

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING

# CIP SANITAČNÍ STANICE A JEJÍ INTEGRACE DO STUDENÉHO BLOKU PIVOVARU

CIP station and its integration into the brewery cold block

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

*AUTOR PRÁCE*  
AUTHOR

*Bc. JAN VENCLŮ*

*VEDOUCÍ PRÁCE*  
SUPERVISOR

*Ing. BOHUSLAV KILKOVSKÝ, Ph.D.*

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2010/11

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jan Venců

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Procesní inženýrství (3909T003)**

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 diplomové práce:

### **CIP sanitační stanice a její integrace do studeného bloku pivovaru**

v anglickém jazyce:

### **CIP station and its integration into the brewery cold block**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Skloubení požadavků potravinářské výroby se strojními technologiemi sanitací. Výpočet tepelného výměníku. Vypracování potrubního a instrumentálního schéma CIP zařízení a studeného bloku za použití programu Auto CAD. Návrh kompletních sanitačních postupů pro jednotlivé výrobní procesy a to i s ohledem na nákladovost výroby.

Cíle diplomové práce:

1. Popsat procesy sanitací pro všechny výrobní procesy ve studeném bloku pivovaru
2. Návrh víceokružové CIP stanice pro studený blok pivovaru o velikosti ročního výstavu ca. 1 mil. hl
3. Posouzení vhodných tepelných výměníků, diskuze optimálního řešení, včetně výpočtů potřebných pro konstrukci zvoleného výměníku
4. EKonomická bilance sanitací, výpočet měrných spotřeb vody, chemikálií a energií
5. Sestavení potrubního a instrumentálního bloku pivovaru a návrh sanitační jednotlivých výrobních procesů (hranice od chladiče mladiny po filtraci)

Seznam odborné literatury:

1. Claus Hielscher, Vortrag anlässlich der 45.  
DGF-Vortragstagung in Münster am 11. September 1989  
(prospekt firmy Otto Tuchenhagen GmbH & KG, Büchen, SRN)
2. RNDr. Karel Kosař, CSc., Ing. Stanislav Procházka,  
Technologie výroby sladu a piva, Výzkumný ústav  
pivovarský a sladařský, a.s., ISBN 80-902658-6-3 (2000)
3. Kunze, Wolfgang, Technologie Brauer und Mälzer, VLB  
Berlin, ISBN 3-921 6-0-378-4 (1998)
4. Archiv GEA Process Engineering s.r.o.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Bohuslav Kilkovský, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne



prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.  
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan

## **ABSTRAKT**

Tato práce se v teoretické části zabývá popisem procesů výroby piva ve studeném bloku, popisem sanitací a teorií CIP sanitační stanice.

Praktická část je zaměřena na konkrétní návrh CIP sanitační stanice, výběr vhodného výměníku tepla, jeho návrh a ekonomické zhodnocení navržené CIP stanice.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

CIP sanitační stanice, sanitace, tepelný výměník, výroba piva.

## **ABSTRACT**

The main subject of this master's thesis is the description of the processes of production of beer in a cold block, describing the theory of sanitation and theory of CIP cleaning station.

The second part of this work is practical proposal of CIP cleaning station, selecting an appropriate heat exchanger, its design and economic evaluation of the proposed CIP station.

## **KEYWORDS**

CIP cleaning station, sanitation, heat exchanger, beer brewing.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

VENCLŮ, J. *CIP sanitační stanice a její integrace do studeného bloku pivovaru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 68 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Bohuslav Kilkovský, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci *CIP sanitální stanice a její integrace do studeného bloku pivovaru* vypracoval sám pod vedením Ing. Bohuslava Kilkovského, Ph.D. a všechny použité odborné a literární zdroje uvedl do seznamu použité literatury.

V Brně 25. května 2011

---

vlastnoruční podpis autora

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Bohuslavu Kilkovskému, Ph.D. a Ing. Rostislavu Geisselreiterovi z firmy GEA Process Engineering s.r.o. za vedení mé práce, seznámení se s problémem sanitací a poskytnutí potřebné odborné literatury.

# OBSAH

Obsah .....	6
Seznam použitých symbolů .....	8
1 ÚVOD .....	10
2 POPIS PROCESŮ VÝROBY PIVA A JEJICH SANITACÍ VE STUDENÉM BLOKU PIVOVARU .....	11
2.1 Tradiční postup výroby piva .....	11
2.2 Moderní postup výroby piva .....	13
2.3 Kvasné tanky .....	16
2.3.1 Kvašení piva v kádích .....	16
2.3.2 Kvašení piva v cylindrokónických tancích .....	16
2.3.3 Sanitace CKT .....	17
2.4 Filtrace piva .....	18
2.4.1 Materiály a typy filtrů .....	18
2.4.2 Sanitace filtrů .....	19
2.5 Propagace (výroba kvasnic) .....	20
2.5.1 Laboratorní propagace .....	20
2.5.2 Provozní propagace .....	20
2.5.3 Sanitace propagační stanice .....	21
2.6 Ležácké tanky .....	22
2.6.1 Popis ležáckých tanků .....	22
2.6.2 Sanitace ležáckých tanků .....	22
2.7 Přetlačné tanky .....	24
2.7.1 Popis přetlačných tanků .....	24
2.7.2 Sanitace přetlačných tanků .....	24
2.8 Stáčení .....	25
2.8.1 Stáčení piva do plechovek .....	25
2.8.2 Stáčení piva do sudů .....	26
2.8.3 Sanitace stáčecího zařízení a přívodního technologického potrubí .....	27
3 VÍCEOKRUHOVÁ CIP STANICE .....	28
3.1 Sanitace v pivovarnictví .....	28
3.1.1 Faktory ovlivňující sanitaci .....	28
3.1.2 Čistící a dezinfekční prostředky .....	30
3.2 Hygienické předpisy pro sanitaci v pivovarnictví .....	32
3.3 Odpadní vody .....	33
3.4 Obecný popis CIP stanice .....	33
3.5 Programy CIP stanice .....	34



4	VLASTNÍ NÁVRH CIP STANICE .....	36
4.1	Zadávací parametry CIP stanice .....	36
4.2	Návrh řešení .....	36
4.3	Popis funkce navržené CIP stanice .....	36
4.3.1	Návrh nádob médií .....	37
4.3.2	Další zařízení okruhu CIP stanice .....	38
5	VÝBĚR A NÁVRH VHODNÉHO TEPELNÉHO VÝMĚNÍKU TEPLA .....	46
5.1	Popis a výběr vhodných výměníků tepla .....	46
5.1.1	Trubkový výměník tepla se segmentovým přepážkovým systémem .....	46
5.1.2	Deskový výměník tepla .....	47
5.1.3	Výběr vhodného typu výměníku .....	49
5.2	Návrh tepelného výměníku .....	49
5.2.1	Předběžný návrh – ruční výpočet .....	50
5.2.2	Výpočet pomocí HTRI (design case) .....	53
6	EKONOMICKÁ BILANCE SANITACÍ .....	55
6.1	Vstupní data .....	55
6.2	Výpočet spotřeby vody, sanitačních médií a elektrické energie za 1 měsíc .....	57
6.2.1	Spotřeba vody, el. energie a dezinfekce pro 1. okruh.....	57
6.2.2	Spotřeba vody, el. energie a dezinfekce pro 2. okruh.....	58
6.2.3	Spotřeba všech médií za 1 měsíc.....	59
6.3	Celková cena vody, sanitačních prostředků a elektrické energie.....	60
7	ZÁVĚR .....	63
8	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	64
9	PŘÍLOHY .....	65

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

ZNAČKA	VÝZNAM	JEDNOTKA
A	Teplosměnná plocha	[m <sup>2</sup> ]
C	Cena	[Kč]
c	Koncentrace	[hm.%]
c <sub>p</sub>	Měrná tepelná kapacita	[J/(kg.K)]
d	Průměr	[m]
dTln	Střední logaritmický teplotní spád	[°C]
f	Koeficient	[-]
F	Korekční faktor	[-]
i	Měrná entalpie	[kJ/kg]
k	Součinitel prostupu tepla	[W/(m <sup>2</sup> .K)]
L	Délka	[m]
m	Hmotnostní průtok	[kg/hod]
n	Počet trubek	[-]
Nu	Nusseltovo číslo	[-]
P	Elektrodová konstanta	[cm <sup>-1</sup> ]
p	Tlak	[MPa, bar]
Pr	Prandtlovo číslo	[-]
Q	Tepelný výkon	[W]
R	Odpor	[Ω]
Re	Reynoldsovo číslo	[-]
S	Průtočný průřez	[m <sup>2</sup> ]
t	Čas	[min]
T	Teplota	[°C]
u	Rychlost	[m/s]
V	Objemový průtok	[m <sup>3</sup> /hod]
z	Specifická vodivost	[S/cm]
α	Součinitel přestupu tepla	[W/(m <sup>2</sup> .K)]
η	Dynamická viskozita	[Pa/s]
λ	Tepelná vodivost	[W/(m.K)]
ρ	Hustota	[kg/m <sup>3</sup> ]
φ	Účinnost	[-]

### Dolní indexy:

ZNAČKA	VÝZNAM
1	Trubkový prostor, sanitační médium
2	Mezitrubkový prostor, pára
D	Dezinfekce
K	Kyselina
L	Louh
max	Maximální
N	Nádoba
p	Pára

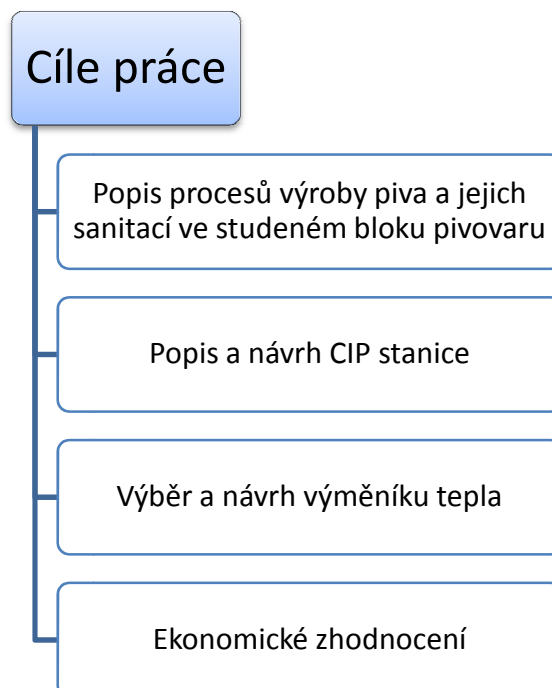
P	Potrubí
skut	Skutečná
str	Střední
T	Tanky
T	Trubka
V	Voda
v	Výplach
W	Elektrická energie

# 1 ÚVOD

Výroba piva má na našem území dlouholetou tradici. Již od šestého století bylo vaření piva zcela běžnou domácí prací. V současné době se pivo v naší republice vaří ve více než stovce pivovarů a minipivovarů a to tradiční nebo zrychlenou moderní technologií. V současné době, kdy je nejen v potravinářské výrobě kladen důraz především na nezávadnost a trvanlivost výrobků, je nedílnou součástí výrobního procesu sanitace.

Sanitace zahrnuje proces čištění a dezinfekce výrobního technologického zařízení. Ještě před několika lety bylo čištění prováděno ručně, což samozřejmě přinášelo celou řadu nevýhod a to především nemožnost vyčistit veškeré plochy, které přichází do styku s výrobkem. V dnešní době je sanitace prováděna čistícími stanicemi, tzv. CIP stanicemi. Zkratka CIP pochází z anglického Cleaning In Place. Sanitování probíhá automatizovaně pomocí zadaných algoritmů a tudíž je vyloučeno ovlivnění čištění obsluhou. Nespornými výhodami tohoto čištění jsou úspory čistících prostředků, dodržení procesu sanitace, expozičních dob, parametrů sanitace a úspory pracovníků. Veškerá technologická potrubí pivovaru jsou řešena tak, aby bylo možno provádět cirkulační sanitaci. Podstatou CIP stanice je soustava nádob s čistícími roztoky. Čistící roztoky cirkulují v uzavřených okruzích technologického zařízení a po ukončení procesu se zpravidla vracejí do nádob CIP stanice. Stanici tvoří zpravidla jeden až šest zásobníků, tlačné čerpadlo, vratné čerpadlo, tepelný výměník, armatury zásobníků a nezbytná měřicí a regulační technika. Jednotlivé uzavřené nádoby jsou vybaveny mycími hlavicemi pro nízkotlaké mytí.

Cílem této práce je popis procesů výroby piva ve studeném bloku pivovaru, teoretický popis CIP stanice, praktický návrh CIP stanice, výběr a návrh výměníku tepla a ekonomické zhodnocení sanitací (viz obr. 1.1).



**Obr. 1.1** Cíle diplomové práce

## **2 POPIS PROCESŮ VÝROBY PIVA A JEJICH SANITACÍ VE STUDENÉM BLOKU PIVOVARU**

Postup výroby piva se samozřejmě v každém pivovaru liší. Pivo je možno vařit tradičně (viz obr. 2.1) nebo jednou z moderních urychlených technologií (viz obr. 2.2). Základními surovinami jsou však u všech druhů vaření voda, slad a chmel. Způsob výroby piva ve vybraných pivovarech je uveden v tab. 2.1.

### **2.1 Tradiční postup výroby piva**

Tradiční postup výroby piva se skládá z řady kroků resp. procesů, mezi které patří:

#### **Skladování sladu a šrotování**

Slad je skladován v suché větrané a nepromrzající místnosti. Šrotování je většinou realizováno na dvouválcovém šrotovníku. Semletý sladový šrot na várku je dopravován do varny v pytlích na vozíku a vysypáván rovnou do rmutomladinové pánve s připravenou odplyněnou vodou, zahřátou na požadovanou teplotu.

#### **Vystírání**

Sladový šrot se ve vystírací kádi smíchá s vodou, tím vznikne rmut.

#### **Rmutování**

Rmut se ve rmutovací pánvi ohřívá na různé teploty, tím se dosáhne rozštěpení složitých cukrů na cukry jednoduché. Štěpí se také bílkoviny, důležité pro pěnivost piva.

#### **Scezování**

Ve scezovací kádi se směs scedí, získá se sladina a jako odpad mláto.

#### **Chmelovar**

Chmelovar je proces, kdy se sladina uvede do varu (na cca 60 minut), v této době se do sladiny přidává chmel. Ten se do sladiny může přidávat jednou až třikrát. Tímto krokem vzniká mladina.

#### **Chlazení mladiny (studený blok)**

Mladina se před přidáním kvasnic musí zchladit. Uvařená mladina je čerpána na vířivou kád', kde je následně zchlazena na požadovanou teplotu.

#### **Hlavní kvašení (studený blok)**

Do zchlazené mladiny jsou přidány pivovarské kvasinky a kvašení probíhá ve spilkách nebo cylindrokónických tancích. Během kvašení přemění kvasinky cukry na alkohol, oxid uhličitý a další produkty. Kvašením v CKT se celý proces zintenzivní a doba kvašení se tím může výrazně zkrátit. Kvašení probíhá při teplotě do 10 °C.

## Dokvašování (studený blok)

Pivo je dopraveno do ležáčkových tanků, kde pod tlakem zraje při teplotě 1 – 5 °C. Při tomto procesu pivo dozrává, dokvašují zbytkové cukry, dotváří se pěnivost, chuť a říz.

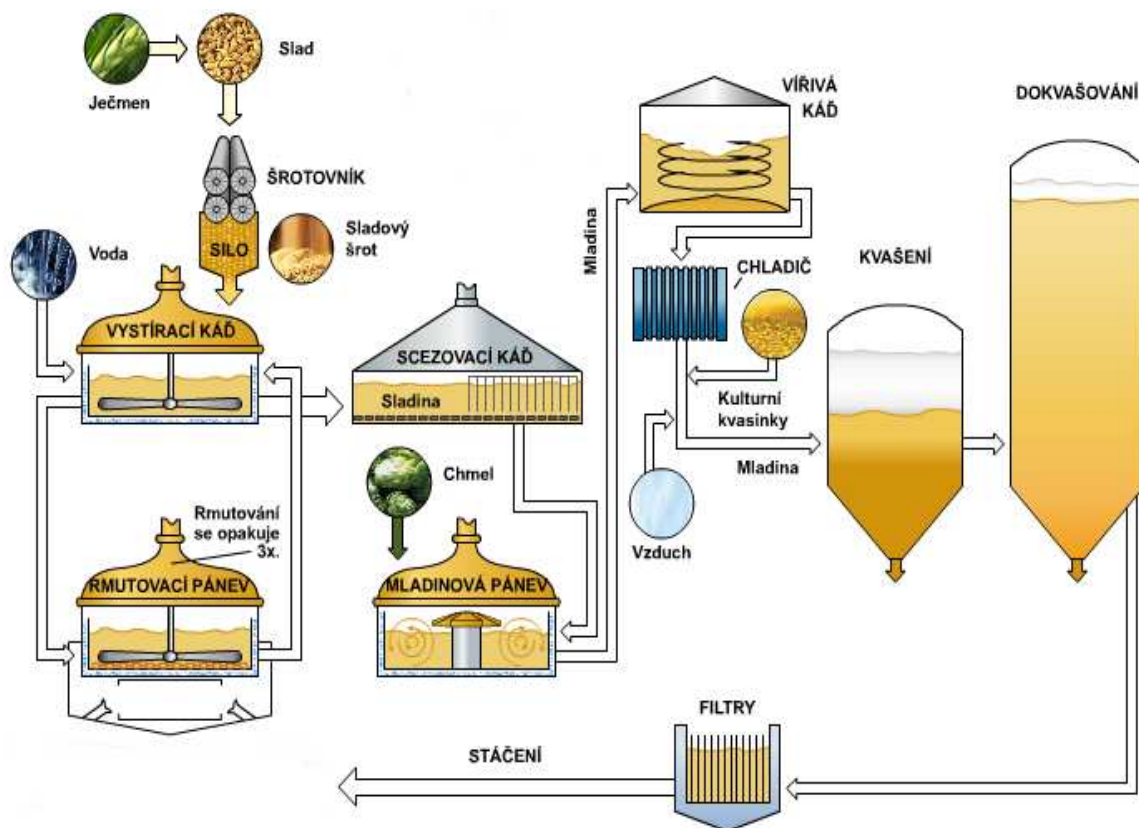
## Filtrace, pasterizace (studený blok)

Filtrace se provádí na křemelinových a deskových filtrech. Pivo se zbaví zbytků kvasnic a získá průzračnost.

Při pasterizaci je pivo zahříváno na teplotu vyšší než 80 °C, tím se zničí veškeré mikroorganismy, čímž získá pivo vyšší trvanlivost.

## Stáčení

V poslední fázi je pivo stáčeno do lahví, plechovek nebo sudů.



Obr. 2.1 Tradiční proces výroby piva [10]

## 2.2 Moderní postup výroby piva

Moderní postup výroby piva se skládá z řady procesů, mezi které patří:

### Šrotování

Na moderní varně se nepoužívá slad suchý, ale slad „kondicionovaný“, což značí slad navlhčený vodou. Při vystírání a rmutování dochází k rychlejší extrakci.

### Výroba mladiny

Výroba mladiny na varně se provádí při moderní výrobě piva de facto stejným způsobem jako při klasické výrobě piva. Novější varny jsou vybaveny intenzifikačními prvky jak rázu technologického, tak rázu technického.

Mezi technologické prvky řadíme především využití tepla, které jinak odchází do atmosféry či se jinak nespotřebává. Patří sem přehřívání vody odcházejícími brýdovými parami. Tato přehřívání voda se využije k předání tepla sladině před mladinovarem. Tím se uspoří energie na ohřev a uvedení do varu na mladinové pánvi. Dále je to zpracování veškerých vod na další přehřívání, které sníží spotřebu energie moderního várečného procesu a urychlí při vhodném vybavení a uspořádání nádob dobu pro výrobu jedné várky. Jedna várka se vaří stejně jako při klasické výrobě, ale využijí se hluché časy, které vznikají na klasické varně. Tímto lze docílit deseti až dvanácti várek za 24 hodin.

Mezi technické prvky patří především dokonalý systém automatizace a řízení výrobního procesu na varně.

### Chlazení mladiny

V moderní výrobě piva se používá jednostupňové chlazení mladiny. Princip spočívá v tom, že se vyrobí ledová pitná voda, touto vodou se zchladí mladina na zákvasnou teplotu, čímž se ohřeje ledová voda na cca 82 - 84 °C. Tato voda se čerpá do speciálního velkoobjemového zásobníku a z tohoto zásobníku ji spotřebovává varna pro svoji výrobu. Oproti klasické varně se vyrobí voda o cca 10 °C teplejší a není potřeba její pozdější dohřev pro varenské účely. Toto chlazení mladiny je energeticky méně náročné a nevyrobí zbytečné množství nadbytečné vody.

### Uskladňování a dávkování kvasnic

Uskladnění kvasnic pro zakvašení je realizováno v uzavřených nádobách pod tlakem CO<sub>2</sub>, čímž se zamezí možné kontaminaci z atmosférického vzduchu a okolí.

Dávkování kvasnic se provádí in-line do potrubí. Při dávkování se měří množství dávkovaných kvasnic na základě průtoku mladiny.

### Vzdušnění mladiny

Při moderní výrobě piva se používá měřené dávkování vzduchu či kyslíku. Množství se dávkuje na základě změření průtoku mladiny a změření množství dávkovaného vzduchu. Za dávkováním se umísťuje statický mísič v hygienickém provedení, který zabezpečí při zvýšené turbulenci rozpuštění kyslíku v sladině.

