



UNIVERZA
V LJUBLJANI

BF

Biotehniška
fakulteta

NALOGE IZ TEHNOLOŠKEGA PROCESNIŠTVA Z REŠITVAMI

za študijski program Živilstva in prehrane



Iztok Prislan

NALOGE IZ TEHNOLOŠKEGA PROCESNIŠTVA Z REŠITVAMI

za študijski program Živilstva in prehrane

Iztok Prislan

Ljubljana, 2024

Naloge iz tehnološkega procesništva z rešitvami: za študijski program Živilstva in prehrane

Avtor: Iztok Prislan

Oblikovanje in prelom: Iztok Prislan

Naslovnica: Iztok Prislan (pri izdelavi slike je bila uporabljena umetna inteligenca)

Založila: Založba Univerze v Ljubljani

Za založbo: Gregor Majdič, rektor Univerze v Ljubljani

Izdala: Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani

Za izdajatelja: Marina Pintar, dekanja Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani

Ljubljana, 2024

Prva e-izdaja

Publikacija je v digitalni obliki prosto dostopna na: <https://ebooks.uni-lj.si>

Publikacija je brezplačna.

DOI: 10.14720/9789612974961



To delo je ponujeno pod licenco Creative Commons Priznanje avtorstva-Deljenje pod enakimi pogoji 4.0 Mednarodna licenca. / This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili
v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani

[COBISS.SI](https://cobiss.si)-ID [218419715](https://cobiss.si/218419715)

ISBN 978-961-297-496-1 (PDF)

Predgovor

Spoštovani študenti in študentke.

Pred vami je zbirka nalog in vprašanj pri predmetu Tehnološko procesništvo, ki so jih študenti in študentke reševali v preteklih šolskih letih. Gradivo sem pripravil v okviru ukrepa RSF A.II.1: Uporaba in razvoj odprtih učnih gradiv na UL v luči spodbujanja njihovega soustvarjanja s študenti. Naloge sem črpal iz različnih učbenikov, internetnih virov in lastnih zapiskov.

Želim vam veliko uspeha pri reševanju nalog.

Iztok Prislan

Vsebina

NALOGE

1	ENERGIJSKE IN SNOVNE BILANCE	1
2	DINAMIKA TEKOČIN	3
3	PRENOS TOPLOTE.....	6
4	DESTILACIJA.....	7
5	MEŠANJE	8
6	SUŠENJE IN PSIHROMETRIJA.....	9

REŠITVE

1	ENERGIJSKE IN SNOVNE BILANCE (rešitve)	11
2	DINAMIKA TEKOČIN (rešitve).....	18
3	PRENOS TOPLOTE (rešitve)	23
4	DESTILACIJA (rešitve)	25
5	MEŠANJE (rešitve).....	27
6	SUŠENJE IN PSIHROMETRIJA (rešitve).....	28

LITERATURA	32
------------------	----

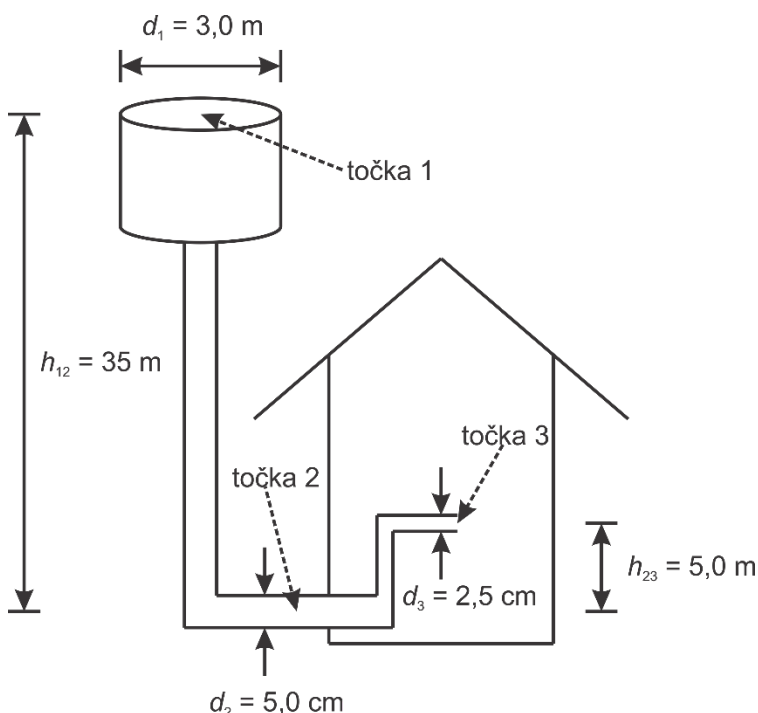
1 ENERGIJSKE IN SNOVNE BILANCE

- 1.1 V sušilnik vstopa kazein z masnim pretokom 50 kg/h, z masnim deležem vode, $w(\text{H}_2\text{O})_{\text{IN}} = 0,45$ in s $T_{\text{IN}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$. Iz sušilnika izstopa kazein z masnim deležem vode, $w(\text{H}_2\text{O})_{\text{OUT}} = 0,07$ in s $T_{\text{OUT}} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$. Privzemi, da voda v sušilniku izhlapeva pri $T = 60 \text{ }^\circ\text{C}$. Izračunaj količino toplote, ki jo moramo dovesti za opisan proces.
- 1.2 Za sušenje kazeina naš sušilnik porabi $4 \text{ m}^3/\text{h}$ naravnega plina, ki ima sežigalno entalpijo 800 kJ/mol . Masni pretok kazeina skozi sušilnik je 60 kg/h . V sušilnik vstopa kazein, ki vsebuje 50 % vode (w/w) in katerega temperatura je $30 \text{ }^\circ\text{C}$, iz sušilnika pa izstopa kazein, ki vsebuje le še 9 % vode (w/w) in katerega temperatura znaša $90 \text{ }^\circ\text{C}$.
- a) Izračunaj masni pretok pare iz sušilnika, potrebno toploto za uparjevanje in izkoristek sušilnika ($C_p(\text{kazein}) = 2,006 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$). Privzemi, da vsa voda izpari pri $T = 90 \text{ }^\circ\text{C}$.
- b) Kakšne so nevarnosti segrevanja proteinov? Ali bi lahko namesto segrevanja za odstranjevanje vode uporabil kakšen drug proces? Razloži!
- 1.3 Paradižnikov sok s pretokom 1200 kg h^{-1} in temperaturo $25 \text{ }^\circ\text{C}$ vodimo v uparjalnik. Koncentriran paradižnikov sok na izhodu vsebuje 35 % suhe snovi, masni pretok vode iz uparjalnika pa znaša 960 kg h^{-1} . Izračunaj sestavo paradižnikovega soka na vstopu v uparjalnik in masni pretok nasičene pare pri 2 barih, ki s kondenzacijo segreva uparjalnik, če le ta deluje pri tlaku 10 kPa. Predpostavi, da uparjalnik deluje brez toplotnih izgub in da k toplotni kapaciteti paradižnikovega soka prispeva samo voda.
- 1.4 Paradižnikov sok s pretokom 1000 kg h^{-1} in temperaturo $20 \text{ }^\circ\text{C}$ vodimo v uparjalnik. Koncentriran paradižnikov sok na izhodu vsebuje 35 % suhe snovi, masni pretok pare paradižnikovega soka iz uparjalnika pa znaša 850 kg h^{-1} . Uparjalnik deluje pri tlaku 10 kPa, segrevamo pa ga z nasičeno paro pri 1,5 barih.
- a) Izračunaj sestavo paradižnikovega soka na vstopu v uparjalnik
- b) Izračunaj masni pretok nasičene pare, s katero grejemo uparjalnik. Predpostavi, da uparjalnik deluje brez toplotnih izgub. Toplotno kapaciteto suhe snovi v paradižniku oceni na $2000 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$.
- 1.5 Zamrzniti želite 10000 štruc kruha iz temperature $18 \text{ }^\circ\text{C}$ na temperaturo $-18 \text{ }^\circ\text{C}$. Štruca kruha tehta 0,75 kg, njena toplotna kapaciteta nad temperaturo zmrzišča ($T_{\text{zmrzišča}} = -2 \text{ }^\circ\text{C}$) je $2,93 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, toplotna kapaciteta pod temperaturo zmrzišča je $1,42 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, sprememba talilne entalpije pa znaša 115 kJ kg^{-1} . Izračunaj toplotni tok (moč hladilnika), ki je potreben za zamrznitev 10000 štruc kruha v enem dnevu.
- 1.6 V avtoklavu segrejemo 1000 pločevink grahove juhe na $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Predno pločevinke odstranimo iz avtoklava, jih ohladimo z vodo na $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Izračunaj, koliko vode potrebujemo za ohlajevanje, če voda vstopa v avtoklav pri temperaturi $15 \text{ }^\circ\text{C}$, izstopa pa pri temperaturi $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Specifična toplotna kapaciteta vode znaša $4,186 \text{ kJ/kg }^\circ\text{C}$, specifična toplotna kapaciteta grahove juhe znaša $4,1 \text{ kJ/kg }^\circ\text{C}$ in specifična toplotna kapaciteta konzerve znaša $0,50 \text{ kJ/kg }^\circ\text{C}$. Masa konzerve je 60 g, v vsaki konzervi pa je 450 g grahove juhe. Privzemi, da je avtoklav adiabatni.

