



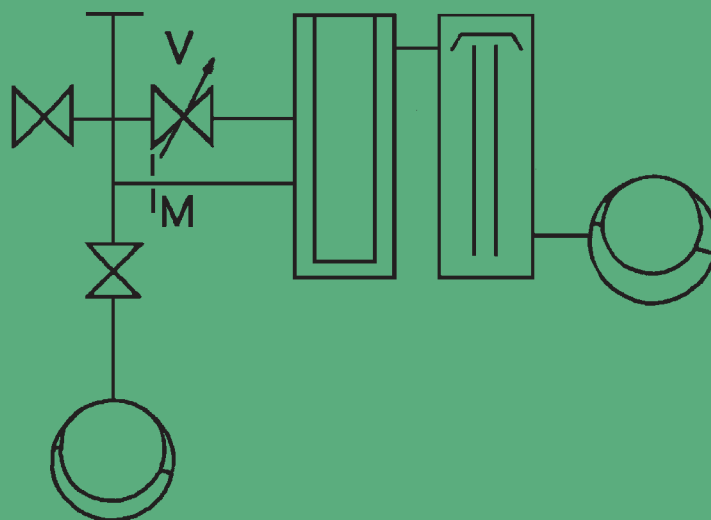
# Tyhjiötekniikka

— vuodonetsintä —

Veli Hulkkonen

No 17

FLUID  
Finland  
3-2007



## Tyhjiötekniikan vuodonetsintä

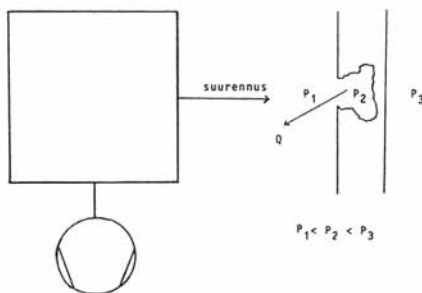
Koska tyhjiötilassa paine on pieni, pienikin vuoto voi aiheuttaa haitallisen paineen nousun, jolloin tyhjiön ylläpitämisestä seuraa turhia ylimääräisiä kustannuksia.

### Vuodon aiheuttajat

Vuodon syntymisen edellytyksenä on, että vuotokohdan yli vallitsee paine-ero. Tyhjiötilan vuodon voi aiheuttaa pieni reikä, epätiivis liitos, vuotava tiiviste, rikkoutunut tartuntaelin tai epätasainen tartuntapinta sekä niin sanottu valevuoto. Reikä voi muodostua valmistusmateriaalissa olevasta huokosesta.

Epätiivin liitoksen voi aikaansaada esimerkiksi liitospintojen välissä oleva roska tai naarmu. Tiivisteitä tyhjiötekniikassa esiintyy muun muassa venttiileissä, pumpuissa, tyhjiötilan läpivienneissä ja tyhjiöpakkaus-koneissa. Tartuntaelimenä erilaisten levyjen ja pakkausten käsittelyssä käytetään yleisesti imukuppeja. Mikäli imukupin reuna tai imukuppi muuten on rikki tai tartuntapinta on liian epätasainen, aiheuttaa tämä vuodon.

Valevuoto esiintyy tyhjiötilassa, jossa on esimerkiksi seinämässä huokonen, joka on yhteydessä pienen reiän kautta tyhjiötilaan, mutta ei ulkoilmaan, kuva 1. Kun tyhjiötilaan imetään tyhjiö, jää paine huokosessa korkeammaksi kuin tyhjiötilassa. Tällöin huokosesta purkautuu kaasua tyhjiötilaan, joka nostaa painetta tyhjiötilassa. Tällainen vuoto on erittäin vaikea paikallistaa.



Kuva 1. Valevuoto

### Vuodon laskentakaava ja yksiköt

Vuodon suuruus on tilavuus kertaa aikayksikköä kohti tapahtuva paineen muutos. Tämän mukaan vuodon laskentakaavaksi saadaan:  $Q = V \cdot dp/dt$

Kaavassa  $Q$  = vuoto,  $V$  = tilavuus,  $dp$  = paineen muutos ja  $dt$  = ajan muutos

Vuodon yksiköksi tulee:  $Q = \text{Pa m}^3/\text{s}$

Myös muita yksiköjä käytetään vielä yleisesti. Kuvassa 2 olevasta eri vuotoyksiköiden muuntotaulukosta ilmenevät yleisimmin käytetyt yksiköt.