## **Cylindrokónické tanky**

V cylindrokónických tankách (CKT) se přeměňují sacharidy na alkohol, při tomto procesu se vytváří chuťový charakter piva. Tanky jsou válcové nádoby s kuželovým dnem. Cylindrokónické tanky jsou popsány v kapitole 2.3.2.

## **Sběr protláček**

Při vytlačení z CKT piva odplyněnou vodou vznikají v potrubí směsné zóny piva a vody. Tato směchaná kapalina se zachytává v protláčkových tankách a její zpracování bude popsáno v odstavci dávkování protláček.

## **Dávkování protláček**

Protláčky se dávkuje in-line do potrubí a na výstupu se měří výsledná stupňovitost. Dávkování se provádí a řídí automatickou regulací. Výsledný produkt nevykazuje velké odchylky od požadované stupňovitosti.

## **Filtrace**

Filtrace slouží pro odstranění kalických látek a zbylých kvasných buněk z piva, aby se docílilo čirosti a biologické trvanlivosti. Filtrace bude podrobněji popsána v kapitole 2.4. Používá se intenzifikačních prvků jako např. plně automatické řízení filtrace.

## **Výroba a dávkování odplyněné vody**

Odplyněná voda se v pivovarnictví používá ke dvěma účelům a to na protláčky a pro dávkování do piva při standardizaci. Odplyněná voda se vyrábí několika dostupnými technologiemi jako je např. vytěsnění kyslíku z vody ve vakuu a chemickou reakcí s CO<sub>2</sub>, nebo teplým procesem uvolňování kyslíku (destilací).

Odplyněná voda se do piva dávkuje při standardizaci piva, čímž se docílí podobného efektu jako při dávkování protláček před filtrací. Tento proces se nazývá HGB (high gravity brewing).

## **Karbonizace**

Karbonizace je sycení piva CO<sub>2</sub>.

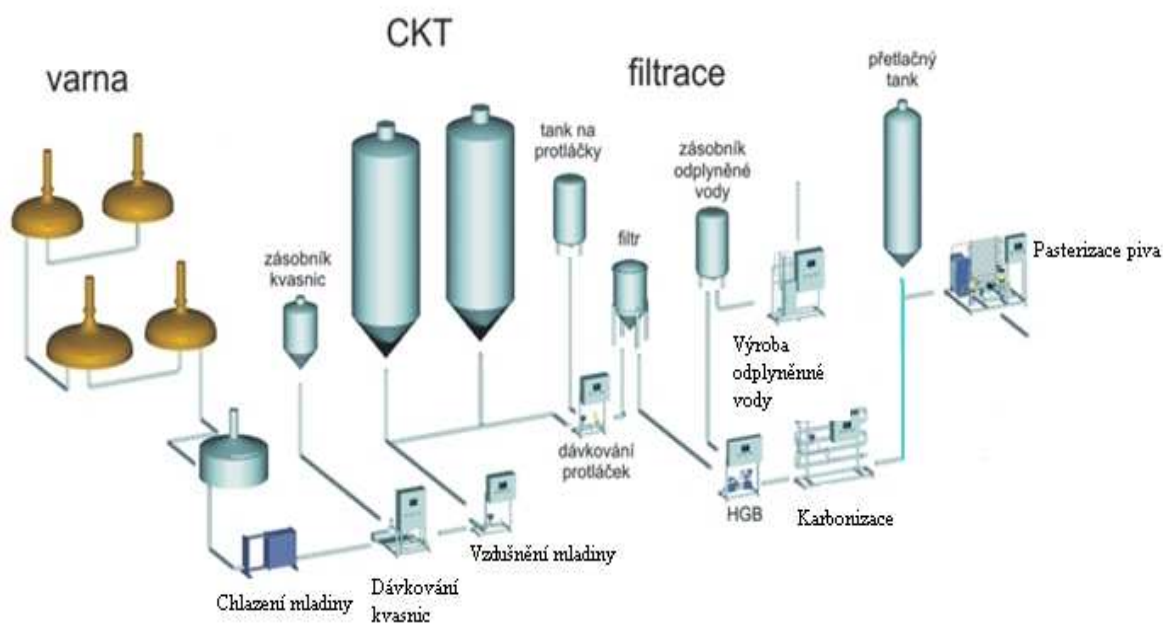
## **Přetlačné tanky**

Přetlačné tanky slouží k uklidnění piva a vytvoření zásoby piva před stáčením, budou podrobněji popsány v kapitole 2.7. Používá se intenzifikačních prvků jako např. plně automatické řízení PT.

## **Pasterizace piva**

Moderní pastery jsou pastery průtokové, zde dochází k ohřevu piva na pasterizační teplotu (cca 74 °C), výdrže na této teplotě a následné zchlazení na teplotu požadovanou stáčecím zařízením. Používá se intenzifikačních prvků jako např. plně automatické řízení pasteru.





Obr. 2.2 Moderní proces výroby piva [9]

Tab. 2.1 Způsob výroby piva ve vybraných pivovarech

PIVOVAR	TRADIČNÍ POSTUP	MODERNÍ POSTUP
Plzeňský Prazdroj, pivovar Prazdroj a.s.		X
Plzeňský Prazdroj, pivovar Velké Popovice a.s.		X
Staropramen a.s.		X
Pivovar Černá Hora a.s.	X	
Pivovar Jihlava	X	X
Pivovar Havlíčkův Brod a.s.	X	
Pivovar Svijany a.s.	X	
Plzeňský Prazdroj, pivovar Nošovice		X
Pivovar Klášter Mnichovo Hradiště	X	
Pivovar Starobrno a.s.		X

## 2.3 Kvasné tanky

Při kvašení se přeměňují sacharidy na alkohol a CO<sub>2</sub>, při tomto procesu se vytváří chuťový charakter piva. Kvašení může probíhat v kádích nebo v cylindrokónických tancích.

### 2.3.1 Kvašení piva v kádích

Kvašení piva probíhá ve spilkách, které musí být dostatečně odvětrávány z důvodu vytvářejícího se oxidu uhličitého. Je zde nutné zabezpečit maximální hygienickou úroveň a udržovat teplotu na hodnotě 5 – 10 °C. Chladí se kádě samotné i celý prostor spilky. Materiály pro výrobu kádí jsou:

- Dřevo – v současné době se již nepoužívá z důvodu problematické sanitace
- Beton s epoxidovým nátěrem – beton je po delší době narušován pivem
- Ocel – je nutné jako povrchovou úpravu použít smaltování
- Hliník – jeho nevýhodou je nižší odolnost proti sanitačním prostředkům
- Nerezavějící ocel – nejvhodnější materiál, ale nejdražší

Hloubka kádě je maximálně 200 cm z důvodu dosažení dobré sedimentace. Její objem dosahuje maximálně denní produkce varny a většinou má čtyřhranný tvar. Kádě se čistí ručně, modernější jsou vybaveny mycími hlavicemi.

### 2.3.2 Kvašení piva v cylindrokónických tancích

V současné době se pro výrobu piva nejvíce používají cylindrokónické tanky (viz obr. 2.3), jsou to válcovité nádoby s kuželovým dnem. Oproti klasickým spilkám mají hned několik výhod. Mezi ty nejzásadnější patří kvalitní sanitace, automatizace kvašení a také menší půdorysná plocha.

Jako materiál se používá především nerezavějící ocel ČSN 17 240, která je dostatečně odolná proti sanitačním prostředkům. Pro ochranu před korozí je nutné tanky svařovat v inertní atmosféře. Jako úprava vnitřního povrchu tanku se používá mechanické leštění, kterým lze dosáhnout drsnosti  $R_a = 0,4 \mu\text{m}$  a tím zabránit usazování bakterií [13].

Pro chlazení CKT se používá alkohol nebo roztoky solí. Většinou se používá plášťové chlazení se spirálně navařenými trubkami. U kónického dna se používá nižší teplota chladícího média z důvodu izolačních vlastností kvasnic. Rychlost chlazení ovlivňuje především výrobní dobu a sedimentaci kvasnic, z maximální teploty hlavního kvašení na teplotu dokvašování je pivo zchlazeno za jeden až dva dny [13].

Důležitými faktory, ovlivňujícími kvalitu piva, obsah oxidu uhličitého a sedimentaci kvasnic, jsou průměr a výška CKT. Výška tanku dosahuje 18 m, průměr 5 m a objem 5000 hl. CKT jsou dále vybaveny těmito zařízeními pro kontrolu a regulaci:

- Čidla pro měření teploty
- Čidla pro měření tlaku
- Čidla pro měření objemu
- Hradící zařízení
- Podtlakové a pojistné armatury
- Vzorkovací kohout
- Potrubní propojení s ovládacími prvky



**Obr. 2.3** Cylindrokónický tank [14]

### 2.3.3 Sanitace CKT

Při čištění CKT je kyselý a alkalický roztok nahrazen čištěním kyselým, které přináší některé výhody, alkalické čištění se provádí pouze několikrát za rok.

Pokud by bylo použito alkalické čištění, bylo by nutno odvětrat oxid uhličitý, protože  $\text{CO}_2$  reaguje s hydroxidem sodným a vyvolává implozi, což by mělo za následek poškození tanku. Odvětrávání oxidu uhličitého je velmi náročnou operací, při kyselém čištění tento krok odpadá.

Alkalické čištění se u CKT používá občasně. Četnost alkalického čištění se určuje na základě hygienického stavu tanku a jeho znečištění. Provádí se zpravidla 2x – 3x za rok.

Alkalické čištění probíhá za teploty až  $80\text{ }^\circ\text{C}$ , což způsobuje velké tepelné namáhání tanku, kdežto u čištění kyselého je teplota  $25\text{ }^\circ\text{C}$ . Maximální povolenou teplotu alkalického čištění za zvýšené teploty určuje výrobce tanku na základě dilatačního výpočtu [13].

Sanitace CKT se skládá z následujících operací:

1. První výplach použitou vodou - slouží k odstranění organických nečistot, pouští se do kanalizace.
2. Čištění sanitačním prostředkem na bázi kyselin (1,2 %) – k odstranění zbytků organických nečistot, sanitační prostředek cirkuluje přes CIP sanitační stanici a po ukončení se uchovává k dalšímu čištění.
3. Proplach pitnou vodou. Obvykle se tento proplach pouští do kanalizace.
4. Proplach pitnou vodou s dezinfekčním prostředkem na bázi peroxidu.
5. Poslední výplach pitnou vodou. Tento výplach se uschovává v CIP stanici v samostatné nádrži a při sanitaci dalšího tanku se používá jako první výplach, který se vypouští do kanalizace.

## 2.4 Filtrace piva

Po ukončení doby ležení je potřeba z piva odstranit kalící látky a zbylé kvasné buňky, aby se docílilo čirosti, koloidní stability a i biologické trvanlivosti. Oddělování pevné a kapalné fáze je realizováno:

- Sedimentací – proces usazování těžších, nerozpustných součástí v kapalné směsi.
- Filtrací – pivo protéká porézní přepážkou, na níž je pevná fáze zachycována.

V další části diplomové práce bude podrobněji popsán proces filtrace piva.

### 2.4.1 Materiály a typy filtrů

Materiály pro filtrační přepážky jsou:

- Síta vyrobená z drátů z nerezavějící oceli.
- Plachetky vyrobené z drátů z nerezavějící oceli. Je možno použít i z polypropylenových nebo textilních vláken, ale oproti oceli jsou hůře sterilizovatelné.
- Filtrační desky z celulosy, bavlny, křemeliny nebo skleněných vláken. Dříve byl přidáván do desek azbest, jeho používání je dnes zakázáno.
- Porézní materiály.
- Membrány zhotovené z polyetylenu, polyakrylátu, polyuretanu nebo polyamidů.

Jako filtrační materiál je používána křemelina, ta se naplavuje na filtrační přepážku. Skládá se z drobných skořápek pravěkých rozsivek a oxidu křemičitého. Jejím nejdůležitějším parametrem je průtočnost, která je přímo úměrná její jemnosti. Při volbě jemnosti křemeliny je nutné uvážit následné množství zfiltrovaného piva a ostrosti filtrace. Další vlastností křemeliny je její porozivita.

Pro nejostřejší filtraci se používá sušená křemelina, která se suší v rotační peci při teplotě 400 °C. K prvnímu náplavu se používá tekutá kalcinovaná křemelina, která má vysokou

průtočnost a je sušena při 800 °C. Při kalcifikaci se ke křemelině přidává chlorid sodný, který sníží bod tání oxidu křemičitého.

Typy používaných filtrů:

- Masový filtr – filtrace piva probíhá přes filtrační koláč, filtrační masa je vyrobena z bavlny, celulosy a s přídavkem azbestu. Masový filtr se vyznačuje nízkou produktivitou a právě ta spolu s nutností použití azbestu byly jedním z důvodů, proč se filtry tohoto typu přestaly v pivovarnictví používat.
- Naplavovací filtr – tyto nejčastěji používané filtry se dělí na deskové, svíčkové (viz obr. 2.4) a síťové.

U naplavovacích filtrů je nutné dodržovat průtočnost filtrátu náplavem, vyloučit tlakové rázy a rychlosti změny průtoku.



**Obr. 2.4** Svíčkový naplavovací filtr [4]

#### 2.4.2 Sanitace filtrů

Sanitace filtrační stanice je složitá záležitost, neboť se zde jedná o sanitaci cest filtračního zařízení a puffertanků. Většinou se celé filtrační zařízení čistí kompletně jedním programem v jednom cyklu, kde se střídají nástřiky do zařízení a puffertanků s klasickou sanitací potrubí.

Způsob sanitace zařízení se určuje při sestavování technologického schématu filtrace. Ve filtru nesmí zůstat jediné zařízení nebo „hluchý kout“, který by nebyl čištěn.

Filtrace se obvykle čistí kombinací kyselého a zásaditého čištění s konečnou dezinfekcí. Může být sestavena speciální samostatná CIP stanice pouze pro filtraci (pro filtrace větších výkonů). V malých pivovarech, kde jsou filtrace nižších výkonů, se čistí z CIP stanice studeného bloku.

## 2.5 Propagace (výroba kvasnic)

Pro zakvašení mladiny je nutné zajistit dostatečné množství a kvalitu kvasnic. Výroba kvasnic probíhá ve dvou krocích – laboratorní propagaci a propagaci provozní.

### 2.5.1 Laboratorní propagace

Laboratorní propagace probíhá v laboratoři, kde se nejdříve izoluje jedna kvasničná buňka, která je následně zaočkována do 5 ml sladiny. Přibližně po třech dnech, kdy je ve stadiu intenzivního kvašení, tzv. stadiu bílých kroužků, se zakvašuje desetinásobný objem sladiny. Až je dosaženo dostatečného objemu bílých kroužků, pokračuje se dalším krokem, a to propagací provozní [15].

Zařízení, na kterém se čistá kultura vyrábí, se nazývá Carlbergský balon či nádoba. Obvykle bývá nerezová o objemu 10 – 30 l, s hladkým vnitřním povrchem ( $R_a = 0,4 - 0,6 \mu\text{m}$ ) a odnímatelným víkem těsněným na „O“ kroužek (z hygienického hlediska nejvýhodnější). Nádoba je vybavena aseptickým kohoutem pro napouštění mladiny, uzávěrem s filtrem pro napojení sterilního vzduchu a hrdlem pro odfuk  $\text{CO}_2$  opatřeného filtrem. Před použitím se obvykle nádoba ručně vymyje dezinfekčními prostředky a poté sterilizuje v autoklávu [13].

Zaočkování do propagační stanice se provádí přes vzorkovací ventil propagátoru. Obsah propagátoru se vytlačí tlakem sterilního vzduchu.

### 2.5.2 Provozní propagace

Samotná provozní propagace probíhá v propagační stanici v nádobách – propagátorech (viz obr. 2.5). Stanice je tvořena jednou až pěti nádobami. Kvasnice jsou propagovány v provozní mladině při teplotě 14 – 16 °C.

Rozlišují se dvě možnosti provozní propagace:

- Klasická
- Aerobní

Při klasické propagaci probíhá pomnožení v několika propagátorech až do požadovaného objemu. Teplota kvašení se udržuje v rozmezí 12 – 16 °C, zakvašovací poměr je asi 1:10. Před vlastním zaočkováním čisté kultury či přečerpání zbytku bílých kroužků z předchozí propagace je nutné mladinu sterilizovat. Sterilizace probíhá v jedné z nádob, která je k tomu určena, tato nádoba se nazývá propagátor – sterilizátor. Je vybavena stejně jako propagátor, ale má v kónusu duplikátor pro ohřev parou. Mladina se odebere před chlazením mladiny (teplota cca 85 °C), načerpá se do propagátoru – sterilizátoru, přihřeje se na 95 – 100 °C a na této teplotě se drží 1 – 1,5 hodiny. Poté probíhá chlazení celého obsahu propagátoru na zákvasnou teplotu (obvykle 10 °C). Po dosažení této teploty se provede zaočkování čisté kultury anebo přečerpání části bílých kroužků z minulé propagace. Směs mladiny s kroužky

je nutno vzdušnit a míchat. Toto se provádí různými technickými způsoby (aerační kruh, speciální míchadlo, provzdušňovací svíčka, mimotělní oběh se vzdušením aj.). Vzdušnění neprobíhá kontinuálně, ale v cyklech. Propagace probíhá pod mírným přetlakem v propagátoru (0,4 – 0,8 barg), čímž se zabrání nadměrnému vytváření pěny. Po dosažení stádia bílých kroužků se obsah přečerpá do spilky nebo CKT k dalšímu zpracování a v propagátoru zůstává až 20 % kroužků k dalšímu použití při propagaci kvasnic a proces se opakuje [15].

Aerobní propagace využívá vzdušnění, výhodné je používat čistý kyslík, u kterého nehrozí tvorba pěny. Po přibližně dvou dnech je možné použít kroužky k zakvašení mladiny a to v poměru 1:20. Při aerobní propagaci s jednou nádobou se vyžaduje její následné úplné vyprázdnění. Poté je sterilizována, zchlazena a následuje opět zakvašování. Podíl pro zakvašení se ponechává v Carlsbegském balonu a zaočkování se provádí přes vzorkovací ventil. Jako zařízení se aerobní propagátor – sterilizátor liší tím, že je obvykle vybaven míchadlem s jedním či dvěma propelery, dutou hřídelí a sanitační koulí. V lopatkách propelerů jsou malé trysky, přes které dochází k provzdušnění díla za současného míchání. Vzdušní se po celou dobu množení kvasničné kultury přesným množstvím vzduchu pod definovaným tlakem. Většinou pro větší technologickou náročnost je aerobní propagace řízena automaticky, čímž se eliminuje nepřesnost lidského faktoru [13].

Jelikož probíhá kvašení při vyšších teplotách, vyžaduje zařízení stoprocentní důkladné čištění.

Vzhledem k tomu, že na propagaci závisí výsledek dalších kvašení (na hygieně provozu propagace), umísťují se propagační stanice do samostatných klimatizovaných místností (často ošetřených UV zářením) a přístup do tohoto provozu má omezený počet zaměstnanců. Propagační stanice je „srdcem“ každého pivovaru.

### **2.5.3 Sanitace propagační stanice**

Propagační stanice může být sanitována společnou CIP stanicí nebo samostatnou „ztrátovou“ sanitační stanicí, kde nehrozí znečištění použitými roztoky a kontaminací ostatních provozů.

CIP stanice propagační stanice bývá jedno až dvounádobová, s dohřevem a automatickým dávkováním prostředků. Použité prostředky se po sanitaci vypouštějí a jejich likvidace je provedena mimo objekt propagační stanice. Sanitace se dělí na sanitaci potrubí a sanitaci tanků.

Sanitace potrubí se provádí klasicky vodou, louhem a kyselinou a většinou se na závěr provede dezinfekce horkou vodou nebo chemickými prostředky. Sanitace vlastních propagátorů se provádí samostatně rovněž klasickým postupem vodou, louhem a kyselinou se závěrečnou dezinfekcí. Většinu propagačních stanic doporučuje výrobce pařit sterilní párou, která je připravována z běžné páry filtrací přes sterilní filtry [4].



**Obr. 2.5** Propagační stanice [4]

## 2.6 Ležácké tanky

Pro zajištění optimálních organoleptických vlastností, nasycení oxidem uhličitým a vyčištění slouží dokvašování v ležáckém sklepě v tzv. ležáckých tancích.

### 2.6.1 Popis ležáckých tanků

Dřívější ležácké nádoby byly dřevěné, na vnitřní povrch byla nanášena roztavená pivovarská smola. Novější ležácké tanky jsou válcovité nádoby vyrobené z hliníku, oceli nebo železobetonu. Jako vnitřní úprava se provádí smaltování nebo epoxidový nátěr. V současnosti se ležácké tanky vyrábí z nerezové ušlechtilé oceli tř. 17. Nachází se v ležáckém sklepě, kde probíhá dokvašení piva (viz obr. 2.6).

Dokvašování probíhá pod atmosférou  $\text{CO}_2$  a mírného přetlaku za teploty 4 až 6 °C a podle výrobního postupu po dobu 1 až 10 týdnů. Po vyprázdnění zůstávají na dně tanků zbytkové kvasnice. Tanky musí být vybaveny:

- Hradíci přístroji – udržují přetlak  $\text{CO}_2$  nad hladinou piva
- Vzorkovacím kohoutem – pro odběr vzorků do laboratoří
- Průlezem – umožňuje vstup do nádoby
- Kvasnicovým adaptérem na výpustné hrdlo

V méně moderních provozech se provádí technologické napojení na rozvody piva hadicemi. V modernějších provozech se provádí napojení pomocí přestavitelných kolen a panelů či automatických armatur (klapky, ventily), uspořádaných do ventilových hnízd.

