

2 blok : ponedeljek 10-12h in četrtek od 13-15h

Tehnološko procesništvo

doc. dr. Andreja Zupančič Valant

prof. dr. Andrej Jamnik

UL FKKT

Literatura:

Fryer P. J., Pyle D. L., Rielly C. D. (Eds.),
Chemical Engineering for the Food Industry,
Blackie Academic&Professional, Chapman & Hall, London, 1997, 462 s.

Modic R., **Termične in difuzijske operacije**, Univerzum, Ljubljana, 1978, 148 s.

Lakota A., Pavko A., **Praktikum iz kemijskega inženirstva**, UL FKKT, Ljubljana,
2000, 72 s.

R. L. EARLE with M.D. EARLE; **Unit Operations in Food Processing**
(free web edition of a popular textbook known for its simple approach to the diversity and
complexity of food processing) : <http://www.nzifst.org.nz/unitoperations/index.htm>

Pogoji za opravljanje izpita:

Eksperimentalno opravljene vaje (dnevnik pravilno izračunani)

Kolokvij iz vaj

Pozitivni pisni del izpita

Ustni zagovor

Izpitni roki

Objavljeni bodo na ŠIS-u

Pričetek vaj: četrti blok

stacionarni prenos toplote, sušenje, diferencialna destilacija, mešanje, - Andreja Zupančič Valant
merjenje tlaka, pretoka in temperature -Andrej Jamnik

Glavne teme, ki jih obsega predmet:

- **Tehnologija in osnovne operacije**

zakoni ohranitve gibalne količine, energije in snovi; bilance.
stacionarno stanje, pretočni in šaržni sistemi.

- **Mehanika fluidov**

Lastnosti tekočin, Statika tekočin. Tekočine v gibanju. Laminaren in turbulenten tok
Viskoznost. Reološka karakterizacija tekočin

- **Bernoullijeva enačba**

Uporabnost in omejitve Bernoullijeve enačbe. Transport tekočin.
Računanje linijskih izgub pri pretoku tekočin po cevni sistemih.

- **Mešanje v tekočem mediju**

Naprave za mešanje. Moč potrebna za mešanje.
Mešanje ne-newtonskih tekočin. Dimenzioniranje mešalnikov.

Glavne teme, ki jih obsega predmet: .

▪ **Prenos toplote**

Mehanizmi prenosa toplote v trdnih snoveh. Stacionarno prevajanje toplote. Toplotna konvekcija in prenos toplote v tekočinah.

Izračun toplotnih menjalnikov.

▪ **Koncentriranje**

Uparevanje. Vrsta uparjalnikov in obratovanje.

Uparivanje v stopnjah. Izračun uparjalnikov

▪ **Destilacija**

Diferencialna in ravnotežna destilacija, destilacija z vodno paro. Frakcionirana destilacija in rektifikacija. (Ravnotežni diagrami in McCabe Thielejeva grafična določitev števila teoretskih prekatov).

▪ **Sušenje**

Osnovni pojmi psihrometrije in uporaba psihrometrijskih kart.

Hitrost sušenja in sušilni diagrami.

Določevanje konstante sušilnega aparata in izračun potrebnega časa sušenja.

Glavne teme, ki jih obsega predmet:

- **Merjenje procesnih spremenljivk:**
metrologija, merski sistem, enote in standardi
- **Merjenje nivoja:**
neposredne metode – plovci; posredne metode – osnovane na merjenju hidrostatskega tlaka, električne in ultrazvočne metode
- **Merjenje pretoka**
zaslonka, venturijeva cev, rotameter, vrtinčni in ultrazvočni merilniki
- **Merjenje temperature**
Praktična temperaturna skala, kapljevinski, tlačni, bimetalni, uporovni termometri in termoelementi
- **Dinamične karakteristike instrumentov**



Tehnologija in osnovne operacije

Zakoni ohranitve gibalne količine, energije in snovi;
Bilance;
Stacionarno stanje, pretočni in šaržni sistemi.

UVOD

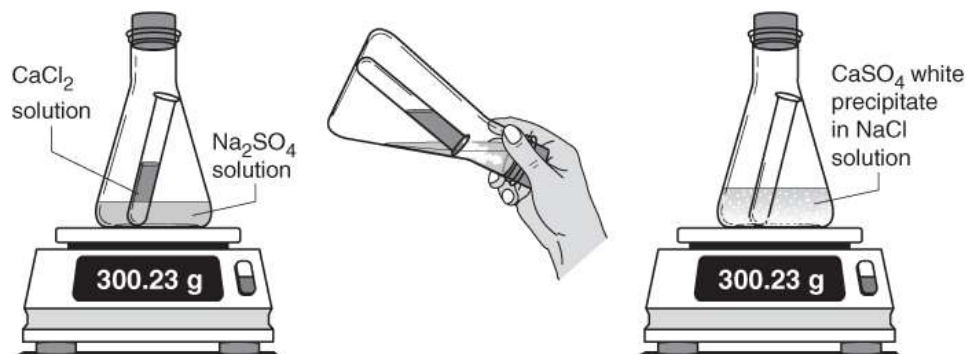
- Procesna tehnika v živilstvu obravnava številne tehnološke postopke pri predelavi živil z inženirskega vidika.
- Proučevanje **inženirskih procesov**, ki se odvijajo pri predelavi živil je lahko zelo zapleteno, saj je kombinacija številnih **fizikalnih procesnih operacij**.
- Le te se lahko razdelijo na številne **osnovne operacije**, ki jih bomo pri predmetu obravnavali.
- Proces tehnološke proizvodnje prehrambenih proizvodov zajema razumevanje procesov, ki potekajo pri predelavi živil.
na primer: **ogrevanje, hlajenje, koncentriranje, zamrzovanje, pretakanje tekočin, mešanje, odhlapljanje, postopki destilacij, sušenje** itd.

UVOD

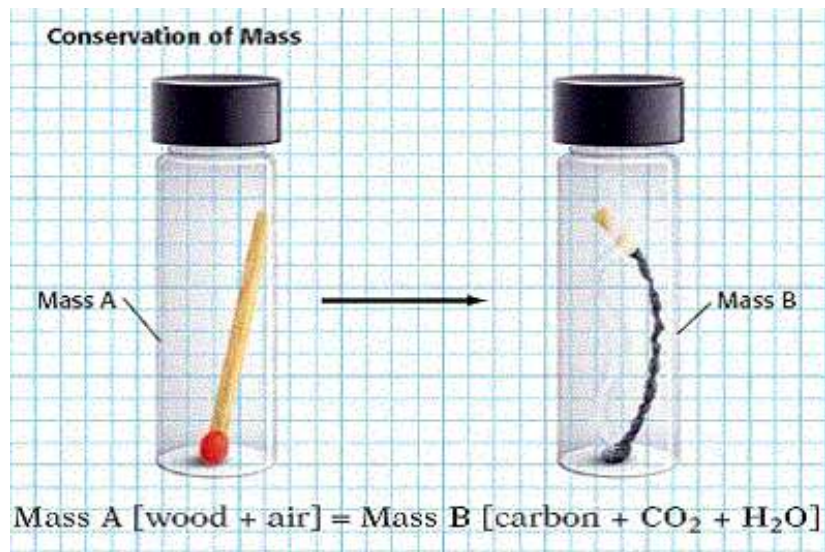
- Pri teh postopkih gre za skupek različnih operacij, ki jih je treba razumeti, da lahko napovemo: na primer
 - koliko toplote je treba dovesti, ali odvesti iz procesa,
 - kakšna so razmerja in ravnotežja koncentracij v procesnih materialih,
 - da lahko predvidimo kakšno moč grelca bomo uporabili,
 - koliko časa je potrebno, da se proces izpelje itd.
- Fizikalne procese, ki potekajo v okviru tehnoloških operacij, lahko opredelimo z matematičnimi izrazi, ki kvantitativno opišejo kaj se pri procesih spremeni in kako potekajo.
- Da lahko kvantitativno opredelimo procese, je treba upoštevati dva zelo pomembna zakona:

Zakon o ohranitvi mase in zakon o ohranitvi energije

Zakon o ohranitvi mase

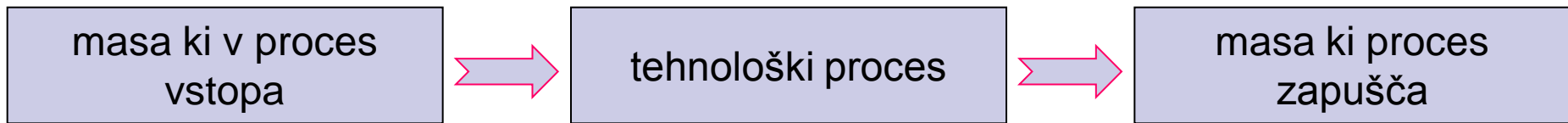


masa pred reakcijo = masi po reakciji

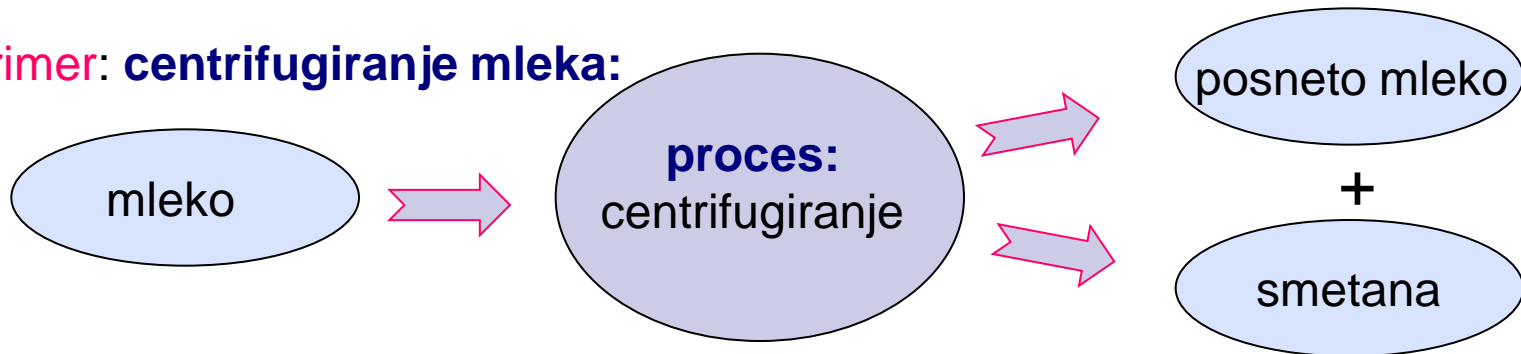


Zakon o ohranitvi mase

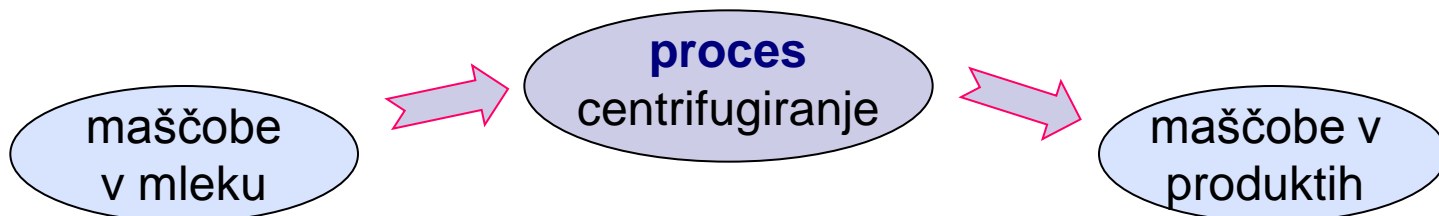
Kadar se v tehnološkem procesu nič ne akumulira: $m_{\text{vstop}} = m_{\text{izstop}}$



