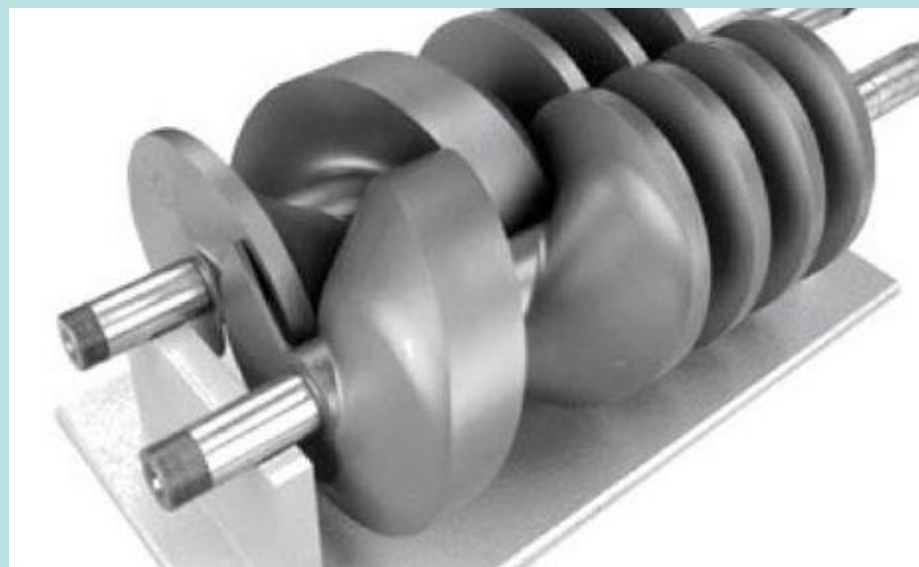
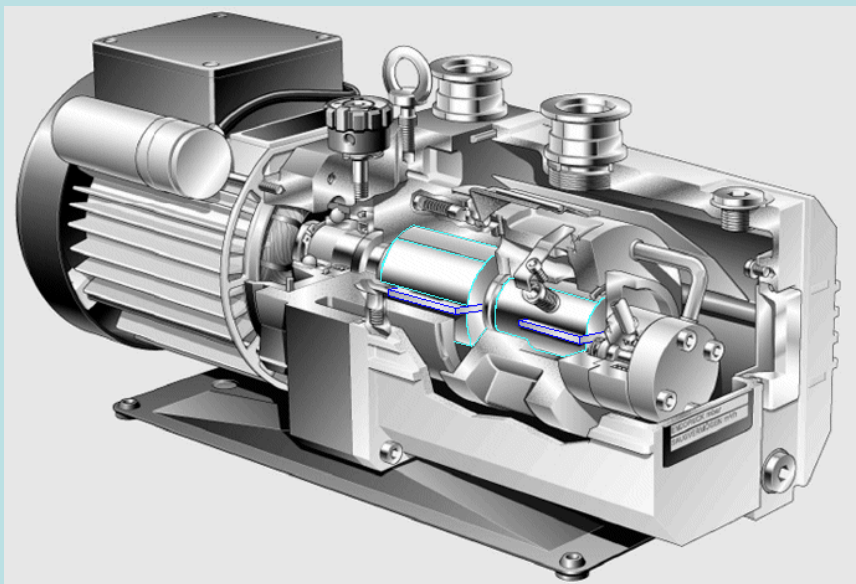


Bohátka Sándor és Langer Gábor

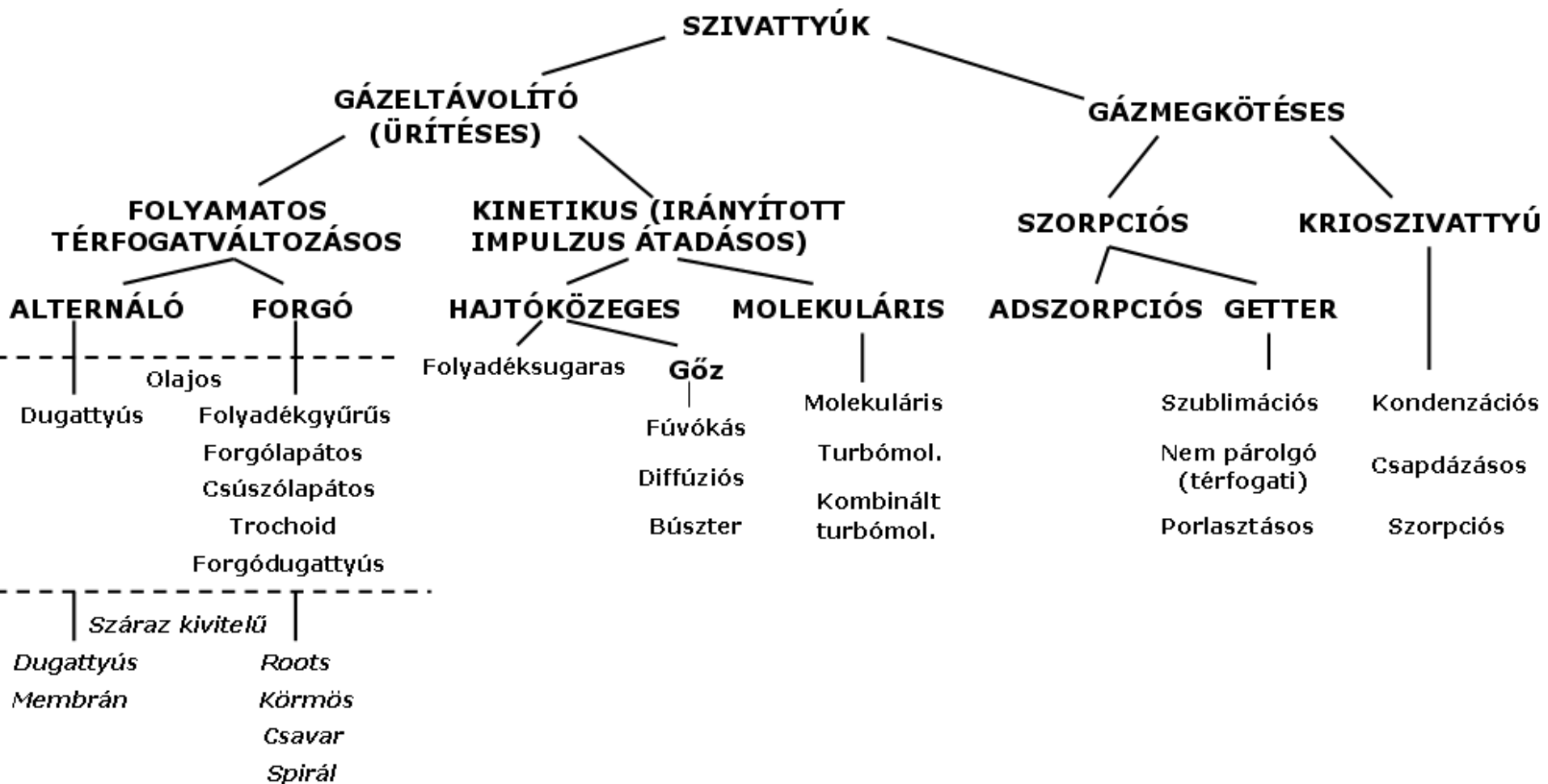
9. SZIVATTYÚK



9. SZIVATTYÚK

A szivattyúkat működési módjuk, az előállított végvákuum, illetve a szerves gőzöktől mentességük alapján különböztethetjük meg. A működési mód szerint fogjuk tárgyalni őket, de külön kiemeljük a száraz (olajgőz-mentes) fajtákat.

9.1. ábra. A szivattyúk működési elv szerinti osztályozása



9.1. FOLYAMATOS TÉRFOGATVÁLTOZÁSSAL MŰKÖDŐ SZIVATTYÚ

A gázeltávolító szivattyúknak az a típusa, amely a gázt magába beszívja, összenyomja és kiüríti. A szívási – ürítési folyamat a szivattyú munkakamra térfogatának alternáló vagy forgó mozgással történő, folyamatos változtatásával jön létre. A periodikus térfogatváltozás folyadékkal (olaj, víz) vagy szárazon tömített dugattyúk, rotorok, csúszó lapátok stb. segítségével valósul meg.

9.1.1. Alternáló szivattyú

Az egyik legkorábban használt, alternáló mozgást végző szivattyú a dugattyús szivattyú. Napjainkban a dugattyús szivattyúk csak száraz tömítéssel készülnek, ezért a száraz szivattyúk között tárgyaljuk őket. Hasonlóan, a száraz szivattyúk közt ismertetjük az alternáló mozgással működő membránszivattyúkat is.

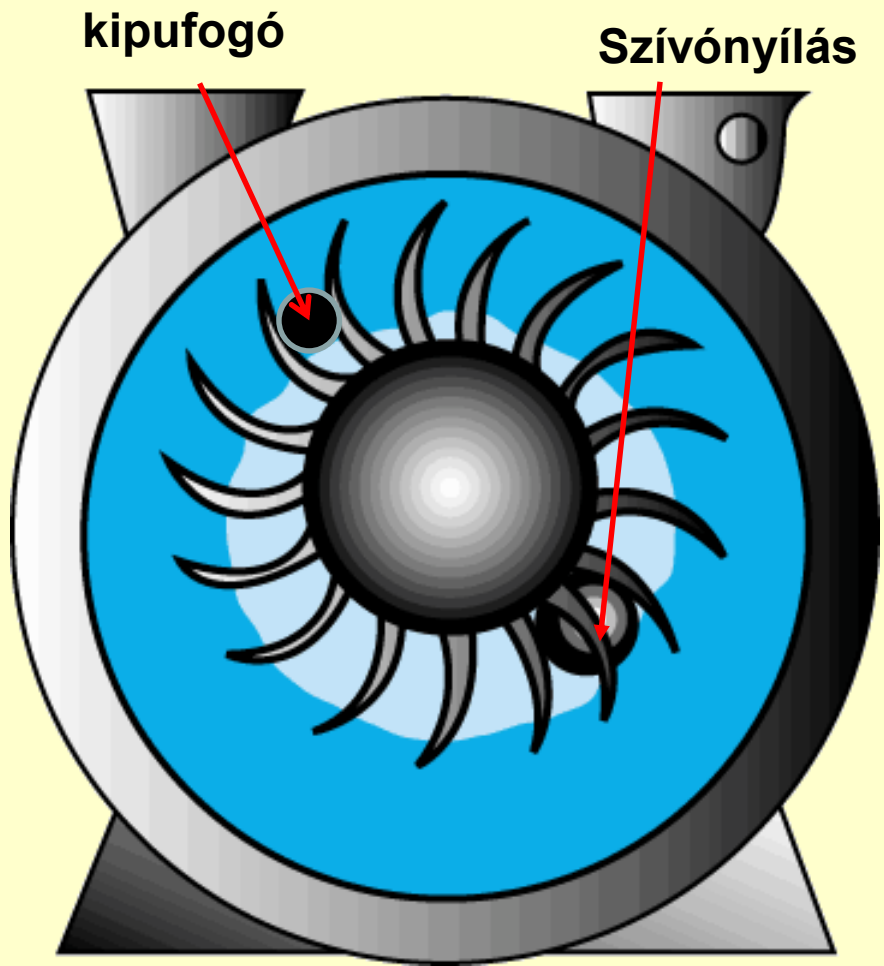
9.1.2. Forgó ürítékes szivattyúk folyadék tömítéssel

A gázeltávolító szivattyúk azon fajtája, amelyekben a folyamatos térfogatváltozás a szivattyú munkahengerében excentrikusan elhelyezett lapátrendszer segítségével valósul meg. Tömítő – kitöltő anyagként leggyakrabban olajat vagy vizet használnak.

9.1.2.1. Folyadékgyűrűs szivattyú

Legismertebb a **vízgyűrűs szivattyú**.

A szívó és kipufogó nyílás az álló henger oldalán helyezkedik el. Az excentrikusan elhelyezett forgórész lapátjai közötti térfogat folyamatosan változik az állórészben kialakult vízgyűrűhöz képest. A lapátok közt levő gáz a térfogatváltozás miatt összenyomódik, majd a kipufogó nyíláson a vízzel együtt, buborékok formájában távozik. Több fokozat kapcsolható egymás után.



9.1.1. ábra. Vízgyűrűs szivattyú működése [KL1].



9.1.2. ábra. Egy kétfokozatú vízgyűrűs szivattyú kibontott képe [Win].

- Jellemzői:**
- Nagy szívósebesség, nem érzékeny a korrózióra.
 - Főként élelmiszeripari és vegyipari rendszerekben használják.
 - A nagy szivattyúk vízigénye is nagy: a víz recirkulációja szükséges.
 - A recirkulált vizet hűteni kell.
 - A kipufogó oldalon vízleválasztó szükséges.
 - Sorba lehet kötni gázsugár-, gőzsugár- és Roots szivattyúkkal
- Az elszívott gázokat közvetlenül az atmoszférikus nyomásra távolítja el.**

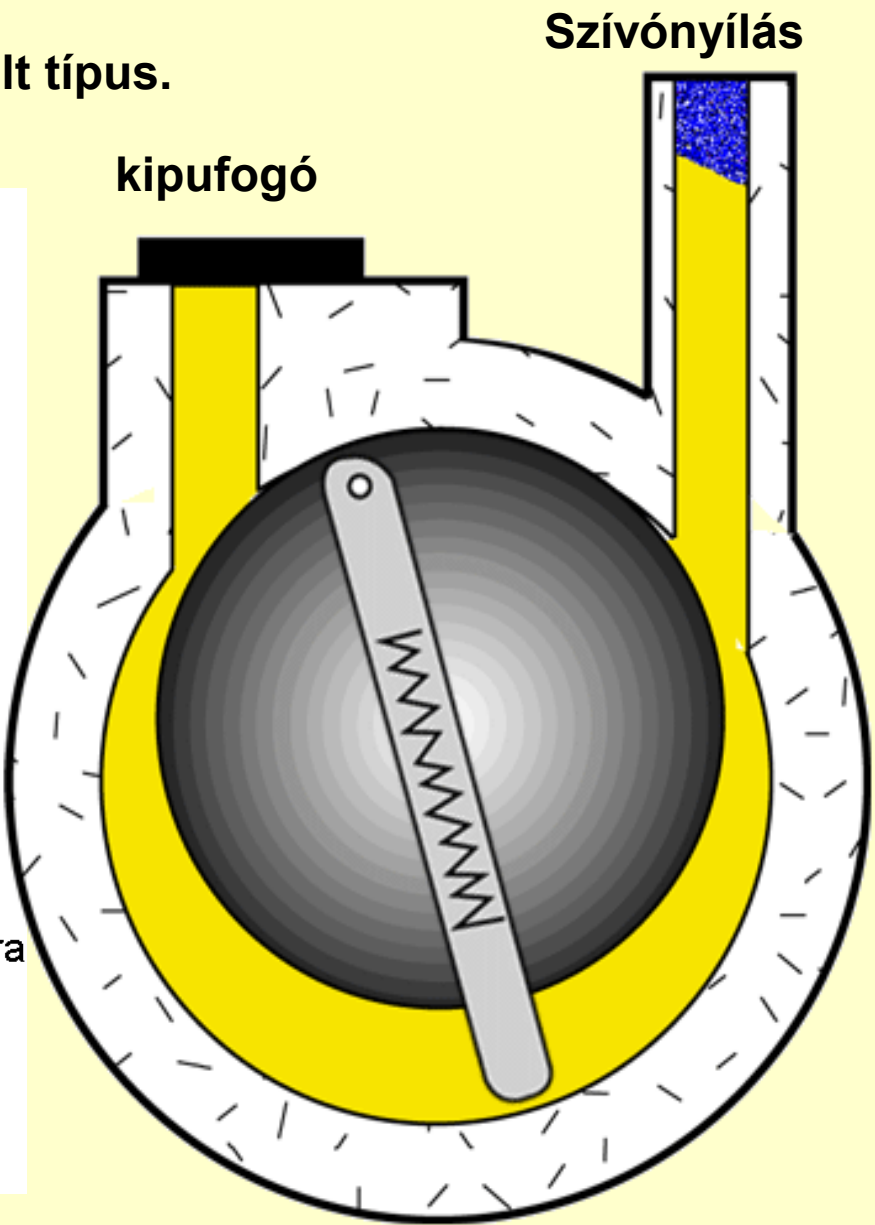
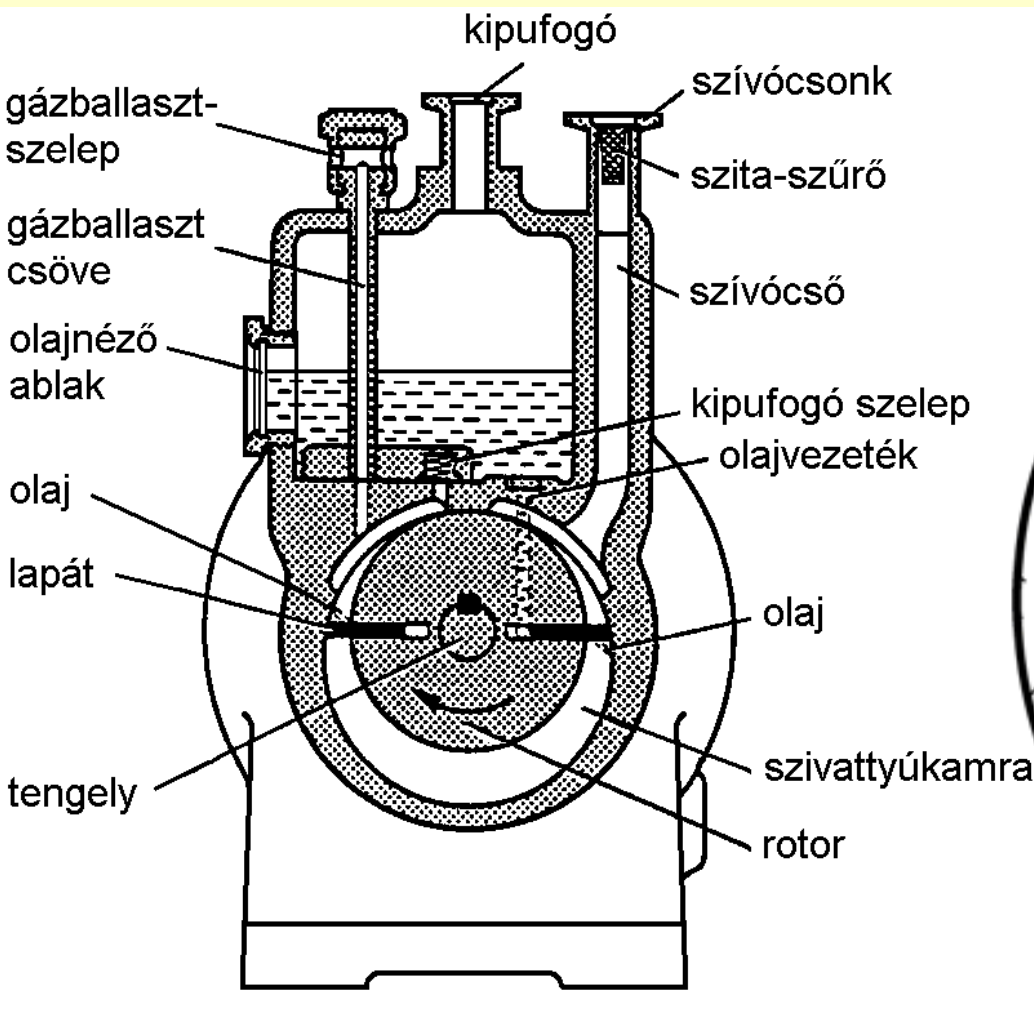
Szívósebesség: 10 – 25 000 m³/h.

Nyomástartomány: 1013 – 100 (30) mbar – hőmérsékletfüggő!

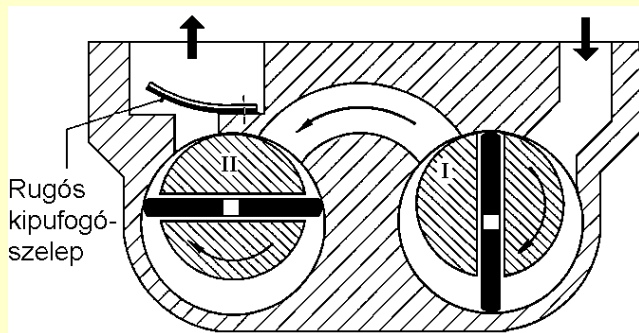
Alacsonyabb nyomás érhető el gázsugár-, gőzsugár- vagy Roots szivattyúkkal kombinált változatával – amikor ezen szivattyúk elővákuum-fokozataként szolgál.

9.1.2.2. *Forgólapátos szivattyú*

A laboratóriumokban leggyakrabban használt típus.



9.1.3. ábra. A forgólapátos szivattyú elvi felépítése és működési elve [KL1].



9.1.4. ábra. **Kétfokozatú szivattyú:** a kompresszió fokozására két szivattyúkamrát sorosan kapcsolnak össze, így a szivattyú végvákuuma legalább 1 nagyságrenddel javul (9.1.5. ábra) [L2].

- **Kondenzálódó gőzök szívása – gázballaszt használata.**
- **A forgó üritéses szivattyúk működéséhez kenőanyag (olaj) szükséges**

Az olaj szerepe a szivattyúban:

- **kenés,**
- **tömítés,**
- **hűtés.**

- **Olajszivattyú:** az olajat az egyenletes kenés és hűtés végett keringtetni kell az egész szivattyút behálózó járatokban.
- **Olajszűrő:** az olajból el kell távolítani a kopásból eredő szennyezéseket.
- **Az olaj legfontosabb paraméterei:** kenőképesség, viszkozitás, gőznyomás, hőstabilitás.

- **Olaj-visszaáramlás** – recipiens védelme az olajgőzöktől.
- **Szivattyú védelme, a környezet szennyezésének megelőzése.**

A szivattyúmotor fordulatszáma: 1400 – 2800 fordulat/perc.

Üzemi hőmérséklete 70 - 90° C – hűtés szükséges.

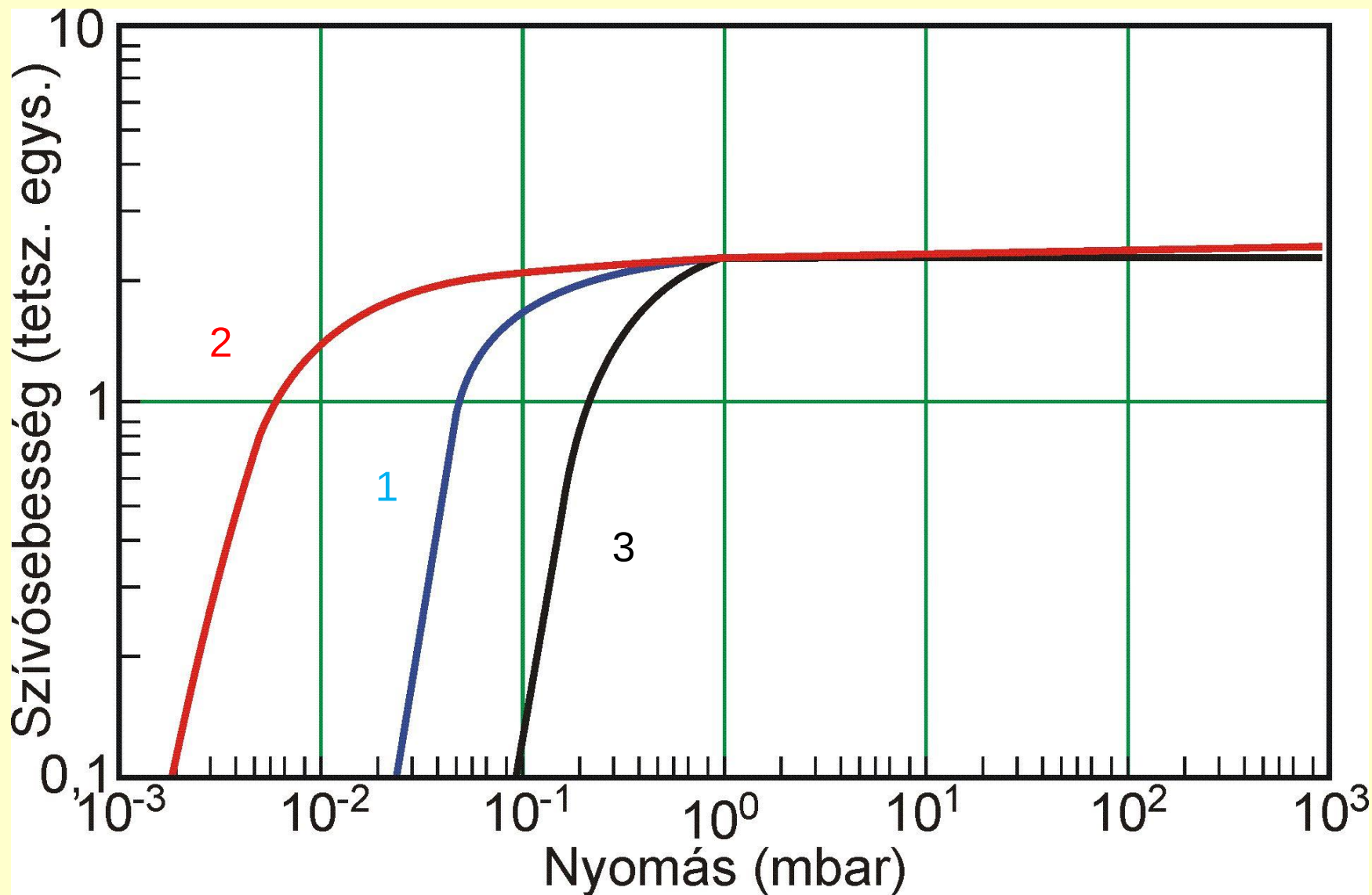
Kondenzálódó gőzök szivattyúzása – gázballaszt

Ha kondenzálódó gőz van az elszívandó gázban, pl. vízgőz, akkor a gőznyomásától függően a kompresszió során hamarabb kondenzálódhat, mint ahogy a gáz össznyomása meghaladná a légköri nyomást, ami a kipufogás feltétele. Ez különösen akkor fordul elő, amikor a szívott gáz már alacsonyabb nyomáson van, és a maradékgázban nagyobb a vízgőz aránya.

Pl.: Ha 1 mbar össznyomásból 80% a vízgőz részesedése (0,8 mbar), akkor az 1 mbar nyomású gáz eltávolításához szükséges legalább 1000-szeres kompressziónál 800 mbar lenne a vízgőz parciális nyomása. A szivattyútest hőmérsékletét 90°C-nak feltételezve, ezen a hőmérsékleten 701 mbar a víz telített gőznyomása. Így amikor az összesűrített vízgőz eléri a 701 mbar-t, a vízgőz attól kezdve kondenzálódik (a víz 12,7%-a kondenzálódik). Ez a víz ott marad a szivattyúban, emulziót alkot az olajjal, és gőznyomása korlátot szab az elérhető végvákuumnak.

Megoldás: mielőtt a víz kondenzálna, pótlólagos levegőt (nem kondenzálódó gázt) engedünk a szivattyúkamrába a gázballaszt szelepen keresztül. A szívott gáz a kompressziós folyamatban hamarabb eléri a kipufogáshoz szükséges nyomást. Csökken a végvákuum, de megszűnik a kondenzáció, a szívóteljesítmény pedig alig romlik (9.1.5. ábra). **Ez a gázballaszt.**

A gázballaszt használatával, a meleg szivattyú járatásával tisztítjuk meg a vízgőzzel vagy oldószerrel szennyezett olajt minden esetben, ha a végvákuum nem elérhető – olajcsere után is ajánlott.



9.1.5. ábra. Egy azonos teljesítményű forgólapátos egyfokozatú (1) és kétfokozatú (2) szivattyú szívósebessége gázballaszt nélkül és gázballasztal (3).

Olajfajták

A szivattyú végvákuumát az alkalmazott olaj adott hőmérséklethez tartozó gőznyomása jelentősen befolyásolja.

- **Ásványolaj alapú szénhidrogén olajok:** sokszorosan finomított, alacsony gőztenziójú (szobahőmérsékleten $\sim 10^{-6}$ mbar).

- Adalékanyagok segítik a korrózióvédelmet, de növelik a gőznyomást – élettartamuk korlátos.

- Az olaj kissé higroszkopikus – víztelenítés gázballasztal.

- **Szintetikus szerves olajok:** nagy igénybevételre tervezett, oxidációnak, magas hőmérsékletnek ellenálló fajták. Gőztenziójuk szobahőmérsékleten kisebb lehet mint 10^{-6} mbar.

- **Fluorozott folyadékok:** korrózió elleni ellenállásuk és általában kémiai reakciók elleni állóképességük miatt használják. Hosszabb az élettartamuk.

- Kémiai rezisztencia: agresszív anyagok szívása (félvezető ipar).

- Nem gyúlékony.

- Nagy hőstabilitás.

- Oxigénnek ellenáll – a gyártó által javasolt üzemi hőmérséklet és oxigénnyomás betartandó!

- Nem oldódik sok oldószerben – ezeket is lehet szívni.

Szilikon-olajat nem szabad mechanikus szivattyúban használni, mert – az olaj degradálódása következtében – kidörzsölődnek a megkent felületek.

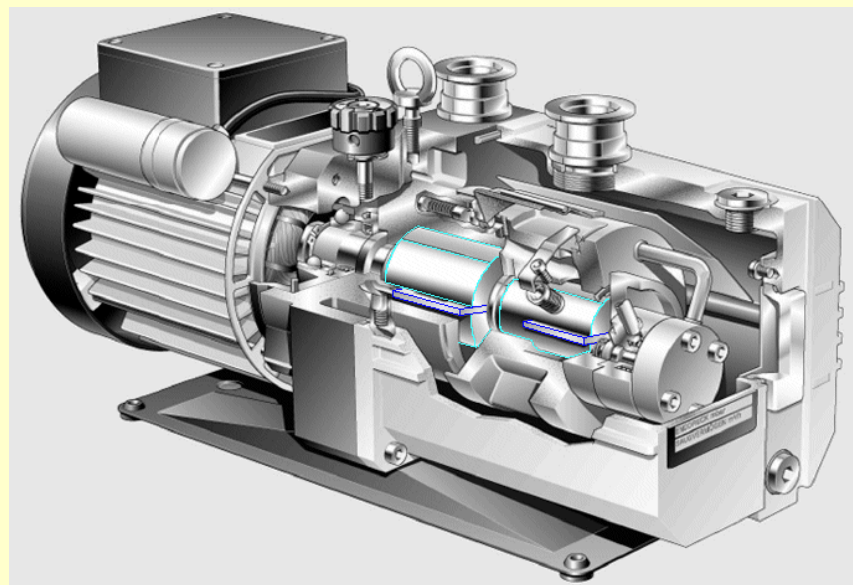
Recipiens védelme az olajgőztől

A szivattyúból olajgőzök áramlanak vissza a szívott rendszerbe. Az olaj-visszaáramlás a nagy- és ultranagyvákuum-rendszerek leggyakoribb szennyező forrása. Minél kisebb a szállított gázáram, annál nagyobb az olaj-visszaáramlás.

Csökkenthető adszorpció csapdák alkalmazásával .

A **környezet védelme** a szivattyúból távozó olajgőztől: olajcsapda, olajsűrő. A **szivattyú védelme** portól nedves (=olajos) porcsapdák, molekulársűrő stb. alkalmazásával.

9.1.6. ábra. Kétfokozatú forgólapátos szivattyú kibontott képe [L3].



A forgólapátos szivattyú a leggyakrabban használt olajkenéses elővákuum-szivattyú fajta.

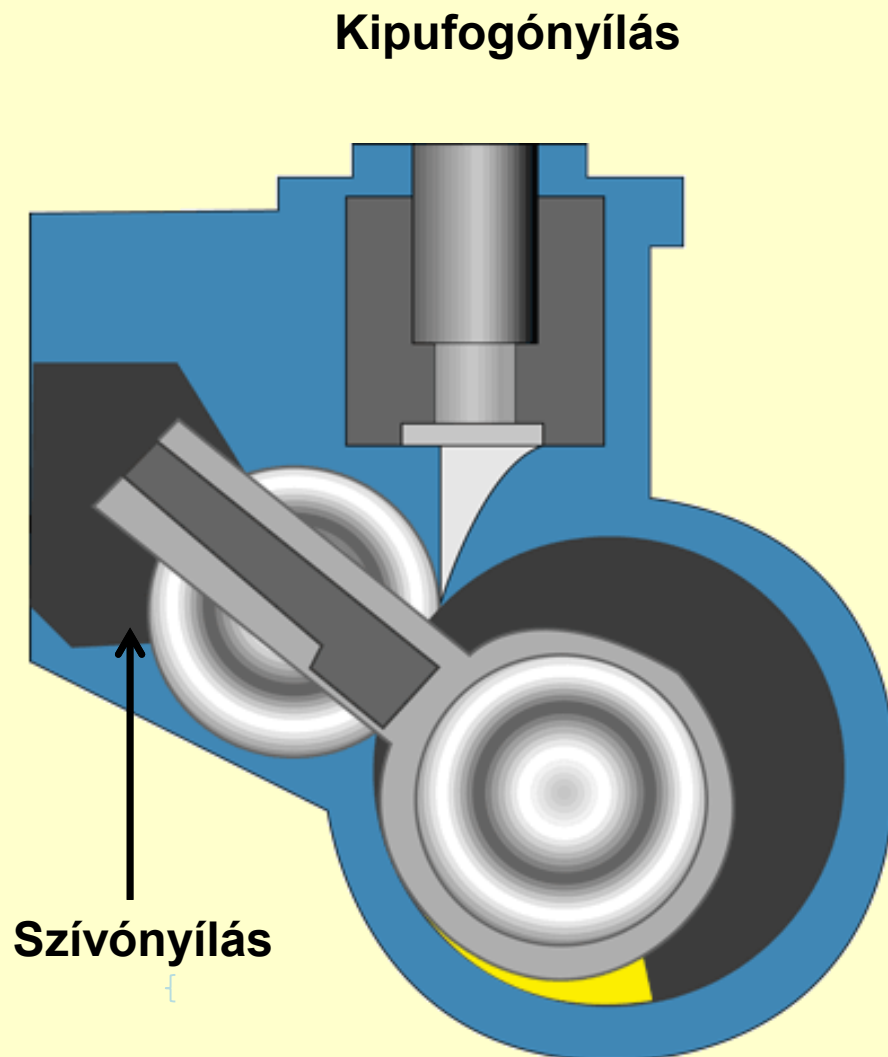
Az elszívott gázokat közvetlenül az atmoszférikus nyomásra távolítja el.

Működési nyomástartomány: 10^{13} – 10^{-3} (10^{-4}) mbar.

Gyártott méretek: 0,5 – 500 m³/h szívósebesség.

9.1.2.3. Forgódugattyús (Kinney vagy Stokes) szivattyú

Álló hengerben excentrikusan elhelyezkedő **forgó henger** az álló henger belső felületén gördül le (a két fal távolsága kisebb mint 0,1 mm). A tömítést a mozgó és álló felületek között olajfilm biztosítja. A végvákuumot az alkalmazott olaj adott hőmérsékletéhez tartozó gőznyomása ebben az esetben is jelentősen befolyásolja.



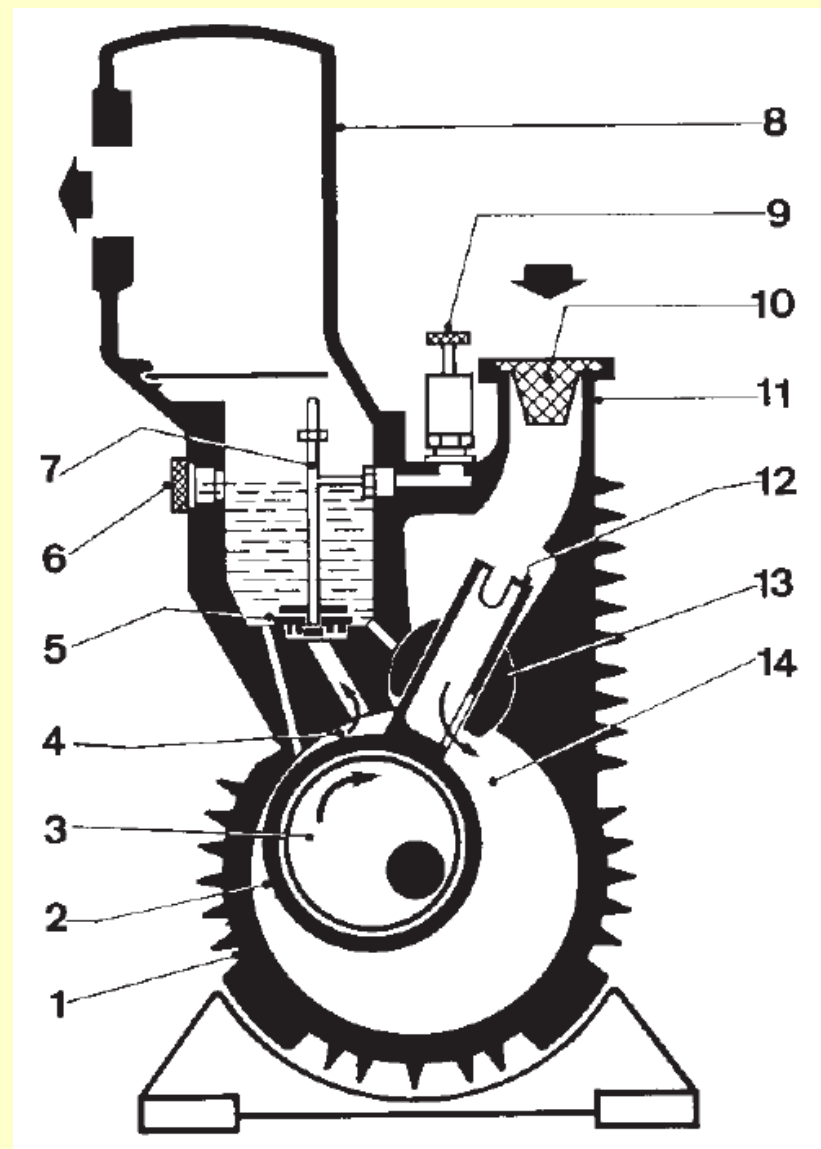
9.1.7. ábra. Forgódugattyús szivattyú működési elve [KL1].

Forgódugattyús (Kinney vagy Stokes) szivattyú felépítése

- 1: szivattyúház,
- 2: hengeres dugattyú,
- 3: excentrikus forgatás,
- 4: kompressziós tér,
- 5: olajszigetelésű kipufogó szelep,
- 6: olajsint-néző ablak,
- 7: gázballaszt levegőcsatornája,
- 8: olajleválasztó és kipufogó csatlakozás,
- 9: gázballaszt szelepe,
- 10: szítaszűrő,
- 11: szívónyílás,
- 12: csúszószelep,
- 13: szigetelő csapágy,
- 14: a kamra szívó térfele.

Működési nyomástartomány: $10^{13} - 10^{-3}$ (10^{-4}) mbar

Szívósebesség: $\sim 50 - 1500 \text{ m}^3/\text{h}$.
Nagy mozgó tömege miatt zajos.



9.1.8. ábra. A forgódugattyús szivattyú felépítése [L2].

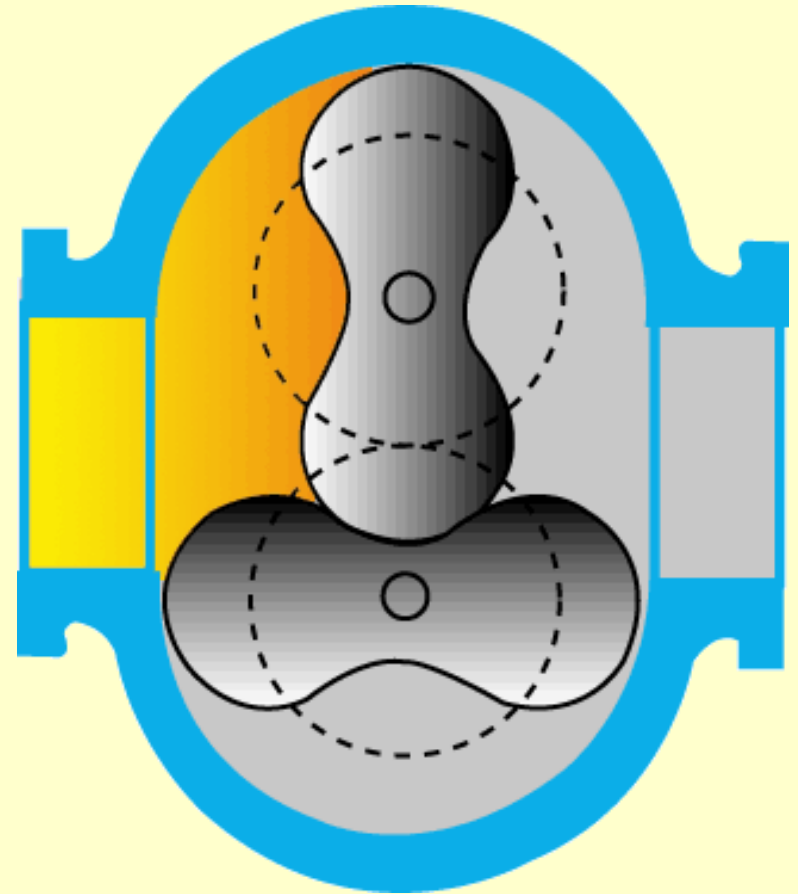
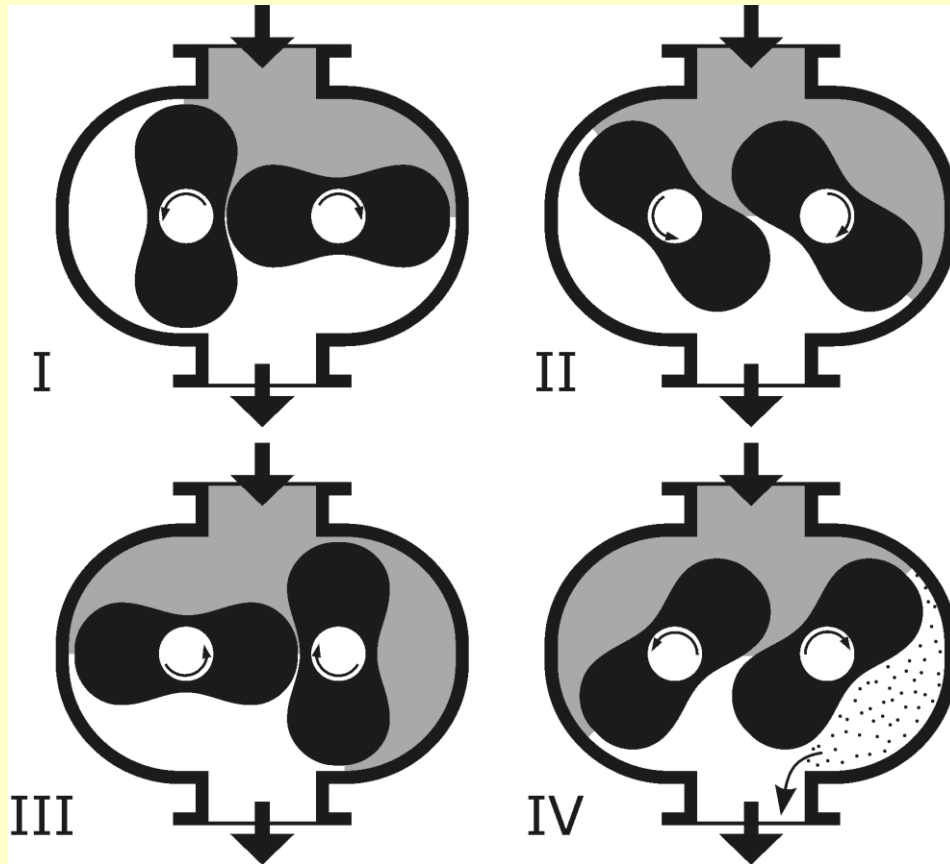
9.1.3. Száraz kivitelű forgó ürítéses szivattyúk

A száraz szivattyúkban a rések tömítésére és kenésre nem használnak olajat, hanem

- az alkatrészek pontos megmunkálásával és a rések méretének csökkentésével olyan ellenállást állítanak elő a kompressziós-, illetve a szívótér tömítéseként, hogy jelentős kompresszió tartható fenn (Roots-, körmös-, csavarszivattyú)**
- kis tapadású, kopásálló szerkezeti anyagok használatával mellőzik a kenést (dugattyús, csigavonalas szivattyú);**
- nem csúszó mozgással érik el a szivattyúzó hatást (diafragma-szivattyú).**

A tudatosan előállított rések, illetve a száraz csúszó alkatrészek kopása miatt a száraz szivattyúk szívósebessége általában rosszabb hidrogénre és héliumra, mint levegőre, hiszen a vezetékek ellenállása hidrogénre kisebb, mint levegőre.

9.1.3.1. Roots szivattyú



9.1.9. ábra. A Roots szivattyú elvi működése [KL1].

- A Roots szivattyúban a forgó, „piskóta alakú” lapátok nem érintik egymást és a szivattyúházat. A hézag: 0,05 – 0,25 mm. Fordulatszám: 2000 - 4000 fordulat/perc.
- Nincs kenőanyag a szivattyú belsejében, csak a tengelynél.
 - Elméletileg 100 000 m³/h-nál nagyobb szívósebesség is elérhető.
 - A kompresszió maximális értéke – a gyakorlat alapján – néhány mbar elővákuum nyomás környékén van. A nagyobb és alacsonyabb nyomások irányába egy nagyságrenden belül tizedére csökken. **Elővákuum-szivattyúra van szüksége!**
 - Az elővákuumot leggyakrabban olajkenéses szivattyú biztosítja.
 - Önmagában legfeljebb 150 mbar végvákuumot szolgáltat atmoszférára történő kipufogással.

A Roots szivattyúk elméletileg elérhető szívósebességét két tényező csökkenti:

- az álló- és forgórészek közötti rések vezetőképesége által meghatározott **visszaáramlás** (nagyobb nyomás)
- a forgórészek visszaforgásakor **visszaszállított gázmennyiség** (alacsony nyomás)

Mindkét jelenség – a szállított gázáram csökkentésével – csökkenti a szivattyú kompresszióját, azaz a szívó- és kipufogó oldali nyomások hányadosát.

A Roots szivattyú két oldala közötti nyomáskülönbség (Δp_{max}) nem lehet nagyobb az adott konstrukcióra érvényes küszöbértéknél. Nagy nyomáskülönbségnél a kompresszió miatt a szivattyú túlmelegszik.

Hűteni kell. A hűtés történhet a forgórészek belsejében olaj áramoltatásával vagy a kipufogó oldalon lehűtött levegő visszakeverésével. A túlmelegedés elkerülésének legegyszerűbb módja, ha a Roots szivattyút csak 10 mbar körüli nyomás alatt kapcsoljuk be, addig csak az elővákuum szivattyú dolgozik. Nem gazdaságos.

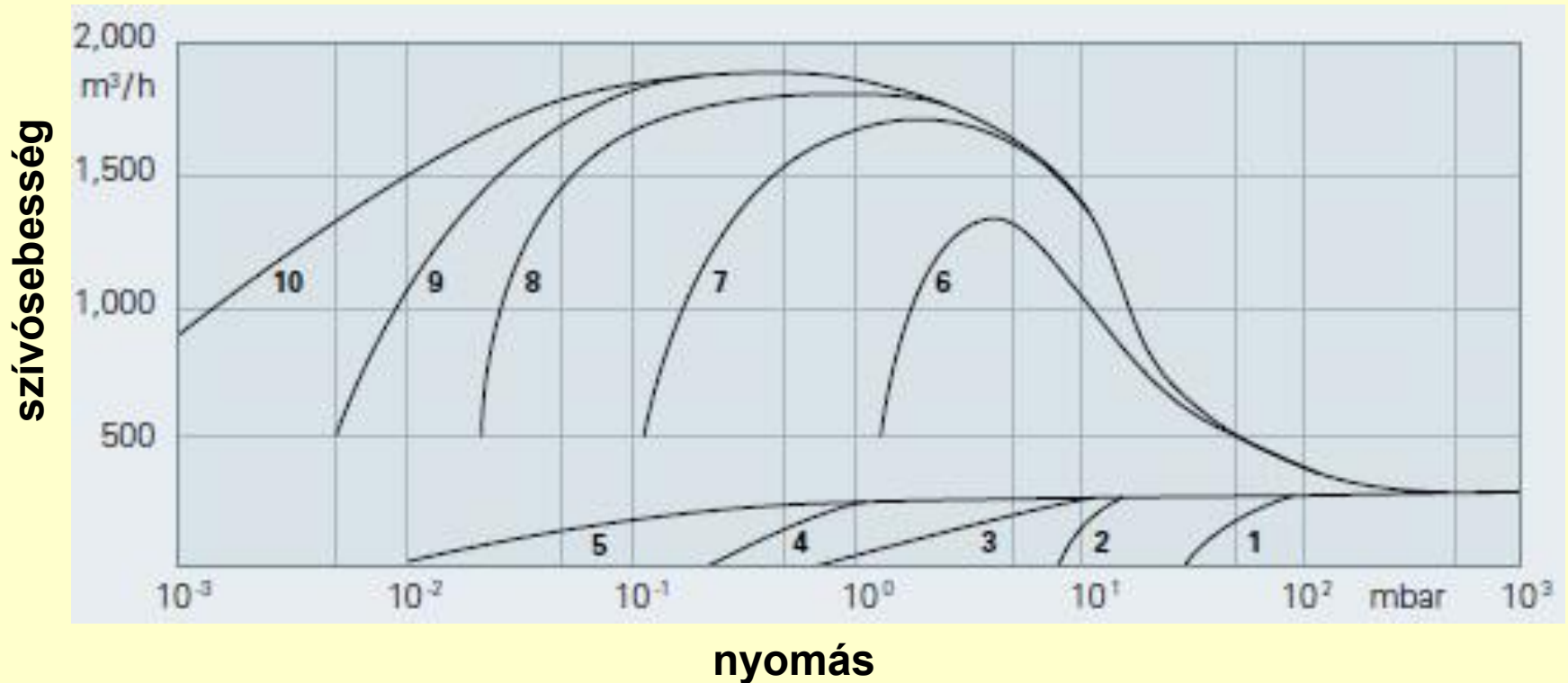
Gyakran alkalmaznak nyomás-szabályzó szelepet, amely a szívó és kipufogó oldal közötti elkerülő ágban helyezkedik el és kinyit ha a nyomáskülönbség a megengedett értéknél nagyobb.

9.1.10. ábra. Roots szivattyú nyomás-szabályzó szeleppel [L2].



Elővákuum szivattyú

A Roots-sz. megnöveli elővákuum-szivattyúja szívósebességét és végvákuumát



9.1.11. ábra. Különböző elővákuum-szivattyúval ellátott Okta 250 és Okta 2000 Roots szivattyúk szívósebesség görbéi. Összehasonlításul az elővákuum-szivattyúk szívósebesség görbéi is ábrázolva vannak. 1. Vízgyűrűs szivattyú ($S=250 \text{ m}^3/\text{óra}$), 2. Gázsugár- szivattyúval összekapcsolt vízgyűrűs szivattyú, 3. Egy fokozatú forgólapátos szivattyú gázballasztal ($S=250 \text{ m}^3/\text{óra}$), 4. Okta 250 Roots pumpa gázsugár- szivattyúval összekapcsolt vízgyűrűs elővákuum-szivattyúval, 5. Egy fokozatú forgólapátos szivattyú gázballaszt nélkül ($S=250 \text{ m}^3/\text{óra}$), 6 – 10, Okta 2000 Roots pumpa 1 – 5 elővákuum-szivattyúval [OL1].

A Roots szivattyú, megfelelő elővákuum-szivattyúval összekapcsolva, átmenetet képez a nagyvákuum- és elővákuum-szivattyúk között.

- Előnye:

- megnöveli elővákuum-szivattyúja szívósebességét és végvákuumát;
- tiszta, ő maga nem termel olajgőzöket;
- nagy gázmennyiségek nagy szívósebességgel történő szívására alkalmas (lézer-ipar, vákuum-kemencék stb);
- robusztus kivitel;
- frekvenciaszabályzás;
- kedvező ár.

Nyomástartománya: $10 - 10^{-3}$ (10^{-4}) mbar

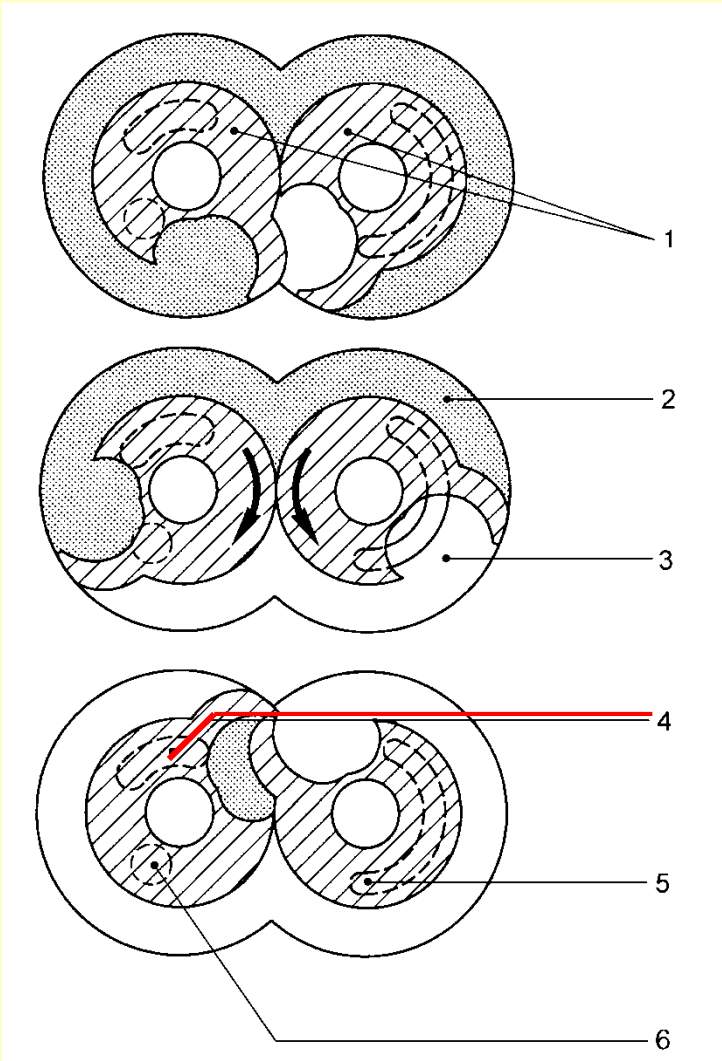
Szívósebessége: $\sim 30 - 30\,000$ m³/h

- Hátránya:

- elővákuum-szivattyút igényel; (5-6 sorba kapcsolt fokozat esetén közvetlen az atmosféra nyomásra dolgozik→félvezető ipar)
- kis nyomáskülönbség engedhető meg a szívó és kipufogó oldal között.

9.1.3.2. Kőrmös szivattyú (Claw pump)

A forgó és álló részek közötti távolság :
néhány 0,01 mm.



Forgórészek

Kompressziós kamra

Szívótér

Üritőnyílás

Szívónyílás

Járulékos öblítő gáz bevezetése

9.1.12. ábra. Kőrmös szivattyú felépítése. A belső kompresszió nélküli üzemmódban öblítő gázt engednek be a (6.) nyíláson [L2].

- Az alkatrészek nem érnek egymáshoz, a távolság néhány 0,01 mm.
- A fordulatszám ~ 2000 fordulat/perc
- A szivattyúban nincs kenőanyag, az alsó fokozat csapágyát és a forgórészek szinkronizált mozgását biztosító fogaskerekeket alacsony gőztenziójú anyaggal (pl. perfluor-polietilén) kenik.
- Egy fokozat esetén a kompresszió értéke ~ 10.
- 3 – 4 fokozatot sorba kötve közvetlenül atmoszférára tud kipufogni, miközben 10^{-2} mbar végvákuum érhető el. A 3 – 4 fokozat közül az első fokozat gyakran Roots szivattyú.
- Üzem módok:
 - **Kompressziós** (főként félvezető-ipar használja)
 - a kipufogó gáz (és a rotor) nagyon felmelegszik
 - hűtés: kívülről vízzel
 - belülről öblítő gázzal
 - beszívott porrészecskék eltávolítása: öblítő gázzal
 - **Kompresszió nélküli** (főként reaktív gázok szívására)
 - öblítő gázzal hígítják a beszívott gázt

- Előnyei:

nagy kémiai ellenálló képesség

kondenzálódó gőzöket is eredményesen szív
kompresszió nélküli üzemmódban vagy
öblítőgázzal

beszívott porrészecskékre nem érzékeny (öblítő gázzal)

nagy szívósebesség

- Hátrányai:

drága,

különböző alkalmazásokra átalakításokat igényel.

- Nyomástartomány:

kompressziós: 1013 – 0,01 mbar

kompresszió nélküli: 1013 – 10 mbar

- Szívósebesség: néhány száz m³/h-ig.

9.1.3.3. Csavarszivattyú (Screw pump)

9.1.13. ábra. Csavarszivattyú felépítése és mozgó részei [Pf.V].



Alkatrészei szorosan, de hézaggal illesztve. A szívás iránya az egyre szűkülő csavarmenetek felé mutat.

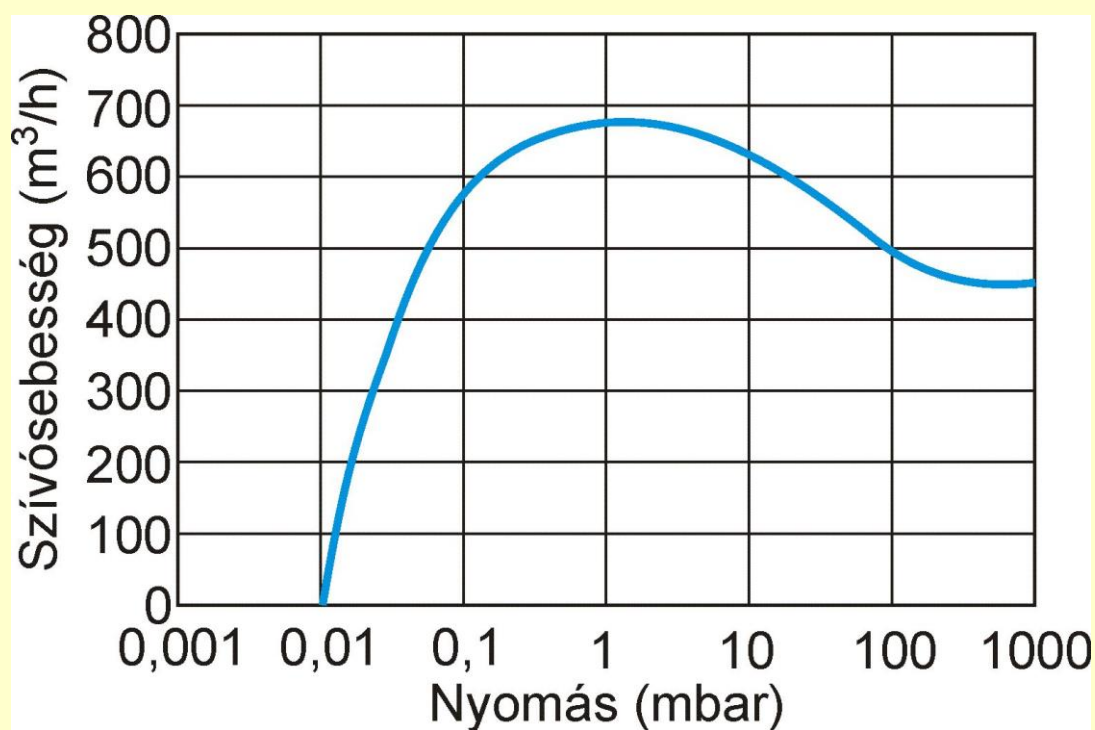
A forgórészek minden újabb körülfordulásakor a szivattyú újabb gázadagokat terel be a csavarmenetek egyre szűkülő járataiba:

- fordulatszáma elérheti a 10 000 fordulat/perc nagyságot
- kompresszió a csavartengely mentén,
- szakaszos beszívás és kipufogás, ebből következően
 - zajos
- intenzív belső hűtést igényel (külön olajjáratok a szivattyútestben és külső hűtőradiátor).
- Közvetlenül atmosféra nyomásra dolgozik.

Csavarszivattyú

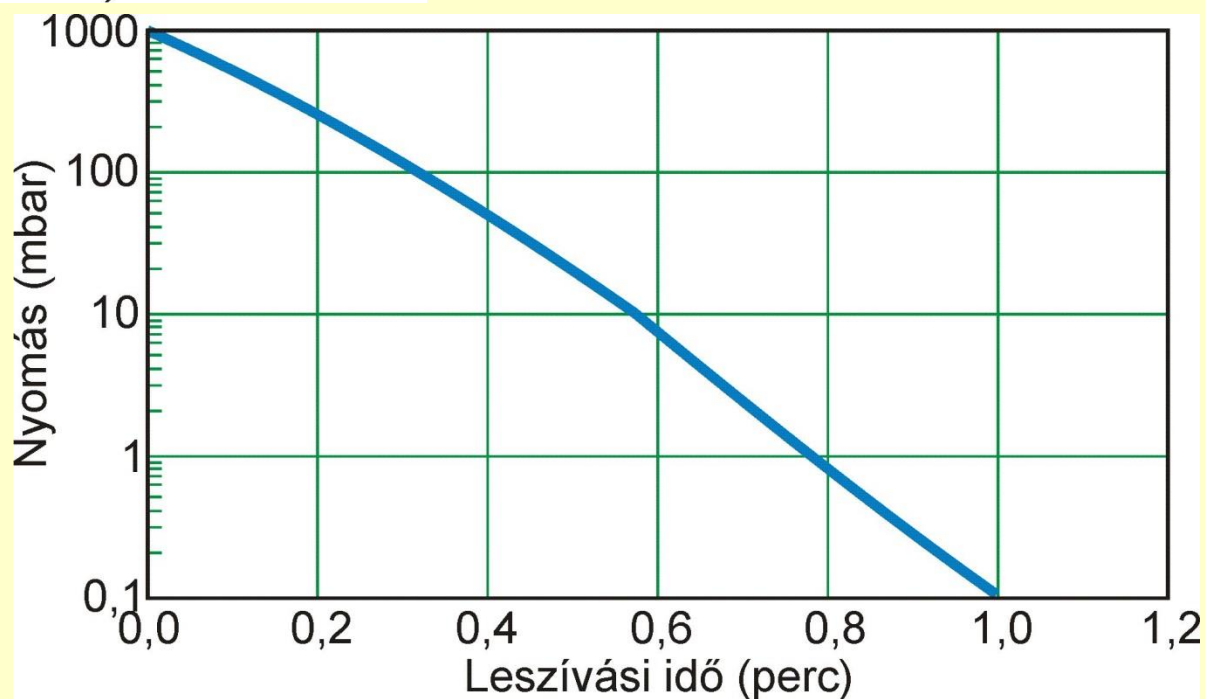


9.1.14. ábra. Egy SP630 csavarszivattyú WS 2001 FC Roots szivattyúval egybeépített rendszere [L3].



**9.1.15. ábra. SP630
csavarszivattyú
szívósebességének
nyomásfüggése [L3].**

**9.1.16. ábra. 1 m³
térfogatú tartály
leszívási ideje SP630
csavarszivattyúval [L3].**



Előnyei:

- olajmentes,
- nagy szívósebesség,
- robusztus,
- porrészecskékkel szembeni tolerancia,
- toxikus anyagok is szívhatók,
- hosszú szervizmentes időszak.

Alkalmazás:

- félvezető-ipar,
- kemencék,
- fémipari berendezések,
- csomagolás,
- rétegeltőállítás
- alapkutatás, pl. fúziós technológia.

Hátránya:

- zajos

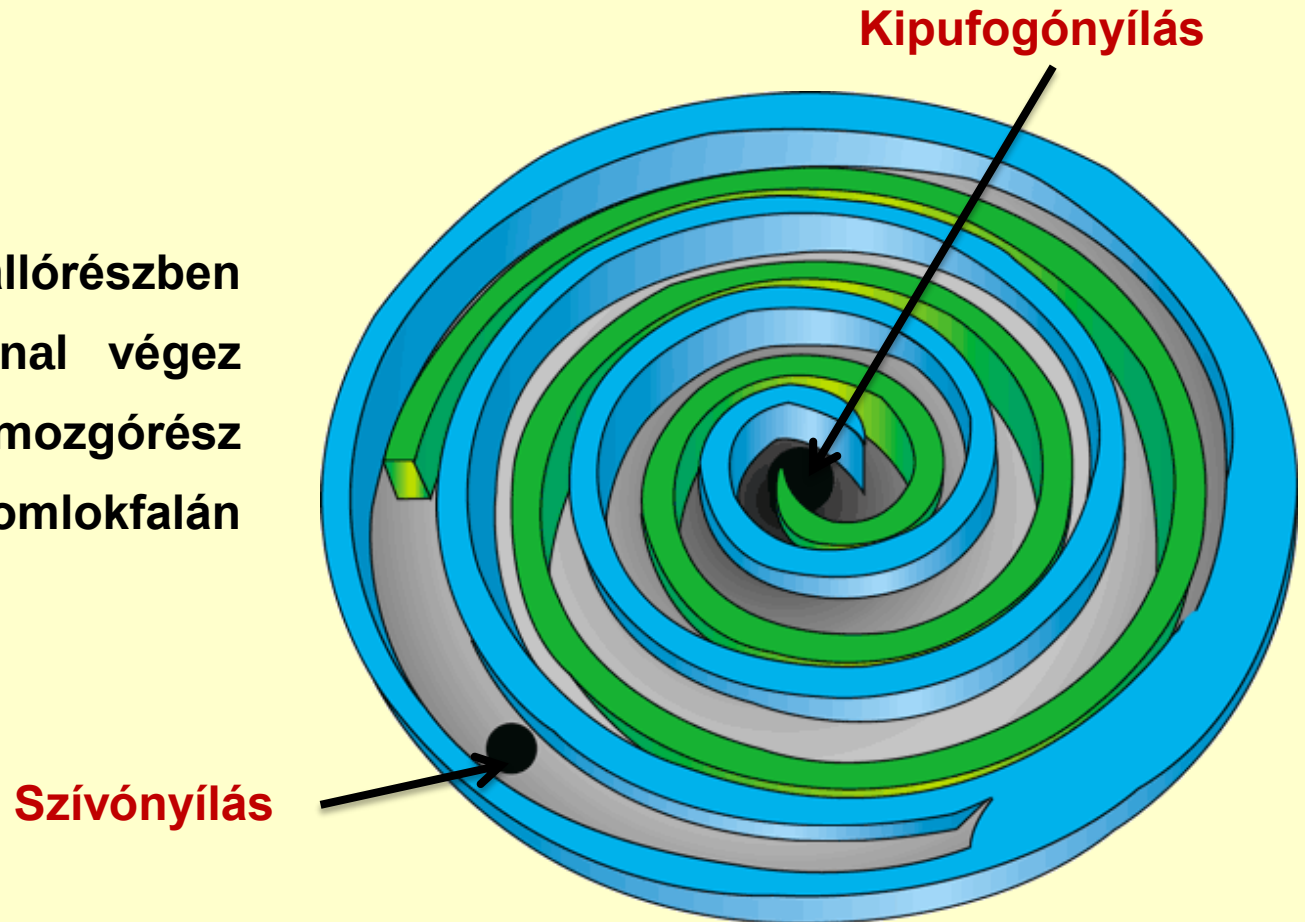
Működési nyomástartománya: 10^{13} – 10^{-2} (10^{-3}) mbar

Szívósebesség: $\sim 3000 \text{ m}^3/\text{h}$ -ig.

9.1.3.4. Spirál- vagy csigavonalas szivattyú (Scroll pump)

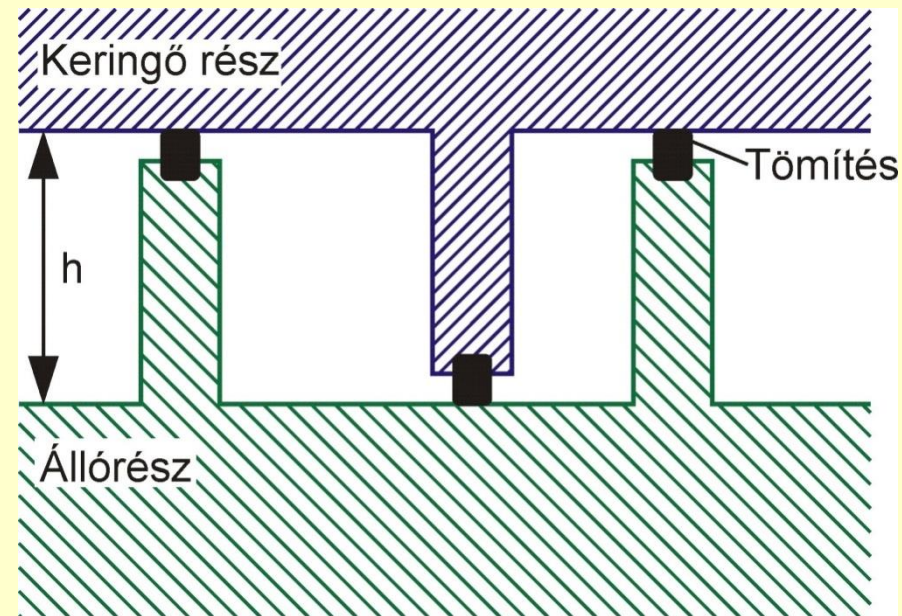
Napjaink leggyakrabban használt száraz elővákuum-szivattyúja.

Egy csigavonalas állórészben egy másik csigavonal végez keringő mozgást. A mozgórész a szivattyúház homlokfalán súrlódik.



9.1.17. ábra. Spirál- vagy csigavonalas szivattyú működési elve [KL1].

Csigavonalas szivattyú



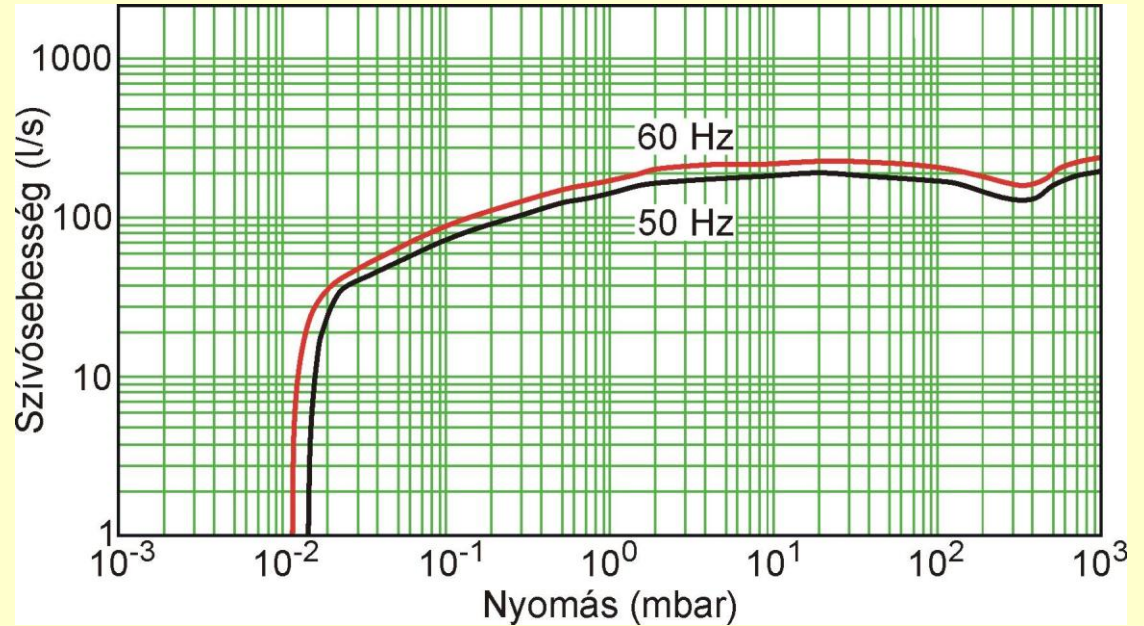
9.1.18. ábra. Az egymásba fordított álló és keringő mozgást végző csigavonalon teflon alapú tömítés helyezkedik el (fekete felület).

A csigavonalak tetején levő műanyag tömítés gyenge kontaktusban van a szemközti fallal. Folyamatos üzem esetén évente kétszer cserélni kell.

A keringés sebessége ~ 1500 fordulat/perc.



9.1.19. ábra. Csigavonalú műanyag tömítések



9.1.20. ábra A TriScroll 300 csigavonalas szivattyú és szívósebesség-karakterisztikája (Var.).

- Előnyei:

csendes,
kicsi,
közvetlenül atmoszféra nyomásra dolgozik.

- Alkalmazás:

„tisztá” elővákuum célokra (pl. turbómolekuláris szivattyúhoz).

- Hátrányai:

érzékeny a porszenyezésekre,
érzékeny korrozív anyagokra,
a kopástermékei bejuthatnak a szívott rendszerbe
(ez ellen időnkénti tisztítással és a
visszaáramlás kiküszöbölésével védekezünk),
évente 1-2 szerviz (tömítés cseréje) és költségei,
kondenzálódó gázok szívására nem alkalmas.

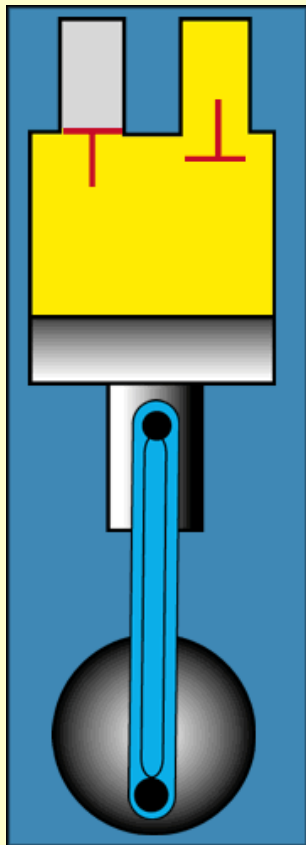
Működési nyomástartomány: $10^{13} - 5 \times 10^{-2}$ mbar

Szívósebesség: 5 – 50 m³/h

9.1.4. Alternáló üritéses szivattyúk – száraz kivitel

9.1.4.1. Száraz dugattyús szivattyú

A hagyományos dugattyús szivattyú száraz, olajmentes változata.



9.1.21. ábra. Dugattyús szivattyú működési elve. [KL1]

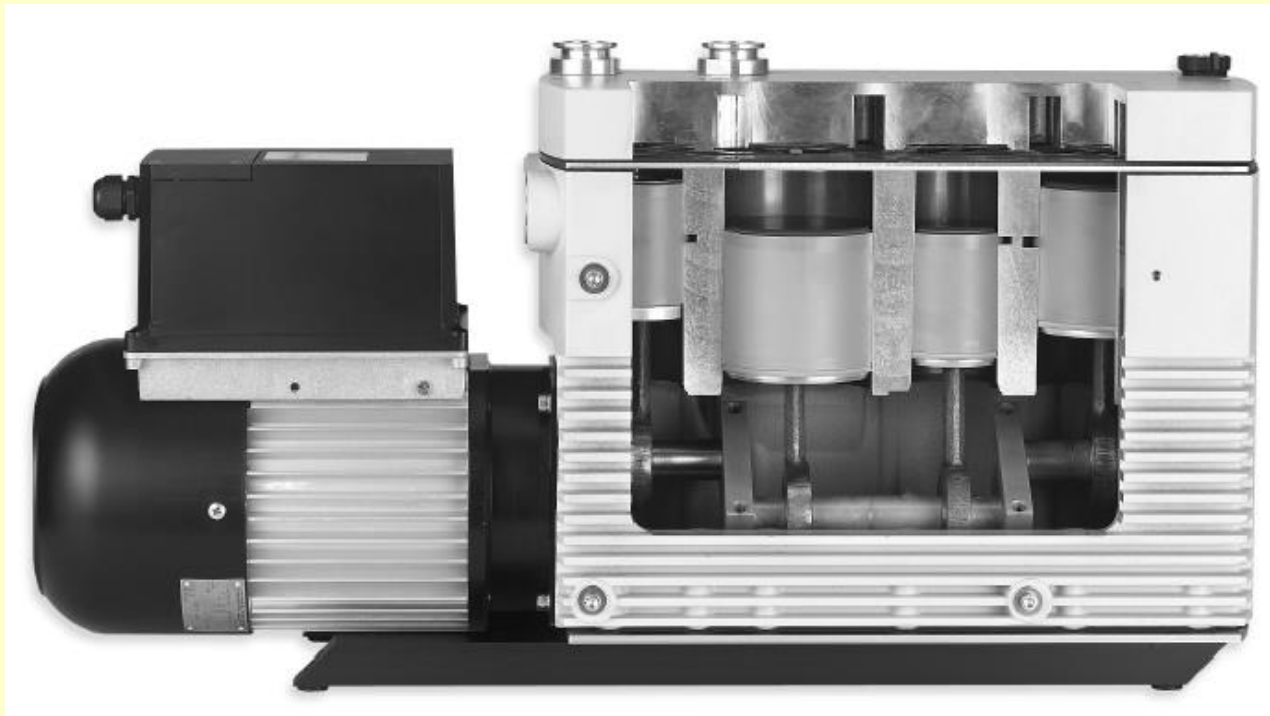


9.1.22. ábra XtraDry150-2 kétfokozatú száraz dugattyús szivattyú [Pf.V.].

Száraz dugattyús szivattyú

Speciális megoldások:

- a dugattyú mindkét oldalán munkakamra;
- fordulatszám szabályozás – az élettartam megnövelése;
- kerülőág az első fokozat után – a túlzott kompresszió ellen;
- a henger teljes keresztmetszetében nyíló ürítőszelep
a holtteret csökkenti, a kompressziót növeli.



9.1.23. ábra Egy ECODRY M30 négyfokozatú száraz dugattyús szivattyú kivágott képe [LV].

Száraz dugattyús szivattyú

- Előnyei:

- olajmentes, tiszta vákuum;
- elővákuum-szivattyú turbómolekuláris szivattyúhoz;
- nagyon kicsi porképzés;
- porrészecskékre nem érzékeny;
- szerviz szükséglete kicsi (tengely kenés két évenként);
- fordulatszám szabályozható – élettartam növelése.
- közvetlenül atmoszféra nyomásra dolgozik

- Alkalmazás:

- tiszta elővákuum (pl. turbómolekuláris szivattyúkhöz);
- lámpagyártás.

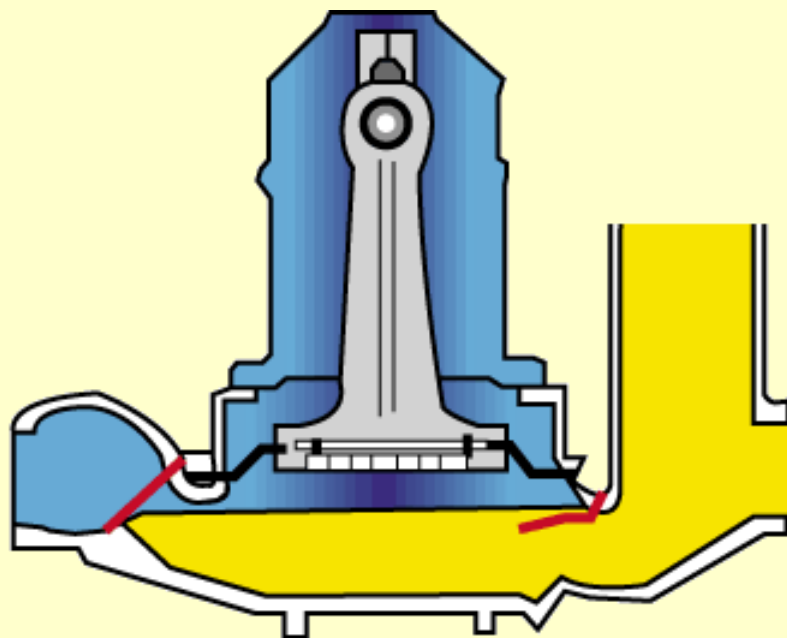
- Hátránya:

- zajos;
- reaktív gázokra érzékeny.

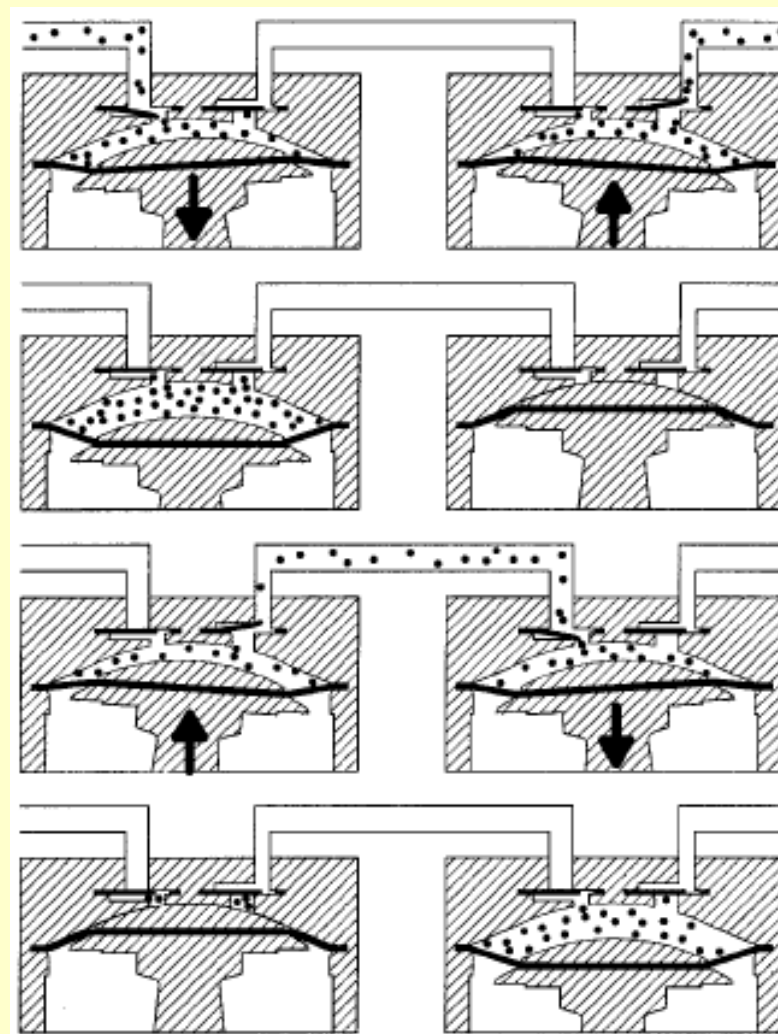
Működési nyomástartomány: 1013 – 0,01 mbar.

Szívósebesség: ~ 5 – 50 m³/h.

9.1.4.2. Diafragma (membrán-) szivattyú



9.1.24. ábra Membránszivattyú működési elve [KL1].

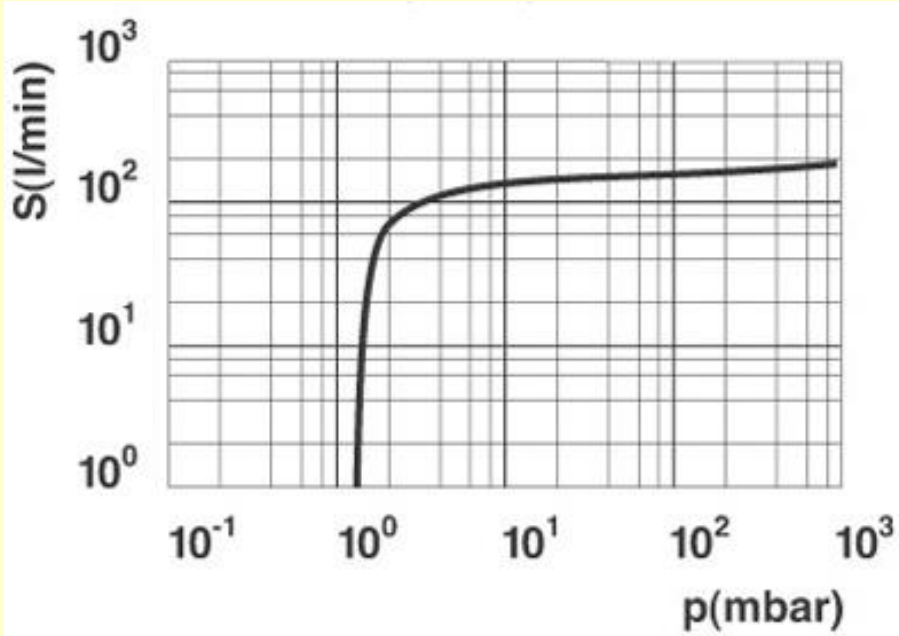


9.1.25. ábra. A membránszivattyú felépítése és egy kétfokozatú működése.

Diafragma szivattyú



Miniatűr membránszivattyú



9.1.25. ábra. Diafragma szivattyú és karakterisztikája: MVP 160-3 [Pf.V.]

Membránszivattyú

- Előnyei:

- nincs kenőanyag;
- a legegyszerűbb eszköz;
- kémiaailag ellenálló;
- viszonylag olcsó.
- közvetlenül atmoszféra nyomásra dolgozik

- Hátrányai:

- a membrán rövid élettartama;
- a membránszakadásnak nincs figyelmeztető előjele;
- nem elég jó végvákuum (~ 1 mbar);
- korlátozott szívósebesség.

- Alkalmazás:

- kombinált turbómolekuláris szivattyúk elővákuum-szivattyúja;
- kémiai laboratóriumban.

Szívósebesség: $0,5 - 10 \text{ m}^3/\text{h}$

Működési nyomástartomány: $2000 - 2 (0,5) \text{ mbar}$

9.2. HAJTÓKÖZEGES SZIVATTYÚK

A hajtóközeges vákuumszivattyúkban nagy sebességű folyadék-, gőz- vagy gázárammal történő ütközések kényszerítik az elszívandó gázmolekulákat az ürítő oldal felé.

Hajtóközeges szivattyúk fajtái:

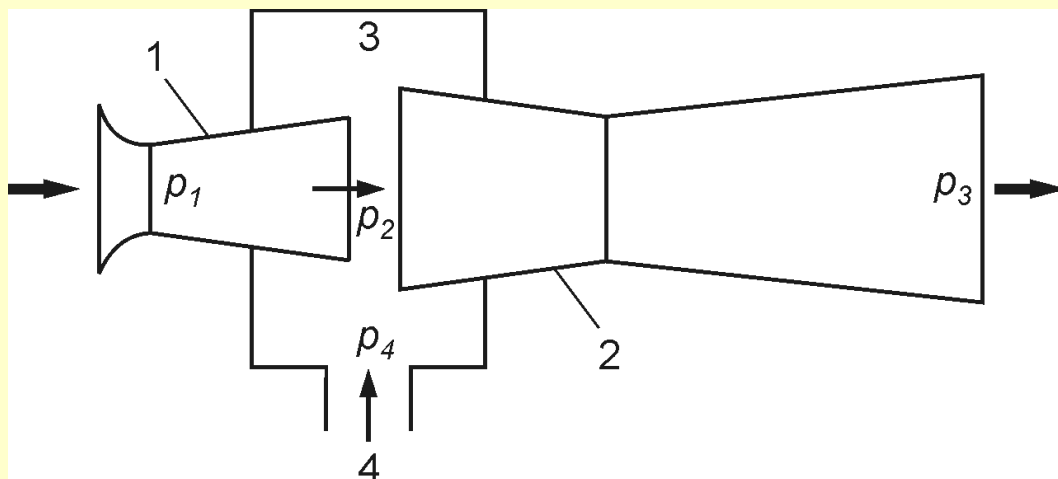
1. Folyadéksugaras (leginkább vízsugár-) szivattyú;
2. Gázsugár- (leginkább levegősugár-) szivattyú;
3. Gőzsugár-szivattyú
 - Fúvókás (ejektoros) szivattyú
 - olajgőz-sugár szivattyú,
 - vízgőz-sugár szivattyú,
 - Diffúziós szivattyú
 - Kombinált vagy hibrid (búszter) szivattyú;

A felsoroltak közül csak a vákuumfizikai alkalmazásokban leggyakrabban használt gőzsugár-szivattyúkkal foglalkozunk. A többi hajtóközeges szivattyú működési elve is hasonló.

Áramló folyadékokban a nyomáseloszlást a Bernoulli egyenlet írja le:

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{állandó} \quad \text{ahol } p: \text{ a folyadék nyomása, } \rho: \text{ a sűrűsége, } v: \text{ az áramlási sebessége.}$$

A fentiek alapján nagyobb sebességű helyen a nyomás kisebb és viszont.



9.2.1. ábra. Hajtóközeget szivattyú elvi vázlata.

**1: Laval-fúvóka, 2: Venturi-fúvóka (diffúzor),
3: keveredési tartomány,
4: gázáram a leszívandó térből.**

A Bernoulli-egyenlet áramló gázokra is alkalmazható mindaddig, amíg a gáz összenyomhatósága elhanyagolható.

A p_1 nyomású áramló gőz az (1) Laval-fúvókába kerül, amelynek keresztmetszete az áramlás irányában először szűkül, majd tágul. Itt a gőz sebessége megnő, nyomása p_2 -re csökken. A gőzmolekulák az áramlás irányában rendezetten, közel hangsebességgel mozognak. A (3) térben megtörténik a p_4 nyomású, elszívandó gázzal a keveredés. A gőzáram, benne az elszívott gázmolekulákkal a (2) diffúzorba kerül, ahol sebessége lecsökken és nyomása megnő, akár atmoszféra nyomásig.

9.2.1. Folyadéksugár szivattyú (liquid jet pump)

Itt csak megemlítjük, hogy egy átlagos laboratóriumi víz-légszivattyúval 0,1 – 0,2 ℓ/s szívósebességet és 15 °C vízzel 20 mbar nyomást lehet elérni.

9.2.2. Gőzsugár-szivattyúk

A 9.2.1. ábrán a (3) keveredési tartományban uralkodó nyomásviszonyok alapján a gőzsugárral működő szivattyúknak két nagy csoportját különböztetjük meg:

- **fúvókás (ejektoros) szivattyúk:** $p_4 \sim p_2$ a keveredési tartományban a **hajtóközeg nyomása és a szívott közeg nyomása közel azonos**, az áramló gőz és a szívott gáz sűrűsége nagy ($\bar{l} < t/2$, lásd 9.2.2. ábrát) a keveredés a hajtóközeg turbulens határfelületén történik;

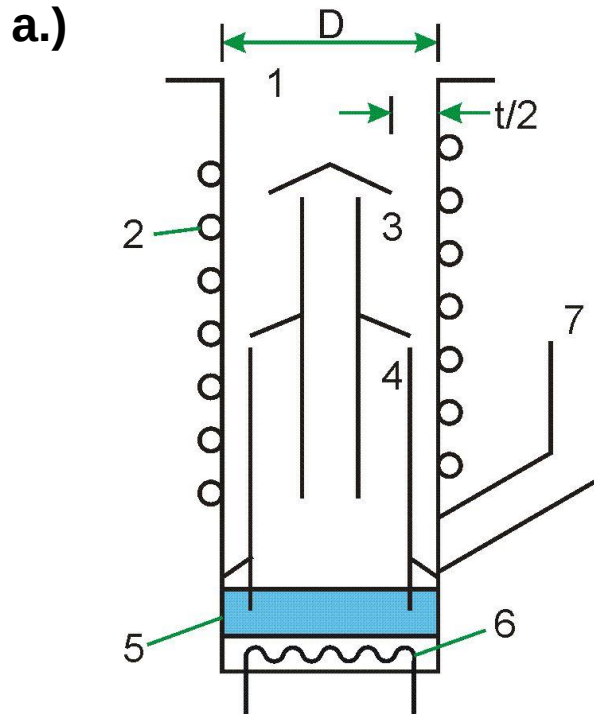
- **diffúziós szivattyúk:** $p_4 \ll p_2$ (a hajtóközeg nyomása sokkal nagyobb a **szívott közeg nyomásánál**). Ez is fúvóka-típusú, de a keveredés és gázbefogás folyamata különböző, az elszívandó gáz gőzáramba történő diffúziója dominál. (A szívott gáz közepes szabad úthossza $\bar{l} > t/2$, lásd 9.2.2. ábrát.)

A gőzáramokat speciális olajok ~ 200 °C-ra való hevítésével állítják elő.

Diffúziós szivattyú

$$\bar{l} > t/2$$

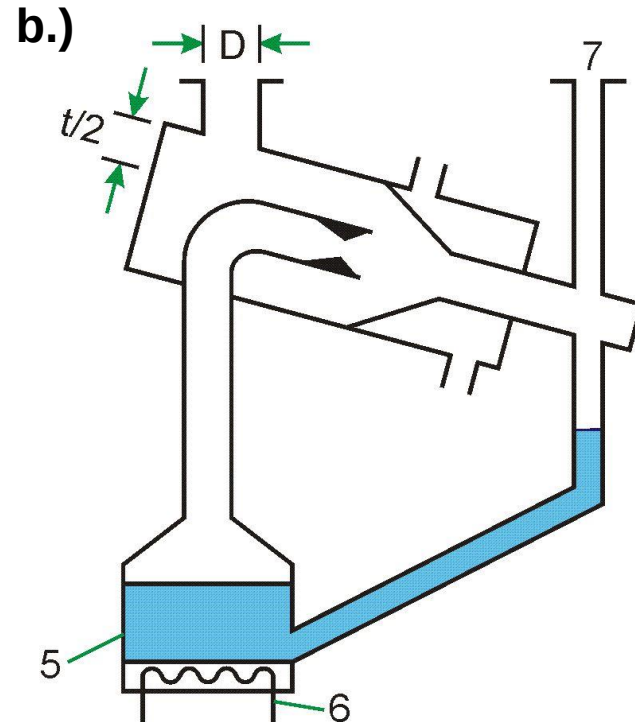
A gázok diffúzióval jutnak be a gőznyaládba, a gáz és gőzmolekulák ütközése ad irányt a gáz mozgásának



Fúvókás (ejektoros) szivattyú

$$\bar{l} < t/2$$

Turbulens keveredés után viszkózus gőzáram viszi el a gázmolekulákat



9.2.2. ábra. Gőzsugár-szivattyúk: a.) diffúziós, b.) fúvókás (ejektoros) szivattyú. 1: szívótorok, 2: vízűtés, 3: első fokozat, 4: második fokozat, 5: szivattyúolaj, 6: fűtőtest, 7: elővákuum.

9.2.2.1. Fúvókás (ejektoros) szivattyúk

A Laval-fúvókát elhagyó gőzáram keveredik az elszívandó gázzal, majd a vízzel hűtött diffuzorban kondenzálódik és visszacsorog az olajtartályba, a gázmolekulák az elővákuum szivattyú felé távoznak.



Több tízezer liter/s szívósebességgel is készülnek. Gyakran több ejektor-fokozatot sorba kapcsolnak. Több fokozat esetén végvákuumuk közel 10^{-4} mbar is lehet.

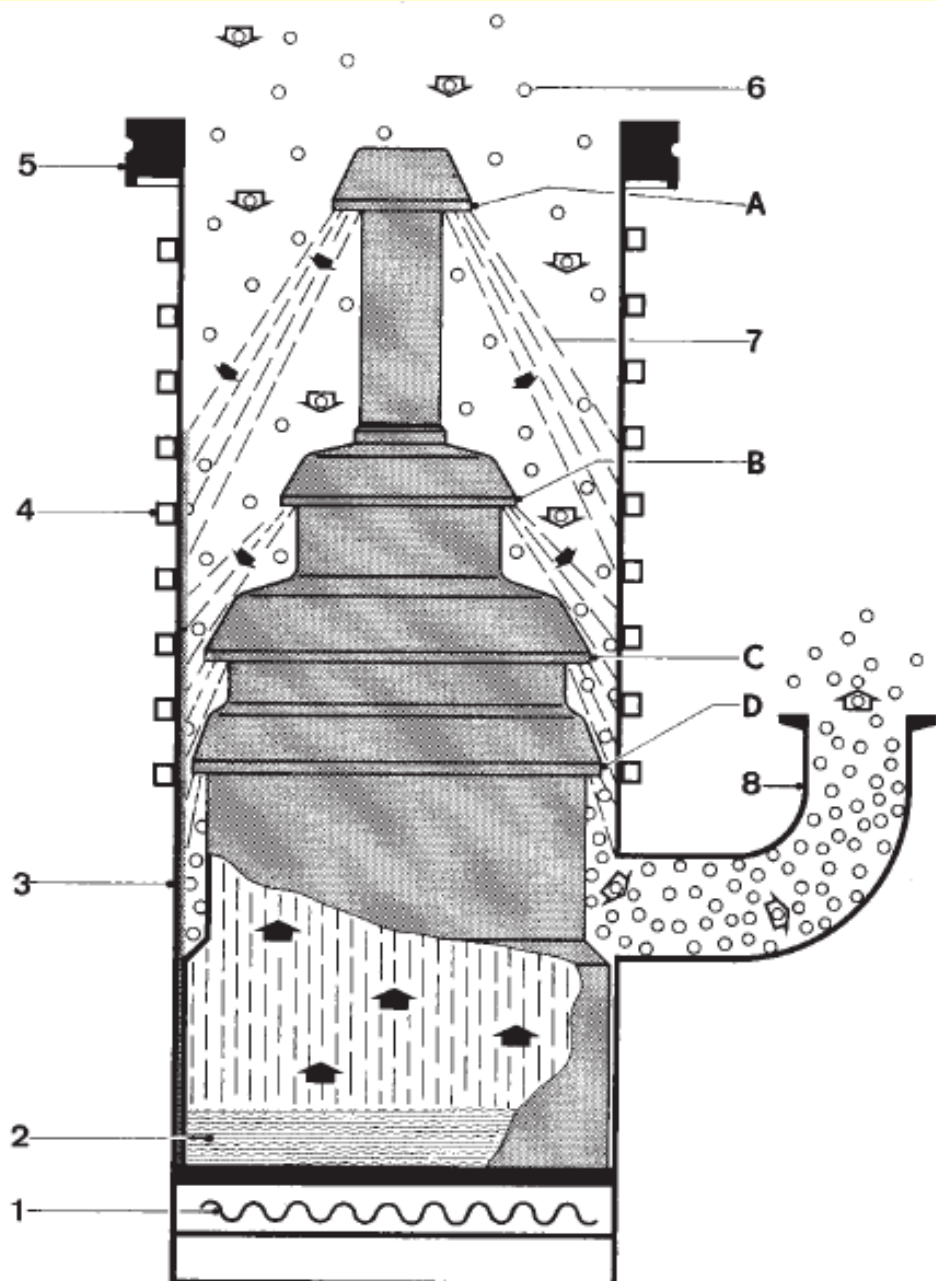
9.2.3. ábra. Egy acélüzem 3 ejektoros fúvókás szivattyúja. Végvákuuma: $\leq 5 \cdot 10^{-2}$ mbar [G1].

9.2.2.2. Diffúziós szivattyú

A diffúziós szivattyú esetében a gőznyomás és a gőzsűrűség is sokkal kisebb a keveredési térben, mint az ejektoros szivattyúknál. A hajtóközeg a hengeres szivattyúház fenekén, fűtőtest felett helyezkedik el, a keletkező gőz a középén található csövön keresztül jut a gyűrűs fúvókákhoz. A fúvókák közel hangsebességgel kiáramlik és kúp alakú gőzfüggőnyt hoz létre. Ebbe a gőzfüggőnybe diffundálnak be a leszívandó tér gázmolekulái. A gőzfüggőnyben történő ütközések a gázmolekulákat lefelé irányuló mozgásra kényszerítik. A kiáramló gőzsugár a vízzel hűtött hengeres falon kondenzálódik és visszafolyik a szivattyúház fenekére, ahol a gőzsugár által elszívott gázokat az elővákuum-szivattyú eltávolítja (9.2.4. ábra).

Csak a molekuláris áramlások tartományában (tehát $\sim 10^{-3}$ mbar alatt) működik!

Diffúziós szivattyú



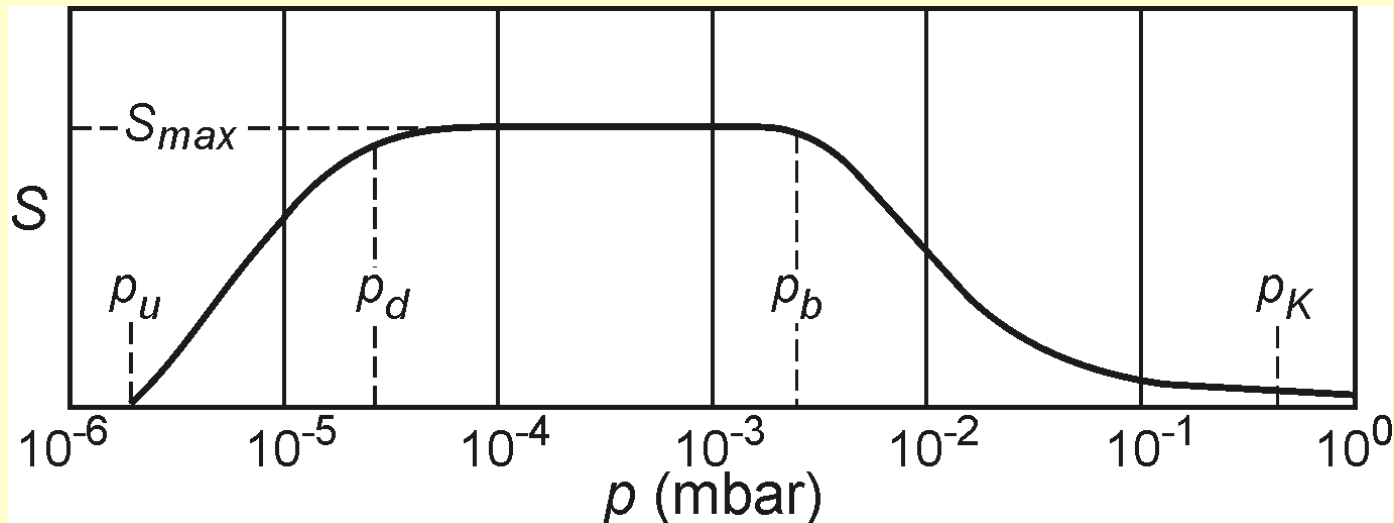
9.2.4. ábra A diffúziós szivattyú működési elve és felépítése.

1: fűtőtest, 2: olaj, 3: szivattyútest, 4: hűtőkör, 5: szívóoldali perem, 6: gázmolekulák, 7: olajgőz-sugár, 8: elővákuumcsatlakozás, [OL1]

A, B, C, D: a szivattyú fúvókái.

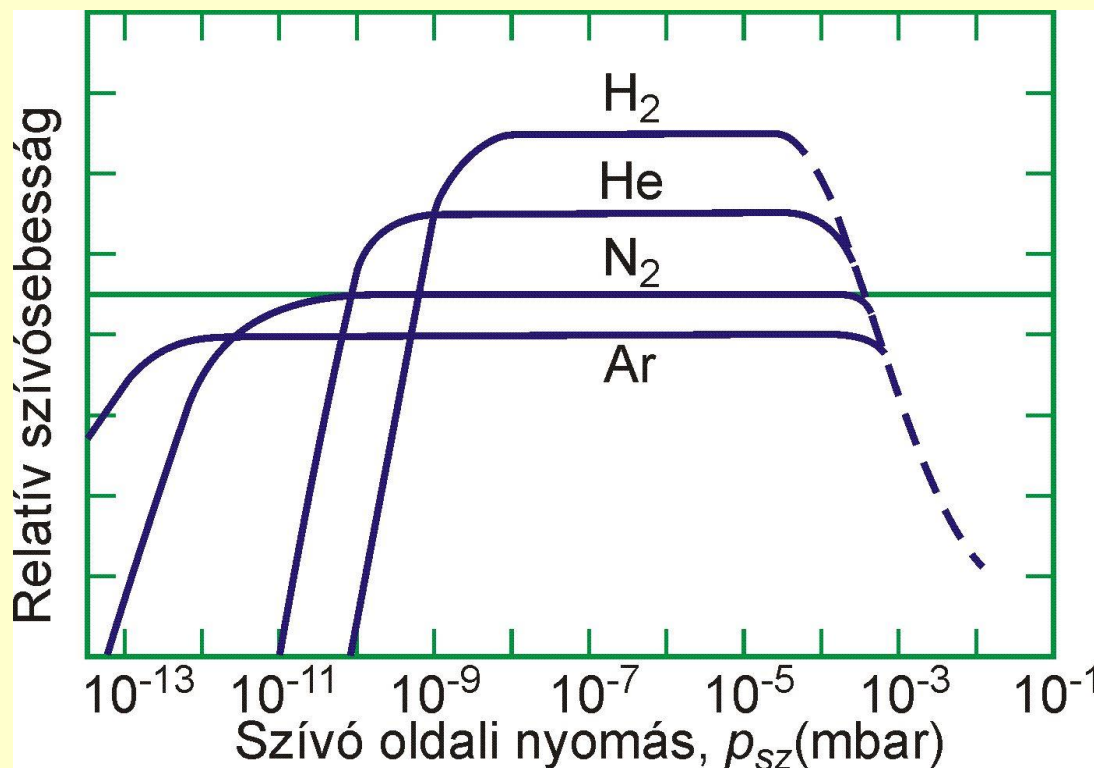
Diffúziós szivattyú

A szivattyúk általában 3-4 szívófokozatot tartalmaznak. Működés közben a lejjebb elhelyezkedő fokozat szívja a felette levők által eltávolított gázokat. A szívóoldali fokozat környezetében a nyomás akár 10^{-9} mbar- nál kisebb is lehet, míg a legalsó rendszerint 10^{-2} mbar nagyságrendű nyomáson üzemel. **Ennek megfelelően a fokozatok gőzfüggönyének hossza a szívónyílástól lefelé egyre csökken, de a gőz sűrűsége nő.** A fokozatok gőzfüggönyei $\sim 10^{-1}$ mbar nyomásnál (p_K) rosszabb vákuumon nem tudnak kialakulni, illetve szétesnek.



9.2.6. ábra. Diffúziós szivattyú szívósebesség karakterisztikája. p_K : elővákuum-tűrés, p_b : letörési (breakdown) nyomás, S_m : maximális szívósebesség, amely egy széles tartományban állandó, p_d : a hanyatlási szakasz kezdete, p_u : a szivattyú végvákuuma (erősen függ a hajtóközegetől) [L1].

A diffúziós szivattyú szívósebessége – működési elvéből fakadóan – kis tömegű gázokra nagyobb, mint a nagy tömegűekre. A kompresszió – elővákuum-oldali és nagyvákuum-oldali nyomás aránya – viszont nehezebb gázok esetén nagyobb. Ez utóbbi azt jelenti, hogy azonos elővákuum értéket feltételezve, könnyű gázokra kisebb végvákuum érhető el.



9.2.7. ábra. Relatív szívósebesség a szívó oldali nyomás függvényében különböző gázokra [Hab1].

Mért kompresszió értékek különböző gázokra:

H_2 : 10^6 , He : 10^6 , Ne : 10^8 , CO , Ar : 10^7

A diffúziós szivattyú tulajdonságait alapvetően befolyásolja az alkalmazott olaja.

Az olaj típusa: helyes megválasztással kell igazodni a felhasználás körülményeihez. Pl.: végvákuum vagy nagy gázszállítás igénye, levegővel szembeni rezisztencia, hőstabilitás, gyúlékonyság, polimerizációs termékek ne képezzenek szigetelő filmet stb.

- **Apiezon szerves olajok:** átlagos körülményekre. Végvákuum: $\sim 10^{-6}$ mbar
- **Szilikon alapú olajok** (DC 702, 704, 705): rezisztensek, de ionoptikai rendszerekben nem használhatók, mert szigetelő réteget képeznek.

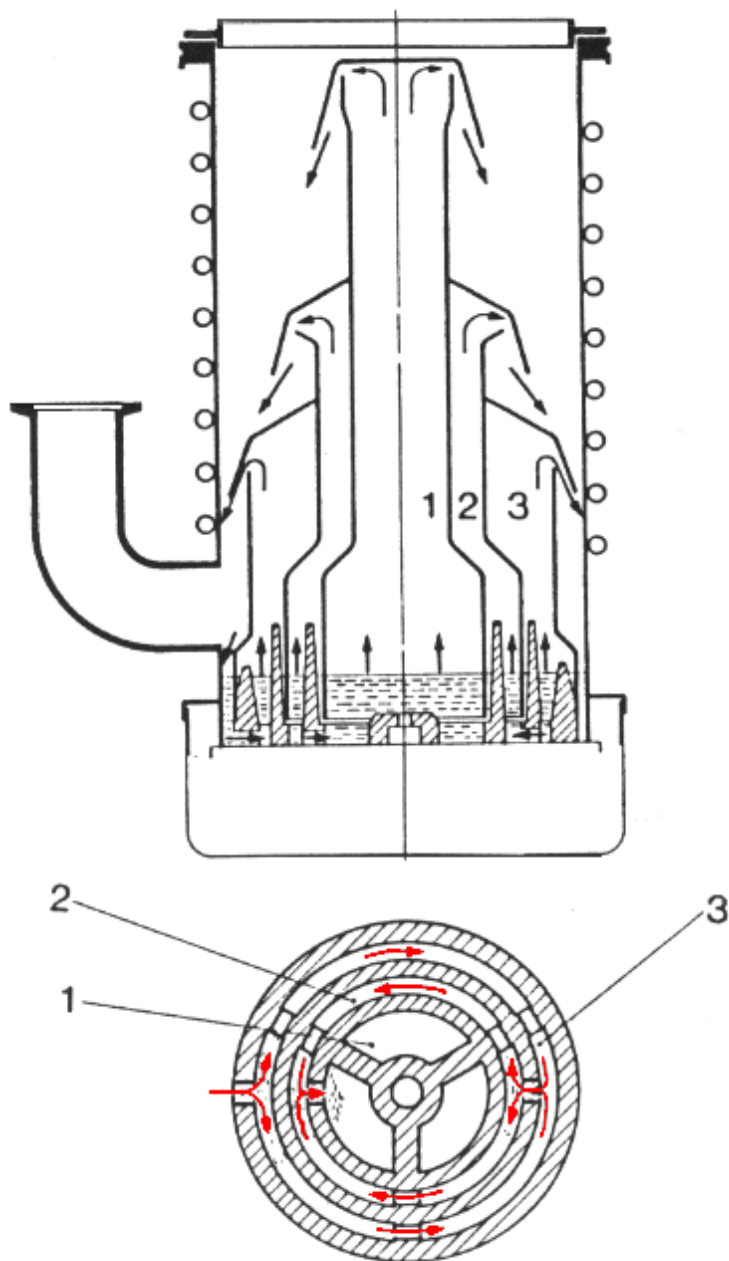
Végvákuum: DC 702 esetén $\sim 5 \times 10^{-6}$ mbar, DC 705 esetén $\sim 10^{-9}$ mbar

- **Fomblin** (fluorozott termék): kémiaailag ellenálló, nem gyúlékony.

Végvákuum: $\sim 10^{-6} - 10^{-7}$ mbar

- **Santovac 5 (Convalex 10)** (polifenil-éter): nagyon stabil, alacsony gőznyomású, ionoptikai rendszerekben is jó. Végvákuum: $\sim 5 \times 10^{-10}$ mbar.

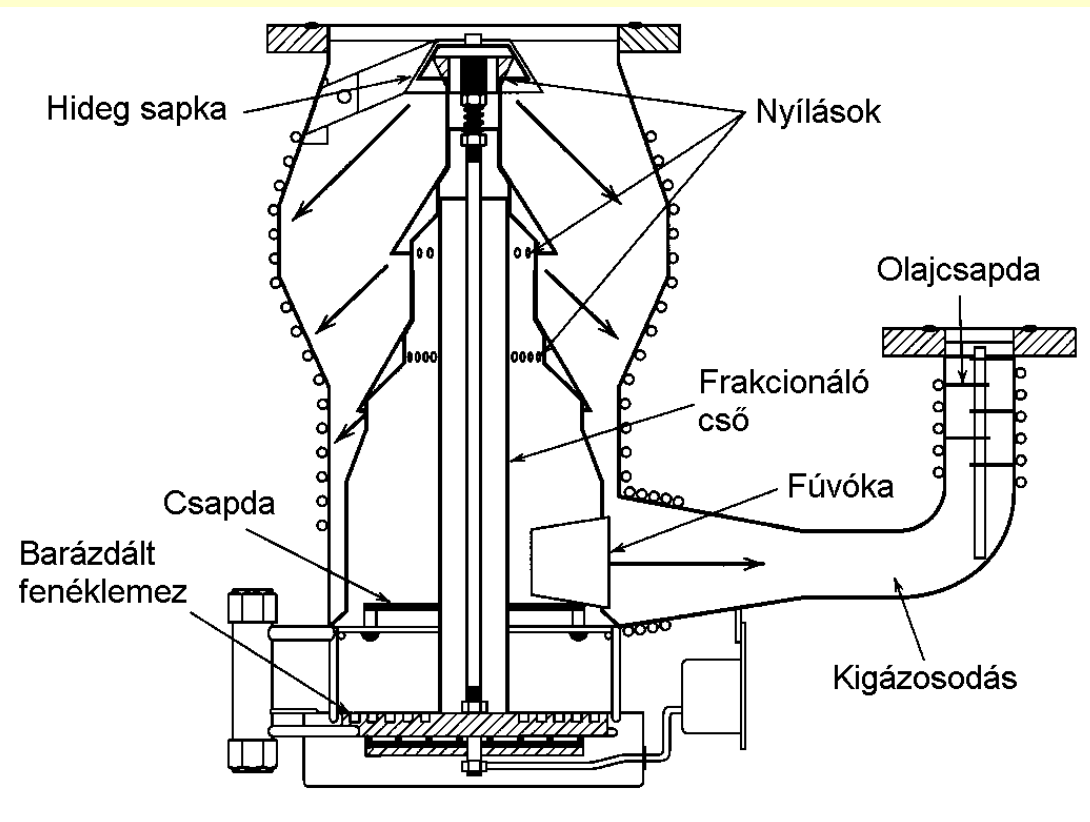
Felmelegítés, lehűtés: a felmelegedés és lehűtés egy számottevő szakaszában intenzív a gőztermelés, de még/már nincs kialakult gőznyaláb – a vákuumrendszer gőzszennyezése a legnagyobb. A lehűtés ideje **gyorshűtéssel** rövidíthető.



9.2.8. ábra. A frakcionáló diffúziós szivattyú elve: a szivattyú köpenyén visszacsorgó olaj a barázdált szivattyúfenék labirintusában lassan éri el a fenék közepét. Ezalatt kigázosodik, és a felső fúvókát tápláló középső részt csak olyan olaj éri el, amely már megszabadult az elnyelt gázoktól és az illékony bomlástermékektől.

1, 2, 3: a felső, középső és alsó szivattyúfokozat, ill. a szivattyúfenék nekik megfelelő térrésze.[OL1.]

A diffúziós szivattyú szívósebességét és végvákuumát az első szívó fokozat határozza meg. A nagyobb szívósebesség elérése érdekében a hengeres szivattyúházat az ábrán látható módon öblösítik, ami az első két szívófokozat gőzfüggönyének felületét jelentősen növeli. Az elővákuum-tűrést javítja, ha a szivattyúban az elővákuum-oldalon fúvókás (ejektoros) fokozatot alkalmaznak.



9.2.9. ábra. A diffúziós szivattyú továbbfejlesztett öblös változata (Varian). További fontos kellékek: csapda az olajcseppeknek, olajgőz-csapda, barázdált fenéklemez, hideg sapka.

A szivattyúba betáplált hőtéljesítmény erősen befolyásolja a működési paramétereket. Javíthatja az elővákuum-tűrést, optimalizálni lehet a szívósebességet és kompressziót különböző gázokra.

A szívósebességet meghatározza:

- a szivattyú szívótorkának keresztmetszete (levegőre, 20 °C-on a max. lehetséges szívósebesség $11,6 \text{ l s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$)*;
- az olajgőz-sugár felületével nő a gázelnyelés – **öblös szivattyú!**
 - egy nyomáshatár (p_b) felett nem nő az elnyelt gáz mennyisége (telítés), állandó Q , csökkenő S (9.2.6. ábra);
- a szívott gázok fajtája
 - a felületi ütközési gyakoriság $\sim (T/m)^{1/2}$ alapján H_2 -re, He-ra nagyobb – jól tervezett szivattyúnál teljesül;
 - a fűtőteljesítmény (forralás) optimuma gázonként különböző
 - a vákuumrendszer szokásos gázaira (H_2O , N_2 , O_2 , CO , CO_2 , Ar) megközelítőleg azonos a szívósebesség;
- alkalmazott olaj minősége
 - molekulatömeg,
 - hőstabilitás,
 - bomlástermékek – **frakcionáló szivattyú,**
 - olajgőz-visszaáramlás.

*Ho-faktor = $S/S_{\max}$ 0.5 körül van (nagyobb átmérőnél kedvezőbb);

Olaj-visszaáramlás a leszívott térbe

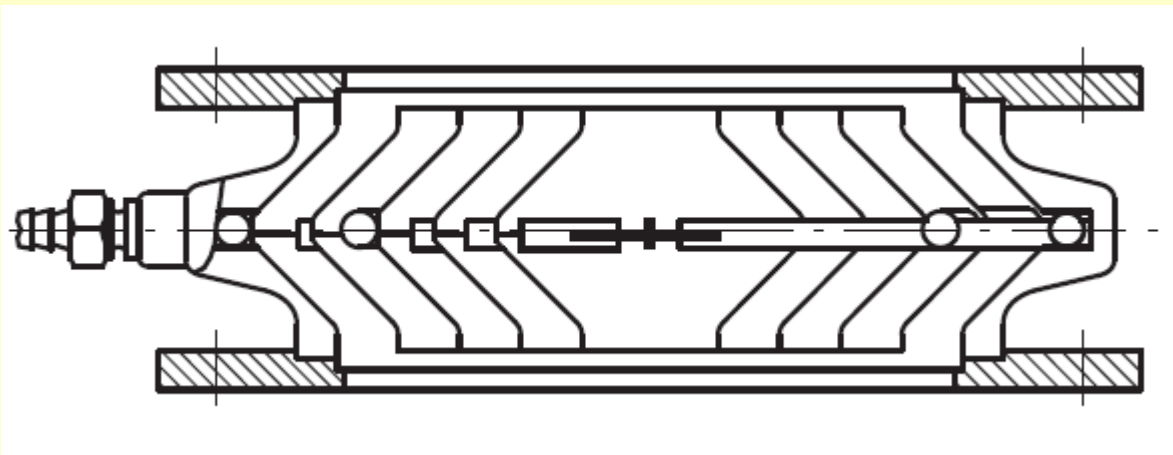
Káros hatás, amelynek forrásai:

- olajmolekulák újra párolgása a szivattyúház faláról nem kielégítő hűtés esetén,
- olajmolekulák újra párolgása a legfelső fokozat fúvókájáról,
- olajmolekulák kúszása a szivattyúházból a nagyvákuumtér felé,
- olajmolekulák diffúziója a legfelső fokozat gőzfüggönyéből a nagyvákuumtérbe.

Az olaj-visszaáramlás jelentősen csökkenthető hűtött sapka alkalmazásával a legfelső fokozat felett, valamint vízzel, cseppfolyós nitrogénnel hűtött csapdáknak a szivattyú és nagyvákuumtér közé helyezésével.

A csapdák, kifagyasztók (a méretük és elrendezésük miatt) általában felére csökkentik a szivattyú eredeti szívósebességét.

Korszerű szivattyúk esetén az olaj-visszaáramlás kisebb lehet, mint
 $10^{-7} \text{ mg/cm}^2\text{perc}^{-1}$



9.2.10. ábra. Vízzel hűtött, optikailag átlátszatlan olajcsapda.

Diffúziós szivattyú

működési nyomástartománya: $< 10^{-10} - 10^{-3} (10^{-1})$ mbar,

$< 10^{-10}$ mbar kifagyasztóval, kikályházott vákuumrendszerrel,

$< 10^{-1}$ mbar nagyon rövid idejű, $< 10^{-3}$ mbar tartós használatra vonatkozik;

- a 10^{-1} mbar felső nyomáshatár itt az elővákuum-tűrést jelzi, amely körülbelüli érték, típusonként változhat;

- csak nagyon rövid ideig használható ennek a nyomásnak a közelében.

- Tartósan nem szabad 10^{-3} mbar-nál nagyobb nyomáson használni!
Egyes típusok ezeket az értékeket sem érik el.

végvákuuma: erősen függ az alkalmazott olajtól

kifűtés, kifagyasztás nélkül $\sim 10^{-8}$ mbar,

$5 \cdot 10^{-9}$ mbar alatt a vákuumedény kikályházása szükséges,

kifűtéssel, cseppfolyós nitrogénes kifagyasztóval: $< 10^{-10}$ mbar;

szívósebessége: 50 – 50 000 ℓ/s .

Szempontok a diffúziós szivattyú működtetéséhez:

Elővákuum: legfontosabb szabály, hogy mindig a megengedett elővákuum-oldali nyomás alatt legyen a szivattyú kipufogó oldala, a maximum közelében is csak rövid ideig lehet. Ajánlott: $p \leq 5 \cdot 10^{-2}$ mbar.

Az elővákuum elégtelen volta olajszennyezést okoz a recipiensben!

Ajánlatos vákuummérővel vezérelt kényszerkapcsolat kiépítése!

Szívott oldali nyomás: csak rövid ideig engedjük a gázt a szivattyúra a megengedett maximális nyomáson (rendszerint az edény leszívásának kezdetén), de akkor is szigorúan betartandó az elővákuum megengedett határon belül tartása – azaz közben figyeljük az elővákuum-mérőt!

A szivattyú működik, ha nyomása 10^{-4} mbar alá csökken. Gyakorlati tapasztalat: ezt a kipufogó csonek felforrósodása is jelzi.

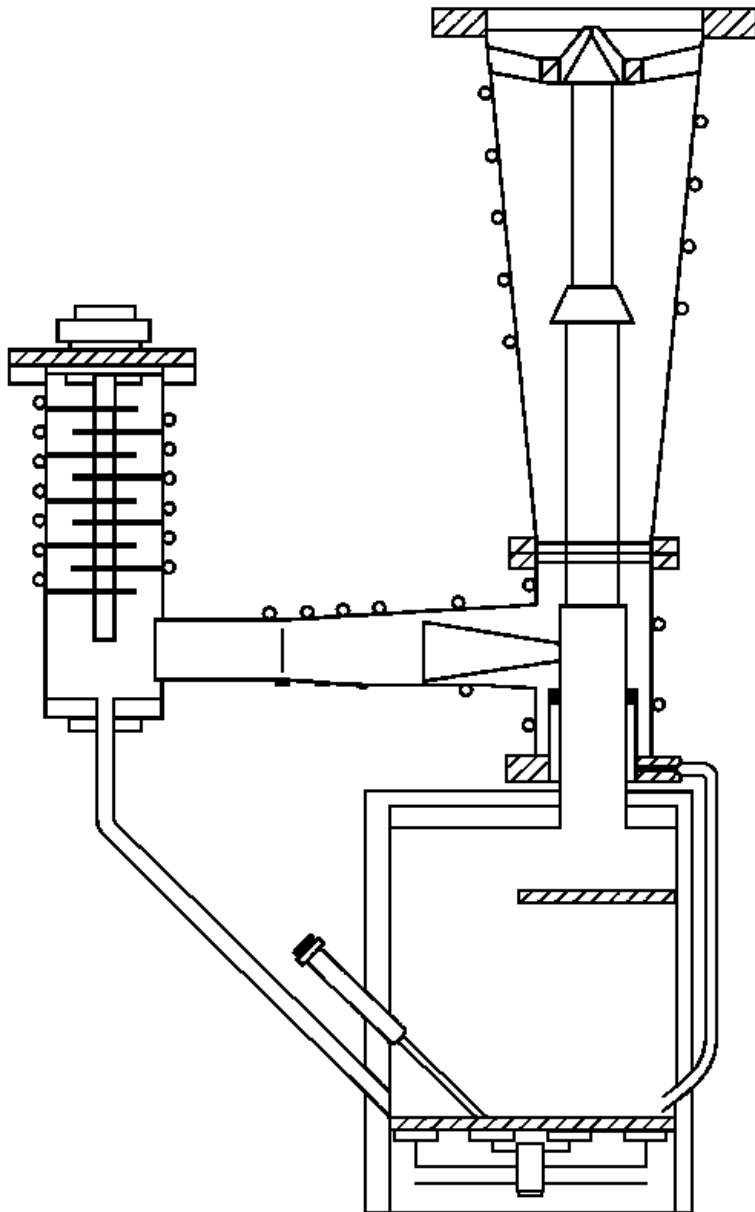
Hőmérséklet: nem szabad engedni a túlmelegedést:

a víz(lég)hűtés biztonságáról gondoskodni kell,

a szivattyú fűtését hőfokszabályzóval korlátozni kell.

Levegőbetörés elleni védelem: levegő betörésekor károsodik az olaj, elszennyeződik olajjal az egész rendszer, de robbanásveszély is fennáll.

9.2.2.3. Búszter (kombinált diffúziós-fúvókás) szivattyú



A nagyvákuum és durvavákuum tartomány átmenetében szolgáztatnak nagy szívósebességet.

Porszennyezésekre nem érzékenyek (ülepítés).

Nyomástartomány: 10^{-4} – ~ 2 mbar

Szívósebesség: $\sim 100 - 20\,000$ ℓ/s .

9.2.11. ábra. Két diffúziós és egy fúvókás fokozattal összeállított búszter szivattyú felépítése [EV1].

Jellemző adatok: szívótorok átmérője 39 cm; szívósebessége: 4000 l/s, szívott oldali nyomás: 0,01 mbar, elővákuum: 2 mbar; az olaj: Apiezon A201, gőznyomása a forralótérben: 40 mbar, fűtőteljesítmény: 6 kW.

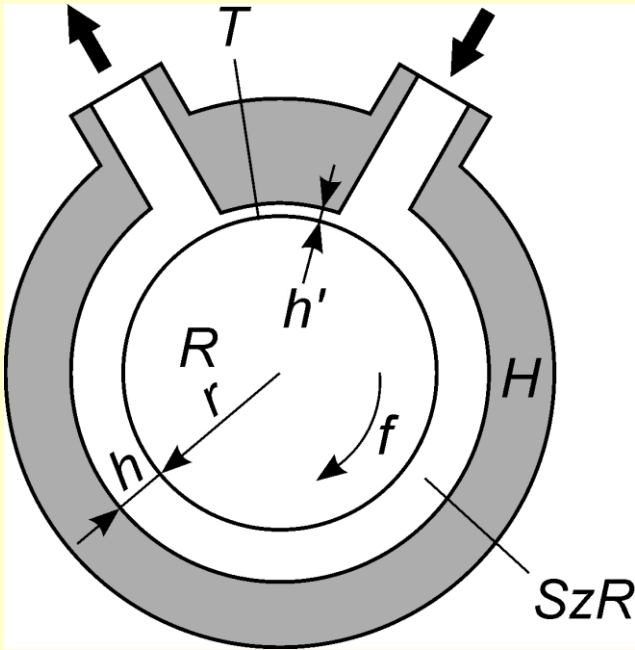
9.3. MOLEKULÁRIS SZIVATTYÚK

A gázcsepscék nagy (a termikus sebességgel összemérhető) kerületi sebességgel forgó felületbe ütköznek. Az ütközések következtében a molekulák rendezetlen termikus mozgása helyébe rendezett áramlás lép. Amennyiben a bemeneti és kimeneti nyílás közötti rés nagy ellenállást képvisel ($h' \sim 0.01 \text{ mm}$), a rendezetten áramló molekulák a kimeneten távoznak. A folyamat csak a molekuláris áramlások tartományában hatékony – elővákuum-szivattyú szükséges.

9.3.1. Molekuláris szivattyú

Egy 24 000/perc fordulátú henger kerületi sebessége $v = 220 \text{ m/s}$. Ez 20 °C-on összemérhető a gázok termikus átlagsebességével (c). $v/c \sim m^{1/2}$

Gáz	$c \text{ (m/s)}$	v/c
H ₂	1754	0,125
N ₂	470	0,47
Ar	394	0,56
Hg	175	1,26
Apiezon-olaj	135	1,63



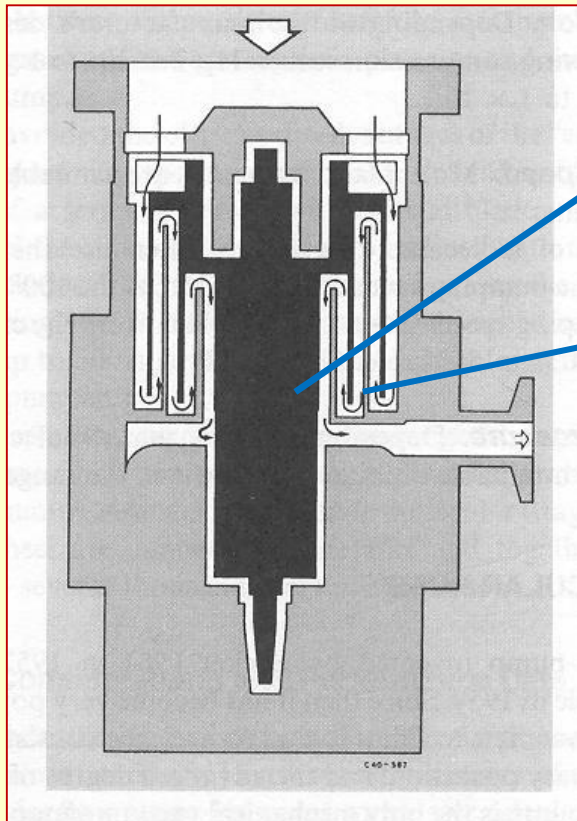
9.3.1. ábra. Gaede (1913) molekuláris szivattyúja. R : forgó henger, H : hengeres szivattyúház, h : az SzR szívótér vastagsága, h' : a T tömítő térrész vastagsága.

Forgó henger mellett forgó tárcsás megoldások is léteznek. A szívósebesség növelése érdekében az állórészben változó keresztmetszetű csigavonalú vájat került kialakításra.

A molekuláris szivattyú jellemzői:

- kis szívósebesség, végvákuum: $\sim 10^{-5}$ mbar
- technikai nehézséget okozott
 - a rotor fordulatszámának növelése,
 - a rés, $h' \approx 0,01$ mm szinten tartása (szennyezések).

Korszerű technikával megvalósított molekuláris szivattyú (molecular drag pump)
9.3.2. ábra. Korszerű molekuláris szivattyú (drag pump) elvi rajza[P2].



Forgórész

Állórész

Speciális kialakítású forgórésze (különböző átmérőjű henger palástok) megsokszorozza a molekuláris szivattyú forgórészének felületét és sorba kapcsolt fokozatokat jelent. Szívósebessége, kompressziója és elővákuum-tűrése nagyobb, mint a korai típusoké.

Szívósebesség: 10 - 300 ℓ/s

kompresszióviszony: 10^3 (H_2), 10^9 (N_2)

Elővákuum-igénye: < 20 mbar

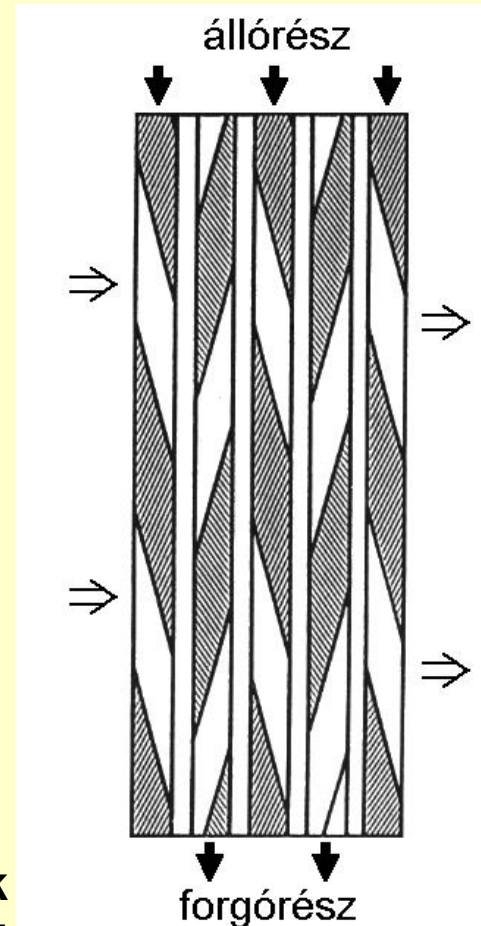
Végvákuum: 10^{-7} mbar.

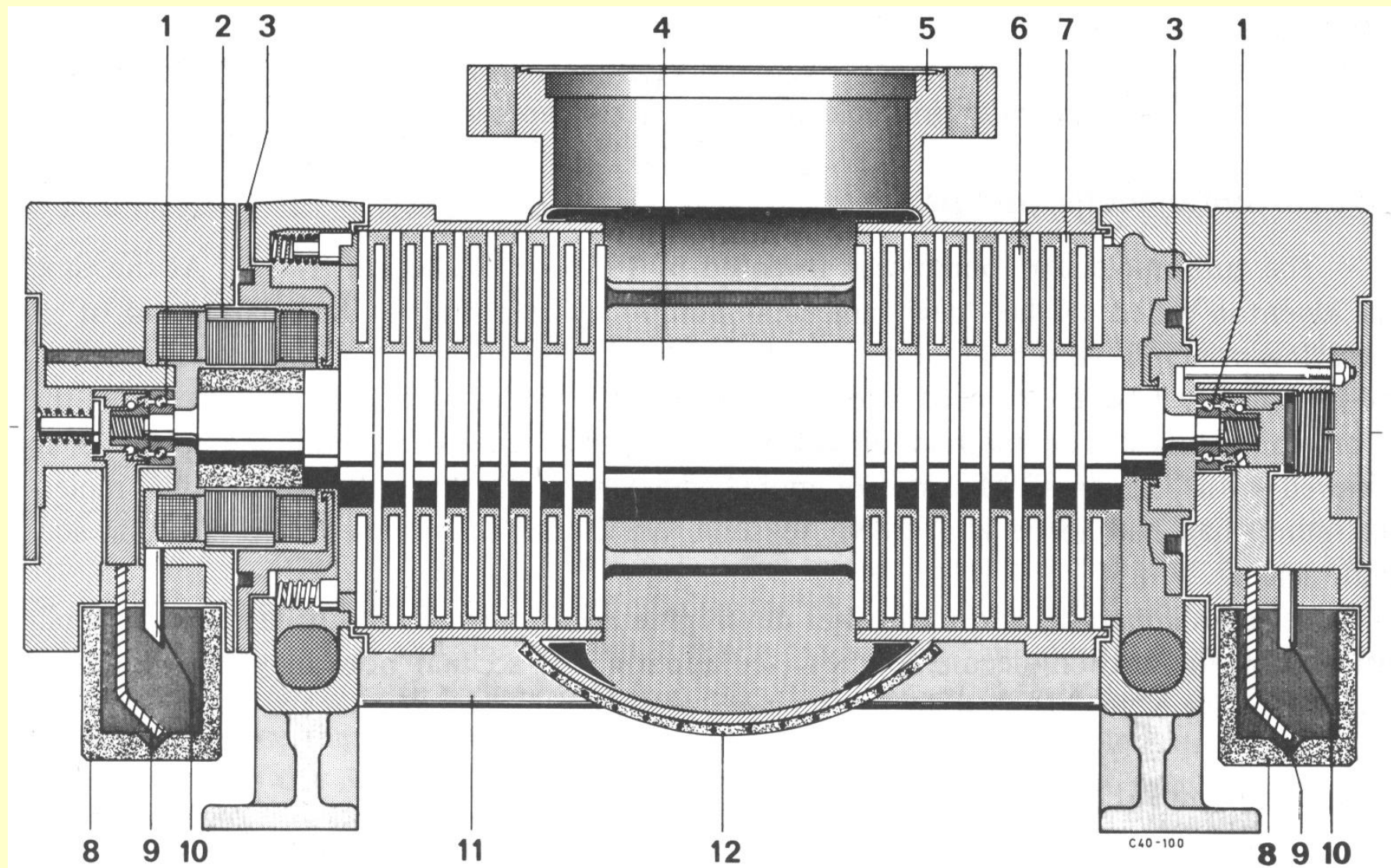
9.3.2. Turbómolekuláris szivattyú

A molekuláris szivattyúk fejlődésének új irányt szabott Becker (1958) a turbómolekuláris elv (turbina lapátokhoz hasonló álló- és forgórész) bevezetésével:

- a forgó- és állórészek (Al ötvözet) távolságát ~1 mm-re növelte – nagyobb biztonság,
- a lapátok kerületi sebessége közel van a hangsebességhez,
- a lapátokkal megnövelte a **kompresziót**: $k = p_{ev} / p_{sz}$
 p_{ev} az elővákuum vagy kipufogó oldali nyomás,
 p_{sz} a szívott oldali nyomás
(k elméletileg 10^{20} is lehet, de a gyakorlatban levegőre tipikusan $10^8 - 10^{12}$),
- a szívósebesség-kompreszió optimalizálásában a lapátok által bezárt szög meghatározó,
- nagyobb szívósebesség (~6000 ℓ/s -ig).

9.3.3. ábra. A Becker-féle szivattyúban az álló lapátok között forgólapátok terelik a gázokat.[P2]





9.3.4. ábra. Egy kétrészes turbómolekuláris szivattyú rajza. 1: csapág; 2: motor; 3: labirintus kamra; 4: rotor; 5: nagyvákuum-csatlakozás; 6: forgórész lapátjai; 7: állórész lemezei, 8. olajtartály; csapág olajtáplálása; 10: olaj-visszafolyás; 11: elővákuum-csatorna; 12: kifűtés [P2].

- A rotor fordulatszáma – átmérőtől függően - (15 – 90 ezer/perc).
- A turbómolekuláris szivattyú csak a **molekuláris áramlások tartományában működik**. Elővákuum-szívásra van szüksége. Elővákuum-igénye: $\leq 0,1 - 0,5$ mbar.
- Kompressziója a kis molekulásúlyú gázokra lényegesen kisebb, mert azoknak a termikus átlagsebességük nagyobb.
- A hagyományos csapággal felfüggesztett rotorok csapágát olajjal vagy zsírral kell kenni – olaj-visszaáramlás veszélye, ha leáll a forgás.
- A kerámia csapágak korrózióknak ellenállóbbak.
- Mágneses csapágak: súrlódás- és olajmentes; nagyvákuum- ill. elővákuum-oldalon is lehetséges;
biztonsági golyóscsapág tartja álló helyzetben.
- A szivattyú felszerelési iránya függ a kenés és csapágazás módjától.
- Hűtést igényel (lég-, illetve vízűtés).
- Vibráció figyelhető meg, amely mágneses csapágazással elhanyagolható szintre csökken.

A turbómolekuláris szivattyú teljesítményét és minőségét meghatározó legfontosabb paraméterek: szívósebesség, kompresszió, végvákuum, elővákuum-igény, vibráció.

Szívósebesség: arányos a szívónyílás keresztmetszetével (A) és a lapátok kerületi sebességével (v):

$$S \approx \frac{1}{4} Av \quad (9.3.1.)$$

Az effektív szívósebesség $m_a > 20$ tömegszámú gázokra:

$$\frac{1}{S_{eff}} = \frac{4}{d_f} \left[\frac{1}{v} + \frac{1}{u} \left(1 + \frac{1}{2} \right) \right] \quad , \text{ ahol}$$

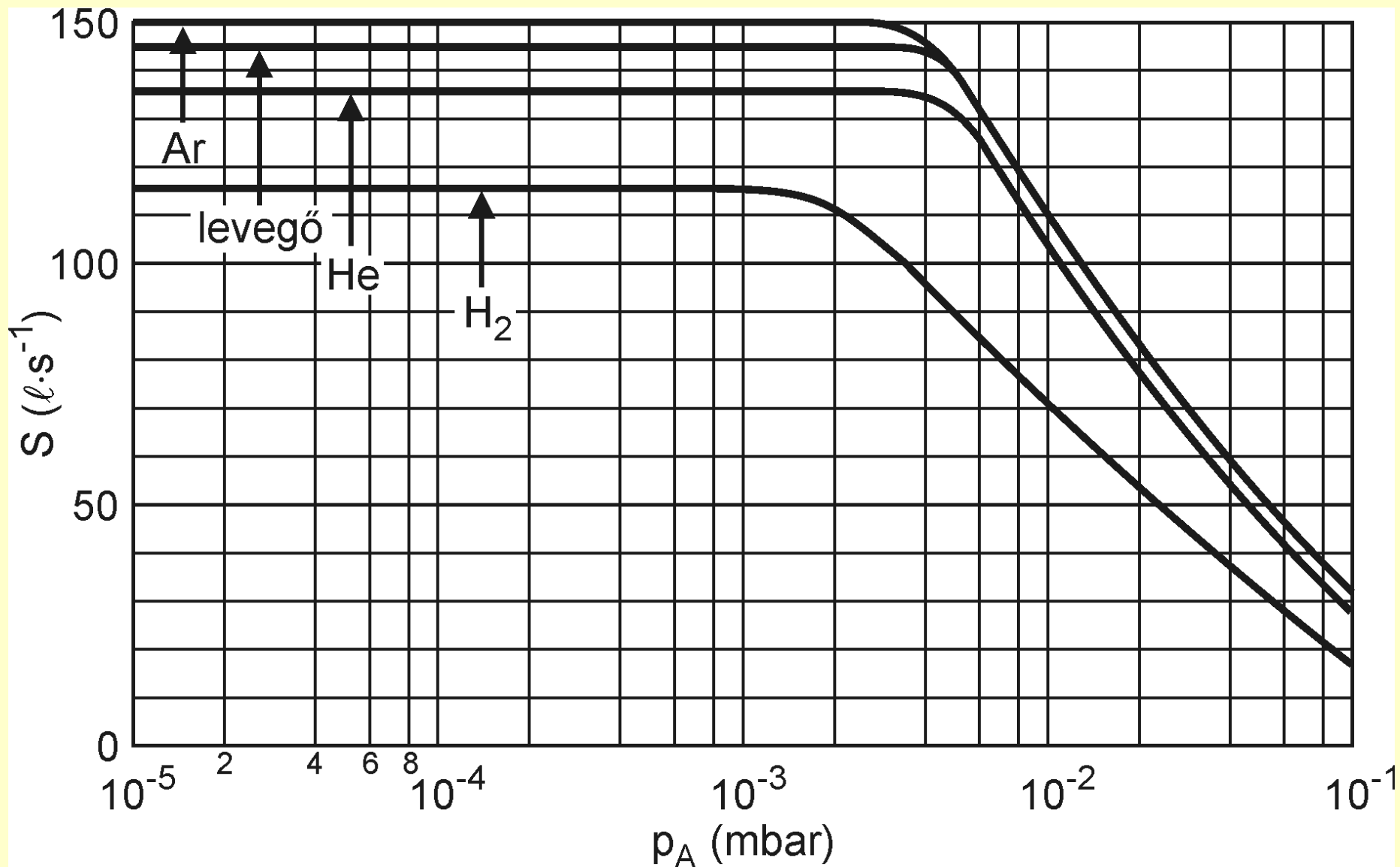
u : a molekulák termikus átlagsebessége,

d_f : a turbó forgólapátok keresztmetszetén a szabad rész aránya a teljeshez ($\sim 0,9$).

Kompresszió: függ a molekulák termikus átlagsebességétől, a móltömegtől és a kerületi sebességtől:

$$k_{max} \approx e^{\sqrt{M}v / \sqrt{2kNAT}} \quad (9.3.2.)$$

A kompresszió megszabja az adott gázra elérhető parciális nyomást a $p_{ev}=kp_{sz}$ összefüggéssel $\rightarrow$ a szükséges elővákuum nagysága meghatározó.



9.3.5. ábra. Egy turbómolekuláris szivattyú szívósebessége a szívott oldali nyomás függvényében – a tömegszámfüggés jól megfigyelhető.[P2]

Turbómolekuláris szivattyú



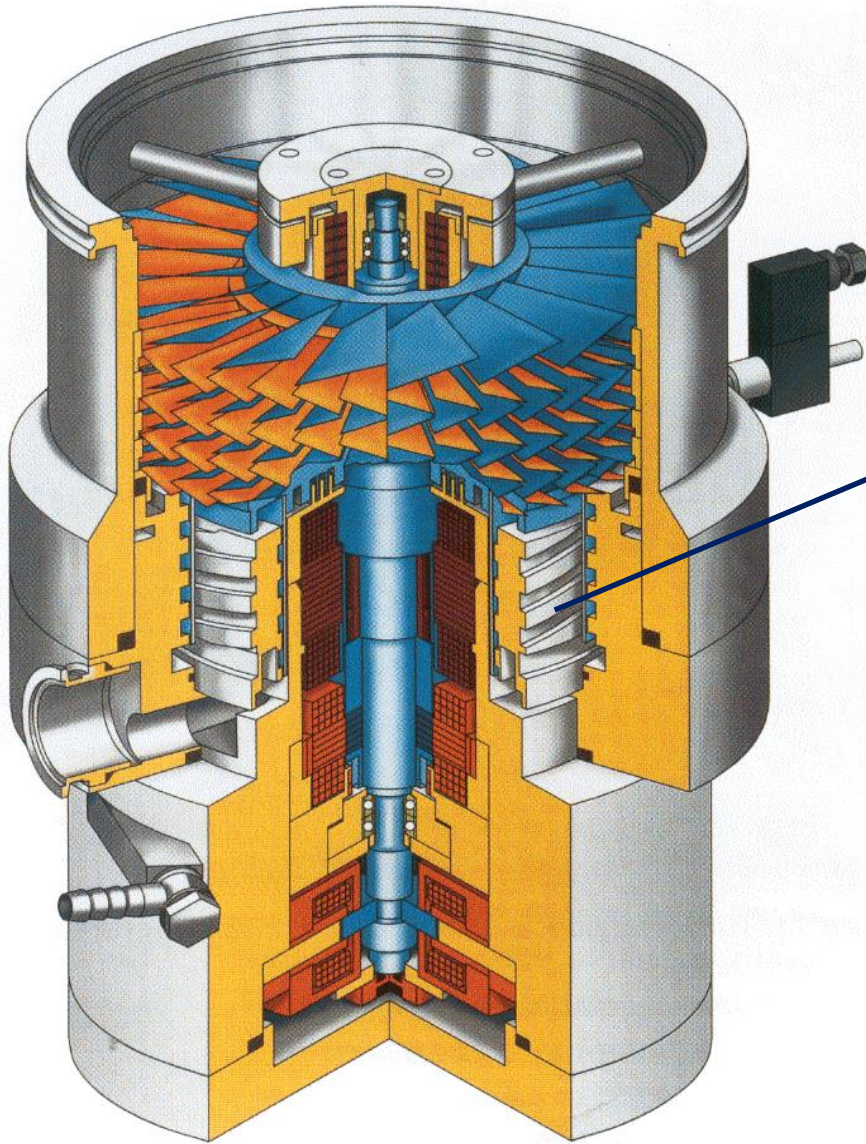
9.3.6. ábra. Egy Turbovac361 és egy Turbovac T1600 típusú turbómolekuláris szivattyú fényképe ($S = 400$, illetve 1600 l/s szívósebesség, [L3]).

Turbómolekuláris szivattyú

Inlet flange	DN	100 ISO-K • 100 CF	
Pumping speed			
N ₂	l x s ⁻¹		345
Ar	l x s ⁻¹		350
He	l x s ⁻¹		340
H ₂	l x s ⁻¹		340
Max. gas throughput			
N ₂	mbar x l x s ⁻¹		7.5
Ar	mbar x l x s ⁻¹		7.5
Compression ratio			
N ₂		Ha az elővákuum: 10 ⁻¹ mbar, az elérhető parc. nyomás: 1·10 ⁻¹⁰ mbar	1 x 10 ⁹
He		1,7·10 ⁻⁶ mbar	6 x 10 ⁴
H ₂		3,3·10 ⁻⁵ mbar	3 x 10 ³
Ultimate pressure	mbar (Torr)	< 1 x 10 ⁻¹⁰ (< 0.75 x 10 ⁻¹⁰)	
Max. continuous inlet pressure *)	mbar (Torr)	5 x 10 ⁻² (3.75 x 10 ⁻²)	
Max. foreline pressure for N ₂	mbar (Torr)	5 x 10 ⁻¹ (3.75 x 10 ⁻¹)	
Recommended fore-vacuum pump		From TRIVAC D 16 B to D 25 B	
Run-up time to 95% speed	min	≈ 2	

9.3.1. táblázat. Egy turbómolekuláris szivattyú adatai (Turbovac 361 [L2]).

9.3.3. Kombinált turbómolekuláris szivattyú



Turbómolekuláris szivattyú és egy molekuláris szivattyú kombinációjából épül fel.

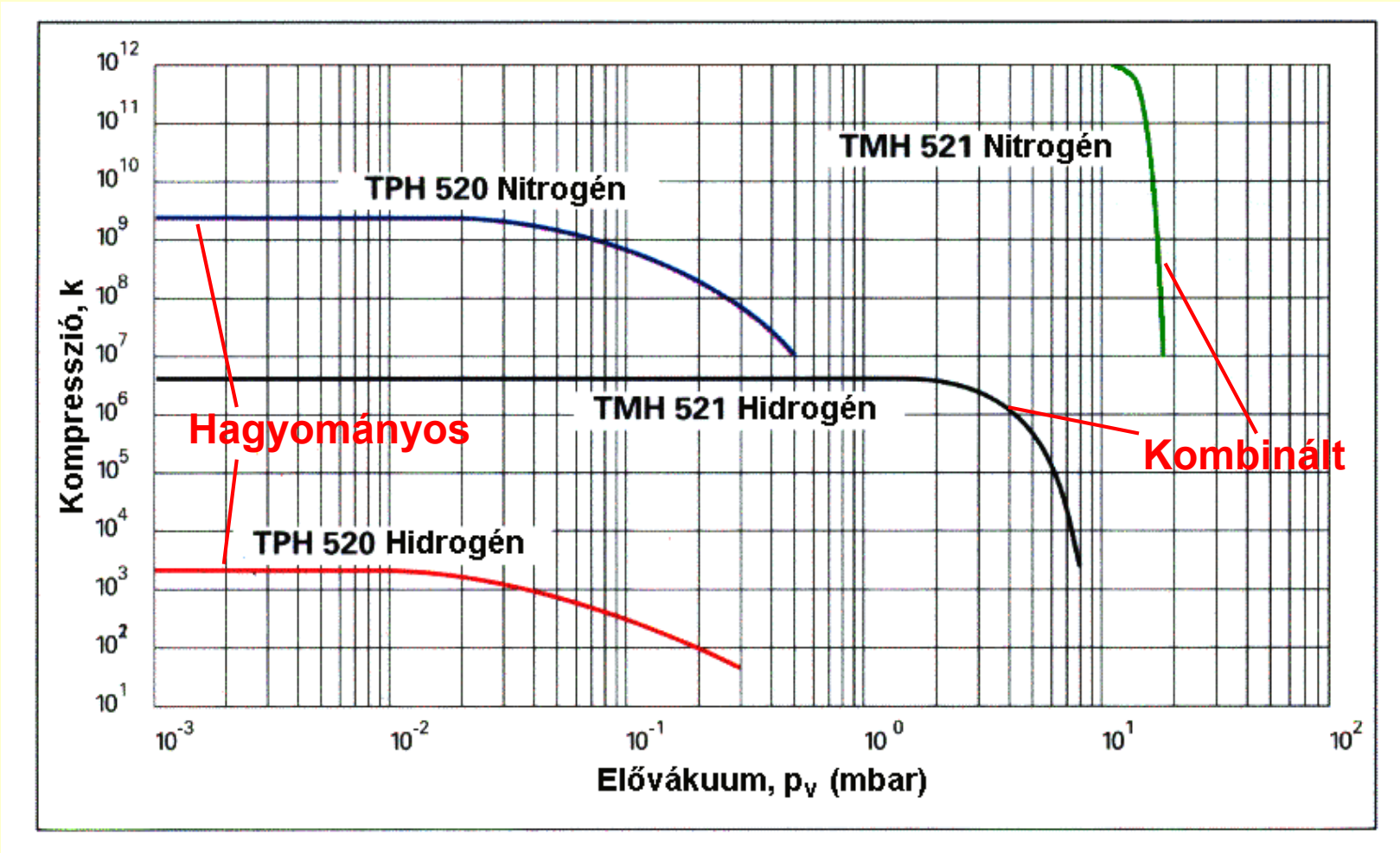
Holweck típusú molekuláris szivattyú

A kombinált turbómolekuláris szivattyú előnye:

- nagyobb kompresszió,
- rosszabb elővákuum is megengedett,
- kisebb elővákuum-szivattyú is megfelel,
- olcsóbb membránszivattyú is használható.

9.3.7. ábra. Egy mágneses csapágyú kombinált turbómolekuláris szivattyú [P2].

A turbómolekuláris szivattyú elővákuum-tűrése és kompressziója növelhető egy molekuláris szivattyú beiktatásával az ürítő oldalon.



9.3.8. ábra. Hagyományos (TPH 520) és kombinált turbómolekuláris (TMH 521) szivattyúk kompressziója [P2].

Kifűtés:

- a szivattyúházat korlátozottan (tipikusan 120 °C) ki lehet fűteni, amikor a vákuumrendszert is kikályházzuk.
- kondenzálódó anyagok (pl. Al_2Cl_6) szívásakor a szivattyú gázzal érintkező alkatrészeinek fűtése szükséges.

Melegedés:

- a gázcseppkék ütközése impulzus átadásával jár a turbina-lapátokon. Különösen a nehezebb nemesgázok a lapátok túlmelegedését (így a deformálását és a lapátok összeütközését is) okozhatják nagyobb gázmennyiség szívásakor.

Mágneses tér:

- néhány mT-nál nagyobb mágneses térben az indukált áramok túlmelegítik a forgórészt;
- érzékeny rendszerben a szivattyú mágneses terére is figyelni kell.

Mechanikus szennyezés: ne sajnáljuk el a védőhálót a szivattyú torkából.

TURBÓ

KOMBINÁLT TURBÓ

Működési nyomástartomány: $5 \cdot 10^{-2} - \leq 10^{-10}$ mbar; $10 (20) - \leq 5 \cdot 10^{-10}$ mbar.

Szívósebesség: $10 - \sim 6000$ ℓ/s

Leszívás:

- Ha szilárd részecskéket sodorhat be a leszívandó térből a kezdeti nagy gázáram, akkor elkerülő ág és szivattyú ajánlott a turbószivattyú védelmére.

Leállítás:

- száraz gázzal kell fellevegőzni a vákuumrendszert és a szivattyút az olaj-visszaáramlás megakadályozása céljából;
- fokozatosság: kis gázárammal, majd később növelhető;
- a gázbeeresztés kb. 50%-ra csökkentett fordulatszámnál kezdhető, de legkésőbb az üzemi fordulatszám 20%-ánál el kell kezdeni.

Korrozív gázok:

- korrozív gázok külön felületkezelt vagy különleges anyagból készített rotorokkal szívhatók;
- a csapágyakat, szivattyúházat száraz öblítőgázzal kell védeni
 - beengedése a turbófokozat alsó részén.

Készenléti (standby) üzemmód:

- az üzemi fordulatszám 67%-ával – illetve ha a tápegységen állítható a fordulatszám, akkor tetszőlegesen beállított csökkentett sebességgel – forgatható a rotor: kevesebb kopás, hosszabb élettartam, nem túl jelentős a szívósebesség-csökkenés, a már elért végvákuumot így is tudja tartani.

A (kombinált) turbómolekuláris szivattyúk használatával kapcsolatos megjegyzések

Leszívás:

- nem annyira drámaian érzékenyek az elővákuum meglétére, mint a diffúziós szivattyúk;
- sok gyártmányba beépítettek védőrendszert, amely megakadályozza, hogy a szivattyú a megengedett nyomás felett felpörögjön;
- itt is igaz: ha az elővákuum-szivattyúja olajkenéses, akkor annak az olaj-visszaáramlása alacsonyabb nyomáson egyre jelentősebb.

A turbómolekuláris szivattyú bekapcsolható, ha elővákuuma eléri a p_{kapcs} szintet:

$$p_{kapcs} = e \frac{S_{ev}}{6V} \text{ (mbar)}$$

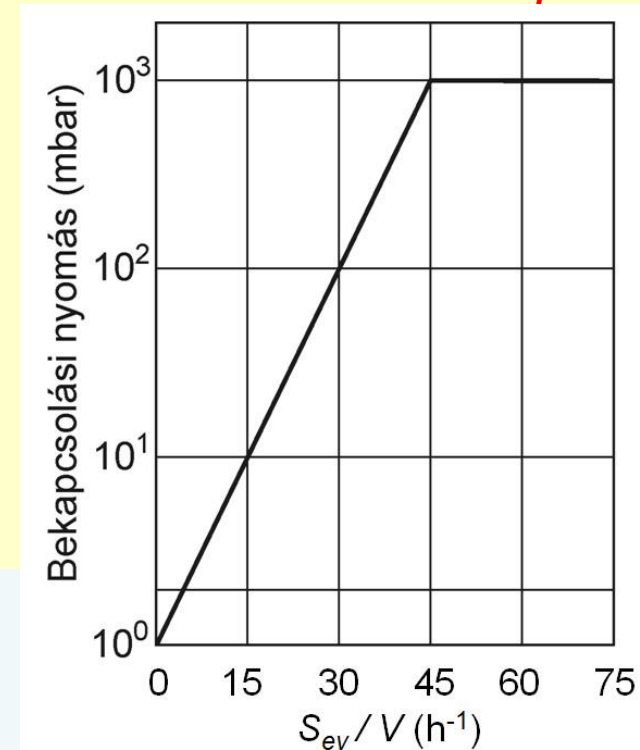
S_{ev} : elővákuum-szivattyú szívósebessége (m^3/h),
 V : a szívott térfogat (m^3).

Másként kifejezve (hozzávetőleges érték):

$$\frac{S_{ev}}{V} > 40 \text{ h}^{-1} \quad \text{A turbó és elővákuum-szivattyúja egyszerre kapcsolható be.}$$

$$\frac{S_{ev}}{V} < 40 \text{ h}^{-1} \quad \text{A turbó késleltetéssel kapcsolható be.}$$

9.3.9. ábra. Egy konkrét turbómolekuláris szivattyú bekapcsolásához szükséges elővákuumot mutatja az ábra S_{ev}/V függvényében [L2].



9.4. SZORPCIÓS SZIVATTYÚK

A szorpciós szivattyúban a szivattyúzós felületre érkező gázok fizikai és/vagy kémiai kölcsönhatás útján kötődnek meg.

9.4.1. Adszorpciós szivattyú

Olyan szorpciós szivattyú, amelyben a gázok főként fizikai adszorpcióval kötődnek meg rendkívül nagy fajlagos felületű ($A_m \sim 10^6 \text{ m}^2\text{kg}^{-1}$) anyagokon, pl. aktív szén, zeolit (M-alumínium-szilikát, ahol M lehet Na, Ca, Li). Gyakran használnak zeolit 13X molekulárszűrőt (lásd 9.4.1. ábra), amelynek pórusátmérője $\sim 13 \text{ \AA}$, de aktivált alumínium-oxidot is. Korábban megismertük, hogy a felület 1 m^2 -ét 10^{19} db molekula fedi be monomolekuláris réteggel, $n_{mono} = 10^{19} \text{ m}^{-2}$. Ez $\nu_{mono} = n_{mono}/N_A \approx 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ mol/m}^2$ -nek felel meg. Tehát 1 kg zeolit az előbbi fajlagos felülettel kb. 16 mol -nyi nitrogént tud megkötni.

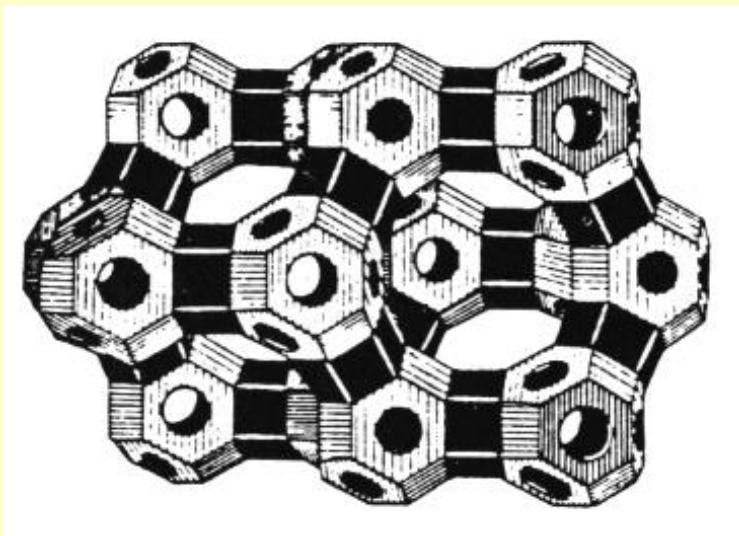
A felület fajlagos gázmennyiség-megkötése: $b_{n,mono} \approx 0,38 \text{ mbar} \cdot \ell \cdot \text{m}^{-2}$.

Az adszorbens tömegének fajlagos gázmegkötése: $\mu \approx 3,8 \cdot 10^5 \text{ mbar} \cdot \ell \cdot \text{kg}^{-1}$.

Hűtéssel az adszorpciós folyamat hatékonyabb, nagyobb a szívósebesség.

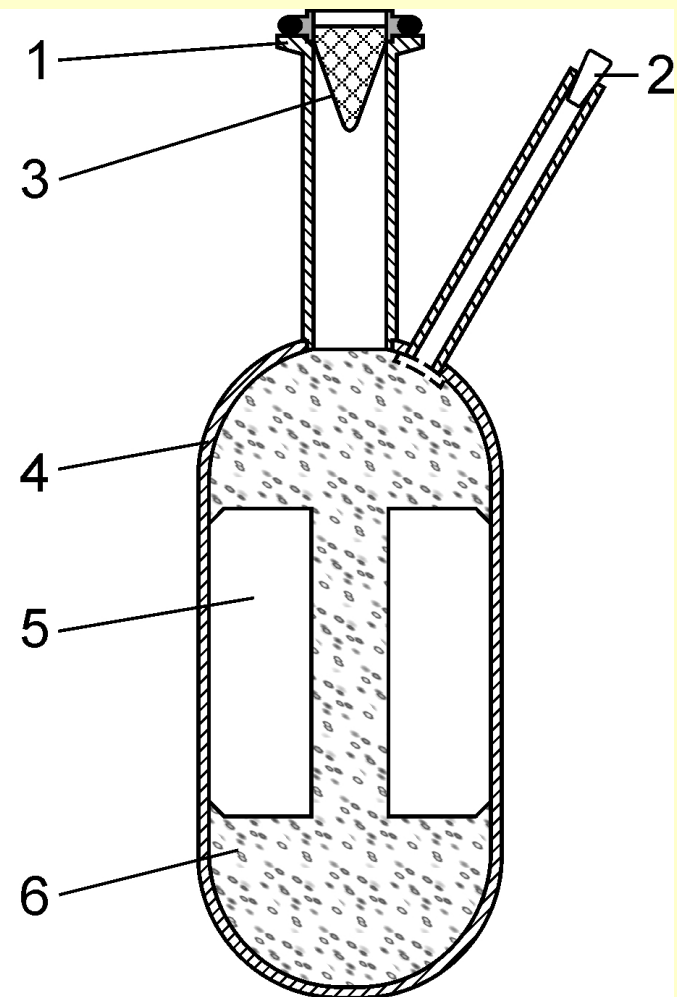
Hűtőközeg: száraz jég (szilárd CO_2 , ha szublimálni hagyjuk $-78,5^\circ\text{C}$), száraz jég – alkohol keverék ($\sim -72^\circ\text{C}$), de leginkább cseppfolyós nitrogén (-196°C). A $\sim -150^\circ\text{C}$ -nél hidegebb szivattyúk: krioszivattyúk – lásd később.

Az adszorbens rossz hővezető, a hűtést hozzá kell vezetni hideg ujjakkal.



9.4.1. ábra. Egy X-típusú molekulárszűrő szerkezete [L2].

9.4.2. ábra. Egy adszorpciós szivattyú vázlata.
1: szívónyílás, 2: túlnyomás elleni szelep, 3: védő fémháló, 4: szivattyú háza, 5: hővezető ujjak, 6: adszorpciós anyag [L2].



Az adszorpciós szivattyú felmelegedésekor vigyázni kell a túlnyomás elkerülésére – biztonsági szelep szükséges! Pl. ha 30 ℓ teret atmoszféráról 10 mbar-ra szívunk le egy 1 ℓ térfogatú szivattyúval, amelynek a felét adszorbens tölti ki, akkor szobahőmérsékletre felmelegedve 60 bar nyomás uralkodik a szivattyúban.

Az adszorpciós szivattyú szelektív a különböző gázokra.

Jól szívható gázok: N_2 , O_2 (biztonsági rendszabályok!), CO_2 , H_2O , szénhidrogének.

Nem vagy alig szívhatók: H_2 , könnyű nemesgázok (He , Ne).

A szivattyú szívósebessége csökken a már elszívott mennyiség növekedtével (telítődés).

Javasolt adszorbens mennyiség: ~50 g a recipiens 1 literére.

Működési nyomástartománya: 10^3 – 10^{-4} mbar. (több szivattyú fokozat használatával)

Alacsonyabb nyomás eléréséhez a levegő nagy részét előzőleg el kell távolítani egy mechanikus szivattyúval, vagy a maradék héliumot, neont utólag elszívni más szivattyúval.

Gázterheléstől függően a szivattyú telítődik. Regenerálni kell.

Regenerálás: szobahőmérsékleten, illetve erősen kötődő gázokat (pl. H_2O) az adszorbens kifűtésével. A kifűtés hőmérsékletére a gyártó előírásai mérvadók, mert túlzott hevítéssel tönkremegy az adszorbens szerkezete. Maximum 200 °C a biztonságos kifűtési hőmérséklet. A vákuumozás segíti az adszorbens regenerálását, de kifűtéssel atmoszférikus nyomáson is kellően regenerálódik.

9.4.2. Getterszivattyúk

A getter olyan fém vagy fémötvözet, amelynek különösen nagy a gázmegkötő képessége. A gáz adszorpcióban és abszorpcióban kemisorpcióval kötődik meg, vagy kémiai reakcióval stabil vegyületet képez (pl. TiO). Vékony réteg vagy tömbi anyag formájában is alkalmazzák.

A getterek gázlekötése lehet

- **adszorpció**: a gáz a felületen kötődik meg. Hűtéssel az adszorpció hatékonyabb. A gettert általában vékonyréteg formájában alkalmazzák. A friss fémfelület folyamatos pótlása párologtatással vagy porlasztással történik. Ha a gázmegkötés folyamatában az adszorpció dominál **felületi getterszivattyúról beszélünk**. Fajtái: szublimációs és porlasztásos getterszivattyúk.

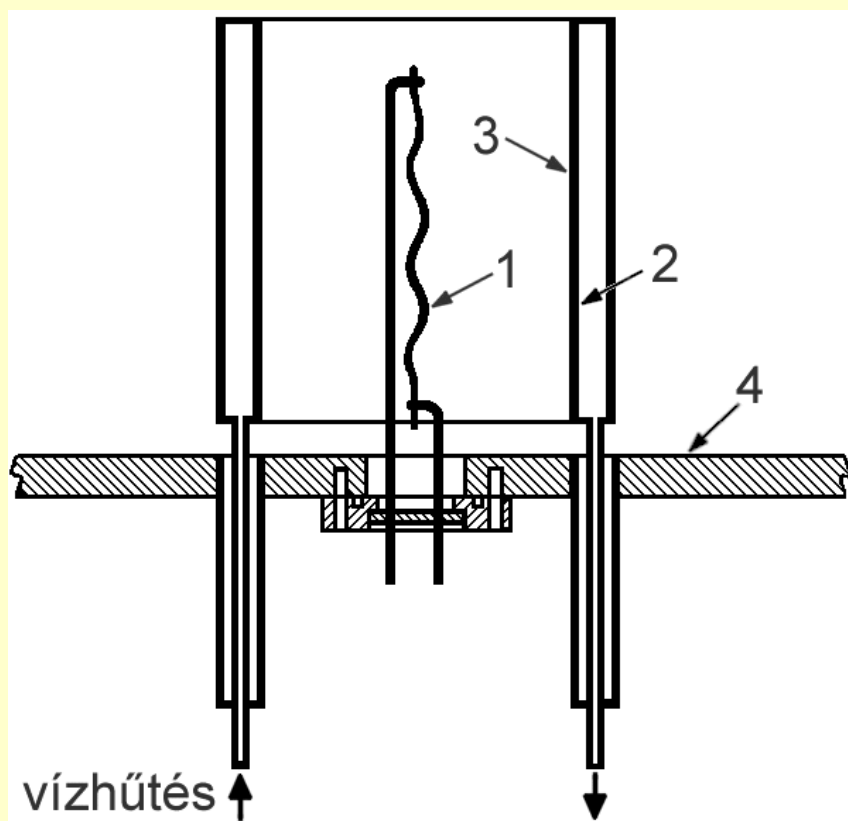
- **abszorpció**: a felületen adszorbeált gázmolekulák egy része bediffundál a getter belsejébe és ott kötődik meg. A diffúziós folyamatot a getter anyag hőmérsékletének emelése meggyorsítja. A getter tömbi formában van jelen. A getter sokkal több gázt tud megkötni a térfogatában, mint a felületén. Ha a gázmegkötés folyamatában az abszorpció dominál, **térfogati getterszivattyúról beszélünk**. – A szivattyút nem párolgó getter (Non-Evaporable Getter – NEG) szivattyúnak nevezzük.

Ismertebb getter anyagok: Ti, Ta, Mo, Nb, Zr, Ba, Mg, Al, Th és ezek ötvözetei.

9.4.2.1. Szublimációs szivattyúk

A gettert izzítják és így szublimálják. Hűtött falon lecsapátva mindig friss adszorpciós réteget nyerünk – felületi getter szivattyú.

Legismertebb getter a **Ti**, párologtatási módja és gázmegkötése kedvező. Tisztán és ötvözeteivel egyaránt használják, pl. **85% Ti + 15% Mo**. (A Mo hozzáadása mechanikailag erősebbé (tartósabbá) teszi a getter anyagát.)



9.4.3. ábra. A Ti-szublimációs szivattyú felépítése [OH1] .

- 1: Ti-ötvözet izzószál,
- 2: hűtőközeget áramoltató szivattyúház,
- 3: lecsapódott Ti réteg,
- 4: a szivattyú alaplemeze.

A szublimációs szivattyú szelektivitása a gázfajták szerint:

- az aktív gázokat (CO , CO_2 , O_2 , H_2O , C_2H_2) nagy tapadásuk révén jól szívja,
- a kémiaiilag inert gázokat (nemesgázok) egyáltalán nem szívja, a metánt a nemesgázokhoz hasonlóan alig szívja;
- a köztes gázokat (H_2 , N_2) szobahőmérsékleten az aktív gázoknál gyengébben, de 77 K-en ezeket is jól szívja.

9.4.1. táblázat. A szublimált Ti felület 1 cm^2 -ének szívósebessége (ℓ/s) [V1].

T ($^{\circ}\text{C}$)	H_2	N_2	O_2	CO	CO_2	H_2O	CH_4	Ar	He
20	3,1	4,7	9,3	9,3	7,8	3,1	0	0	0
-195	10,1	10,1	10,9	10,9	9,3	13,9	0	0	0

Maradékgáz:

Az izzított Ti-ból sok H_2 lép ki, illetve egy része reagál a Ti-ban lévő C szennyezéssel: metánt, etánt képez. Ezért a szublimációs szivattyúk maradékgázában domináns a metán, mögötte az etán és hidrogén.

Memória-effektus:

A már felülethez tapadt gázmolekulát egy beérkező másik molekula felszabadítja, és elfoglalja a helyét, ha a beérkező molekula kémiai affinitása nagyobb a felületen már ott levőnél – időnkénti rövid nyomásugrások figyelhetők meg.

A szublimációs szivattyú nyomástartománya: $10^{-3} - \sim 10^{-8}$ mbar.

- Felső nyomáshatár: nagyobb nyomáson olyan réteg képződik a Ti felületén, amely megakadályozza a szublimációt – ez jelent korlátot.
- Alsó nyomáshatár: az általa nem szívott nemesgázok és metán korlátozza.

Más szivattyúkkal, különösen getter-ion szivattyúkkal kombinálva az alsó nyomáshatár még csökkenthető.

- Nagy szívósebessége miatt leginkább más szivattyúk teljesítményének fokozására kisegítő szivattyúként használják – közönséges gázok szívására.

Szívósebesség:

Alacsony nyomáson ($p < \sim 10^{-6}$ mbar) a friss Ti film felülete, a gáz fajtája és a szivattyú torkának vezetőképessége szabja meg, $S = \text{állandó}$:

$$\frac{1}{S_{eff}} = \frac{1}{S_{felület}} + \frac{1}{C_{torok}} \xrightarrow{NAGY \cdot FELÜLETNÉL} \frac{1}{S_{eff}} = \frac{1}{C_{torok}}$$

Nagyobb nyomáson ($p > \sim 10^{-6}$ mbar): az elnyelt gázmennyiség (pS) arányos a Ti szublimációjával, adott szublimációs szinten $pS = \text{állandó}$.

9.4.2.2. Nem párolgó getter szivattyú (Non Evaporable Getters, NEG)

Magas hőmérsékleten (400 – 500 °C) a felületen megtapadt gázok gyorsan diffundálnak a getter anyag belsejébe. Térfogati getterszivattyú.

- A hidrogén szilárd oldatként szívódik el, minden egyéb gáz stabil vegyületet képez és állandóan megkötve marad.

A NEG szivattyúk nem szívnak nemesgázokat és metánt.

Aktiválás, szívás:

Aktiválás: a getter anyagot 1 Pa (10^{-2} mbar) alatti nyomáson magas hőmérsékletre fűtik (pl. 84% Zr, 16% Al ötvözet esetében 800 °C), ahol az kigázosodik. A felületen kötött gázok egy része szabaddá válik, illetve bediffundál az anyag belsejébe: tiszta, szívásra képes lesz a felület.

Szívás: visszahűtve egy alacsonyabb hőmérsékletre (az említett Zr-Al ötvözetnél 400 °C) optimális diffúziós sebességet érnek el:

A Zr-Al getter fajlagos szívósebessége ($\ell/s/cm^2$):

N_2	O_2, CO_2, CO	H_2
0,3	1	1,5

- Más ötvözetek aktiválási és üzemi hőmérséklete különbözik, de a mechanizmus ugyanaz.

Pl. 70% Zr + 24,6% V + 5,4% Fe: 500 °C-on aktiválható, 20 °C-on szív.

- A NEG szivattyúknak különösen nagy a szívó kapacitásuk hidrogénre (annak nagy diffúziós képessége miatt).

- A NEG szivattyúkat szívesen alkalmazzák kiegészítő szivattyúként kis rendszereken, kis lezárt terekben, illetve alapszivattyúként nagy UHV-rendszereken.

- Előállítják hordozóra felvitt vékonyréteg formában is.

A CERN nagy pozitron ütköztetőjében 27 km hosszon alkalmaztak lineáris NEG szivattyút 500 ℓ /s/m szívósebességgel.

Szívósebesség:

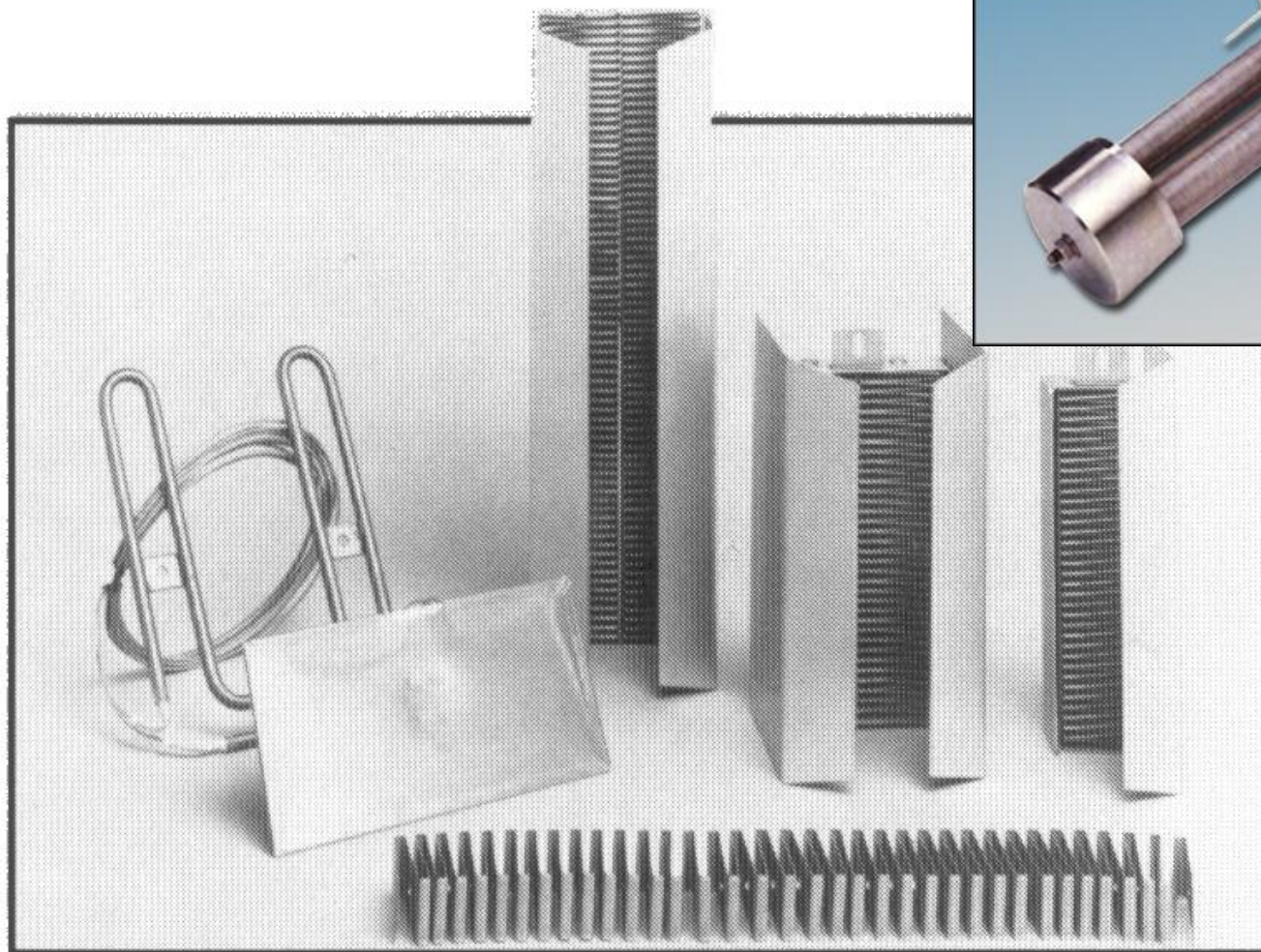
$S_{NEG} = \text{állandó}$, ha $p < 10^{-5}$ mbar

$S_{NEG} \sim p^{-1/2}$, ha $p > 5 \cdot 10^{-3}$ mbar.

Nyomástartomány:

önállóan: $10^{-2} - 10^{-8}$ mbar

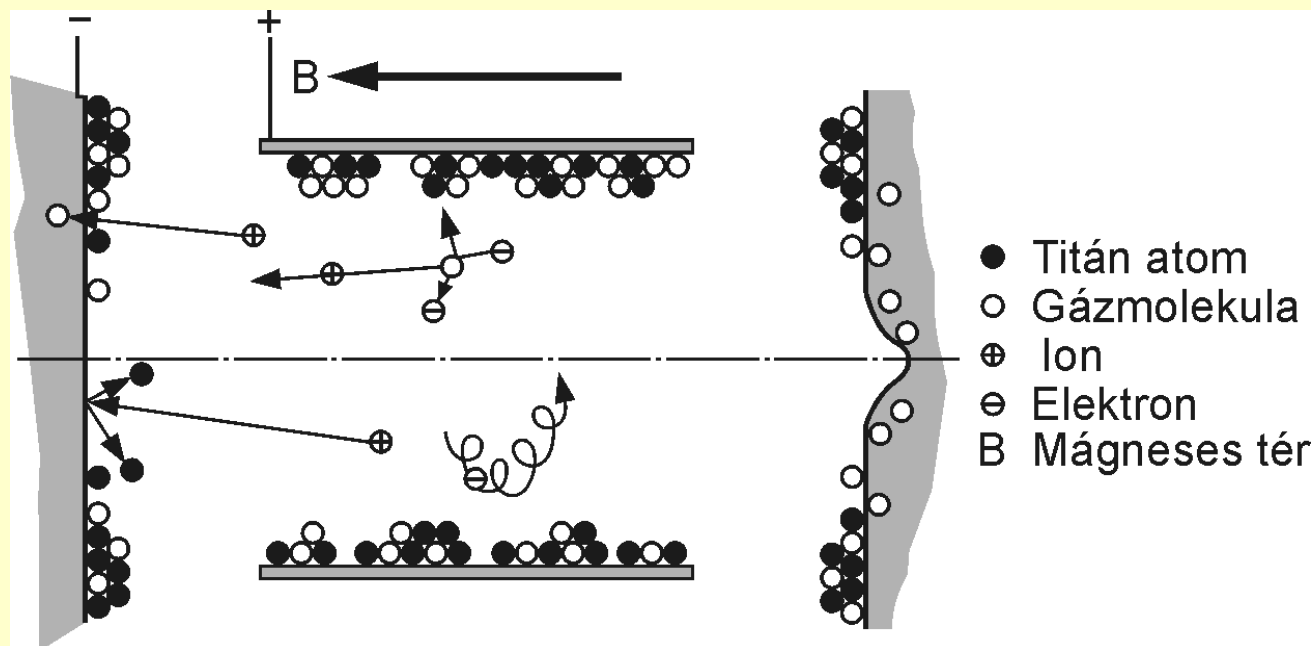
getter-ion szivattyúval együtt $< 10^{-11}$ mbar.



9.4.4. ábra. Nem párolgó getter (NEG) szivattyúk fényképe [V1, KL3].

9.4.2.3. Porlasztásos v. getter-ion szivattyú

Jelenség: Penning (1937); gyakorlati szivattyú: Hall (1958).

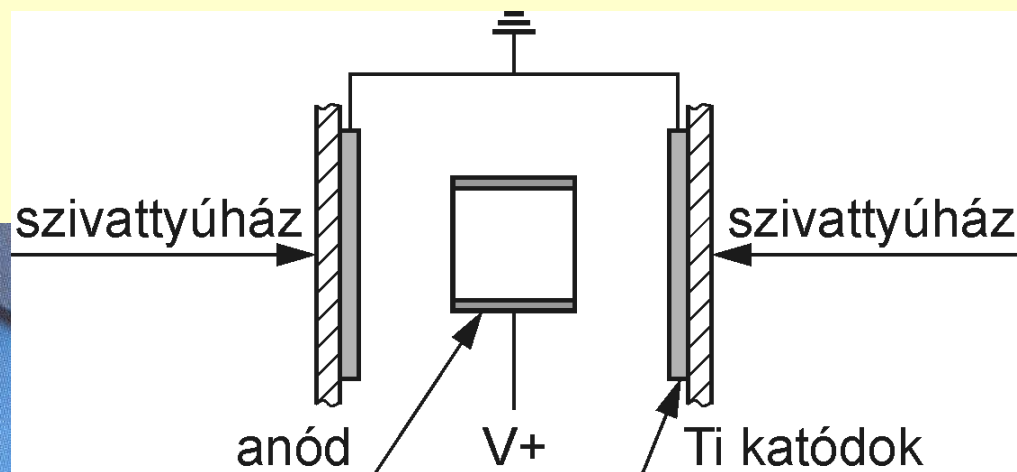
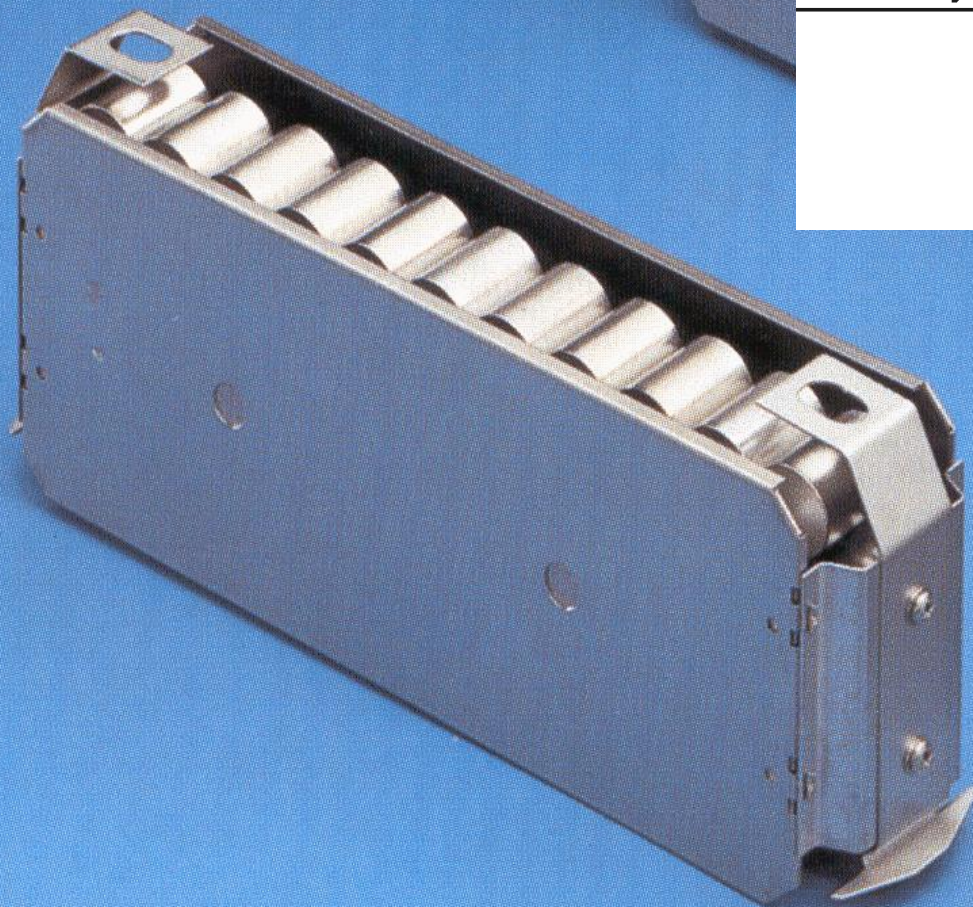


9.4.5. ábra. A porlasztásos (Penning típusú) getter-ion szivattyú diódás elrendezése [L2].

Az elrendezésben a henger alakú anód és annak két végét lezáró sík katód közé 1-3 KV feszültséget kapcsolnak, valamint az anódhenger tengelyével párhuzamosan 0.1 - 0.3 T mágneses teret alkalmaznak. A potenciálkülönbség hatására, a vákuumtérben a kozmikus sugárzás hatására mindig jelenlevő szabad elektronok gyorsulnak, és ütközések révén ionizálják a gázmolekulákat. A keletkezett pozitív ionok bombázzák a katódot (Ti), porlasztva annak anyagát. A folyamatos porlasztással mindig friss getter felület jön létre.

