



Learner Centric Advanced Manufacturing Platform



# PNEVMATIKA

# OSNOVNO USPOSABLJANJE

WP6 TOVARNA SODELOVALNEGA UČENJA



**Co-funded by  
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Co-funded by  
the European Union

Financirano s strani Evropske unije. Mnenja in mnenja, izražena, pa so izključno avtorjeva in ne odražajo nujno stališč Evropske unije ali Evropske izvršne agencije za izobraževanje in kulturo (EACEA). Niti Evropska unija niti EACEA ne moreta biti odgovorna za njih.



To delo je licencirano s strani LCAMP Partnership pod licenco Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International.

### Partnerji LCAMP-a:

TKNIKA – Basque VET Applied Research Centre, CIFP Miguel Altuna LHII, DHBW Heilbronn – Duale Hochschule, Baden-Württemberg, Curt Nicolin High School, AFM – Spanish Association of Machine Tool Industries, EARLALL – European Association of Regional & Local Authorities for Lifelong Learning, FORCAM, CMQE: Association campus des métiers et des qualifications industrie du future, MV: Mecanic Vallée, KIC: Knowledge Innovation Centre, MADE Competence Centre Industria 4.0; AFIL: Associazione Fabbrica Intelligente Lombardia, SIMUMATIK AB; Association HVC Association of Slovene Higher Vocational Colleges; TSCMB: Tehniški šolski center Maribor, KPDoNE: Kocaeli Directorate Of National Education; GEBKİM OIZ and CAMOSUN college.



## Povzetek dokumenta

<b>Vrsta dokumenta:</b>	Javni tečaj
<b>Naslov</b>	Pnevmatika, osnovno usposabljanje
<b>Avtor/avtorji</b>	Boris Knez
<b>Pregledovalca</b>	Samo Čretnik
<b>Datelj</b>	November 2025
<b>Status dokumenta</b>	1.0
<b>Raven dokumenta</b>	Zaupno do objave
<b>Opis dokumenta</b>	Ta predmet si prizadeva, da pridobite fizikalne osnove pnevmatike, razumevanje delovanja pnevmatskih komponent, načrtovati pnevmatske krmilne sisteme, upravljati pnevmatske komponente in vzdrževati pnevmatske sisteme.
<b>To objavo navedite kot:</b>	Knez B., 2025, PNEU
<b>Raven dokumenta</b>	Javno



# KAZALO

---

<b>POVZETEK</b> .....	<b>5</b>
<b>1. PNEVMATIČNA KRMILJA</b> .....	<b>6</b>
1.1. OSNOVE PNEVMATIKE .....	7
1.2. PRIDOBIVANJE STISNJENEGA ZRAKA.....	11
1.2.1. Linijski batni kompresorji .....	11
1.2.2. Vrtljivi batni kompresorji .....	12
1.2.3. Membranski kompresorji .....	12
1.2.4. Rootsov kompresor .....	13
1.2.5. Vijačni kompresorji .....	13
1.2.6. Večkomorni vrtljivi kompresor.....	13
1.2.7. Turbo kompresorji .....	14
1.3. PRIPRAVA ZRAKA .....	16
1.3.1. Absorpcijsko sušenje.....	17
1.3.2. Adsorpcijsko sušenje.....	17
1.3.3. Sušenje z ohladitvijo .....	18
1.3.4. Omrežje STISNJENEGA zraka .....	19
1.3.5. Dimenzioniranje cevovodov.....	21
1.3.6. Pretočni upor.....	23
1.3.7. Shranjevalnik stisnjenega zraka .....	24
1.3.8. Pripravna skupina .....	25
1.3.9. Regulator tlaka .....	28
1.3.10. Naoljevalnik .....	29
1.4. PNEVMATIČNE DELOVNE (IZVRŠILNE) KOMPONENTE.....	34
1.4.1. Pnevmatične komponente za premočrtno gibanje .....	34
1.4.2. Pnevmatične komponente za rotacijsko gibanje .....	37
1.4.3. Pnevmatični motorji.....	38
1.4.4. Načini pritrditve cilindrov .....	40
1.4.5. Dimenzioniranje cilindra .....	41
1.4.6. Izračun porabe zraka.....	42
<b>2. KAZALO SLIK</b> .....	<b>45</b>
<b>3. KAZALO TABEL</b> .....	<b>47</b>
<b>4. PRILOGE</b> .....	<b>48</b>



# POVZETEK

Glavna naloga pnevmatike v sodobni tehnologiji je pretvorba energije stisnjenega zraka v mehansko delo, kar omogoča hitro, čisto in stroškovno učinkovito izvajanje linearnih ter rotacijskih gibov. V robotiki in avtomatizaciji je nepogrešljiva predvsem pri končnih izvršilnih elementih, kjer skrbi za zanesljivo delovanje prijemal, vakuumskih sistemov in fiksiranje obdelovancev. Z razvojem elektro-pnevmatike se njena funkcionalnost nadgrajuje s pametnimi ventili in sensoriko, ki omogočajo povezljivost s krmilniki ter energetske učinkovitost v okviru Industrije 4.0.



# 1. PNEVMATIČNA KRMILJA

Pnevmatika ima kot tehnologija že dolgo pomembno vlogo pri opravljanju mehničnega dela. V novejšem času jo uporabljamo tudi pri reševanju problemov avtomatizacije.

Tehnološki razvoj na področju materialov, konstrukcij in proizvodne izkušnje je vplival na kvaliteto in raznolikost pnevmatičnih komponent. S tem se je povečala možnost uporabe pnevmatike v tehniki avtomatizacije (tabela 1).

*Tabela 1: Področja uporabe pnevmatike*

Splošna tehnika	Specifična področja	Obdelovalna tehnika
vpenjanje obdelovancev, podajanje obdelovancev, pozicioniranje obdelovancev, orientiranje obdelovancev, razvejanje pretoka materiala	pakiranje, polnjenje, doziranje, zapiranje pogon gredi, odpiranje, zapiranje vrat transport materiala, sukanje, vrtenje, sortiranje dviganje in spuščanje, žigosanje, prešanje	vrtnanje, struženje, rezkanje, žaganje, brušenje, preoblikovanje, preizkušanje

*Tabela 2: Značilnosti in prednosti pnevmatike*

<b>Količina</b>	Zraka je praktično povsod dovolj v neomejenih količinah.
<b>Transport</b>	Zrak lahko enostavno transportiramo po ceveh na velike oddaljenosti.
<b>Shranjevanje</b>	Stisnjen zrak lahko shranimo v tlačnih posodah in nato uporabimo. Tako shranjen zrak lahko tudi transportiramo.
<b>Temperatura</b>	Stisnjen zrak je skoraj neobčutljiv na temperaturna nihanja. Ta lastnost nam zagotavlja zanesljivo obratovanje tudi v ekstremnih pogojih.
<b>Varnost</b>	Stisnjen zrak ne more povzročiti požara in ne more eksplodirati.
<b>Čistost</b>	Nenaoljen izpušni zrak ne onesnažuje okolja.
<b>Konstrukcija</b>	Delovne komponente so konstrukcijsko enostavne in poceni.
<b>Hitrost</b>	Stisnjen zrak je hiter delovni medij. Lahko dosežemo velike hitrosti bata (udarni cilinder) in hitra preklapljanja.
<b>Varnost pri preobremenitvi</b>	Pnevmatična orodja in delovne komponente lahko varnost obremenimo, da se ustavijo, pa se ne poškodujejo.



Tabela 3: Slabosti pnevmatike

<b>Priprava</b>	Stisnjen zrak moramo ustrezno pripraviti. Odstraniti moramo prašne delce in vlago, sicer se življenjska doba pnevmatičnih komponent zelo zmanjša.
<b>Stisljivost</b>	S stisnjenim zrakom ne moremo zagotoviti enakomerne in konstantne hitrosti bata (le pod posebnimi pogoji – zavorni cilinder).
<b>Gospodarnost</b>	Energijo stisnjenega zraka lahko izkoriščamo gospodarno le do določenega tlaka. Pri normalno uporabljenem tlaku 600 do 700 kPa (6 - 7 bar) dosežemo lahko največje sile od 20000 do 30000 N.
<b>Odzračevanje</b>	Pri odzračevanju povzroča zrak precejšen hrup. Ta problem lahko odpravimo z uporabo glušnikov.
<b>Cena</b>	Stisnjen zrak je relativno draga oblika energije, ki jo kompenziramo z dolgo življenjsko dobo, visoko sposobnostjo avtomatizacije in relativno poceni opremo.

## 1.1. OSNOVE PNEVMATIKE

Vse na Zemlji je izpostavljeno tlaku okolice oziroma atmosferskemu tlaku. Za atmosferski tlak je značilno, da se spreminja z geografsko lego in vremenom. Atmosferski tlak se meri na nadmorski višini 0 metrov in znaša 101,325kPa oziroma 1,01323 bar, torej cca. 1 bar.

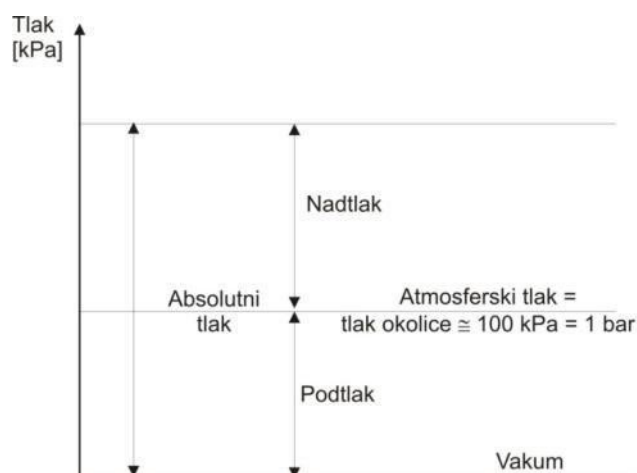
$$tlak = p = \frac{sil}{površina} = \frac{F}{A}; \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

$$1 Pa = \frac{1 N}{m^2} = 10^{-5} bar$$

$$1 bar = \frac{10^5 N}{m^2}$$

Absolutni tlak dobimo, če seštejemo tlak, ki se pojavi nad atmosferskim tlakom, imenujemo ga nadtlak in tlak, ki se pojavi pod atmosferskim tlakom, imenujemo ga podtlak. Posamezne vrste tlakov prikazuje slika 1.

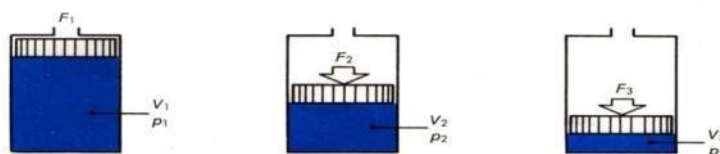




Slika 1: Vrste tlakov  
Vir: Prirejeno po: Croser in Ebel, 1994

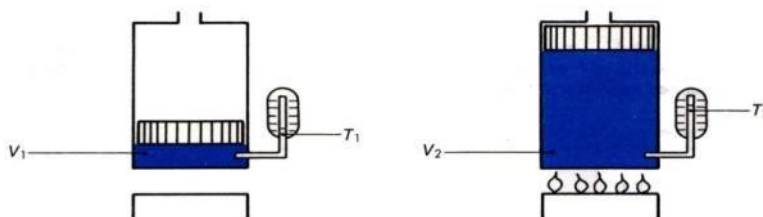
Za zrak je značilno, da nima določene oblike in ga lahko stiskamo oziroma komprimiramo, stisnjen zrak pa teži k razširitvi oziroma ekspanziji. Stiskanje zraka pojasnjuje Boyle Mariottov zakon, ki govori, da so prostornine enakih količin nekega plina pri konstantni temperaturi v obratnem sorazmerju z absolutnim tlakom, kar prikazuje slika 2. To pomeni, da je zmnožek absolutnega tlaka in prostornine pri konstantni temperaturi konstanten.

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 = p_3 \cdot V_3 = konst$$



Slika 2: Princip Boyle Mariottovega zakona  
Vir: Croser in Ebel, 1994

Če zrak segrevamo pri konstantnem tlaku, kar prikazuje slika 3, se bo njegov volumen z vsako stopinjo povečal za 1/273 volumna, ki bi ga imel pri 0°C in enakem tlaku. Pri ohlajanju pa se bo volumen za isto vrednost zmanjšal.



Slika 3: Princip Gay Lussacovega zakona  
Vir: Croser in Ebel, 1994



To dokazuje Gay Lussacov zakon, ki pravi, da so pri enakem tlaku volumni enakih količin plina premosorazmerni absolutnim temperaturam.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$V_1$  = volumen pri temperaturi  $T_1$ ;  $V_2$   
= volumen pri temperaturi  $T_2$

Iz osnovnega zakona lahko izpeljemo:

$$V_2 = V_1 \frac{T_2}{T_1}$$

Pri tem znaša sprememba volumna:

$$\Delta V = V_2 - V_1$$

$$\Delta V = V_1 \frac{T_2}{T_1} - V_1$$

$$\Delta V = V_1 \frac{(T_2 - T_1)}{T_1}$$

Za  $V_2$  pa velja:

$$V_2 = V_1 + \Delta V$$

$$V_2 = V_1 + \frac{V_1}{T_1}(T_2 - T_1)$$

Temperaturo moramo podajati v stopinjah Kelvina [K].  $T[\text{K}] = ^\circ\text{C} + 273$ .

Če združimo Boyle-Mariottov in Gay-Lussacov zakon, dobimo splošno plinsko enačbo za zaprte pline.

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{konst} \quad \text{oz.} \quad \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

#### POVZETEK

Atmosfera, ki obdaja Zemljo, pritiska s svojo težo na nas in ustvarja v okolju tlak, ki deluje enakomerno na vse strani. Atmosferski tlak se spreminja v odvisnosti od nadmorske višine in vremena.



## VPRAŠANJA IN NALOGE

1. Pojasnite, kaj se dogaja s plastenko, ki jo v hribih napolnimo z zrakom (tlakom okolice) in se nato skupaj z njo vrnemo v dolino.
2. Pojasnite, kaj se dogaja s prazno plastenko, ki jo visoko v hribih odpremo.
3. V posodi s prostornino  $V_1 = 1 \text{ m}^3$ , je zrak pod tlakom  $p_1 = 100 \text{ kPa}$ . Zrak stiskamo s silo  $F_2$  na prostornino  $V_2 = 0,5 \text{ m}^3$  pri nespremenjeni temperaturi. Izračunajte tlak  $p_2$ .
4.  $0,8 \text{ m}^3$  zraka segrevamo pri temperaturi  $T_1 = 293 \text{ K}$  ( $20^\circ\text{C}$ ) na temperaturo  $T_2 =$
5.  $344 \text{ K}$  ( $71^\circ\text{C}$ ). Ugotovite, za koliko se poveča prostornina zraka?



