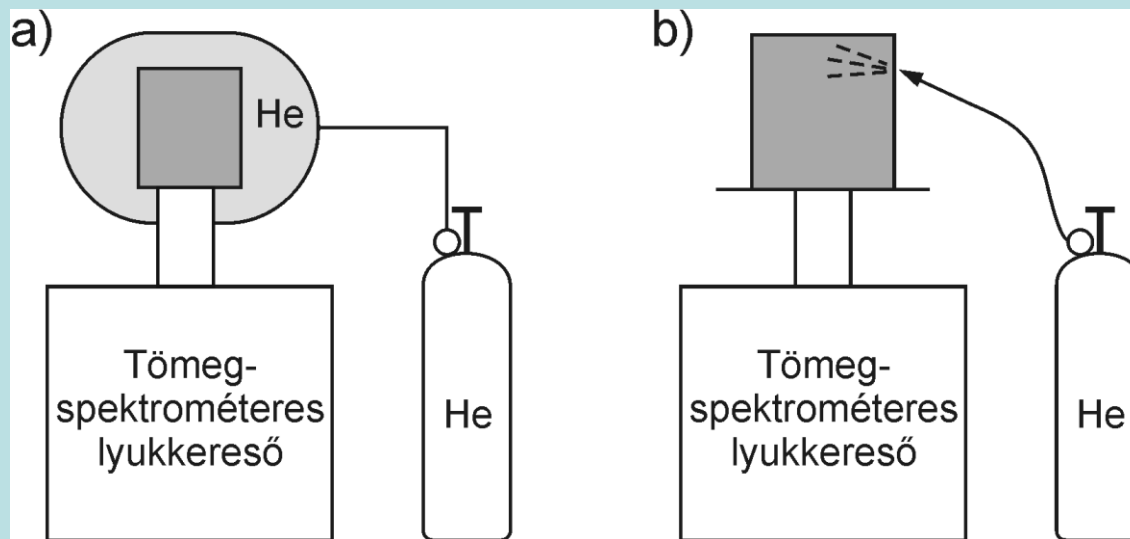


Bohátka Sándor és Langer Gábor

8. LYUKKERESÉS



8. LYUKKERESÉS

- A vákuumrendszer tömítetlenségének felderítésére, helyének és a szivárgás mértékének a meghatározására szolgáló eljárás.
- Hitelesítéssel a beszivárgó gáz mennyisége is meghatározható.
- A **szivárgást** a vákuumrendszerbe időegység alatt beáramló gázmennyiséggel jellemezzük, tehát gázmennyiség-áram (Q) jellegű.
Egysége: **$\text{mbar} \cdot \ell \cdot \text{s}^{-1} = \text{bar} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 0,1 \cdot \text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$** .
- A szivárgás általában akkor zavaró, ha $p_{\text{szivárgás}} \geq p_{\text{maradék-gáz}}$

Példák

1. Csőszerű csatornán át a levegőbeáramlás atmoszféráról vákuumba:
 - hossz: 2 mm, átmérő: 0,05 mm (hajszál); beömlés: $10^{-2} \text{ mbar} \cdot \ell/\text{s}$;
 - hossz: 2 mm, átmérő: 0,001 mm; beömlés: $6 \cdot 10^{-8} \text{ mbar} \cdot \ell/\text{s}$.
2. Összehasonlításként egy hétköznapi példa: $10^{-4} \text{ mbar} \cdot \ell/\text{s}$ mértékű szivárgás egy 1,5 ℓ térfogatú kerékpártömlőben kb. fél év alatt okoz 1 atm nyomáscsökkenést.
3. Egy jó tömegspektrométeres lyukkereső $10^{-11} \text{ mbar} \cdot \ell/\text{s}$ érzékenységet legalább elér (hiszen ennél még 10-szer érzékenyebb is lehet).
Ez egyenértékű egy 10^{-4} mm átmérőjű, 2 mm hosszúságú csatorna, vagy egy $3 \cdot 10^{-7} \text{ mm} = 0,3 \text{ nm}$ átmérőjű nyílás beömlésével.

A szivárgás kritikusságát meghatározó tényezők:

- az elérendő végvákuum,
- a rendelkezésre álló szivósebesség,
- az egyéb forrásból (pl. felületek gázleadása) származó terhelések,

Pl.: ha $Q_{\text{szivárgás}} = 10^{-5} \text{ mbar} \cdot \text{l/s}$ és a szivósebesség $S_{\text{szivattyú}} = 100 \text{ l/s}$, akkor $p = Q/S = 10^{-7} \text{ mbar}$, de a felületekről is jön gázterhelés! Ezért 10^{-7} mbar aligha érhető el, de 10^{-6} mbar már igen.

- illetve sztatikus rendszerek esetén még a használat időtartama.

Pl.: egy $V = 1 \text{ l}$ térfogatú kamrát $t = 10$ percig elzárunk a szivattyútól, amíg egy mikro-mennyiségű minta analízisét elvégezzük. Ha maradékgázokból és beszivárgásból (=szennyezés) eredően legfeljebb $p_1 = 10^{-11} \text{ mbar}$ engedhető meg a $t = 10$ percig tartó mérés során, és előtte $p_0 = 10^{-12} \text{ mbar}$ -ra tudtuk leszívni a rendszert, akkor $Q_{\text{szivárgás}}$ nem érheti el a $(p_1 - p_0)V/t = 0,9 \cdot 10^{-11} \text{ mbar} \cdot \text{l}/600 \text{ s} = 1,5 \cdot 10^{-14} \text{ mbar} \cdot \text{l/s}$ értéket, de 1 percig ez a határérték $10^{-13} \text{ mbar} \cdot \text{l/s}$ is lehet.

Lyukkeresésre alkalmas bármely módszer, amely az edényen lévő lyuk két oldala közötti nyomáskülönbség hatására bekövetkező gázmozgást valamilyen módon érzékeltetni tudja.

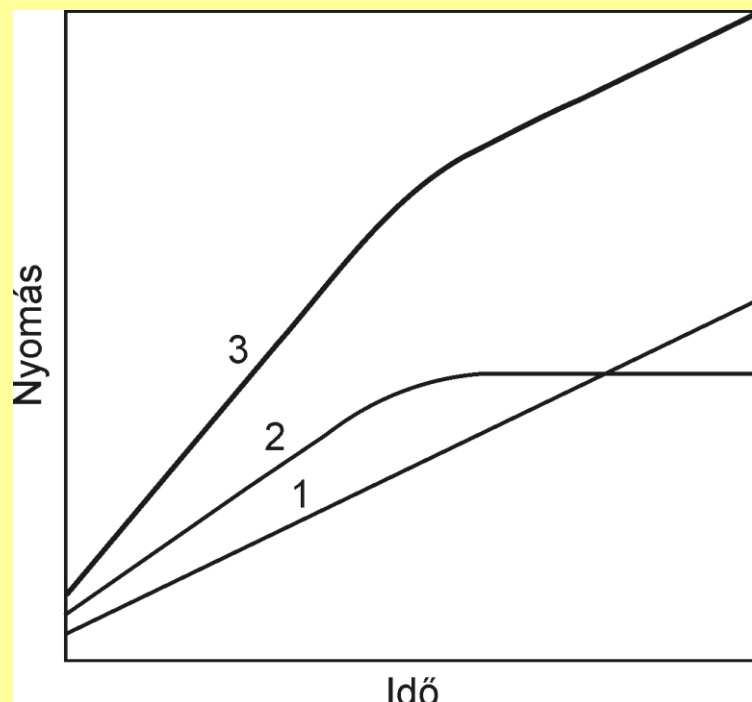
Itt csak a fontosabb vákuumtechnikai módszereket ismertetjük.

A lyukkeresés fizikai hátterét és módszertanát a tömegspektrométeres módszernél tárgyaljuk.

