešerše používaných částí. Konstrukce je navržena podle znalostí z teoretické části. Součásti jsou navrženy dle tepelných výpočtů. Destilační zařízení je vyobrazeno jako 3D model se sestavným výkresem a některými z potřebných výrobních výkresů.
Abstract:	The content of the thesis is a description of the function and design of a small distillation device for personal use. The theoretical part explains the principle of distillation, its history and a survey of parts. The apparatus is designed according to the knowledge from the theoretical part. Components are designed with respect to thermal calculations. 3D model of the distillation equipment is created with assembly technical drawing and some of the necessary manufacturing drawings

OBSAH

Seznam zkratek.....	1
1 Úvod.....	6
2 Teoretická část.....	7
2.1 Destilace.....	7
2.2 Teplota varu.....	7
2.3 Druhy destilace podle způsobu provedení.....	7
2.3.1 Prostá destilace.....	8
2.3.2 Frakční destilace.....	8
2.4 Historie destilace alkoholu.....	9
2.4.1 Ve světě.....	9
2.4.2 V Evropě.....	10
2.4.3 V Čechách.....	10
2.5 Destilace alkoholu v dnešní době.....	11
2.6 Princip výroby pálenky.....	11
2.6.1 Metanol a etanol.....	12
2.7 Součásti destilačního zařízení k výrobě alkoholu.....	13
2.7.1 Destilační kotlík.....	13
2.7.2 Destilační klobouk.....	16
2.7.3 Spojovací potrubí.....	18
2.7.1 Chladič neboli kondenzátor.....	19
2.8 Průběh destilace v domácích podmínkách.....	20
3 Návrh malého destilačního zařízení pro osobní použití.....	22
3.1 Varianty ohřevu destilačního kotle.....	22
3.1.1 První varianta.....	22
3.1.2 Druhá varianta.....	23
3.1.3 Třetí varianta.....	24
3.1.4 Čtvrtá varianta.....	25
3.2 Návrh destilačního kotle.....	25
3.2.1 Výpočet velikosti.....	26
3.2.2 Výpočet výkonu.....	26
3.2.3 Kontrola prostupu tepla přes stěnu kotle.....	30
3.2.4 Návrh izolace.....	30

3.2.5 Vypouštění kotle.....	31
3.2.6 Hlava kotle.....	32
3.2.7 Výroba kotle	34
3.3 Vedení lihových par.....	34
3.3.1 Měděný filtr	35
3.3.2 Deflegmátor	35
3.3.3 Chladič	38
3.3.4 Epruveta.....	46
3.4 Uložení destilačního zařízení	46
3.5 Sestavení a rozložení.....	47
3.6 Finanční srovnání	51
4 Závěr.....	52
Seznam internetových zdrojů	53
Seznam použité literatury	56
Seznam obrázků.....	57
Seznam tabulek	59
Seznam příloh.....	60

Seznam zkratek

Symbol	Jednotky	Popis
A_{CH}	$[m^2]$	Funkční povrch chladiče pro ochlazení
A_K	$[m^2]$	Funkční povrch chladiče pro kondenzaci
a_1	$[m^2 \times s^{-1}]$	Součinitel teplotní vodivosti ethanolu
a_2	$[m^2 \times s^{-1}]$	Součinitel teplotní vodivosti vody
c_{p1}	$[J \times kg^{-1} \times K^{-1}]$	Měrná tepelná kapacita ethanolu
c_{p2}	$[J \times kg^{-1} \times K^{-1}]$	Měrná tepelná kapacita vody
D	$[m]$	Vnitřní průměr nerezové trubky chladiče
D_i	$[m]$	Vnitřní průměr kotle
D_o	$[m]$	Vnější průměr kotle
d	$[m]$	Vnitřní průměr měděné trubky chladiče
d_h	$[m]$	Hydraulický průměr v chladiči pro průtok vody
d_s	$[m]$	Střední průměr šroubovice chladicí spirály
g	$[m \times s^{-2}]$	Zaokrouhlené gravitační zrychlení
H_k	$[m]$	Výška hladiny vsádky
H_p	$[m]$	Normalizovaná výška topného pásu
H_v	$[m]$	Výška kotle
i_e	$[J \times kg^{-1}]$	Latentní výparné teplo ethanolu
k_{1mCH}	$[W \times m^{-1} \times K^{-1}]$	Součinitel prostupu tepla na 1 metr délky, ochlazení
k_{1mK}	$[W \times m^{-1} \times K^{-1}]$	Součinitel prostupu tepla na 1 metr délky, kondenzace
$k_{(d)CH}$	$[W \times m^{-2} \times K^{-1}]$	Součinitel prostupu tepla na průměr d , ochlazení
$k_{(d)K}$	$[W \times m^{-2} \times K^{-1}]$	Součinitel prostupu tepla na průměr d , kondenzace



L_d	[m]	Délka měděné trubky deflegmátoru
L_{CH}	[m]	Délka chladicí trubky v chladiči pro ochlazení
L_K	[m]	Délka chladicí trubky v chladiči pro kondenzaci
L	[m]	Celková délka chladicí trubky v chladiči
l_{H_2O}	[J × kg ⁻¹]	Měrné skupenské teplo varu vody
l_v	[J × kg ⁻¹]	Výparné teplo ethanolu
m_v	[kg]	Hmotnost vsádky v kotli
\dot{m}_1	[kg × s ⁻¹]	Hmotnostní průtok ethanolu v chladiči
\dot{m}_2	[kg × s ⁻¹]	Teoretický hmotnostní průtok vody v chladiči
\dot{m}_{2sk}	[kg × s ⁻¹]	Skutečný hmotnostní průtok vody v chladiči
n	[-]	Použitý počet závitů chladicí spirály
n_{min}	[-]	Minimální počet závitů chladicí spirály
P_1	[W]	Výkon potřebný pro ohřev vsádky na teplotu varu
P_2	[W]	Výkon potřebný pro destilaci vsádky
P_{ker}	[W]	Výkon keramického topného pásu
P_{sl}	[W]	Výkon slídového topného pásu
Q_1	[J]	Energie potřebná pro ohřátí vsádky na teplotu varu
Q_2	[J]	Energie potřebná pro vypaření vsádky
\dot{Q}_{ch1}	[W]	Teplo potřebné pro zchlazení ethanolu v chladiči
\dot{Q}_{ch2}	[W]	Teplo potřebné pro ohřátí vody v chladiči
\dot{Q}_{K1}	[W]	Teplo ethanolu potřebné na kondenzaci v chladiči
\dot{Q}_{K2}	[W]	Teplo vody potřebné na kondenzaci v chladiči
\dot{q}_{ker}	[W × cm ⁻²]	Maximální povrchové zatížení keramického pásu
\dot{q}_{sl}	[W × cm ⁻²]	Maximální povrchové zatížení slídového pásu



\dot{q}_z	$[W \times cm^{-2}]$	Tepelná ztráta
S_o	$[m^2]$	Vnitřní povrch topného pásu
S_1	$[m^2]$	Průtočný průřez měděnou trubkou v chladiči
S_2	$[m^2]$	Průtočný průřez mezikružím v chladiči
s	$[m]$	Tloušťka stěny měděné trubky v chladiči
t_k	$[m]$	Tloušťka stěny kotle
T_0	$[^{\circ}C], [K]$	Teplota vsádky před ohřevem
T_1	$[^{\circ}C], [K]$	Maximální teplota na povrchu pásu
T_{11}	$[^{\circ}C], [K]$	Teplota ethanolu na vstupu do chladiče
T_{12}	$[^{\circ}C], [K]$	Teplota ethanolu na začátku kondenzace v chladiči
T_{13}	$[^{\circ}C], [K]$	Teplota ethanolu na výstupu z chladiče
T_2	$[^{\circ}C], [K]$	Požadovaná teplota na vnějším povrchu izolace
T_{21}	$[^{\circ}C], [K]$	Teplota studené kohoutkové vody
T_{22}	$[^{\circ}C], [K]$	Teplota vody na začátku kondenzace lihových par
T_{23}	$[^{\circ}C], [K]$	Teplota vody na výstupu z chladiče
T_{H_2O}	$[^{\circ}C], [K]$	Teplota varu vody
T_{ok}	$[^{\circ}C], [K]$	Teplota okolí
T_s	$[^{\circ}C], [K]$	Teplota lihových par
T_w	$[^{\circ}C], [K]$	Teplota měděné stěny
τ_1	$[s]$	Čas ohřevu vsádky na teplotu varu
τ_2	$[s]$	Čas destilace vsádky
\bar{u}_1	$[m \times s^{-1}]$	Průměrná rychlost ethanolu v chladiči
\bar{u}_2	$[m \times s^{-1}]$	Průměrná rychlost vody v chladiči
V_d	$[m^3]$	Objem konečného destilátu

V_k	$[m^3]$	Vnitřní objem kotle
V_v	$[m^3]$	Objem vsádky
V_{zv}	$[m^3]$	Ztrátový objem vody
\dot{V}_1	$[m^3 \times s^{-1}]$	Objemový průtok ethanolu v chladiči
\dot{V}_2	$[m^3 \times s^{-1}]$	Teoretický objemový průtok vody v chladiči
\dot{V}_{2sk}	$[m^3 \times s^{-1}]$	Skutečný objemový průtok vody v chladiči
\dot{V}_{2p}	$[m^3 \times s^{-1}]$	Použitý objemový průtok vody v chladiči

Řecká písmena:

Symbol	Jednotky	Popis
α_1	$[W \times m^{-2} \times K^{-1}]$	Součinitel přestupu tepla pro ethanol v chladiči
α_2	$[W \times m^{-2} \times K^{-1}]$	Součinitel přestupu tepla pro vodu v chladiči
α_d	$[W \times m^{-2} \times K^{-1}]$	Součinitel přestupu tepla v deflegmátoru
α_{vp}	$[W \times m^{-2} \times K^{-1}]$	Součinitel přestupu tepla při volném proudění
δ	$[m]$	Maximální tloušťka kapalně vrstvy filmu
Δ_1	$[^{\circ}C], [K]$	Rozdíl teplot na vstupu ethanolu do chladiče
Δ_2	$[^{\circ}C], [K]$	Rozdíl teplot na začátku kondenzace v chladiče
Δ_3	$[^{\circ}C], [K]$	Rozdíl teplot na výstupu ethanolu z chladiče
ΔT_k	$[^{\circ}C], [K]$	Rozdíl teplot uvnitř a na povrchu kotle
ΔT_{lnCH}	$[^{\circ}C], [K]$	Logaritmický rozdíl teplot v chladiči při ochlazení
ΔT_{lnK}	$[^{\circ}C], [K]$	Logaritmický rozdíl teplot v chladiči při kondenzaci
ρ_{el}	$[kg \times m^{-3}]$	Hustota ethanolu v kapalně formě
ρ_1	$[kg \times m^{-3}]$	Hustota ethanolu v plynně formě
ρ_2	$[kg \times m^{-3}]$	Hustota vody

λ_{Cu}	$[W \times m^{-1} \times K^{-1}]$	Součinitel tepelné vodivosti mědi
λ_1	$[W \times m^{-1} \times K^{-1}]$	Součinitel tepelné vodivosti ethanolu
λ_2	$[W \times m^{-1} \times K^{-1}]$	Součinitel tepelné vodivosti vody
λ_{nerez}	$[W \times m^{-1} \times K^{-1}]$	Součinitel tepelné vodivosti nerezové oceli
λ_{skl}	$[W \times m^{-1} \times K^{-1}]$	Součinitel tepelné vodivosti skelné vaty
μ_1	$[mPa \times s]$	Dynamická viskozita ethanolu
μ_2	$[mPa \times s]$	Dynamická viskozita vody
Γ	$[kg \times s^{-1} \times m^{-1}]$	Průtok kapalné vrstvy na jednotku délky
ν_1	$[m^2 \times s^{-1}]$	Kinematická viskozita ethanolu
ν_2	$[m^2 \times s^{-1}]$	Kinematická viskozita vody

Bezrozměrná kritéria:

Symbol	Jednotky	Popis
Gz_1	[-]	Grzetzovo číslo pro proudění ethanolu v chladiči
Gz_2	[-]	Grzetzovo číslo pro proudění vody v chladiči
Nu_1	[-]	Nuselttovo číslo pro proudění ethanolu v chladiči
Nu_2	[-]	Nuselttovo číslo pro proudění vody v chladiči
Nu_f	[-]	Nuselttovo číslo pro zkondenzovaný film na stěně
Pr_1	[-]	Prandtlovo číslo pro proudění ethanolu v chladiči
Pr_2	[-]	Prandtlovo číslo pro proudění vody v chladiči
Re_1	[-]	Reynoldsovo číslo pro proud ethanolu v chladiči
Re_2	[-]	Reynoldsovo číslo pro proud vody v chladiči
Re_d	[-]	Reynoldsovo číslo pro stékání v deflegmátoru

1 Úvod

Tématem bakalářské práce je popis funkce a konstrukční návrh malého destilačního zařízení na ovocné pálenky, uzpůsobeného k používání v domácím prostředí.

Upozorňuji, že destilace bez povolení a bez odvedení spotřební daně za vysokoprocenní alkohol je nezákonná a pokutovaná vysokou částkou. Přestože se jedná o nelegální činnost, malá domácí zařízení na výrobu pálenky se objevují na trhu v nemalém počtu a v různých provedeních.

Má práce se bude skládat ze dvou částí, z teoretického úvodu do domácích destilačních procesů a z praktického návrhu destilačního zařízení pro domácí prostředí.

V teoretické části bude mým cílem vysvětlit pojem destilace a její použití pro výrobu ovocné pálenky. Zmíněna bude také historie destilace alkoholu a jeho použití ve světě. Dále bude vypracovaná rešerše komponentů a jejich funkcí, které lze použít pro návrh malého destilačního zařízení pro osobní použití v domácím prostředí.

Jako základní pilíř pro návrh destilačního zařízení uvedu, jak bude jednoduchá destilace v domácích podmínkách probíhat a na co je důležité si dávat pozor.

Ve druhé části, na základě popsaného procesu domácího destilování, navrhnu optimalizované zařízení, které se bude skládat z vybraných komponentů uvedených v rešerši.

U každé součásti, kterou použiji, uvedu funkci a bude-li to bude nutné, provedu výpočet potřebných parametrů. Následovně pro danou součást vytvořím účinný model, který bude jednoduše rozebíratelný a bude se skládat z dílů běžně dostupných na trhu, případně ze součástí vyrobených z normalizovaných polotovarů. U každé součásti, která bude mnou navržena, stručně popíši postup a technologii výroby a zdůvodním navrženou konstrukci.

Z vytvořených součástí poskládám 3D model destilačního zařízení a vytvořím výkres sestavy a některé z důležitých výkresů svařenců nebo výrobních výkresů.

2 Teoretická část

2.1 Destilace

Jedná se o chemický proces, při kterém zpravidla dochází k oddělování dvou nebo více kapalných látek o podstatně rozdílné teplotě varu neboli více těkavých kapalných látek od méně těkavých nebo netěkavých. Vše je závislé na rozdílné teplotě varu jednotlivých látek. Tento proces je oblíbená metoda v organické chemii a používá se pro separaci látek, může sloužit jako čistící proces. Podstatou destilace je uvedení kapaliny do varu přiváděním tepla a následná kondenzace vzniklých par v oddělené části přístroje. Směs s těkavější složkou se odpaří a následnou kondenzací se získá destilát. Směs s méně těkavou složkou zůstane v původní nádobě a nazývá se destilační zbytek. Tato metoda se uplatňuje při zpracování ropy a v potravinářském průmyslu při výrobě vysoce alkoholických nápojů. [1]

2.2 Teplota varu

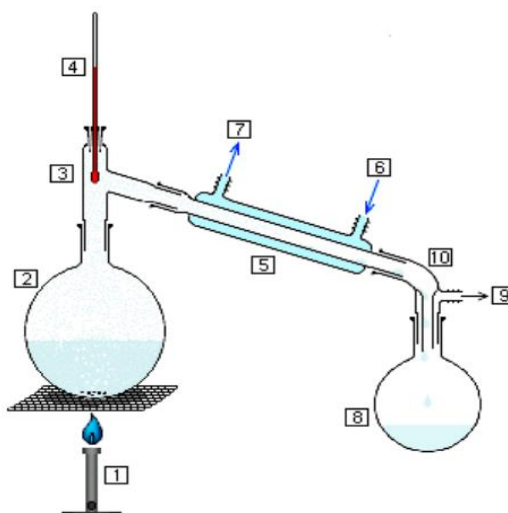
Je to teplota, při které je tlak páry kapaliny v rovnováze s tlakem vzduchu nad kapalinou. Snížením tlaku vzduchu v nádobě se bod varu sníží, neboť tlak páry se s tlakem vzduchu vyrovná dříve a naopak. Teplota varu je pro každou kapalinu charakteristická a její hodnota při atmosférickém tlaku je pro některé známé kapaliny uvedena v chemických tabulkách nebo v lékopisech. K dosažení teploty varu je nutné dodat směsi dostatek energie. Teplo potřebné k ohřátí 1 kg látky o 1 °C (1 Kelvin) se nazývá měrná tepelná kapacita a její hodnoty jsou opět uvedeny ve fyzikálních tabulkách. Měrné skupenské teplo varu udává teplo potřebné k vypaření 1 kg látky při teplotě jejího varu, a pokud vzniklá pára opět zkondenzuje, spotřebované teplo se uvolňuje jako měrné skupenské teplo kondenzace. Skutečnost je taková, že destilace je energeticky náročný děj, jelikož se směs musí nejdříve odpařit a následně i zkondenzovat a k oběma procesům je nutno dodávat, resp. odebírat do/ze systému energii. [1]

2.3 Druhy destilace podle způsobu provedení

Různé druhy destilací se volí podle typu směsi a povahy složek. Postupy, které se používají pro výrobu vysokoprocentního konzumního alkoholu, jsou prostá destilace afracční destilace. Dalšími způsoby jsou destilace za sníženého tlaku, destilace s vodní parou, destilace azeotropní a molekulární. [2]

