



FKITMCMXIX

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet kemijskog  
inženjerstva i tehnologije



# BILANCA TVARI I ENERGIJE

**Prof. dr. sc. Bruno Zelić**  
**E-adresa: [bzelic@fkit.hr](mailto:bzelic@fkit.hr)**

# Literatura uz kolegij

---

1. **M. Brezinščak: “Mjerenje i računanje u tehnici i znanosti”, Tehnička knjiga, Zagreb, 1966.**
2. **T. Cvitaš, N. Kallay: “Fizičke veličine i jedinice međunarodnog sustava”, Školska knjiga, Zagreb, 1981.**
3. **Z. Dugi, I. Lovreček: “Osnove kemijskog računanja”, Školska knjiga, Zagreb, 1973.**
4. **D. M. Himmelblau, “Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering”, Prentice Hall, New Jersey, 1982.**
5. **R. M. Felder and R. W. Rousseau, “Elementary Principles of Chemical Processes”, J. Wiley, New York, 2000.**

# OBAVIJESTI

---

## 1. Konzultacije

**Konzultacije iz kolegija Bilanca tvari i energije održavat će se petkom od 10<sup>00</sup> do 11<sup>00</sup> sati ili po dogovoru.**

# OBAVIJESTI

---

## Predavanja i seminari

Srijeda 8<sup>00</sup> – 11<sup>00</sup> S-1.

Petak 8<sup>00</sup> – 10<sup>00</sup> S-1.

# OBAVIJESTI

---

## 2. Nastava

**Predavanja i seminari su obavezni. Uvjet pristupanja ispitu je prisustvovanje na minimalno 75 % svih nastavnih aktivnosti.**

# OBAVIJESTI

---

## 3. Načini provjere znanja

1. **Parcijalni kolokviji**
2. **Pismeni ispit**

## 4. Parcijalni kolokviji

**Po svakom kolokviju je moguće ostvariti maksimalno 25 bodova. Tri kolokvija tijekom semestra po završetku obrade pojedine nastavne cjeline.**

- 1. kolokvij – 1. travnja 2020.**
- 2. kolokvij – 6. svibnja 2020.**
- 3. kolokvij – 5. lipnja 2020.**

**Kolokvij se ponavlja ako nitko od pristupnika u potpunosti ne riješi postavljeni problem.**

**Uvjet priznavanja rezultata ostvarenih na kolokviju je uredno prisustvovanje nastavi.**

## 5. Dodatni bodovi

- 1. Uredno prisustvovanje nastavi boduje se s maksimalno 5 bodova (75 % - 0 bodova, 100 % 5 bodova)**
- 2. Iz domaćih zadaća moguće je prikupiti maksimalno 20 bodova (10 domaćih zadaća po 2 boda svaka)**



# OBAVIJESTI

---

## 6. a) Ispitni kriterij – oslobađanje od ispita tijekom semestra

**Ukupan broj bodova u semestru: 100**

**Maksimalno ostvareni broj bodova (najbolji student) =  $x$  ( $x = 90$ )**

**Minimalno ostvareni broj bodova = 0**

**Ostvareni broj bodova studenta =  $y$  ( $y = 68$ )**

***Normalizirani broj bodova studenta =  $y/x \cdot 100$  ( $68/90 \cdot 100 = 75$  – ocjena dobar)***

### **\*Bodovi**

**60,00 – 69,99**

**70,00 – 79,99**

**80,00 – 89,99**

**90,00 –**

### **Ocjena**

**dovoljan (2)**

**dobar (3)**

**vrlo dobar (4)**

**odličan (5)**

### **\*normalizirani bodovi**

# OBAVIJESTI

---

## 6. b) Ispitni kriterij – pismeni i usmeni ispit

**Pismeni ispit: 3 računska zadatka**

**Ukupan broj bodova na pismenom ispitu: 3**

**Usmeni ispit: popravljavanje ocjene pismenog ispita**

### **Bodovi**

**1,80 – 2,09**

**2,10 – 2,39**

**2,40 – 2,69**

**2,70 – 3,00**

### **Ocjena**

**dovoljan (2)**

**dobar (3)**

**vrlo dobar (4)**

**odličan (5)**

## 7. Prijava ispita

**Ispit je potrebno prijaviti dva dana prije ispitnog roka.  
Studenti ne mogu pristupiti polaganju ispita bez  
zadovoljenih uvjeta.**

