TEMPERIRANJE UTAKANJA JESTIVIH ULJA PROCESNIM UREĐAJIMA U INDUSTRIJI ULJA „DIJAMANT“ A.D. ZRENJANIN

TEMPERING OF POURINGEDIBLE OIL WITH PROCESSING EQUIPMENT AT „DIJAMANT“ A.D. OIL INDUSTRY ZRENJANIN

Duško SALEMOVIĆ¹⁾, Aleksandar DEDIĆ²⁾, Erne VARGA³⁾, Dragan HALAS¹⁾

¹⁾ Visoka tehnička škola strukovnih studija, Zrenjanin;

²⁾ Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd;

³⁾ Industrija ulja Dijamant AD Zrenjanin, Zrenjanin

duskosalemovic@gmail.com; draganhalas@gmail.com; aleksandar.dedic@sfb.bg.ac.rs;

erne.varga@dijamant.rs

Pri izradi ovog rada vodilo se računa da se načini snažan iskorak od teorije ka praksi, te da se hronološki, tehničkim i tehnološkim redosledom, što sveobuhvatnije obrade detalji koji su vezani za tehnologiju temperiranja fluida, odnosno rafiniranih jestivih ulja, a za potrebe utakanja i ambalažiranja. Istovremeno, ciljano je da se kriterijumi i zahtevnosti iz oblasti primene i eksploatacije procesnih postrojenja i uređaja, ukalkulišu do stvaranja ambijenta mogućeg osavremenjivanja ovog termotehničkog sistema. U radu je pažnja posvećena kako iskorišćenju karakteristika samog postrojenja, tako i procesnih fluida u sistemu (sa aspekta ekonomičnosti), razrade i proračuna svih elemenata, do domena moguće racionalizacije.

Ključne reči: jestiva ulja; proračun; izbor opreme.

In preparing this work it has been taken into account to make a strong step forward from theory to practice, in order to chronologically, technically and technologically process all the details connected to the technology of tempering fluids, i.e. refine edible oil, for the needs of pouring and packaging. At the same time, the goal is that the criteria and the complexity of the field of application and exploitation of process equipment and devices get included into the creation of environment of possible modernization of thermal engineering system. Also, to enhance the use of the characteristics of both facilities and process fluids in the system (in terms of economy), to develop and calculate all the elements to the domain of possible rationalization.

Key words: edible oils; calculation; choice of equipment.

1. UVOD

Industrija ulja "Dijamant" iz Zrenjanina jedan je od najvećih prerađivača industrijskog uljarskog semenskog bilja, odnosno proizvođača proizvoda iz uljanih kultura na ovim prostorima. Korišćenje moderne tehnologije, uz stalne inovacije i usavršavanja tehnoloških postupaka i procesa, rezultiralo je visokim kvalitetom finalnih proizvoda. "Dijamant" danas posluje kao moderan industrijski gigant, uz impozantnu dnevnu preradu odnosno proizvodnju proizvoda, uglavnom od suncokreta, soje i uljane repice.

U ovom radu je izložen jedan značajan aspekt završnog proizvodnog procesa – flaširanje, kako bi se ulje lakše dopremilo do tržišta odnosno samih potrošača.

2. TEHNIČKO-TEHNOLOŠKO REŠENJE I OPIS PROCESNOG POSTROJENJA ZA TEMPERIRANJE UTAKANJA JESTIVIH ULJA

Procesno postrojenje tj. tehnološka linija za pripremutemperiranja rafiniranih jestivih ulja za potrebe utakanja i ambalažiranja je posebna i samostalna, po projektu predviđena za snabdevanje mašine punilice kao nosioca tehnološkog procesa utakanja, sa već temperiranim jestivim uljem. Pomenuto temperiranje se sastoji u tome što se ulje (koje je u ovom procesu protočnog karaktera) sa ulazne varijabilne temperaturne veličine od $t = 5 \div 15$ [°C] (izuzetno sa $t = 20$ [°C]), dogreva do zadate konstantne temperature $t = 22 \pm 1$ [°C], da bi se ulju smanjio viskozitet i obezbedila potrebna protočnost. Dovoljna protočnost je neophodna zbog postizanja optimalne brzine utakanja tj. kapaciteta, s

obzirom na ostale izuzetno povoljne tehničko-konstruktivne karakteristike cele tehnološke linije. Proces temperiranja se vrši u odgovarajućim procesnim postrojenjima, odnosno isti se sastoji od razmene toplote između već pripremljenih-temperiranih i za temperiranje predviđenih fluida, a pomoću odgovarajućih procesnih i termotehničkih uređaja, posredstvom izmenjivača toplote.

U najnepovoljnijem slučaju ulazna temperatura ulja iznosi $t = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, koju treba zagrejati na zadatu temperaturu $t = 22 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pri ovako relativno velikoj temperaturnoj razlici od ulazne do izlazne i s obzirom da je izlazna temperatura ulja određena dozvoljenim odstupanjem od $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, prilično su oštri i strogi kriterijumi za tretiranje ulja u tehnološkom procesu.

