

MEHATRONIKA

Mehatroniko razumemo kot interdisciplinarno tehniško prepletanje osnovnih oz. klasičnih ved - strojništva (mehanizmi, precizne mehanike, strojogradnje ...), elektrotehnike (elektronike), avtomatiziranega vodenja (regulacije, krmilna tehnike ...), računalništva in informatike.

V mehatroniki je zajeta celota osnovnih znanj, postopkov in tehnik, za vzdrževanje, proizvodnjo in razvoj strojev, naprav in postrojev.

Interdisciplinarnost, oziroma povezava vseh prej naštetih gradnikov mehatronike, nam daje večjo kvaliteto izdelka, zanesljivost, funkcionalnost in tudi nižjo ceno, kot jo imajo izdelki grajeni s klasičnimi znanji samo strojništva ali elektrotehnike.

Razvoj mehatronike

Lahko rečemo, da 20. stoletje označuje velik tehnološki in znanstveni napredek. Začelo se je z razvojem kompleksnih, natančnih in hitrih produkcijskih strojev v industriji in nadaljevalo s prodiranjem elektronike in informatike v industrijo, s ciljem povečati avtomatizacijo.

Industrijska evolucija je naredila nov korak, saj je z razvojem mikroprocesorjev in njihovo vsesplošno uporabnostjo, z nanotehnologijo ter razvojem programskih orodij, omogočila uresničitev izdelave zahtevnih in kompleksnih sistemov, ki so tudi ekonomsko upravičeni. Konec stoletja je označilo spoznanje, da je potrebno zlit različne tehnologije, še posebej mehaniko, elektroniko in informacijsko tehnologijo oziroma inteligentno računalniško vodenje, v eno sinergijsko zaokroženo celoto.

Mehatronika povezuje vedenje klasičnih disciplin v smislu funkcionalnosti novih izdelkov, ki jo dosegamo z računalništvom in informatiko. Ime definirata »meha«, ki se nanaša na tehnične komponente in »tronika«, ki ima pomen inteligentnega vodenja postopkov. V proizvode in sisteme, ki jih sestavljajo mehanski in elektronski deli ali sklopi, so vključeni senzorji za zajem informacij in mikroprocesorji, ki analizirajo informacije.

V tehniki zagotovo ni več področja, ki bi si ga lahko predstavljali brez računalniško podprtih sistemov; morda ne računalnik v klasični obliki, pač pa je vezje, ki je vgrajeno v sistem, relativno majhnih dimenzij. Lahko je to otroška igrača, mobilni telefon, kamera, CNC-stroj, avtomobil, robot.

Ime mehatronika se je pojavilo v 70-ih letih prejšnjega stoletja na Japonskem. Zgledi mehatronskih izdelkov so proizvodi, kot so video kamere, moderni fotokopirni stroji, uporabniško in okoljevarstveno prijazni novi pralni stroji, avtomobili na električni pogon ... Dejansko posegajo moderni mehatronski izdelki v vse pore naše tehnične civilizacije, kot so: kemična procesna industrija, kovinsko-predelovalna industrija, tekstilna industrija ... Nadaljnje raziskave podobnih primerov novih proizvodov nam pokažejo, da mehatronika ne predstavlja samo sinergije znanj klasičnih disciplin, ampak omogoča zasnovo, načrtovanje in gradnjo funkcionalno novih proizvodov.

Razvoj mehatronskih izdelkov je shematsko predstavljen na sliki. Enako pomembna, kot je kvalitetna, cenena in pravočasna produkcija v tovarni, je tudi pravilno in trenutni ekonomski situaciji prilagojeno načrtovanje izdelka, kakor tudi marketing, oziroma tržna raziskava po kakšni ceni, ob kakšni kvaliteti in kdaj bo tržišče absorbiralo izdelek.

FLUIDNA TEHNIKA

Osnovni izrazi in definicije

Civilizacijski razvoj je skozi zgodovino neločljivo povezan z razvojem tehnike, pogojene z uporabo strojev, ki so že na začetku uporabljali dva osnovna medija za prenos energije - vodo in zrak. Področje tehnike, ki še danes uporablja ta dva elementarna in njima podobne medije, imenujemo fluidna tehnika.

Za fluidno tehniko (lat. fluidus = tekoč) lahko torej rečemo, da je to področje, ki obravnava prenos energije (v tehniki prenosa moči) in informacij (v tehniki upravljanja) s pomočjo tekočin (fluidov) oz. kapljev in plinov; delimo jo na pnevmatiko, hidravliko in fluidiko.

Izraz pnevmatika izhaja iz grške besede pnevma (dah, veter). Pod tem pojmom danes obravnavamo elemente, naprave, postroje, ki za opravljanje dela uporabljajo stisnjen (komprimiran) zrak - nadtlak ali vakuum - podtlak. Beseda hidravlika izhaja iz grške besede hidor = voda in aulos = cev, kar nam da besedo hidraulikos. V skladu z definicijo predstavlja hidravlika vedo o pretvarjanju in prenosu energije in informacij s pomočjo tekočine oz. fluida pod tlakom (tlačne tekočine).

Danes predstavljajo tlačne tekočine kompleksno komponento znotraj hidravličnih naprav in sistemov. Obstaja več vrst tlačnih tekočin, najpogostejše pa so uporabljene tlačne tekočine na bazi mineralnih olj. Poleg teh se pogosto uporabljajo tudi težko vnetljive tlačne tekočine (emulzije, olja in vode), sintetične tlačne tekočine (poliestri, estri itd.) in predvsem z ekološkega vidika v zadnjem času zanimive tlačne tekočine na bazi rastlinskih olj (oljna repica) ter voda.

Beseda fluidika označuje posebno vejo fluidne tehnike, kjer krmilne komponente delujejo brez gibljivih delov z delovnim medijem, ki je lahko zrak, vroči plin, voda, olje ali druge tekočine (interakcija curka medija in pretek).

KRMILNA TEHNIKA

Fluidna tehnika je tesno povezana z zakonitostmi sorodne vede - krmilne tehnike. Krmilna tehnika obravnava zakonitosti krmiljenja znotraj nekega tehničnega sistema oz. krmilja. Krmiliti pomeni voditi, upravljati, neposredno vplivati. Pod pojem krmilje štejemo vse sestavine in elemente na stroju ali napravi, zaradi katerih stroj ali naprava deluje po vnaprej predvidenem načrtu dela. Vsako krmilje je sestavljeno iz dveh delov:

- energetski (močnostni) del krmilja in
- informacijski del krmilja.

Energetski del krmilja

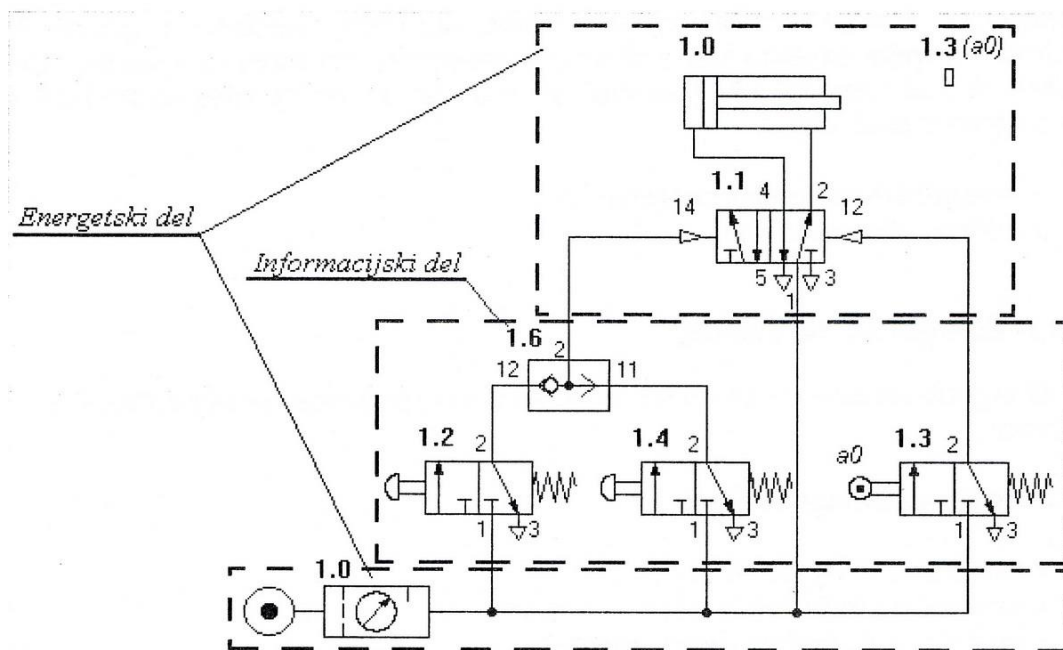
Energetski del krmilja opravlja naloge prenosa in pretvorbe energije. Glede na to ločimo:

- Naprave za prenos energije - cevi (vodi), spoji, dušilci zvoka, rezervoarji, akumulatorji, filtri in izmenjevalniki toplote (grelci, hladilniki).
- Naprave za pretvorbo energije - mehanske v energijo fluido in obratno, električne v mehansko in obratno: črpalke, kompresorji, pnevmatični in hidravlični motorji, pnevmatični in hidravlični valji (cilindri), multiplikatorji tlaka, hidropnevmatični pretvorniki, hidrostatični prenosniki in elektromotorji ter generatorji.

Informacijski del krmilja

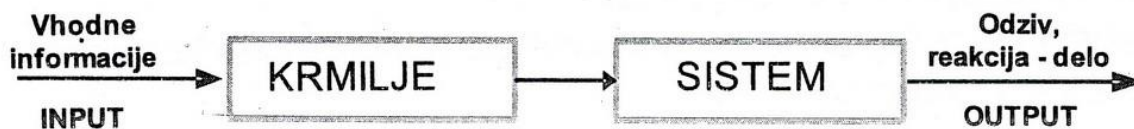
Skrbi za prenos informacij oz. kako naj se posamezna operacija izvrši (kdaj in kako naj se prekrmlji postavitveni člen). V tem delu so realizirana in medsebojno povezana logična vezja, ki izvajajo nek program. Ta del predstavljajo pnevmatične, hidravlične ali električne enote, kot so:

- pnevmatični in hidravlični krmilniki - ventili,
- električna stikala in releji - elektropneumatika in elektrohidravlika (relejna tehnika),
- programabilni digitalni krmilniki - programska elektropneumatika in elektrohidravlika.



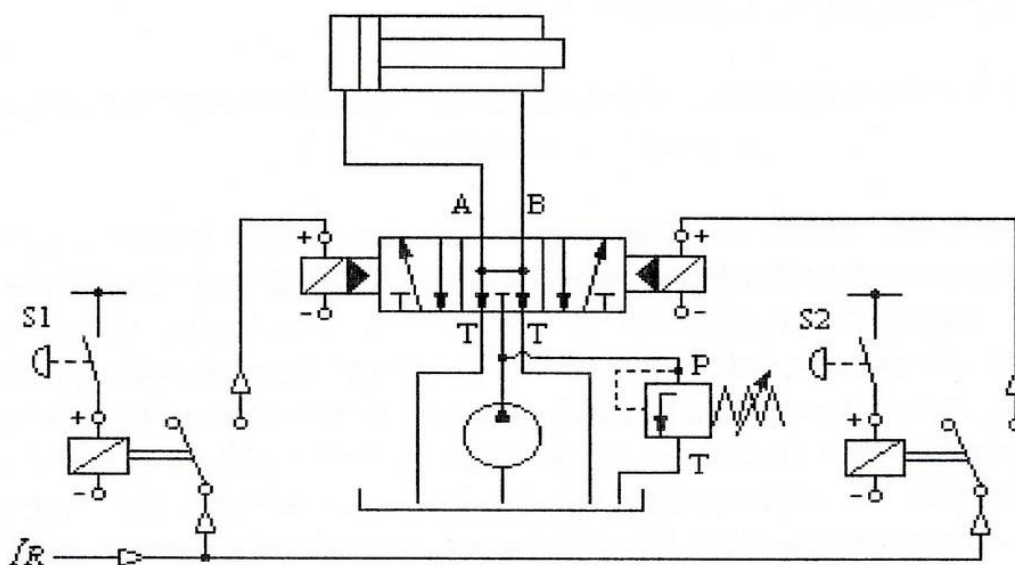
Na sliki je prikazan primer pnevmatičnega krmilja z energetskim in informacijskim delom krmilja.

Krmiljenje je proces, kjer informacije, ki prihajajo v nek sistem (krmilje), povzročijo ustrezen odziv sistema, kar v praksi pomeni neko delo.



Informacija je zaznava, sporočilo, občutek o spremembi nekega stanja in ni izmerljiva. Nosilec informacije je signal (energija), ki je lahko različnega izvora (zračni, električni, toplotni, svetlobni, zvočni ...) in katerega vrednost se lahko izmeri. V nekem sistemu lahko uporabimo več različnih signalov oz. energij: tako torej obstaja možnost za realizacijo nekega krmilja, pri katerem se izkoristijo najboljše lastnosti posamezne oblike energije (signala) s stališča gospodarnosti in tehničnih zahtev.

Taka krmilja imenujemo tudi hibridna krmilja. Energijo je možno pretvoriti iz ene oblike v drugo - npr. pretvornik električne energije v tlačno energijo zraka (zračni tlak) je kar elektropnevmatični ventil.



Slika prikazuje primer hibridnega krmilja – hidravlika in relejna tehnika.

Kriteriji za izbiro tipa energije - signalov so raznovrstni, od usposobljenosti osebja za vzdrževanje, stroškov energije, potrebnih sil pa do ekoloških vplivov, delovnih hitrosti, varnosti ipd.

Primerjava in nekaj elementarnih kriterijev za izbiro med električno, hidravlično in pnevmatično obliko prenosa energije in moči je prikazanih v tabeli:

Oblika prenosa	Električna	Hidravlična	Pnevmatična
Ocenitveni kriteriji			
Vpliv okolja	delno neobčutljiva	vročina, mraz	neobčutljiva (*)
Vgradni prostor	majhen	velik	srednje (**)
Hitrost prenosa signalov	svetlobna	1000 [m/s]	hitrost zvoka
Razdalja	1000 [km]	10 [m]	100 [m]
Čas vklopa komponent	5-750 [ms]	100 [ms] {***}	5-150 [ms]
Obdelava signalov	digitaln, analogna	analogna, digitalna	digitalna, analogna
Gostota energije	nizka	visoka	nizka
Hitrosti	0,3 [m/s]	0,001-1 [m/s]	0,05-2 [m/s]
Sile	0,10-200 [N]	100 [kN]	5-3000 [N]
Moči	200 [kW] in več	200 [kW]	30 [kW]
Izkoristek	0,98	0,95	0,9
Stroški energije	majhni	visoki	visoki

* pnevmatika je občutljiva na mraz (rudniki)

** glede na nizke tlake velik

*** s piezohidravličnim ventilom 0,5 [ms]

Tabela - Kriteriji za izbiro med električno, hidravlično in pnevmatično obliko prenosa energije in moči.

Načeloma velja, da se v fluidni tehniki pri obsežnejših krmiljih v informacijskem delu uporabljajo elementi relejne tehnike (releji, stikala). Na ta način pridobimo na preglednosti vezja, hitrost signalov je večja in s tem boljše dinamične lastnosti sistema, obenem pa so padci tlaka zaradi predolgih cevi ali velikega števila dusilnih mest (kolena, T-spoji, zavoji ipd.) manjši. Zlasti pri hidravličnih krmiljih je že pri uporabi dveh hidravličnih valjev uporaba električnega informacijskega dela skoraj obvezna. V še obsežnejših in zahtevnejših krmiljih pa informacijski del nadomestimo z elektroniko - programabilnimi krmilniki z računalniškim nadzorom (PLC).

UPORABNOST PNEVMATIKE

Iz zgodovine je poznana uporaba stisnjenega zraka v različne namene - kovaška ognjišča, glasbeni instrumenti, orožje ipd. Od polovice 19. stoletja se je pričela razvijati uporaba stisnjenega zraka v industrijske namene:

- 1861- uporaba zraka pri vrtanju predora Mont Cenis,
- 1876 - pnevmatični poštni transport v New Yorku,
- 1888 - v Parizu zgrajena prva centralna kompresorska postaja za potrebe delavnic in
- 1899 - objavljeni prvi članki o uporabi stisnjenega zraka pri orodjih, strojih, livarstvu, barvanju, dvigalih ipd.

Do druge svetovne vojne je bil razvoj pnevmatičnih elementov nestandarden, prepuščen vsakemu uporabniku za lastne potrebe. S pričetkom uporabe pnevmatike v avtomatizaciji opravil pa so se pojavili prvi specializirani proizvajalci pnevmatične opreme, kar je privedlo do standardizacije elementov, velikih serij in s tem pocenitve opreme.

V letih 1959-1960 so se pojavili prvi pnevmatični elementi za zbiranje, predelavo in posredovanje informacij, kar je bistvena sestavina vede fluidike. V analogiji z elektroniko se ta del pnevmatike znotraj fluidike imenuje pnevmonika.

Danes zavzema pnevmatika primarno vlogo na področju cenene avtomatizacije*. Z vgradnjo elementov za obdelavo informacij (logičnih členov, senzorjev) pa pnevmatične naprave pridobijo sposobnost prilagajanja enostavnejšim spremembam v okolici (povratna zveza), s čimer se že lahko tako informacijsko povezan obdelovalni sistem pojmuje kot enostavno reguliran ali kibernetski sistem.

Ceneno avtomatizacijo (CA) definiramo kot skupek sredstev in metod za modernizacijo obstoječih in gradnjo novih strojev s standardnimi elementi elektrike, elektronike, hidravlike, pnevmatike in pnevmonike. Po moči in drugih fizikalnih lastnostih lahko take naprave primerjamo z ustreznimi človekovimi lastnostmi, razen z intelektualnimi. Nižja stopnja avtomatizacije meji na mehanizacijo, ki je zamenjava le za človekovo fizično moč. Višja stopnja avtomatizacije zahteva kompleksnejšo obdelavo informacij. Ravno zaradi nenehnega razvoja tehnologije, vključno z informacijsko, zgornje stopnje avtomatizacije ne moremo dokončno definirati.

Lastnosti stisnjenega zraka pri uporabi v pnevmatičnih napravah

Čist zrak je zmes plinov (dušik 78 %, kisik 21 %, ostalo 1 %), ki sestavljajo atmosfero. Kemične lastnosti so tako dokaj ugodne, saj so vse sestavine zraka razen kisika praktično inertne, pa tudi kemično aktivnost kisika se da ob pravilni izbiri gradiv in s pravilno konstrukcijo elementov bistveno zmanjšati. Kot medij za prenos tlaka oz. tlačne energije označujeta zrak predvsem dve lastnosti:

- visoka kompresibilnost (visoka zmožnost shranjevanja energije),
- majhna viskoznost - zaradi majhnega trenja v ceveh doseganje visokih hitrosti 10-40 (m/s), pri večjih cevovodih tudi do 80 (m/s).

Prednosti stisnjenega zraka:

- a) razpoložljiva količina: zrak za pogon naprav jemljemo iz ozračja brez omejitev;
- b) transport: stisnjen zrak se da transportirati po ceveh na večje razdalje; pri normalno vzdrževanih cevovodih so izgube tlaka manjše od 0,4 bar/100 m;
- c) shranjevanje: lahko ga shranjujemo v tlačnih posodah in poljubno prenašamo; v posodi prostornine npr. 1 dm³ (1l) lahko akumuliramo energijo 850 J pri nadtlaku 5 barov in temperaturi 20⁰ C;
- d) temperatura: stisnjen zrak je neobčutljiv na temperaturne spremembe, saj zagotavlja zanesljivo delovanje naprav od -60⁰ C do 200⁰ C, vendar le v primeru, če ne vsebuje vlage oz. kondenzatov;
- e) varnost: ni nevarnosti za nastanek eksplozije ali požara - predelava lesa, lakirnice, rudniki;
- f) ekologija: stisnjen zrak je čist medij (če odmislimo včasih potrebno naoljevanje) – jemljemo ga iz ozračja in ga nespremenjenega vračamo nazaj (živilska, farmacevtska, kozmetična industrija), zato odpade tudi problem staranja in čistosti medija;
- g) konstrukcija: delovne sestavine so konstrukcijsko enostavne in robustne, omogočajo brezstopenjsko nastavitve hitrosti (1:100) in sile (1:10);
- h) stisljivost zraka: omogoča delovanje sile brez porabe energije pri mirovanju, dovoljuje preobremenitev pnevmatičnih motorjev in elastičnost njihovega delovanja;
- i) hitrost: hitrost gibanja batnice je normalno 1-2 (m/s), lahko pa dosega 10-15 (m/s);
- j) zunanji vplivi: neobčutljivost na radioaktivnost, magnetna in električna polja.

Pomanjkljivosti stisnjenega zraka:

- a) draga priprava zraka: zrak mora biti čist, brez mehanskih primesi in vlage;
- b) stisljivost zraka: neenakomerne hitrosti batnice cilindra pri spreminjanju se obremenitvi, problematični počasni gibi batnic;
- c) gospodarnost: zaradi omejitve delovnega tlaka na 6 -10 barov so potrebne velike dimenzije cilindrov za premagovanje relativno majhnih bremen, problem tesnenja;
- č) šumnost: glasnost pri odzračevanju - stisnjen zrak dosega hitrost zvoka;
- e) naoljevanje zraka: naoljevanje zraka, potrebno zlasti pri težjih pogojih obratovanja, pomeni dodatne stroške;
- f) oljna megla: pri odzračevanju uhaja v atmosfero, kar je z ekološkega vidika sporno;
- g) občutljivost na nizke temperature: pri padcu temperature in ekspanziji zraka obstaja nevarnost zamrznitve priključkov zaradi vsebovane kondenzirane vode (kondenzata).

Tlak – veličina delovnega medija

Tlak okolice, relativni in absolutni tlak

Tlak okolice imenujemo tudi **atmosferski tlak** – p_{at} , ki je odvisen od vremenskih pogojev in nadmorske višine. Atmosferski tlak znaša 1013,25 mbar – kar velja približno 1 kbar.

Poznamo:

- absolutni tlak p_{abs}
- relativni tlak p_r (p_p in p_n)

Naše življenje se odvija v *absolutnem tlaku* $p_{abs} = 1$ bar, kar predstavlja tlak okolice oz. atmosferski tlak pri nadmorski višini 0 m. V življenju in v merilni tehniki se zelo pogosto uporablja tudi izraz *relativni tlak*. To je tlak, ki ima izhodiščno vrednost $p_e = 0$ bar pri tlaku okolice oz. pri absolutnem tlaku $p_{abs} = 1$ bar. Kot je razvidno s slike 4.1, nastopa nad to vrednostjo *nadtlak* ($p_{e-} = p_e = 0$ bar), pod to vrednostjo pa *podtlak* ($p_{e-} = p_e = 0$ bar). Največji možni podtlak $p_{e-} = 1$ bar. Iz tega torej sledi, da je:

$$p_{abs} = 0 \text{ bar} = p_e = -1 \text{ bar} = p_{e-} = 1 \text{ bar}$$

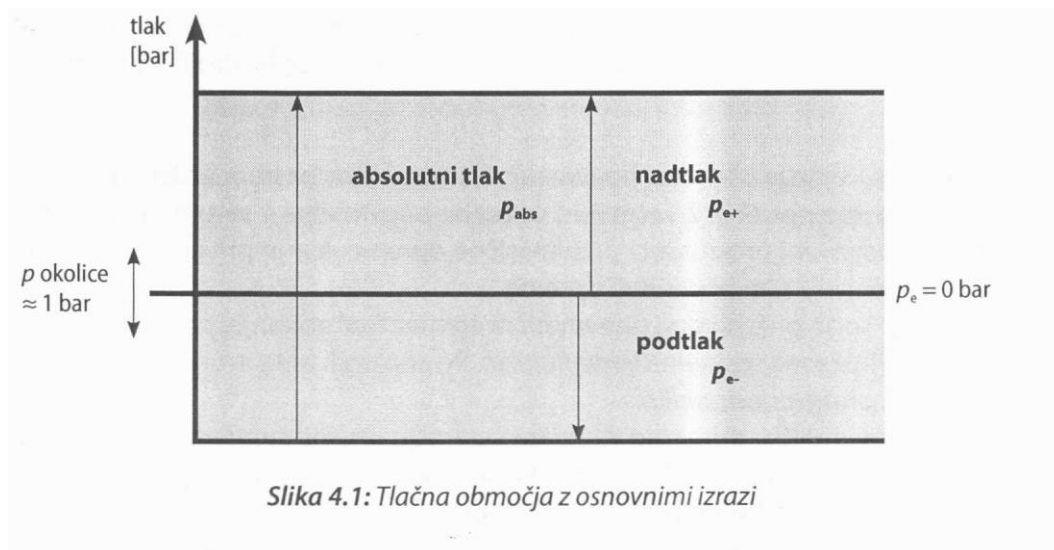
Relativni tlak je lahko nadtlak ali podtlak (vakuum), kjer veljajo zakonitosti, ki so izražene z enačbami:

$p > p_{at}$ sledi $p_r > 0$. nadtlak (p_n),

$p < p_{at}$ sledi $p_r < 0$.. podtlak (p_p).

Absolutni tlak je vsota atmosferskega in relativnega tlaka:

$$p_{abs} = p_{at} + p_r$$



PRIPRAVA ZRAKA

Stisnjen zrak, ki je primeren za uporabo v pnevmatičnih pogonih, mora biti čist (očiščen prahu in drugih trdih delcev), suh in mora vsebovati mazalna oja v obliki oljne megle, kar je posebej pomembno za nemoteno delovanje naprav. Nadalje mora biti tlak stisnjenega zraka konstanten, neodvisno od porabe zraka v omrežju. Zaradi teh zahtev je potrebno stisnjen zrak primerno pripraviti.

Vlažnost zraka in sušenje

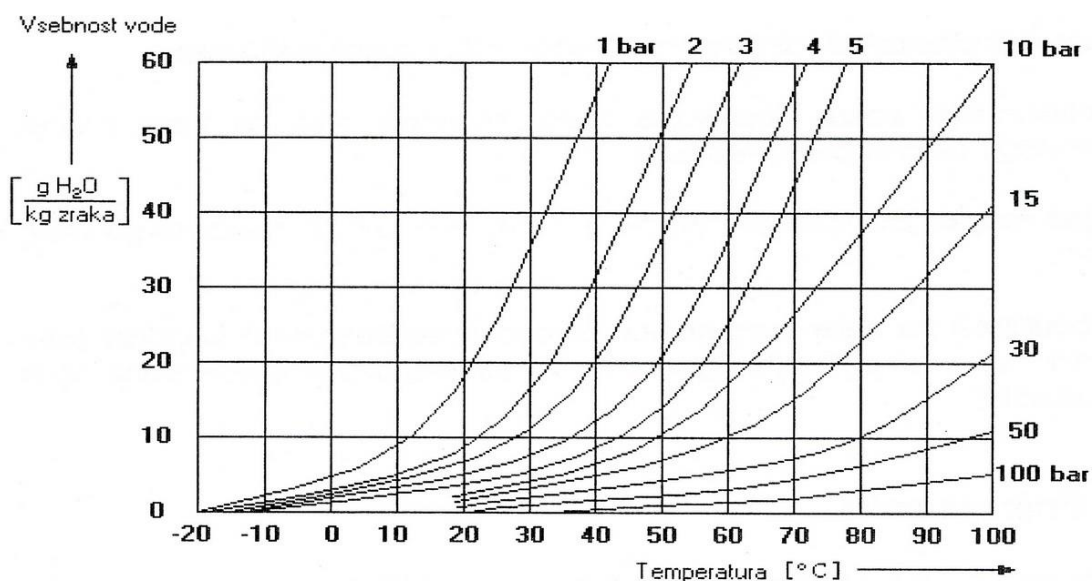
Stisnjen zrak vsebuje vodo (vlago), ki je v obliki vodne pare vsebovana v ozračju in se pri tlačenju zraka v kompresorju nabere v omrežju, pri tem pa lahko povzroči korozijo ali druge motnje (zamrznitev priključkov pri nizkih temperaturah). Količina vsesane vlage je odvisna od temperature vsesanega zraka in vremenskih razmer (tlaka). Na splošno velja, da je pri večji temperaturi tudi več vlage raztopljene v zraku.

Fino odstranjevanje vlage (kondenzata) se vrši v enoti za pripravo zraka, ki mora biti vgrajena neposredno pred uporabnikom. V pnevmatičnem cevnem omrežju pa morajo biti predvideni izločevalniki kondenzata, ki morajo biti nameščeni na najnižji točki omrežja.

Za zagotovitev dolgotrajne obstojnosti pnevmatičnega postroja je potrebno zagotoviti dobavo suhega zraka oz. ga je potrebno sušiti.

Poznamo tri postopke za sušenje zraka:

- **absorbicija** (vlaga se kemično veže s sušilnim sredstvom),
- **adsorbicija** (vlaga se zadrži na površini sušilnega sredstva) in
- **sušenje z ohladitvijo** (zrak gre skozi izmenjevalnik toplote).



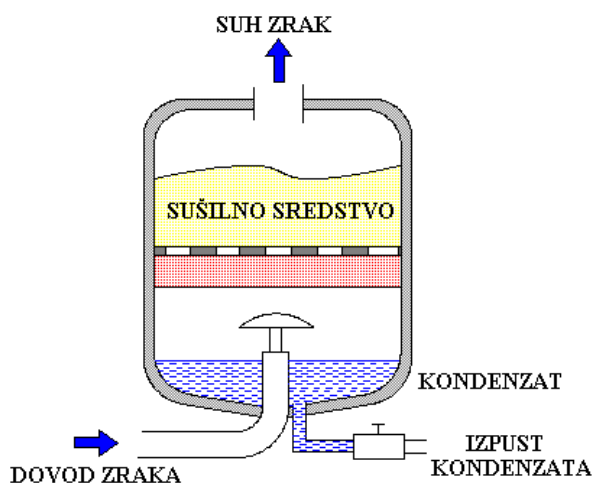
Iz diagrama na sliki je razvidna največja možna vsebnost vode v zraku pri določeni temperaturi in tlaku.

Relativna vlažnost	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %	100 %
temperatura 5 °C	1	1,5	2	3	3,4	4,1	4,8	5,5	6,3	7
10 °C	1	2	3	4	5,1	6	7	7,9	8,8	10
15 °C	1,2	2,3	3,8	5,3	7	7,9	9,4	10,4	11,8	13
20 °C	1,8	3,4	5,3	7,2	8,4	10,6	12,5	13,9	15,4	17,2
25 °C	2,4	4,5	7	9,3	12	14	16,5	18,2	20,7	22,8
30 °C	3,1	6	9	12,2	15,7	18	21,5	24,3	26,9	30,1
35 °C	4,2	7,7	12	15,4	19,6	23,8	27,6	31,1	35	40
40 °C	5,5	10	15	20	25	30,6	36	40,9	45,6	50,7
45 °C	6,2	13	19	26	32	39	46,2	53	59	65

V tabeli so zbrane vrednosti za vsebnost vode v g/m^3 v odvisnosti od temperature zraka in relativne vlažnosti pri tlaku $p_{\text{abs}} = 1 \text{ bar}$.

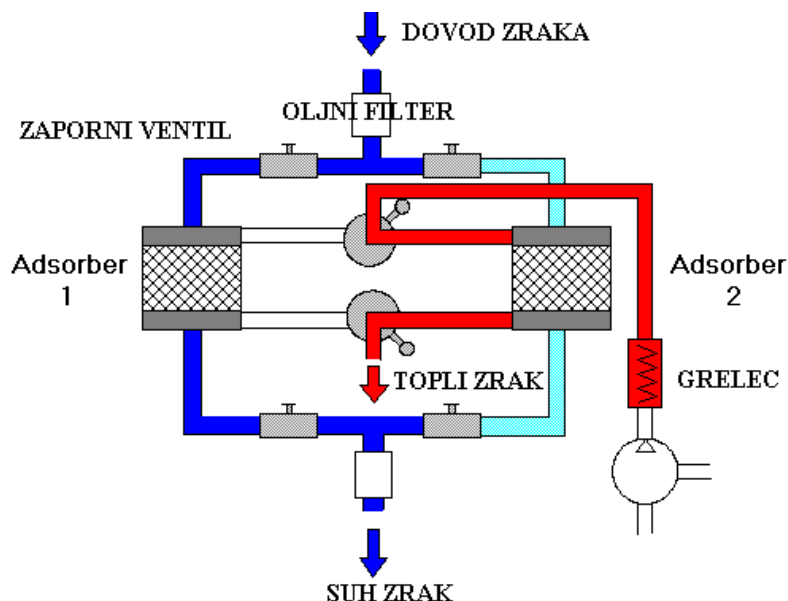
Absorpcijsko sušenje

Stisnjen zrak prehaja skozi plast nasutega sušilnega sredstva (slika), s katerim se vlaga iz zraka kemično veže. Nastalo raztopino je potrebno izpuščati, absorpcijsko sredstvo pa zaradi porabe občasno dodajati. Z absorpcijskimi filtri je možno zračno vlažnost znižati za 10 t (15%). Kot absorpcijsko - sušilno sredstvo se uporablja klorkalcij, fosforjev pentoksid, Al-gel, Si-gel in aktivno oglje.



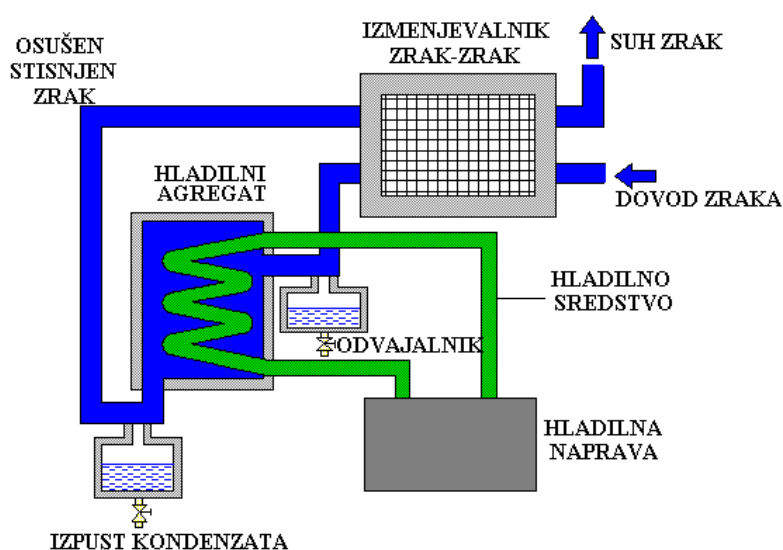
Adsorpcijsko sušenje

Sušilna snov je ponavadi 100 % silicijev dioksid v obliki zrn ali kroglic, imenovan tudi "siliko-gel". Gel na površini zadrži določeno količino vlage. Ko je z vlago površina gela nasičena, se površino regenerira z ogretim suhim stisnjenim zrakom. Zato se v praksi uporabljata dve adsorpcijski napravi; z eno se zrak suši, z drugo pa regenerira, kot je prikazano na sliki.



Sušenje z ohladitvijo

Zrak je potrebno ohladiti do temperature, pri kateri se vsebovana vlaga kondenzira - do temperature rosišča. Najprej se zrak nekoliko ohladi v toplotnem izmenjevalniku ter pri tem odda nekaj vlage, v hladilni komori pa se dokončno ohladi do cca. 2 °C, tako da se preostala vlaga skoraj v celoti izloči slika. Izloči se tudi del oljnih par (posledica mazanja kompresorja).



PRIPRAVNA ENOTA

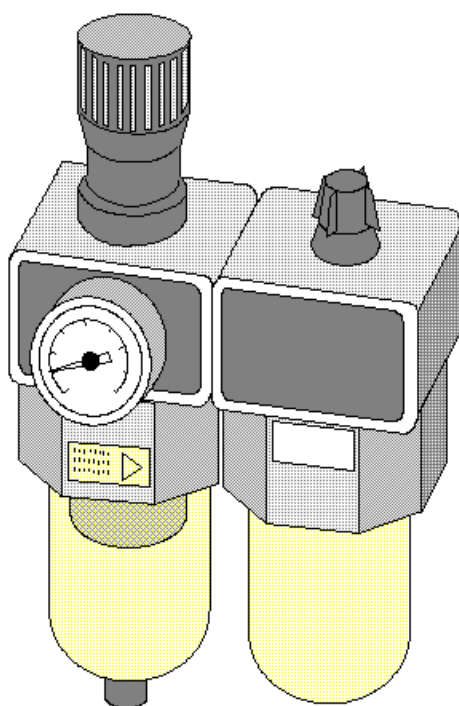
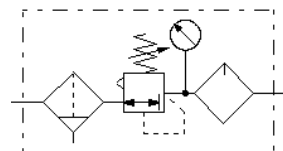
Pripravno enoto sestavljajo:

- filter zraka
- regulator tlaka
- naoljevalnik



Pomemben podatek za določanje velikosti pripravne enote je pretok stisnjenega zraka. Pri prevelikem pretoku nastane velik padec tlaka. Obratovalni tlak ne sme presegati vrednosti, ki je označena na pripravi enoti. Temperatura okolice naj ne bo višja od vrednosti, ki je označena na pripravi enoti.

Pri filtru stisnjenega zraka je potrebno redno kontrolirati nivo nečistoč. Filtrski vložek je potrebno občasno očistiti.

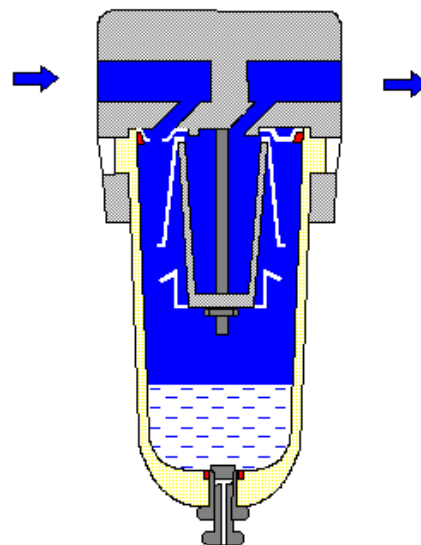
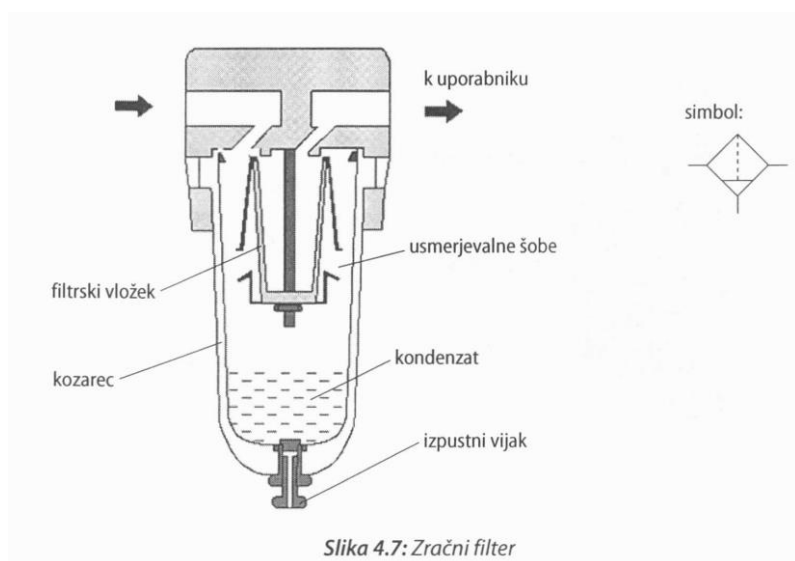


FILTER STISNJENEGA ZRAKA

Filter stisnjenega zraka izloča mehanske delčke v zraku in izloča kondenz. Pri vstopu stisnjenega zraka skozi usmerjevalne šobe v kozarec filtra se zrak zvrtni. Tekočinski in večji kosi nečistoč odlete zaradi centrifugalne sile ob steno kozarca in se zbirajo na dnu kozarca. Stisnjeni zrak nato potuje skozi sintran filterni vložek, ki izloča fine nečistoče.

Da preprečimo odnašanje zajete količine nečistoč in kondenza naprej do pnevmatskih komponent, ročno ali avtomatsko izločamo nečistoče.

Če potrebujemo zelo čist zrak, uporabimo fini filter, ki očisti stisnjen zrak do 99,9 %. V primerjavi z normalnim filtrom teče zrak pri finem filtru od notranje stani vložka navzven.