Primer: centrifugiranje mleka:

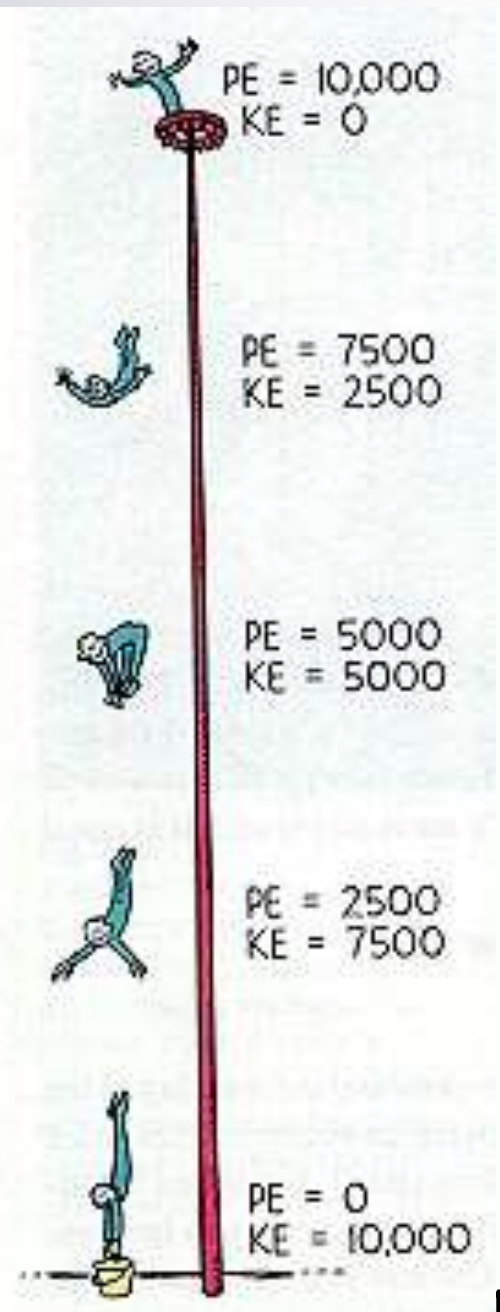
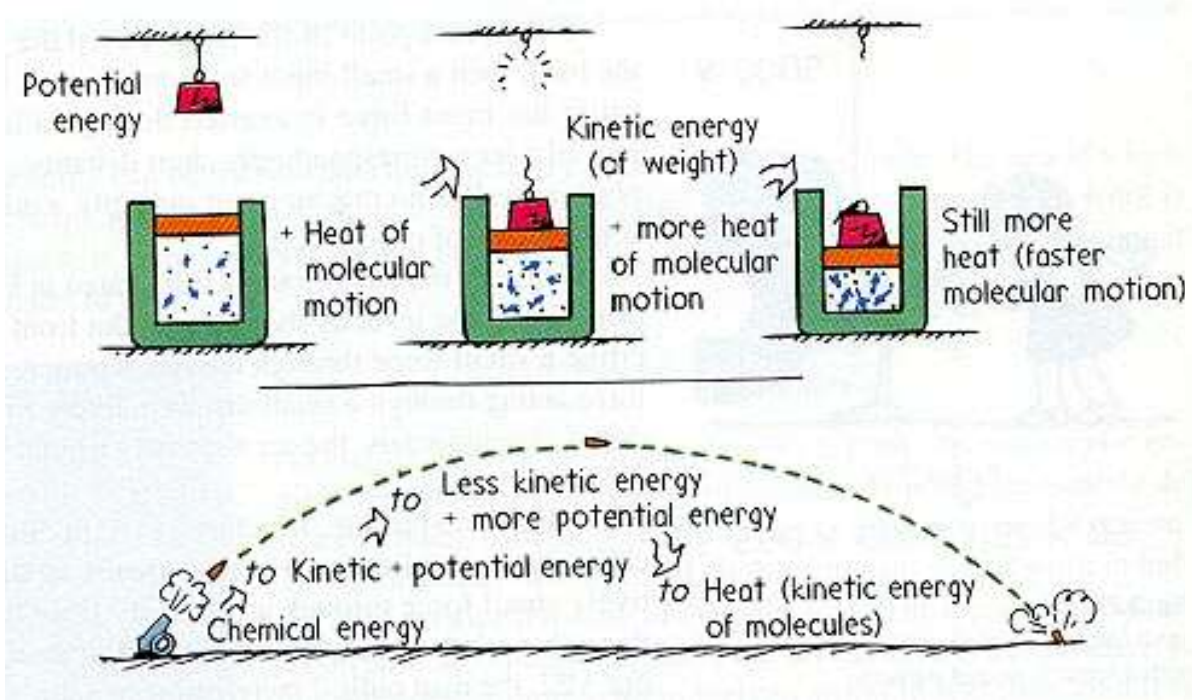


Ker so realni materiali sestavljeni iz več komponent, velja zakon tudi za posamezne komponente, ki v tehnološki proces vstopajo in iz njega izstopajo.



Zakon o ohranitvi energije

Energija v procesu se ohranja. Nekoliko bolj zapletena situacija, saj se energije lahko pretvarjajo iz ene v drugo obliko:



Zakon o ohranitvi energije

Primer: pasterizacija mleka

Tehnološki proces:

pretakanje po ceveh , toplotni menjalnik (ogrevanje in nato ohlajanje)

Zakon o ohranitvi energije lahko smatramo glede na:

(a) celokupen proces:

Črpalka (električna energija) se pretvori v kinetično in potencialno energijo

Toplotni menjalniki: prenos toplote iz toplega na hladen medij + izgube

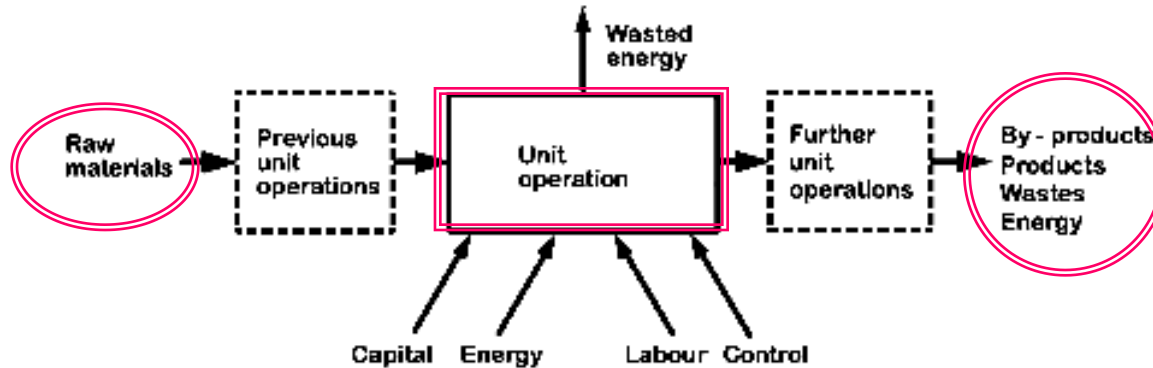
(b) z obzirom na mleko:

toplotna energija ki proces zapušča z melkom = začetni toplotni energiji mleka
+ toplotni energiji črpalke
+ toplotni energiji ogrevanja
- toplotni energiji hlajenja
- izgub toplote med procesom

(c) samo za del tehnološkega procesa: toplotni menjalnik

prenos toplote: ogrevalna voda – mleko + toplotne izgube

Tehnološki proces:



V proces vstopajo surovine in energija, izstopajo pa produkti, stranski produkti in energija. Upoštevati je treba tudi energetske in masne izgube.

Osnovne operacije procesa so predvsem fizikalnega značaja, zaradi katerih lahko pride do kemijskih sprememb.

Za reševanje problemov uporabljamo zakone fizike in mehanike ter spremljajoče znanosti (numerične analize uporaba računalnikov za simulacije).

Tehnološki proces:

Osnovne operacije delimo na :

Mehanske in hidrodinamične operacije

npr.: mešanje, pretakanje tekočin: pomembna je izmenjava gibalne količine

Termične in difuzijske operacije

npr.: uparevanje: prenos in izmenjava toplote oz. energije

npr.: rektifikacija: prenos snovi, prenos toplote in prenos gibalne količine

Transportni pojavi:

prenos snovi, prenos toplote in prenos gibalne količine

Poznavanje in razumevanje transportnih pojavov je osnova in predpogoj za razumevanje tehnoloških procesov z inženirskega vidika

Dimenzije in enote:

Vsaka fizikalna količina se od navadnega števila loči v tem, da mora biti izražena v enoti. Enote v grobem razdelimo na **osnovne in sestavljene**

Pri osnovnih operacijah se fizikalne količine izmerijo in ovrednotijo glede na merjene enote.