Drugi momenat koji usmerava koncept i način tehničko-tehnološkog rešenja ovog procesa je to što se kao energetski-grejni fluid koristi tehnološka vodena para (tj. suvozasićena vodena para - koja je u ovom slučaju najrentabilnija), ali koja ima temperaturu od $t = 134\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ovako visoka temperatura za tretiranje rafiniranih jestivih ulja u završnoj fazi proizvodnje, sa tehnološkog aspekta bi negativno uticala na kvalitet i na vek trajanja jestivog ulja - kao finalnog proizvoda. Prema tome u procesu temperiranja ulja neophodna je tzv.međufaza, sa kojom se izbegava direktan prenos toplote sa vodene pare $t = 134\text{ }^{\circ}\text{C}$ na ulje $t = 5/22\text{ }^{\circ}\text{C}$, posredstvom nekog trećeg fluida (a tu je najpogodnija voda), što omogućuje umereniji, uravnoteženiji i stabilniji prenos toplote.

Prema opisanim uslovima, za temperiranje ulja je neophodna varijanta sa dvostrukom izmenom toplote - sa dva izmenjivača toplote (IT), da bi se eventualne varijabilne vrednosti parametara grejnih i grejanih fluida u procesu kompenzovala i izbalansirale. U tom cilju u prvom stepenu se preko prvog IT vrši razmena toplote između vodene pare (kao grejnog fluida) i vode (kao grejanog fluida), znači "para-voda". U drugom stepenu se preko drugog IT vrši izmena toplote između sad već zagrejanog vode (kao grejnog fluida) i jestivog ulja (kao grejanog fluida), znači "voda-ulje".

Ovakvo dvostepeno dogrevanje-temperiranje ulja u ovom slučaju je mnogo efikasnije od bilo koje druge varijante, a s obzirom na sve dosad navedene relevantne uslove, pa i u smislu zaštite instalacije i armature od nepotrebnog prekomernog opterećenja i velikih temperaturnih dilatacija. Voda je u ovom slučaju "posrednik" u razmeni toplote između vodene pare i jestivog ulja.

2.1. Radni mediji – procesni fluidi zastupljeni u procesu:

Radni mediji (energetski fluidi) koji učestvuju u procesu pripreme-temperiranja odnosno dogrevanja jestivih ulja na potrebnu temperaturu, znači u procesu razmene toplote su: jestivo ulje (suncokretovo ulje sa više od 90% zastupljenosti u proizvodnji),voda i tehnološka vodena para.

Karakteristične fizičke veličine ovih fluida date su u nastavku teksta u tabelama 1, 2 i 3. Ove fizičke veličine kao i jednačine u proračunu datom u poglavlju 3, usvojene iz literature [1÷12].

Tabela 1. Karakteristična fizička svojstva suncokretovog jestivog ulja na $t=5/22\text{ }^{\circ}\text{C}$:

Temperatura [$^{\circ}\text{C}$]	Gustina [kg/m^3]	Dinamička viskoznost [$\text{Pa} \cdot \text{s}$]	Toplotni kapacitet [$\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$]
$t_1 = 5$	$\rho_1 = 925$	$\mu_1 = 190 \cdot 10^3$	$C_{p1}=1,78$
$t_2 = 22$	$\rho_2 = 890$	$\mu_2 = 120 \cdot 10^3$	$C_{p2}=1,78$

Tabela 2.Karakteristična fizička svojstva vode:

Srednja gustina vode (do $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ - iz vodovoda),tj. prirodno hladne vode	$\rho = 1000\text{ }[\text{kg}/\text{m}^3]$
Srednja gustina vode (za sred.temperaturu: $t_v = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$)/ $t_v = 85 \div 75\text{ }^{\circ}\text{C}$ -u sistemu	$\rho = 971,8\text{ }[\text{kg}/\text{m}^3]$
Srednji specifični toplotni kapacitet vode	$c_p = 4,195\text{ }[\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}]$

Tabela 3. Tehničko-tehnološke karakteristike vodene pare za temperiranje jestivih ulja:

Parametar:	Vrednost:	Jedinica:
Pritisak:	$p = 3$	[bar]
Temperatura:	$t = 134$	[$^{\circ}\text{C}$]
Latentna toplota isparavanja (kondenzacije):	$r = 2162$	[kJ/kg]

2.2. Princip rada i tehničko-tehnološke karakteristike postrojenja

Tehnološka linija za temperiranje jestivih ulja prikazana je na slici 1. Dotična tehnološka linija je varijanta razmene toplote sa dvostrukom razmenom (primarni i sekundarni deo) sa dva stacionarna rekuperativna protivstrujna aparata-dobošasta IT, sa cevnim snopom (sa U cevima). Ovi IT su u sistemu nosioci procesa temperiranja između sva tri procesna fluida u sistemu [13,14,15].

Slika 1. Tehnološka linija za temperiranje jestivih ulja

Tehnološka linija je pored ovih IT snabdevena i svom potrebnom instalacijom i armaturom, koja sa merno-regulacionom opremom i upravljačkim elementima čini sistem jedne potpuno automatizovane funkcionalne celine, za tretiranje i eksploataciju radnih medija u procesu. Cela linija je pored navedenih uređaja zaštićena i od energetskih gubitaka, uz upotrebu odgovarajućih termoizolatora na svim termoenergetskim postrojenjima.