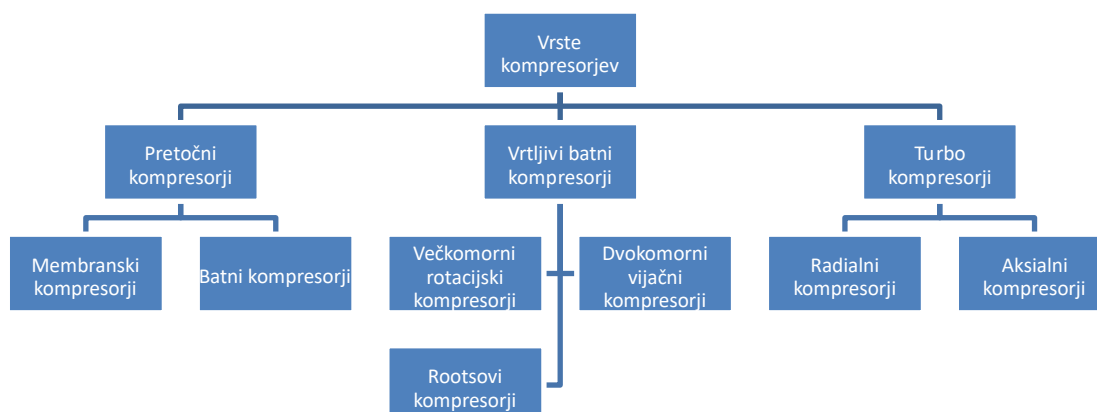
## 1.2. PRIDOBIVANJE STISNJENEGA ZRAKA

Za pridobivanje stisnjene zraza potrebujemo kompresorje, ki tlačijo zrak na želeni tlak. Zrak pripravljamo centralno in ga nato vodimo po cevovodih do posameznih naprav.

Pri načrtovanju kompresorskih zmogljivosti moramo predvideti vsaj 10% večjo porabo stisnjene zraza zaradi naknadnega priključevanja novih pnevmatičnih naprav.

Glede na delovni tlak in potrebno količino stisnjene zraza uporabljamo različne vrste kompresorjev. V osnovi ločimo pridobivanja stisnjene zraza na principu zmanjševanja prostornine in na principu pospeševanja.

Pri prvem principu zmanjšujemo volumen prostora, v katerem je zrak zaprt. Po tem principu delujejo batni kompresorji (vrtljivi in premočrtni). Pri drugem principu gre za pridobivanje stisnjene zraza na osnovi masnega pospeševanja, kjer se toku zraza poveča hitrost. Na tej osnovi delujejo turbo kompresorji.

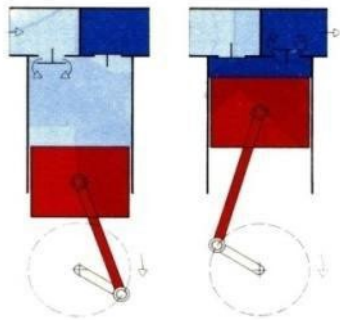


Slika 4: Vrste kompresorjev  
Vir: Croser in Ebel, 1994

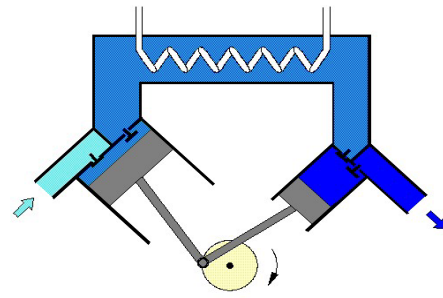
### 1.2.1. LINIJSKI BATNI KOMPRESORJI

Največ se v praksi uporabljajo batni kompresorji, saj so primerni za nizke, srednje in visoke tlake. Njihovo delovno območje sega od cca. 100 kPa pa do več tisoč kPa. Zrak se vsesa skozi vhodni ventil in potiska skozi izhodni ventil v tlačni vod. Princip delovanja batnega kompresorja ponazarja slika 5.





Slika 5: Batni kompresor  
Vir: Croser in Ebel, 1994



Slika 6: Dvostopenjski kompresor z vmesnim hlajenjem  
Vir: Croser in Ebel, 1994

Optimalna tlačna območja pri batnih kompresorjih:

do 400 kPa (4 bar)	enostopenjski
do 1500 kPa (15 bar)	dvostopenjski
nad 1500 kPa (15 bar)	tri- ali večstopenjski

Možna, toda negospodarna proizvodnja stisnjenega zraka:

do 1200 kPa (12 bar)	enostopenjski
do 3000 kPa (30 bar)	dvostopenjski
nad 22000 kPa (220 bar)	tri- ali večstopenjski

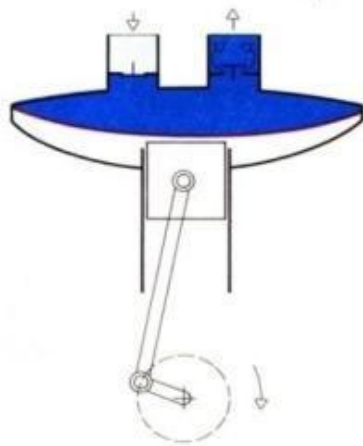
### 1.2.2. VRTLJIVI BATNI KOMPRESORJI

Za proizvodnjo višjih tlakov uporabljamo večstopenjske kompresorje. Med posameznimi stopnjami se zrak hladi. Pri vrtljivih batnih kompresorjih se zrak stiska z vrtečimi se bati. Pri stiskanju se kompresijski prostor kontinuirano zmanjšuje. Primer dvostopenjskega batnega kompresorja z vmesnim hlajenjem prikazuje slika 5.

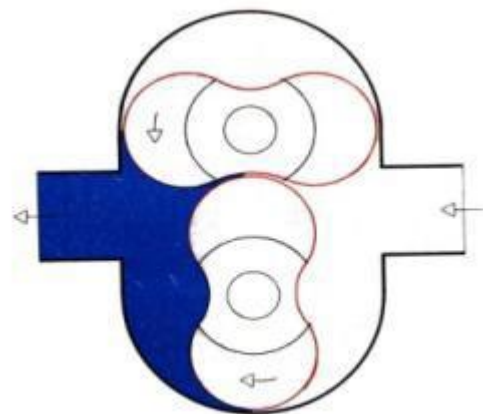
### 1.2.3. MEMBRANSKI KOMPRESORJI

Membranski kompresorji spadajo v skupino batnih kompresorjev. Primer batnega kompresorja prikazuje slika 6, kjer je kompresijski prostor ločen od bata z membrano in zrak ne more priti v stik z drsnimi površinami bata in se pri tem navzeti kompresorskega olja in neprijetnega vonja. Zaradi tega uporabljamo membranske kompresorje v živilski, kemični, farmacevtski industriji, v zobozdravstvu.





Slika 7: Membranski kompresor  
Vir: Croser in Ebel, 1994



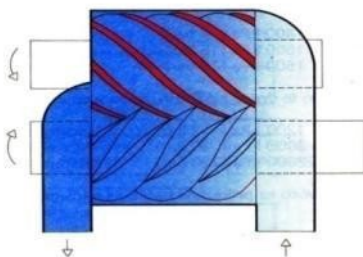
Slika 8: Rootsov kompresor  
Vir: Croser in Ebel, 1994

#### 1.2.4. ROOTSOV KOMPRESOR

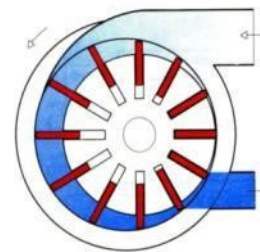
Zrak se prenaša z ene strani na drugo stran brez spremembe volumna. Tlak nastane, ko se zrak iztiska iz kompresorja. Princip delovanja Rootsovega kompresorja prikazuje slika 8.

#### 1.2.5. VIJAČNI KOMPRESORJI

Vijačno oblikovan profil oprijemata dve gredi (tekača), kar prikazuje slika 9. Pri vrtenju se v profil zajeti zrak stiska v tlačni vod.



Slika 9: Vijačni kompresor  
Vir: Croser in Ebel, 1994



Slika 10: Večkomorni vrtljivi kompresor  
Vir: Croser in Ebel, 1994

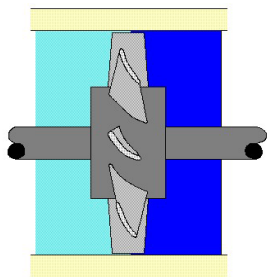
#### 1.2.6. VEČKOMORNI VRTLJIVI KOMPRESOR

Klasični bat nadomeščajo vrtljive lamele, ki so vstavljene v rege ekscentrično vležajnega rotorja. Slika 10 prikazuje, kako rege tvorijo posamične komore, katerih velikost se pri vrtenju spreminja. Kompresorje odlikuje miren tek, ustvarjajo stisnjen zrak zelo enakomerno in brez sunkov.

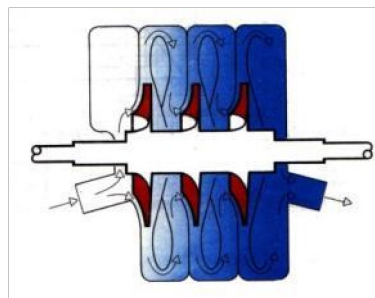


## 1.2.7. TURBO KOMPRESORJI

Delujejo po principu pospeševanja zraka. Odlikuje jih zelo velika zmogljivost. Eno ali več turbinskih koles povzroča tok zraka, energija gibanja oziroma kinetična energija se nato pretvori v tlačno oziroma potencialno energijo. Če se zrak pospešuje v aksialni smeri, govorimo o aksialnem kompresorju, ki ga prikazuje slika 11. Če pa se zrak pospešuje v radialni smeri, pa govorimo o radialnem kompresorju, ki ga prikazuje slika 12.



Slika 11: Aksialni kompresor  
Vir: Croser in Ebel, 1994



Slika 12: Radialni kompresor  
Vir: Croser in Ebel, 1994

### POVZETEK

Pri izbiri ustreznega kompresorja si lahko pomagamo s kriteriji, ki so predstavljeni v tabeli 4.

Tabela 4: Kriteriji izbire kompresorjev

<b>Zmogljivost</b>	Količina zraka, ki jo odda kompresor. Ločimo teoretično in efektivno zmogljivost. Produkt gibnega volumna in števila vrtljajev predstavlja teoretično zmogljivost. Efektivna zmogljivost predstavlja količino zraka, ki jo imamo na razpolago.
<b>Tlak</b>	Ločimo obratovalni tlak (tlak kompresorja, v shranjevalniku, cevovodih, do porabnikov) in delovni tlak (potreben na posameznem delovnem mestu).
<b>Pogon</b>	V industriji uporabljamo pogon z elektromotorji, na gradbiščih oziroma na terenu pa motorje z notranjim izgorevanjem.
<b>Regulacija</b>	Z regulacijo prilagodimo delovanje kompresorja neenakomerni porabi zraka.
<b>Hlajenje</b>	Glede na količino toplote, ki nastaja pri stiskanju zraka, ločimo zračno hlajenje, ki ga uporabljamo pri kompresorjih manjše moči. Hlajenje je izvedeno s pomočjo hladilnih reber. Pri kompresorjih večjih moči pa zračno hlajenje ne zadostuje in uporabljamo vodno ali kombinacijo zračnega in vodnega hlajenja.



## VPRAŠANJA IN NALOGE

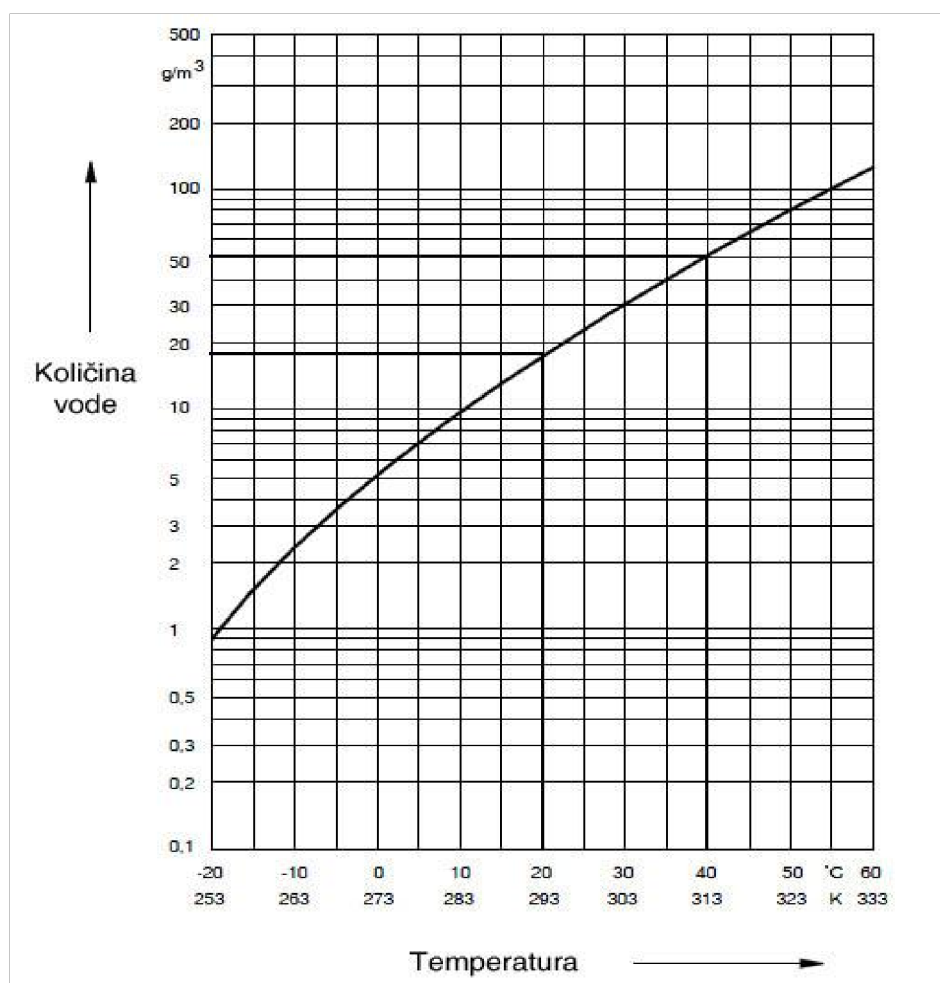
1. Pojasnite praktični primer uporabe enostopenjskega in večstopenjskega batnega kompresorja.
2. V čem je bistvena razlika med batnim kompresorjem in vijačnim oz. večkomornim vrtiljivim kompresorjem?
3. Kompresor vsesa 1850 litrov zraka pri tlaku okolice 100 kPa in ga stisne v shranjevalnik prostornine 150 litrov. Kako velik tlak je v posodi, če se temperatura ne spremeni?