A dióda típusú getter-ion szivattyú főbb szivattyúzási folyamatai:

- Ionizáció közben molekulák szétesése, az ionok (pozitív és negatív) a katódon, illetve anódon történő megkötődése. (Szerves gázok)
- A katódporlasztás során előállított friss fémréteggel történő kémiai kölcsönhatás (getterezés). (O_2 , N_2 , CO_2)
- A felületeken megkötött (adszorbeálódott) molekulák befedése (eltemetése) – nemesgázok!
- A keletkezett ionok az anód és katód felé gyorsulva implantálódnak annak felületébe.
- A nagyobb energiájú semleges molekulák is implantálódhatnak.
- A molekulák felületen történő megkötődése, majd diffúzió a mélyebb rétegekbe (hidrogén).



9.4.6. ábra. Egy diódás getter-ion szivattyú elvi rajza és a szivattyúbelső fényképe [V1]

A dióda típusú getter-ion szivattyú tulajdonságai:

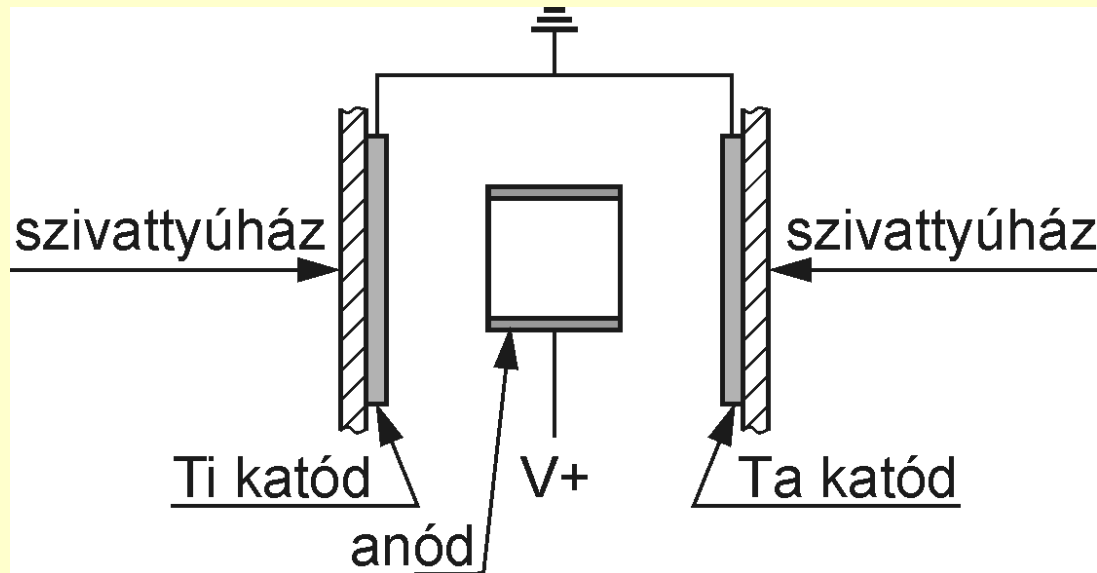
- aktív gázokra, különösen hidrogénre legnagyobb szívósebessége van a getter-ion szivattyúk között;
- a kisülési áram arányos a nyomással $10^{-4} - 10^{-8}(\dots)$ mbar tartományban → nyomásmérésre is alkalmas;
- az ionos szívás következtében van nemesgáz-szívás is (a nitrogénre érvényes szívósebesség 3-4 %-a);
- a getter felhalmozódik az anódon és a katódon is;
- a katódon elnyelt nemesgázok újra kibombáznak: nyomásingadozás (memória-effektus);
- szórt mágneses tér van jelen a környezetben.

Megoldás a problémákra:

- a nemesgázokat jobban szívó anyag (pl. tantál) használata;
- a porlasztás és a szívás helyének szétválasztása – trióda típusú porlasztásos szivattyú;
- hatásosabb porlasztást nyújtó rácsformák alkalmazása;
- a kisülést stabilabbá tevő anódformák választása.

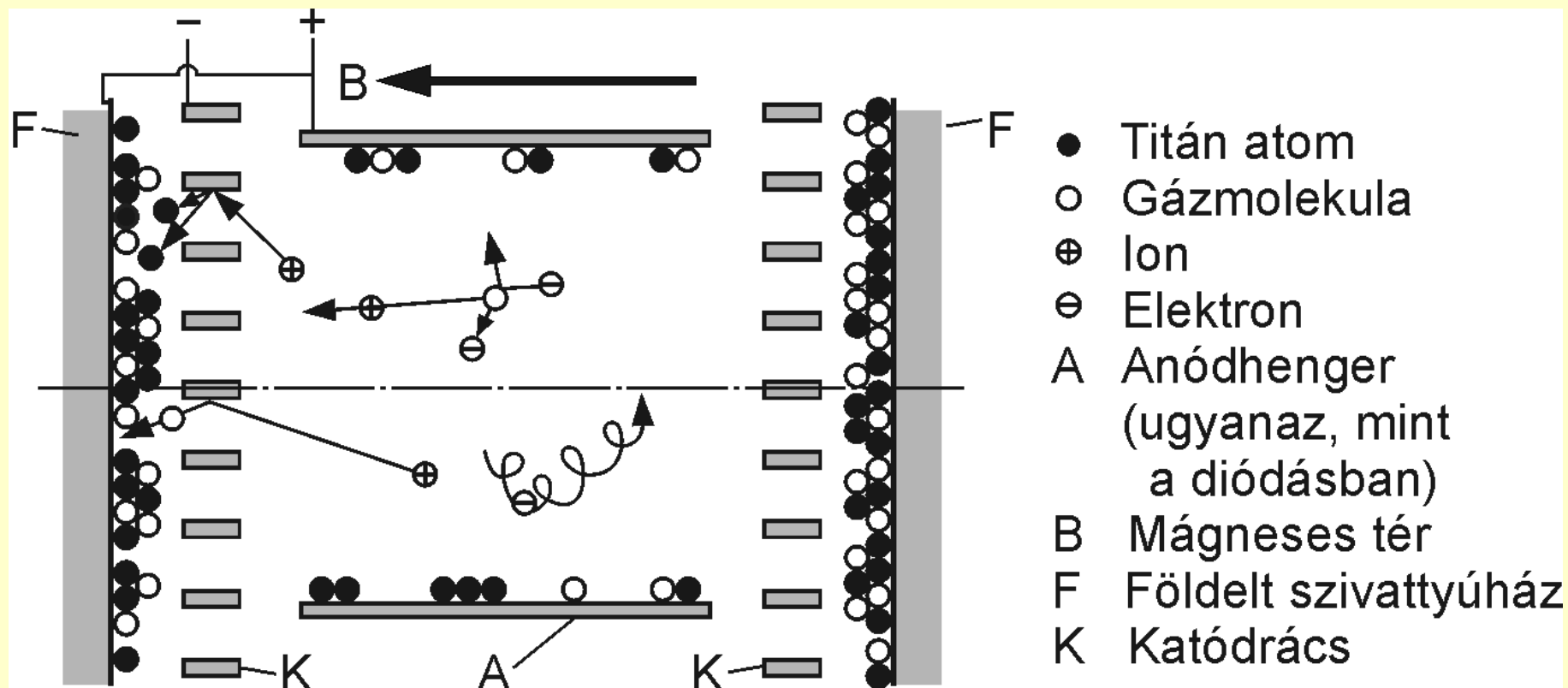
Nemesgáz-dióda getter-ion szivattyú:

- a dióda típusú szivattyúban az egyik Ti-katódot tantállal helyettesítik;
- szívósebessége nemesgázokra nagyobb, mint a csak Ti-katódos dióda típusú getter-ion szivattyúnak.
- H_2 -re kisebb a szívósebessége, mert a Ta-ban kevésbé oldódik a H_2 , mint a Ti-ban.



9.4.7. ábra. A dióda getter-ion szivattyú megnövelt nemesgáz szívósebességgel [V1].

Trióda típusú getter-ion szivattyú

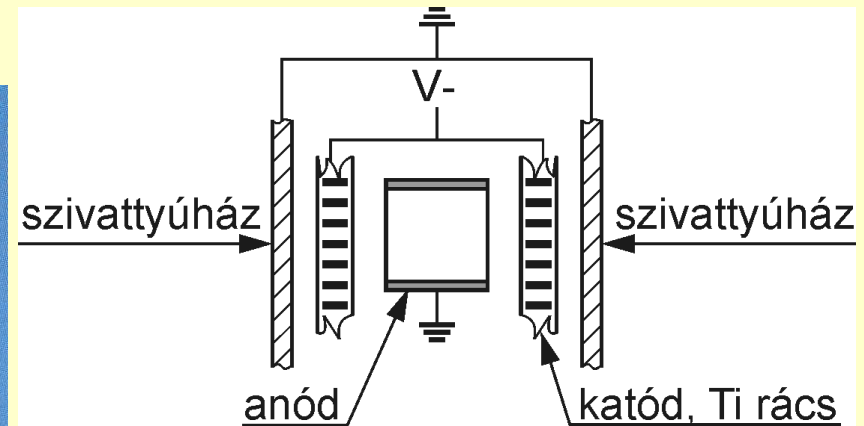
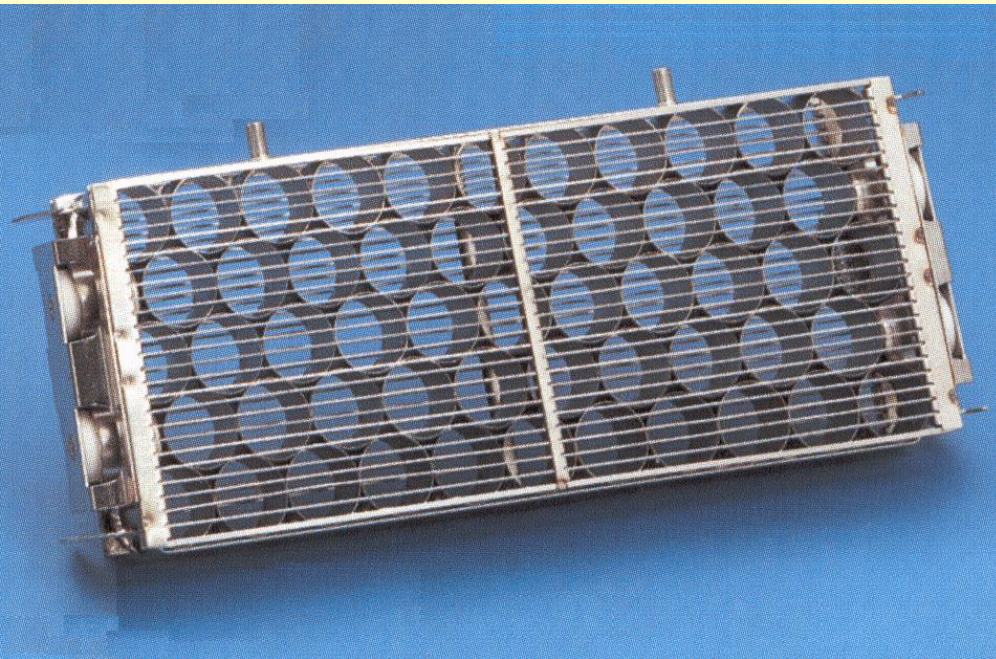


9.4.8. ábra. A trióda típusú porlasztásos getter-ion szivattyú felépítése [L2].

Az anódhenger és a szivattyú fala föld potenciálon, és közöttük harmadik elektródként negatív potenciálú, rács alakú katódot építenek be getter anyagból (Ti, Ta).

A trióda típusú getter-ion szivattyú előnye:

- az ionok nem porlasztják a ház falára lerakódott titánt: nincs memória-effektus;
- az ionok kis szögben érkeznek a Ti-rácsra: nagyobb a porlasztás hozama;
- a rács alakjának megválasztásával növelni lehet a hidegkisülés, így a szivattyú stabilitását;
- nagyobb szívósebesség nemesgázokra, és ez időben stabil;



9.4.9. ábra. A trióda típusú porlasztásos getter-ion szivattyú vázlata és egy szivattyúbelső fényképe [V1].



9.4.10. ábra. Getter-ion szivattyúk [V1].

Szívósebesség: néhány ℓ/s –tól ~ 2000 ℓ/s -ig,

$$S_{Ar} \sim 30-55\% S_{N_2}$$

függ a mérettől, típustól és a gáz fajtájától, de készítettek nagy mágneses terű gyorsítók mellett igen hosszú szivattyúbetéteket is, amelyek összegzett szívósebessége sokszorosan meghaladja a gyári szivattyúkét.

Működési nyomástartomány: $<10^{-11} - 10^{-3}$ (10^{-2}) mbar

Célszerű minél alacsonyabb nyomáson indítani. Nagyobb nyomáson nagyobb az áramfelvétele, ami túlmelegedést is okozhat. A tápegységeknek áramkorlátozást kell tartalmazniuk a túlmelegedés ellen.

Szivattyúkombinációkkal a végvákuum javítható.

Szublimációs és porlasztásos getter-ion szivattyú kombinációja.

Egyesíti a getter-ion szivattyúk jó nemesgáz-szívását és a szublimációs szivattyú nagy szívósebességét az aktív gázokra, különösen hidrogénre.

Élettartam: átlagosan 30 – 80 ezer óra, erősen függ a gázterheléstől, a katód eróziójától.

Kikályházás: a getter-ion szivattyúk kikályházhatók; a szivattyútest általában akár 450 °C-ig, mágnessel együtt általában 200 °C-ig.

9.5. KRIOSZIVATTYÚK

A krioszivattyú olyan gázmegkötő vákuumszivattyú, amelyben a gázok mélyen lehűtött felületekre és/vagy szorpciós közegre (szilárd testekre v. kondenzátumokra) kondenzálódnak/adszorbeálódnak.

A gázból kondenzált és/vagy adszorbeált mennyiséget olyan hőmérsékleten tartják, amelyen az egyensúlyi gőznyomása egyenlő v. kisebb, mint az elérni kívánt alacsony nyomás a vákuumrendszerben.

A krioszivattyú a nagyvákuum és az ultranagy-vákuum tartományban dolgozik.

A -150 °C nál alacsonyabb hőmérsékletű eszközöket nevezzük krioszivattyúknak.

A magasabb hőmérsékletű eszközök: gőzkondenzátorok, csapdák. Az adszorpciós szivattyúk egy része egyben krioszivattyú is.

A krioszivattyúzás három jelenségen alapszik:

kriokondenzáció,

kriocsapdázás,

krioszorpció.

A valóságban csak keverten érvényesülnek.

Kriokondenzáció

A hideg felületen végbemenő kondenzációval elérhető nyomás a kondenzált fázis gőznyomásától függ.

$p < 10^{-9}$ mbar (ultranagy-vákuum) érhető el az alábbi gázoknál:

- $T = 77$ K- nél (cseppfolyós N_2 hőmérséklete):
 H_2O , CO_2 , nagyobb széntartalmú szénhidrogének;
- $T \approx 20$ K-nél (H_2 forráspontja, Ne olvadáspontja):
 CH_4 , Ar, O_2 , N_2 ;
- $T \leq 4,2$ K-nél (cseppfolyós He):
Ne és H_2 .

A He nem egyszerűen hőmérsékletcsökkentéssel vihető át szilárd fázisba.

Tehát $T = 20$ K elegendő az UHV tartomány elérésére minden gázra, kivéve a He, Ne és H_2 gázokat. A Ne és He nem gyakori.

Hidrogént a legtöbb anyag bocsát ki magából, ezért a legfontosabb elszívandó gáz UHV feltételek között. Tartós kondenzációjához $T < 3,5$ K szükséges, egyébként más szivattyúzási módszereket kell alkalmazni.

Kriocsapdázás

Ha egy gáz kondenzálódik egy adott hőmérsékleten, akkor magával tud ragadni és a hideg felületen befedve kondenzálva tud tartani olyan gázcseppkéket is, amelyek azon a hőmérsékleten önállóan, tiszta gázként még egyébként nem kondenzálódnának.

A kísérőgáz a kondenzációja során a hideg falba ütköző alacsony forráspontú gázcseppkékből egyeseket befed, a felületen csapdázva tart $\Rightarrow$ a gáztérben csökken az alacsony forráspontú anyag gőznyomása $\Rightarrow$ szivattyúzás. Pl.: 6,5 K-en a H_2 gőznyomása $\sim 3 \cdot 10^{-3}$ mbar, de a 10% H_2 , 90% NH_3 keverék kondenzátuma feletti térben a H_2 parciális nyomása csak 10^{-8} mbar!

Krioszorpció (cryosorption)

A nehezen kondenzálódó alacsony forráspontú gáz olyan hideg felületen kötődik meg, amelyet eleve szilárd adszorpciós réteg fed, vagy a szivattyúzási folyamat előtt könnyen kondenzálódó, magasabb forráspontú gáz kondenzátumával lett beborítva – és az szolgál adszorbensként.

A krioszivattyúk jellemző paraméterei

- Kezdeti nyomás

A krioszivattyúk akár atmoszféra nyomáson is beindíthatók, de

- $p > 10^{-3}$ mbar nyomáson nagy a hőfelvétel - túlmelegszik,
- a krioszivattyú csak kis hőterhelést bír el,
- hamar telítődik az aktív felület,

ezért legalább $1 - 10^{-3}$ mbar-ra érdemes előszívni mind a szivattyút, mind a leszívandó teret.

- Kapcsolási nyomás (crossover pressure): valójában nem nyomás, hanem $p \cdot V$ gázmennyiség (mbar·ℓ egységben).

Jelentése: legfeljebb ilyen gázmennyiséget tartalmazó recipienst szabad rányitni a működő krioszivattyúra – mert különben túlzott hőterhelés lép fel.

A kapcsolási nyomás néhány ezerszer kisebb a szivattyú kapacitásánál.

A kapcsolási nyomást kötelező elérni, de nagyon túlteljesíteni nem érdemes, mert az elővákuum-szivattyú szívósebessége sokkal kisebb, a teljes leszívási idő túl hosszú lenne.

Idővel a megkötött gázokat el kell távolítani, a szivattyú regenerálást igényel.

Nagy- és ultranagy-vákuum (HV és UHV) tartományban működő krioszivattyúk következő fajtáit különböztetjük meg:

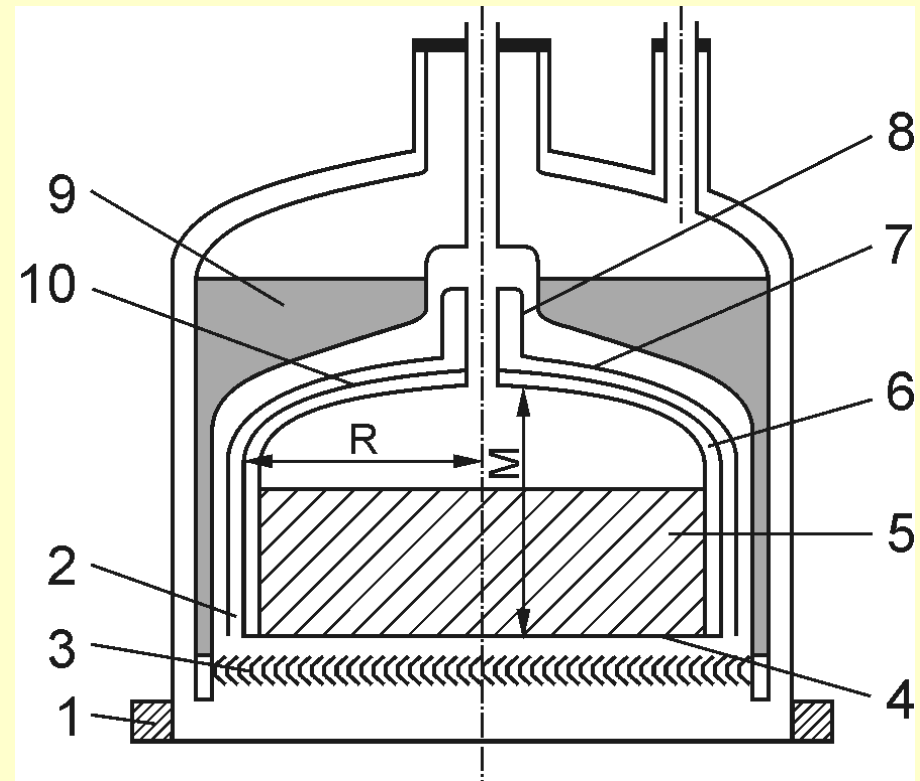
- tartályos
- áramoltatásos
- hűtőgépes

Tartályos krioszivattyú:

A cseppfolyós héliumos tartályt, amely a kondenzációs felület, cseppfolyós nitrogénnel védik a környezet hőszugárzása ellen.

**9.5.1. ábra. A CERN 200 óra
üzemidejű, tartályos krioszivattyúja
(10^{-13} mbar)[Ben1]**

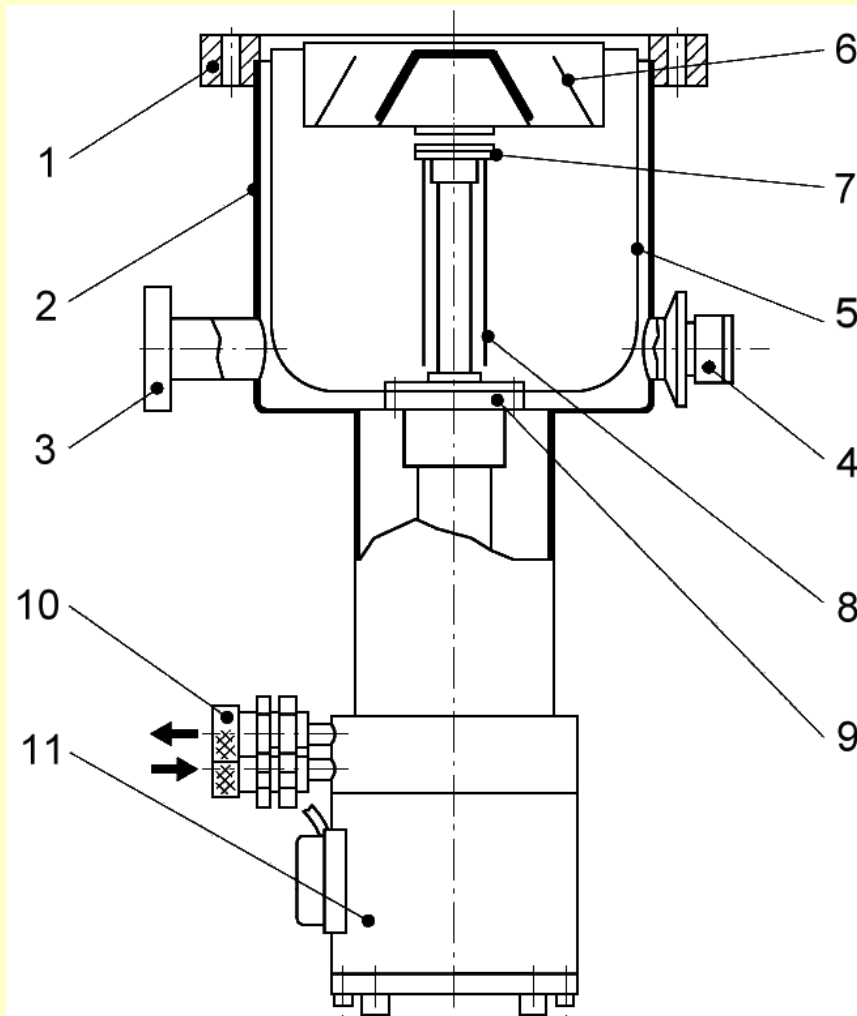
**1: csatlakozó perem, 2: rés, 3: csapda,
4:kondenzációs szívófelület,
5: cseppfolyós He, 6: szigetelő rés,
7: hőszugárzás elleni pajzs, 8: nyak,
9: cseppfolyós N_2 ,
10: ezüstözött védőház.**



Hűtőgépes krioszivattyú: speciális, több fokozatú hűtőgéppel 10-20 K hőmérsékletű He gázt keringtetnek a kondenzációs fejben.

Működési nyomástartomány: $< 10^{-12} - 10^{-3}$ mbar.

Szívósebesség: ~ 100-tól akár néhány százezer ℓ/s -ig.



9.5.2. ábra Egy hűtőgépes krioszivattyú rajza (Coolvac, [L3]).

- 1: nagyvákuum-csatlakozás,
- 2: szivattyúház,
- 3: elővákuum-szivattyúhoz,
- 4: biztonsági szelep csatlakozóval,
- 5: árnyékolás hőszugárzás ellen,
- 6: csapda,
- 7: a hideg fej második fokozata,
- 8: kriopanelek,
- 9: a hideg fej első fokozata,
- 10: He gáz csatlakozása, 11: a hideg fej motorja a házával.

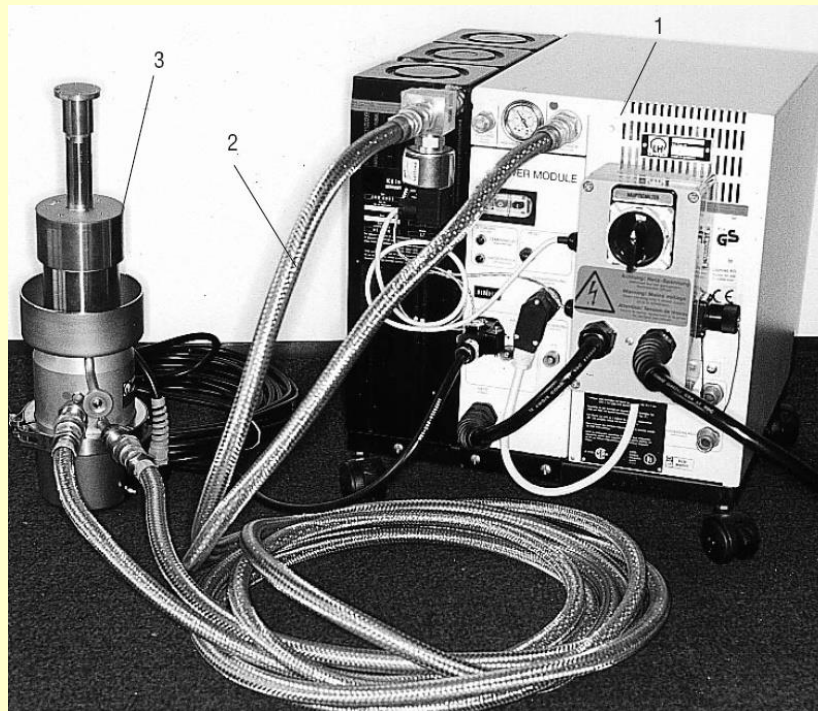
Hűtőgépes krioszivattyú

Előnye:

- nagyon tiszta szivattyú,
- nagy szívósebesség, ultranagyvákuum, sőt extrém nagyvákuum, ($<10^{-12}$ mbar) elérhető, különösen getter-ion szivattyúval kombinálva.

Hátránya:

- regenerálás szükségessége,
- a hűtőgépes szivattyú zaja és rezgése.



Kondenzációs felületek



9.5.3. ábra. Hűtőgépes krioszivattyú elemei.
Balra: 1: kompresszor egység,
2: hajlékony, nyomásálló vezetékek,
3: hideg fej, (kondenzációs felületek nélkül).
Fent: kondenzációs felületek [L3].