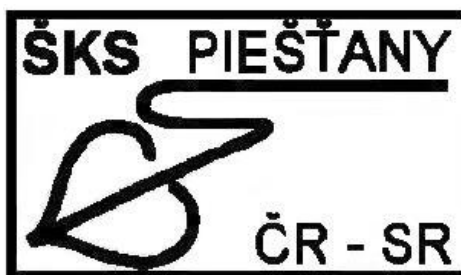


Ing. Peter Žúbor, NDT LT ABC 3.st.

Školiace a konzultačné stredisko NDT Piešťany, peter.zubor@nextra.sk



HMOTNOSTNÁ SPEKTROMETRIA. ODVODENIE DEMPSTEROVEJ ROVNICE

Hmotnostný spektrometer:

*prístroj schopný oddeľovať ionizované atómy alebo molekuly (kladné ióny) na základe pomeru hmotnosti k náboju a merať zodpovedajúci prúd iónov; výstupný signál je priamo úmerný parciálnemu tlaku určitého plynu v zmesi
[Definícia podľa EN 1330-8, čl. 4.3.14] [2]*

Mass spectrometer:

instrument that is capable of separating ionized atoms or molecules of different mass-to-charge ratio and measuring the respective ion currents. The output signal is proportional to the partial pressure of a specified gas in the mixture.

Piešťany & 2015

 © 2015	ING. PETER ŽÚBOR	POČET LISTOV : [21]
	* HMOTNOSTNÁ SPEKTROMETRIA. ODVODENIE DEMPSTEROVEJ ROVNICE * * COPYRIGHT (C) 2015 ŠKS PIEŠŤANY * * ALL RIGHTS RESERVED * * ŠKOLIACE A KONZULTAČNÉ STREDISKO NDT PRE ODBOR NETESNOSTÍ PIEŠŤANY *	LIST Č. : [1]



obsah

KAPITOLA	NÁZOV	STRANA
	OBSAH	03
1.	ÚVOD - VŠEOBECNE	04
1.1	Základné pojmy	04
2.	SPÔSOBY SKÚŠANIA TESNOSTI	06
2.1	Všeobecne	06
2.2	Celková a miestna skúška tesnosti	07
3.	IONIZÁCIA	09
4.	HMOTNOSTNÁ SPEKTROMETRIA	11
4.1	DEMPSTEROVA ROVNICA	13
4.2	SKÚŠANIE TESNOSTI POMOCOU HÉLIA	20
	LITERATÚRA	21



*Prehlásenie : Nie je mi známe, že niekde bolo publikované odvodenie Dempsterovej rovnice
Declaration : I do not know that someone has published Dempster derive equations*



*Venovanie
...všetkým,
s ktorými som žil a spolupracoval.*



© 2015

ING. PETER ŽUBOR

* **HMOTNOSTNÁ SPEKTROMETRIA. ODVODENIE DEMPSTEROVEJ ROVNICE** *

* COPYRIGHT (C) 2015 ŠKS PIEŠŤANY * * ALL RIGHTS RESERVED *

* ŠKOLIACE A KONZULTAČNÉ STREDISKO NDT PRE ODBOR NETESNOSTÍ PIEŠŤANY *

POČET LISTOV :
[21]

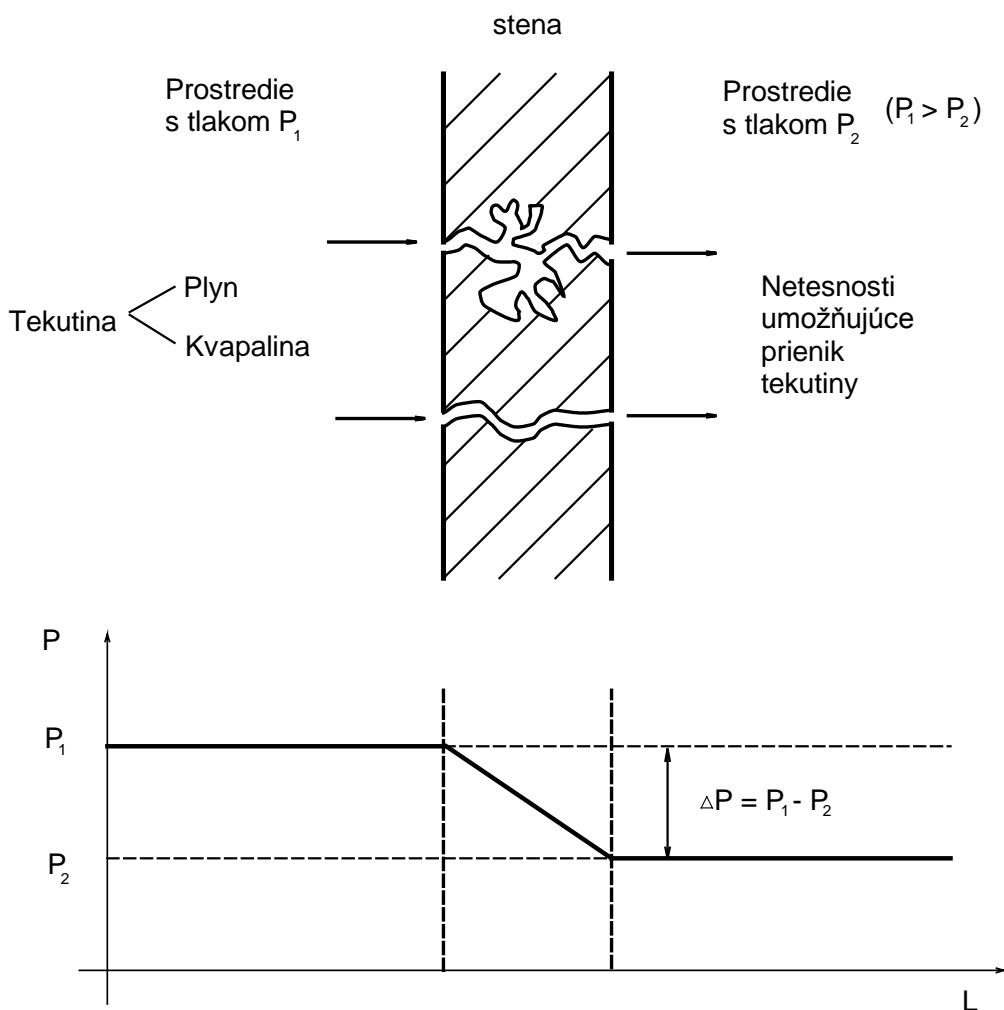
LIST Č. :
[2]

1. ÚVOD - VŠEOBECNE

1.1 Základné pojmy

Skúšanie tesnosti je samostatnou metódou nedeštruktívneho skúšania materiálov. V zmysle EN ISO 9712:2012 [1] patrí medzi odbory nedeštruktívneho skúšania; do zoznamu odborov nedeštruktívneho skúšania je zaradené ako odbor 1.3 skúšanie tesnosti – LT (LT – leak testing).