2.3.1 Prostá destilace

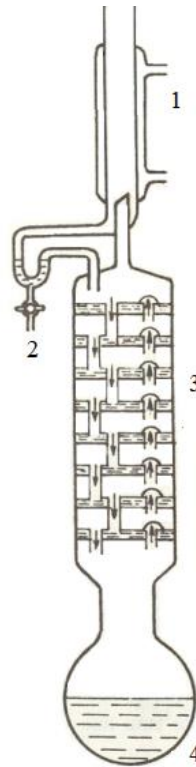
Používá se zpravidla k oddělení rozpouštědla od netěkavé látky nebo k oddělení dvou látek s podstatně rozdílným bodem varu (alespoň o 50 °C). Tento postup je jednoduchý, ale ne moc účinný, dochází zde jen k hrubému dělení látek (Obr. 1). [2]



Obr. 1.: Prostá destilace (1-zdroj tepla, 2-destilační baňka, 3-destilační hlava, 4-teploměr, 5-chladič, 6-přívod chladicí vody, 7-odtok chladicí vody, 8-předloha neboli alonž, 9-přívod vakua, 10-nástavec) [6]

2.3.2 Frakční destilace

Při rozdělení směsi kapalin o blízké teplotě varu se využívá protiproudá destilace neboli rektifikace. Využívá se speciální kolony pro frakční destilaci, kde je vnitřní trubice naplněna sypanou výplní (úlomky skla, skleněné kuličky nebo kroužky) nebo jsou v ní zabudovány přepážky (Obr. 2). Tímto způsobem se zvětší vnitřní plocha kolony a vytvoří se tzv. destilační patra (frakce). Při destilaci vstupuje pára do kolony, kde dochází ke kontaktu s přepážkami a dochází ke kondenzaci páry nejvýše vroucího podílu. Kondenzát stéká kolonou zpět a je znova ohříván horkou parou, která proudí proti němu. Tím se kapalná směs zbavuje podílu s méně těkavější složkou. Čím je pára v koloně výše, tím obsahuje více podílu s méně těkavější složkou neboli teplota varu směsi v koloně směrem vzhůru klesá. Celý děj se v koloně mnohonásobně opakuje. Kondenzát, který teče proti proudu, se nazývá zpětný tok nebo reflux. [1]



Obr. 2.: Frakční destilace (1-zpětný chladič, 2-odběr, 3-kolona, 4-vařák) [6]

2.4 Historie destilace alkoholu

2.4.1 Ve světě

Za vynálezci piva, vína i vysokoprocentního alkoholu se musíme vydat na východ. Destilaci alkoholu jako první objevili Arabové, nejspíše v oblasti mezi řekami Eufrat a Tigris koncem 1. tisíciletí našeho letopočtu. Arabům však alkoholická tekutina nesloužila ke konzumaci, ale k lékařským účelům a k výrobě vonných esencí, které se v něm výborně rozpouštěly. Je to vskutku logické, protože Arabům zakazuje pití alkoholu jejich náboženství. I slovo alkohol a jeho ekvivalenty ve většině jazyků pochází z arabštiny. Alkohol je původně ze slova *al-kahal*, jež v arabštině znamená „jemná substance“. Nezávisle na Arabech vynalezli destilaci alkoholu také Číňané a Egypťané. Ani jim však výsledný destilát nesloužil ke konzumaci. Číňanům sloužil také k výrobě vonných esencí a Egypťané jej používaly jako podporu hoření v jejich magických kuřidlech. [4]

2.4.2 V Evropě

Evropané poznávají proces pálení alkoholu až v 11. a 12. století díky křížovým výpravám, které mířily na Blízký východ. Nejprve tento proces využívali především mniši a alchymisté. Jejich destilované nápoje jim sloužily jako léky na dobré zažívání a na správný krevní oběh. Později v období vrcholného středověku se začínají rozmáhat soukromé a městské palírny. Důležitým a závratným vynálezem byla frakční destilace. Objevil ji ve 13. století v italské Florencii alchymista jménem Tadea Alderottim. Ze začátku se používaly pro destilaci skleněné nádoby a později se začala využívat měď. Evropané našli i další využití destilovaného alkoholu. Krom konzumace ho Švédové používaly při výrobě střelného prachu. Ve 14. a 15. století bylo nalezeno několik latinských rukopisů, kde se pro líh používá různé označení, například *spiritus vini* (duch vína) nebo *aqua vitae* (voda života). [4]

2.4.3 V Čechách

První zmínky o alkoholu v Českých zemích jsou z doby Jana Lucemburského, ale výroba destilátů se rozšířila až za vlády Karla IV., kdy se jako základ destilace používala vinná réva. První velkou vínopalnu založil v Kutné hoře Václav IV. a destiláty vyrobené v ní konzumovali hlavně místní horníci. V 15. století se ustanovilo nové řemeslo a lidé, kteří jej provozovali, se nazývali vínopalové. V 16. století se už pánilo z vinné révy, planých trnek, jablek, hrušek, jalovce, mišpulí, obilí a švestek. V 17. století se objevily zmínky o pálení bezinek a šípků, ke kterým se přidávaly různé bylinky a koření. Destilování alkoholu se stávalo stále více oblíbenější u všech vrstev obyvatelstva. Zprvu byla výroba velmi primitivní, používalo se nekvalitní a často nahnilé ovoce, které se nechalo samovolně kvasit. Destilace pak probíhala nad kotlem, odkud se odpařoval vzniklý kvas. Alkoholové páry zde kondenzovaly na dně mísy naplněné studenou vodou a odkapávaly do předpřipravené nádoby. Na konci 19. století se v Čechách a na Moravě objevilo zhruba 250 pálenic. Polovina z nich zpracovávala peckovité ovoce a ta druhá polovina zase vyráběla destiláty z vína, vinných kalů a matoliny. Do roku 1918 mohl každý obyvatel Moravy vypálit z vlastních surovin až 56 litrů 50% slivovice bez daně. Po roce 1923 bylo množství sníženo na 30 litrů. Později byla tato výhoda zrušena a za pálení alkoholu se začala vybírat spotřební daň, která se u nás vybírá dodnes a stále narůstá. [3]

2.5 Destilace alkoholu v dnešní době

Pálenka z ovoce není po světě příliš rozšířená, ale tradici má například v balkánských zemích a ve střední Evropě. V balkánských zemích ji nazývají rakija. Nyní je však ve střední Evropě, a hlavně v České republice domácí destilování alkoholu nezákonné. Za každý litr vypáleného alkoholu se musí odvádět spotřební daň, která se pohybuje od 100 do 200 Kč a každým rokem stoupá. Například na Novém Zélandu je destilace zákonem povolena i přes to, že tomu tak dříve nebylo. Důvodem jsou mnohonásobně vyšší náklady na hlídání obyvatel, zda nededilují doma vlastní pálenky a náklady na evidenci produktů než vybrané pokuty za přistižení při nelegální činnosti spojené s destilací. [5]

2.6 Princip výroby pálenky

Destilace alkoholu znamená zesilování (zvyšování koncentrace) alkoholu v nápoji. Při zahřívání alkoholického kvasu má každá látka v něm obsažená jinou teplotu varu (Tab. 1). V kvasu jsou však všechny látky spojené v jednu směs, a tak jsou některé látky strhávány parami látek, které těkají v počátečním nebo konečném stádiu procesu destilace. Takto se nám do destilátu dostávají „nečistoty“, což má negativní, ale i pozitivní dopady na výsledný produkt. Tímto způsobem se nám totiž do pálenky dostanou požadované vůně, chutě, přiboudliny, acetaly, aldehydy a estery, které nám dávají typickou charakteristickou chuť pálenky. Pokud bychom látky zcela oddělily, dostaly bychom čistý líh bez zápachu, ale i bez chutě. To se využívá při destilaci brambor a obilovin, kdy se získaný líh ochucuje umělými esencemi, vůněmi a cukry. Tímto způsobem vzniká rum nebo vodka. [8]

Acetaldehyd	20,8 °C
Metanol	68,0 °C
Ethylacetát	77,1 °C
Etanol	78,3 °C
Voda	100 °C
Přiboudlina (vyšší alkoholy)	115,0 - 120,0 °C
Kyselina octová	117,9 °C

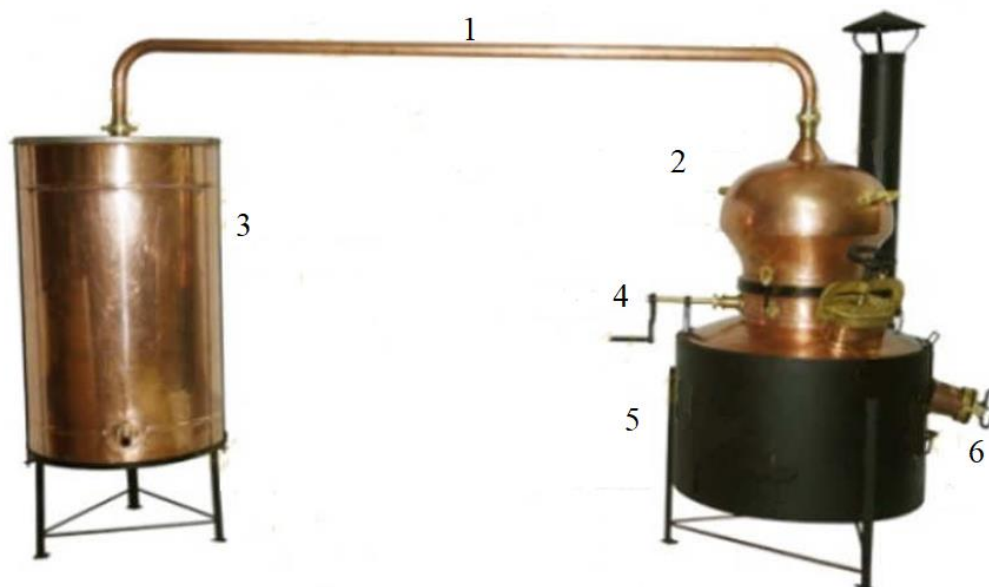
Tab. 1.: Teploty varu čistých složek zastoupených v ovocném kvasu [8]

2.6.1 Metanol a etanol

Etanol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ a metanol CH_3OH jsou velmi podobné sloučeniny. Jejich vliv na lidský organismus je stejný a spočívá především v působení na centrální nervovou soustavu. Když se metanol dostane do jater, začne na něj působit enzym alkoholdehydrogenázy a touto reakcí vzniká velmi jedovatý formaldehyd HCHO . Z něj, působením enzymu aldehyddehydrogenázy, vniká stejně jedovatá kyselina mravenčí HCOOH . Působením kyseliny mravenčí dochází zřejmě k porušení sítnice, a to může vést až k trvalé slepotě. Podobné produkty vznikají pomocí stejných enzymů z etanolu. Tím jsou acetaldehyd CH_3CHO a kyselina octová CH_3COOH . Tyto produkty však jedovaté nejsou. Alkoholdehydrogenáza se lépe váže na molekulu etanolu, a to znamená, že při nadbytku etanolu se metanol vyloučí dechem nebo močí dříve, než dojde k jeho samotné přeměně. Čistý metanol i etanol od sebe odliší i laik při jejich vzájemném porovnání. Čistý etanol se pít nedá, ale čistý metanol připomíná vodku. Ve vodou zředěné podobě jsou k nerozpoznání. Při kvašení metanol nevzniká, pouze při doprovodných reakcích. Pokud se kvasí ovoce s vyšším podílem pektinových látek nebo celulózy (jablka, hrušky atd.), je průvodním jevem vznik metanolu. Vznikne ho ale jen nanejvýš několik setin hlavního produktu, kterým je etanol. Neexistuje způsob, kdy by se, při špatně provedeném kvašení nebo pálení, dostalo do destilátu významné množství metanolu. [8]

2.7 Součásti destilačního zařízení k výrobě alkoholu

Pro destilaci ovocných pálenek se nejčastěji používá princip prosté a frakční destilace (rektifikace). Sestava v nejjednodušší formě (Obr. 3) se skládá z destilačního kotlíku, který se plní kvasem, dále z klobouku, který je nasazen na kotlíku a v němž se hromadí vzniklé páry, z přestupního potrubí a z chladiče. [2]

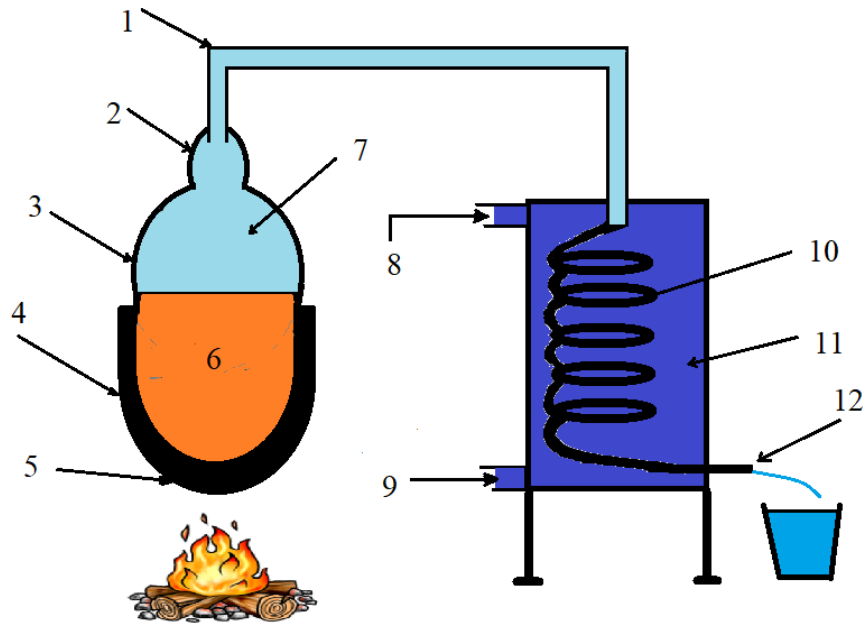


Obr. 3.: Jednoduché destilační zařízení pro domácí použití na tuhá paliva (1-spojovací potrubí, 2-aromatický klobouk, 3-spirálový chladič, 4-míchací zařízení, 5-topeniště, 6-vypouštěcí ventil) [11]

2.7.1 Destilační kotlík

Destilační kotlík je naplněn předem připraveným kvasem a je ohříván. Ohříváním se zvyšuje teplota kvasu do té doby, než je dosaženo teploty varu těkavých látek, které se začnou uvolňovat z kvasu. Vytápění destilačního kotle je realizováno spalováním tuhých nebo plyných paliv, nebo pomocí elektrické energie. Při vytápění pomocí tuhých paliv je nutné, aby byl povrch kotle opatřen šamotovou vložkou, a to z důvodu lepšího přenosu tepla. Jako tuhá paliva se nejčastěji používá dřevo a černé uhlí, v případě plynu se nejčastěji využívá zemní plyn nebo propan. Kvas často obsahuje pevné části, a proto musí být kotlík opatřen míchadlem. To zajistí jak rovnoměrné prohřátí kvasu, tak zabrání připalování pevných částí ke stěnám kotlíku. Připalování kvasu se není třeba obávat při destilaci kvasu bez pevných částic, kterým je například víno nebo filtrát ovocných kvasů. [7]

Další způsob ohřívání destilačních kotlíků je pomocí vodní lázně (Obr. 4). Kotlík je dvoukomorový. Dolní komora je naplněna vodou, která se ohřívá a předává teplo přes stěnu do druhé komory, ve které je kvas. Výhodou je, že je zabráněno připalování pevných částic, ale nevýhodou je jen postupné a pomalé nahřívání kvasu. A jestliže má být z kvasu veškerý alkohol vydestilován, je nutné, aby byl ve vodní lázni přetlak, který zajistí teplotu alespoň 110 °C. [9]



Obr. 4.: Destilační zařízení s vodní lázní (1-přestupník, 2- klobouk, 3-měděný kotel, 4- vodní lázeň, 5-vařák s dvojitým pláštěm, 6-kvas, 7-lihové páry, 8-odtok chladicí vody, 9- přívod chladicí vody, 10-chladicí spirála, 11-chladicí voda, 12-výtok destilátu) [9]

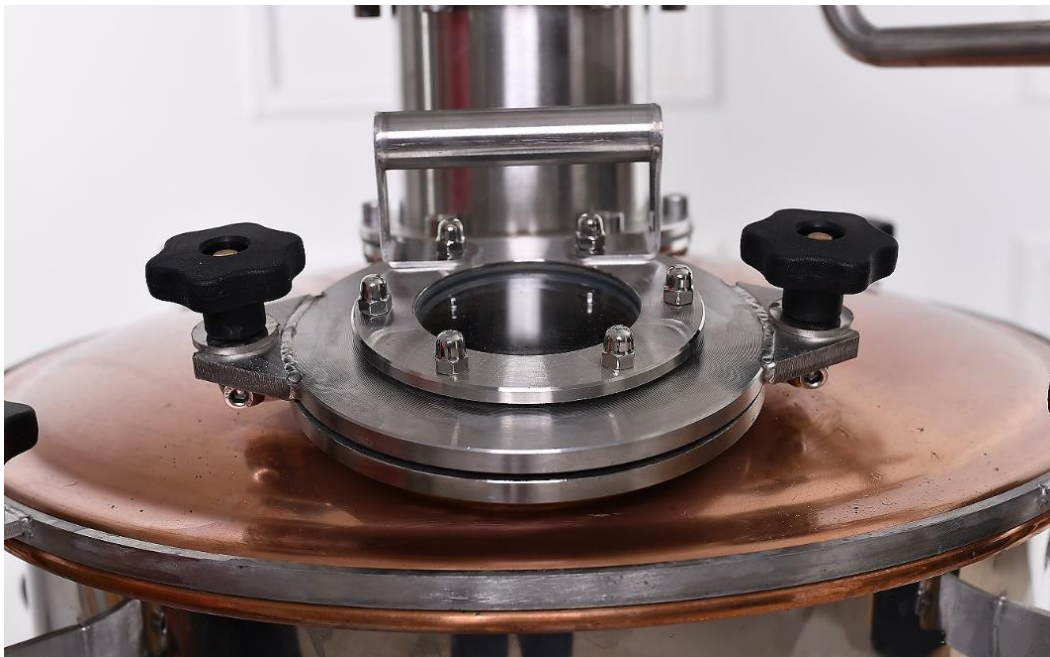
Vyhřívání destilačního kotle lze realizovat také pomocí páry. A to buď vhnáněním páry do speciálního pláště kotle, nebo do kovové spirály, která je ponořena do kvasu, nebo vhnáněním páry rovnou do kvasu. Nejvýhodnější je nepřímé vytápění pomocí páry vhnáněné do pláště kotle, protože kovová spirála se kvasem snadno zanáší a velmi špatně se čistí. Vhnánění páry rovnou do kvasu je velmi nevhodné, protože se tímto způsobem kvas zředí a tím se snižuje kvalita výsledného destilátu. [5]