- 1.7 Želimo posušiti krompir, ki vsebuje 14 % suhe snovi. Najprej ga olupimo in s tem izgubimo 8 % celokupne mase krompirja. Nato ga posušimo do te mere, da je delež suhe snovi 93 %. Izračunaj donos končnega proizvoda (posušenega krompirja), v primerjavi s količino vstopne surovine. Oцени toplotno kapaciteto krompirja in izračunaj količino energije, ki je potrebna, da po opisanem procesu segrejemo 1000 kg vstopne surovine iz 15 na 65 °C.
- 1.8 Tekoče živilo z začetno temperaturo 20 °C in toplotno kapaciteto 3,0 kJ kg⁻¹ °C⁻¹ segrevamo s pomočjo neposrednega vbrizgavanja nasičene pare pri $p = 1$ atm. Pri tem se delež suhe snovi v živilu zniža s 33 % na 30 %. Izračunaj najvišjo temperaturo, na katero lahko z opisanim postopkom segrejemo tekoče živilo. Upoštevaj, da je toplotna kapaciteta vode enaka 4,184 J kg⁻¹ °C⁻¹.
- 1.9 Vodno brozgo, ki vsebuje 25 % (w/w) trdnine vodimo v evaporator. Brozga ima na vstopu temperaturo 25 °C, v evaporatorju pa ji dovedemo dovolj toplote, da ima na izstopu temperaturo 90 °C, delež trdnine pa se poviša na 35 % (w/w). Izračunaj potreben toplotni tok potopnega grelca, če je pretok brozge na vstopu 10³ kg h⁻¹. Upoštevaj, da je toplotna kapaciteta trdnine polovica toplotne kapacitete vode in da izparevanje poteka pri tlaku 0,7 bara.

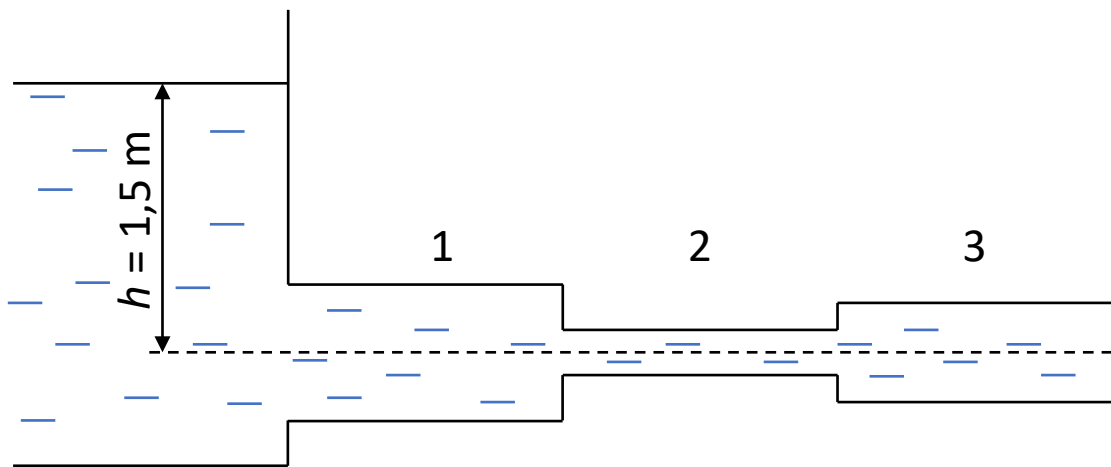
2 DINAMIKA TEKOČIN

- 2.1 70 m visok zbiralnik vode napaja mestni vodovod. Kako hitro naj bi voda izstopala iz zbiralnika, če zanemariš energetske izgube in odpreš hladno vodo v stanovanju na višini 4 m? Kakšna sta volumski in masni pretok, če je premer cevi 1,5 cm? Ali so dobljene številke smiselne? Razloži s pomočjo Bernoullijeve enačbe.
- 2.2 Vodo črpamo po cevi s premerom 7,5 cm v 35 m dvignjen zalogovnik. Izračunaj moč črpalke v kW, če volumski pretok po cevi znaša $1,6 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ in je učinkovitost črpalke 75 %.
- 2.3 Pretok vode po cevi s premerom 7,5 cm znaša $0,4 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$. V cevi izmerimo tlak 70 kPa. Izračunaj tlak v cevi, če se premer zmanjša za 2,5 cm.
- 2.4 Mleko in repično olje tečeta po ločenih ceveh s premerom 5 cm, pri $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ in s hitrostjo 3 m s^{-1} . Iz laboratorija so vam poslali podatke za viskoznost in gostoto, vendar so pozabili pripisati, kateri tekočini ti podatki pripadajo ($\mu_1 = 2,1 \times 10^{-3} \text{ N s m}^{-2}$, $\mu_2 = 118 \times 10^{-3} \text{ N s m}^{-2}$, $\rho_3 = 900 \text{ kg m}^{-3}$, $\rho_4 = 1030 \text{ kg m}^{-3}$). Ugotovi/razloži, kateri tekočini pripada posamezen podatek in za vsako od tekočin ugotovi, ali je njen tok laminaren ali turbulenten.
- 2.5 Nivo vode v zalogovniku (točka 1) v obliki valja s premerom $d_1 = 3,0 \text{ m}$ in nad katerim je tlak zraka 1 bar, je 35 m nad vstopno točko cevi v hišo (točka 2). Premer cevi, ki vstopa v hišo, je 5 cm, pretok po tej cevi pa znaša $2,0 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Znotraj hiše se cev zoži na premer 2,5 cm. Izračunaj hitrost in tlak vode, ki teče iz pipe po ožji cevi, 5 metrov nad vstopno točko vodovodne cevi v hišo (točka 3). Za lažjo predstavo si pogledaj sliko 1.



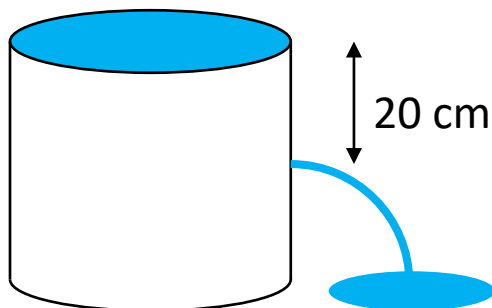
Slika 1: Skica poti vode od zalogovnika do pipe.

- 2.6 50 % (w/w) raztopina saharoze, s temperaturo 20 °C teče s pretokom 3 m³/h po cevi z notranjim premerom 4,75 cm in dolžino 10 m.
- a) Izračunaj največjo hitrost v cevi in padec tlaka v cevi ($\rho_{\text{raztopina saharoze}} = 1232 \text{ kg/m}^3$, $\eta_{\text{raztopina saharoze}} = 15,43 \text{ cP}$).
- b) Za koliko moraš povečati pretok, da bo tok postal turbulenten?
- 2.7 Mleko teče po cevi ($2r = 2,5 \text{ cm}$) pri $T = 20 \text{ °C}$. Ali je pretok laminaren ali turbulenten, če je volumski pretok 0,12 m³/min. Gostota mleka je 1029 kg/m³, viskoznost pa znaša 2,1 cP.
- 2.8 Na zalogovnik priključimo vodoravno cev z različnimi profili (glej sliko 2). Voda v zalogovniku ima gladino 1,5 m nad osjo cevi, na koncu cevi voda prosto izteka. Premeri in dolžine posameznih odsekov cevi so: $d_1 = 0,24 \text{ m}$, $l_1 = 3 \text{ m}$, $d_2 = 0,1 \text{ m}$, $l_2 = 1 \text{ m}$, $d_3 = 0,12 \text{ m}$, $l_3 = 2 \text{ m}$. Izračunaj hitrost vode na izhodu iz cevi in volumski pretok.



Slika 2: Skica vodovodnega omrežja

- 2.9 Zalogovnik napolnimo do vrha z vodo ga 20 cm pod robom preluknjamo (glej sliko 3). Premer luknje je 1 cm. Izračunaj volumski pretok vode, ki izteka iz luknje.



Slika 3: Skica preluknjane zalogovnika vode.

- 2.10 Pretok piva znaša 1,8 l/s, notranji premer cevi je 3 cm, gostota piva je 1100 kg/m³. Izračunaj povprečno hitrost in masni pretok. Izračunaj hitrost, če zmanjšamo premer cevi na 1,5 cm.

2.11 V zalogovnik oblike valja (višina je 3 m, premer znaša 1,5 m) črpamo po ceveh z notranjim premerom 3 cm tekočino z gostoto 1040 kg/m^3 in z viskoznostjo $1600 \times 10^{-6} \text{ Pas}$.

a) Izračunaj najkrajši čas, ki ga potrebujemo, da napolnimo zalogovnik, če je pretok tekočine v ceveh laminaren.

b) Izračunaj najdaljši čas, ki ga potrebujemo za polnjenje zalogovnika, če je pretok tekočine v ceveh turbulenten.