Netesnosť je v podstate nedokonalosť ľubovoľného pevného rozhrania – steny, ktorá pri trvalom rozdiel tlakov (tlakovom spáde) medzi stranami rozhrania umožňuje čiastočný prienik tekutín – tj. plynov či kvapalín (Obr. 1.1.1).



Obr. 1.1.1 K definícii netesnosti

Netesnosti sú chyby zhoršujúce tesnosť kontrolovaných objektov. Pre stanovenie prípustnosti, či neprípustnosti netesnosti je rozhodujúce pretečené množstvo

skúšobnej látky za jednotku času (pre vyjadrenie v jednotkách pre plyn je to $\text{Pam}^3\text{s}^{-1}$; pre vyjadrenie v jednotkách pre kvapalinu je to spravidla l či m^3/rok).

Netesnosti definujeme ako súbor kapilár a dutín (kanálikov, štrbín) rôzneho tvaru, prierezu a dĺžky **spájajúce obe strany steny**, ktoré sa nachádzajú vo vnútri pevnej látky tvoriacej stenu systému (*obr. 1.1.2*).

Tesnosť výrobku je medza, ktorú chceme dosiahnuť a ktorú sme schopní zmerať; dosiahneme ju lokalizovaním a následným odstránením netesností.

Tesnosť sa udáva spravidla ako $q_{\text{ndov}} \leq (\text{HODNOTA}) \text{Pam}^3\text{s}^{-1}$.

Tak napríklad pre tesnosť nádrží na nebezpečné látky (pozri napr. [13]) sa požaduje tesnosť :

$$q_{\text{ndov}} \leq 10^{-1} \div 10^{-3} \text{Pam}^3\text{s}^{-1}$$

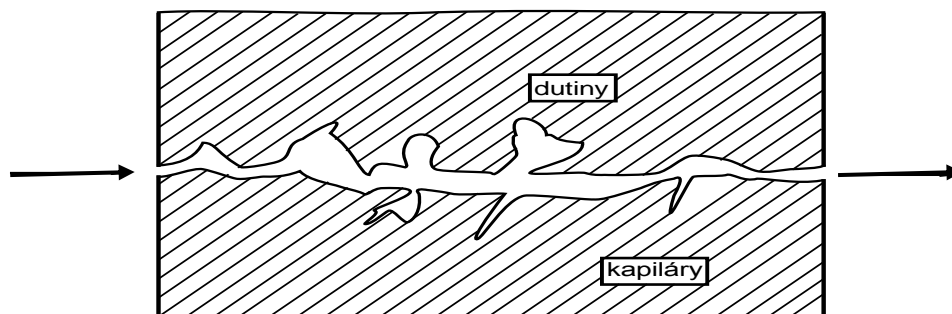
Geometrické rozmery netesností sú spravidla také malé, že:

- 1) ich nie je možné dobre vizuálne zistiť
- 2) nie sú odhaliteľné inými defektoskopickými metódami, napr. vizuálnou kontrolou, prežarovaním, ultrazvukom, magnetoinduktívnymi metódami či akustickou emisiou.

Tvar netesností:

1) netesnosti vzniknuté vplyvom smeru technologického tvárnenia majú jednoduchý geometrický tvar a spravidla sledujú najkratší smer medzi stenami rozhrania (napr. v ťahaných, valcovaných materiáloch),

2) netesnosti v polykrystalickej štruktúre sú veľmi členité (napr. zvary). Celková dĺžka komunikácií je mnohonásobne väčšia, než je geometrická hrúbka steny.




Obr. 1.1.2 Znáozornenie netesnosti

Hodnota tesnosti je definovaná ako hodnota prieniku skúšobnej látky za jednotku času cez kontrolovanú – skúšanú súčiastku, či celok, ktoré sú inak kompaktné.

Hľadanie netesností je optimálne zostavený pracovný postup, ktorého cieľom je zistiť miesto alebo príčinu netesnosti.

Meranie tesností je pracovný postup, ktorého cieľom je zistiť veľkosť alebo miesto netesnosti, prípadne oboje.

 © 2015	ING. PETER ŽÚBOR	POČET LISTOV : [21]
	* HMOTNOSTNÁ SPEKTROMETRIA. ODVODENIE DEMPSTEROVEJ ROVNICE *	LIST Č. : [4]
* COPYRIGHT (C) 2015 ŠKS PIEŠŤANY * * ALL RIGHTS RESERVED *		
* ŠKOLIACE A KONZULTAČNÉ STREDISKO NDT PRE ODBOR NETESNOSTÍ PIEŠŤANY *		

Jedinou charakteristickou veličinou netesnosti je hodnota jej **vákuovej vodivosti**. Možno ju zisťovať rôznymi metódami; najvýhodnejšie je použitie **kalibrovaného hľadača netesností** na báze hélia alebo halogénov.

Pred každou **skúškou tesnosti** si musíme určiť:

1. veľkosť požadovanej tesnosti
2. metódu na zistenie hodnoty tesnosti
3. metódu na zisťovanie jednotlivých netesností
4. spôsob odstránenia zistených netesností

Je veľmi dôležité **stanoviť požadovanú tesnosť** (dovolenú netesnosť - q_{ndov}); odstrániť všetky netesnosti je často neúnosné a výsledok je neúmerný k vynaloženej námahe.

Zhrnutie :

Tesnosť – kritérium, ktoré udáva hodnotu priepustnosti skúšobnej látky cez kontrolovanú oblasť. Označuje sa q_n a jej rozmer je $[Pam^3s^{-1}]$

Netesnosť – otvor, pórovitosť prestupového elementu alebo iná štruktúra v stene objektu, ktorá je schopná prepúšťať tekutinu z jednej strany na druhú pôsobením účinku tlaku alebo rozdielmi koncentrácie.

(Miesto, ktoré sa vyznačuje nedovolenou hodnotou prieniku skúšobnej látky; meriame „tesnosť“ a zisťujeme – hľadáme „netesnosti“).

Netesnosť charakterizujeme ako chybu, zhoršujúcu tesnosť výrobkov. Tesnosť časti, či celku definujeme ako vlastnosť, spočívajúcu v odpore voči vnikaniu určitých látok. Táto vlastnosť je obmedzená reálnymi netesnosťami, čo sú v podstate chyby, ktorých spoločná veľkosť určuje tesnosť časti alebo celku.


