

## ZÁKLADNÉ POJMY, BILANCIE SÚSTAV

### DEFINÍCIA:

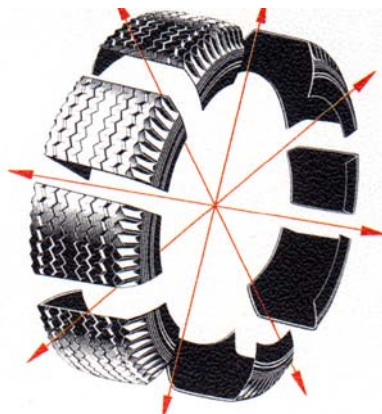
Procesné strojnictvo sa zaoberá štúdiom javov ktoré sa uplatňujú vo výrobných procesoch rozmanitých látok a na tieto výrobné procesy navrhuje optimálne pracujúce stroje a zariadenia pre chemický, potravinársky a spotrebný priemysel.



*Obr.1 Petrochemický priemysel.*



*Obr.2 Farmaceutický a potravinársky priemysel.*



*Obr. 1.3 Recyklácia tuhých odpadov.*

**CIEĽ:**

Obsah týchto prednášok a cvičení je prispôsobený bakalárskemu stupňu vysokoškolského štúdia študijného odboru „Technika ochrany životného prostredia (23 61 7)“. Je to informatívny predmet, ktorý poskytuje nasledujúce základné informácie:

- princíp konkrétneho procesu
- princíp činnosti aparátu, v ktorom sa tento proces uskutočňuje
- princíp výpočtu procesu a aparátu
- aplikácia procesu a aparátu v konkrétnej technológii

Prednášky a cvičenia nie sú zamerané na procesný výpočet a inžiniersky návrh procesov a aparátov.

Ich hlavným cieľom je oboznámiť poslucháča so základnými princípmi procesov a aparátov a ich aplikáciou v priemysle z pohľadu užívateľa.

Sú základom pre hlbšie štúdium týchto procesov na inžinierskom stupni v rámci odboru „Stroje a zariadenia pre chemický, potravinársky a spotrebný priemysel“, ktorého cieľom je naučiť študentov na základe znalosti procesu navrhovať zariadenia pre tieto procesy.

**OKRUHY PROCESNÉHO STROJNÍCTVA:**

- chemický a biochemický priemysel
  - spracovanie ropy
  - chemické výroby
  - malotonážna chémia
  - biochemické výroby
- potravinársky priemysel
  - pekárenstvo
  - spracovanie mäsa
  - spracovanie mliekarenských polotovarov
- spotrebný priemysel
  - papierenský
  - sklársky
  - keramický
  - farmaceutický

Toto je len stručný prehľad aplikácie procesného strojnictva v rôznych oblastiach priemyslu.

Procesy, ktorými sa zaoberá procesné strojnictvo, je možné rozdeliť do základných okruhov:

**I. mechanické procesy, hydraulické procesy, pneumatické procesy**

Procesy a zariadenia ktoré súvisia s mechanickým pôsobením na látky v tuhom, kvapalnom a plynnom skupenstve:

- manipulácia s práškovými materiálmi
- spájanie a rozpojovanie tuhých látok
- doprava a skladovanie kvapalín a plynov
- reológia
- miešanie
- a podobne

**II. tepelné procesy**

Procesy a zariadenia, ktoré súvisia s výmennou tepla:

- ohrev
- chladenie
- var

- kondenzácia
- sušenie
- a podobne

### III. difúzne a separačné procesy

Procesy a zariadenia pre vzájomnú výmenu alebo oddeľovanie látok:

- destilácia
- absorbcia
- desorpcia
- extrakcia
- filtrácia
- a podobne

## ZÁKLADNÉ POJMY

**HMOTA** Je najzákladnejší filozofický pojem (filozofická kategória) na označenie objektívnej reality, nezávislej od ľudského vedomia. Existuje v dvoch navzájom nerozlučne spojených formách:

- látka: je forma hmoty, ktorej pokojová hmotnosť má konečnú hodnotu
- pole: nemôže byť v relatívnom pokoji (fotóny, elektromagnetické žiarenie)

**HMOTNOSŤ** Vyjadruje zotrvačnú vlastnosť hmoty.

**ENERGIA** Vyjadruje schopnosť hmoty konať prácu.

**ATÓMOVÁ HMOTNOSTNÁ JEDNOTKA** Je zvolená vedľajšia jednotka pre výpočet atomových hmotností.

$$1 u = 1,66053 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

**ATÓMOVÁ HMOTNOSŤ  $m(i)$**  Je daná strednou hodnotou hmotnosti atómov v prírodnej zmesi izotopov daného prvku. Jej hodnota je veľmi malá a preto sa udáva ako násobok atómovej hmotnostnej jednotky  $u$ . Napr. hmotnosť atómu uhlíka je  $m(\text{C}) = 12,0115 \cdot u$ .

**POMERNÁ ATÓMOVÁ HMOTNOSŤ PRVKU  $A_r(i)$**  Je číselná hodnota hmotnosti atómov vyjadrená v atómových jednotkách  $u$ . Tieto hodnoty sú uvedené v periodickej tabuľke prvkov. Napr. pre vodík a kyslík sú nasledujúce:

$$A_r(\text{H}) = 1,00792$$

$$A_r(\text{O}) = 15,9994$$

**POMERNÁ MOLEKULOVÁ HMOTNOSŤ** Je nepomenované číslo, ktoré udáva koľkokrát je hmotnosť molekuly uvažovanej zlúčeniny väčšia ako 1/12 hmotnosti atómu izotopu  $^{12}_6\text{C}$ . Ak je známy druh a počet atómov, z ktorých sa skladá molekula, potom sa dá vypočítať ako súčet všetkých pomerných atómových hmotností atómov v molekule.

