Konstrukcija uređaja za uparivanje soka rajčice

Stjepić, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:831048

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-12**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Ivan Stjepić

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori: Student:

Prof.dr.sc. Damir Dović, dipl. ing. Ivan Stjepić

Zagreb, 2015.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru Prof.dr.sc Damiru Doviću na ukazanom znanju i pruženoj pomoći tijekom izrade ovog rada.

Također, zahvaljujem svojim roditeljima na velikoj podršci za sve vrijeme mojega školovanja.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum 25 -11- 2015	Prilog
Klasa: 602-04/15-6/3	
Ur.broj: 15-1703-15-378	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Ivan Stjepić** Mat. br.: 0035177553

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Konstrukcija uređaja za uparivanje soka rajčice**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design of tomato juice evaporator**

Opis zadatka:

Potrebno je konstruirati uređaj za uparivanje svježeg soka rajčice pri odabranoj temperaturi. Uređaj izvesti kao dvostupanjski slijedećih karakteristika:

- kapacitet uređaja: 900 kg/h ugušćenog soka
- početna koncentracija: 7% suhe tvari
- konačna koncentracija: 30% suhe tvari
- pogonska energija: zasićena vodena para parametara prema izboru, električna energija 400 V/50 Hz
- rashladna voda 25°C.

Potrebno je provesti i izraditi:

- analizu potrošnje energije po 1 kg proizvoda varirajući temperaturu uparivanja, broj stupnjeva i međukoncentracije te primjenjujući mjere za uštedu energije poput predgrijavanja svježe otopine
- potpuni termodinamički proračun svih elemenata uređaja, pri čemu treba predvidjeti jednake uparivačke jedinice 1. i 2. stupnja
- potrebne proračune čvrstoće uparivača
- dispozicijski nacrt uređaja
- radionički crtež uparivača
- shemu spajanja, automatske regulacije i upravljanja

Potrebno je navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:	Rok predaje rada:	Predviđeni datumi obrane:
24. rujna 2015.	26. studenog 2015.	2., 3. i 4. prosinca 2015.

Zadatak zadao:

Prof.dr.sc. Damir Dović

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

SADRŽAJ I
POPIS TABLICA III
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE IV
POPIS OZNAKA V
SAŽETAK VIII
SUMMARY IX
1. UVOD 1
2. ANALIZA SUSTAVA UPARIVANJA 3
2.1. Analiza sustava uparivanja u odnosu na broj stupnjeva 3
2.1.1. Uparivanje u jednom stupnju 3
2.1.2.Uparivanje u jednom stupnju s iskorištavanjem supare 6
2.1.3.Uparivanje u dva stupnja 9
2.1.4.Uparivanje u tri i četiri stupnja 13
2.2. Analiza sustava uparivanja u odnosu na odabranu međukoncentraciju 15
3. TERMODINAMIČKI PRORAČUN UPARIVAČKIH JEDINICA 1. I 2. STUPNJA 20
3.1. Shema postrojenja za uparivanje soka od rajčice 20
3.2. Tehnički opis 21
3.3. Proračun 1. stupnja uparivanja 22
3.3.1. Bilanca mase i energije 22
3.3.2. Proračun izmjenjivača topline 1. stupnja 25
3.3.2.1. Na strani koncentrata 25
3.3.2.2 Na strani pare 28
3.4. Proračun 2. stupnja uparivanja 33
3.4.1. Bilanca mase i energije 33
3.4.2. Proračun izmjenjivača topline 2. stupnja 35
3.4.2.1. Na strani koncentrata 35
3.4.2.2. Na strani pare 37
4. PRORAČUN BAROMETRIČKOG KONDENZATORA 39
4.1. Proračun barometričke cijevi 40
4.2. Odabir Rootovog puhala 41
5. PRORAČUN ČVRSTOĆE IZMJENJIVAČA TOPLINE 42
5.1. Proračun cilindričnog plašta izloženog djelovanju unutrašnjeg tlaka 42
5.2. Proračun cilindričnog plašta izloženog djelovanju vanjskog tlaka 44
5.3. Proračun podnica 46
5.4. Proračun cijevne stijenke 48
5.5. Proračun ravne prirubnice za zavarivanje 51
5.6. Proračun vijaka 53

6. PRORAČUN SEPARATORA 56
6.1. Proračun konusnih plaštova izvrgnutih unutrašnjem ili vanjskom tlaku 56
6.2. Proračun izreza na konusnom plaštu 58
6.3. Proračun cilindričnog plašta izloženog djelovanju vanjskog tlaka 59
6.4. Proračun podnice 1. stupnja 61
6.5. Proračun podnice 2. stupnja 64
7. PRORAČUN PRIKLJUČAKA 67
7.1. Proračun priključaka za izmjenjivač topline 67
7.2. Proračun priključaka za separator 69
8. PRORAČUN PADA TLAKA 70
8.1. Prvog stupnja 70
8.1.1. Na tlačnoj strani 70
8.1.2. Na usisnoj strani 72
8.2. Drugog stupnja 74
8.2.1. Na tlačnoj strani 74
8.2.2. Na usisnoj strani 76
9. ZAKLJUČAK 78

POPIS TABLICA

Tablica 1. Analiza po stupnjevima uparivanja …….....…...……12
Tablica 2. Uparivanje u odnosu na međukoncentraciju…….……14

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

IS-01-2015	Plašt
IS-02-2015	Prirubnica izmjenjivača
IS-03-2015	Cijevna stijenka
IS-04-2015	Cijevni priključak
IS-05-2015	Cilindar za prirubnicu
IS-06-2015	Držač pregrada - duži
IS-07-2015	Pregrada u plaštu - gornja
IS-08-2015	Inox cijev
IS-09-2015	Podnica
IS-10-2015	Pregrada
IS-11-2015	Priključak ulaska pare
IS-12-2015	Priključak kondenzata
IS-13-2015	Držač pregrada - kraći
IS-14-2015	Pregrada u plaštu - donja
IS-15-2015	Inox cijev – držač kraći
IS-16-2015	Inox cijev – držač duži
IS-17-2015	Izmjenjivač topline
IS-18-2015	Separator
IS-19-2015	Shema
IS-20-2015	Dispozicija uređaja

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
φ		Kut konusa
ψ		Kut otklona
λ		Koeficijent trenja
λ		Stupanj vitkosti
ζ		Koeficijent lokalnog gubitka
α	$\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m^2K}}$	Koeficijent prijelaza topline
ξ_u	$\frac{\mathrm{kg_{tvari}}}{\mathrm{kg_{otopine}}}$	Koncentracija suhe tvari soka na ulazu
ξ_i	$\frac{\mathrm{kg_{tvari}}}{\mathrm{kg_{otopine}}}$	Koncentracija suhe tvari soka na izlazu
ξ_x	$\frac{\mathrm{kg_{tvari}}}{\mathrm{kg_{otopine}}}$	Međukoncentracija suhe tvari soka
ϑ	°C	Temperatura
λ	$\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{mK}}$	Koeficijent toplinske provodnosti
μ	$\mathrm{Pa \cdot s}$	Dinamička viskoznost
ρ	$\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}}$	Gustoća
Φ	W	Kapacitet izmjenjivača
A	$\mathrm{m^2}$	Površina presjeka
c	$\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kgK}}$	Specifični toplinski kapacitet
c_1	m	Dodatak za dopušteno odstupanje materijala
c_2	m	Dodatak zbog smanjenja debljine lima
D_s	m	Vanjski promjer plašta
D_u	m	Unutrašnji promjer plašta

d_v	m	Vanjski promjer cijevi
d_u	m	Unutrašnji promjer cijevi
E	$\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{mm}^2}$	Modul elastičnosti
F_K	N	Dozvoljena sila izvijanja
F_{RB}	N	Sile u vijku
f_d	$\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{mm}^2}$	Proračunska čvrstoća
g	$\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$	Ubrzanje sile teže
g	m	Minimalna debljina šava zavarenog spoja
H	m	Visina
h	m	Sigurnosna dubina barometričkog kondenzatora
H_1	m	Visina dobave pumpe 1. stupnja
H_2	m	Visina dobave pumpe 2. stupnja
h	$\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}}$	Entalpija
h_F	m	Visina oboda prirubnice
I	mm^4	Moment inercije
k	m	Hrapavost
k	$\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2\mathrm{K}}$	Koeficijent prolaze topline
L	m	Dužina cijevi
n		Broj cijevi
Nu		Bezdimenzijska značajka
p	Pa	Tlak
Δp	Pa	Pad tlaka
p_{kr}	Pa	Kritični tlak
qm	$\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{s}}$	Maseni protok

Q	$\frac{m^3}{s}$	Volumni protok
R	m	Radijus kalote
r	m	Radijus torusnog dijela
Re		Bezdimenzijska značajka
R_e	$\frac{N}{mm^2}$	Granica razvlačenja
R_m	$\frac{N}{mm^2}$	Vlačna čvrstoća
s	m	Debljina stijenke cijevi
S		Stupanj sigurnosti
s_A	m	Debljina stijenke izreza
s_e	m	Debljina stijenke lima
S_K		Sigurnost na ulubljenje
t	m	Korak cijevi
v		Koeficijent valjanosti zavarenog spoja
v_A		Koeficijent izreza
w	$\frac{m}{s}$	Brzina strujanja

Indeksi

u – ulaz	R1 – recirkulacija 1. stupnja
i – izlaz	R2 – recirkulacija 2. stupnja
x – međukoncentracija	D – svježa para
S1 – supara 1. stupnja	w – rashladna voda
S2 – supara 2. stupnja	K - kondenzat

SAŽETAK

U sklopu ovog rada konstruiran je uređaj za uparivanje soka od rajčice i analizirana potrošnja energije u sustavu uparivanja soka od rajčice mijenjanjem broja stupnjeva uparivanja i koncentracije između njih. Izvršen je potpuni termodinamički proračun svih elemenata uređaja odabranog tipa uparivača. Elementi izmjenjivača topline i separatora proračunati su za zadana opterećenja na čvrstoću aparata. Rad sadrži radionički crteže uparivača s dispozicijskim nacrtom uređaja uz shemu spajanja, automatske regulacije i upravljanja.

Ključne riječi: uparivanje soka rajčice; konstrukcija; izmjenjivač topline; separator

SUMMARY

The concept of this paper was to design tomato juice evaporator and analyze energy consumption of evapororator system in dependence to number of stages and concentrations between them. Thermodynamic calculation of all evaporator elements was conducted for selected evaporator type. Heat exchanger and separator parts were designed for maximum stress load. Paper contains manufacturing sheets, assembly drawing, disposal drawing and regulation scheme.

Key words: tomato juice evaporation; design; heat exchanger; separator

1. UVOD

Potrebno je konstruirati uređaj za uparivanje svježeg soka od rajčice tako da se od svježeg soka koncentracije suhe tvari ξ_i = 7% dobije koncentrat s ξ_{iu}= 30% u količini 900 kg/h.

Najprije je provedena analiza potrošnje pogonske energije za vođenje procesa po broju stupnjeva uparivanja, a nakon toga analiza uparivanja u dva stupnja s variranjem u odabranoj međukoncentraciji. Tim inicijalnim energetskim analizama odabrani su osnovni parametri vođenja procesa. Proces uparivanja vodi se u vakuumu kako bi se očuvala organoleptička svojstva soka rajčice koja naglo propadaju na temperaturama uparivanja pri atmosferskom tlaku.

Analiza provedena za uparivanje u jednom stupnju, u jednom stupnju s iskorištavanjem supare, u dva stupnja, tri stupnja i četiri stupnja pokazala je kako se potreba svježe ogrjevne pare smanjuje s povećanjem broja stupnjeva uparivanja i predgrijavanjem ulaza soka rajčice suparom nastalom procesom uparivanja. Svi procesi vode se na način da je količina proizvedene supare jednaka u svakom stupnju. Ako želimo voditi proces s jednakim maksimalnim i minimalnim temperaturama uparivanja na početku i kraju procesa, a koje uvjetuju kvalitetu proizvoda, s povećanjem broja stupnjeva uparivanja smanjuje se raspoloživi ΔT na grijalicama. Smanjenje razlike temperatura na grijalicama dovodi do povećanja njihove površine na što treba obratiti pozornost.

Razmatranje utjecaja odabrane međukoncentracije na potrošnju svježe pogonske pare u dva stupnja pokazala je najmanju potrošnju svježe pare u slučaju kada se proces vodi na način da se u oba stupnja proizvodi približno jednaka količina supare. U slučajevima kada se u prvom stupnju proizvodi nedovoljno supare za pogon drugog stupnja potrebno je nadomjestiti nedostatak energije svježom parom. Takav sustav rezultira većom potrošnjom svježe pare.

Kada se u prvom stupnju proizvodi više supare nego što je potrebno za drugi stupanj višak pare ostaje neiskorišten dok je za proizvodnju te iste supare utrošena sve veća količina svježe pare kako se njezina količina povećava. Ovakav sustav uparivanja pokazuje se kao energetski neučinkovit.

Za tip sustava uparivanja u ovom radu odabran je sustav s prisilnom cirkulacijom koji je danas uz filmsko uparivanje najzastupljeniji u praksi. Uparivanje je izvedeno u dva stupnja. Sustav se temelji na velikim količinama recirkulirane mase koja kruži između izmjenjivača topline i separatora svakog stupnja. Iz svakog stupnja uzima se tek dio koncentriranog soka koji nastavlja uparivanje u sljedećem stupnju. Princip s velikim recirkulacijskim protokom potreban je kako ne bi došlo do isparavanja u cijevima, a što je veoma pogubno po kvalitetu koncentriranog soka odnosno za njegova organoleptička svojstva.

Za konstrukciju uređaja koristi se materijal W.Nr. 1.4301 Inox čelik koji nalazi primjenu u kemijskoj i prehrambenoj industriji zbog svoje otpornosti na kiseline i dobrih svojstava za aparate pod tlakom.

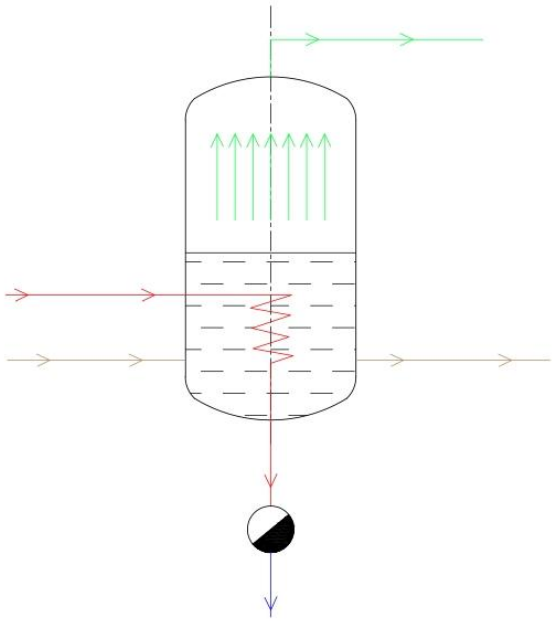
Najvažniji zahtjev u pristupu izvedbe rješenja su jednake uparivačke jedinice 1. i 2. stupnja

2. ANALIZA SUSTAVA UPARIVANJA

2.1. Analiza sustava uparivanja u odnosu na broj stupnjeva

2.1.1. Uparivanje u jednom stupnju

Najjednostavniji oblik uparivanja predstavlja uparivanje u jednom stupnju u kojem se postiže zadana koncentracija.



Protoci:
$qm_u -$ ulaz svježeg soka rajčice
$qm_i -$ izlaz koncentrata soka rajčice
$qm_D -$ ulaz svježe zasićene pare, izlaz kondenzata
$qm_S -$ izlaz supare

Entalpije:
$h_u -$ entalpija svježeg soka rajčice
$h_i -$ entalpija koncentrata soka rajčice
$h_D -$ entalpija svježe zasićene pare
$h_S -$ entalpija supare
$h_K -$ entalpija kondenzata

$\xi_i -$ koncentracija soka na ulazu
$\xi_u -$ koncentracija soka na izlazu

Bilanca mase:

$$qm_u = qm_i + qm_S$$
$$qm_u = qm_i \cdot \frac{\xi_i}{\xi_u}$$

Uparivanje se izvršava pri 73 °C, svježi sok rajčice ulazi s 24 °C dok se za potrebni dotok energije koristi suhozasićena para temperature 100 °C.

Ulazni podaci:

$qm_i = 900$ kg/h
$\xi_i = 30\%$
$\xi_u = 7\%$

$$qm_u = qm_i \cdot \frac{\xi_i}{\xi_u} = 900 \cdot \frac{0{,}3}{0{,}07} = 3857{,}143 \text{ kg/h}$$

$$qm_S = qm_u - qm_i = 3857{,}143 - 900 = 2957{,}143 \text{ kg/h}$$

Bilanca energije:

$$qm_u \cdot h_u + qm_D \cdot h_D = qm_i \cdot h_i + qm_S \cdot h_S + qm_D \cdot h_K$$

Specifični toplinski kapacitet računa se aditivnom formulom:

$$c = \xi \cdot c_{st} + (1 - \xi) \cdot c_0 \qquad [1]$$

$c_{st} -$ specifični toplinski kapacitet suhe tvari rajčice
$c_0 -$ specifični toplinski kapacitet vode

$c_{st} = 2{,}6584$ kJ/(kg K)
$c_0 = 4{,}187$ kJ/(kg K)

$c_u = \xi \cdot c_{st} + (1 - \xi) \cdot c_0 = 0{,}07 \cdot 2{,}6584 + (1 - 0{,}07) \cdot 4{,}187 = 4{,}02$ kJ/(kg K)
$c_i = \xi \cdot c_{st} + (1 - \xi) \cdot c_0 = 0{,}3 \cdot 2{,}6584 + (1 - 0{,}3) \cdot 4{,}187 = 3{,}728$ kJ/(kg K)

Entalpije:

$h_u = \vartheta_u \cdot c_u = 24 \cdot 4{,}02 = 96{,}48$ kJ/kg
$h_i = \vartheta_i \cdot c_i = 73 \cdot 3{,}728 = 272{,}17$ kJ/kg
$h_D = 2676$ kJ/kg
$h_S = 2631{,}3$ kJ/kg
$h_K = 419{,}22$ kJ/kg

Iz bilance energije dobiva se potrebna količina suhozasićene pare za vođenje procesa prema zadanim parametrima.

$$qm_u \cdot h_u + qm_D \cdot h_D = qm_i \cdot h_i + qm_S \cdot h_S + qm_D \cdot h_K$$

$$qm_D = \frac{qm_i \cdot h_i + qm_S \cdot h_S - qm_u \cdot h_u}{h_D - h_K} =$$

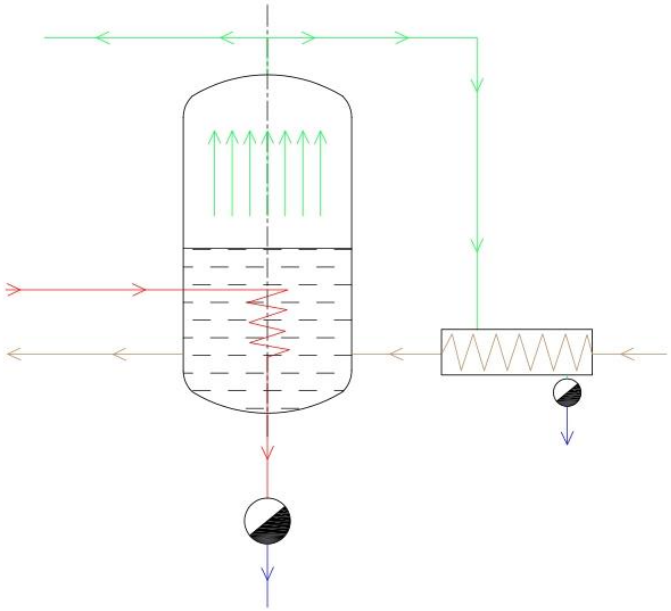
$$= \frac{900 \cdot 272{,}17 + 2957{,}143 \ \cdot 2631{,}3 - 3857{,}143 \cdot 96{,}48}{2676 - 419{,}22} = 3391{,}54 \text{ kg/h}$$

Potrebna snaga grijalice:

$$\Phi = \frac{qm_D \cdot (h_D - h_K)}{3600} = \frac{3391{,}54 \ \cdot (2676 - 419{,}22)}{3600} = 2126{,}1 \text{ kW}$$

2.1.2.Uparivanje u jednom stupnju s iskorištavanjem supare

Napredniji sustav uparivanja u jednom stupnju predstavlja sustav s iskorištavanjem dijela supare za predgrijavanje ulaznog svježeg soka na temperaturu uparivanja.



Protoci:
$qm_u -$ ulaz svježeg soka rajčice
$qm_i -$ izlaz koncentrata soka rajčice
$qm_D -$ ulaz svježe zasićene pare, izlaz kondenzata
$qm_S -$ izlaz ukupne supare
$qm_{S1} -$ neiskorištena supara
$qm_{S2} -$ supara za predgrijanje

Entalpije:
$h_u -$ entalpija svježeg soka rajčice
$h_P -$ entalpija predgrijanog svježeg soka rajčice na ulazu u uparivač
$h_i -$ entalpija koncentrata soka rajčice
$h_D -$ entalpija svježe zasićene pare
$h_S -$ entalpija supare
$h_K -$ entalpija kondenzata svježe pare
$h_{KS} -$ entalpija kondenzata supare predgrijanja

$\xi_i -$ koncentracija soka na ulazu
$\xi_u -$ koncentracija soka na izlazu

Bilanca mase:

$$qm_u = qm_i + qm_S$$
$$qm_u = qm_i \cdot \frac{\xi_i}{\xi_u}$$

Uparivanje se izvršava pri 73 °C, svježi sok rajčice ulazi s 24 °C dok se za potrebni dotok energije koristi suhozasićena para temperature 100 °C.

Ulazni podaci:

$qm_i = 900$ kg/h
$\xi_i = 30\%$
$\xi_u = 7\%$

$$qm_u = qm_i \cdot \frac{\xi_i}{\xi_u} = 900 \cdot \frac{0{,}3}{0{,}07} = 3857{,}143 \text{ kg/h}$$

$$qm_S = qm_u - qm_i = 3857{,}143 - 900 = 2957{,}143 \text{ kg/h}$$

Bilanca energije uparivača:

$$qm_u \cdot h_p + qm_D \cdot h_D = qm_i \cdot h_i + qm_S \cdot h_S + qm_D \cdot h_K$$

Bilanca energije predgrijavanja:

$$qm_u \cdot h_u + qm_{S2} \cdot h_{S2} = qm_u \cdot h_P + qm_{S2} \cdot h_{KS2}$$

Specifični toplinski kapacitet računa se aditivnom formulom:

$$c = \xi \cdot c_{st} + (1 - \xi) \cdot c_0$$

$c_{st} -$ specifični toplinski kapacitet suhe tvari rajčice
$c_0 -$ specifični toplinski kapacitet vode

$c_{st} = 2{,}6584$ kJ/(kg K)
$c_0 = 4{,}187$ kJ/(kg K)

$c_{u,p} = \xi \cdot c_{st} + (1-\xi) \cdot c_0 = 0{,}07 \cdot 2{,}6584 + (1-0{,}07) \cdot 4{,}187 = 4{,}02 \text{ kJ/(kg K)}$
$c_i = \xi \cdot c_{st} + (1-\xi) \cdot c_0 = 0{,}3 \cdot 2{,}6584 + (1-0{,}3) \cdot 4{,}187 = 3{,}728 \text{ kJ/(kg K)}$

Entalpije:

$h_u = \vartheta_u \cdot c_u = 24 \cdot 4{,}02 = 96{,}48 \text{ kJ/kg}$
$h_p = \vartheta_p \cdot c_u = 73 \cdot 4{,}02 = 293{,}46 \text{ kJ/kg}$
$h_i = \vartheta_i \cdot c_i = 73 \cdot 3{,}728 = 272{,}17 \text{ kJ/kg}$
$h_D = 2676 \text{ kJ/kg}$
$h_S = 2631{,}3 \text{ kJ/kg}$
$h_K = 419{,}22 \text{ kJ/kg}$
$h_{KS} = 305{,}67 \text{ kJ/kg}$

Iz bilance energije dobiva se potrebna količina suhozasićene pare za vođenje procesa prema zadanim parametrima.

$$qm_u \cdot h_p + qm_D \cdot h_D = qm_i \cdot h_i + qm_S \cdot h_S + qm_D \cdot h_K$$

$$qm_D = \frac{qm_i \cdot h_i + qm_S \cdot h_S - qm_u \cdot h_p}{h_D - h_K} =$$

$$= \frac{900 \cdot 272{,}17 + 2957{,}143 \cdot 2631{,}3 - 3857{,}143 \cdot 293{,}46}{2676 - 419{,}22} = 3054{,}87 \text{ kg/h}$$

Potrebna količina supare za predgrijavanje ulaznog soka:

$$qm_{S2} = \frac{qm_u \cdot h_P - qm_u \cdot h_u}{h_{S2} - h_{KS2}} = \frac{3857{,}143 \cdot 293{,}46 - 3857{,}143 \cdot 96{,}48}{2631{,}3 - 305{,}67} = 326{,}6 \text{ kg/h}$$

$$qm_S = qm_{S1} + qm_{S2}$$

Količina neiskorištene supare:

$$qm_{S1} = qm_S - qm_{S2} = 2957{,}14 - 326{,}6 = 2630{,}54 \text{ kg/h}$$

Potrebna snaga grijalice uparivača:

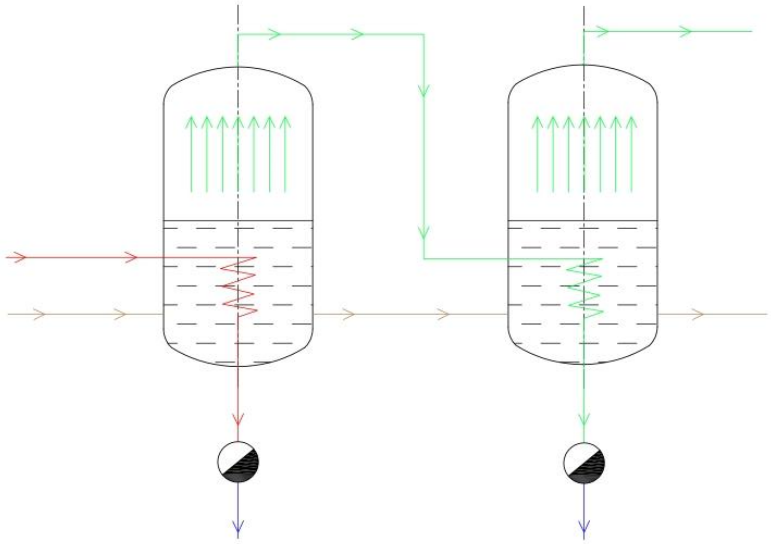
$$\Phi = \frac{qm_D \cdot (h_D - h_K)}{3600} = \frac{3054{,}87 \cdot (2676 - 419{,}22)}{3600} = 1915{,}62 \text{ kW}$$

Potrebna snaga grijalice predgrijača:

$$\Phi = \frac{qm_{S2} \cdot (h_S - h_{KS})}{3600} = \frac{326{,}6 \cdot (2631{,}3 - 305{,}67)}{3600} = 210{,}99 \text{ kW}$$

2.1.3.Uparivanje u dva stupnja

Najjednostavniji oblik uparivanja predstavlja uparivanje u jednom stupnju u kojem se postiže zadana koncentracija.



Protoci:
$qm_u -$ ulaz svježeg soka rajčice
$qm_i -$ izlaz koncentrata soka rajčice
$qm_D -$ ulaz svježe zasićene pare, izlaz kondenzata
$qm_{S1} -$ supara prvog stupnja
$qm_x -$ međukoncentracija
$qm_{S2} -$ supara drugog stupnja
$qm_{SP} -$ potrebna količina supare za pogon 2. stupnja

Entalpije:
$h_u -$ entalpija svježeg soka rajčice
$h_i -$ entalpija koncentrata soka rajčice
$h_x -$ entalpija međukoncentracije soka rajčice
$h_D -$ entalpija svježe zasićene pare
$h_{S1} -$ entalpija supare prvog stupnja
$h_K -$ entalpija kondenzata svježe pare
$h_{KS1} -$ entalpija kondenzata supare prvog stupnja
$h_{S2} -$ entalpija supare drugog stupnja

$\xi_i -$ koncentracija soka na ulazu
$\xi_u -$ koncentracija soka na izlazu
$\xi_x -$ koncentracija soka u međukoncentraciji

Bilanca mase cijelog sustava:

$$qm_u = qm_i + qm_S$$
$$qm_u = qm_i \cdot \frac{\xi_i}{\xi_u}$$

Uparivanje prvog stupnja izvršava se pri 73 °C, svježi sok rajčice ulazi s 24 °C dok se za potrebni dotok energije koristi suhozasićena para temperature 100 °C. U drugom stupnju uparivanje se vrši pri 48,8 °C pomoću supare iz prvog stupnja.