Určitá tesnosť výrobku je hranica, ktorú chceme dosiahnuť a ktorú sme schopní zmerať.

Každá metóda hľadania netesností využíva skutočnosť, že **netesné miesto spája objem skúšaného objektu s okolitou atmosférou**.

Poznámka: Terminológia z odboru skúšania tesnosti je komplexne spracované v [2].

Záverom :

Hodnota tesnosti zvarových spojov konštrukcií alebo častí sa charakterizuje celkovým únikom, ktorý sa posudzuje ako celkové množstvo plynu, ktoré prenikne za jednotku času cez chybu (napr. zvarového spoja) konštrukcie alebo jeho časti.

 © 2015	ING. PETER ŽÚBOR * HMOTNOSTNÁ SPEKTROMETRIA. ODVODENIE DEMPSTEROVEJ ROVNICE *	POČET LISTOV : [21]
	* COPYRIGHT (C) 2015 ŠKS PIEŠŤANY * * ALL RIGHTS RESERVED * * ŠKOLIACE A KONZULTAČNÉ STREDISKO NDT PRE ODBOR NETESNOSTÍ PIEŠŤANY *	LIST Č. : [5]

2. SPÔSOBY SKÚŠANIA TESNOSTI

2.1 Všeobecne

Vyhovujúca tesnosť je často jednou zo základných predpokladov dokonalej funkcie zariadení jadrovej energetiky, špeciálnych chemických prevádzok a pod. Hodnota požadovanej tesnosti, resp. maximálna prípustná netesnosť je rôzna u rôznych druhov zariadení.

Či je časť, alebo celé zariadenie „tesné“, závisí od toho, akému účelu má slúžiť. Žiadny prístroj či zariadenie, u ktorého vyžadujeme tesnosť, nie je možné vyrobiť tak, aby bolo absolútne tesné; v princípe však nie je nutné, aby tomu tak bolo. Je len dôležité, aby sa netesnosť **nachádzala pod hraničnou hodnotou**, určenou pre tento celok.

Na dosiahnutie objektívnych výsledkov skúšok je potrebné optimálne zapojenie stavebných dielov skúšobných zariadení.

Problematika dosiahnutia čo najlepšej tesnosti špeciálnych zariadení je v súčasnosti v strojárskvej a elektrotechnickej výrobe veľmi aktuálna. Z tohto dôvodu bol za účelom zisťovania netesností počas výroby i prevádzkovania zariadení postupne vyvinutý celý rad rôznych skúšobných metód.


Tieto metódy sú rôzne presné, zložité, nákladné, náročné na obsluhu a využiteľné v praxi (obr. 2.1).



Obr. 2.1 Citlivosť metód skúšok tesnosti

Problematiku zisťovania netesností je možné rozdeliť na 3 hlavné časti:

1. overenie, či je kontrolovaný objekt tesný alebo netesný
2. zistenie veľkosti netesnosti
3. určenie miesta netesností.

 © 2015	ING. PETER ŽÚBOR	POČET LISTOV : [21]
	* HMOTNOSTNÁ SPEKTROMETRIA. ODVODENIE DEMPSTEROVEJ ROVNICE *	LIST Č. : [6]
* COPYRIGHT (C) 2015 ŠKS PIEŠŤANY * * ALL RIGHTS RESERVED * * ŠKOLIACE A KONZULTAČNÉ STREDISKO NDT PRE ODBOR NETESNOSTÍ PIEŠŤANY *		

2.2 Celková a miestna skúška tesnosti

Skúška tesnosti kontrolovaného môže byť vykonaná dvoma základnými rozdielnymi spôsobmi, a to ako:

- 1) celková (integrálna) skúška tesnosti
- 2) miestna (lokalizačná) skúška tesnosti.

Celková skúška tesnosti

Používa sa na určenie celkovej (integrálnej) netesnosti. Celková netesnosť predstavuje **celkový únik skúšobnej látky** z kontrolovaného objektu bez ohľadu

- na miesta netesností
- ich jednotlivú veľkosť.

Rozhodujúcim je celkový súčet všetkých príspevkov prúdu plynu od jednotlivých netesností

$$Q_C = \sum_{i=1}^n Q_i$$

Celková netesnosť je tvorená súborom jednotlivých netesností rôznej veľkosti

$$Q_C < ; > Q_{dov} \quad \text{Vyhovuje?}$$

Pri celkovej netesnosti sa uplatnia **bez rozdielu všetky veľkosti netesností**.

Celková skúška tesnosti sa musí vykonať na celom kontrolovanom objekte súčasne.

Miestna skúška tesnosti

Používa sa na určenie miestnej (lokálnej) netesnosti. Miestna netesnosť predstavuje **presné miesto úniku skúšobnej látky** z kontrolovaného objektu bez ohľadu na:

- jej veľkosť
- na ostatné netesnosti.

Miestne netesnosti, zistiteľné použitou metódou, odhaľujeme spravidla za účelom ich opravy – **utesnenia**.

Z povahy netesností, jej veľkosti (veľkosti jej priepustnosti) a z povahy metódy, ktorou netesnosť zisťujeme, vyplýva, že i pri

celkovom zápornom výsledku

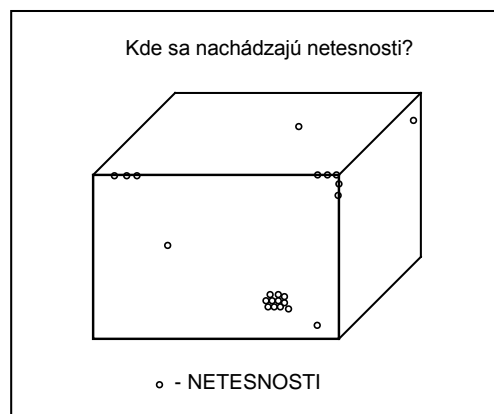
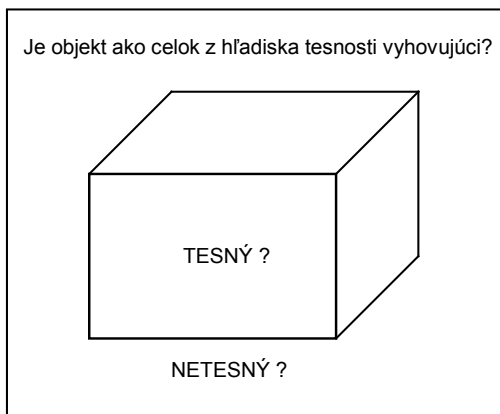
skúšky tesnosti miestnymi (lokalizačnými) metódami

nie je záruka, že kontrolovaný objekt bude pod limitom celkovej netesnosti.

Celková netesnosť objektu môže byť totiž tvorená

radou netesností nezistiteľných použitou miestnou metódou.