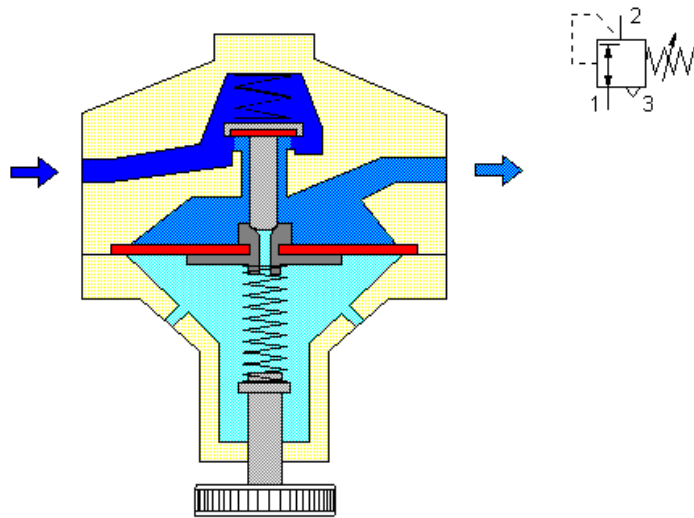


Čistost zraka	Premer por v μm
Normalna	24 – 40
Fina	12 – 20
Zelo fina	5 – 10

Tabela kaže: Premer por filternega vložka

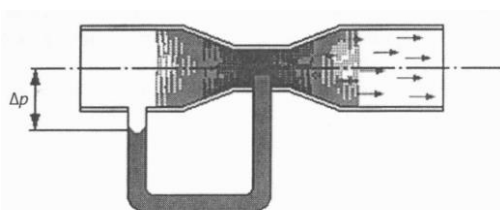
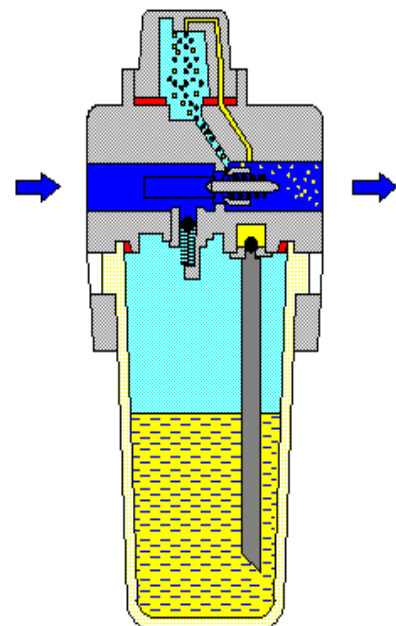
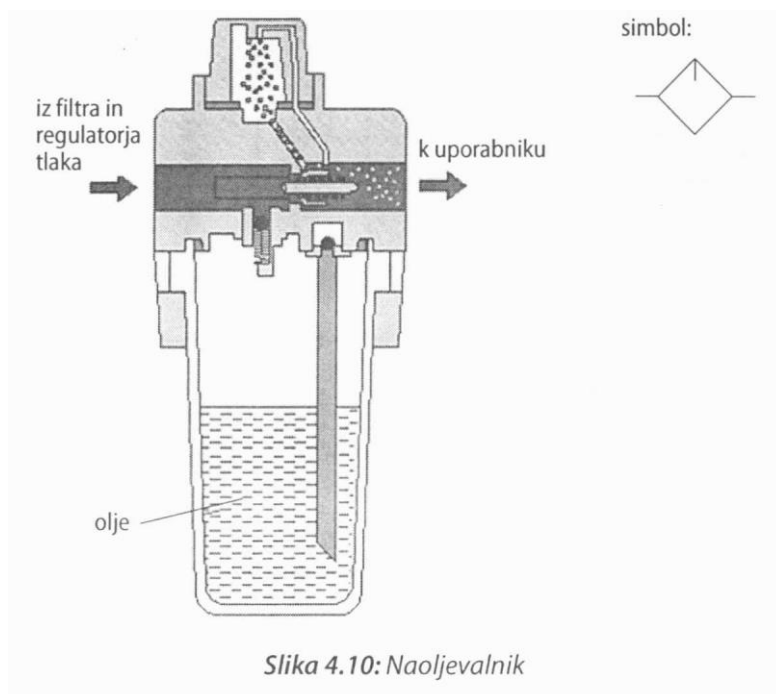
REGULATOR TLAKA

Regulator tlaka zagotavlja konstanten delovni tlak neodvisno od nihajočega obratovalnega tlaka in porabe zraka. Obratovalni tlak mora biti vedno večji od delovnega tlaka. Regulacijo tlaka izvaja membrana v regulatorju tlaka. Na membrano deluje z ene strani delovni tlak, z druge pa vzmet. Silo vzmeti nastavljamo z vijakom. Vzdrževanje konstantnega delovnega tlaka se doseže z nihanjem membrane - premikanjem zapirnega ventila. Sestavni del regulatorja tlaka je mamometer, s katerim kontroliramo tlak.



NAOLJEVALNIK

Naoljevalnik oskrbuje pnevmatske komponente z mazalnim sredstvom. Mazalno sredstvo mora zagotavljati majhno trenje gibajočih delov, minimalno obrabo in preprečuje korozijo pnevmatskih komponent. Naoljevalnik deluje po principu Venturijeve cevi, kjer dobimo padec tlaka v zoženem delu šobe in s tem sesanje olja. Naoljevalnik deluje, če je pretok zraka skozi šobo dovolj velik. Pri vgradnji naoljevalnika je potrebno upoštevati podatek proizvajalca o minimalnem pretoku.



Slika 4.9: Naoljevanje po principu Venturijeve cevi

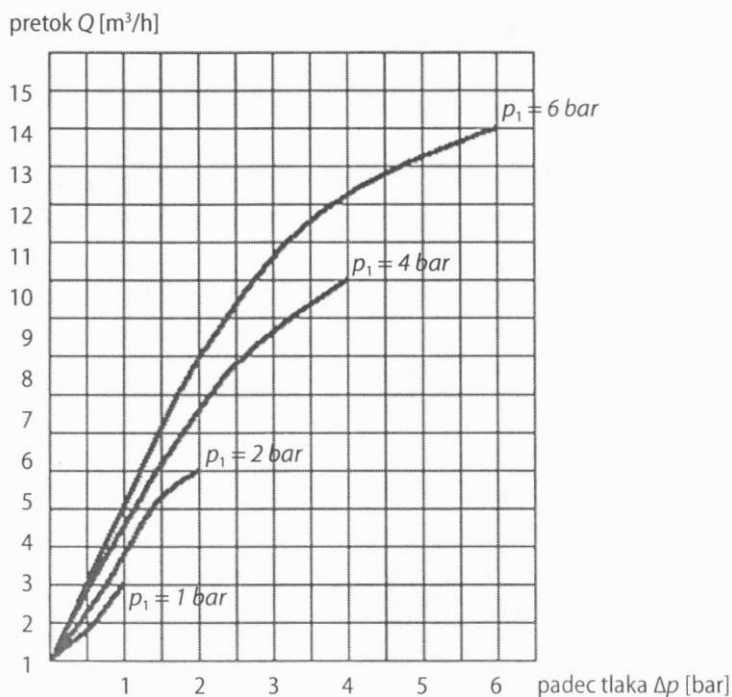
Pomembno za vzdrževanje enote za pripravo zraka:

- pri prevelikem pretoku nastane velik padec tlaka, zaradi česar je mazanje premočno,
- delovni tlak ne sme presegati tlaka, za katerega je enota namenjena,
- plastične kozarce filtra in naoljevalnika se ne sme prati z agresivnimi topili in izpostavljati visoki temperaturi (nad 50 °C).

Pretočna zmogljivost enote za pripravo zraka (M)

Elementi enote za pripravo zraka (predvsem filter in regulator tlaka) ovirajo pretok zraka, tako da dobimo na izhodu iz enote manjši tlak kot na vhodu. Razliko tlakov med vhodnim p_1 in izhodnim p_2 imenujemo *padec tlaka* Δp , od katerega je odvisen tok zraka Q [m³/h] skozi enoto za pripravo zraka (EPZ). Tok zraka Q je tem večji, čim večji je padec tlaka Δp , kot je prikazano na sliki 4.11. Padec tlaka $p_2 - p_1$ skozi EPZ mora biti najmanj tolikšen, da sta zahtevani delovni tlak in količina zraka za delovanje krmilja konstantna ne glede na trenutni tok. Za stabilno delovanje krmilja je zato treba izbrati takšno velikost EPZ, ki bo izpolnjevala navedene zahteve.

Za ugotavljanje toka Q v odvisnosti od Δp uporabljamo diagram $Q - \Delta p$, kjer krivulje v diagramu predstavljajo vhodni tlak p_1 (slika 4.11). Diagram je namenjen za ugotavljanje pretočne zmogljivosti EPZ s priključki R 1/8" pri temperaturi zraka 20 °C.



Slika 4.11: Diagram za ugotavljanje pretočne zmogljivosti

Poraba zraka

Zmogljivost kompresorja

Zmogljivost oz. kapaciteta kompresorja mora biti tolikšna, da v omrežju vedno zagotavlja zadostno količino stisnjenega zraka in seveda tudi dovolj visok tlak ne glede na režim dela pnevmatičnih

Najprej moramo vedeti, kolikšna je poraba zraka v pnevmatičnih elementih (valjih, upori v ceveh, pretočna zmogljivost enote za pripravo zraka ipd.). Glede na te parametre izberemo ustrezno zmogljiv kompresor.

- kovinske cevi omrežja morajo biti nagnjene pod kotom $1-2^\circ$ v smeri toka zraka,
- navpični glavni vodi ne smejo imeti priključkov za uporabnike na koncu cevi,
- na koncu navpičnega voda mora biti posoda za kondenzat in ventil za izpust,
- odcepi morajo biti pravilno izvedeni pod čim manjšim kotom ter z zgornje strani cevi.

- z izločitvijo vlage povečamo obstojnost vseh pnevmatičnih elementov,
- kot odcepa naj bo $\approx 30^\circ$ radij zaokrožitve odcepa $r = 5 \times \phi$ cevi,
- izpust za kondenzat mora biti na najnižji točki omrežja.

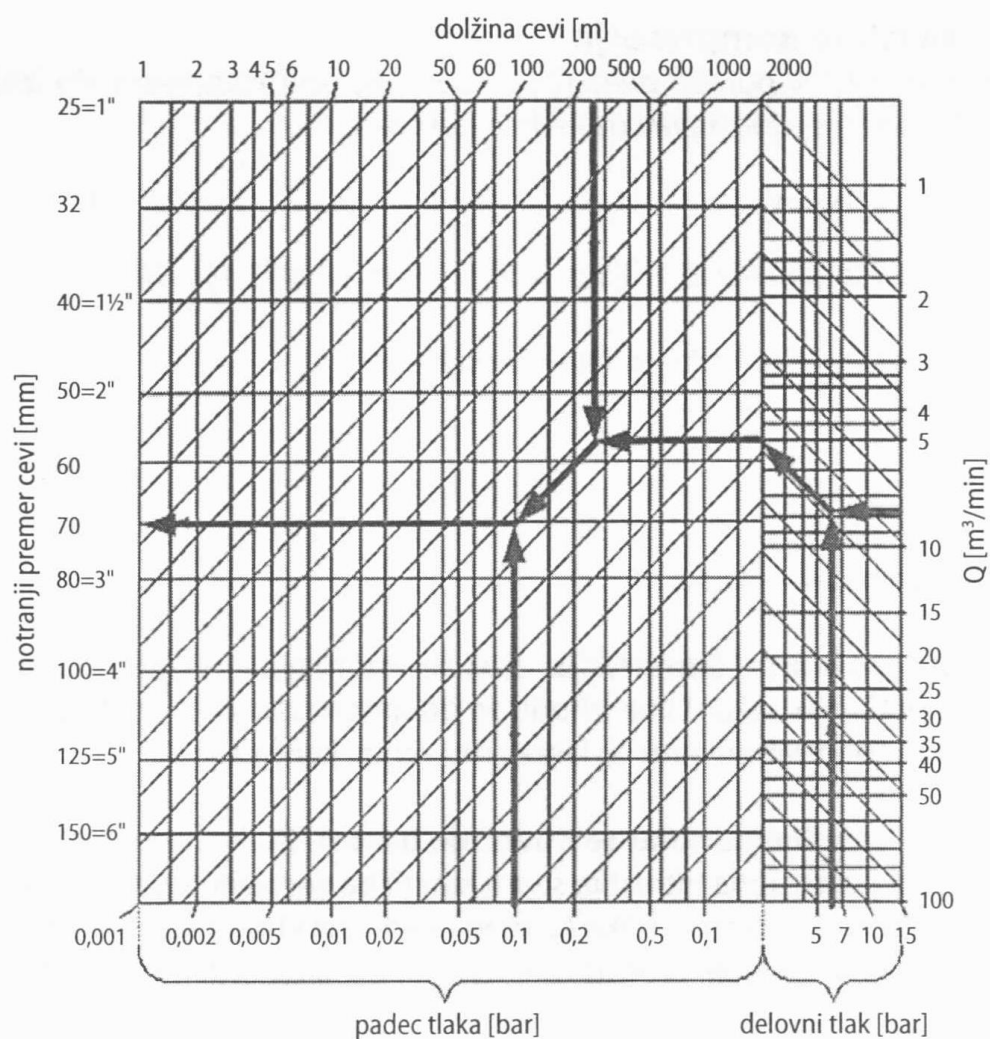
- hitrosti pretakanja stisnjenega zraka (ekonomično 15-16 m/s),
- dovoljenega padca tlaka, ki je običajno 5 % delovnega tlaka,
- delovnega tlaka,
- dobave zraka porabniku,

- tesnosti omrežja,
- dolžine vodov in števila dušilnih mest (kolena, ventili ...).

Pri izračunu vsako dušilno mesto nadomestimo z ekvivalentno dolžino ravne cevi, ki povzroča enak upor pretoku zraka kot dušilno mesto. Vrednosti za ekvivalentno dolžino cevi so zbrane v tabeli 4.3 in podane v metrih.

Notranji premer cevi	25 mm	40 mm	50 mm	80 mm	100 mm	125 mm	150 mm
ventil s sedežem	6	10	15	25	30	50	60
poševni ventil	3	5	7	10	15	20	25
zasun	0,3	0,5	0,7	1	1,5	2	2,5
cevno koleno 90°	1,5	2,5	3,5	5	7	10	15
cevno koleno < 90°	1	2	2,5	4	6	7,5	10
cevno koleno $r = d$	0,3	0,5	0,6	1	1,5	2	2,5
cevno koleno $r = 2d$	0,15	0,25	0,3	0,5	0,8	1	1,5
cevna spojka »T-kos«	2	3	4	7	10	15	20
skrajšani nastavek	0,5	0,7	1	2	2,5	3,5	4

Tabela 4.3: Vrednosti za ekvivalentno dolžino cevi v metrih



Slika 4.14: Nomogram za določanje premera cevi

Kriteriji za izbiro kompresorja

Glede na dokončno določitev porabe zraka Q , se izbere ustrezeni kompresor. Pri izbiri ustreznega kompresorja je treba posebej upoštevati naslednje lastnosti:

a) teoretično zmogljivost Q_t :

$$Q_t = \text{volumen kompresorja} \cdot \text{število vrtljajev} = V_k \cdot n = [\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}] = [\text{m}^3/\text{min}]$$

b) efektivno zmogljivost $Q_e = [\text{m}^3/\text{min}, \text{m}^3/\text{h}]$ - odvisna je od:

- vrste kompresorja,
- tlaka,
- hlajenja ipd.

Zračni tlak se doseže na dva načina:

a) Z zmanjševanjem volumna - kompresija. Zrak se v notranjosti kompresorja stisne oz. komprimira na manjši volumen, tako da na izhodu že dobimo zračni tlak. To skupino kompresorjev predstavljajo batni, membranski batni in lamelarni - krilni kompresor.

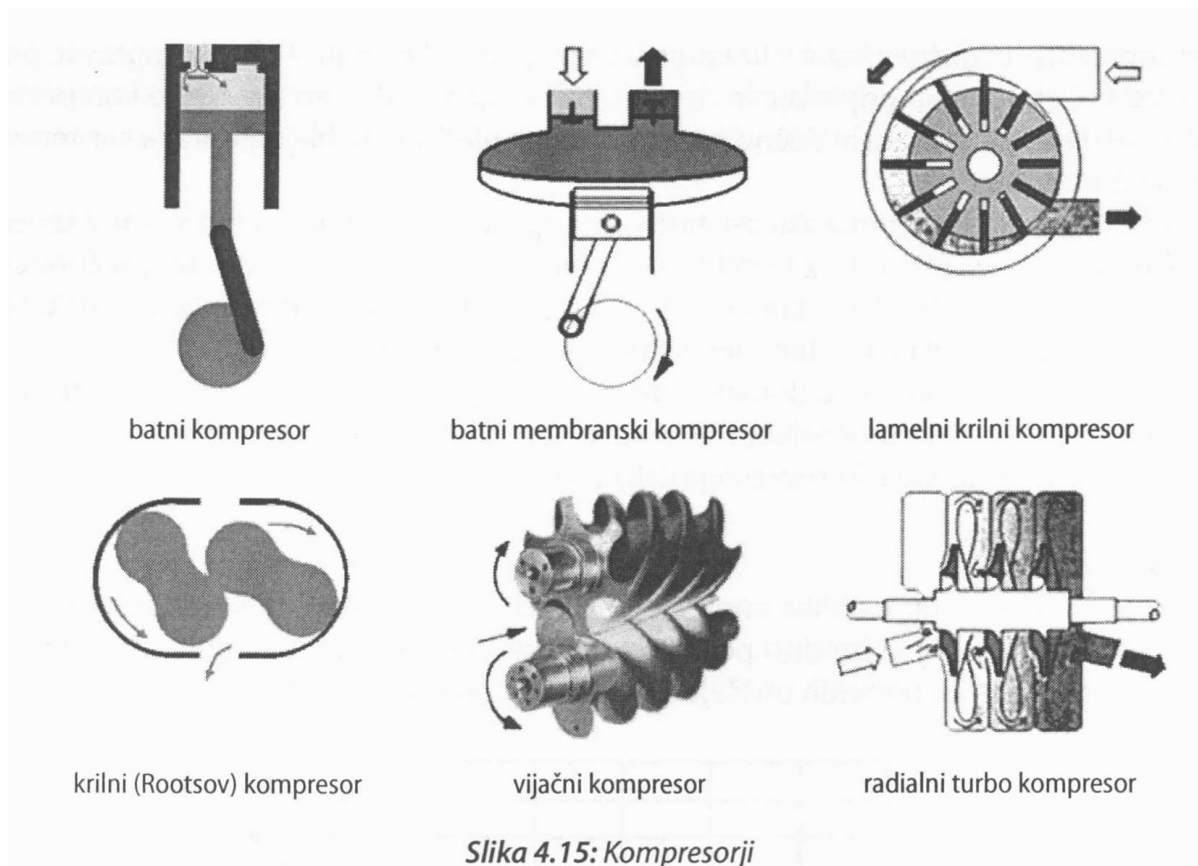
b) S pospeševanjem - zračnemu toku se povečuje hitrost. Zraka se v kompresorju ne stiska, ampak se mu le poveča izstopna hitrost in s tem kinetična energija, ki se spremeni v tlačno šele v nekem zaprtem volumnu. Tlačna razlika Δp med tlakom na vходу in tlakom na izhodu iz kompresorja znaša nekaj sto mbarov. Predstavniki te skupine so volumetrični (Rootsov), vijačni in turbokompresor.

Nekaj osnovnih tipov kompresorjev je prikazanih na sliki 4.15. Konstrukcijske podrobnosti so sicer prilagojene specifični namembnosti, vendar je temeljna zasnova po posameznem tipu kompresorja enaka, neodvisna od proizvajalca. Za praktično uporabo je pomembna predvsem *efektivna zmogljivost*. Njena vrednost nam da realno količino razpoložljivega zraka za pogon pnevmatičnega postroja in je tudi vrednost, ki jo proizvajalci kompresorjev podajo v katalogu. Največje vrednosti je mogoče doseči le z večstopenjskimi kompresorji.

Tip kompresorja	Q_e [m^3/h]	tlak p [bar]
batni	180-24.000	1-1000
lamelni - krilni	270-15.000	0,2-0,9
vijačni (*)	200-60.000	0,8-40
volumetrični (*)	40-3500	$\Delta p = 300-800 \text{ mbar}$
radialni turbo	300-230.000	0,5-300

* katalog AERZENER

Tabela 4.4: Efektivne zmogljivosti in tlačna območja kompresorjev



Pri določanju potrebnega Q moramo izračunati, kolikšna količina stlačenega (stisnjenega) zraka gre v nek volumen. Razumljivo je, da bo mase zraka v nekem volumnu več, če ga vanj stlačimo pod nekim višjim tlakom od tlaka okolice = 1 bar. To izračunamo po enačbi *politropne preobrazbe*, ki z upoštevanjem eksponenta politrope $n = 1,2 - 1,3$ zajema vse termodinamične spremembe pri tlačenju (*komprimiranju*) zraka:

$$p_0 \cdot V_0 = p_1 \cdot V_1 = \text{konst.}$$

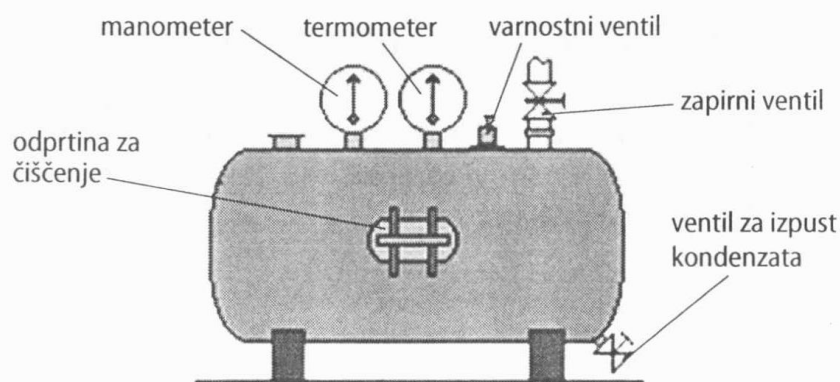
Če želimo še točno določiti končno temperaturo zraka, potem uporabimo *enačbo stanja za idealne pline*. Zrak se sicer ne vede kot *idealni plin*, vendar so odstopanja pri izračunu zanemarljiva:

$$\frac{p_0 \cdot V_0}{T_0} = \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \text{konst.}$$

Velikost rezervoarja (tlačne posode)

Naloge tlačne posode (slika 4.16) so naslednje:

- uravnavanje sunkov zraka, ki nastajajo zaradi neenakomernega delovanja kompresorja,
- izravnavanje nihanja tlaka v omrežju zaradi porabe zraka,
- zaradi velike površine posode se zrak dodatno ohlaja, pri tem pa se že takoj izloči del vlage iz zraka v obliki kondenzata.



Slika 4.16: Tlačna posoda

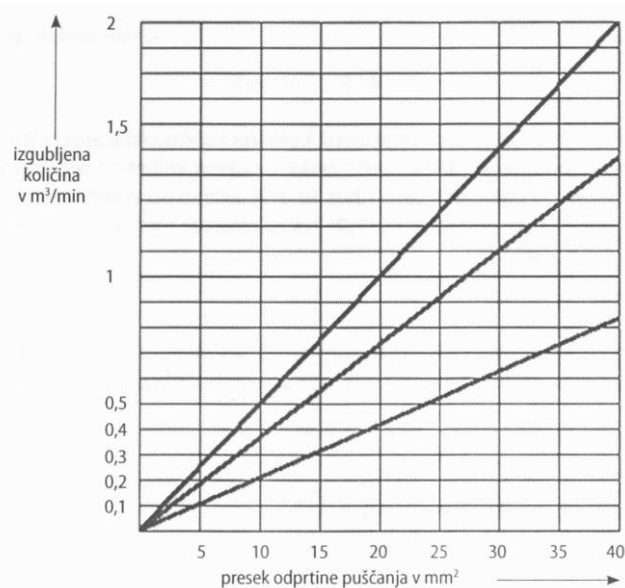
Sklop kompresorja in tlačne posode imenujemo kompresorska enota ali kar kompresor, prostor s kompresorskimi enotami in pripadajočo opremo pa kompresorska postaja. Večje kompresorske enote imajo med kompresorjem in tlačno posodo vgrajen hladilnik za hlajenje zraka s sistemom za odvajanje kondenzata.

Priporočljivo je, da so kompresorske postaje postavljene na prostem, po možnosti v senci ali v zvočno dobro izoliranem prostoru z dobrim naravnim prezračevanjem. S tem preprečimo nepotrebno segrevanje zraka v posodi, hkrati pa se v odprtem prostoru zmanjša udarni sunek, če nek element postroja zaradi okvare in s tem nenadzorovanega polnjenja raznese.

Velikost rezervoarja je odvisna od dobave zraka, porabe, dopustne tlačne razlike v omrežju in od **vrste regulacije**. Z regulacijo prilagajamo delovanje kompresorja glede na največjo in najmanjšo vrednost tlaka oz. se vkapljanje kompresorja prilagodi nihajoči porabi zraka.

Tesnost

Stisnjen zrak je relativno draga oblika energije. Že zaradi zelo majhne netesnosti v sistemu (puščanje) se lahko stroški energije izredno povečajo. Iz diagrama na sliki 4.17 so razvidne izgubljene količine zraka pri določenih presekih puščajočih odprtih v odvisnosti od tlaka.



Slika 4.17: Izgube zraka zaradi netesnosti

PNEVMATIČNE DELOVNE KOMPONENTE (aktuatorji)

V pnevmatiki funkcijo delovnih komponent predstavljajo pnevmatični cilindri in pnevmatični motorji. Ti spreminjajo energijo stisnjenega zraka v premočrtno ali krožno gibanje. V osnovi torej ločimo delovne komponente glede na način gibanja in sicer na izvršilne člene, ki opravljajo:

- **premočrtno gibanje:**

- enosmerni valji,
- dvosmerni valji,
- posebne izvedbe valjev (tandemski valj, pnevm. mišica ...),

- **rotacijsko gibanje:**

- zasučne enote,
- rotacijski motorji.

V nadaljevanju bomo največ pozornosti posvetili enosmernim in dvosmernim valjem, saj se v praksi najpogosteje uporabljajo. Za ostale vrste izvršilnih členov pa bomo navedli le osnovne karakteristične lastnosti in pojasnili principe delovanja.

Delovne komponente za linearne gibe

Enosmerni valj

Pnevmatični valji (cilindri) so linearni motorji, ki energijo stisnjenega zraka spreminjajo v mehansko delo (pretvorba pnevmatične energije v mehansko), izraženo v premočrtnem gibanju batnice z določeno silo.

Pri enosmernih valjih dovajamo zrak samo na eno stran valja, kar omogoča gibanje bata v eno smer (delovni gib). V nasprotno smer (povratni gib) se bat vrne zaradi delovanja sile vzmeti, lahko pa tudi zaradi delovanja neke zunanje sile oz. bremena.

Osnovne lastnosti:

Hitrost: ca. 30 - 500 [mm/s]

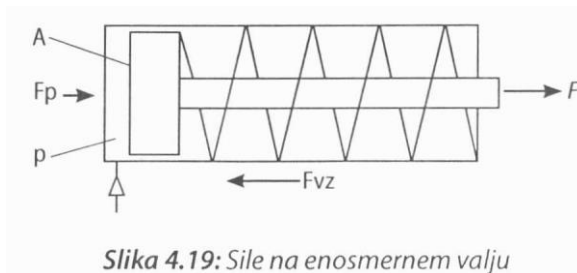
Gibi: ca. 1- 50 [mm]

Sile: ca. 10 - 4000 [N]



Sila na batnici enosmernega valja

Enosmerni valji opravljajo delo samo v smeri delovanja sile tlaka. Sila vzmeti je potrebna le za povratni gib. Zaradi vzmeti so primerni za krajše gibe (vpenjanje, izbijanje) in tam, kjer hitrost ni pomembna. Količina potrebnega zraka je 1/2 količine, potrebne pri dvosmernih valjih, sila vzmeti pa zavzema približno 10 % velikosti sile bata, ki jo povzroči stisnjen zrak (slika 4.19).



$$F = F_p - F_{tr} - F_{vz} = F_b \text{ [N]}$$

- p dotekajoči tlak [Pa]
A koristna površina bata (iz katalogov proizvajalcev),
F efektivna sila na batnici [N],
 F_p sila tlaka na zadnji strani bata [N],
 F_{tr} sila trenja [N],
 F_{vz} sila vzmeti [N],
 F_b sila bremena na batnici [N],

Sila vzmeti $F_{vz} = 10 \% F_p$

Sila trenja $F_{tr} = 8\text{-}20 \% F_p$ pri tlakih 4-8 bar.

Če upoštevamo 10 % izgube sile zaradi trenja in 10 % zaradi vzmeti, potem lahko enačbo poenostavimo:

$$F = 0,8 F_p \text{ [N]}$$

- Navedena enačba je enačba za statično silo. Cela enačba za izračun sile na batnici valja se imenuje **gibalna enačba** oz. **diferencialna enačba gibanja**, ki upošteva dinamično spremembo sile oz. silo mase zaradi pospeška.

- $F_m = m \cdot a$, kjer je pospešek a drugi odvod poti x po času t . Tako je pravilna oblika izraza:

$$F_m = m \cdot \frac{d^2x}{dt^2},$$

kar pa je nekoliko zahtevnejša matematična operacija. To velja za enosmerne in dvosmerne valje.

Dvosmerni valj

Pri dvosmernih valjih dovajamo zrak na obe strani valja. Bat torej opravlja delo v obeh smereh (delovni in povratni gib). Dvosmerni valji so po standardu izdelani do premera 50 mm in dolžine 2500 mm, po potrebi pa se uporabljajo tudi valji večjih dimenzij, vendar pa moramo upoštevati nevarnost uklona in upogiba pri izvlečeni batnici.

Osnovne lastnosti:

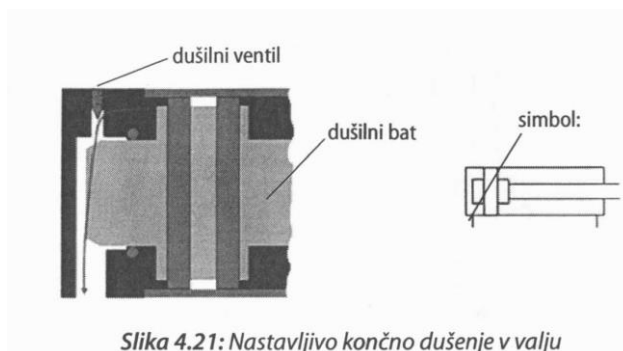
Hitrost: ca. 30- 2000 [mm/s]

Gibi: ca. 1- 2000 [mm]

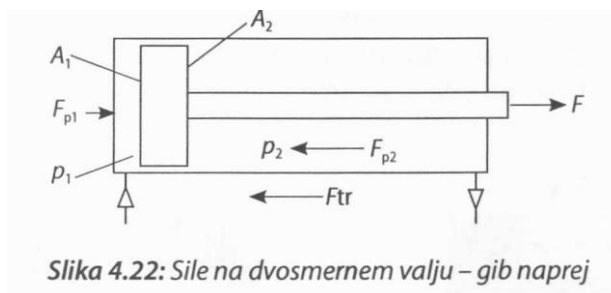
Sile: ca. 10 - 48000 [N]



Pri večjih hitrostih lahko bat udari s polno hitrostjo v pokrov valja in se tako poškoduje, zato je potrebno bat pred koncem gibanja upočasniti. To dosežemo z dušilnim batom na koncu batnice, v pokrovu pa mora biti vgrajen dušilni ventil (sliki 4.20). Takemu valju pravimo valj s **končnim dušenjem**.



Sila na batnici dvosmernega valja pri izvleku:



$$F = F_{p1} - F_{p2} - F_{tr} = F_b \text{ [N]}$$

F efektivna sila na batnici [N],

F_{p1} potisna sila dotekajočega tlaka = $p_1 \cdot A_1$ [N],

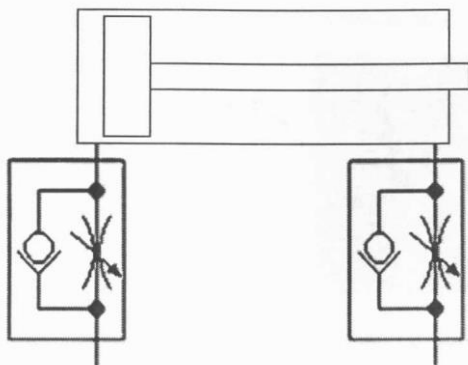
F_{p2} zaviralna sila iztekajočega tlaka = sila »zračne blazine« = $p_2 \cdot A_2$ [N],
(ploščina A_2 je ploščina kolobarja = $A_1 - A$ batnice),

F_{tr} , sila trenja = 10 % F_p , [N],

F_b sila bremena na batnici [N].

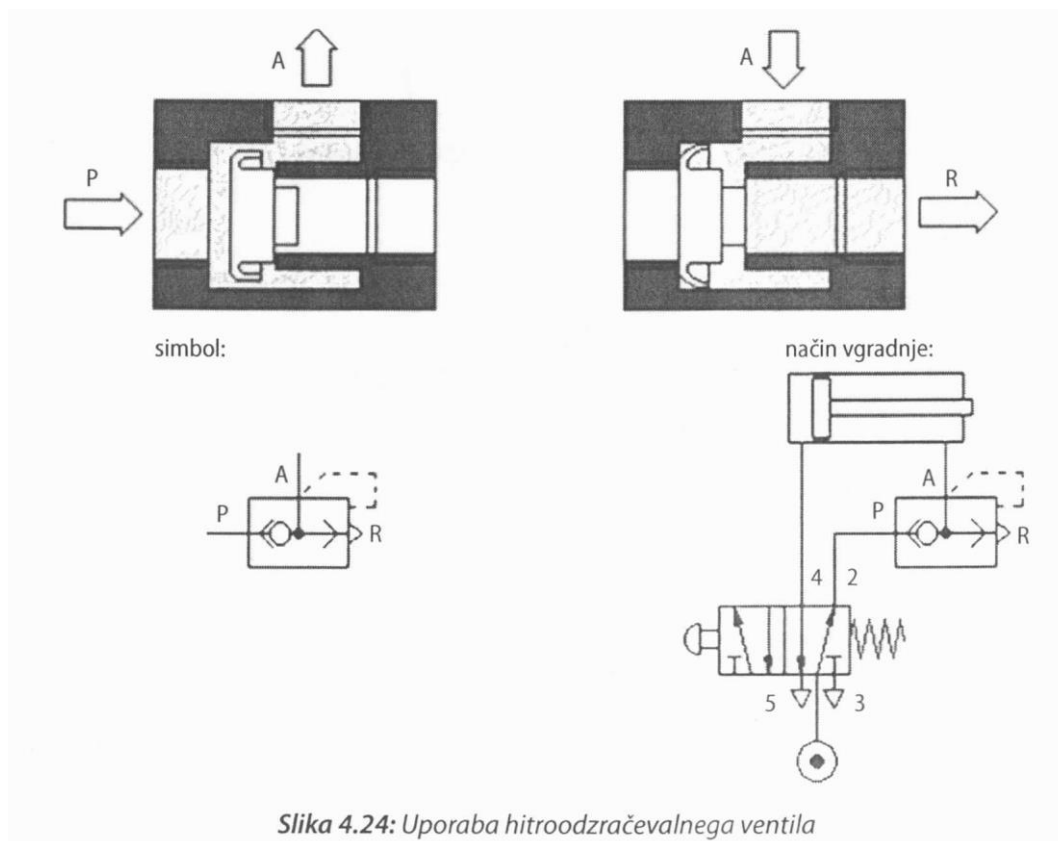
Pri dvosmernem valju se srečamo z pojavom sile »zračne blazine«. Povzroča jo tlak p_2 , ki se pri preklopu ventila ne utegne dovolj hitro izprazniti (odzračiti) v atmosfero. Iztekajoči tlak se namreč zaradi pritiskanja bata in posledično zmanjševanja V_2 ne odzrača dovolj hitro. Še več, sprednja stran bata ga še tlači in tako ustvarja pred sabo nekakšno »zračno blazino«, ki ves čas gibanja bata vzdržuje določen tlak kljub istočasnemu iztekanju v atmosfero - valj se torej ne uspe dovolj hitro odzračiti (pomembno vlogo imajo velikost odprtine na cilindru, dolžina in prerez cevi, konstrukcija ventila). Zaradi zaviralnega vpliva »zračne blazine« tlak p_1 na zadnji strani cilindra ne upade v obratnem razmerju z naraščanjem volumna, saj iztekajoči tlak p_2 povzroča upor gibanja bata in mora tlak p_1 dosegati tolikšno vrednost, da sila tlaka še povzroča gibanje.

Tlak »zračne blazine« je v bistvu negativen pojav. Zmanjšuje potisno silo batnice, saj je koristen tlak, ki povzroča silo, vrednosti $\Delta p = p_1 - p_2$. Zmanjšuje tudi hitrost batnice in s tem kinetično energijo W_k , ki je zlasti pomembna pri hitrih delovnih procesih izbivanja, sekanja, kovičenja itd. Ta pojav je koristen le v primeru, če želimo upočasniti hitrost batnice in zato **dušimo** iztekajoči zrak, torej načrtno zadržujemo iztekajoči tlak.



Slika 4.23: Uravnavanje hitrosti batnice z dušenjem zraka

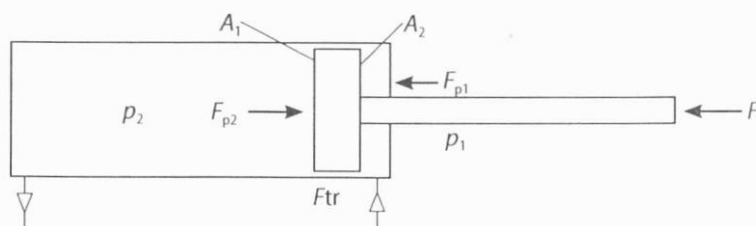
V praksi se vpliv »zračne blazine« deloma zmanjša z uporabo **hitro odzračevalnega ventila**, ki iztekajočemu zraku skrajša pot do atmosfere - ni potrebna dolga zavita pot skozi »ozko grlo« cevi prek ventila do glušnika na odzračevalnem priključku ventila.



Slika 4.24: Uporaba hitroodzračevalnega ventila

Pri izračunu uporabimo za vrednost »zračne blazine« $p_2 = 2-3$ bar. Njen vpliv se manjša z obremenitvijo batnice, ker se na ta način hitrost batnice zmanjša in ima tlak p , dovolj časa za odzračenje.

Sila na batnici dvosmernega valja pri uveliku:



Slika 4.25: Sile na dvosmernem valju – gib nazaj

$$F = F_{p1} - F_{p2} - F_{tr} = F_b \text{ (N)}$$

F efektivna sila na batnici (N),

F_{p1} potisna sila dotekajočega tlaka = $p_1 \cdot A_2$ (N),
(ploščina A_2 je ploščina kolobarja = $A_1 - A$ batnice),

F_{p2} zaviralna sila iztekajočega tlaka = sila »zračne blazine« $p_2 \cdot A_1$ (N)

F_{tr} sila trenja = 10 % F_{p1} (N),

F_b sila bremena na batnici (N).

Pri uvleku je batnica pri enakih vrednostih tlaka šibkejša kot pri izvleku. To je posledica delovanja dotekajočega tlaka p_1 na površino A_2 , ki je manjša od površine na sprednji strani bata A , za površino batnice. Zato je potisna sila dotekajočega tlaka F_{p1} pri istih vrednostih tlaka manjša. Zaviralna sila iztekajočega tlaka F_{p2} pa je večja, ker v tem primeru deluje na večjo površino A .

Poraba zraka v pnevmatičnih valjih — cilindrih

Poraba zraka je odvisna od:

- volumna posameznega valja,
- števila valjev,
- števila ciklusov bata,
- vrste valja itd.

Za lažje določanje porabe zraka v valju se uporablja pojem specifične porabe zraka $V's$. To je poraba zraka pri premiku bata za 1 mm pri tlaku 1 atm (fizikalne) = 1,01325 bar = 0,101325 MPa in pri temperaturi 293 K (20 °C).

Pri izračunu moramo upoštevati razmerje tlakov α :

$$\alpha = \frac{p_n}{0,101325} + 0,101325$$

kjer je p_n = nadtlak (manometrski tlak) v valju.

Vrednosti razmerja tlakov α za področje $p_n = 0,1-1$ MPa (1-10 bar) so zbrane v spodnji tabeli.

P_n	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
α	1,99	2,97	3,96	4,95	5,93	6,92	7,91	8,90	9,88	10,87

Tabela: Vrednosti razmerja tlakov α

Pri gibu bata h (mm) in pri n (min⁻¹) dvojnih gibov bata je poraba zraka V' za:

a) enosmerni valj: $V' = n \cdot h \cdot V's$ [m³/s]

b) dvosmerni valj: $V' = 2 \cdot n \cdot h \cdot V's$ [m³/s]

Vrednost za specifično porabo zraka $V's$ pri nadtlaku $p_n = 0,6$ MPa pri različnih premerih valja so zbrane v tabeli.

Premer cilindra (mm)	V's (m ³ /mm) • 10 ⁻⁹
6	196
12	782
16	1390
25	3398
35	6667
40	8692
50	13.584
70	26.628
100	54.397
140	106.526
200	217.399
250	339.682

Tabela: Vrednosti za V's pri nadtlaku tlaku 6 bar

Primer:

Dvosmerni valj premera 50 mm in giba 140 mm deluje pri tlaku 0,6 MPa. Frekvenca dvojnih gibov je 50 min⁻¹.

a) Poraba zraka po enačbi je:

$$V' = 2 \cdot n \cdot h \cdot V's$$

$$V' = 2 \cdot 50/60 \cdot 140 \cdot 13584 \cdot 10^{-9}$$

$$V' = 0,003169 \text{ m}^3/\text{s} = 3,169 \text{ [l/s]}.$$

Izračunano količino izkustveno povečamo za 20 % zaradi mrtvih volumnov v valju ter zaradi izgub pri praznjenju in polnjenju dovodnih cevi:

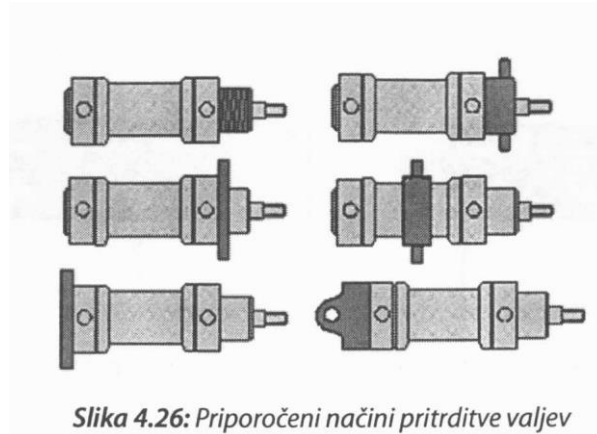
$$V' = 1,2 \cdot 3,169 \text{ [l/s]} \quad V' = 3,8 \text{ [l/s]}$$

Tako je treba izračunati porabo zraka za vsak valj posebej in s seštevkom posameznih porab izračunati skupno porabo zraka. Vendar ta količina zraka še ni potrebna dokončna **dobava zraka Q**, saj je treba to količino še povečati na račun cevni uporov v pnevmatičnem omrežju in izgub zraka (lekaže).