## 1.3. PRIPRAVA ZRAKA

Zrak, ki ga želimo uporabljati v pnevmatiki, mora imeti nekaj specifičnih lastnosti, saj ne sme vsebovati vlage, prahu, prašnih in ostalih delcev.

S kompresorjem vsesani zrak vsebuje vedno določen del vode v obliki vodne pare, ki ga podajamo z% relativne vlažnosti zraka. Relativna vlažnost zraka je odvisna od temperature in tlaka okolice. Višja ko je temperatura, več vlage je lahko v zraku. Zrak je nasičen z vlago pri 100% relativni vlažnosti, takrat se začne na stenah izločati kondenzat, saj so stene kompresorja hladnejše.



Slika 13: Krivulja nasičenosti

Vir: Croser in Ebel, 1994

Absolutna vlažnost je količina vode, ki jo vsebuje 1 m<sup>3</sup> zraka. Količina nasičenja oziroma maksimalna vlažnost je količina vode, ki jo lahko sprejme 1 m<sup>3</sup> zraka pri določeni temperaturi. Količino nasičenja pri določeni temperaturi lahko odčitamo na sliki 13.



$$\text{relativna vlažnost} = \frac{\text{absolutna vlažnost}}{\text{količina nasičenja}} * 100 \%$$

Če se kondenzat ne odvede, pride v pnevmatični sistem, kar ima škodljive posledice, ki se kažejo kot korozija v ceveh, ventilih, cilindrih in drugih napravah ter kot izpiranje maziva pri gibljivih delih. Zaradi tega so močno motene funkcije komponent in skrajšana življenjska doba sistema.

Prevelika količina vlage v stisnjem zraku skrajšuje življenjsko dobo pnevmatičnega sistema. Zaradi tega moramo uporabiti sušilnik zraka, da znižamo količino vlage na želeno vrednost. Za sušenje zraka lahko izbiramo med absorpcijskim in adsorpcijskim sušenjem ter sušenjem z ohladitvijo.

Zmanjšani stroški vzdrževanja, krajši časi zastojev in zvišana zanesljivost sistema zagotavljajo relativno hitro amortizacijo sušilnika zraka.

### **1.3.1. ABSORPCIJSKO SUŠENJE**

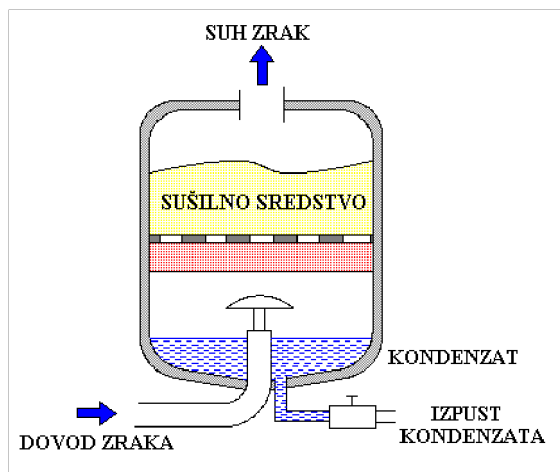
Absorpcijsko sušenje je kemični postopek, ki ga prikazuje slika 14. Zaradi visokih obratovalnih stroškov se ta način uporablja redkeje.

S predfiltrrom se iz zraka odstrani večje vodne in oljne kapljice. Pri dotekanju v sušilnik se stisnjen zrak zvrtniči, nato teče skozi sušilni prostor, ki je napolnjen s sušilnim sredstvom. Sušilno sredstvo predstavlja 100% silicijev dioksid v obliki zrn. Kemično sredstvo, ki reagira z vlago, se pri tem raztaplja in zbira v spodnjem, zbiralnem delu sušilnika. Raztopino moramo redno odvajati in dodajati novo sušilno sredstvo.

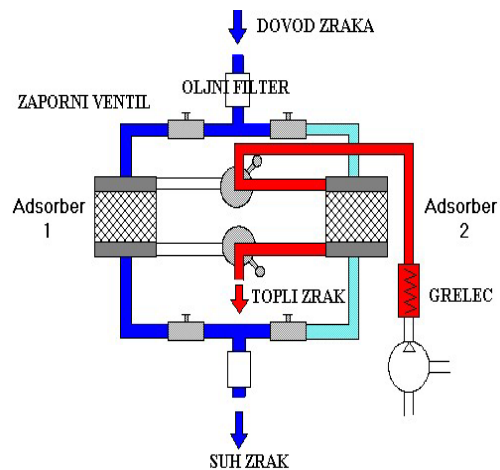
### **1.3.2. ADSORPCIJSKO SUŠENJE**

Je lastnost trdnega materiala, da zadrži vlago na svoji površini. Sušilni material, ki ga imenujemo tudi gel, je granulnat pretežno iz silicijevega dioksida. Z adsorpcijo lahko dosežemo najnižjo točko rosišča (do  $-70^{\circ}\text{C}$ ). Uporabljamo vedno po dva adsorbenta. Ko se gel v prvem adsorbentu nasiti z vlago, se preklopi sušenje na drugega, prvega pa se regenerira z vročim zrakom. Princip delovanja prikazuje slika 15.





Slika 14: Absorpcijsko sušenje  
Vir: Croser in Ebel, 1994



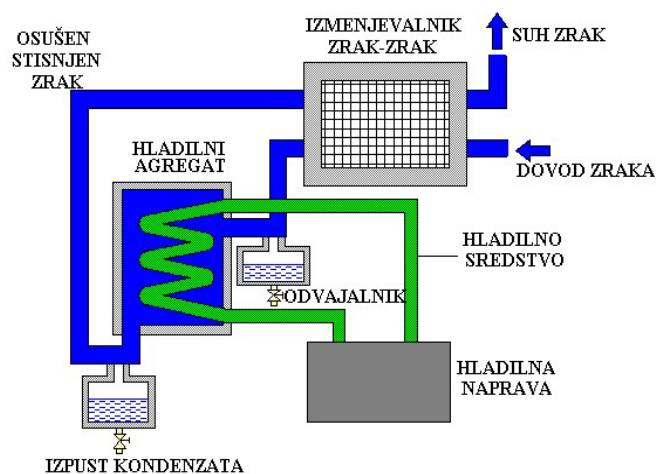
Slika 15: Absorpcijsko sušenje  
Vir: Croser in Ebel, 1994

### 1.3.3. SUŠENJE Z OHLADITVIJO

Najpogosteje se v praksi uporablja sušenje stisnjenega zraka z ohlavitvijo, ki ga predstavlja slika 16. Zrak, ki teče skozi toplotni izmenjevalnik zrak – zrak, kjer se mu temperatura nekoliko zniža in posledično izloči že del vlage. Zrak teče nato v hladilno komoro, se ohladi pod točko rosišča. Kondenzirana vlaga se zbira v odvajalni posodi.

Suh zrak peljemo skozi toplotni izmenjevalnik zrak – zrak, kjer ga s pomočjo zraka, ki priteka v toplotni izmenjevalnik, segrejemo in na ta način nekoliko prihranimo pri porabi energiji.

Temperatura točke rosišča je temperatura, na katero je potrebno ohladiti zrak, da vlaga kondenzira. Večja ko je temperaturna razlika do točke rosišča, več vlage kondenzira. Pri sušenju zraka z ohlavitvijo lahko dosežemo točke rosišča med 2°C do 5°C.



Slika 16: Sušenje z ohlavitvijo  
Vir: Croser in Ebel, 1994



### 1.3.4. OMREŽJE STISNJENEGA ZRAKA

Za zanesljivo in nemoteno razdeljevanje stisnjenega zraka različnim porabnikom moramo upoštevati celo vrsto pogojev. Pri tem je pravilno dimenzioniranje cevnega omrežja enako pomembno kot je uporabljeni cevni material, pretočni upori, izvedba omrežja in vzdrževanje.

Pri načrtovanju novega omrežja moramo vedno predvideti določeno rezervo za še neznanе nove porabnike. Glavni vod naj bo torej večjega premera, kot je potreben v trenutni situaciji, v kompresorski postaji se naj predvidi prostor za vgradnjo dodatnega kompresorja, sušilnika zraka, zbiralne posode. Glede na razpoložljive delovne prostore in morebitne razvojne plane lahko predvidimo v glavnem vodu odcepe, ventile za poznejše podaljševanje mreže.

V vseh ceveh nastaja padec tlaka zaradi pretočnih izgub, predvsem tam, kjer se cevovod zoži, preusmeri, na odcepkih in cevni zvezah. Te izgube moramo upoštevati pri dimenzioniranju kompresorja. V celotni mreži naj ne bo padca tlaka, največ 10 kPa ali 0,1 bar.

Moderen razdelilni sistem stisnjenega zraka zahteva posebno kvaliteten cevni material.

Omogočati mora:

- nizke tlačne izgube
- tesnost
- odpornost proti rjavenju in
- možnost podaljševanja cevovoda.

Pri stroških moramo upoštevati poleg cene materiala še stroške instalacije razdelilne mreže, ki so najnižji pri uporabi cevi iz umetne snovi. Cevi iz umetne snovi spajamo s 100% tesno z lepljenjem, poleg tega je podaljševanje mreže zelo enostavno in poceni.

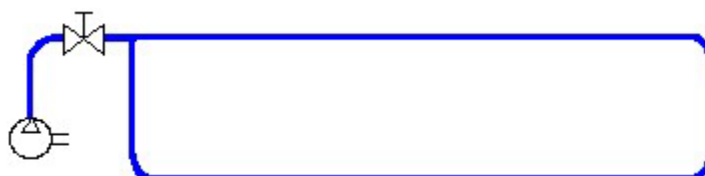
Bakrene in jeklene cevi imajo nizko nabavno ceno, jih je pa potrebno spajati z lotanjem, varjenjem ali z navoji. Če se spojev ne izvede skrbno, lahko ostanejo v ceveh odrezki navojev, varilni ostanki, tesnilni material, ki kasneje povzroča velike probleme. Instalacija take mreže je draga. Za majhne in srednje premere cevovoda so ugodnejše cevi iz umetne snovi, le nabavna cena je višja kot pri drugih materialih.

Zaradi nihanja tlaka v mreži morajo biti cevi zanesljivo utrjene, da ne nihajo (vibrirajo) s spremembami tlaka. Zaradi vibriranja cevi pride do netesnosti na zvijačenih, lotanih ali varjenih mestih.

Poleg pravilnega dimenzioniranja in ustrezne kvalitete uporabljenega materiala je za gospodarno obratovanje zelo pomembna tudi izvedba razdelilne mreže. Kompresor oskrbuje sistem s stisnjnim zrakom v določenih časovnih intervalih. Pogosto se zgodi, da se poraba zraka samo kratkotrajno poveča, kar povzroči upad tlaka v mreži. Zaradi takih primerov se priporoča

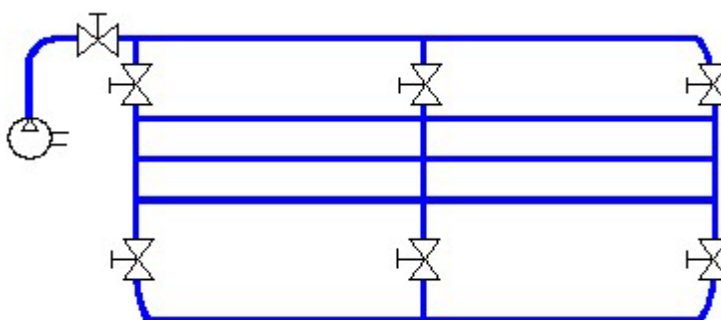


izvedba glavnega voda v obliki obroča, ki omogoča boljše dovajanje stisnjenega zraka (obročasti vod namesto odprtega voda). Primer obročastega omrežja ponazarja slika 17.



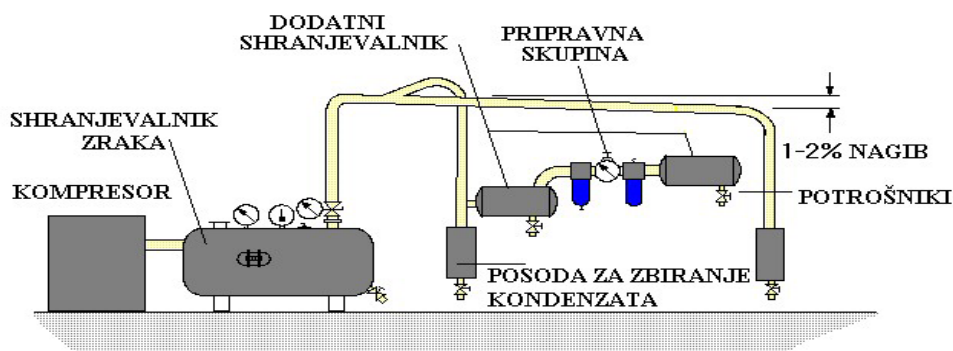
Slika 17: Obročasti vod  
Vir: Croser in Ebel, 1994

Da se pri vzdrževanju, popravilih ali podaljšanju ne moti celotne oskrbe s stisnjenim zrakom, naj bo mreža izdelana rešetkasto ali razdeljena na posamezne sektorje. Lahko se predvidi odcepe s T kosi in zbiralnice z vtičnimi sklopki. Na razvejitvah se lahko predvidi zaporne ventile ali standardne krogične ventile. Primer izvedbe rešetkastega omrežja prikazuje slika 18.