Otevírání destilačního kotle musí být uzpůsobeno pro snadné plnění kvasem, čištění a odstraňování výpalků, které zbydou po destilaci. U nejjednodušších sestav se od destilačního kotle pouze odšroubuje klobouk a ručně se zbytky vyberou. Dále může být kotel výklopný (Obr. 5), což je nejvhodnější pro peckovité kvasy, nebo může být

opatřen výpustným ventilem. Kvas lze do kotle nalévat nebo čerpat čerpadlem otevíracími dvířky (Obr. 6), která však musejí být zajištěna proti nebezpečnému přetlaku a utěsněna. Mohou být také vybavena průhledítkem z tvrzeného skla, kterým lze kontrolovat odpařovací děj v kotli. [5]



Obr. 5.: Výklopný destilační kotel [12]



Obr. 6.: Otevírající dvířka s průhledítkem [10]

Jako materiál destilačních kotlů se nejčastěji využívala měď. A to hned z několika důvodů. Má katalytické vlastnosti, což znamená, že při styku kvasu s měděným kotlíkem dochází k chemické reakci, kdy část nežádoucích látek zůstává přichycena na plášti kotle. Měď absorbuje síru a kvasinkové buňky, které mají velmi nepříjemnou vůni a jsou v destilátech nežádoucí. Je to rovněž vynikající tepelný vodič a napomáhá rovnoměrnému rozvodu tepla při ohřevu, ale i při ochlazení. Zabraňuje produkci ethyl-uhličitanu, tedy toxické látky obsahující kyanidy, které se nacházejí ve vysoké koncentraci v ovocných kvasech obsahujících pecky, jádra, větvičky a jiné dřevité složky. Měď zlepšuje kvalitu výsledného produktu. V nynější době se od mědi ustupuje z finančního důvodu a nejvíce se využívá potravinářská nerezová ocel. Používá se ale i litina, ocel a hliník. Ocel musí být pocínovaná, aby odolávala organickým sloučeninám, avšak při působení kyselin pocínování nedosahuje dlouhé životnosti. Ocel je materiál, kterému je dobré se vyhnout, protože při reakci kyselin s uhlíkem se vytváří uhlovodíky, které dávají destilátu velmi špatné vlastnosti. Dalším vhodným materiálem by mohlo být dřevo, ale vyhřívání kotlíku by muselo být parou. [9]

2.7.2 Destilační klobouk

Nejčastěji je vyroben z jednoho kusu měděného plátu a je posazen přes těsnění na horní část destilačního kotle, ke kterému je uchycen pomocí přitlačných spon. Jeho nedílnou součástí je teploměr ukazující teplotu lihových par, které proudí z kotle kloboukem (Obr. 7). Měď se používá ze stejného důvodu jako u destilačních kotlů. [8]



Obr. 7.: Destilační klobouk s teploměrem [13]

Pokud bychom požadovali, aby naše destilační zařízení bylo co nejjednodušší, tak na klobouk napojíme přímo spojovací potrubí a lihové páry budeme rovnou odvádět do chladiče. Tím ale nelze vyrobit vysokoprocentní (více jak 70 %) čistou pálenku napoprvé a musíme destilovat nejméně dvakrát. [8]

Možností, jak zlepšit kvalitu a vyrobit vysokoprocentní destilát pouze jedinou destilací, je použití deflegmátoru. Je to v podstatě obdoba rektifikační kolony, ale jen s jedním stupněm. Může být buď částí klobouku, nebo jako další článek v procesu destilace (Obr. 8). Když vstoupí lihové páry do deflegmátoru, jsou ochlazovány a látky s vyšším bodem varu jsou zkapalněny a stékají zpět do kotle. Jedná se o tzv. „reflux“. Tím se lihové páry zbavují vody a mají vyšší koncentraci ethanolu a dále pokračují spojovacím potrubím směrem k chladiči. Deflegmátor má také velice příznivý vliv na vůni destilátu a pomocí něj se kontroluje teplota lihových par, které vstupují do spojovacího potrubí. Ochlazovací účinek deflegmátoru je zapříčiněn okolním vzduchem nebo proudící vodou. [8]



Obr. 8.: Destilační kotel s měděným kloboukem a kulovitým deflegmátorem [14]

Průmyslové palírny, ale i velmi drahá domácí destilační zařízení, používají rektifikační kolonu (Obr. 9), která se skládá z několika stupňů neboli frakcí (vysvětleno v kapitole 2.3.2), protože se tak vyrobí kvalitní vysokoprocentní destilát jedním průchodem par. Chuť a kvalita konečného destilátu souvisí s počtem použitých frakcí (stupňů). Rektifikační misky propouštějí jen látky užitečné pro výsledný destilát, látky nevhodné jsou zadrženy a tím pádem se nekazí konečný produkt. Součástí takovéto kolony je i deflegmátor, který má stále stejnou funkci, řídí se jím teplota vstupující páry do kolony a vytváří „reflux“, který je velmi důležitou součástí pro správnou funkci. Na vrcholu rektifikační kolony je teploměr, kterým opět měříme teplotu lihové páry vstupující do potrubí, a díky němuž můžeme jednoduše zabránit průniku nežádoucích látek do konečného destilátu. [10]



Obr. 9.: Rektifikační kolona [10]

2.7.3 Spojovací potrubí

Slouží k přenosu lihových par z klobouku nebo deflegmátoru do chladiče (Obr. 10). Jako materiál se používá zpravidla měď nebo nerezová ocel. Uhlíková ocel se na tuto součást naprosto nehodí, protože propůjčuje destilátu špatnou chuť a obarvuje jej nahnědo. Ve spojovacím potrubí dochází opět k dalšímu ochlazení pomocí okolního vzduchu a vzniká opět „reflux“. Proto je konstruováno tak, aby zkapalněné látky opět odtékaly zpět do kotle. Laicky řečeno, ochlazení ve spojovacím potrubí je další stupeň rektifikace. [8]



Obr. 10.: Destilační zařízení s nakloněnou přestupní trubicou pro reflux [7]

2.7.1 Chladič neboli kondenzátor

Jeho funkcí je přeměna lihových par zpět na kapalinu. Musí být navržen tak, aby při malé spotřebě chladicí vody, měl co největší výkon. Jeho výkon je dán velikostí chladicí plochy. Nejjednodušší konstrukce chladiče je přímá trubka, okolo které proudí chladicí voda. Toto řešení je však velmi nedokonalé, protože chladicí plocha je na množství spotřebované vody opravdu malá. Z chladiče následně vytéká jen málo zchlazený destilát a vznikají tak ztráty ethanolu. Nejběžnější je chladič spirálový (Obr. 11). Jedná se o trubku kruhového průřezu, stočenou do spirály a vloženou do válcové ocelové nádoby. Nevýhodou takového tvaru je, že se dá velmi špatně vyčistit. Proto se občas používají účinnější a dokonalejší chladiče, například talířové (Obr. 12), šterbinové, plášťové a trubkové. [7]



Obr. 11.: Spirálový chladič [15]



Obr. 12.: Chladicí těleso talířovitého chladiče [16]

Za chladič lze umístit předlohu neboli epruvetu (Obr. 13), kterou musí veškerý destilát protéci. Epruveta umožňuje při průběhu destilace pozorovat ponornými měřidly průtok a koncentraci alkoholu a teplotu vytékajícího destilátu. Epruveta je malá válcovitá měděná nádobka přikrytá skleněným příklopem, ve které plave alkoholometr a teploměr. [7]



Obr. 13.: Měděná epruveta s ponorným teploměrem [15]

2.8 Průběh destilace v domácích podmínkách

Před začátkem samotné destilace je nutné destilační zařízení vyčistit. Musí se odstranit zbytky kvasu z destilačního kotle a všechny nečistoty z potrubí a chladiče, kudy proudí lihová pára. Čištění se provádí nejlépe slabě alkalizovanou vodou. Potom budeme mít jistotu, že naše pálenka nebude ničím znehodnocena. Dále je nutné zkontrolovat prokvašený kvas, jestli se nám nevytvořila kyselina octová, a odebrat z něj matolinový koláč, který se ukládá při kvašení na povrchu kvasu. Následně kvasem naplníme destilační kotel do tří čtvrtin nebo do meze, kterou udává výrobce. Nasadíme klobouk a celou aparaturu uzavřeme, začneme pozvolna zahřívát kvas, a pokud používáme přímé ohřívání kvasu, musíme začít s promícháváním. To je důležité z důvodu lepšího rozložení tepla v hmotě, protože v některých částech může být rozdíl teplot i několik stupňů celsia. Také tím zabráníme připálení kvasu. Připálení je velice vážná vada destilátu, kterou nelze odstranit. Zkazí vůni a chuť destilátu a mohou vzniknout i sloučeniny zdraví škodlivé. [8]

Doba destilace závisí na konkrétním druhu suroviny. Pokud destilaci urychlíme, můžeme přijít o aromatické látky. Zahříváním nám vzniká lihová pára, která proudí přes klobouk do spojovacího potrubí a do chladiče, kde dochází ke zkapalnění, odkud je nutné destilát odebírat do nádob. V domácích podmínkách se odvod destilátu kontroluje podle

teploty lihových par, opouštějících klobouk. Odebírat začínáme v okamžiku, kdy nám teplota dosáhne přibližně 78 °C a proces ukončíme při 86°C. Také můžeme konec destilace hlídat podle lihovosti destilátu. Z množství původního kvasu po destilaci získáme pouze cca. 1/3 destilátu. Konečný produkt se dělí na 3 části, jimiž jsou úkap, průkap a dokap. Zahřívání musí být pozvolné a pomalé, protože bychom při rychlém ohřívání nepřesně oddělili jednotlivé frakce a získaný destilát bychom znehodnotili. [8]

Úkap se odebírá hned od začátku až do teploty 79°C. Obsahuje těkavý acetaldehyd a ester, který připomíná ředidlo nebo lepidlo. Tyto látky jsou v pálenice nežádoucí, takže se vyhazují, nebo se přimíchávají do kvasu při další destilaci, aby se z nich uvolnily látky, které jimi byly strženy při vypařování. [8]

Průkap je odebírán do teploty 83°C. Na začátku je silný (i přes 70 %), síla závisí na druhu kvasu. Postupem času vytékající produkt slábne a mění své složení. V jednotlivých fázích se uvolňují různé látky ovlivňující chuť a vůni. Aldehydy, vyznačující se acetonovou vůní, se v průkapu již nevyskytují nebo prudce klesají. Ale kyseliny, které chuti velice prospívají, postupem destilace vzrůstají. [8]

Dokap je poslední frakce, která obsahuje tzv. přiboudlinu a kyseliny. Je nežádoucí a ke konzumaci není určena. Nejvýznamnější je kyselina octová, která má na pálenku velmi negativní vliv. Proto se destilace končí při 86 °C nebo při lihovosti vytékající pálenky mezi 30 a 40 % objemu. [8]

Pokud chceme mít čistší destilát, můžeme destilovat dvakrát. V tomto případě se na 3 části rozdělují jen druhý proces. Po první destilaci vzniká lutr. Jedná se o meziprodukt, který obsahuje až 30 % etanolu. Není vhodný ke konzumaci, jelikož obsahuje malé množství etanolu, ale i vedlejší produkty jako jsou vyšší alkoholy, estery, aromatické látky apod. Je kalný a používá se na zušlechtění druhou destilací. Dvojitá destilace má své výhody, ale i nevýhody. Zbavováním nečistot totiž odebíráme i žádoucí aromatické látky, které dělají z čistého lihu pálenku. [8]

3 Návrh malého destilačního zařízení pro osobní použití

Hlavním cílem mé práce je vytvořit návrh zařízení na destilaci alkoholu z ovocného kvasu. Zbývá upozornit, že pálení alkoholu bez oprávnění je v České republice nelegální. Jakožto přešůpek může být postiženo sankcí ve výši až 10 milión Kč. Návrh by měl být takový, aby bylo jeho použití co možná nejjednodušší a nejefektivnější. Zařízení bude určeno pro osobní použití v domácích podmínkách, takže tomu bude odpovídat i velikost konstrukce a ovladatelnost. Výsledný koncept bude sestaven tak, aby finanční náročnost na jeho pořízení byla nízká.

Domácí zařízení na destilaci ovocné pálenky bude stát celé na jednom rámu nebo nožičkách, abychom ušetřili místo v prostoru pro používání a uskladňování. Každá část bude rozmontovatelná (rozebíratelná) tak, aby se dala jednoduše vyčistit a aby se mohly opotřebené díly lehce nahradit. Jednotlivé části budou z co možná nejmenšího počtu dílů a přednostně budu využívat díly nebo části, které se již sériově vyrábějí. Tak bude docíleno snížení pořizovacích nákladů. Konstrukce se bude skládat z destilačního kotle, který bude vybaven vytápěním a chladičem. Požadované množství kvasu vkládaného do kotle je 20 litrů, což znamená, že výsledným produktem bude cca 7 litrů pálenky.

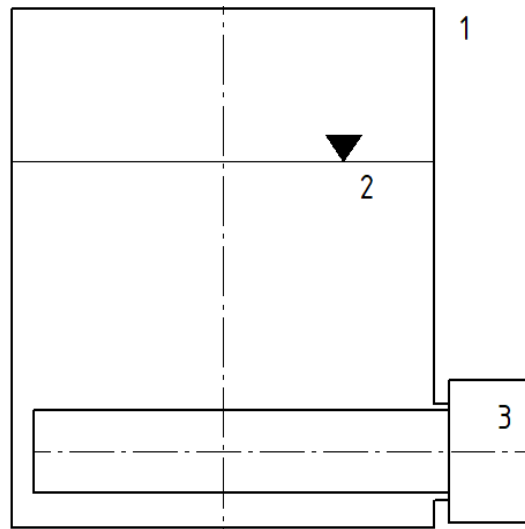
Popis	Hodnota	Jednotka
Objem vsádky	20	l
Čas ohřevu	5	hod
Čas destilace	2,5	hod

Tab. 2.: Hodnoty vstupních veličin pro návrh

3.1 Varianty ohřevu destilačního kotle

3.1.1 První varianta

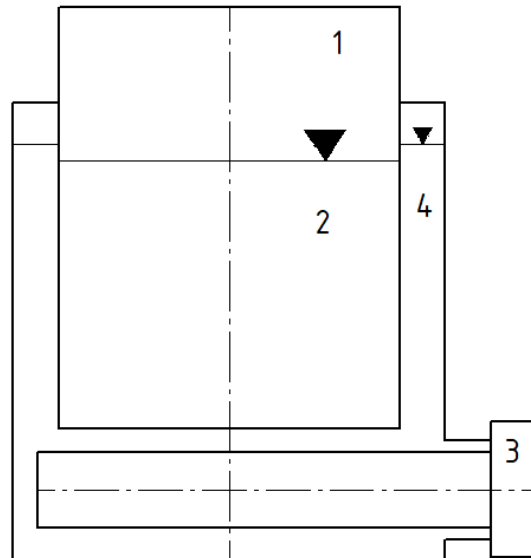
Základem této varianty (obr. 16) je nerezový destilační kotlík velice jednoduché konstrukce. Ohřev kvasu je řešen pomocí topné spirály ponořené přímo v kvasu. Výhodou tohoto provedení je jeho jednoduchost. Ale převažují nevýhody, jako je připékání kvasu přímo na topnou spirálu a na stěny kotle, dále nerovnoměrně rozložený ohřev kvasu a nutnost míchání, které by však bylo velice komplikované, jelikož topná spirála by překážela v trajektorii míchadla. Použití této varianty je spíše nevhodné.



Obr. 14.: Schéma 1. varianty (1-destilační kotel, 2-kvas, 3-topná spirála)

3.1.2 Druhá varianta

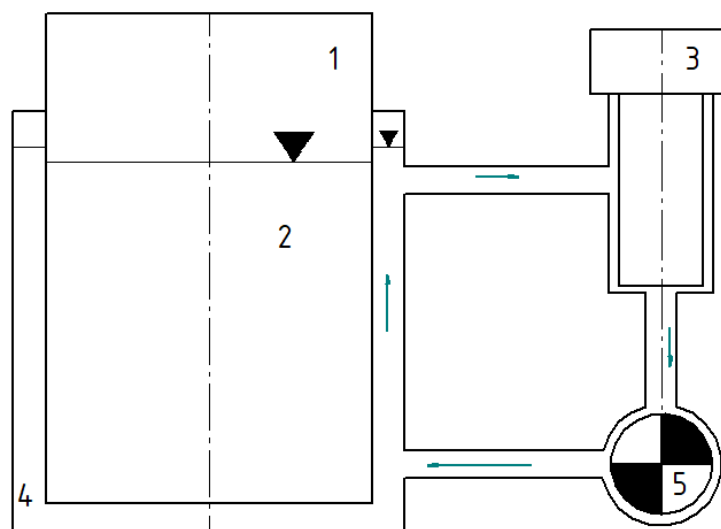
Abychom se vyhnuli přímému kontaktu kvasu s topnou spirálou, můžeme použít dvouplášťový kotel (obr. 17). Topná spirála tak bude ohřívat medium v meziprostoru a díky přestupu tepla přes stěnu kotle se nám bude ohřívat i náš kvas. Oproti předešlé variantě je výhodou tohoto uspořádání nepřipalování kvasu na topnou spirálu a při správném ohřevu ani na stěny kotle. Odpadá tedy nutnost míchání. Jako medium do meziprostoru lze použít vodu nebo glykol. Jednou z nevýhod je však špatné rozložení tepla v ohřívajícím mediu, protože nedochází k proudění. Další nevýhodou je špatná regulace teploty samotné vsádky, protože ohřívající medium si teplo akumulované v látce udržuje ještě nějakou dobu po vypnutí nebo regulování ohřevu. Tato konstrukce nám navíc ztíží i výrobu kotle a zvedne pořizovací náklady. Nebezpečí vzniká, pokud se ohřívající tekutina dostane do bodu varu. Kotel se tak stává tlakovou nádobou, takže musí být osazen pojistným ventilem, výpustí a otvorem pro nalévání média a kontrolu jeho hladiny. Tuto možnost konstrukce jsem nakonec také zavrhl, i přes její využitelné řešení, protože mým cílem bylo domácí výrobu pálenky optimalizovat.