### 2.6.2 Sanitace ležáckých tanků

Starší konstrukce tanků (hliníkové, železobetonové, smaltované) se čistí po ručním vyhrnutí kvasnic ručně. Obsluha ležáckého sklepa tank vystříká vodou a následuje ruční čištění chemickými prostředky. Poté obsluha opět ručně vystříká tank vodou.

Nerezové ležácké tanky se čistí strojně z CIP stanice. Přes sanitační hlavice je do tanků nastříkován sanitační roztok. Čištění se provádí vodou a kyselé s chemickou dezinfekcí



za teploty sanitálního roztoku max. 20 °C. Louhem se tanky čistí občasně za zvýšené teploty cca 30 °C (dle doporučení výrobce tanku).

Potrubí ležáckých tanků se čistí klasicky vodou, následuje zásadité a kyselé čištění a dezinfekce při teplotě 80 °C.



**Obr. 2.6** Ležácké tanky v ležáckém sklepě [4]

## 2.7 Přetlačné tanky

Přetlačné tanky se nachází v přetlačném sklepe, slouží k uklidnění piva a vytvoření zásoby piva před stáčením do lahví.

### 2.7.1 Popis přetlačných tanků

Tanky jsou válcové nádoby většinou stojaté s klenutými dny, vyrobené z nerezavějící oceli (viz obr. 2.7). Přetlačné tanky jsou tlakové nádoby (pracovní tlak 2 – 4 bar dle potřeby). Zásoba piva v tancích odpovídá přibližně dvoudennímu objemu stáčeného piva.

Přetlačné tanky jsou dále vybaveny:

- Průlezem
- Plnicím a stáčecím potrubím
- Teploměrem
- Sanitační hlavicí
- Vzorkovacím kohoutem
- Chladícími kanály – v případě neklimatizovaného prostoru
- Pojistným ventilem pro udržení konstantního tlaku v tanku
- Bezpečnostním pojistným ventilem
- Vakuovým pojišťovacím ventilem

Přetlačné tanky jsou většinou v samostatné chlazené místnosti nebo jsou izolovány. Požadavek na izolaci či chlazení je tepelná ztráta 1 °C za 24 hodin.

Plnění přetlačných tanků se provádí potrubím z filtrace. Výdej se provádí jednou až několika větvemi přetlakem v tanku (čerpadlo je nežádoucí, „rozbije“ pivo, napění). Výdejová potrubí jsou instalována v potrubním plotě a na tank napojena většinou propojovacími koleny či klapkami a ventily uskupenými do ventilových hnízd. U starších konstrukcí ležáckého sklepa bývá napojení provedeno hadicemi přes výdejové kozy, kde je současně napojeno více tanků a po vyprázdnění jednoho tanku se provede ručně přepojení na tank druhý. Na výdejové koze se provede odstranění pěny a plynových bublin odvzdušněním (nežádoucí na stáčecích strojích) [2].

V tancích se udržuje konstantní přetlak buď vzduchem (nepoužívá se často z důvodu okysličení produktu) nebo CO<sub>2</sub>. Novým trendem je udržování přetlaku dusíkem. Plyné médium pro udržení přetlaku musí být sterilní, proto se filtruje na sterilních filtrech.

### 2.7.2 Sanitace přetlačných tanků

Sanitace potrubí se provádí z CIP stanice (může být samostatná pro produkt za filtrem) klasickým způsobem vodou, poté kyselé a zásadité při teplotě 80 °C.

Sanitace tanků se provádí pod zbytkovým tlakem CO<sub>2</sub> či dusíku kyselé za teploty 20 °C. Občasná sanitace louhem se provádí za teploty, kterou dovolí konstrukce tanku. Před sanitací louhem je nutné tank vyfoukat vzduchem tak, aby v něm nezůstával CO<sub>2</sub>, který by prudce chemicky zreagoval s louhem, nastala by imploze a tank by se zničil pod tlakem.



**Obr. 2.7** Přetlačné tanky [4]

## **2.8 Stáčení**

V současné době se pivo plní do sudů, lahví, plechovek a plastových lahví. Plnění je realizováno ve stáčírně (viz obr. 2.8).

### **2.8.1 Stáčení piva do plechovek**

Do stáčírny lahví patří:

- Přetlačný sklep
- Lahvárenská linka
- Pomocné provozy
- Sklady prázdných a plných lahví

Přetlačný sklep je popsán v předchozí kapitole.

#### **Lahvárenská linka**

Lahvárenskou linkou je sestava zařízení určená k plnění lahví. Jednotlivá zařízení jsou spojena dopravníky. Linku je možné rozdělit na dvě základní části, a to suchou a mokrou část lahvárenské linky.

Suchou částí lahvárenské linky se lahve dodávají do mokré části linky a poté zase dopravují z mokré části do části suché. Suchá část obsahuje zařízení na třídění lahví a přepravek, zásobník přepravek, kartonovací stroje, depaletizátor a paletizátor, vykladač a vkladač [2].

V mokré části linky probíhá mytí lahví, jejich kontrola, mytí přepravek, plnění a uzavírání lahví, pasterace a etiketování. Obaly používané v lahvárenské praxi:

- Skleněné lahve – doposud nejvhodnější obal z důvodu možnosti několikanásobného použití, dobrým vlastnostem při mytí a netečnosti skla vůči obsahu.
- Plastové lahve – pro výrobu plastových lahví se používá PET nebo PEN. Jsou stále hojněji využívány, ovšem z ekonomického hlediska jsou oproti lahvím skleněným nevýhodné.
- Plechovky – jsou dvoudílné, spodní část je vyrobena z hliníkového plechu a víčko z oceli nebo hliníku. Vnitřní povrch plechovky je vícenásobně lakován speciálními laky.

### 2.8.2 Stáčení piva do sudů

V současné době jsou již výhradně používány nerezové KEG sudy, které mají oproti hliníkovým sudům několik výhod, např. snadnější mytí, neměnný tvar, možnost automatizace mytí a stáčení [2].

Před mytím a plněním sudů se provádí depaletizace, otočení sudu armaturou dolů, odstranění ochranného víčka z armatury, kontrola vnitřního tlaku, vytlačení zbytků starého piva ze sudu. Mytí a plnění sudu se skládá z těchto operací:

- Vypláchnutí sudu vratnou horkou vodou
- Kontrola těsnosti armatury
- Nástřik louhu a zatopení armatury
- Odsátí louhu
- Výplach čistou nebo použitou vodou
- Několik nástřiků a odsátí kyseliny
- Výplach horkou vodou
- Sterilizace ostrou párou
- Vytlačení kondenzátu a páry oxidem uhličitým nebo dusíkem
- Natlakování sudu
- Naplnění pivem
- Ostřík armatury



**Obr. 2.8** Stáčírna KEG sudů [4]

### **2.8.3 Sanitace stáčečícího zařízení a přívodního technologického potrubí**

Přívodní potrubí na jakékoliv stáčečící zařízení a vlastní stáčečící zařízení se čistí z CIP stanice (většinou CIP stanice pro část za filtrem). Čištění se provádí vodou, kyselé a zásadité s dezinfekcí za teploty 80 °C. U modernějších stáčečících linek se stáčečící aparáty čistí samostatně z vlastní CIP stanice stáčečící linky.



## 3 VÍCEOKRUHOVÁ CIP STANICE

V dnešní době je v pivovarnictví požadována vysoká trvanlivost a senzorická stabilita piva. Tato kvalita piva je zajištěna sanitací zařízení a potrubních cest vysoce účinnými, kombinovanými chemickými prostředky [2].

Sanitační stanice slouží k dokonalému vyčištění veškerého strojního zařízení a potrubních systémů, které přicházejí do styku se zpracovávanými médii a kapalinami. Zkratka CIP pochází z anglického Cleaning In Place. CIP stanice se skládá ze dvou až šesti nádob s čisticími prostředky, často bývají použity čtyři nádoby, z nichž čtvrtá bude sloužit jako zásobník pro použitou vodu, která se může použít pro následující předvýplachy a tím se sníží její spotřeba [2]. Počet okruhů se zvolí až podle počtu sanitovaných procesů (pro studený blok je to od chladiče mladiny po filtraci).

### 3.1 Sanitace v pivovarnictví

Sanitací se rozumí proces čištění a dezinfekce technologického zařízení za účelem zajištění trvanlivosti a kvality výrobků. Čištěním se z povrchu potrubí a zařízení odstraní zbytky surovin, zbytky výrobku a odpadů z výroby. Dezinfekcí se odstraní mikrobiální nečistoty.

Účinnost čištění je závislá na množství a složení nečistot, konstrukci a povrchu zařízení a na mechanickém a chemickém účinku čisticího prostředku. Je nutné, aby byly nečistoty odstraněny co nejdříve po ukončení procesu, po zaschnutí je jejich odstranění mnohem náročnější. Vazby nečistot k povrchu zařízení se nazývají adhezní energií, skládají se:

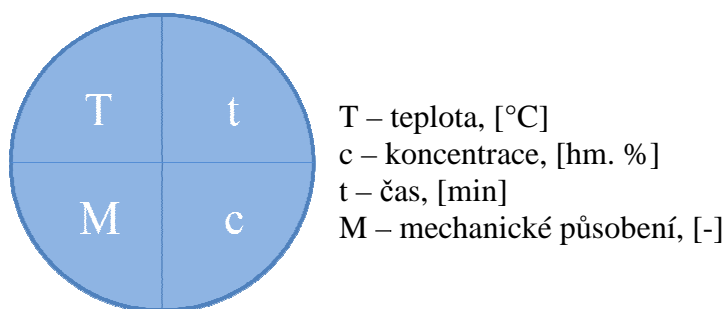
- Z elektrostatické síly působící mezi nečistotami navzájem a mezi nečistotou a povrchem
- Z usazování nečistoty v mikroskopických trhlinách a pórech povrchu zařízení, zde se váží a usazují

Čištění se skládá z několika kroků. Nejdříve je přiveden čisticí prostředek na povrch zařízení kontaminovaného nečistotami. Proto je nutné zařízení konstruovat tak, aby roztok působil ve všech místech zařízení a v dostatečném množství s dobrým mechanickým účinkem. Následují fyzikálně-chemické procesy, při nichž zreaguje čisticí roztok s vodou (tím je eliminována tvrdost vody) a s nečistotou. Poté čisticí roztok prostoupí v tloušťce vrstvy nečistoty [2].

Nečistoty se poté přesunou z blízkosti povrchu zařízení do čisticího roztoku mechanismy difuze, konvekce nebo celkového odlučování. Do roztoku jsou následně nečistoty převedeny dispergací nebo emulgací. Posledním krokem je zabránění ukládání nečistot zpět na povrch zařízení a jejich stabilizace v roztoku [2].

#### 3.1.1 Faktory ovlivňující sanitaci

Na výsledek sanitace má zásadní vliv teplota a koncentrace sanitačního média, čas a mechanické působení. Dále ji ovlivňuje složení čisticích a dezinfekčních prostředků. Tyto faktory by měly být v rovnováze, se změnou jednoho parametru je nutno měnit ostatní.



S rostoucí teplotou stoupá rychlost chemických reakcí a tím i účinek čištění. Při vyšší teplotě tak postačí ke stejnému účinku kratší čas a nižší koncentrace. Příliš vysoká teplota ale může způsobit vylučování křemičitanů usazujících se na povrchu zařízení, zvyšuje se riziko koroze materiálu a mohou být poškozeny těsnění ve spojích a v zařízení. S vysokou teplotou se také mohou měnit vlastnosti čisticích prostředků [2].

Se zvyšující se koncentrací čisticí účinek rovněž stoupá. S příliš vysokou koncentrací ovšem hrozí mezikrystalická koroze, zatížení odpadních vod a horší oplachovatelnost, čímž se zvyšují náklady. Koncentrace čisticího prostředku v roztoku se stanovuje např. měřením vodivosti (převrácená hodnota odporu). Příklady vodivosti některých médií jsou uvedeny v tab. 3.1. Vodivost lze určit ze vztahu (3.1).

$$R = \frac{P}{z} [\Omega] \quad (3.1)$$

**Tab. 3.1** Vodivost některých vod a hydroxidu sodného při různých teplotách [2]

Látka	Vodivost při 20 °C [ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ]	Vodivost při 85 °C [ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ]
Voda	-	0,55
Destilovaná voda	-	0,5
1% NaOH	47 500	107 000
2% NaOH	90 000	203 000
3% NaOH	127 000	293 000

Doba čištění je přímo úměrná teplotě a koncentraci. Je však nutno dodržovat maximální teploty a koncentrace čisticích prostředků.

Pojem mechanické působení zahrnuje tlak, objemový průtok a průtokovou rychlost čisticího prostředku. Pro správný účinek je nutno při čištění potrubí a technologických zařízení zajistit turbulentní proudění. Charakter proudění je určen Reynoldsovým číslem:

$$\text{Re} = \frac{u \cdot d \cdot \rho}{\eta} [-] \quad (3.2)$$

Pro turbulentní proudění v přímém potrubí je jeho hodnota vyšší než 2300.

### 3.1.2 Čistící a dezinfekční prostředky

K dokonalému vyčištění tanků a potrubních cest je zapotřebí použít vysoce účinné čisticí a dezinfekční prostředky. Čisticí prostředky mají mechanický (hydraulický) i chemický účinek, dezinfekční pouze chemický.

**Čisticí prostředky** lze rozdělit na základní chemické látky (tab. 3.2) a kombinované chemické prostředky. Tyto čisticí prostředky musí splňovat základní požadavky, mezi které patří:

- Rychlá a úplná rozpustnost ve vodě
- Nízká toxicita
- Dobrá smáčivost povrchu
- Dobrá schopnost bobtnat a rozkládat organickou nečistotu
- Ekologická nezávadnost a ekologická neutralizace
- Nízká pěnovost
- Potlačení korozivních účinků

K základním chemickým prostředkům pro zásadité čištění patří hydroxid sodný, hydroxid draselný a uhličitan sodný. Pro čištění kyselé je to pak kyselina fosforečná, sírová nebo dusičná.

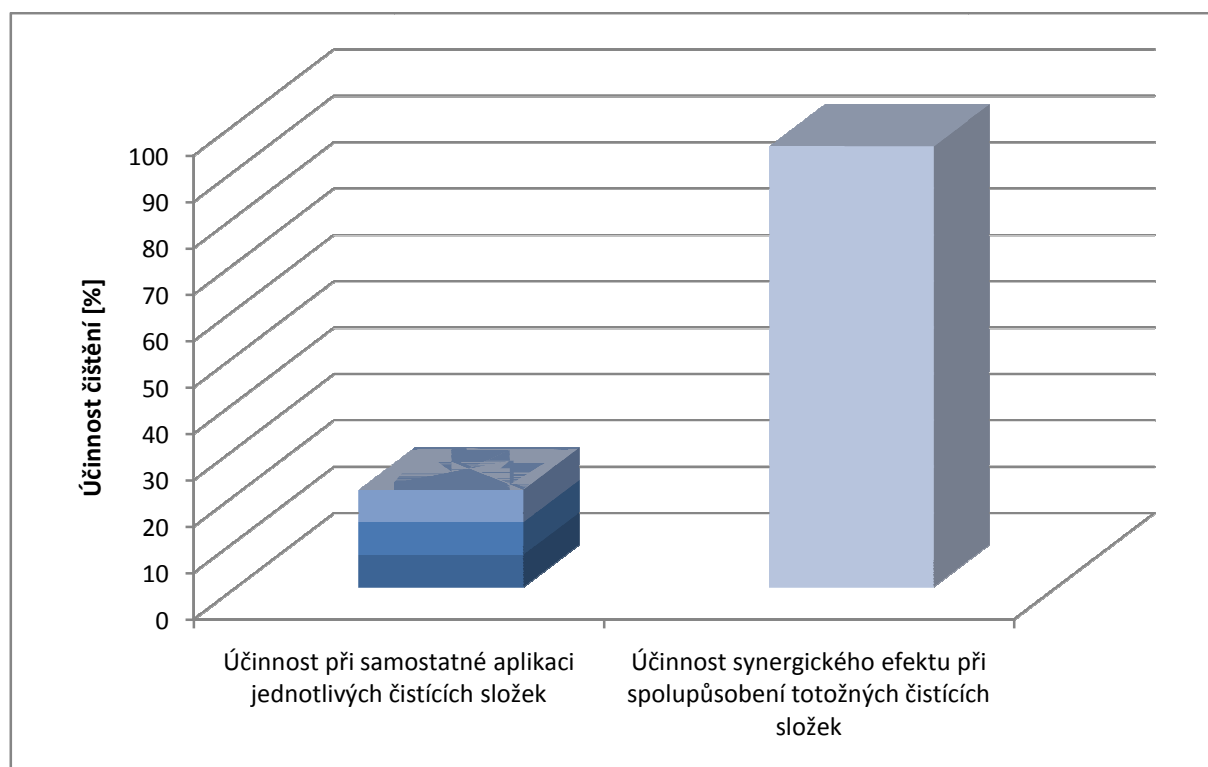
Jelikož žádná chemická sloučenina nespĺňuje všechny požadavky pro kvalitní a nezávadné čištění, je nutno použít kombinaci chemikálií (tab. 3.2).

**Tab. 3.2** Kombinované chemické prostředky [2]

Látky	Vlastnosti
Hydroxid sodný	Rozpouštění organických nečistot
Hydroxid draselný	Zmýdelnění tuků
Uhličitan sodný	
Křemičitany	Ochrana materiálu před korozí
EDTA (tetrasodná sůl)	Eliminace vápenatých a hořečnatých iontů
Glukonáty	Zabránění tvorby inkoustů
Fosforečnany	Rozpouštění nečistot v alkalickém prostředí
Kyselina sírová	Odstranění nečistot anorganického původu
Kyselina dusičná	
Kyselina fosforečná	
Inhibitory	Potlačení tvorby pěny Zamezení koroze

Při čištění kombinovanými čisticími prostředky se využívá tzv. synergického efektu, což značí zvýšení působení dvou nebo více složek (graf 3.1).





**Graf 3.1** Porovnání účinnosti samostatných čisticích prostředků a využití synergického efektu čisticích prostředků [2]

Je nutné také zhodnotit odolnost konstrukčních materiálů vůči chemikáliím. Příklad odolnosti chromnikových ocelí vůči chemikáliím je uveden v tab. 3.3.

**Tab. 3.3** Odolnost chromnikových ocelí vůči vybraným chemikáliím [2]

Materiál	ČSN	Odolnost			
		1% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		2% HNO <sub>3</sub>	2% NaOH
		20°C	100°C	20°C	60°C
AKV 7	17 240	1	2	0	1
AKV S9	17 248	1	2	0	1
AKV S	17 246	1	2	0	1
AKV EXTRA S9	17 348	1	2	0	1

Číslo	Hmotnostní úbytek oceli [g.m <sup>-3</sup> .h <sup>-1</sup> ]	Úbytek vrstvy [mm/rok]	Odolnost
0	<0,1	<0,11	velmi dobrá
1	0,1 – 1,0	0,11 – 1,1	dobrá
2	1,0 – 10	1,1 – 11	méně vyhovující
3	>10,0	>11	nevyhovující

**Dezinfekční prostředky** jsou složeny z látek s různým chemickým složením. Dle chemického složení je lze rozdělit na:

- Sloučeniny chloru – chlornan sodný, chlorovaný fosforečnan sodný (mikrobiální účinek), organické nosiče chloru. Je třeba se vyhnout dlouhodobé dezinfekci chlorem vzhledem k jeho vysoké mezikrystalické korozivitě běžně používaných nerezových materiálů.
- Sloučeniny peroxidu – peroxid vodíku, kyselina peroxooctová, oxid chloričitý.
- Jodoflory – aktivní látkou je elementární flor. Nevýhodou je horší oplachovatelnost.
- Kwartérní amoniové sloučeniny – kationaktivní tenzidy.
- Ostatní sloučeniny – aldehydy (formaldehyd), oxid siřičitý.

### 3.2 Hygienické předpisy pro sanitaci v pivovarnictví

Po vstupu České republiky do Evropské unie se zpřísnily hygienické požadavky a přístup k zajištění kvality produkce. Mnoho bodů v legislativě se týká i sanitace, především jejího správného provádění [2].

Důležité požadavky pro splnění hygienických podmínek shrnují směrnice Evropského hospodářství:

- Směrnice 93/43/EEC – hygiena potravin
- Směrnice 80/778/EEC – voda určená k lidské spotřebě
- Směrnice 90/128/EEC – plasty přicházející do styku s potravinami

Systémy pro splnění podmínek jsou HACCP a ISO 9000. **HACCP** (Hazard Analysis and Critical Control Point), neboli analýza nebezpečí a vytvoření kritických kontrolních bodů, se zabývá hodnocením procesu z hlediska kvality a nezávadnosti produktů [2].

Princip systému spočívá v kontrole surovin, produktů a meziproduktů v různých fázích výroby. Pokud při kontrole některá z hodnot neleží v dovoleném intervalu, je možno ji změnit předchozími kroky a tím zlepšit kvalitu výsledného produktu. HACCP se skládá z následujících kroků [2]:

- Zpracování postupového diagramu
- Identifikace kritických kontrolních bodů
- Stanovení kritických mezí
- Stanovení systému monitorování stavu v kritických kontrolních bodech
- Stanovení způsobu řešení mimořádných situací
- Zpracování dokumentace systému
- Ověřování účinnosti HACCP

Řízení dle **ISO 9000** je komplexnější systém. Mimo samotný proces sleduje také zásobování, dokumentace, smlouvy a organizační strukturu firmy. Cílem je zkvalitnění produkce ve všech jejích směrech [2].