Slika 18: Rešetkasta mreža  
Vir: Croser in Ebel, 1994

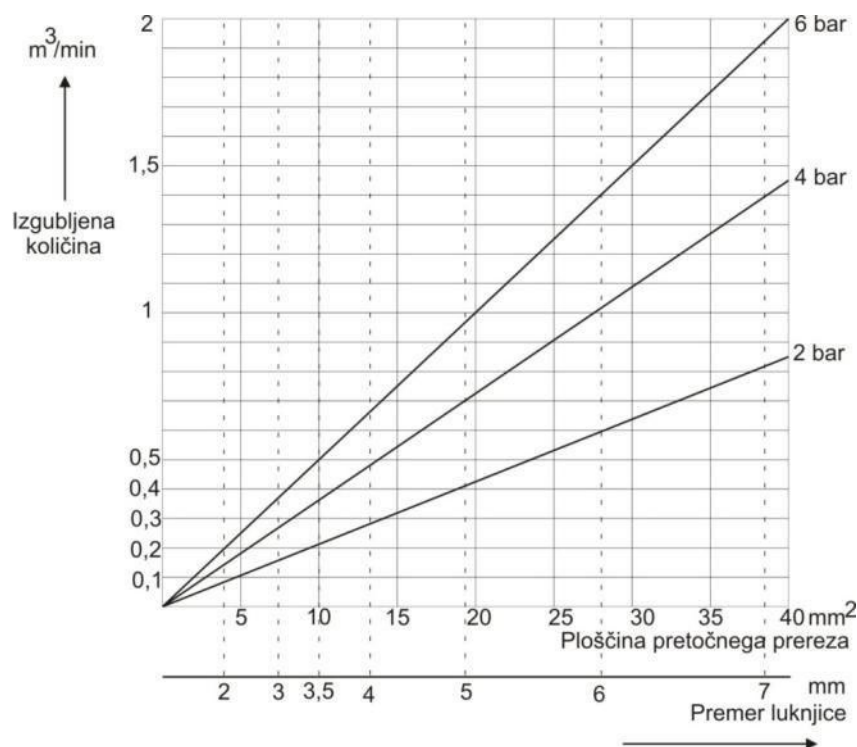
Kljub dobremu centralnemu izločanju kondenzata iz stisnjene zraka se lahko izloči kondenzat tudi še v cevnem sistemu zaradi znižanja tlaka ali nizkih zunanjih temperatur. Zaradi zbiranja in odvajanja tega kondenzata naj bodo glavni vodi položeni z 1–2% nagibom v smeri toka zraka. Lahko so položeni stopničasto. Na najnižjih mestih se predvidi kondenzne lončke za zbiranje in občasno odvajanje kondenzata. Primer omenjene izvedbe omrežja prikazuje slika 19.



Slika 19: Sistem oskrbe s stisnjenim zrakom  
Vir: Croser in Ebel, 1994



Na povečanje stroškov priprave stisnjenega zraka vpliva tudi tesnost naprav in samega omrežja, saj že majhna netesnost pomeni precejšnje količine izgubljenega zraka. Zaradi netesnosti lahko uhajajoči zrak tudi škodljivo vpliva na obdelovalni material (npr. na živila v prehranski industriji). Kolikšna je izguba zraka zaradi netesnosti lahko odčitamo na sliki 20.



Slika 20: Diagram izgube zraka zaradi netesnosti  
Vir: Croser in Ebel, 1994

### 1.3.5. DIMENZIONIRANJE CEVOVODOV

Premer cevovoda moramo dimenzionirati tako, da padec tlaka od zbiralnika do potrošnika ne bo večji od 10 kPa (0,1 bar). Večja izguba bi ogrozila gospodarnost in zmanjšala sposobnost pnevmatičnih naprav. Pri načrtovanju moramo tudi upoštevati naknadno povečanje kompresorskih zmogljivosti zaradi večjih potreb po stisnjenemu zraku.

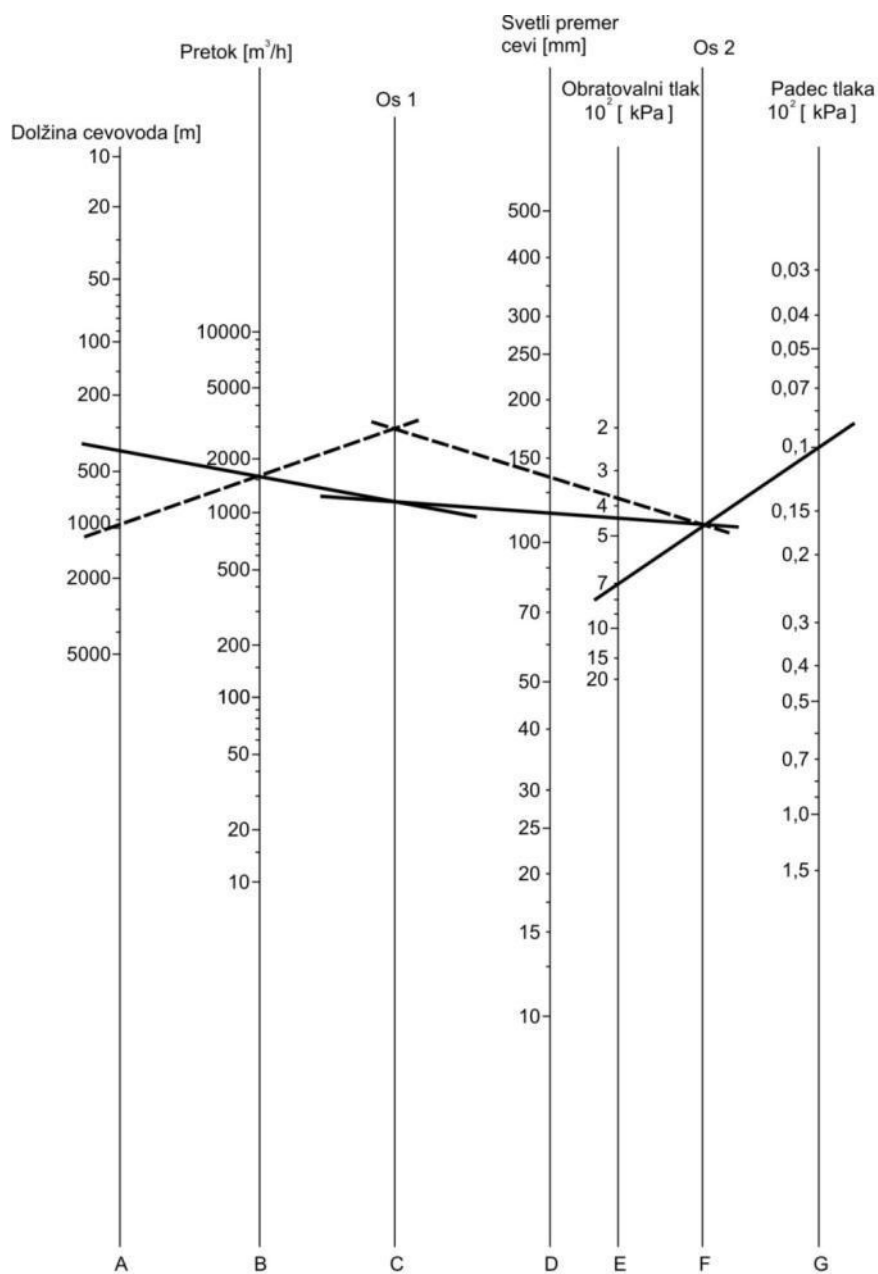
Pri določanju premera cevi moramo upoštevati:

- pretok
- dolžino
- dopustni padec tlaka
- obratovalni tlak
- vrsto in število dušilnih mest.

Za določitev premera cevi moramo poznati celotno dolžino cevovoda. Za cevne zveze, odcepe, loke, za zaporne ventile določimo upore z nadomestno dolžino cevovoda. Izbira notranjega premera cevi je poleg tega odvisna tudi od obratovalnega tlaka in pretočne količine. Najboljše je, če določimo premer cevi s pomočjo nomograma, prikazanega na sliki 21.



Na nomogramu povežemo točko na liniji A (dolžina voda) s točko na liniji B (pretočna količina) in črto podaljšamo do C (os 1). Točko na liniji E (obratovalni tlak) povežemo s točko na liniji G (padeč tlaka) in dobimo presečišče z linijo F (os 2). Povežemo presečišče osi 1 in osi 2. Na liniji D (svetli premer cevi) dobimo v točki presečišča teoretični premer cevi.

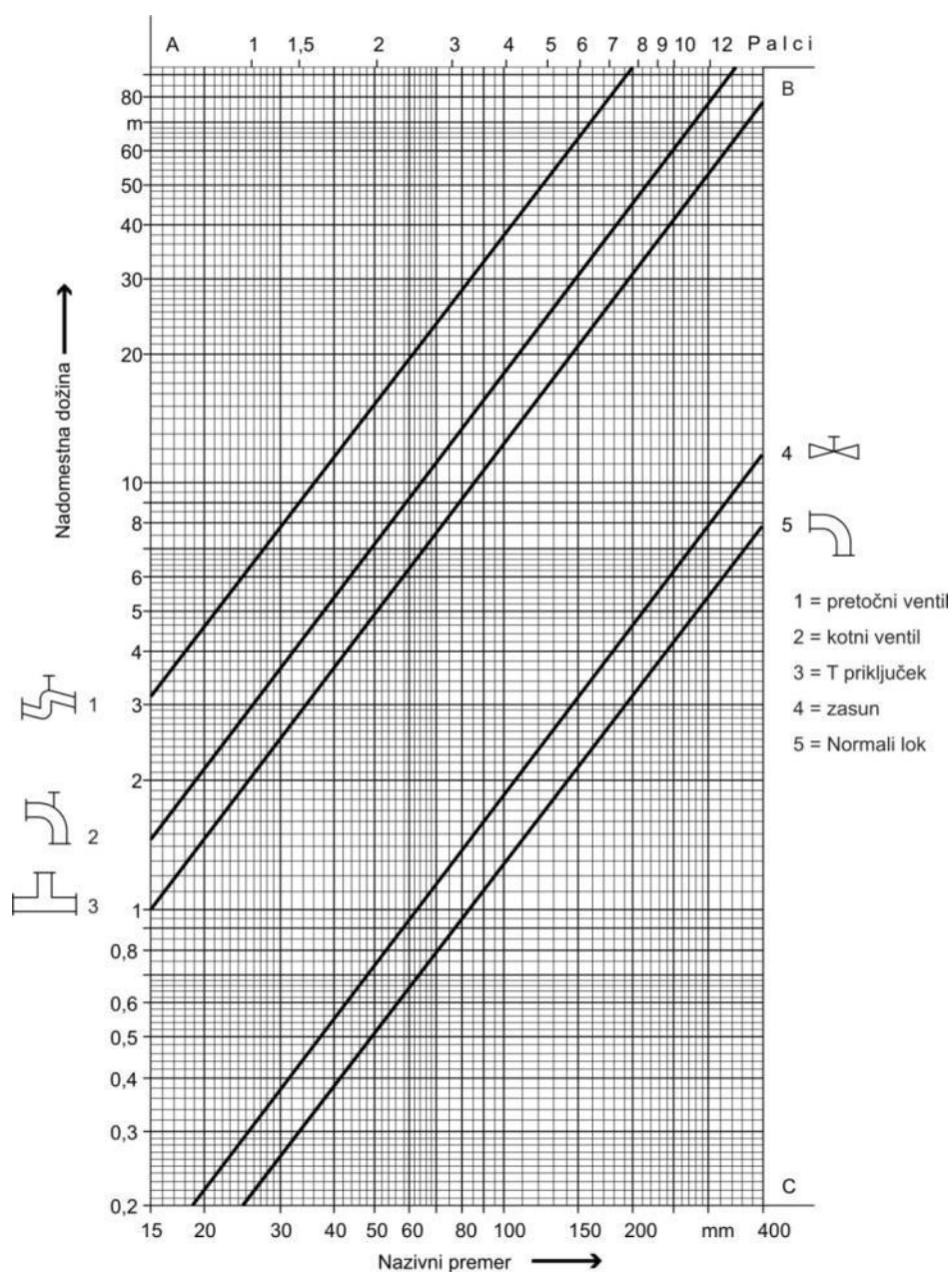


Slika 21: Nomogram za določitev svetlega premera cevi  
Vir: Croser in Ebel, 1994



### 1.3.6. PRETOČNI UPOR

Vsak tok zraka znotraj cevi je moten zaradi pretočnih uporov, ki povzročajo stalen padec tlaka znotraj cevne sistema. Padec tlaka povzročajo tudi cevne zveze, odcepi, loki in druga potrebna armatura. Izgub tlaka v cevovodu ne moremo preprečiti, jih pa lahko z uporabo ustreznih materialov in pravilno montažo občutno znižamo. Upori pretoka se podajajo z nadomestno dolžino cevi. Pod nadomestno dolžino razumemo ravne cevi z enakim pretočnim uporom, kot ga ima dušilni element. Premer nadomestne dolžine je enak premeru cevne voda. Nadomestno dolžino cevi odčitamo za posamezne dušilne elemente na osnovi znanega premera s pomočjo nomograma na sliki 22.

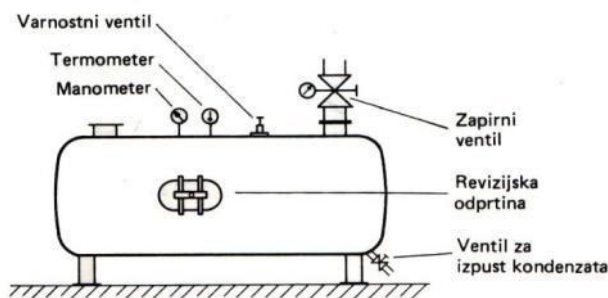


Slika 22: Nomogram za določanje nadomestne dolžine cevi  
Vir: Croser in Ebel, 1994



### 1.3.7. SHRANJEVALNIK STISNJENEGA ZRAKA

Shranjevalnik zagotavlja stabilnost oskrbe s stisnjanim zrakom, izravnava tlačna nihanja v omrežju zaradi odvzema. Zaradi velike površine shranjevalnika se zrak ohlaja, pri čemer se izloči del vlage v obliki kondenzata. Sestavne dele shranjevalnika prikazuje slika 23.



Slika 23: Shranjevalnik zraka  
Vir: Croser in Ebel, 1994

Velikost shranjevalnika pogojuje:

- zmogljivosti kompresorja
- poraba zraka
- omrežja, če imamo vgrajene dodatne shranjevalnike
- vrsta regulacije in
- dopustna tlačna razlika.