3 PRENOS TOPLOTE

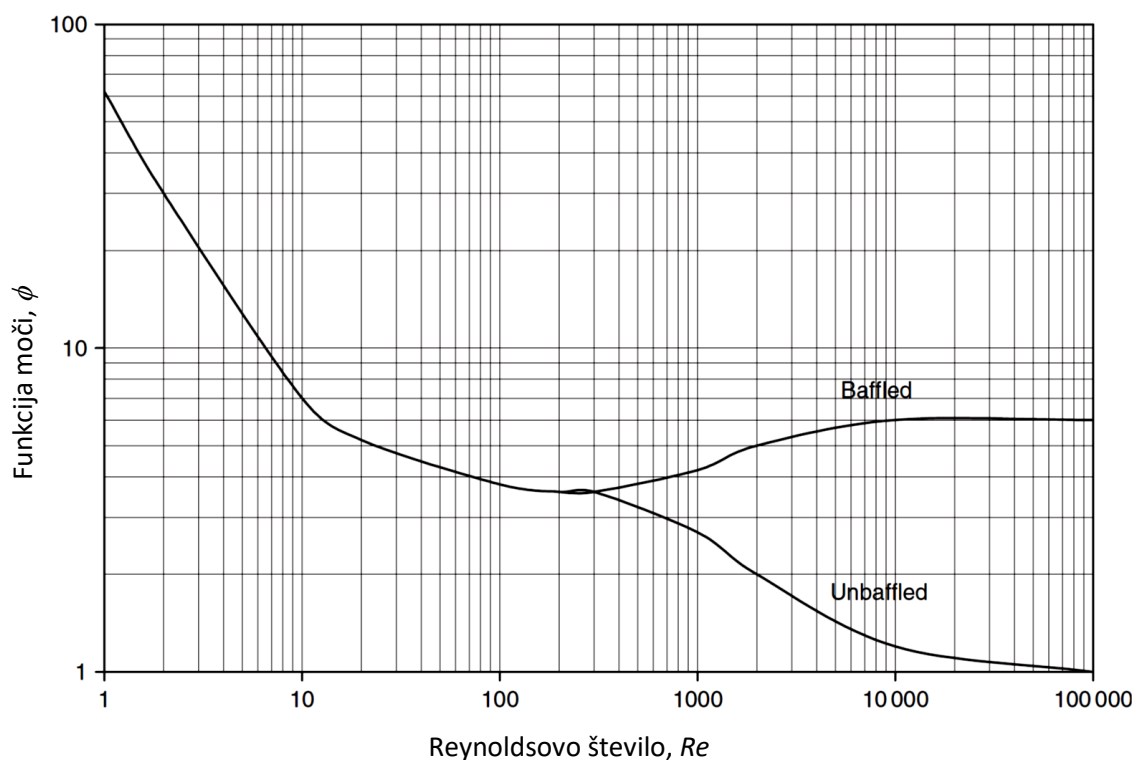
- 3.1 Po cevi iz jekla ($k = 50,2 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$), z notranjim premerom 4 cm in zunanjim premerom 5 cm, dolžine 10 m teče tekočina s temperaturo $80 \text{ }^\circ\text{C}$. Izračunaj toplotni tok skozi steno cevi, če je temperatura okoliškega zraka $10 \text{ }^\circ\text{C}$. Cev sedaj obdaš z 0,25 cm debelim slojem stiropora ($k = 0,033 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$). Ponovno izračunaj toplotni tok in razloži razliko med izračunanima toplotnima tokovoma.
- 3.2 Mleko teče s pretokom $0,4 \text{ kg/s}$ skozi cevni toplotni izmenjevalnik z notranjim premerom cevi 3 cm. Začetna temperatura mleka je $65 \text{ }^\circ\text{C}$. Mleko želimo ohladiti na $4 \text{ }^\circ\text{C}$, pri čemer nam je na voljo hladilna tekočina s temperaturo $-2 \text{ }^\circ\text{C}$.
- a) Kakšno dolžino cevnega izmenjevalnika potrebujemo? Celokupni koeficient toplotne prestopnosti v cevnem izmenjevalniku je $700 \text{ J/m}^2 \text{ s K}$, srednja logaritemska sprememba v toplotnem izmenjevalniku je $29,2 \text{ K}$, specifična toplota mleka pa 3890 J/kg K .
- b) Z računom utemeljite, ali bi v primeru, da bi pri teh pogojih hladili vodo, potrebovali:
- daljši,
 - enak,
 - krajši toplotni izmenjevalnik.
- 3.3 Skupna zunanja površina sten hladilnika znaša 5 m^2 . Stena hladilnika je sestavljena iz dveh kovinskih plošč, med katerima je izolacija. Debelina posamezne kovinske plošče je 2 mm. Temperatura v notranjosti hladilnika znaša $7 \text{ }^\circ\text{C}$, zunaj hladilnika pa je temperatura $22 \text{ }^\circ\text{C}$. Toplotna prevodnost za kovinsko ploščo znaša $16 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, toplotna prevodnost za izolacijo pa znaša $0,017 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Izračunaj potrebno debelino izolacije, če prenos toplote skozi stene hladilnika ne sme biti večji od 9 W m^{-2} . Pri izračunu upoštevaj vse plasti stene hladilnika!
- 3.4 Skozi nerjavečo cev ($k = 16 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) z notranjim premerom 47 mm in zunanjim premerom 50 mm ter z dolžino 100 m črpamo vodo s $T = 90 \text{ }^\circ\text{C}$. Koeficient toplotne prestopnosti na notranji strani cevi znaša $2000 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$, na zunanji strani cevi pa $200 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Izračunaj toplotni tok skozi steno cevi, če je temperatura okoliškega zraka $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Cev sedaj obdaš s 50 mm debelim slojem izolacije ($k = 0,1 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$). Ponovno izračunaj toplotni tok in razloži razliko med izračunanima toplotnima tokovoma.

4 DESTILACIJA

- 4.1 S pomočjo ravnotežne destilacije uparimo 60 % vstopnega toka mešanice benzena in toluena (X (benzen) = 0,45). Množinski pretok vstopnega toka mešanice znaša 700 mol/h, destilacijska komora deluje pri tlaku 1 atm. Za relativno hlapnost benzena glede na toluen privzamemo, da je konstantna in znaša 2,5 ($\alpha_{B \rightarrow T} = 2,5$). Nariši graf y (množinski delež benzena v plinski fazi) v odvisnosti od x (množinski delež benzena v tekoči fazi) in izračunaj sestavo plinske ter tekoče faze na izhodu iz destilatorja.
- 4.2 Razredčeno raztopino destiliramo. Najprej jo segrejemo v toplotnem izmenjevalcu in nato uparimo s pomočjo nizektemperaturne podtlačne destilacije. Vstopni tok znaša 1000 kg/h, temperature vstopnega toka pa je 50 °C. V toplotnem izmenjevalcu prejme raztopina 250000 kJ/h energije in nato vstopi v destilacijsko posodo, kjer je tlak nastavljen na 0,75 bara. Izračunaj temperaturo raztopine na izhodu iz toplotnega izmenjevalca in količino pare ter tekočine, ki zapustita destilator. Toplotna kapaciteta raztopine je 3,8 kJ/kg°C.
- 4.3 Surovo sojino mleko ima okus, ki odvrča nekatere potrošnike. Ta okus je posledica prisotnosti heptanala. Surovo sojino mleko, ki vsebuje 100 mg heptanala na 1 kg mleka segrejemo na 100 °C in uvedemo v destilacijsko posodo, kjer smo tlak nastavili na 20 kPa. Večino heptanala odstranimo s paro. Destilacijski ostanek vsebuje le 4 mg heptanala na 1 kg mleka. Izračunaj naklon obratovalne črte. Privzemi, da so termične lastnosti sojinega mleka enake vodi.
- 4.4 Z diferencialno destilacijo smo ločevali vodno raztopino etanola, ki je vsebovala 20 množinskih % hlapnejše komponente. Začetna masa je bila 1,5 kg. Vodna raztopina je na koncu destilacije vsebovala še 5 množinskih % hlapnejše komponente. V koncentracijskem območju destilacije je vrednost Rayleighovega integrala znašala 0,44. Izračunajte maso in sestavo destilata na koncu destilacije.

5 MEŠANJE

- 5.1 Izračunaj moč mešalnika s turbino premera 0,61 m, ki se vrti s hitrostjo 90 rpm, v tekočini z gostoto 950 kg m^{-3} in z viskoznostjo 250 cP. Koliko energije porabimo, če mešamo eno uro in je učinkovitost mešalnika 60 %?
- 5.2 Na fermentor je nameščena turbina s premerom 0,1 m. Fermentor ima obliko valja s premerom 0,3 m, napolnjen pa je do višine 0,3 m. Običajno je hitrost vrtenja 600 rpm. Proces želimo prenesti v fermentor z volumnom 1 m^3 , ki ima podobno geometrijo kot manjši fermentor. Moč mešalnika glede na volumen se ohrani. Ali bo motor z močjo 3500 W zadostoval za večji fermentor? Kakšna mora biti hitrost vrenja v večjem fermentorju?



Slika 4: Graf funkcije moči za turbine v reaktorju s pregradami (baffled) in brez pregrad (unbaffled). (Vir: Zeki Bern: Food Process Engineering and Technology, 2009, str. 588)