Obr. 15.: Schéma 2. varianty (1-destilační kotel, 2-kvas, 3-topná spirála, 4-ohřívající medium)

3.1.3 Třetí varianta

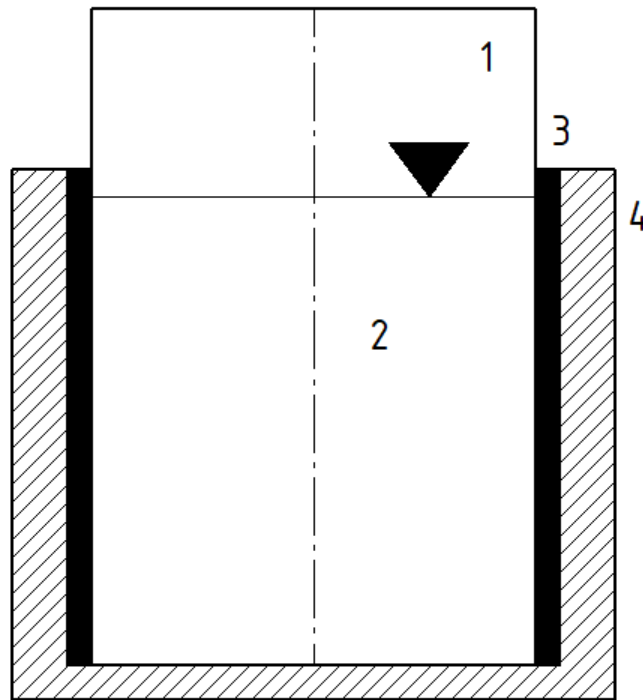
Další možné řešení konstrukce destilačního kotle je v podstatě optimalizací předchozí varianty (obr. 18). Topná spirála nebude umístěná pod nádobou na vsádku, ale v trubici mimo kotel, se kterou bude spojena potrubím. Ohřátou vodu bude vhánět čerpadlo do meziprostoru kotle a tím bude zajišťovat rovnoměrný ohřev ve všech místech kotle. Všechny ostatní nevýhody, spojené s přetlakovou nádobou, však zůstávají. Tato konstrukce s čerpadlem je zbytečně složitá a příliš nákladná na osobní používání v domácích prostorech.



Obr. 16.: Schéma 3. varianty (1-destilační kotel, 2-kvas, 3-topná spirála, 4-ohřívající medium, 5-čerpadlo)

3.1.4 Čtvrtá varianta

Poslední varianta se skládá z jednoduchého destilačního kotle, elektrického topného pásu okolo pláště a izolace (Obr. 17). Nejdříve jsem chtěl využít topné folie, které se používají na podlahové vytápění. Ty však mají výkon udávaný ve $[W \cdot m^{-2}]$ velice malý. Proto jsem vybral topné pásy, které se používají na ohřev plastikářských strojů a mají výkon dostačující. Výhodou této varianty je jednoduchý destilační kotel, rovnoměrný ohřev kvasu po celém jeho obvodu a odpadající problémy s dvouplášťovou tlakovou nádobou. Další výhodou je přímá a rychlá regulace přívodu tepla. Tento typ ohřevu kvasu se na internetovém trhu nikde nevyskytuje, protože hrozí nebezpečí připálení kvasu na stěny nádoby. Tomu lze zabránit měřením teploty stěny, resp. teploty topného pásu. Nejedná se o vícenáklady, neboť topný pás je vybavený čidlem pro řízení výkonu.



Obr. 17.: Schéma 4. varianty (1-destilační kotel, 2-kvas, 3-topný pás, 4-izolace)

3.2 Návrh destilačního kotle

Pro svou konstrukci destilačního zařízení použiji čtvrtou variantu, tedy variantu s ohřevem pomocí topného pásu a s izolací. Je v tomto odvětví inovativní a vyznačuje se mnoha výhodami, v porovnání s předešlými verzemi.

3.2.1 Výpočet velikosti

Požadovaný objem vsádky V_v je 20 litrů. Kotel smí být naplněn jen do 2/3 jeho objemu, protože kvas při ohřátí nabyde.

$$V_v = 20 [l] = 20 [dm^3] = 0,02 [m^3]$$

Vnitřní průměr kotle D volíme dle normalizovaných nerezových svařovaných trubek.

$$D_i = 300 [mm] = 0,3 [m] \quad D_o = 306 [mm] = 0,306 [m]$$

$$V_v = \frac{\pi \times D_i^2}{4} \times H_v \Rightarrow$$

$$H_v = \frac{V_v \times 4}{\pi \times D_i^2} = \frac{0,02 \times 4}{\pi \times 0,3^2} = 0,283 [m]$$

(1)

$$\frac{2}{3} \times V_k = V_v \Rightarrow$$

$$V_k = \frac{3}{2} \times V_v = \frac{3}{2} \times 0,02 = 0,03 [m^3]$$

(2)

$$\frac{2}{3} \times \frac{\pi \times D_i^2}{4} \times H_k = \frac{\pi \times D_i^2}{4} \times H_v$$

$$\frac{2}{3} \times H_k = H_v \Rightarrow$$

$$H_k = \frac{3}{2} \times H_v = \frac{3}{2} \times 0,283 = 0,425 [m]$$

(3)

Výšku kotle H_k upravíme podle konstrukce, s ohledem na podmínku naplnění kotle kvasem maximálně do 2/3.

3.2.2 Výpočet výkonu

Kvas je nehomogenní hmota, skládající se z mnoha látek s různou teplotou varu. Při zanedbání pevných částí, látka v kvasu s nejvyšším bodem varu je voda. Tuto teplotu tedy použijeme pro výpočet potřebného výkonu pro ohřátí kvasu. Voda se vaří při normálním tlaku (1013 hPa) při teplotě 100°C. Použijeme-li tuto teplotu při návrhu, získáme výkon s dostatečnou rezervou, protože například etanol má teplotu varu 78,3 °C a té my dosáhneme dřív než teploty varu vody.

$$m_v = V_v \times \rho_2 = 0,02 \times 997 = 19,94 \text{ [kg]} \quad (4)$$

$$\rho_2 = 997 \text{ [kg} \times \text{m}^{-3}] \quad c_{p2} = 4180 \text{ [J} \times \text{kg}^{-1} \times \text{K}^{-1}]$$

$$T_0 = 20 \text{ [}^\circ\text{C]} = 293,15 \text{ [K]} \quad T_{H_2O} = 100 \text{ [}^\circ\text{C]} = 373,15 \text{ [K]}$$

$$l_{H_2O} = 2,26 \text{ [MJ} \times \text{kg}^{-1}] = 2,26 \times 10^6 \text{ [J} \times \text{kg}^{-1}]$$

$$Q_1 = m_v \times c_{p2} \times (T_{H_2O} - T_0) = 19,94 \times 4180 \times (100 - 20) = 6\,667\,936 \text{ [J]} \quad (5)$$

$$Q_2 = l_{H_2O} \times m_v = 2,26 \times 10^6 \times 19,94 = 45\,064\,400 \text{ [J]} \quad (6)$$

Dobu ohřátí vsádky na teplotu varu musíme volit delší, abychom zabránili připálení na stěnách kotle, a aby došlo k postupnému prohřátí celého objemu. Čas vypařování vsádky je v našem případě doba od počátku destilace do konce. U domácích destilačních zařízení se volí čas ohřátí velmi dlouhý, abychom zabránili připálení. Pokud bychom chtěli proces ohřívání urychlit, zvyšujeme tím pravděpodobnost spálení směsi. Tomu zabráníme pouze přidáním míchacího zařízení do kotle. To však vede ke složitější a dražší konstrukci. Destilování alkoholu je proces, ke kterému se musí přistupovat s trpělivostí, a proto volím čas ohřevu nejméně 5 hodin. Čas destilace by se následně měl pohybovat mezi 2 až 3 hodinami. Čím destilujeme déle, tím by měl být destilát jemnější a chutnější. Proto volím časy následovně:

$$\tau_1 = 5 \text{ [hod]} = 18000 \text{ [s]} \quad \tau_2 = 2,5 \text{ [hod]} = 9000 \text{ [s]}$$

$$P_1 = \frac{Q_1}{\tau_1} = \frac{6\,667\,936}{18\,000} = 370,44 \text{ [W]}$$

$$P_2 = \frac{Q_2}{\tau_2} = \frac{45\,064\,400}{9\,000} = 5\,007,16 \text{ [W]}$$

(7)

Určili jsme minimální potřebné výkony, a tak můžeme přejít k volbě topného pásu. Ty se vyrábějí na zakázku na požadovaný průměr a v normalizovaných délkách (tab. 3). Vedle topného vodiče je důležitou částí pásu elektrická izolace, pro kterou se používá slída nebo keramika.

Parametr	Typ izolace	
	Slidová	Keramická
Max. provozní teplota (°C)	300	500
Max. povrchové zatížení (W/cm ²)	4,0	8,0
Síla stěny (mm)	cca 4,0	cca 12

Tab. 3.: Základní parametry topných pásů [17]

Protože se výkon u těchto pásů udává ve $[W \times cm^{-2}]$, musíme spočítat požadovaný výkon pro návrh pásu. Chceme, aby ohřev probíhal po celém obvodu destilačního kotle, ale přibližně jen do maximální předpokládané hladiny vsádky $H_v = 0,283$ m.

$$\dot{q}_{ker} = 8 [W \times cm^{-2}] \quad \dot{q}_{sl} = 4 [W \times cm^{-2}]$$

$$S_o = \pi \times D_o \times H_v = \pi \times 0,306 \times 0,283 = 0,272 [m^2]$$

(8)

$$P_{ker} = \dot{q}_{ker} \times S_o = 8 \times 0,272 \times 10^4 = 21\,760 [W]$$

$$P_{sl} = \dot{q}_{sl} \times S_o = 4 \times 0,272 \times 10^4 = 10\,880 [W]$$

(9)

Oba výše zmíněné pásy mají výkon větší, než jsou naše potřebné výkony $P_1 = 370,44 [W]$ a $P_2 = 5\,007,16 [W]$. Keramický pás (obr. 20) je pro naše použití nadbytečně výkonný, a proto volíme topný pás se slidovou izolací (obr. 21), který má maximální výkon až dvakrát vyšší, než potřebujeme. Tato bezpečnost nám ale vyhovuje, protože při konstrukci bude nutné objednat pás s výřezem na vypustný ventil, kterým ztratíme část výhřevného výkonu.



Obr. 18.: Keramický topný pás [17]



Obr. 19.: Slidový topný pás [17]

Topný pás jsem zvolil z katalogu společnosti Hotset ČR s.r.o., která nabízí možnost dodání topného pásu i s požadovanými výřezy. Pro řešení izolace navíc nabízí na míru vyráběnou izolaci přímo na topné pásy i s možností výřezů pro otvory. Topný pás se slídovou izolací bude objednaný na průměr $D_o = 306 [mm] = 0,306 [m]$. Výšku topného pásu zvolíme z katalogu (tab. 3) tak, aby byla co nejbližší k hodnotě $H_p = 0,283 [m]$ a tou je $H_p = 0,285 [m]$. Dále firma Hotset ČR s.r.o. nabízí regulaci topných pásů s názvem „hotcontrol“ a to hned v několika různých provedeních.

20	28	35	43	50	58
65	73	80	88	95	105
112	120	127	135	142	150
157	165	172	180	187	195
202	210	217	225	232	240
247	255	262	270	277	285
292	300	307	315	322	330
337	345	352	360	367	375
382	390	397	405	412	420
427	435	442	450	457	465
472	480	487	495	502	510

Tab. 4.: Normalizované šířky topných pásů [mm] [17]

Výpis technických parametrů slídového topného pásu z katalogu firmy:

- Výhody: vynikající převod tepla na vyhřívaný válec, rovnoměrný ohřev, dlouhá životnost při správném používání, snadná instalace, vysoká mechanická pevnost
- Průměr: od 60 [mm]
- Šířka: 20-500 [mm]
- Povrchové zatížení: max. $4 [W \times cm^{-2}]$
- Provozní teplota: max. 300 [°C]
- Materiály: vnitřní stěna z ušlechtilé oceli s vysokou tepelnou vodivostí, vnější stěna z nerezové oceli s vysokou tepelnou odolností, topný vodič NiCr 80/20 a elektrická izolace ze slídy pro vysoké teploty
- Napájení: jednofázové nebo třífázové od šířky 100 [mm]. [17]

3.2.3 Kontrola prostupu tepla přes stěnu kotle

Topný pás bude připnutý na kotel, na jeho vnějším obvodu. Vyhřívání bude probíhat skrz stěnu kotle, a proto musíme zkontrolovat, zda nám teplota prostupem skrze stěnu kotle neklesne příliš nízko.

$$t_k = 3 \text{ [mm]} = 0,003 \text{ [m]} \quad \lambda_{nerez} = 16,4 \text{ [W} \times \text{m}^{-1} \times \text{K}^{-1}\text{]}$$

$$\dot{q}_{sl} = \lambda_{nerez} \times \frac{\Delta T_k}{dx} = \lambda_{nerez} \times \frac{\Delta T_k}{\Delta x} = \frac{\lambda_{nerez}}{t_k} \times \Delta T_k \Rightarrow$$

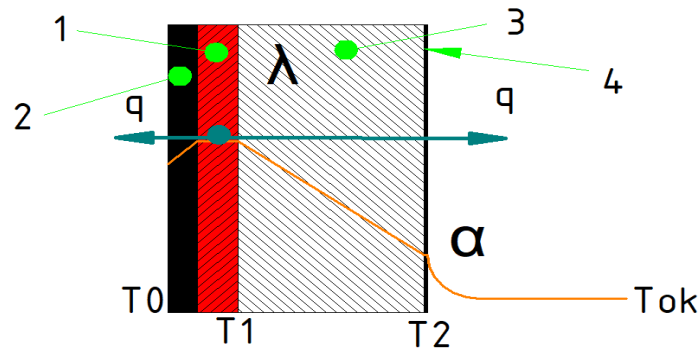
$$\Delta T_k = \frac{\dot{q}_{sl}}{\lambda_{nerez}} \times t_k = \frac{40\,000}{16,4} \times 0,003 = 7,3 \text{ [K]}$$

(10)

Rozdíl teplot na povrchu s topným pásem a uvnitř kotle při plném výkonu je 7,3 [°C].

3.2.4 Návrh izolace

Topný pás je opatřen elektrickou izolací, která má za úkol chránit elektricky vodivé živé části. Pro náš návrh však potřebujeme také tepelnou izolaci pásu, a to z několika důvodů. Prvním je nebezpečí popálení obsluhy. Topný pás vytváří teplo oběma směry, takže nám teplota bude stoupat nejenom uvnitř kotle, ale také na povrchu pásu. Při jeho plném výkonu může dosáhnout až 300 [°C]. Proto budeme potřebovat izolovat tuto vysokou teplotu od okolí a izolaci navrhnout tak, aby na vnějším povrchu byla teplota maximálně 30 [°C]. Dalším důvodem jsou tepelné ztráty. Použitím izolace usměrníme tepelný tok a zvýšíme tak účinnost výhřevu. V katalogu firmy Hotset ČR s.r.o. se uvádí, že použitím izolace se sníží spotřeba elektrické energie až o 35 %. Jako materiál je pro tepelnou izolaci použita sklotkanina. Pro ohřátí vsádky tak, aby se nepřipálila, je potřeba, aby teplota povrchu kotle nepřesáhla 100[°C]. Při destilaci se budeme pohybovat v intervalu teplot od 78 do 86[°C], proto pro výpočet izolace budeme uvažovat teplotu na povrchu pásu 95[°C], a to kvůli teplotnímu spádu směrem dovnitř kotle. Musíme spočítat minimální tloušťku izolační vrstvy H [mm] (Obr. 20).



Obr. 20.: Teplotní průběh kotle

$$\lambda_{skl} = 0,04 [W \times m^{-1} \times K^{-1}] \quad \alpha_{vp} = 15 [W \times m^{-2} \times K^{-1}]$$

$$T_1 = 95 [^{\circ}C] \quad T_2 = 30 [^{\circ}C] \quad T_{ok} = 20 [^{\circ}C]$$

$$\dot{q}_z = \frac{\lambda_{skl}}{H} \times (T_1 - T_2) = \alpha_{vp} \times (T_2 - T_{ok}) =>$$

$$H = \frac{\lambda_{skl} \times (T_1 - T_2)}{\alpha_{vp} \times (T_2 - T_{ok})} = \frac{0,04 \times (95 - 30)}{15 \times (30 - 20)} = 0,0173 [m] = 17,3 [mm]$$

(11)

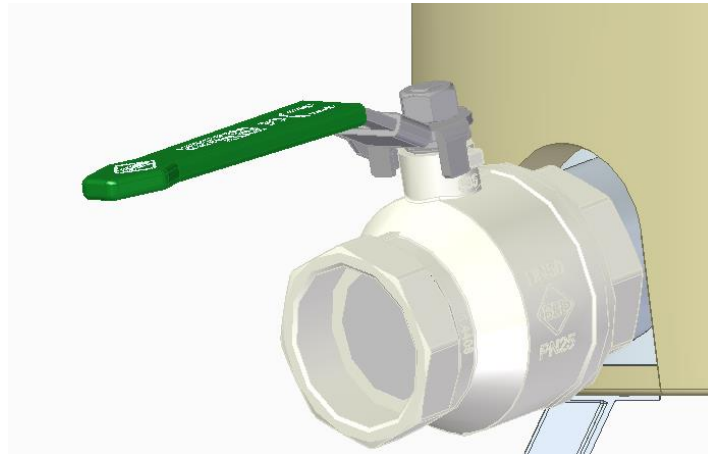
Volíme minimální tloušťku izolační vrstvy 18 [mm], dle nabízené izolace od firmy Hotset ČR s.r.o.. Stejná tloušťka izolace musí být umístěna i na spodní část kotle, aby nedocházelo k úniku tepla a celá směs byla rovnoměrně ohřívána.