Ulazni podaci:

$qm_i = 900$ kg/h
$\xi_i = 30\%$
$\xi_u = 7\%$

$$qm_u = qm_i \cdot \frac{\xi_i}{\xi_u} = 900 \cdot \frac{0{,}3}{0{,}07} = 3857{,}143 \text{ kg/h}$$

Potrebna količina isparene vode za postizanje željene koncentracije:

$$qm_S = qm_u - qm_i = 3857{,}143 - 900 = 2957{,}143 \text{ kg/h}$$

Dobivena supara iz oba stupnja mora odgovarati ukupnoj količini isparene vode:

$$qm_S = qm_{S1} + qm_{S2}$$

Uz uvjet kako se želi postići jednoliko otparivanje u oba stupnja:

$$qm_{S1} = qm_{S2}$$

Dobiva se potrebna količina dobivene supare za svaki stupanj.

$$qm_{S1} = \frac{qm_S}{2} = \frac{2957{,}143}{2} = 1478{,}57 \text{ kg/h} = qm_{S2}$$

Potrebna međukocentracija za postizanje takvog procesa iznosi:

$$qm_x = qm_u - qm_{S1} = 3857{,}143 - 1478{,}57 = 2378{,}573 \text{ kg/h}$$

$$\xi_x = \xi_u \cdot \frac{qm_u}{qm_x} = 0{,}07 \cdot \frac{3857{,}143}{2378{,}573} = 0{,}1135$$

Bilanca energije 1. stupnja:

$$qm_u \cdot h_u + qm_D \cdot h_D = qm_x \cdot h_x + qm_{S1} \cdot h_{S1} + qm_D \cdot h_K$$

Specifični toplinski kapacitet računa se aditivnom formulom:

$$c = \xi \cdot c_{st} + (1 - \xi) \cdot c_0 \qquad [1]$$

$c_{st} -$ specifični toplinski kapacitet suhe tvari rajčice
$c_0 -$ specifični toplinski kapacitet vode

$c_{st} = 2{,}6584$ kJ/(kg K)
$c_0 = 4{,}187$ kJ/(kg K)

$c_u = \xi \cdot c_{st} + (1 - \xi) \cdot c_0 = 0{,}07 \cdot 2{,}6584 + (1 - 0{,}07) \cdot 4{,}187 = 4{,}02$ kJ/(kg K)
$c_x = \xi \cdot c_{st} + (1 - \xi) \cdot c_0 = 0{,}1135 \cdot 2{,}6584 + (1 - 0{,}1135) \cdot 4{,}187 = 4{,}013$ kJ/(kg K)
$c_i = \xi \cdot c_{st} + (1 - \xi) \cdot c_0 = 0{,}3 \cdot 2{,}6584 + (1 - 0{,}3) \cdot 4{,}187 = 3{,}728$ kJ/(kg K)

Entalpije:
$h_u = \vartheta_u \cdot c_u = 24 \cdot 4{,}02 = 96{,}48$ kJ/kg
$h_x = \vartheta_x \cdot c_u = 73 \cdot 4{,}013 = 292{,}98$ kJ/kg
$h_i = \vartheta_i \cdot c_i = 48{,}8 \cdot 3{,}728 = 181{,}95$ kJ/kg
$h_D = 2676$ kJ/kg
$h_{S1} = 2632$ kJ/kg
$h_K = 419{,}22$ kJ/kg
$h_{KS} = 305{,}67$ kJ/kg
$h_{S2} = 2590$ kJ/kg

Iz bilance energije 1. stupnja dobiva se potrebna količina suhozasićene pare za vođenje procesa prema zadanim parametrima.

$$qm_u \cdot h_u + qm_D \cdot h_D = qm_i \cdot h_i + qm_{S1} \cdot h_{S1} + qm_D \cdot h_K$$

$$qm_D = \frac{qm_x \cdot h_x + qm_{S1} \cdot h_{S1} - qm_u \cdot h_u}{h_D - h_K} =$$

$$= \frac{2378{,}573 \cdot 292{,}98 + 1478{,}57 \cdot 2632 - 3857{,}143 \cdot 96{,}48}{2676 - 419{,}22} = 1868{,}3 \text{ kg/h}$$

Bilanca energije 2. stupnja:

$$qm_x \cdot h_x + qm_{SP} \cdot h_{S1} = qm_i \cdot h_i + qm_{S2} \cdot h_{S2} + qm_{SP} \cdot h_{KS}$$

$$qm_{SP} = \frac{qm_i \cdot h_i + qm_{S2} \cdot h_{S2} - qm_x \cdot h_x}{h_D - h_K} =$$

$$= \frac{900 \cdot 181{,}95 + 1478{,}57 \cdot 2590 - 2378{,}573 \cdot 292{,}98}{2632 - 419{,}22} = 1417 \text{ kg/h}$$

Potrebna snaga grijalice 1. stupnja:

$$\Phi_1 = \frac{qm_D \cdot (h_D - h_K)}{3600} = \frac{1868{,}3 \cdot (2676 - 419{,}22)}{3600} = 1171{,}21 \text{ kW}$$

Potrebna snaga grijalice 2. stupnja:

$$\Phi_2 = \frac{qm_{SP} \cdot (h_{S1} - h_{KS})}{3600} = \frac{1417 \cdot (2632 - 305{,}67)}{3600} = 915{,}66 \text{ kW}$$

Teoretska dovedena snaga na grijalicu 2. stupnja:

$$\Phi_2 = \frac{qm_{S1} \cdot (h_{S1} - h_{KS})}{3600} = \frac{1478{,}57 \cdot (2632 - 305{,}67)}{3600} = 955{,}46 \text{ kW}$$

U procesu s jednakim otparivanjem u oba stupnja u 2. stupnju teoretski se dovodi više energije nego je to potrebno za dobivanje potrebne koncentracije, točnije 5% više nego što je potrebno. U realnom slučaju takva razlika može se zanemariti zbog gubitaka koji će nastati u parovodu koji dovodi dobivenu suparu iz prvog stupnja do uparivača drugog stupnja.

2.1.4.Uparivanje u tri i četiri stupnja

Jednaka analiza za svaki pojedinačni uparivač načinjena je i za trostupanjski i četverostupanjski vođeni proces. U analizu je uključena i provedba računanja potrebne površine grijalica za svaki stupanj s pretpostavljenim $k = 400\ \mathrm{W/(m^2K)}$.
Proračun je proveden u Excel datoteci i predočen Tablicom 1.

Tablica 1. Analiza po stupnjevima uparivanja

Vrsta sustava	**Jednostupanjski**	**Jednostupanjski s iskorištavanjme supare**	**Dvostupanjski**	**Trostupanjski**	**Četverostupanjski**
Potreba svježe pare [kg/h]	3392.45	3055.79	1868.30	1401.35	1180.00
Proizvedena supara [kg/h]	2957.14	2957.14	1478.57	985.71	739.29
kilogram svježe pare/ kilogram proizvoda	3.77	3.40	2.08	1.56	1.31
tlak 1. uparivača [bar]	0.36	0.36	0.36	0.44	0.58
temperatura 1. uparivača [°C]	73	73	73	80	85
ΔT 1. grijalice [°C]	27	27	27	20	15
snaga 1. grijalice [kW]	2126.67	1915.62	1171.21	878.48	739.72
površina 1.grijalice [m^2]	196.91	177.37	98.52	109.81	123.29
snaga pomoćne grijalice [kW]		211.05			
površina pomoćne grijalice [m^2]		10.77			
tlak 2. uparivača [bar]			0.12	0.25	0.37
temperatura 2. uparivača [°C]			48.8	65.0	74.0
ΔT 2. grijalice [°C]			24.2	14.9	11.0
snaga 2. grijalice [kW]			955.46	514.13	454.07
površina 2.grijalice [m^2]			98.70	86.01	103.20
tlak 3. uparivača [bar]				0.13	0.23
temperatura 3. uparivača [°C]				50	63
ΔT 3. grijalice [°C]				14.9	11.00
snaga 3. grijalice [kW]				634.06	469.38
površina 3.grijalice [m^2]				106.31	106.68
tlak 4. uparivača [bar]					0.12
temperatura 4. uparivača [°C]					48.8
ΔT 4. grijalice [°C]					14.20
snaga 4. grijalice [kW]					463.49
površina 4.grijalice [m^2]					81.60
ukupna snaga [kW]	2126.67	2126.67	2126.66	2026.67	2126.67
ukupna površina [m^2]	**196.91**	**188.14**	**197.22**	**302.13**	**414.76**

2.2. Analiza sustava uparivanja u odnosu na odabranu međukoncentraciju

Za analizu potrošnje energije u odnosu na mijenjanje međukoncentracije između stupnjeva uparivanja odabran je dvostupanjski proces. Model je sličan modelu s jednakim otparivanjem u oba stupnja ali kao promjenjiv ulazni parametar uz konstantne ulazne parametre (koncentracija ulaza i izlaza, količina koncentriranog soka, temperature uparivanja) uveden je stupanj međukoncentracije koji određuje količinu dobivene supare u oba stupnja.

Konstantni ulazni podaci jednaki su kao u već prikazanom dvostupanjskom modelu. Dobivena supara iz oba stupnja mora odgovarati ukupnoj količini isparene vode:

$$qm_S = qm_{S1} + qm_{S2}$$

Uvjet za jednoliko otparivanje u oba stupnja više ne vrijedi.

$$qm_{S1} \neq qm_{S2}$$

Prvo se dobiva potrebna količina dobivene supare za 1. stupanj.

$$qm_{S1} = qm_u - qm_u \cdot \frac{\xi_u}{\xi_x}$$

$$qm_u = qm_i \cdot \frac{\xi_i}{\xi_u}$$

Nakon čega slijedi:

$$qm_{S2} = qm_S - qm_{S1}$$

Bilance energije za svaki stupanj i ostali izrazi vrijede kao u već prije prikazanom modelu.

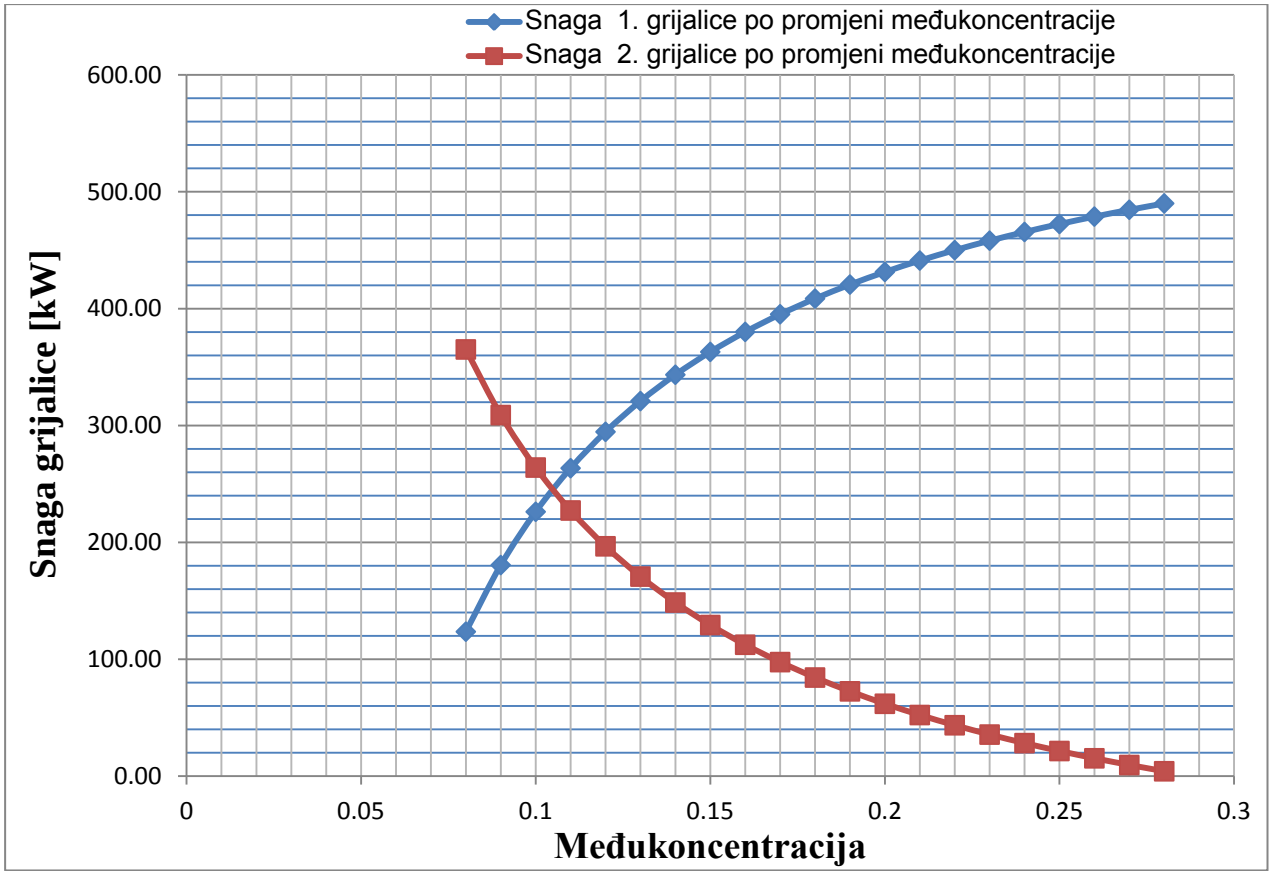
suha tvar	kg/h		
	ZASIĆENA VODENA PARA [qmD]	SUPARA PRVOG STUPNJA [qmS1]	SUPARA DRUGOG STUPNJA [qmS2]
0.08	197.05	112.50	577.50
0.09	288.00	200.00	490.00
0.1	360.75	270.00	420.00
0.11	420.28	327.27	362.73
0.12	469.89	375.00	315.00
0.13	511.86	415.38	274.62
0.14	547.84	450.00	240.00
0.15	579.02	480.00	210.00
0.16	606.30	506.25	183.75
0.17	630.37	529.41	160.59
0.18	651.77	550.00	140.00
0.19	670.92	568.42	121.58
0.2	688.15	585.00	105.00
0.21	703.74	600.00	90.00
0.22	717.91	613.64	76.36
0.23	730.85	626.09	63.91
0.24	742.72	637.50	52.50
0.25	753.63	648.00	42.00
0.26	763.70	657.69	32.31
0.27	773.03	666.67	23.33
0.28	781.69	675.00	15.00

suha tvar	kW		kW
	SNAGA 1. GRIJALICE	SNAGA 2. GRIJALICE	VIŠAK/NEDOSTATAK SNAGE ZA 2. STUPANJ
0.08	123.53	365.067	-291.767
0.09	180.54	308.915	-178.604
0.1	226.15	263.994	-88.074
0.11	263.47	227.240	-14.004
0.12	294.56	196.611	47.722
0.13	320.88	170.695	99.951
0.14	343.43	148.481	144.718
0.15	362.98	129.229	183.517
0.16	380.08	112.383	217.466
0.17	395.17	97.520	247.421
0.18	408.58	84.307	274.047
0.19	420.59	72.486	297.871
0.2	431.39	61.847	319.312
0.21	441.16	52.221	338.712
0.22	450.05	43.470	356.348
0.23	458.16	35.480	372.450
0.24	465.60	28.155	387.210
0.25	472.44	21.417	400.790
0.26	478.75	15.197	413.325
0.27	484.60	9.438	424.931
0.28	490.03	4.090	435.709

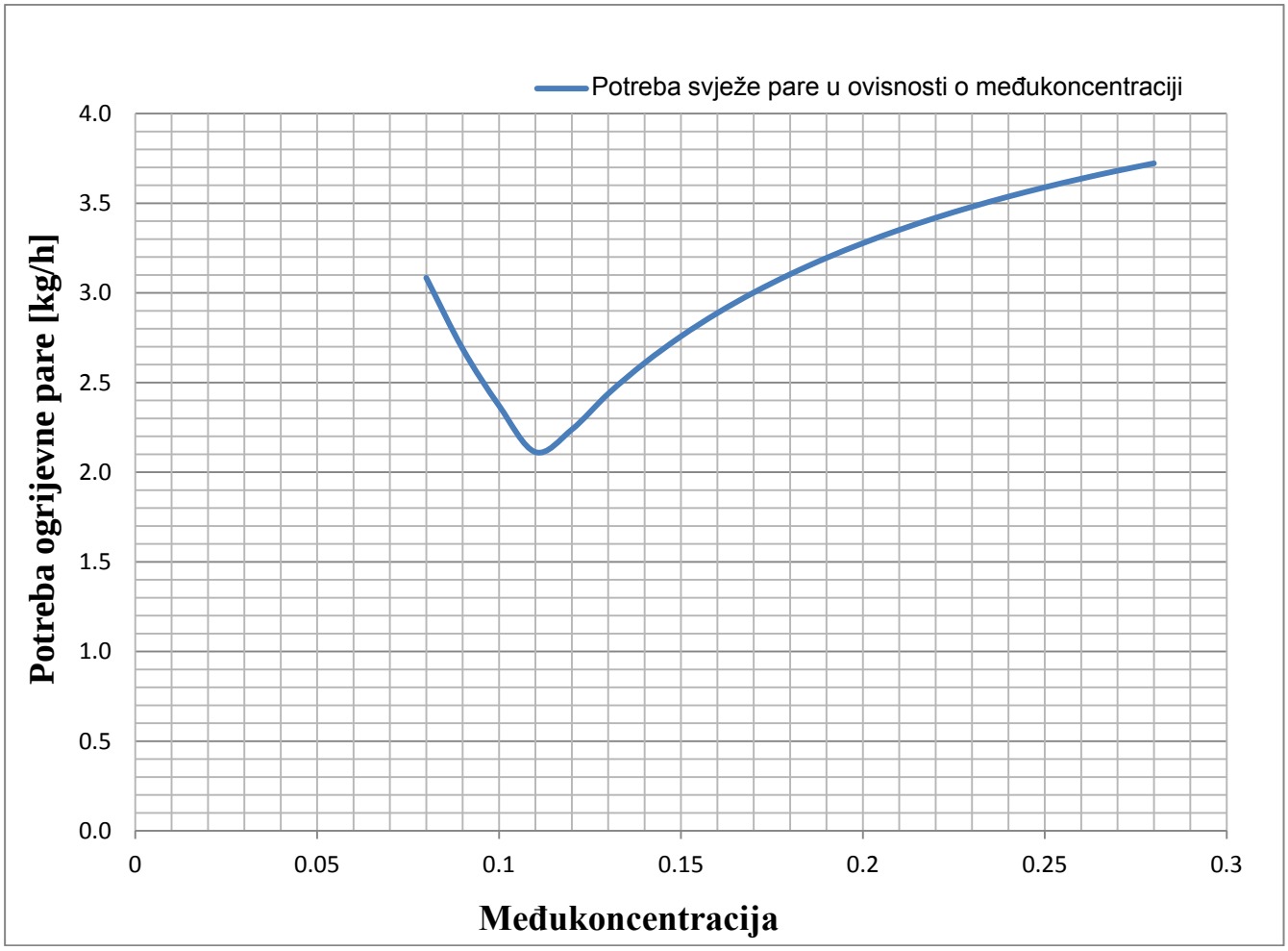
suha tvar	kW VIŠAK/NEDOSTATAK SNAGE ZA 2. STUPANJ	m^2 POVRŠINA 1. GRIJLALICE	POVRŠINA 2. GRIJLALICE	kilogrami potrosene pare/ kiilogramu proizvedenog koncentrata
0.08	-291.767	10.29	36.51	3.084
0.09	-178.604	15.05	30.89	2.688
0.1	-88.074	18.85	26.40	2.371
0.11	-14.004	21.96	22.72	2.112
0.12	47.722	24.55	19.66	2.238
0.13	99.951	26.74	17.07	2.437
0.14	144.718	28.62	14.85	2.609
0.15	183.517	30.25	12.92	2.757
0.16	217.466	31.67	11.24	2.887
0.17	247.421	32.93	9.75	3.002
0.18	274.047	34.05	8.43	3.104
0.19	297.871	35.05	7.25	3.195
0.2	319.312	35.95	6.18	3.277
0.21	338.712	36.76	5.22	3.351
0.22	356.348	37.50	4.35	3.419
0.23	372.450	38.18	3.55	3.480
0.24	387.210	38.80	2.82	3.537
0.25	400.790	39.37	2.14	3.589
0.26	413.325	39.90	1.52	3.637
0.27	424.931	40.38	0.94	3.681
0.28	435.709	40.84	0.41	3.722

Tabela 2. Uparivanje u odnosu na međukoncentraciju

Ovisnost potrebe svježe pare o izboru međukoncentracije.

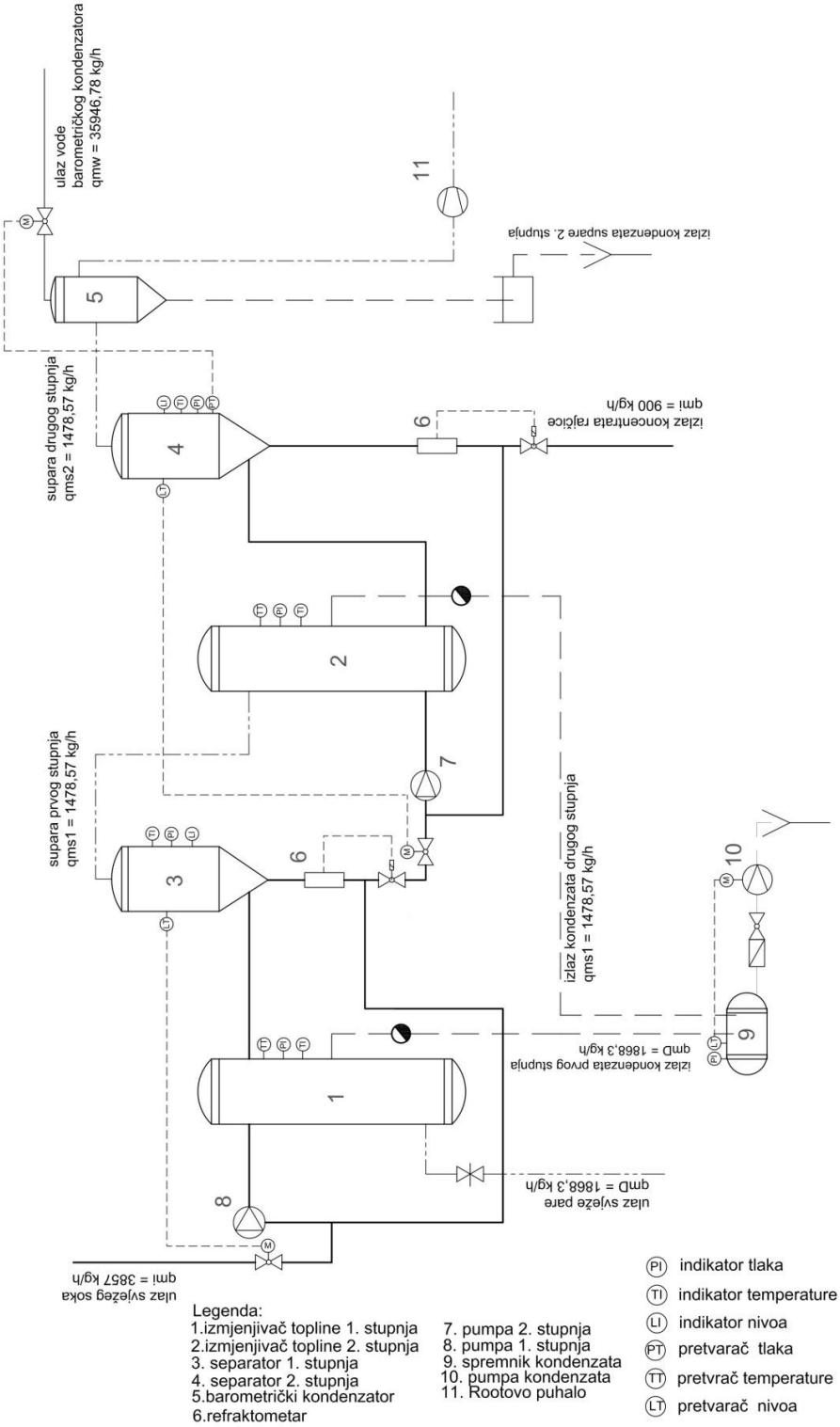


Ovisnost potrebe svježe pare o izboru međukoncentracije.



3. TERMODINAMIČKI PRORAČUN UPARIVAČKIH JEDINICA 1. I 2. STUPNJA

3.1. Shema postrojenja za uparivanje soka od rajčice



3.2. Tehnički opis

Na početku puštanja u pogon uređaja svježi sok rajčice ulazi u izmjenjivač topline puneći cijevi i separator do radnog nivoa bez puštanja ogrjevne pare u izmjenjivač topline. Kada je postignut radni nivo u separatoru zatvara se ulaz svježeg soka rajčice i započinje dotok potrebne količine ogrjevne pare u izmjenjivač topline dok pumpa recirkulira sok kroz izmjenjivač i separator sve dok refraktometar ne zabilježi dovoljnu količinu šećera koja odgovara za koncentraciju ξ_x = 11,35% proračunatu kao međukoncentraciju sustava. Tada se otvara ventil koji pušta potrebnu količinu koncentriranog soka u drugi stupanj uparivanja dok se na ulazu otvara prolaz svježeg soka rajčice koji započinje svoj radni ciklus uparivanja.

U 2. stupnju se zatim odvija jednaki proces kao u 1. stupnju. Ulogu svježeg soka zamjenjuje koncentrat iz 1. stupnja međukoncentracije ξ_x = 11,35%,, a svježu paru supara 1. stupnja. Izmjenjivač topline i separator se pune do radnog nivoa kada se zatvara ulaz međukoncentracije i supara 1. stupnja započinje ulaziti u izmjenjivač topline dok pumpa 2. stupnja započinje recirkulirati koncentrat. Sada refraktometar drži zatvorenim izlaz gotovog proizvoda dok ne zabilježi dovoljnu količinu šećera koja odgovara za koncentraciju ξ_x = 30% i tada se otvara ulaz koncentrata 1. stupnja koji započinje svoj radni ciklus uparivanja.

Radni ciklus vodi se na sljedeći način s regulacijom pretvarača nivoa.

Svježi sok koncentracije 7% suhe tvari ulazi u izmjenjivač topline zajedno s recirkulacijskim protokom 1. stupnja gdje se zagrijava na 77 °C pomoću svježe suhozasićene pare temperature 100 °C. Nakon toga zajednički protok ulazi u separator u kojem vlada tlak 0,357 bar i u kojem se vrši uparivanje na 73 °C i za koncentraciju ξ_x = 11,35%. Dio koncentriranog soka odvaja se za 2. stupanj dok recirkulacijski protok nastavlja kružiti. Odvojena količina ulazi u 2. stupanj u kojem zatim zajedno s recirkulacijskim protokom 2. stupnja ulazi u jednaki izmjenjivač topline poput 1. stupnja i zagrijava se na 53,7 °C pomoću supare dobivene u separatoru 1. stupnja. Zajednički protok zatim ulazi u separator 2. stupnja u kojem vlada tlak 0,121 bar i vrši se uparivanje pri 48,8 °C na ξ_x = 30%. Iz 2. stupnja izlazi željena količina koncentriranog soka od 900 kg/h dok ostatak nastavlja kružiti između separatora i izmjenjivača topline 2. stupnja.

3.3. Proračun 1. stupnja uparivanja

3.3.1. Bilanca mase i energije

Protoci:

$qm_u -$ ulaz svježeg soka rajčice
$qm_i -$ izlaz koncentrata soka rajčice
$qm_D -$ ulaz svježe zasićene pare, izlaz kondenzata
$qm_{S1} -$ supara prvog stupnja
$qm_x -$ međukoncentracija
$qm_{R1} -$ recirkulacija prvog stupnja

Entalpije:

$h_u -$ entalpija svježeg soka rajčice
$h_i -$ entalpija koncentrata soka rajčice
$h_x -$ entalpija međukoncentracije soka rajčice
$h_D -$ entalpija svježe zasićene pare
$h_{S1} -$ entalpija supare prvog stupnja
$h_K -$ entalpija kondenzata svježe pare
$h_{R1} -$ entalpija izmješanog svježeg soka i recirkulacije na izlazu iz izmjenjivača topline
$h_{M1} -$ entalpija izmješanog svježeg soka i recirkulacije na ulazu u izmjenjivač topline

$\xi_i -$ koncentracija soka na ulazu
$\xi_u -$ koncentracija soka na izlazu
$\xi_x -$ koncentracija soka u međukoncentraciji

Energetska bilanca sustava:

$$(qm_U + qm_{R1}) \cdot h_{R1} = (qm_X + qm_{R1}) \cdot h_X + qm_{S1} \cdot h_{S1}$$

$$qm_R \cdot h_{R1} + qm_U \cdot h_{R1} = qm_{R1} \cdot h_{R1} + qm_X \cdot h_X + qm_{S1} \cdot h_{S1}$$

$$qm_{R1} = \frac{qm_{S1} \cdot h_{S1} + qm_X \cdot h_X - qm_U \cdot h_{R1}}{h_{R1} - h_X}$$

$qm_i = 900$ kg/h
$\xi_i = 30\%$
$\xi_u = 7\%$

$$qm_u = qm_i \cdot \frac{\xi_i}{\xi_u} = 900 \cdot \frac{0{,}3}{0{,}07} = 3857{,}143 \text{ kg/h}$$

Odabrana međukoncentracija za jednoliko dobivanje supare u oba stupnja iznosi 0,1135. Dobivena količina međukoncentracije prvog stupnja iznosi:

$$qm_x = qm_u \cdot \frac{\xi_u}{\xi_x} = 3857{,}143 \cdot \frac{0{,}07}{0{,}1135} = 2378{,}57 \text{ kg/h}$$

Potrebna količina otparivanja prvog stupnja iznosi:

$$qm_{S1} = qm_u - qm_X = 3857{,}143 - 2378{,}57 = 1478{,}57 \text{ kg/h}$$

Uparivanje se vrši na 73 °C dok se recirkulirana masa zagrijava na 77 °C, svježi sok od rajčice ulazi s 24 °C.
Specifični toplinski kapacitet računa se aditivnom formulom:

$$c = \xi \cdot c_{st} + (1 - \xi) \cdot c_0 \qquad [1]$$

$c_{st} -$ specifični toplinski kapacitet suhe tvari rajčice
$c_0 -$ specifični toplinski kapacitet vode

$c_{st} = 2{,}6584$ kJ/(kg K)
$c_0 = 4{,}187$ kJ/(kg K)

$$c_u = \xi_u \cdot c_{st} + (1 - \xi_u) \cdot c_0 = 0{,}07 \cdot 2{,}6584 + (1 - 0{,}07) \cdot 4{,}187 = 4{,}02 \text{ kJ/(kg K)}$$

$$c_x = \xi_x \cdot c_{st} + (1 - \xi_x) \cdot c_0 = 0{,}1135 \cdot 2{,}6584 + (1 - 0{,}1135) \cdot 4{,}187 = 4{,}013 \text{ kJ/(kg K)}$$

$$c_i = \xi_i \cdot c_{st} + (1 - \xi_i) \cdot c_0 = 0{,}3 \cdot 2{,}6584 + (1 - 0{,}3) \cdot 4{,}187 = 3{,}728 \text{ kJ/(kg K)}$$

$h_{R1} = \vartheta_{R1} \cdot c_x = 77 \cdot 4{,}013 = 309{,}132$ kj/kg
$h_{S1} = 2631{,}994$ kj/kg
$h_X = \vartheta_x \cdot c_x = 74 \cdot 4{,}02 = 292{,}984$ kj/kg
$h_u = \vartheta_u \cdot c_u = 24 \cdot 4{,}02 = 96{,}48$ kJ/kg

$$qm_{R1} = \frac{qm_{S1} \cdot h_{S1} + qm_X \cdot h_X - qm_u \cdot h_{R1}}{h_{R1} - h_X} =$$
$$= \frac{1478{,}57 \cdot 2631{,}994 + 2378{,}57 \cdot 292{,}984 - 3857{,}143 \cdot 309{,}132}{309{,}132 - 292{,}984} = 210320{,}26 \text{ kg/h}$$

Potreba svježe pare temperature 100 °C za zagrijavanje recirkulirane mase i svježeg ulaza iznosi:

$$(h_D - h_K) \cdot qm_D = (qm_U + qm_R) \cdot (h_{R1} - h_{M1})$$

Potrebno je najprije odrediti entalpiju nastalu miješanjem svježeg soka rajčice s recirkuliranom masom:

$$(qm_u + qm_{R1}) \cdot \ h_{M1} = \ qm_u \cdot h_u + \ qm_{R1} \cdot h_x$$

$$h_{M1} = \frac{qm_u \cdot h_u + \ qm_{R1} \cdot h_x}{(qm_u + qm_{R1})} = \frac{3857{,}143 \cdot 96{,}48 + 210320{,}26 \cdot 292{,}984}{3857{,}143 + 210320{,}26} =$$

$$= 289{,}45 \text{ kj/kg}$$

Nakon čega se iz postavljene energetske bilance može dobiti količina potrebne svježe pare za vođenje procesa.

$$qm_D = \frac{(qm_u + qm_{R1}) \cdot \ (h_{R1} - \ h_{M1})}{(h_D - h_K)} =$$

$$= \frac{(3857{,}143 + 210320{,}26) \cdot (309{,}132 - 289{,}45)}{(2676 - 419{,}22)} = 1868{,}30 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

3.3.2. Proračun izmjenjivača topline 1. stupnja

3.3.2.1. Na strani koncentrata

Srednja temperatura izlaza i ulaza na izmjenjivaču iznosi 75 °C. Gustoća za zadanu temperaturu iznosi 1031.06 kg/m^3,a koja se računa prema formuli:

$$\rho \quad = \rho_w \cdot (1 - \xi) + \rho_S \cdot \xi \qquad [3]$$

$\rho \quad -$ gustoća koncentrata
$\rho_w -$ gustoća povezana s vodenim udjelom
$\rho_S -$ gustoća povezana s udjelom rajčice
$\vartheta -$ srednja temperatura koncentrata

$$\rho_w = 9{,}9989 \cdot 10^2 - 6{,}0334 \cdot 10^{-2} \cdot \vartheta - 3{,}6710 \cdot 10^{-3} \cdot \vartheta^2 =$$
$$= 9{,}9989 \cdot 10^2 - 6{,}0334 \cdot 10^{-2} \cdot 75 - 3{,}6710 \cdot 10^{-3} \cdot 75^2 = 974{,}72 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_S = 1{,}4693 \cdot 10^3 + 5{,}4667 \cdot 10^{-1} \cdot \vartheta - 6{,}9643 \cdot 6{,}9643 \cdot\cdot 10^{-3} \cdot \vartheta^2 =$$
$$= 1{,}4693 \cdot 10^3 + 5{,}4667 \cdot 10^{-1} \cdot 75 - 6{,}9643 \cdot 6{,}9643 \cdot 10^{-3} \cdot 75^2 =$$
$$= 1471{,}126 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \quad = \rho_w \cdot (1 - \xi_x) + \rho_S \cdot \xi_x = 974{,}72 \ \cdot (1 - 0{,}1135) + 1471{,}126 \ \cdot 0{,}1135 =$$
$$= 1031{,}06 \text{ kg/m}^3$$

Toplinska provodnost iznosi 0,5945 W/(m^2 K). , a računa se preko eksperimentalne forumle za koncentrat rajčice: [7]

$$\lambda = 0{,}482 + 0{,}0015 \cdot \vartheta = 0{,}482 + 0{,}0015 \cdot 75 = 0{,}5945 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$$

Odabrane cijevi imaju unutarnji promjer 0,016 m i vanjski promjer 0,018 m. Pretpostavljena duljina cijevi L iznosi 8,3 m dok je pretpostavljena brzina 1,2 m/s.