Tento fakt úplne vylučuje použitie miestnych metód zisťovania netesností v tých prípadoch, kedy je zadaná prípustná – dovolená – celková netesnosť.



Obr. 2.2.1 K celkovej skúške tesnosti

Obr. 2.2.2 K miestnej skúške tesnosti

Miestna skúška tesnosti **sa môže** vykonať na kontrolovanom objekte **postupne**.

Poznámka na záver:

Celková skúška tesnosti neodhalí miesto netesnosti a miestna skúška tesnosti nie je zárukou dostatočnej celkovej tesnosti kontrolovaného objektu.

3. IONIZÁCIA

V elektricky neutrálnom atóme sa počet elektrónov rovná počtu protónov. Ak sa odštiepi z atómu elektrón, vzniká častica s kladným nábojom, lebo kladný náboj jadra sa pritom nemení; prevláda kladný el. náboj. **Častica s kladným nábojom je katión.** Ak neutrálny náboj prijme elektrón, vzniká častica so záporným nábojom, lebo kladný náboj jadra sa nemení; prevláda záporný el. náboj. **Častica so záporným nábojom je anión.**

Katióny a anióny majú spoločný názov **ióny.**

Ión – kladný; záporný

Najčastejší prípad je kladný ión.

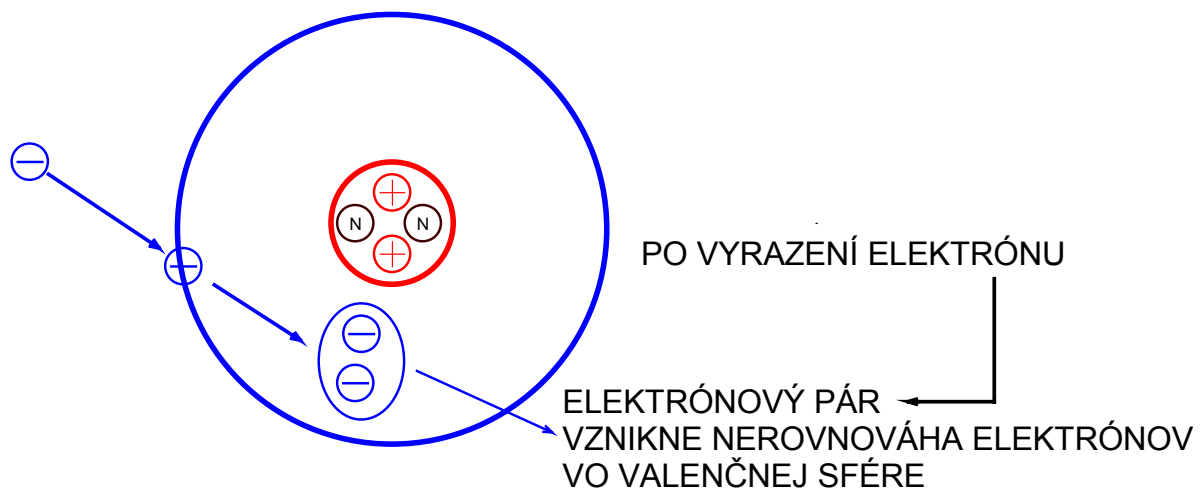
V prípade kladného iónu prevláda kladný náboj jadra nad záporným nábojom elektrónového obalu:

$$n_p = n_e - 1$$

Tento stav sa dosiahne ionizáciou.

Sú známe viaceré možnosti ionizácie:

- silným elektromagnetickým žiarením (slovo „silný“ – mnohonásobne väčšie, než „bežné“)
- silným elektrickým poľom ($E_{ep} > E_{pot}$)
- najčastejšie: nárazová ionizácia ($E_k > E_{pot}$)




Energia > ako je na príslušnej sfére = potenciálová energia

Kinetická energia $E_k = \frac{1}{2}mv^2$

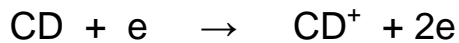
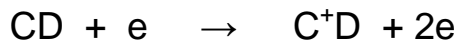
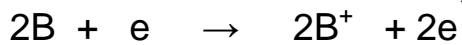
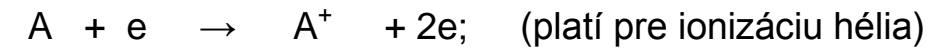
Vznikne nerovnováha elektrónov na valenčnej sfére

Z neutrálnej molekuly (napr. He) sme vyrobili elektricky nabitú časticu = prevládajú kladne nabité častice.

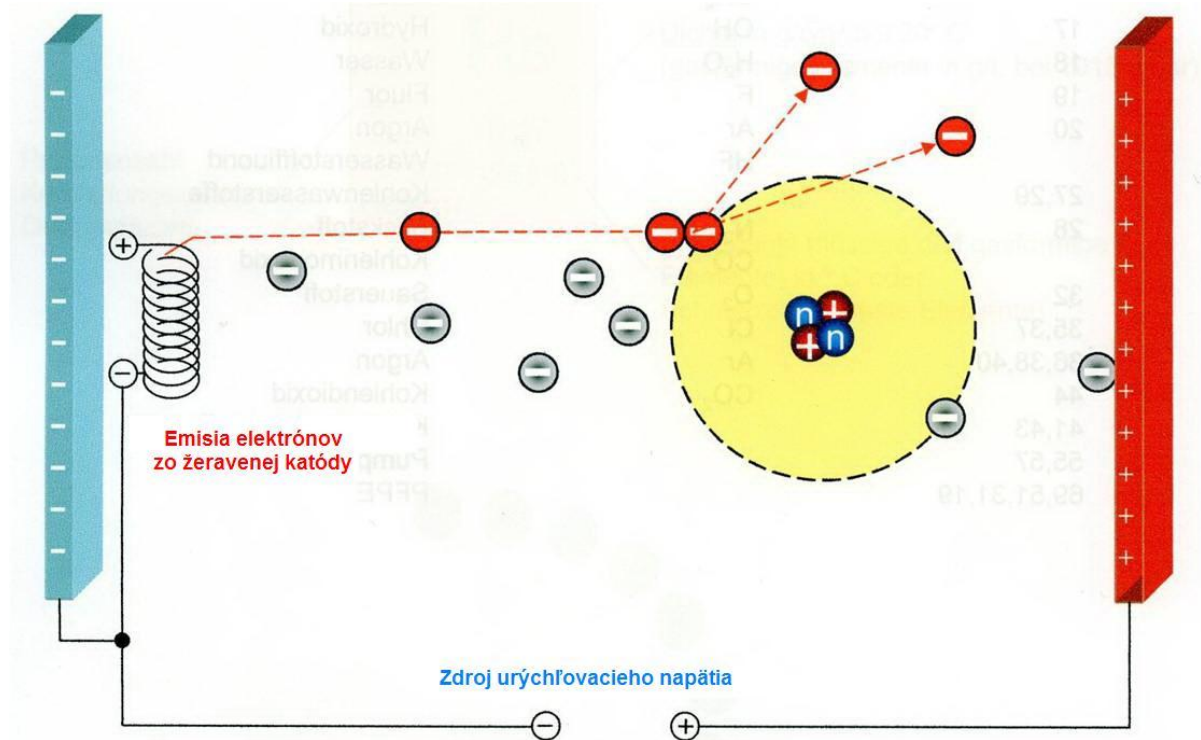
 © 2015	ING. PETER ŽÚBOR	POČET LISTOV : [21]
	* HMOTNOSTNÁ SPEKTROMETRIA. ODVODENIE DEMPSTEROVEJ ROVNICE *	LIST Č. : [9]
* COPYRIGHT (C) 2015 ŠKS PIEŠŤANY * * ALL RIGHTS RESERVED *		
* ŠKOLIACE A KONZULTAČNÉ STREDISKO NDT PRE ODBOR NETESNOSTÍ PIEŠŤANY *		