3.2.5 Vypouštění kotle

Kvas se skládá z mnoha složek, z nichž jsou některé i pevného skupenství (například pecky, slupky atd.). Ty společně s dalšími látkami, které nebyly přeměněny v páry, zůstávají po destilaci v kotli. Tato směs má vysokou teplotu, takže ji musíme nechat vychladnout a poté z kotle odstranit.

První a nejjednodušší návrh, jak z kotle vypustit zbytek směsi, je otevřít horní víko, odmontovat zbytek konstrukce, kotel převrátit a zbytky vylít. To je však zdlouhavé a fyzicky náročné.

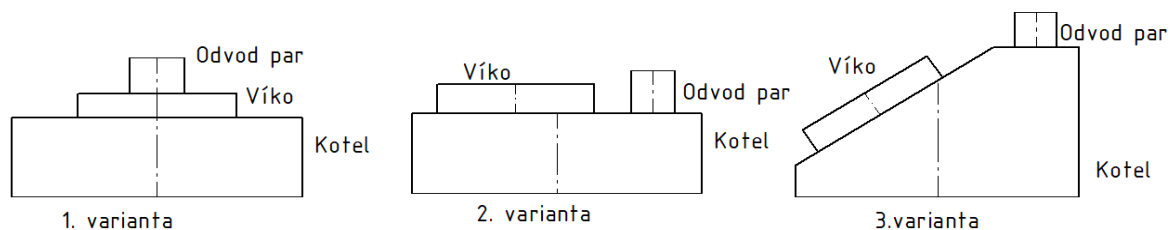
Provedení, které jsme použili (Obr. 21), je s dvoupalcovým vypustným ventilem ve stěně kotle. Konstrukce je navrhnutá tak, aby byl ventil níže než dno kotle, kvůli zajištění odtoku všech zbytků. Použitím ventilu odpadá potřeba rozmontování sestavy a potřeba použití fyzické síly.



Obr. 21.: Výpustný ventil

3.2.6 Hlava kotle

V hlavě kotle musí být umístěn otvor, kterým se bude do kotle nalévat vsádka. Otvor musí být dostatečně veliký, aby se dal vnitřek kotle bez problémů vymýt. Další částí je odvod lihových par, které budou vznikat zahříváním kvasu. Destilační proces je řízen jen teplotou lihových par, která se měří na hlavě kotle, a to znamená, že teploměr je poslední důležitou součástí hlavy kotle. Pro konstrukční uspořádání hlavy jsem navrhl tři níže uvedené varianty (Obr. 22). Při návrhu jsem pamatoval na vypočtený původní objem kotle a výšku hladiny kvasu. Původní objem jsem uvažoval jako minimální, takže navržené varianty mají větší prostor pro zvětšení objemu vsádky.



Obr. 22.: Návrhy provedení hlavy kotle

Výhodou 1. varianty je, že odvod je v nejvyšší úrovni hlavy, takže dochází k odvodu veškerých lihových par. Nevýhodou tohoto provedení je nutnost vyrobení vlastního víka, které bude obsahovat přírubu na připojení zbytku konstrukce. Další problém je při otevírání víka, kdy budeme muset rozebrat celou horní konstrukci zařízení.

Druhá varianta převrátí nevýhody té první na výhody, ale i obráceně. Takže problémem bude ztráta lihových par, které se budou shromažďovat v místech, kde je přivařené víko.

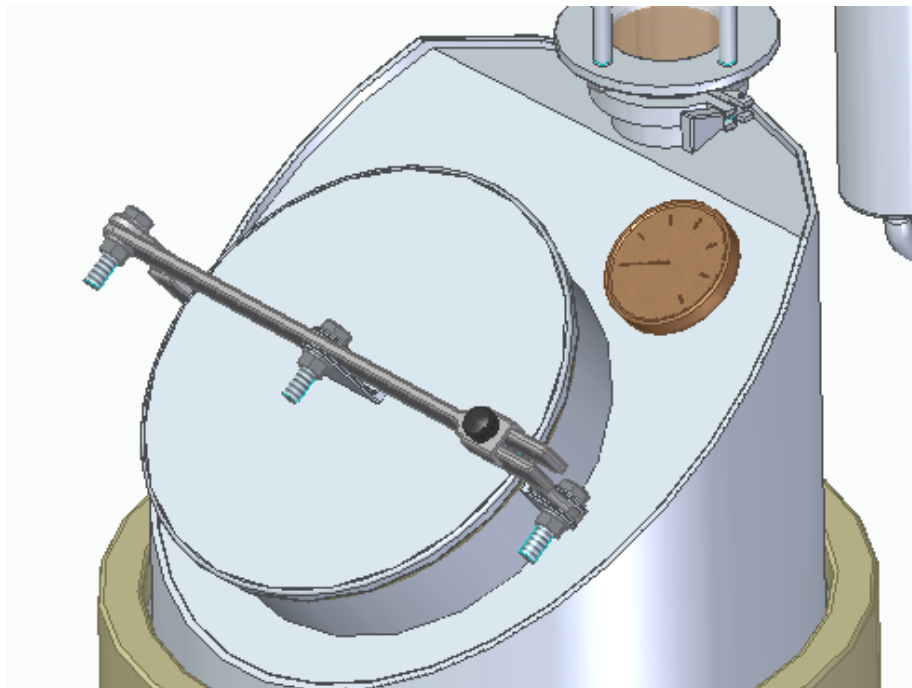
Třetí varianta je optimální. Odvod lihových par je umístěn v nejvyšším bodě a vyrobí se jen přivařením koupené příruby. Víko je na sklopené straně. Není potřeba vyrábět vlastní, protože potravinářská víka určená k přivaření nabízí celá řada společností. Na přání zákazníka je možné přivařit víko s průhledem do kotle (Obr. 23) nebo bez (Obr. 24). Víko může být kruhové, oválné nebo hranaté. [18]



Obr. 23.: Víko bez průzoru [18]



Obr. 24.: Víko s průzorem [18]



Obr. 25.: Hlava destilačního kotle na mém návrhu

3.2.7 Výroba kotle

Konstrukce destilačního kotle je navržena z normalizovaných svařovaných trubek nebo dutých profilů a plechů z nerezové oceli s označením 1.4301 (AISI 304). Vyřezání tvaru plechů a otvorů do dílů bude provedeno pomocí laserové řezačky. Předem připravené součásti je nutné svařit pomocí metody TIG, která využívá netavnou wolframovou elektrodu a ochranou atmosféru inertního plynu. Po svaření je nutné provést moření, které pomocí chemické reakce odstraní oxidy a kontaminaci železem. Důležitou úpravou je následná pasivace povrchu, která vytvoří pasivní vrstvu na povrchu výrobku a slouží k odolávání proti nežádoucím vlivům [20]. Pro připojení dalších dílů, které odvádí lihové páry, jsem použil normalizovanou navařovací přírubu CLAMP DIN 32676 DN 50. Svaření dna kotle musí být provedeno z obou stran koutovým svarem. A to z důvodu úplného zamezení vtoku tekutin do spáry. Usazené nečistoty by nebylo možné jednoduše vyčistit. Vznikala by tak nežádoucí koroze a zbytky by kazily následný destilát.

3.3 Vedení lihových par

Součásti, které budou zajišťovat odvod lihových par, budou navzájem spojeny pomocí normalizovaného spojení CLAMP DIN 32676 DN 50 (Obr. 26), které zajišťuje i těsnost spojů. Kupované součásti budou mít možnost tohoto připojení a k vyráběným součástem budou přivařeny kupované navařovací příruby, obsahující požadované připojení.



Obr. 26.: Spojení CLAMP DIN 32676 DN 50 [18]

3.3.1 Měděný filtr

Nejprve projdou lihové páry filtrem, ve kterém dojde ke styku s mědí. Katalytické vlastnosti mědi mají na výsledný destilát velmi příznivý vliv a zabraňují tvorbě nežádoucích látek. Měď se bude do filtru vkládat ve tvaru malých pružinek, protože tím kontaktní povrch zvětšíme. Pružinky jsou kupované. Hustě se jimi naplní koupené potrubní průhledítko s připojením CLAMP DIN 32676 DN 50 tak, aby se neomezil průtok lihových par. Průhledítko se ještě musí doplnit nerezovými síťkami na obou stranách, aby pružinky nepropadly. Výhodou tohoto návrhu je, že veškeré komponenty jsou vyráběny sériově a prodávají se na trhu. Měděné pružinky lze nahradit jiným měděným tvarem. Takto sestavený filtr musí být umístěn před deflegmátor, aby se zkondenzovaná část par (reflux) vracela přes měď zpět do kotle. Vylepšíme tím účinnost procesu destilace. Celá konstrukce je snadno rozebíratelná.



Obr. 27.: Potrubní průhledítko [18]

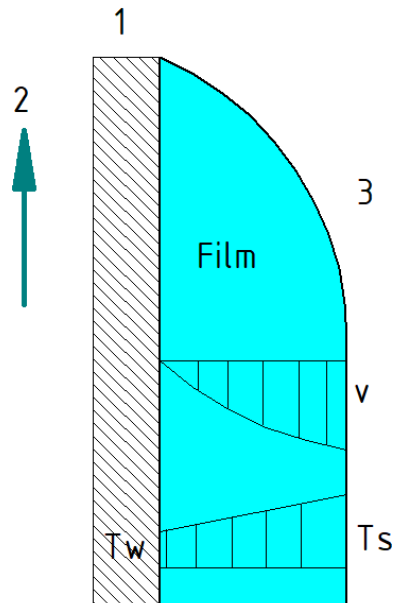


Obr. 28.: Měděné pružinky [19]

3.3.2 Deflegmátor

Uvnitř části potrubí, ve kterém proudí lihové páry, je měděná trubka, kterou proudí voda. Tato část potrubí se nazývá deflegmátor. Funkce je stejná jako u chladiče až na to, že chceme vytvořit pouze tenký kapalný film na měděné trubce a nechceme, aby nám zkondenzoval celý objem. Pro výpočet použijeme aproximaci, kde se vytváří kapalný film procházejících par na studené stěně. Studená stěna nám nahrazuje povrch měděné trubky, která bude mít teplotu vody proudící po její vnější straně. Z důvodu úspory se bude používat voda z chladiče. Následující výpočet je pouze teoretické podložení, že deflegmátor bude plnit svojí funkci. Jeho správná funkce se však musí zjistit experimentálně, protože jsme výpočet zjednodušili. Uvažovali jsme proudění čistého ethanolu, ale ve skutečnosti se lihové

páry budou skládat z mnoha látek, jejichž množství ani druhy neznáme.. Druhy a množství látek v objemu nebudou nikdy ve dvou kvasem naplněném kotli stejné, a proto se musí funkce deflegmátoru upravit při průběhu destilace. Funkci deflegmátoru můžeme řídit změnou průtoku chladicí vody tak, že průtok rozdělíme a budeme využívat pouze jeho část. Další možností je úprava teploty vody využívané k vytvoření filmu. Výpočet tloušťky stékajícího filmu, byl proveden na základě postupu uvedeném v literatuře [24].



Obr. 29.: Stékání po stěně (1-stěna měděné trubky, 2-proudící voda, 3-stékající film)

$$T_s = 86 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad T_w = 20 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad g = 9,81 \text{ [m} \times \text{s}^{-2}\text{]}$$

$$\mu_1 = 1,2 \text{ [mPa]} = 0,0012 \text{ [Pa]} \quad i_e = 897\,000 \text{ [J} \times \text{kg}^{-1}\text{]} \quad L_d = 0,08 \text{ [m]}$$

$$\lambda_1 = 0,166 \text{ [W} \times \text{m}^{-1} \times \text{K}^{-1}\text{]} \quad \rho_{el} = 789 \text{ [kg} \times \text{m}^{-3}\text{]} \quad \rho_1 = 1,59 \text{ [kg} \times \text{m}^{-3}\text{]}$$

$$\begin{aligned}
 Nu_f &= 0,943 \times \left[\frac{\rho_{el} \times (\rho_{el} - \rho_1) \times g \times i_e \times L_d^3}{\mu_1 \times (T_s - T_w) \times \lambda_1} \right]^{\frac{1}{4}} \\
 &= 0,943 \times \left[\frac{789 \times (789 - 1,59) \times 9,81 \times 897\,000 \times 0,08^3}{0,0012 \times (86 - 20) \times 0,166} \right]^{\frac{1}{4}} = 640,55
 \end{aligned}$$

(12)

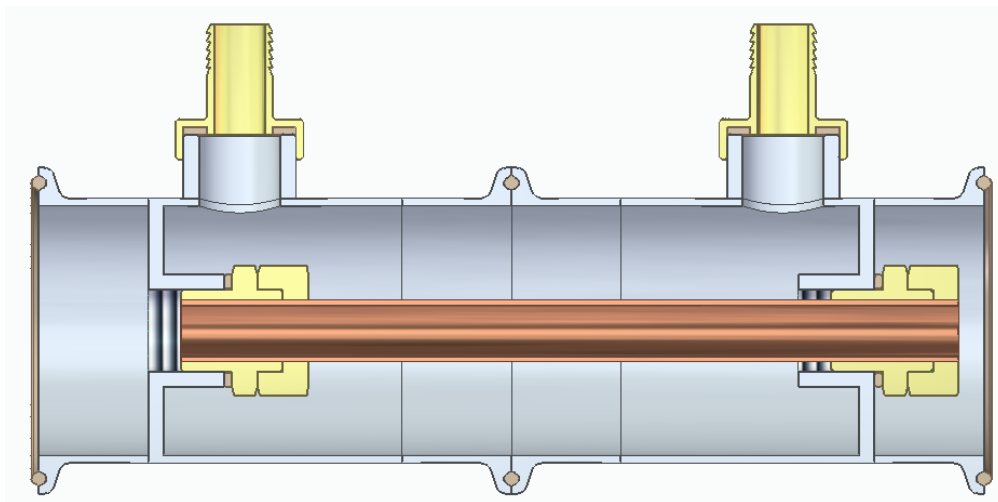
$$Nu_f = \frac{\alpha_d \times L_d}{\lambda_1} \Rightarrow \alpha_d = \frac{\lambda_1 \times Nu_f}{L_d} = \frac{0,166 \times 640,55}{0,08} = 1\,329,15 \text{ [W} \times \text{m}^{-2} \times \text{K}^{-1}\text{]}$$

(13)

$$\begin{aligned}
 \frac{\alpha_d}{\lambda_1} \times \left(\frac{\mu_1^2}{\rho_{el} \times (\rho_{el} - \rho_1) \times g} \right)^{1/3} &= 1,47 \times Re^{-1/3} \\
 Re_d &= \sqrt[3]{\frac{\alpha_d}{1,47 \times \lambda_1} \times \left(\frac{\mu_1^2}{\rho_{el} \times (\rho_{el} - \rho_1) \times g} \right)^{1/3}} \\
 &= \sqrt[3]{\frac{1\,329,15}{1,47 \times 0,166} \times \left(\frac{0,0012^2}{789 \times (789 - 1,59) \times 9,81} \right)^{1/3}} = 26,19
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

$$Re = \frac{4 \times \Gamma}{\mu_1} \Rightarrow \Gamma = \frac{Re \times \mu_1}{4} = \frac{26,19 \times 0,0012}{4} = 0,0079 \text{ [kg} \times \text{s}^{-1} \times \text{m}^{-1}\text{]}
 \tag{15}$$

$$\begin{aligned}
 \delta &= \sqrt[3]{\frac{\Gamma \times \mu_1 \times 3}{\rho_{el} \times (\rho_{el} - \rho_1) \times g}} = \sqrt[3]{\frac{0,0079 \times 0,0012 \times 3}{789 \times (789 - 1,59) \times 9,81}} = 0,00017 \text{ [m]} \\
 &= 0,17 \text{ [mm]}
 \end{aligned}
 \tag{16}$$



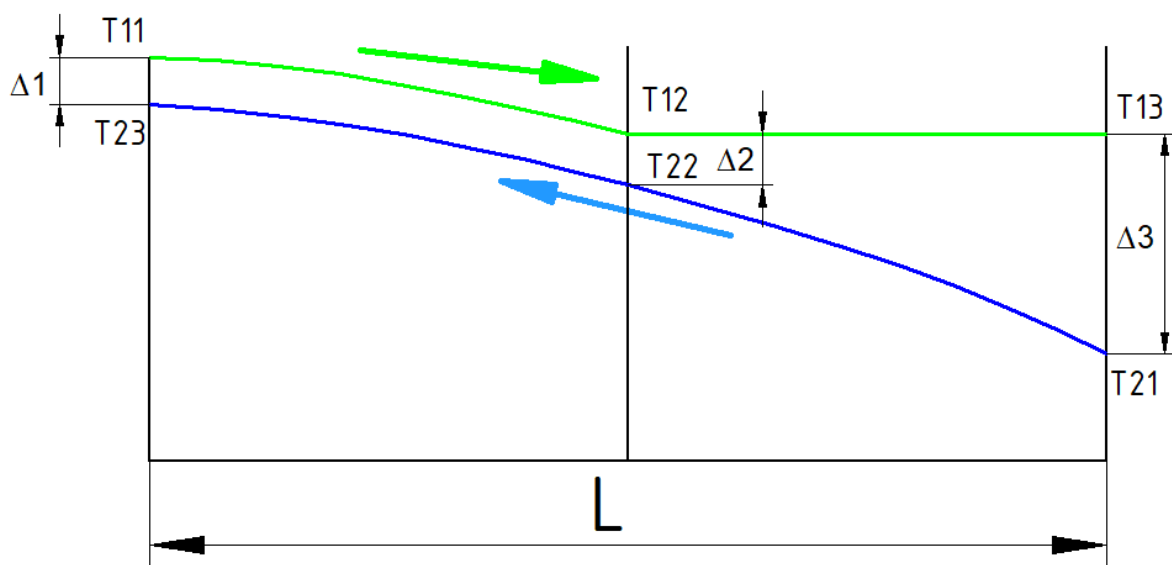
Obr. 30.: Konstrukce deflegmátoru

Použil jsem měděnou trubku, protože má velmi dobrou tepelnou vodivost. S nerezovou armaturou je spojena pomocí mosazného spoje, který zabraňuje, aby se z nerezové oceli a mědi stal galvanický člunek. V opačném případě by byla konstrukce napadena elektrolytickou korozí, protože spoj bude využit ve velmi agresivním prostředí.