$d_v = 18$ mm
$d_u = 16$ mm
$L = 8{,}3$ m
$w = 1{,}2$ m/s

Kroz izmjenjivač prolazi količina od $qm_u + qm_{R1} = 210320.26$ kg/h odnosno 59.49 kg/s.

$Re -$ Reynoldsov broj
$\mu -$ dinamčka viskoznost koncentrata
$u_w -$ dinamčka viskoznost na stijenci
$Nu -$ Nusseltov broj
$K, n -$ eksperimentalne konstante za zadanu koncentraciju i temperaturu
$\propto_u -$ koeficijent prijelaza topline na strani koncentrata
$n_{c,pretp} -$ pretpostavljeni broj potrebnih cijevi

Sok od rajčice ponaša se kao ne-Newtonovska tekućina te se za rješavanje strujanja koristi modificirana Sieder and Tate jednadžba.
Ne-Newtonovske tekućine ponašaju se prema sljedećem zakonu. [4]

$$\tau = K\,(y)^n$$

Gdje su K i n koeficijenti dobiveni laboratorijskim ispitivanjima za različite koncentracije i temperature.
Tim izrazom modificiran je i Reynoldsov broj.

$$Re = \frac{8(w)^{2-n}R^n\rho}{K[(3n+1)/n]^n}$$

Preko izraza za viskoznost:

$$\mu = \frac{Dw\rho}{Re}$$

dobiva se izraz za ne-Newtonovske tekućine.

$$\mu = \frac{K}{4}\,[(3n+1)/n]^n\,R^{1-n}\,w^{n-1}$$

Za dobivanje viskoznosti na stijenci koristi se Rabinowitsch-Mooney izraz.

$$\mu_w = K\left(\frac{2w}{D}\right)^{n-1}\left(\frac{3n+1}{n}\right)^{n-1}$$

Koji kombiniran sa Sieder and Tate jednadžbom daje izraz za Nusseltov broj kod ne-Newtnovskih tekućina.

$$Nu = 1{,}615\left(\frac{3n+1}{4n}\right)^{0{,}33}\left(\frac{D^2\cdot w\cdot\rho\cdot c_p}{\lambda\,L}\right)^{0{,}33}\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0{,}14}$$

Za dobivene parametre tekućine koeficijenti iznose: [6]

K = 2,28 Pa·s^n
n = 0,35

$$Re = \frac{8 \cdot (1{,}2)^{2-0{,}35} \cdot 0{,}008^{0{,}35} \cdot 1031{,}065}{2{,}28 \cdot \left[\frac{3 \cdot 0{,}35 + 1}{0{,}35}\right]^{0{,}35}} = 522{,}5$$

$$\mu = \frac{2{,}28}{4}\ [(3 \cdot 0{,}35 + 1)/0{,}35]^{0{,}35} \cdot\ 0{,}008^{1-0{,}35}\ \cdot 1{,}2^{0{,}35-1} = 0{,}03789\ \mathrm{Pa} \cdot \mathrm{s}$$

$$\mu_w = 2{,}28 \cdot \left(\frac{2 \cdot 1{,}2}{0{,}016}\right)^{n-1} \cdot \left(\frac{3 \cdot 0{,}35 + 1}{0{,}35}\right)^{0{,}35-1} = 0{,}025875\ \mathrm{Pa} \cdot \mathrm{s}$$

$$Nu = 1{,}615 \cdot \left(\frac{3 \cdot\ 0{,}35 + 1}{4 \cdot\ 0{,}35}\right)^{0{,}33} \left(\frac{0{,}016^2 \cdot\ 1{,}2 \cdot\ 1031{,}36 \cdot 4013}{0{,}594 \cdot\ 8{,}3}\right)^{0{,}33} \left(\frac{0{,}03789}{0{,}025875}\right)^{0{,}14} =$$

$$= 12{,}07$$

$$Nu = \propto \cdot \frac{d_u}{\lambda}$$

$$\propto = \frac{\lambda \cdot Nu}{d_u} = \frac{0{,}5945 \cdot 12{,}07}{0{,}016} = 448{,}62\ \mathrm{W/(m^2K)}$$

$$n_{c,pretp} = \frac{4 \cdot (qm_{R1} +\ qm_u)}{w \cdot d_u^2 \cdot \pi \cdot \rho} = \frac{4 \cdot 59{,}494}{1{,}2 \cdot 0{,}016^2 \cdot \pi \cdot 1031{,}36} = 239{,}27$$

Odabrani broj cijevi:

$$n_c = 240$$

3.3.2.2 Na strani pare

Cijeli proračun zbog zahtjeva za jednakim jedinicama prvog i drugog stupnja kao primarnim parametrima za dobivanje potrebnih količina koncentriranog soka programiran je u Excel datoteci u kojoj je mijenjanjem tlakova isparavanja, potrebne temperature zagrijavanja recikrulacije, veličine, dužine i broja cijevi blansiran sustav koji funkcionira s dva jednaka izmjenjivača u oba stupnja uparivanja.

Odabrane cijevi

$d_v = 18$ mm
$d_u = 16$ mm
$L = 8{,}3$ m

broj prolaza - $n_p = 2$
broj cijevi - $n_c = 240$

Trokut raspored i konstrukcija izmjenjivača prema *VDI Heat Atlas.*

$$OTL = \sqrt{n_p \cdot f_1 \cdot n_c \cdot t^2 + f_2 \cdot \sqrt{n_c} \cdot t} + d_v =$$

za trokut raspored:
$f_1 = 1{,}1$ mm

za broj prolaza $n_p = 2$

$f_2 = 22$ mm

za vanjski promjer $d_v = 18$ mm

$t = 26$ mm

$$OTL = \sqrt{2 \cdot 1.1 \cdot 240 \cdot 26^2 + 22 \cdot \sqrt{240} \cdot 26} + 18 = 603{,}9 \text{ mm}$$

Odabrani unutrašnji promjer plašta:

$D_u = 620$ mm

Središnji kut: $\gamma = 180°$

Broj cijevi u odsječku segmenta pregrade:

$$N_U = 240$$

Razmak između najbliže cijevi i plašta:

$$e_1 = 27 \text{ mm}$$

$$e = t - d_v = 26 - 18 = 8 \text{ mm}$$

Razmak između segmentnih pregrada u međuzoni:

$$L_M \geq 0.2 \cdot D_u$$

$L_{M1} = 0.2 \cdot D_u = 0.2 \cdot 620 = 124$ mm

Odabrano: $L_M = 600$ mm

Razmak između pregrade i plašta:

$f = 2$ mm *(VDI Heat atlas, Ob6/tab.6)*

Konstanta za određivanje plašta:

$C = 0.22$ - neobrađivani plašt

Slobodni presjek strujanja u uzdužnoj zoni:

$$S_U = \left(\frac{D_u^2}{8}\right) \cdot \left(\frac{\gamma \cdot \pi}{180} - \sin\gamma\right) - N_U \cdot \frac{d_v^2 \cdot \pi}{4} =$$

$$= \left(\frac{0.620^2}{8}\right) \cdot \left(\frac{180 \cdot \pi}{180} - \sin 180°\right) - 240 \cdot \frac{0.018^2 \cdot \pi}{4} = 0.012767 \ m^2$$

Najuži presjek strujanja u međuzoni:

$N_0 = 0$

$$S_M = (D_u - N_0 \cdot d_v) \cdot L_M = (0.620 - 0 \cdot 0.018) \cdot 0.600 = 0.424 \text{m}^2$$

Presjek S_D na koji se odnosi ekvivalentna brzina strujanja:

$$S_D = \sqrt{S_M \cdot S_U} = \sqrt{0.0424 \cdot 0.012767} = 0.2327 \text{ m}^2$$

Ekvivalentna brzina strujanja pare:

$$w = \frac{qm_D}{S_D \cdot \rho_D} = \frac{0{,}519}{0{,}2327 \cdot 0{,}599} = 3{,}725 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

Korišten model kondenzacije pare na horizontalnim stjenkama cijevi uzet je prema Butterworth metodi. [5]

$$\alpha_v = \left[\frac{1}{2} \cdot \alpha_{sh}{}^2 + \left(\frac{1}{4} \cdot \alpha_{sh}{}^4 + \alpha_l{}^4\right)^{1/2}\right]^{1/2} \cdot \left[N^{5/6} - (N-1)^{5/6}\right]$$

N – redovi cijevi
N = 12

$$\alpha_{sh} = 0{,}59 \cdot \frac{\lambda_l}{d_v} \cdot Re_f{}^{1/2}$$

$$\alpha_l = 0{,}728 \cdot \frac{\lambda_l}{d_v} \cdot \left[\frac{\rho_l \cdot (\rho_l - \rho_g) \cdot g \cdot \Delta h \cdot d_v{}^3}{\mu_l \cdot \Delta\vartheta \cdot \lambda_l}\right]^{1/4}$$

$$Re_f = \frac{\rho_l \cdot u \cdot d_v}{\mu_l}$$

$\Delta\vartheta$ razlika temperature pare i temperature stijenke cijevi dobivena je iterativnim postupkom pomoću programa Excel u kojem su povezane sve jednadžbe i mijenjanjem parametara dobiven je $\Delta\vartheta$ = 1,7 °C.

$$q_u = \frac{\vartheta_{stj1} - \vartheta_{konc}}{\frac{d_u}{d_v \cdot \alpha_u} + \frac{d_u}{2\lambda} \ln \frac{d_v}{d_u}} = q_v = \frac{\vartheta_{pare} - \vartheta_{stj2}}{\frac{d_v}{d_u \cdot \alpha_v} + \frac{d_v}{2\lambda} \ln \frac{d_v}{d_u}}$$

Pretpostavljene su približne temperature stijenki $\vartheta_{stj1} \approx \vartheta_{stj2}$

Svojstva zasićene pare pri 100 °C

$\rho_l = 958{,}387\ \mathrm{kg/m^3}$
$\rho_g = 0{,}59\ \mathrm{kg/m^3}$
$\lambda_l = 0{,}6791\ \mathrm{W/(m\ K)}$
$\mu_l = 282{,}3\ \cdot 10^{-6}\ \mathrm{Pa \cdot s}$
$\mu_g = 12{,}28\ \cdot 10^{-6}\ \mathrm{Pa \cdot s}$
$\Delta h = 2256{,}78\ \mathrm{kj/kg}$
$c_{pl} = 96{,}48\ \mathrm{kj/kg}$

$$Re_f = \frac{\rho_l \cdot w \cdot d_v}{\mu_l} = \frac{958{,}387 \cdot 3{,}725 \cdot 0{,}018}{282{,}3 \cdot 10^{-6}} = 227629$$

$$\alpha_{sh} = 0{,}59 \cdot \frac{\lambda_l}{d_v} \cdot {Re_f}^{1/2} = 0{,}59 \cdot \frac{0{,}6791}{0{,}018} \cdot 227629^{1/2} = 10620\ \mathrm{W/(m^2K)}$$

$$\alpha_l = 0{,}728 \cdot \frac{\lambda_l}{d_v} \cdot \left[\frac{\rho_l \cdot (\rho_l - \rho_g) \cdot g \cdot \Delta h \cdot {d_v}^3}{\mu_l \cdot \Delta\vartheta \cdot \lambda_l}\right]^{\frac{1}{4}} =$$

$$= 0{,}728 \cdot \frac{0{,}6791}{0{,}018} \cdot \left[\frac{958{,}387 \cdot (958{,}387 - 0{,}59) \cdot 9{,}81 \cdot 2256{,}78 \cdot 1000 \cdot 0{,}018^3}{282{,}3 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}7 \cdot 0{,}6791}\right]^{\frac{1}{4}} =$$

$$= 21329\ \mathrm{W/(m^2K)}$$

$$\alpha_v = \left[\frac{1}{2} \cdot {\alpha_{sh}}^2 + \left(\frac{1}{4} \cdot {\alpha_{sh}}^4 + {\alpha_l}^4\right)^{\frac{1}{2}}\right]^{\frac{1}{2}} \cdot \left[N^{\frac{5}{6}} - (N-1)^{\frac{5}{6}}\right] =$$

$$= \left[\frac{1}{2} \cdot 10620^{\,2} + \left(\frac{1}{4} \cdot 10620^{\,4} + 21329^4\right)^{\frac{1}{2}}\right]^{\frac{1}{2}} \cdot \left[12^{\frac{5}{6}} - (12-1)^{\frac{5}{6}}\right]$$

$$= 12586\ \mathrm{W/(m^2K)}$$

$$k_v = \frac{1}{\frac{d_v}{d_u \cdot \alpha_u} + \frac{d_v}{2\lambda} \ln\frac{d_v}{d_u} + \frac{1}{\alpha_v}} = \frac{1}{\frac{0{,}018}{0{,}016 \cdot 448{,}41} + \frac{0{,}018}{2 \cdot 17} \ln\frac{0{,}018}{0{,}016} + \frac{1}{12586}} =$$
$$= 416{,}32\ \mathrm{W/(m^2K)}$$

$$\Delta\vartheta_\mathrm{m} = \frac{(\vartheta_2'' - \vartheta_1') - (\vartheta_2' - \vartheta_1'')}{\ln\frac{(\vartheta_2'' - \vartheta_1')}{(\vartheta_2' - \vartheta_1'')}} = \frac{(100 - 73) - (100 - 77)}{\ln\frac{(100 - 73)}{(100 - 77)}} = 24{,}95\ °\mathrm{C}$$

Potrebna površina za izmjenu topline:

$$A = \frac{\Phi}{k_v \cdot \Delta\vartheta_{\mathrm{m}}} = \frac{(qm_{R1} + qm_u)(h_{R1} - h_{M1})}{k_v \cdot \Delta\vartheta \cdot 3600} =$$

$$= \frac{(210320{,}26 + 3857{,}143)(309{,}13 - 289{,}45)}{(416{,}32/1000) \cdot 24{,}95 \cdot 3600} = 112\ \mathrm{m}^2$$

Potrebna dužina izmjenjivačkog dijela aparata:

$$L = \frac{A}{d_v \cdot \pi \cdot n_p \cdot n_c} = \frac{112}{0.018 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 240} = 4{,}13\mathrm{m}$$

Zahtjev na dimenzije:

$$\frac{L}{D_S} = \frac{4{,}13}{0{,}632} = 6{,}53$$

Dozvoljeno (3-7)

3.4. Proračun 2. stupnja uparivanja

3.4.1. Bilanca mase i energije

Protoci:

$qm_i -$ izlaz koncentrata soka rajčice
$qm_{S1} -$ supara prvog stupnja
$qm_x -$ međukoncentracija
$qm_{R2} -$ recirkulacija drugog stupnja
$qm_{S2} -$ supara drugog stupnja

Entalpije:
$h_i -$ entalpija koncentrata soka rajčice
$h_x -$ entalpija međukoncentracije soka rajčice
$h_{S1} -$ entalpija supare prvog stupnja
$h_{KS} -$ entalpija kondenzata supare prvog stupnja
$h_{R2} -$ entalpija izmješanog svježeg soka i recirkulacije na izlazu iz izmjenjivača topline
$h_{M2} -$ entalpija izmješanog svježeg soka i recirkulacije na ulazu u izmjenjivač topline
$h_{S2} -$ entalpija supare drugog stupnja

$\xi_u -$ koncentracija soka na izlazu
$\xi_x -$ koncentracija soka u međukoncentraciji

Bilanca energije drugog stupnja:

$$(qm_x + qm_{R2}) \cdot h_{R2} = (qm_i + qm_{R2}) \cdot h_i + qm_{S2} \cdot h_{S2}$$

$$qm_{R2} \cdot h_{R2} + qm_x \cdot h_{R2} = qm_{R2} \cdot h_i + qm_i \cdot h_i + qm_{S2} \cdot h_{S2}$$

Recirkulacija drugog stupnja:

$$qm_{R2} = \frac{qm_{S2} \cdot h_{S2} + qm_i \cdot h_i - qm_x \cdot h_{R2}}{h_{R2} - h_i}$$

Potrebna količina otparivanja drugog stupnja iznosi:

$qm_{S2} = qm_x - qm_i = = 2378{,}57 - 900 = 1478{,}57$ kg/h

Uparivanje se vrši na 48,8 °C dok se recirkulirana masa zagrijava na 53.7°C, međukoncentracija ulazi s 73°C.

$h_{R2} = \vartheta_{R2} \cdot c_i = 53{,}7 \cdot 3{,}728 = 200{,}44$ kj/kg
$h_{S2} = 2631{,}99$ kj/kg

$h_x = 292{,}984\ \text{kj/kg}$
$h_i = \vartheta_i \cdot c_i = 48{,}8 \cdot 3{,}728 = 181{,}95\ \text{kj/kg}$

$$qm_{R2} = \frac{qm_{S2} \cdot h_{S2} + qm_i \cdot h_i - qm_x \cdot h_{R2}}{h_{R2} - h_i} =$$

$$= \frac{1478{,}57 \cdot 2631{,}99 + 900 \cdot 181{,}95 - 2378{,}57 \cdot 200{,}44}{200{,}44 - 181{,}95} = 190196\ \text{kg/h}$$

Potrebna snaga grijalice izmjenjivača drugog stupnja dobiva se iz postavljene bilance:

$$(qm_x + qm_{R2}) \cdot h_{M2} = qm_x \cdot h_x + qm_{R2} \cdot h_i$$

$$h_{M2} = \frac{qm_x \cdot h_x + qm_{R2} \cdot h_i}{(qm_X + qm_{R2})} = \frac{2378{,}57 \cdot 292{,}984 + 190196 \cdot 181{,}95}{(2378{,}57 + 190196)} = 183{,}32\ \text{kj/kg}$$

$$\Phi = \frac{\left((qm_x + qm_{R2}) \cdot (h_{R2} - h_{M2})\right)}{3600} = \frac{\left((2378{,}57 + 190196) \cdot (200{,}44 - 183{,}32)\right)}{3600} = 915{,}66\ \text{kW}$$

3.4.2. Proračun izmjenjivača topline 2. stupnja

3.4.2.1. Na strani koncentrata

Srednja temperatura izlaza i ulaza na izmjenjivaču iznosi 51,25 °C. Gustoća za zadanu temperaturu iznosi 1134,72 kg/m^3,a koja se računa prema formuli:

$$\rho \quad = \rho_w \cdot (1 - \xi) + \rho_S \cdot \xi \qquad [3]$$

ρ – gustoća koncentrata
ρ_w – gustoća povezana s vodenim udjelom
ρ_S – gustoća povezana s udjelom rajčice
ϑ – srednja temperatura koncentrata
n – broj cijevi

$$\rho_w = 9{,}9989 \cdot 10^2 - 6{,}0334 \cdot 10^{-2} \cdot \vartheta - 3{,}6710 \cdot 10^{-3} \cdot \vartheta^2 =$$
$$= 9{,}9989 \cdot 10^2 - 6{,}0334 \cdot 10^{-2} \cdot 51{,}25 \; - 3{,}6710 \cdot 10^{-3} \cdot 51{,}25^{\,2} =$$
$$= 987{,}16 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_S = 1{,}4693 \cdot 10^3 + 5{,}4667 \cdot 10^{-1} \cdot \vartheta - 6{,}9643 \cdot 6{,}9643 \cdot\cdot 10^{-3} \cdot \vartheta^2 =$$
$$= 1{,}4693 \cdot 10^3 + 5{,}4667 \cdot 10^{-1} \cdot 51{,}25 \; - 6{,}9643 \cdot 6{,}9643 \cdot 10^{-3} \cdot 51{,}25^{\,2}$$
$$= 1479 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \quad = \rho_w \cdot (1 - \xi_i) + \rho_S \cdot \xi_i = 987{,}16 \; \cdot (1 - 0{,}3) + 1479 \; \cdot 0{,}3 = 1134{,}72 \text{ kg/m}^3$$

Toplinska provodnost iznosi 0,559 W/(m^2 K). , a računa se preko eksperimentalne forumle za koncentrat rajčice: [7]

$$\lambda = 0{,}482 + 0{,}0015 \cdot \vartheta = 0{,}482 + 0{,}0015 \cdot 51{,}25 = 0{,}559 \text{ W/(m}^2\text{ K)}$$

Brzina strujanja za odabrani promjer i broj cijevi u odnosu na količinu koncentrata od rajčice iznosi :

$$w = \frac{4 \cdot (qm_x + qm_{R2})}{{d_u}^2 \cdot \rho \cdot n \cdot \pi} = \frac{4 \cdot \big((2378{,}57 + 190196)\big)}{0{,}016^2 \cdot 1134{,}72 \; \cdot 240 \cdot \pi \cdot 3600} = 0.98 \text{ m/s}$$

Postupak izračuna jednak je kao i za prvi stupanj. [4]

Re – Reynoldsov broj
μ – dinamčka viskoznost koncentrata
u_w – dinamčka viskoznost na stjenci
Nu – Nusseltov broj
K, n – eksperimentalne konstante za zadanu koncentraciju i temperaturu
$\propto_u$ – koeficijent prijelaza topline na strani koncentrata

Za dobivene parametre tekućine koeficijenti iznose: [6]

K = 15,1 Pa·s^n
n = 0,42

$$Re = \frac{8(w)^{2-n}R^n\rho}{K[(3n+1)/n]^n} = \frac{8(0{,}98)^{2-0.42}\cdot 0{,}008^{0.42}\cdot 1031{,}36}{15{,}1\cdot\left[\frac{3\cdot 0{,}42+1}{0{,}42}\right]^{0.42}} = 37{,}82$$

$$\mu = \frac{K}{4}\left[\frac{3n+1}{n}\right]^n R^{1-n}\, w^{n-1} =$$

$$= \frac{15{,}1}{4}\,[(3\cdot 0{,}42+1)/0{,}42]^{0.42}\cdot\ 0{,}008^{1-0.42}\ \cdot 0{,}98^{0.42-1} = 0{,}4706\ \mathrm{Pa}\cdot\mathrm{s}$$

$$\mu_w = K\left(\frac{2w}{d_u}\right)^{n-1}\left(\frac{3n+1}{n}\right)^{n-1} = 15.1\cdot\left(\frac{2\cdot 0{,}98}{0{,}016}\right)^{0.42-1}\cdot\left(\frac{3\cdot 0{,}42+1}{0{,}42}\right)^{0.42-1}$$

$$= 0{,}3498\ \mathrm{Pa}\cdot\mathrm{s}$$

$$Nu = 1{,}615\left(\frac{3n+1}{4n}\right)^{0{,}33}\left(\frac{{d_u}^2\cdot w\cdot\rho\cdot c_p}{\lambda\, L}\right)^{0{,}33}\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0{,}14} =$$

$$= 1{,}615\cdot\left(\frac{3\cdot\ 0{,}42+1}{4\cdot\ 0{,}42}\right)^{0{,}33}\left(\frac{0{,}016^2\cdot\ 0{,}98\cdot\ 1134{,}72\cdot 3728}{0{,}559\cdot\ 10}\right)^{0{,}33}\left(\frac{0{,}4706}{0{,}3498}\right)^{0{,}14} = 11{,}15$$

$$Nu = \propto\cdot\frac{D}{\lambda}$$

$$\propto_u = \frac{\lambda\cdot Nu}{d_u} = \frac{0{,}559\cdot 11{,}15}{0{,}016} = 389{,}58\ \mathrm{W/(m^2K)}$$

3.4.2.2. Na strani pare

Kako se i u drugom stupnju uparivanja koristi jednaki izmjenjivač topline kao i u prvom stupnju, geometrijske karakteristike za proračun prijelaza topline na strani pare ostaju isti.

Ekvivalentna brzina strujanja pare:

$$w = \frac{qm_{S1}}{S_D \cdot \rho} = \frac{0{,}41}{0{,}2327 \cdot 0{,}225} = 7{,}84 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

Korišten model kondenzacije pare na horizontalnim stjenkama cijevi uzet je prema Butterworth metodi jednakoj kao i za prvi stupanj. [5]

$\Delta\vartheta$ razlika temperature pare i temperature stijenke cijevi dobivena je iterativnim postupkom pomoću programa Excel u kojem su povezane sve jednadžbe i mijenjanjem parametara dobiveni $\Delta\vartheta$ = 1,3 °C

$$q_u = \frac{\vartheta_{stj1} - \vartheta_{konc}}{\frac{d_u}{d_v \cdot \alpha_u} + \frac{d_u}{2\lambda} \ln \frac{d_v}{d_u}} = q_v = \frac{\vartheta_{pare} - \vartheta_{stj2}}{\frac{d_v}{d_u \cdot \alpha_v} + \frac{d_v}{2\lambda} \ln \frac{d_v}{d_u}}$$

Pretpostavljene su približne temperature stijenki $\vartheta_{stj1} \approx \vartheta_{stj2}$

Svojstva zasićene pare pri 73°C
$\rho_l = 975{,}992\ \mathrm{kg/m^3}$
$\rho_g = 0{,}225\ \mathrm{kg/m^3}$
$\lambda_l = 0{,}663\ \mathrm{W/(m\ K)}$
$\mu_l = 402{,}82\ \cdot 10^{-6}\ \mathrm{Pa \cdot s}$
$\mu_g = 11{,}318\ \cdot 10^{-6}\ \mathrm{Pa \cdot s}$
$\Delta h = 2326{,}33\ \mathrm{kj/kg}$

$$Re_f = \frac{\rho_l \cdot w \cdot d_v}{\mu_l} = \frac{975{,}992 \cdot 7{,}84 \cdot 0{,}018}{402{,}82 \cdot 10^{-6}} = 341920$$

$$\alpha_{sh} = 0{,}59 \cdot \frac{\lambda_l}{d_v} \cdot {Re_f}^{1/2} = 0{,}59 \cdot \frac{0{,}663}{0{,}018} \cdot 341920^{1/2} = 12707\ \mathrm{W/(m^2K)}$$

$$\alpha_l = 0{,}728 \cdot \frac{\lambda_l}{d_v} \cdot \left[\frac{\rho_l \cdot (\rho_l - \rho_g) \cdot g \cdot \Delta h \cdot {d_v}^3}{\mu_l \cdot \Delta\vartheta \cdot \lambda_l}\right]^{\frac{1}{4}} =$$

$$= 0{,}728 \cdot \frac{0{,}663}{0{,}018} \cdot \left[\frac{975{,}992 \cdot (975{,}992 - 0{,}225) \cdot 9{,}81 \cdot 2326{,}33 \cdot 1000 \cdot 0{,}018^3}{402{,}82 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}3 \cdot 0{,}663}\right]^{\frac{1}{4}} =$$

$$= 20850 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$\alpha_v = \left[\frac{1}{2} \cdot \alpha_{sh}{}^2 + \left(\frac{1}{4} \cdot \alpha_{sh}{}^4 + \alpha_l{}^4\right)^{\frac{1}{2}}\right]^{\frac{1}{2}} \cdot \left[N^{\frac{5}{6}} - (N-1)^{\frac{5}{6}}\right] =$$

$$= \left[\frac{1}{2} \cdot 12707^{\,2} + \left(\frac{1}{4} \cdot 12707^{\,4} + 20850^{\,4}\right)^{\frac{1}{2}}\right]^{\frac{1}{2}} \cdot \left[12^{\frac{5}{6}} - (12-1)^{\frac{5}{6}}\right] =$$

$$= 12685 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$k_v = \frac{1}{\frac{d_v}{d_u \cdot \alpha_u} + \frac{d_v}{2\lambda} \ln \frac{d_v}{d_u} + \frac{1}{\alpha_v}} = \frac{1}{\frac{0{,}018}{0{,}016 \cdot 389{,}58} + \frac{0{,}018}{2 \cdot 17} \ln \frac{0{,}018}{0{,}016} + \frac{1}{12685}} =$$

$$= 373{,}48 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$\Delta\vartheta_\mathrm{m} = \frac{(\vartheta_2'' - \vartheta_1') - (\vartheta_2' - \vartheta_1'')}{\ln \frac{(\vartheta_2'' - \vartheta_1')}{(\vartheta_2' - \vartheta_1'')}} = \frac{(73 - 48{,}8) - (73 - 53{,}7)}{\ln \frac{(73 - 48{,}8)}{(73 - 53{,}7)}} = 21{,}66 \text{ °C}$$

$$A = \frac{\Phi}{k_v \cdot \Delta\vartheta_\mathrm{m}} = \frac{(qm_{R2} + qm_x)(h_{R2} - h_{M2})}{k_v \cdot \Delta\vartheta \cdot 3600} = \frac{(190196.8 + 2378{,}57)(200{,}44 - 181{,}95)}{\left(\frac{373{,}48}{1000}\right) \cdot 21{,}66 \cdot 3600}$$

$$= 112 \text{ m}^2$$

$$L = \frac{A}{d_v \cdot \pi \cdot n_p \cdot n_c} = \frac{112}{0{,}018 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 240} = 4{,}13\text{m}$$

$$\frac{L}{D_S} = \frac{4{,}13}{0{,}632} = 6{,}53$$

Dozvoljeno (3-7)

Temeljem pokušaja i odabira ulaznih parametara za dobivanje željene količine koncentracije na izlazu uz jednake jedinice izmjenjivača pomoću programiranja izračuna u Excel datoteci dobiveno je rješenje koje daje jednake potrebne površine izmjene topline u prvom i drugom stupnju. Za odabrane tlakove uparivanja i potrebnu količinu recirkuliranog koncentrata moguće je u pogon staviti jednake izmjenjivače tipa *Shell & Tube*.