8.1. NYOMÁSNÖVEKEDÉS MÓDSZERE

- A szivárgás pusztta létét legegyszerűbben úgy mutatjuk ki, hogy a teret leszívjuk, szeleppel lezárjuk, és mérjük a magára hagyott rendszerben a nyomás növekedését.
- Ez a módszer mérlegelést kíván, hogy a nyomás növekedése mennyiben származik a valódi lyukon keresztüli gázbeömléstől.

Eszközigénye (a vákuumrendszer kötelező kellékein felül): elzáró szelep a szivattyú és a leszívott kamra között.



8.1.1. ábra. Nyomásnövekedés egy vákuumkamrában, amelyet $t = 0$ időpontban elzárnak a szivattyútól.

1: nyomásnövekedés valódi lyuktól eredően,

2: a kamra falának és a kamrában levő tárgyaknak a kigázosodása révén előálló nyomásnövekedés,

3: az előző két hatás együttes jelentkezése.

Méréstartomány: kb. 10^{-4} mbar· ℓ /s-tól nagyobb szivárgásokig. Függ a vákuumkamra minőségétől is.

8.2. NAGYNYOMÁSÚ (BUBORÉKOS) MÓDSZER

Az edényt gáznyomás alá helyezzük, külsejét jól habosodó anyaggal kenjük be, vagy az edényt vízbe tesszük, és a buborékokat figyeljük.

Előnye: integráló módszer, hosszabb ideig várva kis lyukakon keresztül is buborékot képez a kiáramló gáz.

Hibalehetőség: rugalmas falú edényeknél előfordulhat, hogy a belülről nyomás alá helyezett edény rugalmas alakváltozása a hajszálrepedéseket összenyomja, és nem vesszük észre a repedést.

Biztonság: a nagynyomású rendszerekre kötelező szabályok érvényesek!

Méréstartomány: kb. 10^{-5} mbar·ℓ/s-tól nagyobb szivárgásokig.

10^{-5} mbar·ℓ/s megfelel 0,6 mm³ légköri nyomású levegőbuborék képződésének 1 perc alatt. Az alsó méréshatár elérését vízdugó gátolhatja.

8.3. LYUKKERESÉS VÁKUUMMÉRŐVEL

A leggyakorlatiasabb módszer, mert vákuummérőnk mindig van!

A vákuummérő érzékenységének gázfajtáktól függését használjuk ki.

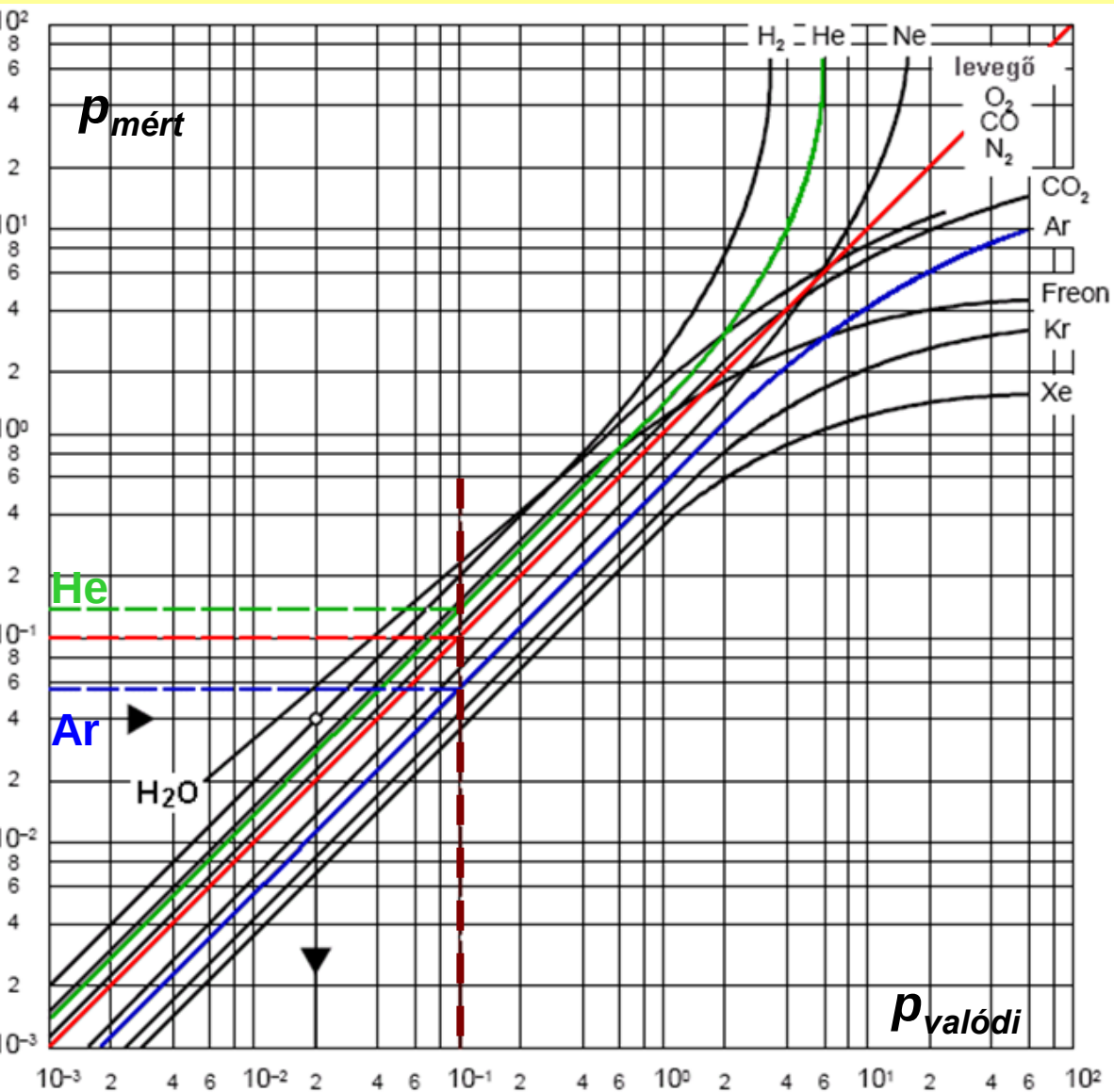
Kimutatható szivárgások: amelyek által okozott nyomásnövekedés az adott vákuummérő érzékenységi tartományán belül van.

Érzékenysége a vákuummérő tulajdonságain kívül a keresőgáztól, az edény térfogatától és a szivattyú szívósebességétől függ.

8.3.1. Lyukkeresés Pirani vákuummérővel

Elővákuum tartományban a gázok különböző hővezetése alapján (6.4. fejezet). Ha pl. Ar, illetve He keresőgázzal fújunk a vákuumrendszer falára,

és az lyukas, akkor a levegő helyét elfoglaló Ar rosszabb hővezetése miatt a Pirani vákuummérő nyomáscsökkenést, illetve a He esetében a jobb hővezetése miatt nyomásnövekedést mutat.