#### PRIMER

S pomočjo diagrama na sliki 24 določite velikost shranjevalnika ob podatkih:

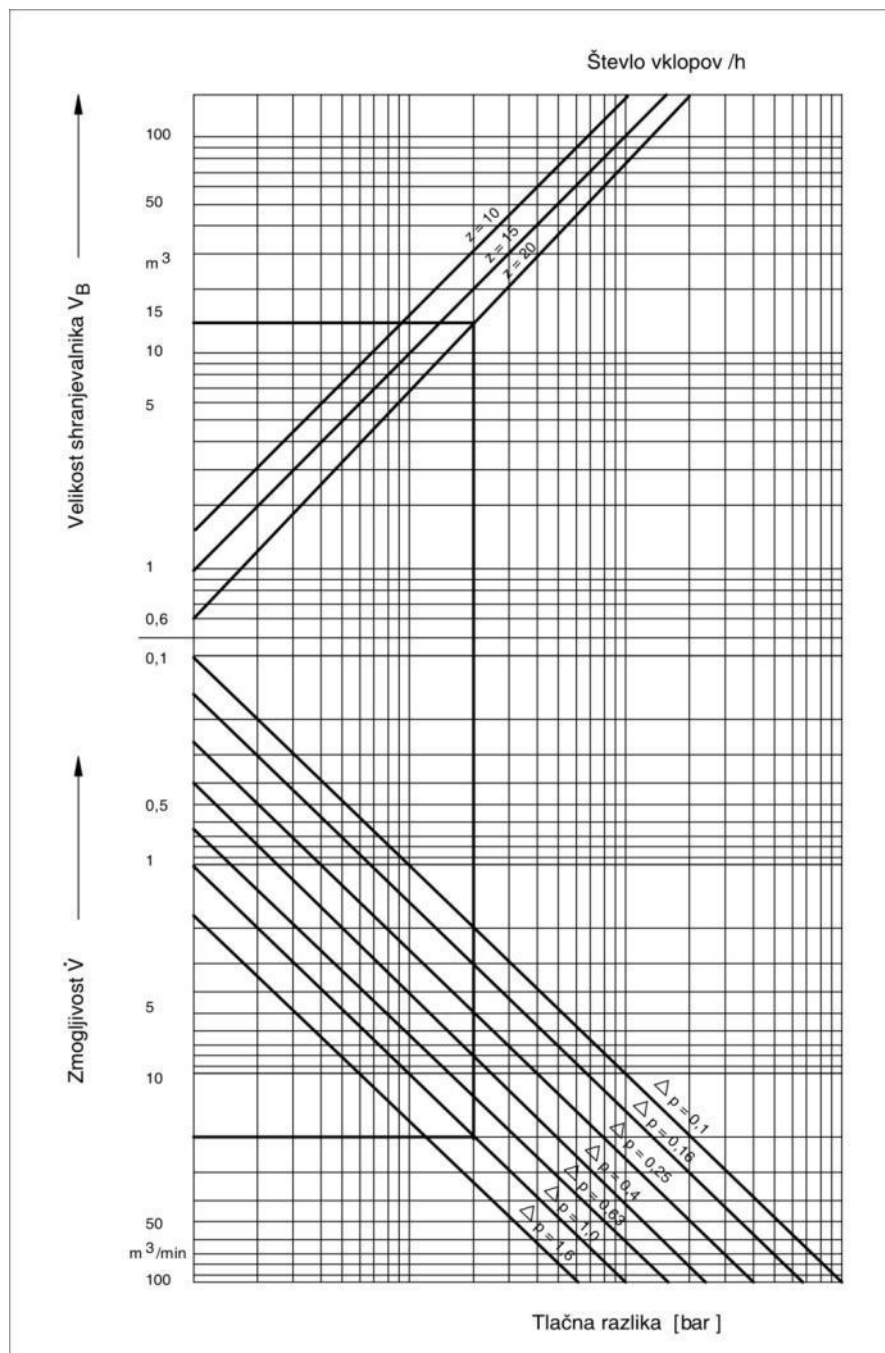
Zmogljivosti kompresorja  $\dot{V} = 20 \text{ m}^3/\text{min}$

Število vklopov/uro  $z = 20$

Tlačna razlika  $\Delta p = 100 \text{ kPa}$

Velikost shranjevalnika  $V_B = ?$





Slika 24: Diagram za določitev velikosti shranjevalnika z ustavljanjem  
Vir: Croser in Ebel, 1994

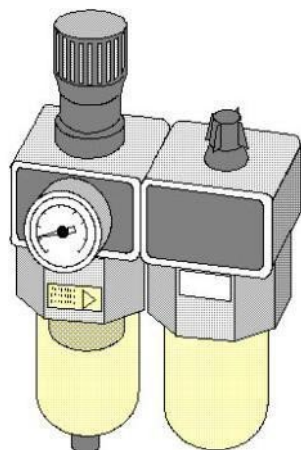
### 1.3.8. PRIPRAVNA SKUPINA

Prilavna skupina je namenjena za prilavo stisnjenega zraka. Prilavno skupino sestavlja zračni filter, regulator tlaka, manometer in naoljevalnik. Sestavo prilavne skupine ponazarja slika 25, v prerezu pa slika 26.

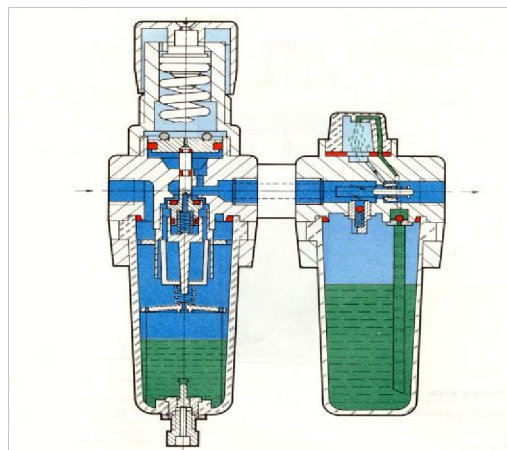
Uporabljamo jo pri vsakem pnevmatičnem krmilnem sistemu. Na splošno naj se ne bi naoljevalo stisnjenega zraka, razen če je to potrebno zaradi gibljivih delov v ventilih in cilindrih. Kar dar je potrebno posebno mazanje, se mora zraku stalno dodajati zadostno količino olja.



Naoljevanje stisnjenega zraka naj bo zagotovljeno samo za dele sistema, ki potrebujejo naoljen zrak. Olje, ki pride v stisnjen zrak v kompresorju, ni primerno za mazanje pnevmatičnih sestavin, zato ga je potrebno odstraniti z napravo za odstranjevanje (izločevanje) izgorelega olja.



Slika 25: Pripravna skupina  
Vir: Croser in Ebel, 1994



Slika 26: Pripravna skupina  
Vir: Croser in Ebel, 1994

Cilindrov s temperaturno odpornimi tesnili ne smemo oskrbovati z naoljenim zrakom, ker olje izpere specialno mast, s katero je namazan valj pri proizvajalcu.

Če želimo v sistemu, ki je deloval z naoljenim zrakom, uporabljati nenaoljen zrak, moramo ventile in cilindre ponovno namazati, ker je bila originalna mast izprana.

Naoljevanje stisnjenega zraka naj se zagotovi v primerih:

- ekstremno hitra gibanja
- cilindri z velikim premerom (naoljevalnik samo za take cilindre).

Prekomerno naoljevanje lahko povzroči:

- funkcijske motnje pri komponentah
- povečano obremenitev okolja
- otrdelost komponent po daljšem mirovanju (prilepljenost tesnil).

Pri pripravi skupini moramo upoštevati:

- Velikost pripravne skupine določimo v odvisnosti od porabe zraka ( $m^3/h$ ).
- Preveliko povečanje porabe zraka povzroči močan padec obratovalnega tlaka. Upoštevati moramo tovarniške podatke.
- Obratovalni tlak ne sme biti višji od podane vrednosti. Temperatura okolice ne sme biti višja od  $50^{\circ}C$  (zaradi kozarca iz umetne mase).



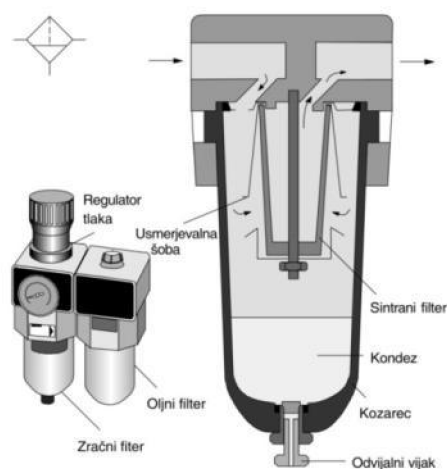
Tabela 5: Elementi preventivnega vzdrževanja pripravne skupine

Sestavni del	Vrsta opravil
Filter stisnjenega zraka	Skozi prozorni kozarec moramo redno kontrolirati nivo kondenzata, ki ne sme preseči maksimalnega nivoja. Pri previsokem nivoju odnaša zrak kondenzat naprej. Nabrani kondenzat odvedemo z odvjalnim ventilom na spodnjem koncu kozarca. Istočasno kontroliramo onesnaženost filterskega vložka in ga po potrebi zamenjamo z novim oziroma očiščenim.
Regulator tlaka stisnjenega zraka	Vzdrževanje ni potrebno. Je pa pogoj, da je pred njim vgrajen filter.
Naoljevalnik stisnjenega zraka	Redno kontroliramo nivo olja in ga po potrebi dolijemo. Dolivanje lahko opravimo med obratovanjem. Pred in med snemanjem kozarec odzračujemo z dodatnim ročnim ventilom. Uporabljati smemo samo mineralna olja. Kozarca ne smemo čistiti s trikloretilenom ali podobnim sredstvom.

Kondenzat, nečistoče in preveč olja lahko povzročajo izrabo gibljivih delov in tesnil pnevmatičnih komponent. Zaradi netesnosti lahko pridejo škodljive snovi tudi iz sistema in onesnažujejo produkte obdelave npr. v živilski, farmacevtski in kemični industriji v taki meri, da so neuporabni.

Izbira filtra stisnjenega zraka je zelo pomembna pri oskrbi pnevmatičnega sistema s kvalitetnim stisnjnim zrakom. Velikost filtra se določa po velikosti por. Z velikostjo se podaja najmanjšo velikost delcev, ki jih filter še lahko zadrži.

Pri ustrezni konstrukcijski izvedbi so filtri stisnjenega zraka uporabni tudi za filtriranje kondenzata. Nabrani kondenzat se mora, še predno doseže zgornji nivo, odvesti, sicer ga zračni tok odnaša skozi filter naprej. Tok zraka skozi filter in sestavo filtra prikazuje slika 27.



Slika 27: Fini filter  
Vir: Croser in Ebel, 1994



Če zrak ni osušen, se v kozarcu hitro nabere preveč kondenzata oziroma ga je treba zelo pogosto odvajati. V takem primeru je priporočljiva uporaba avtomatične odvajalne naprave namesto ročnega ventila. Avtomatično odvajalno napravo sestavlja plavač, ki povzroči pri zvišanju kondenzata na maksimalni nivo odpiranja odvajalnega ventila. Pri znižanju gladine kondenzata na minimalni nivo se ventil zopet zapre. Dodatno je možno tudi ročno odvajanje - preizkušanje delovanja.

Zrak doteka v filter skozi usmerjevalne lopatice, ki ga zvrtničijo. Zaradi centrifugalne sile odletijo večje kapljice vode in trdni delci ob steno kozarca in spolzijo proti dnu. Tako očiščen zrak teče skozi filtrski vložek. S filtrskim vložkom se zadrži vse trdne delce, ki so večji od velikosti por. Pri normalnih filtrih lahko izbiramo med vložki 5  $\mu\text{m}$  in 40  $\mu\text{m}$ .

S stopnjo filtriranja kot značilnost filtra razumemo odstotno količino delcev, ki jih filter izloči od skupne količine iz stisnjenega zraka. Pri velikosti filtra 5  $\mu\text{m}$  se praviloma lahko doseže stopnjo filtriranja 99,99%.

Po daljšem obratovanju moramo filtrski vložek zamenjati, ker je lahko že veliko por zamašenih. Filter ima sicer še vedno svojo funkcijo, je pa pretok zraka močno oviran in s tem povečan padec tlaka.

Kdaj se naj filtrski vložek zamenja, lahko ugotovimo po izgledu (umazanost) ali z meritvijo tlačne razlike med tlakom vhoda in izhoda filtra. Filtrski vložek zamenjamo pri tlačni razliki od 40 do 60 kPa (0,4 do 0,6 bar). Za tako kontrolo se priporoča vgraditev diferencialnega manometra.

Obdobje za zamenjavo filtrskega vložka je odvisno od kvalitete in porabe stisnjenega zraka ter od velikosti por vložka. Vzdrževanje filtra obsega zamenjavo ali čiščenje filtrskega vložka in odvajanje kondenzata.

Pri čiščenju moramo glede čistilnih sredstev upoštevati navodila proizvajalca. Običajno zadostuje, če filtrski vložek operemo v topli milnici in izpihamo z zrakom v obratni smeri.

### **1.3.9. REGULATOR TLAKA**

Že proizvodnja stisnjenega zraka povzroča nihanje tlaka. Na nihanje tlaka v razdelilnem omrežju vpliva potem še vključevanje ventilov, hitrosti cilindrov, dušilni ventili.

Za zanesljivo delovanje pnevmatičnega sistema je potreben konstanten nivo tlaka, ki ga zagotovimo z ventilom za regulacijo tlaka - regulator tlaka. Regulator tlaka vgrajujemo na priključku pnevmatičnega sistema na razdelilno mrežo stisnjenega zraka. Z njim zagotovimo neodvisno od tlačnih nihanj v mreži (primarni tlak) konstanten tlak oskrbe pnevmatičnega sistema (sekundarni tlak). Regulator tlaka je v pripravi skupini vključen za filtrom. Nivo sekundarnega tlaka se lahko nastavlja v odvisnosti od zahtev oskrbovanega sistema.

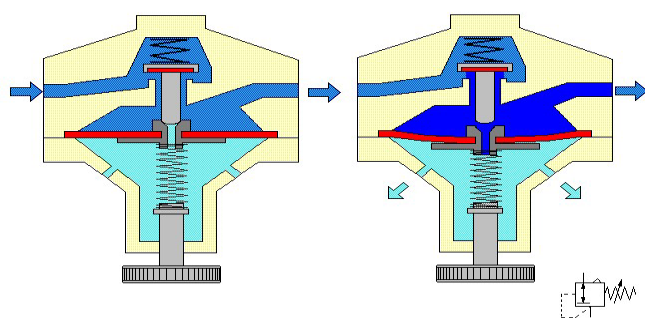


Z višjim obratovalnim tlakom se slabša izkoriščanje energije stisnjenega zraka in povečuje izrabo. Z nižjim obratovalnim tlakom se znižuje sposobnost delovnega dela.

Vhodni (primarni) tlak mora biti vedno večji od izhodnega (sekundarnega) tlaka. Regulacija tlaka poteka avtomatično z membrano. Izhodni tlak deluje na membrano z zgornje strani, s spodnje strani pa deluje vzmet. Napetost vzmeti je nastavljiva z ročnim vijakom.

Če se poveča tlak na sekundarni strani, n. pr. pri spremembi obremenitve na cilindru, se membrana potisne navzdol proti vzmeti. Pretočni ventil se pripre ali zapre. Membranski ventil se odpre in povečani tlak se sprosti skozi odzračevalne odprtine na prosto (funkcija varnostnega ventila). Princip delovanja regulatorja tlaka z odzračevanjem prikazuje slika 28.

Če se tlak na sekundarni strani zniža, vzmet privzdigne membrano in odpre pretočni ventil. Regulacija zračnega tlaka na nastavljeni obratovalni tlak pomeni stalno odpiranje in zapiranje pretočnega ventila. Vgrajeni manometer kaže obratovalni (sekundarni) tlak.