Vzdrževanje pnevmatičnih valjev

Pomembno pri vzdrževanju pnevmatičnih valjev je:

- batnica je lahko obremenjena samo z osno — aksialno silo,
- pri dolgih batnicah obstaja možnost uklonske obremenitve,
- glede na agresivnost delovnega okolja izberemo valj ustrezne konstrukcije,
- valj naj bo po možnosti pritrjen kot statično določen nosilec.



Slika 4.26: Priporočeni načini pritrditve valjev

Linearni pogon (brezbatnični valj)

Značilno za linearne pogone je, da na bat ni pritrjena batnica, pač pa pritrdilna plošča, na katero lahko namestimo različne dodatne komponente (druge valje, prijemala ...).

Osnovne lastnosti:

Gibi: 1-5000 mm

Sile: 30-750 N



Slika 4.27: Linearni pogon

Tandemski dvosmerni valj

Tandemski valj nastane z združevanjem dveh ali več dvosmernih valjev. Pri tem se batnica predhodnega valja pritrdi na bat naslednjega valja. Tandemske valje uporabljamo tam, kjer je zahtevana velika delovna sila pri majhnem premeru valja.

Osnovne lastnosti:

Gibi: 2-500 mm

Sile: 900 - 14.200 N

primer izvedbe:

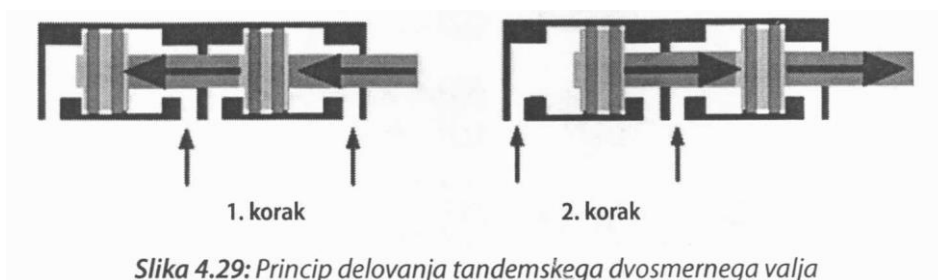


simbol:



Slika 4.28: Tandemski dvosmerni valj

Princip delovanja:



Slika 4.29: Princip delovanja tandemskega dvosmernega valja

Večpoložajni dvosmerni valj

Večpoložajni valj nastane z združevanjem dveh dvosmernih valjev. Od tandemskega valja se razlikuje v tem, da batnica predhodnega valja ni pritrjena na bat naslednjega valja. Z večpoložajnim valjem, prikazanem na primeru na spodnjih slikah, lahko dosežemo tri različne položaje.

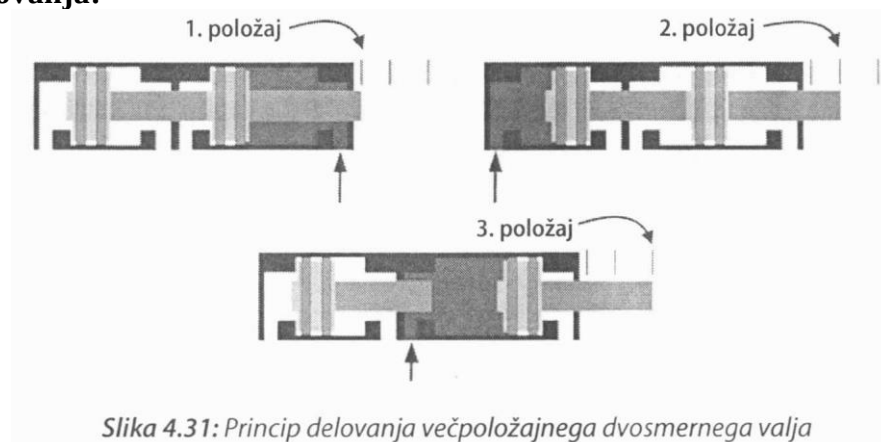
Osnovne lastnosti:

Gibi: 1 - 2000 mm

Sile: 300 - 4700 N



Princip delovanja:



Mehast valj

Po delovanju so enaki enosmerno delujočim valjem, le da omogočajo bistveno večje sile in nekoliko večje pomike. Sila se ustvarja s tem, ko se meh pod tlakom razteza. Mehasti valji so lahko izvedeni kot enojni ali tandemski.

Osnovne lastnosti:

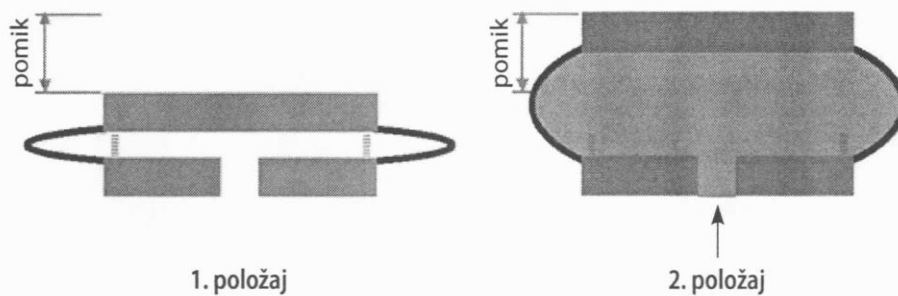
Premeri: 80-390 mm

Gibi: 0-230 mm

Sile: 0-52.000 N



Princip delovanja:



Slika 4.33: Princip delovanja mehastega valja

Pnevmatična mišica

Delujejo podobno kot človeške mišice, torej se sila za opravljanje določenega opravila ustvarja s krčenjem pnevmatične mišice.

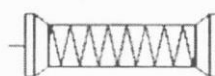
Osnovne lastnosti:

Premeri:	0-40 mm
Standardne dolžine:	30-9000 mm
Gibi:	25 % dolžine mišice
Sile:	400-6000 N

primer izvedbe:

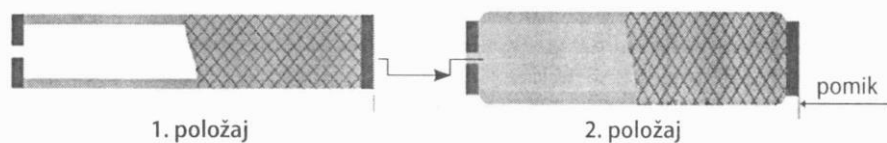


simbol:



Slika 4.34: Pnevmatična mišica

Princip delovanja:



Slika 4.35: Princip delovanja pnevmatične mišice

Delovne komponente za rotacijske gibe

Zasučna enota z zobato letvijo

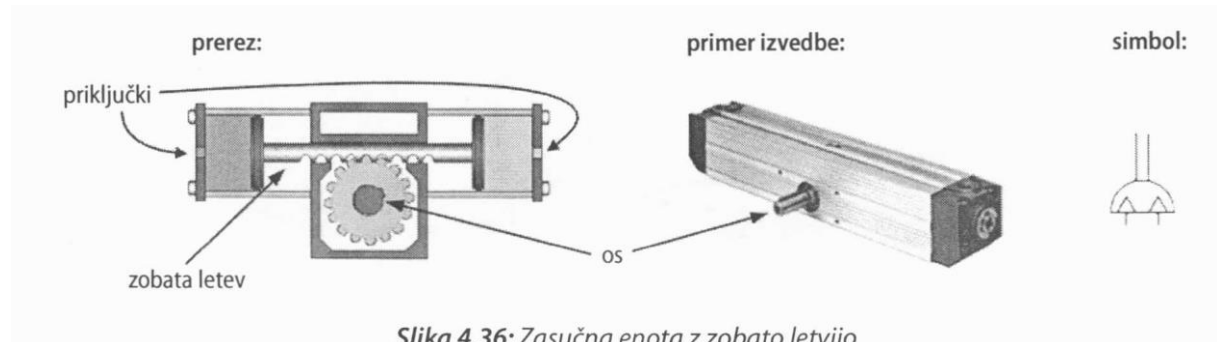
Os zasučne enote poganja zobata letev, ki je pritrjena med dva bata prek zobniškega prenosa.

Osnovne lastnosti:

Premeri bata: 6-100 mm

Zasuki: 0-360°

Navori: 0.1-50 Nm



Slika 4.36: Zasučna enota z zobato letvijo

Zasučna enota z zasučnim krilom

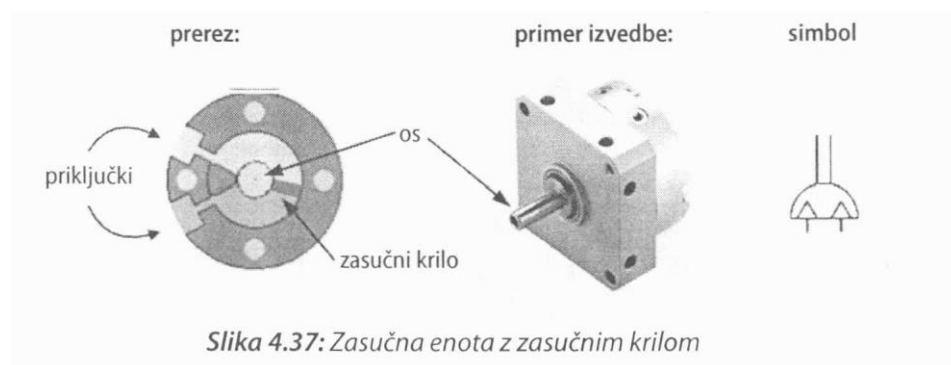
Silo, potrebno za zasuk osi zasučne enote, ustvarja tlak, ki pritiska na zasučno krilo.

Osnovne lastnosti:

Ekvivalentni premeri bata: 6-40 mm

Zasuki 0-270°

Navori: 0,15-20 Nm



Slika 4.37: Zasučna enota z zasučnim krilom

Zasučno-linearna enota

Je kombinacija dvosmerno delujočega valja in zasučne enote. Primer izvedbe in uporabe je prikazan na sliki 4.38.

Osnovne lastnosti:

Premeri bata: 6-40 mm

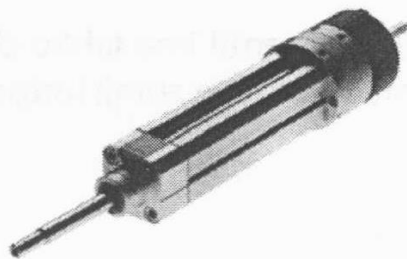
Linearni gibi: 25-160 mm

Zasuki: 0-270°

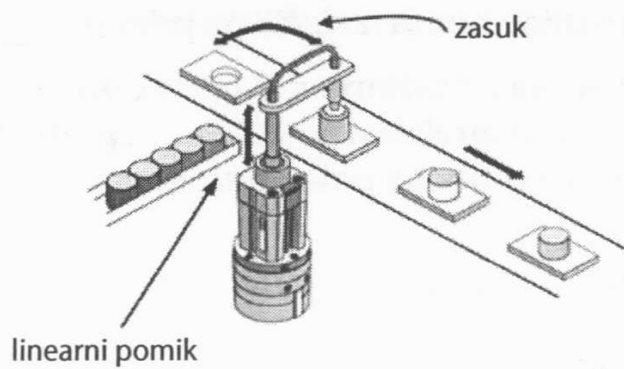
Sile (lin. pomik): 30-300 (1900N)

Navori: 1-20 Nm

primer izvedbe:



primer uporabe:



Slika 4.38: Zasučno-linearna enota

Pnevmatične krmilne komponente

V pnevmatiki aktuatorje krmilimo s krmilnimi elementi - ventili. Po ISO 1219 kot ventile poimenujemo vse elemente, ki ustvarjajo pnevmatične signale, omogočajo krmiljenje poti ter regulacijo tlaka in pretoka delovnega medija iz shranjevalnika zraka, do končnih porabnikov.

Ventile po **konstrukcijski zgradbi** delimo na: drsniške in sedežne.

Po **funkciji** pa jih delimo na 5 skupin:

1. **potni ventili**, ki so lahko izvedeni kot:
 - vhodni/signalni elementi (tipke, mejna stikala ...),
 - krmilni elementi (krmilniki valjev, motorjev),
2. **nepovratni ventili**,
3. **tlačni ventili**,
4. **tokovni ventili**,
5. **zaporni ventili**.

Potni ventili - krmilniki poti

Potne ventile torej uporabljamo za pridobivanje oz. generiranje pnevmatičnih signalov in za krmiljenje pnevmatičnih delovnih elementov — cilindrov in motorjev. Potni ventili usmerjajo, odpirajo in zapirajo pretok zraka. V nekaterih literarnih virih jih imenujejo tudi krmilniki poti. Imajo več stanj, ki jih lahko aktiviramo na različne načine, vsako stanje pa ima lahko več priključkov. Konstrukcija omogoča različne povezave med temi priključki. S tem lahko realiziramo različne funkcije potnih ventilov. Osnovna oznaka potnega ventila je sestavljena iz števila priključkov in števila stanj. Za prikaz potnih in tudi drugih ventilov uporabljamo simbole, ki ne prikazujejo konstrukcije, ampak samo funkcijo ventila.

Potne ventile v osnovi ločimo glede na:

- fizično izvedbo,
- število priključkov in stanj,
- način proženja,
- stanje položaja v mirovanju,
- obstojnost preklopljenega položaja.

V nadaljevanju si bomo najprej ogledali, na kakšen način se tvori simbol potnega ventila na podlagi njegove funkcije ter način označevanja priključkov. Sledila bo obrazložitev načina ločevanja potnih ventilov po zgoraj navedenih lastnostih.

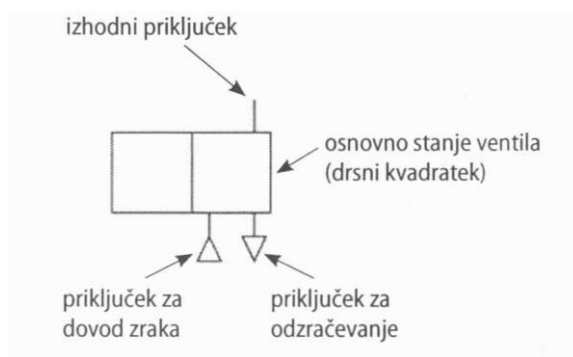
Simbolika potnih in drugih ventilov

Simboliko potnih ventilov bomo razložili na primeru:

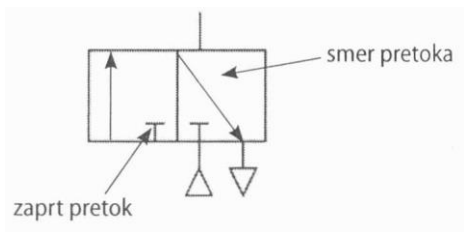
1. Stanje potnega ventila prikažemo s kvadratom . Potni ventil ima lahko dve ali več stanj (ventil odprt, zaprt, v nevtralnem položaju ...). Torej, če ima ventil dve stanji (odprto, zaprto), ima simbol dva kvadrata drug poleg drugega:

– dva kvadrata — dve stanji ventila (npr. odprto, zaprto)

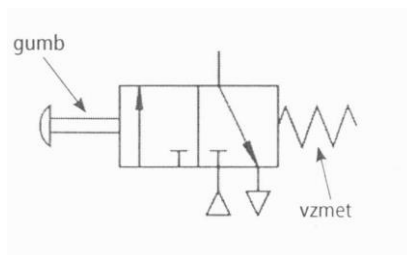
2. Od teh stanj je vedno eno osnovno. To je stanje, ki ga ima ventil, če nanj ne deluje nobena sila. Osnovno stanje ventila rišemo vedno na desni strani. Če ima ventil tri stanja, je osnovno stanje na sredini. Priključke ventila vrišemo samo na kvadratek osnovnega stanja. Priključke za delovne komponente narišemo z zgornje strani, za dovod zraka in odzračevanje pa s spodnje strani. Priključek za dovod zraka je praviloma na desni strani, priključek za odzračevanje pa na levi strani. Če ima ventil tri vhodne priključke, je priključek za dovod zraka na sredini, odzračevalna priključka pa na straneh.



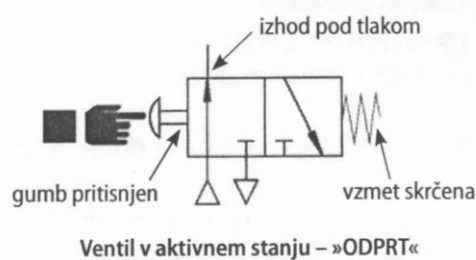
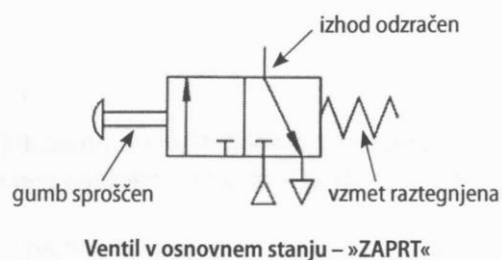
3. V kvadrataček stanja vrišemo funkcijo ventila. Funkcijo prikažemo s pomočjo puščic in črt, ki predstavljajo povezave med priključki ventila. Puščica pomeni smer pretoka med priključki, vodoravna črta pa zaprt pretok.



4. Na levo in desno stran sestavljenih kvadratkov ventila narišemo način aktiviranja stanj v ventilu. Na levo stran vrišemo način aktiviranja iz osnovnega stanja v aktivirano stanje, na desni pa način vračanja v osnovno stanje. Na spodnji sliki je prikazan primer, ko ventil aktiviramo z ročno tipko, v osnovni položaj pa ga povrne vzmet.



Princip delovanja:

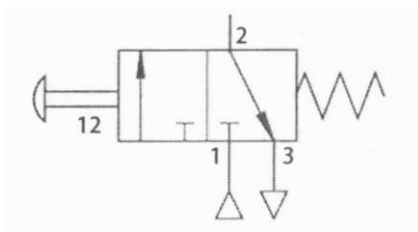


Pri prikazovanju funkcij potnih ventilov s simboli je še nekaj posebnosti, ki jih bomo spoznali v nadaljevanju. Priključke označujemo po mednarodnih standardih, ki omogočajo, da so ventili pravilno priključeni. Samo pravilna priključitev ventila omogoča opravljanje njegove funkcije. Za označevanje priključkov uporabljamo črke in številke (standard ISO 1219). Starejše pnevmatične komponente imajo črkovne oznake priključkov, pri novejših komponentah pa so priključki večinoma označeni s številkami (ISO 5599-3). V tabeli spodaj so navedene stare in nove oznake za priključke.

Priključek	Starejše oznake	Novejše oznake (150 5599-3)
izhodi iz ventila (delovni priključki)	A, B	2, 4
vhod (dovod zraka)	P	1
odzračevanje	R, S	3, 5

Tabela: Označevanje priključkov

Pri standardu ISO 1219 ima izhodni priključek, ki je povezan z napajalnim zrakom, oznako 2, krmilni priključki pa imajo oznako, sestavljeno glede na dejanje, ki ga opravijo, npr. priključek 12 poveže vhodni priključek 1 z izhodnim priključkom 2. Za primer ventila, navedenega v zgornjem primeru, smo priključke označili na naslednji način:



Ločevanje potnih ventilov glede na fizično izvedbo

Poznamo različne izvedbe potnih ventilov. Konstrukcijska izvedba ventila vpliva na njegovo življenjsko dobo, na preklopno silo, na možne načine preklopa, na možnosti priključevanja in velikost ventila. Na tem mestu bomo samo navedli možne konstrukcijske izvedbe, v podrobnosti samih izvedb pa se ne bomo spuščali. Navedene bodo samo bistvene prednosti in slabosti posamezne skupine.

Glede na konstrukcijo torej ločimo:

- **Sedežni ventil:**

- sedežni ventil s kroglico,
- sedežni ventil s krožnikom.

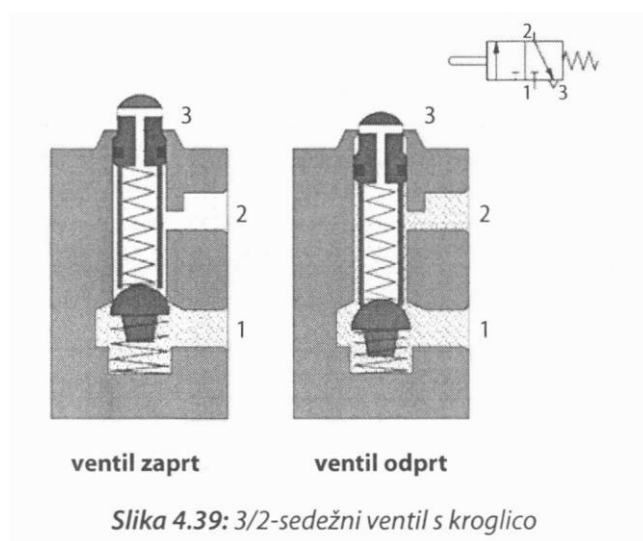
- **Drsniški ventil:**

- z batnim drsnikom,
- s ploščatim drsnikom,
- s ploščatim vrtljivim drsnikom.

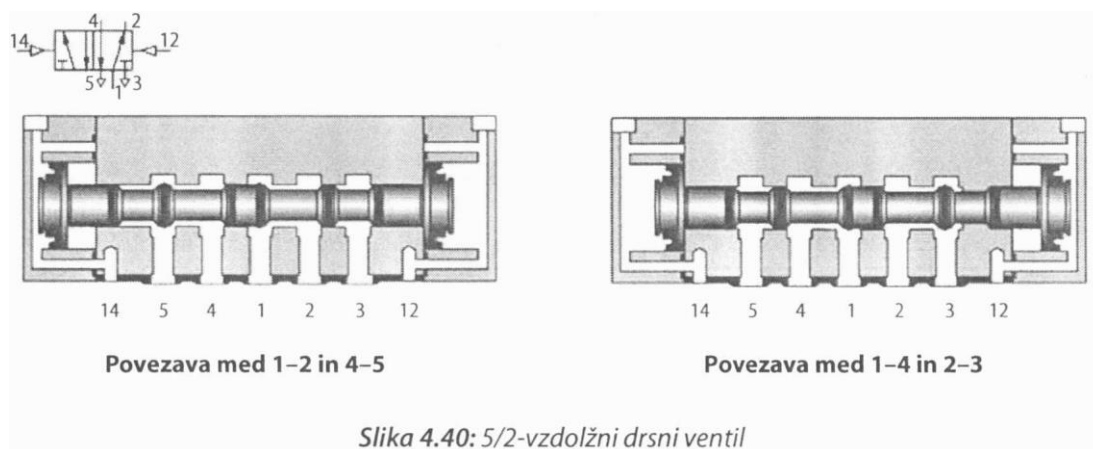
Prednost sedežnih ventilov je dolga življenjska doba, so robustni in neobčutljivi na umazanijo. Slabost predstavlja relativno velika sila za preklop (premagovanje sile vzmeti ali stisnjenega zraka). Pretok zraka se krmili z naleganjem kroglic ali krožnikov.

Prednost drsnih ventilov predstavlja majhna preklopna sila, vendar imajo kratko življenjsko dobo.

Primer 3/2 - sedežnega ventila s kroglico - v normalnem stanju zaprt:



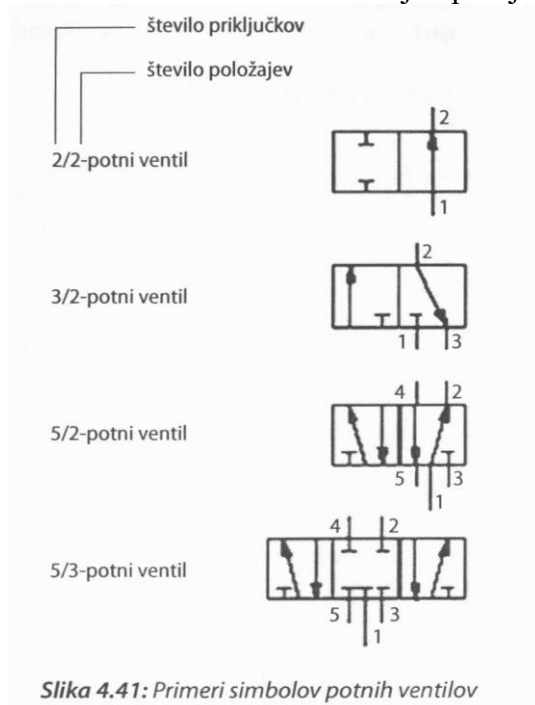
Primer 5/2 - vzdolžnega drsnega ventila :



Ločevanje potnih ventilov glede na število priključkov in položajev

Ventili se med sabo razlikujejo glede na število priključkov in število možnih položajev. Prva številka v označbi pove število priključkov, drugo pa število možnih položajev. Torej se ventil iz primera imenuje **3/2-potni ventil** (beri »tri skozi dva« potni ventil).

Primeri simbolov potnih ventilov z različnim številom stanj in priključkov:

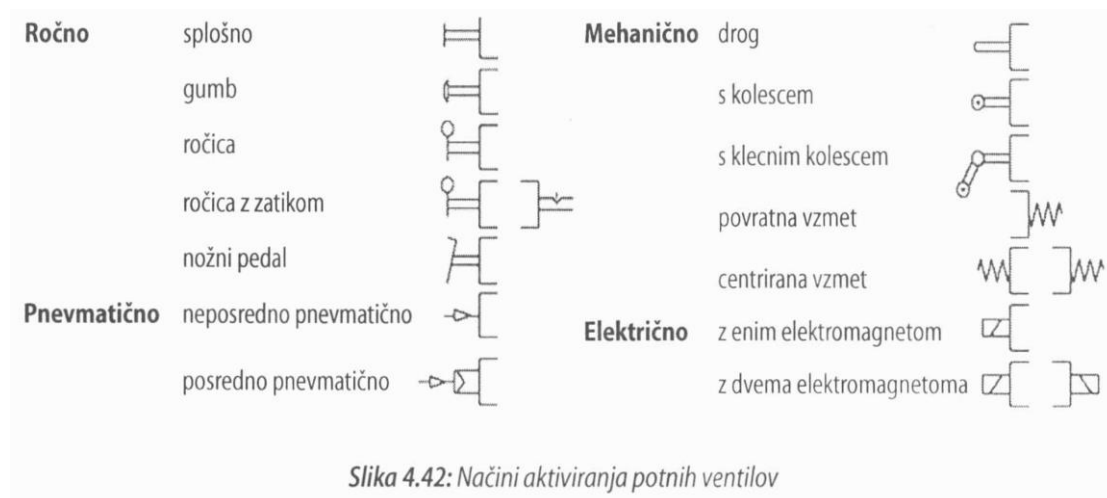


Ločevanje potnih ventilov glede na način proženja

Glede na način proženja ločimo ventile na ventile:

- z ročnim proženjem,
- z mehaničnim proženjem,
- s pnevmatičnimi signali,
- z električnimi signali.

Simboli za različne načine aktiviranja potnih ventilov:



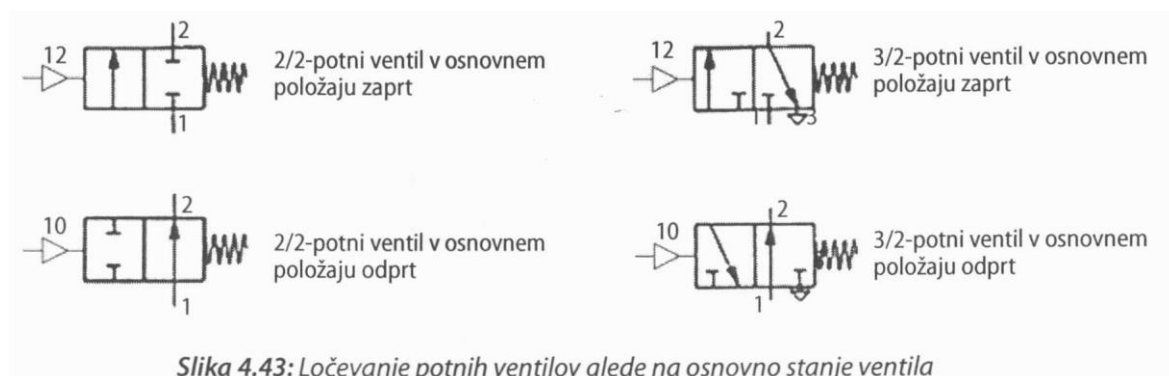
Ločevanje potnih ventilov glede na stanje mirovnega položaja

Osnovno stanje je stanje, v katerem se ventil nahaja, če nanj ne deluje nobena sila — ni aktiviran. Osnovno stanje ventila je na simbolu vrisano vedno na desni strani, razen če ima ventil tri stanja. Takrat je osnovno stanje na sredini.

Glede na osnovno stanje ventila ločimo:

- ventil v osnovnem položaju **odprt** (angl. kratica NO - Normally Open),
- ventil v osnovnem položaju **zaprt** (angl. kratica NC - Normally Closed).

Poglejmo si primera za 2/2- in 3/2-potna ventila:



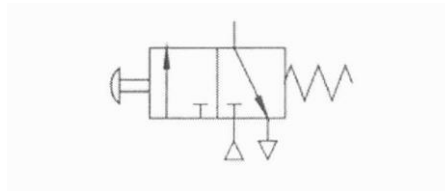
Ločevanje potnih ventilov glede na obstojnost preklopljenega položaja

Glede na obstojnost preklopljenega položaja je ventil lahko:

- **Monostabilni:** po prenehanju delovanja preklopne sile se ventil samodejno povrne v osnovni položaj. Po navadi imajo takšni ventili vsaj eno vzmet. Izraz monostabilni (mono - ena) nam pove, da ima ventil le eno stabilno stanje.

- **Bistabilni:** po prenehanju delovanja preklopne sile ventil ostane v preklopljenem položaju - spominska funkcija. Izraz bistabilni (bi - dva) nam pove, da ima ventil dve stabilni stanji.

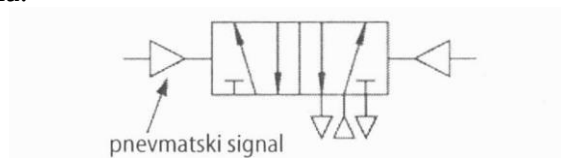
Primer **monostabilnega** ventila:



Slika 4.44: Monostabilni ventil s tipko

Ventil preklopimo s pritiskom na gumb. Ventil ostane v preklopljenem položaju (v tem primeru odprtem) le, dokler je gumb pritisnjen.

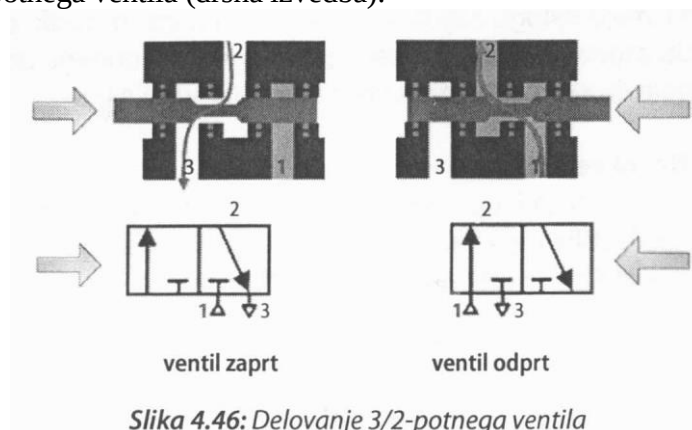
Primer **bistabilnega** ventila:



Slika 4.45: Pnevmatično krmiljen bistabilni ventil

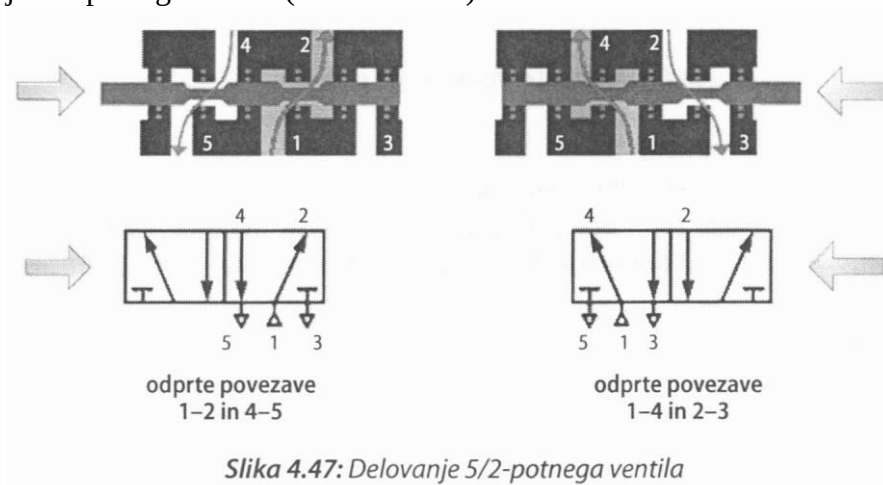
Ventil ostane v preklopljenem položaju tudi po odklopu krmilnega signala. Za prekop iz enega v drugo stanje je dovolj že kratek pulz.

Princip delovanja 3/2-potnega ventila (drsna izvedba):



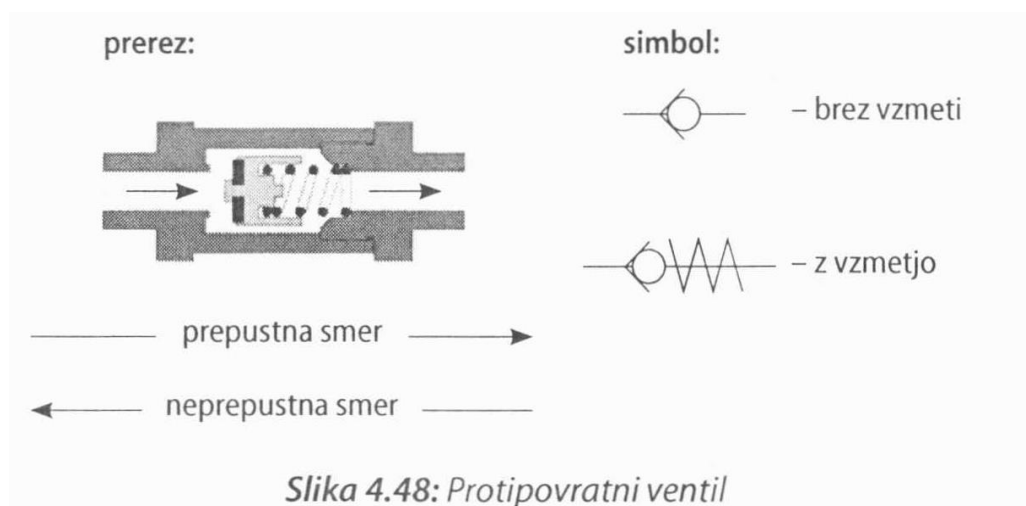
Slika 4.46: Delovanje 3/2-potnega ventila

Princip delovanja 5/2-potnega ventila (drsna izvedba):



Protipovratni ventili

Protipovratni ventil je element, ki v eni smeri pretok zraka popolnoma onemogoča, v nasprotni pa ga prepušča z minimalnimi tlačnimi izgubami. Kot zaporni element je lahko uporabljen konus, kroglica ali membrana. Zraven običajne izvedbe obstaja še izvedba z vzmetjo. Pri tem protipovratnem ventilu je potreben določen tlak v prepustni smeri, da se ventil odpre.



Tlačni ventili

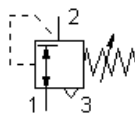
Tlačni ventili v osnovi razdelimo na tri skupine:

- regulacijski tlačni ventili,
- omejevalni tlačni ventili,
- sekvenčni tlačni ventili.

Regulacijski tlačni ventili

Regulacijski tlačni ventili imajo nalogo zagotavljati konstanten izhodni tlak. Za pravilno delovanje je seveda treba na vходу zagotoviti tlak, ki je večji od želenega izhodnega tlaka. Ta ventil smo podrobneje že opisali v poglavju »Enote za pripravo zraka«.

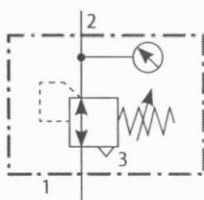
simbol:



Omejevalni tlačni ventili

Omejevalni tlačni ventili se po navadi uporabljajo kot varnostni ventili. Le-ti skrbijo, da tlak v sistemu ne preseže največjega dovoljenega tlaka. če je na vходу (1) presežen največji dovoljeni tlak, se izhod (2) odpre in presežni zračni tlak se izpusti v atmosfero.

simbol:

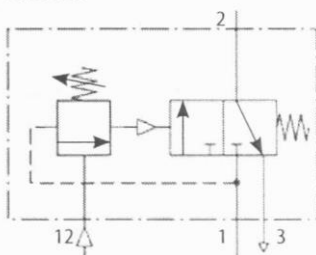


Slika 4.49: Simbol omejevalnega tlačnega ventila

Sekvenčni tlačni ventili

Sekvenčni tlačni ventili delujejo na podoben način kot omejevalni, s to razliko, da imajo na izhodu dodan 3/2-ventil. Pretok zraka med priključkoma 1 in 2 je v osnovnem položaju zaprt (glej simbol). Izhodni priključek 2 je pod tlakom le, ko tlak na vhodnem priključku 12 preseže nastavljeno vrednost.

simbol:

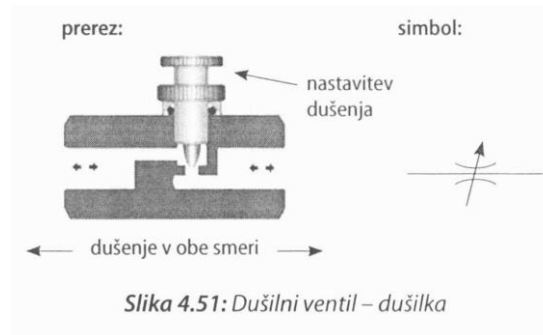


Slika 4.50: Simbol sekvenčnega tlačnega ventila

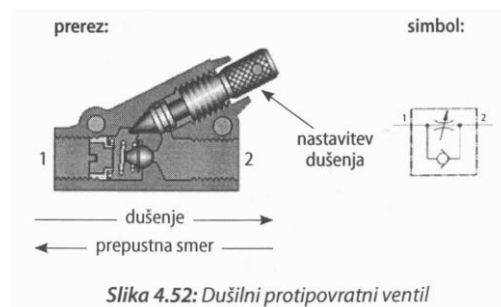
Takšne ventile uporabljamo v pnevmatičnih krmiljih, kjer je za preklopno funkcijo potreben določen tlak (npr. izklop kompresorja).

Tokovni ventili

Tokovni ventili vplivajo na volumenski pretok stisnjenega zraka v obeh smereh enako. Takšen ventilu rečemo dušilni ventili ali krajše kar dušilka.



Posebno izvedbo tokovnega ventila predstavlja *dušilni protipovratni ventil*. Pri tem ventilu se duši pretok zraka samo v eni smeri. V tej smeri protipovratni ventil zapre tok zraka in zrak lahko teče samo skozi dušilko, pri kateri lahko nastavljamo pretočni prerez. V obratni smeri teče zrak neovirano skozi protipovratni ventil.



Dušilni protipovratni ventil imenujemo tudi ventil za regulacijo hitrosti. Uporabljamo jih za regulacijo hitrosti pnevmatičnih cilindrov. Obrnjen mora biti tako, da duši iztekajoči zrak. Primer in način uporabe je bil omenjen pri opisu dvosmerno delujočih cilindrov.

Zaporni ventili

Zaporni ventili imajo nalogo, da popolnoma prepuščajo ali popolnoma preprečujejo pretok zraka, in sicer v obe smeri enako.



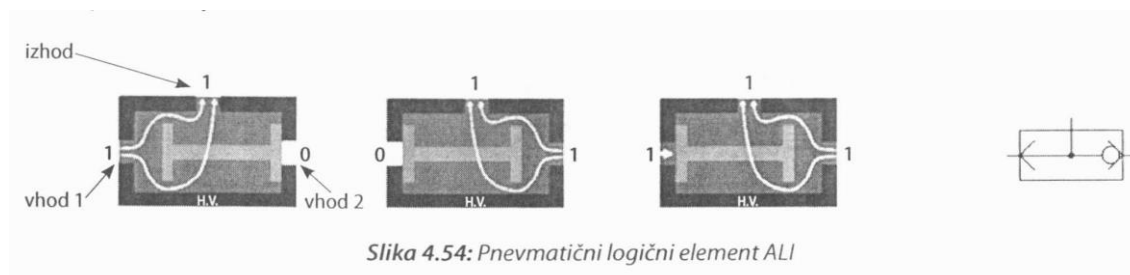
Pnevmatične procesne komponente

Pnevmatični logični element ALI

Signal na izhodnem priključku nastane, če je aktiven vsaj eden od dveh vhodnih signalov.

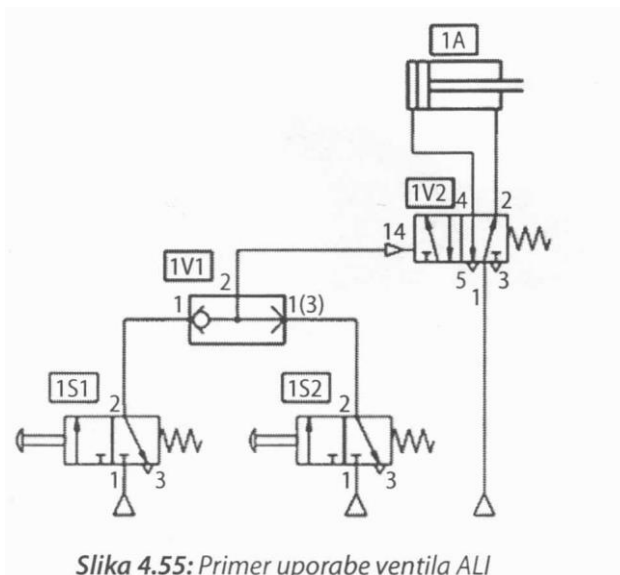
Imenujemo ga tudi izmenični ventil.