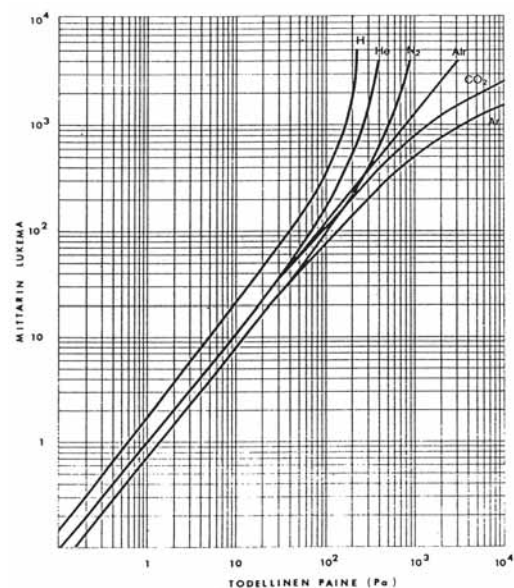
	atm cm <sup>3</sup> /s	Pascal m <sup>3</sup> /s	mbar l/s	Torr l/s	Lusec
atm cm <sup>3</sup> /s	1	0,1	1	0,76	760
Pascal m <sup>3</sup> /s	10	1	10	7,5	7500
mbar l/s	1	0,1	1	0,76	760
Torr l/s	1,3	0,13	1,3	1	1000
Lusec	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$10^{-3}$	1

Kuva 2. Eri vuotoyksiköiden muuntotaulukko

### Tyhjiömittari vuodonetsinnässä

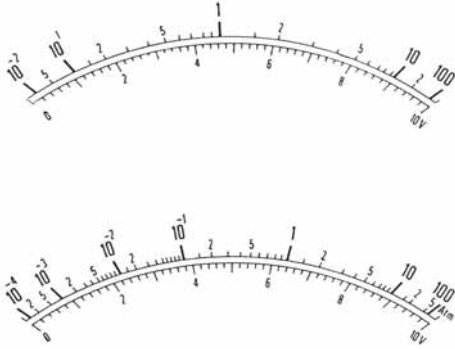
Tyhjiömittarilla on nykyisin vuodonetsinnässä niin kuin koko tyhjiötekniikassa merkittävä asema. Tyhjiötilassa olevaa kaasua mitataan, koska tarvitaan tietoa kaasun paineesta tai sen koostumuksesta. Useimmiten mitataan vain kokonaispainetta. Tällöinkin mittarin rakenne vaatii useasti, että on tiedettävä myös kaasun koostumus. Koostumusta voidaan mitata osapainemittareilla eli massaspektrometreillä.

Tyhjiösystemissä olevan vuodon etsintään ryhdytään käytännössä yleensä vasta sitten, kun tyhjiötilan painemittari osoittaa epätavallista paineen nousua. Tyhjiön painetta mitattaessa on kiinnitettävä erityistä huomiota mittarin painealueeseen. Reuna-alueilla saattaa tarkkuus oleellisesti heiketä. Lisäksi useimmat tyhjiömittarit reagoivat eri kaasuille eri tavoin. Jos kaasun koostumus muuttuu, yleensä myös mittarin lukema muuttuu.



Kuva 3. Erään piranimittarin lukema eri kaasuille todellisen paineen funktiona

Esimerkkinä paineen muuttumisesta on kuvassa 3 esitetty erään piranimittarin lukema eri kaasuille todellisen paineen funktiona. Mittarin painealueista on kuvassa 4 esimerkkinä kahden piranimittarin mittaritaulut.



Kuva 4. Piranimittareiden mittaritauluja

## Vuodonetsintämenetelmät

Yleisimmät vuodonetsintämenetelmät ovat:

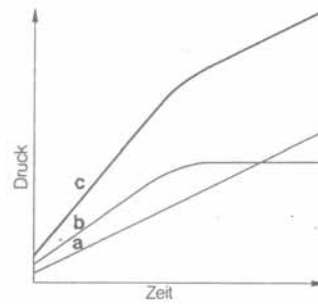
- paineennousutesti
- kuplatesti (ylipainetestaus)
- testaus halogeenikaasuilla
- testaus heliumvuodonetsijällä
- korkeataajuusetsijan käyttö
- ultraäänetsijan käyttö
- vetykaasunilmaisimen käyttö

### Paineennousutesti

Yleensä tyhjiösystemi sisältää ne laitteet, mitä paineennousutestin yhteydessä tarvitaan: tyhjiötilan, pumpun, venttiilin ja tyhjiömittarin. Testi tehdään seuraavasti: Tyhjiötilaan imetään haluttu tyhjiö, jonka jälkeen venttiili suljetaan. Tyhjiömittarilla mitataan tietyn ajan ( $dt$ ) tapahtuva paineennousu ( $dp$ ). Kun tyhjiötilan tilavuus ( $V$ ) tunnetaan, vuoto ( $Q$ ) voidaan laskea vuodon laskentakaavalla ( $Q = V \cdot dp/dt$ ).

Paineennousutesti on melko karkea vuodonetsintämenetelmä. Se ilmaisee ainoastaan kohtalaisen suurten vuodot. Lisäksi on otettava huomioon, että tällä menetelmällä mitattuun vuotoon sisältyy myös tyhjiötilassa olevien nesteiden kaasuuntumisesta aiheutuva kaasukuorma. Kuvassa 5 olevista käyristä ilmenevät vuodosta ja kaasujen irtoamisesta sekä näiden yhteisvaikutuksesta johtuva paineennousu.