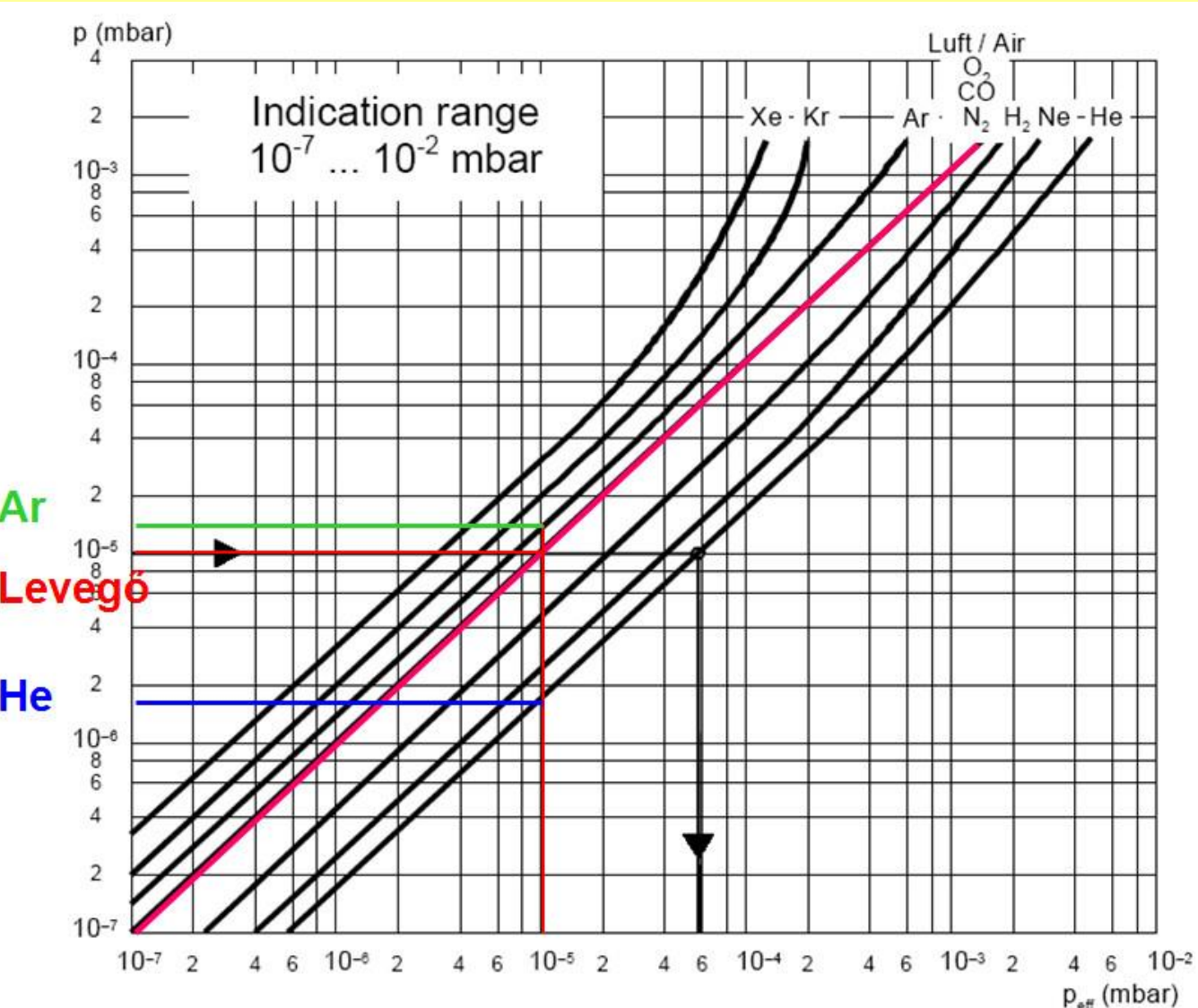


Méréstartomány:
kb. 10^{-2} mbar·ℓ/s-tól
nagyobb szivárgásokig.

8.3.1.1. ábra.
Egy Pirani vákuummérő
karakterisztikái különböző
gázokra [P1].

8.3.2. Lyukkeresés ionizációs vákuummérővel

Nagyvákuumban, ultranagy-vákuumban ionizációs vákuummérővel (mind izzó-, mind hidegkatódos vákuummérőkkel) is lehet szivárgást keresni a gázok különböző ionizációs hatáskeresztmetszete révén (6.5. fejezet).



8.3.2.1. ábra. Egy kereskedelmben kapható hidegkatódos vákuummérő karakterisztikája (vízszintes tengely: valódi nyomás, függőleges tengely: leolvasott érték) [P2].
Ha levegő helyett He jut be a vákuummérőhöz, akkor csökken a mutatott nyomás, Ar-nál nő.

8.3.2.1. táblázat. A nitrogénre hitelesített ionizációs vákuummérő kijelzésének változása, ha N_2 helyett más gáz szolgáltatja ugyanazt a nyomást. $K = (\text{adott gáz jele})/(\text{N}_2 \text{ jele})$ (egy kereskedelemben kapható mérőműszer – PBR260 – csőállandójából számolva [P2]). Szerves gőzök (pl. alkoholok) ionizációs állandója a kriptonénál is nagyobb.

Gáz	Levegő (N_2 , O_2 , CO)	Xe	Kr	Ar	H	Ne	He
K	1,0	2,5	2,0	1,25	0,42	0,24	0,17

A lyukkeresésnek – kényes esetektől eltekintve – csak akkor van gyakorlati haszna, ha a szivárgásból származó nyomás legalább összemérhető a maradékgázok nyomásával ($p_{\text{szivárgás}} \geq p_{\text{maradékgáz}}$).

Méréstartomány: kb. 10^{-8} mbar·ℓ/s-tól nagyobb szivárgásokig.

Erősen függ

- a keresőgáztól,
- az edény térfogatától ($p = Q \cdot t/V$, a térfogattal fordítottan arányos)
- az edényt szívó szivattyú szívósebességétől ($p = Q/S$, itt is fordított az arányosság).

Példa

A rendszerben a szívósebesség: $S = 100 \text{ ℓ/s}$, végvákuum: $p_0 = 3 \cdot 10^{-8} \text{ mbar}$.
 Nézzünk 2 szivárgást: $Q_{LYUK1} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ mbar} \cdot \text{ℓ/s}$, ill. $Q_{LYUK2} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ mbar} \cdot \text{ℓ/s}$!
 Ekkor a szivárgás a p_0 háttérnyomást a $p_1 = Q_{LYUK}/S$ értékkel növeli:
 ha levegő áramlik be: $p_1 = 4 \cdot 10^{-8} \text{ mbar}$, illetve $p_2 = 0,4 \cdot 10^{-8} \text{ mbar}$,
 ha Ar ($K = 1,25$): $p_1 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ mbar}$, illetve $p_2 = 0,5 \cdot 10^{-8} \text{ mbar}$,
 ha He ($K = 0,17$): $p_1 = 0,7 \cdot 10^{-8} \text{ mbar}$, illetve $p_2 = 0,07 \cdot 10^{-8} \text{ mbar}$,

8.3.2.2. táblázat. Az ionizációs vákuummérő által mutatott össznyomás, ha a lyukon 2 különböző beömléssel (Q_{LYUK}) levegő, Ar vagy He áramlik be.

	p : a nyomásmérőn <u>leolvasott</u> érték (mbar)		
GÁZ	$Q_{LYUK} = 0$	$Q_{LYUK1} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ mbarℓ/s}$	$Q_{LYUK2} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ mbarℓ/s}$
LEVEGŐ	$p_0 = 3 \cdot 10^{-8}$	$p_0 + p_1 = 7,0 \cdot 10^{-8}$	$p_0 + p_2 = 3,4 \cdot 10^{-8}$
Ar	-	$8,0 \cdot 10^{-8} \quad \Delta p = 1 \cdot 10^{-8}$	$(3+0,5) \cdot 10^{-8} \quad \Delta p = 0,1 \cdot 10^{-8}$
He	-	$3,7 \cdot 10^{-8} \quad \Delta p = -3,3 \cdot 10^{-8}$	$3,07 \cdot 10^{-8} \quad \Delta p = -0,33 \cdot 10^{-8}$

Lyukkereséskor a levegőhöz képesti nyomáskülönbséget, Δp -t mérjük. Érzékeny a módszer, ha Δp nagyságrendje $\geq p_0$ nagyságrendje.

A nyomásingadozás rontja a kimutathatóságot! A lyuk vezetőképességének a gázoktól való függése is befolyásolja a kimutathatóság határát.

8.4. LYUKKERESÉS GETTER-ION SZIVATTYÚVAL

A getter-ion szivattyúk szívósebessége nemesgázra lényegesen kisebb, mint levegőre.

Ha a lyukra nemesgázt fújunk, a getter-ion szivattyúval szívott rendszerben megnő a nyomás.