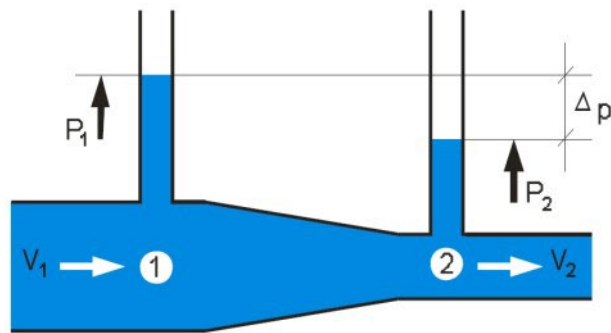
Slika 28: Regulator tlaka z odzračevanjem  
Vir: Croser in Ebel, 1994

Pri regulatorju tlaka brez odzračevalne odprtine se pri povečanju obratovalnega (sekundarnega) tlaka pritiska membrano navzdol proti vzmeti. S tem se pretočni ventil pripre oz. zapre. Pretočni ventil se lahko zopet odpre šele, ko postane obratovalni tlak manjši od primarnega oz. manjši od z vzmetjo nastavljenega.

### 1.3.10. NAOLJEVALNIK

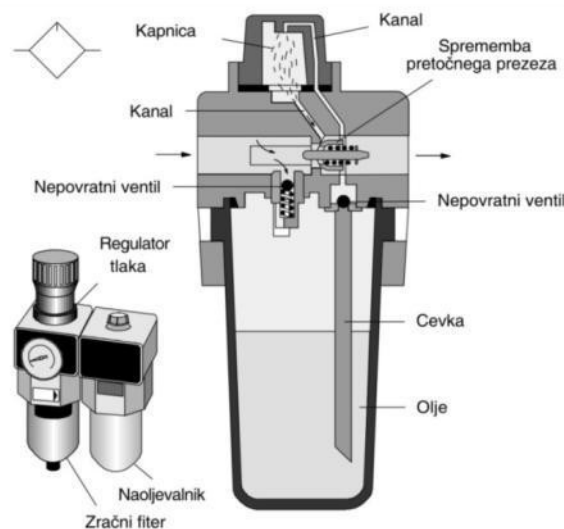
Naoljevalnik omogoča varovanje elementov pred korozijo in izrabo gibajočih delov. Naoljevalnik deluje po Venturijevem principu, ki ga ponazarja slika 29. Razliko tlaka  $\Delta p$  med tlakom na začetku šobe in tlakom na zoženem mestu šobe uporabljamo za sesanje tekočine iz kozarca in za razprševanje v stisnjen zrak.





Slika 29: Venturijev princip  
Vir: Croser in Ebel, 1994

Stisnjen zrak, ki teče skozi naoljevalnik, povzroča v zoženem delu podtlak. S podtlakom se po sesalni cevi sesa olje iz kozarca. Olje prihaja po kapljicah skozi kapnico v zračni tok, ki razprši kapljice v oljno meglo in jo odnaša do mest mazanja. Princip delovanja naoljevalnika in sestavne dele prikazuje slika 30.



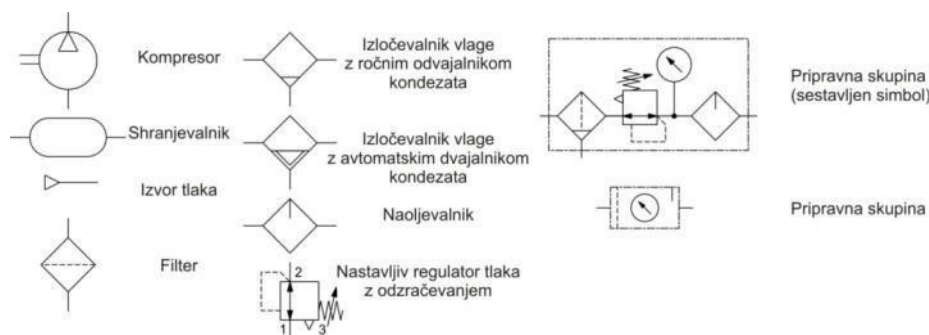
Slika 30: Naoljevalnik  
Vir: Croser in Ebel, 1994

Priporočena se doziranje 1 do 10 kapljic olja na kubični meter stisnjenega zraka. Pravilno doziranje lahko preizkusimo: na najbolj oddaljenem ventilu snamemo dovodno cev in jo usmerimo proti približno 20 cm oddaljenemu kosu belega kartona. Tudi po daljšem času ne smejo biti na kartonu opazne oljne kapljice, le bledorumen madež.

Težava pri vzdrževanju sistema z naoljenim zrakom nastaja zaradi oljnih usedlin na notranjih stenah dovodnih cevi. Tako onesnažene cevi je zelo težko očistiti. Oljne usedline lahko povzročajo tudi otrdelost komponent; posebno pri daljšem mirovanju. Po koncu tedna ali praznika se lahko zgodi, da naoljene komponente ne bodo delovale pravilno (tesnila se zalepijo na sedež). Tako velja osnovno pravilo: stisnjen zrak naj se pripravlja nenaoljen.



Zgoraj opisane elemente lahko prikažemo tudi s simboli, ki so prikazani na sliki 31. Simboli ne prikazujejo konstrukcijskih lastnosti posameznih elementov ampak princip delovanja.



Slika 31: Prikaz elementov za pripravo zraka s simboli  
Vir: Croser in Ebel, 1994

## POVZETEK

Za pripravo stisnjene zraka uporabljamo zrak iz okolice, ki ga s kompresorjem sesamo in tlačimo po cevovodnem omrežju. Zrak iz okolice vsebuje določene nečistoče, kot so prah, vlaga, saje, trdne delce in ostale nečistoče.

Pripravljen stisnjeni zrak pripeljemo do posameznega odvzemnega mesta oziroma porabnika po omrežju, ki je sklenjeno v krog, zaradi stabilnejše oskrbe s stisnjenim zrakom. Pri izvedbi omrežja moramo paziti, da je prečni prerez cevovoda dovolj velik, da so odcepi za zrak narejeni na gornji strani cevovoda, s čimer preprečimo, da bi kondenzat prišel iz glavnega voda do odvzemnega mesta. Polaganje cevi naj ne bo izvedeno po težko dostopnih mestih zaradi kontrole tesnosti omrežja. Obvezno moramo upoštevati nagib cevovoda v višini 1% v smeri toka zraka in na najnižji točki predvideti izpust kondenzata.

V cevovodnem omrežju se pojavi padec tlaka zaradi dolžine cevovodnega omrežja in različnih kompresorjev, kar lahko povzroči motnje v delovanju posameznih naprav. Zato na posameznem odvzemnem mestu uporabljamo pripravno skupino, ki jo sestavlja regulator tlaka z vgrajenim filtrom, lahko pa tudi naoljevalnik.



## VPRAŠANJA IN NALOGE

- Pojasnite, na katere dejavnike moramo biti pozorni pri izbiri načina sušenja zraka.
- Pojasnite, kako vgrajeni elementi (loki, zasuni ...) vplivajo na določitev svetlega premera cevi.
- Na osnovi podatkov in s pomočjo nomograma za določitev svetlega premera cevi in nomograma za določitev nadomestne dolžine cevi določite svetli premer cevovoda.

### Poraba zraka:

Trenutna poraba zraka	= 1200,0 m <sup>3</sup> /h
Predvideno povečanje porabe = 50%	= 500,0 m <sup>3</sup> /h
Predvidene izgube = 10%	= 150,0 m <sup>3</sup> /h

**Skupna poraba = 1.850,0 m<sup>3</sup>/h**

### Ostali podatki:

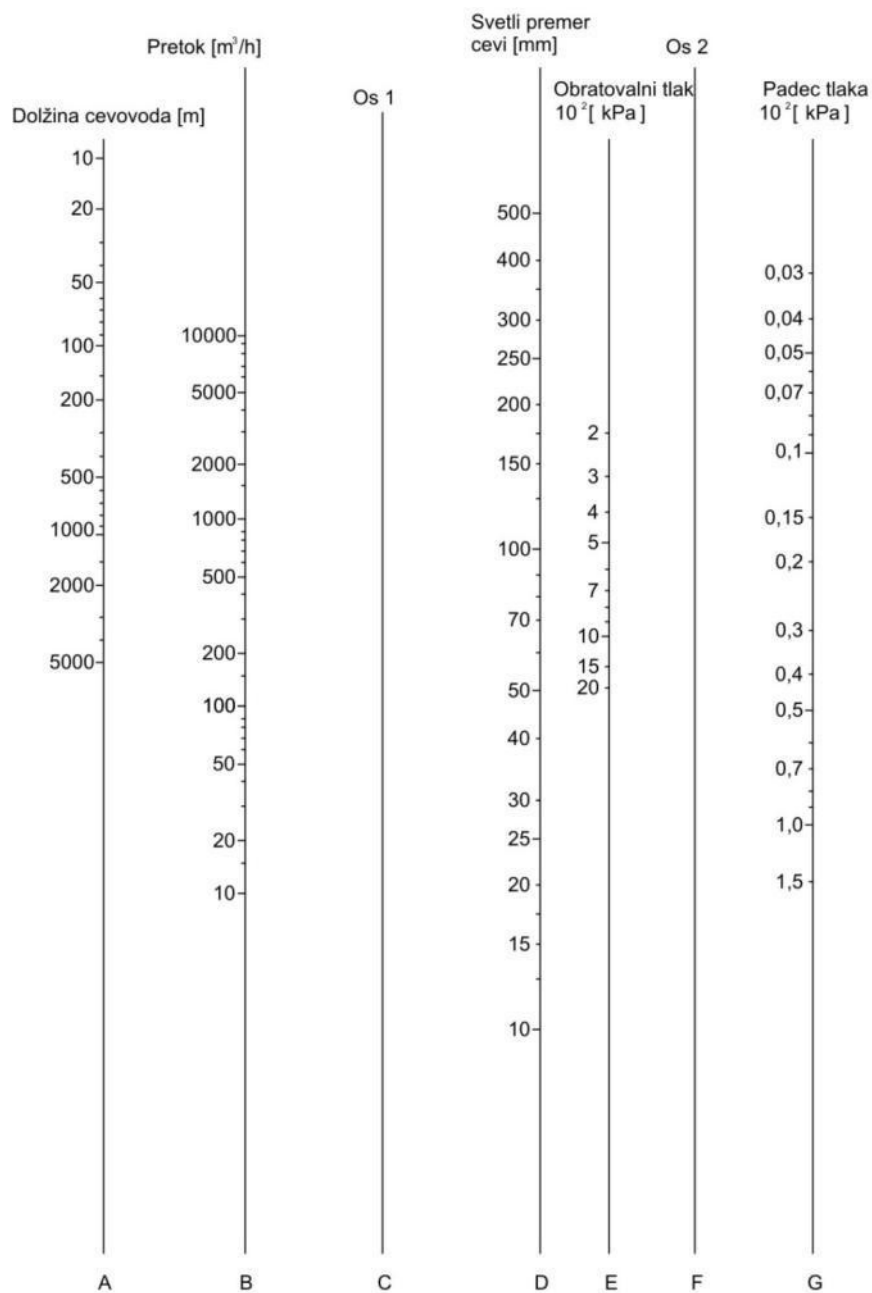
Obratovalni tlak	= 800,0 kPa
Dopustni padec tlaka	= 10,0 kPa
Dolžina cevovoda	= 650 m

Katere dušilne elemente imamo vgrajene v cevovodu in koliko, prikazuje spodnja tabela 6.

*Tabela 6: Dušilni elementi*

Element	Št. kosov	Nadomestna dolžina	Skupna nadomestna dolžina
<b>Normali lok (90°)</b>	24 kosov	24 x ___ m	..... m
<b>T – kos</b>	30 kosov	30 x ___ m	..... m
<b>Zasun</b>	15 kosov	15 x ___ m	..... m
<b>Pretočni ventil</b>	10 kosov	10 x ___ m	..... m
		<b>Skupaj</b>	..... m
		<b>Svetli premer cevovoda</b>	..... mm





4. V podjetju imajo organizirano dvoizmensko delo. V proizvodnji imajo obratovalni tlak nastavljen na 6 barov. Nekje v cevovodnem omrežju uhaja zrak zaradi slabe izvedbe spoja med cevjo omrežja in ventilom. Omenjena netesnost ustreza premeru odprtine 2 mm. S pomočjo diagrama ugotovite izgubljeno količino zraka v [m<sup>3</sup>/min] in izračunajte dnevno izgubo zraka.



## 1.4. PNEVMATIČNE DELOVNE (IZVRŠILNE) KOMPONENTE

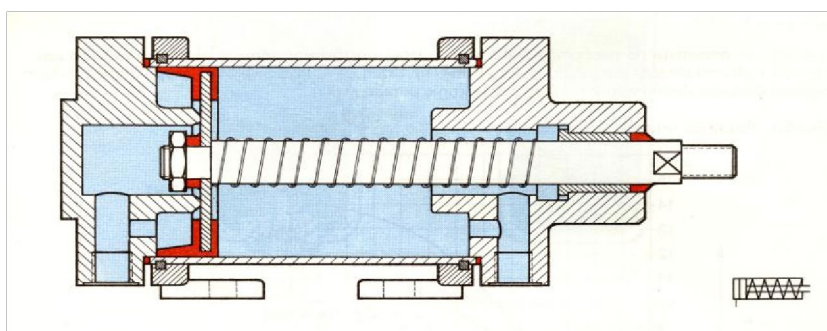
Pnevmatične delovne komponente so naprave, ki energijo stisnjenega zraka spreminjajo v premočrtno ali rotacijsko gibanje. Enosmerni in dvosmerni cilindri sta osnova za različne nadaljnje konstrukcijske variante.

Premočrtna in rotacijska gibanja lahko s pnevmatičnimi delovnimi komponentami izvedemo enostavno in poceni. Konstrukcije posameznih elementov se razlikujejo od proizvajalca do proizvajalca. Za krmiljenje je pomembno, da poznamo funkcijo pnevmatične komponente in da ga znamo izračunati glede na zahteve in ga nato izbrati iz kataloga.

### 1.4.1. PNEVMATIČNE KOMPONENTE ZA PREMOČRTHO GIBANJE

Pnevmatični cilindri pretvarjajo energijo stisnjenega zraka v premočrtno gibanje batnice. Gibanje batnice delimo v gib naprej ali delovni gib in gib nazaj ali povratni gib. Glede na to delimo valje na enosmerne, pri katerih stisnjeni zrak opravlja samo delovni gib, in dvosmerne, kjer stisnjeni zrak opravlja delovni in povratni gib. Največkrat uporabljamo batne cilindre, enosmerni pa so lahko tudi membranski.