Jotta vuodosta saataisiin mahdollisimman oikea kuva, on paineennousutesti tehtävä eri paineissa ja useita kertoja. Mahdollinen paineennousu kyllä kertoo sen, että vuotoa on, mutta se ei kerro, missä vuoto on. Vuotoja esiintyy useimmiten liitoksissa. Vuotava liitos voidaan yrittää paikallistaa sivelemällä liitoksiin liitos



Kuva 5. Paineikäyriä. a) vuodon aiheuttama paineennousu, b) kaasujen irtoamisen aiheuttama paineennousu, c) vuodon ja kaasujen irtoamisen aiheuttama paineennousu (Leybold)

kerrallaan vaseliinia tai muuta rasvaa ja seuraamalla koko ajan tyhjiömittaria. Vuoto on luonnollisesti siinä liitoksessa, jota siveltäessä paineen nousu loppuu.

### Kuplatesti

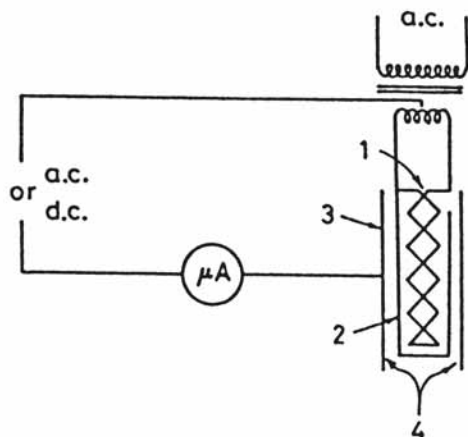
Kuplatesti on vanha, paljon käytetty vuodonetsintämenetelmä. Se vastaa paineilmaverkoston ja -laitteiden yhteydessä tapahtuvaa vuodonetsintää. Testattava systeemi tai kappale koeponnistetaan kaasulla tai nesteellä, useimmiten paineilamalla. Mahdolliset vuotokohdat käsitellään ilmaisinaineella, esimerkiksi ilmaisintahnalla, sprayllä tai pesuaineliuoksella, jolloin vuoto näkyy kuplana ilmaisinaineessa. Jos vuoto on pieni, kuplan muodostumisaika voi olla jopa useita tunteja. Kuplatesti voidaan tehdä myös samalla tavalla kuin etsittäessä vuotoa esimerkiksi polkupyörän renkaasta eli upottamalla testattava kappale ilmaisinnesteeseen, yleensä veteen, jolloin vuodon seurauksena vesi alkaa kuplata.

Kuplatesti on siinä mielessä hyvä vuodonetsintämenetelmä, että se ilmaisee suoraan vuotokohdan. Lisäksi se on helppo tehdä ja halpa. Haittapuolena on se, että testattava laite on testauksen jälkeen ainakin osittain märkä. Myös kuplatesti on melko karkea vuodonetsintämenetelmä ja soveltuu näin ollen kohtalaisen suurien vuotojen etsintään. Pienin havaittava vuoto on noin  $10^{-5}$  Pa m<sup>3</sup>/s.

Haluttaessa vuodon suuruus voidaan laskea samalla kaavalla kuin paineennousutestin yhteydessä eli ( $Q = V \cdot dp/dt$ ). Tällöin kuplatesti myös tehdään periaatteessa samalla tavalla kuin paineennousutesti, mutta kuplatestiä tehtäessä mitataan, miten paljon paine laskee aikayksikköä kohti. Kysymyksessä on tavallaan paineenlaskutesti. Kuplatestiä tehtäessä on varottava käyttämästä rakenteisiin nähden liian suurta painetta. Etenkin kun testataan tyhjiötilaa, jossa on suuria tasaisia pintoja, vähänkin liian suuri paine saattaa aiheuttaa pullistumia.

## Testaus halogeenikaasuilla

Halogeenikaasuja voidaan käyttää vuodonetsintään kahdella toisilleen vastakkaisella tavalla: joko sijoittamalla halogeenivuodonetsimen anturi tyhjiötilan imu-putkeen ja suihkuttamalla mahdollisia vuotokohtia halogeenipitoisella kaasulla tai paineistamalla tyhjiötila halogeenikaasulla ja haistelemalla halogeenietsimen anturilla mahdollisia vuotokohtia. Molemmissa tapauksissa vuoto voidaan lukea etsimen mittarista.



Kuva 6. Halogeenivuodonetsin. 1 lämmitysvastus, 2 platinasyylinteri, 3 sylinteri, 4 kaasunvirtaus (White ja Hickey)

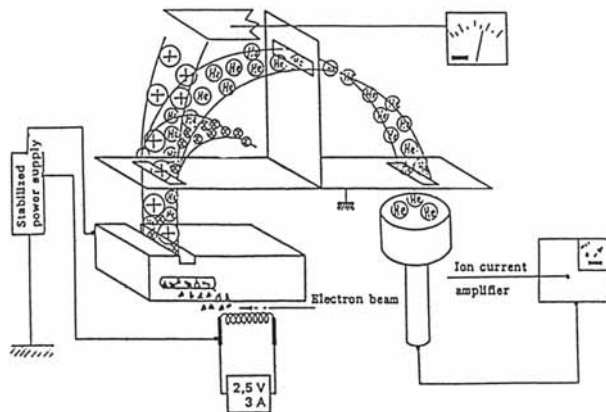
Kuva 6 esittää halogeenivuodonetsimen periaatetta. Ulkokuoren ja lämmitettävän sisäosan välillä on 100...500 voltin jännite-ero. Tällöin ionivirta voidaan lukea ampeerimittarista. Halogeenietsimen paras herkkyys on noin  $10^{-7}$  Pa m<sup>3</sup>/s. Halogeenietsin on hinnaltaan melko edullinen. Haittapuolia ovat anturin reagointi kaikille halogeenikaasuille (esimerkiksi tupakansavulle) ja pitkä muisti-ilmiö (halogeenit absorboituvat anturiin). Muisti-ilmiötä voidaan pienentää suihkuttamalla tyhjiötilaan inerttiä kaasua.