Nagy nemesgáz-beömlés a szivattyút nagyon leterheli – kerülendő.

Speciális lyukkereső: getter-ion szivattyú, amelyhez a He-ot szelektíve jobban áteresztő, fűtött kvarccsövet csatolnak. Nagynyomású edényből szivárgó He-ot mérnek vele.

Ha a vákuumrendszerünkön készen állnak az eszközök, alkalom adtán érdemes ezt a módszert használni, de a fűthető kvarccsővel ellátott lyukkereső nem megfelelő érzékenysége és reprodukálhatósága miatt nem igazán komoly, megvásárlásra ajánlható berendezés.

8.5. HALOGÉNES LYUKKERESŐ

- Keresőgáza halogénvegyület (pl. freon), amely ionizálódik a felfűtött detektorban.
- A halogénes lyukkeresők viszonylag érzéketlenek és instabilak.
- A halogénvegyületeknek az ózonréteget veszélyeztető tulajdonsága miatt ma már nem ajánlott eszközök! A meglévő halogénes berendezések hibáinak felderítésére most is használják, nem lehet teljesen nélkülözni.

Kimondottan vákuumtechnikai alkalmazása ma már nincs.

8.6. TÖMEGSPEKTROMÉTERES LYUKKERESÉS

- Mintavevővel, saját vákuumrendszerrel felszerelt speciális tömegspektrométerek.

A csak He mérésére beállított rendszerek: **héliumos lyukkeresők**.

A szivárgás helyének és mennyiségének a meghatározása – kalibrálható.

A lyukkeresőket látható és hallható kijelzéssel is ellátják.

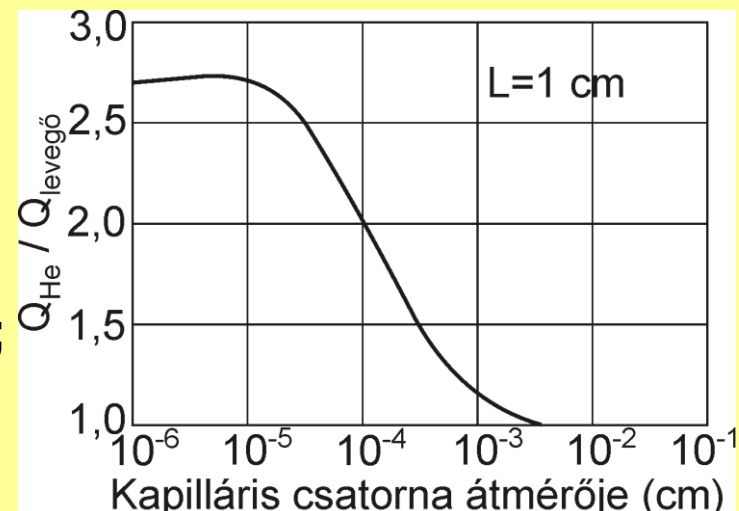
A héliumos lyukkeresők a legérzékenyebbek: $1 \cdot 10^{-12}$ - ... mbar $\cdot$ ℓ $\cdot$ s $^{-1}$.

- Keresőgáz

Bármi lehet, amelynek tömegszáma eltér a levegő fő komponenseitől.

Legjobb: He.

- Koncentrációja a levegőben csak 5 ppm;
- kis tömege miatt a vezeték ellenállása molekuláris áramlásban: $Z_{\text{levegő}}/Z_{\text{He}} = 2,64$;
- lamin. áramlásban $Z_{\text{levegő}}/Z_{\text{He}} \approx 1$;
 $Q_{\text{He}}/Q_{\text{levegő}} = 1 - 2,64$ között (8.6.1. ábra);
- nem reakcióképes, nem robbanásveszélyes;
- nem tapad;
- nem mérgező, nem környezetszennyező.



8.6.1. ábra. Egy 1 cm hosszúságú kapilláris csatornán átáramló He, illetve levegő gázmennyiség-áramának aránya a csatorna átmérőjének függvényében.

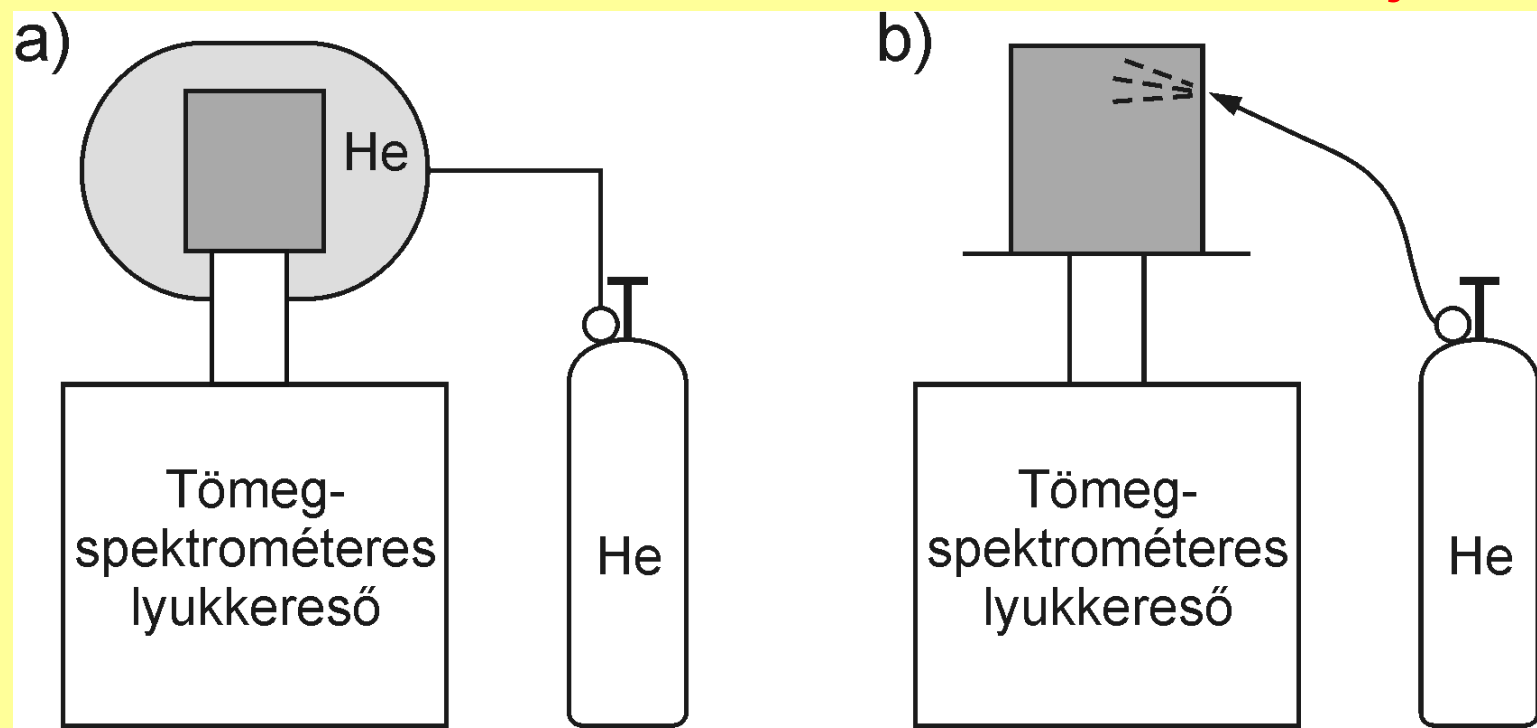
8.6.1. A tömegspektrométeres lyukkeresés alapmódszerei

A legérzékenyebb elrendezés, amikor a TS-t a vizsgált edényben helyezzük el, vagy hozzá kapcsoljuk, majd az edényt nagyvákuumra szívjuk, és kívülről keressük le He keresőgázzal (8.6.1.1. ábra).