Osnovne dimenzije: večino inženirskih procesov lahko ovrednotimo z:

[M] .. maso, [L] ...dolžino [t] ...časom [T] ...temperaturo

tehniški sistemi smatrajo kot osnovni dimenziji še [Q] ... toploto in [F] ...silo, čeprav sta ti količini sestavljeni iz osnovnih enot;

$$\text{npr. sila [F] = masa [M] x pospešek [L] / [t]^2}$$

Sestavljene dimenzije: uporabljamo izpeljane enote

Fizikalne lastnosti vsakega sistema so povezane med seboj s fizikalnimi zakoni in s temi zakoni so definirane enote:

$$\text{npr. sila [F] = masa [M] x pospešek [L] / [t]^2}$$

Dimenzije in enote:

Izpeljane dimenzije:

- površina: $[L]^2$
- volumen: $[L]^3$
- hitrost: $[L] / [t]$
- pospešek: $([L] / [t]) \times (1 / [t]) = [L] / [t]^2$
- tlak: $[F] / [L]^2$
- gostota: $[M] / [L]^3$
- energija: $[F] \times [L]$
- moč: $([F] \times [L]) / [t]$

Bolj kompleksne dimenzije, ki jih bomo pri predmetu srečali so prav tako sestavljene iz osnovnih.

Na primer koeficient prenosa toplote je definiran kot energija na enoto površine v časovni enoti na enoto temperature:

$$h = \frac{[F] \times [L]}{[L]^2 \times [T] \times [t]}$$

Sistemi enot:

Fizikalne dimenzije so merjene v enotah

Enota za dolžino: m (meter) mm = m x 10⁻³ , cm =m x 10⁻² ,km =m x 10³

Enota za maso: kg, g, tona,..

Enota za čas: s (sekunda) min (minuta), h (ura)

Enota za temperaturo: °C, F

Poleg osnovnih enot lahko uporabljamo še desetiške faktorje, najpogostejši so označeni s priponami: micro (μ , 10⁻⁶), milli (m, 10⁻³), kilo (k, 10³) in mega (M, 10⁶).

Sistem enot : SI (Systeme Internationale de Unites) je privzet kot univerzalni sistem enot, ki se ga je treba držati, da lahko različne fizikalne količine ovrednotimo, količine primerjamo med seboj in z njimi računamo. Še vedno ga ne uporabljajo vse države, oziroma se v posameznih industrijskih panogah ne drže striktno. To pomeni, da je treba znati pretvarjati stare merske enote.

Sistemi enot: pretvarjanje

Primer 1: Pretvorba gramov v pounce pretvori 10 gramov v pounce.

Iz priročnika poiščemo **pretvornik** za pound (libre): $1 \text{ lb} = 0.4536 \text{ kg}$
in upoštevamo $1000 \text{ g} = 1 \text{ kg}$.

Torej: $10 \text{ g} = 10 \text{ g} \times (1 \text{ kg}/1000\text{g}) \times (1 \text{ lb}/0.4536 \text{ kg}) = 2.2 \times 10^{-2} \text{ lb}$
 $10 \text{ g} = 2.2 \times 10^{-2} \text{ lb}$

Primer 2. Hitrost pretoka mleka v cevi.

Mleko se pretaka po cevi premera 1.8 cm. Kalibrirana naprava za merjenje volumna podaja volumen v kubičnih feet-ih, in sicer v 1 h se napolni z 12.4 ft^3 .
Kakšna je hitrost strujanja mleka v m/s?

$v = L/t$ in $L = V(\text{volumen}) / A$ (presek cevi); torej $v = V/(A \times t)$

Iz priročnika poiščemo **pretvornik** za feet³: $1 \text{ ft}^3 = 0.0283 \text{ m}^3$

Merimo $V/t = 12.4 \text{ ft}^3/\text{h} =$

$$\frac{V}{t} = \frac{12.4 \cancel{\text{ft}^3} \times 0.0283 \text{ m}^3 \cancel{\text{h}}}{\cancel{\text{h}} \times 3600 \text{ s}} = 9.75 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Sistemi enot: pretvarjanje

Primer 2: nadaljevanje: $A = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{\pi \times 0.018^2 \text{ m}^2}{4} = 2.54 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

in

$$v = \frac{V}{t \times A} = \frac{9.75 \times 10^{-5} \text{ m}^3}{\text{s} \times 2.54 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 0.38 \text{ m/s}$$

Primer 3: Pretvorba viskoznosti iz anglosaksonskih v SI enote:

Viskoznost vode pri 60°F je $7.8 \times 10^{-4} \text{ lb/ft.s}$

V **SI** enotah je viskoznost definirana v Pa.s ; **Pa** = N/m² in **N** = (kg x m)/s

Iz priročnika poiščemo faktorje pretvorbe in jih uporabimo:

$$1 \text{ lb} = 0.4536 \text{ kg}$$

$$1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m}$$

$$7.8 \times 10^{-4} \text{ lb/ft.s} = \frac{7.8 \times 10^{-4} \cancel{\text{lb}} \times 0.4536 \text{ kg} \times \cancel{\text{ft}}}{\cancel{\text{ft}} \times \cancel{\text{lb}} \times 0.3048 \text{ m} \times \text{s}} = 1.16 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s} = 1.16 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$$

Pretvorba °F (Fahrenheit) v °C (Celsius) oziroma K (Kelvin)

Ledišče vode: 32°F

Vrelišče vode: 212°F

vrelišče – ledišče: 100°C = 180 °F

Sistemi enot: pretvarjanje

Pretvorba °F (Fahrenheit) v °C (Celsius) oziroma K (Kelvin)

$$^{\circ}\text{F} = \frac{100}{180} ^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} ^{\circ}\text{C} \quad \text{Temperatura} = 60^{\circ}\text{F} = 15.5 ^{\circ}\text{C}$$

$$X^{\circ}\text{F} = \frac{5}{9}(X - 32)^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9}(X - 32)^{\circ}\text{C} + 273.15\text{K}$$

Primer 4: toplotna prevodnost aluminija je 120 Btu / ft h °F
Pretvorite v SI enote.

Toplotno prevodnost v SI enotah podajamo v :W/ m K; W = J/s
Iz priročnika : 1 Btu (British thermal unit) = 1055J

$$1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} 120 \text{ Btu} / \text{ft} \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{F} &= \frac{120 \text{ Btu} \times 1055 \text{ J} \times \text{ft}}{\text{Btu} \times \text{ft} \times 0.3048 \text{ m} \times \text{h} \times ^{\circ}\text{F}} = 415354 \text{ J} / \text{m} \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{F} \\ &= \frac{415354 \text{ J} \times \text{h} \times ^{\circ}\text{F}}{\text{m} \times \text{h} \times ^{\circ}\text{F} \times 3600 \text{ s} \times \frac{5}{9} \text{ K}} = 208 \text{ J} / \text{s} \cdot \text{m} \cdot \text{K} = 208 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K} \end{aligned}$$

Sistemi enot: brezdimenzijska razmerja

Za lažjo predstavo o velikosti količin pogosto primerjamo neznano z znano količino Npr.: prekoračitev omejitve hitrosti vožnje avtomobila

Brezdimenzijska razmerja omogočajo lažji predstavo in so brez enote.

Primer specifične teže: **SG** (specific gravity) primerjamo kolikokrat je neka snov težja od vode

SG= teža neznane snovi v določenem volumnu / teža vode enakega volumna

$$SG = \frac{(\text{teža} / \text{volumen})_{\text{neznana snov}}}{(\text{teža} / \text{volumen})_{\text{voda}}}$$

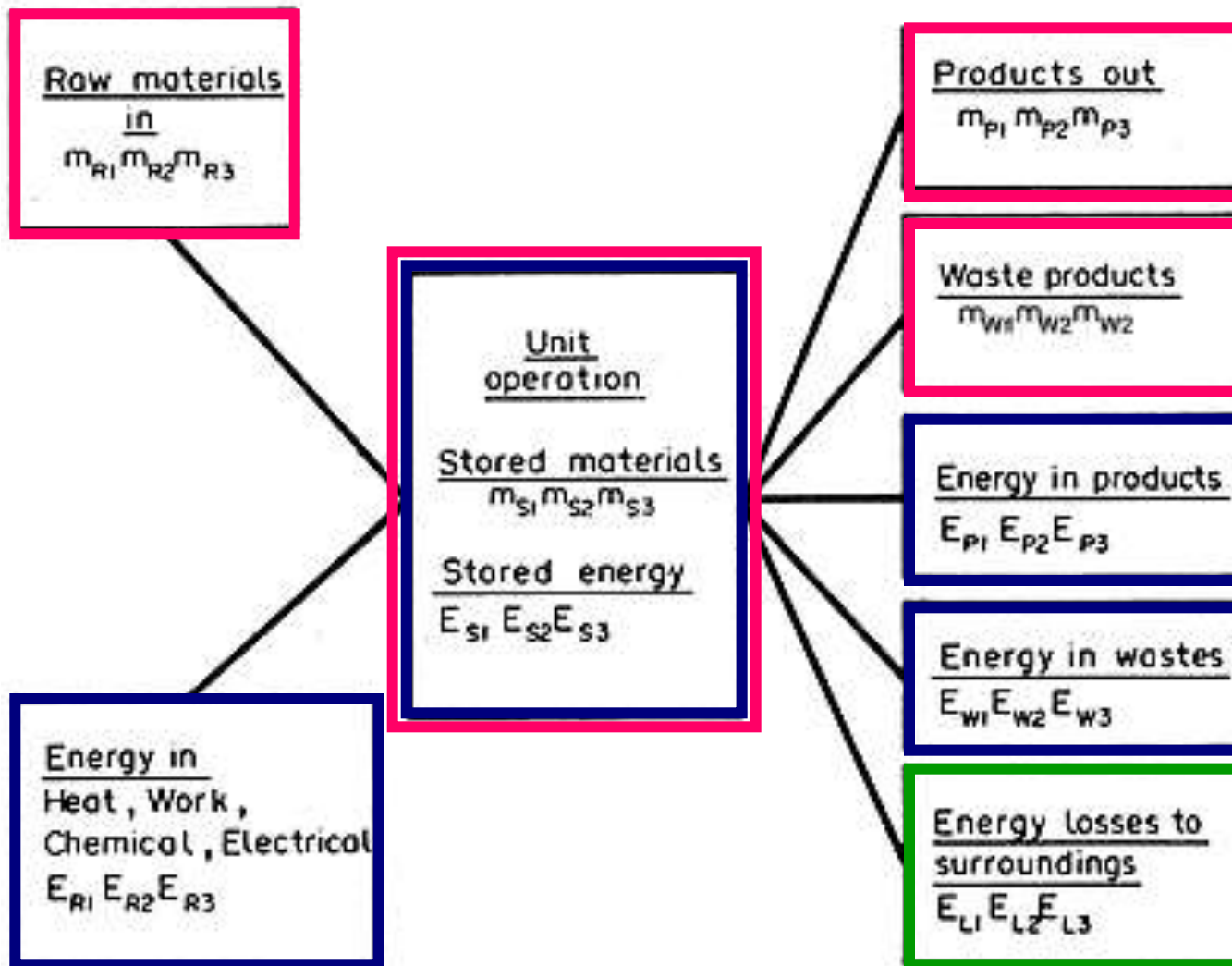
Brezdimenzijska razmerja iz enakega razloga pogosto uporabljamo pri študiju transportnih pojavov: prenos toplote , prenos gibalne količine, prenos snovi.