Pri sekundarnoj razmeni toplote linija se sastoji od IT-sekondar "para-voda" (oznaka IT-2) {N = 250 [kW]} (poz.1.), koji je zbog prirode namene izrađen od čeličnih elemenata (plašt i ostali delovi), sa uloškom sa bakarnim cevima (bakar je materijal sa izuzetnim svojstvima prenosa toplote), u kojoj se posredstvom tehnološke vodene pare sa $t = 134$ [°C] greje voda na $t = 85$ [°C]. Para se pri izmeni toplote delimično, a nakon izlaska iz IT potpuno kondenzuje pomoću kondenz lonca {NP16 DN25} (poz.2.). Na račun ove kondenzacije se vrši izmena toplote. Kondenzovana vodena para, sad već kao topla voda, odvodi se do tzv. rezervoara kondenzata (RK), odakle se cirkulacionom pumpom vraća prvo u "hemijsku pripremu vode" pa u "kotlovnici", na ponovnu proizvodnju tehnološke vodene pare. Prema tome vodena para u samom procesu temperiranja ulja ima protočni odn.nepovratni karakter, dok u generalisanom tehnološkom pogledu poseduje svojstva povratnog (dvofaznog) karaktera. Naime ona u sistemu kruži tako što u dovodnoj fazi ima gasovito agregatno stanje, pri izmeni toplote u procesu grejanja ulja se delimično, a nakon završetka te izmene potpuno kondenzuje i u odvodnoj fazi već

poprima sve karakteristike tečnog agregatnog stanja. U tom smislu opisani kružni tok znači velike uštede u proizvodnji potrebne hemijski pripremljene tj. demineralizovane vode (tzv. demi, odnosno destilovane vode), koja je sa takvim svojim karakteristikama neophodna za proizvodnju tehnološke vodene pare. Tako kondenzat koji se vraća u kotlovnicu (na ponovnu proizvodnju vodene pare), već ima obeležja vode potrebnog kvaliteta, a pored toga i određenu (povišenu) temperaturu (u odnosu na svežu hladnu vodu).

Ulaz vodene pare u IT-2 (poz. 1.) se reguliše preko regulacionog prolaznog ventila {PV-32/EPV-KVs=16[m³/h]} (poz. 3.). Na izlaznoj strani IT-sekondar na cevovodu nalazi se cevni temperaturni senzor {CTS-1} (poz. 5'') i termostat za tečnost {50-120[°C]; CTG-2} (poz. 6.). Sa režimom rada ovog IT se upravlja pomoću mikroprocesorskog regulatora {MR 5016} (poz. 4''), na koji su priključeni opisani elementi (poz. 3., 5'' i 6.).

Cirkulacija tople vode u zatvorenom sistemu grejanja se vrši pomoću cirkulacionih pumpi {CS-65-180/1,5-4} (poz. 7.), kojih ima dve (jedna je rezervna a po potrebi mogu raditi naizmenično ili istovremeno). Ovaj kružni tok tople vode pre nego što se vrati opet u polazni IT, snabdeven je i ventilom za pražnjenje, odnosno punjenje ili dopunjenje sistema svežom vodom. Neposredno ispred ovog ventila nalaze se i ventil sigurnosti {DN25/3[bar]} (poz. 8.) i zatvorena ekspanzion posuda {V=125[l]/1,5[bar]} (poz. 9.), koji služe za zaštitu instalacije od prekomernog porasta pritiska. Osim toga ekspanzioni sud ima i ulogu da kompenzuje širenje, tj. dilataciju ukupne zapremine vode u sistemu, s obzirom da je voda u procesu izložena temperaturnoj a samim tim i zapreminskoj promeni. Namena ekspanzione posude je i to da obezbeđuje ravnomernu popunjenost sistema sa vodom odgovarajućeg pritiska. Time se štiti i pumpa za cirkulaciju od tzv. suvog rada i zaribavanja, jer je radno kolo pumpe uvek potopljeno vodom. Regulacija protoka tople vode se vrši pomoću regulacionog mešnog ventila {TV-65/EPV-KVs=63 [m³/h]} (poz. 10.), koji je priključen na povratnom delu sistema tj. cevovoda u IT-sekondar.

Pri primarnoj razmeni toplote linija se sastoji od cevnog temperaturnog senzora {CTS-1} (poz. 5') i termostata za tečnost {0-50[°C]; CPG-1} (poz. 11.), koji su zajedno sa regulacionim ventilom (poz. 10.) povezani na mikroprocesorski regulator (poz. 4'). Ovi elementi-instrumenti predstavljaju glavnu merno-regulacionu grupu u dogrevanju ulja na potrebnu temperaturu. Samo temperiranje jestivog ulja na $t = 22 \pm 1$ [°C] se vrši na IT-primar "voda-ulje" (oznaka IT-1) {N=230 [kW]} (poz. 12.). Ovaj IT kao i svi njegovi elementi su izrađeni od nerđajućeg kiselootpornog prohromskog čelika, uključujući i cevni snop. Ovo je važno s obzirom da se koristi za grejanje jestivog ulja, sa kojim dolazi u dodir (jestivo ulje je prehrambeni artikal, čiji je kvalitet propisan strogim standardima). Cevovod i svi elementi kroz koje protiče ulje, takođe su od pomenutog prohromskog čelika.