Emitujúce elektróny sa dajú získať zo žeravenej katódy = zdroj elektrónov.

Rozlišujeme nasledovné ionizačné procesy :



Keď chceme analyzovať nejakú látku, musíme ju previesť do plynného skupenstva. V prípade kvapalín je to jednoduché; stačí kvapalinu odpariť. V prípade tuhých látok – najskôr roztaviť a potom odpariť. Takto pripravený plyn sa odvádza do zásobníku.



K princípu ionizačného procesu

4. HMOTNOSTNÁ SPEKTROMETRIA

Rozbory materiálov → aké majú zloženie, z čoho sa skladajú?

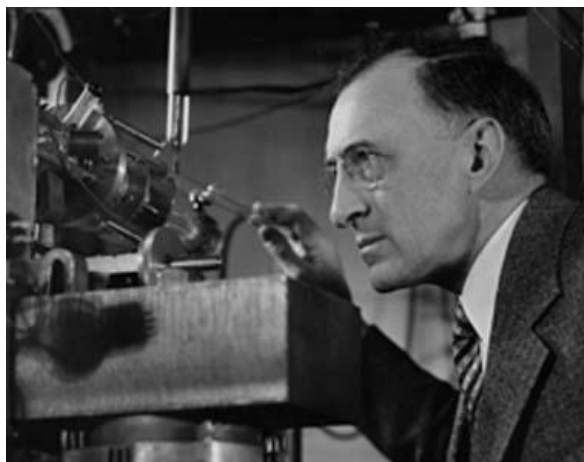
Napr. :

- zloženie tuhých látok, kvapalín, plynov
- rôzne zliatiny
- výskum nových látok
- ale i spadnuté meteority a rozbory vzoriek z mesačného povrchu *1)
- využitie pri skúšaní tesnosti s vysokou citlivosťou.

Jedna z ciest vedie cez rozbor pomocou hmotnostnej spektrometrie...

MS – Mass Spectrometry – hmotnostná spektrometria

Stručne z histórie :



↑ Konštrukcia prvého hmotnostného spektrometra
←1918 – Arthur Jeffrey DEMPSTER, USA

Ak chceme pochopiť fyzikálny princíp hmotnostnej spektrometrie a následne princíp činnosti héliového hľadača netesností, musíme ovládať poznatky o stavbe hmoty a následne princípy ionizácie plynov, správania sa el. častíc v elektrickom a magnetickom poli.

Pri hmotnostnej spektrometrii sa meraná látka vo vysokom vákuu prevedie do plynného skupenstva a tieto častice (neutrálne molekuly, popri prípade atómy) sa ionizačným procesom (najčastejšie nárazová ionizácia elektrónmi) premenia na častice nesúce určitý elektrický náboj.

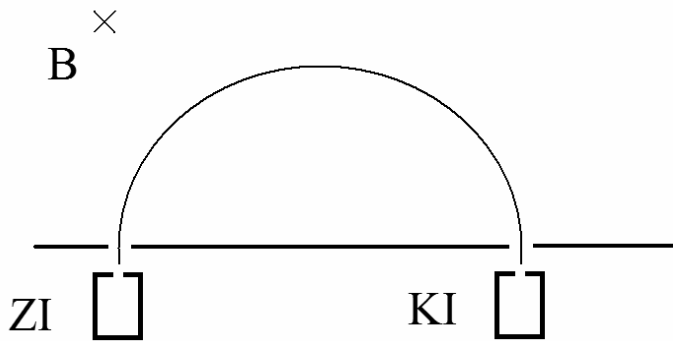
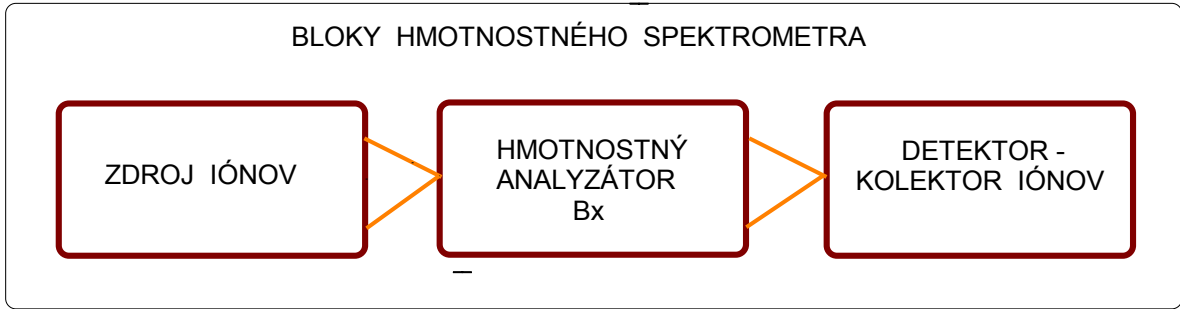
Podľa svojej hmoty a náboja sa tieto častice v magnetickom a elektrickom poli odchyľujú na rôzne dráhy.

Indikáciou tohto javu sa získa hmotnostné spektrum meranej látky.

Kvantitatívne zloženie častíc pri rozpade molekúl v ionizačnej komore prístroja je stále a je pre danú látku charakteristické.

*1) Pozn.: Jedna ampula s Mesačným prachom, ktorú priviezla Misia APOLLO 11 (24.7.1969; priviezli 22 kg vzoriek z pôdy Mesiaca) bola skúmaná i v Prahe na Akadémii vied ČSSR; ČSSR ju daroval vtedajší prezident USA Richard Nixon (celkovo bolo darovaných 135 ampulí – do každého štátu sveta jedna).