Princip delovanja in simbol:



Primer uporabe:

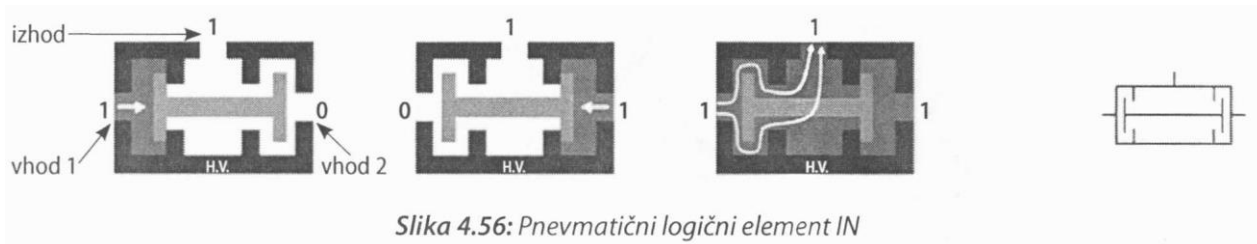
Za premik cilindra v desno morata biti aktivirani tipki 1 S1 **ali** tipka 1 S2. Če izgubimo oba signala, takrat monostabilni ventil vrne cilinder v levi položaj.



Pnevmatični logični element IN

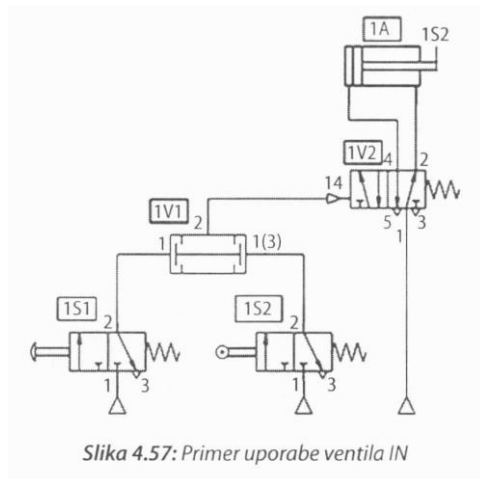
Signal na izhodnem priključku nastane, če sta aktivna oba vhodna signala hkrati. Imenujemo ga tudi dvotlačni ventil.

Princip delovanja in simbol:



Primer uporabe:

Za premik cilindra v desno morata biti aktivirana tipka 1 S1 in končno stikalo 1 S2. V kolikor en signal izgubimo, monostabilni ventil vrne cylinder v levi položaj.



Slika 4.57: Primer uporabe ventila IN

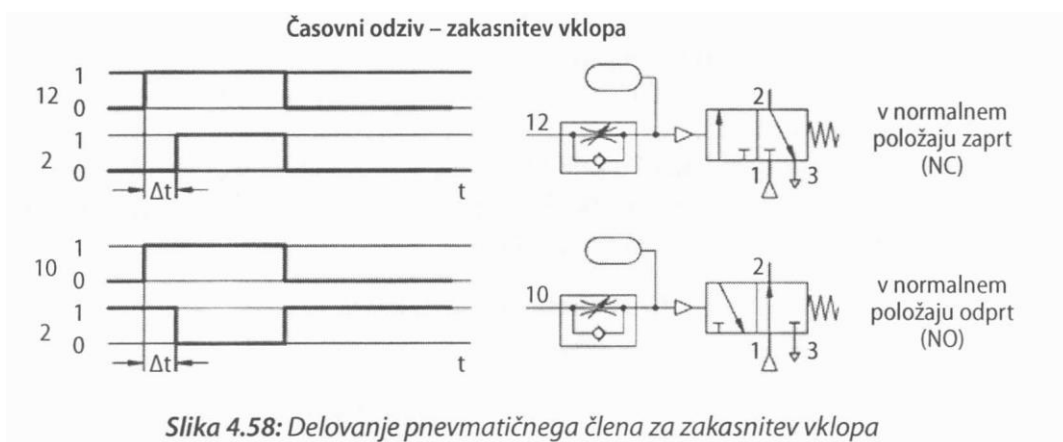
Pnevmatični časovni členi

Omogočajo nam naslednje časovne funkcije:

- zakasnitev vklopa,
- zakasnitev izklopa,
- podaljševanje pulza,
- krajšanje pulza.

Pnevmatični člen za zakasnitev vklopa

Ventil sestavlja pnevmatično krmiljen 3/2 - potni ventil, dušilni nepovratni ventil in majhen shranjevalnik zraka. 3/2-ventil je lahko v normalnem položaju odprt ali zaprt. Časovne zakasnitve so od 0-30 sekund, podaljšati pa se dajo z dodatnimi rezervoarji.

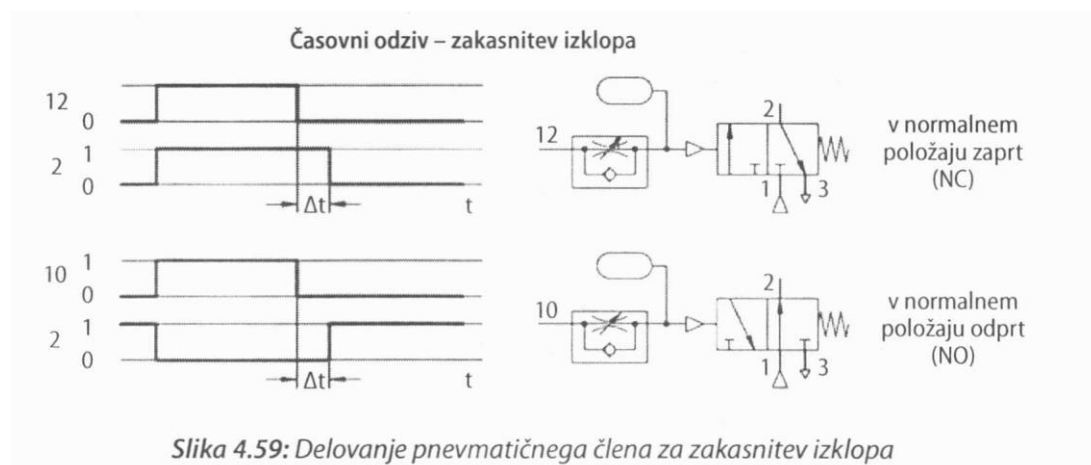


Slika 4.58: Delovanje pnevmatičnega člena za zakasnitev vklopa

Na priključku 1 je doveden zrak. Na priključku 12 (10 pri NO 3/2-ventilu) doteka v ventil krmilni zrak, ki teče skozi dušilni nepovratni ventil. V odvisnosti od nastavitve dušilke hitreje oz. počasneje polni rezervoar. Ko doseže zrak v rezervoarju potreben tlak, preklopi 3/2-potni ventil in s tem se vzpostavi povezava med priključkoma 1 in 2 — pojavi se izhodni signal. Čas zakasnitve predstavlja čas od takrat, ko začne v rezervoar dotekati zrak, in do takrat, ko naraste tlak na potrebno vrednost za prekllop.

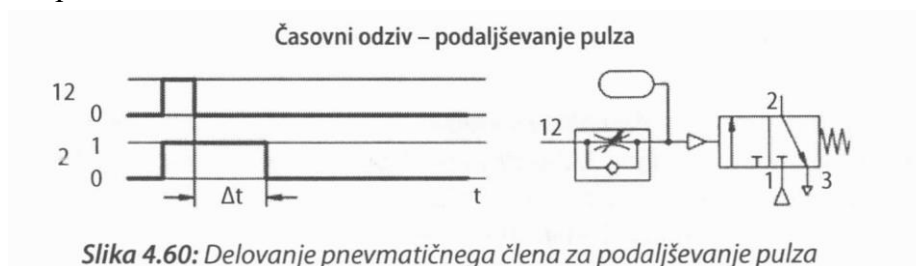
Pnevmatični člen za zakasnitev izklopa

Deluje na podoben princip kot ventil za zakasnitev vklopa, torej na podlagi polnjenja rezervoarja. Konstrukcijska razlika je le v orientaciji nepovratnega ventila. Na začetku poteka pretok zraka od krmilnega priključka 12 (10 pri NO 3/2 ventilu) mimo dušilke skozi nepovratni ventil; torej se 3/2 ventil odpre takoj ob nastanku signala na priključku 12. Ob tem se napolni tudi rezervoar. Ob prenehanju krmilnega signala 12 nepovratni ventil preprečuje iztekanje zraka v nasprotni smeri, zato mora le-ta skozi dušilko. Od nastavitve dušilke je odvisno, kako hitro bo tlak padel na vrednost, ki bo 3/2-ventil vrnila v osnovni položaj.



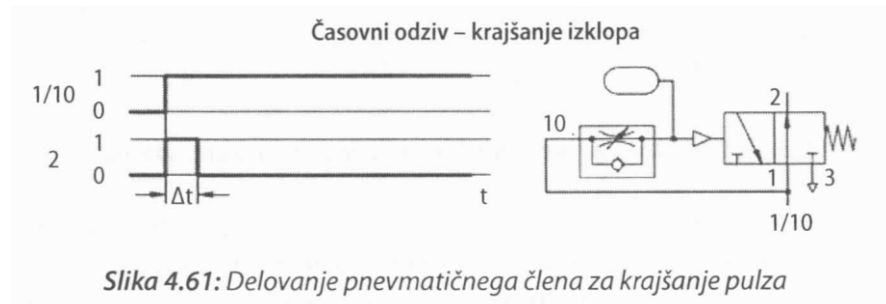
Pnevmatični člen za podaljševanje pulza

Ventil za podaljševanje pulza predstavlja kar ventil za zakasnitev izklopa z NC 3/2-ventilom. Že kratek pulz na priključku 12 povzroči, da se rezervoar napolni. Praznjenje rezervoarja in s tem čas podaljšanja pulza pa sta odvisna od nastavitve dušilke.



Pnevmatični člen za krajšanje pulza

Ventil za krajšanje pulza dobimo tako, da ventilu za zakasnitev vklopa z NO 3/2-ventilom dodamo povezavo med priključkoma 1 in 10. 3/2-ventil je že na začetku odprt (NO). Po priklopu signala na krmilni priključek 1/10 se le-ta takoj pojavi na priključku 2. Ventil 3/2 ostane odprt še za čas, določen z dušilko. Po preteku tega časa ventil preklopi in priključek 2 odzrači prek priključka 3.



Risanje pnevmatičnih krmilnih shem

Krmiljenje v pnevmatiki predstavimo s pnevmatičnimi shemami, ki prikazujejo pnevmatične elemente s simboli. V shemah posamezne elemente označimo in narišemo njihove povezave. Sheme rišemo po standardih, tako da so razumljive načrtovalcem, izvajalcem in vzdrževalcem krmilja. Iz sheme so razvidni delovanje in namen posamezne pnevmatične komponente ter delovanje in sestava celotne pnevmatične naprave. Zahtevnega krmilja brez shem sploh ne moremo realizirati. Pnevmatične sheme omogočajo načrtovanje, povezovanje in vzdrževanje pnevmatičnega krmilja.

Standard ISO 1219-2

Pravila za risanje pnevmatičnih in hidravličnih shem določa standard ISO 1219 -2, ki uporablja simbole po ISO 1219 -1 in nekatera določila iz drugih standardov. Ker se standardi revidirajo, je treba uporabljati zadnje izdaje navedenih standardov. Čeprav naj bi se standarde enotno uporabljalo, določeni proizvajalci vztrajajo pri svojem načinu označevanja komponent in shem.

Standarde, ki so zajeti v ISO 1219 -2, prikazuje tabela:

ISO 1219-1: 1991	Fluidna tehnika – Grafični simboli in sheme – 1. del: Grafični simboli Fluid power systems and components – Graphic symbols and circuit diagrams – Part 1: Graphic symbols
ISO 3098-1:1974	Tehnične risbe – Pisava – 1. del: Priporočena pisava Technical drawings – Lettering – Part 1: Currently used characters
150 3448:1992	Tekoča industrijska maziva - Viskoznostna klasifikacija po ISO Industrial liquid lubricants - ISO viscosity classification
150 5457:1980	Tehnične risbe -Velikosti in ureditev risalnih listov Technical drawings - Sizes and layout of drawing sheets
150 5598:1985	Fluidna tehnika - Slovar Fluid power systems and components -Vocabulary Bilingual edition
150 6743 4:1982	Maziva, industrijska olja in sorodni proizvodi (razred L) - Klasifikacija - 4. del: Družina H (hidravlični sistemi) Lubricants, industrial oils and related products (class L) - Classification - Part 4: Family H (Hydraulic systems)
IEC 848:1988	Priprava funkcijskih diagramov za krmilne sisteme Preparation of function charts for control systems

Priporočila za risanje pnevmatičnih (hidravličnih) shem

V tem delu bodo predstavljena temeljna pravila in priporočila za risanje shem po standardu ISO 1219-2.

Pri risanju veljajo naslednja priporočila:

- Predstavljena mora biti vsa hidravlična in pnevmatična oprema ter njene povezave.
- V shemah ni treba upoštevati dejanske prostorske razporeditve sestavin.
- Cevne vode ali povezave med različnimi deli opreme je treba risati tako, da se čim manj križajo.
Kjer je to neizogibno, je treba to predstaviti skladno z ISO 1219 -1.
- Če je naprava kompleksna, je potrebno shemo razdeliti na več delov s skupnimi krmilnimi funkcijami. Če je le mogoče, naj bo celotno krmilje predstavljeno na enem listu, vključno s pripadajočimi pretvorniki energije.
- Sestavine, kot so mejna stikala ali ventili, ki jih prožijo aktuatorji, je potrebno prikazati na mestu njihovega proženja, npr. ob valju z markirno črto in njihovo označbo, če je proženje samo enosmerno, je potrebno na markirno črto dodati puščico (↑).
- Priporoča se, da se simboli pnevmatičnih (hidravličnih) sestavin načeloma razvrščajo od spodaj navzgor in z leve proti desni:
 - viri energije: spodaj na levi,
 - krmilne sestavine v zaporedni vrsti: navzgor od leve proti desni,
 - aktuatorji: zgoraj z leve proti desni.
- Simboli morajo biti narisani po naslednjem pravilu:
 - **Za pnevmatiko:** Če ni podano drugače, morajo biti predstavljene sestavine v stanju pod tlakom in v izhodiščnem stanju naprave. Izjeme so le ventili, ki so v osnovnem stanju krmilja prisilno aktivirani. Pri teh narišemo tudi način aktiviranja.
 - **Za hidravliko:** Če ni podano drugače, morajo biti predstavljene sestavine v izhodiščnem stanju naprave.

Sheme rišemo več_nivojsko, tako da so pregledne - omogočati morajo sledenje gibanj in ukazov različnih korakov v delovnem ciklu. Le pravilno narisana shema služi svojemu namenu. Rišemo jih po naslednjem priporočilu:

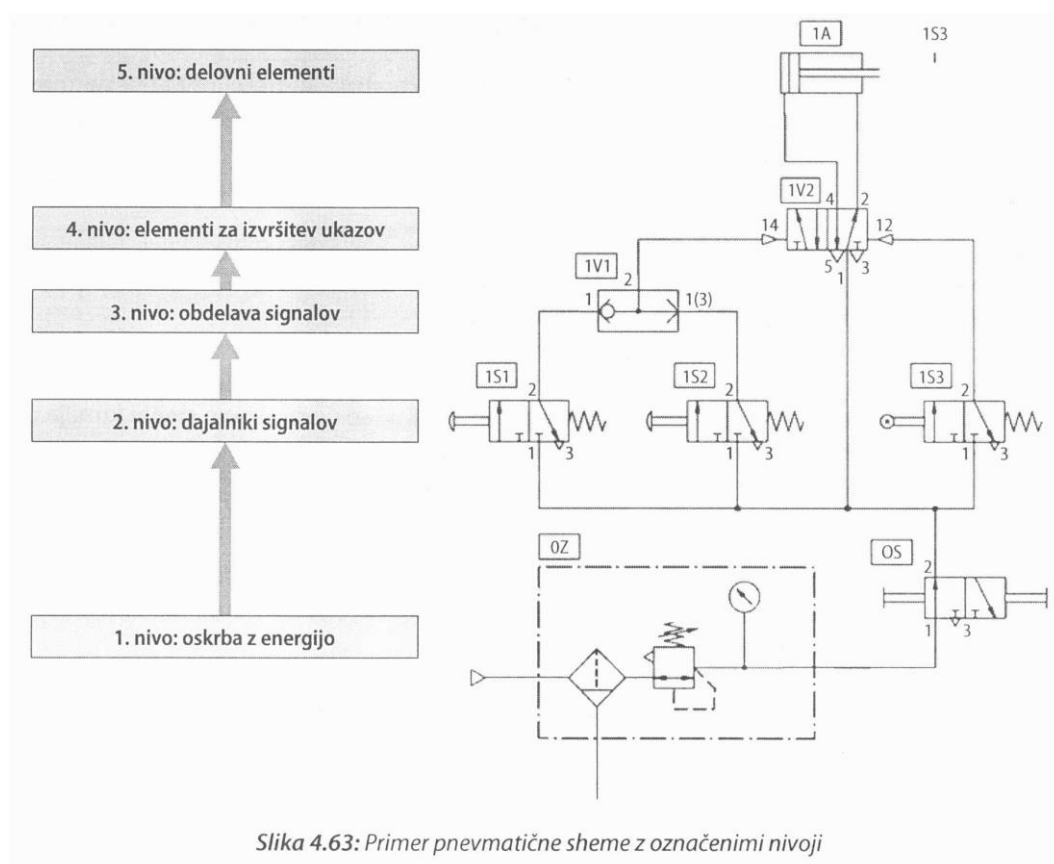
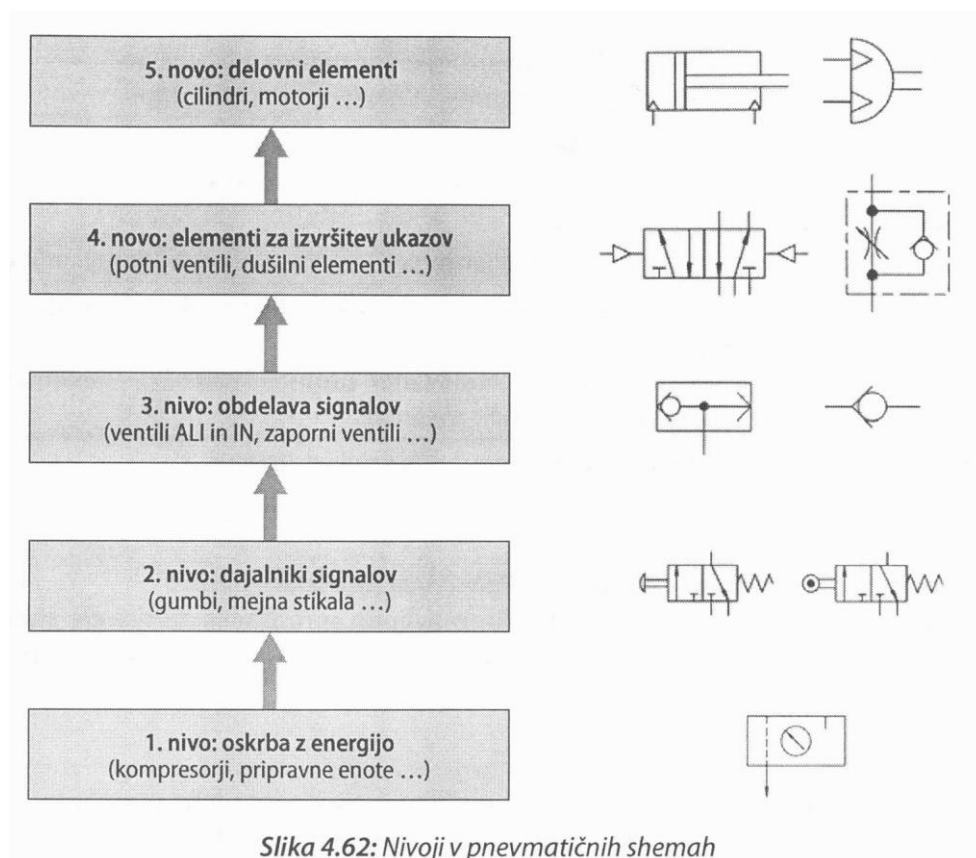
1. nivo: Oskrba z energijo (stisnjeni zrak).

2. nivo: Elementi, ki na podlagi informacij oddajajo pnevmatične signale za krmiljenje.

3. nivo: Pnevmatični elementi za obdelavo signalov (logični, časovni ...).

4. nivo: Elementi za izvrševanje ukazov. To so po navadi potni ventili, ki glede na signale krmilijo delovne elemente.

5. nivo: Delovni elementi. Pod njimi so lahko elementi za prilagoditev delovnih signalov.

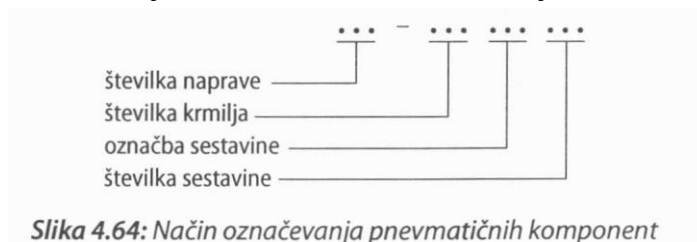


Označevanje pnevmatičnih (hidravličnih) shem

V shemah moramo elemente tudi pravilno označiti. To je pomembno pri popisu elementov, ki jih potrebujemo za krmilje, in tudi za lažje razumevanje delovanja in vzdrževanja krmilja, ki ga shema predstavlja. Za označevanje elementov se uporablja sistem označevanja s črkami in številkami. Označba neke sestavine v shemi mora biti v bližini pripadajočega simbola. Ta označba se mora uporabiti v vseh pripadajočih dokumentih.

Če ni določeno drugače, se mora uporabljati označevanje sestavin, kot je prikazano spodaj.

Označba mora vsebovati naslednje elemente in mora biti uokvirjena:



Številka naprave

Označba je sestavljena iz števil, ki se začnejo s številko 1. Označbo je treba uporabiti, če je celotno krmilje sestavljeno iz več kot ene naprave.

Številka krmilja

Označba je sestavljena iz števil. Priporočljivo je, da se s številko 0 na začetku označijo vsi deli pribora, ki so vgrajeni v agregat ali v vir napajanja, nato pa se z zaporednimi številkami označijo različna krmilja.

Označba sestavine

Vsak sestavni del (komponento) je treba označiti enopomensko z naslednjimi črkami:

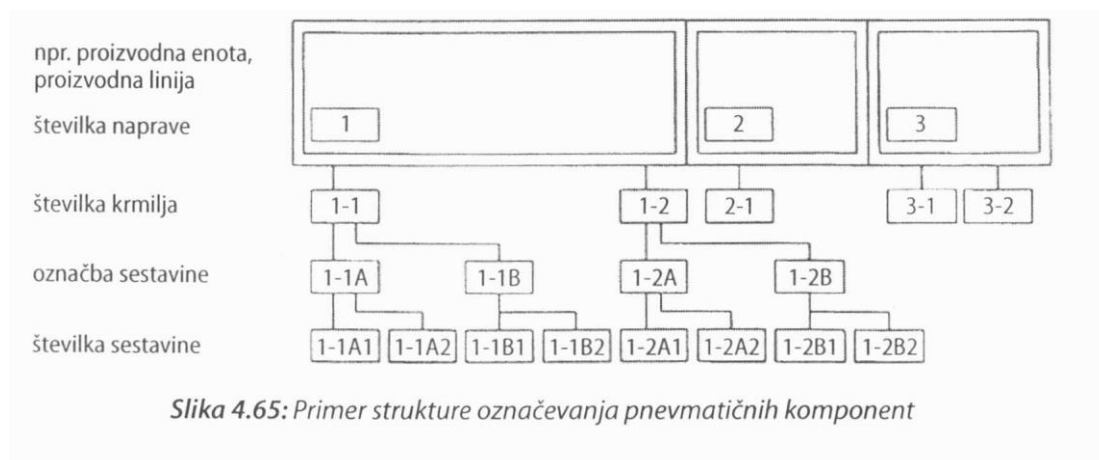
- črpalke in kompresorji: **P**
- aktuatorji: **A**
- pogonski motorji: **M**
- senzorji: **S**
- ventili: **V**
- tuljavice ventilov: **Y**
- ostale sestavine: **Z** (ali druga črka, ki zgoraj še ni bila uporabljena)

Številka sestavine

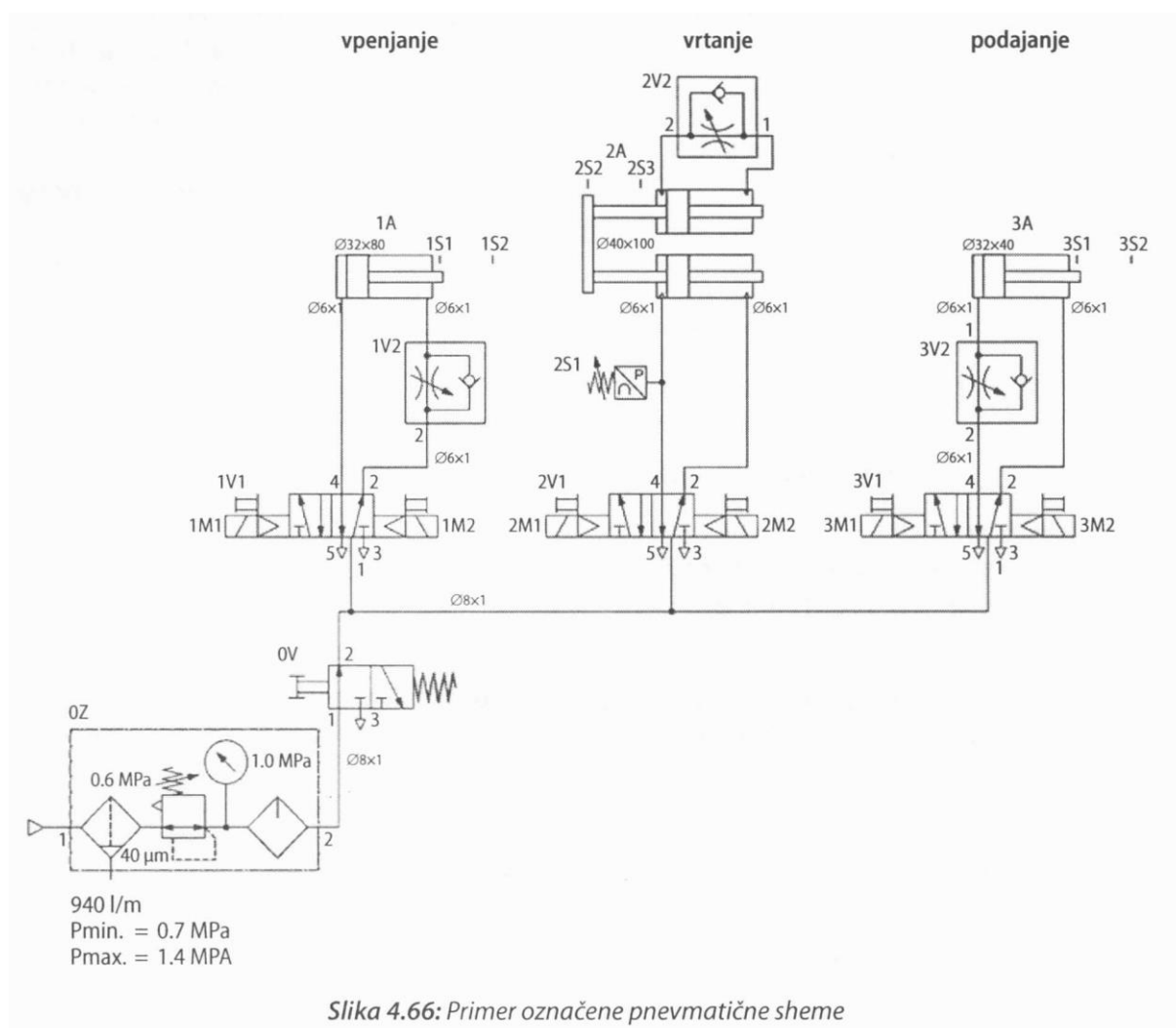
Označba je sestavljena iz števil, ki se začnejo s številko 1.

Vsaka sestavina v krmilju se zaporedno oštevilči.

Primer strukture označevanja komponent v pnevmatični shemi:



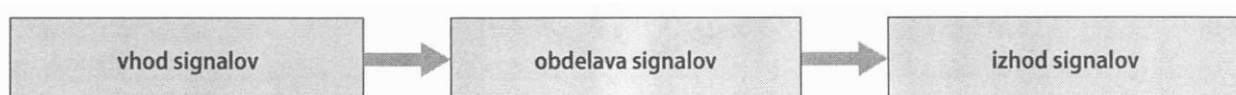
Primer:



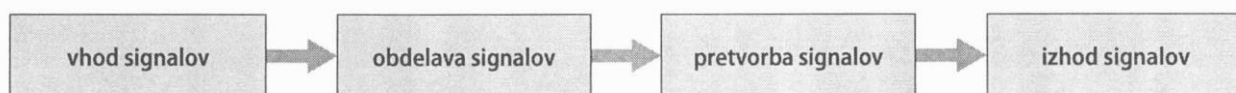
ELEKTROPNEVMATIKA

Elektropnevmatika je samo način krmiljenja pnevmatike, kar pomeni, da so delovni elementi enaki kot pri klasični pnevmatiki, signali za krmiljenje pa so električni. Obdelava signalov je električna s pomočjo relejev. Elektropnevmatika združuje prednosti pnevmatike in elektrike, v praksi se še vedno veliko uporablja, saj je kombinacija krmiljenja pnevmatike s pomočjo električnih signalov ugodna in enostavna. Pri elektropnevmatiki ločimo storilni ali delovni del, ki je pnevmatičen, in krmilni del, ki je električen. Električne signale, ki jih dajejo kontakti, obdelamo s pomočjo relejev in jih posredujemo elektromagnetnim potnim ventilom, ki z zrakom oskrbujejo pnevmatične delovne elemente.

Krmilni sistem v elektropnevmatiki ima še dodatni člen za pretvorbo signala iz električnega v pnevmatični, glede na pnevmatični krmilni sistem.

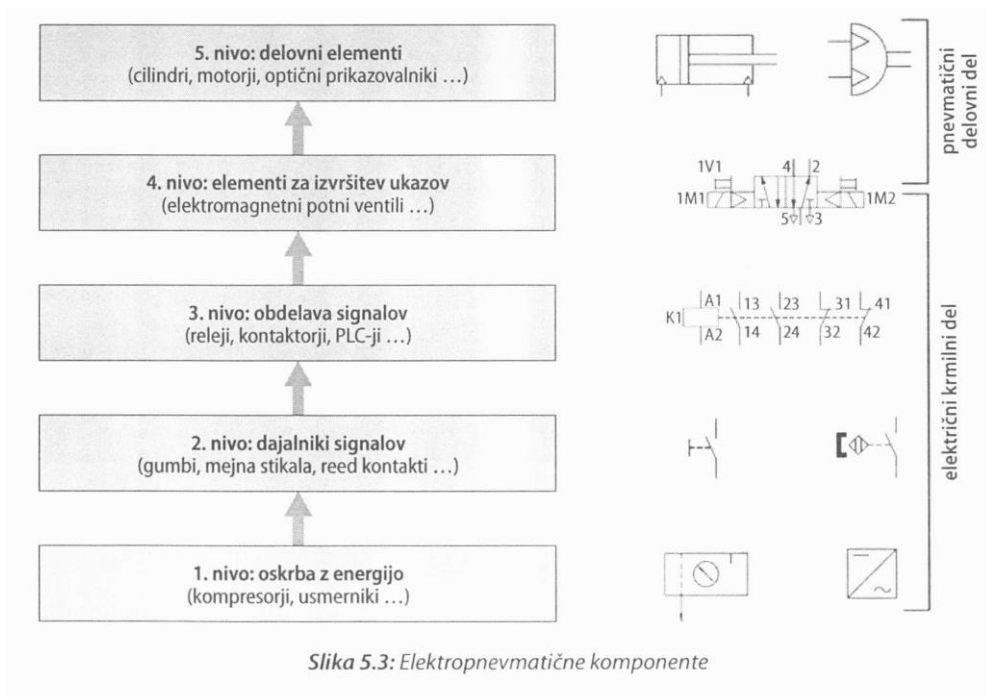


Slika 5.1: Pnevmatični krmilni sistem



Slika 5.2: Elektropnevmatični krmilni sistem

Za vhod signalov uporabljamo različna stikala in brezdotične signalnike, signale obdelajo releji, pretvarjajo jih elektromagnetni ventili, za izhod signalov pa uporabljamo pnevmatične cilindre ali motorje (slika 5.3).



Slika 5.3: Elektropnevmatične komponente

Prednost elektropnevmatike pred klasičnim pnevmatičnim krmiljem:

- enostavna prilagoditev na različne delovne pogoje,
- temperaturna neodvisnost od okolice,
- nizka cena kontaktov, stikal in relejev,
- enostavna rešitev logičnih, spominskih in časovnih funkcij,
- enostavna rešitev velikih krmilnih zahtev.

Slabosti elektropnevmatike:

- izraba delovnih kontaktov zaradi obločnih lokov in oksidacije,
- zavzema velik prostor, zato jo izpodriva elektronika,
- glasnost pri preklapljanju,
- omejena hitrost preklapljanja (3-17 ms),
- vpliv umazanije.

Elektropnevmatična krmilja vse bolj izpodrivajo cenejša in boljša elektronska krmilja, vendar se v praksi še vedno največkrat srečujemo z elektropnevmatiko. Za elektropnevmatiko se odločamo tudi zaradi enostavnosti, kajti strežno osebje lahko z malo znanja elektrotehnike razume delovanje, kar pa je pogoj za pravilno uporabo in vzdrževanje sistema.

Krmilna veriga v elektropnevmatiki

1. SIGNALNI ČLENI (stikalo, tipka, mejno stikalo, programator, senzor, tipalo),
2. ČLENI ZA OBDELAVO SIGNALOV (KRMILNI ČLENI) (kontaktor, rele, elektronski členi),
3. POSTAVITVENI ČLENI (močnostni kontaktor, močnostni tranzistor, močnostni tiristor),
4. POGONSKI ČLENI (elektromotor, elektromagnet, linearni motor).

Načini krmiljenja

Krmilje je lahko:

- vodeno krmilje,
- obstojno krmilje,
- programsko krmilje.

Programsko krmilje je lahko:

- krmiljenje v odvisnosti od časa,
- krmiljenje v odvisnosti od poti,
- zaporedno krmiljenje.

Krmiljenje glede na obliko informacij:

- analogno krmiljenje,
- digitalno krmiljenje,
- binarno krmiljenje.

Krmiljenje glede na način obdelave signalov:

- sinhrono krmiljenje,
- asinhrono krmiljenje,
- logično krmiljenje,
- zaporedno krmiljenje:
 - časovno odvisno zaporedno krmiljenje,
 - procesno odvisno zaporedno krmiljenje.

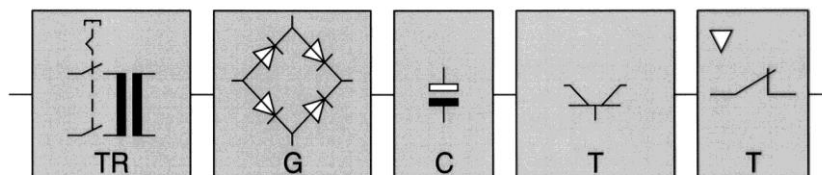
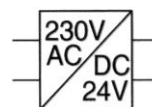
ENERGIJA V ELEKTROPNEVMATIKI

- **KRMILNA – ELEKTRIČNA ENERGIJA**
- **DELOVNA – PNEVMATSKA ENERGIJA**

Za signalno-krmilni in del in za krmiljenje uporabljamo 24 V usmernike, za napajanje pnevmatskega-storilnega dela in njenih komponent pa uporabljamo pnevmatsko energijo.

USMERNIK: **230V AC/ 24V DC**

TR – transformator
G – usmernik
C – kondenzator
T – stabilizator,
termo varovalka



MAGNETNI UČINKI

Med najvažnejše magnetne učinke, na katerih temelji delovanje večine električnih strojev in naprav, uvrščamo silo na feromagnetna telesa in silo na tokovodnik v magnetnem polju ter magnetno indukcijo električne napetosti.

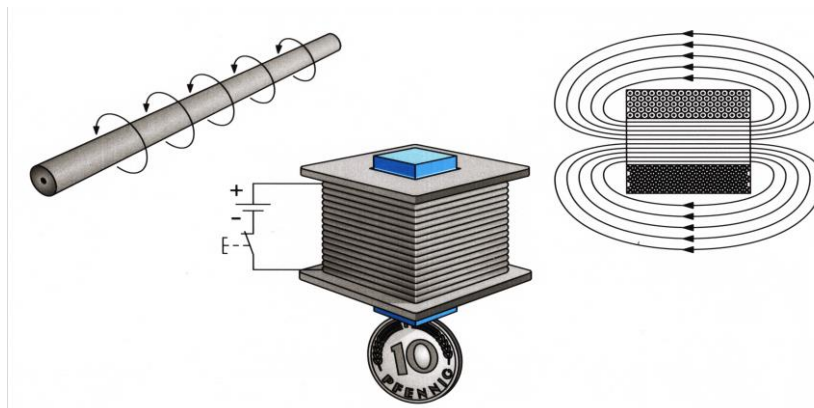
Magnetna sila na feromagnetna telesa

Sila, ki v magnetnem polju deluje na feromagnetno telo, je vedno privlačna sila magneta, ki povzroča magnetno polje.

Sprememba smeri magnetnih silnic ne vpliva na smer magnetne sile na feromagnetno telo.

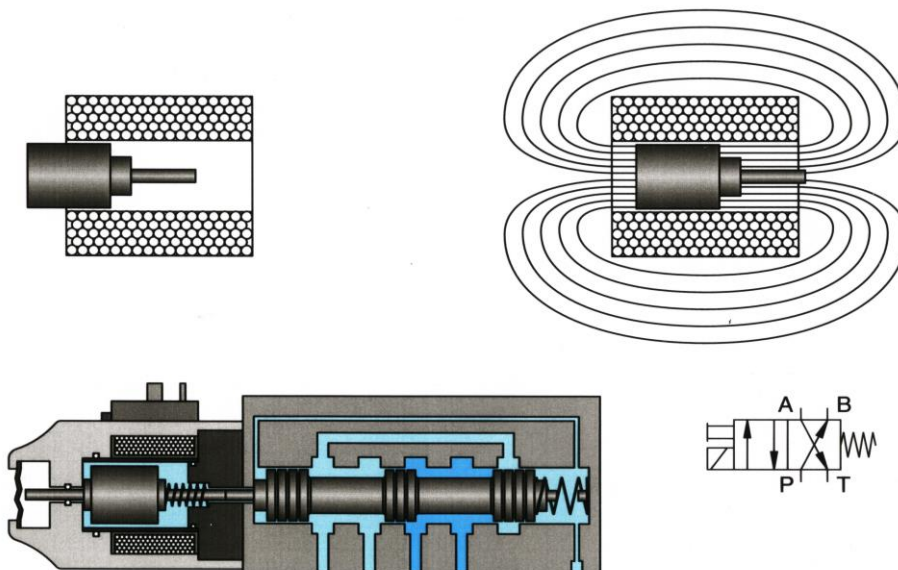
Sila na feromagnetno telo v magnetnem polju ima vedno tako smer, da skuša skrajšati dolžino magnetnih silnic.

S premikom feromagnetnega telesa, je magnetna sila opravila mehansko delo $F \cdot d$, zmanjšala pa se je prostornina in s tem energija magnetnega polja. Opravljeno mehansko delo je seveda enako spremembi magnetne energije.



PRAKTIČNA UPORABA MAGNETNE SILE

Delovanje magnetne sile na feromagnetno jedro (premik feromagnetnega jedra), ki opravi krmilno delo v elektropnevmatskem ventilu:



Električne komponente za oddajanje signalov

Električno energijo se sprejme, obdela in oddaja s popolnoma določeno izdelanimi komponentami, ki se v električnih shemah prikazujejo s simboli, na osnovi teh shem pa se izdelava in vzdržuje krmilje.

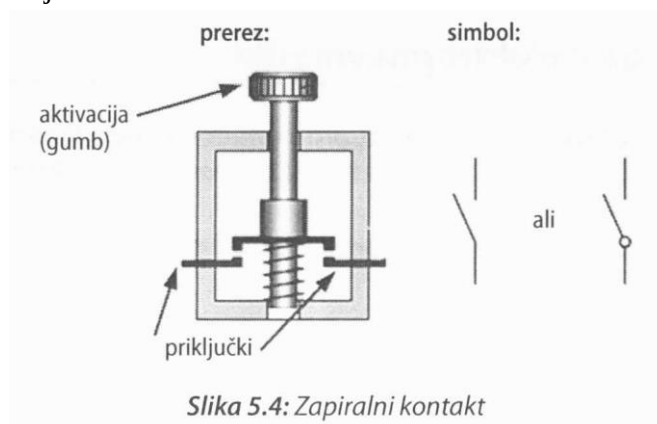
Električne komponente za oddajanje električnih signalov z različnih mest krmilja so izdelane na različne načine in za različno dolge aktivacijske signale. Svoje izhodne signale pošljejo komponentam za obdelavo signalov. Osnovni element za oddajanje signalov je KONTAKT, ki je lahko v odvisnosti od funkcije zapiralni, odpiralni ali menjalni.

Osnovni tipi kontaktov v elektrotehniki

Kontakti zapirajo ali odpirajo tokovni krog in s tem posredujejo signale, ki so posledica delovanja na kontakte. V nadaljevanju bodo navedeni osnovni tipi kontaktov in primeri komponent, v katere so vgrajeni (tipke, stikala ...).