# Cilj kolegija

---

**Upoznati studente s primjenom načela održanja mase i energije na fizikalne, fizikalno-kemijske i biokemijske procese, te ih uvesti u inženjersku procesnu analizu i računanje stacionarnih i nestacionarnih procesa.**

**Usvajanje temeljnih znanja potrebnih za rješavanje praktičnih problema u analizi procesa primjenom inženjerske metodologije.**

# Procesno inženjerstvo

---

- Svrha inženjerske struke je prevođenje znanstvenih spoznaja u praktičnu primjenu.
- Područja procesnog inženjerstva su: istraživanje, razvoj, projektiranje, izvedba i praćenje rada procesa.
- Klasična uloga procesnog inženjera je da otkriće iz laboratorija prenese u industriju razvijajući komercijalni proces koji će stvoriti novac i neće zagađivati okoliš.

# Temeljni pojmovi u procesnom inženjerstvu

---

- **Bilanca**
- **Temeljna načela**
- **Fizičke veličine i jedinice**
- **Prikaz i analiza procesnih podataka**
- **Procesne varijable**
- **Proces**

# Temeljni pojmovi u procesnom inženjerstvu

---

## Bilanca

**Bilanca je riječ koja dolazi iz talijanskog jezika u kojem bilancia (bilanča) znači vaga.**

Primjena temeljnog načela o neuništivosti materije na procese se u inženjerstvu naziva "**BILANCA TVARI**",

a primjena temeljnog načela o neuništivosti energije "**BILANCA ENERGIJE**".

# Temeljni pojmovi u procesnom inženjerstvu

---

## Temeljna načela

### ➤ **Zakon o neuništivosti materije:**

**"Pri svim kemijskim reakcijama ukupna masa reaktivnih komponenata ostaje nepromijenjena."**

*Antoine Laurent Lavoisier 1785., eksperimentalno potvrdili 1908. godine njemački fizikalni kemičar Hans Landolt i 1909. godine mađarski kemičar Roland Eötvös.*