Razmerja imenujemo brezdimenzijska števila, ki so pogosto dobila ime po različnih avtorjih, ki so jih vpeljali: **Reynoldsovo število**, **Nusseltovo število**, **Prantlovo število**, ... itd. Ta števila bomo obravnavali v naslednjih poglavjih

Masne in energijske bilance

- Masne in energijske bilance izhajajo iz zakonov o ohranitvi mase in energije.
- So zelo pomembne v živilski industriji.
- Masne in energijske bilance so osnova kontrole procesov, načrtovanja procesov in predvsem kontrole vstopnih surovin in izstopnih produktov.
- Bilance omogočajo presoditi ekonomičnost procesov.
- Lahko so enostavne, ali zelo kompleksne, odvisno od tehnološkega procesa.
- Osnovni principi so neodvisni od kompleksnosti procesa
- Njihov namen poleg kontrole je povečati produktivnost in znižati stroške procesa

Masne in energijske bilance: osnovni principi



Masne bilance: osnovni principi

Osnova za masne bilance je zakon o ohranitvi mase:

Vstopna masa = izstopna masa + akumulacija mase

Surovine (**R**) = Produkti (**P**) + Odpadek(**W**) + akumulirani materiali(**S**)

$$\Sigma m_R = \Sigma m_P + \Sigma m_W + \Sigma m_S$$

$$\Sigma m_R = m_{R1} + m_{R2} + m_{R3} + \dots = \text{vsota vseh surovin (Raw Materials)}$$

$$\Sigma m_P = m_{P1} + m_{P2} + m_{P3} + \dots = \text{vsota vseh produktov (Products)}$$

$$\Sigma m_W = m_{W1} + m_{W2} + m_{W3} + \dots = \text{vsota vseh odpadkov (Waste Products)}$$

$$\Sigma m_S = m_{S1} + m_{S2} + m_{S3} + \dots = \text{vsota akumuliranega materiala (Stored Materials)}$$

Masne bilance: osnovni principi

Če ni kemijskih sprememb v procesu velja zakon o ohranitvi mase tudi za posamezne komponente v materialu

Komponenta A (vstopa) = komponenta A, (izstopa) + komponenta A (se akumulira)

Primer: proizvodnja sladkorja

Če celotna količina sladkorja, ki vstopa v proces v sladkornem trsu ali sladkorni pesi **ni enaka** celotni količini prečiščenega sladkorja in sladkorja v odpadku, se je nekaj sladkorja zažgalo (kemijske spremembe), akumuliralo v procesu, ali pa je prišlo do ne-poznanih izgub.

V tem primeru je masna bilanca:

$$(m_A) = (m_{AP} + m_{AW} + m_{AS} + m_{AU})$$

pri čemer je m_{AU} neznana izguba, ki jo je treba definirati

Torej je masna bilanca:

**Komponenta A (vstopa) =
= komponenta A, (izstopa) + komponenta A (se akumulira) + komponenta A (izgube)**

Energijske bilance: osnovni principi

Energija (vstop) = Energija (izstop) + shranjena Energija

$$\Sigma E_R = \Sigma E_P + \Sigma E_W + \Sigma E_L + \Sigma E_S$$

Kjer je:

$$\Sigma E_R = E_{R1} + E_{R2} + E_{R3} + \dots = \text{Vsota energije ki vstopa}$$

$$\Sigma E_P = E_{P1} + E_{P2} + E_{P3} + \dots = \text{Vsota energije ki zapušča proces s produkti}$$

$$\Sigma E_W = E_{W1} + E_{W2} + E_{W3} + \dots = \text{Vsota energije, ki zapušča proces z odpadnimi produkti}$$

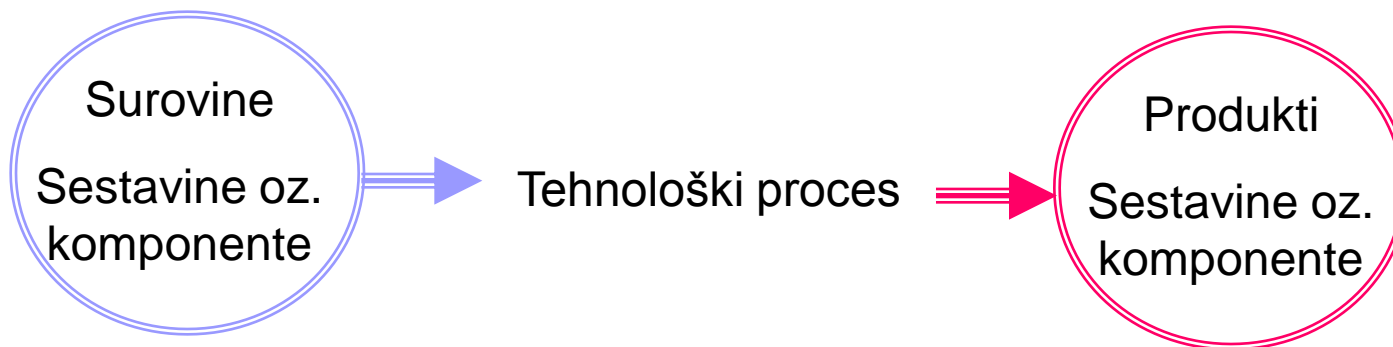
$$\Sigma E_L = E_{L1} + E_{L2} + E_{L3} + \dots = \text{vsota energije, ki se izgubi v okolico}$$

$$\Sigma E_S = E_{S1} + E_{S2} + E_{S3} + \dots = \text{vsota shranjene energije v procesu}$$

Energijske bilance so navadno bolj kompleksne, ker se oblike energij med sabo pretvarjajo: npr. mehanska v toplotno.

Vsekakor pa mora seštevek energij biti na obeh straneh enak

Masne bilance: celokupna in komponenta bilanca



Primer 1: posneto mleko

surovina: mleko \Rightarrow tehnološki proces \Rightarrow produkt. posneto mleko + maščoba

Izračunaj sestavo mleka v ut. %, ki vsebuje 4.5 ut.% maščobe, če ima posneto mleko naslednjo sestavo:

sestavine	ut. %
voda	90.5
proteini	3.5
ogl. hidrati	5.1
maščoba	0.1
netopno	0.8

$$ut\% = m_a / m$$

Surovina : mleko: $(100 + x)$ kg

maščoba: $(0.1 + x)$ kg

$$ut. \text{ delež mašč.} = 0.045 = \frac{(0.1 + x)}{(100 + x)}$$

$$x = 4.6 \text{ kg}$$

celokupna masa = 104.6 kg

100 kg posnetega mleka: 0.1 kg maščobe

Masne bilance: celokupna in komponenta bilanca

Primer 1: posneto mleko

surovina: mleko \Rightarrow tehnološki proces \Rightarrow produkt. posneto mleko + maščoba

Utežna sestava mleka z 4.5 ut% maščobe = ut% = m_a/m

sestavine	mleko ut. %	posneto mleko ut. %
voda		90.5
proteini		3.5
oglj. hidrati		5.1
maščoba		0.1
netopno		0.8

voda: 90.5 kg/104.6kg

proteini: 3.5 kg/104.6 kg

oglj. hidrati: 5.1 kg/104.5 kg

netopno.: 0.8kg/104.6kg

Masne bilance: koncentracije

Sestavo surovin in produktov izražamo na različne načine:

utežni delež = $m_i/\Sigma m_i$	utežna koncentracija
volumski delež = $V_i/\Sigma V_i$	volumska koncentracija
molski delež = $n_i/\Sigma n_i$	molska koncentracija
masa/volumen	

Primer 2: Vodna raztopina soli (NaCl) pripravimo iz 20 kg soli in 100 kg vode. Gostota te raztopine je 1323 kg/m^3 . Izračunaj (a) utežni delež, (b) maso/volumen (c) molski delež in (d) molsko koncentracijo.