## Testaus heliumvuodonetsijällä

Kuten nimikin kertoo, heliumvuodonetsijän kanssa käytetään ilmaisukaasuna heliumia. Heliumetsijä koostuu massaspektrometrin ja pumppuyksiköstä.

### Massaspektrometri

Massaspektrometri muodostaa heliumvuodonpaljastajan sydämen. Sen toimintaa esittää kuva 7.



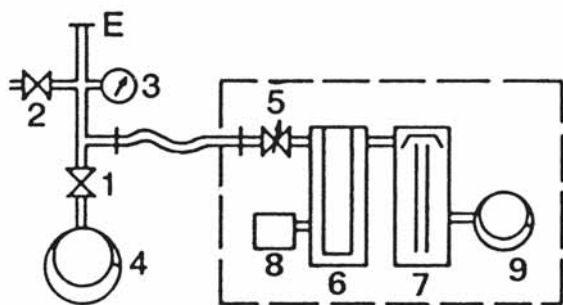
Kuva 7. Heliumvuodonetsijän massaspektrometrin toimintaperiaate

Analysoitava kaasu johdetaan massaspektrometrin ionilähteeseen. Ionilähteessä on kuuma hehkulanka, josta irtoavat elektronit ionisoivat kaasun. Jännite-eron avulla ionit kiihdytetään ja johdetaan voimakkaaseen magneettikenttään. Kentän vaikutuksesta ionien liikeradasta tulee kaareva. Kaarevuussäde on massaluvusta riippuen eri ioneilla erilainen. Vedyllä se on pienin ja heliumilla toiseksi pienin. Heliumin massaluku on neljä. Tämä tekee sen helposti erotettavaksi muista ioneista.

Heliumionisuihku johdetaan pienen aukon kautta analysointiyksikköön. Aukolla estetään muiden kuin heliumionien pääsy analysointiyksikköön. Analysointiyksikössä heliumionit aikaansaavat virran, joka vahvistetaan. Vahvistettu virta on verrannollinen vuodon suuruuteen. Spektrometrissä vallitsevaa painetta voidaan tarkkailla metallikilpeen johdetulla raskaiden ionien aikaansaamalla virralla, sillä virta on verrannollinen spektrometrissä vallitsevaan paineeseen.

### Pumppuyksikkö

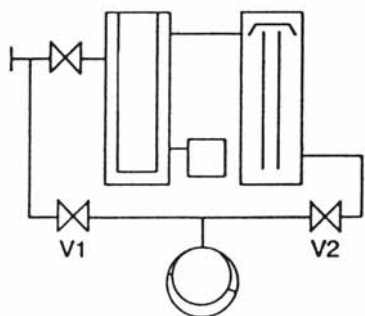
Jotta ionit voivat liikkua spektrometrissä törmäämättä muihin atomeihin, saa paine olla korkeintaan  $10^{-2}$  Pa. Tästä syystä tarvitaan pumppu-asema, joka pystyy kehittämään riittävän alhaisen paineen. Nykyään heliumvuodonetsijät toimitetaan aina pumppuasemalla varustettuina. Useimmiten se koostuu mekaanisesta esipumpusta, diffuusiopumpusta ja mahdollisesti myös kylmäloukusta. Kuvassa 8 on kaavio pumppuasemalla varustetusta heliumvuodonetsijästä.



Kuva 8. Kaavio pumppuasemalla varustetusta heliumvuodonetsijästä. E imuaukko, 1 esipumpun venttiili, 2 ilmausventtiili, 3 tyhjiömittari, 4 esipumppu, 5 kuristusventtiili, 6 kylmäloukku, 7 diffuusiopumppu, 8 massaspektrometri, 9 diffuusiopumpun esipumppu

Testattava tyhjiötila liitetään tiiviisti imuaukkoon (E). Tyhjiötä imettäessä ilmausventtiili (2) on kiinni ja esipumpun venttiili (1) on auki. Kun paine on riittävän alhainen, avataan kuristusventtiiliä (5). Kuristusventtiilillä säädetään paine massaspektrometrissä (8) pienemmäksi kuin  $10^{-2}$  Pa. Imuaukossa (E) paine voi olla paljonkin korkeampi. Massaspektrometrin vaatima tyhjiö imetään diffuusiopumpulla (7) ja sen esipumpulla (9).