4. PRORAČUN BAROMETRIČKOG KONDENZATORA

Količina supare : $qm_{S2} = 1478{,}57$ kg/h
Temperatura supare: $\vartheta_{S2} = 48{,}8$ °C
Temperatura rashladne vode: $\vartheta_w = 25$ °C
Temperatura kondenzata: $\vartheta_k = 48{,}8$ °C
Specifični toplinski kapacitet rashladne vode $c_w = 4{,}179\ \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$
Entalpija rashladne vode: $h_W = \vartheta_w \cdot c_w = 25 \cdot 4{,}179 = 104{,}475$ kj/kg
Entalpija kondenzata: $h_K = 204{,}33$ kj/kg
Entalpija supare: $h_{S2} = 2631.99$ kj/kg
Tlak kondenzacije: $p_K = 0{,}121$ bar
Tlak okoline: $p_0 = 10^5$ Pa
Gustoća kondenzata : $\rho_K = 988{,}43$ kg/h
Dinamička viskoznost kondenzata : $\mu_K = 583 \cdot 10^{-6}$ Pa s

Temperatura kondenzata iznosi 48,8 °C

$$qm_{S2} \cdot h_{S2} + qm_W \cdot h_W = (qm_{S2} + qm_W) \cdot h_K$$

$h_W = 104{,}475$ kj/kg
$h_{S2} = 2631.99$ kj/kg
$h_K = 204{,}33$ kj/kg

$$qm_W = \frac{h_{S2} - h_K}{h_K - h_W} \cdot qm_{S2} = \frac{2631.99 - 204{,}33}{204{,}33 - 104{,}475} \cdot 1478{,}57 = 35946{,}78 \text{ kg/h}$$

4.1. Proračun barometričke cijevi

Odabrana barometrička cijev NO 125:

$d_v = 139{,}7$ mm
$d_u = 131{,}8$ mm
$s = 4$ mm

Brzina vode u barometričkoj cijevi:

$$w = \frac{4 \cdot qm_W}{\pi \cdot {d_u}^2 \cdot \rho_K} = \frac{4 \cdot (35946{,}78/3600)}{\pi \cdot 0{,}1318^{\,2} \cdot 988{,}43} = 0{,}74 \text{ m/s}$$

Reynoldsova značajka:

$$Re = w \cdot \frac{d_u \cdot \rho_K}{\mu_K} = 0{,}74 \cdot \frac{139{,}7 \ \cdot 988{,}43}{583 \cdot 10^{-6}} = 165357$$

Koeficijent trenja za turbulentno strujanje:

$$\lambda = \frac{1{,}325}{\left[ln\left(\frac{k}{3{,}7 \cdot d_u} + \frac{5{,}74}{Re^{0{,}9}}\right)\right]^2} = \frac{1{,}325}{\left[ln\left(\frac{0{,}02}{3{,}7 \cdot 131.8} + \frac{5{,}74}{165357^{0{,}9}}\right)\right]^2} = 0{,}0173$$

$$\Delta p_{pc} = \lambda \cdot \frac{L}{d_u} \cdot \frac{\rho_K \cdot w^2}{2} = 0{,}0173 \cdot \frac{10}{0{,}1318} \cdot \frac{988{,}43 \cdot 0{,}74^2}{2} = 355{,}23 \text{ Pa}$$

Visina barometričkog stupca:

$$H = \frac{\Delta p_0 + \Delta p_{pc} - \Delta p_k}{\rho_K \cdot g} = \frac{10^5 + 355{,}23 - 0{,}121 \cdot 10^5}{988{,}43 \cdot 9{,}81} = 9{,}1 \text{ m}$$

Sigurnosna dubina:

$$a \cdot b = 0{,}8 \cdot 0{,}8 = 0{,}64 \text{ m}^2$$

$$h = \frac{{d_u}^2 \cdot \pi \cdot H}{4 \cdot a \cdot b} = \frac{0{,}1318^2 \cdot \pi \cdot 9{,}1}{4 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}8} = 0{,}194 \text{ m}$$

4.2. Odabir Rootovog puhala

Količina supare koja ulazi u barometrički kondenzator:

$qm_{S2} = 1478{,}57\ \text{kg/h}$

Gustoća supare:

$\rho_{S2} = 0{,}0812\ \text{kg/m}^3$

Volumni protok supare:

$$Q = \frac{qm_{S2}}{\rho_{S2}} = \frac{1478{,}57}{0{,}0812} = 18209\ \text{m}^3/\text{h}$$

Pretpostavljena količina nekondenzirajućih plinova u supari iznosi 2%.

$Q_{np} = 0{,}02 \cdot 18209 = 364{,}18\ \text{m}^3/\text{h}$

Odabrano rotaciono puhalo proizvođača Taiko Kikai serije SSR-V.

5. PRORAČUN ČVRSTOĆE IZMJENJIVAČA TOPLINE

5.1. Proračun cilindričnog plašta izloženog djelovanju unutrašnjeg tlaka (HRN M.E2.253)

-materijal: W.Nr. 1.4301

Za austenitne čelike:

R_e= 195 N/mm^2 5/6 R_e = 162,5 N/mm^2 = K/S

R_m = 500 N/mm^2 1/3 R_m = 166 N/mm^2

- parametri:

D_s = 632 mm – vanjski promjer plašta
D_u = 620 mm – unutarnji promjer plašta
s_A = 6 mm – debljina stjenke plašta (pretpostavljeno)
p = 6 bar – proračunski tlak
$\nu = 1$ – koeficijent valjanosti zavarenog spoja
c_1 = 0 – dozvoljeno odstupanje mjera
c_2 = 1 – dodatak zbog korozije

$$s_A = \frac{D_s \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot \nu + p} + c_1 + c_2 = \frac{632 \cdot 6}{20 \cdot 162{,}5 \cdot 1 + 6} + 0 + 1 = 2.16 \text{ mm}$$

Odabrana debljina stjenke zadovoljava.

Proračun izreza na plaštu (HRN.M.E2.256)

- parametri:

d_u = 300 mm – unutarnji promjer priključka
s_e = 3 mm – debljina stijenke priključka

- uvjet primjene:

$$0.002 \leq \frac{s_e - c_1 - c_2}{D_S} \leq 0.1$$

$$\frac{s_e - c_1 - c_2}{D_S} = \frac{6 - 0 - 1}{632} = 0.008$$

-potrebna debljina stjenke oko najvećeg izreza:

$$\frac{s_s - c_1 - c_2}{s_A - c_1 - c_2} = \frac{4 - 0 - 1}{6 - 0 - 1} = 0{,}6$$

$$\frac{d_u}{\sqrt{(D_u + s_A - c_1 - c_2) \cdot (s_A - c_1 - c_2)}} =$$

$$\frac{300}{\sqrt{(620 + 6 - 0 - 1) \cdot (6 - 0 - 1)}} = 5{,}37$$

$\nu_A = 0.29$ – očitano iz dijagrama (slika 7.) dotične norme prema prethodnim parametrima

-radno stanje;

$$s_A = \frac{D_s \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot \nu + p} + c_1 + c_2 = \frac{632 \cdot 6}{20 \cdot 162{,}5 \cdot 0{,}29 + 6} + 0 + 1 = 4{,}99 \text{ mm}$$

$s_A = 4{,}99 \text{ mm} \leq s_e = 6 \text{ mm}$ – ojačanje nije potrebno

5.2. Proračun cilindričnog plašta izloženog djelovanju vanjskog tlaka (HRN M.E2.253)

-materijal: W.Nr. 1.4301

Za austenitne čelike:

R_e = 195 N/mm^2 5/6 R_e = 162,5 N/mm^2 = K/S

R_m = 500 N/mm^2 1/3 R_m = 166 N/mm^2

- parametri:

D_s = 632 mm – vanjski promjer plašta
D_u = 620 mm – unutarnji promjer plašta
s_A = 6 mm – debljina stjenke plašta (pretpostavljeno)
p = 1 bar – proračunski tlak
$\nu = 1$ – koeficijent valjanosti zavarenog spoja
c_1 = 0 – dozvoljeno odstupanje mjera
c_2 = 1 – dodatak zbog korozije
l = 4143 mm – dužina cilindra između djelotvornih ojačanja
S_k = 3 – sigurnosni stupanj u odnosu na elastično ulubljenje
$E = 210000\ \mathrm{N/mm^2}$ - modul elastičnosti čelika
u = 1,5% – odstupanje od kružnog oblika

Za djelovanje vanjskog tlaka sigurnost se povećava 20%, time f_d = K/S = 135,4 N/mm^2

Tlak pri elastičnom ulubljivanju:

$$z = 0{,}5 \cdot \frac{\pi \cdot D_s}{l} = 0{,}5 \cdot \frac{\pi \cdot 632}{4143} = 0{,}23$$

$$n = 1{,}63 \cdot \sqrt[4]{\frac{{D_s}^3}{l^2 \cdot (s_{e-}c_1 - c_1)}} = 1{,}63 \cdot \sqrt[4]{\frac{632^3}{4143^2 \cdot (6 - 0 - 1)}} = 2{,}09$$

$$p = \frac{E}{S_K} \cdot \left\{ \frac{20}{\left[\left((n-1)\right) \cdot \left(1 + \frac{n}{z}\right)^2\right]^2} \cdot \frac{s_{e-}c_1 - c_1}{D_s} + \frac{80}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left[n^2 - 1 + \frac{2 \cdot n^2 - 1 - \nu}{1 + \left(\frac{n}{z}\right)^2} \right] \cdot \left[\frac{s_{e-}c_1 - c_1}{D_s}\right]^3 \right\} =$$

$$= \frac{210000}{3} \cdot \left\{ \frac{20}{\left[\left((2{,}09-1)\right) \cdot \left(1+\frac{2{,}09}{0{,}23}\right)^2\right]^2} \cdot \frac{6-0-1}{632} + \frac{80}{12 \cdot (1-0{,}3^2)} \right.$$

$$\left. \cdot \left[2{,}09^2 - 1 + \frac{2 \cdot 2{,}09^2 - 1 - 0{,}3}{1+\left(\frac{2{,}09}{0{,}23}\right)^2}\right] \cdot \left[\frac{6-0-1}{632}\right]^3 \right\} = 2{,}131 \text{ bar}$$

Uvjet stjenke prema elastičnom ulubljenju zadovoljava.

Tlak za plastično ulubljenje za odnos:

$$\frac{D_s}{l} \leq 5$$

$$\frac{D_s}{l} = \frac{632}{4143} = 0{,}153$$

$$p = \frac{20 \cdot K}{S} \cdot \frac{s_{e-}c_1 - c_1}{D_s} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1{,}5 \cdot u \cdot \left(1 - 0{,}2 \cdot \frac{D_s}{l}\right) \cdot D_s}{100 \cdot (s_{e-}c_1 - c_1)}} =$$

$$= \frac{20 \cdot 135{,}4}{1} \cdot \frac{6-0-1}{632} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1{,}5 \cdot 1{,}5 \cdot \left(1 - 0{,}2 \cdot \frac{632}{4143}\right) \cdot 632}{100 \cdot (6-0-1)}} = 5{,}7 \text{ bar}$$

Uvjet za plastično ulubljivanje zadovoljava.

5.3. Proračun podnica (HRN M.E2.252)

-materijal: W.Nr. 1.4301

Za austenitne čelike:

R_e = 195 N/mm^2 5/6 R_e = 162,5 N/mm^2 = K/S

R_m = 500 N/mm^2 1/3 R_m = 166 N/mm^2

- parametri:

D_s = 632mm – vanjski promjer podnice

s = 6 mm – debljina stjenke podnice (pretpostavljeno)

p = 6 bar – unutarnji proračunski tlak

p = 1 bar – vanjski proračunski tlak

R = D_s = 632 mm – radijus kalote

r = 63,2 mm – radijus torusnog dijela

h_1 > 3.5s $h_1 = 100$ mm - visina cilindričnog dijela

$h_2 = 0.1935\, D_s - 0.455\, s = 119{,}6$ mm

f_d = K/S = 162,5 N/mm^2 – proračunska čvrstoća

c_1 = 0 – dozvoljeno odstupanje mjera

c_2 = 1 – dodatak zbog korozije

$\nu = 1$ - koeficijent valjanosti zavarenog spoja

- uvjet primjene:

$$0.001 \leq \frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} \leq 0.1$$

$$0.001 \leq \frac{6 - 0 - 1}{632} \leq 0.1$$

$$0.001 \leq 0.008 \leq 0.1$$

- proračunski koeficijent β:

(određuje se prema tablici 7. dotične norme)

$$\frac{d_u}{D_s} = 0$$

$\beta_l = 2{,}8$

-radno stanje;

$$s = \frac{D_s \cdot p \cdot \beta_l}{40 \cdot \frac{K}{S} \cdot \nu} + c_1 + c_2 = \frac{632 \cdot 6 \cdot 2{,}8}{40 \cdot 162{,}5 \cdot 1} + 0 + 1 = 2.63 \text{ mm}$$

$$s_e = 6 \text{ mm} > s = 2{,}63 \text{ mm}$$

(uvjet zadovoljen)

- elastično ulubljivanje

$$\frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} = 0.008$$

prema slici 9. dotične norme podnica zadovoljava.

Za vanjski tlak p = 1 bar

$$p \leq 3{,}66 \cdot \frac{\mathrm{E}}{\mathrm{S_K}} \cdot \left(\frac{s_e - c_1 - c_2}{\mathrm{R}}\right)^2$$

$$\mathrm{S_K} = 3 + 0{,}002 \cdot \left(\frac{s_e - c_1 - c_2}{\mathrm{R}}\right)^{-1} = 3 + 0{,}002 \cdot \left(\frac{6 - 0 - 1}{632}\right)^{-1} = 3{,}25$$

$$p \leq 3{,}66 \cdot \frac{210000}{3{,}25} \cdot \left(\frac{6 - 0 - 1}{632}\right)^2 = 14{,}8 \text{ bar}$$

Otpornost podnice na plastične deformacije pri djelovanju vanjskog tlaka zadovoljava.

5.4. Proračun cijevne stijenke (HRN M.E2.259)

-materijal: W.Nr. 1.4301

Za austenitne čelike:

R_e= 195 N/mm^2 5/6 R_e= 162,5 N/mm^2 = K/S

R_m = 500 N/mm^2 1/3 R_m = 166 N/mm^2

- parametri:

$p = 6$ bar – proračunski tlak

$s_A = 20$ mm - pretpostavljena debljina cijevne stijenke

$E = 210000\ \mathrm{N/mm^2}$ - modul elastičnosti čelika

$L = 1.4$ m - duljina plašta

$l_o = 4{,}143$ m - maksimalna duljina izvijanja

$l_k = 0.5 \cdot l_o = 0.7 \cdot 4{,}143 = 2{,}0715$ m – slobodna duljina izvijanja

$d_2 = 36$ mm - promjer najvećeg kruga upisanog u dio sa cijevima

$d_v = 18$ mm - vanjski promjer cijevi

$d_u = 16$ mm - unutarnji promjer cijevi

$t = 26$ mm - korak između cijevi

f_d = K/S = 162,5 N/mm^2 – proračunska čvrstoća

DEBLJINA CIJEVNE STIJENKE:

$$s = 0{,}4 \cdot d_2 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot S}{10 \cdot K}} = 0{,}4 \cdot 36 \cdot \sqrt{\frac{6}{10 \cdot 162{,}5}} = 0{,}87 \text{ mm}$$

Odabire se debljina stjenke 27 mm iz konstrukcijskih razloga (uvaljavanje cijevi, zavarivanje na plašt, zatezanje vijaka…)

ZAVARIVANJE CIJEVI NA STIJENKU

- površina za izračun sile F_R prema Slici 12. iz norme iznosi:

$$A_R = \frac{13 \cdot 22{,}157}{2} \cdot 4 - \frac{{d_v}^2 \cdot \pi}{4} = \frac{13 \cdot 22{,}157}{2} \cdot 4 - \frac{18^2 \cdot \pi}{4} = 576 \text{ mm}^2$$

- sila cijevi:

$$F_R = A_R \cdot p = 0.000576 \cdot 600000 = 345{,}6 \text{ N}$$

Minimalna debljina šava zavarenog spoja cijevi:

$$g = 0{,}4 \cdot \frac{F_R \cdot S}{d_s \cdot K} = 0{,}4 \cdot \frac{345{,}6}{18 \cdot 162{,}5} = 0{,}47 \text{ mm}$$

PROVJERA CIJEVI NA IZVIJANJE:

- stupanj vitkosti:

$$\lambda = \frac{4 \cdot l_k}{\sqrt{d_v^2 + d_u^2}} = \frac{4 \cdot 2071{,}5}{\sqrt{18^2 + 16^2}} = 344$$

$$\lambda_0 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{\text{Re}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{195}} = 103$$

$$\lambda = 344 > \lambda_0 = 103$$

- dopuštena sila izvijanja:

$$F_k = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{{l_k}^2 \cdot 3} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 1936}{2071{,}5^2 \cdot 3} = 312 \text{ N}$$

aksijalni moment tromosti:

$$I = \frac{\left(\frac{d_v}{2}\right)^4 - \left(\frac{d_u}{2}\right)^4}{4} \cdot \pi = \frac{\left(\frac{18}{2}\right)^4 - \left(\frac{16}{2}\right)^4}{4} \cdot \pi = 1936 \text{ mm}^2$$

$$F_R > F_k$$

- debljina stijenke

$$s = C \cdot \sqrt{\frac{(D_u^2 - n \cdot d_u^2) \cdot p_i \cdot S}{\nu \cdot 10 \cdot K}} = 0.4 \cdot \sqrt{\frac{\left(620^2 - 480 \cdot 16^2\right) \cdot 6}{0.423 \cdot 10 \cdot 162{,}5}} = 19.11 \text{ mm}$$

C = 0,4 – proračunski koeficijent iz Tablice 1. norme

$$\frac{d_s}{d_u} = 1.2$$

$$\nu = \frac{t - d_u}{t} = \frac{26 - 16}{26} = 0.423$$

Usvojena debljina cijevne stijenke je:

$$s = 27 \text{ mm}$$

5.5. Proračun ravne prirubnice za zavarivanje (HRN M.E2.258)

-materijal: W.Nr. 1.4301

Za austenitne čelike:

R_e= 195 N/mm^2 5/6 R_e= 162,5 N/mm^2 = K/S

R_m = 500 N/mm^2 1/3 R_m = 166 N/mm^2

-parametri:*(prema slici 6 dotične norme)*

$h'_f = 28$ mm - pretpostavljena visina prirubnice
$d_u = 632$ mm - unutarnji promjer prirubnice
$d_s = 760$ mm - vanjski promjer prirubnice
$d_d = 660$ mm - srednji promjer brtve
$d_t = 710$mm - promjer kruga rupa
$s_I = 6$ mm - debljina stijenke podnice
$p = 6$ bar - proračunski tlak
$d_L = 26$ mm - promjer rupa za vijke
$d'_L = 26 \cdot \nu = 26 \cdot 0.5 = 13$ mm - umanjeni promjer rupa
$\nu = 0.5$ – faktor umanjenja promjera rupa za vijke (prema slici 3)

-korisna dvostruka širina prirubnice:

$$b = d_s - d_u - 2 \cdot d'_L = 760 - 632 - 2 \cdot 13 = 102 \text{ mm}$$

-pomoćna vrijednost:

$$Z = (d_u + s_I) \cdot s_I^2 = (632 + 6) \cdot 6^2 = 22968 \text{ mm}^3$$

-krak djelovanja sile u vijku za:

radno stanje i ispitni tlak:

$$a = \frac{d_t - d_u - s_I}{2} = \frac{710 - 632 - 6}{2} = 36 \text{ mm}$$

za ugradbeno stanje:

$$a_D = \frac{d_t - d_d}{2} = \frac{710 - 660}{2} = 25 \text{ mm}$$

RADNO STANJE:

$$W = \frac{F_{SB} \cdot S}{K} \cdot a = \frac{235130}{165{,}5} \cdot 36 = 51146 \text{ mm}^3$$

ISPITNO STANJE:

$$W = \frac{F_{SBi} \cdot S}{K} \cdot a = \frac{305668}{165{,}5} \cdot 36 = 66490 \text{ mm}^3$$

UGRADNO STANJE:

$$W \quad = \frac{F'_{DV} \cdot S'}{K} \cdot a_D = \frac{430358}{165{,}5} \cdot 25 = 65009 \text{ mm}^3$$

-potrebna visina prirubnice:

$$h_f = \sqrt{\frac{1.42 \cdot W - Z}{b}} = \sqrt{\frac{1.42 \cdot 66490 - 22968}{102}} = 26{,}5 \text{ mm}$$

ODABIR PRIRUBNICE:
- odabrana visina prirubnice je 27 mm

5.6. Proračun vijaka (HRN M.E2.257)

- materijal vijka: čelik za vijke, razred čvrstoće 5.6
- materijal brtve: It (Klingerit)
- parametri:

$b_d = 20$ mm - korisna širina brtve
$d_D = 660$ mm - srednji promjer brtve
$d_u = 632$ mm - unutarnji promjer prirubnice
$p = 6$ bar - proračunski tlak
$K_{20} = 300\ \mathrm{N/mm^2}$ - proračunska čvrstoća vijka materijala (5.6)
(strojarski priručnik, Kraut, str. 718)
$S_D = 1.2$ - sigurnost vijka
$k_1 = b_d = 20$ mm - koeficijent klingerit brtve za radno stanje
$n = 20$ – broj vijaka

Proračun sile u vijcima

- najmanja sila u vijcima za:

RADNO STANJE:

$$F_{RB} = \frac{p \cdot \pi \cdot d_u^2}{40} = \frac{6 \cdot \pi \cdot 632^2}{40} = 188224\ \mathrm{N}$$

$$F_{FB} = \frac{p \cdot \pi \cdot (\, d_D^2 - d_u^2)}{40} = \frac{6 \cdot \pi \cdot (660^2 - 632^2\,)}{40} = 17048\ \mathrm{N}$$

$$F_{DB} = \frac{P}{10} \cdot \pi \cdot d_D \cdot S_D \cdot k_1 = \frac{6}{10} \cdot \pi \cdot 660 \cdot 1.2 \cdot 20 = 29858\ \mathrm{N}$$

$$F_{SB} = F_{RB} + F_{FB} + F_{DB} = 235130\ \mathrm{N}$$

ISPITNO STANJE:

$$F_{RBi} = 1.3 \cdot F_{RB} = 244691\ \mathrm{N}$$

$$F_{FBi} = 1.3 \cdot F_{FB} = 22162\ \mathrm{N}$$

$$F_{DBi} = 1.3 \cdot F_{DB} = 38815\ N$$

$$F_{SBi} = F_{RBi} + F_{FBi} + F_{DBi} = 305668\ \mathrm{N}$$

UGRADNO STANJE:

-koeficijent $k_0 \cdot K_D = 15 \cdot b_D = 15 \cdot 20 = 300$ N/mm

$F_{DV} = \pi \cdot d_D \cdot K_D \cdot k_0 = \pi \cdot 660 \cdot 300 = 622035$ N

- $F_{DV} > F_{SB}$ pa vrijedi:
$F'_{DV} = 0.2 \cdot F_{DV} + 0.8 \cdot \sqrt{F_{SB} \cdot F_{DV}} =$

$= 0.2 \cdot 622035 + 0.8 \cdot \sqrt{235130 \cdot 622035} = 430358$ N

Proračun promjera vijka

RADNO STANJE:

$$d_k = d_s = Z \cdot \sqrt{\frac{F_{SB}}{K_{20} \cdot n}} + c_5$$

za radno stanje, $\varphi = 1$, vijci s punim tijelom Z = 1.51:

$$Z \cdot \sqrt{\frac{F_{SB}}{K_{20} \cdot n}} = 1.51 \cdot \sqrt{\frac{235130}{300 \cdot 12}} = 6{,}26 \leq 26 \text{ mm}$$

iz toga slijedi:
$c_5 = 3$ mm

$d_k = d_s = 7 + 3 = 10$ mm

ISPITNO STANJE:

za ispitno stanje, $\varphi = 1$, vijci s punim tijelom Z = 1.29:

$$d_s = Z \cdot \sqrt{\frac{F_{SBi}}{K_{20} \cdot n}} = 1.29 \cdot \sqrt{\frac{672929}{300 \cdot 20}} = 6.43 \text{ mm}$$

UGRADNO STANJE:

za ugradno stanje, $\varphi = 1$, vijci s punim tijelom Z = 1.29:

$$d_s = Z \cdot \sqrt{\frac{F_{DV}}{K_{20} \cdot n}} = 1.29 \cdot \sqrt{\frac{672929}{315 \cdot 12}} = 13{,}66 \text{ mm}$$

Odabrani vijci M24 materijala 5.6 (IPIM 4-386) – ISO 4014
i matice M24 materijala 5 – ISO 4032

6. PRORAČUN SEPARATORA

6.1. Proračun konusnih plaštova izvrgnutih unutrašnjem ili vanjskom tlaku (HRN M.E2.251)

-materijal: W.Nr. 1.4301

Za austenitne čelike:

R_e = 195 N/mm^2 5/6 R_e = 162,5 N/mm^2 = K/S

R_m = 500 N/mm^2 1/3 R_m = 166 N/mm^2

- parametri:

$p = 2$ bar – proračunski unutarnji tlak

$p = 1$ bar – proračunski vanjski tlak

$s_e = 5$ mm - pretpostavljena debljina cijevne stijenke

$E = 210000$ N/mm^2 - modul elastičnosti čelika

$D_S = 1008$ mm – vanjski promjer

$\varphi = 60{,}66\,°$ - kut konusa

$\psi = 29{,}44\,°$ – kut otklona

$D_K = 998$ mm – proračunski promjer, unutarnji promjer za izvedeni tip

$c_1 = 0$ – dozvoljeno odstupanje mjera

$c_2 = 1$ – dodatak zbog korozije

$\nu = 1$ - koeficijent valjanosti zavarenog spoja

f_d = K/S = 162,5 N/mm^2 – proračunska čvrstoća

- uvjet primjene:

$$0.001 \leq \frac{s_e - c_1 - c_2}{D_S} \leq 0.1$$

$$\frac{s_e - c_1 - c_2}{D_S} = \frac{5 - 0 - 1}{1008} = 0.004$$

Za djelovanje vanjskog tlaka sigurnost se povećava 20%, time f_d = K/S = 135,4 N/mm^2

$$c_3 = 2 \cdot \left(1 - \frac{50}{D_S}\right) = 2 \cdot \left(1 - \frac{50}{1008}\right) = 1{,}9 \text{ mm}$$

$$\frac{s_e - c_1 - c_2}{D_S} < 0.005$$

Zbog čega slijedi:

$$c_4 = 1 + 2 \cdot 10^{-7} \cdot {D_S}^2 = 1 + 2 \cdot 10^{-7} \cdot 1008^2 = 1{,}2 \text{ mm}$$

Proračun prema naprezanju u smjeru izvodnice plašta na vanjski proračunski tlak za plašt bez prijevoja.

Prema normi β = 2,7.

$$s = \frac{D_s \cdot p \cdot \beta}{40 \cdot \frac{K}{S} \cdot \nu} + c_1 + c_2 + c_3 + c_4 = \frac{1008 \cdot 1 \cdot 2{,}7}{40 \cdot 135{,}4 \cdot 1} + 0 + 1 + 1{,}8 + 1{,}2 = 4{,}5 \text{ mm}$$

Proračun prema naprezanju u smjeru izvodnice plašta na unutarnji proračunski tlak za plašt bez prijevoja.

Prema normi β = 2,7.

$$s = \frac{D_s \cdot p \cdot \beta}{40 \cdot \frac{K}{S} \cdot \nu} + c_1 + c_2 + c_3 + c_4 = \frac{1008 \cdot 2 \cdot 2{,}7}{40 \cdot 165{,}5 \cdot 1} + 0 + 1 + 0 + 1{,}2 = 3 \text{ mm}$$

Proračun prema naprezanju u cirkularnom smjeru na vanjski proračunski za plašt bez prijevoja.

Prema normi β = 2,7.

$$s = \frac{D_K \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot \nu - p} \cdot \frac{1}{\cos\varphi} + c_1 + c_2 = \frac{998 \cdot 1}{20 \cdot 135{,}4 \cdot 1 - 1} \cdot \frac{1}{\cos\,(29{,}44)} + 0 + 1 = 1{,}43 \text{ mm}$$

Proračun prema naprezanju u cirkularnom smjeru na unutarnji proračunski tlak za plašt bez prijevoja.

Prema normi β = 2,7

$$s = \frac{D_K \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot \nu - p} \cdot \frac{1}{\cos\varphi} + c_1 + c_2 = \frac{998 \cdot 2}{20 \cdot 165{,}5 \cdot 1 - 2} \cdot \frac{1}{\cos\,(29{,}44)} + 0 + 1 = 1{,}7 \text{ mm}$$

Odabrana debljina stjenke zadovoljava

6.2. Proračun izreza na konusnom plaštu (HRN.M.E2.256)

- uvjet primjene:

$$0.002 \leq \frac{s_e - c_1 - c_2}{D_S} \leq 0.1$$

$$\frac{s_e - c_1 - c_2}{D_S} = \frac{5 - 0 - 1}{1008} = 0.004$$

-potrebna debljina stjenke oko najvećeg izreza:

$$\frac{s_s - c_1 - c_2}{s_A - c_1 - c_2} = \frac{4 - 0 - 1}{5 - 0 - 1} = 0{,}75$$

$$\frac{d_u}{\sqrt{(D_u + s_A - c_1 - c_2) \cdot (s_A - c_1 - c_2)}} = \frac{211{,}1}{\sqrt{(998 + 5 - 0 - 1) \cdot (5 - 0 - 1)}} = 3{,}33$$

$\nu_A = 0.45$ – očitano iz dijagrama (slika 7.) dotične norme prema prethodnim parametrima

-radno stanje;

$$s_A = \frac{D_s \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot \nu + p} + c_1 + c_2 = \frac{1008 \cdot 2}{20 \cdot 162{,}5 \cdot 0{,}45 + 2} + 0 + 1 = 2{,}38 \text{ mm}$$

$s_A = 2{,}38 \text{ mm} \leq s_e = 5 \text{ mm}$ – ojačanje nije potrebno

6.3. Proračun cilindričnog plašta izloženog djelovanju vanjskog tlaka (HRN M.E2.253)

- materijal: W.Nr. 1.4301

Za austenitne čelike:

R_e = 195 N/mm^2 5/6 R_e = 162,5 N/mm^2 = K/S
R_m = 500 N/mm^2 1/3 R_m = 166 N/mm^2

D_s = 1008 mm – vanjski promjer plašta
D_u = 998 mm – unutarnji promjer plašta
s_A = 5 mm – debljina stjenke plašta (pretpostavljeno)
p = 1 bar – proračunski tlak
$\nu = 1$ – koeficijent valjanosti zavarenog spoja
c_1 = 0 – dozvoljeno odstupanje mjera
c_2 = 1 – dodatak zbog korozije
l = 1300 mm – dužina cilindra između djelotvornih ojačanja
S_k = 3 – sigurnosni stupanj u odnosu na elastično ulubljenje
$E = 210000\ \mathrm{N/mm^2}$ - modul elastičnosti čelika
u = 1,5% – odstupanja od kružnog oblika

Za djelovanje vanjskog tlaka sigurnost se povećava 20%, time f_d = K/S = 135,4 N/mm^2

Tlak pri elastičnom ulubljivanju:

$$z = 0{,}5 \cdot \frac{\pi \cdot D_s}{l} = 0{,}5 \cdot \frac{\pi \cdot 1008}{1300} = 1{,}22$$

$$n = 1{,}63 \cdot \sqrt[4]{\frac{{D_s}^3}{l^2 \cdot (s_{e-}c_1 - c_1)}} = 1{,}63 \cdot \sqrt[4]{\frac{1008^3}{1300^2 \cdot (5 - 0 - 1)}} = 5{,}72$$

$$p = \frac{E}{S_K} \cdot \left\{ \frac{20}{\left[\left((n-1)\right) \cdot \left(1 + \frac{n}{z}\right)^2\right]^2} \cdot \frac{s_{e-}c_1 - c_1}{D_s} + \frac{80}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left[n^2 - 1 + \frac{2 \cdot n^2 - 1 - \nu}{1 + \left(\frac{n}{z}\right)^2} \right] \cdot \left[\frac{s_{e-}c_1 - c_1}{D_s}\right]^3 \right\} =$$

$$= \frac{210000}{3} \cdot \left\{ \frac{20}{\left[\left((5{,}72-1)\right) \cdot \left(1+\frac{5{,}72}{1{,}22}\right)^2\right]^2} \cdot \frac{5-0-1}{1008} + \frac{80}{12 \cdot (1-0{,}3^2)} \right.$$

$$\left. \cdot \left[5{,}72^2 - 1 + \frac{2 \cdot 5{,}72^2 - 1 - 0{,}3}{1+\left(\frac{5{,}72}{1{,}22}\right)^2}\right] \cdot \left[\frac{5-0-1}{1008}\right]^3 \right\} = 2{,}16 \text{ bar}$$

Uvjet stjenke prema elastičnom ulubljenju zadovoljava.