### ➤ **Zakon o neuništivosti energije :**

**"Ukupna energija u nekom zatvorenom sustavu u kojem je onemogućena svaka izmjena energije s okolinom se ne mijenja".**

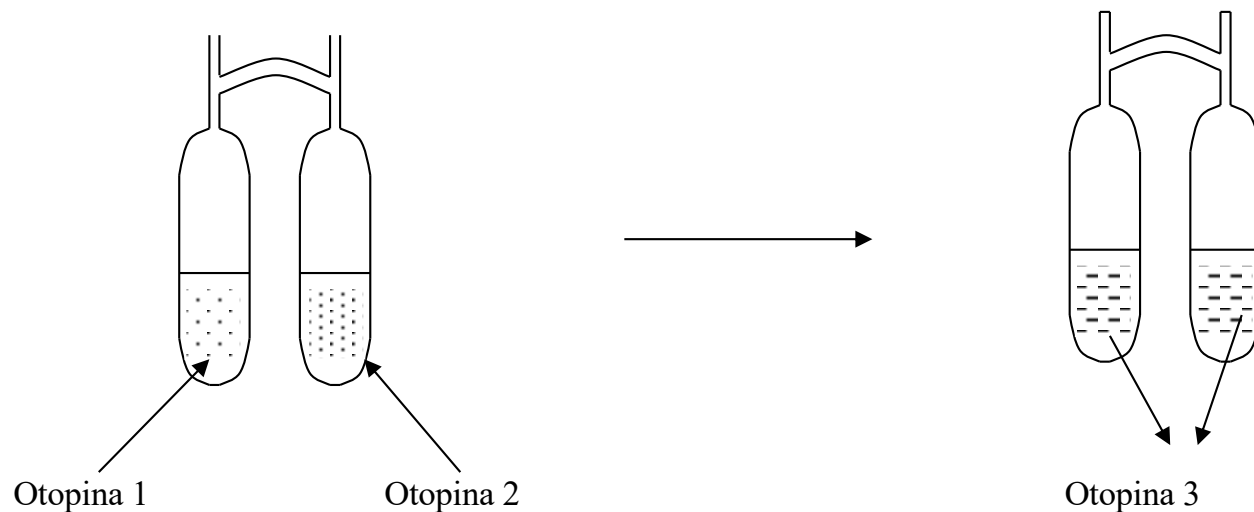
*J. R. Mayer 1842.*



# Temeljni pojmovi u procesnom inženjerstvu

---

## Temeljna načela



**Landoltova posudica za dokazivanje zakona o održanju mase**

# Temeljni pojmovi u procesnom inženjerstvu

---

## Fizičke veličine i jedinice

- Osobina, svojstva, atributi čovjekove predodžbe o prirodnim pojavama se nazivaju fizikalne veličine ili kraće *veličine*.
- Veličine su temeljni pojmovi mjerenja kao duljina -  $l$ , vrijeme -  $t$ , masa -  $m$ , temperatura -  $T$ , a jedinice su načini izražavanja veličina kao metar (m) za duljinu, sekunda (s) za vrijeme.
- Veličina uvijek ima brojčanu vrijednost koja se naziva mjerni broj i jedinicu kao primjerice kg, h, itd.

$$\text{veličina} = \text{mjerni broj} \cdot \text{jedinica}$$

# Temeljni pojmovi u procesnom inženjerstvu

---

## Fizičke veličine i jedinice

**Metoda pridruženja jedinica mjernim brojčanim vrijednostima veličina ima slijedeće prednosti:**

- smanjuje se mogućnost nehotezne zamjene mjernih brojčanih vrijednosti u bilo kojem djelu računanja
- skraćuje se računanje na jednostavan odnos koji postaje rješiv i običnim kalkulatorom
- skraćuje se posredno računanje i štedi vrijeme pri rješavanju problema
- omogućava se logičan pristup problemu koji je jednostavniji od pamćenja formula
- pokazuje se fizikalno značenje mjernog broja.

# Temeljni pojmovi u procesnom inženjerstvu

---

## Fizičke veličine i jedinice

Oznake veličina se pišu kurzivom (italicom), a oznake jedinica običnim slovom.

<u>Veličina</u>	<u>Oznaka</u>	<u>Jedinica</u>	<u>Oznaka</u>
Masa	<i>m</i>	kilogram	kg

# Temeljni pojmovi u procesnom inženjerstvu

---

## Fizičke veličine i jedinice

**Zbrajati, oduzimati ili izjednačavati se mogu samo mjerni brojevi koji imaju iste jedinice!**

# Temeljni pojmovi u procesnom inženjerstvu

---

## Fizičke veličine i jedinice

1960. godine je internacionalna konferencija za vaganje formulirala SI (System Internationale d'Unites) sustav metričkih jedinica, koji su kao univerzalni prihvatile mnoge države među kojima i Hrvatska.

Veličine se dijele na o s n o v n e (masa, duljina, vrijeme, temperatura, množina tvari) i i z v e d e n e (energija, sila, snaga, frekvencija, tlak itd. ).

[http://www3.pbf.hr/cabeq/news/NIST\\_Guide\\_SI.pdf](http://www3.pbf.hr/cabeq/news/NIST_Guide_SI.pdf)

# Temeljni pojmovi u procesnom inženjerstvu

---

## Procesni parametri

Procesni parametri su veličine koje se ne mijenjaju tijekom provedbe procesa, a označavaju (karakteriziraju) proces.

Procesni parametri se procijanju na temelju mjernih podataka. Ne mjere se direktno (npr, konstanta brzine kemijske reakcije  $k$ , energija aktivacije  $E_a$ ).