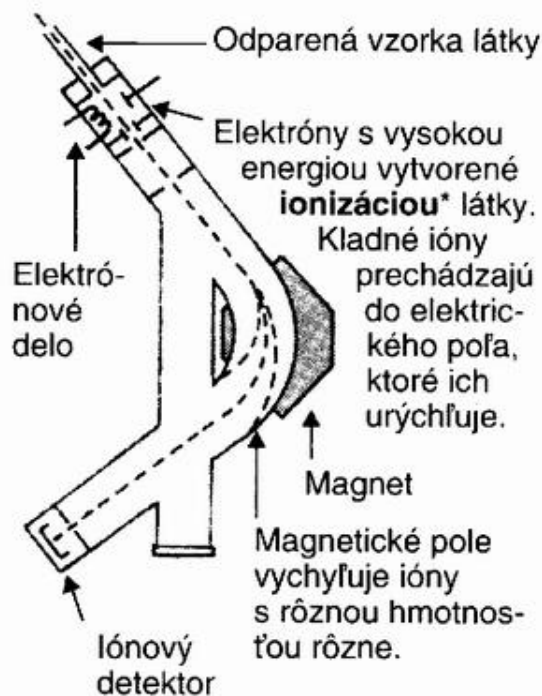
BLOKY HMOTNOSTNÉHO SPEKTROMETRA



← Dispozícia statického hmotnostného spektrometra

- ZI – zdroj iónov;
- KI – kolektor iónov;
- B – magnetické pole

▼ Hmotnostný spektrometer



4.1 DEMPSTEROVA ROVNICA

Dempsterova rovnica platí pre elektricky nabité častice.

V našom prípade sa však sústredíme na správanie **iontov**, lebo tie sú produktom ionizátora hmotnostného spektrometra.

Analyzovaný plyn vstupuje do ionizátora, v ktorom je **ionizovaný** a potom sú ióny **urýchľované** elektrickým poľom s napätím U .

Takto urýchlené ióny prichádzajú do analyzátoru (separátora).

V tomto priestore **pôsobí** na ióny magnetické pole, ktoré ich dráhy **kruhovo zakrivuje**.

ODVODENIE RÝCHLOSTI EL. NABITÝCH ČASTÍ POHYBUJÚCICH SA V EL. POLI

Elektrické pole je definované ako konštanta úmernosti medzi nábojom a silou:

$$F_1 = q \cdot E \quad (1)$$

F_1	sila elektrického poľa
q	el. náboj častice
E	intenzita el. poľa

Intenzita el. poľa je daná vzťahom:

$$E = \frac{U}{d} \quad (2)$$

E	intenzita elektrického poľa
U	napätie medzi elektródami (katóda – anóda)
d	vzdialenosť medzi elektródami

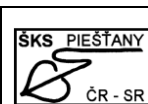
$$F_1 = q \cdot E \quad (3)$$

$$F_1 = q \cdot \frac{U}{d} \quad (4)$$

Podľa druhého Newtonovho zákona je sila pôsobiaca na teleso s hmotnosťou m daná vzťahom :

$$F_2 = m \cdot a \quad (5)$$

m	hmotnosť častice
a	zrýchlenie; prírastok rýchlosti v za čas t



© 2015

ING. PETER ŽÚBOR

* **HMOTNOSTNÁ SPEKTROMETRIA. ODVODENIE DEMPSTEROVEJ ROVNICE** *

* COPYRIGHT (C) 2015 ŠKS PIEŠŤANY * * ALL RIGHTS RESERVED *

* ŠKOLIACE A KONZULTAČNÉ STREDISKO NDT PRE ODBOR NETESNOSTÍ PIEŠŤANY *

POČET LISTOV :
[21]

LIST Č. :
[13]

Z rovností síl pôsobiacich na el. pohybujúcu sa časticu vyplýva :

$$F_1 = F_2 \quad (6)$$

(4) = (5)

$$q \cdot \frac{U}{d} = m \cdot a \quad (7)$$

$$a = \frac{q \cdot U}{m \cdot d} \quad (8)$$

Konečná rýchlosť el. častice je daná vzťahom :

$$v_k = a \cdot t_p \quad (9)$$

t_p	doba preletu el. častice medzi elektródami
-------	--

$$a = \frac{v_k}{t_p} \quad (10)$$

Porovnaním získame

$$a = a$$

(10) = (8)

$$\frac{v_k}{t_p} = \frac{q \cdot U}{m \cdot d} \quad (11)$$

$$v_k = \frac{q \cdot U}{m \cdot d} \cdot t_p \quad (12)$$

Platí:

$$s = \frac{1}{2} a \cdot t^2 \quad (13)$$

Dosadením získame

$$s = \frac{1}{2} \cdot \frac{q \cdot U}{m \cdot d} t_p^2 \quad (14)$$

Potom doba preletu

$$t_p = \sqrt{\frac{2 \cdot s \cdot m \cdot d}{q \cdot U}} \quad (15)$$

$s \equiv d$; lebo maximálna dráha môže byť rovná vzdialenosti elektród; potom

$$t_p = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot d^2}{q \cdot U}} \quad (16)$$

$$t_p = d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m}{q}} \cdot \sqrt{\frac{1}{U}} \quad (17)$$

Dosadením do vzťahu $v_k = a \cdot t_p$ dostaneme výraz pre konečnú rýchlosť el. častíc, ktorú sme hľadali :

$$v_k = a \cdot t_p \quad (18)$$

Po úprave :

$$v_k = \frac{q^{\frac{1}{2}} \cdot U^{\frac{1}{2}}}{m^{\frac{1}{2}} \cdot d} \cdot d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m}{q}} \cdot \sqrt{\frac{1}{U}} \quad (19)$$

$$v_k = \sqrt{\frac{2 \cdot q}{m}} \cdot \sqrt{U} \quad (20)$$

Z odvodeného vzťahu vyplýva, že konečná rýchlosť el. častíc pohybujúcich sa v el. poli **nezávisí** od - vzdialenosti elektród,
ale závisí len od - veľkosti náboja,
 - jeho hmotnosti a od
 - rozdielu potenciálov medzi elektródami.