Linija za ulje je pre nego što se ono odvede do mašine punilice na utakanje, snabdevena i filterima (poz. 13.), čiji su ulošci zamenjivi, a izrađeni su od prohromskog bunarskog sita. Ovi filteri za ulje kojih ima dva, koriste se naizmenično, radi mogućnosti čišćenja ili zamene eventualno oštećenih uložaka, a da to pri tome ne predstavlja zastoj u proizvodnji. Protok ulja u sistemu je obezbeđen centrifugalnom pumpom {P=7,5[kW]} (poz. 14.). Ulje do ove pumpe stiže gravitaciono, iz rezervoara, sa visinske kote od +6,00 [m]. Time je osigurano i konstantno potapanje radnog kola pumpe i zaštita od suvog rada i zaribavanja. Pumpa se inače nalazi neposredno ispred IT-primar (poz. 12.). Potis ulja sve do mašine punilice vrši se sa ovom pumpom. Da bi u sistemu imali konstantan i pun protok ulja, na liniji postoji i odzračni sud {DN125x150} (poz. 15.), pomoću kojeg se ceo sistem odzračuje i oslobađa od vazduha (sprečava se stvaranje tzv. vazdušnih čepova). Ovaj sud se nalazi na najvišoj koti instalacije, priključen na sam IT-primar, s obzirom na važnost i kompetentnost ovog aparata na uspešnost razmene toplote.

Prilikom naglog usporenja ili ubrzanja potrošnje ulja iz sistema za proces utakanja, a usled kontinualnog rada pumpe, može doći do neuravnoteženosti protoka i prekomernog porasta pritiska u instalaciji. Ovaj nepoželjni skok pritiska naročito može biti izražen pri naglom zatvaranju dotoka ulja u mašinu punilicu. Da bi se ovo izbeglo a instalacija i uređaji zaštitili od nepotrebnog opterećenja (od hidrauličnog udara), linija za ulje je snabdevena i prestrujnim ventilima {DN50/1,5-4/4,5 [bar]} (poz. 16.). Pošto je sistem pouzdan i kompetentan pri pritiscima od $p_{\min-\max} = 1,5 \div 4/4,5$ [bar]-a, a radni pritisak treba da iznosi $p_r=3$ [bar]-a, prilikom svakog porasta pritiska iznad pomenutog opsega, vrši se recirkulacija tj. okretanje ulja od potisnog do usisnog dela pumpe, preko prestrujnih ventila koji se otvaraju pri odgovarajućem porastu pritiska iznad dozvoljenog. Na liniji za ulje, neposredno ispred ventila za dovod ulja u mašinu punilicu, instaliran je vertikalno iznad uljnog cevovoda i akumulator -

tzv. absorber pritiska {ORSTA HYDRAULIK-BD 1,5-16/25 [bar]; $t_{\max}=80$ [°C]}, koji štiti sistem od eventualnih hidrauličnih udara (pri naglom zatvaranju ventila za dotok ulja u mašinu punilicu).

Linija temperiranja jestivih ulja je snabdevena i svim potrebnim elementima za optimalno funkcionisanje, kao što su: ravni ventili, loptaste slavine, hvatači nečistoća, jednosmerni ventili, prigušni leptiri, ravni ventili za ulje, manometri i termometri odgovarajućeg opsega merenja, koji su postavljeni na odgovarajućim mestima na instalaciji. Sva armatura na liniji, pored navedenih definisanih veličina (vrednosti) nominalnih prečnika (DN), a cevovodi nazivne veličine (NV), je određena i nazivnim pritiskom NP16. Sve ovo je urađeno radi dovoljne pouzdanosti celog sistema, s obzirom na termo režim rada sistema, koji se istovremeno sprovodi i pod pritiskom.

Iz svega izloženog se vidi da se temperiranje jestivog ulja odigrava tako, što kroz IT-sekondar protiče vodena para, dok kroz IT-primar protiče ulje. Kroz oba IT naizmenično kružno cirkuliše voda. Izmena toplote se prema tome vrši u sekundarnom IT između vodene pare i vode, gde voda oduzima toplotu od pare, u svom kružnom toku prenosi preuzetu toplotu do primarnog IT, gde odaje toplotu ulju, nakon čega se opet vraća u početni položaj, neprestano dok za to postoji potreba. Kod oba IT se radi o suprotnosmernom strujanju fluida (para-voda odnosno voda-ulje). Instalacija, armatura i oprema su izvedene prema projektu koji odgovara važećim tehničkim propisima i standardima. Cevna mreža je izrađena od odgovarajućih čeličnih bešavnih cevi, prema SRPS C.B5.221÷226, sem cevovoda za ulje koji je izrađen od adekvatnih prohromskih cevi. Spojevi cevi međusobno su izvedeni zavarivanjem, a sa armaturom i uređajima prirubničkim rastavljivim vezama. Instalacija i cevi su učvršćeni nosačima i konzolama od profilisanog čelika, tako da se međusobno ne dodiruju, već između njih postoje termopostojani elastični podmetači ili obujmice izrađeni od stiropora ili drugih masa, određene debljine. Sva cevna mreža je urađena tako da je moguće njeno širenje (ili skupljanje) odnosno dilatacija. Ukupna visinska razlika između pojedinih cevi (cevovoda) u sistemu iznosi $\Delta H=3,5$ [m].

Zaštita instalacije i cevovoda od korozije (sem prohromskih delova) je izvedena farbanjem sa termopostojanom bojom (piroksalom), s obzirom da se isti nalaze u termo režimu rada.

Toplotni gubici iz sistema su sprečeni tako što je celokupna cevna mreža sa instaliranim uređajima obložena termoizolacijom. Ovo je izvedeno termopostojanom mineralnom vunom debljine $i = 5$ [cm], koji se nalazi u oblozi termoizolacionog plašta od Al-lima debljine $\delta = 0,7$ [mm].