**LÁTKOVÉ MNOŽSTVO** Je základnou veličinou sústavy SI a označuje sa ako *mol*. 1 *mol* je látkové množstvo, ktoré obsahuje toľko elementárnych jedincov (entít), koľko je uhlíkových atómov v presne 12 g izotopu uhlíka  $^{12}_6\text{C}$ . Pritom treba špecifikovať, o aké entity ide (atómy, molekuly, ...). Podľa doterajších meraní je v 12 g izotopu uhlíka  $^{12}_6\text{C}$   $6,0225 \cdot 10^{23}$  atómov.

**AVOGADROVA KONŠTANTA** Je konštanta, ktorá udáva počet elementárnych jednotiek v 1 *mol* a je to práve  $6,0225 \cdot 10^{23}$  entít.

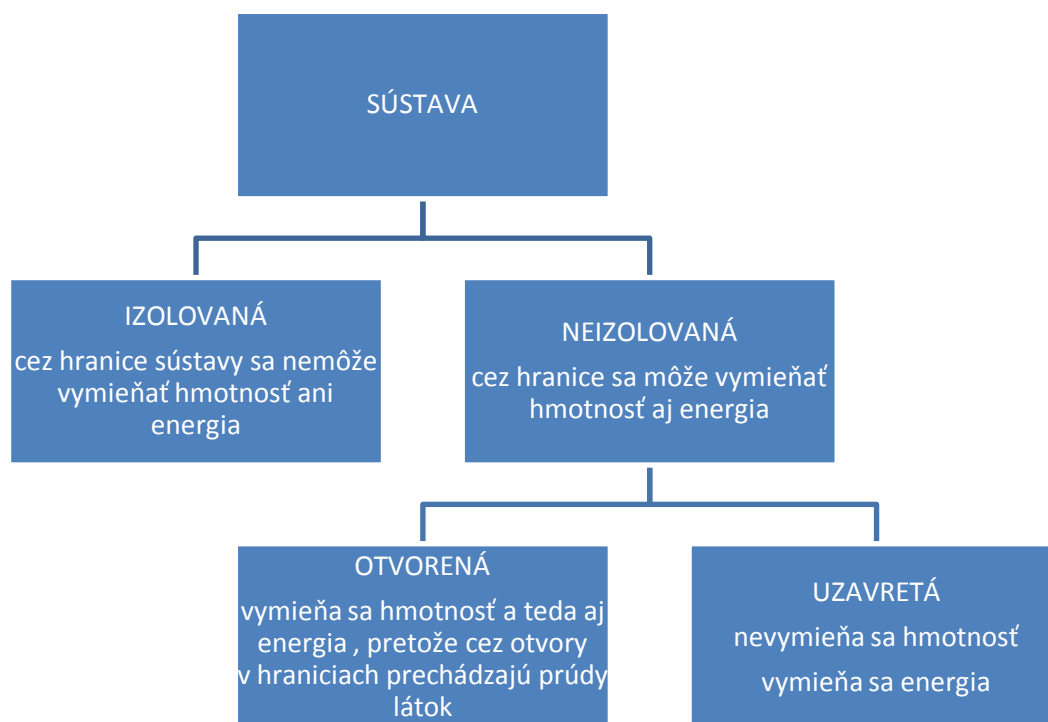
$$N_A = 6,0225 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

**MÓLOVA HMOTNOSŤ** Udáva hmotnosť 1 mólu v gramoch alebo hmotnosť jedného kilomólu v kilogramoch.

Medzi látkovým množstvom  $n_i$ , hmotnosťou  $m_i$  a mólovou hmotnosťou  $M_i$  danej látky je nasledujúci vzťah:

$$m_i = n_i \cdot M_i \quad (1)$$

**SÚSTAVA – SYSTÉM** Je to ohraničený reálny priestor, ktorého hranice a vlastnosti hraníc poznáme. Z hľadiska bilancovania sú dôležité hranice, podľa ktorých môže byť sústava:

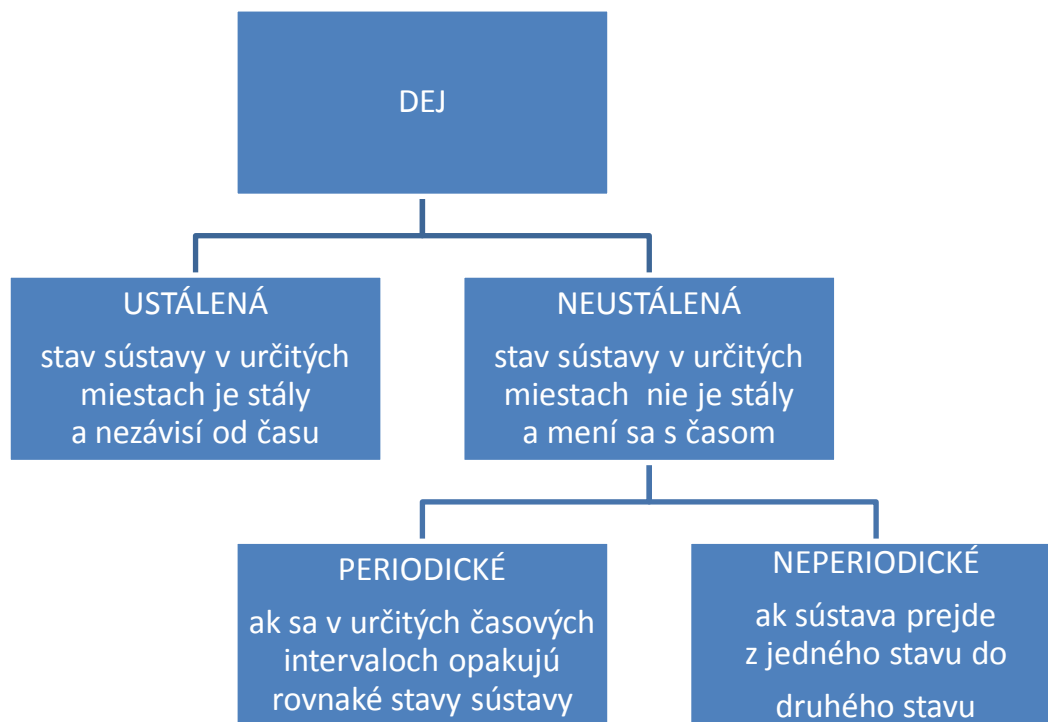


*Obr.4 Rozdelenie sústav.*

Typickým príkladom sústavy, s ktorou sa stretávame v bežnom živote je termoska a sklenená fľaša. Pokiaľ je v termoske naliaty horúci čaj a termoska je uzavretá je to izolovaná sústava. Čaj sa neochladzuje (výmena energie) a tiež nemôže z nej vytečť (výmena hmotnosti).

Ak sa horúci čaj naleje do fľaše, vznikne neizolovaná sústava. Ak bude fľaša uzavretá, nemôže z nej čaj vytečť (výmena hmotnosti), ale postupne vychladne (výmena energie). Je to uzavretá sústava. Ak sa otvorí veko na fľaši, bude sa čaj ochladzovať, ale zároveň môže aj horúci čaj vytečť (výmena hmotnosti a energie).

**DEJ** Je to zmena stavu sústavy v čase.



Obr.5 Rozdelenie dejov.

**ZMES** Je každá sústava, ktorú netvorí len jedna zložka.

**SUSPENZIA** Je sústava v ktorej je jemne rozptýlená (dispergovaná) tuhá látka v kvapaline.

**EMULZIA** Je sústava v ktorej je jemne rozptýlená (dispergovaná) kvapalina v kvapaline.

**DYM** Je sústava v ktorej je v plynnom prostredí jemne rozptýlená (dispergovaná) tuhá látka.

**PENA** Je sústava v ktorej je v kvapaline jemne rozptýlený (dispergovaný) plyn.

**HMLA** Je sústava v ktorej je v plyne jemne rozptýlená (dispergovaná) kvapalina.

**FÁZA** Je homogénna, fyzikálne odlišná oblasť vzhľadom na ostatné oblasti, ktorá je od ostatných oblastí oddelená ostrým fázovým rozhraním.

**STAVOVÉ VELIČINY** Určujú stav sústavy alebo stav danej látky v sústave. Ich dôležitou vlastnosťou je, že ich zmena nezávisí od cesty po akej sa menili, ale len od počiatočného a konečného stavu.

**STAVOVÉ VELIČINY EXTENZÍVNE** Sú to veličiny, ktorých veľkosť závisí od množstva látky v sústave.

**STAVOVÉ VELIČINY INTENZÍVNE** Sú to veličiny, ktorých veľkosť nezávisí od veľkosti sústavy a možno ich určiť pre každý bod sústavy (napr. tlak, teplota, hustota a pod.).



**HNACIA SILA PROCESU** Je sila ktorá zabezpečuje, že určitý proces prebieha stacionárne (nemení sa v závislosti na čase) alebo nestacionárne (priebeh procesu sa mení v závislosti na čase).

*I. mechanické procesy, hydraulické procesy, pneumatické procesy:*

hnacia sila: tlakový gradient

*II. tepelné procesy:*

hnacia sila: teplotový gradient

*III. difúzne procesy:*

hnacia sila: koncentračný gradient

### SKUPENSTVO LÁTOK

- tuhé
- tvapalné (tekutiny)
- plynné (tekutiny)
- plazma (v jadre elektrického oblúka, v jadre blesku,...)

Tekutiny (kvapaliny a plyny) sú charakteristické tým, že sú schopné tiecť z miesta z vyššou mechanickou energiou na miesto s nižšou mechanickou energiou.

### ZMES LÁTOK

- homogénna – ak sú látky rozpustné až na molekulovú štruktúru (soľ vo vode, alkohol vo vode)
  - heterogénna – disperzia – zložky sú navzájom nerozpustné alebo iba čiastočne rozpustné
- Zložka heterogénnej zmesi, ktorej je viac, sa nazýva disperzné prostredie alebo disperzná látka. Zložka, ktorej je v heterogénnej zmesi menej, sa nazýva dispergovaná látka alebo dispergovaná zložka. Dispergovaných zložiek môže byť v heterogénnych zmesiach viac.

Tabuľka 1: Heterogénne systavy.

dispergovaná látka	tuhá	kvapalná	plynná
látka disperzná			
tuhá	zmes nie je tekutá	zmes nie je tekutá	zmes nie je tekutá
kvapalná	suspenzia	emulzia	pena
plynná	zaprášeny plyn aerosol dym	hmla	zmes nie je heterogénna

Poznámky k tabuľke:

- zmes dvoch alebo viacerých plynov sa považuje za homogénnu zmes, pretože sa premiešajú až na molekulárnu veľkosť
- suchou parou sa rozumie para, ktorá neobsahuje žiadne mikroskopické kvapky svojho kondenzátu
- mokrá para obsahuje mikroskopické kvapky svojho kondenzátu
- prehriata para je para ktorá má pri danom tlaku vyššiu teplotu ako je teplota jej kondenzácie
- mokrá para je zmes drobných kvapiek a pary a nie je preto homogénna

**FENOMENOLOGICKÝ PRÍSTUP** Skúma zákonitosti procesu z korelácie vstupných a výstupných údajov systému, ktorý svojimi rozmermi značne prevyšuje stavebné jednotky skúmanej látky.