Zapiralni kontakt - v normalnem stanju odprt

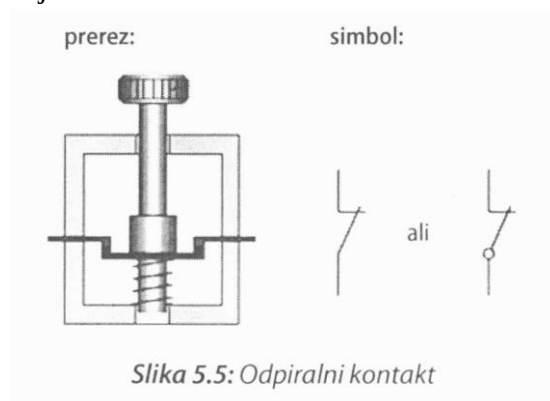
Zapiralni kontakt ob aktivaciji zapre (sklene) električni tokokrog. Imenujemo ga tudi **delovni** kontakt, v literaturi pa je pogosto označen z angleško kratico **NO** - normally open, kar pomeni, da je v mirovanju odprt - razklenjen.



Slika 5.4: Zapiralni kontakt

Odpiralni kontakt - v normalnem stanju zaprt

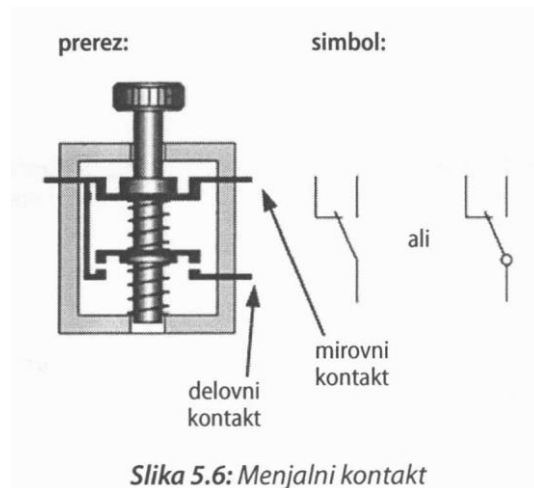
Odpiralni kontakt ob aktivaciji razklene (prekine) električni tokokrog. Imenujemo ga tudi **mirovni** kontakt, v literaturi pa je pogosto označen z angleško kratico **NC** - normally closed, kar pomeni, da je v mirovanju zaprt - sklenjen.



Slika 5.5: Odpiralni kontakt

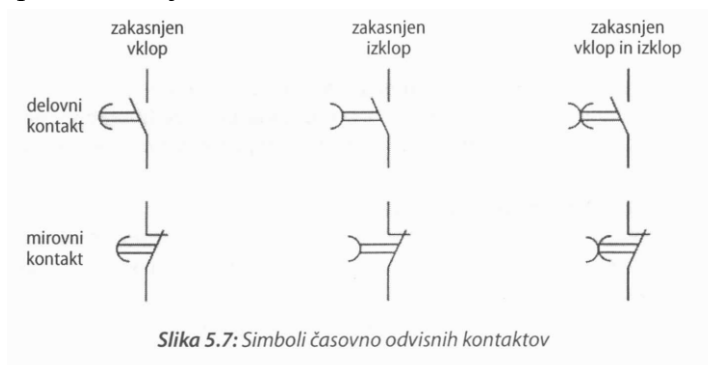
Menjalni kontakt

Menjalni kontakt je konstrukcijska sestavina mirovnega in delovnega kontakta. Za oba kontakta je en premični stikalni element, ki ima v mirovanju stik samo z enim kontaktom.



Časovno odvisni kontakti

Posebno vrsto predstavljajo kontakti z zakasnitvijo vklopa oz. izklopa. Le-ti vplivajo na kontakt po določenem času po aktiviranju.



Načini aktiviranja kontaktov

Aktiviranje kontaktov je lahko fizično, mehanično, brezdotično (senzorsko) ali daljinsko (električno ali pnevmatično).

Fizično aktiviranje

Fizično aktiviramo kontakte s pritiskom, zasukom ali potegom. Uporabljamo jih, kjer moramo dobiti signale za začetek delovnega postopka ali kjer so zahtevani določeni varnostni pogoji.

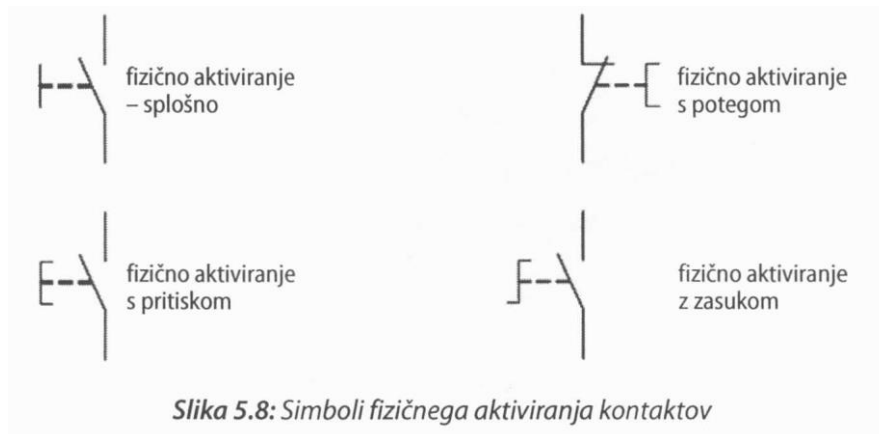
a) Fizični preklop kontakta z pritiskom na tipko (gumb)

Aktiviranje s pritiskom na tipko lahko uporabimo za zapiralni, odpiralni ali menjalni kontakt. Ko tipko sprostimo (nehamo nanjo pritiskati), se kontakt zaradi povratne vzmeti samodejno vrne v izhodiščni položaj.

b) Fizični preklop kontakta s stikalom

Stikala so po navadi izvedena z mehanično zaporo, kar pomeni, da se po prenehanju pritiska ne vrnejo v izhodiščni položaj, ampak ostanejo preklapljeni.

Simboli za fizično aktiviranje:



Zaradi lažjega posredovanja pravih informacij so dajalniki signalov označeni na enoten način.

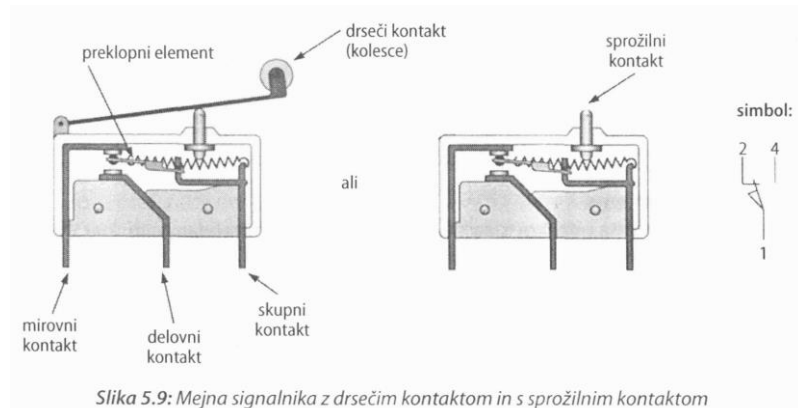
Označba je lahko ob ali nad gumbom in je lahko z besedami ali z znakom:

- vklop - 1,
- izklop - O.

Če sta gumba drug poleg drugega, je izklopni gumb vedno na levi, če pa sta drug nad drugim, je izklop vedno spodnji. Barvna označba gumbov ni predpisana. Če se že uporabijo barvni gumbi, se uporablja gumbe rdeče barve za izklop oz. za varnostni izklop, gumbe zelene barve pa za vklop.

Mehanično aktiviranje kontaktov

Za mehanično aktiviranje kontaktov imamo največkrat kolesce, ki ga določen strojni del »povozi« in s tem preklopi kontakt. Imenujemo jih mejni signalniki, ker jih po navadi uporabljamo za zaznavanje natanko določenega končnega položaja. Največkrat za mejni signalnik uporabljamo menjalni kontakt. Konstrukcijska izvedba je lahko s sprožilnim kontaktom ali pa z drsečim kontaktom. Mejne signalnike moramo pravilno vgraditi in upoštevati navodila proizvajalcev.



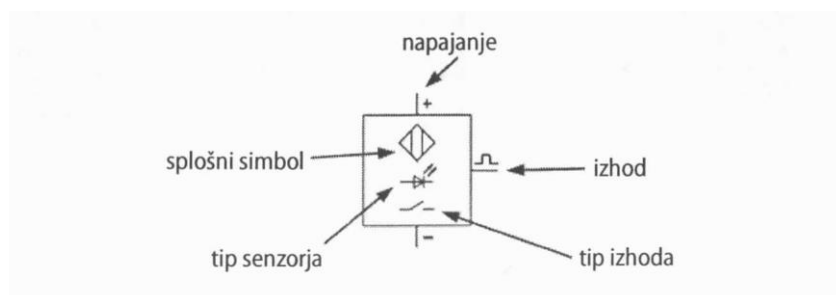
Brezdotično aktiviranje kontaktov

Mehanske mejne signalnike velikokrat težko namestimo na stroje, ki jih želimo krmiliti. Zahtevajo veliko prostora in vedno tudi fizični stik z napravo, ki ji določajo položaj, zaradi tega se izrabljajo in lomijo. Vse te težave rešujejo brezdotični mejni signalniki (senzorji). Aktiviranje je v tem primeru posredno prek nekega drugega signala (magnet, indukcija, kapacitivnost, svetloba).

Osnovne vrste brezdotičnih mejnih signalnikov so torej:

- magnetni mejni signalnik (reedov kontakt),
- induktivni mejni signalniki,
- kapacitivni mejni signalniki,
- optični mejni signalniki.

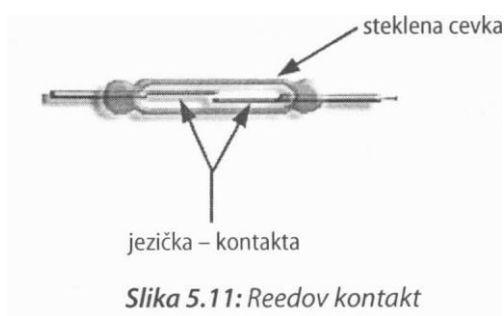
Simboli za brezdotične mejne signalnike so enotni, s splošnim simbolom označimo, da gre za brezdotični signalnik (senzor). Na simbolu označimo, kakšen je način aktiviranja in kakšen kontakt je v signalniku.



Slika 5.10: Primer simbola brezdotičnega mejnega signalnika (optičnega)

Magnetični mejni signalnik (reedov kontakt)

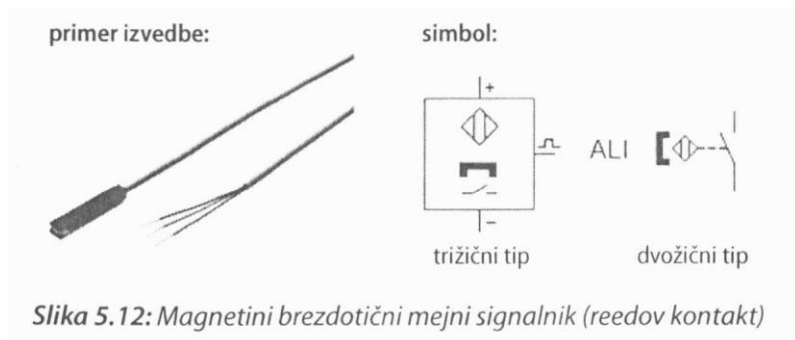
Magnetni senzor sestavljata dva kontakta v stekleni cevki, ki je napolnjena z zaščitnim plinom in zalita v ohišju iz umetne smole. Ko se signalniku približa bat z vgrajenim trajnim (permanentnim) magnetom, se kontaktna jezička skleneta. Pri oddaljevanju magneta pa se kontaktna jezička razkleneta. Posebno pozorni pa moramo biti na največji dopustni električni tok kontaktov.



Slika 5.11: Reedov kontakt

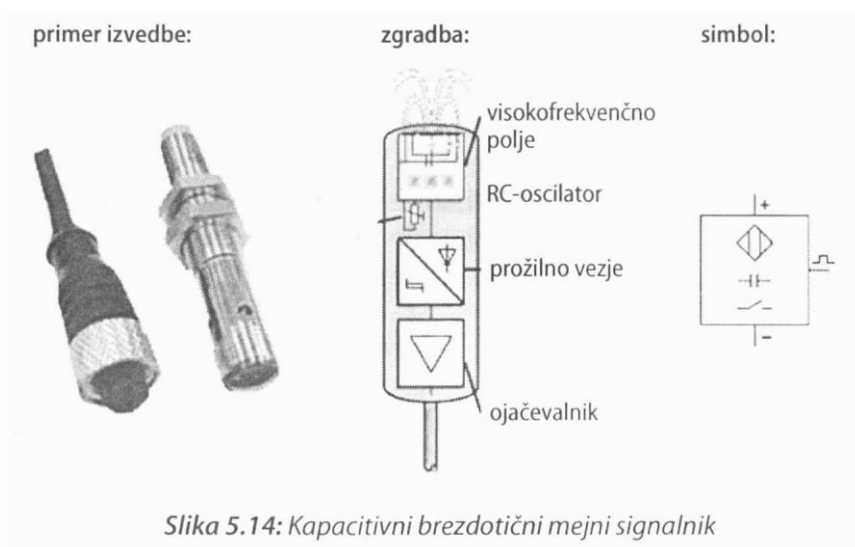
Kontakt v zaščitnem plinu lahko aktivira samo trajni magnet. Teh kontaktov ni treba vzdrževati in imajo dolgo življenjsko dobo. Čas preklopa je zelo kratek (0,2 ms), število vklopov pa je do 400 na sekundo. Občutljivost je odvisna od konstrukcije.

Te signalnike uporabljamo za določevanje končnih pozicij cilindrov. Ne zahtevajo dodatnega prostora in elementov za aktiviranje, ker jih montiramo na cilindre. Ne moremo jih montirati na mestih z močnim magnetnim poljem (npr. uporovni varilni stroji), poleg tega pa moramo upoštevati, da vsi cilindri nimajo obroča na batu iz trajnega magneta.



Kapacitivni mejni signalnik (kapacitivni senzor)

Kapacitivni senzor je podoben induktivnemu, le da ima drugačen oscilator. V polju delovanja se tvori električno polje, zato lahko senzor aktivirajo vse snovi, katerih dielektrične lastnosti povzročajo spremembe v tem polju. Kapacitivni senzorji tako reagirajo na kovine in nekovine, kar pomeni, da lahko spremembe povzročajo tudi prah, odrezki in podobno. Njihova oblika je podobna induktivnim senzorjem. Uporabljamo jih za zaznavanje nekovinskih obdelovancev in podobno.



Induktivni mejni signalnik (induktivni senzor)

V praksi imamo velikokrat zahteve, da moramo signalizirati prihajajoče obdelovance ali pa moramo zaznavati določene gibe naprav. Z mehanskimi mejnimi signalniki to težko storimo, kajti potrebujemo silo za aktiviranje in prostor za montažo, veliko preprosteje pa je z induktivnimi mejnimi signalniki.



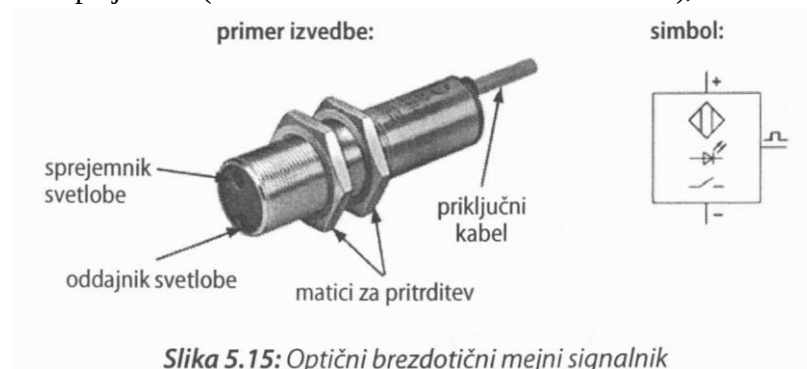
Slika 5.13: Induktivni brezdotični mejni signalnik

Induktivni signalnik ima po navadi valjasto telo, v katerem je oscilator, stopnja za ovrednotenje spremembe (prožilno vezje) in ojačevalnik. Oscilator ustvarja na čelni strani senzorja visokofrekvenčno polje. Če pride v to polje kovinski predmet, zaradi vrtnčnih tokov odvzame oscilatorju energijo, napetost na oscilatorju pade in prožilna stopnja odda signal, ki ga ojačevalnik poveča. Signal nato uporabimo za krmiljenje.

Induktivni mejni signalniki so občutljivi samo na kovine. Priključimo jih lahko na enosmerno ali izmenično napetost. Pri montaži moramo upoštevati navodila proizvajalca, da jih pravilno vgradimo.

Optični mejni signalnik (senzor)

Optični senzor deluje na odbito svetlobo. Ima oddajnik svetlobe, ki je lahko vidna ali nevidna ter sprejemnik. Oddajnik in sprejemnik svetlobe sta lahko skupaj v enem ohišju ali pa vsak zase. Oddajnik svetlobe (običajno LED-dioda) odda svetlobo in če pride v polje senzorja predmet, se svetloba odbije. Odbito svetlobo zazna sprejemnik (fotocelica - foto-dioda ali foto-tranzistor), ki odda izhodi signal.

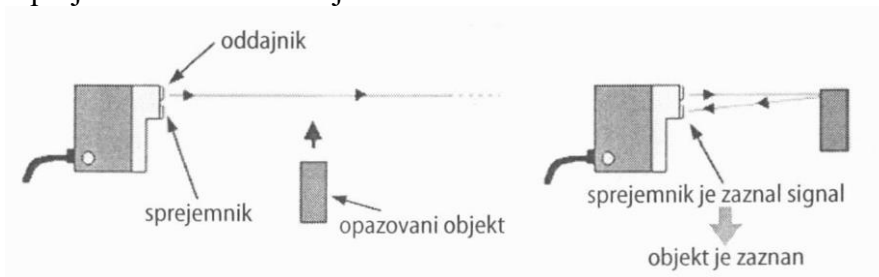


Slika 5.15: Optični brezdotični mejni signalnik

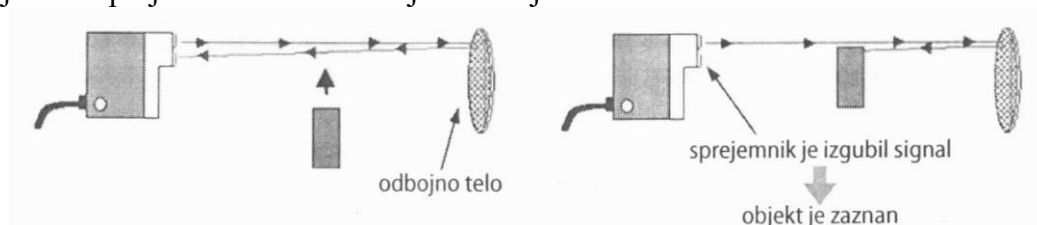
Optične senzorje uporabljamo za nadzor prisotnosti obdelovancev, za varnostne zapore delovnega območja in podobno. V praksi se veliko uporabljajo. Potrebno jih je pravilno namestiti, območje delovanja je namreč omejeno, hkrati pa moramo paziti, da jih priključimo po navodilih proizvajalca.

Izvedeni so lahko v treh različicah (glej sliko):

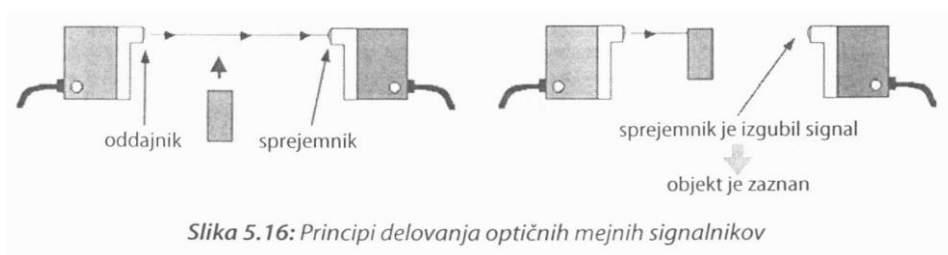
a) oddajnik in sprejemnik v istem ohišju



b) oddajnik in sprejemnik v istem ohišju z odbojnim telesom



c) oddajnik in sprejemnik ločena



Slika 5.16: Principi delovanja optičnih mejnih signalnikov

Električne komponente za obdelavo signalov

Za obdelavo signalov najpogosteje uporabljamo releje najrazličnejših izvedb. Rele lahko obravnavamo kot stikalo z elektromagnetnim aktiviranjem. Vključuje in krmili ob majhni porabi energije. Obstajajo izvedbe za enosmerne in izmenične napetosti.

Rele mora izpolnjevati določene zahteve:

- delovati brez vzdrževanja,
- vzdrževati mora veliko število vklopov,
- izvedba naj bo majhna za relativno velike tokove in napetosti,
- omogoča naj velika hitrost delovanja s kratkimi preklopnimi časi.

V praksi obstaja cela vrsta različnih konstrukcijskih izvedb, način delovanja pa je pri vseh enak.

Rele

Releji so stikala za močne (velike) tokove, ki jih posredno vklapljajo šibki tokovi. Uporabljamo jih povsod tam, kjer je poraba toka nekega električnega elementa prevelika za navadna kontaktna stikala.

Releji imajo naslednje lastnosti:

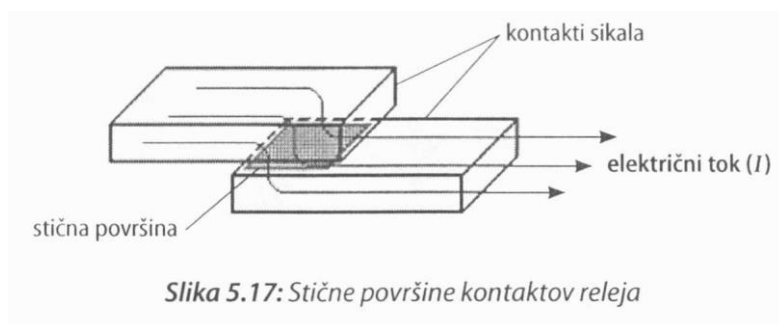
Prednosti:

- a) neobčutljivost na temperaturo okolice,
- b) enostavna prilagoditev na različne delovne napetosti,
- c) čez kontakte lahko teče več različnih tokokrogov,
- d) visoka upornost med izključenimi kontakti (preboj),
- e) galvanska ločitev med napajalnim in delovnim tokokrogom.

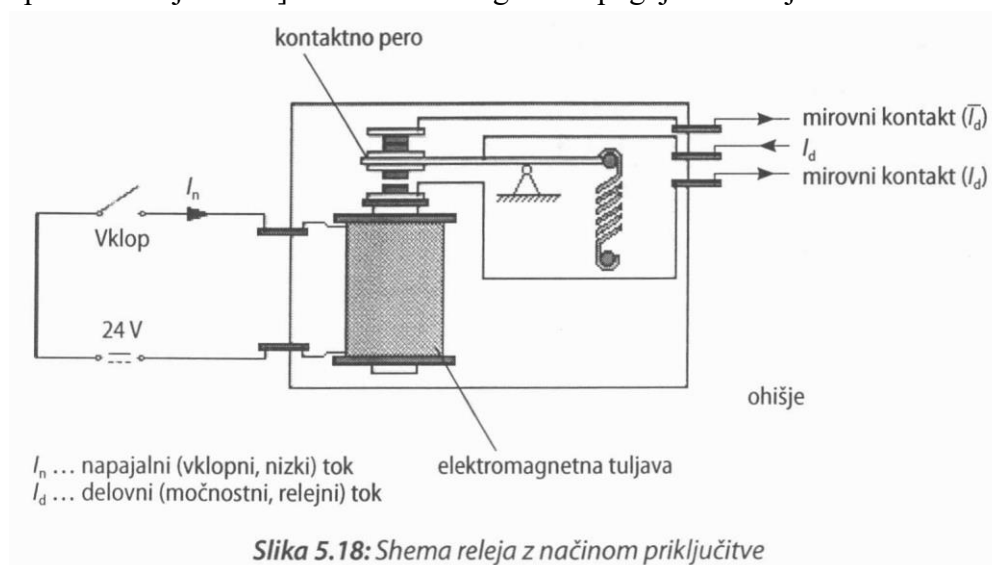
Slabosti:

- a) glasnost pri preklopu,
- b) počasnost preklapljanja (3-17 ms),
- c) zavzema veliko prostora v primerjavi z elektroniko,
- d) izraba delovnih kontaktov zaradi obločnega loka ali oksidacije, e) občutljivost kontaktov na umazanijo (prah).

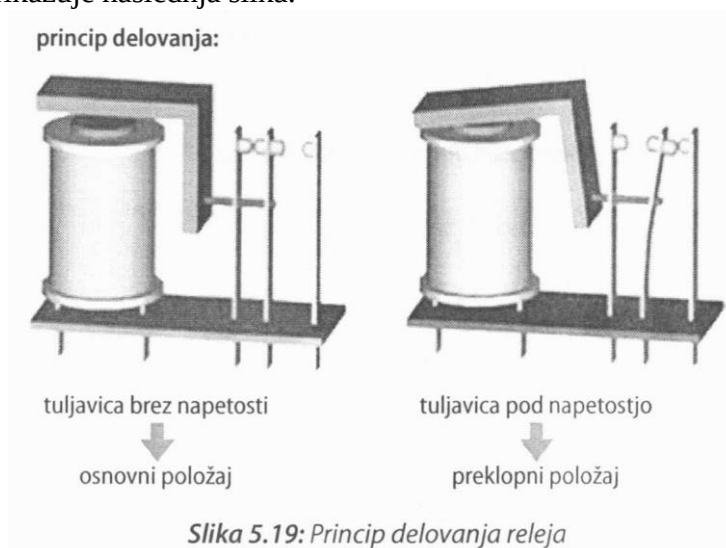
Težave se pojavijo pri prevelikem električnem toku (količini potujočih elektronov na nasprotni pol) oz. če je stična površina kontaktov premajhna za velik tok elektronov (slika). Takrat postane stična površina »ozko grlo«, skozi katerega se elektroni »prerivajo« in se med seboj »tarejo«. Zaradi tega se povečuje notranja energija, kar praktično pomeni segrevanje materiala na stičnem mestu tudi do te mere, da se material raztali in spoji, podobno kot pri točkovnem varjenju. V delovnem procesu pa je zlepljanje kontaktov stikal seveda nedopustno. (Taljenje materiala zaradi čezmerno povečanega električnega toka pa s pridom izkoriščamo pri električnih varovalkah s talilnim vložkom.)



Rele ima dovolj močne kontakte, ki prenesejo močnejšo porabo električnega toka oz. večji pretok elektronov. Na enem samem releju na sliki je več delovnih in mirovnih kontaktov, kar lahko uporabimo pri realizaciji krmilj z določenimi logičnimi pogoji delovanja.



Princip delovanja prikazuje naslednja slika:



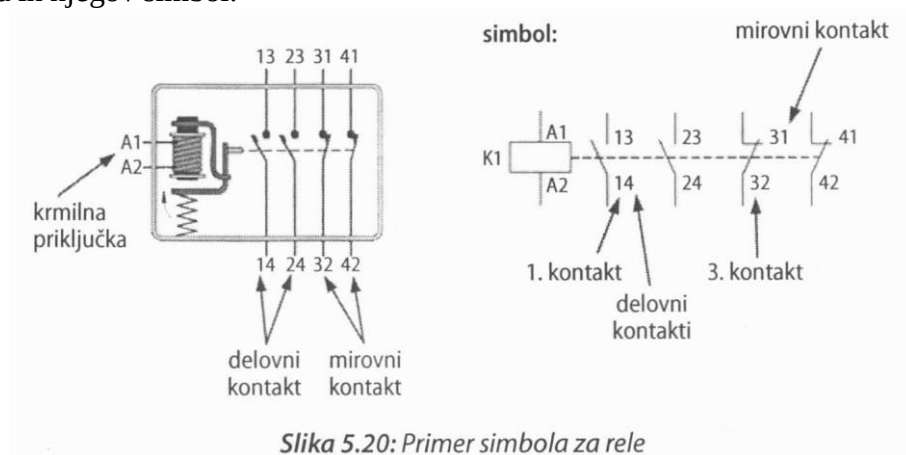
Rele sestavlja električno navitje - tuljava in kotva, ki je mehanično povezana s kontakti. Pri priključitvi tuljave na električno napetost steče po navitju električni tok, ki ustvari magnetno polje, ki pritegne kotvo k jedru tuljave. Kotva premakne kontakte, ki se odprejo ali zaprejo. Stikalo obdrži stanje toliko časa, dokler je na tuljavi napetost, ko pa napetost preneha, vrne povratna vzmet kotvo v izhodiščni položaj.

V praksi uporabljamo za prikaz releja simbol, ki z svojo enostavnostjo olajša branje vezalnih shem. Simbol je odvisen od števila in tipa kontaktov, ki jih vsebuje. Releje označujemo s K1, K2, K3 ... Priključka za aktiviranje sta označena z A1 in A2. Da lahko vse kontakte pravilno priključimo, ima vsak kontakt dvomestno številko. Prva številka je zaporedna številka kontakta, druga številka pa pove tip kontakta (glej spodnjo tabelo).

Tip kontakta	Številka označbe
Mirovni kontakti (NC)	1, 2
Delovni kontakti (NO)	3, 4
Mirovni kontakti z zakasnitvijo	5, 6
Delovni kontakti z zakasnitvijo	7, 8
Menjalni kontakti	1, 2, 4
Menjalni kontakti z zakasnitvijo	5, 6, 8

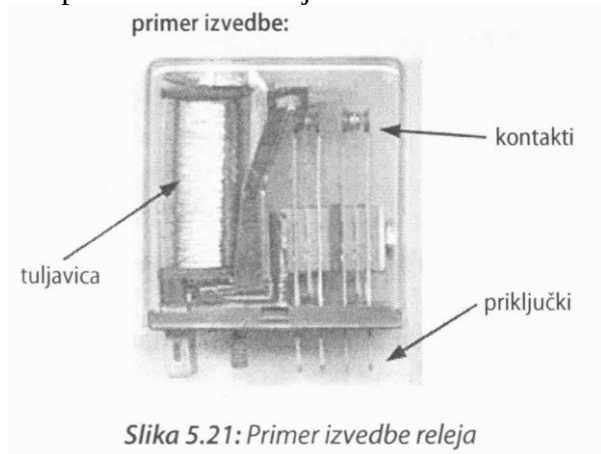
Tabela 5.1: Označbe priključkov releja

Primer releja in njegov simbol:



Slika 5.20: Primer simbola za rele

Na naslednji sliki je prikazan primer izvedbe releja:

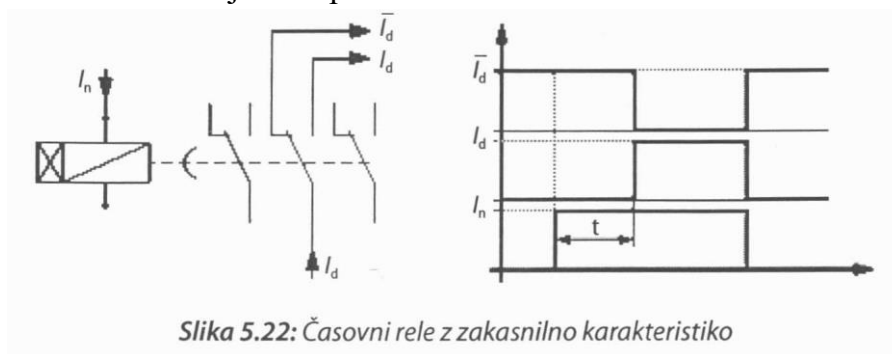


Slika 5.21: Primer izvedbe releja

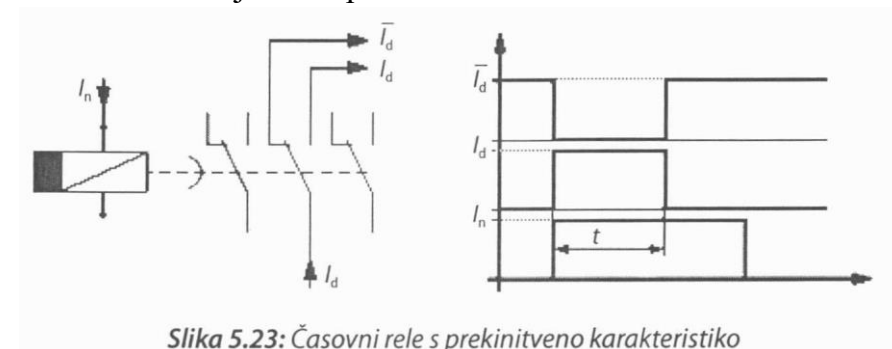
Kljub slabostim, se releji še zmerom veliko uporabljajo v krmiljenju. Pri izbiri releja moramo paziti na ustrezní tip (število in tip kontaktov) ter na lastnosti releja, kot so tok, napetost, moč, število vklopov ...

Kljub razvoju elektronike je rele še vedno nepogrešljiv. Obstaja več izvedb relejev. Zelo pogosto se uporabljajo *časovni releji*. Ti releji imajo vgrajen nastavljen mehanični ali elektronski časovni mehanizem - uro. Prevladujeta dva osnovna tipa časovnih relejev - časovni rele z *zakasnitvijo vklopa* in časovni rele z *zakasnitvijo izklopa rele*, sicer pa je še veliko drugih možnih izvedb.

a) Časovni rele z zakasnitvijo vklopa



b) Časovni rele z zakasnitvijo izklopa

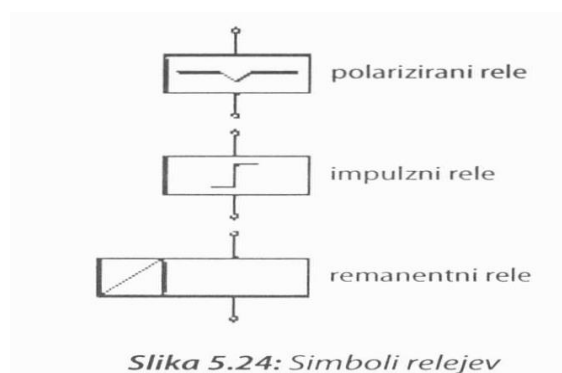


Časovni rele ima nalogo, da po določenem času vklopi ali izklopi električni tokokrog. Kontakti so lahko zapiralni ali odpiralni. Časovni releji so lahko izvedeni s pritezno ali odpustno časovno zakasnitvijo. Pri pritezni zakasnitvi se izhodni signal pojavi po nekem času in ugasne, ko izgine vhodni signal. Uporabljamo jih za podaljševanje signalov (realizacija podaljšanja končnih stanj pri delovanju naprav). Pri odpustni časovni zakasnitvi se izhodni signal pojavi istočasno kot vhodni signal in traja nastavljeni čas, čeprav vhodni signal medtem izgine. Uporabljamo jo za določevanje časov posameznih delovanj, kajti potrebujemo samo vhodni signal, ki lahko nato izgine.

Obstajajo še drugi tipi relejev:

- **polarizirani rele** (kontaktno pero ima tudi srednji mirujoči položaj),
- **pulzni rele** (zadrži stanje tudi po odvzemu krmilnega signala),
- **remanentni rele** (zadrži stanje tudi po odvzemu krmilnega signala in celo po izpadu energije).

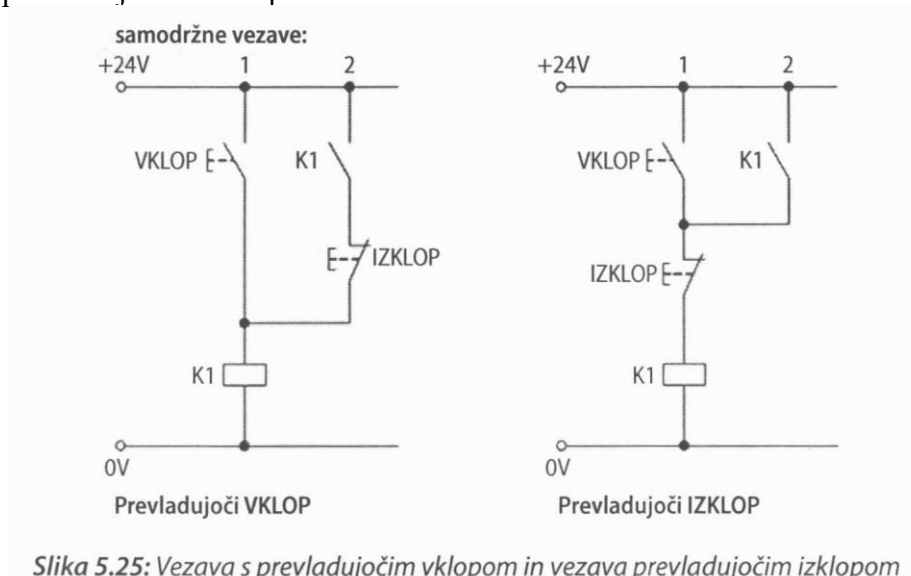
Simboli navedenih relejev so prikazani na spodnji sliki:



Samodržna vezava releja

Funkcijo reanentnega releja, ki je sposoben obdržati trenutno stanje tudi po odklop krmilnega signala, lahko realiziramo tudi s pomočjo običajnega releja s posebno t. i. samodržno vezavo. Ta se v elektropnevmatiki pogosto uporablja za krmiljenje monostabilnih elektromagnetnih ventilov. Obstajata dve izvedbi samodržne vezave (slika):

- vezava z prevladujočim (dominantnim) vklopom in
- vezava z prevladujočim izklopom.



Delovanje vezave s prevladujočim vklopom

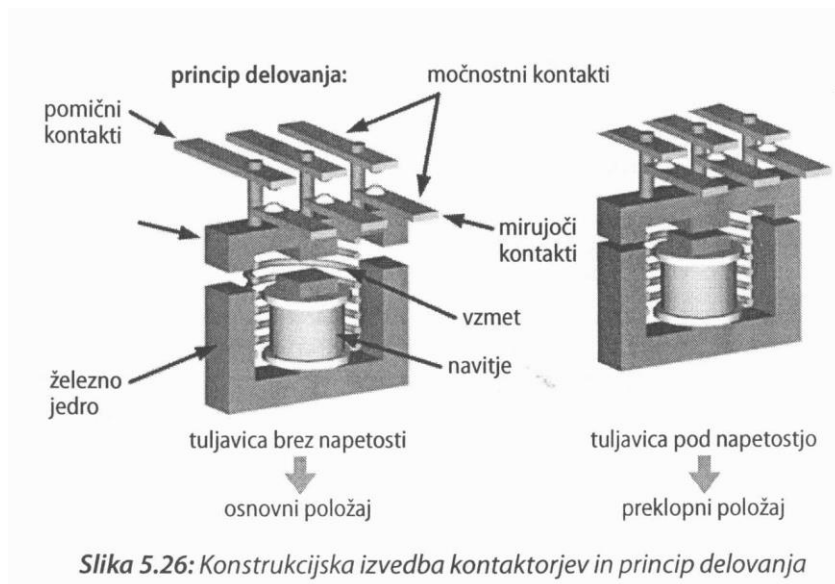
S pritiskom na tipko VKLOP dobi navitje releja K1 napetost in pritegne svoje kontakte. Pri tem sklence delovni kontakt označen prav tako s K1. Tudi če sedaj tipko VKLOP izpustimo, ostane navitje K1 pod napetostjo prek mirovnega kontakta tipke IZKLOP in pritegnjenega kontakta K1. Vezava s prevladujočim vklopom se imenuje zato, ker če v trenutku, ko je rele pritegnjen, pritisnemo na tipki VKLOP in IZKLOP hkrati, prevlada tipka VKLOP (vzporedna vezava tipke VKLOP in IZKLOP).

Delovanje vezave s prevladujočim izklopom

S pritiskom na tipko VKLOP dobi navitje releja K1 napetost prek delovnega kontakta tipke VKLOP in mirovnega kontakta tipke IZKLOP. Pri tem se sklence delovni kontakt releja K1. Tudi če zdaj tipko VKLOP izpustimo, ostane navitje K1 pod napetostjo prek pritegnjenega kontakta K1. Vezava s prevladujočim izklopom se imenuje zato, ker če v trenutku, ko je rele pritegnjen, pritisnemo na tipki VKLOP in IZKLOP hkrati, prevlada tipka IZKLOP (zaporedna vezava tipke VKLOP in IZKLOP).

Kontaktor

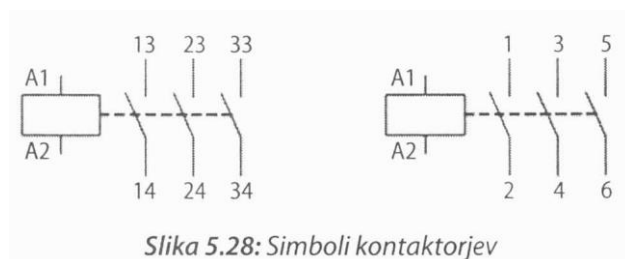
Kontaktor je elektropnevmatično stikalo, ki z majhno krmilno močjo vklopi veliko moč. Stikalne kontakte premika s kotvo elektromagneta. Kontaktor se vključi, ko teče tok skozi vzbujevalno navitje. Pri pretoku toka nastane magnetno polje, ki povzroči pritezno silo. Premik kotve vpliva na premične kontakte, ki se odprejo ali zaprejo. Močnostni tokokrog se s tem prekine ali sklene. Kontaktorje uporabimo za različne namene. Največkrat so uporabni za vključevanje motorjev, peči, klimatskih naprav, žerjavov ipd. Konstrukcije kontaktorjev so lahko različne:



Primer izvedbe kontaktorja:



Simbol kontaktorja je enak kot za rele, le označbe kontaktov so drugačne. Kontakte označujemo z zaporednimi številkami (npr. 1, 2, 3 ...), srečamo pa tudi označevanje, ki je enako kot pri relejih (dvomestne številke).