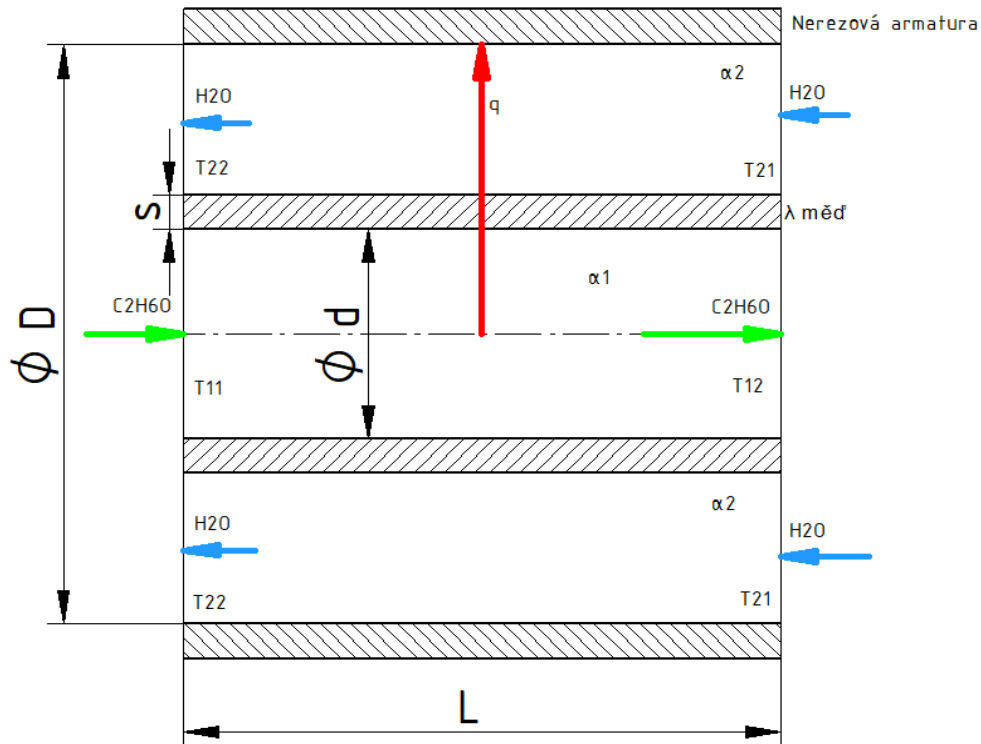
Mosazná část je s měděnou trubicí spojena pomocí svěrného spoje a s nerezovou armaturou závitovým spojem. Konstrukce obsahuje dva mosazné vývody s těsněním pro připojení hadice na odvod a přívod pracovní vody z výstupu chladiče. Při sestavování destilačního zařízení je důležité umístit vypustný ventil nahoru, abychom zajistily naplnění mezipláště vodou. Deflegmátor (Obr. 30) je navržen tak, aby se dal jednoduše rozmontovat, vyčistit a aby mohly být opotřebované či nefunkční části jednoduše nahrazeny novými. Svaření nerezové armatury je provedeno stejnými metodami jako v případě kotle. Části svařence jsou rovněž jednoduché komponenty, vyrobené z normalizovaných polotovarů a normalizované příruby CLAMP DIN 32676 DN 50.

3.3.3 Chladič

Za deflegmátorem následuje 180° koleno, za kterým lihové páry vstupují do chladiče, kde dochází k přeměně par zpět na kapalinu. Zvolil jsem spirálovitý chladič. Spirála má oproti rovné trubce mnohem větší plochu pro přestup tepla. Chladič s rovnou trubicí by musel být příliš dlouhý, abychom mohli přeměnit veškerou páru na kapalinu. Jako materiál trubky pro spirálu, ve které budou kondenzovat lihové páry, jsem zvolil měď. Ta má, jak již bylo psáno, dobrou tepelnou vodivost a je velmi dobře tvarovatelná. Jako chladicí medium jsem zvolil kohoutkovou studenou vodu. Pro výpočet délky chladiče použijeme aproximaci, kde budeme uvažovat rovnou trubku.



Obr. 31.: Průběh teplot v chladiči



Obr. 32.: Schéma chladiče

Lihové páry chceme ochladit na teplotu kondenzace a zkondenzovat, proto je průběh teplot v chladiči rozdělen na 2 části (Obr. 31). Část vlevo je pro ochlazení, pravá část pro samotnou kondenzaci.

$$T_{11} = 86 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad T_{12} = 78,3 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad T_{13} = 78,3 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$T_{21} \sim T_{22} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad T_{22} = 17 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad T_{23} = 20 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Index 1 je pro lihové páry a 2 pro kohoutkovou chladicí vodu.

$$\lambda_1 = 0,166 \text{ [} W \times m^{-1} \times K^{-1}] \quad \lambda_2 = 0,599 \text{ [} W \times m^{-1} \times K^{-1}]$$

$$\rho_1 = 1,59 \text{ [} kg \times m^{-3}] \quad \rho_2 = 997 \text{ [} kg \times m^{-3}]$$

$$c_{p1} = 2430 \text{ [} J \times kg^{-1} \times K^{-1}] \quad c_{p2} = 4180 \text{ [} J \times kg^{-1} \times K^{-1}]$$

$$\mu_1 = 1,2 \text{ [} mPa \times s] \quad \mu_2 = 1,004 \text{ [} mPa \times s]$$

$$V_d = \frac{1}{3} \times 20 \text{ l} = 6,67 \text{ dm}^3 = 6,67 \times 10^{-3} \text{ [} m^3] \quad \tau_2 = 2,5 \text{ hod} = 9000 \text{ [} s]$$

$$s = 1 \text{ [} mm] \quad d = 10 \text{ [} mm] \quad D = 49 \text{ [} mm]$$

$$\lambda_{cu} = 386 \text{ [} W \times m^{-1} \times K^{-1}]$$

Výpočet součinitele přestupu tepla pro ethanol (index 1) a pro vodu (index 2) při ochlazování ethanolových par na teplotu kondenzace a při samotné kondenzaci:

$$\dot{V}_1 = \frac{V_d}{\tau_2} = \frac{0,00667}{9000} = 7,41 \times 10^{-7} [m^3 \times s^{-1}] \quad (17)$$

$$\dot{m}_1 = \dot{V}_1 \times \rho_1 = 7,41 \times 10^{-7} \times 1,59 = 1,18 \times 10^{-6} [kg \times s^{-1}] \quad (18)$$

$$\dot{Q}_{ch1} = \dot{m}_1 \times c_{p1} \times (T_{11} - T_{12}) = 1,18 \times 10^{-6} \times 2430 \times (86 - 78,3) = 0,022 [W]$$

$$\dot{Q}_{ch1} = \dot{Q}_{ch2}$$

$$\dot{Q}_{ch2} = \dot{m}_2 \times c_{p2} \times (T_{23} - T_{22}) =>$$

$$\dot{m}_2 = \frac{\dot{Q}_{ch2}}{c_{p2} \times (T_{23} - T_{22})} = \frac{0,022}{4180 \times (20 - 17)} = 1,75 \times 10^{-6} [kg \times s^{-1}] \quad (19)$$

$$\dot{V}_2 = \frac{\dot{m}_2}{\rho_2} = \frac{1,75 \times 10^{-6}}{997} = 1,76 \times 10^{-9} [m^3 \times s^{-1}]$$

Ve skutečnosti bude přívod vody do chladiče připojen do vodovodního řádu studené vody, a pokud bude dodržený normalizovaný tlak ve vodovodním řádu (0,6 [MPa]), tak objemový průtok studené kohoutkové vody bude $\dot{V}_{2sk} = 12 \div 15 [l \times min^{-1}]$.

$$\dot{V}_{2sk} = \frac{12 \times 10^{-3}}{60} = 2 \times 10^{-4} [m^3 \times s^{-1}]$$

$$\dot{m}_{2sk} = \dot{V}_{2sk} \times \rho_2 = 2 \times 10^{-4} \times 997 = 0,1994 [kg \times s^{-1}]$$

$$l_v = 897 [kJ \times kg^{-1}]$$

$$\dot{Q}_{K1} = l_v \times \dot{m}_1 = 897 \, 000 \times 1,18 \times 10^{-6} = 1,06 [W] \quad (20)$$

$$\dot{Q}_{K1} = \dot{Q}_{K2}$$

$$\dot{Q}_{K2} = \dot{m}_2 \times c_{p2} \times (T_{22} - T_{21}) =>$$

$$T_{21} = T_{22} - \frac{\dot{Q}_{K2}}{\dot{m}_2 \times c_{p2}} = 17 - \frac{1,06}{0,1994 \times 4180} = 16,999 [^{\circ}C]$$



$$a_1 = \frac{\lambda_1}{c_{p1} \times \rho_1} = \frac{0,166}{2430 \times 1,59} = 4,3 \times 10^{-5} [m^2 \times s^{-1}]$$
$$a_2 = \frac{\lambda_2}{c_{p2} \times \rho_2} = \frac{0,599}{4180 \times 997} = 1,44 \times 10^{-7} [m^2 \times s^{-1}]$$

(21)

$$v_1 = \frac{\mu_1}{\rho_1} = \frac{0,0012}{1,59} = 7,55 \times 10^{-4} [m^2 \times s^{-1}]$$
$$v_2 = \frac{\mu_2}{\rho_2} = \frac{0,001004}{997} = 1,007 \times 10^{-6} [m^2 \times s^{-1}]$$

(22)

$$S_1 = \frac{\pi \times d^2}{4} = \frac{\pi \times 0,01^2}{4} = 7,85 \times 10^{-5} [m^2]$$

(23)

$$S_2 = \frac{\pi}{4} \times [D^2 - (d + 2 \times s)^2] = \frac{\pi}{4} \times [0,049^2 - (0,01 + 2 \times 0,001)^2]$$
$$= 1,77 \times 10^{-3} [m^2]$$

(24)

$$\bar{u}_1 = \frac{\dot{V}_1}{S_1} = \frac{2,22 \times 10^{-6}}{7,85 \times 10^{-5}} = 0,028 [m \times s^{-1}]$$
$$\bar{u}_2 = \frac{\dot{V}_{2sk}}{S_2} = \frac{2 \times 10^{-4}}{1,77 \times 10^{-3}} = 0,113 [m \times s^{-1}]$$

(25)

$$d_h = D - (d + 2 \times s) = 0,049 - (0,01 + 2 \times 0,001) = 0,037 m$$

(26)

$$Re_1 = \frac{\bar{u}_1 \times d}{v_1} = \frac{0,028 \times 0,01}{7,55 \times 10^{-4}} = 0,37$$

Ethanol má laminární proudění.

$$Re_2 = \frac{\bar{u}_2 \times d_h}{v_2} = \frac{0,113 \times 0,037}{1,007 \times 10^{-6}} = 4152$$

Voda má turbulentní proudění.

(27)

$$Pr_1 = \frac{v_1}{a_1} = \frac{7,55 \times 10^{-4}}{4,3 \times 10^{-5}} = 17,56$$

$$Pr_2 = \frac{v_2}{a_2} = \frac{1,007 \times 10^{-6}}{1,44 \times 10^{-7}} = 7$$

(28)

$$Gz_1 = \frac{\dot{m}_1 \times c_{p1}}{\lambda_1 \times d} = \frac{1,18 \times 10^{-6} \times 2430}{0,166 \times 0,01} = 172,73$$

$$Gz_2 = \frac{\dot{m}_2 \times c_{p2}}{\lambda_2 \times d_h} = \frac{0,1994 \times 4180}{0,599 \times 0,037} = 37\,607,36$$

(29)

$$Nu_1 = 3,66 + \frac{0,0668 \times Gz_1}{1 + 0,04 \times Gz_1^{2/3}} = 3,66 + \frac{0,0668 \times 172,73}{1 + 0,04 \times 172,73^{2/3}} = 8,81$$

$$Nu_2 = 0,015 \times Re_2^{0,83} \times Pr_2^{0,42} = 0,015 \times 4152^{0,83} \times 7^{0,42} = 34,21$$

(30)

$$Nu_1 = \frac{\alpha_1 \times d}{\lambda_1} \Rightarrow \alpha_1 = \frac{Nu_1 \times \lambda_1}{d} = \frac{8,81 \times 0,166}{0,01} = 146,25 [W \times m^{-2} \times K^{-1}]$$

$$Nu_2 = \frac{\alpha_2 \times d_h}{\lambda_2} \Rightarrow \alpha_2 = \frac{Nu_2 \times \lambda_2}{d_h} = \frac{34,21 \times 0,599}{0,037} = 553,83 [W \times m^{-2} \times K^{-1}]$$

(31)

Výpočet minimální délky chladiče pro zchlazení ethanolových par na teplotu kondenzace a pro kondenzaci samotnou:

$$\begin{aligned} k_{1mCH} &= \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_1 \times d} + \frac{1}{2 \times \lambda_{Cu}} \times \ln \frac{(d + 2 \times s)}{d} + \frac{1}{\alpha_2 \times (d + 2 \times s)}} \\ &= \frac{\pi}{\frac{1}{146,25 \times 0,01} + \frac{1}{2 \times 386} \times \ln \frac{(0,01 + 2 \times 0,001)}{0,01} + \frac{1}{553,83 \times (0,01 + 2 \times 0,001)}} \\ &= 3,76 [W \times m^{-1} \times K^{-1}] \end{aligned}$$

$$k_{1m} = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_1 \times d} + \frac{1}{2 \times \lambda_{Cu}} \times \ln \frac{(d + 2 \times s)}{d} + \frac{1}{\alpha_2 \times (d + 2 \times s)}}$$

Ve skutečnosti je však součinitel přestupu tepla kondenzujících par (ethanolu) mnohem větší: $\alpha_1 = 25\,000 \div 100\,000 [W \times m^{-2} \times K^{-1}]$.

$$\alpha_1 \gg \alpha_2 \Rightarrow \frac{1}{\alpha_1 \times d} \approx \frac{1}{\infty} \approx 0$$

$$\begin{aligned} k_{1mK} &= \frac{\pi}{\frac{1}{2 \times \lambda_{Cu}} \times \ln \frac{(d + 2 \times s)}{d} + \frac{1}{\alpha_2 \times (d + 2 \times s)}} \\ &= \frac{\pi}{\frac{1}{2 \times 386} \times \ln \frac{(0,01 + 2 \times 0,001)}{0,01} + \frac{1}{553,83 \times (0,01 + 2 \times 0,001)}} \\ &= 20,85 [W \times m^{-1} \times K^{-1}] \end{aligned} \quad (32)$$

$$\begin{aligned} k_{(d)CH} &= \frac{k_{1mCH}}{\pi \times d} = \frac{3,76}{\pi \times 0,01} = 119,82 [W \times m^{-2} \times K^{-1}] \\ k_{(d)K} &= \frac{k_{1mK}}{\pi \times d} = \frac{20,85}{\pi \times 0,01} = 663,68 [W \times m^{-2} \times K^{-1}] \end{aligned} \quad (33)$$

$$\Delta_1 = T_{11} - T_{23} = 86 - 20 = 66 [^{\circ}C]$$

$$\Delta_2 = T_{12} - T_{22} = 78,3 - 17 = 61,3 [^{\circ}C]$$

$$\Delta_3 = T_{13} - T_{21} = 78,3 - 16,99 = 61,31 [^{\circ}C]$$

(34)

$$\Delta T_{ln CH} = \frac{\Delta_1 - \Delta_2}{\ln \frac{\Delta_1}{\Delta_2}} = \frac{66 - 61,3}{\ln \frac{66}{61,3}} = 63,62 [^{\circ}C]$$

$$\Delta T_{ln K} = \frac{\Delta_2 - \Delta_3}{\ln \frac{\Delta_2}{\Delta_3}} = \frac{61,3 - 62,57}{\ln \frac{61,3}{62,57}} = 61,305 [^{\circ}C]$$

(35)

$$\dot{Q}_{ch1} = k_{(d)CH} \times A \times \Delta T_{ln} \Rightarrow$$

$$A_{CH} = \frac{\dot{Q}_{ch1}}{k_{(d)CH} \times \Delta T_{lnCH}} = \frac{0,022}{119,82 \times 63,62} = 2,8 \times 10^{-6} [m^2]$$

$$\dot{Q}_{K1} = k_{(d)K} \times A \times \Delta T_{ln} \Rightarrow$$

$$A_K = \frac{\dot{Q}_{K1}}{k_{(d)K} \times \Delta T_{lnK}} = \frac{1,06}{663,68 \times 61,93} = 2,6 \times 10^{-5} [m^2]$$

(36)

$$A_{CH} = \pi \times d \times L_{CH} \Rightarrow L_{CH} = \frac{A_{CH}}{\pi \times d} = \frac{2,8 \times 10^{-6}}{\pi \times 0,01} = 8,9 \times 10^{-5} [m]$$

$$A_K = \pi \times d \times L_K \Rightarrow L_K = \frac{A_K}{\pi \times d} = \frac{2,6 \times 10^{-5}}{\pi \times 0,01} = 7,96 \times 10^{-4} [m]$$

(37)

$$d_{\xi} = 0,03 [m]$$

$$L_{min} = L_{CH} + L_K = 8,9 \times 10^{-5} + 7,96 \times 10^{-4} = 8,85 \times 10^{-4} [m]$$

$$L_{min} = \pi \times d_{\xi} \times n_{min} \Rightarrow n_{min} = \frac{L_{min}}{\pi \times d_{\xi}} = \frac{8,85 \times 10^{-4}}{\pi \times 0,03} = 9,4 \times 10^{-3}$$

(38)

S tak velkým průtokem by nám stačil velice krátký chladič. Ale při takové velikosti objemového průtoku a v případě, že vodu do chladiče vpustíme až na začátku destilace, tak za dobu uplynutí 2,5 hodiny spotřebujeme obrovské množství vody:

$$V_{zv} = \dot{V}_{2sk} \times \tau_2 = 12 \times 2,5 \times 60 = 1800 [l]$$

(39)

Za účelem ušetření nákladů na použitou vodu a vycházíme-li z pravděpodobnosti, že normalizovaný tlak ve vodovodním řádu (0,6 [MPa]) nemusí být dosažen kvůli starému potrubí, zvolíme délku chladiče několikanásobně větší. To nám umožní snížit velikost objemového průtoku. Zařízení bude zkonstruováno tak, aby bylo možné jej použít i ve starých chalupách, kde je často tlak vody v kohoutku dosažen jen pomocí samovolného spádu, který navíc nebývá konstantní z důvodu napojení více obydlí na jednu studni.