### 3.3 Odpadní vody

Stejně jako u hygienických předpisů, tak i u odpadních vod se po vstupu České republiky do Evropské unie kritéria na kvalitu odpadních vod značně zvýšily. Důsledkem těchto kritérií je v současné době široká nabídka ekologicky příznivých čistících a dezinfekčních prostředků. V odpadní vodě se sleduje hodnota pH, teplota, vodivost, také limity síranů, chloridů, fosforečnanů aj. Odpadní vody jsou zatěžovány především vedlejšími produkty a čistícími prostředky [2].

### 3.4 Obecný popis CIP stanice

CIP stanice je tvořena nádobami s čistícími roztoky a vodou, ty pomocí čerpadel cirkulují v uzavřených okruzích a po vyčištění potrubních cest a tanků jsou vráceny zpět do nádob.

CIP stanici tvoří jedna až šest nádob, které slouží k uchovávání čistících roztoků a vody. Nádoby jsou válcové, vyrobeny z nerezavějící oceli. Jejich objemy musí být o cca 20 % vyšší než zadrž nejdelšího čistěného potrubního okruhu. Nádoby jsou většinou vybaveny průlezem, přepadem, sondou maximální a minimální výšky hladiny, vzorkovacím kohoutem, mycí hlavicí a přívodem vody a čistícího roztoku [2]. Čistící roztoky bývají měněny asi dvakrát za měsíc. Dezinfekce bývá dávkována přímo do potrubí.

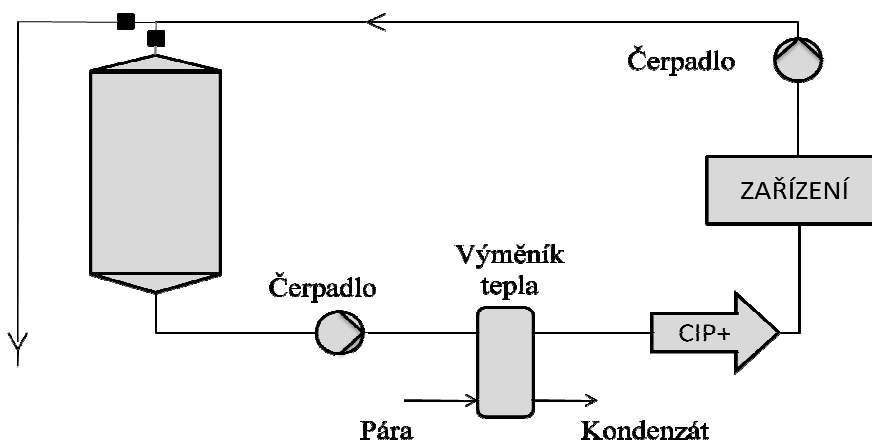
Pro dopravu čistících roztoků a vody jsou používány odstředivá čerpadla z nerezavějící oceli vybavené frekvenčním měničem. Musí mít dostatečnou výkonovou rezervu při jmenovitém tlaku.

Ohřev roztoků je realizován většinou výměníkem tepla, který je umístěn za výstupem z nádoby. Ohřevním médiem je pára. Výběr a návrh výměníku je popsán v kapitole 5.

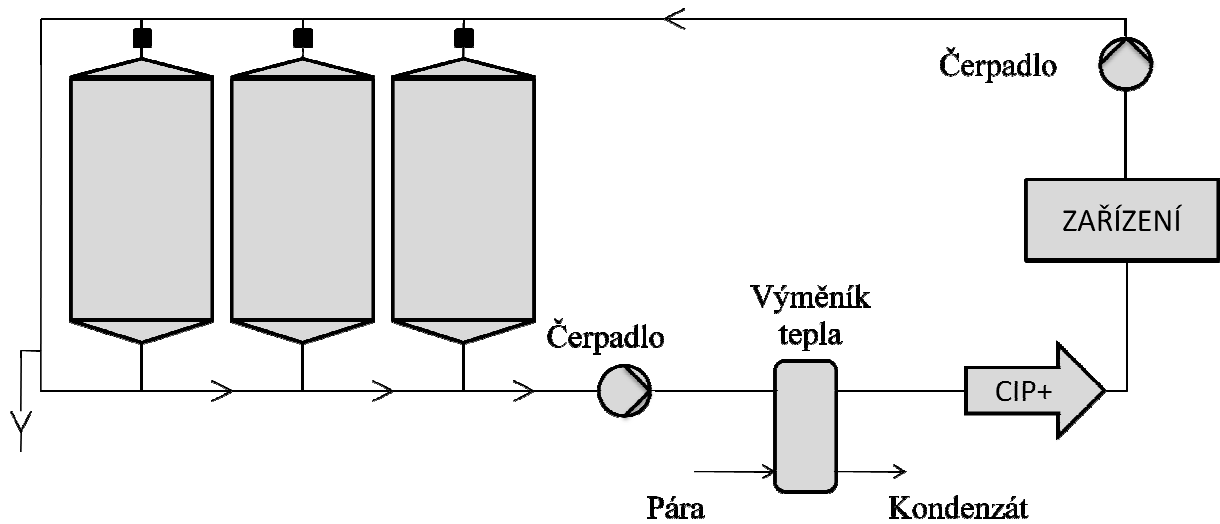
CIP stanice musí obsahovat rovněž měřicí a regulační prvky. Na výstupu z CIP stanice je měřena teplota a průtok. Za tepelným výměníkem je měřena teplota. Na vratném potrubí jsou umístěna zařízení pro měření teploty a vodivosti (dle vodivosti jsou rozpoznány roztoky od vody a jsou vráceny do správných nádob).

Sanitační stanice se dělí na:

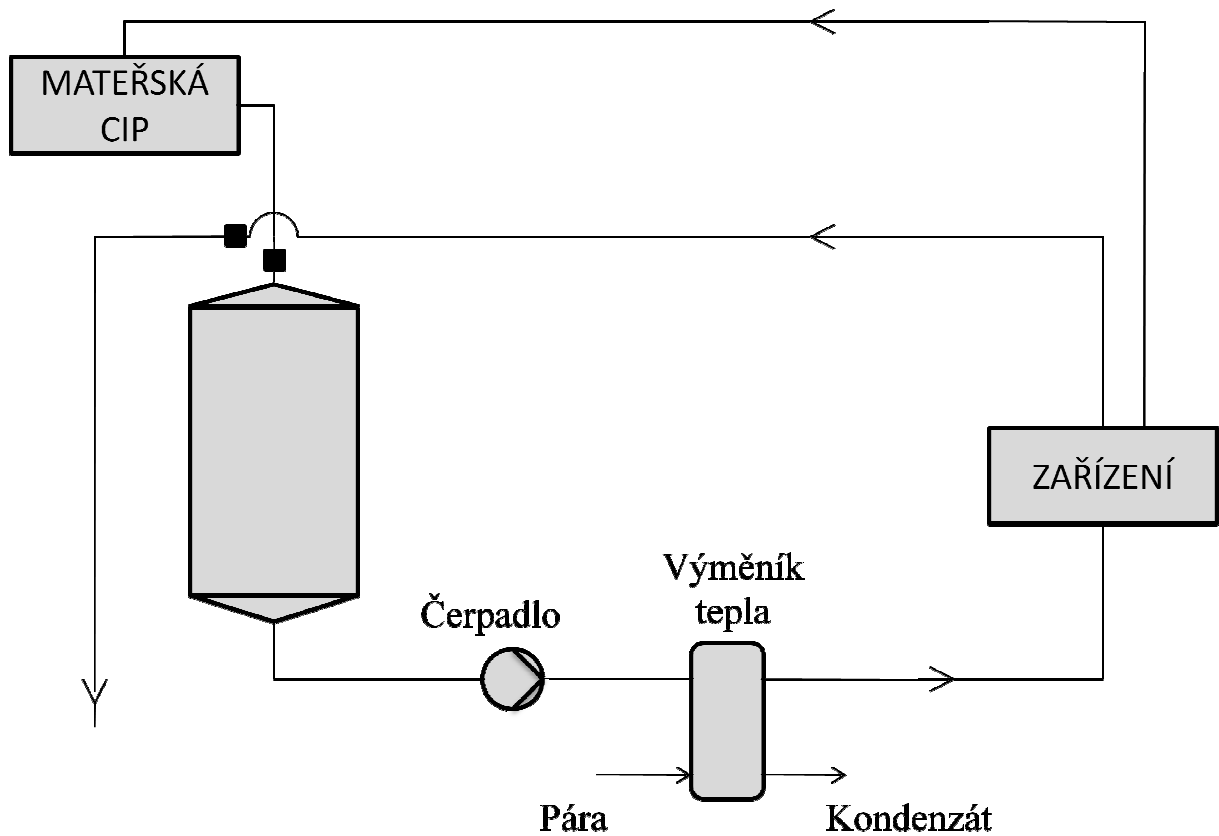
- Sanitační stanice ztrátové jednonádobové (viz obr. 3.1) – nádoba slouží pouze pro uskladnění vody
- Sanitační stanice několikanádobové (viz obr. 3.2) – s uchováváním sanitačních prostředků a vody pro následné sanitace
- Sanitační stanice satelitní (viz obr. 3.3) – na delší vzdálenosti, jako mezistupeň



Obr. 3.1 Jednonádobová sanitační stanice



Obr. 3.2 Několikanádobová sanitační stanice



Obr. 3.3 Satelitní sanitační stanice

### 3.5 Programy CIP stanice

Sanitační program se skládá z několika po sobě jdoucích kroků, tento program je prakticky totožný pro tanky i potrubní cesty.

**Předvýplachem studenou nebo teplou použitou vodou** (používanou ze čtvrtého zásobníku) se odstraní ze zařízení nejhrubší nečistoty. Teplota vody je maximálně 50 °C.

Využití použité vody je výhodné zejména z toho důvodu, že voda je již přehřátá. Délka předvýplachu se stanovuje experimentálně při uvádění zařízení do provozu, tato doba ovlivní následné znečištění čistícího roztoku. Po ukončení předvýplachu je voda odvedena do kanalizace.

**Alkalické čištění** slouží k odstranění nečistot organické povahy a někdy k rozpouštění anorganických solí. Tento krok je prováděn při teplotě cca 80 °C a koncentraci čistícího roztoku do cca 2,5 %. Pro zlepšení čistícího účinku je možno použít kombinované čistící prostředky [2].

Při tomto čištění je ovšem nutno odvětrávat z nádob oxid uhličitý z důvodu nebezpečí imploze nádob vyvolané reakcí oxidu uhličitého a čistícího roztoku a následného vytvoření vakua, může rovněž snížit koncentraci čistícího roztoku (čistící roztok s CO<sub>2</sub> vytvoří soli, nezmění se elektrická vodivost a přístroje reagují na tento roztok jako na čistý).

**Mezivýplachem čistou vodou** se odstraní zbytky čistícího roztoku z předcházejícího kroku ze zařízení. Po použití lze tuto vodu použít pro následné předvýplachy.

**Kyselým čištěním** se zabrání usazování inkoustů, pивního a vodního kamene, odstraňují se jím zbytky čistícího roztoku. Při použití kyseliny dusičné může mít i dezinfekční účinek. Teplota tohoto kroku je asi 20 °C (v některých praxích se používá zvýšená teplota do maximálně 35 °C). Při vysokých teplotách by byla znehodnocována pryžová těsnění [2].

**Mezivýplach čistou vodou** slouží především k odstranění zbytků čistícího roztoku po kyselém čištění.

**Dezinfekce** slouží k zajištění mikrobiologické nezávadnosti. Zařízením cirkuluje poměrně krátkou dobu, následuje pauza pro účinek dezinfekce na čištěné zařízení.

**Oplachem pitnou vodou** se odstraní poslední zbytky po alkalickém a kyselém čištění a dezinfekci. Oplach je prováděn až do neutrální reakce. Z důvodu bezpečnosti a nezávadnosti výrobku se doba potřebná k dosažení neutrální reakce a požadované vodivosti prodlužuje až o polovinu. Závěrečný oplach se při použití některých dezinfekcí (chlordioxidová voda) nepoužívá. Chlordioxidová voda se používá do max. 2 ppm, při této koncentraci má velice krátký poločas rozpadu. Poslední oplach se nepoužívá především z důvodu možné další kontaminace oplachovou vodou. Při použití vyšší koncentrace (4 ppm) hrozí mezikrystalická koroze nerezového potrubí a zařízení [2].

## 4 VLASTNÍ NÁVRH CIP STANICE

Cílem této diplomové práce je navrhnout modelovou CIP stanicí pro sanitaci studeného bloku pivovaru s kapacitou výstavu 1 000 000 hl piva ročně.

### 4.1 Zadávací parametry CIP stanice

Vstupní parametry potřebné pro návrh CIP sanitační stanice byly zjištěny od vedoucího technického oddělení pivovaru Černá Hora a.s. a z archivu firmy GEA Process Engineering.

Vstupní data pro návrh jsou:

- Dvouokruhá CIP stanice pro čištění studeného bloku pro čištění produktového potrubí a pro čištění výrobních tanků pro pivovar s kapacitou výstavu 1 mil. hl piva ročně.
- CIP stanicí má být čištěno potrubí DN 50, DN 65 a DN 80, které odpovídají průtokovým množstvím produktu pivovaru s produkcí 1 mil. hl ročně (od 20 m<sup>3</sup>/hod do 40 m<sup>3</sup>/hod průtoku produktu – kvasnice, nefiltrované pivo, filtrované pivo, voda, mladina, bílé kroužky).
- Průtok sanitačního média v rozmezí 20 m<sup>3</sup>/hod až 40 m<sup>3</sup>/hod.
- Ohřev tepelnými výměníky 20 – 40 m<sup>3</sup>/hod,  $\Delta t = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Sanitace se provádí kyselými a zásaditými čisticími prostředky s koncentrací do 2 %, každý prostředek má svoji nádobu.
- Dezinfekce se provádí prostředkem s koncentrací do 0,1 %.
- Poslední výplach se uchovává pro první předvýplach následné sanitace.
- Nejdelší trasa potrubí včetně vratného o délce  $L = 80 \text{ m}$ .
- Sanitace probíhá každý druhý den.

### 4.2 Návrh řešení

Navržená sanitace kyselým a zásaditým prostředkem s následnou dezinfekcí odpovídá běžné praxi v pivovarském průmyslu.

CIP stanice je navržena jako čtyřnádobová. Jednotlivé nádoby budou sloužit jako zásobníky pro kyselý, zásaditý sanitační prostředek a vodu, čtvrtá nádoba slouží pro úschovu posledního výplachu pro následný první předvýplach, což šetří množství potřebné vody k jednotlivým sanitacím. Dezinfekce nemá svou nádobu, jelikož má velice krátký poločas rozpadu na vodu a plyn, takže by nemělo smysl jí skladovat. Potrubní schéma je uvedeno na obr. 4.1. Rozvod médií je realizován odstředivými čerpadly. K ohřevu bude sloužit výměník tepla a jako ohřevné médium pára.

### 4.3 Popis funkce navržené CIP stanice

CIP sanitační stanice se sestává z nádob na sanitační prostředky a vodu, tepelných výměníků, čerpadel, armatur a sady komponentů M+R. Jejich konkrétní specifikace kromě nádob a výměníků není předmětem této diplomové práce. Technologické schéma (viz obr. 4.6) popisuje propojení jednotlivých zařízení v CIP sanitační stanici. V propojovacích panelech jsou čisticí roztoky, dezinfekce a voda pouštěny do jednotlivých potrubí a zařízení, které je nutno sanitovat.

Sanitační čerpadlo odebírá v prvním kroku sanitace vodu ze zásobníku s vodou, která se vrací ze sanitovaného provozu zpětným sanitačním potrubím. Voda se vyčerpává ze zásobníku použité vody. Po vyprázdnění zásobníku (sepne sonda LS-) je automaticky systém přepnut na vodu z vodního tanku.

Ve druhém sanitačním kroku čerpadlo odčerpává z nádoby zásaditý sanitační prostředek a tímto prostředkem vytlačuje vodu, která zůstala v sanitovaném potrubí do kanalizace. V momentě, kdy čidlo na měření vodivosti nahlásí změnu vodivosti, tj. ve zpátečním potrubí je zásaditý prostředek, automaticky přepne průtok zásaditého sanitačního prostředku do nádoby. Tímto se zaokružuje celý potrubní systém, který je pod zásaditým sanitačním prostředkem, automaticky se zapne dohřev sanitačního média na cca 80 °C a potrubí se v okruhu sanituje pod touto teplotou. Teplota je měřena na zpátečním sanitačním potrubí teplotním čidlem (úbytek cca 8 – 10 °C), pokud by úbytek teploty byl větší než 10 °C, automaticky se zvýší dohřev média na výměníku. Při správné teplotě řídicí systém načítá čas sanitace, při nižší než 70 °C se načítání času zastaví. Stejný systém je pro měření koncentrace (vodivosti), při poklesu vodivosti o 10 % dávkovací čerpadlo dočerpává do nádoby koncentrovaný zásaditý prostředek až do doby, kdy na zpátečním potrubí je správná hodnota.

Po sanitaci zásaditým prostředkem následuje výplach pitnou vodou (voda tlačí louh). V momentě, kdy vodivostní čidlo nahlásí vodu na zpátečním potrubí, se přepíná výplach do kanalizace. Čas výplachu určí technolog pivovaru v závislosti na délce sanitovaného potrubí.

Po výplachu vodou následuje sanitace kyselým sanitačním prostředkem, sanitační čerpadlo čerpá kyselý sanitační prostředek ze zásobníku a z potrubí vytlačuje vodu, která je pouštěna do kanalizace. V momentě, kdy vodivostní čidlo nahlásí kyselý prostředek na zpátečním potrubí, se přepíná kyselý prostředek do nádoby, čímž se zaokružuje sanitované potrubí kyselinou. Kyselina se nepředehřívá, sanituje se kyselinou od 15 do 20 °C.

Po sanitaci kyselým prostředkem následuje výplach pitnou vodou (voda tlačí kyselinu), V momentě, kdy vodivostní čidlo nahlásí vodu na zpátečním potrubí, se přepíná výplach do kanalizace. Čas výplachu určí technolog pivovaru v závislosti na délce sanitovaného potrubí.

Po provedení výplachu pitnou vodou dojde k dávkování dezinfekce do potrubí, čas dávkování určí technolog pivovaru v závislosti na délce sanitovaného potrubí.

Další sanitační krok je pauza v sanitaci (účinek dezinfekce), tento čas bývá zpravidla 10 - 15 minut. Během této doby dochází k chemické dezinfekci potrubí a dezinfekční roztok se chemicky rozpadá na vodu a plyn.

Posledním sanitačním krokem je výplach pitnou vodou. Veškerá voda vytlačovaná z potrubí je schraňována v nádobě s použitou vodou.

Technologické schéma CIP sanitační stanice, včetně všech komponentů, je uvedeno na obr. 4.6.

### 4.3.1 Návrh nádob médií

Hrubý objem CIP nádob navržen dle nejdelší sanitované trasy s největší dimenzí, což je 80 m potrubí, dimenze DN 80. Tento objem je násoben koeficientem  $f = 1,2$  pro povinnou zádrž v nádobě z důvodu přísunu sanitačního roztoku na sání čerpadel tak, aby případně neběžela na sucho a nedošlo k jejich poškození.

$$V = \frac{\pi \cdot d_{\max}^2}{4} \cdot L \cdot f = \frac{\pi \cdot (80 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 80 \cdot 1,2 = 4,83 \text{ m}^3 \quad (4-1)$$

Na základě tohoto výpočtu byly navrženy nádoby CIP stanice o objemu 5 m<sup>3</sup>. Pro výpočty rozměrů byl zvolen poměr průměru ku výšce 2:3, což je běžný praktický štíhlostní poměr nádob CIP stanice. Konstrukční výkres není cílem této práce, v praxi jej zpracovává konstruktér. Rozměrové náčrty nádob jsou zobrazeny na obr. 4.2, 4.3, 4.4 a 4.5.

Nádoby pro kyselý, zásaditý prostředek, vodu a použitou vodu jsou totožné. Nádoba na louh je vybavena izolací proti ztrátě tepla a kryta nerezovým plechem. Dezinfekce vlastní nádobu nemá, je čerpána přímo do potrubí membránovým čerpadlem ze zásobníku. Nádoby budou navrženy s následujícími parametry:

- Průměr tanku 1850 mm
- Celková výška cca 3700 mm
- Užitečný objem 5 m<sup>3</sup>
- Vnitřní povrch R<sub>a</sub> = 0,4 μm
- Vnitřní svary vybroušeny
- Kónické dno a víko 20°
- Materiál – nerezová ocel 1 4301

Vybavení tanku:

- |                                       |      |
|---------------------------------------|------|
| • Průlez DN 500                       | 1 ks |
| • Přepad DN 100                       | 1 ks |
| • Sanitační koule                     | 1 ks |
| • Vypouštěcí hrdlo DN 80              | 1 ks |
| • Vypouštěcí hrdlo - kanalizace DN 80 | 1 ks |
| • Napouštěcí hrdlo na louh DN 15      | 1 ks |
| • Napouštěcí hrdlo na kyselinu DN 15  | 1 ks |
| • Napouštěcí hrdlo na vodu DN 50      | 1 ks |
| • Vzorkovací kohout DN 10             | 1 ks |
| • Stavoznak                           | 1 ks |
| • Tlakové čidlo                       | 1 ks |
| • Hlídač úrovně hladiny (LS+)         | 1 ks |
| • Vstup CIP                           | 1 ks |

Vstupy pro louh a kyselinu nejsou vybaveny nádoby na vodu a použitou vodu.