Hasonlóan érzékeny módszer, amikor a tömegspektrométer vákuumkamrájába helyezzük a vizsgált, héliummal megtöltött edényt (8.6.1.2. ábra).

1. Burkolásos módszer

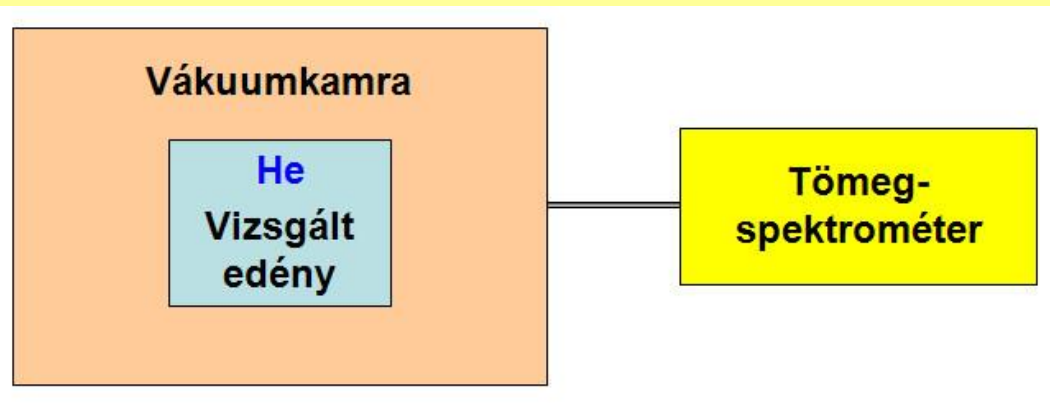
2. Lokalizálás He ráfújásával



8.6.1.1. ábra. Lyukkeresés burkolással (a) és He ráfújásával (b). A keresett edény (sötétszürke mező) a lyukkereső vákuumterében van. A labirintus-lyukak, ill. a rendszer válaszfala miatt kellő időt kell hagyni a mintagáz TS-be jutásához.

3. Vákuumkamrás módszer

A másik érzékeny módszer. A vizsgált edényt megtöltjük keresőgázzal, és behelyezzük a tömegspektrométer vákuumkamrájába (8.6.1.2. ábra). Az edényből kiszabaduló keresőgázt a TS közvetlenül érzékeli.



8.6.1.2. ábra. Vákuumkamrás lyukkeresési módszer eszközének elvi összeállítási rajza. A vizsgált edény a keresőgázzal feltöltve.

A kiszivárgó keresőgáz nyomását a TS vákuumkamrájában a lyuk(ak)ból kijövő szivárgás (Q) és a kamrára ható szívósebesség (S) hányadosa szabja meg. A mérés hiteles szivárgású gázforrással hitelesíthető. Előnye: egyszerre akár több lyuk szivárgásának összegét méri.

Ipari alkalmazásoknál a vizsgált edényeket gyakran cserélik.

A háttérrel növeli, így a kimutathatóság alsó határát rontja, ha

- az előző mérések során nagy szivárgások fordultak elő,
- a behelyezett edények külső felülete sok adszorbeált keresőgázt tartalmaz, illetve
- a szoba levegője a keresőgázzal elszennyeződik.

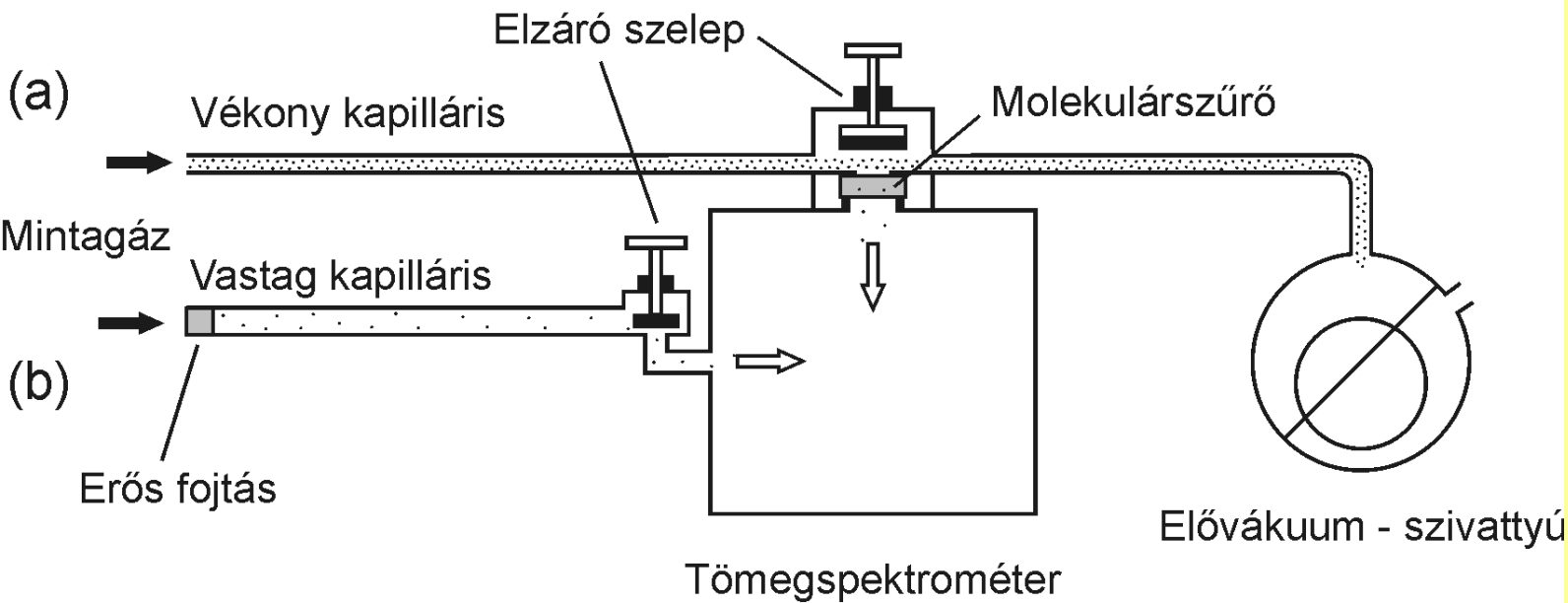
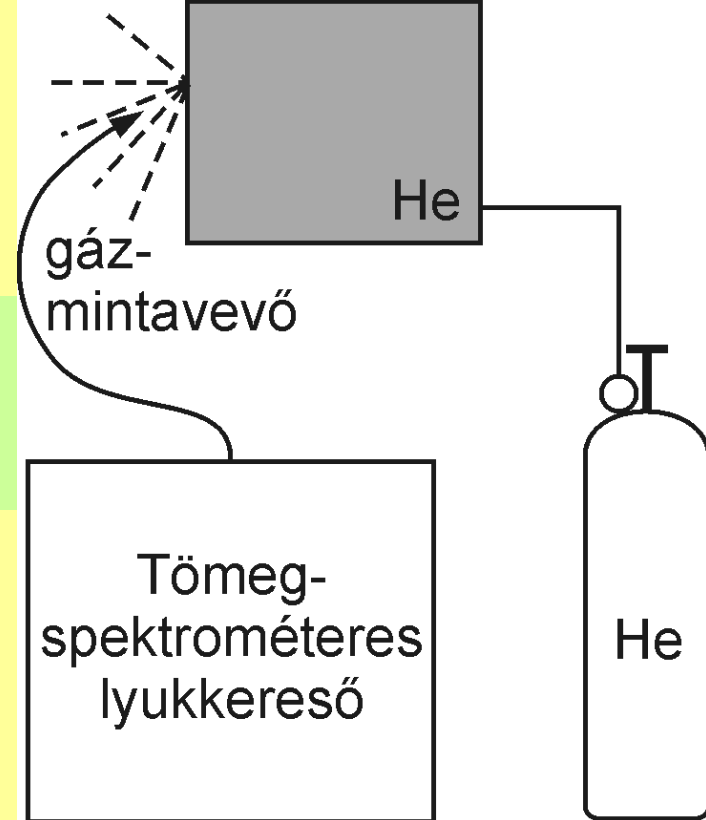
Az 1 – 3. módszerek a vákuumos módszerek. Ezek a legérzékenyebbek.