Snížení průtoku lze provést několika způsoby. Jedním je přidání redukčního ventilu za kohoutek. Tak můžeme s větší přesností určovat průtok, který se nastavuje podle tlaku. Nebo kohoutek pouze pootevřeme. Druhý způsob je méně profesionální, ale pro použití na venkovských chatách a chalupách je dostačující.

Zvolil jsem objemový průtok vstupující vody do chladiče $\dot{V}_{2p} = 0,5 [l \times min^{-1}]$.

$$V_{zv} = \dot{V}_{2p} \times \tau_2 = 0,5 \times 2,5 \times 60 = 75 [l]$$

(40)

Pro takto zkonstruovaný chladič jsou návrhové parametry podle předchozích rovnic a postupů následující:

$$\alpha_1 = 146,25 [W \times m^{-2} \times K^{-1}] \quad \alpha_2 = 39,58 [W \times m^{-2} \times K^{-1}]$$

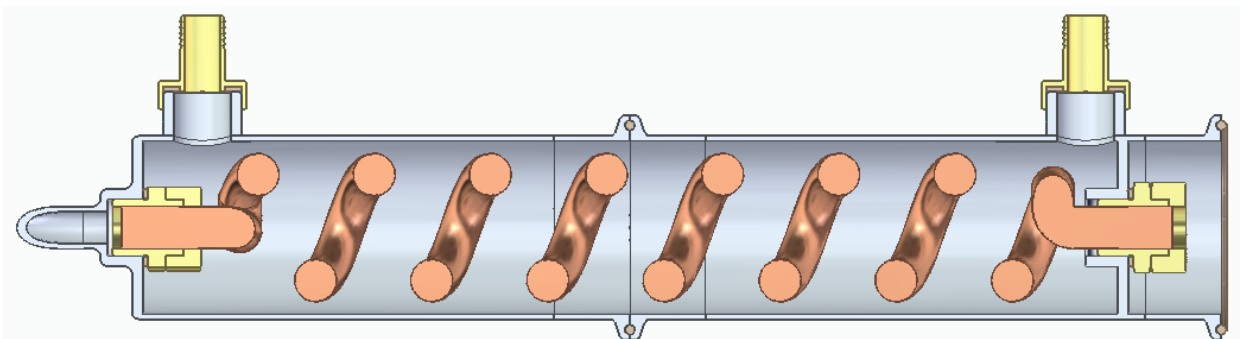
$$k_{(d)CH} = 35,85 [W \times m^{-2} \times K^{-1}] \quad k_{(d)K} = 47,49 [W \times m^{-2} \times K^{-1}]$$

$$A_{CH} = 9,7 \times 10^{-6} [m^2] \quad A_K = 0,0004 [m^2]$$

$$L_{CH} = 0,0003 [m] \quad L_K = 0,0116 [m] \quad L = 0,0119 [m] \quad n_{min} = 0,13$$

Pro spirálový chladič jsem v tomto návrhu zvolil 7 závitů. Tímto provedením dosáhneme dostatečné jistoty, že veškerý ethanol a s ním spojené látky tvořící pálenku, se dostanou do epruvety ve formě kapaliny a nebude tak docházet ke ztrátám lihových par do ovzduší.

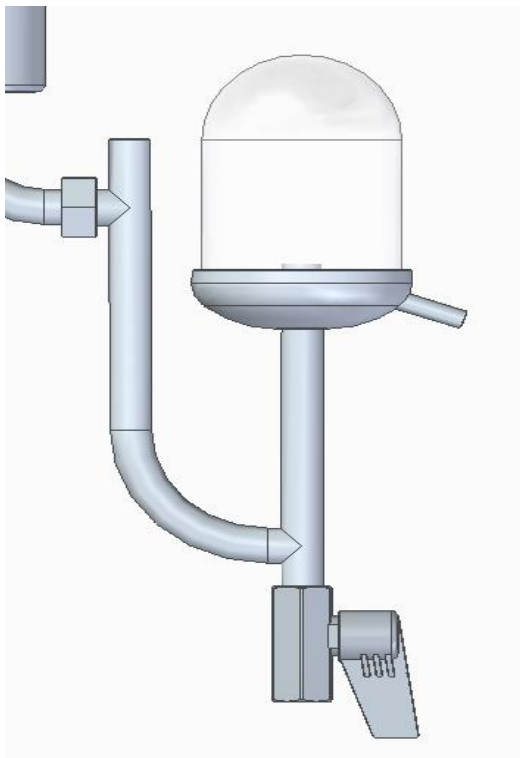
Konstrukce chladiče (Obr. 33) bude stejná jako u deflegmátoru, jen místo měděné trubky použijeme spirálu. Spojení pomocí mosazného členu je opět použito z důvodu zamezení elektrolytické koroze. Chladič je, stejně jako ostatní součásti, jednoduše rozmontovatelný. Je to z důvodu jednoduchého čištění nebo výměny nefunkčních dílů. Ke svaření, provedeném stejnými metodami jako předešlé svařence, jsou opět použity jednoduché součásti z normalizovaných polotovarů a navařovací příruba CLAMP DIN 32676 DN 50.



Obr. 33.: Konstrukce chladiče

3.3.4 Epruveta

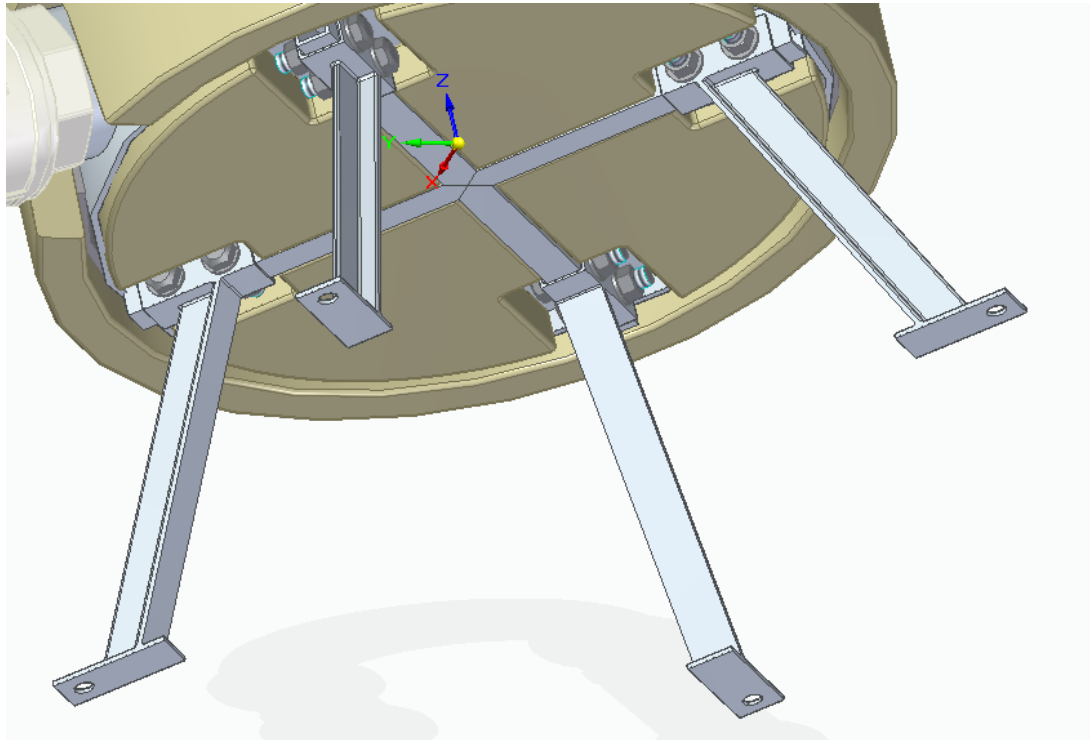
Výsledný destilát můžeme jímát rovnou z chladiče, nebo za chladič umístit epruvetu (Obr. 34), která nám umožní kontrolovat objem alkoholu v našem konečném produktu.



Obr. 34.: Umístění epruvety

3.4 Uložení destilačního zařízení

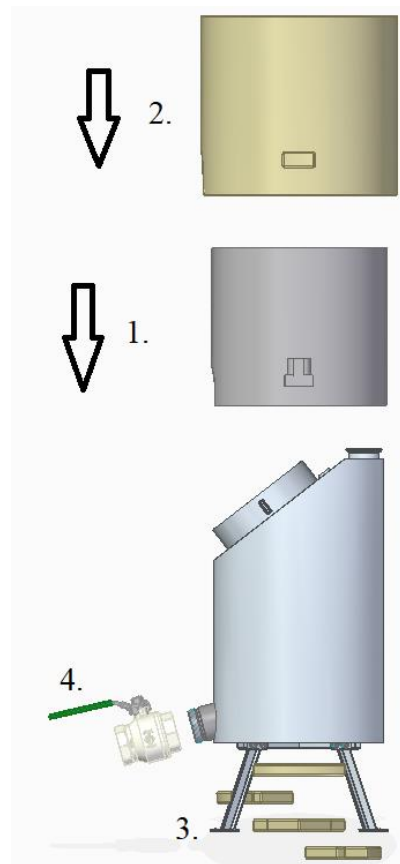
V mém návrhu jsem zvolil uložení na nožičkách (Obr. 35). Nohy jsou vyrobeny z konstrukční oceli 11 500. Na jejich koncích jsou otvory pro šroub M8, které umožňují případné upevnění k rámu nebo k zemi. Minimálně bylo možné použít 3 nožičky. Ale trojnožka by byla málo stabilní, protože těžiště zařízení není v ose destilačního kotle. Proto jsem zvolil 4 nohy, které budou upevněny šrouby velikosti M8 k předem připravenému rámu. Ten bude přivařen zesponu destilačního kotle. Rám je navržen z nerezového dutého profilu, protože svařování dvou různých materiálů by se neobešlo bez komplikací a zbytečných složitostí. Nohy jsem zvolil šikmé, protože se tím opět zvýší stabilita a budou méně překážet při vypouštění kotle do externí nádrže než nohy přímé. Délku nohou si může každý uživatel zvolit dle svého uvážení. Zařízení je ale možné použít i bez nohou a posadit jej na přivařené profily. Je však nutné dbát na tepelnou vodivost nerezové oceli a předejít poničení či spálení použité podložky, na kterou jsme kotel postavili.



Obr. 35.: Uložení destilačního zařízení

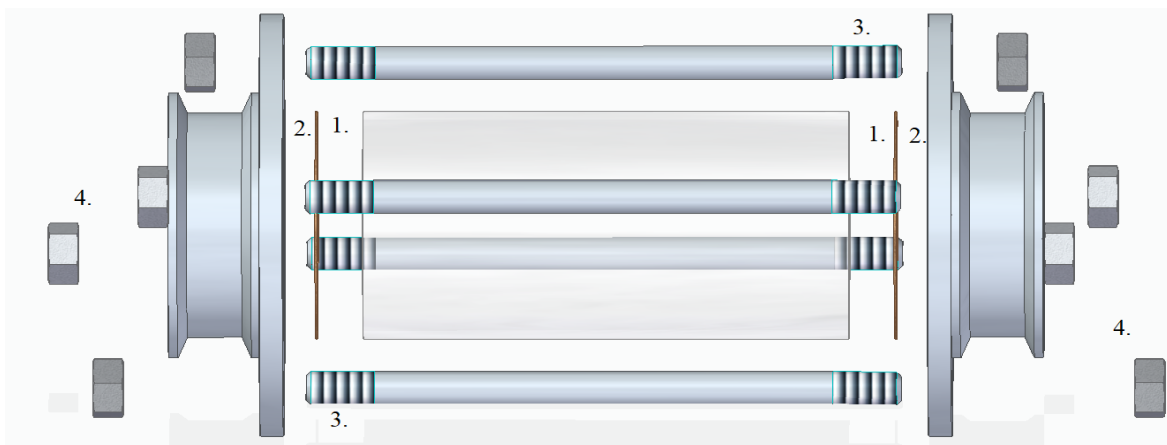
3.5 Sestavení a rozložení

Pro správné fungování, čištění nebo výměnu dílů je důležité destilační zařízení správně a bezpečně rozebrat nebo sestavit. Celá konstrukce je přizpůsobená tak, aby byla jednoduše smontovatelná. Jako první krok je sestavení destilačního kotle, jehož postup je očíslován arabskými číslicemi (Obr. 36). Na kotel nasuneme topný pás. Jeho polohu poznáme podle výřezu na výpustný otvor. Pás upevníme a obalíme jej izolací s předem připravenými výřezy. Pomocí šroubů upevníme nohy a našroubujeme výpustný ventil na předem připravený otvor. Ze spodu upevníme, také předem nařezané, izolační části. Po sestavení destilačního kotle sestavíme víko, které muselo být kvůli svařování rozmontované, a našroubujeme teploměr do předem připraveného otvoru. Dalším úkolem je sestavení jednotlivých součástí vedení lihových par.



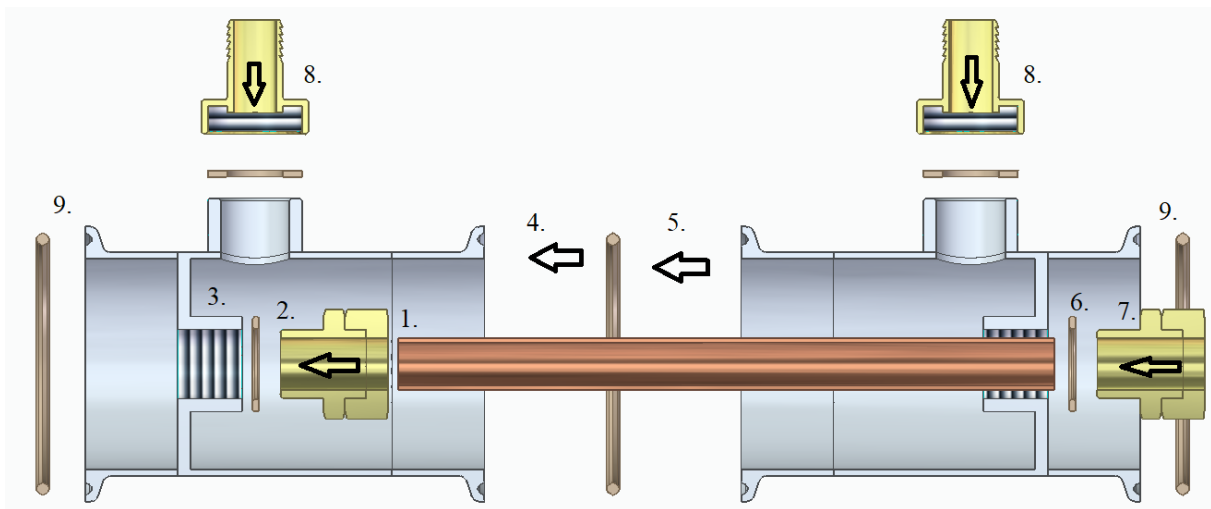
Obr. 36.: Postup sestavení kotle

Nerezové potrubní průhledítko je koupené od společnosti Indcom s.r.o.. Je však nutné jej rozmontovat a mezi průhledné skličko a jednu přírubu umístit nerezové sítko. Nyní do průhledného prostoru lehce nasypeme (vložíme) měděné pružinky a nasadíme druhé nerezové sítko a přírubu. Průhledítko zajistíme stejným způsobem, jakým jsme ho rozmontovali, pomocí závitových tyčí a matic (Obr. 37).



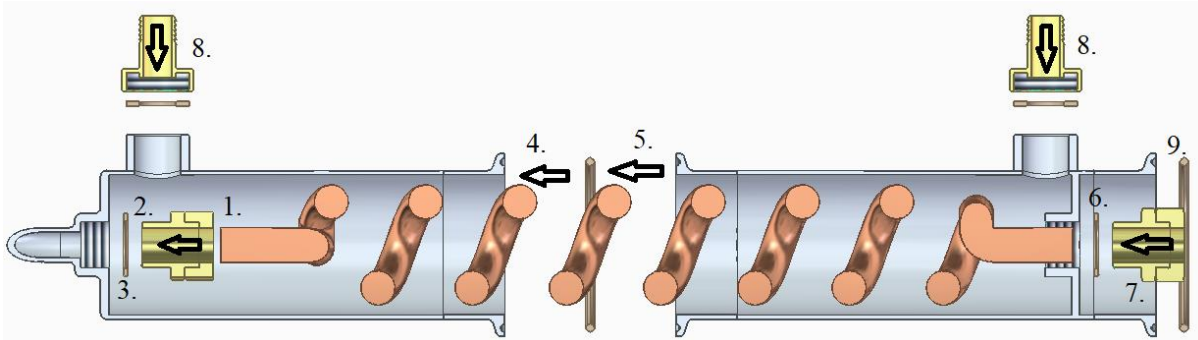
Obr. 37.: Postup sestavení měděného filtru

Postup sestavení deflegmátoru je opět znázorněn a popsán arabskými číslicemi (Obr. 38). Prvním úkonem je upevnění svěrného mosazného přechodu na měděnou trubku z jedné strany a nasazení těsnění. Mosazný přechod musí být nasunut až na označenou čáru po obvodu. Následně našroubujeme svěrný přechod s měděnou trubkou do jedné části armatury deflegmátoru. Do drážky CLAMP příruby vložíme těsnění a z druhé strany nasuneme druhou část armatury. Přechod obou částí armatur je vyroben z přírub, které se k sobě stáhnou normalizovanou CLAMP objímkou. Z druhé části armatury vyčnívá trubka, na kterou nasadíme těsnění a následně svěrný spoj, který ale nejdříve zašroubujeme až na doraz do závitu v armatuře. Až v poslední řadě stáhneme svěrný spoj na měděné trubce. Tento postup je nutno dodržet, abychom zajistily správné utěsnění. Na přívod a odvod chladicí vody upevníme těsnění a mosazné připojení hadice.