**ŠTRUKTÚRNY PRÍSTUP** Skúma jav na základe interakcie základných stavebných prvkov látky.

**PROSTREDIE SPOJITÉ (KONTINUUM)** Pevné látky, plyny a kvapaliny pozostávajú z agregátov, ktoré vznikli zoskupením elementárnych častíc do podoby atómov, molekúl alebo iónov.

Tieto agregáty nerovnomerne vyplňujú priestor, ktorý zaberá uvedená látka. Častice sa navzájom ovplyvňujú a sú v neustálom pohybe. Preto pri opise ľubovoľného hmotného systému by sa malo vychádzať z mechanického správania súboru častíc. Takýto opis je obsahom štatistickej mechaniky, je zložitý a matematicky náročný. Vo väčšine technických výpočtov postačujú priemerné vlastnosti, prejavujúce sa v makroskopickom meradle, napr. v podobe tlaku, teploty a pod. Tieto spriemerované prejavy veľkého počtu častíc možno výhodne znázorniť modelom spojitého rozloženia látky, ktoré vyplňujú priestor bez medzier. To znamená, že sa neuvažuje so skokovými zmenami vlastností látok, ako by to zodpovedalo miestu rozhrania jednotlivých fáz. Pri opise spojitého prostredia sa používajú makroskopické veličiny, ktoré predstavujú spriemerovaný účinok veľkého množstva častíc. Tieto veličiny sú všeobecne funkciami miesta a času a tvoria pole fyzikálnej veličiny. V spojitom prostredí potom možno každému miestu priradiť určitú hodnotu definovanej fyzikálnej veličiny.

**PROSTREDIE NESPOJITÉ (DISKONTINUÁLNE)** Nazýva sa tiež priestorová nespojitosť. Prejavuje sa tým, že určitá fyzikálna alebo chemická vlastnosť ako funkcia určitej premennej vykazuje pri malej zmene premennej skokovú zmenu.

## ZÁKONY TERMODYNAMIKY

Sú zhrnuté do piatich základných princípov (postulátov), ktoré majú axiomatický charakter.

### 1. postulát NULTÝ ZÁKON TERMODYNAMIKY

Tepelnou rovnováhou sa rozumie stav, v ktorom medzi neizolovanými sústavami nenastáva výmena tepla. Mierou zmeny tepelnej rovnováhy je rozdiel teplôt. V tepelnej rovnováhe sú tie sústavy, v ktorých je teplota rovnaká. Tento zákon má základný význam pri kvantitatívnom meraní teploty.

### 2. postulát I. ZÁKON TERMODYNAMICKÝ

Zákon o zachovaní energie uvádza do vzájomného vzťahu dve rôzne formy premeny energia a to prácu a teplo. Energia v prírode nevzniká ani nezaniká, možné sú len premeny energie. To znamená, že množstvo energie v uzavretej sústave je konštantné.

### 3. postulát II. ZÁKON TERMODYNAMIKY

**Clausiova formulácia** hovorí, že teplo nemôže samovoľne prechádzať z telesa s nižšou teplotou na teleso s vyššou teplotou.

**Planckova, Thomsonova (Kelvinova) formulácia** hovorí, že nie je možné zostrojiť cyklicky pracujúci stroj, ktorý by iba odoberal z okolia teplo a premieňal ho na ekvivalentnú prácu.

**Carnotova formulácia** hovorí, že účinnosť Carnotovho tepelného stroja nezávisí od charakteru pracovnej látky, ale iba od teplotného intervalu v ktorom cyklus prebieha.

### 4. postulát III. ZÁKON TERMODYNAMIKY

V blízkosti absolútnej nuly prebiehajú vratné izotermické procesy bez zmeny entropie. Entropia každého stabilného termodynamického rovnovážneho stavu sa pri teplote nula Kelvinov rovná nule. Túto teplotu nemožno dosiahnuť konečným počtom krokom.

### 5. postulát

Minimálny počet premenných potrebných na opis jednoduchého homogénneho systému sú dve + počet jednotlivých zložiek.

## KONCENTRAČNÉ JEDNOTKY

Koncentrácia látky v sústave je pomerné množstvo jednej látky (zložky, komponentu a pod.) vzťahované buď k celkovému množstvu všetkých látok v sústave (tzv. koncentrácie celkové – absolútne), alebo len k množstvu niektorých látok v sústave (koncentrácie čiastkové – relatívne).

**Celková koncentrácia látky  $i$  (absolútna)**

$$c_i = \frac{\text{množstvo látky } i}{\text{množstvo všetkých zložiek } i = 1, 2, 3, \dots, v \text{ sústave}} \quad (2)$$

Označuje sa malými písmenami  $c, x, y, a, w$  a jej hodnota je vždy menšia alebo rovná jednej.

**Čiastková koncentrácia látky  $i$  (relatívna)**

$$C_i = \frac{\text{množstvo látky } i}{\text{množstvo niektorých látok v sústave}} \quad (3)$$

Označuje sa veľkými písmenami  $C, X, Y, A, W$  a jej hodnota nemusí byť vždy menšia alebo rovná jednej. Môže byť aj väčšia ako jedna.