Kylmäloukun (6) tehtävänä on toimia vesihöyryjen pumppuna. Lisäksi se estää imuaukosta tulevien epäpuhtauksien ja diffuusiopumpusta nousevien öljyhöyryjen pääsyn massaspektrometriin. Mikäli paine imuaukossa on riittävän pieni, ainakin pienempi kuin  $10^{-2}$  Pa, voidaan venttiili (1) sulkea ja kuristusventtiili (5) avata kokonaan. Tällöin vuodonetsijän herkkyys on paras mahdollinen. On kuitenkin huomattava, että paineen massaspektrometrissä on oltava pienempi kuin imuaukossa. Tämä on otettava huomioon myös silloin, kun vuodonetsijässä on vain yksi esipumppu, kuva 9. Tällöin esipumppua käytetään vuorotellen diffuusiopumpun ja tyhjiötilan esipumppuna, joten kuvassa 9, kun V1 on kiinni, V2 on auki ja päinvastoin.



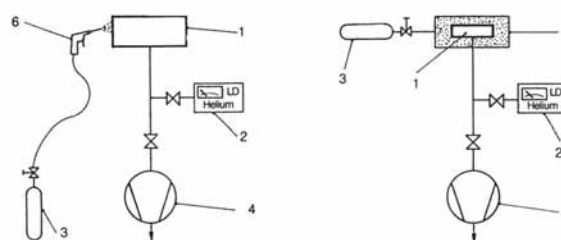
Kuva 9. Yhdellä esipumpulla varustettu heliumvuodonetsijä

## Heliumvuodonetsijän käyttötavat

tyhjiötestaus  
haistelu  
pommitusmenetelmä

### Tyhjiötestaus

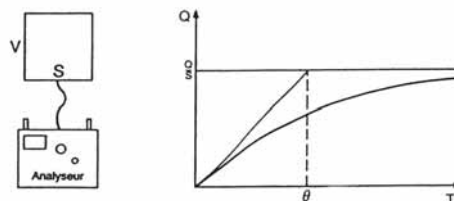
Ennen tyhjiötestaukseen ryhtymistä vuodonetsijä on kalibroitava. Nykyisissä heliumetsijöissä on joko sisäänrakennettu tai erillinen säiliö, jonka avulla aikaansaadaan vakiovuoto etsijän kalibrointia varten. Testattavan kohdan on oltava puhdas ja kuiva, sillä esimerkiksi vesi ja rasva voivat tukkia pienen vuodon.



Kuva 10. Tyhjiötestaus. 1 testattava tila, 2 testeri, 3 testi-kaasupullo, 4 tyhjiöpumppu, 5 testikammio, 6 testikaasun suihkutetus (Leybold)

Tyhjiötestauksessa, kuva 10, testattavaan tyhjiötilaan pumpataan esityhjiö useimmiten kiertosiipipumppulla. Kun riittävä esityhjiö on saavutettu, kytketään vuodonetsijä tyhjiötilaan, joka joko suihkutetaan hienolla heliumsuihkulla tai suljetaan testikammioon. Mahdollinen vuoto havaitaan vuodonpaljastajasta, josta myös vuodon suuruus voidaan lukea.

Vuodon suuruutta tarkasteltaessa on otettava huomioon reagointiaika  $\theta$ . Reagointiajalla, kuva 11, tarkoitetaan heliumvuodonetsijässä aikaa, jonka kuluessa vuotosignaalin voimakkuus saavuttaa 63 prosenttia täydestä arvostaan.



Kuva 11. Reagointiaika

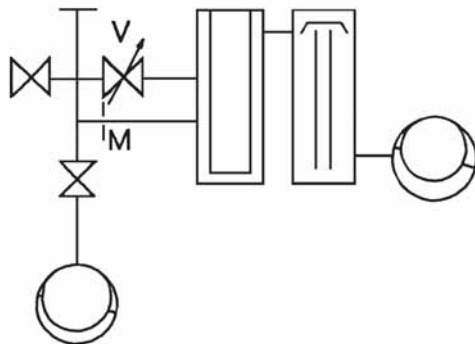
Reagointiaikaan vaikuttavat monet seikat: etenkin testattava tilavuus ja sen muoto sekä pumppausnopeus. Jos tyhjiötila ei sisällä putkia, kulmia tai muita konduktanssia voimakkaasti rajoittavia osia, reagointiaika on noin  $\theta = V/S$ .  $\theta$  = reagointiaika  $V$  = testattava tilavuus  $S$  = pumppausnopeus

Edellä mainittujen tekijöiden on oltava oikeassa suhteessa toisiinsa nähden, sillä jo minuutin odotusaika tekee testistä melko hankalan. Kuvassa 12 olevasta taulukosta ilmenee tarvittava pumppausnopeus eri tilavuuksille. Taulukosta ilmenee myös pumpputyypit.

Testattava tilavuus	Pumppausasema m <sup>3</sup> /h	Pumpputyypit
0 – 10 l	15	kaksivaiheinen kiertosiipipumppu
10 – 100 l	30	kaksivaiheinen kiertosiipipumppu
100 – 1000 l	100	kaksivaiheinen kiertosiipipumppu ja mahdollisesti rootspumppu
1 – 10 m <sup>3</sup>	300	kiertosiipipumppu ja rootspumppu

Kuva 12. Tarvittava pumppausnopeus eri tilavuuksille

Kuten kuvassa 12 olevasta taulukosta havaitaan, suurien tilavuuksien testauksessa voidaan joutua käyttämään useampaa pumppua paineen alentamiseksi tyhjiötilassa. 0,1 Pa m<sup>3</sup>/s ja tätä suuremmat vuodot luokitellaan suuriksi. Mikäli vuoto on riittävän suuri, ei suurillakaan pumpuilla saada tyhjiötilan painetta laskemaan niin alas, että vuodonetsijän kuristusventtiiliä voidaan avata. Tämä estää testin tekemisen. Tällöin kuristusventtiili (V kuvassa 13) voidaan varustaa ohitustiellä, esimerkiksi pienellä neulaventtiilillä (M kuvassa 13).