4. Mintavevős (szippantós) módszer

A vizsgált edény túlnyomáson. Az atmoszférikus nyomású mintából egy kis részt nyomáscsökkenéssel a TS-be vezet a mintavevő.

8.6.1.3. ábra. Túlnyomás alá helyezett edény lyukkeresése szippantós mintavevővel ellátott tömegspektrométerrel.

8.6.1.4. ábra. Kétfokozatú (a), illetve egyfokozatú (b) szippantós mintavevő csatlakozása a TS-hez. Az (a) kisebb válaszidőre képes – gyorsabb mérés.

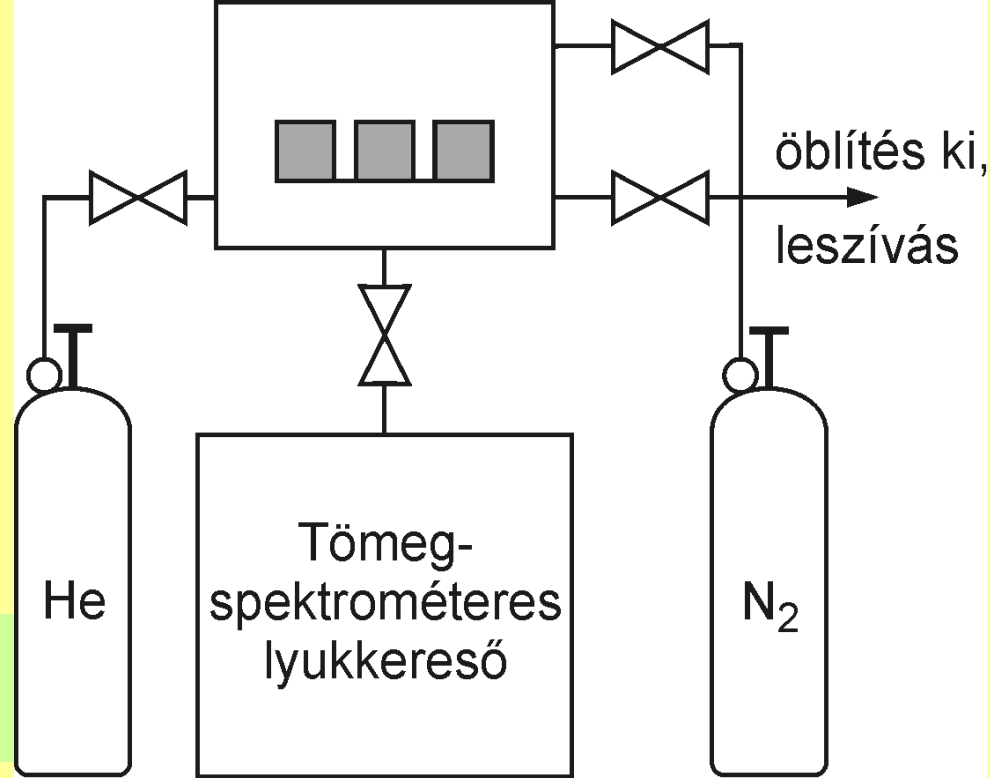


5. Feltöltéses módszer

Zárt, kinyithatatlan edények vizsgálata.

Az edényt vákuumkamrába tesszük, amelyet 1.) vákuumozunk vagy nitrogénnel átöblítünk, 2.) He-mal feltöltünk, állni hagyjuk (az esetleges lyukon az edénybe beszívárog a He), 3.) újra vákuumozzuk vagy nitrogénnel átöblítjük, 4.) TS-el mérjük az edényből visszaszivárgó He-ot.

8.6.1.5. ábra. Egy elrendezés a feltöltéses módszerre.



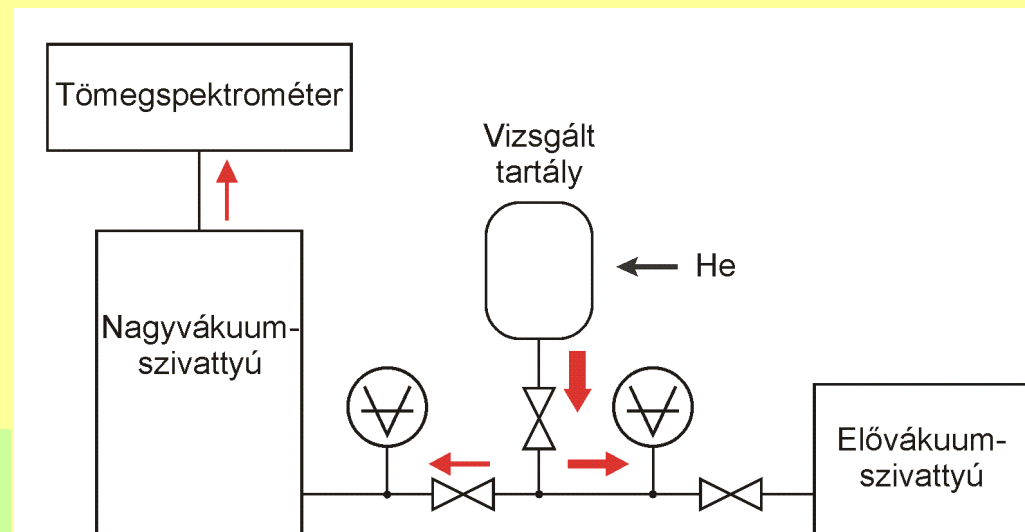
6. Ellenáramú módszer

Ha a keresett lyuk nagy, az edényt az elővákuum-oldalra csatoljuk.

A mintagáz kis része feldiffundál a TS-be. Gyors, tömeggyártásban! Ideális szivattyúja a hibrid turbómol.

Érzékenység:
10⁻⁷⁽⁸⁾ - ... mbar·ℓ/s.

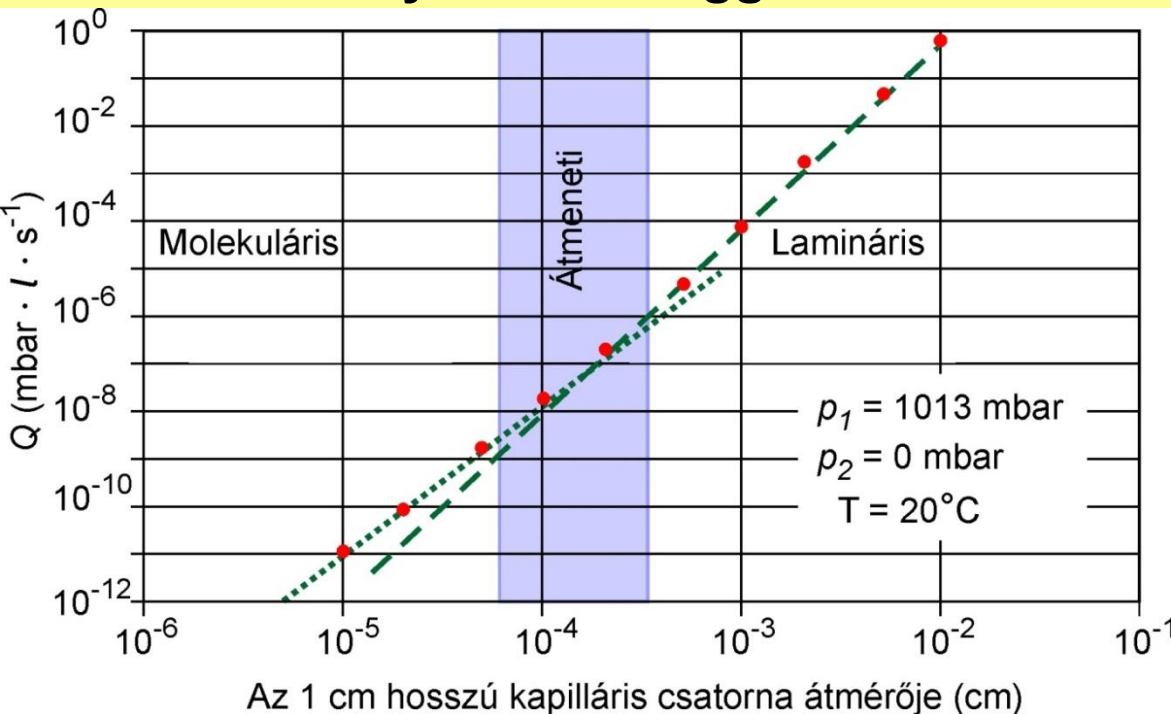
8.6.1.6. ábra. Ellenáramú lyukkeresés elrendezése.