(a) utežni delež: $m_i/\Sigma m_i = \frac{20}{100+20} = \underline{0.167}$

(b) masa/volumen: 1 m^3 raztopine ... 1323 kg ; torej $0.167 \times 1323 \text{ kg} = \underline{220.5 \text{ kg soli/m}^3}$

(c) molski delež: $n_i/\Sigma n_i = 0.34/(0.34+5.56) = \underline{0.058}$

$$n_{\text{voda}} = m/M = 100/18 = 5.56$$

$$n_{\text{sol}} = m/M = 20/58.6 = 0.34$$

(d) molska koncentracija: $\frac{220.5 \text{ kg/m}^3}{58.5 \text{ kg/kmol}} = 3.77 \text{ kmol/m}^3 = \underline{3.77 \text{ mol/L}}$

Masne bilance: koncentracije

Pri preračunu koncentracij plinskih mešanic je treba upoštevati splošni plinski zakon :

$$pV = nRT$$

R... splošna plinska konstanta = 8.314 J/mol K oz. $0.0826 \text{ L atm / mol K}$

Primer 3 sestava zraka: ob poenostavitvi, da se zrak sestoji iz 77 ut% N_2 in 23 ut% O_2

Izračunaj:

(a) Povprečno molsko maso zraka : $n = \frac{m}{M} \Rightarrow M = \frac{m}{n}$

$$\text{lahko tudi } M_{\text{zrak}} = m/n = 100\text{g}/3.46 \text{ mol} = \underline{28.8 \text{ g/mol}} \quad m = (77+23)\text{g}$$

$$n_{\text{N}_2} = 77/28 = 2.75 \text{ mol} \quad \text{in} \quad n_{\text{O}_2} = 23/32 = 0.72 \text{ mol} \quad n = 2.75 + 0.72 = 3.47 \text{ mol}$$

(b) molski delež kisika: $x_i = n_i / \sum n_i$

$$x_{\text{O}_2} = \frac{0.72}{2.75 + 0.72} = \underline{0.21}$$

(c) Koncentracijo kisika v mol/m^3 in kg/m^3 pri 1.5 atm in 25°C

$$n_{\text{zrak}} = pV/RT = 1.5 \text{ atm} \times 1\text{m}^3 \times 10^3 \text{ L/m}^3 / (0.0826 \text{ L}^3 \text{ atm mol}^{-1}\text{K}^{-1} \times 298\text{K}) = 61 \text{ k mol}$$

$$m_{\text{zrak}} = n_{\text{zrak}} \times M_{\text{zrak}} = 61 \text{ mol} \times 28.8 \text{ kg/kmol} = 1.76 \text{ kg}$$

$$m_{\text{O}_2} = 0.23 \text{ ut\%} \times 1.76 \text{ kg} = 0.4 \text{ kg sledi koncentracija } \text{O}_2 = \underline{0.4 \text{ kgO}_2/\text{m}^3\text{zraka}}$$

$$n_{\text{O}_2} = 0.4 \text{ kg} / 32 \text{ kg/k mol} = 0.013 \text{ sledi koncentracija } \text{O}_2 = \underline{13 \text{ mol O}_2/\text{m}^3 \text{ zraka}}$$

Masne bilance:

v tehnološki proces vpeljemo časovno komponento

Kontinuirno obratovanje:

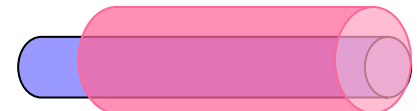
Surovine neprestano uvajamo v proces produkte neprestano jemljemo iz procesa

Pri takem postopku ločimo dva obdobja:

Začetna faza: je prehodno obdobje, nestacionarno stanje
poteče nekaj časa, da se sistem prilagodi obratovalnim pogojem

Proces poteka pri stacionarnih pogojih:
s časom se koncentracije produktov in pogoji obratovanja ne spreminjajo.

Primer: ogrevanje vode z dvocevnim toplotnim menjalnikom



Notranja cev: hladna voda, ki se ogreva (obratovalni parametri se s časom ne spreminjajo: temperaturna razlika vstop-izstop, pretok vode)

Zunanja cev: ogrevalni medij (tekočina para), ki se hladi (obratovalni parametri se s časom ne spreminjajo: temperaturna razlika vstop-izstop, pretok medija)

Temperaturna razlika vzdolž menjalnika se s časom ne spreminja

Proces je stacionaren - pomembno pri inženirskih izračunih

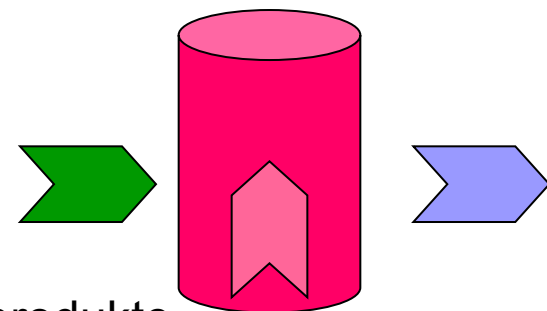
Masne bilance:

v tehnološki proces vpeljemo časovno komponento

Šaržno obratovanje:

Surovine vstopijo v proces, ki poteče in se zaključi, dobimo produkte

Poteka pri nestacionarnih pogojh. Med procesom se masa, sestave in obratovalni pogoji spreminjajo.



Primer: ogrevanje vode z grelcem

Toplotni tok grelca vseskozi dovaja enako količino toplote

Voda se ogreva: med procesom se s časom spreminja temperatura vode in posledično njena viskoznost, gostota pomešanje itd.

Proces je nestacionaren, treba je upoštevati časovno komponento

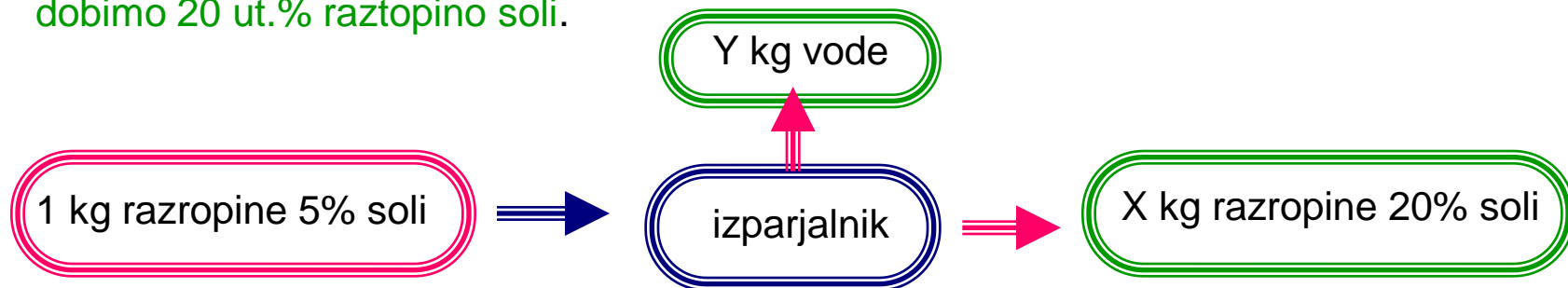
Kako hitro se proces odvija?

Masne bilance: kontinuirni v tehnološki proces

Poleg kontrole celotnega postopka uporabljamo masne bilance za določitev koncentracij in tokovnih hitrosti v posameznih stopnjah procesa.

Pri nastavljanju masne bilance moramo vedno najprej opredeliti sistem in določiti osnovo. Za vsako neznano količino je treba nastaviti po eno neodvisno enačbo.

Primer 4: Koliko vode na uro je potrebno kontinuirno izpariti iz raztopine z 5ut.% soli, da dobimo 20 ut.% raztopino soli.



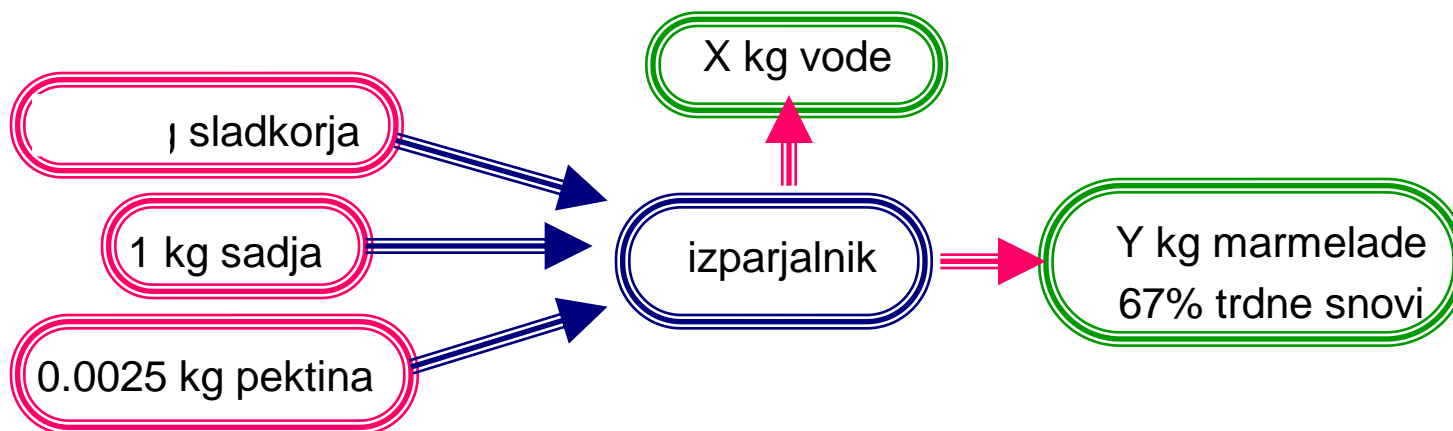
Masna bilanca za celotno snov: $1 \text{ kg} = X + Y$

Masna bilanca za sol: $0.05 \times 1 \text{ kg} = 0.2 \times X \text{ kg} + 0 \times Y \text{ kg}$

V eni uri dobimo: $X = 0.25 \text{ kg}$ 20% raztopine in $Y = 0.75 \text{ kg}$ vode

Masne bilance: kontinuirni v tehnološki proces

Primer 5: Pri izdelavi marmelade se zdrobljeno sadje pomeša z zadostno količino sladkorja, da dobimo 45 ut. delov sadja in 55 ut. delov sladkorja. Poleg tega se doda še 250g pektina /100 kg sadja. Mešanico se izpareva toliko časa, da se dobi v marmeladi 67ut.% topnih trdnih snovi. Koliko marmelade dobimo iz sadja, ki vsebuje 14 ut.% topnih trdnih snovi.



Rešitev mora biti izražena s kg marmelade, zato kot osnovo vzamemo 1 kg sadja

45 delov sadja : 55 delov sladkorja... za 1 kg sadja = $55/45 = 1.22$ kg sladkorja.