Elektricky nabitá častica po príchode do magnetického poľa je vychýľovaná silou magnetického poľa :

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha \quad (21)$$

Ak $\alpha = 90^\circ$, potom $\sin \alpha = 1$

$$F = B \cdot I \cdot l \quad (22)$$

$$I = \frac{q}{t}; \text{ potom} \quad (23)$$

$$F = B \cdot \frac{q}{t} \cdot l \quad \frac{l}{t} = v \quad (24)$$

$$F = B \cdot q \cdot v$$

$$F = q(v \times B) \quad \text{Lorentzova rovnica („Lorentzova sila“)} \quad (25)$$

F	sila elektrického poľa
q	el. náboj častice
v	rýchlosť el. náboja
B	magnetická indukcia
x	vektorový súčin

Sila magnetického poľa zakrivuje dráhu el. častice.
 Proti zakrivovaniu dráhy častice pôsobí odstredivá sila :

$$F_o = m \cdot a \quad (26)$$

$$a = \frac{v}{t} \quad (27)$$

$$t = \frac{l}{v} = \frac{r}{v} \quad ; \quad a = \frac{v}{\frac{r}{v}} = v^2 \cdot \frac{1}{r} \quad (28)$$

$$F_o = m \cdot v^2 \cdot \frac{1}{r} \quad (29)$$

$$F = F_o$$

$$(25) = (29)$$

$$q \cdot v \cdot B = m \cdot \frac{v^2}{r} \quad (30)$$

$$r = \frac{m \cdot v}{B \cdot q} \quad ; \text{ dosadíme za } v$$


$$r = \frac{m \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot q}{m}} \cdot \sqrt[2]{U}}{B \cdot q} \quad (31)$$

$$r = \frac{m^{\frac{1}{2}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot q}{m}} \cdot \sqrt[2]{U}}{B \cdot q^{\frac{1}{2}}} \quad (32)$$

$$r = \sqrt{\frac{2 \cdot m}{q}} \cdot \sqrt[2]{U} \cdot \frac{1}{B}$$

→ **DEMPSTEROVA ROVNICA**

Polomer zakrivenia r el. častice urýchlenej napätím U je úmerný jej hmotnosti a nepriamo úmerný veľkosti jej náboja q a indukcii magnetického poľa B .

 © 2015	ING. PETER ŽUBOR * HMOTNOSTNÁ SPEKTROMETRIA. ODVODENIE DEMPSTEROVEJ ROVNICE * * COPYRIGHT (C) 2015 ŠKS PIEŠŤANY * * ALL RIGHTS RESERVED * * ŠKOLIACE A KONZULTAČNÉ STREDISKO NDT PRE ODBOR NETESNOSTÍ PIEŠŤANY *	POČET LISTOV : [21]
		LIST Č. : [17]

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H \quad (33)$$

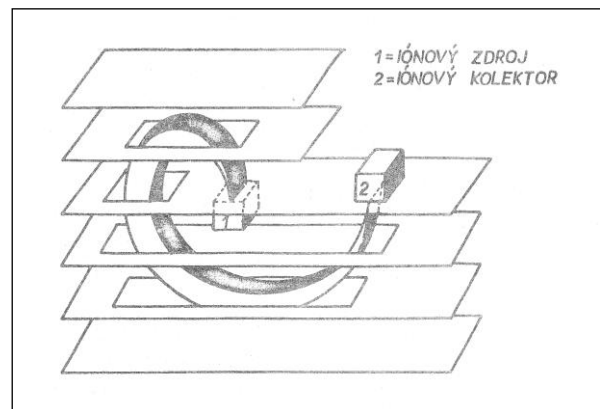
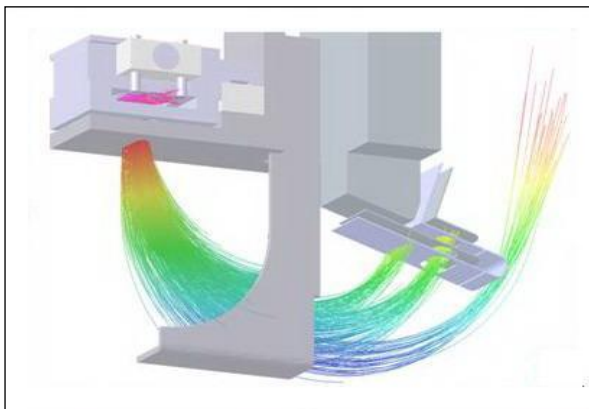
μ_0	permeabilita vákua; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} [\text{Hm}^{-1}]$
μ_r	permeabilita prostredia
H	intenzita magnetického poľa; $[\text{Am}^{-1}] \quad H \sim n \cdot l$

=>

Výber ionizovaných častíc vykonávame zmenou prúdu pretekajúceho cievkou elektromagnetu elektromagnetického analyzátoru (SEPARÁTORA).

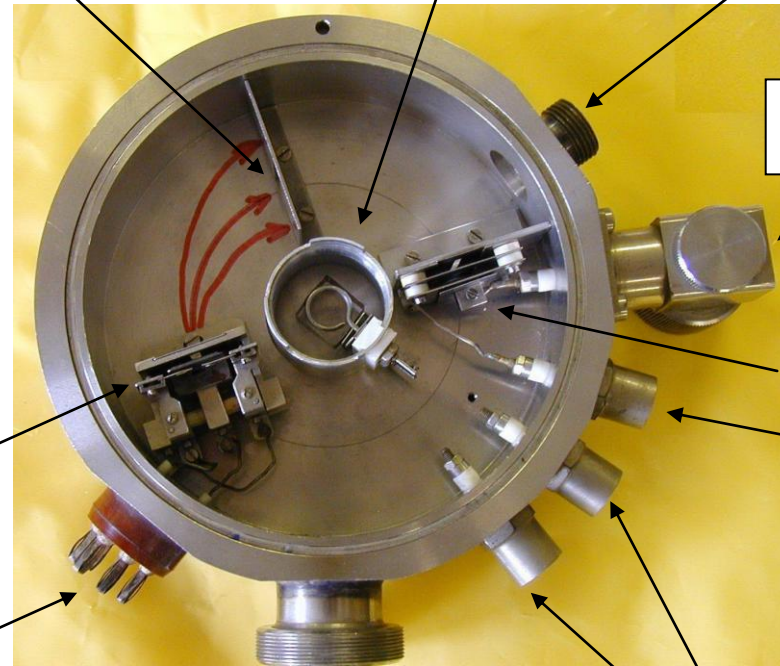
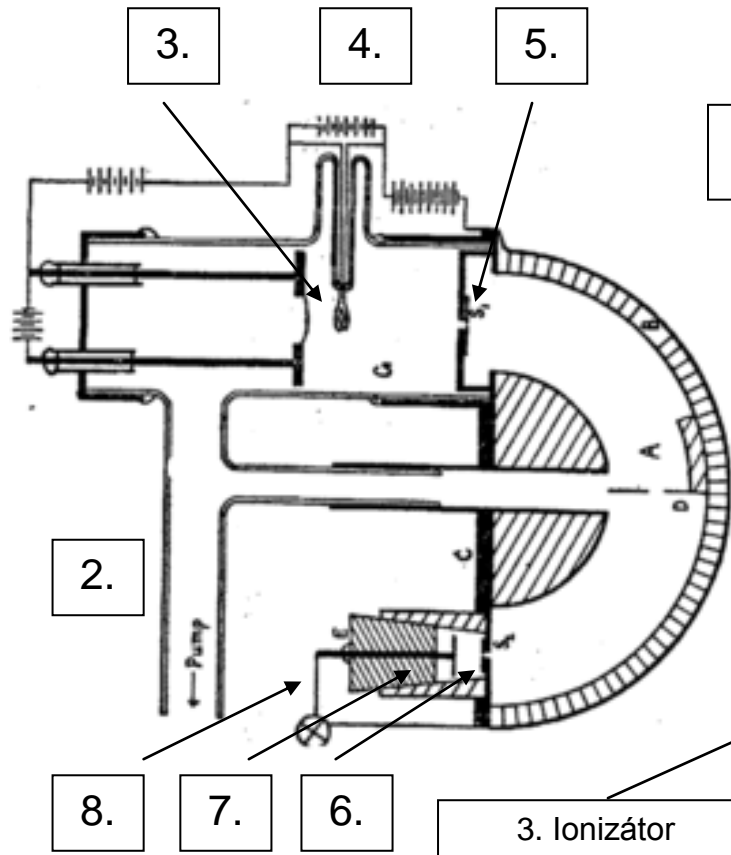
Výber sa nedá realizovať (uskutočňovať) zmenou napätia vzhľadom na minimálne rozdiely ionizačných energií rozličných plynov.