8.6.2. Néhány észrevétel a lyukkeresés gyakorlatához

- **Tömegspektrométerek rugalmassága a keresőgáz fajtájára**
 - He-os lyukkereső helyett általános üzemű tömegspektrométer (leginkább kvadrupól TS) is jó lyukkereső.
 - Keresőgáz a levegő komponenseitől eltérő bármely gáz lehet, de legjobb a He.
- **A szivárgást okozó csatorna méretének hatása**

A mérettől és nyomástól függően változik az áramlás típusa és a beömlés.



8.6.2.1. ábra. Levegő beömlése a vákuumedény falán levő 10 mm hosszú csatornán keresztül. A (4.7.2.), (4.7.8.) és (4.7.10.) kifejezések segítségével számolt értékek. Eltérő típusú áramlásokban az egyenesek meredeksége különbözik. Nem ábrázoltuk a $D = 10^{-2}$ cm feletti turbulens tartományt a fojtott szakasszal.

A valóság bonyolultabb, mert nem csak a csatorna átmérőjével változik az áramlás típusa, hanem ugyanannak a csatornának a mélysége mentén változó nyomás függvényében.

- **A falban oldott gáz kidiffundálásából származó szivárgás – „lassú lyuk”**
 - A vákuumrendszer falában oldott levegő hosszan tartó gázterhelést ad, He tartalma hozzájárul a lyukkereső alapszintjéhez – **csak jó ultranagy-vákuumban vesszük észre.**
- **A keresőgáz áteresztő falon keresztüli permeációs szivárgása**
 - A hosszan alkalmazott He keresőgáz is beoldódik kívülről a falba, lassan ürül ki a falból – **lassan áll be a lyukkereső 0-szintje.**
 - A kívülről beoldódott He csak egy hosszabb **késleltetési idő után** jelenik meg az áteresztő fal vákuumra szívott oldalán.
 - **Gyakorlati szerepe csak vékony, különösen műanyag fal esetén vagy extrémnagy-vákuumban van!**
- **A keresőgáz megjelenése a tömegspektrométerben**

A lyukra fújt keresőgáz parciális nyomása a lyukkeresőben a keresőgáz nélküli p_0 -ról egy késleltetési idő után – a leszívási időnél alkalmazott gondolatmenettel levezethetően – exponenciális függéssel nő meg t idő alatt p_{He} értékre [ahol Q a beömlés a lyukon ($\text{mbar} \cdot \ell \cdot \text{s}^{-1}$), S_{eff} a lyukas edényt szívó tényleges szívósebesség ($\ell \cdot \text{s}^{-1}$), V az edény térfogata (ℓ)]:

$$p_{He}(t) = p_0 + \frac{Q}{S_{eff}} \cdot \left[1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right], \text{ ahol } \tau = \frac{V}{S_{eff}} \text{ a rendszer válaszideje, (8.6.2.1.)}$$

$[p] = \text{mbar}$

A jel teljes felfutásának 63,3%-át τ idő után, 95%-át 3τ idő után érjük el. A késleltetési idő elsősorban a lyuk és az egész rendszer méretétől függ.

- Érzékenység növelése a szívás fojtásával (throttled pumping)

Egyensúlyi állapotban: $p_{He} = Q/S_{eff} + p_0$.

Ha a TS szívósebességét rontjuk a TS és nagyvákuum-szivattyúja közé helyezett fojtószeleppel (S_{eff} csökken), akkor

- érzékenyebbé tesszük a berendezést,
- ugyanakkor azonos arányban nő a válaszügy (8.6.2.1. egyenlet).

- Labirintus lyukak keresése

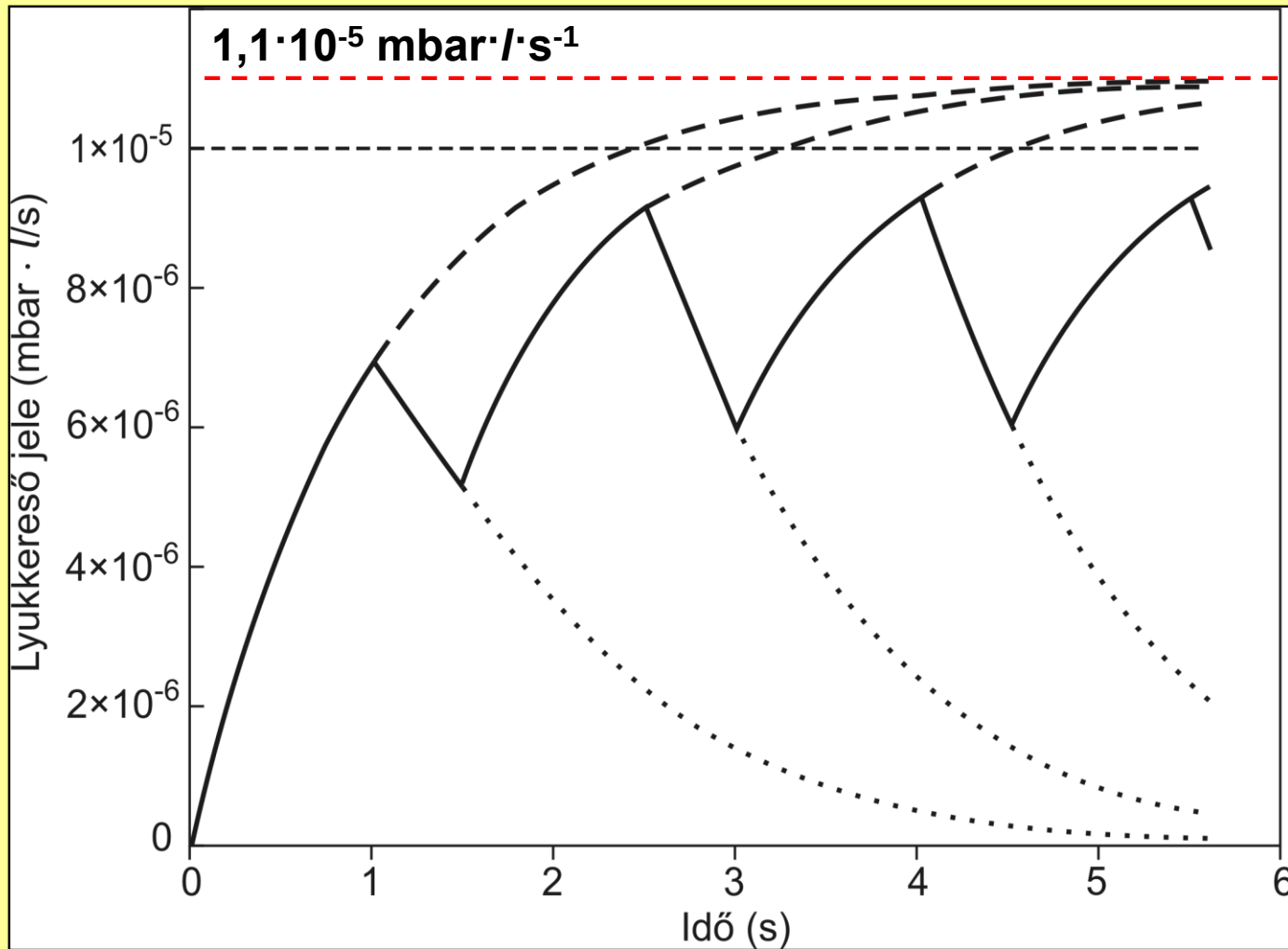
Labirintus lyukakon keresztül csak hosszú idő, akár több (10) perc után jut be a keresőgáz (és ugyanilyen lassan is cseng le a jel!), ezért kétely esetén a burkolásos módszer eredménye ilyen esetben perdöntő!