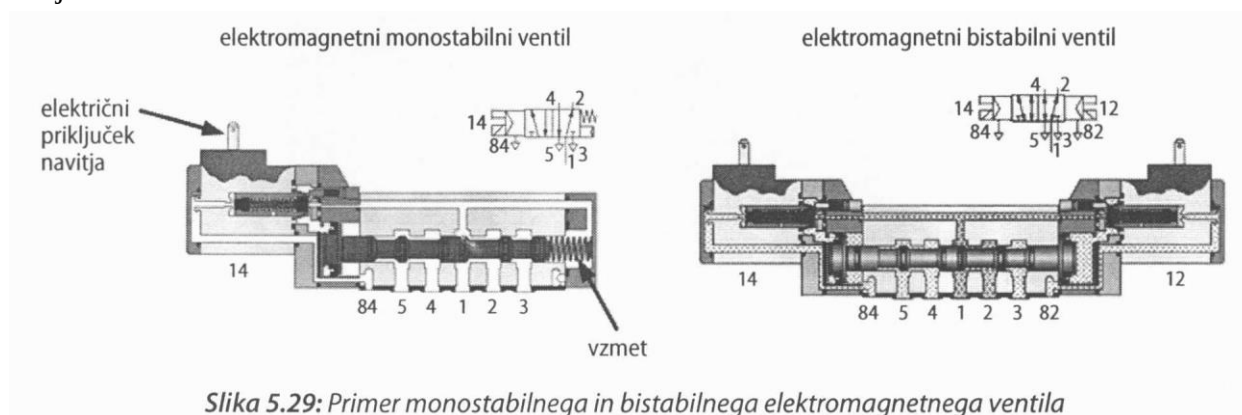
Kontaktorje izbiramo iz katalogov proizvajalcev. Pri izbiri moramo upoštevati moč, način uporabe, število in frekvenco vklopov ipd.

Elementi za pretvorbo električnih signalov v pnevmatične signale

Za pretvorbo električnih krmilnih signalov v pnevmatične signale uporabljamo elektromagnetne ventile. To so pnevmatični potni ventili, ki jih aktivirajo elektromagneti. Elektromagnetni ventili povezujejo električni krmilni del z delovnim pnevmatičnim delom.

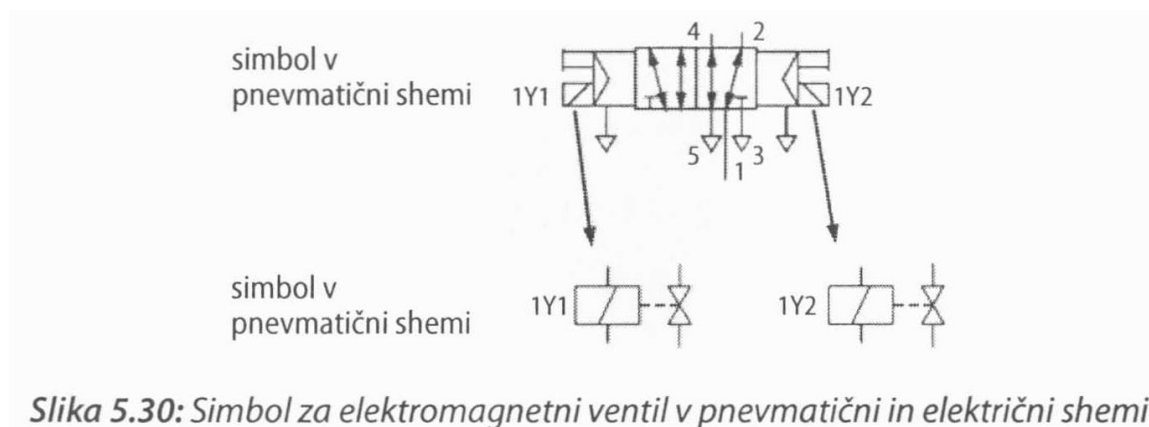
Elektromagnetni ventil sestavlja električni del za aktiviranje in pnevmatični potni ventil. Električni del je v principu elektromagnetno navitje in kotva. Kotva sedaj ne premika kontaktov kot pri releju, temveč premika stanje na potnem ventilu. Potni ventili so lahko različnih tipov in izvedb. Največkrat uporabljamo 3/2- in 5/2-potne ventile, ki so sedežnih ali drsnih izvedb.

Primer monostabilnega in bistabilnega elektromagnetnega ventila v drsni izvedbi prikazuje naslednja slika:



Slika 5.29: Primer monostabilnega in bistabilnega elektromagnetnega ventila

Elektromagnetni ventil prikažemo v pnevmatični in električni shemi s simboli na naslednji način:



Slika 5.30: Simbol za elektromagnetni ventil v pnevmatični in električni shemi

Elektromagnetni ventili so lahko izvedeni z neposrednim ali posrednim aktiviranjem. Pri neposrednem aktiviranju kotva neposredno premika ventil. Sila kotve je majhna, zato tak ventil lahko uporabljamo le za manjše pretoke. Pri posrednem delovanju, pa kotva premika mali pnevmatični 3/2- monostabilen ventil, ki nato s pomočjo zraka premakne večji pnevmatični ventil.

Elektropnevmatične sheme (M)

Električni elementi so označeni s črkami in številkami. Tokovni načrt razdelimo na krmilni tokokrog in glavni tokokrog. Elemente označujemo z:

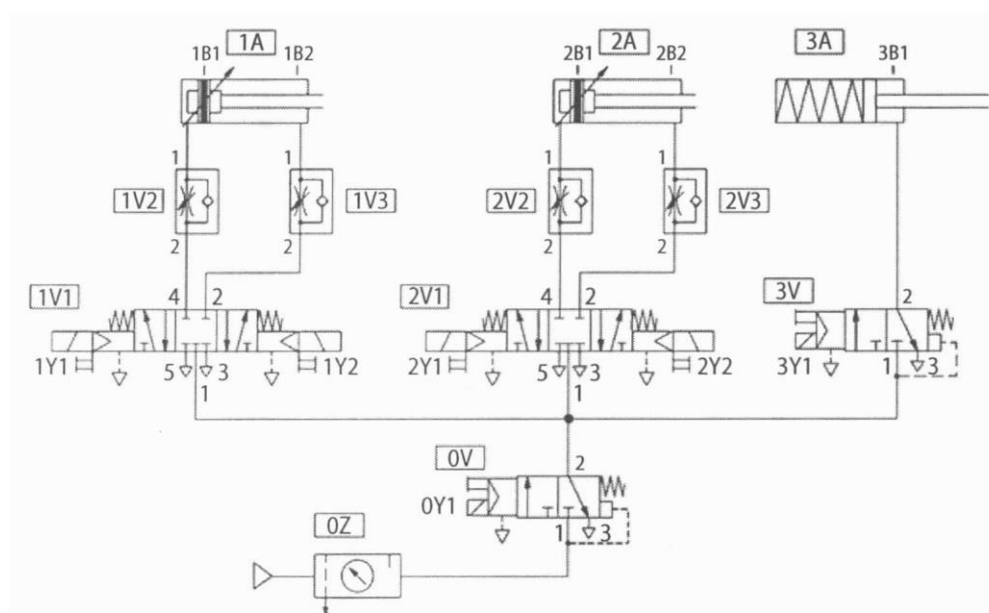
Komponenta	Črka označbe
mejno stikalo	S
ročno aktivirana tipka, stikalo (vhodne naprave)	S
reedov kontakt	B
elektronski brezdotični signalnik	B
tlačno stikalo	B
indikatorske naprave (npr. lučke)	H
rele	K
kontaktor	K
navitje elektromagnetnega ventila	Y

Tabela 5.2: Tabela označb v pnevmatičnih in električnih shemah

Komponente, prikazane v električni shemi, so torej označene na naslednji način:

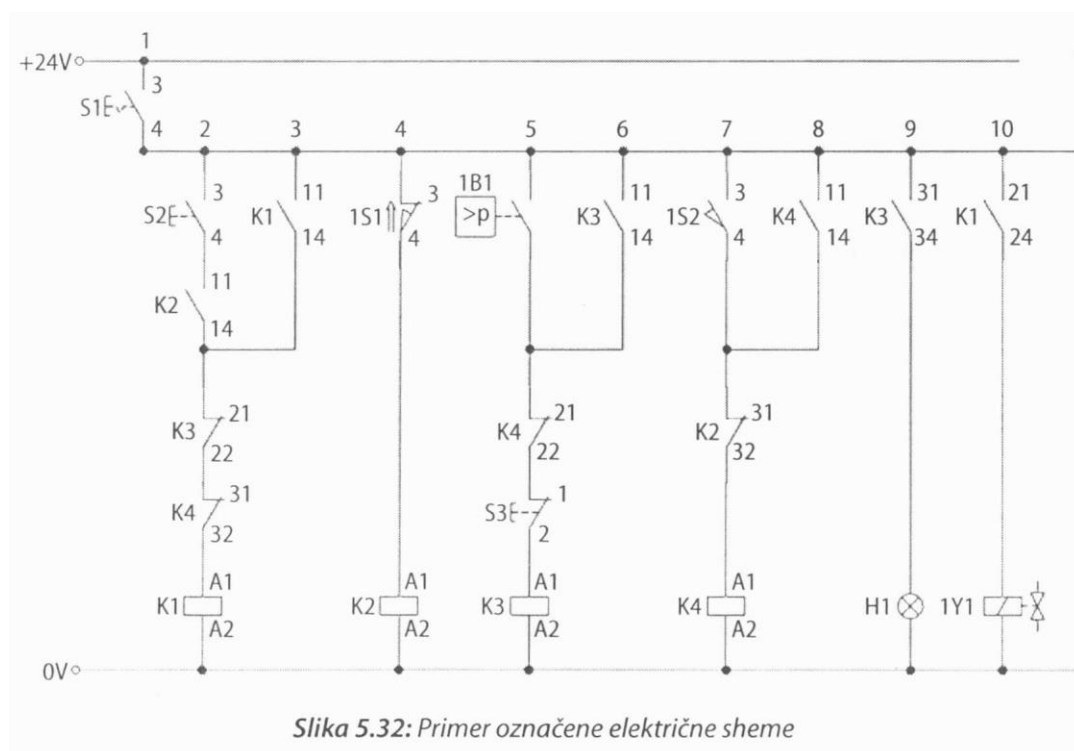
- ročno aktivirana stikala kot S1, S2, S3 ...
- mejna stikala kot 1S1, 1S2
- tlačna stikala, brezdotični signalniki ... kot 1 B1 , 1 B2, 2B1
- releji in kontaktorji kot K1, K2, K3 ...
- navitja elektromagnetnih ventilov kot 1Y1, 1Y2
- indikatorske luči kot H1, H2 ...

Primer pnevmatične sheme z elektropnevmatičnimi komponentami:



Slika 5.31: Primer označene pnevmatične sheme

Primer električne sheme z elektropnevmatičnimi komponentami (ni vezana na zgornji primer):



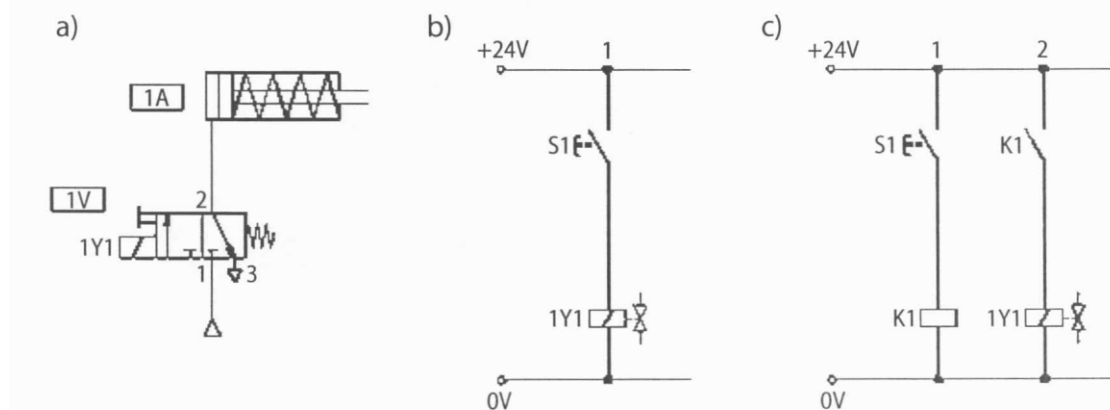
Delovni element (aparat) prikažemo vedno na levi strani simbola. Z ločitvijo krmilnega in glavnega tokokroga ter s posameznimi označbami aparatov in funkcij je zagotovljena preglednost tokovnega načrta. S tokovnim načrtom prikazujemo elektropnevmatična krmilja.

Zgled 1. EP krmilja:

Ob pritisku na startno tipko ali vzpostavitvi signala na releju naj se batnica enosmernega valja iztegne v + gib, ob sprostitvi tipke ali signala pa naj se povrne v začetno lego.

Narišite delovni del - energetske del krmilja (a). Krmiljenje elektromagnetnega 3/2-ventila naj bo:

- neposredno - direktno (b),
- posredno - indirektno prek kontaktov releja (c).



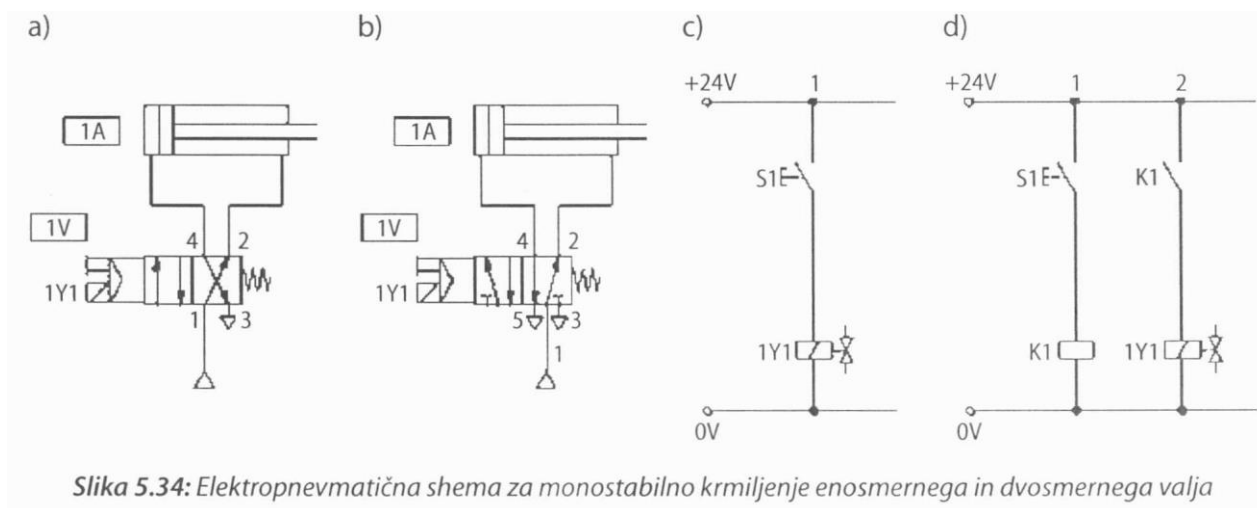
Slika 5.33: Elektropnevmatična shema za krmiljenje enosmernega valja

Zgled 2. EP krmilja:

Ob pritisku na startno tipko ali vzpostavitvi signala na releju naj se batnica dvosmernega valja iztegne v + gib, ob sprostitvi tipke ali signala se naj povrne v začetno lego.

Narišite delovni del - energetski del krmilja (a, b). Krmiljenje elektromagnetnega 4/2-, 5/2-ventila naj bo:

- neposredno - direktno (c),
- posredno - indirektno prek kontaktov releja (d).

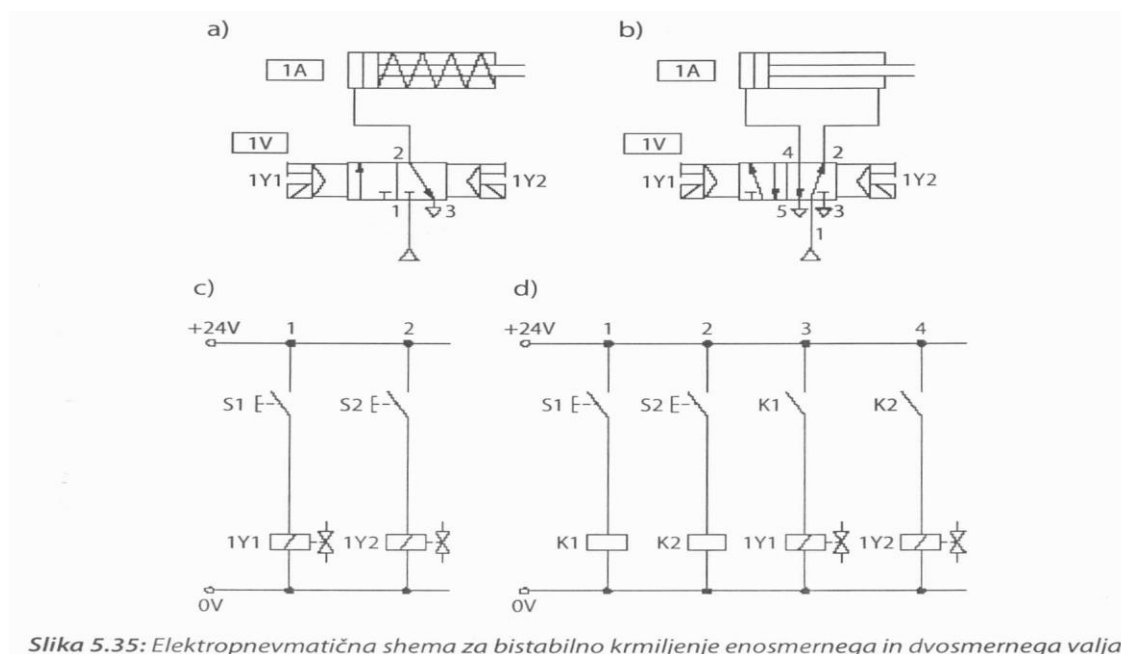


Zgled 3. P krmilja:

Batnici (a) enosmernega in (b) dvosmernega bata naj se pri aktiviranju startnega stikala S1 iztegneta v končno lego ter naj tam ostaneta, dokler ne aktiviramo stikala za povratni gib S2. Pri tem naj bo bat cilindra v končnih legah stalno pod tlakom. Za krmiljenje cilindra je potrebno uporabiti elektromagnetne bistabilne ventile 3/2 in 5/2.

Krmiljenje elektromagnetnega 3/2-, 5/2-ventila naj bo:

- neposredno - direktno (c),
- posredno - indirektno prek kontaktov releja (d).



Na naslednjih dveh slikah so predstavljene logične funkcije, realizirane s pnevmatičnimi in električnimi komponentami.

Enakost $I = A$	<table><tr><td>I</td><td>O</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td></tr></table>	I	O	0	0	1	1												
I	O																		
0	0																		
1	1																		
Negacija $\bar{I} = A$	<table><tr><td>I</td><td>O</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td></tr></table>	I	O	0	1	1	0												
I	O																		
0	1																		
1	0																		
Konjunkcija $I1 \wedge I2 = O$	<table><tr><td>I1</td><td>I2</td><td>O</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	I1	I2	O	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1			
I1	I2	O																	
0	0	0																	
0	1	0																	
1	0	0																	
1	1	1																	
Disjunkcija $I1 \vee I2 = O$	<table><tr><td>I1</td><td>I2</td><td>O</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	I1	I2	O	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1			
I1	I2	O																	
0	0	0																	
0	1	1																	
1	0	1																	
1	1	1																	

Slika 5.36: Realizacija osnovnih logičnih funkcij s pnevmatičnimi in električnimi komponentami

Ekskluzivni ALI $I1 \wedge \overline{I2} \vee$	<table><tr><th>I1</th><th>I2</th><th>O</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	I1	I2	O	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0			
I1	I2	O																	
0	0	0																	
0	1	1																	
1	0	1																	
1	1	0																	
Ekvivalenca $I1 \wedge I2 \vee$ $\overline{I1} \wedge \overline{I2} = 0$	<table><tr><th>I1</th><th>I2</th><th>O</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	I1	I2	O	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1			
I1	I2	O																	
0	0	1																	
0	1	0																	
1	0	0																	
1	1	1																	
NEIN $\overline{I1 \wedge I2} = 0$	<table><tr><th>I1</th><th>I2</th><th>O</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	I1	I2	O	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0			
I1	I2	O																	
0	0	1																	
0	1	1																	
1	0	1																	
1	1	0																	
NEALI $\overline{I1 \vee I2} = 0$	<table><tr><th>I1</th><th>I2</th><th>O</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	I1	I2	O	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0			
I1	I2	O																	
0	0	1																	
0	1	0																	
1	0	0																	
1	1	0																	

Slika 5.37: Realizacija dodatnih logičnih funkcij s pnevmatičnimi in električnimi komponentami

HIDRAVLIKA in ELEKTROHIDRAVLIKA V MEHATRONIKI

Uvod v hidravliko

Beseda **hidravlika** izhaja iz grške besede hidor (voda) in aulos (cev), kar predstavlja sestavljenko hidraulikus, pomeni pa prenos in pretvorbo energije ter informacij s tekočinskim medijem. Najpogosteje se srečujemo z industrijsko hidravliko, ki jo imenujemo tudi **oljna hidravlika**, ker je pri njej najpogosteje uporabljeno mineralno ali sintetično **olje**.

Področje uporabe

Hidravliko uporabljamo v številnih vejah tehnike, kjer je povezana s pojmom mehanizacije in avtomatizacije. Velik uporabnik hidravlike je strojegradnja v najširšem pomenu besede. Stroje, v katerih je precejšen delež hidravlične opreme, uporabljajo v mnogih panogah, npr. v rudarstvu, kmetijstvu, gozdarstvu, gradbeništvu, prometu, energetiki itd.

Veliko vlogo ima hidravlika v preoblikovalni in odrezovalni tehniki (hidravlične stiskalnice, CNC obdelovalni stroji itd.). Hidravlika se veliko uporablja na področju letalske in vojaške tehnike ter jedrske in procesne tehnologije.

Industrijsko hidravliko delimo na:

- mobilno hidravliko (za gibljive stroje)
- obdelovalno hidravliko (za odrezovalne obdelovalne stroje) in
- težko hidravliko (za stroje z velikimi silami in močmi)

Lastnosti oljne hidravlike - hidravličnih sistemov

Hidravlični sistemi uporabljajo za prenos energije hidravlično tekočino. Za to se največ uporabljajo hidravlična olja, ki imajo neznatno stisljivost, dober odvod toplotne energije, dobro mažejo gibljive dele, jih ščitijo pred korozijo in čistijo sistem. Hidravlična olja omogočajo elastičen pogon in dovoljujejo visoke tlake.

Glavne prednosti hidravličnih sistemov so:

- visoka koncentracija energije (v primerjavi z drugimi pogoni so za enako moč veliko manjši npr. elektromotorji itd.)
- možnost dosega velikega prestavnega razmerja (hidr. dvigalka, pretvornik tlaka itd.)
- zelo dobra krmilnost sistemov (tlak in pretok se lahko nastavljata relativno enostavno)
- odlične dinamične lastnosti (možnost doseganja velikih pospeškov in pojemkov)
- možnost enakomerne spremembe hitrosti vzdolžnega in rotacijskega gibanja
- sorazmerno enostaven odvod toplote
- enostavna zaščita pred preobremenitvijo
- enostavna kontrola sile in momenta ter hitrosti izvršilnih elementov
- možnost avtomatizacije gibanja izvršilnih elementov
- enostavna sprememba smeri gibanja v sistemu
- enostavno mazanje in odvod toplote

Ker ima hidravlika v primerjavi s pnevmatiko, mehaniko in elektriko določene prednosti, nam omogoča zelo uspešno reševati tehnične probleme pri izdelovanju obdelovalnih in preoblikovalnih strojev, transportnih naprav, vozil, plovil, metalurških sistemov, gradbenih, rudarskih in gozdarskih strojev, letal itd.

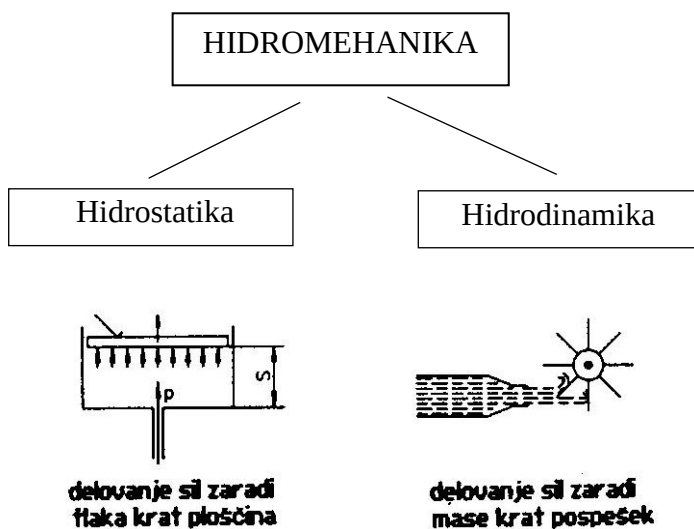
Osnovne pomanjkljivosti hidravličnih sistemov so:

- onesnaževanje okolja
- nevarnost pri porušitvi in netesnosti naprave
- občutljivost za nečistoče in spremembe temperature
- stisljivost olja in s tem nenatančnosti pri pozicioniranju naprave
- nizka stopnja izkoristka vložene energije (izgube kot posledica volumenskih izgub in trenja)
- zelo visoka cena zaradi zahtevnejše izdelave
- zahtevno vzdrževanje

Teoretične osnove hidromehanike

Teoretične osnove hidravlike obravnava **hidromehanika** (mehanika tekočin), ki jo delimo na dve področji :

- **hidrostatiko** (razmerja pri mirujočih tekočinah) in
- **hidrodinamiko** (razmerja pri gibajočih se tekočinah)



V hidravlični napravi energija potuje z gibanjem tekočine. Da bi lahko napravo dimenzionirali, moramo poznati osnovne zakonitosti gibanja tekočin (hidrostatiko in hidrodinamiko).

Fizikalne lastnosti tekočin

Gostota

Gostota (ρ) je masa prostorninske enote tekočine, ki je izražena z enačbo:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg} / \text{m}^3)$$

m = masa tekočine v (kg)

V = prostornina tekočine v (m^3)

Gostota je odvisna od temperature. Pri višjih temperaturah imajo tekočine manjšo gostoto, pri nižjih pa večjo. Pri vodi je izjema, saj ima ta največjo gostoto pri $+4^\circ\text{C}$. Gostote tekočin pri temperaturi 15°C kaže tabela:

TEKOČINA	GOSTOTA (kg/m^3) pri 15°C
mineralno olje	900 – 960
plinsko olje	850 – 890
alkohol	790
bencin	700 – 720
morska voda	1020-1030
voda	999,1

Stisljivost

Stisljivost tekočine je zelo majhna in se pri enakomernem gibanju zanemari, pri velikih tlakih in pri neenakomernih gibanjih pa stisljivosti ne moremo zanemariti. Stisljivost (s) je izražena s formulo:

$$s = \frac{\Delta V}{V} \cdot \frac{1}{\Delta p}$$

V - prostornina tekočine brez delovanja sil (m^3)

ΔV - sprememba prostornine zaradi delovanja sil (m^3)

$$E_0 = \frac{1}{s} \quad (\text{Pa})$$

Δp - sprememba tlaka, ki deluje na tekočino (Pa)

Modul stisljivosti (E_0) je recipročna vrednost koeficienta stisljivosti (s). Modul stisljivosti je izražen s tistim tlakom na tekočino, pri katerem se prvotna prostornina zmanjša za polovico.

Vrednosti modula stisljivosti so dobljene eksperimentalno in so za določene tekočine prikazane v tabeli:

TEKOČINA	MODUL STISLJIVOSTI ($\times 10^9 \text{ Pa}$)
voda	2.041
bencin	1.087
alkohol	1.282
nafta	1.282
hidravlično olje	1.389

Notranje trenje in viskoznost

Medsebojno trenje slojev tekočine imenujemo notranje trenje.

Viskoznost je lastnost tekočine, da se upira drsenju tekočinskih slojev med seboj, to je odpor tekočine proti tangencialnim silam, ki povzročajo medsebojno premikanje njenih delcev. Poskusi med ploščo in dnom posode, v kateri je tekočina, so pokazali, da tekočinski delci nimajo enake hitrosti. Hitrost tekočinskih delcev se z globino do dna posode linearno zmanjšuje. Tekočinski delci se medsebojni premaknitvi upirajo s tangencialno silo.

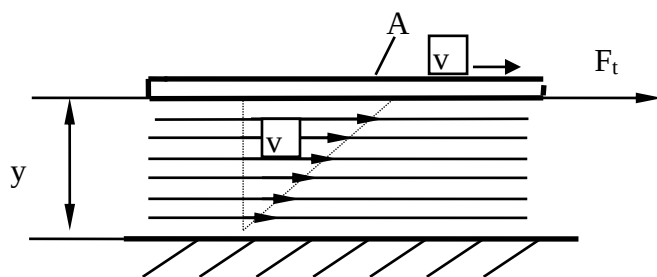
Upiranje premaknitvi tekočinskih delcev lahko izrazimo s silo (F_t) (slika).

Sila (F_t) je po Newtonovem zakonu odvisna od površine (A) plošče, od spremembe hitrosti ($\Delta v / \Delta y$) in od vrste tekočine.

Izražena je z enačbo:

$$\text{Sila } F_t = \eta \cdot A \cdot \frac{\Delta v}{\Delta y}$$

$$\text{Tangencialna napetost } (\tau) \text{ je : } \tau = \frac{F_t}{A} = \eta \cdot \frac{\Delta v}{\Delta y}$$



Pri tem je η ($\text{N} \cdot \text{s} / \text{m}^2$) **dinamična viskoznost**, ki pomeni silo v N na površini 1 m^2 med dvema vzporednima slojema v tekočini in na razdalji 1m pri razliki hitrosti 1 m/s .

Namesto dinamične viskoznosti (η) uporabljamo **kinematično viskoznost** (ν). To je razmerje dinamične viskoznosti tekočine in njene gostote.

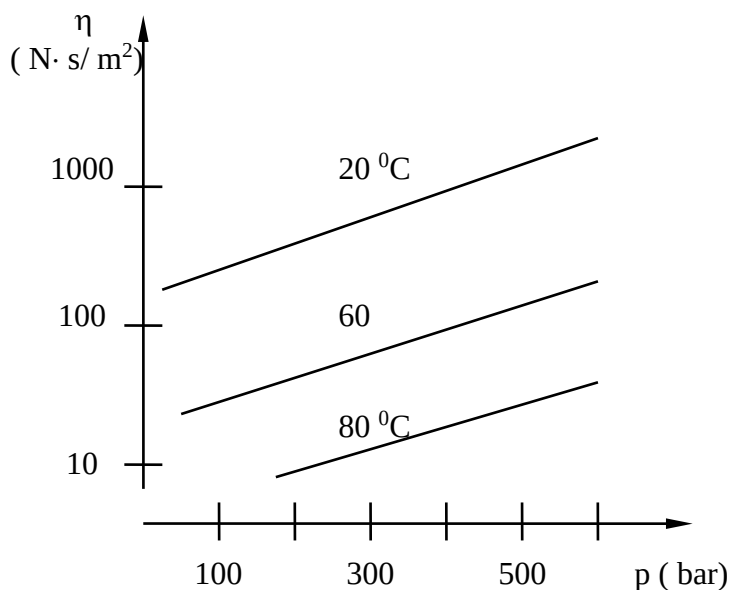
$$\nu = \eta / \rho$$

Enota za ν : (m^2 / s , pri 0°C velja $1 \text{ cSt} = 1 \text{ mm}^2 / \text{s}$)

η : ($\text{Pa} \cdot \text{s} = \text{N} \cdot \text{s} / \text{m}^2$)

ρ : (kg / m^3)

Viskoznost tekočine v praksi določamo z eksperimentalnim merjenjem (viskozimetri). Viskoznost merimo pri temperaturah 20 °C, 50 °C in 100 °C. **Viskoznost z višanjem temperature zelo hitro pada, odvisna pa je tudi od tlaka.**



Odvisnost viskoznosti olja od temperature in tlaka.

Z zmanjšanjem viskoznosti se močno spremenijo vrednosti volumenskih izkoristkov črpalk in hidromotorjev, poveča se lekaža itd. Spremembo viskoznosti s temperaturo kaže takoimenovani *indeks viskoznosti*, ki je definiran kot relativna sprememba viskoznosti pri spremembi temperature za 1 °C . Z dodatki ali aditivi se olju lahko spreminja indeks viskoznosti.

V tabeli so podatki za kinematično viskoznost nekaterih tekočin:

TEKOČINA	KINEMATIČNA VISKOZNOST ν (mm ² /s) pri 20 °C
voda	1.01
alkohol	1.52
nafta - lahka	25
nafta - težka	140
hidravlično olje	20-100

HIDROSTATIKA

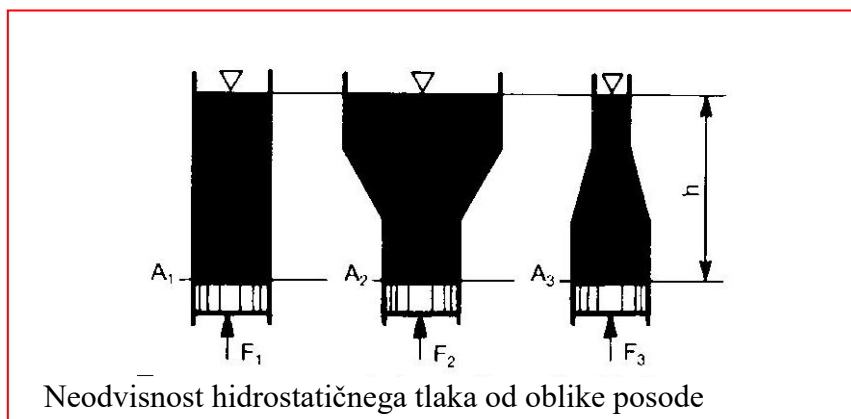
Hidrostatični tlak

Hidrostatični tlak je tlak tekočine, ki ga povzroča teža tekočinske mase. Odvisen je le od višine, gostote tekočinskega stebra in zemeljskega pospeška.

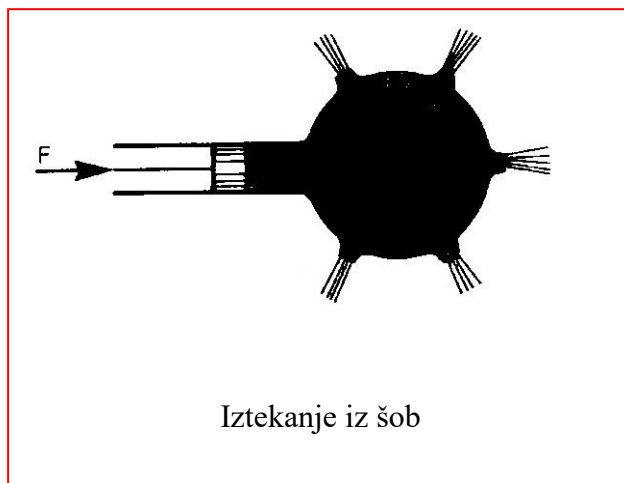
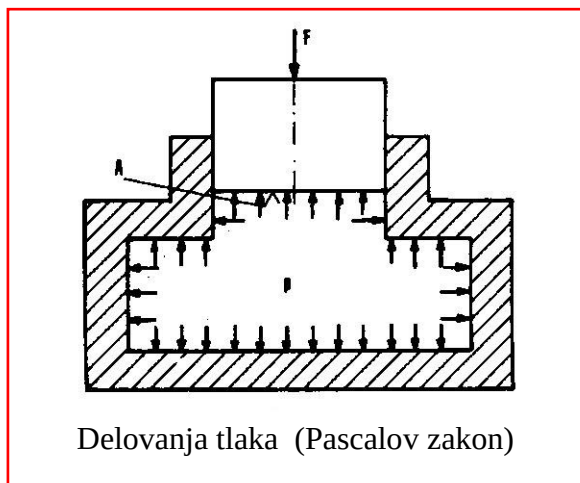
$$p_s = h \cdot \rho \cdot g$$

p_s - hidrostatični tlak [Pa]
 h - višina tekočinskega stebra [m]
 ρ - gostota tekočine [kg/m³]
 g - zemeljski pospešek [m/s²]
 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Hidrostatičen tlak je neodvisen od oblike posode, kar je prikazano na spodnji sliki. Čeprav sta obliki posode in ploščini dna različni, je pri isti višini povsod hidrostatični tlak na dnu enak.



Za ponazoritev zakonitosti Pascalovega zakona (delovanje tlaka na vse strani enako) lahko napravimo preizkus s kroglasto posodo, ki ima po obodu šobe. V to posodo natočimo tekočino (najenostavneje vodo), potisnemo bat v cilinder posode in nanj delujemo s silo. Opazili bomo, da tekočina izteka skozi vse šobe enako.



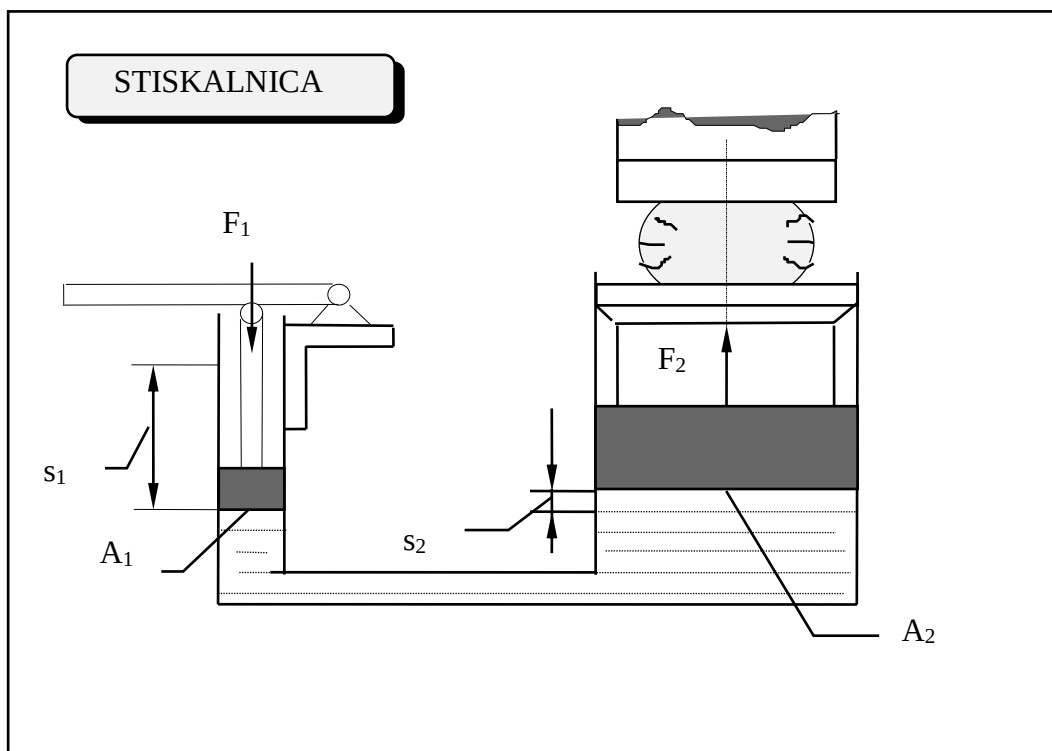
Namesto računanja po enačbi, si lahko pomagamo z diagramom, ki kaže odvisnost med tlakom, silo in premerom hidravličnega bata, pri čemer trenje ni upoštevano.

Hidravlično pretvarjanje sil (princip hidravlične stiskalnice)

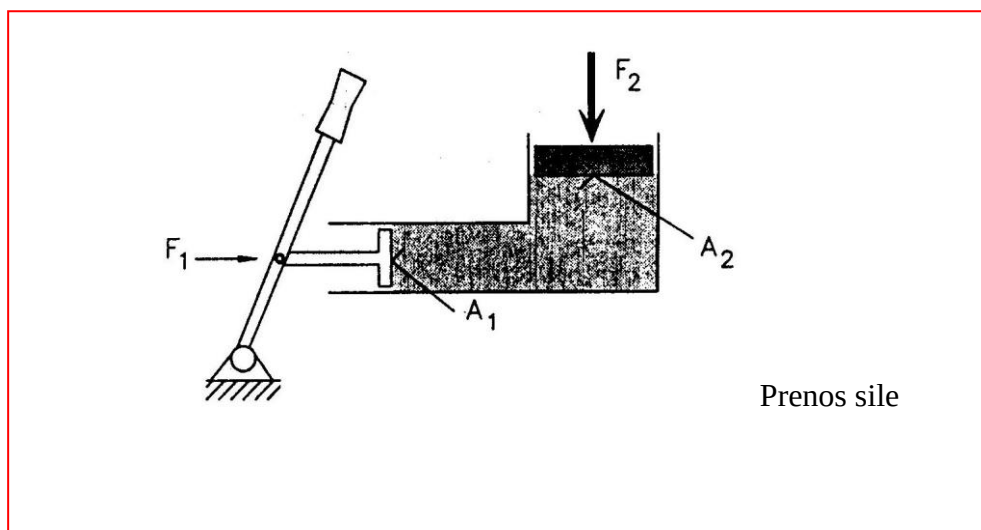
Z ustrezno oblikovano posodo, ki je prikazana na naslednji sliki, lahko prenesemo silo v določenem razmerju, ki je odvisno od količnika plosčin (A_1 / A_2). Na batu z manjšo površino (A_1) deluje sila F_1 , ki povzroča v posodi nadtlak (p_e). Ker se ta širi enakomerno na vse strani, deluje tudi na ploščino večjega bata (A_2). Za doseg ravnotežja mora delovati na tej ploščini sila F_2 .