Masna bilanca za celotno snov: $1.22 \text{ kg} + 1 \text{ kg} = X + Y$ (pektin zanemarimo)

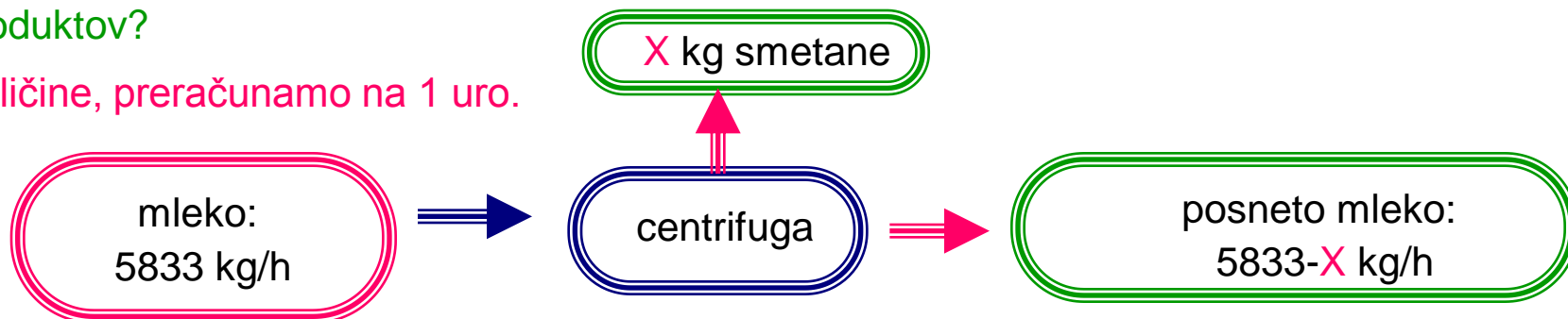
Masna bilanca za trdno snov: $0.14 \text{ kg} + 1.22 \text{ kg} = 0.67 \times Y \text{ kg} + 0 \times X \text{ kg}$

Na 1 kg sadja dobimo: $Y = 2.03$ kg marmelade in $X = 0.19$ kg vode, ki jo izparimo

Masne bilance: kontinuirni v tehnološki proces

Preimer 6: Separacija mleka v posneto mleko in smetano s kontinuirnim procesom centrifugiranja. V 6 urah 35000 kg mleka, ki vsebuje 4 ut.% maščob ločimo na posneto mleko z 0.45 ut% maščobe in smetano (45 ut% maščobe). Kakšni so pretoki izstopnih produktov?

Količine, preračunamo na 1 uro.



Vstop:

Celokupna masa: $35000/6 = 5833$ kg

Celokupna maščoba: $5833 \times 0.04 = 233$ kg

Ostale komponente: $5833 - 233 = 5600$ kg

Masna bilanca za maščobo:

$m_{\text{maščoba vstop}} = m_{\text{maščoba izstop}}$

$5833 \times 0.04 = X \times 0.45 + (5833 - X) \times 0.0045$

$X = 465$ kg

Pretok smetane je 465 kg/h, pretok posnetega mleka je $5833 - 465 = 5368$ kg/h

Izstop:

Smetana : X

Maščoba v smetani: $X \times 0.45$

Posneto mleko: $5833 - X$

Maščoba v posnetem mleku: $(5833 - X) \times 0.0045$

Masne bilance: mešanje komponent

Primer 7: mešanje sesekljanega mesa. V proizvodnji sesekljanega mesa pripravljajo zmes, ki vsebuje 15% maščobe. Kot surovino uporabljajo goveje kravje meso z 23 ut% maščobe in bikovo meso z 5 ut% maščobe. Kakšno mora biti razmerje surovin?

Celokupna masna bilanca: $A+B = C$

Komponentna masna bilanca: $aA + bB = cC$

Vstopni komponenti: A: kravje meso $a = 0.23$ in B: bikovo meso $b = 0.05$

$$A+B = 100 \text{ kg}$$

$$aA + b(100 - A) = 100c$$

$$0.23A \text{ kg} + 0.05(100-A) = 100 \times 0.15$$

Izračunamo $A = 55.6 \text{ kg}$ in $B = 100 - 55.6 = 44.4 \text{ kg}$

Masne bilance: izračun dobitka procesa

Primer 8: Za pripravo paradižnikovega koncentrata paradižniku odparimo vodo. Vstopna surovina vsebuje 14 ut.% trdne snovi, koncentrat pa 93% trdne snovi. Kakšen je dobitek produkta iz 1000 kg surovega paradižnika, če privzamemo, da se 8 ut% surovega paradižnika izgubi pri luščenju.

Vstopa: surovina paradižnik

z 14 ut% trdnega:

1000 kg = 140 kg trd. + 860kg vode

luščenje paradižnika

8 ut% odpadka

80 kg odpadka =

69 kg vode + 11 kg trd.

Očiščen paradižnik: 920 kg

14 ut% trdnega

129 kg trdnega + 791 vode

izparela voda
 $791 - 10 \text{ kg} = 781 \text{ kg}$

Odparevanje vode

Produkt:

93 ut% trdnega

7ut% vode

$129 / 0.93 = 139 \text{ kg}$

129 trdno + 10 kg vode

Masa ki vstopa: 140 kg trd + 860 vode = 1000 kg

Masa ki izstopa:

Oluščeno: 80 kg = 69 kg vode + 11 kg trdno

Koncentrat: 139kg = 10 kg vode+ 129 trdno

Izparela voda: 781 kg

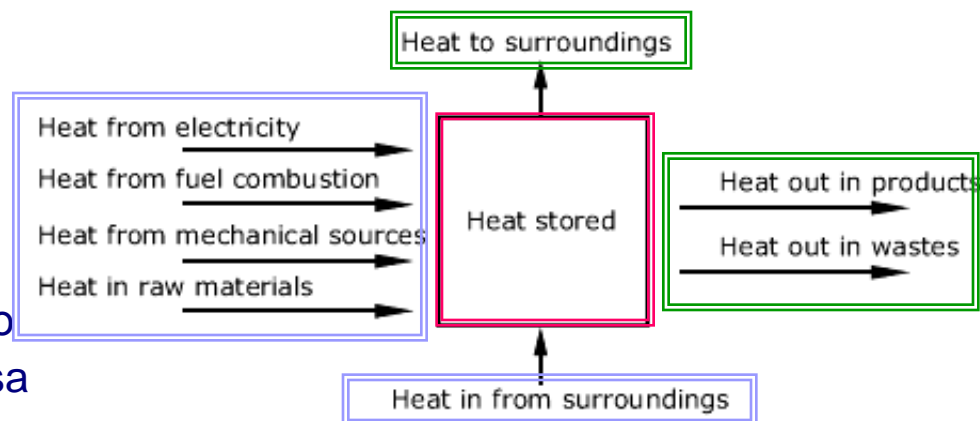
Voda ki izstopa: 781 kg + 69 kg + 10 kg = 860 kg

Trdno ki izstopa: 129 kg + 11kg = 140 kg

Dobitek: $139 \text{ kg} / 1000 \text{ kg} = 0.14 = 14\%$

Energijske bilance:

Namen in uporaba energijskih bilanc je podobna namenu in uporabi masnih bilanc. Za definicijo energijskih bilanc lahko upoštevamo celoten proces, bolj pogosto pa samo del procesa ki ga moramo omejiti z natančnimi mejami.



Energijske bilance lahko zapišemo glede na toploto, ki v sistem vstopa in ga zapušča s produkti in izgubami

Ker energija nastopa v zelo različnih oblikah (toplota, delo, notranja energija, entalpija, mehanska energija, električna, kemična itd.) je pri nastavitvi bilance za nek sistem treba upoštevati vse oblike energije in pretvorbe ene oblike v drugo.

Celotna energijska bilanca:

$$H_1 + ME_1 + C_1 + G_1 + Q + W = H_2 + ME_2 + C_2 + G_2$$

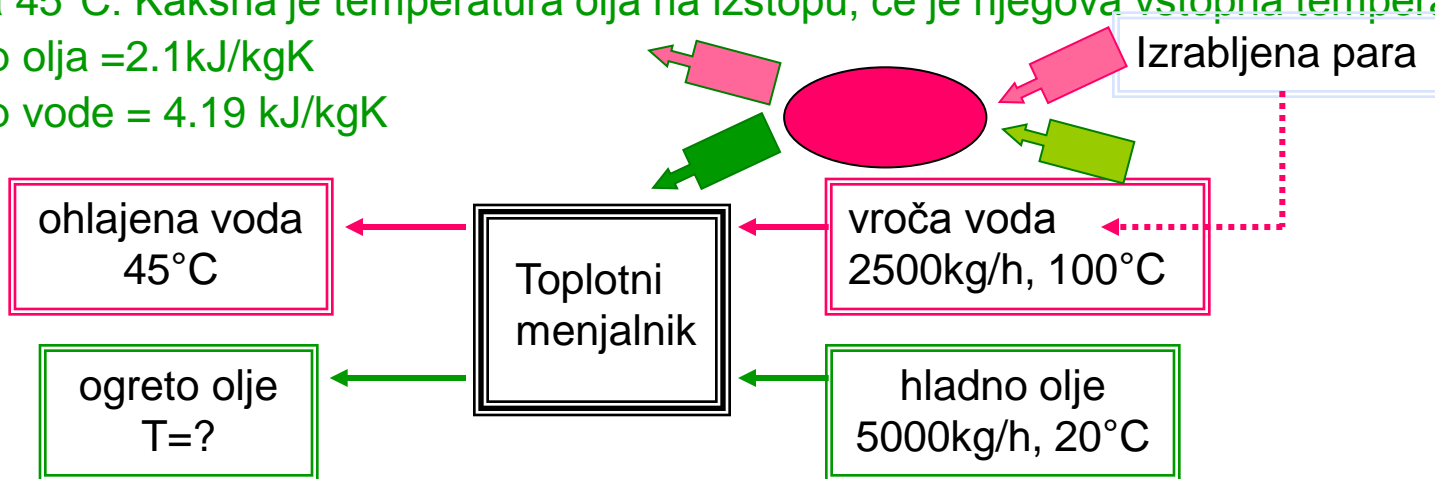
H	entalpija
ME	mehanska energija
C	kemična energija
G	električna energija
Q	toplota
W	delo

Energijske bilance: kontinuirni proces

Primer 9: V tovarni se surovo rastlinsko olje predgreje v protitočnem cevnem toplotnem menjalniku. Masni pretok olja je 5000 kg/h. Ogrevalni medij je vroča voda, ki jo dobimo iz izrabljene odpadne vodne pare iz kotlarne v tovarni. Masni pretok vroče vode skozi izmenjevalec je 2500 kg/h. Vroča voda vstopa v sistem pri 100 °C in se me procesom ohladi na 45 °C. Kakšna je temperatura olja na izstopu, če je njena vstopna temperatura 20 °C

C_p olja = 2.1 kJ/kgK

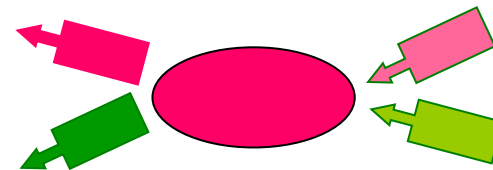
C_p vode = 4.19 kJ/kgK



V sistemu ni pretvorbe ene oblike energije v drugo, edina oblika energije je toplota oz.entalpija. $\Delta H = m c_p \Delta T$ (J)