**Pri enosmernem cilindru** dovajamo stisnjeni zrak samo z ene strani. Delo lahko opravlja samo v eni smeri. Pri enosmernih cilindrih z vgrajeno povratno vzmetjo je dolžina giba omejena zaradi konstrukcijskih možnosti vgradnje vzmeti. Vzmet mora biti dimenzionirana tako, da vrne bat v izhodiščni položaj z dovolj veliko hitrostjo. Primer enosmernega cilindra prikazuje slika 32.

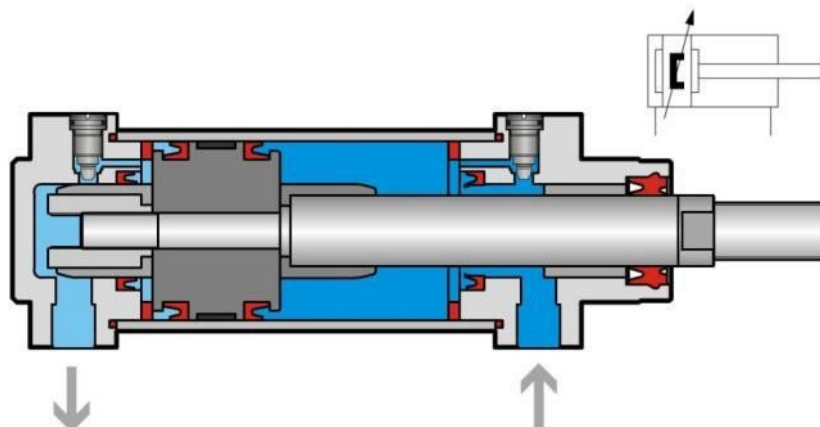


Slika 32: Enosmerno delujoči cilindri  
Vir: Croser in Ebel, 1994

Pri enosmernih cilindrih z vgrajeno povratno vzmetjo je dolžina giba omejena zaradi konstrukcijskih možnosti vgradnje vzmeti. Zaradi tega se izdeluje enosmerne cilindre z gibom največ 80-100 mm. V odvisnosti od konstrukcijske izvedbe uporabljamo enosmerne cilindre za različne funkcije: podajanje, razdeljevanje, zbiranje, dodeljevanje, vpenjanje, oddajanje.



**Dvosmerni cilindar** je po konstrukciji podoben enosmernemu cilindru, vendar je brez povratne vzmeti. Ima dva delovna priključka, skozi katera lahko deluje tlak izmenično z ene ali druge strani bata. Zaradi tega lahko dvosmerni cilindar opravlja delo v obeh smereh gibanja in je tako uporaben v številnih primerih. Sila, ki se prenaša na batnico, je pri gibanju naprej nekoliko večja kot pri gibanju nazaj zaradi različno velikih prostih ploščin bata.



*Slika 33: Dvosmerni cilindar s končnim dušenjem in trajnim magnetom  
Vir: Croser in Ebel, 1994*

Če se premika večje mase, uporabimo dvosmerni cilindar s končnim dušenjem. S tem se prepreči udarjanje bata in poškodovanje valja. Malo pred končnim položajem se z dodatnim batom zapre neovirano odzračevanje valja. Zrak lahko potem odteka le skozi nastavljivo dušilko in bat se premakne v končni položaj z zmanjšano hitrostjo. Dušilke ne smemo popolnoma zapreti, ker se sicer bat ne more premakniti v končni položaj. Na sliki 33 vidimo, da ima bat vgrajen trajni magnet, ki služi za kontrolo položaja batnice.

Cilindar sestavlja cev ohišja, zadnji in ležajni pokrov, bat s tesnilom (dvojna cilindrična manšeta), batnica, ležajna puša, tesnilni obroček, vezni členi in tesnila. Za cev ohišja se uporablja pretežno brezšivno, vlečeno jekleno cev.

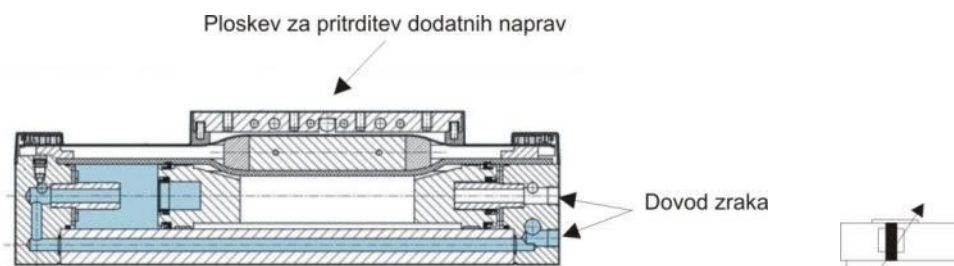
Zaradi podaljšanja življenjske dobe batnega tesnila je notranja drsna površina cevi fino obdelana (honana). Za posebne namene se uporablja cev iz aluminija, medenine ali jekla s trdo kromano drsno površino. Te posebne izvedbe uporabljamo pri manj pogosti uporabi valjev ali v primerih korozijskih vplivov.

Za zadnji in ležajni pokrov se uporablja pretežno litina (aluminij, temprana litina). Pritrditev pokrova in dna na cev ohišja je izvedena z vpenjalnimi vijaki, navojem ali s prirobnicami.

Batnica je izdelana iz poboljšane jekla. Navoji batnice so valjani zaradi zmanjšanja zarezne učinka.



**Linearni pogon**, ki je prikazan na sliki 34 in 35, sestavlja cilindrična cev, bat in zunanji drsnik. Bat se v cilindrični cevi prosto premika pod vplivom stisnjenega zraka. V bat in drsnik je vgrajen permanentni magnet. Gibanje bata se prenaša na drsnik z magnetnimi silnicami. Kakor se pod vplivom stisnjenega zraka premika bat, tako se premika (sinhrono) tudi drsnik. Te cilindre uporabljamo za posebno dolge gibe; tudi do 10 m. Naprave, ki se jih premika, se lahko pritrdi direktno na drsnik.



Slika 34: Linearni pogon

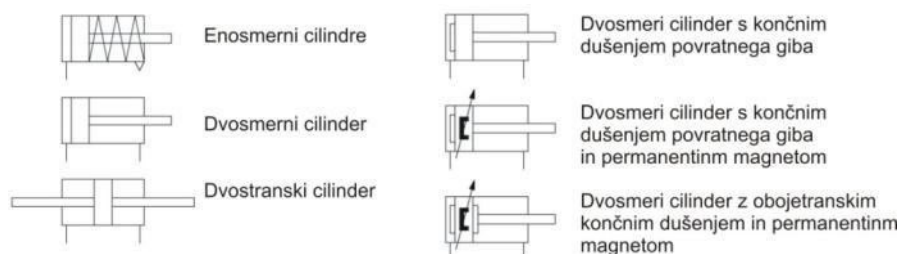
Vir: [http://pdf.directindustry.com/pdf/festo/dgp-linear-drive-unit/4735-24720\\_13.html](http://pdf.directindustry.com/pdf/festo/dgp-linear-drive-unit/4735-24720_13.html)



Slika 35: Linearni pogon

Vir: [http://pdf.directindustry.com/pdf/festo/dgp-linear-drive-unit/4735-24720\\_6.html](http://pdf.directindustry.com/pdf/festo/dgp-linear-drive-unit/4735-24720_6.html)

Pnevmatične komponente za premočrtno gibanje lahko ponazorimo tudi s simboli, prikazanimi na sliki 36.



Slika 36: Simboli pnevmatskih komponent za linearno gibanje

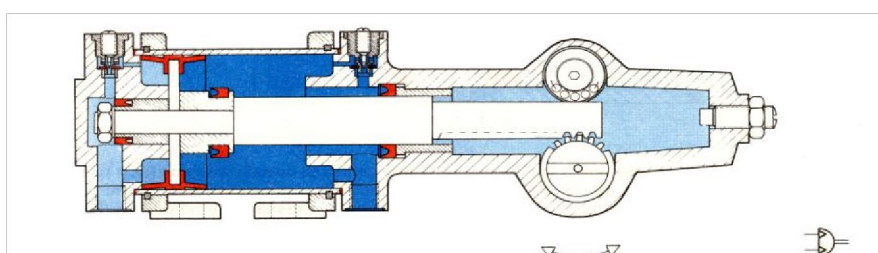
Vir: Haring, Metzger in Weber, 2009



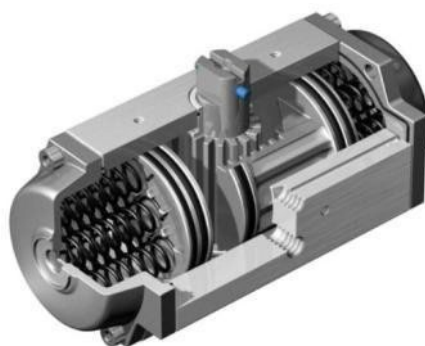
## 1.4.2. PNEVMATIČNE KOMPONENTE ZA ROTACIJSKO GIBANJE

**Zasučni cilinder** ima konec batnice na določeni dolžini ozobljeno, prikazuje ga slika 37. Pri gibanju bata poganja batnica zobnik in tako dobimo iz premočrtnega vrtilno gibanje. Glede na smer gibanja bata se suka zobnik v eno ali drugo smer. Od izvedbe je odvisen kot zasuka; od 45°, 90°, 180°, 290° do 720°C. Obstaja tudi možnost nastavljanja zasuka glede na maksimalno območje.

Vrtilni moment je odvisen od tlaka zraka, ploščine bata in od prestavnega razmerja. Zasučni cilinder lahko uporabimo za obračanje obdelovancev, za upogibanje kovinskih cevi, za regulacijo klimatskih naprav in podobno. Zasučni cilinder v prerezu predstavlja slika 38.



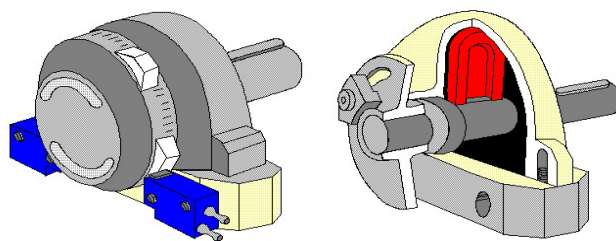
Slika 37: Zasučni cilinder  
Vir: Croser in Ebel, 1994



Slika 38: Zasučni cilinder  
Vir: Haring, Metzger, in Weber, 2009

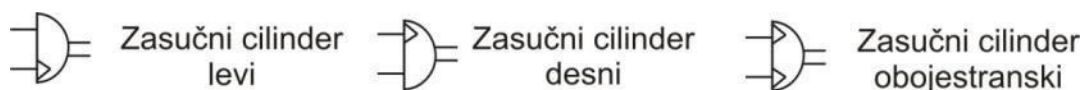
**Zasučni krilni cilinder**, ki ga predstavlja slika 39, ima omejen kot zasuka. Kot zasuka je redkokdaj večji od 300°. Problematično je tesnjenje in dimenzijska obsežnost. Z njim dosegamo praktično le majhne vrtilne momente. Občasno jih uporabljamo v pnevmatiki, pogosto pa v hidravliki.





Slika 39: Zasučni krilni cilindri  
Vir: Croser in Ebel, 1994

Za poenostavljen prikaz zasučnih cilindrov uporabljamo simbole, prikazane na sliki 40.



Slika 40: Simboli pnevmatskih komponent za rotacijsko gibanje  
Vir: Croser in Ebel, 1994

### 1.4.3. PNEVMATIČNI MOTORJI

Pnevmatični motorji so naprave, ki spreminjajo pnevmatično energijo v mehansko energijo vrtenja. Pretežno v praksi uporabljamo pnevmatične motorje - brez omejenega kota zasuka.

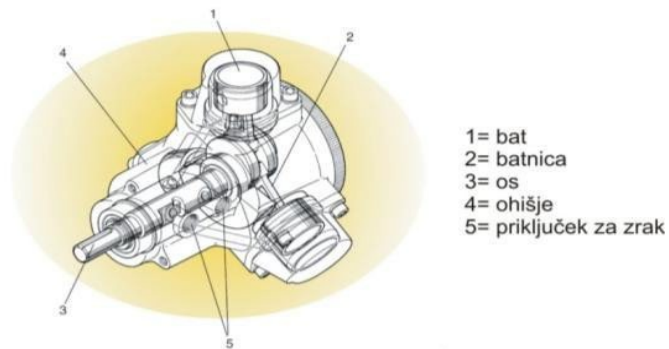
Pnevmatične motorje delimo po njihovi konstrukciji na:

- batne motorje
- lamelne motorje
- zobniške motorje
- turbinske motorje.

**Batne motorje** delimo po izvedbi na radialne in aksialne. Pri radialnih motorjih poganja stisnjen zrak kolenčasto gred preko radialno nameščenih valjev. Zaradi enakomernega teka je vgrajenih več valjev. Zmogljivost motorja je odvisna od vhodnega tlaka, števila batov, ploščine batov, dolžine giba in hitrosti batov. Način delovanja aksialnih motorjev je podoben radialnim. S petimi vzdolžno vgrajenimi valji se spreminja linijsko gibanje v vrtenje s pomočjo opletavke. Zaradi enakomernega vrtilnega momenta in s tem mirnega teka motorja se istočasno polnita s stisnjenim zrakom po dva valja.

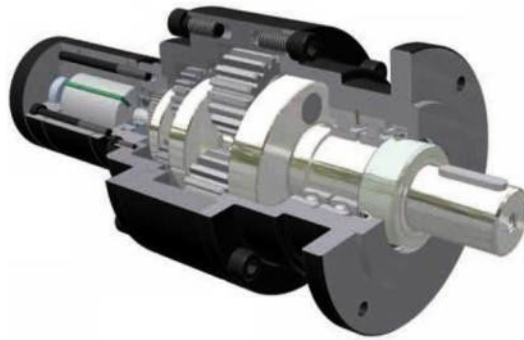
Te motorje izdelujejo za desno in za levo smer vrtenja. Dosegajo maksimalno število vrtljajev do približno  $5000 \text{ min}^{-1}$ , pri čemer znaša območje zmogljivosti pri normalnem tlaku od 1,5-19 kW (2-25 KM).