Tlak za plastično ulubljenje za odnos:

$$\frac{D_s}{l} \leq 5$$

$$\frac{D_s}{l} = \frac{1008}{1300} = 0{,}78$$

$$p = \frac{20 \cdot K}{S} \cdot \frac{s_{e-}c_1 - c_1}{D_s} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1{,}5 \cdot u \cdot \left(1 - 0{,}2 \cdot \frac{D_s}{l}\right) \cdot D_s}{100 \cdot (s_{e-}c_1 - c_1)}} =$$

$$= \frac{20 \cdot 135{,}4}{1} \cdot \frac{5-0-1}{1008} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1{,}5 \cdot 1{,}5 \cdot \left(1 - 0{,}2 \cdot \frac{1008}{1300}\right) \cdot 1008}{100 \cdot (5-0-1)}} = 1{,}86 \text{ bar}$$

Uvjet za plastično ulubljivanje zadovoljava.

6.4. Proračun podnice 1. stupnja (HRN M.E2.252)

-materijal: W.Nr. 1.4301

Za austenitne čelike:

R_e = 195 N/mm^2 5/6 R_e = 162,5 N/mm^2 = K/S

R_m = 500 N/mm^2 1/3 R_m = 166 N/mm^2

- parametri:

D_s = 1008 mm – vanjski promjer podnice
s = 5 mm – debljina stjenke podnice (pretpostavljeno)
p = 2 bar – unutarnji proračunski tlak
p = 1 bar – vanjski proračunski tlak
R = D_s = 1008 mm – radijus kalote
r = 100,8 mm – radijus torusnog dijela
$h_1 > 3.5s$ $h_1 = 24$ mm - visina cilindričnog dijela
$h_2 = 0.1935\, D_s - 0.455\, s = 193{,}2$ mm
f_d = K/S = 162,5 N/mm^2 – proračunska čvrstoća
$c_1 = 0$ – dozvoljeno odstupanje mjera
$c_2 = 1$ – dodatak zbog korozije
$\nu = 1$ - koeficijent valjanosti zavarenog spoja
$d_u = 300$ mm – unutarnji promjer priključka

- uvjet primjene:

$$0.001 \leq \frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} \leq 0.1$$

$$0.001 \leq \frac{5 - 0 - 1}{1008} \leq 0.1$$

$$0.001 \leq 0.004 \leq 0.1$$

- proračunski koeficijent β:
(određuje se prema tablici 7. dotične norme)

$$\frac{d_u}{D_s} = \frac{300}{1008} = 0{,}3$$

$$\beta_l = 6{,}5$$

-radno stanje;

$$s = \frac{D_s \cdot p \cdot \beta_l}{40 \cdot \frac{K}{S} \cdot \nu} + c_1 + c_2 = \frac{1008 \cdot 2 \cdot 6{,}5}{40 \cdot 162{,}5 \cdot 1} + 0 + 1 = 3 \text{ mm}$$

$$s_e = 5 \text{ mm} > s = 3 \text{ mm}$$

(uvjet zadovoljen)

- elastično ulubljivanje

$$\frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} = 0.004$$

prema slici 9. dotične norme podnica zadovoljava.

Za vanjski tlak p = 1 bar

$$p \leq 3{,}66 \cdot \frac{\mathrm{E}}{\mathrm{S_K}} \cdot \left(\frac{s_e - c_1 - c_2}{\mathrm{R}}\right)^2$$

$$\mathrm{S_K} = 3 + 0{,}002 \cdot \left(\frac{s_e - c_1 - c_2}{\mathrm{R}}\right)^{-1} = 3 + 0{,}002 \cdot \left(\frac{5 - 0 - 1}{1008}\right)^{-1} = 3{,}5$$

$$p \leq 3{,}66 \cdot \frac{210000}{3{,}5} \cdot \left(\frac{5 - 0 - 1}{1008}\right)^2 = 3{,}46 \text{ bar}$$

Otpornost podnice na plastične deformacije pri djelovanju vanjskog tlaka zadovoljava.

Debljina najvećeg izreza d_u = 300 mm
mm
Izrez na području kalote računa se prema (HRN.M.E2.256)
- uvjet primjene:

$$0.002 \leq \frac{s_e - c_1 - c_2}{D_S} \leq 0.1$$

$$\frac{s_e - c_1 - c_2}{D_S} = \frac{5 - 0 - 1}{1008} = 0.004$$

-potrebna debljina stjenke oko najvećeg izreza:

$$\frac{s_s - c_1 - c_2}{s_A - c_1 - c_2} = \frac{3 - 0 - 1}{5 - 0 - 1} = 0{,}5$$

$$\frac{d_u}{\sqrt{(D_u + s_A - c_1 - c_2) \cdot (s_A - c_1 - c_2)}} = \frac{300}{\sqrt{(988 + 5 - 0 - 1) \cdot (5 - 0 - 1)}} = 4{,}76$$

$\nu_A = 0{,}38$– očitano iz dijagrama (slika 7.) dotične norme prema prethodnim parametrima

-ispitno stanje;

$$s_A = \frac{D_s \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot \nu + p} + c_1 + c_2 = \frac{1008 \cdot 2}{20 \cdot 162{,}5 \cdot 0{,}38 + 2} + 0 + 1 = 2{,}63 \text{ mm}$$

$s_A = 2{,}63 \text{ mm} \leq s_e = 5 \text{ mm}$ – ojačanje nije potrebno

6.5. Proračun podnice 2. stupnja (HRN M.E2.252)

-materijal: W.Nr. 1.4301

Za austenitne čelike:

R_e = 195 N/mm^2 5/6 R_e = 162,5 N/mm^2 = K/S

R_m = 500 N/mm^2 1/3 R_m = 166 N/mm^2

- parametri:

D_s = 1008 mm – vanjski promjer podnice
s = 5 mm – debljina stjenke podnice (pretpostavljeno)
p = 2 bar – unutarnji proračunski tlak
p = 1 bar – vanjski proračunski tlak
R = D_s = 1008 mm – radijus kalote
r = 100,8 mm – radijus torusnog dijela
$h_1 > 3.5s$ $h_1 = 24$ mm - visina cilindričnog dijela
$h_2 = 0.1935\, D_s - 0.455\, s = 193{,}2$ mm
f_d = K/S = 162,5 N/mm^2 – proračunska čvrstoća
$c_1 = 0$ – dozvoljeno odstupanje mjera
$c_2 = 1$ – dodatak zbog korozije
$\nu = 1$ - koeficijent valjanosti zavarenog spoja
$d_u = 398{,}4$ mm – unutarnji promjer priključka

- uvjet primjene:

$$0.001 \leq \frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} \leq 0.1$$

$$0.001 \leq \frac{5 - 0 - 1}{1008} \leq 0.1$$

$$0.001 \leq 0.004 \leq 0.1$$

- proračunski koeficijent β:
(određuje se prema tablici 7. dotične norme)

$$\frac{d_u}{D_s} = \frac{398{,}4}{1008} = 0{,}4$$

$$\beta_l = 7{,}8$$

-radno stanje;

$$s = \frac{D_s \cdot p \cdot \beta_l}{40 \cdot \frac{K}{S} \cdot \nu} + c_1 + c_2 = \frac{1008 \cdot 2 \cdot 7{,}8}{40 \cdot 162{,}5 \cdot 1} + 0 + 1 = 3{,}42 \text{ mm}$$

$$s_e = 5 \text{ mm} > s = 3{,}42 \text{ mm}$$

(uvjet zadovoljen)

- elastično ulubljivanje

$$\frac{s_e - c_1 - c_2}{D_s} = 0.004$$

prema slici 9. dotične norme podnica zadovoljava.

Za vanjski tlak p = 1 bar

$$p \leq 3{,}66 \cdot \frac{\mathrm{E}}{\mathrm{S_K}} \cdot \left(\frac{s_e - c_1 - c_2}{\mathrm{R}}\right)^2$$

$$\mathrm{S_K} = 3 + 0{,}002 \cdot \left(\frac{s_e - c_1 - c_2}{\mathrm{R}}\right)^{-1} = 3 + 0{,}002 \cdot \left(\frac{5 - 0 - 1}{1008}\right)^{-1} = 3{,}5$$

$$p \leq 3{,}66 \cdot \frac{210000}{3{,}5} \cdot \left(\frac{5 - 0 - 1}{1008}\right)^2 = 3{,}46 \text{ bar}$$

Otpornost podnice na plastične deformacije pri djelovanju vanjskog tlaka zadovoljava.

Debljina najvećeg izreza d_u = 398,4 mm
mm
Izrez na području kalote računa se prema (HRN.M.E2.256)
- uvjet primjene:

$$0.002 \leq \frac{s_e - c_1 - c_2}{D_S} \leq 0.1$$

$$\frac{s_e - c_1 - c_2}{D_S} = \frac{5 - 0 - 1}{1008} = 0.004$$

-potrebna debljina stjenke oko najvećeg izreza:

$$\frac{s_s - c_1 - c_2}{s_A - c_1 - c_2} = \frac{4 - 0 - 1}{5 - 0 - 1} = 0{,}75$$

$$\frac{d_u}{\sqrt{(D_u + s_A - c_1 - c_2) \cdot (s_A - c_1 - c_2)}} = \frac{398{,}4}{\sqrt{(988 + 5 - 0 - 1) \cdot (5 - 0 - 1)}} = 6{,}32$$

$\nu_A = 0{,}39$– očitano iz dijagrama (slika 7.) dotične norme prema prethodnim parametrima

-ispitno stanje;

$$s_A = \frac{D_s \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot \nu + p} + c_1 + c_2 = \frac{1008 \cdot 2}{20 \cdot 162{,}5 \cdot 0{,}39 + 2} + 0 + 1 = 1{,}6 \text{ mm}$$

$$s_A = 1{,}6 \text{ mm} \leq s_e = 5 \text{ mm} \; - \; \text{ojačanje nije potrebno}$$

7. PRORAČUN PRIKLJUČAKA

7.1. Proračun priključaka za izmjenjivač topline

Priključak ulaska koncentrata 1. i 2. stupnja

- odabrana je Inox šavna cijev EN 10027-2 (Ø219,1x4mm),
materijal: W.Nr. 1.4301

d_u = 211,1 mm
d_v = 219,1 mm

Brzina prvog stupnja na ulasku:

$$w = \frac{4 \cdot qm_{R1}}{\pi \cdot {d_u}^2 \cdot \rho} = \frac{4 \cdot (210320{,}26/3600)}{\pi \cdot 0{,}2111^{\,2} \cdot 1032{,}25} = 1{,}65 \text{ m/s}$$

Brzina drugog stupnja na ulasku:

$$w = \frac{4 \cdot qm_{R2}}{\pi \cdot {d_u}^2 \cdot \rho} = \frac{4 \cdot (190196/3600)}{\pi \cdot 0{,}2111^{\,2} \cdot 1135{,}56} = 1{,}35 \text{ m/s}$$

Priključak ulaska pare 1. i 2. stupnja
- odabrana je Inox šavna cijev EN 10027-2 (Ø306x3mm),
materijal: W.Nr. 1.4301

d_u = 300 mm
d_v = 306 mm

Brzina prvog stupnja:

$$w = \frac{4 \cdot qm_D}{\pi \cdot {d_u}^2 \cdot \rho_D} = \frac{4 \cdot (1868{,}3/3600)}{\pi \cdot 0{,}3^{\,2} \cdot 0{,}5989} = 12{,}3 \text{ m/s}$$

Brzina drugog stupnja

$$w = \frac{4 \cdot qm_{S1}}{\pi \cdot {d_u}^2 \cdot \rho_2} = \frac{4 \cdot (1478{,}57/3600)}{\pi \cdot 0{,}3^{\,2} \cdot 0{,}225} = 25 \text{ m/s}$$

Priključak izlaska kondenzata 1. i 2. stupnja
- odabrana je Inox bešavna cijev EN 10027-2 (Ø38x2mm),
materijal: W.Nr. 1.4301

d_u = 34 mm
d_v = 38 mm

Brzina prvog stupnja:

$$w = \frac{4 \cdot qm_K}{\pi \cdot {d_u}^2 \cdot \rho_2} = \frac{4 \cdot (1868{,}3/3600)}{\pi \cdot 0{,}034^{\,2} \cdot 958{,}38 \cdot 2} = 0{,}3 \text{ m/s}$$

Brzina drugog stupnja:

$$w = \frac{4 \cdot qm_K}{\pi \cdot {d_u}^2 \cdot \rho_2} = \frac{4 \cdot (1478{,}57/3600)}{\pi \cdot 0{,}034^{\,2} \cdot 976 \cdot 2} = 0{,}23 \text{ m/s}$$

7.2. Proračun priključaka za separator

Priključak izlaska pare 1. stupnja
- odabrana je Inox šavna cijev EN 10027-2 (Ø306x3mm),
materijal: W.Nr. 1.4301

d_u = 300 mm;
d_v = 306 mm

$$w = \frac{4 \cdot qm_{S1}}{\pi \cdot {d_u}^2 \cdot \rho_2} = \frac{4 \cdot (1478{,}57/3600)}{\pi \cdot 0{,}3^{\,2} \cdot 0{,}225} = 25 \text{ m/s}$$

Priključak izlaska pare 2. stupnja
- odabrana je Inox šavna cijev EN 10027-2 (Ø406,40x4mm),
materijal: W.Nr. 1.4301

d_u = 398,4 mm;
d_v = 406,4 mm

$$w = \frac{4 \cdot qm_2}{\pi \cdot {d_u}^2 \cdot \rho_2} = \frac{4 \cdot (1478{,}57/3600)}{\pi \cdot 0{,}3984^{\,2} \cdot 0{,}0812} = 40{,}6 \text{ m/s}$$

Priključci ulaska i izlaska koncentrata jednaki su kao i priključci izlaska i ulaska koncentrata u izmjenjivač topline.

8. PRORAČUN PADA TLAKA

8.1. Prvog stupnja

8.1.1. Na tlačnoj strani

Pad tlaka u izmjenjivaču topline

- pad tlaka u izmjenjivaču sastoji se od:
$\Delta p_{iz} = \Delta p_{pr} + \Delta p_{cs} + \Delta p_c$

Δp_{pr} - pad tlaka u priključcima
Δp_{cs} - pad tlaka na ulazu i izlazu iz cijevno snopa (uključujući broj prolaza)
Δp_c - pad tlaka uslijed strujanja kroz cijevi

Pad tlaka u priključcima

$\zeta_u = 0.5$ - koeficijent otpora na ulazu u priključak
$\zeta_i = 1$ - koeficijent otpora na izlazu iz priključka

$$\Delta p_{pr} = (\zeta_u + \zeta_i) \cdot \frac{\rho \cdot w_{pr}^2}{2} = (0.5 + 1) \cdot \frac{1031{,}1 \quad \cdot 1{,}84^2}{2} = 2618{,}17 \text{ Pa}$$

$\zeta_u = 0.5$ - koeficijent otpora na ulazu u cijevni snop

$\zeta_i = 1$- koeficijent otpora na izlazu iz cijevnog snopa $\zeta_i = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \sim 1$

$$\Delta p_{cs} = n \cdot \zeta \cdot \frac{\rho \cdot w_{cs}^2}{2} = 4 \cdot (0.5 + 1) \cdot \frac{1031{,}1 \cdot 1{,}2^2}{2} = 1113{,}6 \text{ Pa}$$

Pad tlaka uslijed strujanja u cijevi, za izobraženo laminarno strujanje.

Za laminarno strujanje ne-Newtonovskih fluida: [4]

$$\Delta p_c =\cdot \frac{\rho \cdot w_c^2 \cdot L \cdot 2 \cdot (16/Re)}{d_u} = \frac{1031{,}1 \cdot 1{,}2^2 \cdot 8{,}3 \cdot 2 \cdot (16/522{,}5)}{0{,}016} = 47172 \text{ Pa}$$

Ukupni pad tlaka u izmjenjivaču na strani koncentrata
$p_{iz} = \Delta p_{pr} + 2\Delta p_{cs} + \Delta p_c = 2618{,}17 \ + 2 \cdot 1113{,}6 \ + 47172 = 50903 \text{ Pa} = 0.509 \text{ bar}$

Pad tlaka u cjevovodu do separatora

Pad tlaka uslijed cijevnih lukova

$D = 211{,}1$ mm – unutarnji promjer luka
$r = 510$ mm – radijus simetrale luka
$w = 1{,}65$ m/s – brzina koncentrata
$n = 2$ – broj cijevnih lukova
$\frac{r}{D} = \frac{510}{211{,}1} = 2{,}42$

iz tablica [2] slijedi $\zeta = 0{,}168$

$$\Delta p_p = n \cdot \zeta \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} = 2 \cdot 0{,}168 \cdot \frac{1031{,}1 \cdot 1{,}65^2}{2} = 472 \text{ Pa}$$

Pad tlaka uslijed strujanja u cjevovodu

$D = 211{,}1$ mm – unutarnji promjer
$R = 105{,}5$ mm – unutarnji radius
$L = 3856$ mm – duljina cjevovoda
$w = 1{,}65$ m/s – brzina koncentrata

$$Re = \frac{8(w)^{2-n} R^n \rho}{K[(3n+1)/n]^n} = \frac{8 \cdot (1{,}65)^{2-0{,}35} \cdot 0{,}1055^{0{,}35} \cdot 1031{,}065}{2{,}28 \cdot \left[\frac{3 \cdot 0{,}35 + 1}{0{,}35}\right]^{0{,}35}} = 2026$$

Za laminarno strujanje ne-Newtonovskih fluida: [4]

$$\Delta p_c = \cdot \frac{\rho \cdot w_c^2 \cdot L \cdot 2 \cdot (16/Re)}{d_u} = \frac{1031{,}1 \cdot 1{,}65^2 \cdot 3856 \cdot 2 \cdot (16/2026)}{211{,}1} = 809 \text{ Pa}$$

Pad tlaka uslijed visine

$H = 4{,}1$ m – visina koncentrata na tlačnoj strani

$$\Delta p_H = \rho \cdot g \cdot H = 1031{,}1 \cdot 9{,}81 \cdot 4{,}1 = 41472 \text{ Pa}$$

Ukupni pad tlaka na tlačnoj strani

$$\Delta p_t = p_{iz} + \Delta p_p + \Delta p_c + \Delta p_H = 50903 + 4712 + 809 + 41472 = 97896 \text{ Pa} = 0{,}98 \text{ bar}$$

8.1.2. Na usisnoj strani

Pad tlaka u povratnoj cijevi

$D = 211{,}1$ mm – unutarnji promjer
$R = 105{,}5$ mm – unutarnji radius
$L = 5400$ mm – duljina cjevovoda
$w = 1{,}65$ m/s – brzina koncentrata

$$\Delta p_c =\cdot \frac{\rho \cdot w_c^2 \cdot L \cdot 2 \cdot (16/Re)}{d_u} = \frac{1031{,}1 \cdot 1{,}65^2 \cdot 5400 \cdot 2 \cdot (16/2026)}{211{,}1} = 1134 \text{ Pa}$$

Pad tlaka uslijed cijevnih lukova

$D = 211{,}1$ mm – unutarnji promjer luka
$r = 2100$ mm – radijus simetrale luka
$w = 1{,}65$ m/s – brzina koncentrata
$n = 1$ – broj cijevnih lukova
$\frac{r}{D} = \frac{2100}{211{,}1} = 9{,}94$

iz tablica [2] slijedi $\zeta = 0{,}11$

$$\Delta p_p = n \cdot \zeta \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} = 1 \cdot 0{,}11 \cdot \frac{1031{,}1 \cdot 1{,}65^2}{2} = 154 \text{ Pa}$$

Tlak uslijed visine

$H = 3$ m – visina koncentrata na tlačnoj strani

$$\Delta p_H = \rho \cdot g \cdot H = 1031{,}1 \cdot 9{,}81 \cdot 3 = 30345 \text{ Pa}$$

Pad tlaka na ulazu u cijev

$\zeta_u = 0.5$ - koeficijent otpora na ulazu u priključak

$$\Delta p_{pr} = \zeta_u \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} = 0{,}5 \cdot \frac{1031{,}1 \quad \cdot 1{,}65^2}{2} = 1404 \text{ Pa}$$

Tlak na usisnoj strani

$$p_u = \Delta p_H - \Delta p_c - \Delta p_p - \Delta p_{pr} = 30345 - 1134 - 154 - 1404 \ = 27653 \text{ Pa} = 0{,}28 \text{ bar}$$

Visina dobave pumpe

$$H_1 = \frac{\Delta p_t - p_u}{\rho \cdot g} = \frac{97896 - 27653}{1031{,}1 \cdot 9{,}81} = 6{,}94 \text{ m}$$

Volumni protok:

$$Q = \frac{(qm_u + qm_{R1})}{\rho} = \frac{(3857{,}143 + 210320{,}26)}{1031 \cdot 3600} = 0.058 \ \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Teoretska snaga pumpe:

$$P_P = \frac{Q \cdot (\Delta p_t - p_u)}{\eta} = \frac{0.058 \cdot (97896 - 27653)}{0{,}9} = 4{,}53 \text{ kW}$$

8.2. Drugog stupnja

8.2.1. Na tlačnoj strani

Pad tlaka u izmjenjivaču topline

- pad tlaka u koncentrata sastoji se od:
$\Delta p_{sek} = \Delta p_{pr} + \Delta p_{cs} + \Delta p_c$

Δp_{pr} - pad tlaka u priključcima
Δp_{cs} - pad tlaka na ulazu i izlazu iz cijevno snopa (uključujući broj prolaza)
Δp_c - pad tlaka uslijed strujanja kroz cijevi

Pad tlaka u priključcima
$\zeta_u = 0.5$ - koeficijent otpora na ulazu u priključak
$\zeta_i = 1$ - koeficijent otpora na izlazu iz priključka

$$\Delta p_{pr} = (\zeta_u + \zeta_i) \cdot \frac{\rho \cdot w_{pr}^2}{2} = (0.5 + 1) \cdot \frac{1134 \quad \cdot 1{,}35^2}{2} = 2879 \text{ Pa}$$

$\zeta_u = 0.5$ - koeficijent otpora na ulazu u cijevni snop

$\zeta_i = 1$- koeficijent otpora na izlazu iz cijevnog snopa $\zeta_i = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \sim 1$

$$\Delta p_{cs} = n \cdot \zeta \cdot \frac{\rho \cdot w_{cs}^2}{2} = 4 \cdot (0.5 + 1) \cdot \frac{1134 \cdot 0{,}98^2}{2} = 817 \text{ Pa}$$

Pad tlaka uslijed strujanja u cijevi, za laminarno strujanje.

$$\Delta p_c =\cdot \frac{\rho \cdot w_c^2 \cdot L \cdot 2 \cdot (16/Re)}{d_u} = \frac{1134{,}72 \cdot 0{,}98^2 \cdot 8{,}3 \cdot 2 \cdot (16/37{,}82)}{0{,}016} = 478330 \text{ Pa}$$

Ukupni pad tlaka u izmjenjivaču na strani koncentrata

$$p_{iz} = \Delta p_{pr} + 2\Delta p_{cs} + \Delta p_c = 2879 \ + 2 \cdot 817 \ + 478330 = 482843 \text{ Pa} = 4{,}8 \text{ bar}$$

Pad tlaka u cjevovodu do separatora

Pad tlaka uslijed cijevnih lukova

$D = 211{,}1$ mm – unutarnji promjer luka
$r = 510$ mm – radijus simetrale luka
$w = 0{,}98$ m/s – brzina koncentrata
$n = 2$ – broj cijevnih lukova
$\frac{r}{D} = \frac{510}{211{,}1} = 2{,}42$

iz tablica [2] slijedi $\zeta = 0{,}168$

$$\Delta p_p = n \cdot \zeta \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} = 2 \cdot 0{,}168 \cdot \frac{1134{,}72 \cdot 1{,}35^2}{2} = 347 \text{ Pa}$$

Pad tlaka uslijed strujanja u cjevovodu

$D = 211{,}1$ mm – unutarnji promjer
$R = 105{,}5$ mm – unutarnji radijus
$L = 3856$ mm – duljina cjevovoda
$w = 1{,}35$ m/s – brzina koncentrata

$$Re = \frac{8(w)^{2-n} R^n \rho}{K[(3n+1)/n]^n} = \frac{8 \cdot (1{,}35)^{2-0.42} \cdot 0{,}1055^{0.42} \cdot 1031{,}36}{15.1 \cdot \left[\frac{3 \cdot 0.42 + 1}{0.42}\right]^{0.42}} = 168$$

Za laminarno strujanje ne-Newtonovskih fluida: [4]

$$\Delta p_c = \cdot \frac{\rho \cdot w^2 \cdot L \cdot 2 \cdot (16/Re)}{d_u} = \frac{1134{,}72 \cdot 1{,}35^2 \cdot 3856 \cdot 2 \cdot (16/168)}{211{,}1} = 7195 \text{ Pa}$$

Pad tlaka uslijed visine

$H = 4{,}1$ m – visina koncentrata na tlačnoj strani
$\Delta p_H = \rho \cdot g \cdot H = 1134{,}72 \cdot 9{,}81 \cdot 4{,}1 = 45639$ Pa

Ukupni pad tlaka na tlačnoj strani

$$\Delta p_t = p_{iz} + \Delta p_p + \Delta p_c + \Delta p_H = 482843 + 347 + 7195 + 45639 \quad = 536024 \text{ Pa}$$
$$= 5{,}3 \text{ bar}$$

8.2.2. Na usisnoj strani

Pad tlaka u povratnoj cijevi

$D = 211{,}1$ mm – unutarnji promjer
$R = 105{,}5$ mm – unutarnji radius
$L = 5400$ mm – duljina cjevovoda
$w = 1{,}65$ m/s – brzina koncentrata

$$\Delta p_c =\cdot \frac{\rho \cdot w_c^2 \cdot L \cdot 2 \cdot (16/Re)}{d_u} = \frac{1134{,}72 \cdot 1{,}35^2 \cdot 5400 \cdot 2 \cdot (16/168)}{211{,}1} = 10076 \text{ Pa}$$

Pad tlaka uslijed cijevnih lukova

$D = 211{,}1$ mm – unutarnji promjer luka
$r = 500$ mm – radijus simetrale luka
$w = 1{,}65$ m/s – brzina koncentrata
$n = 1$ – broj cijevnih lukova
$\frac{r}{D} = \frac{2100}{211{,}1} = 2{,}37$

iz tablica Kraut [2] slijedi $\zeta = 0{,}11$

$$\Delta p_p = n \cdot \zeta \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} = 1 \cdot 0{,}11 \cdot \frac{1134{,}72 \cdot 1{,}35^2}{2} = 114 \text{ Pa}$$

Tlak uslijed visine

$H = 3$ m – visina koncentrata na tlačnoj strani

$$\Delta p_H = \rho \cdot g \cdot H = 1134{,}72 \cdot 9{,}81 \cdot 3 = 33395 \text{ Pa}$$

Pad tlaka na ulazu u cijev

$\zeta_u = 0.5$ - koeficijent otpora na ulazu u priključak

$$\Delta p_{pr} = \zeta_u \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} = 0{,}5 \cdot \frac{1134{,}72 \quad \cdot 1{,}35^2}{2} = 517 \text{ Pa}$$

Tlaka na usisnoj strani

$$p_u = \Delta p_H - \Delta p_c - \Delta p_p - \Delta p_{pr} = 33395 - 10076 - 114 - 517 = 22688 \text{ Pa} = 0{,}23 \text{ bar}$$

Visina dobave pumpe

$$H_2 = \frac{\Delta p_t - p_u}{\rho \cdot g} = \frac{536024 - 22688}{1134{,}72 \cdot 9{,}81} = 46{,}12 \text{ m}$$

Volumni protok:

$$Q = \frac{(qm_x + qm_{R2})}{\rho} = \frac{(2378{,}57 \ + 190196)}{1135 \cdot 3600} = 0.047 \ \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Teoretska snaga pumpe:

$$P_P = \frac{Q \cdot (\Delta p_t - p_u)}{\eta} = \frac{0.047 \cdot (536024 - 22688)}{0{,}9} = 26{,}8 \text{ kW}$$

Odabrane pumpe za oba stupnja su proizvođača Bornemann, vijčane pumpe serije SLH-4G namijenjene kemijskoj i prehrambenoj industriji.

9. ZAKLJUČAK

Rješavanje problema konstrukcije uređaja koji će služiti za proizvodnju ciljane količine traženog proizvoda određenih svojstava na temelju osnovnih ulaznih parametara sirovine zahtjeva razmišljanje o zadanom problemu u okvirima široke slike. Potrebno je dobro razmisliti i procijeniti koji tip uređaja i izvedba najbolje odgovaraju postavljenim zahtjevima.

Osnovna analiza energetske potrošnje predstavlja početak razmišljanja o načinu provedbe procesa. Ovaj rad pokazao je dio takve analize u kojoj se razmatrala potrošnja pogonske energije u odnosu na izvedbu uparivačkih uređaja. Odabirom više stupnjeva uparivanja dolazi se do znatno manje potrošnje pogonske energije ali također investicijski troškovi rastu u znatnoj mjeri. Isplativost višestupanjskih pogona s tri ili četiri stupnja opravdava se u slučajevima kada se radi o velikim količinama ulazne sirovine time i dobivene količine proizvoda koji opravdava velike investicije i uštedu na dugoročnom planu kada se po dobivenom proizvodu troši znatno manje energije.

Zahtjev na jednakost uparivačkih jedinica u svim stupnjevima predstavlja manje investicijsko ulaganje. Također izvedba cijelog procesa postaje kompliciranija zbog velikih nejednakosti u svojstvima sirovine koji se mijenjaju od stupnja do stupnja i veoma utječu na vođenje procesa. Postavljanjem svih bilanci, modela prijenosa topline, konstrukcijskih rješenja i veličina može se krenuti s početnim pokušajima pronalaska sustava koji će dati jednake uparivačke jedinice. Metodom pokušaja biranja pojedinih parametra poput tlaka uparivanja, veličine i broja cijevi, temperature zagrijavanja, odabira ogrjevnog medija dolazi se do zadovoljavanja zahtjeva i najboljeg mogućeg načina vođenja procesa.

LITERATURA

[1] Andrassy, M.; Toplinske operacije, FSB Zagreb, 2013.

[2] KRAUTOV STROJARSKI PRIRUČNIK, Sajema d.o.o., Zagreb, 2009.

[3] M. A. Rao, Syed S. H. Rizvi, Ashim K. Datta; Engineering Properties of Foods Third Edition, Sjedinjene Američke Države, 2005.

[4] Romeo T. Toledo; Fundimentals of Food Process Engineering Third Edition, University of Georgia Sjedinjene Američke Države, 2007.

[5] Sadik Kakac; Boilers Evaporators & Condensers, New York, 1991.

[6] Kenneth J. Valentas, Enrique Rotstein, R. Paul Singh; Handbook of Food Engineering Practice, New York, 1997.

[7] A.E. Drusas, G.D. Saravacosf; Thermal Conductivity of Tomato Paste, Journal of Food Engineering, 1985.

[8] VDI Heat Atlas Second Edition, 2006.