6 SUŠENJE IN PSIHROMETRIJA

- 6.1 V rastlinjaku je temperatura zraka $27\text{ }^{\circ}\text{C}$, vlažnost pa znaša 11 g vodnih hlapov na 1 kg suhega zraka. Zunaj rastlinjaka je temperatura zraka $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, vlažnost pa znaša 3 g vodnih hlapov na 1 kg suhega zraka. Rastlinjak prezračimo z zrakom iz okolice in počakamo, da se ponovno segreje na $27\text{ }^{\circ}\text{C}$. Izračunaj relativno vlažnost zraka v rastlinjaku pred zračenjem in po zračenju. Ali so steklene plošče rastlinjaka pred ali po zračenju bile orošene? Odgovor pojasni!
- 6.2 Zrak s pretokom 20 kg s^{-1} , temperaturo $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ in relativno vlažnostjo 10% uporabimo za sušenje korenja. Hitrost izhlapevanja vode iz korenja znaša $0,16\text{ kg s}^{-1}$. Oцени temperaturo in relativno vlažnost zraka, ki izstopa iz sušilnika. Iz naloge mora biti razviden postopek reševanja!
- 6.3 Za sušenje jabolčnih rezin uporabimo sušilnik z zrakom. Jabolčne rezine vstopajo v sušilnik z masnim pretokom 200 kg/h , vsebujejo pa 90% vode. Posušene jabolčne rezine (krhlji) na izhodu iz sušilnika vsebujejo le še 10% vode. Zrak za sušenje vstopa v sušilnik pri temperaturi $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, izstopa pa pri temperaturi $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ in z relativno vlažnostjo 90% . Izračunaj masni pretok vode, ki jo odstranimo s sušenjem in masni pretok zraka, ki je potreben za opisan proces.
- 6.4 Želimo ohladiti zrak pri tlaku 1 atm . Tok zraka, za katerega suhi termometer pokaže $39\text{ }^{\circ}\text{C}$, mokri termometer pa $24\text{ }^{\circ}\text{C}$, vodimo v hladilni sistem, iz katerega izstopa tok zraka, za katerega suhi termometer pokaže $16\text{ }^{\circ}\text{C}$, mokri termometer pa $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pretok zraka na izhodu iz hladilnega sistema je $2\text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Izračunaj moč hladilnega sistema, ki je potrebna za opisan proces.
- 6.5 V predavalnici želimo vzdrževati zrak, za katerega suhi termometer pokaže $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ in mokri termometer pokaže $19\text{ }^{\circ}\text{C}$. V ta namen v predavalnico dovajamo ohlajen zrak s pretokom $12,5\text{ kg/s}$ in s temperaturo $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na ta način vsako uro iz predavalnice odstranimo 58 kg vode.
- a) Izračunaj relativno vlažnost, temperaturo rosišča in temperaturo mokrega termometra za zrak, ki ga dovajamo v predavalnico.
- b) Primerjaj relativno vlažnost zraka v predavalnici in dovedenega zraka. Razloži razliko.
- 6.6 Izmerimo temperaturo zraka s suhim ($T_{\text{suhi}} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) in mokrim termometrom ($T_{\text{mokri}} = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$). Nastavimo pretok tega zraka na 2 kg/s (merjeno na suhi zrak) in ga adiabatno navlažimo z nasičeno paro, ki ima temperaturo $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ in katere pretok znaša 15 g/s .
- a) Izračunaj temperaturo navlaženega zraka, kot jo pokaže suhi termometer.
- b) Razloži, kaj bi se zgodilo, če bi pretok nasičene pare znašal 40 g/s ?
- 6.7 Prvi tok zraka, za katerega suhi termometer pokaže $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, mokri pa $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, vodimo v izoliran mešalnik s pretokom $2\text{ m}^3/\text{s}$. V mešalniku se adiabatno zmeša z drugim tokom zraka, ki ima 50% relativno vlažnost, temperaturo $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ in pretok $6,25\text{ m}^3/\text{s}$. Pretvori volumska pretoka v masna in izračunaj temperaturi suhega in mokrega termometra mešanice vstopnih tokov zraka.
- 6.8 V sobi za pakiranje želiš vzdrževati temperaturo $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, vendar imaš težavo s kondenzacijo vlage. Izračunaj, kakšna bi morala biti relativna vlažnost zraka s temperaturo $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, ki vstopa v hladilni sistem, da bi preprečili kondenzacijo. Postopek reševanja mora biti opisan/razviden!

- 6.9 Določi relativno vlažnost in temperaturo rosišča za zrak, katerega vlažnost znaša $Y = 30$ g vodnih hlapov / 1 kg suhega zraka, na suhem termometru pa pokaže temperaturo 50 °C. Zrak segrejemo na 80 °C in ga vodimo skozi sušilnik, kjer se ohladi do 50 °C. Določi vlažnost in relativno vlažnost zraka na izhodu, temperaturo rosišča in temperaturo, ki bi jo za ta zrak pokazal mokri termometer.
- 6.10 Koliko vlage in toplote potrebuješ, da zraku z volumskim pretokom 28 m³/min, relativno vlažnostjo 40 % in temperaturo 24 °C (suhi termometer) zvišaš temperaturo suhega termometra na 38 °C in mokrega termometra na 27 °C?

1 ENERGIJSKE IN SNOVNE BILANCE (rešitve)

1.1 $\dot{m} = 50 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$

$$w_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{in}} = 0,45$$

$$T_{\text{in}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$w_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{out}} = 0,07$$

$$T_{\text{out}} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta_{\text{izp.}} \hat{H}_{(T=60 \text{ }^\circ\text{C})} = 2358 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta_{\text{izp.}} \hat{H}_{\text{k}}^{\text{in}}(T=25 \text{ }^\circ\text{C}) = \Delta_{\text{izp.}} \hat{H}_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{in}}(T=25 \text{ }^\circ\text{C}) = 0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta \dot{H} + \Delta \dot{E}_{\text{K}} + \Delta \dot{E}_{\text{P}} = \dot{Q} - \dot{W}_{\text{G}}$$

$$\dot{Q} = -\dot{m}_{\text{k}}^{\text{in}} \hat{H}_{\text{k}}^{\text{in}} - \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{in}} \hat{H}_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{in}} + \dot{m}_{\text{k}}^{\text{out}} \hat{H}_{\text{k}}^{\text{out}} + \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{out}} \hat{H}_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{out}} + \dot{m}_{\text{para}}^{\text{out}} \hat{H}_{\text{para}}^{\text{out}}$$

Totalna masna bilanca:

$$\dot{m} = \dot{m}_{\text{para}} + \dot{m}_{\text{out}}$$

$$\dot{m}_{\text{out}} = \dot{m} - \dot{m}_{\text{para}}$$

Snovna bilanca za vodo:

$$0,45 \cdot 50 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = \dot{m}_{\text{para}} + 0,07 \cdot \dot{m}_{\text{out}}$$

$$0,45 \cdot 50 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = \dot{m}_{\text{para}} + 3,5 \frac{\text{kg}}{\text{h}} - 0,07 \cdot \dot{m}_{\text{para}}$$

$$19 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 0,93 \cdot \dot{m}_{\text{para}}$$

Snovna bilanca za kazein:

$$0,55 \cdot 50 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 0,93 \cdot \dot{m}_{\text{out}}$$

Z uporabo totalne masne balance in snovne balance za vodo ALI snovne balance za kazein izračunamo \dot{m}_{para} in \dot{m}_{out} :

$$\dot{m}_{\text{para}} = 20,4 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{\text{out}} = 29,6 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= \dot{m}_{\text{para}} \Delta_{\text{izp.}} \hat{H}_{(T=60 \text{ }^\circ\text{C})} + \dot{m}_{\text{para}} c_p \Delta T + \dot{m}_{\text{k}}^{\text{out}} c_p \Delta T + \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{out}} c_p \Delta T \\ &= 20,4 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 2358 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 20,4 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 35 \text{ }^\circ\text{C} + 27,5 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 1,55 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \\ &\quad \cdot 35 \text{ }^\circ\text{C} + 2,1 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 35 \text{ }^\circ\text{C} = 52887 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \approx 52,9 \cdot 10^3 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 14,7 \text{ kW} \end{aligned}$$

Poenostavitev:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{\text{para}} \Delta_{\text{izp.}} \hat{H}_{(T=60 \text{ }^\circ\text{C})} = 48103 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 13,4 \text{ kW}$$

$$1.2 \quad \dot{V} = 4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\Delta_{\text{sez.}} \hat{H}^0 = 800 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\dot{m}_{\text{kazein}} = 60 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$w_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{in}} = 0,5$$

$$T_{\text{in}} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$w_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{out}} = 0,09$$

$$T_{\text{out}} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{ref}} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta_{\text{izp.}} \hat{H}_{T=90 \text{ }^\circ\text{C}} = 2282 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\text{a) } w_{\text{kazein}} \dot{m}_{\text{kazein}} = \dot{m}_{\text{para}} + w_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{out}} \dot{m}_{\text{out}}$$

$$(1 - w_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{in}}) \dot{m}_{\text{kazein}} = \dot{m}_{\text{para}} + w_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{out}} (\dot{m}_{\text{kazein}} - \dot{m}_{\text{para}})$$

$$\dot{m}_{\text{para}} = \frac{(1 - w_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{in}}) \dot{m}_{\text{kazein}} - w_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{out}} \dot{m}_{\text{kazein}}}{1 - w_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{out}}} = \frac{(1 - 0,5) \cdot 60 \frac{\text{kg}}{\text{h}} - 0,09 \cdot 60 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{1 - 0,09}$$

$$= 27,0 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{\text{out}} = \dot{m}_{\text{kazein}} - \dot{m}_{\text{para}} = (60 - 27) \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 33 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{\text{kazein}}^{\text{H}_2\text{O}} = w_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{in}} \dot{m}_{\text{kazein}} = 0,5 \cdot 60 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 30 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{\text{kazein}}^{\text{s.s.}} = \dot{m}_{\text{kazein}} - \dot{m}_{\text{kazein}}^{\text{H}_2\text{O}} = 60 \frac{\text{kg}}{\text{h}} - 30 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 30 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{Q} = \sum_{\text{out}} \dot{m}_i \hat{H}_i - \sum_{\text{in}} \dot{m}_i \hat{H}_i = \dot{m}_{\text{kazein}}^{\text{H}_2\text{O}} c_{p_{\text{H}_2\text{O}}} \Delta T + \dot{m}_{\text{para}} \Delta_{\text{izp.}} \hat{H} + \dot{m}_{\text{kazein}}^{\text{s.s.}} c_{p_{\text{kazein}}} \Delta T$$

$$= 30 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 4,184 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 60 \text{ }^\circ\text{C} + 27 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 2282 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 30 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 2,006 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$= 20,21 \text{ kW}$$

$$pV = nRT$$

$$\dot{n} = \frac{pV}{RT} = \frac{1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 4 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{molK}} \cdot 303 \text{ K}} = 161 \frac{\text{mol}}{\text{h}}$$

$$\dot{Q}_{\text{teoretični}} = \dot{n} \Delta_{\text{sez.}} \hat{H}^0 = 161 \frac{\text{mol}}{\text{h}} \cdot 800 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} = 35,7 \text{ kW}$$