#### 4.3.2 Další zařízení okruhu CIP stanice

Kromě dříve uvedených nádob obsahuje CIP stanice další zařízení, jedná se o:

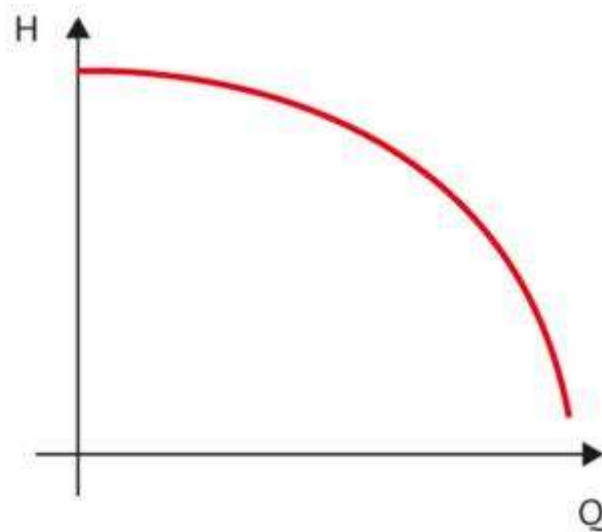
2 tepelné výměníky pro ohřev sanitačního média o průtočném množství 40 m<sup>3</sup>/hod z nerezavějící oceli 1 4301. Je požadován ohřev o 15 °C. Tepelný výměník je izolován a obsahuje pojišťovací a odvzdušňovací ventil. Výběr a návrh výměníku tepla je řešen v kap. 5.

2 propojovací panely a rozměru cca 600 x 600 mm z nerezové oceli, osazené propojovacími armaturami.

2 odstředivá čerpadla v celonerezovém provedení. 3 membránová čerpadla pro dávkování sanitačních prostředků do nádob a dezinfekce. Každé čerpadlo od různých výrobců má svou



výkonovou Q-H křivku (ukázka křivky viz graf 4.1). Dle této křivky jsou zvolená čerpadla zařazena do systému. Tomu odpovídá z katalogového listu daného čerpadla elektrický příkon na motoru a sací poměry.



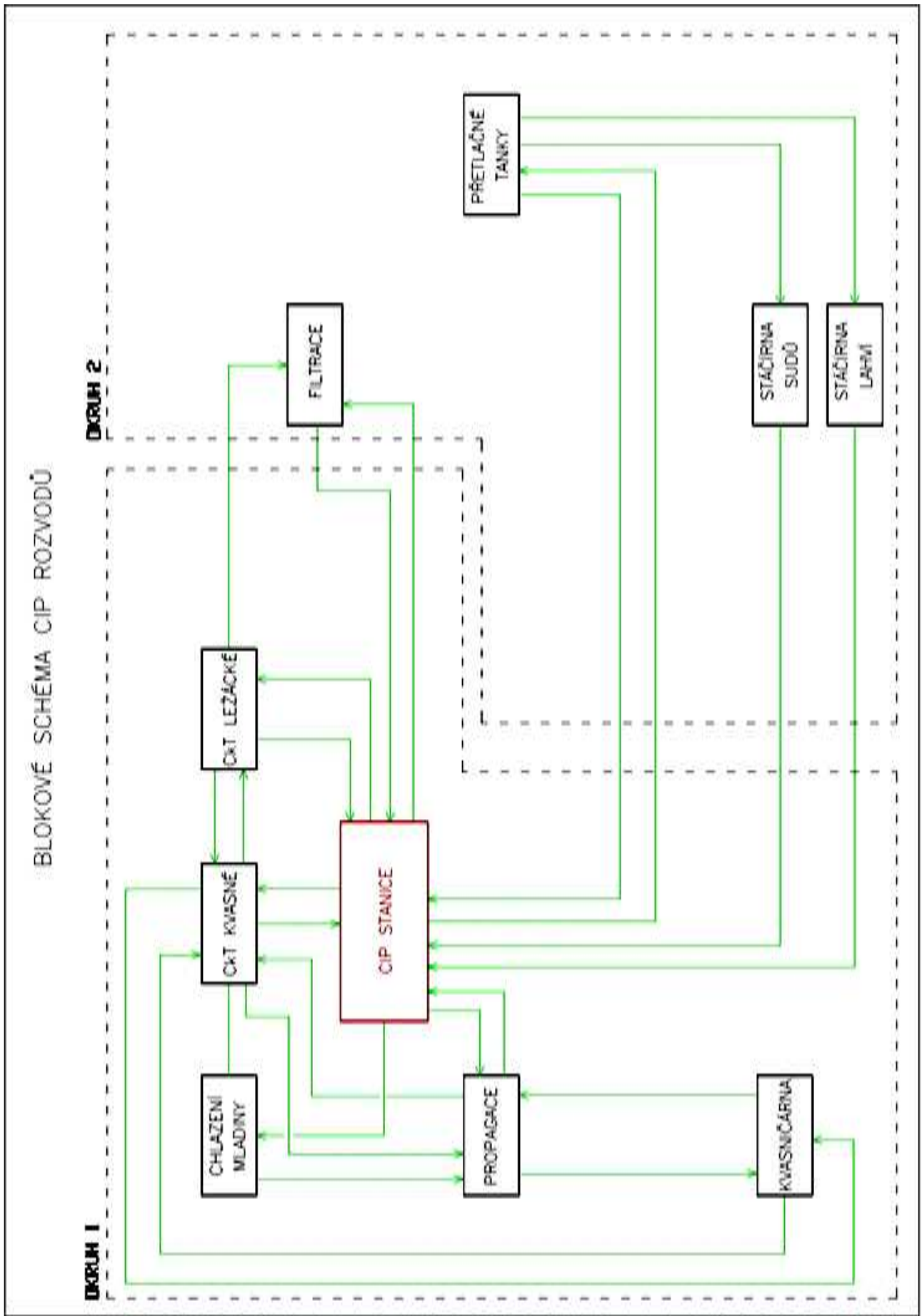
**Graf 4.1** Ukázka Q-H křivky čerpadla [14]

Dále CIP stanice obsahuje následující armatury:

- Klapka ruční uzavírací
- Klapka uzavírací s pneupohonem
- Pojišťovací ventil
- Zpětný ventil
- Síto
- Odvaděč kondenzátu

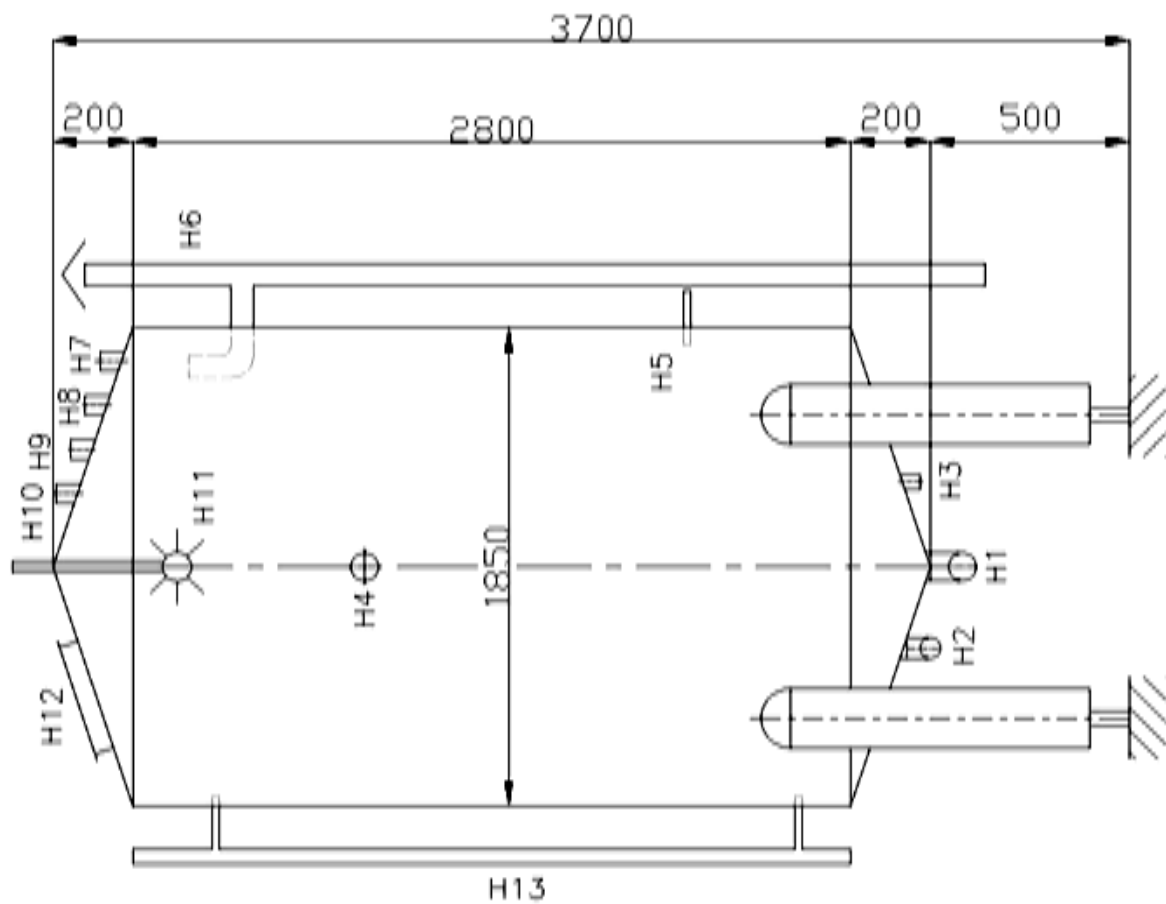
Komponenty pro měření a regulaci jsou:

- Měření vodivosti v potrubí
- Hlídač proudění
- Teplotní senzor
- Frekvenční měnič
- Hladinové sondy
- Průtokoměry



Obr. 4.1 Blokové schéma CIP rozvodů

CIP TANK – KYSELINA, 5m3



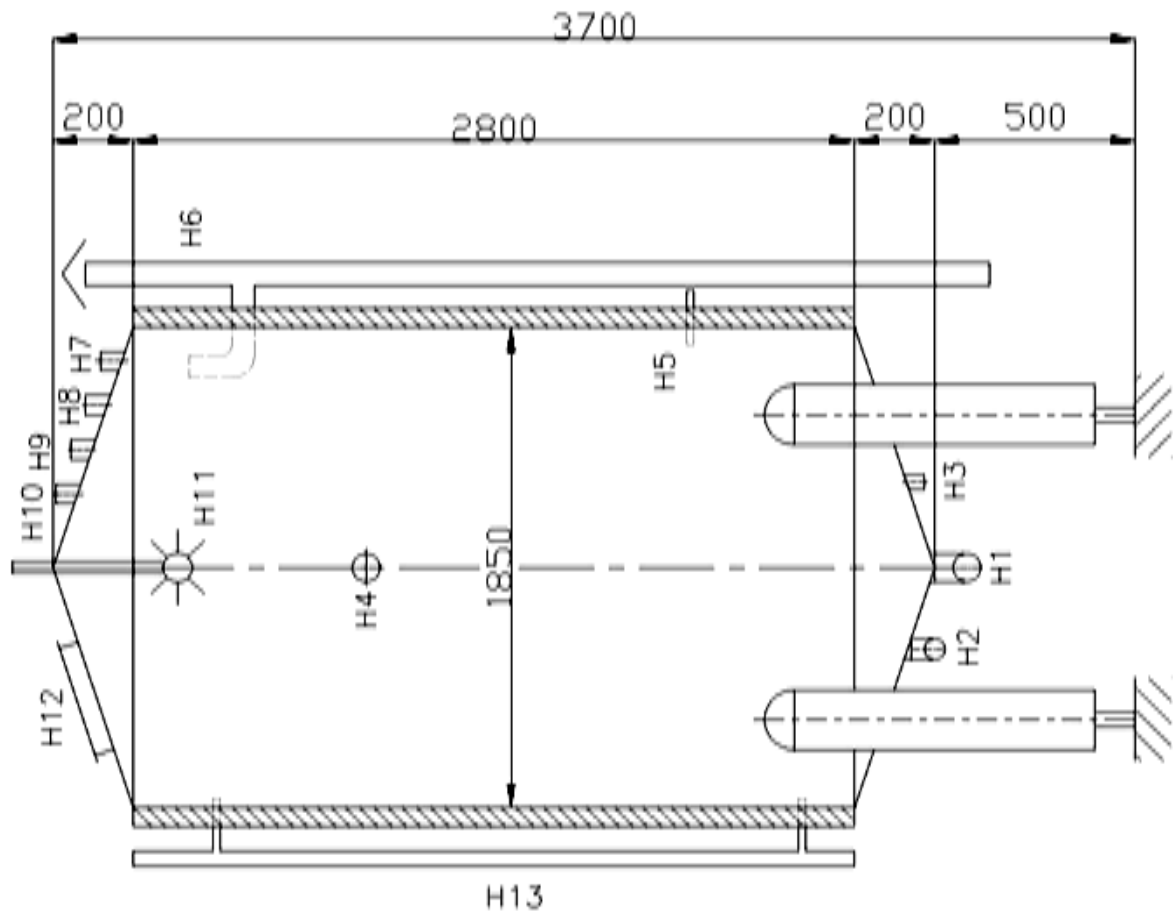
TABULKA HRDEL

Čísloč.	Podčet kusů	DN	Určení	Zakolčení
H1	1	80	Výpust-končí	Volná trubka
H2	1	80	Výpust	Volná trubka
H3	1	1"	Tlakové čidlo	/
H4	1	80	Vstup CIP	Volná trubka
H5	1	10	Vzorkovací kohout	/
H6	1	100	Přepad	/
H7	1	15	Vstup louh	Volná trubka
H8	1	15	Vstup kyselina	Volná trubka
H9	1	1"	LS+	/
H10	1	50	Vstup voda	Volná trubka
H11	1	/	CIP+ HLUKICE	Volná trubka
H12	1	500	Průřez	/
H13	1	/	Stavoznak	Plast ev.sklo

ROZMĚROVÝ NÁČTR

Obr. 4.2 Nádoba na kyselinu

CIP TANK – LOUH, 5m<sup>3</sup>

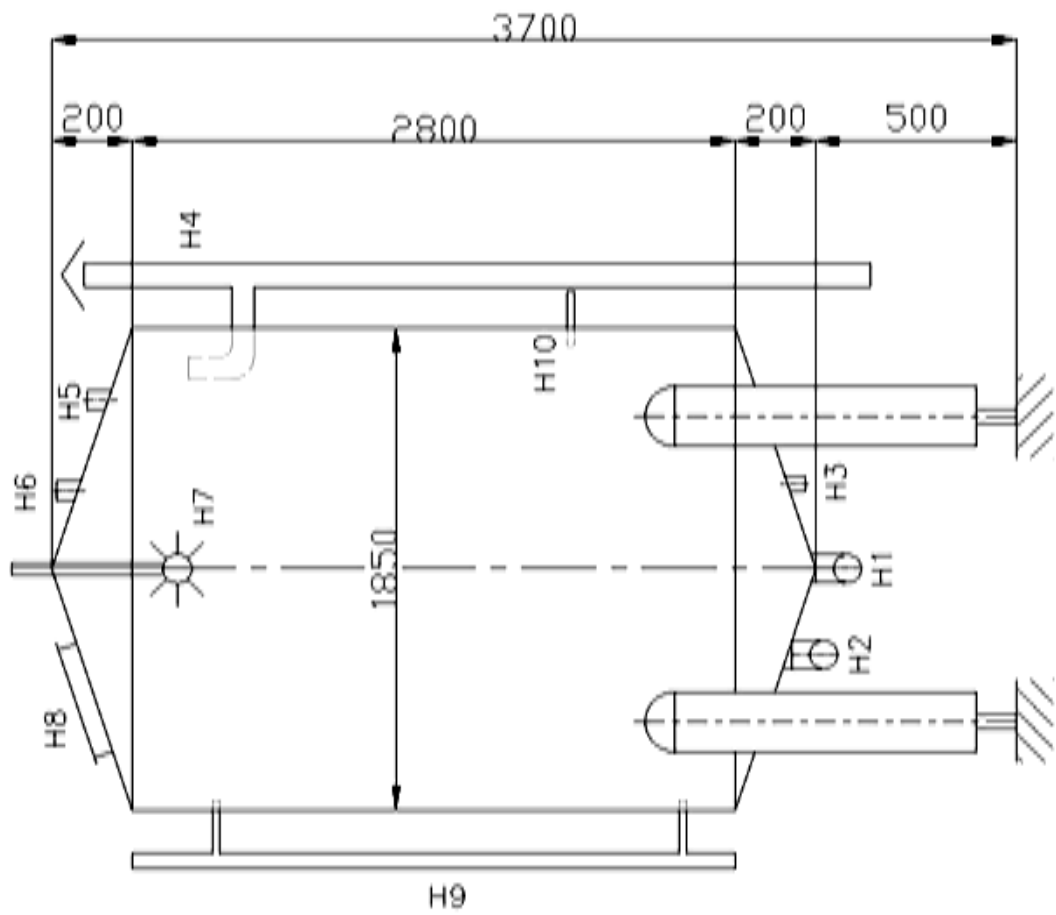


TABULKA HRDEL				
Označ.	Počet kusů	DN	Určení	Zakomčení
H1	1	80	Vypust-končí	Volná trubka
H2	1	80	Vypust	Volná trubka
H3	1	1"	Tržkové čidlo	/
H4	1	80	Vstup CIP	Volná trubka
H5	1	10	Vzorkovací kohout	/
H6	1	100	Přepad	/
H7	1	15	Vstup louh	Volná trubka
H8	1	15	Vstup kyselina	Volná trubka
H9	1	1"	LS+	/
H10	1	50	Vstup voda	Volná trubka
H11	1	/	CIP+ HLAVICE	Volná trubka
H12	1	500	Průlez	/
H13	1	/	Stavacznak	Plast ev.sklo

ROZMĚROVÝ NÁČTR

Obr. 4.3 Nádoza na louh

CIP TANK-VODA, cca 5m<sup>3</sup>

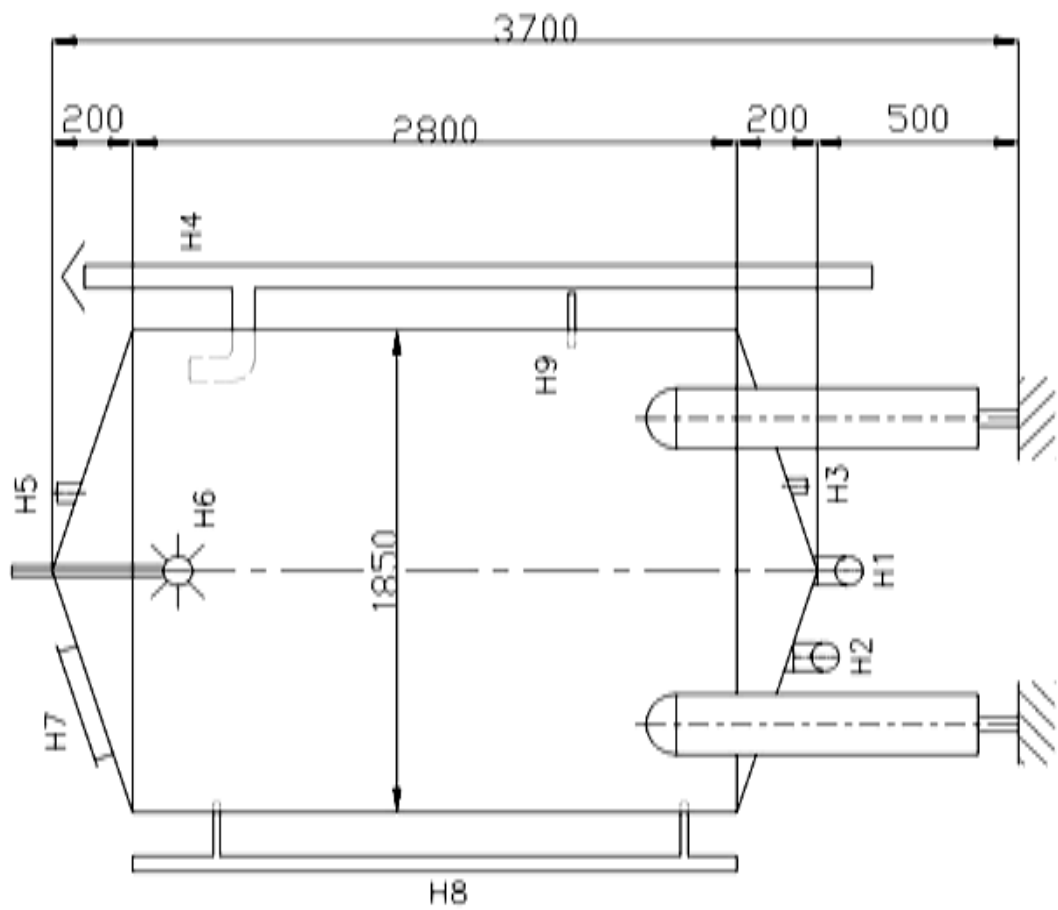


TABULKA HRDEL				
Označ.	Počet kusů	DN	Určení	Zakomčení
H1	1	80	Vypust-končí	Volná trubka
H2	1	80	Vypust	Volná trubka
H3	1	1"	Tlakové čidlo	/
H4	1	100	Přepad	/
H5	1	50	Vstup-voda	Volná trubka
H6	1	1"	LS+	/
H7	1	1"	CIP hlavice	Volná trubka
H8	1	500	Průlez	Netěsný
H9	1	/	Slavoznak	Plast er.sílo
H10	1	10	Vzork. kohout	/