Zanima nas sprememba entalpije, zato lahko referenčno temperaturo izberemo poljubno. Najprimernejša temp. je 20 °C, ker je najnižja. Surovo olje, ki vstopa s temperaturo 20 °C smatramo, da je njegova entalpija enaka nič

Energijske bilance: kontinuirni proces



Primer 9:

vstopne entalpije: $H = m c_p \Delta T$

voda (za 1 uro): $T = 100\text{ }^\circ\text{C}$ $H_1 = 2500\text{ kg} \times 4.19\text{ kJ kg}^{-1}\text{ K}^{-1} \times (100-20)\text{K} = 838000\text{ kJ}$

olja (za 1 uro): $T = 20\text{ }^\circ\text{C}$ $H_1 = 5000\text{ kg} \times 2.1\text{ kJ kg}^{-1}\text{ K}^{-1} \times (20-20)\text{K} = 0$

Izstopne entalpije: $H = m c_p \Delta T$

voda (za 1 uro): $T = 100\text{ }^\circ\text{C}$ $H_1 = 2500\text{ kg} \times 4.19\text{ kJ kg}^{-1}\text{ K}^{-1} \times (45-20)\text{K} = 261875\text{ kJ}$

olja (za 1 uro): $T = 20\text{ }^\circ\text{C}$ $H_1 = 5000\text{ kg} \times 2.1\text{ kJ kg}^{-1}\text{ K}^{-1} \times (T - 20)\text{K} = \text{izr. iz energijske bilance}$

energijska bilanca: $\Delta H_{\text{vstop}} = \Delta H_{\text{izstop}}$

$$\text{VODA: } 838000\text{ J} - 261875\text{ J} = 576125\text{ J}$$

Vstop: $838000\text{ J} + 0\text{ J} = \text{izstop: } 261875\text{ J} + 10500\text{ J/K} \times (T-20) \Rightarrow \underline{T = 75\text{ }^\circ\text{C}}$

Krajši postopek: vstopna toplota = izstopni toploti

$$(m c_p \Delta T)_{\text{voda}} = (m c_p \Delta T)_{\text{olja}} \Rightarrow T_{\text{olja}} = \frac{(m \cdot c_p \cdot \Delta T)_{\text{voda}}}{(m \cdot c_p)_{\text{olja}}}$$

$$\Delta T_{\text{olja}} = (2500\text{ kg} \times 4.19\text{ kJ/kg K} \times 55\text{ K}) / (5000\text{ kg} \times 2.1\text{ kJ/kg K})$$

$$\Delta T_{\text{olja}} = 55\text{ K} \Rightarrow \text{torej } \underline{T_{\text{olja}} = 75\text{ }^\circ\text{C}}$$

Energijske bilance: učinkovitost procesa

Primer 10: Toplotna bilanca pri sušenju kazeina - izračun učinkovitosti ogrevanja

Pri sušenju kazeina (fosforoprotein v mleku) uporabljamo za ogrevanje zemeljski plin. Sušilnik porabi $4\text{ m}^3/\text{h}$ zemeljskega plina s kalorično vrednostjo 800 kJ/mol (pri standardnih pogojih). V sušilnik vstopa kazein z $55\text{ ut.}\%$ vlage. V eni uri se med procesom osuši 60 kg vstopnega kazeina na $10\text{ ut.}\%$ vlage. Ocenite termično učinkovitost procesa, če predpostavimo, da gre le za izhlapevanje vode iz materiala.

Energijsko bilanco opredelimo z 1 uro proizvodnje

(a) **Koliko vode je treba odpariti:** celokupna voda: $m_v = 60\text{ kg} \times 0.55 = 33\text{ kg}$

$$\text{suhi kazein} \quad m = 60 - 33 = 27\text{ kg}$$

Kazein z 10% vlažnostjo: $27 \dots 90\%$; $\Rightarrow 30\text{ kg} = 100\%$ $\Rightarrow m$ vode ki ostane = 3 kg

$$m \text{ vode iz izparitev} = 33 - 3 = 30\text{ kg}$$

(b) **Potrebna energija :**

voda:

$$\Delta H_{\text{izp}} \text{ za vodo pri } 100^\circ\text{C} = 2257\text{ kJ/kg} \Rightarrow E = 2257\text{ kJ/kg} \times 30\text{ kg} = \underline{6.77 \times 10^4\text{ kJ}}$$

(c) **Porabljena energija**

zemeljski plin: $4\text{ m}^3/\text{h} \Rightarrow \Delta H = 800\text{ kJ/mol}$

koliko molov : standardni pogoji, idealen plin $T=0^\circ\text{C}$ $P=1\text{ atm} = 1.013\text{ bar}$,

molski volumen: $22.4\text{ L} = 0.0224\text{ m}^3 \Rightarrow 4\text{ m}^3 \text{ plina} = 4\text{ m}^3 / 0.0224\text{ m}^3 = 178.6\text{ mol}$

$$E = 800\text{ kJ/mol} \times 178.6\text{ mol} = \underline{14.286 \times 10^4\text{ kJ}}$$

$$\underline{\text{Učinkovitost} = \text{potrebna toplota} / \text{porabljena toplota} = 6.77 \times 10^4\text{ kJ} / 14.286 \times 10^4\text{ kJ} = 0.48 = 48\%}$$

SOME PROPERTIES OF LIQUIDS

	Thermal conductivity	Specific heat	Density	Viscosity	Temperature
	($\text{J m}^{-1} \text{s}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)	($\text{kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)	(kg m^{-3})	(N s m^{-2})	($^\circ\text{C}$)
Water	0.57	4.21	1000	1.87×10^{-3}	0
		4.21	987	0.56×10^{-3}	50
	0.68	4.18	958	0.28×10^{-3}	100
Sucrose 20% soln.	0.54	3.8	1070	1.92×10^{-3}	20
				0.59×10^{-3}	80
60% soln.				6.2×10^{-3}	20
				5.4×10^{-3}	80
Sodium chloride 22% soln.	0.54	3.4	1240	2.7×10^{-3}	2
Acetic acid	0.17	2.2	1050	1.2×10^{-3}	20
Ethyl alcohol	0.18	2.3	790	1.2×10^{-3}	20
Glycerine	0.28	2.4	1250	830×10^{-3}	20
Olive oil	0.17	2.0	910	84×10^{-3}	20
Rape-seed oil			900	118×10^{-3}	20
Soya-bean oil			910	40×10^{-3}	30
Tallow			900	18×10^{-3}	65
Milk (whole)	0.56	3.9	1030	2.12×10^{-3}	20
Milk (skim)			1040	1.4×10^{-3}	25
Cream 20% fat			1010	6.2×10^{-3}	3
30% fat			1000	$13,8 \times 10^{-3}$	3

UNITS AND CONVERSION FACTORS

Length	1 inch	= 0.0254 m
	1 ft	= 0.3048 m
Area	1 ft ²	= 0.0929m ²
Volume	1 ft ³	= 0.0283 m ³
	1 gal Imp	= 0.004546 m ³
	1 gal US	= 0.003785 m ³ = 3.79 l
	1 litre	= 0.001 m ³
Mass	1 lb	= 0.4536 kg
	1 mole	molecular weight in kg
Density	1 lb/ft ³	= 16.01 kg m ⁻³
Velocity	1 ft/sec	= 0.3048 m s ⁻¹
Pressure	1 lb/m ²	= 6894 Pa
	1 torr	= 133.3 Pa
	1 atm	= 1.013 x 10 ⁵ Pa
		= 760 mm Hg
Force	1 Newton	= 1 kg m s ⁻²
Viscosity	1 cP	= 0.001 N s m ⁻² = 0.001 Pa s
	1 lb/ft sec	= 1.49 N s m ⁻² = 1.49 kg m ⁻¹ s ⁻²

UNITS AND CONVERSION FACTORS

Energy	1 Btu	= 1055 J
	1 cal	= 4.186 J
Power	1 kW	= 1 kJ s ⁻¹
	1 horsepower	= 745.7 W = 745.7 J s ⁻¹
	1 ton refrigeration	= 3.519 kW
Heat-transfer coefficient	1 Btu ft ⁻² h ⁻¹ °F ⁻¹	= 5.678 J m ⁻² s ⁻¹ °C
Thermal conductivity	1 Btu ft ⁻¹ h ⁻¹ °F ⁻¹	= 1.731 J m ⁻¹ s ⁻¹ °C ⁻¹
Constants	π	3.1416
	σ	$5.73 \times 10^{-8} \text{ J m}^{-2\text{s}^{-1}} \text{ K}^{-4}$
	e	2.7183
	R	8.314 kJ mole ⁻¹ K ⁻¹ or 0.08206 m ³ atm mole ⁻¹ K ⁻¹

(M) Mega = 10⁶,

(k) kilo = 10³,

(m) milli = 10⁻³,

(μ) micro = 10⁻⁶

Temperature unit (°F) = 5/9 (°C) = 5/9 (K)



Mehanika fluidov

Statika tekočin. Tekočine v gibanju.

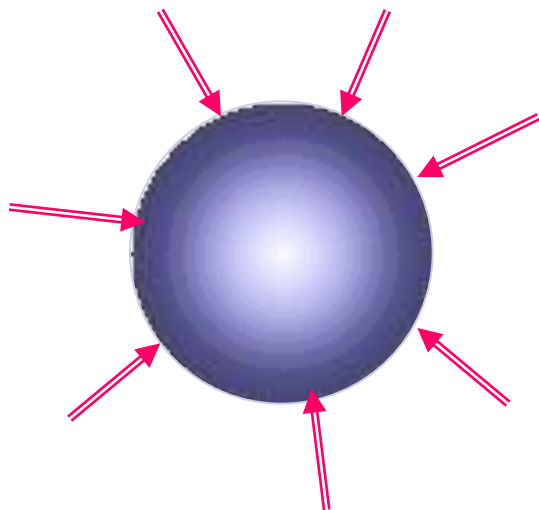
Lastnosti tekočin,

Viskoznost.

Reološki modeli in reološka karakterizacija tekočin

Statika tekočin

Če tekočina miruje, so vse sile, ki delujejo na tekočino v ravnotežju.