- A He-nyalábbal történő letapogatás sebessége és ismételése

- Ha túl gyorsan pásztázunk a kamra falán a héliummal, és a lyuk felett többször gyorsan átsiklunk (8.6.2.2. ábra), akkor a minőség-ellenőrzés tévessé válik:

- a túrésnél nagyobb lyukak alsó régióját még nem jelzi a műszer,
- hosszabb időtávban a lyukkeresőben a p_0 alapszint 0-tól nagyobb lesz, és erről a szintről indulva már egy méret alatti lyukat is hibaként jelezhet.

A He-nyalábbal történő letapogatás sebessége és ismétlése



8.6.2.2. ábra. Egy 1 s válaszidejű lyukkereső jele egy $1,1 \cdot 10^{-5} \text{ mbar} \cdot \text{l/s}^{-1}$ szivárgású lyuk keresésekor, ha a lyukat csak 1 s ideig, 0,5 s szünettel fújjuk le héliummal (—), ha az adott ciklusban folyamatosan fújjuk a He-ot (---), illetve ha az utolsó ráfúvás után megszűnik a He utánpótlása (.....).

LYUKKERESÉS



8.6.2.3. ábra. Két korszerű, hordozható lyukkereső [L3].

8.6.2.1. táblázat. Különböző lyukkeresési módszerek érzékenysége.

Módszer/eszköz		Érzékenység (mbar·ℓ/s)
Túlnyomásos (buborékos)		10^{-5} - ...
Pirani vákuummérő		10^{-2} - ~10
Ionizációs vákuummérő		10^{-8} - ~ 10^{-3}
Tömegspektrométer	Vákuumos	10^{-12} - ~ 10^{-1}
	Szippantós mintavevős	$10^{-7(8)}$ - ...
	Ellenáramú	$10^{-7(8)}$ - ...

8.6.3. A szivárgás mértékének meghatározása

**Szükség van a szivárgás mértékének pontos meghatározására is.
Tömeggyártás (pl. hűtőgépek, gépkocsi radiátorok, üzemanyag-tartályok, vákuumtechnikai eszközök minőségellenőrzése).**

A lyukkeresőt garantált szivárgású „kalibrált lyukakkal” hitelesítik:

- 1. kapillárisal ($10^{-8} - 10^{-4} \text{ mbar} \cdot \ell \cdot \text{s}^{-1}$),**
- 2. csővel vagy nyílással ($10 - 1000 \text{ mbar} \cdot \ell \cdot \text{s}^{-1}$) és**
- 3. leginkább permeációs anyagok (kvarcüveg, illetve műanyag membrán, $10^{-10} - 10^{-7} \text{ mbar} \cdot \ell \cdot \text{s}^{-1}$) felhasználásával készíteneek.**

1 – 2. módszer:

- Számítással, a méretek pontos beállításával állíthatók elő.**

3. módszer:

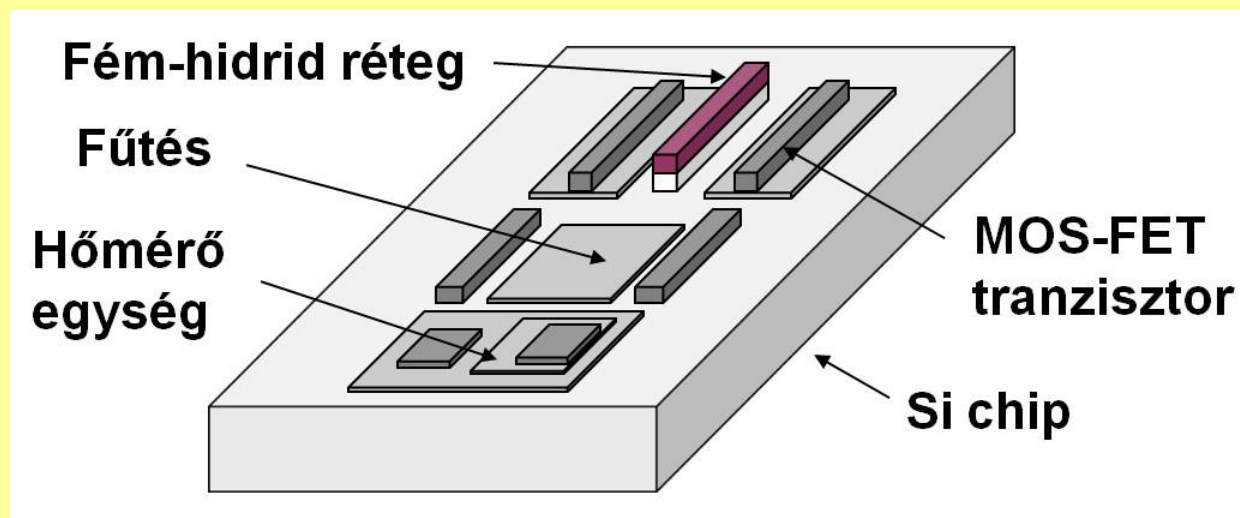
- Egy héliummal töltött palackra szerelik fel az ismert diffúziós állandójú kvarc, illetve műanyag membrán lapocskát, amelynek felületét, vastagságát a kívánt szivárgás szerint méretezik.**
- Gázfogyása kicsi, állandó hőmérsékleten állandónak tekinthető.
Hosszabb idő elteltével egy időtől függő korrekció alkalmazandó.**

Az ipari lyukkeresők a mért szivárgást automatikusan hozzá hasonlítják a beépített referencia-lyukhoz.

A mérés és a hitelesítés azonos áramlási viszonyok közepette történjen.

8.6.4. Hidrogénes lyukkeresés

Érzékelője pozitív hőmérsékleti együtthatójú fém-hidrid anyagú ellenállás (sensitive resistor), amely szinte csak a hidrogént képes megkötni. A hidrogén bediffundál az érzékelőbe és megváltoztatja az ellenállását.



8.6.4.1. ábra. A hidrogénes lyukkereső érzékelőjének fényképe és elvi felépítése [SEN2].

A fém-hidrid érzékelőt egy MOS-FET tranzisztorral kapcsolják össze, a jelet mikroprocesszor dolgozza fel.

Kizárólag elektronikus eszközökből áll, nincs mechanikusan kopó alkatrész benne!

8.6.4.2. ábra. Egy hidrogénes lyukkereső berendezés fényképe [SEN2].

A hidrogénes lyukkeresés előnyei:

- Nem kell vákuum.
- Robusztus, strapabíró kivitel.
- Karbantartást nem igényel.
- Kalibrálása egyszerű.
- Az érzékelőt csak kb. 3 évente kell cserélni.
- Gyors vizsgálat.
- Olcsó keresőgázt használ (5 % H₂ + N₂ – nem gyúlékony).
- Érzékenysége megközelíti a szippantó mintavevős tömegspektrométeres lyukkeresőkéét: 10⁻⁷ mbar·ℓ/s.

Alkalmazása:

- repülőgép üzemanyagtartályok,
- munkagépek hidraulika rendszere,
- gáztartályok,
- csővezetékek (vízvezetékek is),
- kábelrendszerek stb. vizsgálata beltéren és terepen.