Za vrednost tlaka velja :

$$p_e = \frac{F_1}{A_1} \quad \text{in} \quad p_e = \frac{F_2}{A_2} \quad \Rightarrow \quad \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \Rightarrow \boxed{\frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2}}$$



Če želimo dvigniti breme (F_2) za določeno pot (s_2), moramo opraviti določeno delo (W_2). To dosežemo z opravljenim delom (W_1), ki ga opravi bat 1 in premakne bat 2. Če zanemarimo izgube zaradi trenja, velja, da je delo prvega bata enako delu drugega bata (stiskalnica).



$$W_1 = W_2 \quad ;$$

$$W_1 = F_1 \cdot s_1 \quad \text{in}$$

$$W_2 = F_2 \cdot s_2$$

$$F_1 \cdot s_1 = F_2 \cdot s_2$$

$$\Rightarrow$$

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{A_2}{A_1} = \frac{F_2}{F_1}$$

Enote : F [N]
s [m]
W [Nm = J] (joule)

Iz enačbe sledi, da sta poti batov obratno sorazmerni s silo oziroma ploščino batov. To predstavlja hidravlični vzvod. Podobne zakonitosti veljajo tudi za mehanski vzvod.

Pretvornik tlaka

V tehniki je potrebno v nekaterih primerih tlak hidravlične tekočine spremeniti. V ta namen lahko uporabimo **pretvornik tlaka ali tlačni pretvornik**. Na sliki 2.11 je prikazan pretvornik tlaka, ki je sestavljen iz dveh cilindrov in dveh batov, ki sta med seboj povezana s skupno batnico.

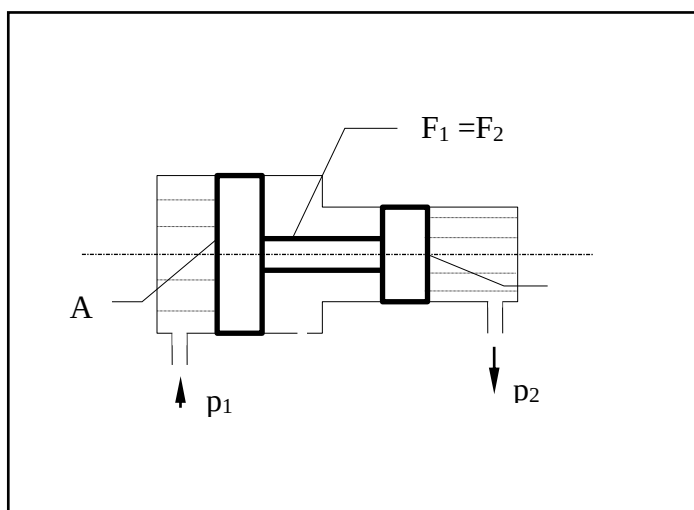
Na ploščino A_1 deluje tlak p_{e1} in ustvarja silo F_1 , ki se po batnici prenaša na bat s ploščino A_2 , kjer se ustvarja tlak p_{e2} .

$$F_1 = F_2$$

$$p_{e1} \cdot A_1 = p_{e2} \cdot A_2$$

$$\frac{p_{e1}}{p_{e2}} = \frac{A_2}{A_1}$$

Povečanje tlaka je odvisno neposredno od razmerja površin batov.



HIDRODINAMIKA

Enačba kontinuitete

Tekočine se gibljejo po cevovodih z neko hitrostjo, ki je v sredini preseka cevi največja, ob stenah pa najmanjša. Pri izračunu upoštevamo srednjo hitrost (v) (označeno tudi kot $\bar{v}$). Tekočino z določeno prostornino (V), ki preteče skozi cev v določenem času (t), imenujemo **prostorninski tok (Q)** ali volumenski tok (slika 3.1). Tako lahko zapišemo enačbo prostorninskega toka:

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \text{prostorninski tok } [m^3/s]$$

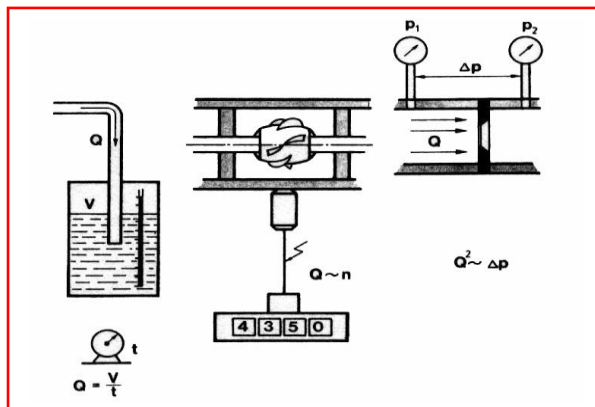
$$t = \text{čas } [s]$$

$$V = \text{volumen } [m^3]$$

V praksi prostornino (V) izražamo v manjših enotah - litrih ($l = 1 \text{ dm}^3$), čas (t) v minutah (min) in prostorninski tok v l/min. Iz enačbe prostorninskega toka lahko izpeljemo enačbo za prostornino:

$$V = Q \cdot t [l]$$

Načini merjenja pretoka $\Rightarrow$



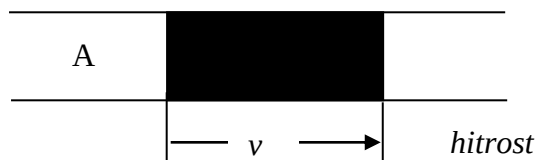
Volumen v cevi lahko prikažemo z enačb :

$$V = A \cdot s$$

$$\text{Enote : } A [m^2], s [m]$$

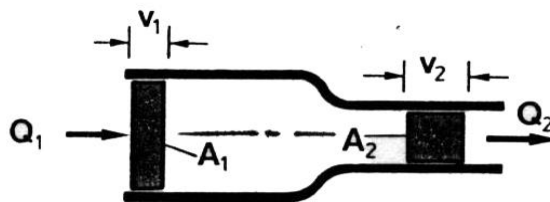
ki se v času (t) premakne za pot (s): $s = v \cdot t$ Če obe enačbi vstavimo v enačbo za prostorninski tok, dobimo:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{A \cdot v \cdot t}{t} = A \cdot v$$



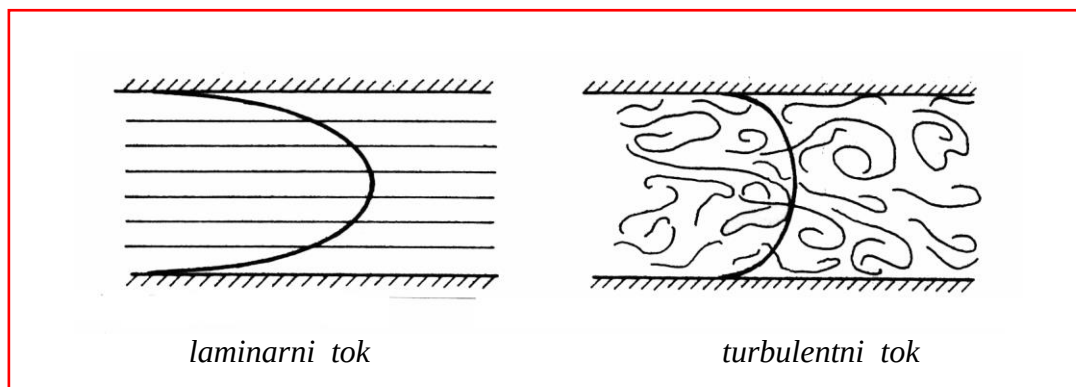
Enačba kontinuitete pove, da je prostorninski tok (Q) konstanten in velja za idealne in nestisljive tekočine. Hitrost gibanja tekočine je odvisna od velikosti preseka (slika 3.2). Tekočina se pretaka skozi majhen presek hitreje kot skozi večji.

$$Q = A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 = \text{konst.}$$



Hidravlični tok in njegove zakonitosti

Vsak tekočinski delec v tekočini se giblje po črti, ki jo imenujemo **tokovnica**. Glede na to, kako sosednje tokovnice potekajo druga ob drugi, poznamo **laminarno in turbulentno pretakanje** tekočine. Tokovnice so pri laminarnem gibanju tekočine vzporedne, pri turbulentnem gibanju pa neurejene, mešajo se in prepletajo. Pri turbulentnem pretakanju se tekočina vrtinči. Eksperimentalno je dokazano, da laminarno gibanja tekočine prehaja v turbulentno pri določenem razmerju vztrajnostnih sil in sil notranjega trenja, tj. pri kritičnem **Reynoldsovem številu** (Re_{kr}). Ta prehod je pri hitrosti, ko Reynoldsovo število doseže kritično vrednost, **2320**.



Reynoldsovo število:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

v - pretočna hitrost (m/s)

d - premer cevi (m)

ν - koeficient kinematične viskoznosti (m^2 / s)

$$\nu = \eta / \rho$$

ρ - gostota (kg / m^3)

η - koeficient dinamične viskoznosti ($Ns / m^2 = Pa \cdot s$)

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = 2320$$

$\Rightarrow$

$$v_{kr} = \frac{2320 \cdot \nu}{d}$$

Pri pretočnih hitrostih, ki so manjše od kritične vrednosti $v < v_{kr}$, je pretakanje laminarno, pri hitrostih $v > v_{kr}$ pa turbulentno.

Kritična hitrost ni stalna vrednost, ker je odvisna od viskoznosti tlačne tekočine in od premera cevi. Zaradi tega se v praksi upoštevajo predvsem izkustvene vrednosti. Pri hidravličnih cevovodih veljajo naslednje orientacijske vrednosti za v_{kr} :

<i>TLAK</i>	<i>HITROST</i>
<i>do 50 bar</i>	<i>4,0 m/s</i>
<i>do 100 bar</i>	<i>4,5 m/s</i>
<i>do 150 bar</i>	<i>5,0 m/s</i>
<i>do 200 bar</i>	<i>5,5 m/s</i>
<i>do 300 bar</i>	<i>6,0 m/s</i>

- **tlačni vodi:** (tabela)
- **sesalni vodi:** 1,5 m/s
- **povratni vodi:** 2,0 m/s

HIDRAVLICNE TEKOČINE (TLAČNE TEKOČINE)

Tlačna tekočina mora v hidravličnih sistemih ustrezati določenim zahtevam. V principu bi bila uporabna tudi voda, vendar so pri tem problemi zaradi korozije, točke vrelišča, zmrzovanja in redkosti. Tlačne tekočine na osnovi mineralnih snovi (**mineralna olja**) ustrezajo normalnim zahtevam. V hidravličnih sistemih, ki delujejo v okoljih s povečano požarno nevarnostjo (premogovniki, valjarniške proge itd.), je treba uporabljati **težko vnetljivo tlačno tekočino (sintetično olje)**. Namesto standardnih olj na mineralni osnovi se tedaj uporabljajo mešanice z vodo in sintetičnimi olji - emulzije.

Osnovne naloge tlačnih tekočin so:

- prenos tlačnih obremenitev
- mazanje gibljivih delov
- hlajenje oz. odvajanje toplote, ki nastane zaradi tlačnih izgub
- dušenje vibracij, ki nastanejo zaradi tlačnih sunkov
- korozijska zaščita
- odstranjevanje izrabljenih delcev

Zahtevane lastnosti tlačnih tekočin so:

- čim manjša sprememba viskoznosti glede na spremembo temperature in tlaka
- fizikalno-kemijska stabilnost in korozijska obstojnost
- dobre mazalne lastnosti
- ne sme se peniti
- ne sme se mešati z vodo v vodno emulzijo
- odpornost proti staranju
- nizka cena
- čim manjša gorljivost
- sposobnost za prenos signalov

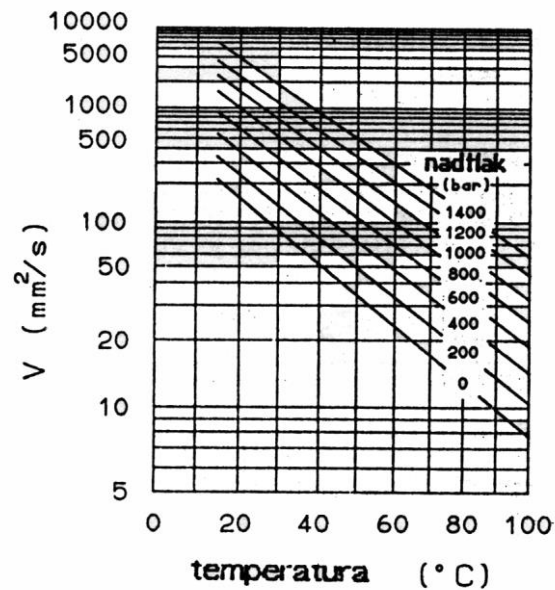
Kot delovne tekočine se danes največ uporabljajo mineralna olja (do 90%) , ki pa imajo vrsto pomanjkljivosti, npr.:

- Pri visokih delovnih temperaturah se zmanjšajo njihove mazalne lastnosti.
- Pri visokih delovnih temperaturah se zmanjša viskoznost, kar se odraža na tesnilnih izgubah
- Pri višjih temperaturah se izločajo smolnate snovi, ki se nabirajo na filtru, stenah cevi in hidravličnih komponentah.
- Pri višjih temperaturah pride do hitrega staranja olja.
- Pri nizkih temperaturah se zaradi povečanja viskoznosti povečjo tlačne izgube.

Te pomanjkljivosti lahko zmanjšamo z dodatki ali aditivi, ki jih dodajamo mineralnim oljem. Mineralna olja lahko obratujejo v temperaturnem območju od -50°C do 80°C . Za delovne temperature višje od 80°C se uporabljajo sintetične hidravlične tekočine. Zelo pomembna je pri hidravličnih oljih viskoznost, ki jo po mednarodnem merskem sistemu označujemo s kinematično viskoznostjo. Viskoznost hidravličnega olja vpliva predvsem na velikost tlačnih izgub in na tesnilne izgube, spreminja pa se glede na delovno temperaturo.

Viskoznostna področja:	Kinematična viskoznost
spodnja meja viskoznosti	10 mm ² /s
idealno viskoznostno območje	15-100 mm ² /s
zgornja meja viskoznosti	750 mm ² /s

Diagram: viskoznost - temperatura

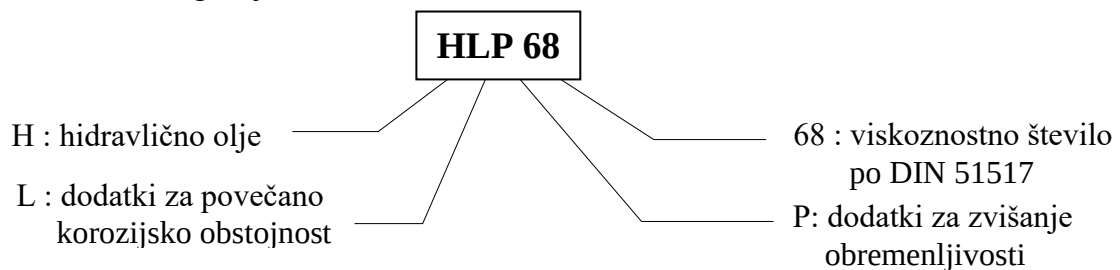


Hidravlična olja so razvrščena po DIN 51524 in DIN 51525 glede na njihove lastnosti in sestavo v tri razrede:

- hidravlično olje HL
- hidravlično olje HLP
- hidravlično olje HV

Črka H pomeni hidravlično olje, naslednje črke pa označujejo dodatke. Črkovna označba je dopolnjena po DIN 51517 (ISO - viskoznostni razred) še z viskoznostnim številom.

Primer hidravličnega olja HLP 68



Hidravlična olja za hidravlične sisteme

Oznaka (DIN 51524 IN DIN 51525)	Posebne lastnosti	Področje uporabe
HL	Korozijska zaščita in povečana obstojnost	Sistemi z visokimi toplotnimi obremenitvami, vendar je tu možna korozija zaradi vdora vode
HLP	Povečana zaščita pred izrabo	Kot HL olja, predvsem pa pri napravah, kjer nastajajo močnejša trenja zaradi konstrukcije in obratovalnih pogojev
HV	Povečana neodvisnost viskoznosti od temperature	Podobno kot HLP olja in pri močno spreminjajočih se in nizkih temperaturah okolice

Klasifikacija viskoznosti hidravličnih olj po ISO 3448-75

ISO OZNAKA	VISKOZNOST mm ² /s pri 40 ⁰ C		
	srednja	najmanjša	največja
ISO VG 10	10,0	9,0	11,0
ISO VG 15	15,0	13,5	16,5
ISO VG 22	22,0	19,8	24,2
ISO VG 32	32,0	28,8	35,2
ISO VG 46	46,0	41,4	50,6
ISO VG 68	68,0	61,2	74,8
ISO VG 100	100,0	90,0	110,0

V hidravličnih napravah se uporabljajo tudi **visokokvalitetna motorna olja**. V tabeli so podani viskoznostni razredi po SAE. Pri tem obstajajo večja tolerančna področja, kar je razvidno iz primerjave SAE in ISO razredov.

SAE - razredi	ISO - VG	Področje uporabe
30 W		Naprave v zaprtih prostorih z visokimi temperaturami.
	100	
20 W		
	68	Naprave z normalnimi temperaturami.
10 W	46	

5 W	32	Mobilna hidravlika na prostem.
	22	Naprave na hladnejših območjih.
	(15)	
	10	

Poleg mineralnih olj se uporabljajo v zahtevnejših pogojih obratovanja hidravličnih naprav sintetične tekočine (težko vnetljive hidravlične tekočine). Nekatere vsebujejo vodo, druge pa ne. **Sintetične tekočine** so izdelane s kemičnim postopkom, njihovi hlapi so negorljivi.

Težko vnetljive hidravlične tekočine

Označba	VDMA list št.	Sestav	Vsebnost vode v %
HFA	24320	emulzije olje-voda	80 - 98
HFB	24317	emulzije olje-voda	40
HFC	24317	vodne raztopine, npr. voda-glikol	35 - 55
HFD	24317	tekočine brez vode, npr. fosfater	0 - 0,1

Dobre lastnosti težko vnetljivih hidravličnih tekočin so:

- manjša sprememba viskoznosti glede na temperaturne spremembe
- manj elastična tlačna tekočina
- daljša življenjska doba

Slabe lastnosti težko vnetljivih hidravličnih tekočin so:

- tekočine so dražje
- nekatere tekočine razkrajajo običajno uporabljana perbunan tesnila in cevi
- pri temperaturi nad 50 °C izpari preveč tekočine

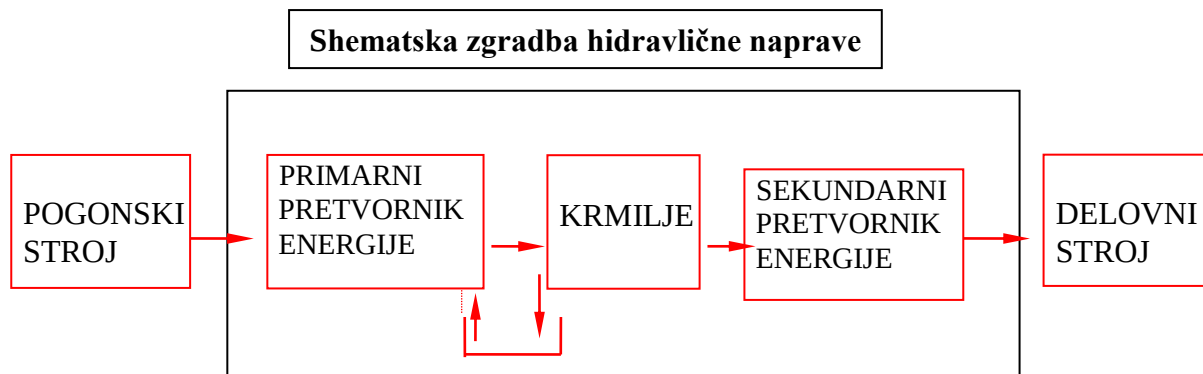
ZGRADBA HIDRAVLICNE NAPRAVE

Hidravlične naprave definiramo kot skupek delov in komponent, ki so medsebojno povezani tako, da tvorijo delovne enote, ki združujejo hidravlično opremo nekega stroja ali naprave.

Naloge, ki jih opravljajo take enote, so:

- pretvarjanje primarne energije (pogonskega stroja) v energijo tlačnega medija (hidr. energijo)
- prenos energije tlačnega medija od primarnega pretvornika (črpalke) do sekundarnega pretvornika energije (hidravlični motorji)
- krmiljenje toka hidravlične energije (krmilniki poti toka in tlaka)
- pretvarjanje tlačne energije medija v mehansko delo (hidravlični motorji)

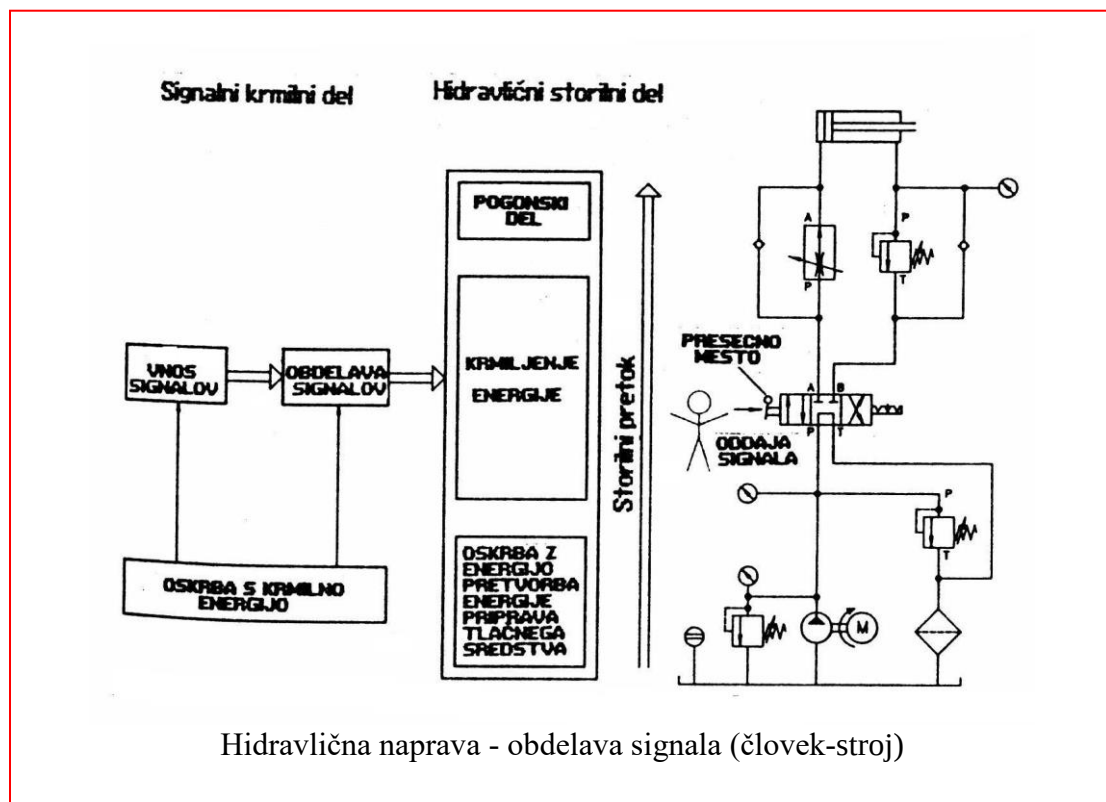
Običajno je tlačni medij (nosilec energije) hidravlična tekočina (mineralno ali sintetično olje).



Zgradbo hidravlične naprave delimo na:

- signalno-krmilni del
- izvršilni (delovni) del
- oskrba z energijo

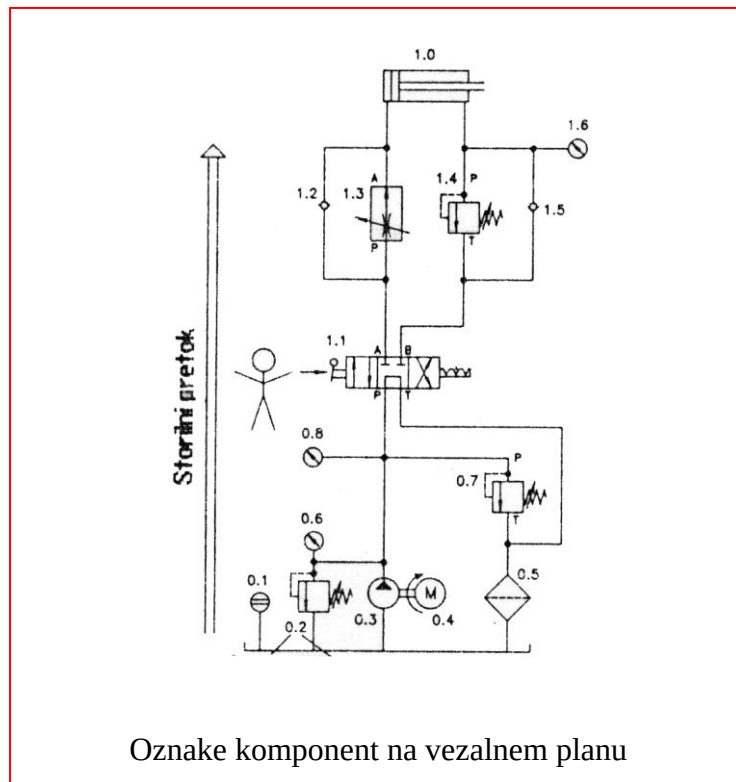
Vnos signalov preko stikal, ročic in pedalov na stroj (človek-stroj) kaže slika:



Storilni ali izvršilni del hidravlične naprave se deli na **del za oskrbo z energijo** (hidravlični agregat), na **del za krmiljenje energije** (krmilne komponente) in na **pogonski** (delovni) **del** (valji, hidromotorji).

Vezalni plan

Vezalni plan prikazuje grafično zgradbo hidravlične naprave s simboli in znaki. Zaradi pregledne izdelave vezalnega plana ne upoštevamo dejanskega položaja komponent na stroju. Ta se prikaže s položajnim planom. Sestavne dele naprave rišemo na vezalnem planu v smeri pretoka energije.



NAPRAVE ZA PRETVARJANJE ENERGIJE

Hidravlične črpalke

Hidravlične črpalke so naprave, ki mehansko energijo pretvarjajo v hidravlično energijo delovne tekočine. Imenujemo jih tudi volumenske črpalke, ker dajejo hidravlično energijo določenemu volumnu tekočine.

Črpalke delimo na dve osnovni skupini:

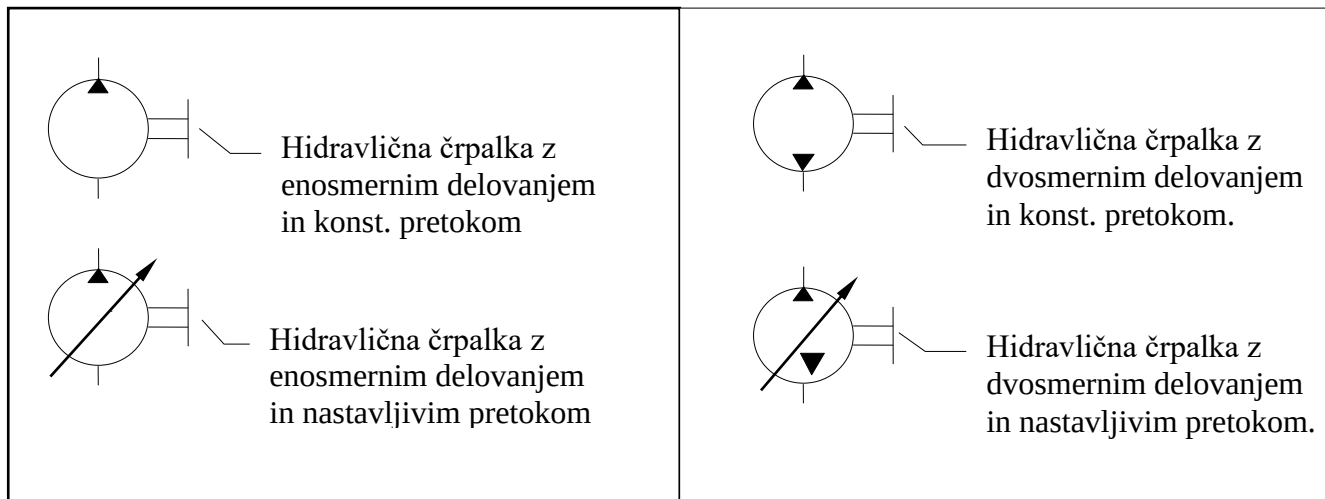
- hidravlične črpalke z rotirajočimi deli in
- hidravlične črpalke z nihajočimi deli

Glede na prostornino tlačenja razlikujemo tri osnovne tipe črpalk:

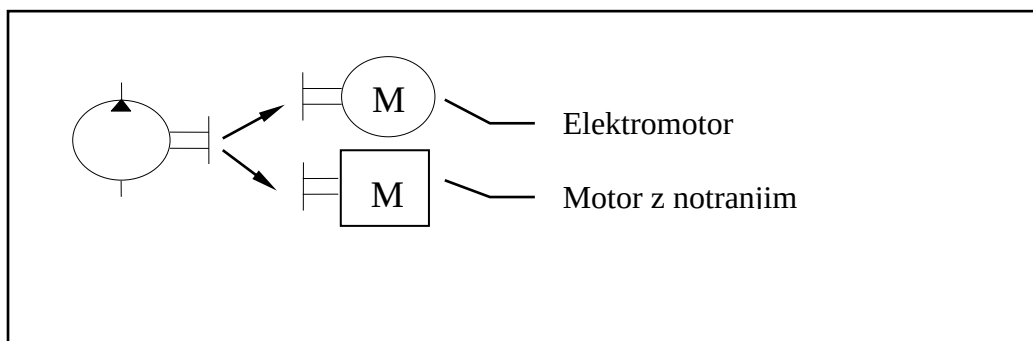
- konstantne črpalke
- nastavljive črpalke
- regulacijske črpalke

Ločimo črpalke z enosmernim in dvosmernim delovanjem. Obe izvedbi pa sta lahko za konstanten oz. nastavljiv pretok, ali pa se prilagajata določenim pogojem. Regulacijo v črpalkah s spremenljivim volumenskim pretokom omogoča mehanizem za upravljanje.

Črpalke so lahko izdelane tako, da imajo regulacijo pretoka, tlaka ali moči. Za poenostavljeno prikazovanje hidravličnih črpalk uporabljamo mednarodno dogovorjene simbole, ki so predpisani v standardu ISO 1219.



Hidravlična črpalka ima lahko električni pogon ali motor z notranjim izgorevanjem.



Karakteristični podatki za hidravlično črpalko so:

- volumenski pretok Q (l/min)
- specifični delovni volumen V_v (cm³/vrtljaj)
- tlak p (bar)
- potrebna moč P (kW)
- število vrtljajev črpalke n (vrt/min)
- koeficient izkoristka η

Volumenski pretok črpalke:

Teoretični volumenski pretok črpalke (Q) je definiran z enačbo :

$$Q = \frac{V_v \cdot n}{1000} \quad (\text{l / min})$$

Q - teoretična pretočna količina (računska)

Q_d - dejanska pretočna količina

η_v - koeficient volumenskega izkoristka črpalke

Specifični delovni volumen črpalke V_v (cm³/ vrtljaj) je določen s konstrukcijskimi merami črpalke in ga dobimo pri enem vrtljaju črpalke .

V črpalkah nastopajo:

- volumenske izgube
- mehanske izgube
- hidravlične izgube

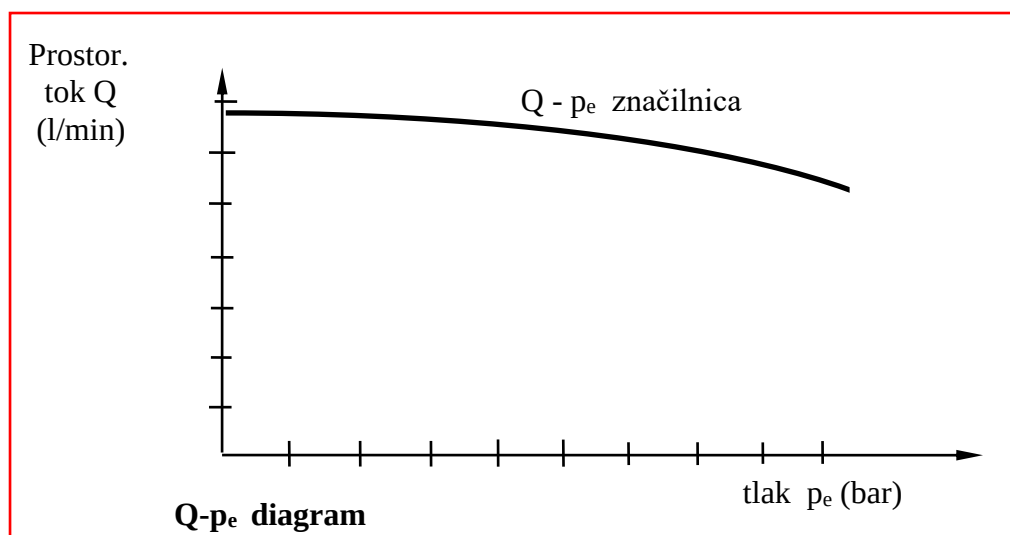
$$Q_d = Q \cdot \eta_v$$

Povprečne vrednosti koeficientov izkoristkov so:

- $\eta \approx 0,8 - 0,85$; - celotni;
- $\eta_v \approx 0,9 - 0,95$; - volumenski
- $\eta_m \approx 0,9 - 0,95$; - mehanski

$$\eta = \eta_v \cdot \eta_m$$

Odvisnost prostorninskega toka črpalke (Q) od tlaka (p_e) kaže krivulja, ki jo imenujemo **Q- p_e značilnica**. Z večanjem hidravličnega upora (tlaka) se zaradi volumenskih izgub ustrezno zmanjša prostorninski tok črpalke, kar je razvidno iz **Q- p_e diagrama**.



Izračun moči črpalke

Teoretična moč črpalke (P) je :

kjer je :

$$P = \frac{Q \cdot p}{600}$$

P (kW) - teoretična moč
 Q (l/min) - pretočna količina
 p (bar) - delovni tlak črpalke

Koristna (dejanska) moč, ki jo ima tlačna tekočina na izhodu iz črpalke (P_k) je:

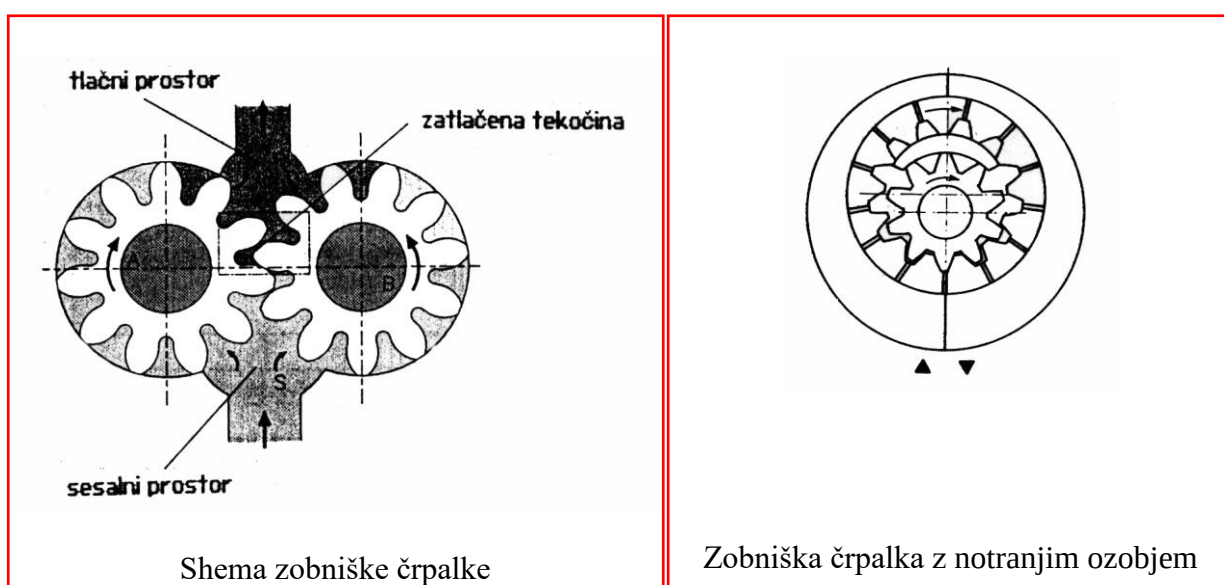
$$P_k = P \cdot \eta$$

η - celotni izkoristek

Zobniška črpalka

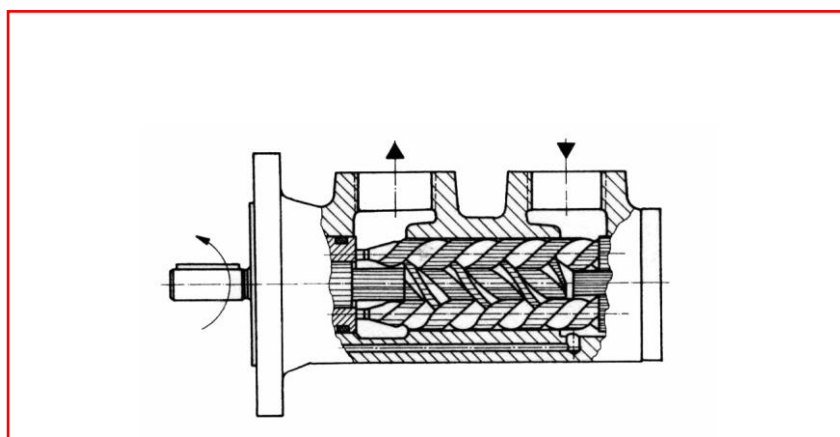
Zobniška črpalka je črpalka s konstantnim pretokom (razen razvojnih prototipov) in spada med najpreprostejše in najcenejše izvedbe hidravličnih črpalk. Poznamo zobniško črpalko z zunanjim in notranjim ozobjem.

Pri zobniški črpalki je en zobnik gnan, drugi pa je v ubiranju. Podtlak v sesalnem delu črpalke nastane zaradi povečanja volumna, ko se zob odmakne iz vrzeli nasprotnega zobnika. Vsesana tekočina zapolni vrzeli med zobmi in se tako z vrtenjem zobnikov prenaša po obodu na tlačno stran. V vmesnem prostoru zob med sesalnim in tlačnim delom (na mestu uprijema zobniškega para) ostane zatlačena tekočina, ki se iztisne skozi utor v tlačni prostor, sicer bi nastale tlačne konice, s tem pa šumenje in poškodbe črpalke. Zobniške črpalke so primerne za tlake od 60 do 160 barov.



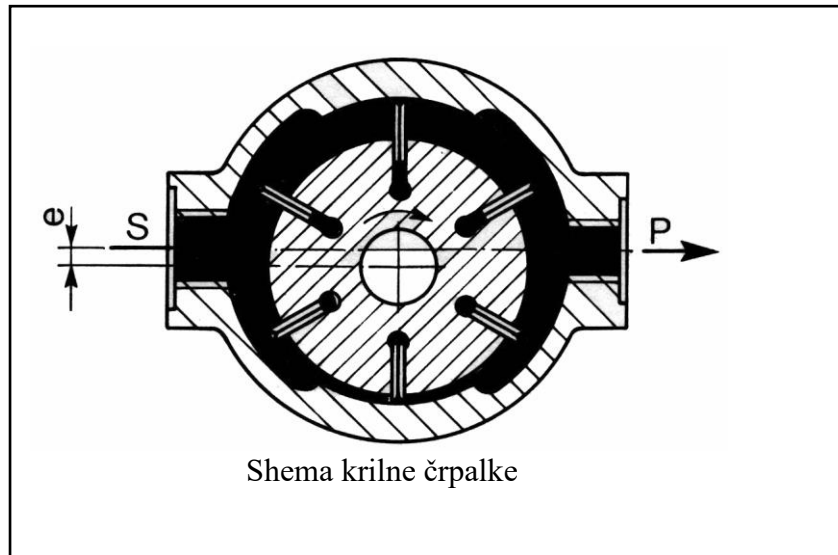
Vijačna črpalka

Vijačne črpalke se odlikujejo z mirnim in tihim delovanjem, saj so brez pulziranja tlaka in pretoka. Tlačni mehanizem predstavlja vijačni par. Delovna prostornina se ustvari med pogonskim vijakom in dvema vijakoma, ki sta nameščena s strani. Vijačna črpalka ima razmeroma visoke izgube, zaradi zračnosti pa se ne uporablja za visoke tlake. Optimalno uporabo dosežemo pri tlaku od 50 do 100 barov. Te črpalke se izdelujejo za majhne in velike pretoke.



Krilna črpalka

Delujejo zelo mirno in tiho, pretok olja je brez impulzov, imajo možnost regulacije pretoka s spremembo ekscentričnosti. Slabost teh črpalk je občutljivost na tlačne udarce, ki povzročijo lom krilc. Zaradi tega se za krmiljenje teh črpalk uporabljajo krmilniki poti z negativnim preklpom. Delovni tlak je do 150 barov, izkoristki pa so podobni kot pri zobniški črpalki.

