

NASVETI

Kriočrpalke Polycold za črpanje vodnih par

Opis delovanja kriočrpalke

Čeprav je bil osnovni princip delovanja kriočrpalke v Vakuumistu že dvakrat opisan /1,2/, ga bomo v tem prispevku zaradi boljšega razumevanja delovanja kriočrpalke Polycold za črpanje vodnih par na kratko ponovili.

Črpanje plinov ali par iz vakuumske posode z njihovo kondenzacijo in sorpcijo na hladnih površinah imenujemo kriočrpanje ("kryos" v grščini pomeni zamrznjen). Površine hladimo bodisi s tekočim freonom, dušikom ali helijem. Bistvo hladilnih procesov so termodinamske krožne spremembe. Hladilni cikel je sestavljen iz komprimiranja plina in odvajanja toplote, ki pri tem nastane. Toploto odvajamo s hladilno vodo ter hitro ekspanzijo ohlajenega helija, ki povzroči še dodatno ohlajitev le-tega. Sodobne kriočrpalke uporabljajo za ohlajanje zaprt helijev eno- ali večstopenjski hladilni kompresorski sistem.

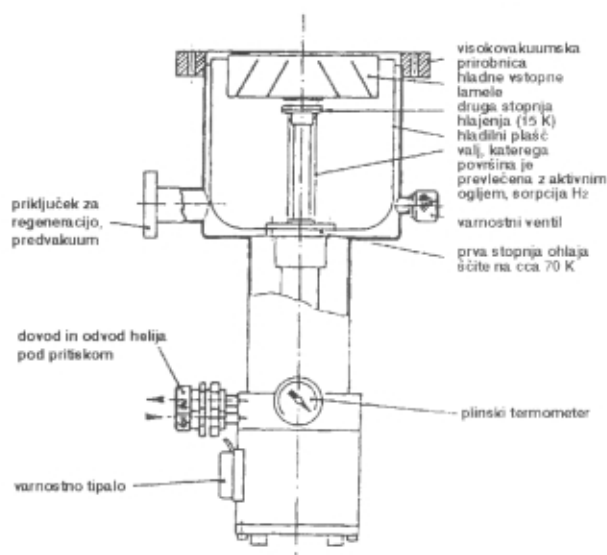
Pri večini kriočrpalke ima hladilna glava najmanj dve hladilni stopnji. Prva je ohlajena na temperaturo med 50 in 75 K in porablja 5 do 7 W hladilne moči. Druga stopnja je ohlajena na približno 10 K in porablja 1 do 2 W hladilne moči. Na prvi stopnji se črpajo vodne pare, dušik, kisik in argon, na drugi pa poteka kriosorpcija vodika in helija (hladilna površina je prevlečena z aktivnim ogljem).

V kompresorju kriočrpalke hladilni medij (npr. helij) najprej stisnemo na tlak približno 20 bar. Zaradi stiskanja se plin segreje, zato ga je treba ohladiti (npr. s tekočo vodo). Stisnjen in ohlajen helij vodimo po cevi do hladilne glave, kjer se helij hipoma razširi (ekspanzija) na tlak 5 bar, zato se glava močno ohladi. Sistem za izmenjavo toplote doseže na hladnem koncu druge stopnje hladilne glave temperaturo 10 K, medtem ko je helij na vstopni strani na sobni temperaturi. Po ekspanziji teče helij po drugi cevi nazaj v kompresor. Hladilni cikel se na tak način ponavlja. Posebej moramo poskrbeti za zaščito najhladnejšega dela črpalke pred sevanjem iz okolice.

Preden vklopimo kriočrpalke moramo vakuumsko posodo in kriočrpalke izčrpati z rotacijsko črpalke. Kriočrpalke v zelo kratkem času (v nekaj minutah) izčrpa relativno velike volumne do tlaka 10^{-7} mbar. Najprimernejše vakuumske območje kriočrpalke je 10^{-3} do 10^{-8} mbar. Črpalna hitrost kriočrpalke je sorazmerna hlajeni površini črpalke in količini plinov, ki so predhodno kondenzirali na njeni površini (kondenzirani plini predstavljajo izolacijsko oblogo). Črpalna hitrost je za različne pline različna. Pri izbrani velikosti črpalke je hitrost črpanja za vodno paro 4000 l/s, za argon 1400 l/s, za vodik 2300 l/s in 1500 l/s za dušik.

Po črpanju s kriočrpalke ostanejo izčrpani plini ujeti na njenih hladnih površinah. Kriočrpalke ima pri določenem tlaku specifično črpalno kapaciteto za določen

plin. Primer: za kriočrpalke s premerom 100 cm je pri tlaku 10^{-6} mbar črpalna kapaciteta za argon 10 000 standardnih litrov (standardni liter je količina plina pri atomosferskem tlaku in temperaturi 0°C), 27500 st. litrov za vodne pare in 300 st. litrov za vodik. Črpalna kapaciteta kriočrpalke je veliko večja za pline, ki kondenzirajo, kot za tiste, ki kriosorbirajo (npr. vodik). Črpalno kapaciteto kriočrpalke zato določa prav črpanje lahkih plinov. Ko je črpalna kapaciteta za enega od plinov dosežena, je treba kriočrpalke regenerirati tj. ustaviti in ogreti na sobno temperaturo ter regenerirati z rotacijsko črpalke.



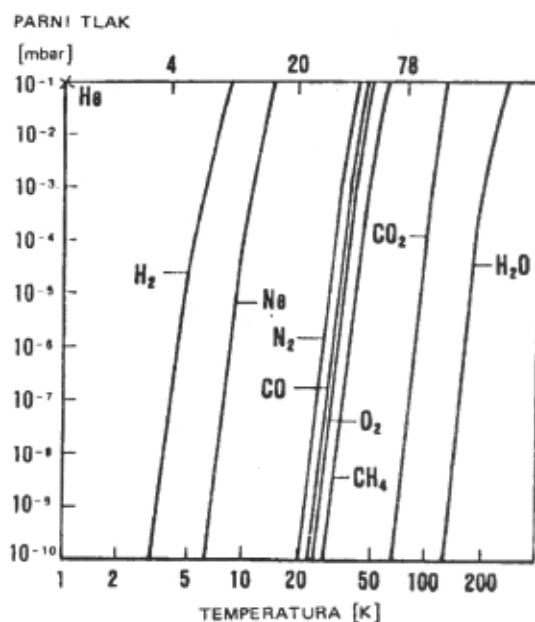
Slika 1: Shema kriočrpalke

Kriočrpalke ne smemo nikoli uporabiti za črpanje eksplozivnih, korozivnih ali toksičnih plinov, ker se akumulirajo v črpalke. V kriočrpalke je predvakuum potreben le za zagon in regeneracijo, ne pa tudi med črpanjem, saj črpalke vse pline veže na svoje stene. Pri segrevanju pa moramo biti pazljivi, ker plini ekspandirajo. V ta namen je vgrajen varnostni ventil. Posebej moramo biti previdni, kadar med plini prevladuje vodik, ki je v zmesi s kisikom eksploziven.

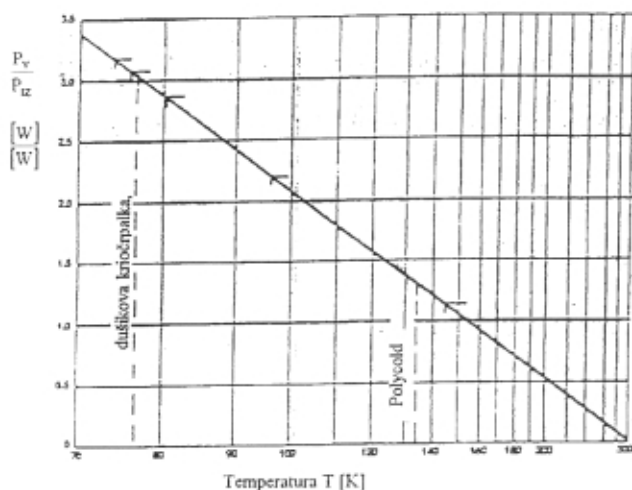
Pri črpanju s kriočrpalke imamo težave tudi z oljnimi parami, ki kondenzirajo na hladilnih rebrih, ker jih je med regeneracijo težko odstraniti.

Kriočrpalke uporabljamo predvsem za pridobivanje čistih vakuumskih razmer (npr. za proizvodnjo vakuumskih tankih plasti, ionsko implantacijo).

Površine kriočrpalke ni treba hladiti na temperaturo, ki ni neobhodno potrebna, ker pri hlajenju na zelo nizke temperature dramatično naraste poraba električne



Slika 2: Parni tlak nekaterih plinov in vodne pare v odvisnosti od temperature [1]



Slika 3: Temperaturna odvisnost Carnotove (teoretične) moči

energije (slika 3). Tako npr. pri temperaturi hladilnih površin 130 K odstranimo 98% vodnih par, kar ustreza delnemu tlaku 10^{-8} mbar. Pri tej temperaturi je teoretično izračunano Carnotovo razmerje moči 1,38 (1,38 W vhodne moči na 1W hlajenja). Pri temperaturi tekočega dušika (77 K) je to razmerje 3,03 oz. 2,2-krat večje.

Za dosego tlakov v območju od 10^{-5} do 10^{-8} mbar je optimalna temperatura med -113 in -143°C (160-130 K). Kriočrpanje vodnih par je pri tem optimalno.

Med delovnim procesom, ki poteka v vakuumski posodi, se moramo izogniti segrevanju hladilnih spiral oz. panelov. Za normalno delovanje večine kriočrpalk je lahko najvišja temperatura toplotnega izvira v vakuumskem sistemu med 50 in 100°C . V napravah za nanos vakuumskih tankih plasti ta pogoj pogosto ni

izpolnjen. Glavni vir toplotne obremenitve kriočrpalk je sevanje, ki narašča s četrto potenco temperature toplotnega izvira. Hladilni paneli kriočrpalk morajo biti elektropolirani, da v čim večji meri odbijejo vpadlo sevanje. Vendar takoj, ko se na njihovi površini kondenzirajo vodne pare, dobi le-ta karakteristike površine črnega telesa, ki intenzivno absorbira sevanje. Pomagamo si lahko tako, da pred vhod kriočrpalk namestimo vodno hlajen ščit, ki pa znatno zmanjša črpalno hitrost.

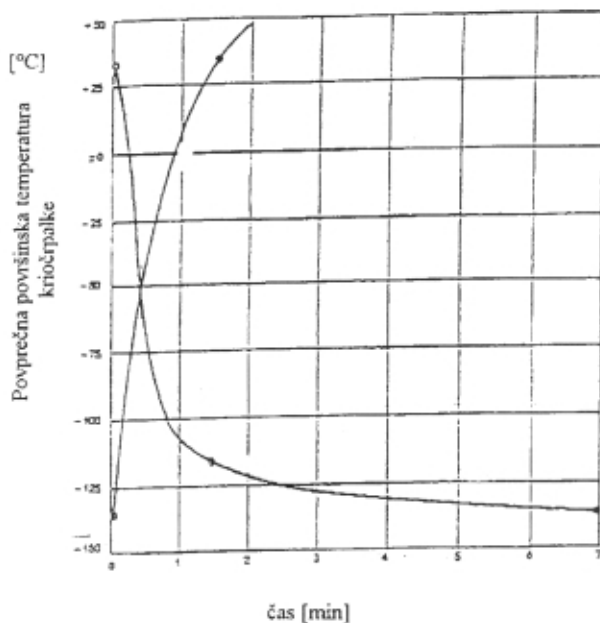
Helijeve kriočrpalk delujejo pri visokem vakuumu relativno dolgo časa. Hitra regeneracija helijevih kriočrpalk pa ni možna. Značilen čas, potreben za segrevanje oz. ohlajanje, je nekaj ur. Zato so kriočrpalk ločene od vakuumске posode z ventilom, ki ga med odpiranjem vakuumске posode zapremo. Ventili in hladilni ščit bistveno zmanjšajo črpalno hitrost, delovanje kriočrpalk pa je nemoteno. Regeneracijo črpalk opravimo samo občasno.

Opis delovanja kriočrpalk Polycold /3/

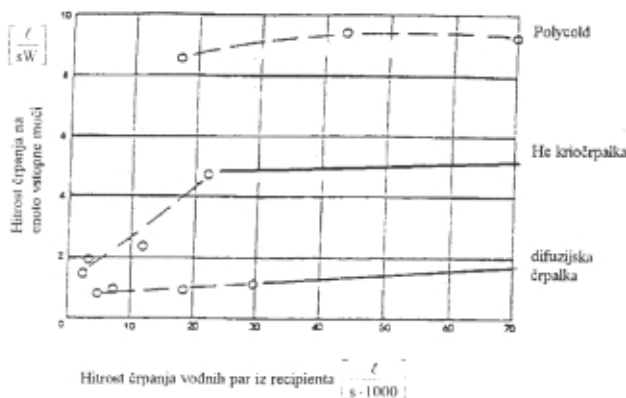
Omejtvam konvencionalnih kriočrpalk se v veliki meri izognemo s kriočrpalko Polycold (Polycold fast cycle - PFC), ki so jih razvili v podjetju Polycold. Površino spiral ali panelov (le-te se lahko poljubno oblikuje in prilagodi zahtevam uporabnika), ki jih namestimo v vakuumsko posodo, ohladimo na temperaturo, ki je nekoliko višja od temperature prve stopnje helijeve kriočrpalk, vendar dovolj nizka, da učinkovito črpa vodne pare. Pri nekoliko višji temperaturi hladilnih spiral je vpliv termičnega segrevanja iz vakuumске posode (npr. izviri za naprevanje) manjši, ker je hladilna kapaciteta črpalk veliko večja. Vendar pa z njimi ni mogoče črpati ogljikovega dioksida, argona in freonov z nizkim vreliščem.

Potem ko na plošči (ali hladilnih spiralah) nastane led, se toplotna prevodnost na hladilno površino zelo zmanjša. Zato moramo led občasno (npr. po končanem nanosu tankih plasti) odtaliti s segrevanjem. Hladilne spirale je treba segreti na sobno temperaturo, preden odpremo vakuumsko posodo, da preprečimo kondenzacijo zračne vlage na njih. Cikel ohlajanja in segrevanja mora biti čim krajši. Značilni časi segrevanja in ohlajanja so prikazani na sliki 2. Za ohlajanje spiral s 30°C na -110°C potrebujemo manj kot 90 s in sedem minut za ohladitev na optimalno temperaturo -140°C . Za segrevanje spiral na $+35^{\circ}\text{C}$ pred odpiranjem vakuumске posode potrebujemo 90 s. Tako velike hitrosti dosežemo le, če imajo hladilne površine majhno maso oz. majhno toplotno kapaciteto. S kriočrpalkami Polycold lahko začnemo črpati pri atmosferskem tlaku, vendar to zaradi omejene črpalne kapacitete črpalk ni primerno. Primernejši tlak za vklop črpalk Polycold je med 1 in 5 mbar. Na tak način lahko bistveno skrajšamo čas črpanja, ki je potreben za dosego grobega in visokega vakuuma. Črpalke te vrste lahko uporabimo kot dopolnilo k drugim vakuumskim črpalkam (rotacijski, Rootsovi, difuzijski, turbomolekularni). Omenjene črpalke si sledijo v naslednjem zaporedju:

- rotacijska črpalka z zaporno loputo
- Rootsova osmičasta črpalka
- difuzijska oljna črpalka in
- PFC-črpalka



Slika 4: Značilne hitrosti ohlajanja in segrevanja črpalke Polycold



Slika 5: Razmerje med hitrostjo črpanja vodnih par in električno močjo, potrebno za črpanje s kriočrpalke Polycold, helijevo kriočrpalke in difuzijsko črpalke

Značilna črpalna hitrost kriopanela je približno 10 l/scm². Polycold izdeluje kriočrpalke z črpalnimi hitrostmi od 7500 do 70 000 l/s. Za zamrznitev 1 kg vodnih par na uro potrebujemo 780 W električne moči oz. 11 kg tekočega dušika za zamrznitev 1 kg vodnih par. Na sliki 3 je prikazano razmerje med hitrostjo črpanja vodnih par in električno močjo, potrebno za črpanje kriočrpalke Polycold, helijevo kriočrpalke in difuzijske črpalke. Vidimo, da ima kriočrpalke Polycold več kot dvakrat večjo hitrost črpanja kot dvostopenjska helijevo kriočrpalke. V splošnem velja, da z uporabo PFC-črpalke črpalni čas skrajšamo za približno 75%.

Bistvo krioplošč (kriopanelov) oz. kriospiral so velike hladilne površine, na katerih kondenzira vodna para. Hladimo jih s tekočim dušikom (-196°C) ali drugim hladilnim sredstvom na temperaturo približno -150°C. Pri tako nizkih temperaturah je ravnotežni tlak vodnih

par zelo majhen (tabela 1). Ravnotežni tlak par nekega plina je delni tlak le-tega. Pri ravnotežnem tlaku je število molekul oz. atomov, ki izparijo s površine, enako številu atomov oz. molekul, ki se absorbirajo na njej. Ta tlak imenujemo tudi nasičeni parni tlak. Če je namreč ta tlak višji od nasičenega, potem del pare kondenzira. V zraku je vedno (razen če zrak pripravljamo posebej) neka množina vode v obliki pare, ki jo podajamo z delnim (parcialnim) tlakom ali z množino vodne pare v 1 m³. Vodne pare je toliko, da lahko koncentracijo drugih plinov (npr. dušik, kisik) zanemarimo. Privzamemo lahko, da je skupni tlak kar enak delnemu tlaku vodne pare.

Pri določeni temperaturi je lahko v zraku samo točno določena maksimalna množina vodne pare (nasičen parni tlak p_{max}). Delni tlak vodne pare je v splošnem manjši od nasičenega. Razmerje obeh tlakov je podano z relativno vlažnostjo:

$$v_r = \text{relativna vlažnost} = (p/p_{\text{max}}) \cdot 100(\%)$$

$$p = \text{parcialni tlak vodne pare pri določeni temperaturi, ko nasičenje ni doseženo}$$

Nasičeni parni tlak je torej odvisen od temperature. Pri izbrani temperaturi izpari z enote površine vode ali ledu v časovni enoti enaka količina vodne pare, kot se je na isti površini kondenzira. Če želimo množino vodne pare v mešanici plinov zmanjšati, moramo mešanico ohladiti, da se para kondenzira.

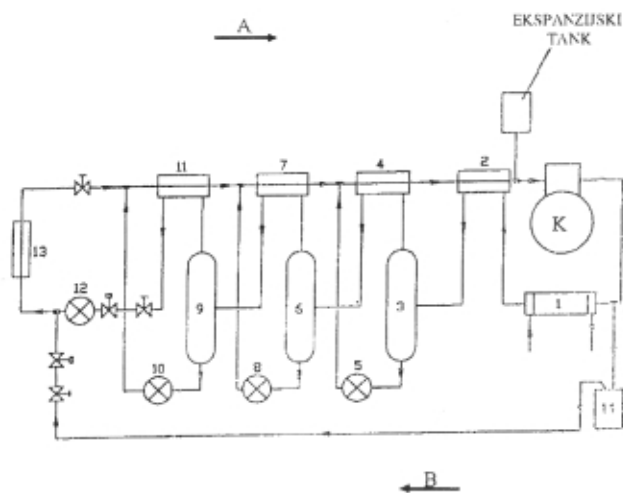
Tabela 1: Ravnotežni parni tlak vodne pare pri različnih temperaturah

Temperatura (°C)	Parni tlak [mbar]
-183	1,86 · 10 ⁻²²
-100	1,46 · 10 ⁻⁵
0	6,09
20	23,38
50	123,35
100	1013,33
250	39,76 · 10 ³

Opis naprave Polycold, ki jo uporabljajo v podjetju Saturnus Avtooprema, d.d. /4/

V tovarni SATURNUS uporabljajo v obratu ASTRA dve črpalke Polycold. Vgrajeni sta na izhodu dveh difuzijskih črpalke vakuumskega naporjevalnika "META". Črpalke kondenzirata pare iz vakuumske posode in preprečujeta povratni tok oljnih par iz difuzijske črpalke v vakuumsko posodo. Sistem ohlaja dve kapi v difuzijski črpalke.

Bistvo črpalke Polycold so hladilne spirale, ohlajene na temperaturo med -40 °C in -160 °C. Hladilni medij je mešanica halogeniranih ogljikovodikov, ki imajo široko območje vrelišč, in plina z nizkim vreliščem. Taka mešanica vre ali kondenzira v širokem temperaturnem območju. Takšna karakteristika hladilnega plina omogoča parcialno kondenzacijo in destilacijo, ki sta potrebni za učinkovito operacijo ohlajevanja.



Slika 6: Shema PFC naprave (1-kondenzator, 2-pomožni kondenzator, 3,6,9-fazni ločevalniki, 4,7,11-kaskadni kondenzatorji, 5,8,10,12-dušilne (ekspanzijske) naprave, 13-končna ohlajevalna površina v vakuumski posodi (Meissnerjev zvitek), 14-ločevalnik v toplem dovodu, K-kompresor)

Shema PFC-naprave je prikazana na sliki 4. Naprava ima vrsto zaporednih hladilnih enot (kaskad), ki vsaka s svojim medijem in svojim kompresorjem daje določen ΔT k skupnemu padcu temperature. Hladilni mediji teh samostojnih enot vrejo pri skoraj konstantnih temperaturah pri odgovarjajočih pritiskih. V kompresor priteka stalno samo parna faza iz smeri A. Komprimirani fluid v kondenzatorju 1, ki ga hladimo z vodo iz omrežja, delno kondenzira. Delno kondenzirani fluid vodimo v pomožni kondenzator 2, kjer se še en del fluida dodatno kondenzira. Ta kondenzator oblivamo s povratnim tokom parnega hladnega fluida. Delno kondenzirani (dvofazni) fluid vodimo v fazni ločevalnik 3. V tej napravi se ločita parna in kapljevinska faza. Parna faza se usmeri skozi kondenzator 4, kapljevinska faza pa v ekspanzijsko napravo 5. Po ekspanziji kapljevina v parni fazi teče skozi kondenzator 4 in se ohlaja ter kondenzira parno fazo, ki je dospela v kondenzator 4 iz faznega ločevalnika. Na tem mestu se spomnimo, da je ekspanzija fluida povezana z ohlajevanjem (Joule-Thomsonov efekt). Pri omenjenem postopku fluid ponovno ohladimo za določeno ΔT_3 (ΔT_1 je ohladitev v kondenzatorju 1 z vodo iz vodovodnega omrežja, ΔT_2 je ohladitev fluida s pomožnim kondenzatorjem 2). Iz kondenzatorja 4 teče dvofazni fluid v fazni ločevalnik 6. Opisani postopek se ponovi. Prav tako se postopek ponovi s fluidom iz kondenzatorja 7. Iz kondenzatorja 11 teče fluid v zadnjo ekspanzijsko napravo 12, od koder ekspandira v Meissnerjev hladilni zvitek 13 v vakuumski posodi za napajevanje. Ekspanzija iz ekspanzijske naprave 12 v Meissnerjev hladilni zvitek 13 je ohlajevanje zadnje stopnje, kjer hladilni fluid doseže najnižjo temperaturo, to je tisto, pri kateri s to kriočrpalko kondenziramo vodne pare iz vakuumске posode za napajevanje.

Sistem, ki smo ga opisali, je sestavljen iz enot z naslednjimi temperaturnimi padci:

- ΔT_1 – ohladitev z vodo v izmenjevalniku 1 (kondenzatorju 1)
- ΔT_2 – ohladitev v pomožnem kondenzatorju 2
- ΔT_3 – ohladitev v kondenzatorju 4
- ΔT_4 – ohladitev v kondenzatorju 7
- ΔT_5 – ohladitev v kondenzatorju 11
- ΔT_6 – ohladitev v Meissnerjevi hladilni cevi v vakuumski posodi.

Celotna sprememba temperature (ΔT) je vsota parcialnih sprememb:

$$\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 + \Delta T_4 + \Delta T_5 + \Delta T_6$$

Na hladni površini Meissnerjeve cevi se kondenzirajo vodne pare v obliki ledu. Da bi lahko učinkovito kondenzirali vodno paro, v naslednjem ciklu (tj. po končanem napajevanju) led odtalimo. Tanka plast ledu ovira učinkovito ohlajevanje. Odtalimo ga tako, da fluida po kompresiji (ko je vroč) ne vodimo skozi kondenzator 1, ampak v Meissnerjev zvitek, iz katerega odtalimo led. Ogreti fluid vodimo v smeri B iz kompresorja skozi separator v toplem vodu v Meissnerjev zvitek. Topli fluid se vključi v celotni krog skozi kondenzatorje 11,7,4 in 2 ter dalje v kompresor.

V tabeli 2 so na desni strani (stolpec pod 0,0%) podane ravnotežne temperature za delne tlake vodnih par na levi strani. Zgledi:

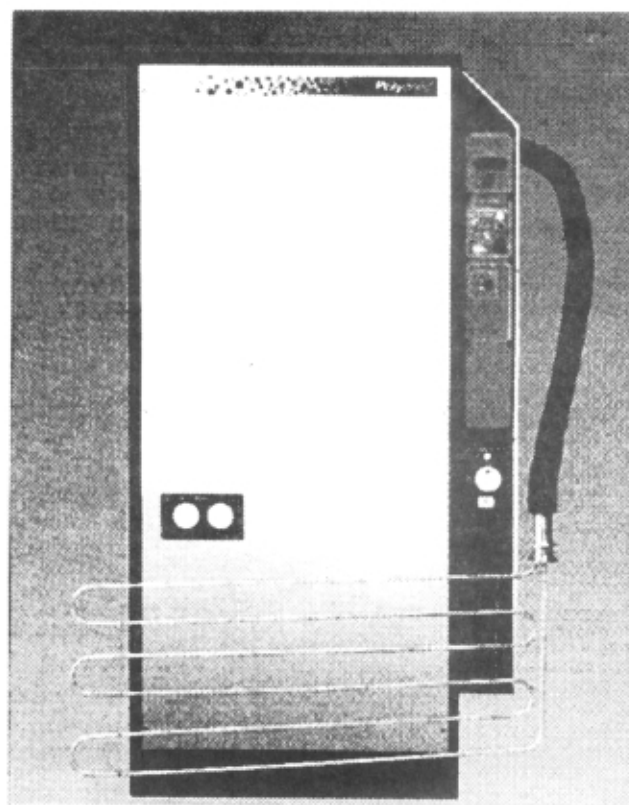
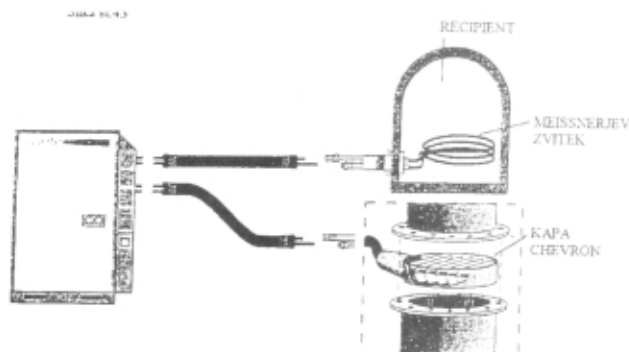
- Pri temperaturi plinske mešanice $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ je ravnotežni tlak vodnih par 7 mbar. To pomeni, če ohranjamo led (vodo) pri $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, ne bomo iz skupne plinske mešanice izločili nič vodnih par. Če vodne pare s tlakom 7 mbar ohladimo na $-25,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, jih bomo izločili (kondenzirali) kar 90%. Če plinsko mešanico ohladimo na $-32,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ izločimo 95% vodnih par, pri $-40,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ pa kar 98%.
- Poglejmo še razmere pri delnem tlaku vodnih par 10^{-4} mbar, pri katerem poteka napajevanje Al. Pri $-88,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ je tlak vodnih par 10^{-4} mbar in pri tej temperaturi ne izločimo vodnih par. Če mešanico ohladimo na $-101,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, izločimo 90% par, pri $-104,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 95% in pri $-109,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ kar 98% par.
- Poglejmo še zadnjo vrsto. Če pri vakuumu 10^{-9} mbar plinsko mešanico v vakuumski posodi ohladimo na $-148,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, kar s PFC ne pomeni nobene težave, lahko torej izčrpamo 98% vodnih par.

S kriočrpalkami, kot sta "helijeva" in "dušikova", pa se lahko približamo tudi 100% kondenzaciji vodnih hlapov, vendar na zelo neekonomičen način.

Od preostalih plinov v vakuumski posodi pri 10^{-4} mbar, kjer poteka napajevanje, so vodne pare poleg kisika glavni kontaminator. V prisotnosti znatnejših količin vodnih par se zato te vgrajujejo v Al-plast (ko nastaja) in povzročajo specifične kristalne pretvorbe, ki povzročajo izdatne notranje napetosti Al-plasti.

Tabela 2: Ohlajevalne temperature PFC-črpalk

Tlak [mbar]	Temperature, pri katerih zamrzne 0, 90, 95 in 98% vodne pare [°C]			
	0,0 [%]	90 [%]	95 [%]	98 [%]
7	+1,0	-25,4	-32,3	-40,8
3	-9,7	-34,4	-40,8	-48,7
1	-17,3	-40,8	-46,8	-54,3
7×10^{-1}	-24,5	-46,8	-52,6	-59,7
3×10^{-1}	-33,4	-54,3	-59,7	-66,4
1×10^{-1}	-39,7	-59,7	-64,8	-71,2
7×10^{-2}	-45,6	-64,8	-69,7	-75,8
3×10^{-2}	-53,1	-71,2	-75,8	-81,5
1×10^{-2}	-58,4	-75,8	-80,1	-85,6
7×10^{-3}	-63,5	-80,1	-84,3	-89,6
2×10^{-3}	-69,9	-85,6	-89,6	-94,6
1×10^{-3}	-74,4	-89,6	-93,4	-98,2
7×10^{-4}	-78,8	-93,4	-97,0	-101,6
3×10^{-4}	-84,3	-98,2	-101,6	-106,0
1×10^{-4}	-88,2	-101,2	-104,9	-109,1
7×10^{-5}	-92,0	-104,9	-108,1	-112,2
3×10^{-5}	-96,8	-109,1	-112,2	-116,0
1×10^{-5}	-100,3	-112,2	-115,1	-118,8
7×10^{-6}	-103,6	-115,1	-117,9	-121,5
3×10^{-6}	-107,8	-118,1	-121,5	-125,0
1×10^{-6}	-110,8	-121,5	-124,1	-127,5
7×10^{-7}	-113,8	-124,1	-126,7	-129,9
3×10^{-7}	-117,5	-127,5	-129,9	-132,2
1×10^{-7}	-120,2	-129,9	-132,2	-135,2
7×10^{-8}	-122,8	-132,2	-134,5	-137,3
3×10^{-8}	-126,2	-135,2	-137,3	-140,1
1×10^{-8}	-128,6	-137,2	-139,5	-142,1
7×10^{-9}	-131,0	-139,5	-141,5	-144,1
3×10^{-9}	-133,9	-142,1	-144,1	-146,6
1×10^{-9}	-136,1	-144,1	-146,0	-148,4



Slika 7: Črpalka Polycold, ki je vgrajena v naparjevalnik "META"

- zunanji premer zvitka 16 mm
- pretok hladilne vode pri 30 °C 54 l/min
- instalirana moč 12,5 kW
- temperatura ohlajevanja -100 do -150 °C

Osnovne karakteristike črpalke Polycold 1100 ST

- maksimalna obremenitev 2 500 W (ohlajevanje)
- teoretična maksimalna hitrost črpanja 149 000 l/s
- končni delovni tlak $1 \cdot 10^{-9}$ mbar
- količina ledu 3,4 kg
- maksimalni pritisk za začetek delovanja 1 atm
- čas odtaljevanja 4 min
- čas za začetek kondenzacije 2,5 min
- površina hladilnega zvitka 1 m^2
- dolžina zvitka 20 m

Literatura

- /1/ A. Banovec, Vakuumist 17, 1989, 4
- /2/ J. Gasperič, Vakuumist 15/2, 1995, 23-24
- /3/ D.J. Missimer, Photonics Spectra, Feb. 1984
- /4/ T. Kralj, Tehnična dokumentacija, Saturnus Avtooprema, 1999
- /5/ Osnove vakuumske tehnike, pog. 6, DVTS, 1984
- /6/ D.M. Matox, Handbook of physical vapour deposition (PVD) Processing, Noyes Publicat., Westwood, 1998

Dr. Teodor Kralj
Saturnus Avtooprema, d.d.
Letališka 11, 1000 Ljubljana

Dr. Peter Panjan
Institut "Jožef Stefan", Jamova 39, 1000 Ljubljana