# Temeljni pojmovi u procesnom inženjerstvu

---

## Procesne varijable

**... su veličine koje se mijenjaju i mjere tijekom provedbe procesa, a označavaju (karakteriziraju) proces.**

**- zavisne**

**- nezavisne**



# Temeljni pojmovi u procesnom inženjerstvu

---

## Procesne varijable

MASA TVARI -  $m$

VRIJEME -  $t$

**PROCESNE VARIJABLE, KOJE OZNAČAVAJU KEMIJSKI SASTAV TVARI :**  
množina tvari- $n$ , molarni udio- $x$  ili  $y$ , maseni udio- $\omega$ , volumni udio- $\varphi$  i koncentracija- $c, \gamma$ .

**PROCESNE VARIJABLE KOJE SE IZVODE IZ MASE I VOLUMENA:**  
gustoća-  $\rho$ , relativna gustoća- $d$  i specifični volumen- $v$ .

**PROCESNE VARIJABLE KOJE OZNAČAVAJU TOK TVARI:**  
maseni protok- $q$  , volumni protok-  $q_v$  i molarni protok- $q_m$

**PROCESNE VARIJABLE KOJE OZNAČAVAJU STANJE PROCESA:**  
temperatura –  $T$  i tlak -  $p$

# Temeljni pojmovi u procesnom inženjerstvu

---

## Procesne varijable

### TABLIČNI PRIKAZ SASTAVA TVARI

<b>Komponenta</b>	<b><math>n</math> (kmol) ili <math>m</math> (kg)</b>	<b><math>M</math> (kg/mol)</b>	<b>%</b>

# Temeljni pojmovi u procesnom inženjerstvu

---

## Procesne varijable

### **PLIN**

Sastav plina se izražava volumnim postocima obzirom na suhu bazu kada nije uračunata vodena para i obzirom na mokru bazu kada je vodena para uračunata u sastav. Za idealni plin su volumeni postotci jednaki molarnim postotcima jer 1 kmol plina koji se ponaša kao idealni pri normalnim uvjetima ima volumen 22,4 m<sup>3</sup>, pa se sastav plina često izražava molarnim postotcima.

### **KAPLJEVINE I KRUTINE**

Sastav kapljevina i krutina se obično izražava masenim postocima.

# Temeljni pojmovi u procesnom inženjerstvu

---

## Procesne varijable

U svakom kontinuiranom procesu se tvar (materijal) kreće od jedne do druge točke, često između procesnih jedinica. Brzina kojom se materijal prenosi uzduž procesne linije se naziva p r o t o k.

maseni (masa/vrijeme)  $q$ ,

$$q = \frac{m}{t} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

volumni (volumen/vrijeme)  $q_v$

$$q_v = \frac{V}{t} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

molarni (množina tvari/vrijeme)  $q_m$ . Molarni protok se označava i kao  $F_A$  kada se odnosi na reaktant na ulazu u reaktor

$$q_m = \frac{n}{t} \left[ \frac{\text{kmol}}{\text{h}} \right]$$

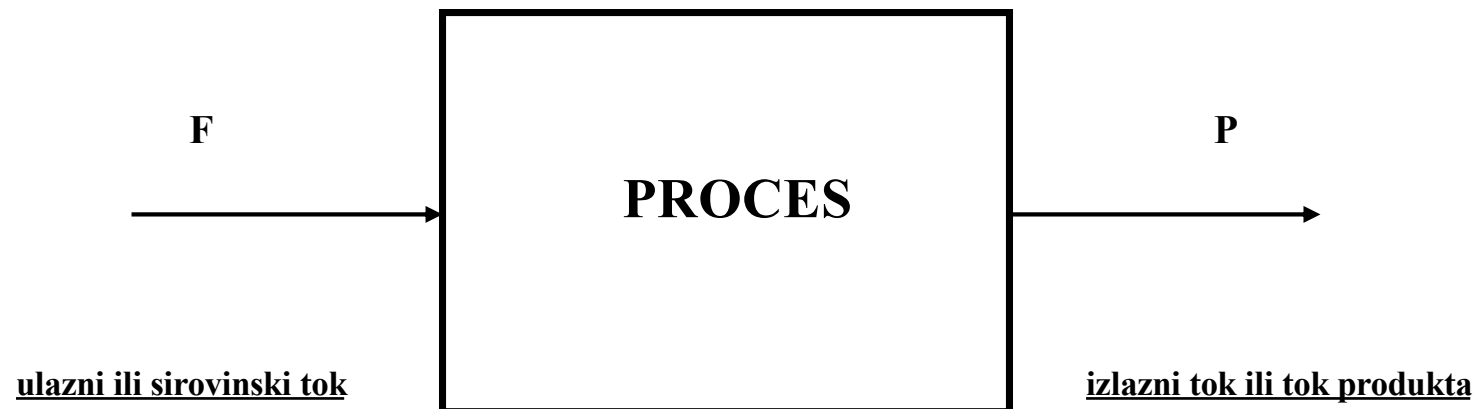
# Temeljni pojmovi u procesnom inženjerstvu