Masne – volumske sile:

masa tekočine zavzema nek volumen

Tekočina ima maso, na katero delujejo zunanji vplivi: gravitacijsko polje, centrifugalno in magnetno polje, pospešek,...

Površinske sile: so sile, ki delujejo neposredno na neko dejansko ali namišljeno površino na meji tekočine ali na delec v tekočini.

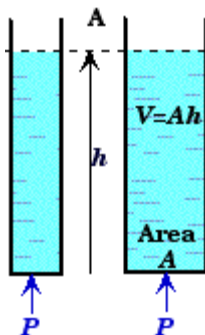
Če deluje sila **tangencialno** (v smeri ploskve, ko imenujemo **strižna sila**). Strižnim silam se tekočina ne more upirati, povzroča gibanje tekočine, v tekočini se pojavijo strižne napetosti, zato **tekočina “teče”**.

Če **tekočina miruje** so strižne napetosti enake 0. Sila, ki deluje pravokotno na površino se imenuje **sila tlaka**. Pri mirovanju je edina sila na delec tekočine površinska sila – sila tlaka

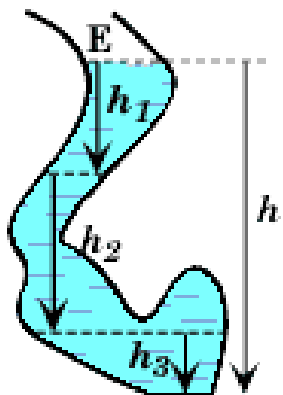


Statika tekočin

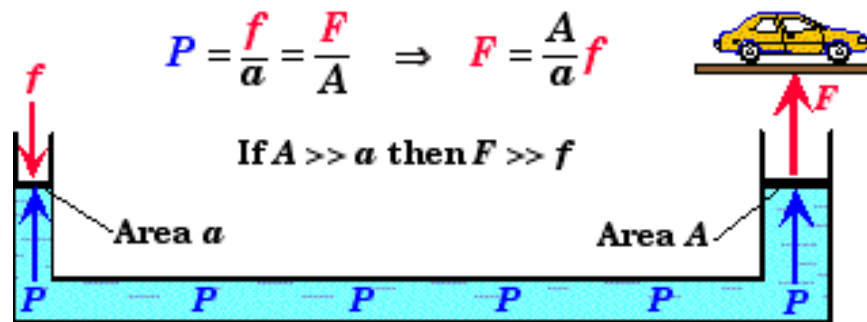
Hidrostatski tlak tekočine:



$$P = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot V \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot A \cdot h \cdot g}{A} = \rho \cdot g \cdot h$$



$$\begin{aligned} P &= \rho g h_1 + \rho g h_2 + \rho g h_3 \\ &= \rho g (h_1 + h_2 + h_3) \\ &= \rho g h \end{aligned}$$



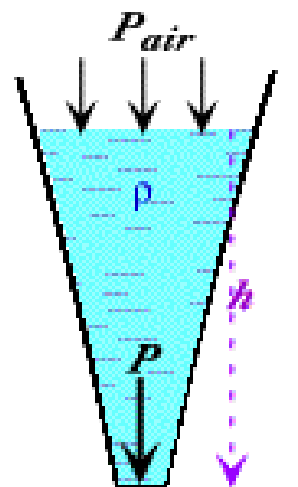
Hidravlična črpalka za dviganje avtomobila

Statika tekočin

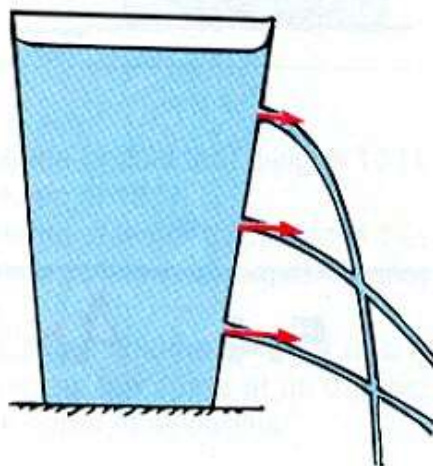
Tlak je odvisen le od globine tekočine in jene gostote.

Celokupen tlak na dnu posode:

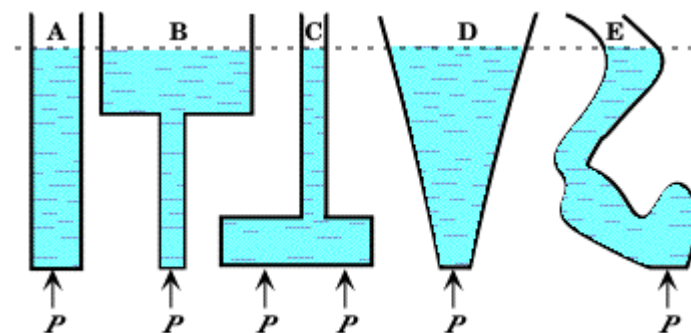
$$P = P_0 + \rho \cdot g \cdot h$$



$$P = \rho g h + P_{air}$$



Tlak z globino narašča



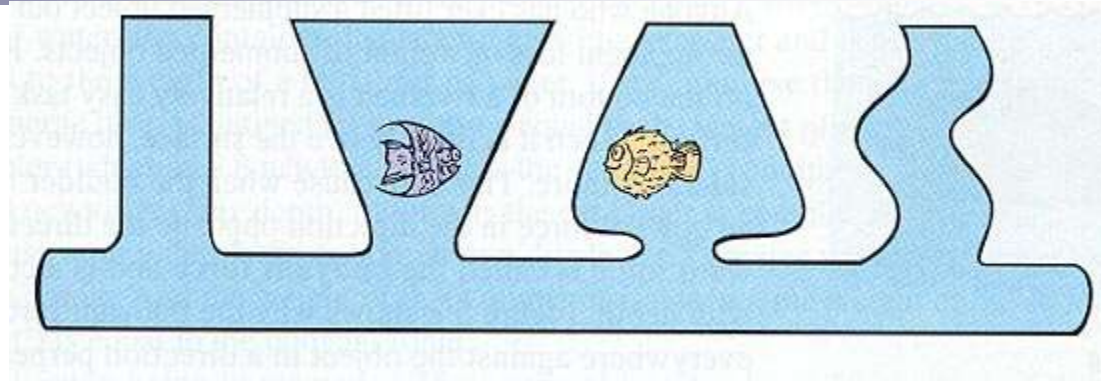
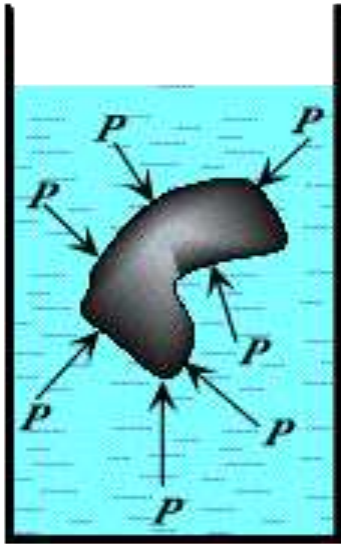
Tlak na dnu vseh posod je enak:

Ni odvisen od oblike in količine tekočine v posodi, ker je definiran kot sila na enoto površine.

Tekočina ne podpira sama sebe brez podpore posode, na enaki globini tekočine je tlak porazdeljen po tekočini in robovih posode, ki jo omejujejo.

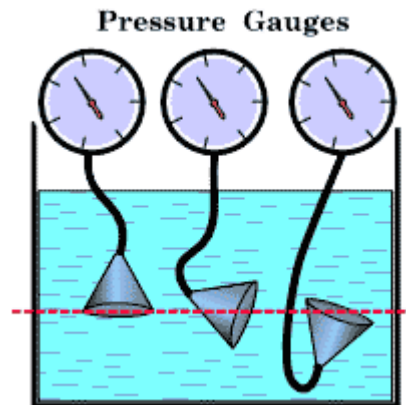
Trditve veljajo dokler je tekočina nestisljiva, ko je gostota konstantna.

Statika tekočin



Tlak pri katerikoli globini tekočine je neodvisen od smeri. Torej, tlak **ni vektor**, ker ni vezan na smer delovanja, dokler ni v kontaktu s površino.

Vendar, je tlak na potopljen objekt vedno deluje pravokotno na površino.



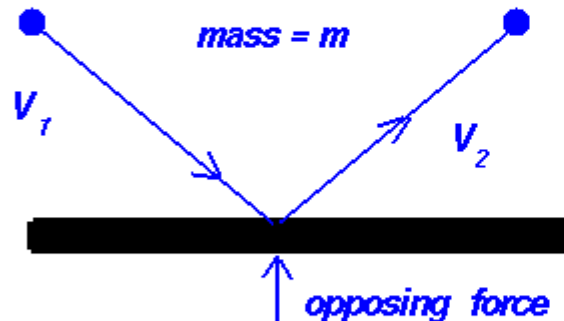


Gas Pressure



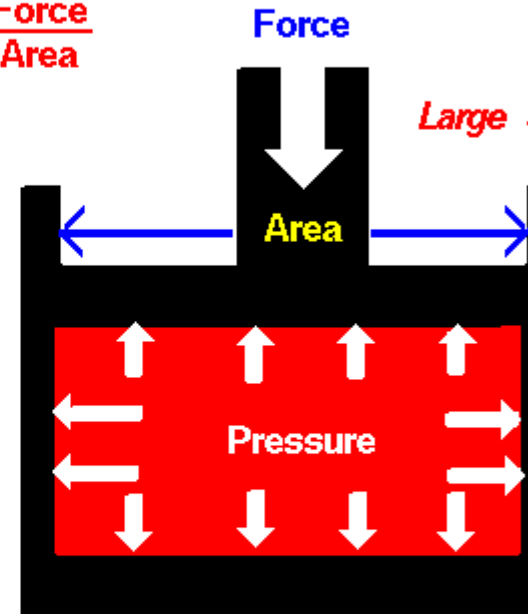
Pressure is $\frac{\text{Force}}{\text{Area}}$

Small Scale



Pressure is a measure of the linear momentum of the gas molecules.

Large Scale



Pressure force acts perpendicular to enclosing surfaces.

Pressure is a scalar quantity.
(magnitude, no direction)