Tabuľka 2: Koncentračné jednotky.

názov	definícia	rozměr
hmotnostný zlomok	$c_i^m = \frac{m_i}{\sum m_i} = \frac{\text{hmotnosť zložky } i}{\text{hmotnosť celej sústavy}}$	[1]
mólový zlomok	$c_i^n = \frac{n_i}{\sum n_i} = \frac{\text{látkové množstvo zložky } i}{\text{látkové množstvo celej sústavy}}$	[1]
objemový zlomok	$c_i^v = \frac{V_i}{\sum V_i} = \frac{\text{objem zložky } i}{\text{objem celej sústavy}}$	[1]
hmotnostná objemová koncentrácia	$c_i^{mv} = \frac{m_i}{V} = \frac{\text{hmotnosť zložky } i}{\text{objem celej sústavy}}$	$\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$
mólová objemová koncentrácia (molarita)	$c_i^{nv} = \frac{n_i}{V} = \frac{\text{látkové množstvo zložky } i}{\text{objem celej zmesi}}$	$\left[ \frac{\text{mol}}{\text{kg}} \right]$
relatívny hmotnostný zlomok	$C_{is}^m = \frac{m_i}{m_s} = \frac{\text{hmotnosť zložky } i}{\text{hmotnosť zložky } S}$	[1]
relatívny mólový zlomok	$C_{is}^n = \frac{n_i}{n_s} = \frac{\text{látkové množstvo zložky } i}{\text{látkové množstvo zložky } S}$	[1]
relatívny objemový zlomok	$C_{is}^v = \frac{V_i}{V_s} = \frac{\text{objem zložky } i}{\text{objem zložky } S}$	[1]
relatívna hmotnostná objemová koncentrácia	$C_{is}^{mv} = \frac{m_i}{V_s} = \frac{\text{hmotnosť zložky } i}{\text{objem zložky } S}$	$\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$
mólová hmotnostná koncentrácia (molarita)	$C_{is}^{nm} = \frac{n_i}{m_s} = \frac{\text{látkové množstvo zložky } i}{\text{hmotnosť zložky } S}$	$\left[ \frac{\text{mol}}{\text{kg}} \right]$

**STAVOVÉ VLASTNOSTI PLYNOV A KVAPALÍN**

Základom výpočtu všetkých stavových vlastností čistých látok a ich zmien sú vzťahy medzi základnými stavovými premennými – teplotou, tlakom, objemom a koncentráciou.

Látky môžu existovať v troch skupenstvách:

- tuhom

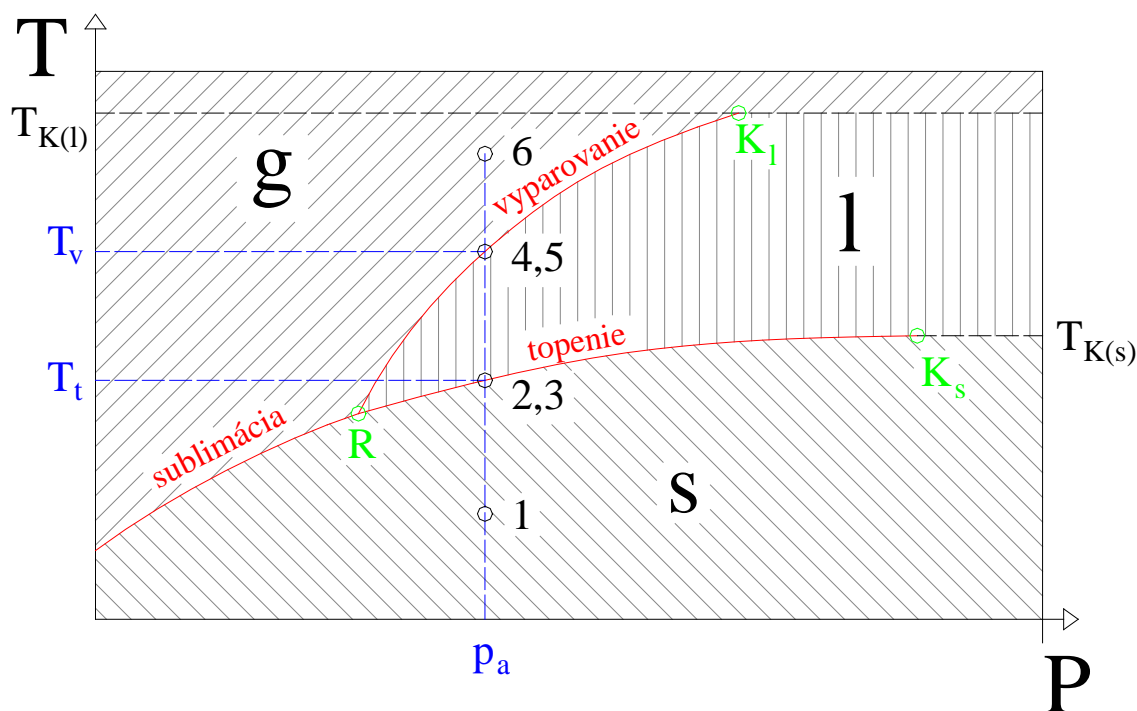


- kvapalnom
- plynnom

**ŠTANDARDNÝ STAV** Ak sa uvažuje jednozložkový systém, teda čisté látky, ich skupenstvo sa vzťahuje na zvolený štandardný stav, napr. 0°C a 100 kPa.

Je to potrebné uviesť, pretože napr. voda a môže nachádzať v skupenstve kvapalnom (práve pri 0°C a 100 kPa), alebo tuhom (pod 0°C a 100 kPa), alebo vo forme pary (nad 100°C a 100 kPa).

Stav čistej látky je určený dvoma základnými stavovými veličinami – teplotou a tlakom. Pre čistú látku je možné nakresliť rovnovážny diagram v súradniciach T, P.



Obr.6 Rovnovážny diagram čistej látky v súradniciach tlak – teplota.