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{\text{teoretični}}} = \frac{20,21 \text{ kW}}{35,7 \text{ kW}} = 0,57 = 57 \%$$

$$\begin{aligned}
1.3 \quad \dot{m}_{\text{in}} &= 1200 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \\
\dot{m}_{\text{out}} &= 240 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \\
T &= 25 \text{ }^\circ\text{C} \\
\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} &= 960 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \\
p_{\text{para}} &= 2 \text{ bar} \\
p_{\text{uparilnik}} &= 10 \text{ kPa} \\
w_{\text{sis.}}^{\text{out}} &= 0,35
\end{aligned}$$

$$0,35 \cdot 240 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = x \cdot 1200 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$x = 0,07$$

$$p = 2 \text{ bar} \Rightarrow T_v = 120,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta_{\text{izp.}} \hat{H}_{\text{para}} = 2201,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$p_{\text{uparjalnik}} = 10 \text{ kPa} \Rightarrow T_v = 45,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta_{\text{izp.}} \hat{H} = 2392,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta \dot{H} + \Delta \dot{E}_K + \Delta \dot{E}_P = \dot{Q} - \dot{W}_G$$

$$\Delta \dot{H} = \dot{Q}$$

$$\dot{m}_{\text{out}} c_p \Delta T_{\text{out}} - \dot{m}_{\text{in}} c_p \Delta T_{\text{in}} + \dot{m}_{\text{voda}} c_p \Delta T + \dot{m}_{\text{voda}} \Delta_{\text{izp.}} \hat{H} = \dot{m}_{\text{para}} \Delta_{\text{izp.}} \hat{H}_{\text{para}}$$

$$240 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 0,65 \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 20,8 \text{ K} + 960 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 20,8 \text{ K} + 960 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 2392,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$= \dot{m}_{\text{para}} \cdot 2201,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{m}_{\text{para}} = \frac{13563 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + 83466 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + 2297184 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{2201,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 1087 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

1.4 $\dot{m}_{in} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$
 $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
 $w_{s.s.} = 0,35$
 $\dot{m}_{para} = 850 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$
 $P = 10 \text{ kPa}$
 $P_{para} = 1,5 \text{ bar}$

a) $\dot{m}_{out} = 150 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$
 $w_{s.s. \text{ v pari}} = 0$

$$w_{s.s.}^{in} \dot{m}_{in} = w_{s.s.}^{out} \dot{m}_{out} + w_{s.s. \text{ v pari}} \dot{m}_{para}$$

$$w_{s.s.}^{in} = \frac{0,35 \cdot 150 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 0 \cdot 850 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}} = 0,052$$

b) $P_{para} = 1,5 \text{ bar}$
 $T_{v_1} = 111,4 \text{ }^\circ\text{C}$
 $\Delta_{izp.} \dot{H}_1 = 2226,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
 $P_{up.} = 10 \text{ kPa}$
 $T_{v_2} = 45,8 \text{ }^\circ\text{C}$
 $\Delta_{izp.} \dot{H}_2 = 2392,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
 $T_{ref} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\Delta \dot{H} + \Delta \dot{E}_K + \Delta \dot{E}_P = \dot{Q} - \dot{W}_G$$

$$\dot{m}_{out} c_{p,out} \Delta T_{out} + \dot{m}_{voda} c_{p,voda} \Delta T_{voda} + \dot{m}_{voda} \Delta_{izp.} \dot{H}_2 - \dot{m}_{in} c_{p,in} \Delta T_{in} = \dot{m}_{para} \Delta_{izp.} \dot{H}_1$$

$$\dot{m}_{para} = \frac{150 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 3,42 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 25,8 \text{ K} + 850 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 25,8 \text{ K} + 850 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 2392,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{2226,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$= 961 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$1.5 \quad T_2^{\text{in}} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{out}} = -18 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 = -2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$m = 0,75 \text{ kg}$$

$$C_p^{\text{nad}} = 2,93 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

$$C_p^{\text{pod}} = 1,42 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

$$\Delta_{\text{tal}} \hat{H} = 115 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$T_{\text{ref}} = 18 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow \text{izberemo}$$

$$\Delta \dot{H} + \Delta \dot{E}_K + \Delta \dot{E}_P = \dot{Q} - \dot{W}_G$$

$$\Delta \dot{H} = \dot{Q}$$

$$\dot{Q} = \sum_{\text{out}} v_i \hat{H}_i - \sum_{\text{in}} v_i \hat{H}_i$$

$$Q = -0,75 \text{ kg} \cdot 2,93 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (18 \text{ }^\circ\text{C} - 18 \text{ }^\circ\text{C}) + 0,75 \text{ kg} \cdot 2,93 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (-2 \text{ }^\circ\text{C} - 18 \text{ }^\circ\text{C}) \\ + (-115) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 0,75 \text{ kg} + 0,75 \text{ kg} \cdot 1,42 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} (-18 \text{ }^\circ\text{C} + 2 \text{ }^\circ\text{C}) = -147,2 \text{ kJ} \\ \rightarrow \text{ena štruca}$$

$$10000 \frac{\text{štruc}}{\text{dan}} \cdot Q = -17,04 \text{ kW}$$

$$1.6 \quad n = 1000 \text{ pločevink}$$

$$T_z = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_k = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_v^{\text{in}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_v^{\text{out}} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$c_{p_{\text{H}_2\text{O}}} = 4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

$$c_{p_{\text{juha}}} = 4,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

$$c_{p_{\text{konzerva}}} = 0,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

$$m_{\text{konzerva}} = 60 \text{ g}$$

$$m_{\text{juha}} = 450 \text{ g}$$

$$Q_{\text{juha}} = n m_{\text{juha}} c_{p_{\text{juha}}} (T_k - T_z) = 1000 \cdot \frac{450 \text{ kg}}{1000} \cdot 4,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot (-60 \text{ }^\circ\text{C}) = -110700 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{konzerva}} = n m_{\text{konzerva}} c_{p_{\text{konzerva}}} (T_k - T_z) = 1000 \cdot \frac{60 \text{ kg}}{1000} \cdot 0,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot (-60 \text{ }^\circ\text{C}) = -1800 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = m_{\text{H}_2\text{O}} c_{p_{\text{H}_2\text{O}}} (T_k - T_z) = -(Q_{\text{juha}} + Q_{\text{konzerva}})$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{112500 \text{ kJ}}{4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 20 \text{ }^\circ\text{C}} = 1343,8 \text{ kg}$$

1.7 $w_{SS}^z = 14\% = 0,14$
 $w_{izgubam} = 8\% = 0,08$
 $w_{SS}^k = 93\% = 0,93$
 $m_z = 1000 \text{ kg}$
 $T_z = 15 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_k = 65 \text{ }^\circ\text{C}$

$$m_{po} = m_z(1 - w_{izgubam}) = 1000 \text{ kg} \cdot (1 - 0,08) = 920 \text{ kg}$$

$$m_{SS} = w_{SS}^z \cdot m_{po} = 0,14 \cdot 920 \text{ kg} = 128,8 \text{ kg}$$

$$m_z = \frac{m_{SS}}{w_{SS}^k} = \frac{128,8 \text{ kg}}{0,93} = 138,5 \text{ kg}$$

$$c_p = 0,086c_{p_{H_2O}} = 0,86 \cdot 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} = 3,612 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

$$Q = mc_p\Delta T = 920 \text{ kg} \cdot 3,612 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot (65 - 15) \text{ }^\circ\text{C} = 166 \text{ MJ}$$

1.8 $T_{in} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

$$c_p = 3,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

$$p = 1 \text{ atm}$$

$$w_{SS}^{in} = 0,33$$

$$w_{SS}^{out} = 0,30$$

$$c_{p_{H_2O}} = 4,184 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

Izberemo: $m_z = 1 \text{ kg} \rightarrow m_{s.s.} = 330 \text{ g}$

$$m_{para} = m_k - m_z = \frac{m_{SS}}{w_{SS}^{out}} - m_z = \frac{330 \text{ g}}{0,30} - 1000 \text{ g} = 100 \text{ g}$$

$$\text{Nasičena para, } p = 1 \text{ atm} \rightarrow \Delta_{izp} \hat{H} = 2256,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$m_z c_p \Delta T = m_{para} c_{p_{H_2O}} \Delta T + m_{para} \Delta_{izp} \hat{H}$$

$$1 \text{ kg} \cdot 3,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot (T_k - 20 \text{ }^\circ\text{C}) = 0,1 \text{ kg} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot (100 \text{ }^\circ\text{C} - T_k) + 0,1 \text{ kg} \cdot 2256,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$T_k = \frac{327,53 \text{ kJ}}{3,4184 \frac{\text{kJ}}{^\circ\text{C}}} = 95,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$1.9 \quad w_{\text{in}} = 0,25$$

$$w_{\text{out}} = 0,35$$

$$T_{\text{in}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{out}} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\dot{m}_{\text{in}} = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$c_{p_{\text{H}_2\text{O}}} = 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$c_p = 2,09 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$p = 0,7 \text{ bar}$$

$$\Delta H_{\text{H}_2\text{O}(\text{g})} = 2660 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta H_{\text{H}_2\text{O}(\text{l})} = 376,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta_{\text{izp}} H_{\text{H}_2\text{O}} = 2283,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

a)