Pozn.:



Dokonalejšiu verziu usporiadania ionizačného a separačného systému vyvinula firma Varian, USA pod názvom trochotrón

Princíp hmotnostného spektrometru podľa A.J.Dempstera



5. Mechanický separátor

9. Penningova mierka

2. Pripojenie čerpacej jednotky

8. K jednosmernému zosilňovaču

7. Kolektor

6. Supresor

2.

8.

7.

6.

3. Ionizátor

4. El. napájanie ionizátora a urýchľovača iónov

1. Analyzovaný plyn

10. Pripojenie vysokovákuového vákuometra

4.2 SKÚŠANIE TESNOSTI POMOCOU HÉLIA

Héliový hľadač netesnosti je v podstate „naladený“ hmotnostný spektrometer tak, aby na kolektor separátora dopadali len ióny hélia.

Prednosti použitia hélia pre meranie netesností:


- najmenší priemer častice (ión hélia) má rádovo priemer 10^{-10} m
- veľmi nízka hodnota koncentrácie vo vzduchu ($5,24 \times 10^{-4}$ obj.%)
- z toho vyplývajúca veľmi nízka úroveň pozadia, tj. koncentrácie skúšobného plynu v skúšobni
- nehorľavosť
- nevýbušnosť
- zdravotná nezávadnosť
- nízka viskozita tečúceho plynu – dynamická viskozita hélia je $19,68 \cdot 10^{-6}$ Pas.

Pre prax z uvedeného vyplýva, že hélium umožňuje lokalizovať najmenšie netesnosti, a to rádovo až 10^{-9} m.

Za zápory treba považovať:

- vysokú cenu skúšobného plynu, jeho niekedy ťažšia dostupnosť
- potreba vysokej čistoty [99.996 %].




 © 2015	ING. PETER ŽÚBOR	POČET LISTOV : [21]
	* HMOTNOSTNÁ SPEKTROMETRIA. ODVODENIE DEMPSTEROVEJ ROVNICE * * COPYRIGHT (C) 2015 ŠKS PIEŠŤANY * * ALL RIGHTS RESERVED * * ŠKOLIACE A KONZULTAČNÉ STREDISKO NDT PRE ODBOR NETESNOSTÍ PIEŠŤANY *	LIST Č. : [20]

LITERATÚRA

- [1] STN EN ISO 9712:2012 Nedeštruktívne skúšanie. Kvalifikácia a certifikácia pracovníkov nedeštruktívneho skúšania
- [2] STN EN 1330-8 : 2002 Nedeštruktívne skúšanie. Terminológia. Časť 8 : Termíny používané pri skúšaní tesnosti
- [3] STN EN 1779 : 2001 Nedeštruktívne skúšanie. Skúšanie tesnosti. Kritéria na voľbu metód a postupov
- [4] STN EN 13185:2001 Nedeštruktívne skúšanie. Skúška netesnosti. Metóda straty plynu
- [5] STN EN 13192:2002 Nedeštruktívne skúšanie. Skúšanie netesnosti. Kalibrovanie porovnávacích netesností na plyny
- [6] STN EN 13625:2002 Nedeštruktívne skúšanie. Skúšanie netesnosti. Návod na výber prístrojov na meranie netesností plynom
- [7] STN EN 1518:2002 Nedeštruktívne skúšanie. Skúšanie netesnosti. Charakterizovanie detektorov netesnosti pomocou hmotnostného spektra
- [8] Groszkowski, J.: Technika vysokého vákua, SNTL, Praha 1981.
- [9] Žúbor, P.: Skúšanie tesnosti. 5. časť. Učebný text pre prípravu defektoskopických pracovníkov v odbore skúšania tesnosti, ŠKS Piešťany, 1996
- [10] Lukáč, P., Martišovits, V.: Netesnosti vákuových systémov, KEC FMFI UK, Bratislava 2010
- [11] Žúbor, P.: Kontrola tesnosti zvarov, časopis ZVÁRANIE (VÚZ - PI SR), čísla : 1/2008, 2/2008, 3/2008, 6-7/2008
- [12] Nedestruktivní zkoušení (defektoskopie) - Encyklopedický přehled metod nedestruktivního zkoušení materiálů a výrobků; ČSNDT, Brno 2013
- [13] ŠKODA - ATG, Dokument č. E-LT GE 72.180
- [14] <http://www.netesnosti.informacie.sk>

Príspevok recenzovali : Ing.Erika Bábelová, PhD., TÜV SÜD a Ing. Piotr Sullik, Poľsko

 © 2015	ING. PETER ŽÚBOR	POČET LISTOV : [21]
	* HMOTNOSTNÁ SPEKTROMETRIA. ODVODENIE DEMPSTEROVEJ ROVNICE *	LIST Č. : [21]
* COPYRIGHT (C) 2015 ŠKS PIEŠŤANY * * ALL RIGHTS RESERVED *		
* ŠKOLIACE A KONZULTAČNÉ STREDISKO NDT PRE ODBOR NETESNOSTÍ PIEŠŤANY *		