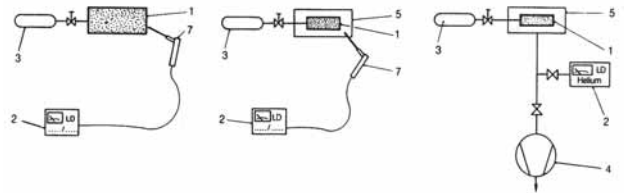
Kuva 13. Suurien vuotojen testaus

Mahdolliset vuotokohtat ruiskutetaan tavalliseen tapaan heliumilla. Neulaventtiilin kautta otetaan testattavasta tilasta pieni näyte spektrometriin. Testattavan tilan paine voi olla lähellä ilmakehän painetta. Paineen spektrometrissä on oltava alle 10<sup>-2</sup> Pa. Tällä menetelmällä testiherkkyys heikkenee oleellisesti.

### Haistelumenetelmä

Haistelumenetelmää, kuva 14, käytetään etenkin sellaisten kappaleiden testauksessa, joihin ei esimerkik-

si rakenteellisista syistä voida imeä riittävää tyhjiötä, mutta ylipaineen käyttö on mahdollista. Tällöin kappale paineistetaan heliumilla tai helium–ilmaseoksella ja tutkitaan heliumin purkautumista haistelemalla mah-



Kuva 14. Haistelumenetelmä. 1 testattava tila, 2 testeri, 3 testikaasupullo, 5 testikammio, 7 haistelupää (Leybold)

dollisia vuotokohtia tai testikammioon purkautunutta kaasua.

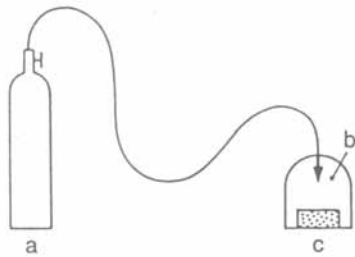
Haistelu suoritetaan vuodonetsijään liitetyllä haistelupäällä. Haistelupäätä on liikutettava hitaasti, jotta mahdollisimman suuri osa vuotavasta ilmaisukaasusta saadaan ilmaisimeen. Letku on liitetty kuristusventtiilillä tai kalvolla vuodonetsijän tyhjiösystemiin siten, että paine spektrometrissä on alle 10<sup>-2</sup> Pa.

Testattavan tilan paine voi vaihdella pienestä ylipaineesta useiden ilmakehien paineeseen. Se riippuu vaadittavasta tiivyydestä ja testiherkyydestä. Lisäksi on otettava huomioon kappaleen mekaaninen lujuus. Testiherkyyteen vaikuttaa oleellisesti myös se, testataanko pelkällä heliumilla vai helium–ilmaseoksella ja miten paljon mahdollisessa seoksessa on ilmaa. Mitä enemmän on ilmaa, sitä huonompi on testiherkkyys. Koska seoksen käyttö vähentää heliumin kulutusta, taloudelliset seikat puoltavat sen käyttöä.

Haistelumenetelmässä haisteluun voidaan käyttää myös imupäätä tai koko testattava kappale voidaan peittää pussilla ja mitata heliumin osapaineen nousu pussissa.

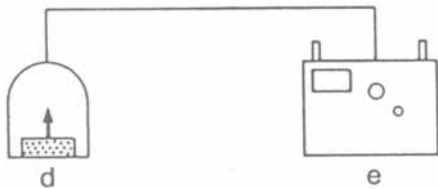
### Pommitusmenetelmä

Pommitusmenetelmää käytetään, kun testattavaa kappaletta ei voida ylipaineistaa eikä siihen voida imeä myöskään tyhjiötä. Tällaisia kappaleita ovat esimerkiksi puoli johdoteollisuuden komponentit, releet, tahdistimet jne. Pommitusmenetelmässä testattava kappale pommitetaan ylipainekammiossa heliumilla, kuva 15. Pommitusaika voi olla useita tunteja ja painekammiossa useita ilmakehiä.



Kuva 15. Pommitusvaihe. a heliumpullo, b ylipainekammio, c testattava kappale

Mikäli testattavassa kappaleessa on esimerkiksi huokosia, halkeamia tai reikiä ne täyttyvät pommitusvaiheessa heliumkaasulla. Pommitusvaiheen jälkeen ylipainekammio ilmataan ja testattava kappale siirretään testauskammioon, johon imetään tyhjiö, kuva 16.



Kuva 16. Testausvaihe. d) testattava kappale, e) heliumvuodonetsijä

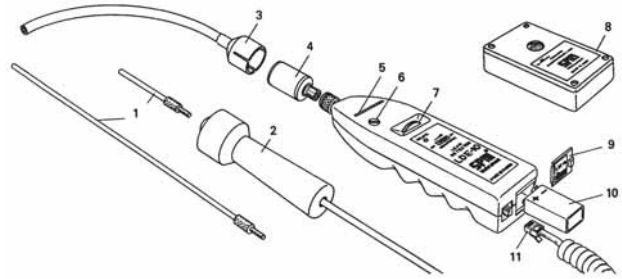
Testausvaiheessa mahdollisiin huokosiin, reikiin tai halkeamiin tunkeutunut helium vapautuu, jolloin se voidaan rekisteröidä vuodonetsijässä. Pommitusvaiheessa kappaleen pintaan kiinnittyvä helium häiritsee testausvaiheessa mittausta niin, että aivan pieniä vuotoja ei voida havaita. Pommitusmenetelmän kanssa on käytettävä aina myös jotain toista menetelmää. Tämä johtuu siitä, että ilmaus ja pumppausvaiheissa helium ehtii poistua isoista rei'istä, huokosista ja koloista, joten näitä vuotoja ei havaita pommitusmenetelmällä. Tällaiset vuodot havaitaan esimerkiksi haistelumenetelmällä tai kuplatestillä.

### Korkeataajuusetsijät

Korkeataajuusetsijöitä käytetään yleensä, kun tyhjötila on lasia. Etsijän toiminta perustuu 430...450 kHz ja 50...60 kV purkaukseen. Korkeataajuusvuodonetsijöitä voidaan käyttää painealueella 25 kPa...0,1 Pa. Eri painealueilla vuoto näkyy erivärisenä valopurkauksena. Painealueella 25 kPa...10 Pa purkaus näkyy punaisena tai violetina (etenkin silloin, kun jäännöskaaussa on tyyppiä tai vetyä). Painealueella 10...1 Pa purkaus näkyy seinämällä vihertäväsiniisenä ja muuten vaaleanpunaisena tai violetina valona. Painealueella 1...0,1 Pa valopurkaus häviää tai näkyy heikkona vihertävänä valona seinämällä.

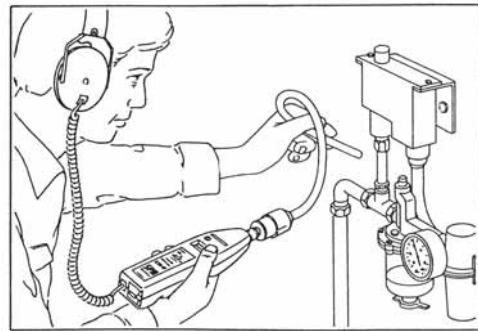
### Ultraäänensijät

Ultraäänensijään kuuluvat laitteet ilmenevät kuvasta 17.

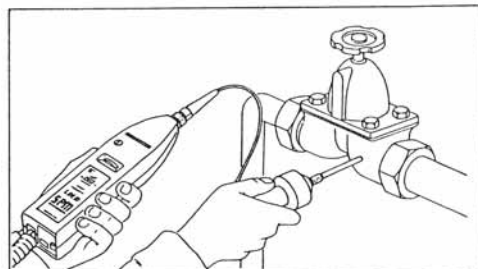


Kuva 17. Ultraäänensijä: 1 koetinkärjet, 2 ultraäänikoeitin, 3 pidennysputki, 4 ultraäänimikrofoni, 5 LED rivistöt, 6 äänenvoimakkuuden säätö, 7 päälle/pois -kytkin ja herkyyden säätö, 8 ultraäänilähetin, 9 paristokotelon kansi, 10 paristo, 11 kuulokeliitin (SPM Instrument)

Ultraäänensijällä voidaan paikallistaa ulkoisia ja sisäisiä sekä paineettoman tilan vuotoja. Ulkoisten vuotojen paikallistaminen edellyttää tutkittavan tilan paineistamista. Tällöin on varottava käyttämästä rakenteisiin nähden liian suurta painetta. Paineistuksen jälkeen nuuskitaan mahdollisia vuotokohtia joko suoraan ultraäänimikrofonilla tai mikrofonin kiinnitettyllä pidennysputkella, kuva 18. Pidennysputki eliminoi muut ultraäänilähteet, jolloin vuoto havaitaan paremmin.

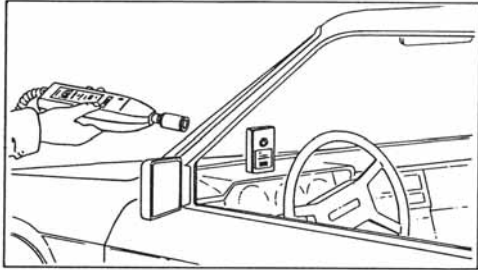


Kuva 18. Ulkoisten vuotojen etsiminen (SPM Instrument).



Kuva 19. Sisäisten vuotojen etsintä (SPM Instrument)

Sisäisiä vuotoja haettaessa, kuva 19, koetinkärki painetaan mahdollisimman lähelle mahdollista vuotokohtaa. Paineettoman tilan vuotoja etsitään sijoittamalla ultraäänilähetin tutkittavaan tilaan ja kuljettamalla ultraäänimikrofonia mahdollisten vuotokohtien lähellä, kuva 20.