ROZMĚROVÝ NÁČTR

Obr. 4.4 Nádoba na vodu

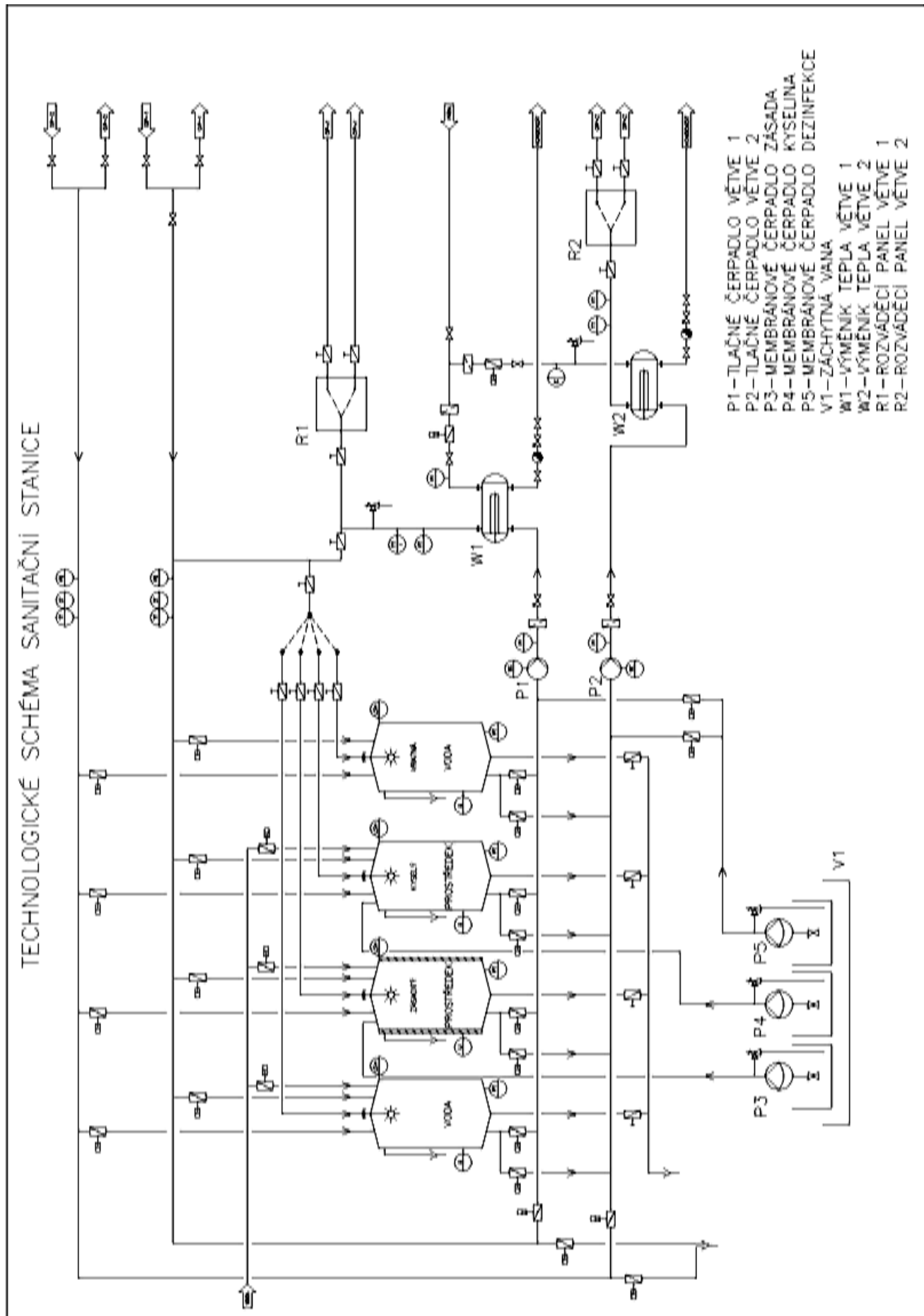
CIP TANK – POUŽITÁ VODA, cca 5m<sup>3</sup>



TABULKA HRDEL			
Označ.	Počet kusů	Uvětení	Zakoučení
H1	1	Výpust–handl	Volná trubka
H2	1	Výpust	Volná trubka
H3	1	Tlakové čidlo	/
H4	1	Přespad	/
H5	1	1" LS+	/
H6	1	1" OP hlavice	Volná trubka
H7	1	Průřez	Netlakový
H8	1	Stavoznak	Plošt ex.skle
H9	1	Vzork. kohout	/

ROZMĚROVÝ NÁČTR

Obr. 4.5 Nádoba na použitou vodu



Obr. 4.6 Technologické schéma sanitační stanice

## 5 VÝBĚR A NÁVRH VHODNÉHO TEPELNÉHO VÝMĚNÍKU TEPLA

Pro správnou sanitaci je nutno zajistit ohřev jednotlivých roztoků (zásaditých). Ohřev je možné realizovat vestavěným topným tělesem nebo tepelným výměníkem umístěným na výstupu z CIP stanice, kde by se proudící sanitační roztok ohříval pomocí kondenzující páry. Přímá injektáž páry do potrubí nemůže být použita z důvodu naředění roztoku. Použití tepelného výměníku má výhodu v tom, že nedochází ke zbytečnému ohřevu celého zásobníku, ale pouze látky v okruhu.

### 5.1 Popis a výběr vhodných výměníků tepla

Pro ohřev roztoku je možné použít trubkový výměník tepla s přepážkovým systémem nebo deskový výměník tepla s profilovanými deskami. Volba typu výměníku závisí na průtoku média, typu média, vstupní a výstupní teplotě, tlaku, odolnosti proti zanášení, dispozičnímu řešení a ekonomické rozvaze.

#### 5.1.1 Trubkový výměník tepla se segmentovým přepážkovým systémem

Trubkové výměníky (viz obr. 5.1) se svazkem trubek v plášti jsou nejpoužívanějšími výměníky v chemickém, petrochemickém a potravinářském průmyslu. Výměníky jsou masivní, snesou tedy velká namáhání v provozu. Tyto typy výměníků jsou univerzálně použitelné jak pro kapalné, tak i plynné médium. Oproti deskovému výměníku lze trubkový snadno čistit.

Hlavní částí výměníku je svazek trubek, vytváří plochu pro přenos tepla mezi látkou proudící v trubkovém prostoru a látkou v mezitrubkovém prostoru. Trubky mohou být hladké nebo žebrované a jsou na koncích uchyceny do trubkovnice zaválcováním do drážek vyřezaných do otvorů trubkovnice nebo přivařeny. Trubkovnice je kruhová deska s otvory pro trubky. K plášti výměníku je připevněna šrouby nebo přivařena. V plášti výměníku se nachází pracovní médium mezitrubkového prostoru. Plášť může být vyroben z bezešvých trubek (do průměru 0,6 m) nebo svinutím kovového lubu a podélně svařeny [6].

Hrdla mezitrubkového prostoru jsou vyrobeny z bezešvých trubek a přivařeny k plášti. Jsou to vstupní a výstupní otvory pro médium mezitrubkového prostoru, pojišťovací armaturu, odvzdušňovací armaturu a případně návarky pro komponenty M+R. Hrdla a komory trubkových prostorů jsou vstupní a výstupní prostory pro vstup a výstup média trubkového prostoru. Vyrábějí se často z legovaných materiálů z důvodu zabránění koroze od média z trubkového prostoru, které bývá většinou korozivní. Druh legovaných ocelí závisí na chemickém a tepelném zatížení výměníku [6].

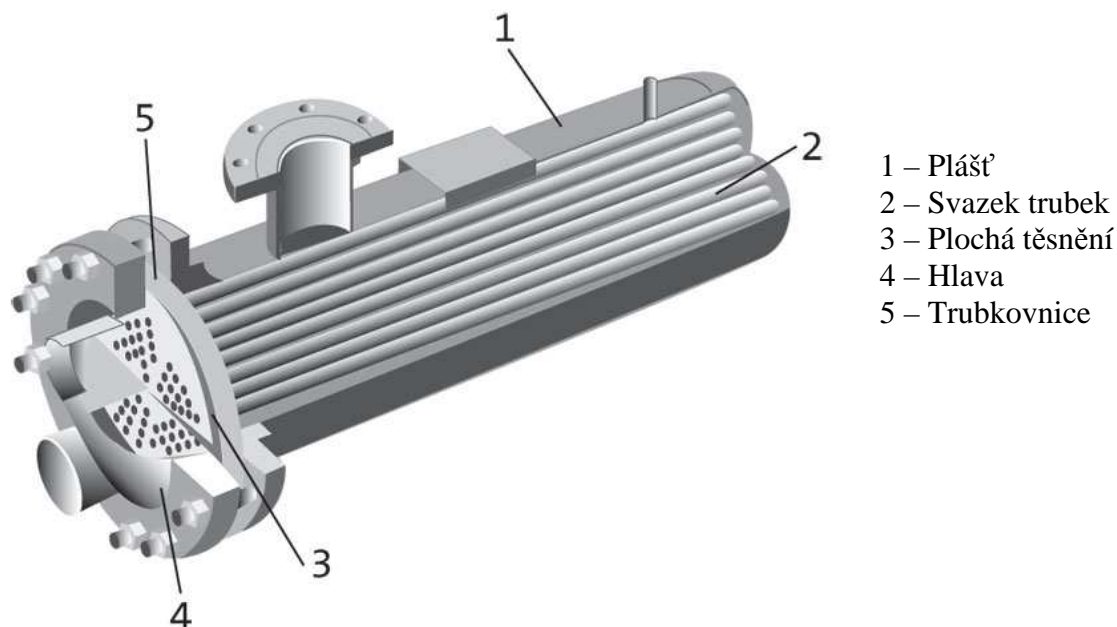
#### VÝHODY:

- Lze použít pro vyšší tlaky a teploty pracovních látek (600 °C, až 6,3 MPa)
- Použití širokého rozsahu materiálů (ocel, plast, sklo)
- Méně náročná výroba
- Vysoké hodnoty součinitelů přestupu tepla (zejména v mezitrubkovém prostoru)
- Možnost mechanického čištění



## NEVÝHODY:

- V porovnání s deskovými výměníky větší rozměry při stejné velikosti plochy výměny tepla
- Vysoké tlakové ztráty (zejména v mezitrubkovém prostoru)
- Vyšší pořizovací cena



**Obr. 5.1** Grafické znázornění trubkového výměníku tepla [9]

### 5.1.2 Deskový výměník tepla

V deskovém tepelném výměníku jsou vedle sebe odděleně vedeny dvě pracovní látky, přičemž nedochází k jejich vzájemnému styku (viz obr. 5.2). Směr toku bývá většinou protiproudý z důvodu maximálního využití předávaného tepla. Dělicím elementem jsou tenké kovové desky, které umožňují snadný přestup tepla z teplé látky na studenou. Může být snadno rozšířen pro zvýšení kapacity nebo otevřen za účelem čištění.

Média se nenacházejí v přímém kontaktu a nemísí se, tím pádem nedochází k promíchání médií nebo k přenosu zápachu, vlhkosti, nečistot či dalších nežádoucích faktorů (chemická kontaminace produktu ohřevným médiem). Použití deskových výměníků usnadňuje montáž a výrazně šetří montážní náklady. Úspora hmotnosti a malé rozměry deskových výměníků jsou dosaženy důmyslnou konstrukcí výměníku.

Teplosměnná plocha výměníku, která je určující pro přenos tepelného výkonu, tvoří zároveň i nosnou konstrukci výměníku u pájených a svařovaných deskových výměníků. U rozebíratelných deskových výměníků jsou desky drženy zvláštní konstrukcí, která se skládá z rámu, krajních desek a přídržných šroubů. Rám bývá vyroben z konstrukční oceli a jeho povrch bývá lakován odolným lakem nebo zapouzdřen nerezovým plechem, který je svařený, svary přebroušeny a povrch vyleštěn do celkového sjednocení na požadovanou kvalitu [6].

Daným řešením se odstraňuje nutnost použít těžký a objemný plášť výměníku. Pro zachování vysoké účinnosti sdílení tepla v deskovém výměníku je nutné trvale

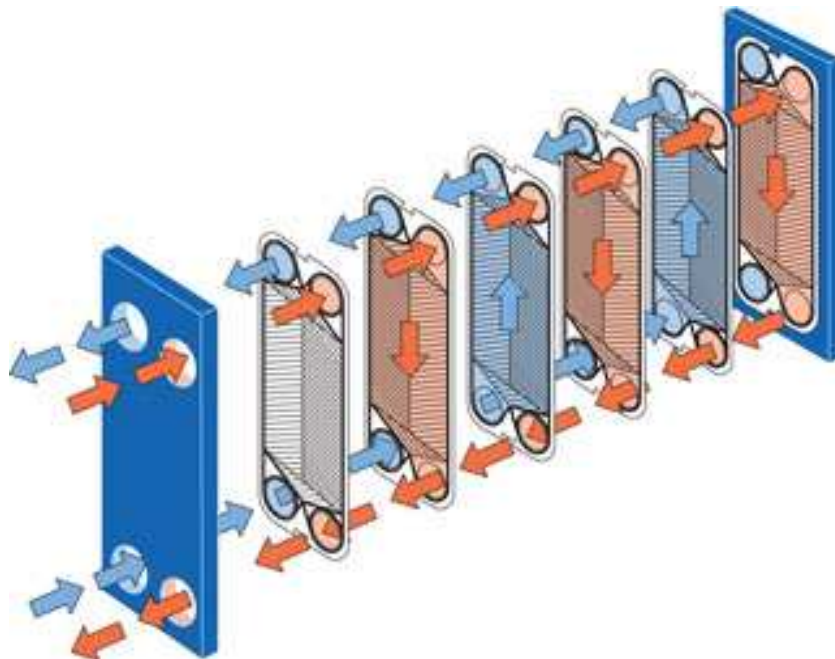
odvádět kondenzát vznikající na teplosměnné ploše desky. V opačném případě dochází k postupnému zvětšování tloušťky kondenzátní vrstvy, což snižuje prostup tepla, neboť vrstva kondenzátu tvoří přídavný tepelný odpor při prostupu tepla deskou. Deskový výměník je proto nutné situovat deskami ve svislé poloze a přívod páry musí být vždy vrchním hrdlem a odvod kondenzátu spodním hrdlem výměníku. Kvalita páry vstupující do deskového výměníku je velmi důležitá pro spolehlivý provoz a dlouhou životnost deskového výměníku, z tohoto důvodu bývá vždy na vstupu páry do výměníku zařazen parní filtr či síto [6].

#### VÝHODY:

- Kompaktní konstrukce (velká plocha výměny tepla)
- Malá zastavěná plocha
- Profilované desky zajišťují i při malých rychlostech turbulentní proudění
- Dobrá možnost čištění
- Snadná a levná instalace
- Jsou vyráběny v modulovém uspořádání, možnost rozšíření přidáním teplosměnných desek na nový požadovaný parametr
- Výměníky lze na jednom rámu skládat v řadách (jedna zóna topná, druhá chladící)

#### NEVÝHODY:

- Omezená odolnost proti zanášení
- Kratší interval mezi opravami, zapříčiněný nutností výměny těsnění jednotlivých teplosměnných desek
- Omezený rozsah teplot a tlaků
- Nebezpečí prasknutí těsnění a následné promíchání pracovních látek



**Obr. 5.2** Princip funkce deskového výměníku [6]

### 5.1.3 Výběr vhodného typu výměníku

Ve většině pivovarů bývá pro ohřev médií CIP stanice často volen trubkový výměník tepla, pokud to ovšem dovoluje dispoziční řešení místnosti, ve které je výměník spolu s celou CIP stanicí umístěn. Tento výměník má sice vyšší pořizovací náklady, ale zaručuje delší provoz bez nutnosti oprav a nebezpečí smíchání čistících a sanitačních prostředků s ohřevným médiem. Z tohoto důvodu byl i pro tento případ ohřevu čistících a sanitačních médií v navrhované CIP stanici zvolen jako nejlepší řešení trubkový výměník tepla se segmentovým přepážkovým systémem. V další části této práce následuje jeho předběžný („ruční“) a důkladný (pomocí programu HTRI) výpočet.

## 5.2 Návrh tepelného výměníku

Jak bylo uvedeno v předchozí kapitole, pro ohřev vody, sanitačních médií a dezinfekce je volen trubkový výměník tepla s přepážkovým systémem. Vstupní data pro výpočet tohoto výměníku jsou uvedena v tab. 5.1.

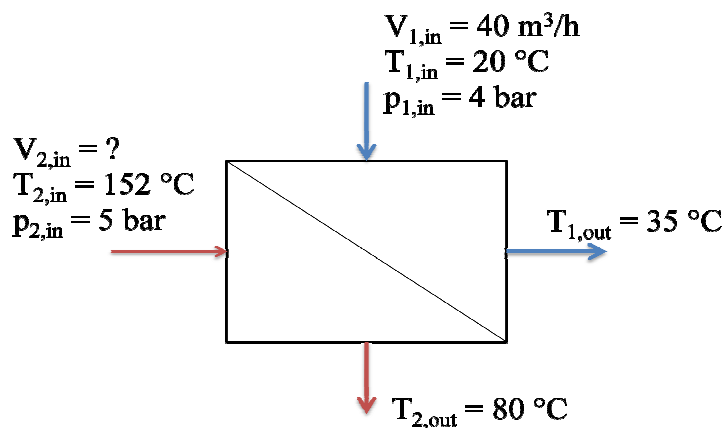
**Tab. 5.1** Vstupní parametry pro návrh výměníku tepla

	Horké médium	Chladné médium
Název	pára	NaOH 2% HNO <sub>3</sub> 2% H <sub>2</sub> O Dezinfekce 0,1%
Objemový průtok, m <sup>3</sup> /hod	z tepelné bilance	40
Teplota na vstupu, °C	152	20
Teplota na výstupu, °C	80	35
Tlak na vstupu, bar	5	4

Pozn.: Pára je umístěna v mezitrubkovém prostoru a kondenzuje. Při výpočtech se uvažují vlastnosti sanitačních a čistících prostředků shodné s vlastnostmi vody.

### Bilanční výpočet navrhovaného výměníku tepla

Popis zadaných vstupních dat je uveden na obr. 5.3.



**Obr. 5.3** Zadaná vstupní data

Tepelný výkon chladného proudu (čisticích a sanitačních prostředků) je dán rovnicí:

$$Q_1 = \frac{V_1 \cdot \rho_1}{3600} \cdot c_{p,s} \cdot \Delta t = \frac{40.997,1}{3600} \cdot 4178,4 \cdot (35 - 20) = 694380 \frac{J}{s} = 694380 \text{ W}$$

Pro ohřev čisticího a sanitačního média je potřeba výkon 695 kW. Protože musí platit rovnost výkonu horkého a chladného proudu  $Q_1=Q_2=Q$ , je možné vypočítat množství potřebné páry:

$$m_2 = \frac{Q_1}{i_2'' - i_K} = \frac{Q_1}{i_2'' - i_K} = \frac{694380}{(2748,502 - 335,309) \cdot 10^3} = 0,288 \frac{kg}{s} = 1036 \frac{kg}{hod}$$

Pro výkon potřebný k ohřevu čisticího a sanitačního média je potřeba 1036 kg páry hodinově při daných podmínkách.

### 5.2.1 Předběžný návrh – ruční výpočet

V předběžném návrhu tepelného výměníku bude spočtena přibližná hodnota teplosměnné plochy, počet a délka trubek v trubkovnici. Tyto výsledky pak budou sloužit pro podrobný návrh výměníku tepla pomocí profesionálního programu HTRI.

#### Určení geometrie trubek

Jako výchozí rozměr trubek byly zvoleny trubky o vnějším průměru 22 mm a tloušťce 2 mm. Trubky jsou vyrobeny z nerezavějící oceli a uvažuje se jejich tepelná vodivost rovna 45 W/(m.K).

#### Výpočet součinitele přestupu tepla

Součinitel přestupu tepla na straně kondenzující páry byl zvolen pro předběžný výpočet na základě literatury [11, 12]. Jeho hodnota je odhadnuta na 7000 W/(m<sup>2</sup>. K). Významným ovlivňujícím faktorem velikosti teplosměnné plochy je také velikost součinitele přestupu tepla na straně chladného média. Tu je možné jednoduše vypočítat. Pro jeho určení je však potřeba zvolit nejprve rychlost proudění média v trubkách. Pro tuto rychlost byla zvolena hodnota 1,5 m.s<sup>-1</sup>. Z této rychlosti a ze známého průtočného množství média a rozměrů trubek můžeme vypočítat i počet trubek.

Součinitel přestupu tepla v trubkovém prostoru je možné vypočítat např. ze známé rovnice Dittus-Boelter

$$\alpha_1 = \frac{0,023 \cdot Re^{0,8} Pr^{0,4} \cdot \lambda}{d_i} \quad (5.1)$$

Tato rovnice platí pro turbulentní proudění.

Pro střední teplotu chladného média, tj. 27 °C, jsou určeny potřebné fyzikální vlastnosti látky (čisticích a sanitačních prostředků) v trubkovém prostoru (viz tab. 5.2).