S obzirom na sve navedeno, može se reći da su sva procesna postrojenja (koja čine tehnološku liniju) izvedena i koncipirana u kompletnu celinu tako, da su maksimalno iskorišćene sve potencijalne mogućnosti kao i tehničko-tehnološke karakteristike svih uređaja u sistemu, sa neznatnim, minimalnim i zanemarljivim gubicima.

3. STRUJNO-TERMIČKI PRORAČUN I IZBOR MAŠINSKO-TEHNOLOŠKE OPREME

Funkcionalna šema temperiranja jest. ulja (sl.1) treba da posluži kao prilog uz strujno-termički proračun i adekvatan izbor mašinsko-tehnološke opreme.

U tabeli 4 su dati reporni parametri.

Tabela 4. Poznati podaci o procesnim-radnim fluidima za proračun:

Parametri	Vodena para	Kondenzat	Voda	Jestivo ulje
Opseg pritiska ($p_{\min-\max}$)	-	-	1,5-4 [bar]	1,5-4 [bar]
Radni pritisak (p_r)	3 [bar]	3 [bar]	1,5 [bar]	3 [bar]
Ulazna temperatura	134 [°C]	134 [°C]	85[°C]	5 [°C]
Izlazna temperatura	134 [°C]	134 [°C]	75[°C]	22 [°C]

3.1. Proračun i izbor centrifugalne pumpe za ulje (Sl. 1, poz. 14, oznaka: P1):

- Poznati podaci :
- Zapreminski protok ulja: $\dot{V}_u = 25$ [m³/h] $\approx 0,007$ [m³/s] ,
- Ulazna temperatura hladnog ulja: $\theta_{hu} = 5$ [°C] ,
- Izlazna temperatura toplog ulja: $\theta_{tu} = 22$ [°C] ,
- Gustina hladnog ulja: $\rho_{hu} = 925$ [kg/m³] ,
- Gustina toplog ulja: $\rho_{tu} = 890$ [kg/m³] ,

- Dinamička viskoznost hladnog ulja: $\mu_{hu} = 190 \cdot 10^{-3} [\text{Pa}\cdot\text{s}]$,
- Dinamička viskoznost toplog ulja: $\mu_{tu} = 120 \cdot 10^{-3} [\text{Pa}\cdot\text{s}]$,
- Unutrašnji prečnik cevi kroz koji protiče ulje: $d_u = 80 [\text{mm}] = 0,08 [\text{m}]$.
- Srednja gustina ulja $[\text{kg}/\text{m}^3]$:

$$\rho_u = \frac{\rho_{hu} + \rho_{tu}}{2} = \frac{925 + 890}{2} = 907,5 \quad (1)$$

- Maseni protok ulja $[\text{kg}/\text{s}]$:

$$\dot{m}_u = \rho_u \cdot \dot{V}_u = 907,5 \cdot 0,007 = 6,3525 \quad (2)$$

- Brzina strujanja ulja $[\text{m}/\text{s}]$:

$$\omega_u = \frac{4 \cdot \dot{V}_u}{d_u^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 0,007}{0,08^2 \cdot \pi} = 1,4 \quad (3)$$

- Kinematska viskoznost hladnog ulja $[\text{m}^2/\text{s}]$:

$$\nu_{hu} = \frac{\mu_{hu}}{\rho_{hu}} = \frac{190 \cdot 10^{-3}}{925} = 205,4 \cdot 10^{-6} \quad (4)$$

- Kinematska viskoznost toplog ulja $[\text{m}^2/\text{s}]$:

$$\nu_{tu} = \frac{\mu_{tu}}{\rho_{tu}} = \frac{120 \cdot 10^{-3}}{890} = 134,8 \cdot 10^{-6} \quad (5)$$

- Srednja kinematska viskoznost ulja $[\text{m}^2/\text{s}]$:

$$\nu_u = \frac{\nu_{hu} + \nu_{tu}}{2} = \frac{205,4 \cdot 10^{-6} + 134,8 \cdot 10^{-6}}{2} = 170,1 \cdot 10^{-6} \quad (6)$$

- Reynoldsov broj:

$$Re_u = \frac{\omega_u \cdot d_u}{\nu_u} = \frac{1,4 \cdot 0,08}{170,1 \cdot 10^{-6}} = 658,44 \quad (7)$$

→ S obzirom da je strujanje laminarno ($Re < 2.300$), sledi:

- Koeficijent viskoznog trenja:

$$\lambda_u = \frac{64}{Re_u} = \frac{64}{658,44} = 0,0972 \quad (8)$$

- Ostali poznati podaci za uljovod :
- Dužina cevovoda za ulje do mašine punilice : $L_u = 25 [\text{m}]$,
- Ukupna visinska razlika : $H = 3,5 [\text{m}]$,
- Pad pritiska na priključku mašine : $\Delta p_m = 1,5 [\text{bar}]$,
- Pad pritiska u izmenjivaču toplote za ulje (IT-1) : $\Delta p_1 = 0,6 [\text{bar}]$,
- Pad pritiska na situ (filteru) za ulje : $\Delta p_s = 1 [\text{bar}]$,
- Koeficijent otpora u kolenu (po kolenu) : $\xi_k = 0,2$,
- Koeficijent otpora u ventilu (po ventilu) : $\xi_v = 0,4$.
- Potreban napor pumpe (Y_{pu}) za transport ulja kroz instalaciju $[\text{J}/\text{kg}]$:

$$Y_{pu} = g \cdot H + \left(\lambda_u \cdot \frac{L_u}{d_u} + 4 \cdot \xi_k + 5 \cdot \xi_v \right) \cdot \frac{\omega_u^2}{2} + \frac{\Delta p_m}{\rho_u} + \frac{\Delta p_1}{\rho_u} + \frac{\Delta p_s}{\rho_u} \quad (9)$$

$$Y_{pu} = 408,4525 [\text{J}/\text{kg}] \quad (10)$$

- Potrebna snaga pumpe (P_1) $[\text{kW}]$:

$$P_1 = \frac{\dot{m}_u \cdot Y_{pu}}{\eta_p} = \frac{6,3525 \cdot 408,4525}{0,5} = 5.189,4 [\text{W}] \approx 5,2 [\text{kW}] \quad (11)$$

$\eta_p = 0,5$ - koeficijent korisnosti pumpe - stepen iskorišćenja.

- Natpritisak koji stvara pumpa $[\text{bar}]$:

$$\Delta p_{p1} = \rho_u \cdot Y_{pu} = 907,5 \cdot 408,4525 = 370.670,64 [\text{Pa}] \approx 3,7 \quad (12)$$

- Izbor centrifugalne pumpe za ulje :

**2.1. USVAJA SE CENTRIFUGALNA PUMPA ZA ULJE (Sl. 1, poz. 14, oznaka: P1),
KARAKTERISTIKA:**

- Centrifugalna pumpa standardnih karakteristika:

$\dot{V} = 25 \text{ [m}^3/\text{h]}$; $\Delta p = 4 \text{ [bar]}$;
Tip: HCP 32-200 MZ,
Proizvođač: "JASTREBAC"- Niš.
Kom : 1

3.2. Proračun i izbor IT za temperiranje ulja (Sl. 1, poz. 12, oznaka: IT-1)

U višecevnom izmenjivaču toplote (IT-1) odigrava se razmena toplote između tople vode koja se hladi i hladnog jestivog ulja koje se na račun te toplote zagreva.

- Specifični toplotni kapacitet jestivog ulja pri konstantnom pritisku $[\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$:

$$c_{pu} = 1.780 \quad (13)$$

- Teoretska snaga izmenjivača toplote (IT-1)[kW] :

$$\dot{Q}_1 = \dot{m}_u \cdot c_{pu} \cdot (\theta_{tu} - \theta_{hu}) = 6,3525 \cdot 1.780 \cdot (22 - 5) = 192,22665 \quad (14)$$

- Stvarna snaga izmenjivača toplote (IT-1)[kW]:

$$\dot{Q}_{s1} = \dot{Q}_1 / \eta_t = \frac{192,22665}{0,85} = 226,15 \quad (15)$$

$\eta_t = 0,85$ – stepen toplotnih gubitaka IT-1.

Izbor IT za zagrevanje-temperiranje ulja :

**2.2. USVAJA SE VIŠECEVNI IT ZA TEMPERIRANJE ULJA (Sl. 1, poz. 12, oznaka: IT-1),
KARAKTERISTIKA :Za fluide: “voda – ulje”**

Toplotne snage: $\dot{Q}_{s1} = 230 \text{ [kW]}$, sa priključcima:

Primar: NV80 (ulaz-izlaz tople vode: $t = 90 \text{ [}^\circ\text{C]} \rightarrow 70 \text{ [}^\circ\text{C]}$),

Sekundar: NV80 (ulaz-izlaz jestivog ulja: $t = 5 \text{ [}^\circ\text{C]} \rightarrow 22 \text{ [}^\circ\text{C]}$),

Tip: A = 10 $[\text{m}^2]$ (standardna površina razmene toplote prema toplotnoj snazi),

Izvedba: 100% od prohromskog čelika, uključujući i cevni snop (zbog tretiranja jestivog ulja),

Proizvođač: "INOX" - Novi Sad (Bački Petrovac).

Kom : 1

3.3. Proračun i izbor cirkulacione pumpe za vodu(Sl. 1, poz. 7, oznaka: P2)

- Poznati podaci :
- Ulazna temperatura tople vode: $\theta_{tv} = 90 \text{ [}^\circ\text{C]}$,
- Izlazna temperatura rashlađene vode: $\theta_{hv} = 70 \text{ [}^\circ\text{C]}$,
- Srednja gustina vode (za srednju temperaturu vode: $\theta_v = 80 \text{ [}^\circ\text{C]}$): $\rho_v = 971,8 \text{ [kg/m}^3]$,
- Specifični toplotni kapacitet vode pri konstantnom pritisku: $c_{pv} = 4.195 \text{ [J}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$,
- Maseni protok vode $[\text{kg/s}]$:

$$\dot{m}_v = \frac{\dot{Q}_{s1}}{c_{pv}(\theta_{tv} - \theta_{hv})} = \frac{226,15 \cdot 10^3}{4.195 \cdot (90 - 70)} = 5,391 \quad (16)$$

- Zapreminski protok vode $[\text{m}^3/\text{s}]$:

$$\dot{V}_V = \frac{\dot{m}_V}{\rho_V} = \frac{5,391}{971,8} = 0,00555 \text{ [m}^3/\text{s]} = 19,98 \text{ [m}^3/\text{h]} \quad (17)$$

- Unutrašnji prečnik cevi kroz koji protiče voda $[\text{m}]$:

$$d_v = 0,08 \quad (18)$$

- Brzina strujanja vode[m/s]:

$$\omega_v = \frac{4 \cdot \dot{V}_v}{d_v \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 0,00555}{0,08^2 \cdot \pi} = 1,104 \quad (19)$$

- Dinamička viskoznost vode[Pa/s]:

$$\mu_v = 355,1 \cdot 10^{-6} \quad (20)$$

- Kinematska viskoznost vode [m²/s]:

$$\nu_v = \frac{\mu_v}{\rho_v} = \frac{355,1 \cdot 10^{-6}}{971,8} = 0,365 \cdot 10^{-6} \quad (21)$$

- Reynoldsov broj:

$$R_{ev} = \frac{\omega_v \cdot d_v}{\nu_v} = \frac{1,104 \cdot 0,08}{0,365 \cdot 10^{-6}} = 241.972,6 \approx 2,42 \cdot 10^5 \quad (22)$$

→ Strujanje vode je turbulentno (Re > 10.000).

- Apsolutna hrapavost cevi [m]:

$$\sigma = 0,025 \cdot 10^{-6} \quad (23)$$

- Relativna hrapavost cevi:

$$\frac{\sigma}{d_v} = \frac{0,025 \cdot 10^{-6}}{0,08} = 0,3 \cdot 10^{-6} \quad (24)$$

- Iz Mudijevog dijagrama sledi vrednost koeficijenta viskoznog trenja:

$$\lambda = 0,015 \quad (25)$$

- Ostali poznati podaci:
- Dužina cevovoda za vodu: $L_v = 20$ [m],
- Pad pritiska u izmenjivaču toplote za ulje (IT-1): $\Delta p_1 = 0,6$ [bar],
- Pad pritiska u izmenjivaču toplote za vodu (IT-2): $\Delta p_2 = 0,8$ [bar],
- Koeficijent otpora u kolenu (po kolenu): $\xi_k = 0,2$,
- Koeficijent otpora u ventilu (po ventilu): $\xi_v = 0,4$.
- Potreban napor pumpe (Y_{pv}) za transport vode kroz instalaciju[J/kg]:

$$Y_{pv} = \left(\lambda_v \cdot \frac{L_v}{d_v} + 4 \cdot \xi_k + 5 \cdot \xi_v \right) \cdot \frac{\omega_v^2}{2} + \frac{\Delta p_1}{\rho_v} + \frac{\Delta p_2}{\rho_v} \quad (26)$$

$$Y_{pv} = 148,0542 \quad (27)$$

- Potrebna snaga pumpe (P_2)[W]:

$$P_2 = \frac{\dot{m}_v \cdot Y_{pv}}{\eta_p} = \frac{5,391 \cdot 148,0542}{0,5} = 1596,3204 \approx 1,6 \text{ [kW]} \quad (28)$$

$\eta_p = 0,5$ - koeficijent korisnosti pumpe - stepen iskorišćenja.

- Natpritisak koji pumpa stvara [bar]:

$$\Delta P_{P2} = \rho_v \cdot Y_{pv} = 971,8 \cdot 148,0542 = 143.879,071 \text{ [Pa]} \approx 1,4388 \quad (29)$$

Izbor cirkulacione pumpe za vodu:

2.3. USVAJA SE CIRKULACIONA PUMPA ZA VODU (Sl. 1, poz. 7, oznaka: P2),
 KARAKTERISTIKA:
 $\dot{V}_v = 22$ [m³/h] ; $\Delta p = 1,5$ [bar] Tip: CS 65-130 ÷ 180/1,5 ÷ 4
 Proizvođač: "SEVER" - Subotica.
 Kom : 2

3.4. Proračun i izbor IT za temperiranje vode (Sl. 1, poz. 1, oznaka: IT-2)

U višecvnom izmenjivaču toplote (IT-2) odigrava se izmena toplote između suvozasićene vodene pare koja se kondenzuje i hladne vode koja se na račun te izmene toplote zagreva. Vodena para struji unutar snopa cevi u jednom smeru, dok voda protiče oko cevnog snopa, tj. između cevi i doboša IT, u suprotnom smeru. S obzirom na činjenicu da se u ovom IT kondenzuje vodena para (te ona prelazi u tečnu fazu), isti se može nazvati i kao »IT-kondenzator«.

- Temperatura pare (θ_p) i pritisak pare (p_p) sa kojih se suvozasićena vodena para kondenzuje iznose [bar]:

$$\theta_p = 134(^{\circ}\text{C}), p_p = 3 \quad (30)$$

- Pod ovim uslovima latentna toplota kondenzacije iznosi [J/kg]:

$$r = 2.162,00 \quad (31)$$

- Stvarna-potrebna snaga izmenjivača toplote ((IT-2), tj. višecvnog kondenzatora) iznosi [kW]:

$$\dot{Q}_{s2} = \frac{\dot{Q}_{s1}}{\eta_k} = \frac{226,15}{0,95} = 238,05263 \quad (32)$$

$\eta_k = 0,95$ – stepen toplotnih gubitaka IT-2.