$$\dot{m}_{\text{in}} = \dot{m}_{\text{para}} + \dot{m}_{\text{out}} = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$w_{\text{in}} \dot{m}_{\text{in}} = w_{\text{ss v pari}} \dot{m}_{\text{para}} + w_{\text{out}} \dot{m}_{\text{out}}$$

$$0,25 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 0 \cdot \dot{m}_{\text{para}} + 0,35 \cdot \dot{m}_{\text{out}}$$

$$\dot{m}_{\text{out}} = 714,3 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{\text{para}} = \dot{m}_{\text{in}} - \dot{m}_{\text{out}} = (10^3 - 714,3) \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 285,7 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$T_{\text{ref}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= \dot{m}_{\text{out}} w_{\text{out}} c_p \Delta T + \dot{m}_{\text{out}} (1 - w_{\text{out}}) c_{p_{\text{H}_2\text{O}}} \Delta T + \dot{m}_{\text{para}} \left(\Delta H_{\text{H}_2\text{O}(\text{g})} - 104,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \\ &\quad - \sum_{\text{in}} \dot{m}_i w_i c_{p_i} \Delta T = 714,3 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 0,35 \cdot 2,09 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot (90 - 25) \text{ }^\circ\text{C} + 714,3 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \\ &\quad \cdot (1 - 0,35) \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot (90 - 25) \text{ }^\circ\text{C} + 285,7 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot (2660 - 104,8) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ &\quad - \sum_{\text{in}} \dot{m}_i w_i c_{p_i} (25 - 25) \text{ }^\circ\text{C} = 890 \frac{\text{MJ}}{\text{h}} = 247 \text{ kW} \end{aligned}$$

2 DINAMIKA TEKOČIN (rešitve)

- 2.1 $h_1 = 70$ m
 $h_2 = 4$ m
 $2r = 1,5$ cm
-

$$h = h_2 - h_1 = 66 \text{ m}$$

$$mgh = \frac{mv^2}{2}$$

$$v^2 = 2gh = 2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 66 \text{ m} = 1295 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$v = 36 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\dot{V} = \frac{V}{t} = \frac{sS}{t} = vS = 36 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \pi \cdot r^2 = 6,36 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\dot{m} = \frac{m}{t} = \frac{\rho V}{t} = \rho vS = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 6,36 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 6,36 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

- 2.2 $2r = 7,5$ cm
 $h = 35$ m
 $\dot{V} = 1,6 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$
 Učinkovitost = 75 %
-

$$\dot{m} = \rho \dot{V} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,6 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} = 1600 \frac{\text{kg}}{\text{min}}$$

$$v_z = 0$$

$$v = \frac{\dot{V}}{S} = \frac{1,6 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}}{\pi(3,75 \cdot 10^{-2})^2 \text{ m}^2} = 362 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2} + g\Delta h + \hat{F} = -\frac{\dot{W}_G}{\dot{m}}$$

$$\frac{(362 \frac{\text{m}}{\text{min}})^2}{2} + 343,35 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = -\frac{\dot{W}_G}{1600 \frac{\text{kg}}{\text{min}}}$$

$$(18,2 + 343,4) \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = -\frac{\dot{W}_G \cdot 60 \text{ s}}{1600 \text{ kg}}$$

$$\dot{W}_G = -9643 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

$P \approx 9,6$ kW – potrebna

$P \approx 12,8$ kW – dejanska

2.3 $d_1 = 7,5 \text{ cm}$

$$\dot{V}_1 = 0,4 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

$$P_1 = 70 \text{ kPa}$$

$$d_2 = 5 \text{ cm}$$

$$S_1 = \pi r_1^2 = \frac{\pi d_1^2}{4} = 4,42 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$v_1 = \frac{\dot{V}}{S_1} = \frac{0,4 \frac{\text{m}^3}{60 \text{ s}}}{4,42 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2} = 1,51 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$S_2 = \pi r_2^2 = \frac{\pi d_2^2}{4} = 1,96 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$v_2 = \frac{\dot{V}}{S_2} = 3,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$h_1 g + \frac{v_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} = h_2 g + \frac{v_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho}$$

$$0 + \frac{(1,51 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2} + \frac{70 \cdot 10^3 \text{ kPa}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0 + \frac{(3,4 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2} + \frac{p_2}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$p_2 = 65,3 \text{ kPa}$$

2.4 $2r = 5 \text{ cm}$

$$T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$v = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\mu_{\text{mleko}} = 2,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$$

$$\mu_{\text{olja}} = 118 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$$

$$\rho_{\text{olja}} = 900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{\text{mleko}} = 1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$Re_{\text{mleko}} = \frac{Dv\rho}{\mu} = \frac{0,05 \text{ m} \cdot 3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}} = 73571 \rightarrow Re > 4000$$

$$Re_{\text{olja}} = \frac{0,05 \text{ m} \cdot 3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{118 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}} = 1144 \rightarrow Re < 4000$$

$$2.5 \quad d_1 = 3 \text{ m}$$

$$p_1 = 1 \text{ bar}$$

$$h_{12} = 35 \text{ m} = h_1 - h_2$$

$$d_2 = 5 \text{ cm}$$

$$\dot{V} = 2,0 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$d_3 = 2,5 \text{ cm}$$

$$h_{23} = 5 \text{ m} \Rightarrow h_2 - h_3 = -5$$

$$\rho = 1 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$p_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$v_1 = \frac{\dot{V}}{\pi \left(\frac{d_1}{2}\right)^2} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi (1,5 \text{ m})^2} = 2,8 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 0$$

$$v_2 = \frac{\dot{V}}{\pi \left(\frac{d_2}{2}\right)^2} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi (2,5 \cdot 10^{-2} \text{ m})^2} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$p_2 = p_1 + \rho g (h_1 - h_2) - \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$= 1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa} + 1 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 35 \text{ m} - \frac{1}{2} \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(1,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2$$

$$= 4,4 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$p_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 = p_3 + \rho g h_{23} + \frac{1}{2} \rho v_3^2$$

$$v_3 = \frac{\dot{V}}{\pi \left(\frac{d_3}{2}\right)^2} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi (1,25 \cdot 10^{-2} \text{ m})^2} = 4,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$p_3 = p_2 + \rho g (h_2 - h_3) + \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_3^2)$$

$$= 4,4 \cdot 10^5 \text{ Pa} + 1 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (-5 \text{ m}) + \frac{1}{2} \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(\left(1,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 - \left(4,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \right) = 3,8 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

2.6 $w_{\text{saharoza}} = 0,5$

$T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

$\dot{V} = 3 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$

$2r = 4,75 \text{ cm}$

$l = 10 \text{ m}$

$\rho = 1232 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$\eta = 15,43 \text{ cP}$

a)

$$A = \frac{\pi \cdot (2r)^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0,0475 \text{ m})^2}{4} = 1,77 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\bar{v} = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{8,33 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1,77 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2} = 0,471 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re = \frac{2r\bar{v}\rho}{\eta} = \frac{0,0475 \text{ m} \cdot 0,471 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1232 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{15,43 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{ms}}} = 1786 < 2100 \rightarrow \text{laminarni tok}$$

$$v_{\text{max}} = 2\bar{v} = 2 \cdot 0,471 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,942 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta P = \frac{32\bar{v}\eta l}{(2r)^2} = \frac{32 \cdot 0,471 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,01543 \text{ Pas} \cdot 10 \text{ m}}{(0,0475 \text{ m})^2} = 1030 \text{ Pa}$$

b)

$Re \geq 4000 \rightarrow \text{turbolentni tok}$

$$Re = \frac{2r\bar{v}_2\rho}{\eta}$$

$$\bar{v}_2 = \frac{4000 \cdot 15,43 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{ms}}}{0,0475 \text{ m} \cdot 1232 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 1,055 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\dot{V} = \bar{v}_2 A = 1,055 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1,77 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 = 6,72 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

2.7 $2r = 2,5 \text{ cm}$

$T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

$\dot{V} = 0,12 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$

$\mu_{\text{mleko}} = 2,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$

$\rho_{\text{mleko}} = 1029 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$\dot{V} = S \cdot \bar{v} \Rightarrow \bar{v} = \frac{\dot{V}}{A} = 4,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re = \frac{2r\bar{v}\rho}{\eta} = \frac{0,025 \text{ m} \cdot 4,1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1029 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{2,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}} = 50230 > 4000 \rightarrow \text{turbolentni tok}$$

- 2.8 $h = 1,5 \text{ m}$
 $d_1 = 0,24 \text{ m}$
 $l_1 = 3 \text{ m}$
 $d_2 = 0,1 \text{ m}$
 $l_2 = 1 \text{ m}$
 $d_3 = 0,12 \text{ m}$
 $l_3 = 2 \text{ m}$
-

$$\frac{\Delta p}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2} + g\Delta h + \hat{F} = -\frac{\dot{W}_g}{\dot{m}}$$

Vzamemo dve točki: točka 1 naj bo na površini zalogovnika, točka 2 pa na izhodu iz cevi (odsek cevi, označen s številko 3). Ker sta obe točki pri istem (zunanjem) tlaku, je $\Delta p = 0$. Hitrost v prvi točki je zanemarljiva v primerjavi s hitrostjo v drugi točki, zato lahko privzamemo $v_1 \approx 0$. Izgub ni, prav tako ni dela gredi. Zgornjo enačbo lahko tako zapišemo kot:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta v^2}{2} + g\Delta h &= 0 \\ \frac{0 - v_2^2}{2} + 9,81 \cdot (0 - (-1,5 \text{ m})) &= 0 \\ v_2 &= 5,42 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ \dot{V} = S \cdot v_2 &= \pi \cdot 0,06^2 \text{m}^2 \cdot 5,42 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 61,4 \frac{\text{l}}{\text{s}} \end{aligned}$$