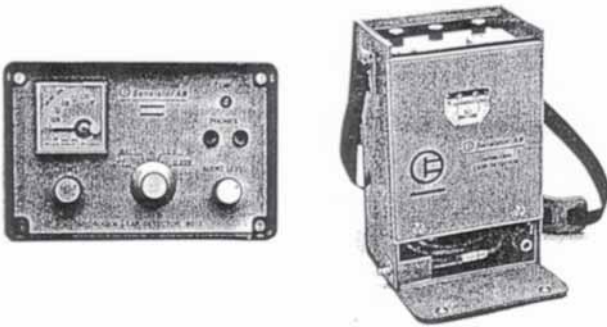


Kuva 20. Vuodonetsintä paineettomasta tilasta (SPM Instrument)

Olkoonpa kysymyksessä ulkoisten, sisäisten tai paineettoman tilan vuotojen etsintä, mahdollinen vuoto havaitaan sekä LED rivistöstä että kuulokkeista. Vuoto saa aikaan ultraäänen voimistumisen, jolloin LED rivistössä palavien ledien määrä lisääntyy ja kuulokkeissa äänen taajuus kasvaa.

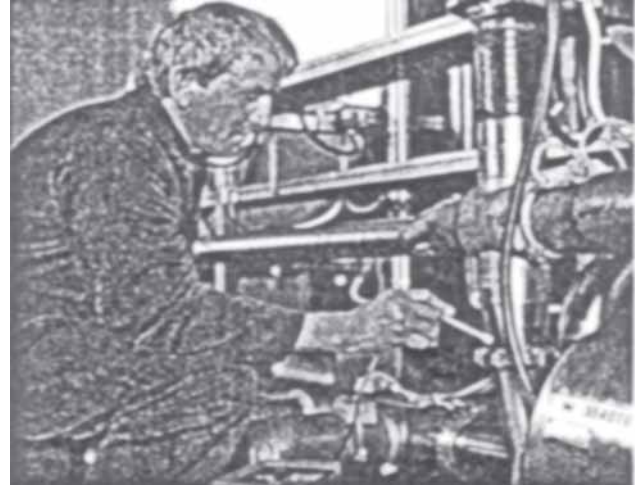
### Vetykaasun vuodonilmaisin

Vetykaasun ilmaisimessa (H<sub>2</sub> metodi), kuva 21, käytetään nimensä mukaisesti vuodon ilmaisinkaasuna vetyä. Yksi perusseos sisältää 12 % vetyä ja 88 % typpeä (formierkaasu, AGAMIX NH12).

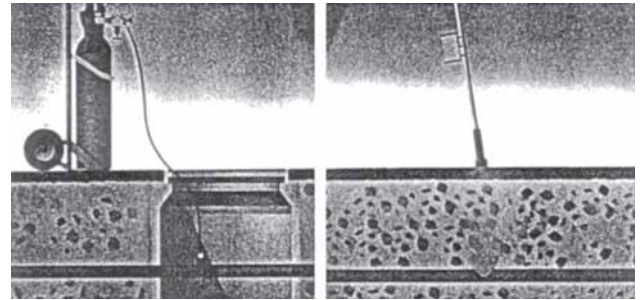


Kuva 21. Vetykaasun vuodonilmaisin (Sensistor)

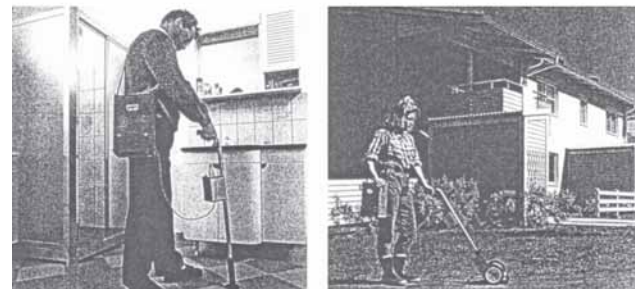
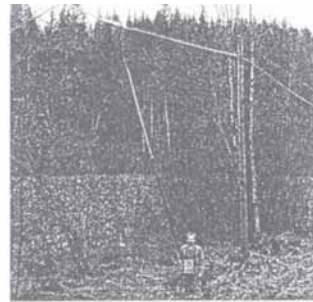
Tutkittavaan tilaan ruiskutetaan ilmaisinkaasua ja mahdollisia vuotokohtia haistellaan esimerkiksi käsiluotaimella, kuva 22. Vuotokohdassa ilmaisin antaa äänimerkin. Vetykaasunilmaisimella voidaan tutkia myös ilmajohdoissa ja maan jopa betonin sisällä olevissa putkissa esiintyviä vuotoja, kuva 23. Tällöin käytetään tunnistimena ilmakaapeli tai pintaluotainta, kuva 24.



Kuva 22. Vuodonetsintä käsiluotaimella (Sensistor)



Kuva 23. Vuodonetsintä betonin sisällä olevasta putkesta (Sensistor)



Kuva 24. Vuodonetsintä ilmakaapeli ja pintaluotaimella (Sensistor)