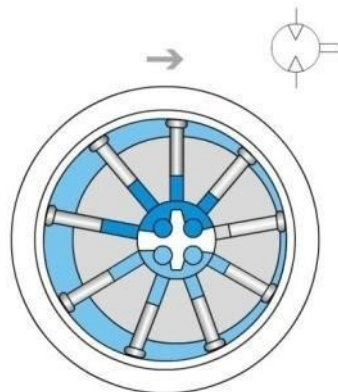
Slika 41: Radialni motor

Vir: [http://www.guedon.de/fileadmin/user\\_upload/pdf/guedon-radial-kolbenmotoren-reihe-p1v-p-p09pdf.pdf](http://www.guedon.de/fileadmin/user_upload/pdf/guedon-radial-kolbenmotoren-reihe-p1v-p-p09pdf.pdf)



Slika 42: Lamelni motor

Vir: [http://www.guedon.de/fileadmin/user\\_upload/pdf/guedon-robuste-druckluft-motoren-reihe-p1v-m-p09pdf.pdf](http://www.guedon.de/fileadmin/user_upload/pdf/guedon-robuste-druckluft-motoren-reihe-p1v-m-p09pdf.pdf)



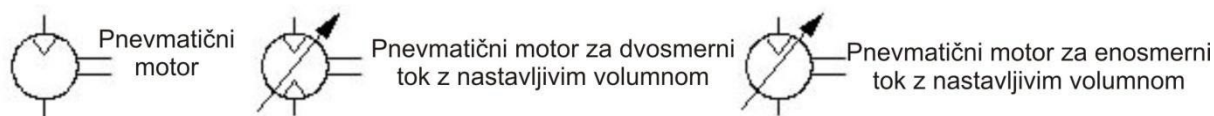
Slika 43: Lamelni motor

Vir: Croser in Ebel, 1994

**Lamelni motor** ima v cilindričnem ohišju ekscentrično vgrajen rotor. V rotorju so utori, v katerih so lamele. Pri vrtenju rotorja so lamele zaradi centrifugalne sile pritisnjene ob steno cilindričnega ohišja. S tem je zagotovljeno tesnjenje med posameznimi celicami. Število vrtljajev rotorja je med  $3000$  in  $8500 \text{ min}^{-1}$ . Tudi lamelni motorji se lahko vrtijo v desno ali levo smer,



zmogljivost znaša od 0,1-17 kW (0,1-24 KM). Za lamelne motorje je značilna enostavna konstrukcija in majhna teža.



Slika 44: Simboli pnevmatičnih motorjev  
Vir: Croser in Ebel, 1994

#### 1.4.4. NAČINI PRITRDITVE CILINDROV

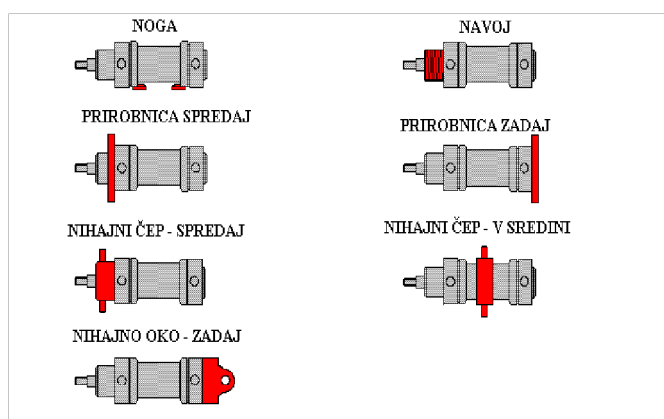
Način pritrditve cilindra prikazuje slika 44 in je odvisen od vgradnje cilindra na stroj. Če ni predvidena poznejša sprememba vgradnje, se lahko izvede trajno pritrditev cilindra. Sicer pa pritrdimo cilindre z uporabo dodatnih elementov tako, da jih lahko enostavno demontiramo, vgradimo drugače ali drugje.

Pritrditev cilindra in priključitev batnice moramo prilagoditi tako, da je valj obremenjen samo v osni smeri.

Pri neustrezni prilagoditvi in tudi pri preveliki osni sili nastanejo sledeči škodljivi vplivi:

- visoki lokalni ploščinski tlaki v puši valja, ki povzročajo hitro izrabo;
- visoki lokalni ploščinski tlaki na batni;
- povečane in neenakomerne obremenitve batnice in bata.

Omenjene obremenitve bistveno zmanjšujejo življenjsko dobo valja. Z uporabo ležajev, ki so nastavljivi tridimenzionalno, lahko škodljive posledice odpravimo.



Slika 45: Načini pritrditve cilindrov  
Vir: Croser in Ebel, 1994



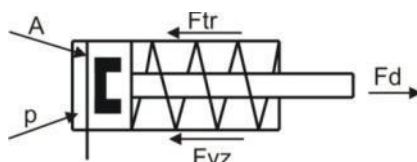
### 1.4.5. DIMENZIONIRANJE CILINDRA

Sila bata pnevmatičnega cilindra je odvisna od zračnega tlaka, premera cilindra in trenja tesnilnih elementov. Dejanska sila je pri normalnih obratovnih tlakih (400–800 kPa) manjša za silo trenja, ki je po navadi 3–20% teoretične sile. Pri enosmernih cilindrih moramo upoštevati tudi silo povratne vzmeti.

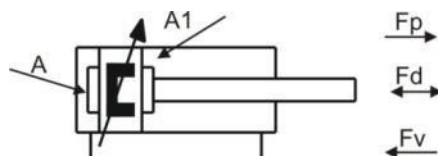
Sila bata pri enosmernem cilindru:

$$F_{\text{teor}} = A \cdot p$$

$$F_d = A \cdot p - (F_{\text{tr}} + F_{\text{vz}})$$



Sila pri dvosmernem cilindru



$$F_d = A \cdot p - F_{\text{tr}}$$

$$F_d = A_1 \cdot p - F_{\text{tr}}$$

Dejanska sila pri potiskanju

Dejanska sila pri vlečenju

$$A = \frac{D^2 \cdot \pi}{4}$$

Površina pri delovnem gibu bata

$$A_1 = \frac{(D^2 - d^2) \cdot \pi}{4}$$

Površina pri povratnem gibu bata

$F_{\text{teor}}$  = teoretična sila bata [N]

$F_d$  = dejanska sila bata [N]

$F_{\text{tr}}$  = sila trenja (3-20%  $F_d$ ) [N]

$F_{\text{vz}}$  = sila povratne vzmeti [N]

A = koristna površina bata [ $\text{m}^2$ ]

$A_1$  = površina kolobarja bata [ $\text{m}^2$ ]

D = premer valja [m]

d = premer batnice [m]

p = delovni tlak [Pa,  $\text{N}/\text{m}^2$ ]



### 1.4.6. IZRAČUN PORABE ZRAKA

Zaradi zagotavljanja zadostnih količin zraka moramo poznati porabo pnevmatičnih naprav. Podatek o porabi zraka lahko uporabimo tudi za izračun stroškov energije.

Porabo zraka = delovnega tlaka · tlačnega razmerja · dolžine · števila gibov [min].

$$T_r = \frac{101,3 + \text{delovni tlak [kPa]}}{101,3}$$

$p$  = delovni tlak

$Tr$  = tlačno razmerje

Porabo zraka pa hitreje in enostavneje določimo po nomogramu, kjer je podana za cm giba določenega premera valja in za tlake od 200-1500 kPa (2-15 bar).

Poraba zraka pri enosmernem valju:  $Q = s \cdot n \cdot \frac{D^2 \cdot \pi}{4} T_r [\text{l/min}]$

Poraba zraka pri dvosmernem valju:  $Q = s \cdot \left[ \frac{D^2 \cdot \pi}{4} + \frac{(D^2 - d^2) \cdot \pi}{4} \right] \cdot n \cdot T_r [\text{l/min}]$

$Q$  = količina zraka [l/min]

$s$  = dolžina giba [cm]

$n$  = število gibov [min]

$D$  = premer bata [cm]

Porabo zraka lahko določimo tudi na osnovi nomograma na sliki 70, kjer moramo upoštevati enačbo za enosmerni oziroma dvosmerno delujoči valj.

Poraba zraka po nomogramu za enosmerno delujoči cilindar:  $Q = s \cdot n \cdot q [\text{l/min}]$

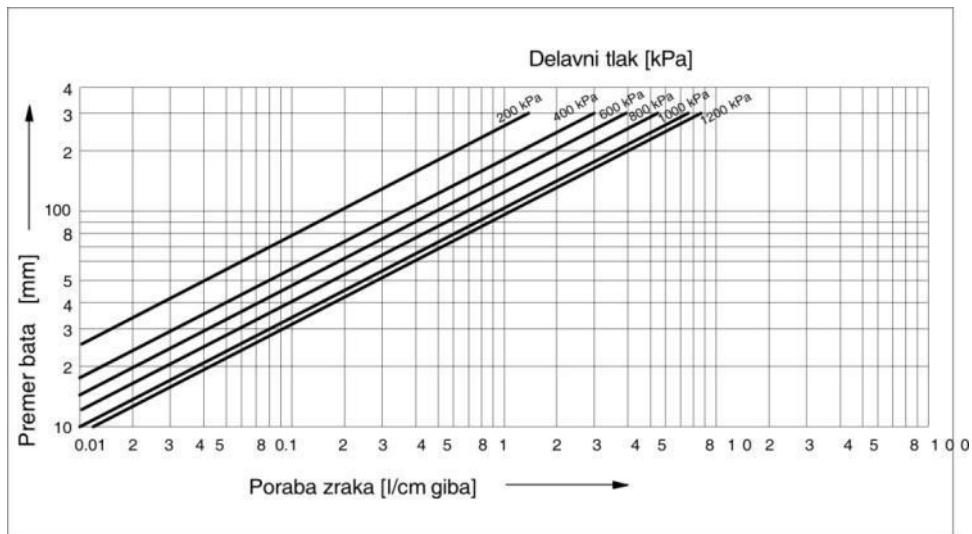
$Q$  = količina zraka [l/min]

$s$  = dolžina giba [cm]

$n$  = število gibov [l/min]

$q$  = poraba zraka na cm giba [l/cm]





Slika 46: Nomogram za določitev porabe zraka  
Vir: Croser in Ebel, 1994

Ob upoštevanju gornjih podatkov tako dobimo:

$$Q = 2 \cdot \left( 10 \text{ cm} \cdot \frac{10}{\text{min}} \cdot \frac{0,134 \text{ l}}{\text{cm}} \right) = 26,8 \text{ [l/min]}$$

Izračunano količino porabe zraka povečamo od 10% do 20%, odvisno od izvedbe posameznega valja, saj moramo upoštevati mrtve prostore, ki se polnijo ob vsakem gibu cilindra.

#### POVZETEK

Pnevmatične delovne komponente za premočrtno gibanje so valji, s katerimi izvajamo potiskanje, v določenih primerih pa tudi vlečenje. Proizvajalci pnevmatičnih valjev v katalogih navajajo specifično porabo zraka  $q$ . Z njo podajajo porabo zraka v litrih na centimeter giba bata. Glavna področja uporabe so potiskanje, dvigovanje in vpenjanje obdelovancev.

Za izvajanje rotacijskih gibanj uporabljamo zasučne pogone in motorje. Kot zasuka je odvisen od posamezne izvedbe in je največkrat brezstopenjsko nastavlјiv.



## VPRAŠANJA IN NALOGE

1. Na osnovi podatkov izračunajte dejansko silo dvosmernega cilindra pri potiskanju in vlečenju.  
D = 50 mm  
d = 12 mm  
p = 600 kPa  
A = 19,625 cm<sup>2</sup>  
A1 = 18,5 cm<sup>2</sup>  
F<sub>tr</sub> = 10% srednje vrednosti
2. Kolikšna je poraba zraka pri dvosmerno delujočem cilindru premera bata 50 mm in batnice 12 mm, z dolžino giba 100 mm, če cilindri opravi 10 gibov na minuto pri tlaku 600 kPa?
3. Pojasnite, od česa je odvisna poraba zraka priključenih delovnih elementov?



## 2. KAZALO SLIK

Slika 1: Vrste tlakov .....	8
Slika 2: Princip Boyle Mariottovega zakona .....	8
Slika 3: Princip Gay Lussacovega zakona .....	8
Slika 4: Vrste kompresorjev .....	11
Slika 5: Batni kompresor .....	12
Slika 6: Dvostopenjski kompresor z vmesnim hlajenjem .....	12
Slika 7: Membranski kompresor .....	13
Slika 8: Rootsov kompresor .....	13
Slika 9: Vijačni kompresor .....	13
Slika 10: Večkomorni vrtljivi kompresor .....	13
Slika 11: Aksialni kompresor .....	14
Slika 12: Radialni kompresor .....	14
Slika 13: Krivulja nasičenosti .....	16
Slika 14: Absorpcijsko sušenje .....	18
Slika 15: Absorpcijsko sušenje .....	18
Slika 16: Sušenje z ohlavitvijo .....	18
Slika 17: Obročasti vod .....	20
Slika 18: Rešetkasta mreža .....	20
Slika 19: Sistem oskrbe s stisnjenim zrakom .....	20
Slika 20: Diagram izgube zraka zaradi netesnosti .....	21
Slika 21: Nomogram za določitev svetlega premera cevi .....	22
Slika 22: Nomogram za določanje nadomestne dolžine cevi .....	23
Slika 23: Shranjevalnik zraka .....	24
Slika 24: Diagram za določitev velikosti shranjevalnika z ustavljanjem .....	25
Slika 25: Pripravna skupina .....	26
Slika 26: Pripravna skupina .....	26
Slika 27: Fini filter .....	27
Slika 28: Regulator tlaka z odzračevanjem .....	29
Slika 29: Venturijev princip .....	30
Slika 30: Naoljevalnik .....	30
Slika 31: Prikaz elementov za pripravo zraka s simboli .....	31
Slika 32: Enosmerno delujoči cilinder .....	34
Slika 33: Dvosmerni cilinder s končnim dušenjem in trajnim magnetom .....	35
Slika 34: Linearni pogon .....	36



Slika 35: Linearni pogon .....	36
Slika 36: Simboli pnevmatskih komponent za linearno gibanje .....	36
Slika 37: Zasučni cilinder .....	37
Slika 38: Zasučni cilinder .....	37
Slika 39: Zasučni krilni cilinder .....	38
Slika 40: Simboli pnevmatskih komponent za rotacijsko gibanje .....	38
Slika 41: Radialni motor .....	39
Slika 42: Lamelni motor .....	39
Slika 43: Simboli pnevmatičnih motorjev .....	40
Slika 44: Načini pritrditve cilindrov .....	40
Slika 45: Nomogram za določitev porabe zraka .....	43



# 3. KAZALO TABEL

Tabela 1: Področja uporabe pnevmatike.....	6
Tabela 2: Značilnosti in prednosti pnevmatike .....	6
Tabela 3: Slabosti pnevmatike .....	7
Tabela 4: Kriteriji izbire kompresorjev .....	14
Tabela 5: Elementi preventivnega vzdrževanja pripravne skupine .....	27
Tabela 6: Dušilni elementi .....	32



# 4. PRILOGE



# LCAMP

Learner Centric Advanced Manufacturing Platform



**Co-funded by  
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.