2.9

$$\dot{V} = 0,157 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

2.10

$$\bar{v}_1 = 2,55 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \dot{m} = 1,98 \frac{\text{kg}}{\text{s}}, \bar{v}_2 = 10,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

2.11

$$\text{a) } t = 19,3 \text{ h, b) } t = 10,2 \text{ h}$$

3 PRENOS TOPLOTE (rešitve)

3.1 $k = 50,2 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$

$$D_{\text{in}} = 4 \text{ cm}$$

$$D_{\text{out}} = 5 \text{ cm}$$

$$l = 10 \text{ m}$$

$$T_{\text{in}} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{out}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$x_{\text{stiropor}} = 0,25 \text{ cm}$$

$$k_{\text{stiropor}} = 0,033 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$\dot{Q}_1 = 2\pi l k \frac{T_2 - T_1}{\ln \frac{r_2}{r_1}} = 2\pi \cdot 10 \text{ m} \cdot 50,2 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \cdot \frac{10 \text{ K} - 80 \text{ K}}{\ln \frac{2,5}{2}} \approx -9,9 \cdot 10^5 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_2 = 2\pi \cdot 10 \text{ m} \cdot 0,033 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \cdot \frac{10 \text{ K} - 80 \text{ K}}{\ln \frac{2,75}{2,5}} \approx -1,5 \cdot 10^3 \text{ W}$$

3.2 $\dot{m}_{\text{mleko}} = 0,4 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

$$D_{\text{in}} = 3 \text{ cm}$$

$$T_{\text{in}} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{out}} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{hladna}} = -2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$U = 700 \frac{\text{J}}{\text{m}^2\text{sK}}$$

$$\Delta T_{\text{log}} = 29,2 \text{ K}$$

$$c_{p\text{mleko}} = 3890 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$$

$$r = 0,015 \text{ m}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_{\text{mleko}} c_{p\text{mleko}} \Delta T = 0,4 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 3890 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 61 \text{ K} = 94916 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

$$\dot{Q} = UAT$$

$$A = \frac{\dot{Q}}{U\Delta T_{\text{log}}} = \frac{94916 \frac{\text{J}}{\text{s}}}{700 \frac{\text{J}}{\text{m}^2\text{sK}} \cdot 29,2 \text{ K}} = 4,64 \text{ m}^2$$

$$A = 2\pi r l$$

$$l = \frac{A}{2\pi r} = \frac{4,64 \text{ m}^2}{2\pi \cdot 0,015 \text{ m}} = 49,3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
3.3 \quad T_{\text{in}} &= 7 \text{ }^\circ\text{C} \\
T_{\text{out}} &= 22 \text{ }^\circ\text{C} \\
S &= 5 \text{ m}^2 \\
d &= 2 \text{ mm} \\
\frac{\dot{Q}}{A} &= 9 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \\
k_{\text{kp}} &= 16 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}} \\
k_i &= 0,017 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}
\end{aligned}$$

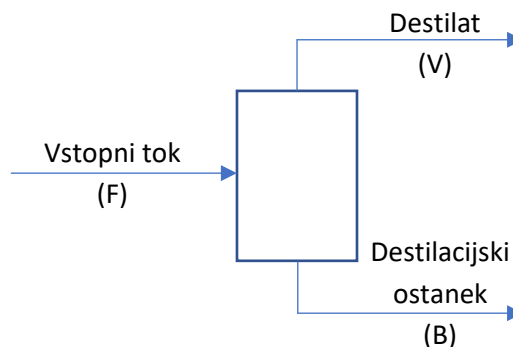
$$\begin{aligned}
R &= 2 \cdot \frac{z_{\text{kp}}}{k_{\text{kp}}} + \frac{z_i}{k_i} \\
\frac{\dot{Q}}{A} &= \frac{T_{\text{out}} - T_{\text{in}}}{R} = \frac{T_{\text{out}} - T_{\text{in}}}{2 \cdot \frac{z_{\text{kp}}}{k_{\text{kp}}} + \frac{z_i}{k_i}} \\
9 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} &= \frac{(22 - 7) \text{ }^\circ\text{C}}{2 \cdot \frac{0,002 \text{ m}}{16 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}} + \frac{z_i}{0,017 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}}} \\
z_i &= 0,02833 \text{ m} \approx 2,8 \text{ cm}
\end{aligned}$$

3.4

$$\dot{Q}_{\text{brez izolacije}} = 0,329 \text{ MW}, \quad \dot{Q}_{\text{z izolacijo}} = 5,39 \text{ kW}$$

4 DESTILACIJA (rešitve)

- 4.1 $\alpha_{B \rightarrow T} = 2,5$
 $x_{\text{benzen}} = 0,45$
 $\dot{n} = 700 \frac{\text{mol}}{\text{h}}$
 Uparimo pri 60%
-



V procesu uparimo 60 % vstopnega toka, torej vemo, da je $\frac{\dot{m}_V}{\dot{m}_F} = 0,6$ in $\frac{\dot{m}_B}{\dot{m}_F} = 0,4$. Na podlagi tega podatka lahko določimo naklon obratovalne premice:

$$-\frac{\dot{m}_B}{\dot{m}_V} = -\frac{0,4 \cdot \dot{m}_F}{0,6 \cdot \dot{m}_F} = -\frac{0,2}{0,3} = -0,6\bar{6}$$

Na obratovalni premici je tudi točka, ki ustreza sestavi vstopnega toka ($x_{\text{benzen}} = 0,45$). Uporabimo izračunan naklon in sestavo vstopnega toka ter izračunamo odsek na obratovalni premici:

$$y = kx + n$$

$$0,45 = -0,6\bar{6} \cdot 0,45 + n \rightarrow n = 0,75$$

Sedaj moramo narisati graf deleža benzena v parni fazi (y_B) v odvisnosti deleža benzena v tekoči fazi (x_B). V ta namen uporabimo enačbo za relativno hlapnost in iz nje izrazimo delež benzena v parni fazi:

$$\alpha_{B \rightarrow T} = \frac{y_B(1 - x_B)}{x_B(1 - y_B)}$$

$$\alpha x_B - \alpha x_B y_B = y_B - x_B y_B$$

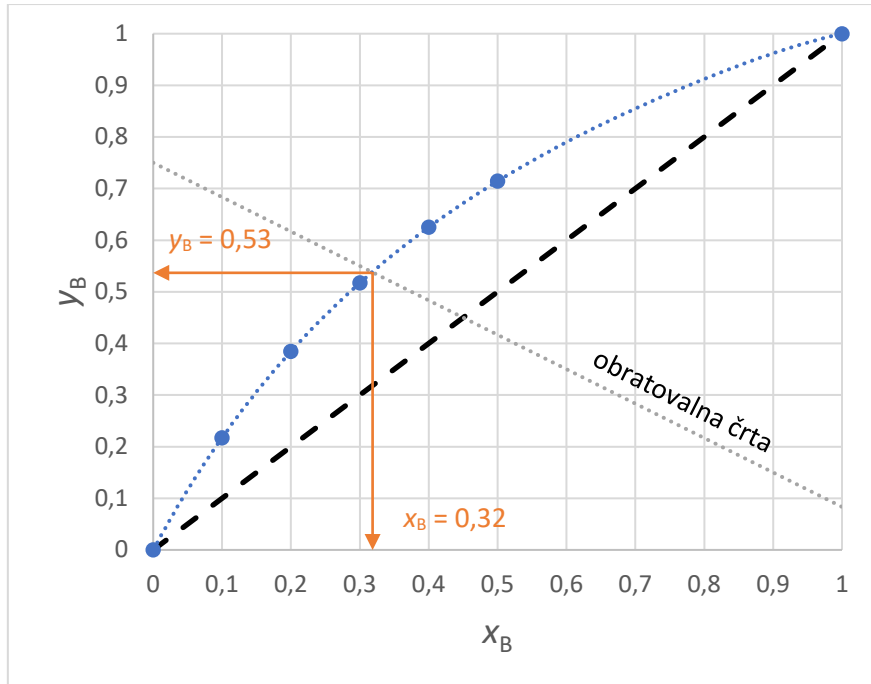
$$\alpha x_B = y_B(1 - x_B + \alpha x_B)$$

$$y_B = \frac{\alpha x_B}{1 - x_B + \alpha x_B}$$

S pomočjo zgornje enačbe lahko izračunamo nekaj točk na krivulji $y_B = f(x_B)$:

x_B (sami izberemo)	y_B (izračunamo)
0,1	0,21739
0,2	0,38462
0,3	0,51724
0,4	0,625
0,5	0,71429

Obratovalno premico in izračunane točke lahko sedaj vnesemo v koordinatni sistem in iz presečišča obratovalne premice ter krivulje $y_B = f(x_B)$ določimo sestavo tekoče in plinske faze na izhodu iz destilatorja:



4.2

$$T_{\text{out}} = 115,8 \text{ } ^\circ\text{C}, \dot{m}_{\text{para}} = 40 \frac{\text{kg}}{\text{h}}, \dot{m}_{\text{tekočina}} = 960 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

4.3

$$\frac{B}{V} = \frac{0,929 \text{ kg}}{0,071 \text{ kg}} = 13$$

4.4

$$m_{\text{destilat}} = 706 \text{ g}, x(\text{etanol})_{\text{destilat}} = 0,47$$