- Maseni protok suvozasićene vodene pare [kg/s]:

$$\dot{m}_p = \frac{\dot{Q}_{s2}}{r} = \frac{238,05263 \cdot 10^3}{2.162.000} = 0,11011 \quad (33)$$

$$\dot{m}_p = 0,11011 \cdot 3.600 = 396,396 \approx 0,4 [t/h]. \quad (34)$$

Izbor IT za zagrevanje-temperiranje vode:

2.4. USVAJA SE VIŠECEVNI IZMENJIVAČ TOPLOTE (VIŠECEVNI KONDENZATOR) ZA ZAGREVANJE-TEMPERIRANJE VODE (Sl. 1, poz. 1, oznaka: IT-2), KARAKTERISTIKA :

Fluidi: "para-voda"

- Toplotna snaga: $\dot{Q}_s = 250$ [kW] ; sa priključcima:
 - primar: NV80 (suvozasićena vodena para),
 - sekundar: NV80 (voda),
 - Izvedba: od čelika, sa bakarnim cevima,
 - Tip: PSA ; Nazivna veličina: $A = 3 [m^2]$; Klasa: IV,
 - Proizvođač: "MINEL" - Beograd / FTPO "MINELOPREMA"- Pančevo.
 - Kom : 1

Sa ovim je (na osnovu proračuna) izvršen izbor svih važnijih-nosećih procesnih uređaja, koji učestvuju u tehnološkom procesu temperiranja jestivih ulja za utakanje.

U tabeli 5 je data specifikacija proračunate i izabrane opreme.

Tabela 5. Specifikacija proračunate i izabrane opreme

R.b.	Naziv:	Pozicija-oznaka /na funkcionalnoj šemi-Sl. 1/	Količina:
1.	Centrifugalna pumpa za ulje	14 (P1)	1 kom.
2.	IT za zagrevanje-temperiranje ulja	12 (IT-1)	1 kom.
3.	Cirkulaciona pumpa za vodu	7 (P2)	2 kom.
4.	IT za zagrevanje-temperiranje vode	1(IT-2)	1kom.

Na osnovu proračuna je iskazano da se u sistemu za temperiranje potroši količina od 396,396 [kg/h] $\approx 0,4$ [t/h] vodene pare. Iz navedene količine vodene pare, sa ukupnim gubicima od 2÷3 [%] →

usv. 3 [%] (zbog odzračivanja, otparavanja odn. dilatacionog rasterećenja cevovoda i sudova kondenzata od pritiska), dobija se: Količina kondenzata: $Q_k = 400 \cdot 0,97 = 388 \text{ [kg/h]} \approx 0,388 \text{ [t/h]}$.

4. ZAKLJUČAK

Navedena količina kondenzata (koja se svakako javlja u sistemu kao nusproizvod), po svim pokazateljima se može iskoristiti za tzv. predgrevanje jestivih ulja (posredstvom instaliranja pomoćnog IT na liniju pre ulaska ulja u proces finalnog temperiranja), te može predstavljati značajno rasterećenje postojećeg sistema i uštedu potrošnje vodene pare.

Ovaj rad svojim konceptom, upravo predstavlja napor u pravcu ostvarivanja mogućnosti postizanja zadatih parametara, uz racionalizaciju, odnosno uštedu upotrebljenih količina energenata (u ovom slučaju vodene pare) u zadatom tehnološkom procesu, zarad optimizacije i podizanja nivoa rentabilnosti, koje za sobom ima posledicu postizanja uspešnijih poslovnih rezultata.

5. LITERATURA

- [1] **Bogner, M.**, Termotehničar 1, Poslovna politika, Beograd, 1992.
- [2] **Bogner, M.**, Termotehničar 2, Poslovna politika, Beograd, 1992.
- [3] **Šašić, M.**, Transport fluida i čvrstih materijala cevima, Naučna knjiga, Beograd, 1990.
- [4] **Savić, Z.**, grupa autora, Inženjersko mašinski priručnik 1, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1992.
- [5] **Savić, Z.**, grupa autora, Inženjersko mašinski priručnik 3, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1992.
- [6] **Rac, M.**, Ulja i masti, Poslovno udruženje proizvođača ulja, Beograd 1964.
- [7] **Arčekan, N.S.**, Inženjersko tehnički priručnik (prevod), Tehnička fizika-Hemija, Izdavačko preduzeće "Rad", Beograd, 1979.
- [8] **Voronjec, D.**, Tehnološke operacije, Mašinski fakultet, Beograd, 1989.
- [9] **Lambić, M., Eremić, M.**, Tehnička termodinamika, Cenerg, Zrenjanin, 1995.
- [10] **Nikolić, A.**, Mašine-aparati i tehnološke operacije, Skripta, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin, 1987.
- [11] **Salemović, D., Jašin, D.**, Priručnik za procesnu tehniku, VTŠ strukovnih studija, Zrenjanin, 2008.
- [12] **Bogner, M.**, grupa autora, Procesna tehnika, SMEITS, Beograd, 2001.
- [13] **Tolmač, D., Turinski, J.**, Glavni mašinsko-tehnološki projekat točione ulja (urađen za Industriju ulja "Dijamant"-Zrenjanin), Servo Mihalj inženjering, Zrenjanin, 1996.
- [14] *** Interna dokumentacija i literatura Industrije ulja "Dijamant"-Zrenjanin.
- [15] **Varga, E.**, Temperiranje jestivih ulja procesnim uređajima za potrebe utakanja u Industriji ulja "Dijamant" – Zrenjanin, Završni rad, VTŠSS Zrenjanin, 2015.