Diagram obsahuje:

- krivky rovnovážnych fázových premien:
  - topenie
  - vyparovanie
  - sublimácia
- trojný bod R
- kritický bod:
  - kvapaliny K<sub>l</sub>,
  - tuhej fázy K<sub>s</sub>
- oblasti:
  - tuhej fázy (s)
  - kvapalnej fázy (l)
  - plynnej fázy (g)

Z diagramu vyplývajú nasledujúce poznatky:

- rozhodujúci vplyv na stav látky má teplota, vplyv tlaku je druhořadý
- kvapalina môže existovať len pri teplote  $T < T_{K(l)}$  bez ohľadu na veľkosť tlaku
- tuhá fáza môže existovať len pri teplote  $T < T_{K(s)}$

Nech je čistá tuhá látka pod tlakom  $p_a$  a pri teplote odpovedajúcej bodu 1. Ak sa začne ohrievať, jej teplota stúpne na hodnotu  $T_t$ , danú bodom 2. Tu nastane fázová premena na kvapalinu, čo je dané bodom 3. Pri ďalšom ohreve nastane zvyšovanie teploty až do bodu 4. Tu nastane premena kvapaliny na paru, čo je dané bodom 5. Pri ďalšom zvyšovaní teploty nastane prehriatie pary, napr. bod 6.

Ten istý diagram je možné zobrazit' v súradniciach objem – tlak. Krivky označujú izotermy stavového správania sa reálneho plynu. Pre teploty izotermy platí, že  $T_1 < T_2 < T_3 < T_4 < T_5$

**Izoterma  $T_1$**  - Ak sa tlak zväčšuje až do bodu B, klesá objem pary až do bodu B.

- V bode B sa objavujú prvé kvapôčky kvapalnej fázy.
- Od bodu B do bodu C sa postupne znižuje objem, tlak ostáva konštantný a zväčšuje sa množstvo kvapalnej fázy, pričom klesá množstvo pary.
- V bode C zmizne parná fáza a ostáva len kvapalná.
- Izoterma za bodom C je veľmi strmá, lebo kvapalina je málo stlačiteľná.

**Izoterma  $T_2$**  - Izoterma má podobný priebeh ako predchádzajúca, len body C a N sú k sebe bližšie.

**Izoterma  $T_3$**  - Postupným zvyšovaním teploty sa body N a O približujú k sebe až splynú do bodu K.

- Bod K označuje tzv. kritický stav, ktorému odpovedá:
  - kritická teplota  $T_K$
  - kritický tlak  $P_K$
  - kritický objem  $V_K$

Je to bod, kedy zmenou jedného z troch parametrov nastane fázová premena na plyn alebo paru alebo mokrú paru alebo kvapalinu.

Táto izoterma rozdeľuje diagram na dve oblasti. Kritická teplota je najvyššou možnou teplotou, kedy je možné reálny plyn skvapalniť len zvyšovaním tlaku. Nad touto teplotou nie je možné plyn skvapalniť len zmenou jedného parametru – tlaku alebo teploty.

Zmeniť sa musia obidva, tak aby sa dosiahol podkritický stav.

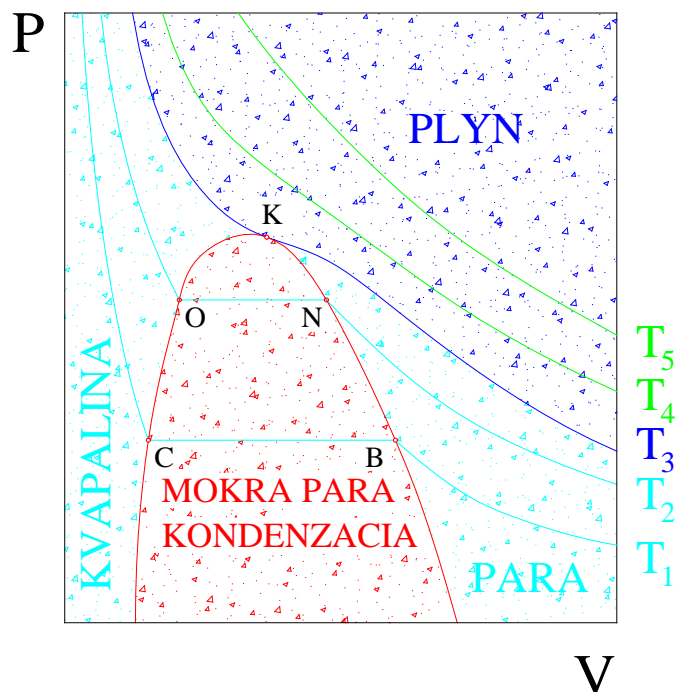
Pre každý plyn existuje kritická teplota, pod ktorou je možné tento plyn skvapalniť.

**Izoterma  $T_4, T_5$**  – predstavuje nadkritickú teplotu, kedy je látka vždy v plynnom skupenstve – tvorí teda plyn.

Krivka prechádzajúca bodmi COK je krivka varu. Naľavo od nej, pri podkritickej teplote je látka v kvapalnom skupenstve.

Krivka prechádzajúca bodmi NBK je krivka kondenzácie (rosná krivka). Na nej je látka v stave nasýtenej pary. Vpravo, pri podkritickej teplote, látka je v stave pary.

Medzi krivkami je v stave mokrej pary, to znamená, že sú vedľa seba pary danej látky a tiež aj kvapalná fáza.



Obr.7 Rovnovážny diagram čistej látky v súradniciach objem – tlak. Krivka prechádzajúca bodmi COK je krivka varu. Krivka NBK je krivka kondenzácie (rosná krivka). Pre teploty izotermy platí, že  $T_1 < T_2 < T_3 < T_4 < T_5$ .