PRILOZI

I. CD-R disc

II. Tehnička dokumentacija

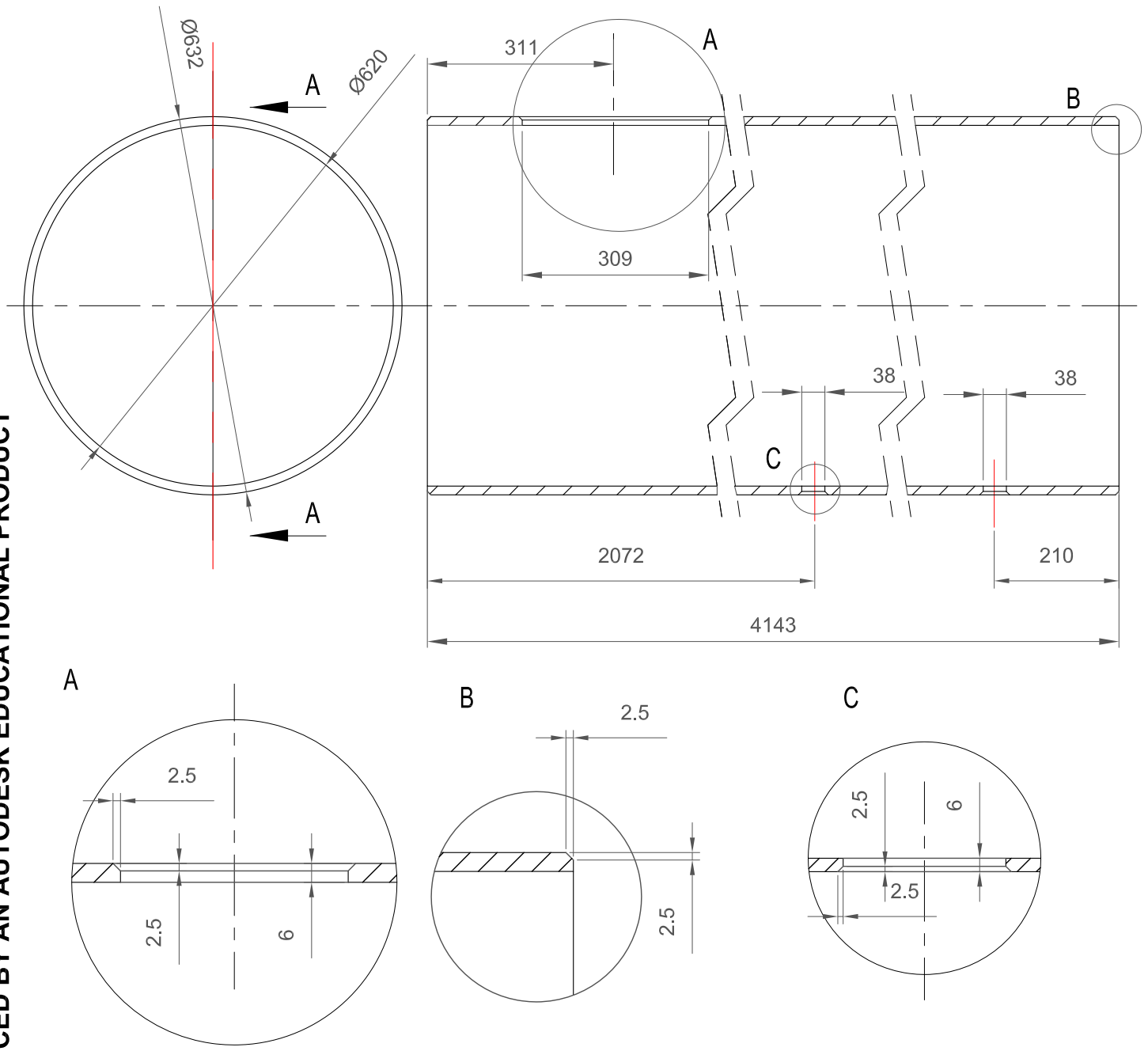
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

PRILOG NACRTI

Ivan Stjepić

Zagreb, 2015.

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	11/2015	Ivan Stjepić		FSB Zagreb
Razradio	11/2015	Ivan Stjepić		
Crtao	11/2015	Ivan Stjepić		
Pregledao		Prof. dr.sc. D. Dović		

Objekt: IZMJENJIVAČ TOPLINE

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal: W.Nr. 1.4301 Masa: -

Mjerilo originala M1:10

Naziv: PLAŠT

Pozicija: 1

Format: A4

Listova:

Crtež broj: IS-01-2015

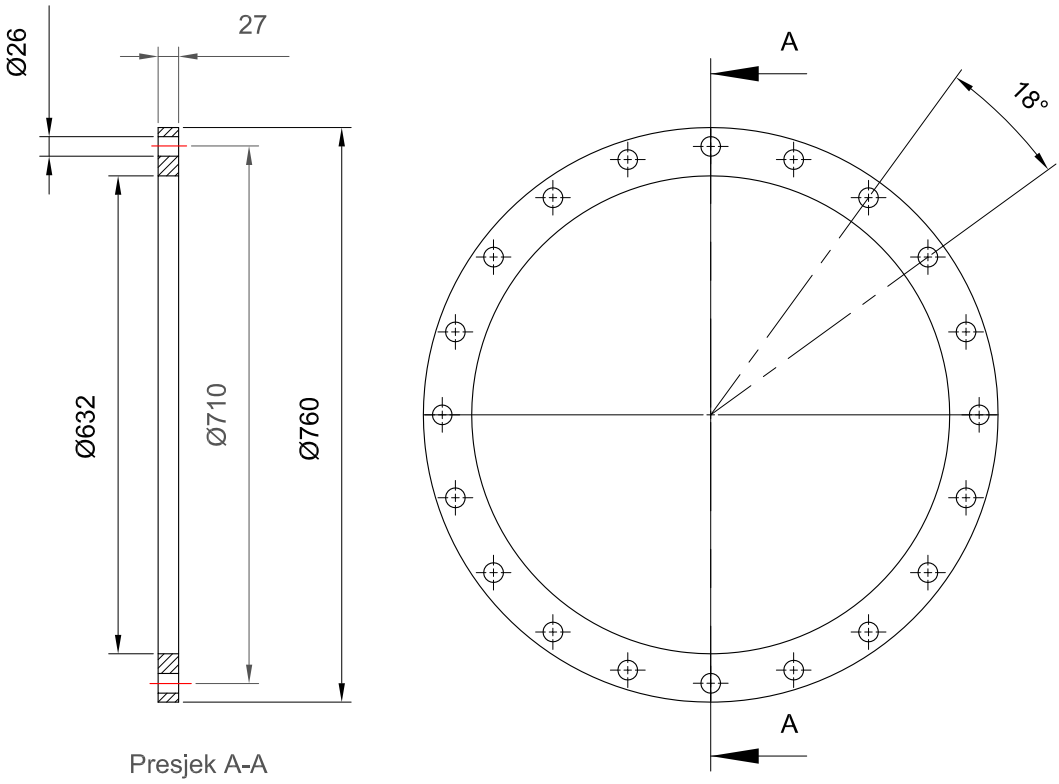
List:

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	11/2015	Ivan Stjepić		FSB Zagreb
Razradio	11/2015	Ivan Stjepić		
Crtao	11/2015	Ivan Stjepić		
Pregledao		Prof. dr.sc. D. Dović		

Objekt: IZMJENJIVAČ TOPLINE

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal: W.Nr. 1.4301

Masa: -

Mjerilo originala: M1:10

Naziv: Prirubnica izmjenjivača

Pozicija: 18

Format: A4

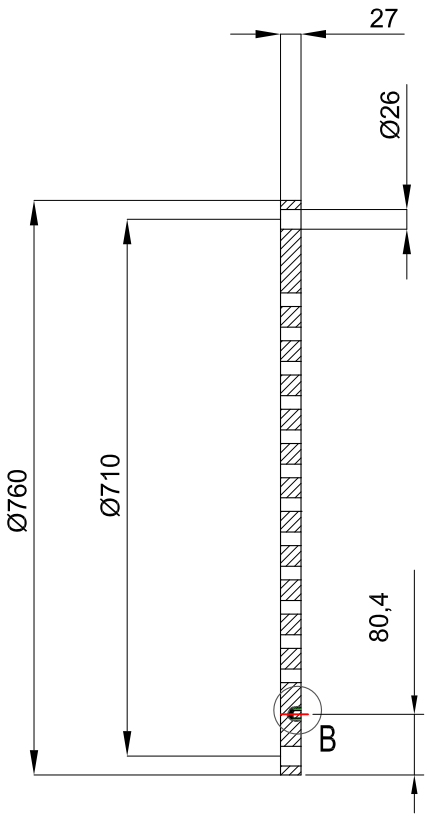
Listova:

Crtež broj: IS-02-2015

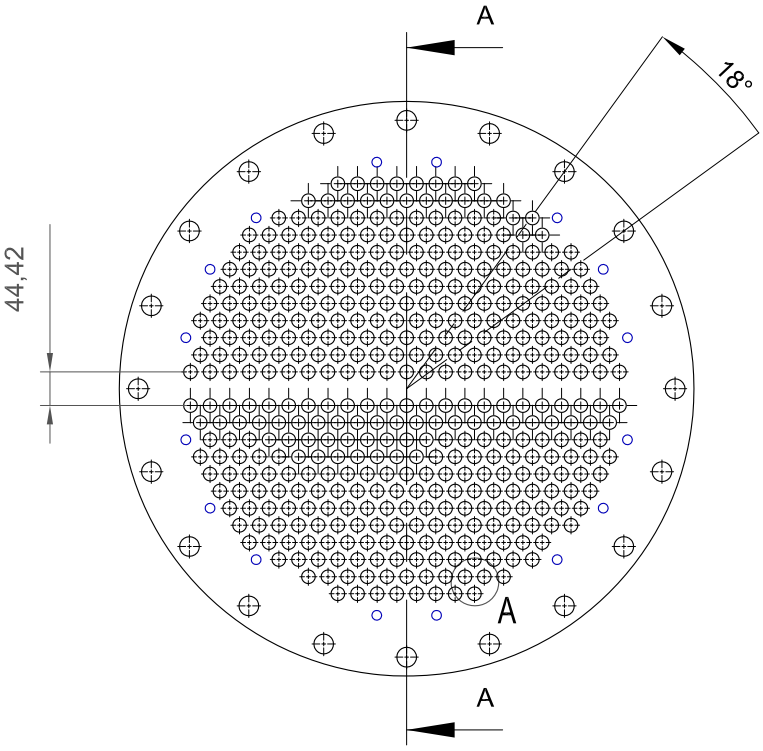
List:

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

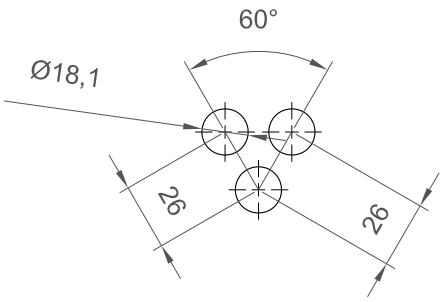
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



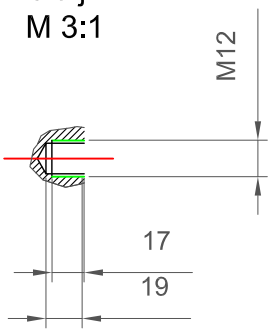
A-A



Detalj A
M 7:1



Detalj B
M 3:1



	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	11/2015	Ivan Stjepić		FSB Zagreb
Razradio	11/2015	Ivan Stjepić		
Crtao	11/2015	Ivan Stjepić		
Pregledao		Prof. dr.sc. D. Dović		

Objekt: IZMJENJIVAČ TOPLINE

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal: W.Nr. 1.4301 Masa: -

Mjerilo originala: M1:10

Naziv: Cijevna stijenka

Pozicija: 4

Format: A4

Listova:

Crtež broj: IS-03-2015

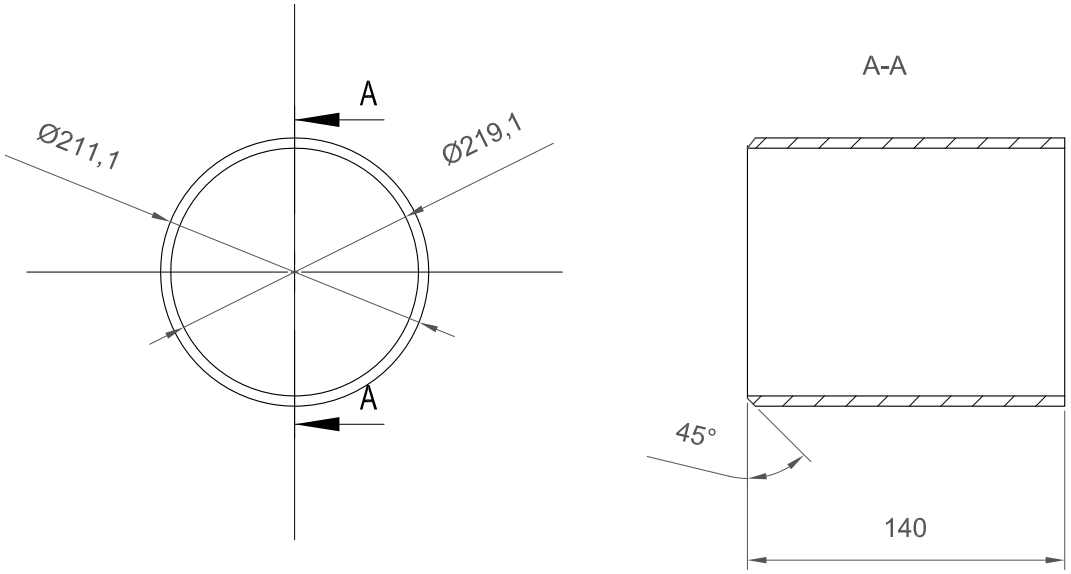
List:

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

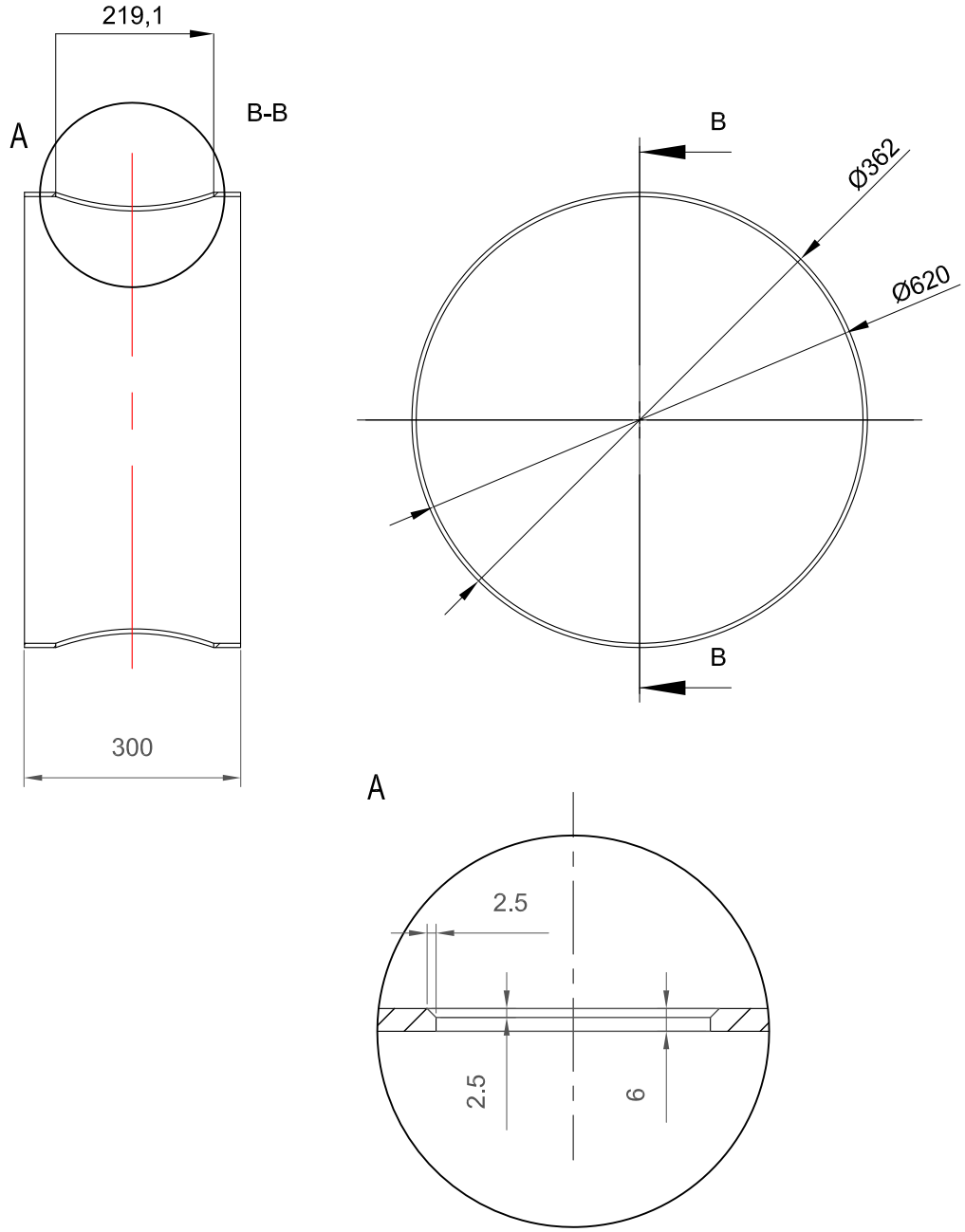


	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	11/2015	Ivan Stjepić		FSB Zagreb
Razradio	11/2015	Ivan Stjepić		
Crtao	11/2015	Ivan Stjepić		
Pregledao		Prof. dr.sc. D. Dović		

Objekt: IZMJENJIVAČ TOPLINE		Objekt broj:	
		R. N. broj:	
Napomena:			Kopija
Materijal: W.Nr. 1.4301	Masa: -		
Mjerilo originala M1:5	Naziv: Cijevni priključak	Pozicija: 5	Format: A4
			Listova:
	Crtež broj: IS-04-2013		List:

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	11/2015	Ivan Stjepić	
Razradio	11/2015	Ivan Stjepić	
Crtao	11/2015	Ivan Stjepić	
Pregledao		Prof. dr.sc. D. Dović	

FSB Zagreb

Objekt: IZMJENJIVAČ TOPLINE

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal: W.Nr. 1.4301

Masa: -

Mjerilo originala M1:10

Naziv: Cilindar za prirubnicu

Pozicija: 19

Format: A4

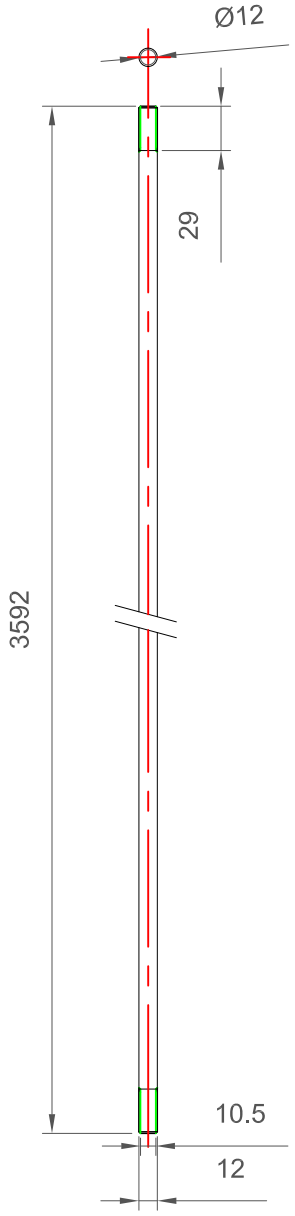
Listova:

Crtež broj: IS-05-2015

List:

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	11/2015	Ivan Stjepić	
Razradio	11/2015	Ivan Stjepić	
Crtao	11/2015	Ivan Stjepić	
Pregledao		Prof. dr.sc. D. Dović	

FSB Zagreb

Objekt: IZMJENJIVAČ TOPLINE

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal: W.Nr. 1.4301

Masa: -

Mjerilo originala M1:5

Naziv: Držač pregrada-duži

Pozicija: 13

Format: A4

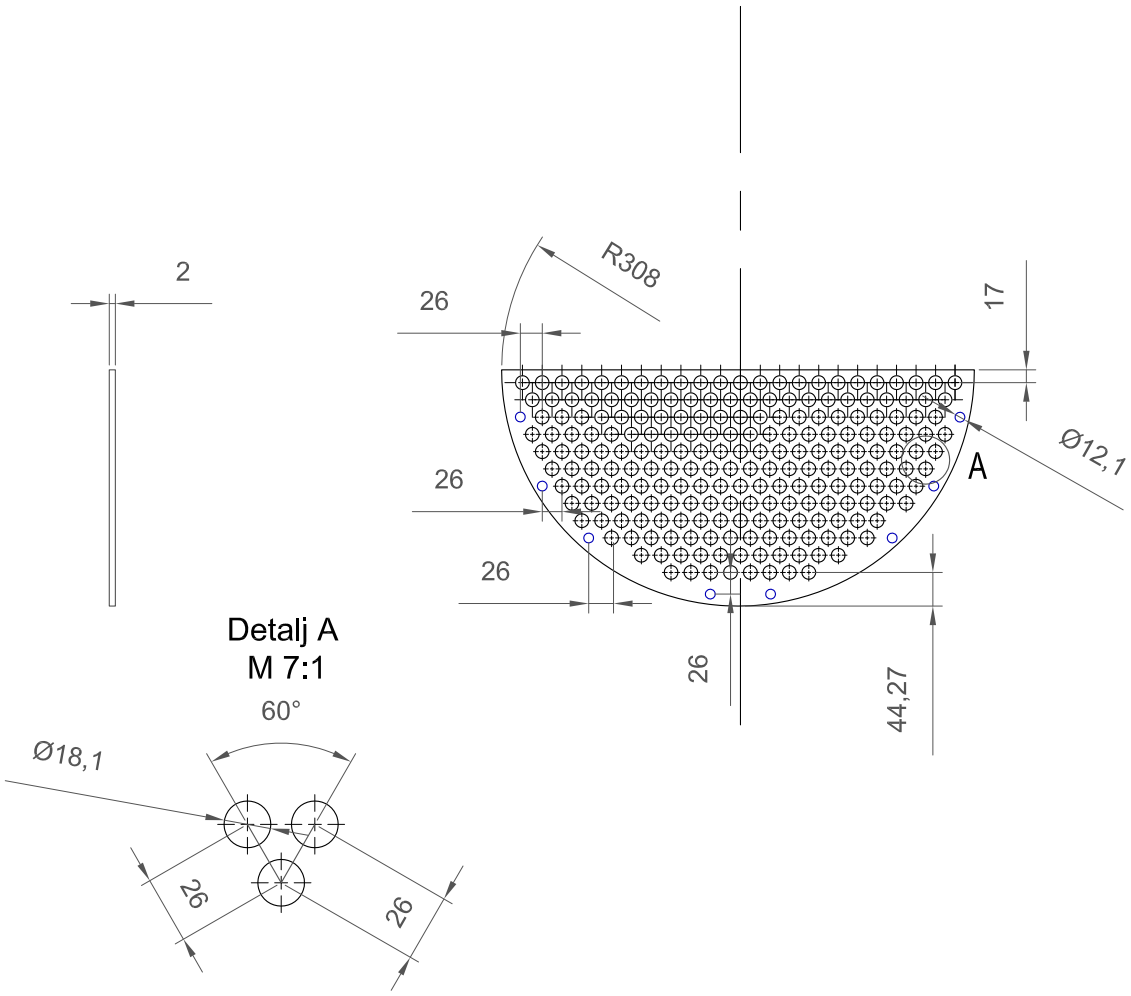
Listova:

List:

Crtež broj: IS-06-2015

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	11/2015	Ivan Stjepić	
Razradio	11/2015	Ivan Stjepić	
Crtao	11/2015	Ivan Stjepić	
Pregledao		Prof. dr.sc. D. Dović	

FSB Zagreb

Objekt: IZMJENJIVAČ TOPLINE

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal: W.Nr. 1.4301 Masa: -

Mjerilo originala M1:10

Naziv: Pregrada u plaštu-gornja

Pozicija: 6

Format: A4

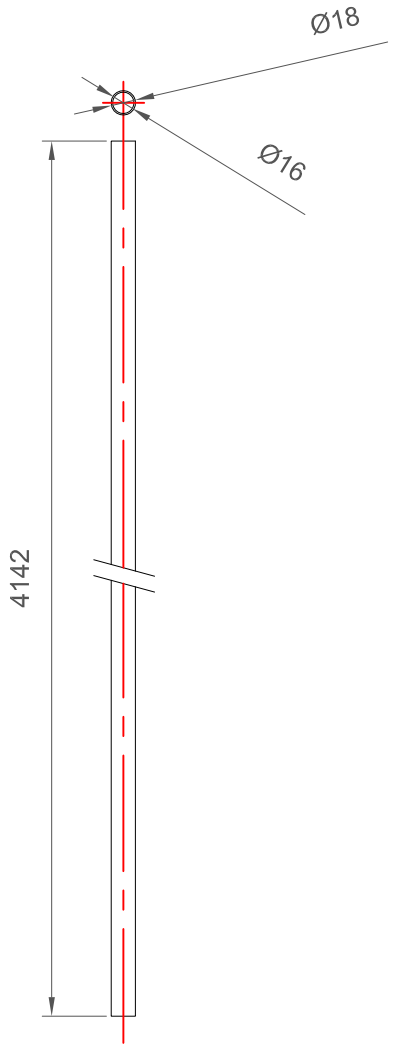
Listova:

List:

Crtež broj: IS-07-2015

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	11/2015	Ivan Stjepić		FSB Zagreb
Razradio	11/2015	Ivan Stjepić		
Crtao	11/2015	Ivan Stjepić		
Pregledao		Prof. dr.sc. D. Dović		

Objekt: IZMJENJIVAČ TOPLINE

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal: W.Nr. 1.4301 Masa: -

Mjerilo originala M1:5

Naziv: Inox cijev

Pozicija: 11

Format: A4

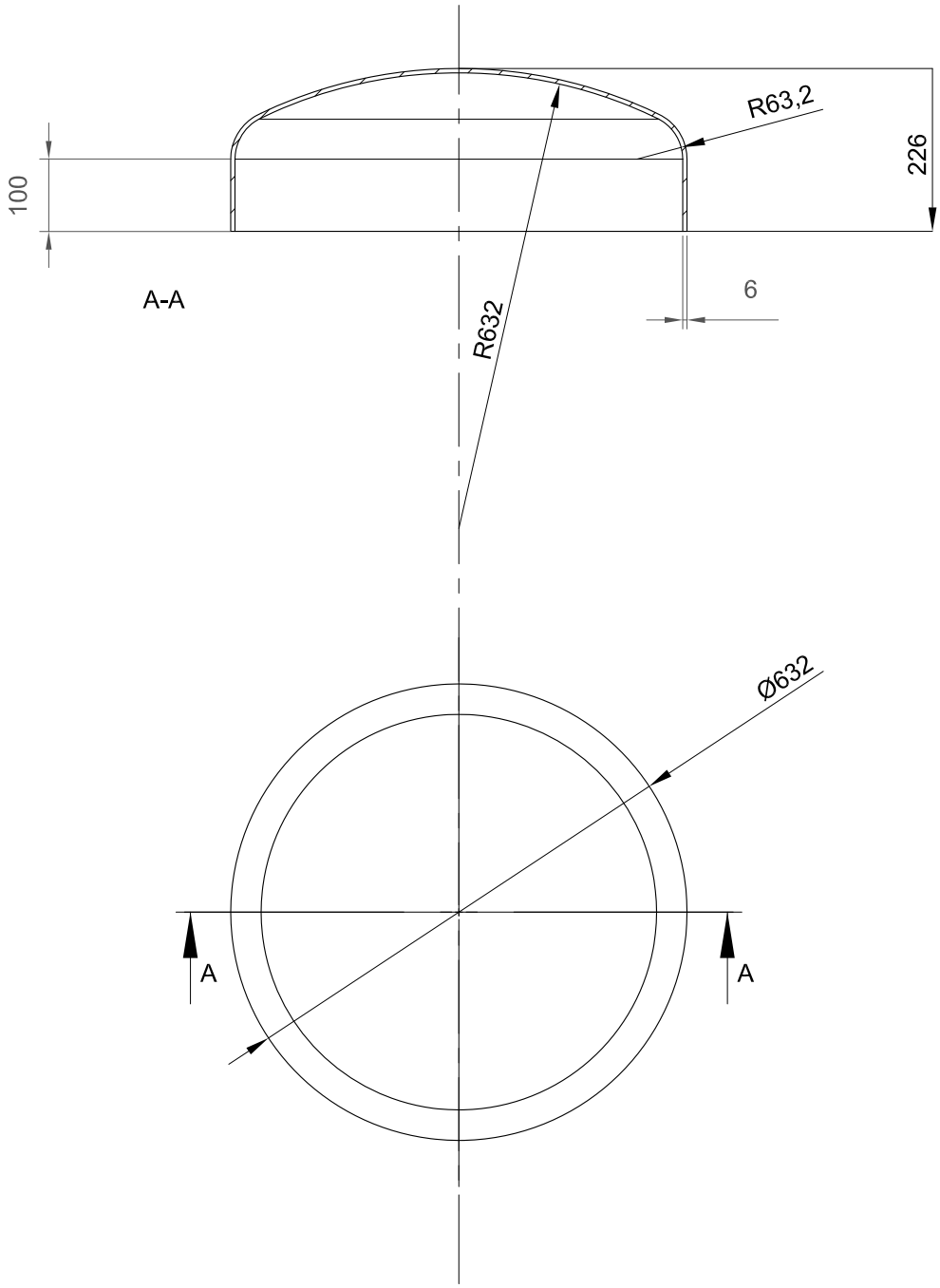
Listova:

Crtež broj: IS-8-2015

List:

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektirao	11/2015	Ivan Stjepić	
Razradio	11/2015	Ivan Stjepić	
Crtao	11/2015	Ivan Stjepić	
Pregledao		Prof. dr.sc. D. Dović	

FSB Zagreb

Objekt: IZMJENJIVAČ TOPLINE

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal: W.Nr. 1.4301

Masa: -

Mjerilo originala M1:10

Naziv: Podnica

Pozicija: 2

Format: A4

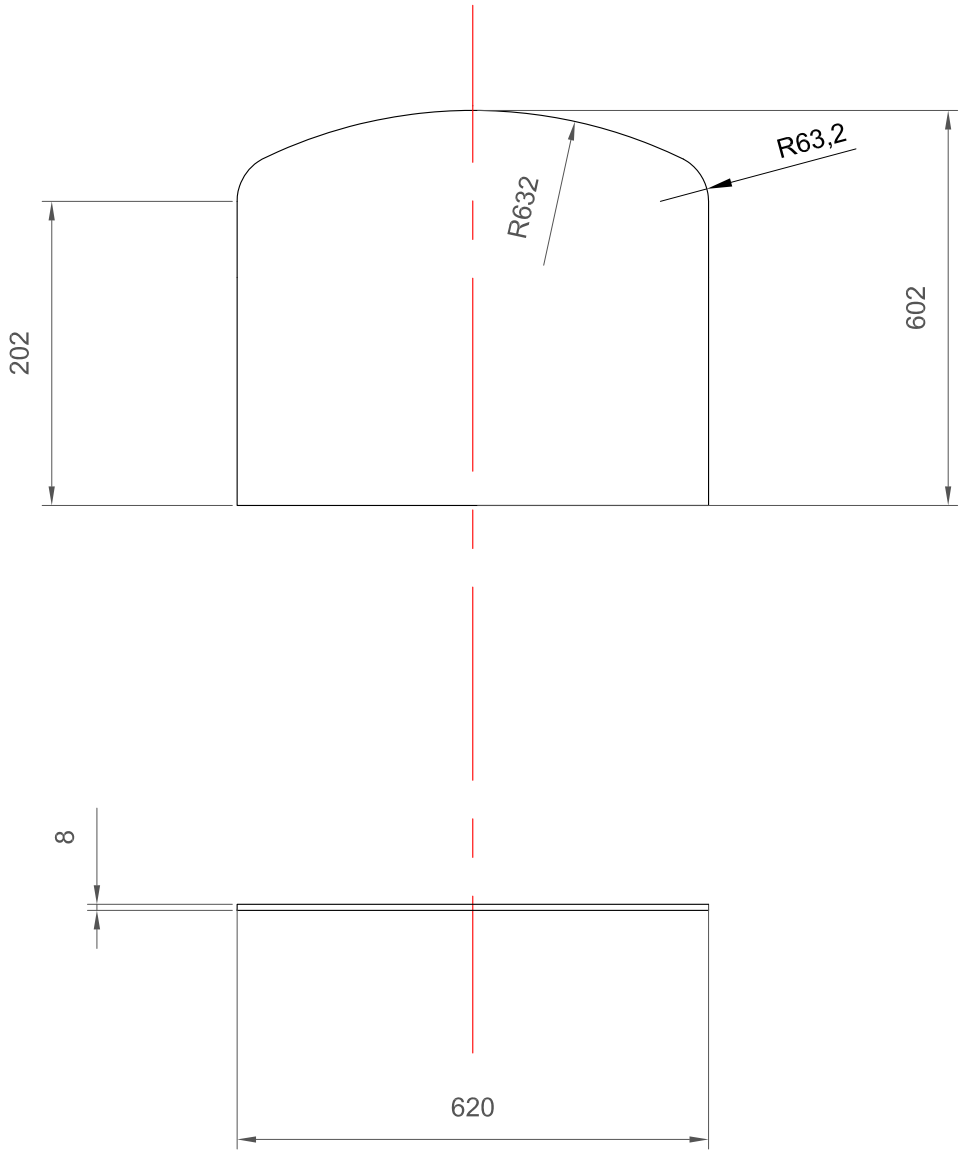
Listova:

Crtež broj: IS-9-2015

List:

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	11/2015	Ivan Stjepić		FSB Zagreb
Razradio	11/2015	Ivan Stjepić		
Crtao	11/2015	Ivan Stjepić		
Pregledao		Prof. dr.sc. D. Dović		

Objekt: IZMJENJIVAČ TOPLINE

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal: W.Nr. 1.4301 | Masa: -

Mjerilo originala: M1:10

Naziv: Pregrada

Pozicija: 16

Format: A4

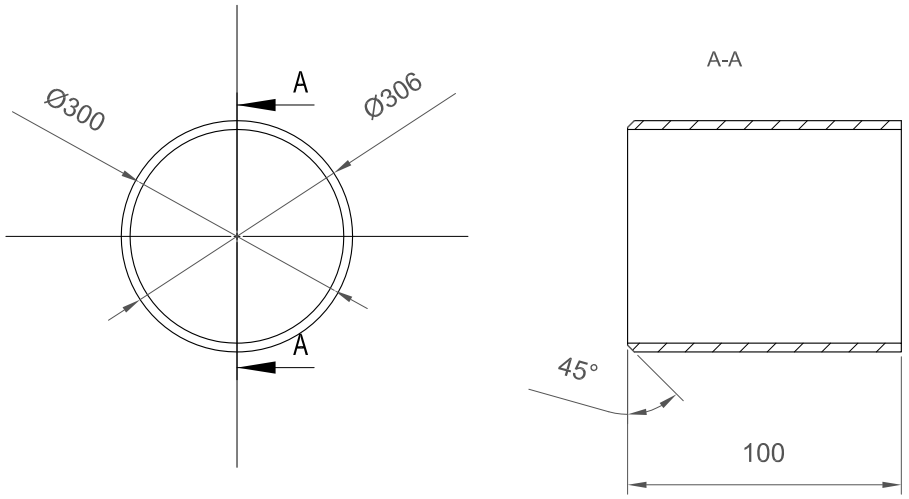
Listova:

List:

Crtež broj: IS-10-2015

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	11/2015	Ivan Stjepić		FSB Zagreb
Razradio	11/2015	Ivan Stjepić		
Crtao	11/2015	Ivan Stjepić		
Pregledao		Prof. dr.sc. D. Dović		

Objekt: IZMJENJIVAČ TOPLINE

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal: W.Nr. 1.4301 Masa: -

Mjerilo originala M1:10

Naziv: Priključak ulaska pare

Pozicija: 17

Format: A4

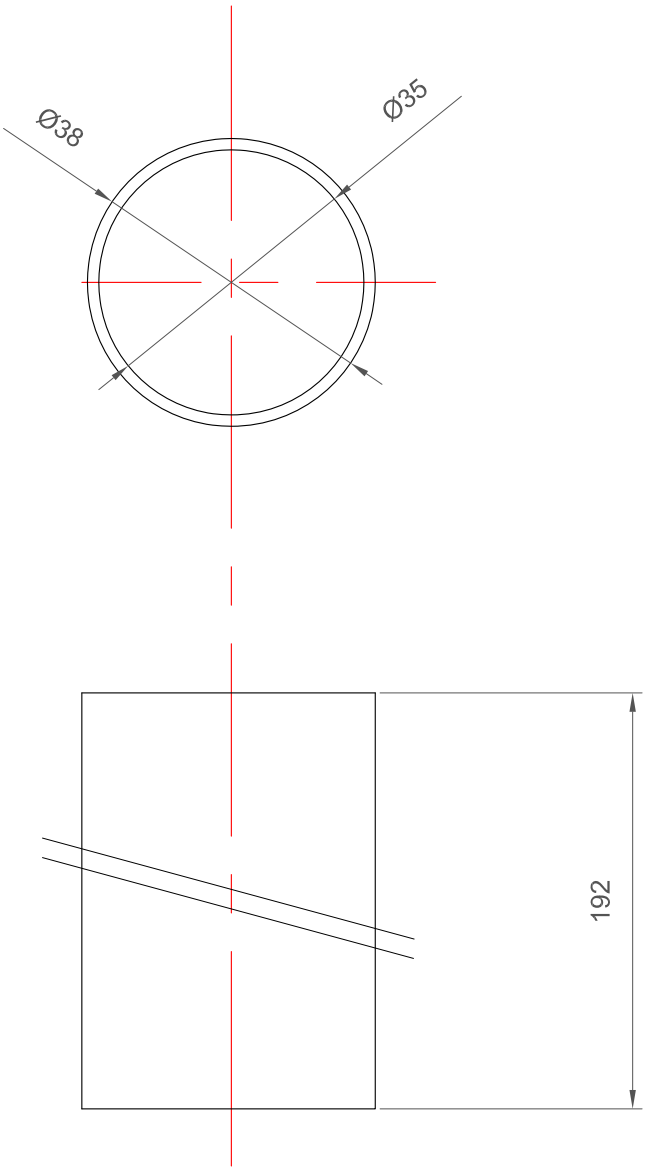
Listova:

List:

Crtež broj: IS-11-2015

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	11/2015	Ivan Stjepić		FSB Zagreb
Razradio	11/2015	Ivan Stjepić		
Crtao	11/2015	Ivan Stjepić		
Pregledao		Prof. dr.sc. D. Dović		

Objekt: IZMJENJIVAČ TOPLINE

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal: W.Nr. 1.4301

Masa: -

Mjerilo originala: M1:1

Naziv: Priključak kondenzata

Pozicija: 15

Format: A4

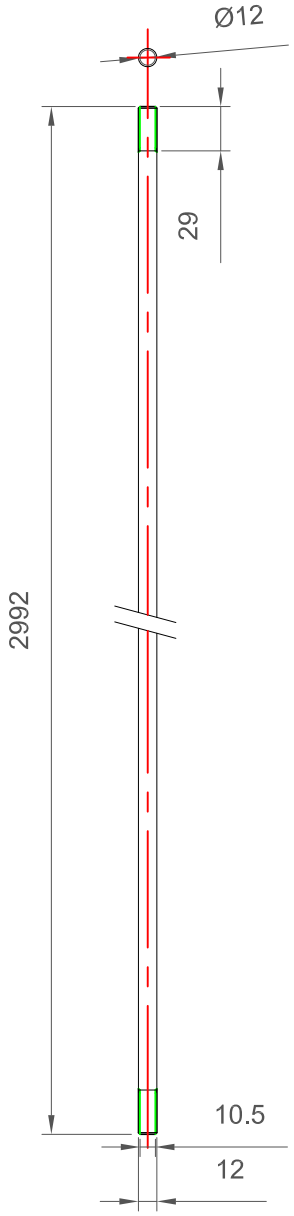
Listova:

List:

Crtež broj: IS-12-2015

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	11/2015	Ivan Stjepić		FSB Zagreb
Razradio	11/2015	Ivan Stjepić		
Crtao	11/2015	Ivan Stjepić		
Pregledao		Prof. dr.sc. D. Dović		

Objekt: IZMJENJIVAČ TOPLINE

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal: W.Nr. 1.4301 Masa: -

Mjerilo originala M1:5

Naziv: Držač pregrada-kraći

Pozicija:

Format: A4

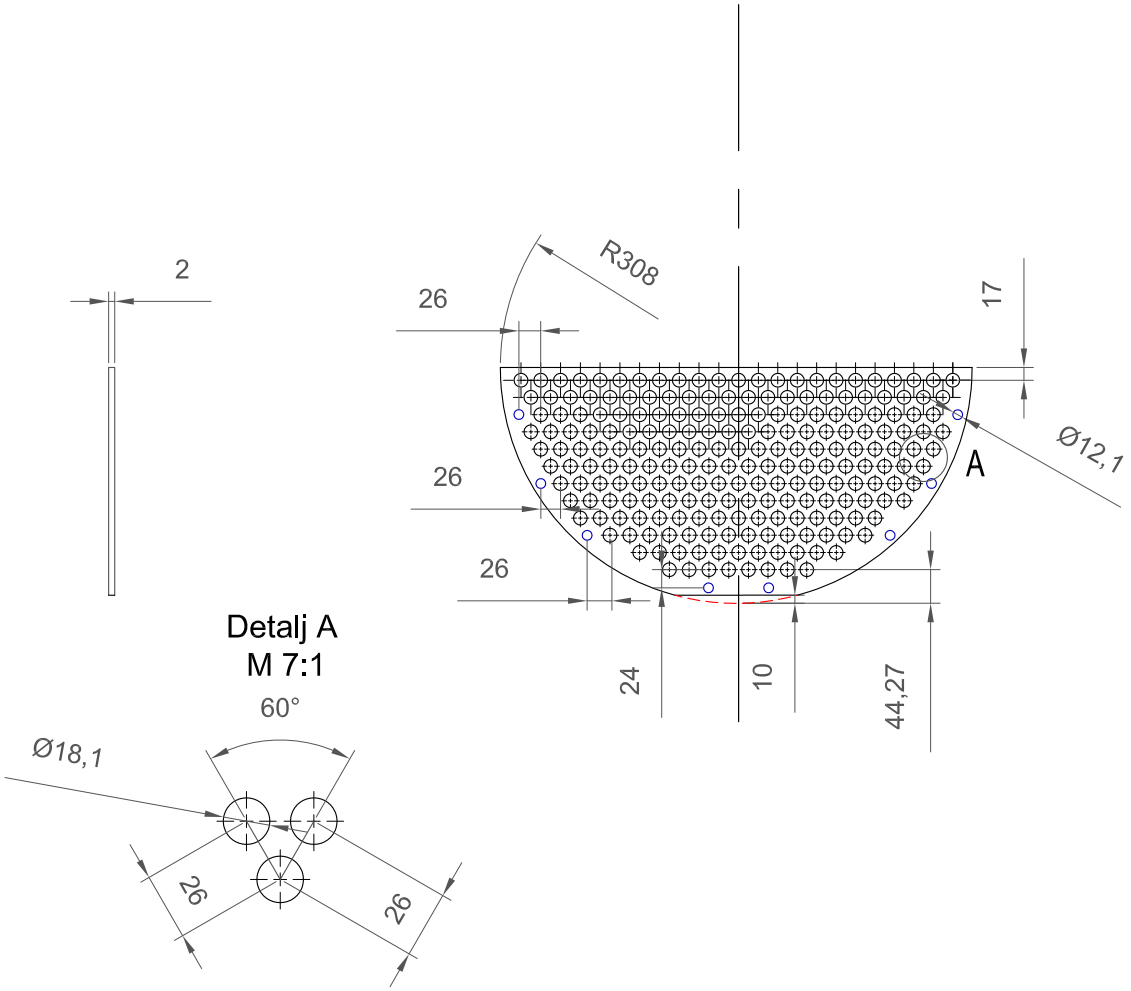
Listova:

Crtež broj: IS-13-2015

List:

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	11/2015	Ivan Stjepić		FSB Zagreb
Razradio	11/2015	Ivan Stjepić		
Crtao	11/2015	Ivan Stjepić		
Pregledao		Prof. dr.sc. D. Dović		

Objekt: IZMJENJIVAČ TOPLINE

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal: W.Nr. 1.4301 Masa: -

Mjerilo originala M1:10

Naziv: Pregrada u plaštu- donja

Pozicija: 23

Format: A4

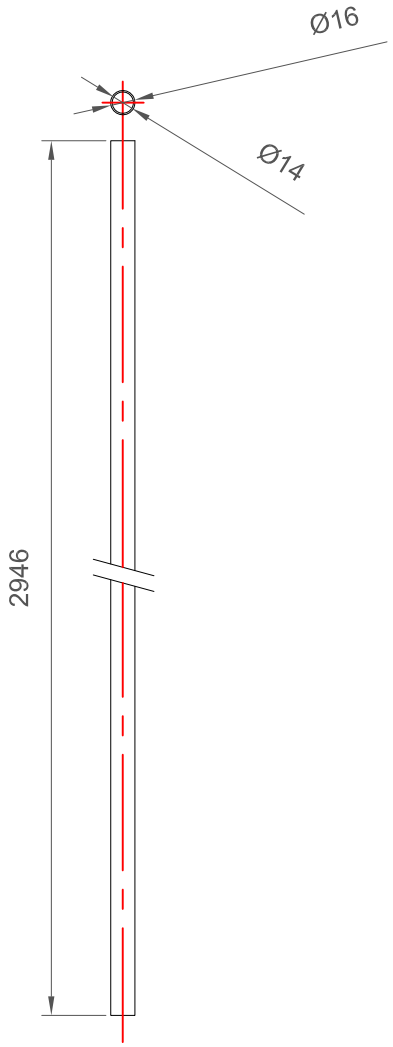
Listova:

Crtež broj: IS-14-2015

List:

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	11/2015	Ivan Stjepić		FSB Zagreb
Razradio	11/2015	Ivan Stjepić		
Crtao	11/2015	Ivan Stjepić		
Pregledao		Prof. dr.sc. D. Dović		

Objekt: IZMJENJIVAČ TOPLINE

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal: W.Nr. 1.4301 Masa: -

Mjerilo originala M1:5

Naziv: Inox cijev - držač kraći

Pozicija: 21

Format: A4

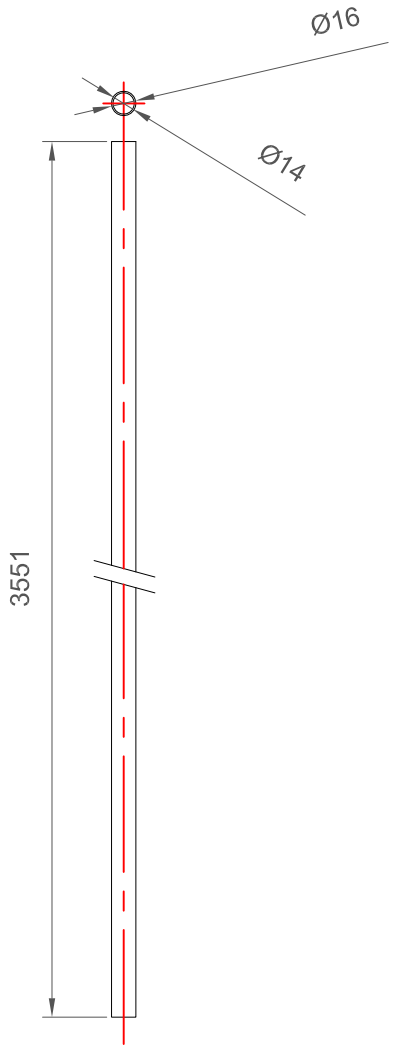
Listova:

Crtež broj: IS-15-2015

List:

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	11/2015	Ivan Stjepić		FSB Zagreb
Razradio	11/2015	Ivan Stjepić		
Crtao	11/2015	Ivan Stjepić		
Pregledao		Prof. dr.sc. D. Dović		

Objekt: IZMJENJIVAČ TOPLINE

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal: W.Nr. 1.4301 Masa: -

Mjerilo originala M1:5

Naziv: Inox cijev-držač duži

Pozicija: 22

Format: A4

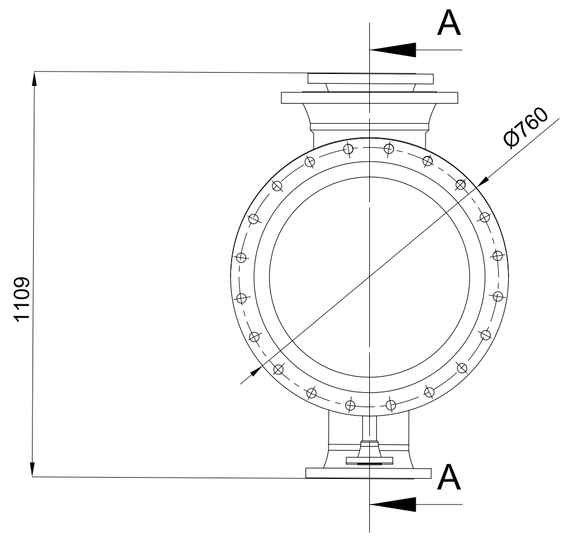
Listova:

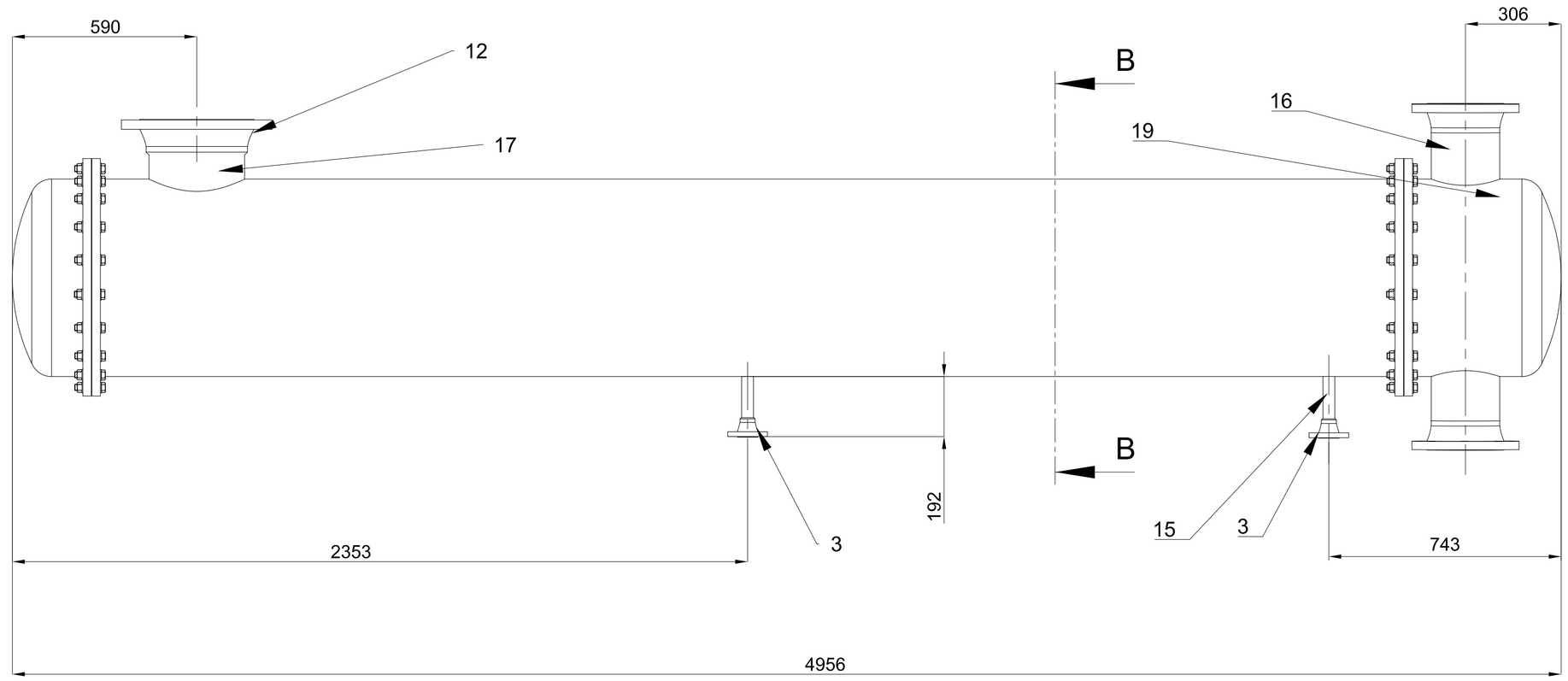
Crtež broj: IS-16-2015

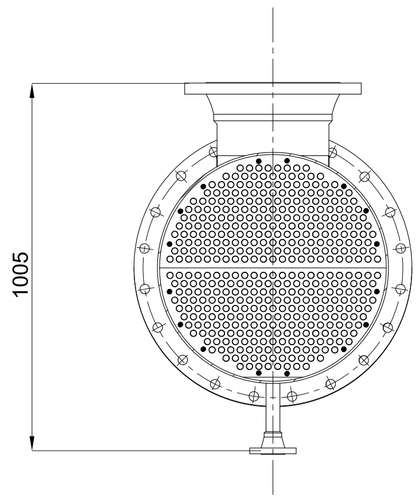
List:

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

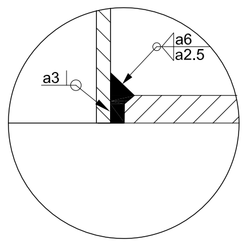




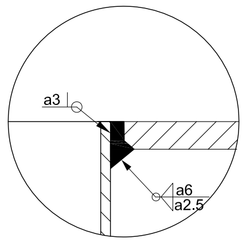


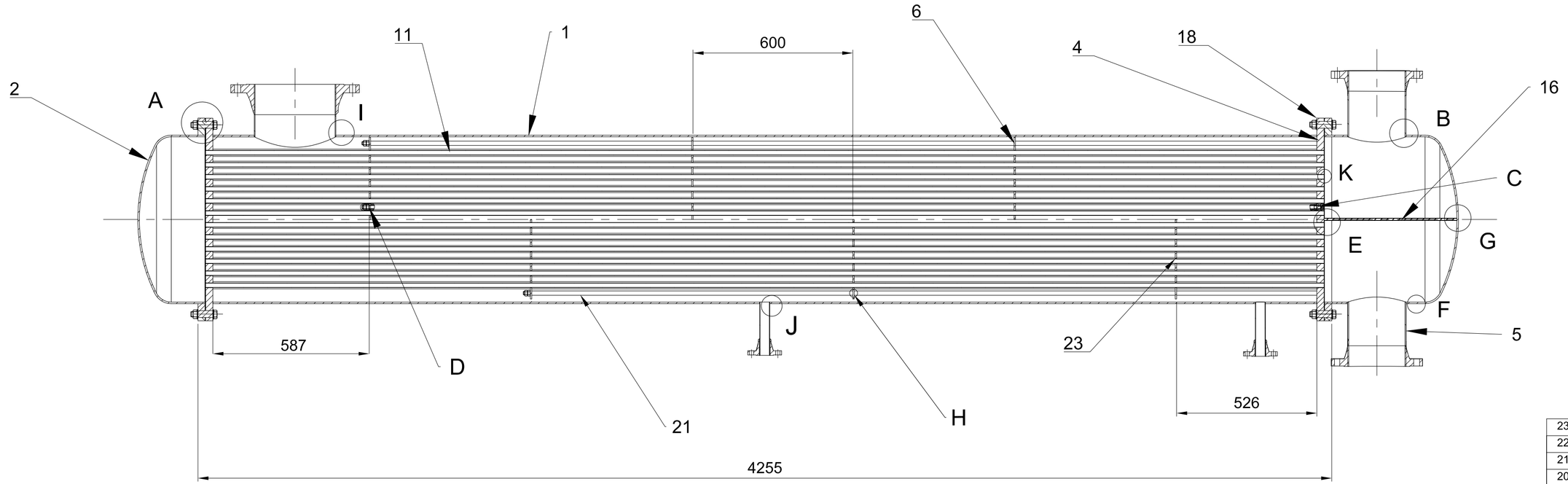
Napomena:
Sve zavare pobrusiti i polirati

Detalj I M1:1

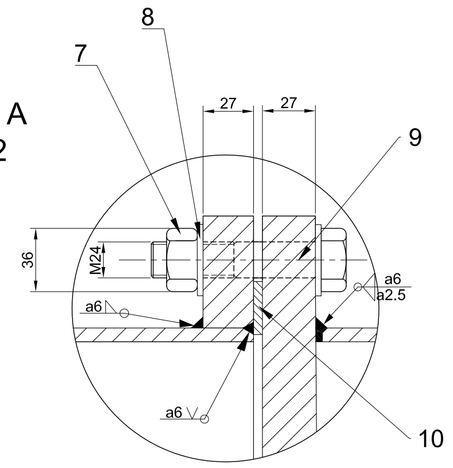


Detalj J M1:1

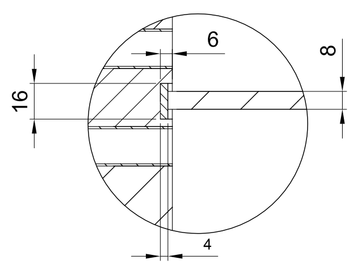




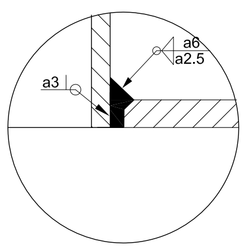
Detalj A
M1:2



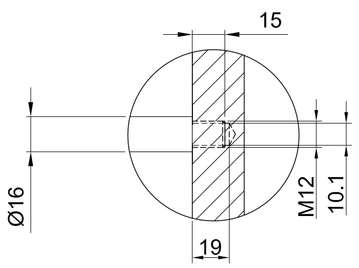
Detalj E
M1:2



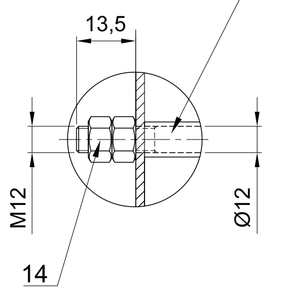
Detalj B M1:1



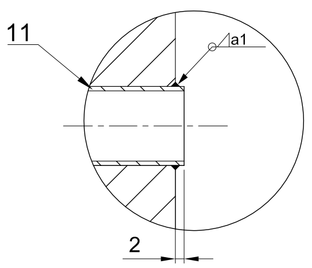
Detalj C
M1:2



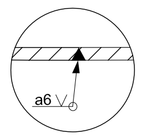
Detalj D
M1:2



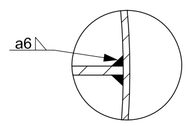
Detalj K
M1:1



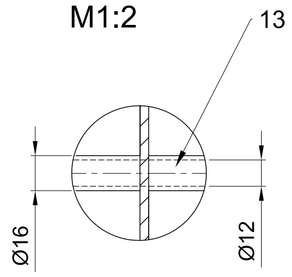
Detalj F
M1:1



Detalj G
M1:2



Detalj H
M1:2



Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač [mm]	Masa [kg]
23	Pregrada u plaštu - donja	3	IS-14-2015	W.Nr. 1.4301	Ø616 x 2	-
22	Inox cijev držač - duži	8	IS-16-2015	W.Nr. 1.4301	Ø16 x 3551	-
21	Inox cijev držač - kraći	8	IS-15-2015	W.Nr. 1.4301	Ø16 x 2992	-
20	Prirubnica priključka koncentrata	2	DIN 2632 PN10	W.Nr. 1.4301	-	-
19	Cilindar za prirubnicu	1	IS-05-2015	W.Nr. 1.4301	Ø632 x 300	-
18	Prirubnica izmjenjivača	2	IS-02-2015	W.Nr. 1.4301	Ø760 x 27	-
17	Priključak ulaska pare	1	IS-11-2015	W.Nr. 1.4301	Ø306 x 100	-
16	Pregrada	1	IS-10-2015	W.Nr. 1.4301	521 x 8	-
15	Priključak kondenzata	2	IS-12-2015	W.Nr. 1.4301	Ø38 x 192	-
14	Matica M12	32	DIN 4014	5	-	-
13	Držač pregrade - duži	18	IS-07-2015	W.Nr. 1.4301	Ø12 x 2592	-
12	Prirubnica priključka ulaska pare	1	DIN 2632 PN10	W.Nr. 1.4301	Ø482	-
11	Inox cijev	480	IS-08-2015	W.Nr. 1.4301	Ø18 x 4196	-
10	Brtva	2	DIN 9001	Klingerit	Ø315	-
9	Vijak M24	40	DIN 4032	5.6	-	-
8	Podloška M24	80	DIN 125 -2-A	5	-	-
7	Matica M24	40	DIN 4014	5	-	-
6	Pregrada u plaštu - gornja	3	IS-07-2013	W.Nr. 1.4301	Ø616 x 2	-
5	Priključak ulaska i izlaska koncentrata	2	IS-04-2013	W.Nr. 1.4301	Ø219,1 x 140	-
4	Cijevna stijenka	2	IS-03-2013	W.Nr. 1.4301	Ø760 x 27	-
3	Prirubnica priključka kondenzata	2	DIN 2632 PN6	W.Nr. 1.4301	-	-
2	Podnica	2	IS-09-2015	W.Nr. 1.4301	Ø632 x 226	-
1	Plašt	1	IS-01-2015	W.Nr. 1.4301	Ø632 x 4142	-

Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis
	Projektirao	11/2015	Ivan Stjepić	
	Razradio	11/2015	Ivan Stjepić	
	Crtao	11/2015	Ivan Stjepić	
	Pregledao		Prof. dr.sc. D. Dović	

FSB Zagreb

ISO - tolerancije

Objekt: IZMJENJIVAČ TOPLINE

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Koplja

Materijal:

Masa: -

Naziv: IZMJENJIVAČ TOPLINE

Pozicija:

Format: A1

Mjerilo originala: M1:12

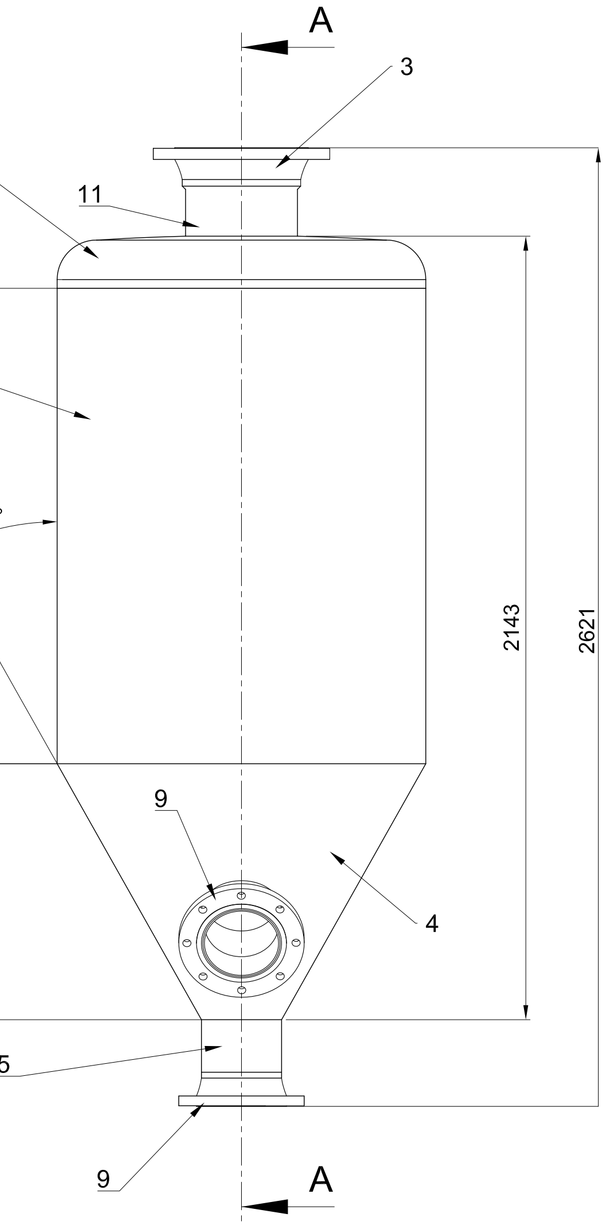
Listova:

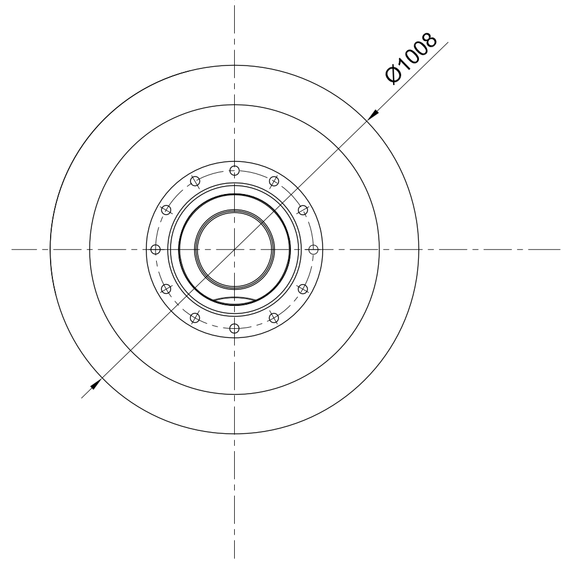
Crtež broj: IS-17-2015

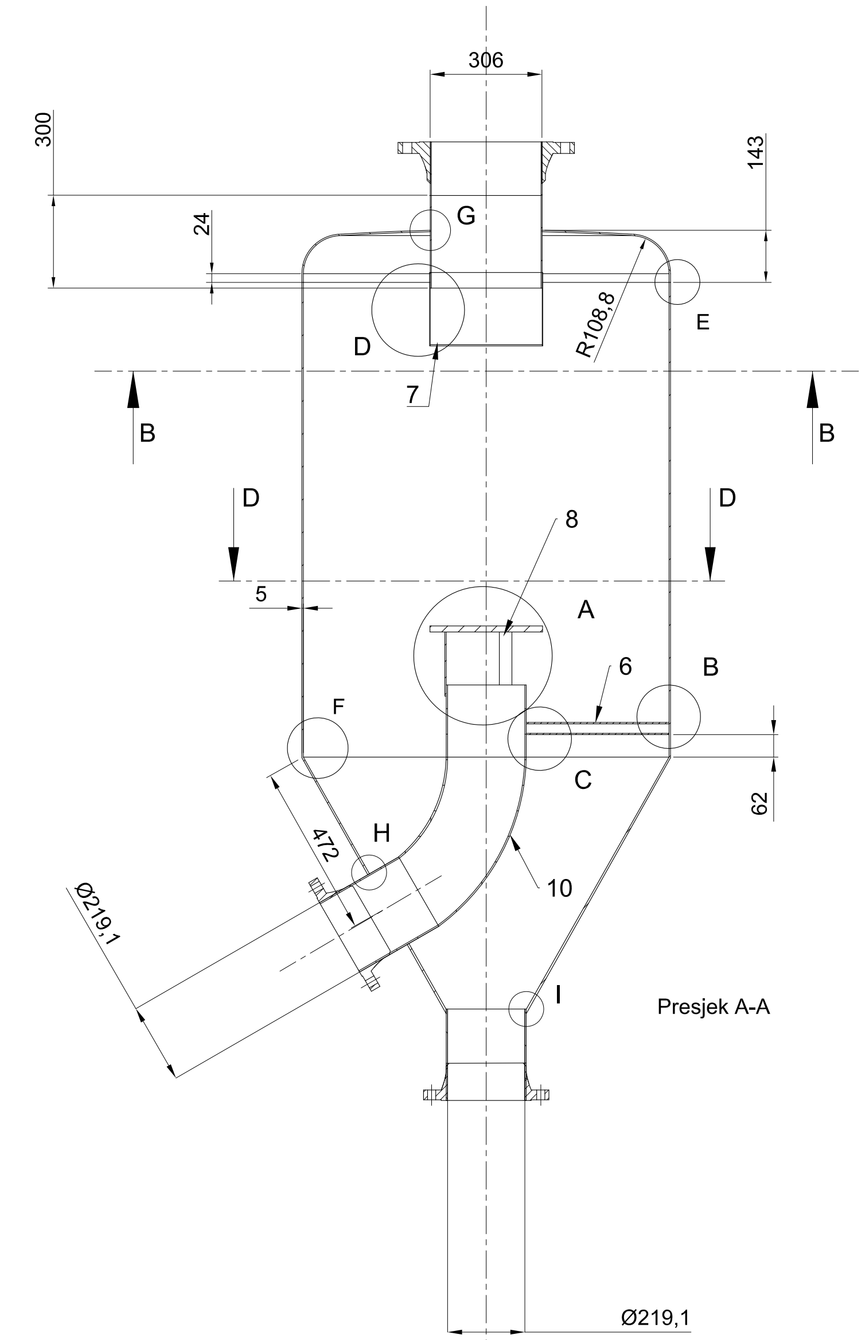
List:

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

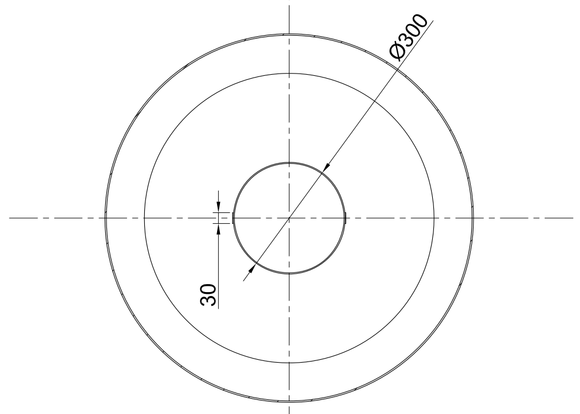
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



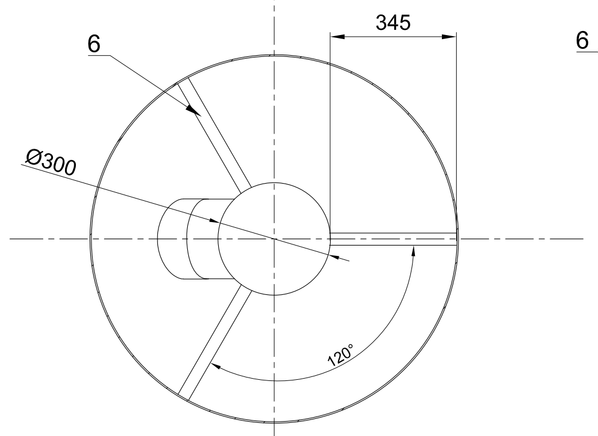




Presjek A-A

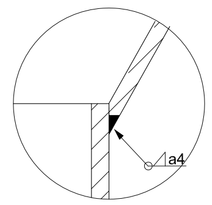


Presjek B-B

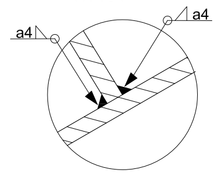


Presjek D-D

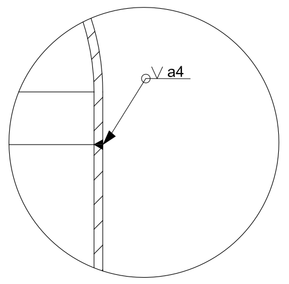
Detalj I
M1:1



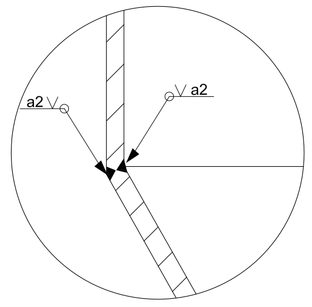
Detalj G
M1:1



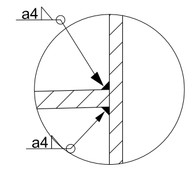
Detalj E
M1:2



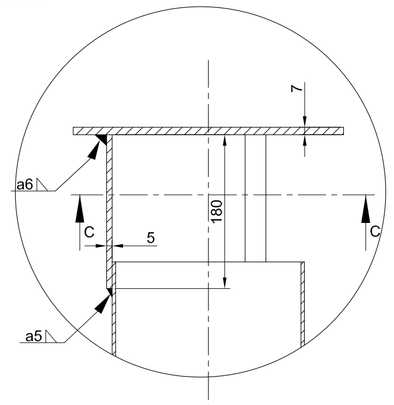
Detalj F
M1:1



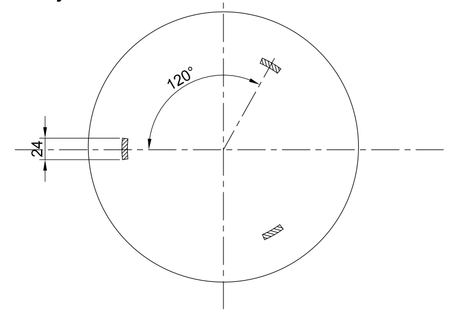
Detalj G
M1:1



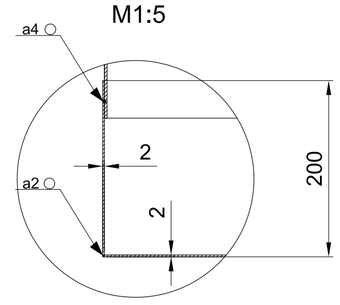
Detalj A
M1:5



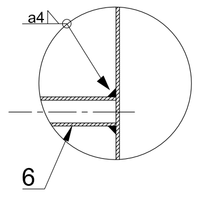
Presjek C-C



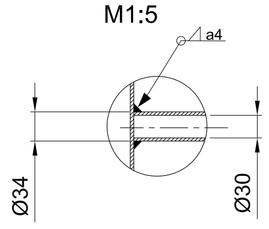
Detalj D
M1:5



Detalj B
M1:5



Detalj C
M1:5



Napomena:
1. Nacrt prikazuje separator 1. stupnja. Separator drugog stupnja jednake je izvedbe s razlikom u veličini priključka pare na podnici. U drugom stupnju on iznosi Ø398,4 mm

2. Sve zavare pobrusiti i polirati

Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač [mm]	Masa [kg]
11	Priključak izlaska pare	1	-	W.Nr. 1.4301	Ø306 x 300	-
10	Cijev ulaza	1	-	W.Nr. 1.4301	Ø219,1 x 700	-
9	Prirubnice ulaska i izlaska koncentrata	2	DIN 2632 PN6	W.Nr. 1.4301	-	-
8	Kapa ulaska koncentrata	1	-	W.Nr. 1.4301	-	-
7	Kapa izlaska pare	1	-	W.Nr. 1.4301	-	-
6	Cijevni držač	3	-	W.Nr. 1.4301	Ø34 x 365	-
5	Priključak ulaska i izlaska koncentrata	2	-	W.Nr. 1.4301	Ø219,1 x 140	-
4	Konusni plašt	1	-	W.Nr. 1.4301	Ø1008 x 700	-
3	Prirubnica priključka pare	1	DIN 2632 PN6	W.Nr. 1.4301		-
2	Podnica	1	-	W.Nr. 1.4301	Ø1008 x 143	-
1	Cilindrični plašt	1	-	W.Nr. 1.4301	Ø1008 x 1300	-

Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis
	Projektirao	11/2015	Ivan Stjepić	
	Razradio	11/2015	Ivan Stjepić	
	Crtao	11/2015	Ivan Stjepić	
	Pregledao		Prof. dr.sc. D. Dović	

FSB Zagreb

ISO - tolerancije

Objekt: SEPARATOR

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal:

Masa: -

Naziv: SEPARATOR

Pozicija:

Format: A1

Mjerilo originala: M1:12

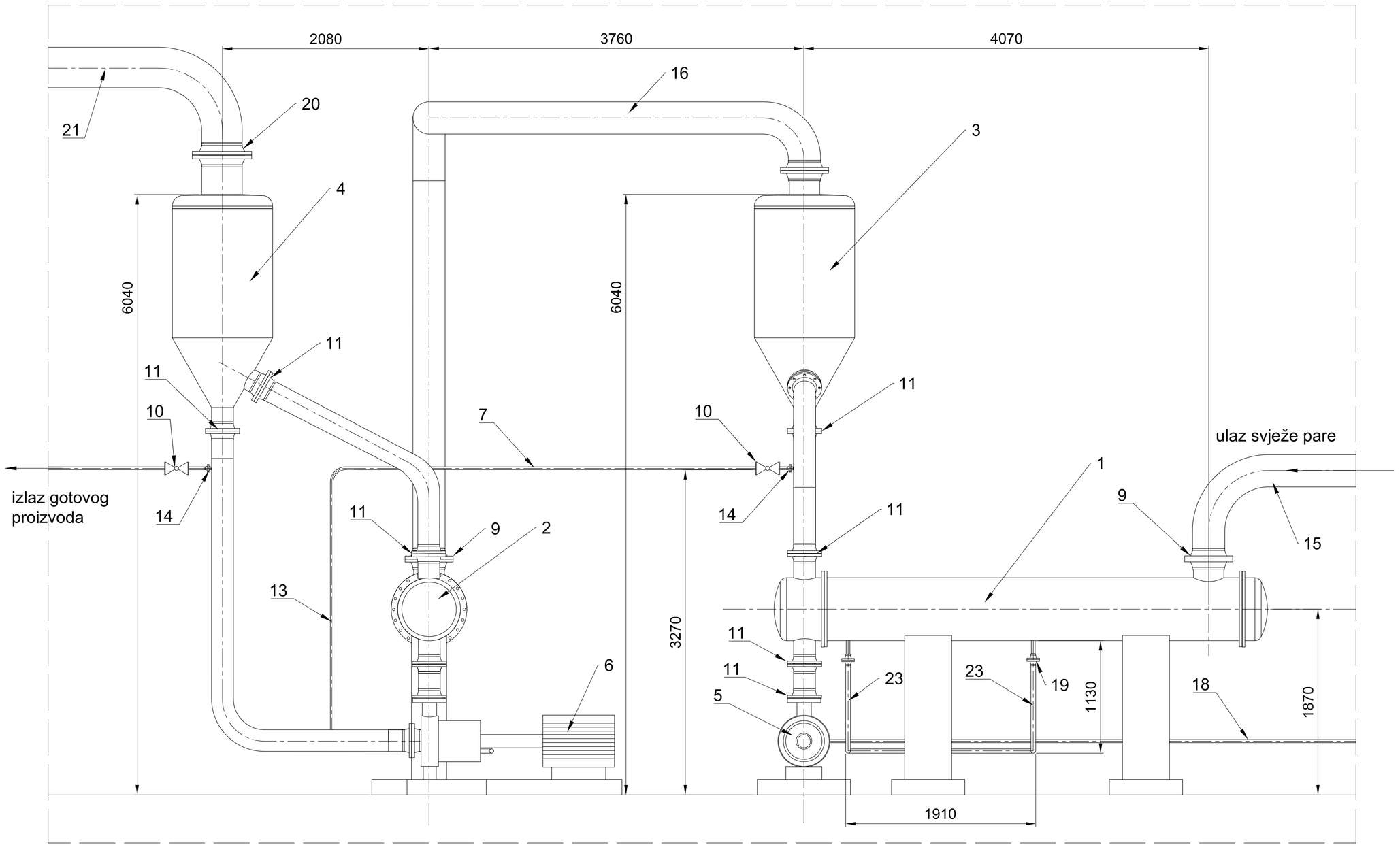
Listova:

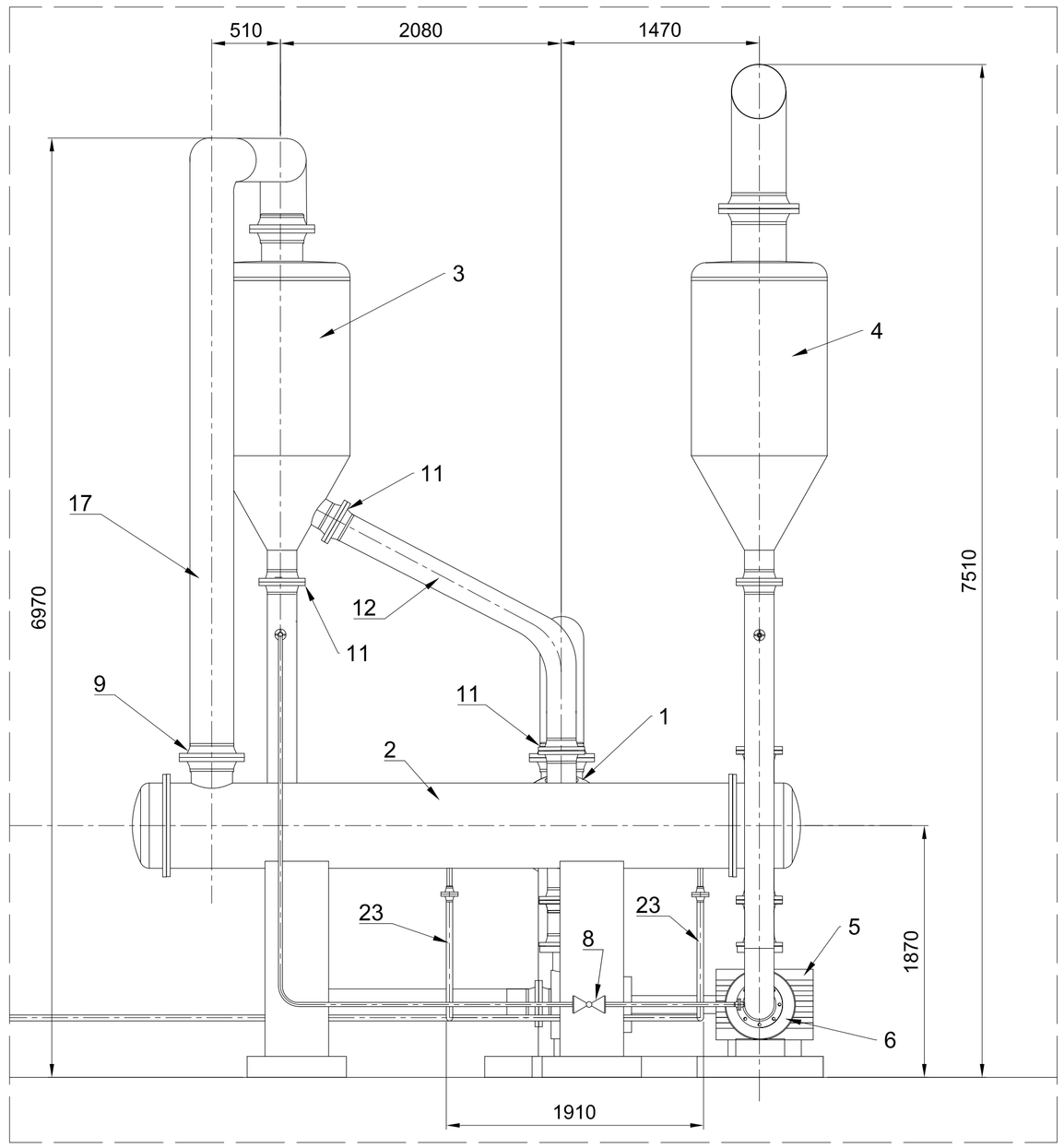
Crtež broj: IS-18-2015

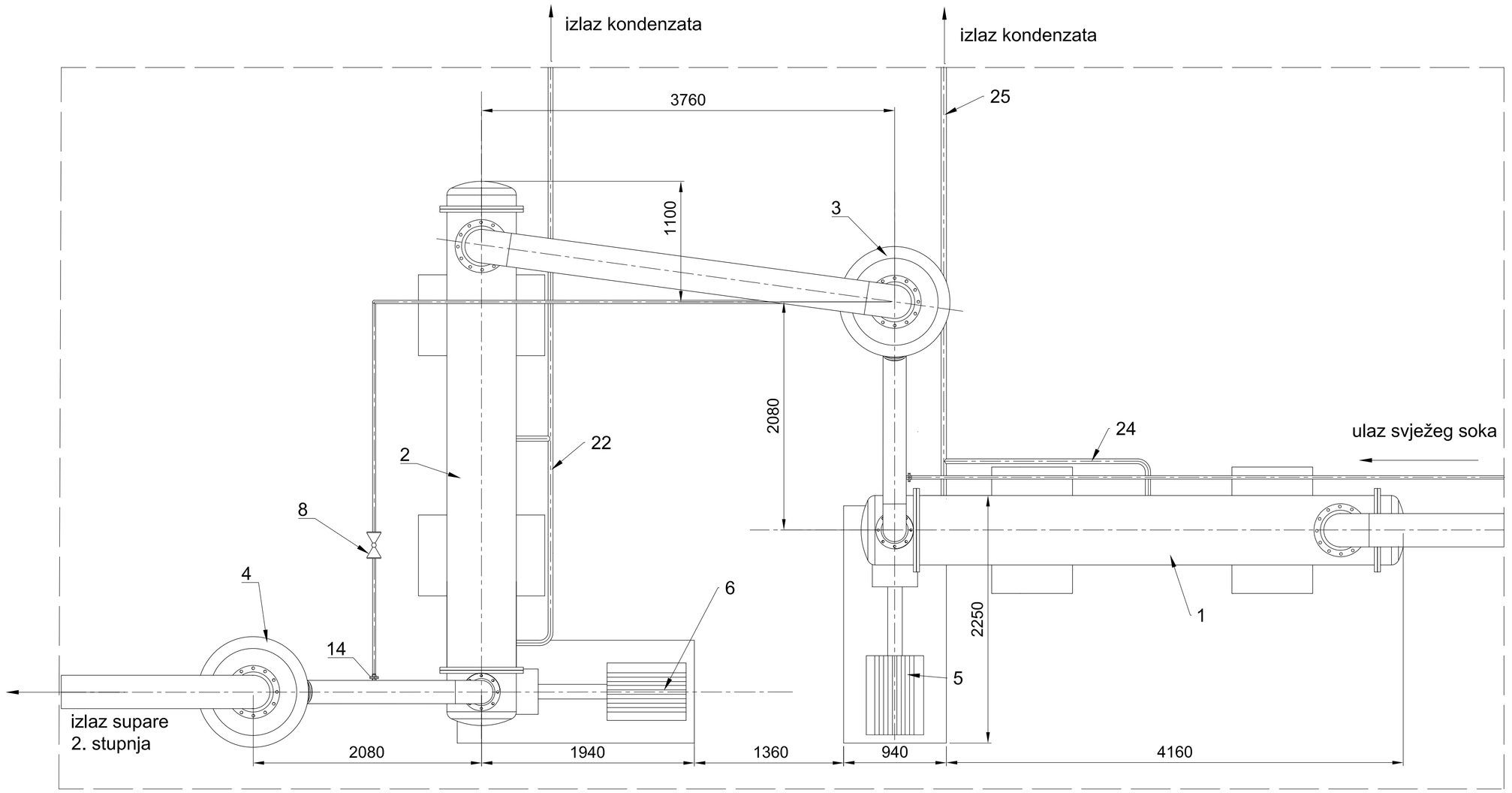
List:

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT







Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač [mm]	Masa [kg]
25	Cijev izlaska kondenzata 1. stupnja	1	-	W.Nr. 1.4301	Ø38 x 4212	-
24	Cijev izlaska kondenzata 1. stupnja	1	-	W.Nr. 1.4301	Ø38 x 1643	-
23	Cijev izlaska kondenzata	1	-	W.Nr. 1.4301	Ø38 x 873	-
22	Cijev izlaska kondenzata 2. stupnja	1	-	W.Nr. 1.4301	Ø38 x 5024	-
21	Cijev izlaska supare 2. stupnja	1	DIN 2632 PN10	W.Nr. 1.4301	Ø406,4	-
20	Prirubnica izlaska supare 2. stupnja	2	DIN 2632 PN10	W.Nr. 1.4301	Ø540	-
19	Prirubnica kondenzata	8	DIN 2632 PN10	W.Nr. 1.4301	Ø120	-
18	Cijev svježeg soka rajčice	1	-	W.Nr. 1.4301	Ø33,7	-
17	Cijev supare 1. stupnja	1	-	W.Nr. 1.4301	Ø306 x 3850	-
16	Cijev supare 1. stupnja	2	-	W.Nr. 1.4301	Ø306 x 3300	-
15	Cijev ulaska svježe pare	1	-	W.Nr. 1.4301	Ø306	-
14	Prirubnica koncentrata	4	DIN 2632 PN10	W.Nr. 1.4301	-	-
13	Cijev međukoncentrata	2	-	W.Nr. 1.4301	Ø33,7 x 2300	-
12	Cijev ulaska konc. u separator	2	-	W.Nr. 1.4301	Ø219,1 x 1900	-
11	Prirubnica ulaska i izlaska kondenzata	24	DIN 2632 PN10	-	-	-
10	Regulacijski el.mag.ventil 136-01/636-01	2	DN 25	-	CLA-VAL	-
9	Prirubnica priključka pare	6	DIN 2632 PN10	W.Nr. 1.4301	Ø482	-
8	Regulacijski ventil Mark 37/377- motor	1	DN 25	-	JORDANVALVE	-
7	Cijev međukoncentrata	2	-	W.Nr. 1.4301	Ø33,7 x 4100	-
6	Pumpa 2. stupnja, Bornemann SLH-4G	1	-	-	Bornemann	-
5	Pumpa 1. stupnja, Bornemann SLH-4G	1	-	-	Bornemann	-
4	Separator 2. stupnja	1	IS-18-2015	-	-	-
3	Separator 1. stupnja	1	IS-18-2015	-	-	-
2	Izmjenjivač topline 2. stupnja	1	IS-17-2015	-	-	-
1	Izmjenjivač topline 1. stupnja	1	IS-17-2015	-	-	-

Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis
	Projektirao	11/2015	Ivan Stjepić	
	Razradio	11/2015	Ivan Stjepić	
	Crtao	11/2015	Ivan Stjepić	
	Pregledao		Prof. dr.sc. D. Dović	

FSB Zagreb

ISO - tolerancije

Objekt:

Objekt broj:

R. N. broj:

Napomena:

Kopija

Materijal:

Masa: -

Naziv: DISPOZICIJA UREĐAJA

Pozicija:

Format: A1

Mjerilo originala: M1:30

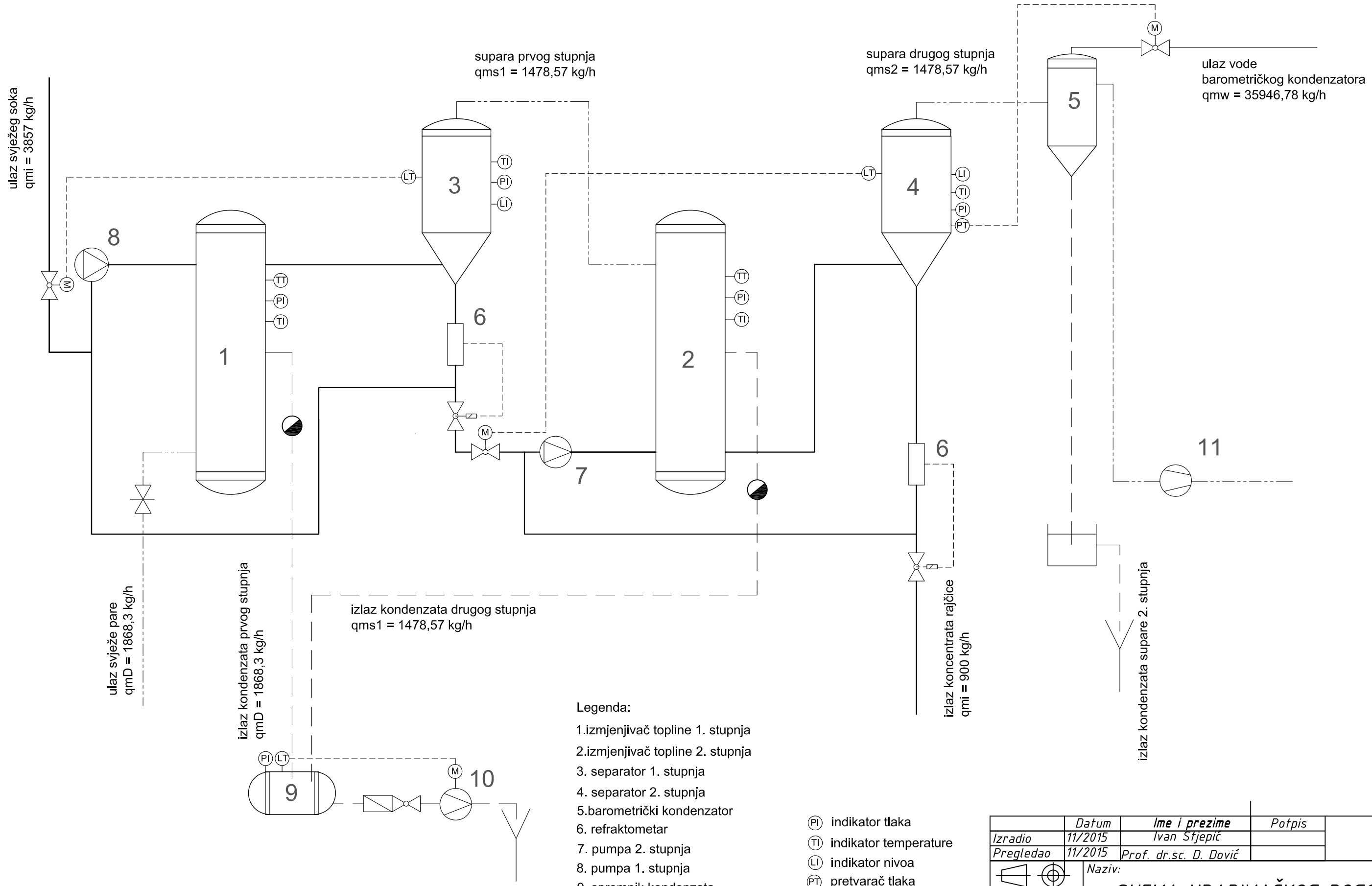
Listova:

Crtež broj: IS-20-2015

List:

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



Legenda:

1.izmjenjivač topline 1. stupnja
2.izmjenjivač topline 2. stupnja
3. separator 1. stupnja
4. separator 2. stupnja
5.barometrički kondenzator
6. refraktometar
7. pumpa 2. stupnja
8. pumpa 1. stupnja
9. spremnik kondenzata
10. pumpa kondenzata
11. Rootovo puhalo

PI indikator tlaka
TI indikator temperature
LI indikator nivoa
PT pretvarač tlaka
TT pretvarač temperature
LT pretvarač nivoa

	Datum	Ime i prezime	Potpis	FSB Zagreb
Izradio	11/2015	Ivan Stjepić		
Pregledao	11/2015	Prof. dr.sc. D. Dović		

Mjerilo originala

Naziv: SHEMA UPARIVAČKOG POGONA

Format: A3

Listova:

Crtež broj: IS-19-2015

List:

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT