

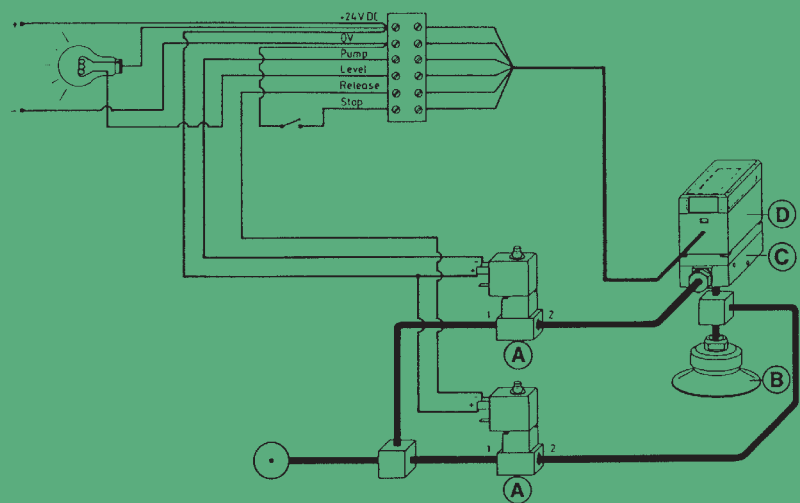


Tyhjiötekniikka — ejektorit —

Veli Hulkkonen

No 16

FLUID
Finland
1-2007



Ejektoreita käytetään etenkin imukuppien yhteydessä tarvittavan tyhjiön eli alipaineen kehittämiseen. Ejektoreissa tyhjiö kehitetään paineilman avulla. Ejektorit soveltuvat hyvin muun muassa pakkaus-, elintarvike-, juoma-, lasi-, puu- ja sähköteollisuudessa sileä ja kovapintaisten kappaleiden käsittelyyn – siirtämiseen, kääntämiseen, kuljettamiseen, pakkaamiseen, lajitte- luun jne.

Seuraavassa tarkastellaan

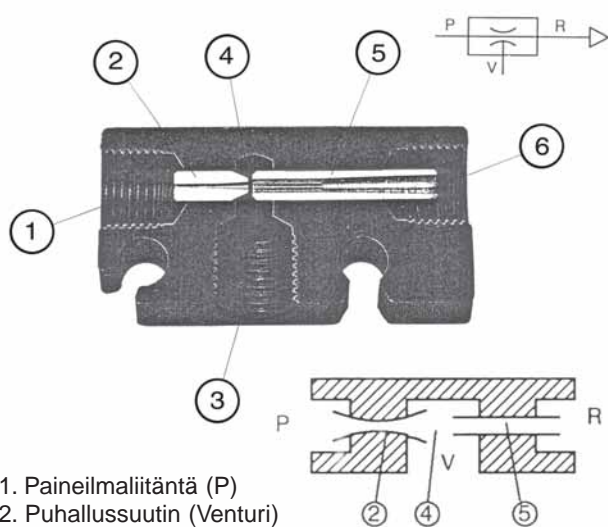
- ejektorien toimintaperiaatteita ja rakenteita
- ejektoreissa käytettäviä imukuppeja
- ejektorien kytkentäesimerkkejä
- ejektorin paine- ja ilmankulutuskäyriä
- ejektorien ja imukuppien valintaan vaikuttavia seikkoja

Toimintaperiaatteet ja rakenteet

Ejektoreiden toimintaperiaatteita ja rakenteita on esitetty kuvissa 1 ... 6.

Ejektorin pääosat, toimintaperiaate ja piirrosmerkki käyvät ilmi kuvasta 1.

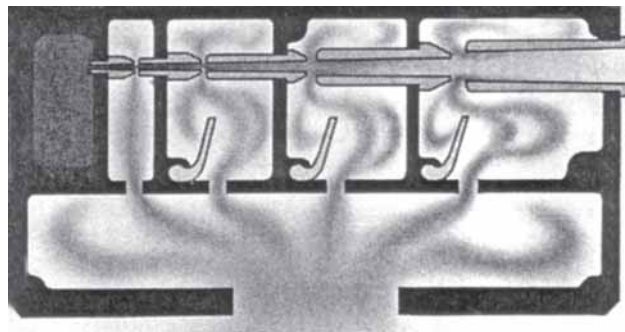
Kun paineilmaliihtäntään 1 (P) kytetään paine, ilma virtaa ejektorin läpi poistoilmaliihtäntään 6 (R). Venturi- suuttimen (2) ja vastaanottosuuttimen (5) välissä (4) ilmasuihku (vapaasuihku) saavuttaa yläääninopeuden. Tällöin vapaasuihku imee ilmaa mukaansa venturi- suuttimen ja vastaanottosuuttimen välisestä aukosta (4) saaden aikaan alipaineliitännän 3 (V) tyhjiön.



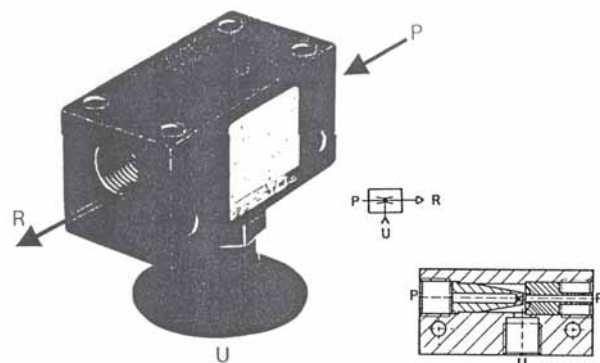
1. Paineilmaliihtäntä (P)
2. Puhallussuutin (Venturi)
3. Alipaineliitännä (V)
4. Vapaasuihku
5. Vastaanottosuutin
6. Poistoilmaliihtäntä (R)

Kuva 1. Ejektorin pääosat ja piirrosmerkki (Bosch).

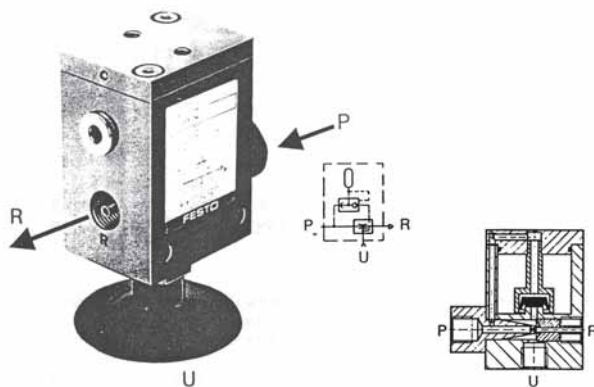
Suutinpareja voi olla myös useita peräkkäin (kuva 2) ja rinnakkain. Tavoitteena on päästä suurempaan lopputyhjiöön ja pumppausnopeuteen sekä parempaan hyötysuhteeseen.



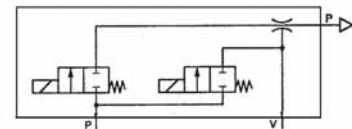
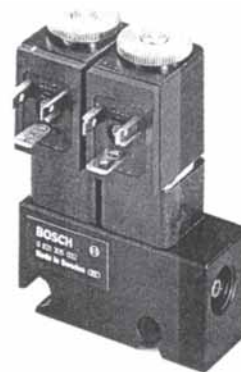
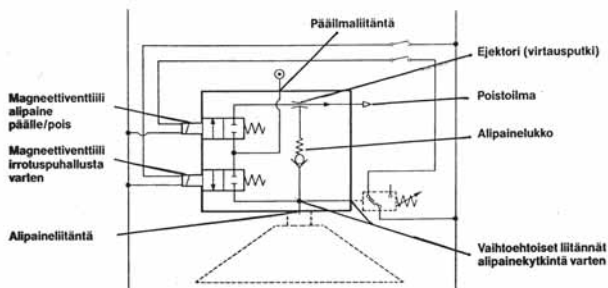
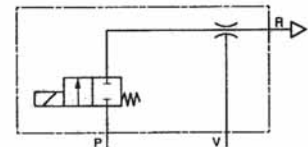
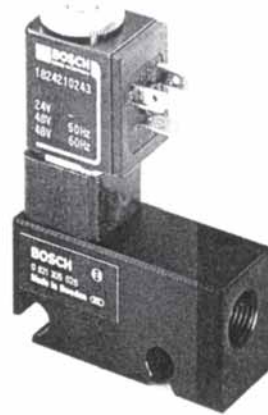
Kuva 2. Usealla suutinparilla varustettu ejektori (Piab).



Kuva 3. Ejektori. Imukuppiin muodostuu tyhjiö, kun se painetaan tiiviisti pintaa vasten ja aukkaan P kytetään paine (Festo).

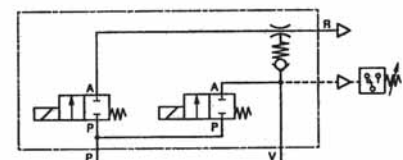


Kuva 4. Säiliöllä ja pikapoistoventtiilillä varustettu ejektori. Kun tulopaine (P) katkaistaan, säiliön paine purkautuu pikapoistoventtiilin kautta tyhjiötilaan, jolloin kappale irta- noa nopeasti (Festo).

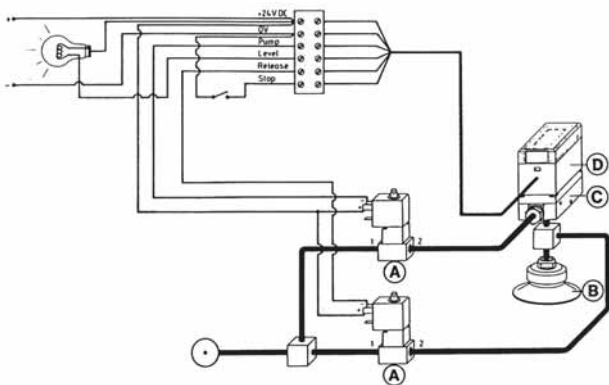


Kuva 5. Magneettiventtiileillä, alipainelukolla ja alipainekytkimellä varustettu ejektori (Autovac).

Ilmakuppiin muodostuu tyhjiö, kun se painetaan tiiviisti pintaa vasten ja ylemmälle magneettiventtiilille kytketään jännite. Kun haluttu tyhjiö on saavutettu, alipainekytin katkaisee jännitteen ylemmältä magneettiventtiililtä, jolloin venttiili sulkeutuu ja ilman kulutus lakkaa. Alipainelukko pitää imukupissa tyhjiön (alipaineen). Jos tyhjiön paine nousee yli säädetyn paineen, alipainekytin kytkee jännitteen uudelleen. Irrotuspuhallus tapahtuu kytkemällä jännite alemmalle magneettiventtiilille.



Kuva 6. Tuloilman ohjauksella varustettu ejektori (ylinnä), tuloilman ohjauksella ja irrotuspuhalluksella varustettu ejektori (keskellä), sekä säätöautomaatiikalla varustettu ejektori (alhaalla) (Bosch).



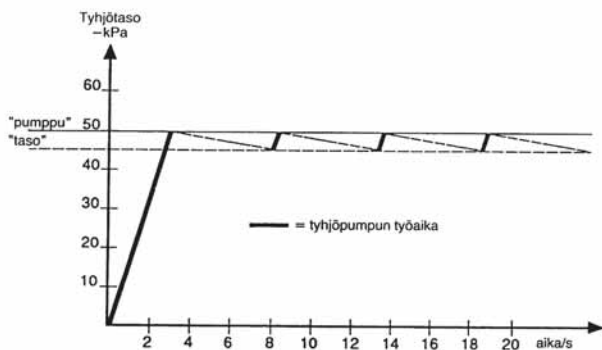
Kuva 7. Tyhjiönsäätöyksiköllä varustettu ejektorin. A venttiili, B imukuppi, C ejektorin, D tyhjiönsäätöyksikkö (Piab).

Jännitteen kytkeytyessä ylempi venttiili (A) avautuu, jolloin ilma virtaa sen ja ejektorin (C) läpi. Kun haluttu tyhjiötaso on saavutettu, tyhjiönsäätöyksikkö (D) katkaisee jännitteen ja samalla virtauksen ejektorin läpi.

Mikäli vuodon takia tyhjiön paine nousee yli asetusarvon, tyhjiönsäätöyksikkö kytkee virran uudelleen Pump (Pumppu) -johtoon ja samalla ilmavirran ejektorin läpi. Näin tyhjiötilan paine pysyy säätöarvon alapuolella.

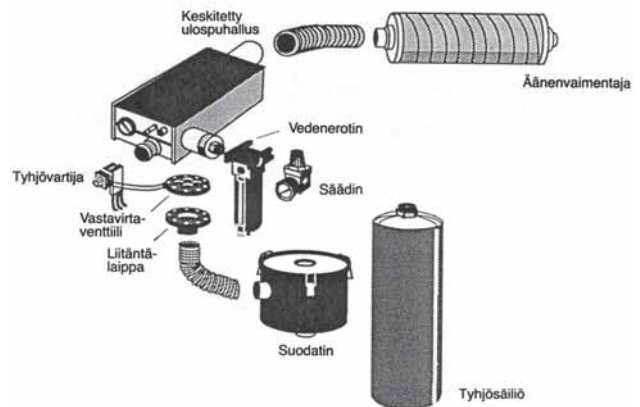
Kun tyhjiön tulee lakata, katkeaa virta Stop (Seis) -johdosta ja kytkeyty Release (Vapautus) johtoon. Tällöin alempi venttiili (A) päästää tyhjiötilaan ilmanpainesignaalin, joka irrottaa liikuteltavan kappaleen nopeasti imukupista (B).

Säätöyksikön päädyssä olevilla ruuveilla voidaan säätää tyhjiön painetaso ja puhallussignaalin pituus. Painetaso 0...80% ja puhallussignaalin pituus 0,2...2,0 s. Level (Taso) -johtoon voidaan kytkeä merkivalo, joka syttyy, kun 90 % halutusta tyhjiön tasosta on saavutettu. Tästä johdosta saadaan myös käynnistysignaali esimerkiksi automaattisesti tapahtuvaa toimintaa varten, kun tyhjiötilan paine on riittävän pieni.



Kuva 8. Tyhjiönsäätöyksiköllä varustetun ejektorin toiminta (Piab).

Kuva 8 esittää tyhjiönsäätöyksiköllä varustetun ejektorin (tyhjiöpumpun) toimintaa ja kuva 9 ejektorien kanssa käytettäviä erilaisia varusteita, joiden avulla varmistetaan ejektorin moitteeton toiminta.



Kuva 9. Ejektorin varusteita (Piab).

Imukupit

Tyhjiö- eli alipainetekniikkaan perustuvia imukuppeja käytetään etenkin silloin, kun käsiteltävä kappale

- on arka naarmuuntumaan
- ei magnetoidu
- taipuu herkästi
- on muodoltaan epäsäännöllinen
- on pinnaltaan epätasainen

Eri käyttökohteita varten valmistetaan hyvin monenlaisia imukuppeja, kuva 10.



Kuva 10. Erilaisia imukuppeja (Piab).

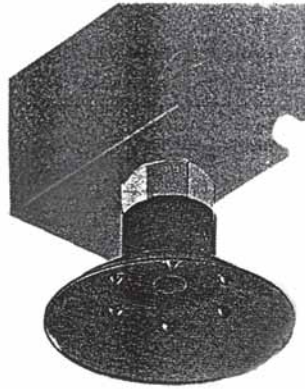
Keskeisiä imukuppeihin liittyviä seikkoja ovat niiden rakenteet, kiinnittimet ja materiaalit.

Rakenteet

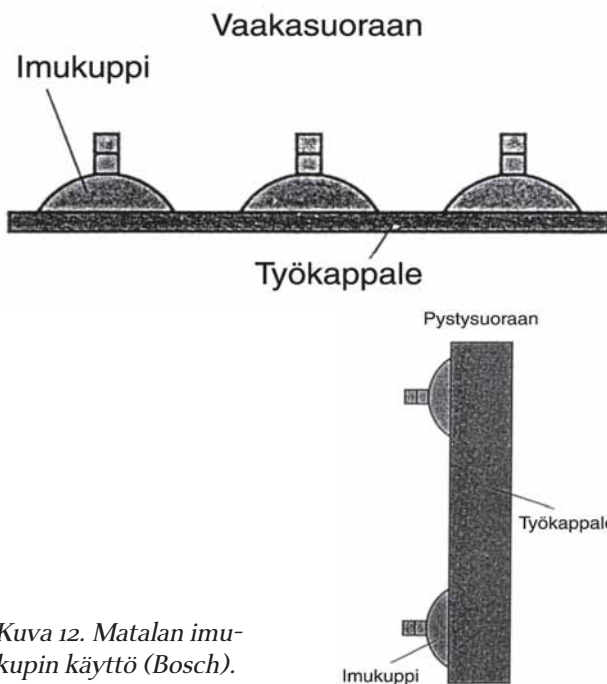
Imukupin rakenteen määrää pääasiassa käsiteltävän kappaleen pinnan laatu ja muoto. Eniten käytettyjä ovat erilaiset matalat, tuetut, syvät ja litteät imukupit sekä paljeimukupit.

Matalat imukupit

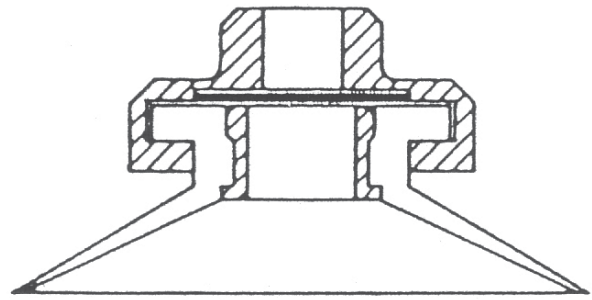
Matalia imukuppeja, kuvat 11 ... 15, voidaan käyttää sekä vaaka- että pystyasennossa olevien kappaleiden käsittelyyn. On huomattava, että pystyasennossa olevan kappaleen käsittelyssä imukupin pitovoima on pienempi kuin vaakasuorassa olevan kappaleen käsittelyssä.



Kuva 11. Matala imukuppi (Bosch).



Kuva 12. Matalan imukupin käyttö (Bosch).

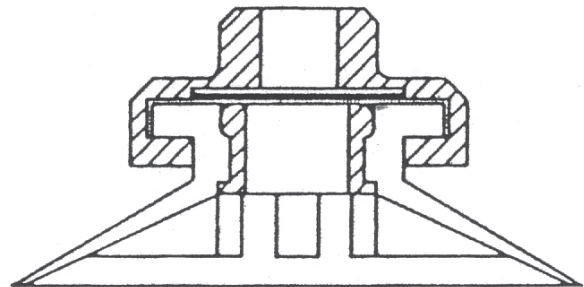


Kuva 13. Matala yleisimukuppi (Piab).

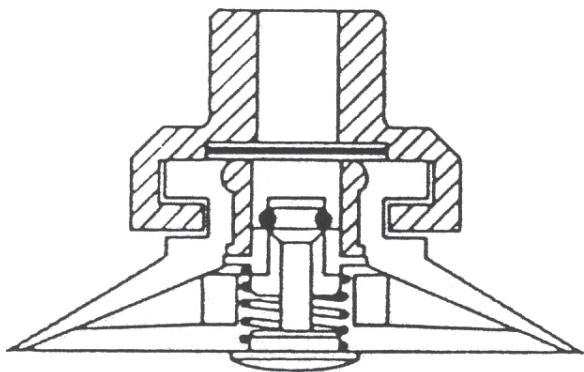
Matalat yleisimukupit, kuva 13, soveltuvat kiinteän ja muodoltaan melko tasaisen pinnan omaavien kappaleiden käsittelyyn.

Tuetut imukupit

Sisäpuolisilla tukirivoilla varustetut imukupit, kuva 14, soveltuvat myös huokoisten materiaalien käsittelyyn. Tukirivat vähentävät käsiteltävän kappaleen muodonmuutosta ja lisäävät kappaleen ja imukupin välistä kitkaa, joten tukirivoilla varustetut imukupit soveltuvat hyvin myös pystyasennossa olevan kappaleen käsittelyyn.



Kuva 14. Sisäpuolisilla tukirivoilla varustettu imukuppi (Piab).



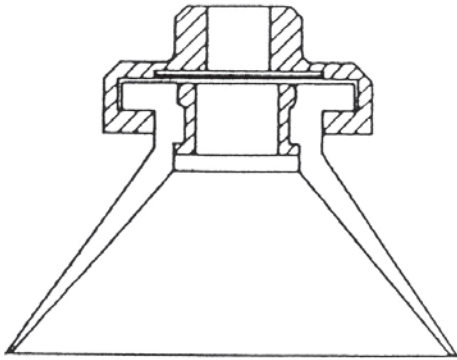
Kuva 15. Venttiilillä varustettu imukuppi (Piab).

Venttiili imukupissa

Venttiileillä varustettuja imukuppeja, kuva 15, käytetään eniten silloin, kun samaan tyhjiötilaan on kytketty useita imukuppeja. Venttiili avautuu, kun se painetaan kappaletta vasten. Tyhjiötilassa voi olla alipaine koko ajan. Venttiili vähentää ilman kulutusta ja nopeuttaa toimintaa sekä lisää työturvallisuutta.

Syvät imukupit

Syviä imukuppeja, kuva 16, tarvitaan, kun käsiteltävän kappaleen pinta on kaareva tai muodoltaan epätasainen. Syvät imukupit kykenevät nostamaan myös kulmista ja särmistä. Mikäli käsitellään pystyasennossa olevia kappaleita, on suotavaa käyttää nosto-ortta, jossa on useita imukuppeja.



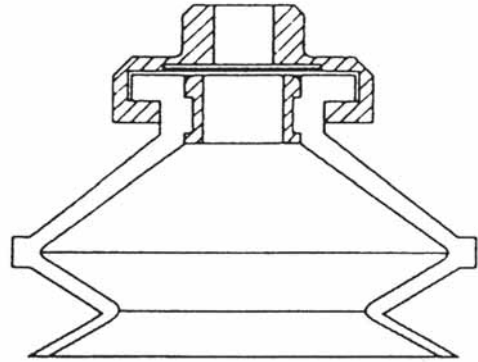
Kuva 16. Syvä imukuppi (Piab).



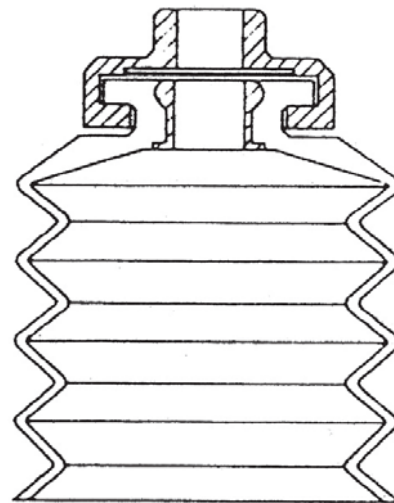
Kuva 17. Paljeimukuppi (Bosch).

Paljeimukupit

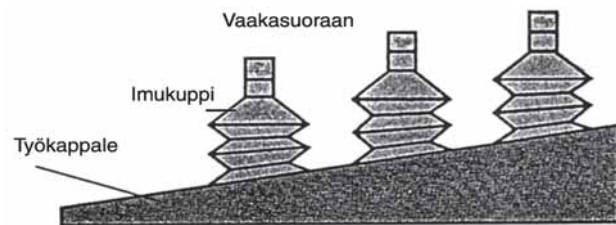
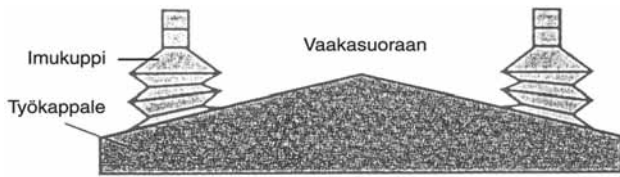
Paljeimukupit, kuvat 17 ... 20, mukautuvat hyvin pinnan muotoon. Niillä voidaan käsitellä kappaleita, joiden pinnassa on korkeuseroja tai pinta on kalteva tai muodoltaan epätasainen. Nostovaikutus syntyy jo imuvaiheessa. Palkeen pituudesta riippuu se, miten suuria pinnan korkeuserot, kaltevuudet ja epätasaisuudet voivat olla.



Kuva 18. Lyhytpalkeinen imukuppi (Piab).



Kuva 19. Pitkälakeinen imukuppi (Piab).

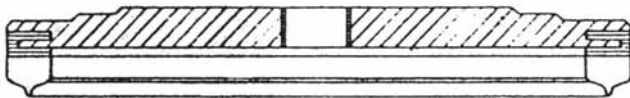


Kuva 20. Paljeimukuppien käyttöesimerkki (Bosch).

Litteät imukupit

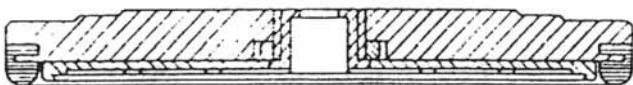
Litteistä imukupeista tarkastellaan seuraavassa solukumitiivisteistä ja pieniliikkeistä imukuppia.

Solukumitiivisteiset imukupit, kuva 21, soveltuvat karheille ja epätasaisille pinnoille, kuten betoni- ja kivilaatoille sekä rihlalevyille. Näitä imukuppeja on helppo valmistaa käsiteltävän kappaleen vaatimusten mukaan eri kokoisia ja muotoisia: pyöreitä, soikeita, nelikulmaisia jne.



Kuva 21. Solukumitiivisteinen imukuppi (Piab).

Pieniliikkeisissä imukupeissa, kuva 22, on säädettävä vaste, joka voidaan säätää siten, että nostettava kohde pysyy suorana. Nämä imukupit soveltuvat hyvin paperin, muovikalvojen ja muiden ohuiden materiaalien käsittelyyn. Pieni liike mahdollistaa tarkan asemoinnin.



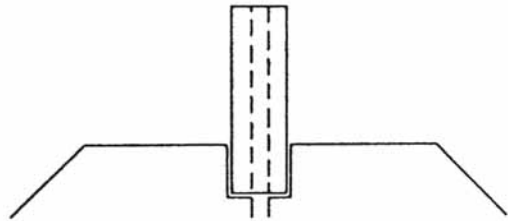
Kuva 22. Pieniliikkeinen imukuppi (Piab).

Kiinnittimet

Imukuppien yhteydessä käytettävät yleisimmät kiinnittimet ovat kiinteä kiinnitin, jousitettu kiinnitin ja nivelkiinnitin.

Kiinteä kiinnitin

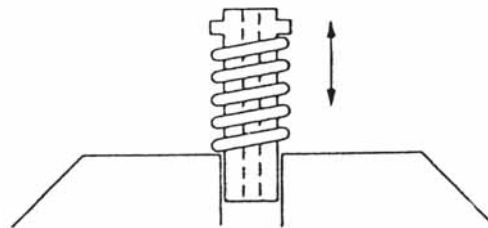
Kiinteitä kiinnittimiä, kuva 23, käytetään useimmiten käsiteltäessä pieniä ja kevyitä kappaleita, jotka eivät aiheuta imukuppiin kappaleen irrottavia taivutusmomenteja.



Kuva 23. Kiinteä kiinnitin (Piab).

Jousitettu kiinnitin

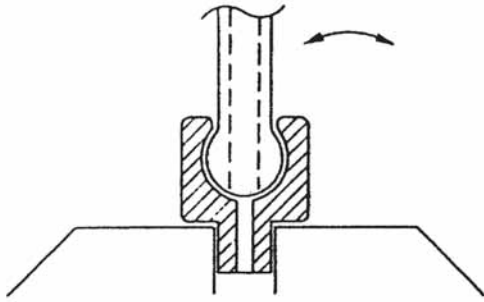
Jousitetut kiinnittimet, kuva 24, kompensoivat käsiteltävien kappaleiden kokoerot ja vähentävät käsittelylaitteiston, esimerkiksi robotin, tarkkuusvaatimuksia. Niitä käytetään muun muassa jäykkärunkoisissa nosto-orsissa. Jousi toimii myös vaimentimena.



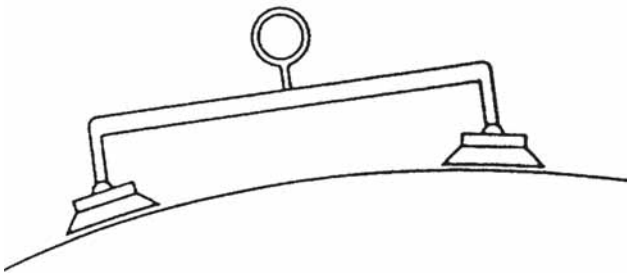
Kuva 24. Jousitettu kiinnitin (Piab).

Nivelkiinnitin

Nivelkiinnittimet, kuva 25, vähentävät imukuppiin kohdistuvia taivutusmomenteja, joita voivat aiheuttaa muun muassa nopeat kiihdytykset ja jarrutukset sekä epätasapainossa oleva kappale. Nosto-orsissa nivelkiinnittimet mukauttavat imukupit käsiteltävän kappaleen mukaan, kuva 26.



Kuva 25. Nivelkiinnitin (Piab).



Kuva 26. Nivelkiinnittimet nosto-orressa (Piab).

Materiaalit

Imukuppimateriaalin valintaan vaikuttavia seikkoja ovat muun muassa lämpötila sekä öljyn ja kulutuksen kestävyys. Yleisimmät imukuppien valmistusmateriaalit ovat silikonit, nitrilikumi, neopreeni ja EPDM. Näiden lisäksi imukuppeja valmistetaan myös erikoismateriaaleista.

Silikonit

Silikonilla on laaja käyttölämpötila-alue. Se kestää hyvin sekä korkeita että matalia lämpötiloja. Silikonit soveltuvat myös elintarvikkeiden käsittelyyn (FDA-hyväksyntä).

Nitrilikumi

Nitrilikumi kestää hyvin öljyjä, mutta huonosti vanhemista.

Neopreeni

Neopreeni kestää paljon kulutusta, mutta heikosti öljyjä.

EPDM

Myös EPDM kestää paljon kulutusta, mutta huonosti öljyjä.

Erikoismateriaalit

Erikoismateriaaleja tarvitaan yleensä erittäin vaikeita käyttöolosuhteita varten. Nämä materiaalit ovat useimmiten melko kalliita.

Kytkenäesimerkkejä

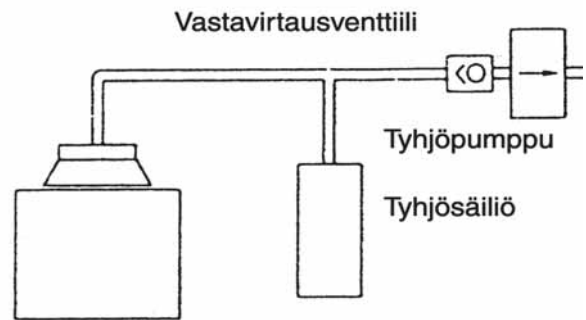
Ejektorien ja imukuppien erilaisilla kytkennöillä voidaan vaikuttaa muun muassa työturvallisuuteen, toimintavarmuuteen ja paineilman kulutukseen.

Työturvallisuus

Nostolaitteissa olevien alipainetarttujien osalta on noudatettava asianomaisessa standardissa (SFS 5422) olevia ohjeita.

Letkurikot

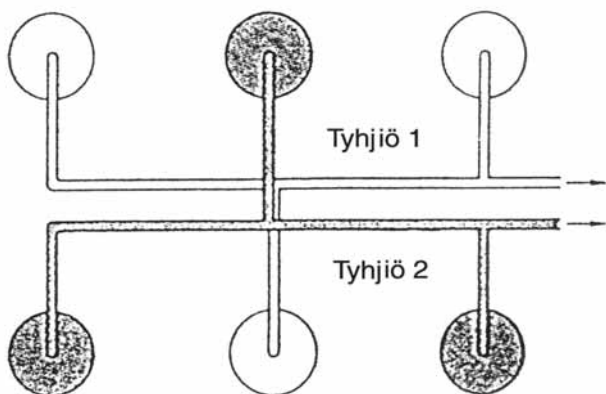
Mahdollisen letkurikon aiheuttama tai muusta syystä tapahtuva tyhjiön äkillinen häviäminen voidaan estää vastavirtaventtiilillä (vastaventtiili). Tämän lisäksi turvallisuutta voidaan vielä lisätä ylimääräisellä tyhjiösäiliöllä, kuva 27.



Kuva 27. Vastaventtiilillä ja tyhjiösäiliöllä varustettu tyhjiösystemi (Piab).

Kaksi tyhjiöpiiriä

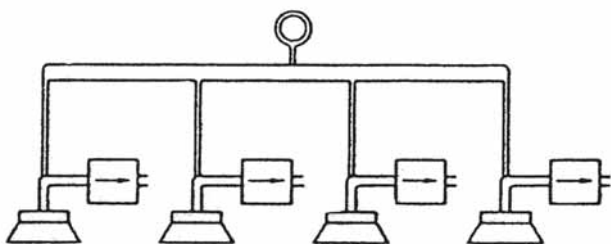
Turvallisuutta voidaan lisätä myös käyttämällä kahta erillistä tyhjiöpiiriä, joista kumpikin kykenee kantamaan kuorman riittäväällä varmuudella, kuva 28.



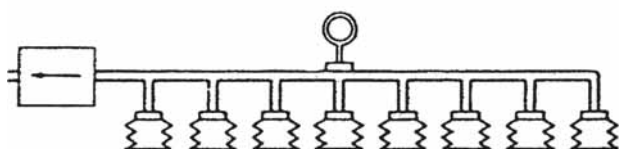
Kuva 28. Kahdella piirillä varustettu tyhjiösystemi (Piab).

Useita ejektoreita

Useita imukuppeja sisältävä nosto-orsi voidaan konstruoida joko niin, että jokainen imukuppi on varustettu omalla ejektorilla, kuva 29, tai niin, että systeemiin kuuluu vain yksi ejektor, joka kehittää tyhjiön jokaiseen imukuppiin, kuva 30.



Kuva 29. Jokainen imukuppi on varustettu omalla ejektorilla (Piab).

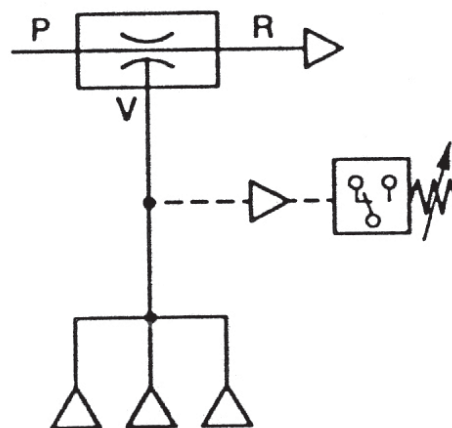


Kuva 30. Yhdellä ejektorilla varustettu tyhjiösystemi (Piab).

Käsiteltäessä raskaita kappaleita, jolloin mahdollinen tyhjiön katoaminen saattaa aiheuttaa merkittäviä laitevaurioita tai jopa henkilövahinkoja, on paras varustaa jokainen imukuppi omalla ejektorilla.

Valo- ja äänimerkit

Usein käytetään myös valo- tai äänimerkkiä, joka varottaa, mikäli tyhjiötilan paine ylittää asetetun arvon. Tyhjiöpaineen tunnistamiseen käytetään P/E-muunninta (alipainekytkin), kuva 31.



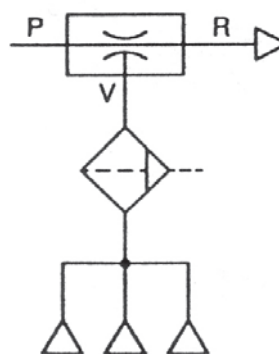
Kuva 31. P/E-muuntimella varustettu tyhjiöpiiri (Bosch).

Kuormanvartijat

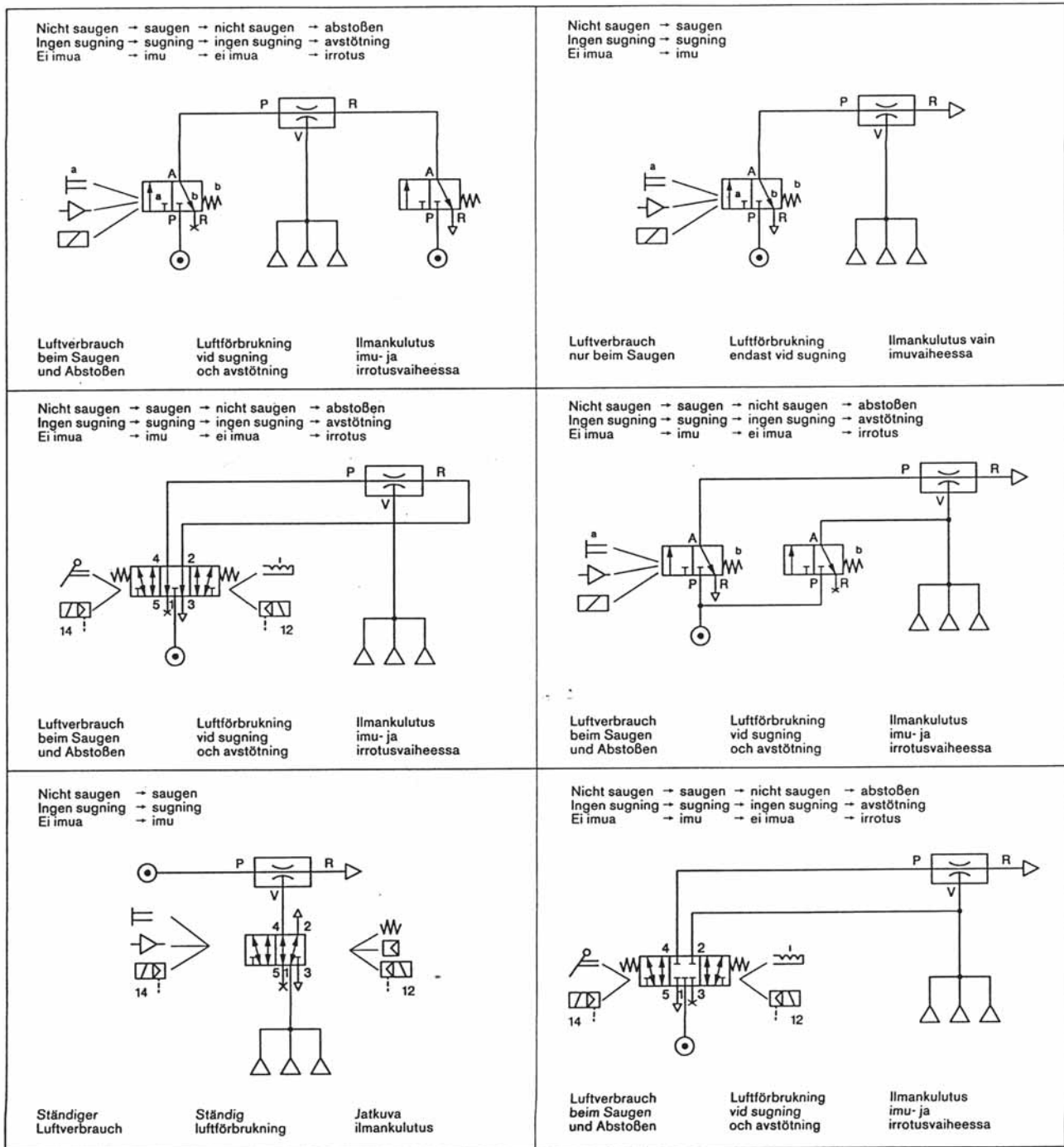
Nostolaitteen turvallisuutta voidaan parantaa varustamalla laite kuormanvartijalla, joka estää irrotuskytkennän noston ajaksi.

Toimintavarmuus

Koska tyhjiötilassa paine on pienempi kuin ilmakehän paine, saattaa pölyisissä paikoissa kertyä ejektorin vähitellen pölyä aiheuttaen toimintahäiriöitä. Pölyn kertymistä voidaan estää kytkemällä imukuppien ja ejektorin väliin suodatin, kuva 32.



Kuva 32. Suodatin tyhjiöpiirissä (Bosch).



Kuva 33. Ejektorin kytkentäesimerkkejä (Bosch).

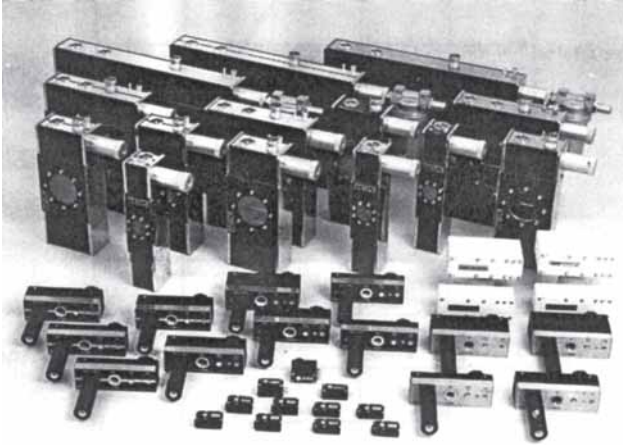
Ilmankulutus

Tyhjiön kehittäminen ejektorilla kuluttaa paineilmaa. Kytkenät on mielekästä suunnitella sellaisiksi, että ilmaa kuluu vain silloin, kun se tyhjiön kehittämistä ja

ylläpitämistä varten on välttämätöntä. Kuvassa 33 on kytkentäesimerkkejä, joista kustakin ilmenee imu- ja irrotusvaiheet sekä se, missä vaiheessa ilmaa kuluu.

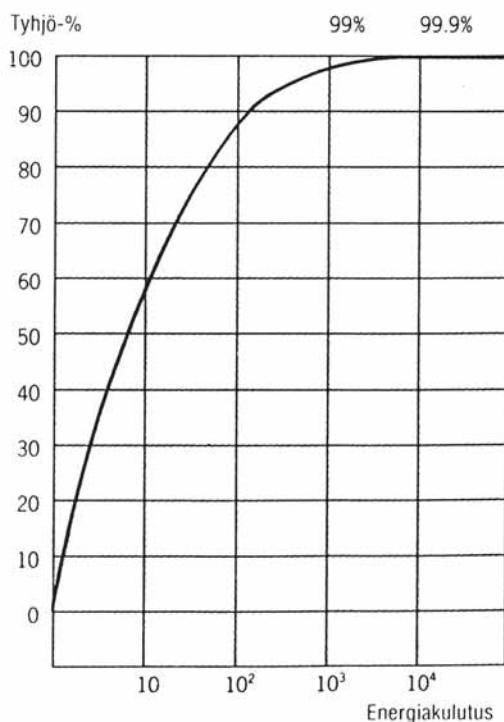
Ejektörin ja imukupin valinta

Useilla valmistajilla on monipuolinen valikoima eri käyttötarkoituksiin soveltuvia ejektoreita ja imukuppeja, kuva 34.



Kuva 34. Ejektoreita (Piab).

Ejektörin ja imukupin valintaan vaikuttavia seikkoja ovat: tarvittava tyhjiötaso, tyhjennysaika ja pitovoima sekä käsiteltävän kappaleen muoto, massa ja materiaali.



Kuva 35. Tyhjiötaso ja energiankulutus (Piab)

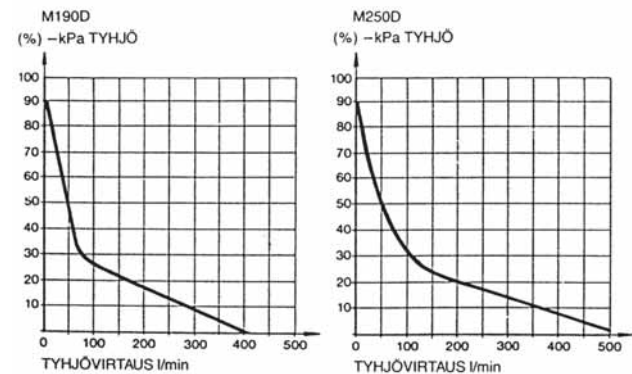
Tyhjiötaso

Tarvittava tyhjiötaso määräytyy ejektorin käyttötarkoituksesta. Turhan suurta tyhjiötasoa tulee välttää lähinnä kahdesta syystä: se lisää energian kulutusta ja lyhentää imukupin kestoikää.

Imukupin pitovoima on suoraan verrannollinen tyhjiötasoon. Tyhjiötason lisääminen kuudestakymmenestä prosentista yhdeksäänkymmeneen prosenttiin lisää kyllä pitovoiman puolitoistakertaiseksi, mutta samalla energian kulutus lisääntyy noin kymmenkertaiseksi, kuva 35. Useimmiten on järkevämpää suurentaa imukupin pinta-alaa kuin lisätä tyhjiötasoa.

Tyhjennysaika

Tyhjennysaika määrää ejektorin koon. Se on sitä pidempi, mitä suurempi tyhjiön (alipaineen) on oltava. Tämä johtuu siitä, että tyhjiön kasvaessa myös imetävä ilmamäärä kasvaa. Lisäksi tyhjiön kasvaessa tyhjiövirtaus (ejektorin aikayksikössä imemä ilmamäärä) pienenee, kuvat 36 ja 37.



Kuva 36. Kahden erikokoisen ejektorin tyhjiövirtaus tyhjiön funktiona 400 kPa:n syöttöpaineella (Piab).

Malli	0	-10	-20	-30	-40	-60	-80
M190D	450	270	159	75	57	28,5	9
M250D	600	360	212	100	76	38,0	12

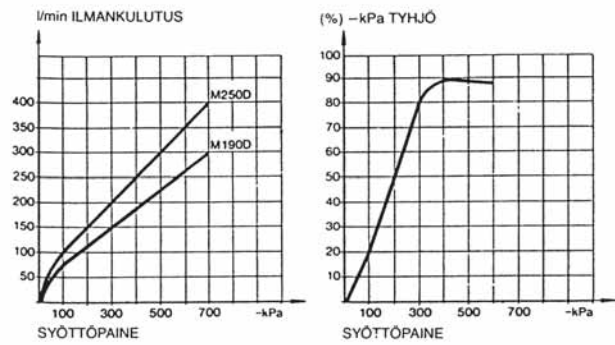
Aika sekunteina tyhjennettäessä 1 l tilavuus haluttuun alipaineeseen (-kPa)

Malli	-10	-20	-30	-40	-50	-70	-90
M190D	0,015	0,047	0,113	0,213	0,333	0,867	5,33
M250D	0,011	0,035	0,085	0,16	0,25	0,65	4,0

Kuva 37. Kahden erikokoisen ejektorin imunopeus ja tyhjennysaika eri alipaineilla (syöttöpaine 400 kPa, Piab).

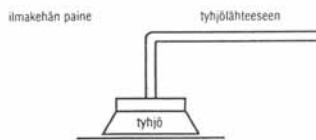
Mitä suurempaan tyhjiöön pyritään, sitä suurempi ejektorin syöttöpaine tarvitaan. Ja mitä suurempi syöttöpaine on, sitä suurempi on myös ejektorin ilman kulutus. Tämä pätee vain tiettyyn rajaan asti. Kun maksimityhjiö on saavutettu, syöttöpaineen nostaminen lisää edelleen ilmankulutusta, mutta tyhjiö jopa vähän huononee, kuva 38.

Turhan ilmankulutuksen välttämiseksi on mielekästä käyttää kullekin ejektorille valmistajan suositamaa syöttöpainetta.



Kuva 38. Kahden eri ejektorin ilmankulutus ja alipaine (TYHJÖ) eri syöttöpaineilla (Piab).

Esimerkki 1 (Piab)



Tässä esimerkissä otamme ideaalisen imukupin, millä on vakioläpimitta riippumatta kuormasta ja tyhjiötasosta. Käytännössä nostotehoon vaikuttaa imukupin rakenne ja kumiaineen joustavuus. Olemme myös jättäneet ottamatta huomioon dynaamiset voimat, koska ne riippuvat täysin todellisesta käyttökohteesta.

Symbolit:

- F = nostovoima (N)
- A = imukupin pinta-ala (m²)
- D = imukupin läpimitta (mm)
- m = massa (kg)
- g = painovoiman kiihtyvyys (m/s²)
- U = tyhjiö-%
- n = varmuuskerroin
- s = imukuppien lukumäärä

Imukupin koko

Imukupin tai -kuppien oikean koon määrittämiseksi käytetään seuraavaa yksinkertaista vastaavuussuhdetta:

$$\text{Nostovoima} = \text{Paine} \cdot \text{pinta-ala} \Rightarrow F = p \cdot A$$

90% tyhjiö antaa käytettäväksi paineen

$$0,9 \cdot 101\,300 \text{ Pa} \sim 91\,200 \text{ Pa (merenpinnan tasolla).}$$

Esimerkki:

Oletetaan, että halutaan nostaa 20 kg painoinen astia kuljetinhihnalta kuormalavalle.

Varmuuskerroin $n = 2$.

$$\text{Voima } F = m \cdot g = 20 \cdot 9,81 \sim 200 \text{ N.}$$

Sopiva tyhjiötaso on 60 %:

$$p = 0,6 \cdot 101\,300 = 60\,780 \text{ Pa.}$$

Imukupin pinta-alaksi tulee:

$$(1) A = F \cdot n / p = 200 \cdot 2 / 60\,780 = 0,00658 \text{ m}^2$$

Imukupin koko esitetään tavallisesti läpimittana:

$$(2) A = \pi \cdot D^2 / 4 \Rightarrow D = \sqrt{4 \cdot A / \pi} = \sqrt{4 \cdot 6580 / 3,14} \sim 92 \text{ mm}$$

Yhdistämällä (1) ja (2) voidaan aikaansaada yksinkertaistettu yhtälö karkeaan arviointiin (3). Tässä läpimitta voidaan ilmaista suoraan painon, tyhjiö-%, varmuuskertoimen ja imukuppien lukumäärän funktiona:

$$(3) D = 113 \cdot \sqrt{m \cdot n / U \cdot s}$$

Esimerkissä olevalla tynnyrillä

$$D = 113 \cdot \sqrt{20 \cdot 2 / 60 \cdot 1} = 92 \text{ mm}$$

Pitovoima

Imukupin pitovoimaan vaikuttaa pääasiassa kaksi tekijää: imukupin pinta-ala ja alipaineen (tyhjiön) suuruus. Mitä suurempia pinta-ala ja alipaine ovat, sitä suurempi on myös pitovoima.

Imukupin koko voidaan määrittää joko laskemalla tai käyttämällä imukuppien valmistajien taulukoita ja diagrammeja. Seuraavassa on kahden valmistajan laskemat esimerkit imukupin halkaisijan määrittämisestä laskemalla.

Esimerkki 2 (Bosch)

Laskentakaava nostovoima/ imukupin halkaisija:

$$F_H = p \cdot \left(\frac{d}{10}\right)^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot n \cdot s \cdot 10$$

$$d = 11,2 \sqrt{\frac{m}{p \cdot n \cdot s}}$$

F_H = nostovoima (N)

p = alipaine (bar)

d = imukupin halkaisija (mm)

n = imukuppien lukumäärä

s = varokerroin

työkappale vaakasuorassa $s = 0,6$

työkappale pystysuorassa $s = 0,4$

m = massa (kg)

Esimerkki:

Imukupin halkaisijan suuruuden laskeminen:

Teräslevy $m = 48$ kg

Alipaine $p = 0,85$ bar

$n = 4$ imukuppia

Työkappale vaakasuorassa $\rightarrow s = 0,6$

$$d = 11,2 \sqrt{\frac{48}{0,85 \cdot 4 \cdot 0,6}} = 54,3 \text{ mm}$$

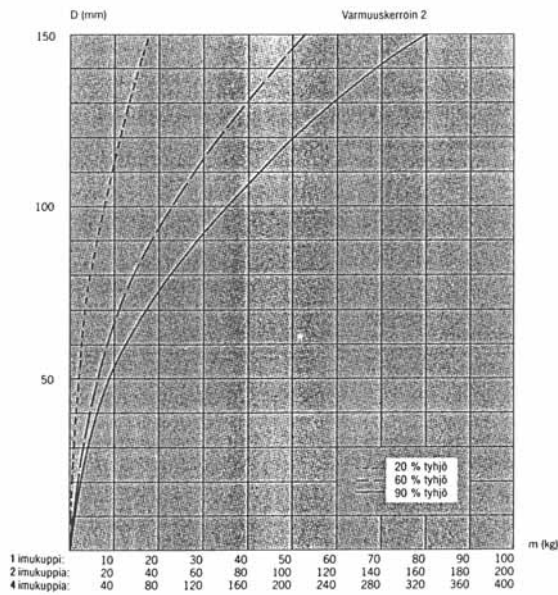
Taulukon mukaan voidaan käyttää imukuppia, jonka halkaisija on 60 mm

D Ø (mm)	Anschlußgewinde Anslutningsgänga Liitântäkierre	Haltekraft (N) Hållkraft (N) Pitovoima (N)	
		horizontal horisontellt vaakasuora	vertikal vertikalt pystysuora
15	G 1/8	8	5
30		32	21
40		56	37
50	G 1/4	88	58
60		127	84
70		173	115
80		226	150
90		286	190
100		353	235

Kuva 39. Litteän imukupin teknisiä tietoja. Pitovoima 75 % tyhjiöllä. Varmuuskerroin: vaakasuora 1,6, pystysuora 2,5 (Bosch).

Benennung Benämning Osan nimi	D Ø (mm)	Anschlußgewinde Anslutningsgänga Liitântäkierre	Haltekraft (N) Hållkraft (N) Pitovoima (N)
Teleskop- Saugnapf Teleskop- sugkopp Teleskooppi- imukuppi	30	G 1/4	32
	51		88
	60		127
	85		200

Kuva 40. Teleskooppi-imukupin teknisiä tietoja. Pitovoima 75% tyhjiöllä. Varmuuskerroin 1,6, vaakasuora (Bosch).



Kuva 41. Imukupin halkaisija nostettavan massan funktiona 20%:n, 60%:n ja 90%:n tyhjiöllä (Piab).

ulko Ø mm	Voima (N)			
	↑		→	
	-60 kPa	-90 kPa	-60 kPa	-90 kPa
22	14.5	19.0	8.0	8.5
32	25	31	11	12
42	40	50	25	30
53	74	96	40	50
77	200	270	110	140
112	420	560	250	300
152	850	1100	600	800

Kuva 42. Imukupin pitovoima kohtisuoraan pintaa vasten ja pinnan suuntaisena (Piab).

Helpompi tapa määrittää imukupin halkaisija on selvittää imukupilta vaadittava pitovoima ja katsoa halkaisija kyseisen imukupin teknisistä tiedoista, kuvat 39 ... 42. HUOM! Kuvissa 39 ... 42 olevat imukuppien pitovoimat ovat ohjearvoja. Ne edellyttävät, että käyttöolosuhteet ovat hyvät. Esimerkiksi käsiteltävän kappaleen pinnan on oltava puhdas ja kiinteä, kiihdytys- ja hidastusvoimat ovat pienet jne.