---

## Proces

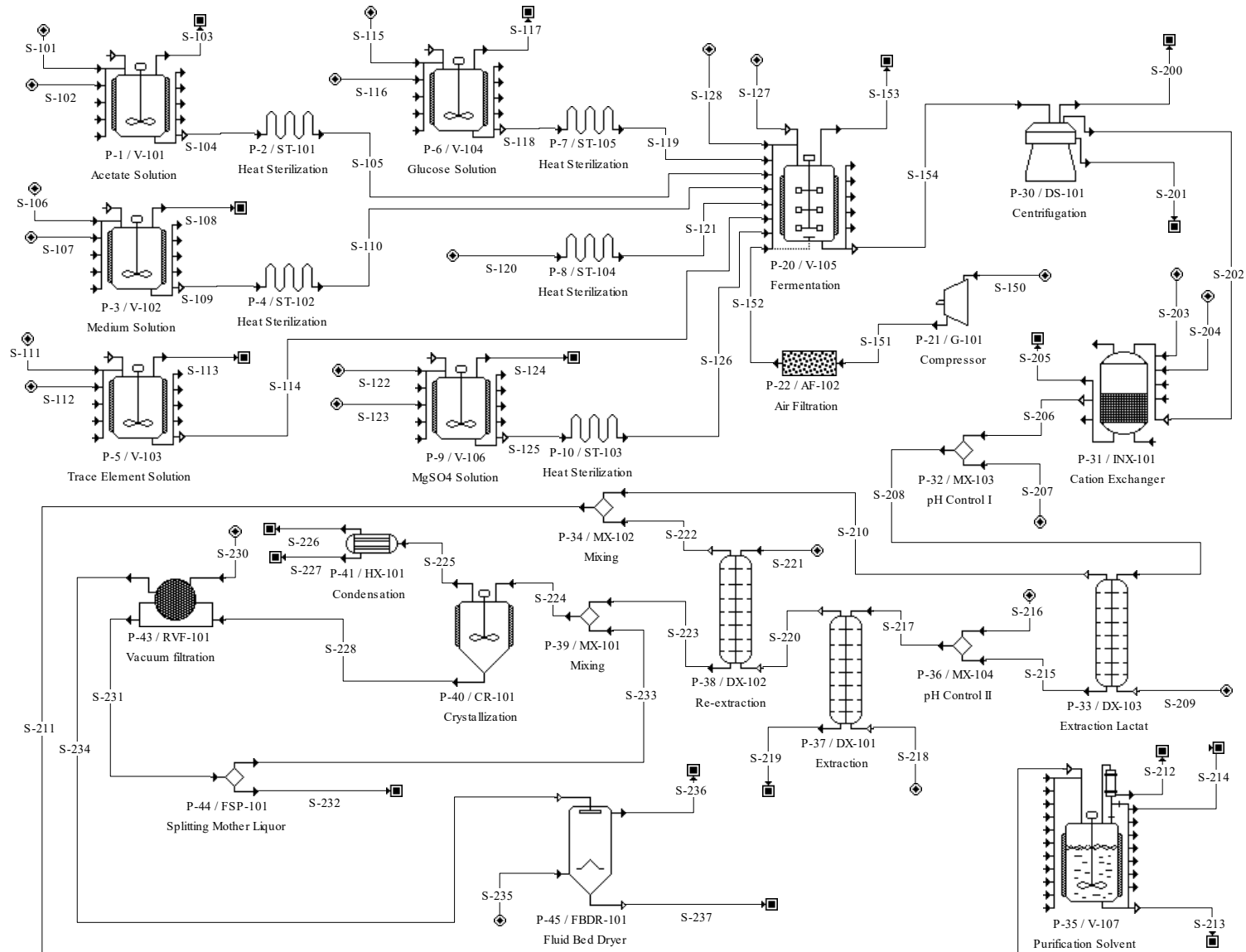
Proces je bilo koja operacija ili serija operacija u kojima dolazi do fizikalnih ili kemijskih promjena čiste tvari ili smjese tvari.