**Tab. 5.2** Fyzikální vlastnosti chladného média při střední teplotě 27 °C

Vlastnost	Hodnota
Hustota, kg/m <sup>3</sup>	998,2
Měrná tepelná kapacita, J/(kg.K)	4178,4
Tepelná vodivost, W/(m.K)	0,606
Dynamická viskozita, Pa.s	880,6E-6
Prandtlovo číslo, -	6,08

$$\text{Hodnota Reynoldsova čísla je } Re = \frac{d_i \cdot \rho \cdot u}{\eta} = \frac{0,018 \cdot 998,2 \cdot 1,5}{0,0008806} = 30605$$

Takže součinitel přestupu tepla v trubkovém prostoru je dle rovnice (5.1)

$$\alpha_1 = \frac{0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot \lambda}{d_o} = \frac{0,023 \cdot 30605^{0,8} \cdot 6,08^{0,4} \cdot 0,606}{0,018} = 6182 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$$

### Výpočet součinitele prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla se vypočítá z rovnice pro určení součinitele prostupu tepla pro kruhovou trubku ve tvaru

$$k = \frac{1}{\frac{d_o}{d_i} \left( \frac{1}{\alpha_1} + R_{f,1} \right) + \frac{d_o}{2 \lambda_w} \ln \left( \frac{d_o}{d_i} \right) + \left( \frac{1}{\alpha_2} + R_{f,2} \right)} \quad (5.2)$$

Po dosazení příslušných hodnot do této rovnice dostaneme hodnotu součinitele prostupu tepla

$$k = \frac{1}{\frac{0,022}{0,018} \left( \frac{1}{6182} + 0 \right) + \frac{0,022}{2 \cdot 45} \ln \left( \frac{0,022}{0,018} \right) + \left( \frac{1}{7000} + 0 \right)} = 2567 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$$

### Výpočet středního teplotního spádu

Střední logaritmický teplotní rozdíl bude ležet mezi středním teplotním logaritmickým rozdílem pro čistou kondenzaci horké látky a logaritmickým teplotním rozdílem pro čisté ochlazování horké látky. Pro jednoduchost je uvažováno, že půl výměníku bude sloužit pro kondenzaci a půl pro ochlazování.

Střední logaritmický teplotní spád pro čistou kondenzaci

$$\Delta T_{\ln} = \frac{(t_{21} - t_{11}) - (t_{21} - t_{12})}{\ln \frac{t_{21} - t_{11}}{t_{21} - t_{12}}} = \frac{(152 - 35) - (152 - 20)}{\ln \frac{152 - 35}{152 - 20}} = 124,35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Střední logaritmický teplotní spád pro čisté ochlazování

$$\Delta T_{\ln} = \frac{(t_{21} - t_{11}) - (t_{21} - t_{12})}{\ln \frac{t_{21} - t_{11}}{t_{21} - t_{12}}} = \frac{(152 - 35) - (80 - 20)}{\ln \frac{152 - 35}{80 - 20}} = 85,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Korekční faktor  $F = 1$ , tudíž střední teplotní rozdíl je

$$\Delta T_M = \Delta T_{\ln} \cdot F = 104,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### Výpočet teplosměnné plochy

Velikost teplosměnné plochy se určí z výkonové rovnice výměníku tepla

$$A = \frac{Q}{k \cdot \Delta T_M} = \frac{695146}{2567 \cdot 104,9} = 2,58 \text{ } m^2$$

Z plochy výměny tepla pak můžeme určit velikost výměníku, resp. délku trubek. K tomu však ještě potřebujeme znát počet trubek.

### Výpočet počtu trubek

Ze zadané rychlosti látky v trubkovém prostoru, průtočného množství a geometrii trubek, vypočítáme potřebný průtočný průřez a následně počet trubek.

Průtok média v trubkách je  $40 \text{ } m^3/h$  a požadovaná rychlost byla zvolena na hodnotu  $1,5 \text{ } m/s$ , takže požadovaná průtočná plocha trubek je

$$S = \frac{V_1}{u_1} = \frac{40/3600}{1,5} = 0,007407 \text{ } m^2$$

a z toho potřebný počet trubek

$$n_T = \frac{S}{\pi \cdot d_i} = \frac{0,007407}{\pi \cdot 0,018^2 / 4} = 29 \text{ } trubek$$

### Potřebná délka trubek

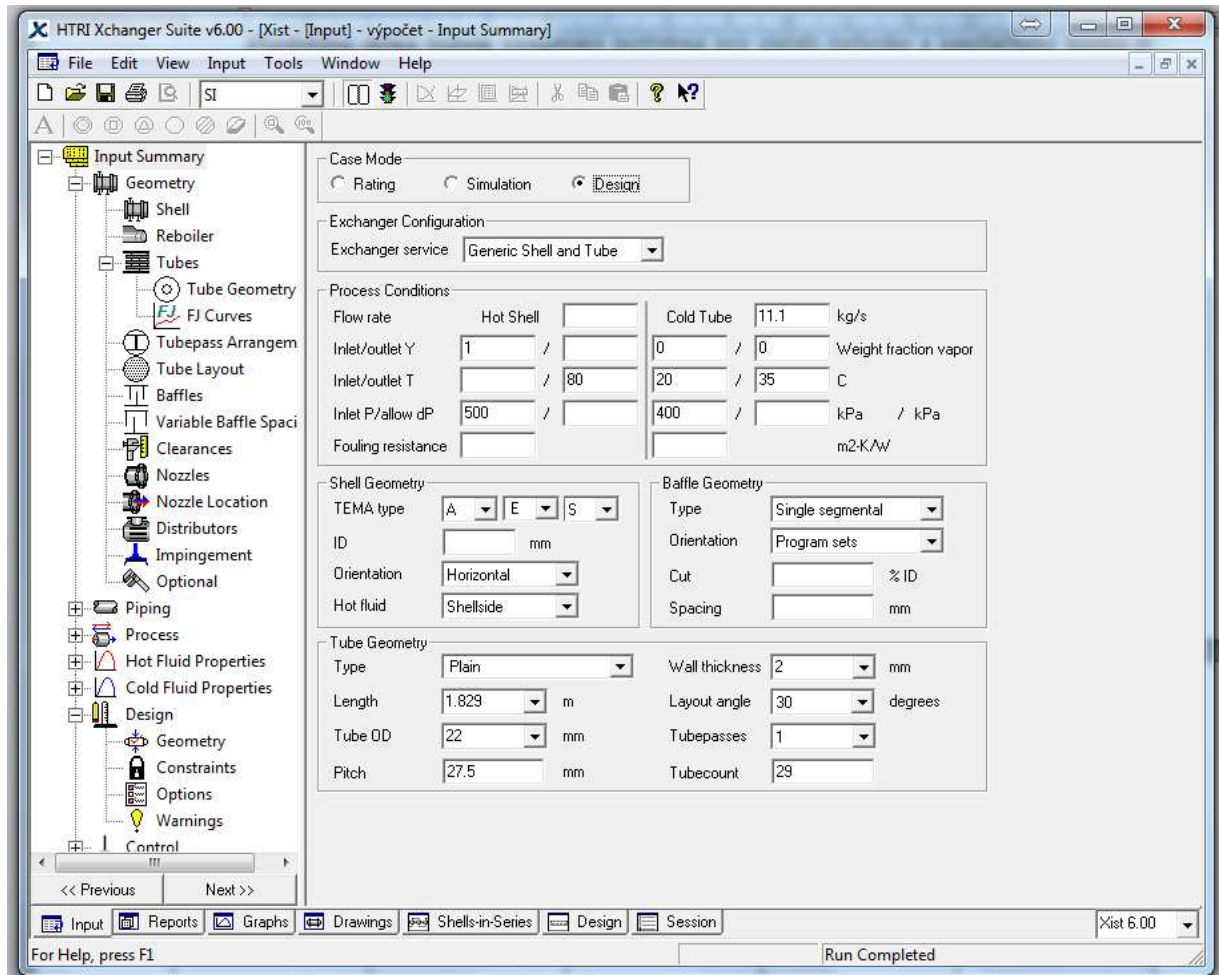
Potřebná délka trubek se vypočítá z požadované plochy výměny tepla a počtu trubek.

$$L = \frac{A}{n_T \cdot \pi \cdot d_o} = \frac{2,58}{29 \cdot \pi \cdot 0,022} = 1,29 \text{ } m$$

Předběžná délka trubek výměníku potřebná pro ohřátí čistícího a sanitačního média je  $1,29$  metrů. Tato předběžně vypočtená data budou sloužit jako prvotní vstup pro přesný výpočet výměníku tepla pomocí programu HTRI.

## 5.2.2 Výpočet pomocí HTRI (design case)

Pro zadaná vstupní data a podmínky a výsledky předběžného výpočtu, které byly použity jako prvotní hodnoty velikosti výměníku, bylo v programu HTRI (ukázka vstupního okna programu je na obr. 5.4) podrobně vypočítáno několik variant velikostí (v závislosti na délce trubek) výměníku tepla. Výsledky těchto výpočtů jsou shrnuty v tab. 5.3. Všechna ostatní potřebná data (vzdálenosti od stěn, rozteče přepážek, velikost výřezu přepážek, atd.) si program HTRI vybral sám na základě požadavků dle TEMA.



Obr. 5.4 Ukázka vstupního okna modulu určeného k výpočtu trubkových výměníků tepla profesionálního programu HTRI

**Tab. 5.3** Hlavní výsledky podrobných výpočtů výměníku v programu HTRI

Varianta	1	2	3	4	5
Overdesign, %	10,5	28,9	76,3	121,3	168,0
Délka trubek, -	1,3	1,5	2	2,5	3,0
Plocha výměny tepla, m <sup>2</sup>	2,6	3,0	4,0	5,0	6,0
LMTD, °C	116,9	117,0	117,0	116,9	116,8
$\alpha_1$ , W/(m <sup>2</sup> .K)	7254	7223	7276	7243	7228
$\alpha_2$ , W/(m <sup>2</sup> .K)	6567	6684	6889	6990	7089
k, W/(m <sup>2</sup> .K)	2774	2789	2834	2845	2858
u <sub>1</sub> , m/s	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
u <sub>2</sub> , m/s	8,1	8,2	10,6	12,5	13,4
$\Delta p_1$ , kPa	8,7	9,0	9,7	10,5	11,3
$\Delta p_2$ , kPa	1,2	1,3	1,6	2,4	3,6

Jako nejvhodnější velikost výměníku tepla, určeného pro ohřev čistícího a sanitačního média kondenzující parou, byla vybrána varianta číslo 2. Tato varianta má sice téměř 30% předdimenzování, ale vzhledem k tomu, že nebylo uvažováno zanášení je to vhodná varianta. Podrobný výpis výsledků získaných programem HTRI je uveden v příloze P1. Tato vypočtená data budou sloužit jako vstupní data pro konstrukci výměníku.



## 6 EKONOMICKÁ BILANCE SANITACÍ

Stanovení ekonomické bilance sanitací se provádí z důvodu zjištění nákladovosti čištění potrubí a zařízení a jeho následné rozpočítání do ceny výsledného produktu.

### 6.1 Vstupní data

Pro určení ekonomické bilance je potřeba disponovat potřebnými vstupními daty, jedná se zejména o:

- Množství pitné vody potřebné k sanitaci
- Množství energie pro ohřev sanitačních médií
- Množství zvolené chemikálie pro sanitace
- Množství zvolené chemikálie pro dezinfekci
- Elektrickou energii (pohon čerpadel, napájení M+R, napájení řídicí jednotky).

Hlavní vliv pro velikost vstupů má předpokládaná délka jednotlivých sanitačních kroků a z toho plynoucí celková doba sanitace.

Jednotlivé vstupy jsou měřitelné:

- Voda průtokoměrem na vstupu do CIP stanice
- Pára měřicí clonou na vstupu do CIP stanice
- Chemikálie objemem nákupu u specializovaných firem
- Elektrická energie podružným elektroměrem na vstupu do CIP stanice.

Pokud provozovatel nemá k dispozici všechny výše uvedené informace od měřidel, stanovuje jejich veličinu buď výpočty, nebo empiricky. Velikost vstupů je dána četností prováděné sanitace, která se řídí danou potřebou dodržení standardů. Ekonomická bilance se provádí zpravidla jednou měsíčně. Různí se od množství vyprodukovaného piva za jednotlivé měsíce (sezónnost, špičky jako například léto, svátky apod.). Celkové rozpočítání do ceny produktu se provádí v časovém horizontu jednoho roku.

U navrhované CIP stanice se předpokládají dva sanitační okruhy. Jeden okruh bude sloužit pro sanitaci potrubí a zařízení před filtrací, druhý okruh bude sloužit pro sanitaci potrubí a zařízení za filtrací včetně filtrace.

Pro výpočet ekonomie sanitací se předpokládá:

- Na 1. okruhu je sedm potrubních sanitačních cest a tři procesy čištění tanků.  
Potrubní cesty: od chladiče mladiny do CKT, od chladiče mladiny do propagační stanice, od chladiče mladiny do kvasničárny, plynová potrubí propagační stanice a kvasničárny, plynová potrubí CKT, potrubí z CKT na filtraci a potrubí sběru kvasnic.  
Na prvním okruhu se předpokládá čištění nádob propagační stanice, nádob kvasničárny a CKT. Provádí se jeden předvýplach a dva výplachy.
- Na 2. okruhu pět potrubních sanitačních cest a dva procesy čištění tanků.  
Potrubní cesty: potrubí filtrace, potrubí z filtrace na přetlačné tanky, potrubí z přetlačných tanků na lahvovou linku, potrubí z přetlačných tanků na KEG linku a plynová potrubí přetlačných tanků.  
Na druhém okruhu se předpokládá čištění nádob ve filtraci (puffer tanky, vlastní filtr) a čištění přetlačných tanků. Provádí se jeden předvýplach a dva výplachy.

Předpoklad provádění čištění na všech větvích je průměrně jedenkrát za dva dny. Předpokládaná doba výměny roztoků za nové je dvakrát za měsíc.

### **Předpoklady časů a délek sanitace**

Okruh 1 sanitace potrubí a tanků:

- Průměrná délka jednoho sanitačního okruhu 60 m, včetně zpátečního potrubí.
- Předvýplach a 2 výplachy vodou v délce pěti minut (celkem  $t_V = 15$  minut).
- Délka sanitace louhem a kyselinou  $t_L = t_K = 20$  minut.
- Účinek dezinfekce  $t_D = 10$  minut.

Okruh 2 sanitace potrubí a tanků:

- Průměrná délka jednoho sanitačního okruhu 60 m, včetně zpátečního potrubí.
- Předvýplach a 2 výplachy vodou v délce pěti minut (celkem  $t_V = 15$  minut).
- Délka sanitace louhem a kyselinou  $t_L = t_K = 20$  minut.
- Účinek dezinfekce  $t_D = 10$  minut.

### **Předpokládané modelové výchozí technické parametry**

Okruh 1 sanitace potrubí a tanků:

- Obsah sanitační nádoby  $V_N = 50$  hl – vstupní objemová veličina sanitačních médií.
- Koncentrace louhu  $c_L = 2\%$ .
- Koncentrace kyseliny  $c_K = 2\%$ .
- Dezinfekce peroxidovou vodou  $c_D = 0,1\%$ .
- Elektrický příkon všech odběrových míst při sanitaci  $W_P = 10$  kW (zjištěno dle katalogu firmy GEA Tuchenhausen s.r.o.).
- Průměrný průtok  $Q_T = 250$  hl/hod sanitačního média, dezinfekce a vody pro tanky.
- Průměrný průtok  $Q_P = 350$  hl/hod sanitačního média, dezinfekce a vody pro potrubí.
- Kyselina a louh jsou po sanitaci vráceny zpět do nádob, pro únik je počítáno 5 % celkového objemu médií v nádrži.
- Počet sanitací za 1 měsíc  $n_s = 15$ .

Okruh 2 sanitace potrubí a tanků:

- Obsah sanitační nádoby  $V_N = 50$  hl – vstupní objemová veličina sanitačních médií.
- Koncentrace louhu  $c_L = 2\%$ .
- Koncentrace kyseliny  $c_K = 2\%$ .
- Dezinfekce peroxidovou vodou  $c_D = 0,1\%$ .
- Elektrický příkon všech odběrových míst při sanitaci  $W_P = 12,5$  kW (zjištěno dle katalogu firmy GEA Tuchenhausen s.r.o.).
- Průměrný průtok  $Q_T = 300$  hl/hod sanitačního média, dezinfekce a vody pro tanky.
- Průměrný průtok  $Q_P = 420$  hl/hod sanitačního média, dezinfekce a vody pro potrubí.
- Kyselina a louh jsou po sanitaci vráceny zpět do nádob, pro únik je počítáno 5 % celkového objemu médií v nádrži.
- Počet sanitací za 1 měsíc  $n_s = 15$ .

## 6.2 Výpočet spotřeby vody, sanitačních médií a elektrické energie za 1 měsíc

Jak bylo uvedeno, sanitace se provádí jednou za dva dny. Pro výpočet celkové spotřeby vody, dezinfekce a elektrické energie je nutno nejdříve spočítat spotřeby pro jednotlivé potrubní sanitační cesty a procesy čištění tanků pro první a druhý okruh. Spotřeby se následně sečtou a vynásobí příslušnou cenou, čímž se zjistí celkové provozní náklady. Uvažuje se s tím, že poslední výplach je použit jako předvýplach v dalším kroku.

Louh a kyselina se vrací po sanitaci zpět do nádoby, ale uvažuje se 5% ztráta objemu nádoby během dvoudenní sanitace. Ztráty se pro oba okruhy počítají dohromady. Tyto roztoky se mění dvakrát za měsíc, avšak vzniklá ztráta se průběžně doplňuje.

V této části je počítána spotřeba jednotlivých médií za 1 měsíc.

### 6.2.1 Spotřeba vody, el. energie a dezinfekce pro 1. okruh

Dle následujících vzorců bude do tabulky dosazována spotřeba vody, el. energie a dezinfekce za 1 měsíc v jednotlivých sanitačních krocích (názorný výpočet je proveden pro sanitaci propagační stanice), výsledky jsou uvedeny v tab. 6.1.

Výpočet spotřeby vody (předvýplach a dva výplachy) bez uvažování využití posledního výplachu jako předvýplachu v dalším kroku

$$V_V = Q_T \cdot t_V \cdot n_s = 250 \cdot 0,25 \cdot 15 = 937,5 \text{ hl}$$

Výpočet spotřeby el. energie

$$V_W = W_P \cdot t_C \cdot n_s = 10 \cdot 1,08 \cdot 15 = 157,5 \text{ kW.h}$$

Výpočet spotřeby dezinfekce

$$V_D = Q_T \cdot t_D \cdot n_s = 250 \cdot \frac{1}{6} \cdot 15 = 625 \text{ hl}$$

**Tab. 6.1** Výsledky spotřeb vody, el. energie a dezinfekce pro 1. okruh

Měsíční cyklus			
Proces CIP	Spotřeba vody [hl]	Spotřeba el. energie [kW.h]	Spotřeba dezinfekce [hl]
Sanitace propagační stanice	937,5	157,5	625,0
Sanitace nádob kvasničárny	937,5	157,5	625,0
Sanitace cylindrokónických tanků	937,5	157,5	625,0
Potrubní sanitace od chladiče mladiny do CKT	1312,5	157,5	875,0
Potrubní sanitace od chladiče mladiny do propagační stanice	1312,5	157,5	875,0
Potrubní sanitace od chladiče mladiny do kvasničárny	1312,5	157,5	875,0
Potrubní sanitace od potrubí propagační stanice do kvasničárny	1312,5	157,5	875,0
Potrubní sanitace plynových potrubí CKT	1312,5	157,5	875,0
Potrubní sanitace z CKT na filtraci	1312,5	157,5	875,0
Potrubní sanitace potrubí sběru kvasnic	1312,5	157,5	875,0
<b>Celkem</b>	<b>12000,0</b>	<b>1575,0</b>	<b>8000</b>
<b>Celková skutečná spotřeba</b>	<b>10000,0</b>	<b>1575,0</b>	<b>11200,0</b>

Výsledná hodnota je pro vodu násobena korekční konstantou  $k_s = 1,25$ , která koriguje výsledek úniku do kanalizace. Dále je odečtena jedna třetina spotřeby vody, která je uschována v nádobě na použitou vodu z posledního výplachu pro následný předvýplach. Pro dezinfekci je výsledná hodnota násobena konstantou  $k_d = 1,4$ , která koriguje výsledek úniku do kanalizace. Výsledky jsou uvedeny v posledním řádku tabulky 6.1.

### 6.2.2 Spotřeba vody, el. energie a dezinfekce pro 2. okruh

Postupuje se stejně jako u okruhu 1. Pro názornost jsou ukázány výpočty spotřeby vody, el. energie a dezinfekce za 1 měsíc v jednotlivých sanitačních krocích (názorný výpočet je proveden pro sanitaci propagační stanice), výsledky jsou uvedeny v tab. 6.2.

Výpočet spotřeby vody (předvýplach a dva výplachy) bez uvažování využití posledního výplachu jako předvýplachu v dalším kroku.

$$V_v = Q_T \cdot t_v \cdot n_s = 300 \cdot 0,25 \cdot 15 = 1125 \text{ hl}$$

Výpočet spotřeby el. energie

$$V_w = W_p \cdot t_c \cdot n_s = 12,5 \cdot 1,08 \cdot 15 = 202,5 \text{ kW.h}$$

Výpočet spotřeby dezinfekce

$$V_D = Q_T \cdot t_D \cdot n_s = 300 \cdot \frac{1}{6} \cdot 15 = 750 \text{ hl}$$

**Tab. 6.2** Výsledky spotřeb vody, el. energie a dezinfekce pro 2. okruh

Měsíční cyklus			
Proces CIP	Spotřeba vody [hl]	Spotřeba el. energie [kW.h]	Spotřeba dezinfekce [hl]
Sanitace puffer tanků a vlastního filtru	1125,0	202,5	750,0
Sanitace přetlačných tanků	1125,0	202,5	750,0
Potrubní sanitace filtrace	1575,0	202,5	1050,0
Potrubní sanitace z filtrace na přetlačné tanky	1575,0	202,5	1050,0
Potrubní sanitace z přetlačných tanků na lahvovou linku	1575,0	202,5	1050,0
Potrubní sanitace z přetlač. tanků na KEG linku	1575,0	202,5	1050,0
Potrubní sanitace plynových potrubí přetlačných tanků	1575,0	202,5	1050,0
<b>Celkem</b>	<b>10125,0</b>	<b>1417,5</b>	<b>6750,0</b>
<b>Celková skutečná spotřeba</b>	<b>8437,5</b>	<b>1417,5</b>	<b>9450,0</b>

Výsledná hodnota je pro vodu násobena korekční konstantou  $k_s = 1,25$ , která koriguje výsledek úniku do kanalizace. Dále je odečtena jedna třetina spotřeby vody, která je uschována v nádobě na použitou vodu z posledního výplachu pro následný předvýplach. Pro dezinfekci je výsledná hodnota násobena konstantou  $k_d = 1,4$ , která koriguje výsledek úniku do kanalizace. Výsledky jsou uvedeny v posledním řádku tabulky 6.2.