Käytännön sovelluksissa on otettava huomioon muun muassa seuraavat seikat:

- työkappaleen paino ja mitat
- kiihdytys- ja hidastusvoimat
- pinnan epätasaisuus ja karheus
- pinnalla oleva pöly, öljy ja vesi
- onko kysymyksessä siirto, nosto vai kääntö
- työkappaleen ja ympäristön lämpötila
- tahdistusaika
- ympäristötekijät
- tilavuusvirta

Korkeus merenpinnan tasosta (m)	2000	47	70
	1500	50	75
	1000	53	80
	500	56	85
Merenpinta	0	60	90

Kuva 43. Korkeus merenpinnasta ja tyhjiön pieneneminen (Piab).

Myös johtoihin on kiinnitettävä huomiota. Imujohto ei saa olla liian pitkä, johdon poikkipinnan on oltava riittävän iso ja putkihaaroja tulee välttää.

Koekäyttö

Vähänkin epävarmoissa tapauksissa on syytä tehdä riittävän perusteellinen koekäyttö.

Korkeus merenpinnasta

Lisäksi on otettava huomioon korkeus merenpinnasta. Mitä korkeammalle nouseaan, sitä pienempi on ilmakehän paine. Tämä pienentää imukupin pitovoimaa. 2000 m korkeuteen asti paine alenee yhden prosentin joka 100 m kohti. Esimerkiksi 1000 m korkeudessa on 60 % tyhjiölle suunnitellulla laitteistolla jäljellä ainoastaan 53 tyhjiö, kuva 43.

Mittarit

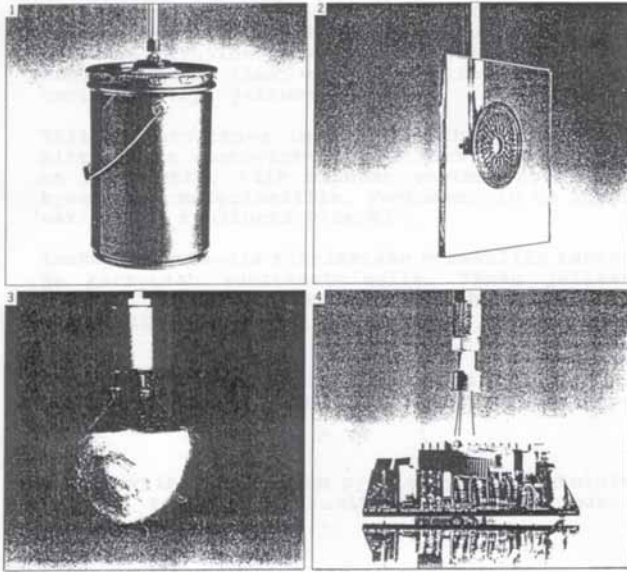
Alipainemittarit kalibroidaan tavallisesti ilmakehän paineeseen, joten niistä nähdään suoraan, miten suuri tyhjiötaso on käytettävissä eri korkeuksissa.

Pinnan laatu ja muoto

Pinnan laatu, materiaali ja muoto vaikuttavat ratkaisevasti imukupin valintaan. Kuvissa 44 ja 45 on esimerkkejä pinnaltaan, materiaaliltaan ja muodoltaan erilaisten kappaleiden käsittelystä.

Tasaiset pinnat

Tasaisen, tiiviin ja sileän pinnan (pelti, lasi, puu jne.) omaavan kappaleen käsittelyyn soveltuvat parhaiten sisäpuolisella tuennalla varustetut imukupit, kuva 44/1 ja 2.



Kuva 44. Esimerkkejä erilaisten kappaleiden ja materiaalien käsittelystä imukupeilla (Piab).

Pystysuorat nostot

Etenkin pystysuorissa nostoissa (kuva 44/2) tukirivat tai nastat ovat tärkeitä, koska imukupin pitokyky perustuu paljolti kitkaan.

Huokoiset materiaalit

Huokoiset materiaalit, kuva 44/3, vaativat ejektorilta suuremman imukapasiteetin kuin tiiviit. Tämä johtuu siitä, että pitääkseen yllä riittävän tyhjiön ejektorin on pystyttävä poistamaan myös se ilma, mikä virtaa imukuppiin materiaalin läpi jatkuvasti. Tällöin tarvittava imukapasiteetti määritetään mittaamalla vuotovirtaus, kun tarvittava tyhjiö on saavutettu. Näin saadaan vuotokerroin (Lq) kyseiselle materiaalille. Vuotokerroin on lähes vakio 50% tyhjiöstä ylöspäin.

Imukupin pinta-ala määritetään normaaliin tapaan ja kerrotaan vuotokertoimella. Tämän jälkeen voidaan määrittää ejektorin vähimmäisimukapasiteetti.

Pienet kappaleet

Imukupeilla voidaan käsitellä hyvinkin pieniä, vain muutaman millimetrin läpimittaisia kappaleita, kuva 44/4.

Pyälletyt pinnat

Rihlalevyihin ja muihin pyällettyihin pintoihin voidaan tarttua solukumitiivisteisillä imukupeilla, kuva 45/5.

Ohuet materiaalit

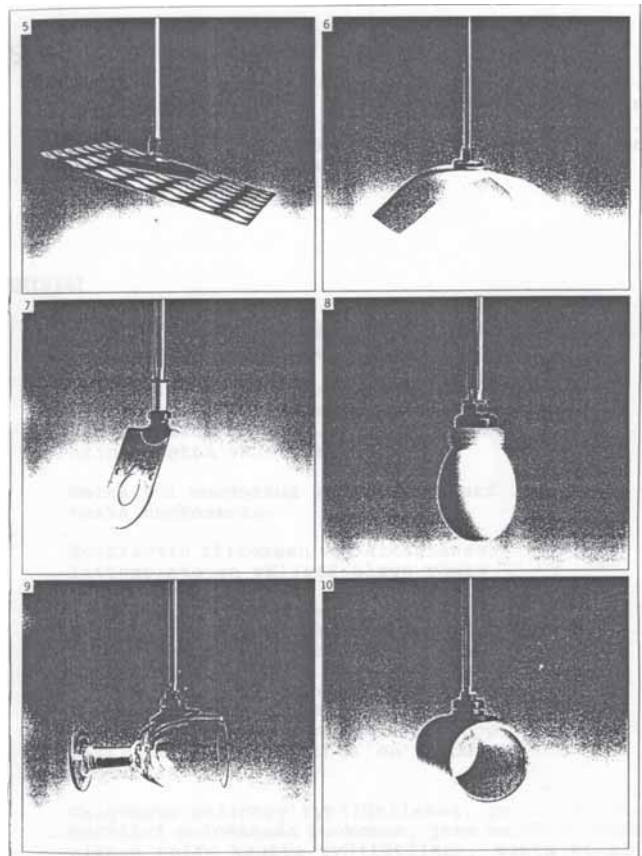
Myös paperia ja muita ohuita materiaaleja voidaan käsitellä solukumitiivisteisillä imukupeilla. Tällöin imukupissa on hyvä olla säädettävä vaste, joka estää materiaalin imeytymisen imukuppiin niin, että siihen tulee pysyvä muodonmuutos, kuva 45/6.

Tartunta kulmasta

Syvillä imukupeilla voidaan tarttua myös käsiteltävän kappaleen kulmasta, kuva 45/7.

Kaltevat ja kaarevat pinnat

Kalteva- ja kaarevapintaisten kappaleiden käsittelyyn soveltuvat hyvin paljeimukupit, kuva 45/8. Palkeen on oltava sitä pitempi, mitä suurempaa joustoa tarvitaan. Myös nivelkiinnittimillä varustetuilla imukupeilla voidaan käsitellä kalteva- ja kaarevapintaisia kappaleita, kuvat 45/9 ja 10.



Kuva 45. Esimerkkejä erimuotoisten kappaleiden ja erilaisten materiaalien käsittelystä imukupeilla (Piab).