### CHARAKTERISTICKÉ VELIČINY PRE DANÚ ČISTÚ LÁTKU PRI TLAKU $p_a$

- teplota topenia  $T_t$
- teplota varu  $T_v$
- kritická teplota  $T_{K(l)}$
- skupenské teplo topenia (dané bodmi 2-3, tieto body sú v diagrame T-P totožné, lebo počas fázovej premeny nenastáva zmena teploty)
- skupenské teplo varu (dané bodmi 4-5, tieto body sú v diagrame T-P totožné, lebo počas fázovej premeny nenastáva zmena teploty)

### STAVOVÁ ROVNICA IDEÁLNEHO PLYNU

Aj zmeny reálnych plynov je možné počítať ako pri ideálnom plyne, ale len v prípade ak ide o plyn zriedený s malou mólovou hmotnosťou, ťažko skvapalniteľný, s teplotou dostatočne vzdialenou od kritickej teploty.

Stavová rovnica ideálneho plynu:

$$PV = nRT \quad (4)$$

$$Pv = RT \quad (5)$$

$v$  – mólový objem plynu [ $\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ ]

$R$  – univerzálna plynová konštanta  $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

### STAVOVÉ SPRÁVANIE SA ZMESI PLYNOV

Z definície ideálneho plynu vyplýva, že pri zrážke molekúl plynu nenastanú žiadne silové interakcie. V zmesi plynov sa teda tiež nebudú jednotlivé zložky navzájom ovplyvňovať. Preto je možné celkové správanie sa zmesi ideálnych plynov opísať rovnicou ideálneho plynu.

### PARCIÁLNY TLAK

Zo stavovej rovnice je potom možné vypočítať parciálny tlak plynu:

$$P_i = n_i \frac{RT}{V} \quad (6)$$

### DALTOVOV ZÁKON O PARCIÁLNYCH TLAKOCH

$$P_i = P \frac{n_i}{\sum n_i} = P c_i^n \quad (7)$$

$$P = \sum P_i \quad (8)$$

### AMAGATOV ZÁKON O PARCIÁLNYCH OBJEMOCH

$$V = \sum V_i \quad (9)$$

$$V_i = V c_i^n \quad (10)$$

## LÁTKOVÉ BILANCIE

Výpočty látkových vlastností sú prvým predpokladom presného určenia kapacity výrobného zariadenia.

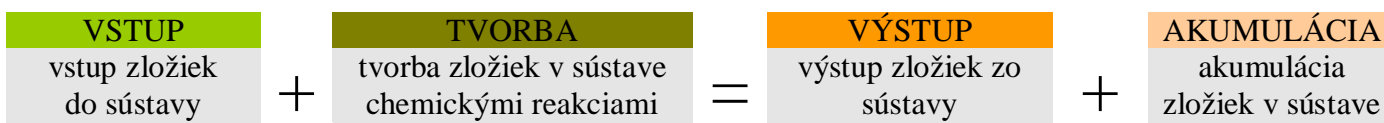
Sú základnými kvantitatívnymi informáciami o fyzikálnych a chemických procesoch v aparátoch.

Počítajú sa pre aparát, časť technológie alebo pre celú výrobu.

Cieľom je získať prehľad o množstvách látok, ktoré do výroby vo zvolenom časovom období vstupujú, z výroby vystupujú, vo výrobnom stupni sa premenia alebo akumulujú.

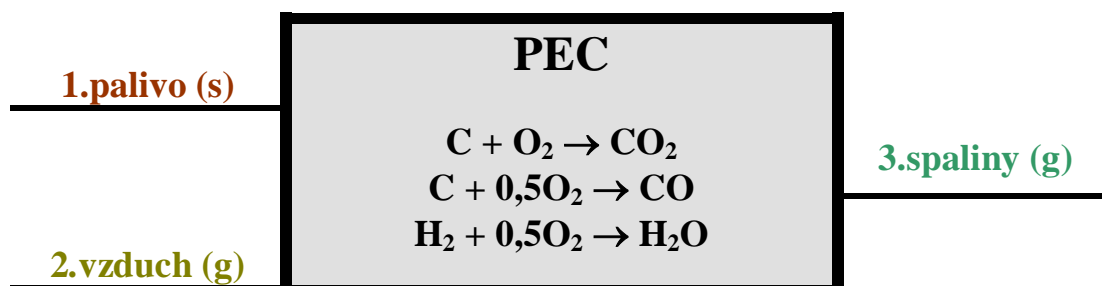
Látkové bilancie sú výpočty založené na zákone zachovanie hmotnosti.

Pre otvorenú sústavu je možné látkovú bilanciu vyjadriť nasledovne:



Pre bilancovanie aparátov, procesov, technológií a pod. sa kreslia tzv. bilančné schémy procesu, ktoré obsahujú všetky známe údaje o vstupe, tvorbe, výstupe a akumulácia jednotlivých zložiek. Údaje ktoré nie sú známe sa zapisujú obecnými symbolmi a ich hodnoty sa vypočítajú práve z bilančných výpočtov.

Príkladom takejto bilancie môže byť spaľovanie koksu.



**4.popol (s)**

Palivo v tuhom stave (s) a vzduch v plynnom stave (g) vstupujú do pece. Je to VSTUP. V peci nastáva spaľovanie, ktoré prebieha podľa uvedených troch stechiometrických rovníc. Tieto reprezentujú TVORBU nových zložiek – CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>O. V peci ostáva popol v tuhom skupenstve (s), ktorý predstavuje AKUMULÁCIU. Z pece odchádzajú spaliny vo forme plynu (g) a predstavujú VÝSTUP.

Pomerne jednoduché sú látkové bilancie fyzikálnych procesov. Počas nich nevzniká nová zložka a preto sa látková bilancia fyzikálneho procesu vyzerá takto:

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{VSTUP} \\ \hline \text{vstup zložiek} \\ \text{do sústavy} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{VÝSTUP} \\ \hline \text{výstup zložiek zo} \\ \text{sústavy} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{AKUMULÁCIA} \\ \hline \text{akumulácia} \\ \text{zložiek v sústave} \\ \hline \end{array}$$

Príkladom môže byť mletie obilnín. Do mlyna vstupuje zrno (VSTUP). Vplyvom mechanického pôsobenia sa drví na múku. Táto odchádza z mlyna von (VÝSTUP). Obyčajne však vždy malý podiel múky ostane v mlyne (AKUMULÁCIA).