### 6.2.3 Spotřeba všech médií za 1 měsíc

V této části je uveden výpočet spotřeby jednotlivých médií za 1 měsíc pro oba okruhy dohromady.

#### Spotřeba 2% louhu

Louh se po provedení sanitace vrací zpět do nádrže, je však uvažována 5% ztráta z celého objemu nádrže pro dvoudenní cyklus. Obsah nádrže se mění 2x měsíčně. Celková spotřeba louhu za 1 měsíc je pak:

$$V_L = 2 \cdot V_n + V_n \cdot 0,05 \cdot n_s = 2 \cdot 50 + 50 \cdot 0,05 \cdot 15 = 137,5 \text{ hl}$$

### Spotřeba 2% kyseliny

Kyselina se po provedení sanitace vrací zpět do nádrže, je však uvažována 5% ztráta z celého objemu nádrže pro dvoudenní cyklus. Obsah nádrže se mění 2x měsíčně. Celková spotřeba kyseliny za 1 měsíc je pak:

$$V_K = 2 \cdot V_n + V_n \cdot 0,05 \cdot n_s = 2 \cdot 50 + 50 \cdot 0,05 \cdot 15 = 137,5 \text{ hl}$$

### Spotřeba vody

$$V_V = V_{V1} + V_{V2} = 10000 + 8437,5 = 18437,5 \text{ hl}$$

### Spotřeba elektrické energie

$$W_W = W_{W1} + W_{W2} = 1575 + 1417,5 = 2992,5 \text{ kW.h}$$

### Spotřeba 0,1% dezinfekce

$$V_D = V_{D1} + V_{D2} = 11200 + 9450 = 20650 \text{ hl}$$

Na základě těchto vypočtených spotřeb médií (tab. 6.3) jsou v další části určeny celkové náklady na sanitaci.

**Tab. 6.3** Celková spotřeba médií

Médium	Spotřeba
Voda	18 437,5 hl
Zásaditý prostředek	137,5 hl
Kyselý prostředek	137,5 hl
Elektrická energie	2 992,5 kW.h
Dezinfekce	20 650,0 hl

## 6.3 Celková cena vody, sanitačních prostředků a elektrické energie

Ceny vody, sanitačních prostředků a dezinfekce byly zjištěny od vedoucího technického úseku Pivovaru Černá Hora a.s.

### Cena spotřebované vody za 1 měsíc

Cena vody:  $C_{Vm3} = 70,3 \text{ Kč/m}^3$ .

Výpočet celkové spotřeby vody  $V_V$  je vypočítán v hl, proto se musí tato hodnota nejprve převést na  $\text{m}^3$ , to se provede podělením  $V_V$  hodnotou 10:

$$C_V = \frac{V_V}{10} \cdot C_{Vm3} = \frac{18437,5}{10} \cdot 70,3 = 129615,6 \text{ Kč}$$

### Cena spotřeby 2% louhu za 1 měsíc

Cena 50% louhu:  $C_{L50\%} = 50 \text{ Kč/l}$ .

Výpočet celkové spotřeby louhu je vypočítán v hl, proto je nutno tuto hodnotu vynásobit hodnotou 100. Cena vody je udávána v  $\text{Kč/m}^3$ , proto je nutno jí podělit hodnotou 1000 pro převedení na  $\text{Kč/l}$ .

Výpočet ceny 2% louhu se započítáním vody na ředění vztažen na 1 litr:

$$C_{L1} = \frac{c_L}{50} \cdot C_{L50\%} + \frac{50 - c_L}{50} \cdot \frac{C_{Vm3}}{1000} = \frac{2}{50} \cdot 50 + \frac{50 - 2}{50} \cdot \frac{70,3}{1000} = 2,067488 \frac{\text{Kč}}{\text{l}}$$

Výpočet celkové ceny 2% louhu pro měsíční cyklus. V ceně spotřeby louhu je započítána spotřeba vody na ředění. Výpočet celkové spotřeby louhu je vypočítán v hl, proto je nutno tuto hodnotu nejprve vynásobit stem:

$$C_L = 100 \cdot V_L \cdot C_{L1} = 100 \cdot 137,5 \cdot 2,067488 = 28427,96 \text{ Kč}$$

### Cena spotřeby 2% kyseliny za 1 měsíc

Cena 60% kyseliny:  $C_{K60\%} = 100 \text{ Kč/l}$ .

Výpočet celkové spotřeby kyseliny je vypočítán v hl, proto je nutno tuto hodnotu vynásobit stem. Cena vody je udávána v  $\text{Kč/m}^3$ , proto je nutno jí podělit hodnotou 1000 pro převedení na  $\text{Kč/l}$ .

Výpočet ceny 2% kyseliny se započítáním vody na ředění vztažen na 1 litr:

$$C_{K1} = \frac{c_K}{60} \cdot C_{K60\%} + \frac{60 - c_K}{60} \cdot \frac{C_{Vm3}}{1000} = \frac{2}{60} \cdot 100 + \frac{60 - 2}{60} \cdot \frac{70,3}{1000} = 3,401 \frac{\text{Kč}}{\text{l}}$$

Výpočet celkové ceny 2% kyseliny pro měsíční cyklus. V ceně spotřeby kyseliny je započítána spotřeba vody na ředění. Výpočet celkové spotřeby kyseliny je vypočítán v hl, proto je nutno tuto hodnotu vynásobit stem:

$$C_K = 100 \cdot V_K \cdot C_{K1} = 100 \cdot 137,5 \cdot 3,401 = 46763,75 \text{ Kč}$$

### Cena spotřeby elektrické energie za 1 měsíc

Cena elektrické energie:  $C_{EE} = 1,86 \text{ Kč/(kW.h)}$ .

$$C_w = V_w \cdot C_{EE} = 2992,5 \cdot 1,86 = 5566,1 \text{ Kč}$$

### Cena spotřeba dezinfekce za 1 měsíc

Cena 40% dezinfekce:  $C_{D40\%} = 90 \text{ Kč/l}$ .

Výpočet celkové spotřeby dezinfekce je vypočítán v hl, proto je nutno tuto hodnotu vynásobit stem. Cena vody je udávána v  $\text{Kč/m}^3$ , proto je nutno jí podělit hodnotou 1000 pro převedení na  $\text{Kč/l}$ .

Výpočet ceny 0,1% dezinfekce se započítáním vody na ředění vztažen na 1 litr:

$$C_{D1} = \frac{c_D}{40} \cdot C_{D40\%} + \frac{40 - c_D}{40} \cdot \frac{C_{Vm3}}{1000} = \frac{0,1}{40} \cdot 90 + \frac{40 - 0,1}{40} \cdot \frac{70,3}{1000} = 0,2951 \frac{\text{Kč}}{\text{l}}$$

Výpočet celkové ceny 0,1% dezinfekce pro měsíční cyklus. V ceně spotřeby dezinfekce je započítána spotřeba vody na ředění. Výpočet celkové spotřeby dezinfekce je vypočítán v hl, proto je nutno tuto hodnotu vynásobit stem:

$$C_D = 100 \cdot V_D \cdot C_{D1} = 100 \cdot 206500,2951 = 6094316 \text{ Kč}$$

Celková cena čištění a sanitací včetně započítání oprav a údržby zařízení je uvedena v tab. 6.4. Pro opravy a údržbu zařízení je připočteno 5 % z celkové ceny čištění a sanitací.

**Tab. 6.4** Celkové provozní náklady

Prováděná operace	Cena za 1 měsíc [Kč]	Cena za 1 rok [Kč]
Cena spotřebované vody	129 616	1 555 392
Cena spotřeby louhu	28 428	341 136
Cena spotřeby kyseliny	46 764	561 168
Cena spotřeby elektrické energie	5566	66 792
Cena spotřeba dezinfekce	609 432	7 313 184
Celková cena sanitací a čištění	819 806	9 837 672
<b>Celkové provozní náklady včetně oprav a údržby</b>	<b>860 797</b>	<b>10 329 557</b>

### Cena sanitace na 0,5 l piva

Za předpokladu provádění sanitace každý druhý den lze rozpočítat cenu sanitace na 0,5 l piva (množství vyprodukovaného piva za 1 rok je  $V_P = 1$  mil. hl). Vyprodukované množství je nutno převést z hl na l a navíc vynásobit hodnotou 0,5 pro získání ceny pro 0,5 l piva:

$$C_{1PIVO} = C_C \cdot \frac{0,5}{100 \cdot V_P} = 10329557 \cdot \frac{0,5}{100 \cdot 10^6} = 0,052 \frac{\text{Kč}}{0,5 \text{ l piva}}$$

Z výpočtů je zřejmé, že sanitace je finančně nákladná. Avšak s ohledem na trvanlivost a stabilitu piva v současné době nezbytná. Provozovateli se investice a provoz CIP stanice navrátí v podobě množství nereklamovaných piv a vyšším prodeji právě pro jejich delší trvanlivost.



## 7 ZÁVĚR

V úvodní části této práce byla popsána technologie výroby piva jak tradičním způsobem, tak způsobem moderním, který je v současné době využíván především většími pivovary. Byly popsány jednotlivé technologie ve studeném bloku pivovaru a jejich sanitací od kvašení piva po stáčení, teorie čištění, čistící a dezinfekční prostředky a teoretický popis CIP sanitační stanice včetně jednotlivých kroků při čištění.

Návrh modelové CIP sanitační stanice se řídí především požadavky zákazníka. Pro pivovar s vyprodukovaným množstvím piva 1 mil. hl za rok byla zvolena CIP stanice čtyřnádobová, přičemž tři nádoby slouží pro uschování vody, kyselého a zásaditého prostředku. Čtvrtá nádoba slouží pro uschování vody použité po posledním výplachu, která se následně použije pro předvýplach v další sanitaci, čímž se sníží její spotřeba a provozní náklady tak výrazně poklesnou. Stručně byly popsány zařízení, které CIP stanice obsahuje. Bylo vytvořeno blokové schéma dvouokruhové sanitační stanice pro studený blok pivovaru, dále rozměrové náčrty všech čtyř nádob a technologické schéma CIP sanitační stanice.

V další části práce byla posouzena vhodnost trubkového a deskového výměníku tepla a zhodnoceny jejich výhody a nevýhody. Pro ohřev sanitačních médií byl zvolen trubkový výměník tepla především z důvodu snadného čištění a nižšího nebezpečí prasknutí těsnění a následného promíchání pracovních látek. Předběžný ruční výpočet výměníku tepla slouží především pro přibližné zjištění výkonu výměníku, spotřeby páry, počtu trubek, teplosměnné plochy a následně délky. Detailní výpočet byl proveden v programu HTRI a jako prvotní vstupní data byly použity výsledky z předběžného výpočtu. Následně byla vybrána požadovaná varianta, která se sice jeví asi o 30 % předimenzovaná, ale je vhodná vzhledem k tomu, že nebylo uvažováno zanášení. Výměník musí být vyroben z nerezavějící oceli vzhledem k vysoké agresivitě použitých médií.

Ekonomická bilance sanitací byla provedena pro katalogové hodnoty odpovídající CIP sanitační stanici v pivovaru o vyprodukovaném množství piva 1 mil. hl za rok. Na základě blokového schématu byly určeny jednotlivé potrubní cesty a procesy čištění tanků u obou sanitačních okruhů a následně byly spočteny spotřeby a ceny vody, sanitačních médií, dezinfekce a elektrické energie za jeden měsíční cyklus s uvažováním výměny sanitačních médií dvakrát za měsíc. Poté byly spočteny provozní náklady včetně nákladů na opravy a údržbu na cenu jednoho piva. Cena sanitace vztažená na 0,5 l piva vyšla 0,52 Kč.

## 8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Claus Hielscher, Vortrag anlässlich der 45. DGF-Vortragstagung in Münster am 11. September 1989 (prospekt firmy Otto Tuchenhausen GmbH & KG, Büchen, SRN).
- [2] RNDr. Karel Kosař, CSc., Ing. Stanislav Procházka, Technologie výroby sladu a piva, Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, a.s., ISBN 80-902658-6-3, 2000.
- [3] Kunze, Wolfgang, Technologie Brauer und Mälzer, VLB Berlin, ISBN 3-921 690-378-4, 1998.
- [4] Archiv GEA Process Engineering s.r.o.
- [5] Medek J., Hydraulické pochody, 4. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN: 80-214-2640-3.
- [6] Stehlík P., Kohoutek J., Němčanský J.: Tepelné pochody. Výpočet výměníku tepla., VUT Brno 1991.
- [7] Číž V., Šandera K., Sázavský F., Základy cukrovarnictví. SNTL, Praha 1961.
- [8] Pechoč V., Ryba M., Hrubý M., Volák Z., Neužil L., Žampachová L., Příklady chemicko inženýrských výpočtů II. SNTL, Praha 1964.
- [9] [Http://cbs.grundfos.com](http://cbs.grundfos.com) [online]. 2010 [cit. 2011-05-19]. Trubkový výměník tepla. Dostupné z WWW: [http://cbs.grundfos.com/GCZ\\_Czech\\_Republic/lexica/AC\\_Shell\\_and\\_tube\\_exchanger.html#->](http://cbs.grundfos.com/GCZ_Czech_Republic/lexica/AC_Shell_and_tube_exchanger.html#->).
- [10] [Http://www.prazdroj.cz](http://www.prazdroj.cz) [online]. 2006 [cit. 2011-05-19]. Schéma tradiční výroby piva Pilsner Urquell. Dostupné z WWW: [http://www.prazdroj.cz/cz/o\\_pivu/schema\\_vyroby\\_pu/schema\\_vyroby\\_piva.htm](http://www.prazdroj.cz/cz/o_pivu/schema_vyroby_pu/schema_vyroby_piva.htm).
- [11] Kakac, Boilers, Evaporators & Condensers, 1 edition, ISBN 0 – 471 – 62170 – 6, Wiley-Interscience 1991.
- [12] Shah, Fundamentals of heat exchanger design, 1 edition, ISBN 0 – 471 – 32171 – 0, Wiley 2002.
- [13] Hans Michael Eßlinger, Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets, 1 edition, ISBN 978 – 3 – 527 – 31674 – 8, Wiley-VCH 2009.
- [14] [Http://cbs.grundfos.com](http://cbs.grundfos.com) [online]. 2010 [cit. 2011-05-19]. Křivka Q-H. Dostupné z WWW: [http://cbs.grundfos.com/GCZ\\_Czech\\_Republic/lexica/SG\\_Q-H\\_curve.html](http://cbs.grundfos.com/GCZ_Czech_Republic/lexica/SG_Q-H_curve.html).
- [15] Michael Lewis, Tom W. Young, Brewing, 2nd edition, ISBN 0 – 306 – 47274 – 0, Aspen Publishers 2001.

## **9 PŘÍLOHY**

P1 Výpis podrobných výsledků výpočtu výměníku v programu HTRI

P1 Výpis podrobných výsledků výpočtu výměníku v programu HTRI

## Design - Horizontal Countercurrent Flow TEMA AES Shell With Single-Segmental Baffles

Process Data		Hot Shellside		Cold Tubeside		Shellside Performance						
Fluid name						Nom vel, X-flow/window 1.74 / 1.69						
Fluid condition		Cond. Vapor		Sens. Liquid		Flow fractions for vapor phase						
Total flow rate	(kg/s)	0.2885		11.1001		A=0.1189 B=0.3785 C=0.3200 E=0.1848 F=0.0000						
Weight fraction vapor, In/Out	(--)	1.000	0.000	0.000	0.000	Shellside Heat Transfer Corrections						
Temperature, In/Out	(Deg C)	151.83	80.00	20.00	35.00	Total	Beta	Gamma	End	Fin		
Temperature, Average/Skin	(Deg C)	115.91	94.89	27.60	81.01	0.973	0.920	1.057	0.779	1.000		
Wall temperature, Min/Max	(Deg C)	37.24	126.14	34.43	106.73	Pressure Drops (Percent of Total)						
Pressure, In/Average	(kPa)	500.007	499.362	400.008	395.892	Cross	Window	Ends	Nozzle	Shell	Tube	
Pressure drop, Total/Allowed	(kPa)	1.290		8.227		43.19	25.31	11.94	Inlet	87.70	36.27	
Velocity, Mid/Max allow	(m/s)	1.47		1.51		MOMENTUM		-69.27	Outlet	1.13	14.16	
Mole fraction inert	(--)	0.0000				Two-Phase Parameters						
Average film coef.	(W/m2-K)	6883.95		7222.65		Method	Inlet	Center	Outlet	Mix F		
Heat transfer safety factor	(--)	1.000		1.000		RPM	Gravity	Gravity	Sens Liq	0.9899		
Fouling resistance	(m2-K/W)	0.000000		0.000000		H. T. Parameters						
Overall Performance Data						Overall wall correction						
Overall coef., Req'd/Clean/Actual	(W/m2-K)	2163.25	/	2789.22	/	2789.22	Shell		Tube			
Heat duty, Calculated/Specified	(MegaWatts)	0.6960	/			Midpoint		Prandtl no.		6.50		
Effective overall temperature difference	(Deg C)	110.3				Midpoint		Reynolds no.		4148	28856	
EMTD = (MTD) * (DELTA) * (F/G/H)	(Deg C)	117.72	*	0.9386	*	1.0000	Bundle inlet		Reynolds no.		20000	27162
See Runtime Messages Report for warnings.						Bundle outlet		Reynolds no.		1267	34338	
						Fouling layer		(mm)				
Exchanger Fluid Volumes						Thermal Resistance						
Approximate shellside (L)	33.0					Shell	Tube	Fouling	Metal	Over Des		
Approximate tubeside (L)	33.7					41.73	47.20	0.00	11.07	28.94		
Shell Construction Information						Total fouling resistance						
TEMA shell type	AES	Shell ID	(mm)	205.004	Differential resistance							
Shells Series	1 Parallel 1	Total area	(m2)	3.006	1.037e-4							
Passes Shell	1 Tube 1	Eff. area	(m2/shell)	2.918	Shell Nozzles							
Shell orientation angle (deg)	0.00	Impingement diameter/nozzle		1.1	Inlet at channel end-No		Inlet	Outlet	Liquid	Outlet		
Impingement present	Circular plate	Passlane seal rods (mm)		0.000	No. 0	Number at each position		1	1	0		
Pairs seal strips	1	Rear head support plate		No	Diameter		(mm)	77.927	52.553			
Shell expansion joint	No	Weight estimation Wet/Dry/Bundle		405.93	/	339.30	/	55.44	(kg/shell)			
Baffle Information						Velocity		(m/s)	22.67	0.14		
Type	Parallel Single-Seg.	Baffle out (% dia)		26.28	Pressure drop		(kPa)	1.132	0.015			
Crosspasses/shellpass	10	No. (Pct Area)		(mm) to C.L	Height under nozzle		(mm)	30.880	15.674			
Central spacing	(mm)	90.858	1	25.39	48.623	Nozzle R-V-SQ		(kg/m-s2)	1371.69	18.20		
Inlet spacing	(mm)	447.079	2	0.00	0.000	Shell ent.		(kg/m-s2)	713.13	8.68		
Outlet spacing	(mm)	282.022										
Baffle thickness	(mm)	3.175										
Tube Information						Tube Nozzle		Inlet	Outlet	Liquid	Outlet	
Tube type	Plain	Tubecount per shell		29	Diameter		(mm)	77.927	77.927			
Overall length	(m)	1.500	Pct tubes removed (both)		10.34	Velocity		(m/s)	2.33	2.34		
Effective length	(m)	1.456	Outside diameter		(mm)	22.000	Pressure drop		(kPa)	2.984	1.165	
Total tubesheet	(mm)	44.000	Wall thickness		(mm)	2.000	Nozzle R-V-SQ		(kg/m-s2)	5425.31	5448.09	
Area ratio	(out/in)	1.2222	Pitch (mm)		27.5000	Ratio	1.2500	Annular Distributor				
Tube metal	Carbon steel	Tube pattern (deg)		30	Length		(mm)		Inlet		Outlet	
						Height		(mm)				
						Slot area		(mm2)				
						Diametral Clearances (mm)						
						Baffle-to-shell		3.1750	Bundle-to-shell		31.3472	Tube-to-baffle
						Tube-to-baffle					0.7938	



### Supplementary Results

Released to the following organization:

VUT  
Kilkovsky

Xist E Ver. 6.00 SP1 10.5.2011 10:18 SN: 1600211770

SI Units

Design - Horizontal Countercurrent Flow TEMA AES Shell With Single-Segmental Baffles

Externally Enhanced Tube Geometry			Internally Enhanced Tube Geometry		
Type		Plain	Type		None
Fin density	(fin/meter)		Thickness	(mm)	
Fin height	(mm)		Pitch	(L/D)	
Fin thickness	(mm)				
Root diameter	(mm)				
Area/length	(m2/m)				

#### Mean Metal Temperatures

Mean shell temperature 137.82 (C)

#### Mean tube metal temperature in each tubepass, (C)

<u>Tube Pass</u>	<u>Inside</u>	<u>Outside</u>	<u>Radial</u>
1	81.01	93.93	87.90