Proces se predočuje procesnom shemom!



# Temeljni pojmovi u procesnom inženjerstvu

## Proces



# Temeljni pojmovi u procesnom inženjerstvu

---

## Proces

### PODJELA PROCESA

Fizikalni i kemijski procesi ovisno o tome da li se tvari mijenjaju samo fizičke značajke (agregatno stanje, faze, temperatura itd.) ili se tvar kvalitativno mijenja kemijskom reakcijom.

Stacionarni i nestacionarni procesi ovisno o vremenskim promjenama procesnih varijabli.

Kotlasti (diskontinuirani – “šaržni”) procesi, protočni (kontinuirani) procesi i polukotlasti (proces s dotokom, kontinuirani u nestacionarnom stanju) procesi ovisno o načinu rada.

# Temeljni pojmovi u procesnom inženjerstvu

---

## Proces

### STACIONARAN PROCES

Proces je stacionaran ako se procesne varijable (koncentracija, protok, temperatura, tlak itd.) ne mijenjaju s vremenom.

### NESTACIONARAN PROCES

Proces je nestacionaran ako je bilo koja procesna varijabla funkcija vremena, tj. ako se mijenja s vremenom.



# Temeljni pojmovi u procesnom inženjerstvu

---

## Proces

### KOTLASTI – DISKONTINUIRANI PROCESI

Diskontinuirani proces koji se još naziva i šaržni proces je proces u kojemu se na početku procesa procesna jedinica napuni sirovinama, a nakon nekog vremena se iz nje prazne nastali produkti. Između vremena punjenja i pražnjenja u proces ne ulazi niti iz njega izlazi tvar odnosno materijal. Ovaj proces je po prirodi stvari nestacionaran. Kotlasti – diskontinuirani procesi se upotrebljavaju u industriji obično kada se treba proizvesti relativno mala količina produkata, a kontinuirani procesi su pogodni za velike proizvodne procese.

# Temeljni pojmovi u procesnom inženjerstvu

---

## Proces

### PROTOČNI – KONTINUIRANI PROCESI

Kontinuirani proces je proces u kojemu nema punjenja procesne jedinice na početku i pražnjenja na kraju procesa već tijekom samog procesa protokom tvari materijal stalno ulazi i izlazi iz procesne jedinice. Ako je ulazni protok tvari jednak izlaznom onda je proces stacionaran u protivnom je nestacionaran i polukontinuiran. Kontinuirani procesi u industriji obično rade što je moguće bliže stacionarnim uvjetima. Nestacionarnost u radu se javlja pri startanju procesa ili kada se radni procesni uvjeti promijene.

# Temeljni pojmovi u procesnom inženjerstvu

---

## Proces

### PROCESNA JEDINICA

**Procesna jedinica je aparatura, uređaj ili dio postrojenja u kojemu se provodi jedna od operacija procesa.**

**Procesna jedinica može imati jedan ili više ulaznih i/ili izlaznih tokova.**

# 1. Domaća zadaća

---

1.  $14 \text{ ft/s} = ? \text{ m/h}$
2.  $10 \text{ kg/L} = ? \text{ mg/mm}^3$
3.  $14 \text{ kcal}/(\text{m}\cdot\text{min}\cdot^\circ\text{C}) = ? \text{ kW}/(\text{cm}\cdot\text{K})$
4.  $23 \text{ lb/ft}^3 = \text{g/dm}^3$
5. Izračunajte volumen 11 nmol idealnog plina u  $\text{km}^3$  koji se nalazi na temperaturi  $300^\circ\text{F}$  i tlaku 1,1 bar!