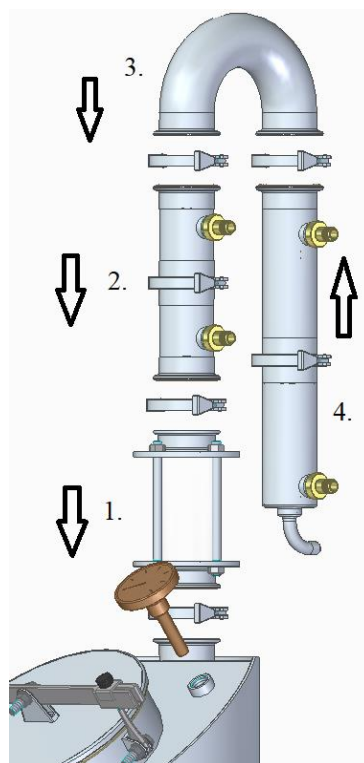
Obr. 38.: Postup sestavení deflegmátoru

Při sestavování chladiče dodržujeme stejný postup jako u deflegmátoru (Obr. 39). Místo měděné trubky použijeme spirálu a jiné části armatur. U chladiče nejsou armatury stejné, ale rozdělují se na horní a dolní.



Obr. 39.: Postup sestavení chladiče

Jednotlivé díly vedení jsou složeny, můžeme je začít umisťovat na destilační kotel. Pro správnou funkci zařízení je nutné díly nasazovat ve správném pořadí (Obr. 40). Nesmíme zapomenout mezi každý spoj umístit těsnění a upevnit ho pomocí CLAMP objímky. Jako první na připravenou CLAMP přírubu nasadíme složený měděný filtr. Na filtr umístíme deflegmátor, po němž bude následovat koleno (180°). Za koleno se připojí sestavený chladič. V poslední řadě se na vývod z chladiče našroubuje koupená epruveta, do které vložíme plovoucí alkoholmetr a přiklopíme ochranným sklíčkem. Příváděcí hadici (modrou), spojovací (zelenou) a odváděcí (červenou) připojíme na chladič a deflegmátor, tak jak je znázorněno na obrázku (Obr. 41).



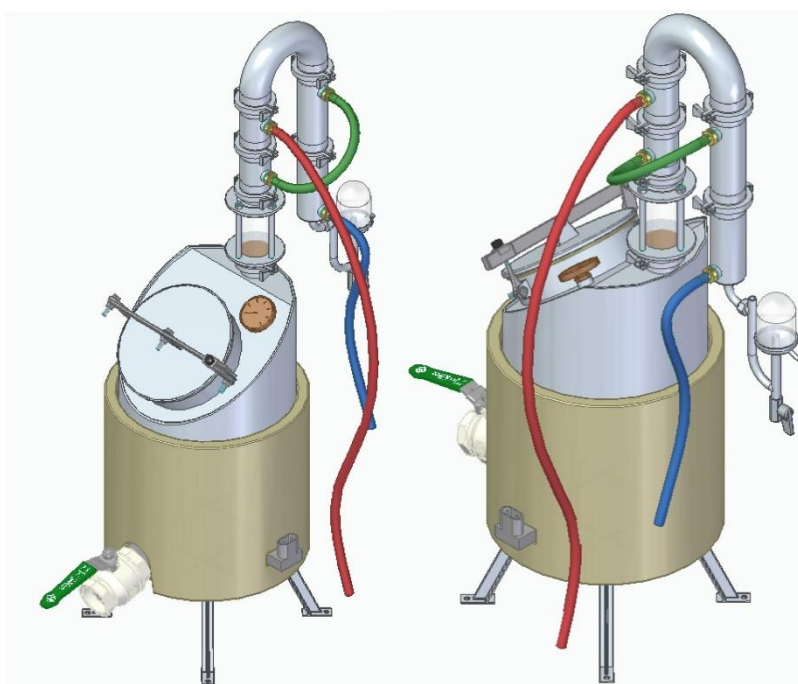
Obr. 40.: Postup sestavení vedení lihových par

3.6 Finanční srovnání

Nejnižší cena destilačních zařízení pro domácí použití, která jsou dostupná na českém trhu, je méně než 5000,- Kč. Takto levná zařízení jsou z pohledu funkčnosti málo spolehlivá, jelikož obsahují pouze základní části nezbytné pro destilaci a nemají ohřev kotle. Jedná se pouze o „hrnce“ určené k ohřívání např. na sporáku. Cena lépe vybavených zařízení, byť složených pouze ze základní výbavy a ohřevu, přesahuje částku 50 000,- Kč. Zařízení, která se pohybují nad hranicí 50 000,- Kč, mají většinou zabudovaný filtr nebo deflegmátor. Jejich cena se také odvíjí od velikosti objemu vsádky. V hodnotě kolem 100 000,- Kč se pohybují destilátory s rektifikační kolonou, které jsou však určeny pro větší objemy, pohybující se kolem 100 litrů.

Díky velkému množství sériově vyráběných dílů na našem destilačním zařízení ušetříme. Výroba dalších dílů z normalizovaných polotovarů bude nákladnější. Nařezání všech koupených polotovarů a vysoustružení závitů nebude tak finančně náročné, jako svařování pomocí metody TIG, moření a pasivování svarů. Velmi podstatnou část celkové ceny pak bude tvořit topný pás, jehož částku odhaduji na více než 10 000,- Kč. Pořízení topného pásu je nákladné, jelikož se nevyrábí sériově, ale je potřeba jej vyrobit na zakázku. Dalším důvodem nárůstu celkové ceny je regulace topného pásu, bez které není možné pás použít.

Odhaduji, z důvodu nákladné metody svařování, nákladů na pořízení topného pásu a jeho regulaci, že cena našeho zařízení pravděpodobně přesáhne 50 000,- Kč.



Obr. 41.: 3D model destilačního zařízení

Závěr

Tématem bakalářské práce byl návrh destilačního zařízení na výrobu ovocné pálenky, které bude použito v domácím prostředí. Celá práce slouží jako vysvětlení funkce a návrh domácího zařízení pro výrobu vysokoprocentního alkoholu.

V teoretické části je vysvětlený pojem destilace, její princip a druhy používané k výrobě alkoholu. Dále je věnována pozornost i historii destilace a použití alkoholu v různých koutech světa a nynější legislativní situaci v České republice.

Hlavním důvodem teoretické části je popis součástí, které musí nebo mohou být použity na domácím destilačním zařízení.

Zmíněna je i známá dvojice alkoholů, hrajících důležitou roli (ethanol a methanol) a popis průběhu správné domácí destilace alkoholu, který je potřeba znát k sestrojení účinného zařízení.

Hlavním cílem práce je nejen navrhnout účinné a ekonomické destilační zařízení, ale rovněž přiblížit jeho účel a fungování. Vše jsem provedl na základě informací a vybraných používaných komponent uvedených v teoretické části.

Praktická část bakalářské práce slouží jako návod, jak sestrojít domácí destilační aparát tak, aby byl co nejúčinnější. Pro zvýšení účinnosti bylo potřeba optimalizovat stávající druhy destilačních kotlů a zvolit inovativní způsob jejich ohřívání. Funkčnost všech součástí, jejichž význam je zcela zásadní, je propočítána. Zařízení sestává i z částí a komponent důležitých k zamezení tvorbě škodlivých látek. Každá část je nejen snadno odmontovatelná, ale lze ji jednoduše rozložit na jednotlivé díly. Tato výhoda umožňuje jednoduché a důkladné vyčištění nebo náhradu opotřebovaných dílů.

Poslední informací k navrženému destilačnímu zařízení je jeho finanční zařazení mezi podobné produkty na trhu. Zařazení jsem provedl jen pouhým odhadem na základě předpokládané finanční náročnosti na nákup a výrobu dílů. Přesnou částku jsem nezvládl určit, protože například společnost Hotset s.r.o. neuvádí na internetových stránkách cenu topného pásu, protože je vyráběný na míru a cena se proto může velmi lišit.

Celý návrh je zpracován ve formě 3D modelu, k němuž jsou vytvořeny některé důležité výkresy, přiložené k mé bakalářské práci ve formě příloh.

Seznam internetových zdrojů

- [2] Destilace. O projektu [online]. Dostupné z:
<https://lat.zshk.cz/vyuka/destilace.aspx>
- [3] Historie pálení. O nás [online]. Dostupné z:
<http://www.palenceuzvonu.cz/index.php/54-vse-okolo/65-historie-paleni>
- [4] Historie destilace alkoholu – za její vynález poděkujme Arabům |
Alkoholium.cz. Alkoholium.cz [online]. Copyright © 2021. [cit.
19.10.2021]. Dostupné z: <https://www.alkoholium.cz/historie-destilace-alkoholu-za-jeji-vynalez-podekujme-arabum/>
- [5] Ovocné pálenky - Destilace ovocných kvasů. Původní technologie výroby
likérů, lihovin, piva, vína [online]. Dostupné z: <http://www.tech-info.cz/palenska-destilace.html>
- [6] Pedagogická fakulta MU [online]. Copyright © [cit. 01.11.2021]. Dostupné
z: https://www.ped.muni.cz/wchem/sm/hc/labtech-old/soubory/operace/separacni_metody/destilace.pdf
- [7] Postup destilace. Slovácké pálenice - Destilační zařízení, Pěstitelské
pálenice, Domácí palírna [online]. Copyright © Copyright KovoSPIN. All
Rights Reserved. [cit. 01.11.2021]. Dostupné z: <https://slovacke-palence.cz/jak-destilovat#prettyPhoto>
- [8] DESTILAČNÍ ZAŘÍZENÍ | PÁLENICE PÍSTOVICE. PÁLENICE
PÍSTOVICE | www.palence-pistovice.cz [online]. Dostupné
z: <https://www.palence-pistovice.cz/technologie/>
- [9] Esence do alkoholu, turbokvasnice, filtrace, soudky, . Esence do alkoholu,
turbokvasnice, filtrace, soudky, [online]. Dostupné
z: <https://www.alkoholesence.cz/alkoesence-cz/12-PROCES-DESTILACE-ALKOHOLU/44-Proc-medene-destilatory>

- [10] 95L JEDNOSTUPŇOVÝ DESTILAČNÍ ZAŘÍZENÍ S REKTIFIKAČNÍ
... Destilační přístroje | Domácí pálenice [online]. Copyright © 2021 [cit.
01.11.2021]. Dostupné
z: https://medenepalenice.cz/index.php?route=product/product&product_id=229
- [11] Návod k obsluze. Jednoplášťový destilační kotel - PDF Free
Download. Představujeme Vám pohodlné a bezplatné nástroje pro
publikování a sdílení informací. [online]. Copyright © DocPlayer.cz [cit.
01.11.2021]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/111814234-Navod-k-obsluze-jednoplastovy-destilacni-kotel.html>
- [12] Destilační přístroj na dřevo 60l bez míchadla výklopný model - Domácí
palírnapalírna | destilační přístroje. Palírna | domácí palírna | pálenice
|domacipalirna.cz [online]. Dostupné
z: <http://www.domacipalirna.cz/destilace/destilacni-sosustava-na-drevo-60l-bez-michadla-vyklopny-model/>
- [13] Destilační přístroj Esence 35 l destilační kolona - Papírnická. Palírnička.cz -
Internetový obchod s měděnými destilačními zařízeními [online]. Copyright
© [cit. 01.11.2021]. Dostupné z: <https://www.palirnicka.cz/domaci-destilacni-pristroje/destilacni-pristroj-esence-35-l---destilacni-kolona/>
- [14] Kondenzační deflegmátor PH-27 cm -
Bilimarket.cz. BILIMARKET.CZ [online]. Dostupné
z: <https://www.bilimarket.cz/destilacni-soupravy/kondenzacni-deflegmator-ph-27-cm/>
- [15] Chladiče | Kovoděl Janča. Pěstitelské pálenice, Destilační zařízení, Kotle |
Kovoděl Janča [online]. Copyright © 2007 [cit. 01.11.2021]. Dostupné
z: <https://www.kovodel.cz/prislusenstvi-k-destilaci/chladice/>
- [16] Žebrované trubky Žaba s.r.o. - výroba žebrovaných trubek. Žebrované
trubky Žaba s.r.o. - výroba žebrovaných trubek [online]. Copyright © 2021
Žebrované trubky Žaba s.r.o., [cit. 01.11.2021]. Dostupné
z: <http://www.zebrovanetrubky.cz/index.php?nid=10865&lid=cs&oid=2563>



- [17] Hotset ČR s.r.o | Topné elementy, pyrometry a termokamery. Hotset ČR s.r.o | Topné elementy, pyrometry a termokamery [online]. Copyright © 2022 Hotset ČR s.r.o [cit. 12.04.2022]. Dostupné z: <https://hotset.cz/>
- [18] Úvodní stránka | IndCom.cz. Úvodní stránka | IndCom.cz [online]. Copyright © Copyright 2022 IndCom.cz [cit. 16.04.2022]. Dostupné z: <https://www.indcom.cz/>
- [19] Měděný filtr prismatický. Domácí destilační přístroje Destilátory Palírny Kolony - destilacni-pristroje.cz [online]. Dostupné z: <https://destilacni-pristroje.cz/destilacni-pristroje/589-medeny-filtr-prismaticky-0000000000589.html>
- [20] Svařování nerezů - GIOMETAL. Vzduchotechnika Brno, Výroba vzduchotechniky Brno - GIOMETAL [online]. Copyright © Copyright 2022 GIOMETAL s.r.o. [cit. 02.05.2022]. Dostupné z: <https://www.giometal.cz/svarovani-nerezu/>

Seznam použité literatury

- [21] MALLE, Bettina a Helge SCHMICKEL. Domácí výroba lihovin. Vydání třetí, revidované. Přeložil Mojmír RYCHTERA. Praha: Beta, 2020. ISBN 978-80-7593-215-0
- [22] HASAL, Pavel, Igor SCHREIBER a Dalimil ŠNITA. Chemické inženýrství I. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2007. ISBN 978-80-7080-002-7.
- [23] STICHLMAIR Johann, KLEIN Harald a REHFELDT Sebastian. Distillation, principles and practice, second edition., nakladatelství John Wilea And Sons Ltd, 2021. ISBN 978-11-1941-466-7.
- [24] ROHSENOW, Waren M. a Young Ives P. CHO. Handbook of Heat Transfer. 3rd ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1998. ISBN 0-07-053555-8.

Seznam obrázků

Obr. 1.: Prostá destilace [6].....	8
Obr. 2.: Frakční destilace [6]	9
Obr. 3.: Jednoduché destilační zařízení pro domácí použití na tuhá paliva [11]	13
Obr. 4.: Destilační zařízení s vodní lázní [9]	14
Obr. 5.: Výklopný destilační kotel [12]	15
Obr. 6.: Otevírající dvířka s průhledítkem [10]	15
Obr. 7.: Destilační klobouk s teploměrem [13].....	16
Obr. 8.: Destilační kotel s měděným kloboukem a kulovitým deflegmátorem [14]....	17
Obr. 9.: Rektifikační kolona [10].....	18
Obr. 10.: Destilační zařízení s nakloněnou přestupní trubicou pro reflux [7]	19
Obr. 11.: Spirálový chladič [15]	19
Obr. 12.: Chladicí těleso talířovitého chladiče [16].....	19
Obr. 13.: Měděná epruveta s ponorným teploměrem [15].....	20
Obr. 14.: Schéma 1. varianty	23
Obr. 15.: Schéma 2. varianty	24
Obr. 16.: Schéma 3. varianty	24
Obr. 17.: Schéma 4. varianty	25
Obr. 18.: Keramický topný pás [17]	28
Obr. 19.: Slídový topný pás [17].....	28
Obr. 20.: Teplotní průběh kotle.....	31
Obr. 21.: Výpustný ventil.....	32
Obr. 22.: Návrhy provedení hlavy kotle	32
Obr. 23.: Víko bez průzoru [18].....	33
Obr. 24.: Víko s průzorem [18].....	33
Obr. 25.: Hlava destilačního kotle na mém návrhu	33
Obr. 26.: Spojení CLAMP DIN 32676 DN 50 [18].....	34
Obr. 28.: Měděné pružinky [19]	35
Obr. 27.: Potrubní průhledítko [18]	35
Obr. 29.: Stékání po stěně	36
Obr. 30.: Konstrukce deflegmátoru	37
Obr. 31.: Průběh teplot v chladiči	38
Obr. 32.: Schéma chladiče	39



Obr. 33.: Konstrukce chladiče	45
Obr. 34.: Umístění epruvety.....	46
Obr. 35.: Uložení destilačního zařízení.....	47
Obr. 36.: Postup sestavení kotle.....	48
Obr. 37.: Postup sestavení měděného filtru	48
Obr. 38.: Postup sestavení deflegmátoru	49
Obr. 39.: Postup sestavení chladiče	50
Obr. 40.: Postup sestavení vedení lihových par	50
Obr. 41.: 3D model destilačního zařízení	51

Seznam tabulek

Tab. 1.: Teploty varu sloučenin zastoupené v ovocném kvasu [8]	11
Tab. 2.: Hodnoty vstupních veličin pro návrh	22
Tab. 3.: Základní parametry topných pásů [17]	28
Tab. 4.: Normalizované šířky topných pásů [mm] [17]	29

Seznam příloh

- Příloha č.1.: Sestavný výkres destilačního zařízení – BP-2021/2022-S
- Příloha č.2.: Kusovník sestaveného výkresu destilačního zařízení
- Příloha č.3.: Výkres svařence destilačního kotle – BP-2021/2022-01
- Příloha č.4.: Kusovník výkresu svařence destilačního kotle
- Příloha č.5.: Výrobní výkres výpustného otvoru – BP-2021/2022-01-05
- Příloha č.6.: Výrobní výkres části podstavce – BP-2021/2022-01-06