V prípade, že sa jedná o otvorený ustálený systém, proces sa uskutočňuje bez akumulácie a vtedy sa bilancia ešte zjednoduší:

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{VSTUP} \\ \hline \text{vstup zložiek} \\ \text{do sústavy} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{VÝSTUP} \\ \hline \text{výstup zložiek zo} \\ \text{sústavy} \\ \hline \end{array}$$

Takýmto prípadom je napríklad miešanie. V nasledujúcom príklade sa bude uvedený spôsob ako spraviť takúto jednoduchú bilanciu.

Treba pripraviť 100kg/hod roztoku s hmotnostným zložením 28% HNO<sub>3</sub>, 66% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a zvyšok je voda. K dispozícii je starý roztok v zložení 23,2% HNO<sub>3</sub>, 58,6% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 18,2% H<sub>2</sub>O, koncentrovaná kyselina dusičná v zložení 92% HNO<sub>3</sub> a kyselina sírová v zložení 98% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Treba vypočítať potrebné množstvá týchto troch roztokov.

Tabuľka 3: Bilančná tabuľka.

látka i	VSTUP j kg/h			VÝSTUP j	
	$\dot{m}_{i1}$	$\dot{m}_{i2}$	$\dot{m}_{i3}$	$\dot{m}_{i4}$	
HNO <sub>3</sub>	1	0,232 $\dot{m}_1$	0,92 $\dot{m}_2$	-	28
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2	0,586 $\dot{m}_1$	-	0,98 $\dot{m}_3$	66
H <sub>2</sub> O	3	0,182 $\dot{m}_1$	0,08 $\dot{m}_2$	0,02 $\dot{m}_3$	6
Σ		$\dot{m}_1$	$\dot{m}_2$	$\dot{m}_3$	100



Pre vyriešenie tejto úlohy sú k dispozícii štyri rovnice:

$$\begin{aligned} 0,232 \dot{m}_1 + 0,92 \dot{m}_2 &= 28 \\ 0,586 \dot{m}_1 + 0,98 \dot{m}_3 &= 66 \\ 0,182 \dot{m}_1 + 0,08 \dot{m}_2 + 0,02 \dot{m}_3 &= 6 \\ \dot{m}_1 + \dot{m}_2 + \dot{m}_3 &= 100 \end{aligned}$$

Keďže rovnice sú štyri a neznáme sú len tri jedna z rovníc nie je potrebná. Je možné ľubovoľnú rovnicu vypustiť. Z tejto sústavy sa potom vypočítajú všetky neznáme hmotnosti.

### ZOZNAM SYMBOLOV

a	- celková koncentrácia látky (absolútna)	[rôzne jednotky, podľa druhu koncentrácie]
c	- celková koncentrácia látky (absolútna)	[rôzne jednotky, podľa druhu koncentrácie]
$m_i$	- hmotnosť	[kg]
$n_i$	- látkové množstvo	[mol]
v	- mólový objem	[m <sup>3</sup> .mol <sup>-1</sup> ]
w	- celková koncentrácia látky (absolútna)	[rôzne jednotky, podľa druhu koncentrácie]
x	- celková koncentrácia látky (absolútna)	[rôzne jednotky, podľa druhu koncentrácie]
y	- celková koncentrácia látky (absolútna)	[rôzne jednotky, podľa druhu koncentrácie]
A	- čiastková koncentrácia látky (relatívna)	[rôzne jednotky, podľa druhu koncentrácie]
C	- čiastková koncentrácia látky (relatívna)	[rôzne jednotky, podľa druhu koncentrácie]
$M_i$	- mólová hmotnosť	[kg.mol <sup>-1</sup> ]
P	- tlak	[Pa]
$P_K$	- kritický tlak	
R	- univerzálna plynová konštanta	[J.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
T	- teplota	[K]
$T_K$	- kritická teplota	
$V_K$	- kritický objem	
W	- čiastková koncentrácia látky (relatívna)	[rôzne jednotky, podľa druhu koncentrácie]
X	- čiastková koncentrácia látky (relatívna)	[rôzne jednotky, podľa druhu koncentrácie]
Y	- čiastková koncentrácia látky (relatívna)	[rôzne jednotky, podľa druhu koncentrácie]

### LITERATÚRA

- [1] Michalička F., Molnár A.: Aplikovaná fyzikálna chémia, SVŠT v Bratislave, 1988
- [2] Vavro, K., Peciar, M. : Procesné strojnictvo I , učebnica pre bakalárske štúdium Technika ochrany životného prostredia, STU v Bratislave, 1998
- [3] Drábek, D., Klepáč, J. : Procesné strojnictvo II , učebnica pre bakalárske štúdium Technika ochrany životného prostredia, STU v Bratislave, 1998

PRÍKLADY

1. Výpočet pomernej molekulovej hmotnosti rôznych zlúčenín, napr.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a pod.
2. Výpočet a prepočet zlomkov
3. Bilancie
4. Výpočet  $P$ ,  $T$ ,  $V$ ,  $v$ ,  $m$ ,  $n$  z rovnice ideálneho plynu pre jeden ideálny plyn
5. Výpočet  $P$ ,  $T$ ,  $V$ ,  $v$ ,  $m$ ,  $n$  z rovnice ideálneho plynu pre zmes ideálnych plynov

OTÁZKY NA SKÚŠKU

1. Princíp látkových bilancií, tabuľka a rovnice, koncentračné jednotky.