5 MEŠANJE (rešitve)

5.1 $2r = 0,61 \text{ m}$

$$v = 90 \text{ rpm}$$

$$\rho = 950 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\eta = 250 \text{ cP} = 0,25 \text{ Pas}$$

$$P_0 = 5 \text{ (iz grafa)}$$

$$Re = \frac{d^2 N \rho}{\eta} = \frac{0,61^2 \text{ m}^2 \cdot \frac{90}{60 \text{ s}} \cdot 950 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0,25 \frac{\text{kg}}{\text{sm}}} = 2121$$

$$P_0 = \frac{P}{d^5 N^3 \rho}$$

$$P = P_0 d^5 N^3 \rho = 5 \cdot 0,61^5 \text{ m}^5 \cdot \left(\frac{90}{60 \text{ s}}\right)^3 \cdot 950 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1354 \text{ W}$$

$$E_{\text{ideal.}} = P t_m = 1354 \frac{\text{g}}{\text{s}} \cdot 3600 \text{ s} = 4,87 \text{ MJ}$$

$$0,6x = 1 \cdot 4,87 \text{ MJ}$$

$$x = E_{\text{real.}} = 8,12 \text{ MJ}$$

5.2

$$P_{\text{potrebna}} = 2857 \text{ W}, N = 256 \text{ rpm}$$

6 SUŠENJE IN PSIHROMETRIJA (rešitve)

6.1 $T_R = 27\text{ °C}$

$$Y_R = 11 \frac{\text{g}}{\text{kg}}$$

$$T_{\text{zrak}} = 4\text{ °C}$$

$$Y_{\text{zrak}} = 3 \frac{\text{g}}{\text{kg}}$$

Iz psihrometrične karte:

Pred zračenjem: %RH = 49

Po zračenju: %RH = 14

Steklene plošče so orošene pred zračenjem, saj ima steklo $T = 4\text{ °C}$ in $T_{\text{ros}} = 15,3\text{ °C}$ ($Y_R = 11 \frac{\text{g}}{\text{kg}}$). Po zračenju steklo ni orošeno.

6.2 $\dot{m} = 20 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$

$$T = 60\text{ °C}$$

$$R.H. = 10\%$$

$$\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} = 0,16 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\text{Vlažnost zraka: } x_z = 0,013 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg zraka}} \text{ (iz psihrometrične karte)}$$

$$\text{Sušenje: } x_s = \frac{0,16 \text{ kg H}_2\text{O}}{20 \text{ kg zraka}} = 0,008 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg zraka}}$$

$$x = (0,013 + 0,008) \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg zraka}} = 0,021 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg zraka}}$$

Psihometrična karta:

$$T = 40\text{ °C}$$

$$R.H. = 45\%$$

$$\begin{aligned}
6.3 \quad \dot{m}_{\text{jabolko}} &= 200 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \\
w_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{in}} &= 0,9 \\
w_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{out}} &= 0,1 \\
T_{\text{zrak}}^{\text{in}} &= 50 \text{ }^\circ\text{C} \\
T_{\text{zrak}}^{\text{out}} &= 25 \text{ }^\circ\text{C} \\
R.H.^{\text{out}}_{\text{zrak}} &= 90\%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{in}} &= w_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{in}} \dot{m}_{\text{jabolko}} = 0,9 \cdot 200 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 180 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \\
\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{out}} &= \frac{(\dot{m}_{\text{jabolko}} - \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{in}}) \cdot w_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{out}}}{1 - w_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{out}}} = \frac{0,1 \cdot (200 - 180) \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{1 - 0,1} = 2,22 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \\
\Delta \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} &= \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{in}} - \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{out}} = (180 - 2,22) \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 177,78 \frac{\text{kg}}{\text{h}}
\end{aligned}$$

Razberemo iz psihrometrične karte:

$$\begin{aligned}
x_{\text{H}_2\text{O}(T=25 \text{ }^\circ\text{C})}^{\text{izhod}} &= 0,018 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg zraka}} \\
x_{\text{H}_2\text{O}(T=50 \text{ }^\circ\text{C})}^{\text{vhod}} &= 0,0075 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg zraka}} \\
\Delta x_{\text{H}_2\text{O}} &= 0,0105 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg zraka}} \\
\dot{m}_{\text{zrak}} &= \frac{\Delta \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}}{\Delta x_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{177,78 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{0,0105 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg zraka}}} = 16,9 \frac{\text{ton}}{\text{h}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
6.4 \quad p &= 1 \text{ atm} \\
T_{\text{suhi}}^{\text{in}} &= 39 \text{ }^\circ\text{C} \\
T_{\text{mokri}}^{\text{in}} &= 24 \text{ }^\circ\text{C} \\
T_{\text{suhi}}^{\text{out}} &= 16 \text{ }^\circ\text{C} \\
T_{\text{mokri}}^{\text{out}} &= 15 \text{ }^\circ\text{C} \\
\dot{V}_{\text{out}} &= 2 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \\
\hat{H}_{\text{in}} &= 72,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\
\hat{H}_{\text{out}} &= 42,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\dot{V} &= \dot{m} \hat{V} \\
\dot{m} &= \frac{\dot{V}}{\hat{V}} = \frac{2 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,83 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} = 2,41 \frac{\text{kg}}{\text{s}}
\end{aligned}$$

$$P = \dot{m} \Delta \hat{H} = 2,41 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (72,5 - 42,0) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 73,5 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 73,5 \text{ kW}$$

$$6.5 \quad T_{\text{suhi}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{mokri}} = 19 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\dot{m}_{\text{zrak}}^{\text{in}} = 12,5 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 45000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$T_{\text{in}} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{out}} = 58 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$a) \quad Y_{\text{predavalnica}} = 0,0114 \frac{\text{kg}}{\text{kg zraka}}$$

$$Y_{\text{out}} = \frac{\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}}}{\dot{m}_{\text{zrak}}} = \left(\frac{58}{45000} \right) \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 0,00129 \frac{\text{kg}}{\text{kg zraka}}$$

$$Y_{\text{in}} = Y_{\text{predavalnica}} - Y_{\text{out}} = (0,0114 - 0,00129) \frac{\text{kg}}{\text{kg zraka}} = 0,0101 \frac{\text{kg}}{\text{kg zraka}}$$

rel. vlažnost: $x \approx 78\%$

$$T_{\text{mokri}} = 15,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{rosišča}} = 14 \text{ }^\circ\text{C}$$

b) Rel. vlažnost zraka, s katerim odvajamo vlago, je večja, kot rel. vlažnost v predavalnici.

$$6.6 \quad T_{\text{suhi}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{mokri}} = 8 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\dot{m} = 2 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$T_{\text{para}} = 110 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\dot{m}_{\text{para}} = 15 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

a)

Iz psihrometrične karte:

$$Y = 1,8 \frac{\text{g}}{\text{kg suhega zraka}} \rightarrow \hat{H}_0 = 24,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg zraka}}$$

Dodajamo $15 \frac{\text{g}}{\text{s}} \rightarrow$ vlažnost se poveča za 7,5 g

$$Y_{\text{nova}} = 9,3 \frac{\text{g}}{\text{kg suhega zraka}}$$

$$\text{Iz tabele } (T_{\text{para}} = 110 \text{ }^\circ\text{C}): \hat{H}_{\text{para}} = 2,691 \cdot 10^3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\hat{H} = \frac{\hat{H}_{\text{para}} \dot{m}_{\text{para}}}{2} = 2,691 \frac{\text{kJ}}{\text{g}} \cdot 7,5 \frac{\text{g}}{\text{kg s. z.}} = 20,185 \frac{\text{kJ}}{\text{kg s. z.}}$$

$$\text{Celokupna entalpija: } \hat{H}_{\text{sum}} = \hat{H}_0 + \hat{H} \approx 45 \frac{\text{kJ}}{\text{kg s. z.}}$$

Poiščemo točko:

$$\hat{H} = 45 \frac{\text{kJ}}{\text{kg s. z.}}$$

$$Y = 9,3 \frac{\text{g}}{\text{kg s. z.}} \rightarrow T_{\text{suh}} = 21 \text{ }^\circ\text{C}$$

6.7

$$T_{\text{suhi}} = 19,5 \text{ }^\circ\text{C}, T_{\text{mokri}} = 14,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

6.8

$$RH_{\text{max}} = 34 \%$$

6.9

	$T_{\text{IN}} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$	$T = 80 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{\text{OUT}} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$
$RH / \%$	38	10	53
$T_{\text{rosišče}} / \text{ }^\circ\text{C}$	31,8	31,8	37
$Y / \text{g H}_2\text{O na 1 kg zraka}$	30	30	43

6.10

$$\dot{Y} = 5,81 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}, \dot{Q} = 22,7 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

LITERATURA

Yanniotis S. 2008. Solving Problems in Food Engineering, New York, ZDA, Springer

Berk Z. 2009. Food Process Engineering and Technology, London, ZK, Elsevier

Long C., Sayma N. 2010. Heat Transfer: Exercises, eBook, Chris Long, Naser Sayma & Ventus Publishing ApS.

Fellows P. 2000. Food Processing Technology, Cambridge, ZK, CRC Press

Toledo R. T. in ostali. 2018. Fundamentals of Food Process Engineering, New York, ZDA, Springer

Hartel R. W. in ostali. 2008. Math Concepts for Food Engineering, Boca Raton, ZDA, CRC Press

Das S. K., Das M. 2019. Fundamentals and Operations in Food Process Engineering, Boca Raton, ZDA, CRC Press

Haan A. B. in ostali. 2020. Industrial Separation Processes, Berlin, Nemčija, Walter de Gruyter GmbH

Earle R. L. in Earle M. D. Unit Operations in Food Processing
<https://nzifst.org.nz/resources/unitoperations/index.htm> (10. 10. 2023)

Lienhard IV J. H. in Lienhard V J. H. 2017. A Heat Transfer Textbook, Cambridge, ZDA, Phlogiston Press

Singh R. P. in Heldman D. R. 2009. Introduction to Food Engineering, London, ZK, Elsevier