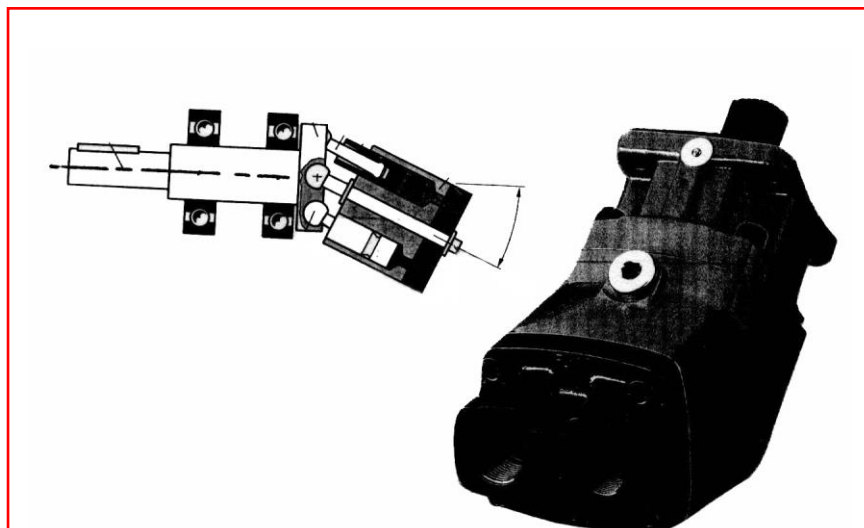


Aksialna batna črpalka

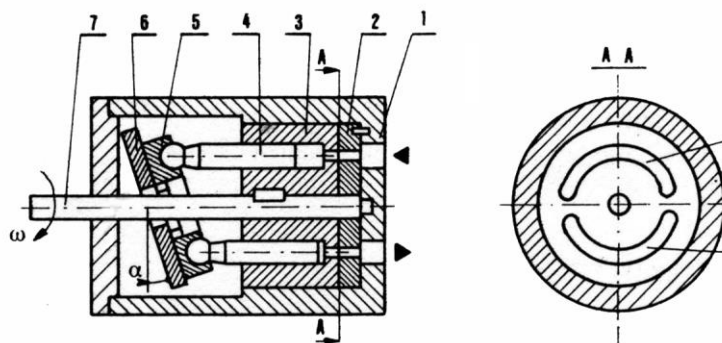
Konstruktivski rešitev aksialnih batnih črpalk temelji na dveh principih pretvorbe krožnega gibanja v vzdolžno gibanje:

- z nagibom gredi (kardanska vez)
- z nagibom plošče

Črpalke so izvedene s konstantnim in spremenljivim pretokom delovnega volumna. Pri batnih črpalkah z nagibom gredi bati pri svojem vzdolžnem gibanju tlačijo in potiskajo olje preko razvodne plošče v tlačni vod. Z večanjem nagiba gredi se daljša hod batov, s tem pa se večja tudi pretočni volumen. Sesanje se pri tem opravlja na tistih cilindrih, ki so preko razvodne plošče povezani s sesalnim vodom. Izmenično delovanje (tlačenje in sesanje) nastaja zaradi rotacije bloka črpalke.



Pri izvedbah aksialnih batnih črpalk z nagibno ploščo reguliramo hod batov in s tem pretočno količino. V ohišju je vgrajen boben, ki ima po obodu v aksialni smeri krožno razporejene bate. Nagibna plošča je lahko fiksna ali pa nastavljiva. Če je kot 0° , je pretočna količina enaka nič, če pa je nagib plošče v nasprotno smer, pa pretočna količina menja smer gibanja. Obe izvedbi se uporabljata za tlake do 300 barov.



Aksialna batna črpalka z nagibno ploščo

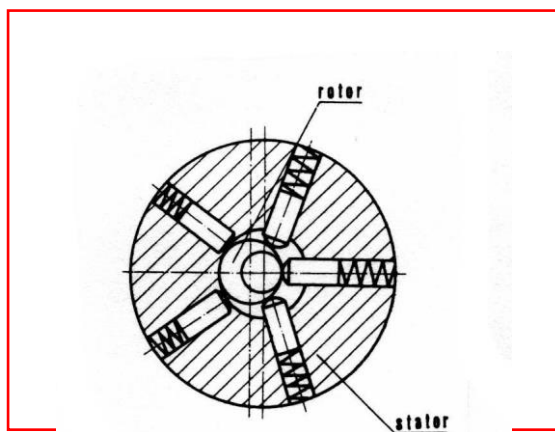
Dobre lastnosti aksialnih batnih črpalk:

- dobra stopnja izkoristka
- mirno in brezšumno delovanje do 200 barov
- možnost regulacije pretoka
- zanesljivost delovanja

Med slabe lastnosti pa lahko štejemo višjo ceno zaradi zahtevnejše izvedbe in kvalitetne izdelave.

Radialna batna črpalka

Osnovna karakteristika teh črpalk so radialno razporejeni valji, zaradi česar imajo le-te večje zunanje mere od aksialnih batnih črpalk. Na sliki je prikazana batna radialna črpalka z ekscentrom. Rotacija ekscentra omogoča gibanje batov v valjih in s tem sesanje in tlačenje.



Dobre lastnosti črpalke so:

- zelo visoki tlaki (do 600 barov)
- možnost regulacije pretoka s pomočjo ekscentra
- visoka stopnja izkoristka ($\eta_v \leq 0,95$)
- manjša občutljivost na nečistoče v primerjavi z aksialnimi

Največja uporaba radialnih črpalk je za tlake do 300 barov, sicer pa tudi do 600 barov.

Hidravlični motorji

Osnovna funkcija hidravličnih motorjev je pretvorba hidravlične energije v mehansko delo.

Konstrukcijsko so izvedeni kot:

- hidravlični cilindri (valji)
- zasučni motorji (zasučni cilindri)
- hidromotorji
- hidrostatični prenosniki moči

Hidromotorji so konstrukcijsko identični hidravličnim črpalkam, le da imajo pri posameznih vrstah določene omejitve glede vrtljajev, tlakov, izkoristkov, šumnosti itd.

Zasučni motorji ali zasučni cilindri omogočajo zasuk za določen kot rotacije, kar je odvisno od konstrukcijske izvedbe.

Hidravlični cilindri (valji)

Hidravlični cilindri spreminjajo hidravlično energijo v mehanično. Gibljejo se premočrtno in jih zato imenujemo tudi **linearni motorji**.

Hidravlične cilindre delimo na dve skupini:

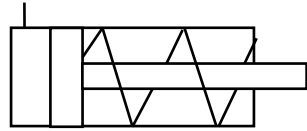
- enosmerni cilindri (enosmerno delujoči cilindri)
- dvosmerni cilindri (dvosmerno delujoči cilindri)

Enosmerni cilinder

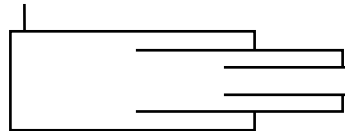
Enosmerni cilinder uporabljamo takrat, ko potrebujemo hidravlično delo samo v eni smeri gibanja. V praksi ga uporabljamo za dviganje, vpenjanje, spuščanje itd. Delovni gib je izvršen s tlakom hidravlične tekočine, povratni gib je lahko izveden z vzmetjo ali z zunanjo silo, kar je odvisno od vrste cilindra. Med enosmerne cilindre spada plunžer cilinder (bat in batnica sta iz enega kosa) in teleskopski cilinder. Simboli za enosmerni cilinder so prikazani na sliki.



Enosmerni cilinder
- povratni gib izvrši s
pomočjo zunanje sile



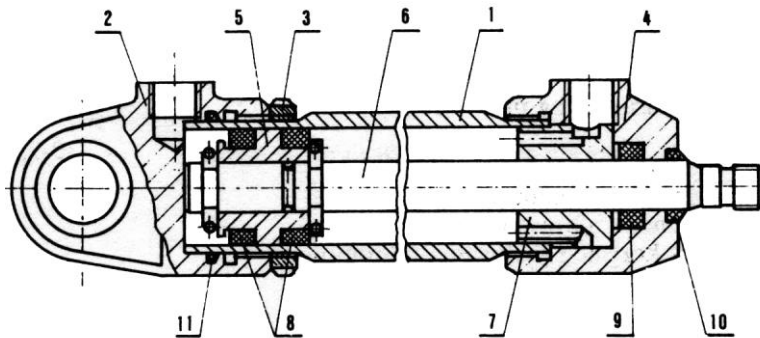
Enosmerni cilinder
- povratni gib izvrši s
pomočjo vzmeti



**Enosmerni teleskopski
cilinder**

Simboli enosmerne valja (ISO 1219)

Dvosmerni cilinder



Dvosmerni hidravlični cilinder : 1- cilinder, 2- zadnji pokrov,
3- matica, 4- prednji pokrov, 5- bat, 6- batnica, 7- utor, 8, 9 in 10 - tesnilke

Tlak tekočine deluje na bat izmenično z obeh strani, kar omogoča delovni gib bata v obe smeri. Dvosmerni cilindri imajo dva priključka, izvedeni pa so lahko z enostransko ali dvostransko batnico.

Dvosmerne cilindre delimo na:

- cilindre z enostransko batnico
- cilindre z dvostransko batnico
- cilindre s končnim dušenjem
- diferencialne cilindre
- teleskopske cilindre
- cilindre s krožnim gibanjem
- zasučne cilindre
- pretvornike tlaka

Za zmanjšanje hitrosti v končnih položajih se uporabljajo cilindri s končnim dušenjem, ki preprečujejo udarjanje bata na pokrov cilindra. Pri hitrostih $v < 6$ m/min ni potrebno končno dušenje, za hitrosti med 6 in 20 m/min pa je potrebno uporabiti izvedbe cilindrov s končnim dušenjem. Pri hitrostih, ki so večje od 20 m/min, so potrebni posebni ukrepi za zaviranje bata.

Sila na bat hidravličnega cilindra je :

$$F_{ct} = A \cdot p$$

kjer je:

F_{ct} (N) - teoretična sila na batnico hid. cilindra

F_c (N) - dejanska sila na batnico hid. cilindra

$$F_c = F_{ct} \cdot \eta_c$$

A (m²) - aktivna površina bata, ki je A_1 ali A_2

p (bar) - tlak

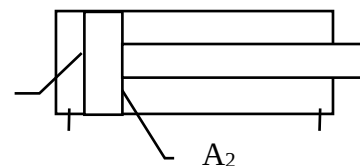
$$\eta_{mc} \cong 0,75 - 0,85$$

η_{mc} - mehanski koeficient izkoristka cilindra

Površina batnice :

$$A_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$A_2 = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2)$$



Hitrost gibanja batnice:

$$v = \frac{Q}{6 \cdot A}$$

Q (l/min) - dejanski volumenski pretok v hid. cilindru

A (cm²) - aktivna površina bata, ki je A_1 ali A_2

v (m/s) - dejanska hitrost batnice

Volumenski koeficient izkoristka (η_{vc}) :

$$\eta_{vc} = \frac{Q}{Q_t}$$

Q (l/min) - dejanski volumenski pretok v hid. cilindru

Q_t (l/min) - teoretični volumenski pretok v hid. cilindru

$\eta_{vc} \cong 0,95$

NAPRAVE ZA UPRAVLJANJE

Osnovna naloga naprave za upravljanje v hidravličnem sistemu je krmiljenje in regulacija hidravlične energije pri prenosu od izvora do izvršilnih elementov. Naprave za upravljanje omogočajo premikanje, zaustavljanje, spremembo hitrosti in smeri gibanja izvršilnih elementov (hidravličnih motorjev), omejevanje momenta na gredi hidravličnega motorja ter učinkovito varovanje pred preobremenitvijo. Imenujemo jih **ventili** in se zaradi svoje različne funkcije delijo v skupine.

Naprave za upravljanje (ventile) delimo na:

- krmilnike poti (potne ventile)
- zapirne ventile
- tlačne ventile
- tokovne ventile

Po konstrukciji razlikujemo **sedežne** in **drsniške ventile**. Poleg tega je za preklapljanje ventilov pomembno batno prekrivanje in geometrija krmilnih robov.

Pri sedežnih ventilih na sedež nalega kroglica, stožec ali krožni sedež. Drsniške ventile delimo na *vzdolžne* in *zasučne* ventile. Zasučni drsniški ventili so sestavljeni iz enega ali več batov, ki so zasučno gibljivi v cilindrični izvrtini. Vz dolžno drsniški ventil se sestoji iz enega ali več medsebojno povezanih batov, ki se premikajo vzdolžno v cilindrični izvrtini in medsebojno povezujejo ali zapirajo poljubno število priključnih kanalov.

Pri aktiviranju vzdolžnega drsniškega ventila moramo premagati samo trenje in silo vzmeti, sile zaradi tlaka so medsebojno izenačene.

Drsnik mora imeti v izvrtini določeno zračnost, posledica tega je stalen **lekažni tok**. Lekažni tok pomeni izgubo pri pretoku olja skozi ventil.

Pri premiku bata drsniškega ventila nastopa samo tekočinsko trenje. Nečisto olje deluje abrazivno in povečuje izrabo ter lekažo pri ventilu.

Lastnosti drsniških ventilov:

- lekažni pretok
- občutljivost na nečistoče
- enostavna izdelava tudi večpoložajnih ventilov
- izravnava tlaka
- dolga pot aktiviranja

Lastnosti sedežnih ventilov:

- tesno zapiranje
- neobčutljivost na nečistoče
- draga izdelava večpoložajnih ventilov
- izravnava tlaka po naročilu
- kratka pot aktiviranja

Krmilni robovi batov drsniških ventilov so lahko izvedeni pravokotno, z zarezi ali poševno. Drsniški bat je zaradi sile aktiviranja ožlebljen, da se tlak okoli bata izenači. Tlak bi sicer drsniški ventil pritisnil ob steno izvrtine in bi bilo potrebno večjo silo za preklapljanje ventila. Tako pa je potrebno pri preklopu premagati le tekočinsko trenje, za katero je potrebna majhna sila.

Krmilniki poti (potni ventili)

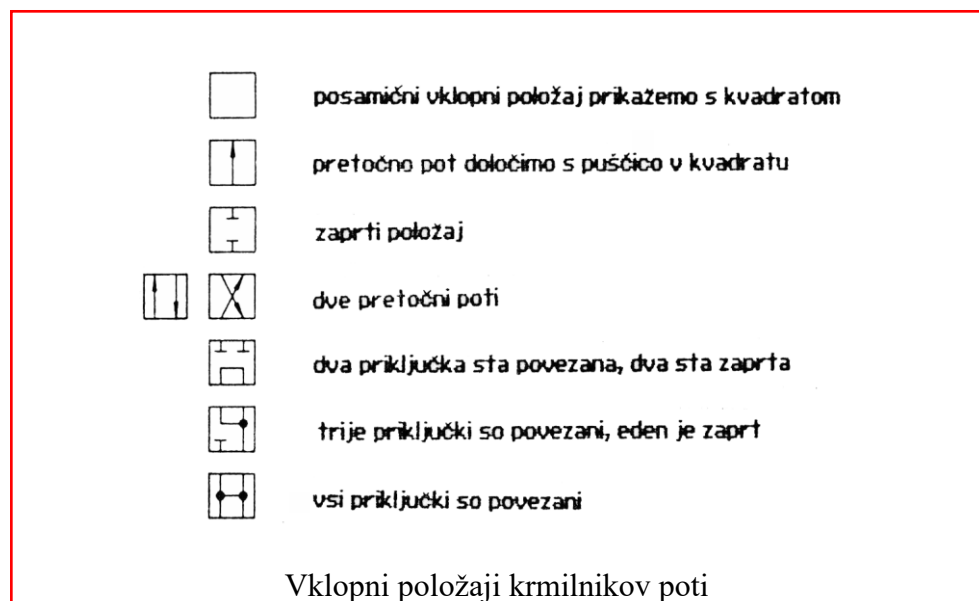
Krmilniki poti so krmilne komponente, ki v hidravličnem sistemu omogočajo odpiranje in zapiranje pretočne poti. S tem se krmili smer gibanja in prekinjanja toka hidravlične tekočine. Pri nekaterih konstrukcijah dušilnih odprtin pa je omogočeno ustrezno dušenje.

Osnovne karakteristike krmilnikov poti so:

- število delovnih položajev
- število priključkov na krmilniku
- funkcija delovnega položaja
- način aktiviranja
- velikost priključnih odprtin

Pri simboličnem prikazu krmilnikov poti veljajo naslednja pravila:

- kvadrat pomeni posamični vklopni položaj
- puščice označujejo smer poti gibanja hid. tekočine
- prečna črtica označuje zaprte priključke
- kratke črtice označujejo priključke
- črtkasta črta in črka L označujeta lekažne priključke
- črke a, b ... od leve proti desni označujejo položaje krmilnika
- 0 označuje mirujoči položaj



Krmilnike poti delimo na **digitalno delujoče in analogno delujoče**.

Digitalno delujoči krmilniki poti imajo le določeno število (2,3,4 ...) vklopnih položajev.

Analogno delujoči krmilniki poti imajo poleg dveh mejnih položajev še poljubno število vmesnih položajev z različnimi dušilnimi učinki. V to skupino spadajo *proporcionalni ventili in servoventili*.

Označevanje priključkov na krmilniku je predpisano po ISO (CETOP) in odgovarjajo mednarodnim standardom. Tako pomeni:

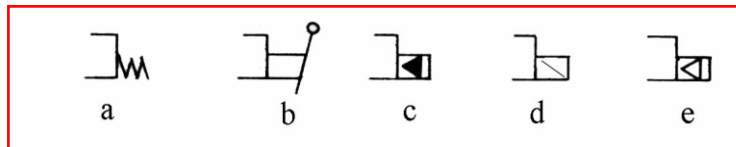
- P- priključek črpalke (tlačni priključek)
- T- priključek rezervoarja (priključek povratnega voda)
- A, B, C- izhodni priključki krmilnikov poti
- X, Y- krmilni priključki

Glede na število priključkov in vklopnih položajev razlikujemo naslednje najbolj uporabljane krmilnike poti:

<u>2/2 PV</u> mirovni položaj "ZAPRT" (P,A) mirovni položaj "ODPRT" (P-A)	 
<u>3/2 PV</u> mirovni položaj "ZAPRT" (P,T-A) mirovni položaj "ODPRT" (P-A,T)	 
<u>4/2 PV</u> mirovni položaj "ODPRT" (P-B,A-T)	
<u>5/2 PV</u> mirovni položaj "ODPRT" (A-R,P-B,T)	
<u>4/3 PV</u> srednji položaj "ZAPRT" (P,A,B,T)	
<u>4/3 PV</u> srednji položaj "OBTOK ČRPALKE" (P-T,A,B)	
<u>4/3 PV</u> "H" srednji položaj (P-A-B-T)	
<u>4/3 PV</u> srednji položaj "RAZBREMENILEN" (P,A-B-T)	
<u>4/3 PV</u> srednji položaj "OBTOČEN" (P-A-B,T)	

Način aktiviranja krmilnika poti so:

- a) z vzmetjo
- b) z ročico
- c) hidravlično
- d) elektromagnetno
- e) pnevmatsko



Nazivna velikost krmilnika poti (NP) je premer priključka v milimetrih in določa za dani tlak pretočno velikost, ki je standardizirana po CETOP-ovem priporočilu. Krmilniki so izvedeni v batni ali sedežni konstrukciji s pozitivnim, negativnim ali ničelnim prekrivanjem. Za krmilnike poti je zelo pomembna pretočna karakteristika (odvisnost pretoka in padca tlaka). Pri batnih izvedbah je ta nelinearna.

Zapirni ventili (nepovratni ventili)

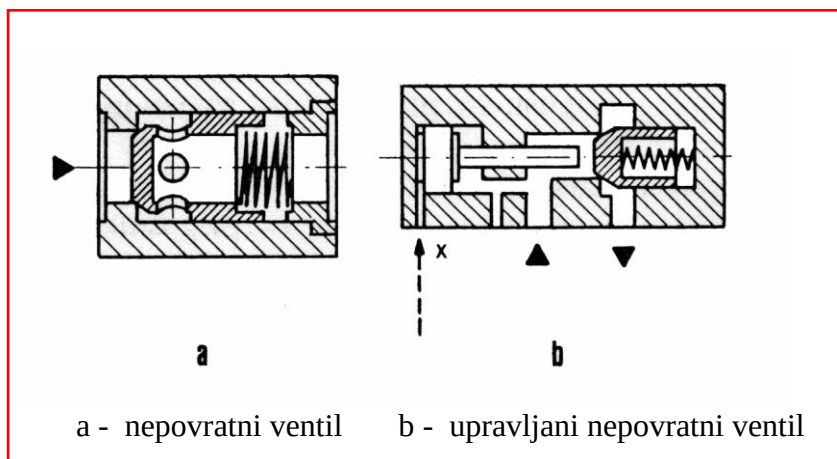
Zapirni ventili zapirajo prostorninski tok v eni smeri, v drugi smeri pa omogočajo prost pretok in v nekem smislu predstavljajo *hidravlične diode*. Da je zapiranje nepropustno, se izdeluje te ventile vedno v sedežni izvedbi. Tesnilni element je največkrat kroglica ali kegelj, ki zapira sedež. Zapirni ventili so prikazani simbolično na sliki.

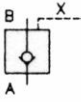
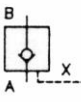
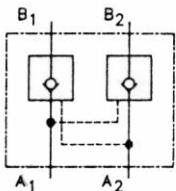
Konstrukcije zapirnih ventilov:

- nepovratni ventili brez vzmeti
- nepovratni ventili z vzmetjo
- zapirni nepovratni ventili
- odpiralni nepovratni ventil

Enosmerni ventili so konstrukcijsko sestavljeni iz konusa ali kroglice in vzmeti.

Blokirajoči ventil ali upravljeni nepovratni ventil je enosmerni ventil, ki lahko svojo funkcijo po potrebi spremeni v obojestranski pretok.



	nepovratni ventil brez vzmeti
	nepovratni ventil z vzmetjo
	zapirni nepovratni ventil, s krmilnim signalom se prepreči odpiranje ventila
	odpirni nepovratni ventil, s krmilnim signalom se prepreči zapiranje ventila
	izmenični ventil
	odpirni dvojni nepovratni ventil

Zapirni ventili

Dvojni nepovratni odpiralni ventil lahko zelo zanesljivo pozicionira breme tudi pri notranji lekaži bata cilindra. To zanesljivo pozicioniranje je možno le pri stoječih cilindrih.

Tlačni ventili

Tlačni ventili omogočajo krmiljenje in regulacijo tlaka v hidravličnih sistemih. Z njimi lahko omejimo tlak, znižamo tlak in uspešno zaščitimo hidravlične naprave pred preobremenitvijo.

Vrste tlačnih ventilov:

- ventili za omejitev tlaka (varnostni ventili)
- ventili za znižanje tlaka (redukcijski ventili)
- ventil za regulacijo razlike tlaka

ventil za omejitev tlaka	
2-potni ventil za regulacijo tlaka	
3-potni ventil za regulacijo tlaka	

Ventile za omejitev tlaka uporabljamo za nastavitvev, omejitev in hidravlično zaščito tlaka hidravličnega sistema. Princip delovanja teh ventilov temelji na delovanju sile Pascalovega tlaka z ene strani in sile vzeti z druge strani. Če tlak na vhodu ventila naraste preko določene vrednosti, se ta odpre in omogoči pretok delovne tekočine v povratni vod (rezervoar). Ventil je odprt toliko časa, dokler tlak tekočine ne pade na nastavljeno vrednost. Zaradi funkcije delovanja imenujemo ta ventil **varnostni ventil**. Direktno upravljani so ventili do NP 10, nad to velikostjo pa so indirektni (predupravljani), kjer pilotni ventil vklopi glavni ventil.

Ventil za zmanjšanje tlaka zmanjša tlak na izhodu ventila glede na vhod. To je pretočni ventil, kjer se del tekočine prelija v rezervoar, glavnina pa se pošilja z zmanjšanim tlakom k potrošnikom.

Ti ventili lahko napajajo več potrošnikov z različnim tlakom iz enega izvora (črpalke). Tlak na izhodu ventila v določenem delovnem področju ni odvisen od tlaka na vhodu. Tlak na izhodu se zmanjša zaradi dušenja. Izhodni tlak lahko nastavimo, če nastavimo silo vzmeti. Glede na velikost pretoka poznamo direktne in indirektno ventile za zmanjšanje tlaka.

Ventil za regulacijo razlike tlaka je nastal kot kombinacija varnostnega ventila in ventila za zmanjšanje tlaka. Ventil deluje, če se preko njega pretaka hidravlična tekočina. Regulacijo pretoka hidravličnega olja dosežemo z nastavitvijo potrebne tlačne razlike tako, da nastavimo ustrezno silo vzmeti. Taki ventili se vgrajujejo kot **tlačne tehtnice**. Pri proporcionalnem krmilniku poti vzdržuje konstantno vrednost tlačne razlike in tako nadomešča nelinearno soodvisnost pretoka in padca tlaka. Z vgradnjo takšnega ventila v hidravlični sistem lahko kompenziramo oscilacije (nihanja) tlaka na vhodu v dušilni element in oscilacije tlaka zaradi spremembe obremenitve na izvršilnih komponentah (cilindrih, hidro-motorjih).

Tlačno stikalo v hidravličnem sistemu vključuje ali izključuje električni tokokrog glede na velikost tlaka v sistemu. Ta element pretvarja hidravlični signal v električnega (diskretni ali digitalni signal).

Tokovni ventili

Tokovne ventile uporabljamo za zmanjševanje hitrosti cilindrov ali vrtljajev hidromotorjev. Ločimo:

- ventile za krmiljenje pretoka (dušilni ventili)
- ventile za regulacijo pretoka (regulatorji pretoka)

Ventili za krmiljenje pretoka uporabljajo dušilne elemente - dušilke ali pa zaslonke. Dušilke in zaslonke ustvarjajo pretočni upor, ki je odvisen od pretočnega prereza, njegove geometrijske oblike in od viskoznosti hidravlične tekočine.

Poznamo konstantne in nastavljive dušilne ventile. Pri pretoku nastane padec tlaka zaradi trenja in povečanja hitrosti. Različne (konstrukcijske izvedbe) nastavljive dušilke ustrezajo različnim zahtevam.

Ti ventili niso uporabni za nastavljanje konstantnega prostorninskega toka, če se spreminja obremenitev porabnika.

Dušilni nepovratni ventil je kombinacija dušilnega in nepovratnega ventila, pri katerem deluje dušilka le v eni smeri pretoka.

Ventili za regulacijo pretoka (regulatorji pretoka)

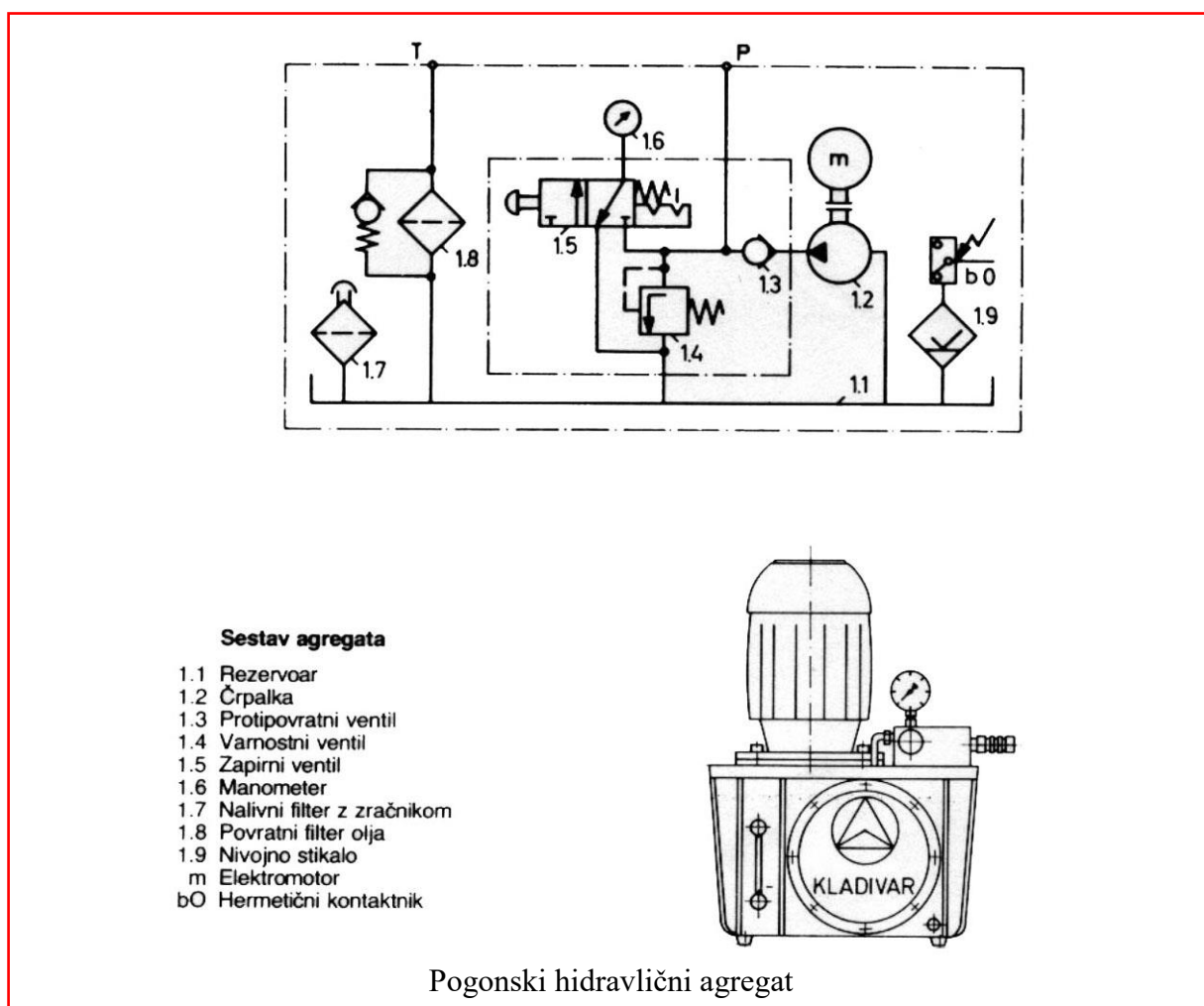
Pri dušilnih krmilnih ventilih obstaja soodvisnost med padcem tlaka (Δp) in volumenskim pretokom (Q), pri **regulatorju pretoka** pa je v določenem območju volumenski pretok konstanten ne glede na spremembe pri obremenitvi.

Regulator pretoka ima linearno karakteristiko pri spremembi tlaka in pretoka. Da je prostorninski tok k porabniku konstanten tudi pri spremenljivi obremenitvi, mora ostati padec tlaka v dušilki konstanten. Zaradi tega je v ventilu za regulacijo pretoka nastavljiva dušilka (2) in regulacijska dušilka (**tlačna tehtnica**) (1). Z nastavljivo dušilko (2) se nastavi določen pretok. Regulacijska dušilka spreminja upor glede na nastali tlak na vhodu oz. izhodu ventila tako, da je padec tlaka na nastavljivi dušilki stalno enak (konstanten). Regulacijska dušilka je lahko vgrajena pred nastavljivo dušilko ali za njo. Regulacijska dušilka izravnava spreminjajoče se tlačne obremenitve na vhodu ali izhodu in tako vzdržuje konstantno tlačno razliko pri nastavljivi dušilki. Na regulacijskem batu mora vedno vladati ravnotežje sil, ki ga uravnavajo spreminjajoče se obremenitve ($F_1 = F_2$).

HIDRAVLIČNI POGONSKI AGREGAT

Hidravlični pogonski agregat pretvarja mehansko energijo elektromotorja v hidrostaticno energijo hidravlične tekočine, pri čemer ima še dodatne funkcije, npr: filtriranje, hlajenje in gretje hidravlične tekočine.

Sestavni deli agregata:



Rezervoar

Rezervoar zagotavlja potrebno količino hidravlične tekočine, omogoča izmenjavo toplote preko sten, omogoča usedanje nečistoč in vode na dnu ter izločanje plinov iz hidravlične tekočine.

Pri mobilnih hidravličnih sistemih določimo volumen rezervoarja glede na celoten volumen vseh vgrajenih cilindrov (V_c) in je $1,5 \cdot V_c$. Za industrijske hidravlične sisteme določimo volumen rezervoarja glede na volumenski pretok črpalke (Q) in je od 4 do $10 \cdot Q$, kar je odvisno od načina obratovanja.

Naprava za hlajenje odvaja odvečno toplotno energijo v okolico in tako ohranja temperaturo hidravlične tekočine v dovoljenih mejah. Delovna temperatura olja je od 40 do 50 °C, kratkotrajno je lahko do 80 °C, vendar to vpliva na življenjsko dobo hidravlične tekočine. Večina hidravličnih agregatov ima rezervoar dimenzioniran tako, da se hladi sam brez dodatnega hlajenja. Hladilne naprave pa se uporabljajo za umetno hlajenje, ki je lahko izvedeno zračno ali vodno. Z vgradnjo hladilnega sistema se znatno zmanjša potrebna količina hidravličnega olja in s tem velikost rezervoarja.

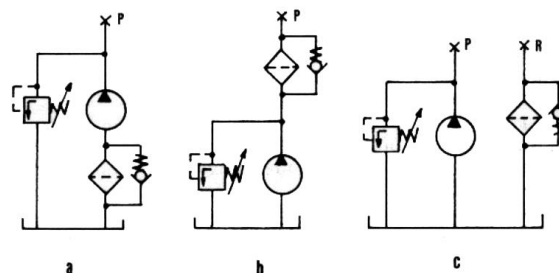
Naprava za gretje hidravlične tekočine se uporablja pri nizkih temperaturah, kadar so razlike med temperaturo okolice in delovno temperaturo velike. Hidravlična tekočina se segreje v grelcih predno začne hidravlični sistem delovati z obratovanjem. Grelni so lahko različni, vendar se največ uporabljajo električni, ki so vgrajeni v rezervoarju.

Oljni filter

Oljni filter iz hidravličnega olja odstranjuje nečistoče. Čisti medij omogoča normalno delovanje hidravličnega sistema in pričakovano življenjsko dobo posameznih komponent. Oljni filtri imajo filtrske vložke in v večini primerov indikatorje (optični ali akustični), ki pokažejo stopnjo onesnaženja filtrskega vložka.

Oljni filtri so lahko vgrajeni:

- a) v sesalnem vodu
- b) v tlačnem vodu
- c) v povratnem vodu



Pogosto se uporablja tudi vzporedno filtriranje h glavnemu krogu.

Vsak filter povzroča tlačne izgube (pri obratovalni temperaturi) :

- tlačni filter $\Delta p \sim 1$ do 1,5 bar
- povratni filter $\Delta p \sim 0,5$ bar
- sesalni filter $\Delta p \sim 0,05$ do 0,1 bar

Osnovne značilnosti oljnih filtrov določajo:

- kvaliteta filtriranja (finost filtriranja)
- količina izločenih trdih delcev
- pretok in hitrost gibanja hid. olja
- padec tlaka na filtru

HIDRAVLICNI VODI (CEVOVODI)

Za prenos hidravlične energije se uporabljajo hidravlični vodi (toge cevi, gibke cevi, pretočni kanali itd.). Dimenzije cevovodov in pretočnih odprtin ter njihova oblika bistveno vplivajo na velikost izgub tlačne hidravlične energije v hidravličnem sistemu. Premer pretočnega prereza voda je odvisen od volumenskega pretoka in tlaka ter dopustne hitrosti gibanja hid. tekočine.

Dopustne hitrosti hid. tekočine v vodih

Hidravlični vodi	Velikost tlaka v vodu	Dopustne hitrosti v vodu
sesalni vod	(podtlak)	do 1,5 m/s
tlačni vod	do 50 bar	4,0 m/s
	50 do 100 bar	4,5 m/s
	100 do 200 bar	5,5 m/s
	200 do 300 bar	6,0 m/s
	300 do 400 bar	6,5 m/s
povratni vod	(nadtlak)	2,0 m/s

Enačbe za izračun pretočnega prereza so napisane pri snovi hidrostatiki. Za določanje premera hidravličnih cevi so izdelani diagrami proizvajalcev. Premeri vodov so standardizirani in ustrezajo odprtinam vgrajenih hidravličnih komponent v sistemu.

Premer pretočne odprtine izračunamo po enačbi:

$$d = 2 \sqrt{\frac{Q}{\pi \cdot v}}$$

d (m) - premer pretočne odprtine
 Q (m³/s) - volumenski pretok
 v (m/s) - hitrost gibanja hid. tekočine

Nazivni pretočni premeri hidravličnih komponent so standardizirani – tabela.

NP4	Q = 4,5 l/min	(zelo redko v uporabi)
NP6	Q = 10 l/min	
NP8	Q = 18 l/min	(zelo redko v uporabi)
NP10	Q = 30 l/min	
NP16	Q = 70 l/min	
NP20	Q = 120 l/min	
NP25	Q = 180 l/min	
NP32	Q = 250 l/min	
NP50	Q = 630 l/min	(specialni namen)

Komponente hidravličnega sistema povezujemo na več načinov:

- priključevanje na cevni vod
- priključevanje na priključno ploščo
- priključevanje v blok (verženje)

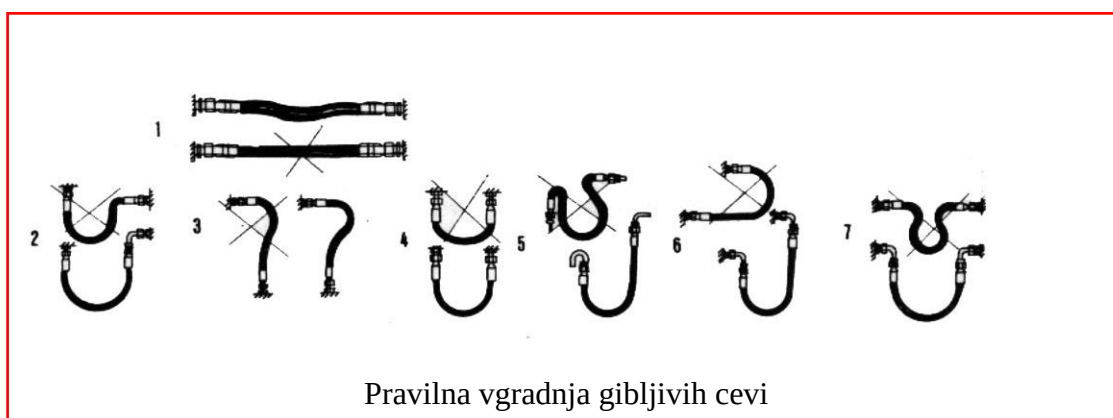
Za krivljenje cevi je potrebno upoštevati radij zakrivljenosti, ki je 2 do 3 · d (premer cevi), kar je odvisno od premera cevi. Hidravlični kovinski vodi so zelo občutljivi na oscilacije, ki so

posledica nihanja tlaka, hidravličnega udara itd., zato je pri daljših vodih zelo pomembno število pritrditev (sicer se material hitro utruji in nastopijo razpoke).

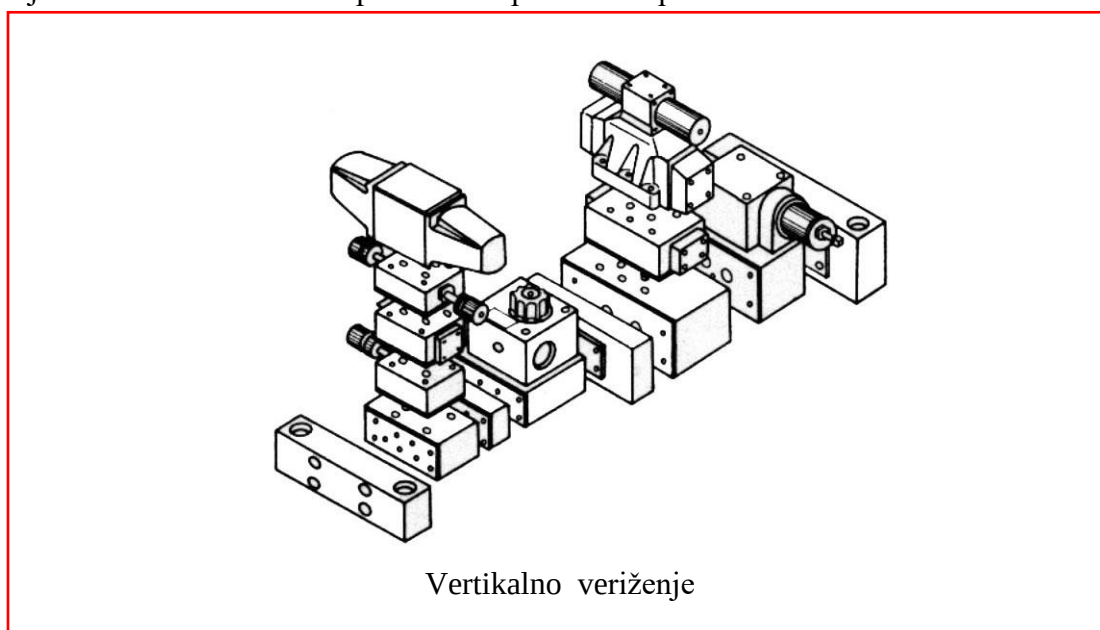
Za spajanje hidravličnih komponent s cevmi (na koncih cevi so navoji) lahko uporabljamo kolena, spojke, t-kose, reducirne kose itd.

Gibki cevni vodi so gibljive zveze med premikajočimi se hidravličnimi napravami. Uporabljamo jih tedaj, ko ni možno izvesti povezav s togimi cevmi. Uporabljamo jih tudi tedaj, kadar želimo zmanjšati prenos hrupa oz. vibracij ali ublažiti tlačne sunke. Gibke cevi so izdelane iz več plasti. Notranja plast je iz sintetične gume, teflona, poliestra, perbunana ali neoprena. Nosilna plast je pletivo iz jeklenih žic, poliestra ali rayona. Glede na območje tlaka je lahko pletivo iz ene ali več plasti. Zunanja plast je iz proti obrabi odpornega gumija, poliestra ali podobnega materiala. Za dodatno varovanje pred mehaničnimi poškodbami se lahko uporabi zunanje jeklene spirale.

Pri vgradnji moramo paziti na zadostno dolžino cevi. Cevi se ne smejo obremenjevati z nateznimi silami, prav tako morajo ostati dovolj veliki radiusi.



Za modularno in kompaktno gradnjo hidravličnih pogonov se komponente priključujejo v blok (verženje, ki je lahko vertikalno ali horizontalno). Hidravlična energija se prenaša skozi vrtane odprtine spojenih plošč, na katerih so priključene hid. komponente. Pri tem se zmanjša dolžina cevovodov in poveča kompaktnost naprave.

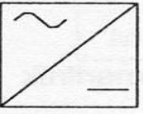
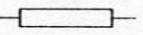
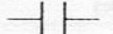


ELEKTROHIDRAVLIČNA KRMILJA

Znaki in simboli

Za pregleden prikaz krmilnih sistemov uporabljamo za posamezne komponente enostavne simbole in znake. Z njimi hitro prepoznamo vrsto komponente in njeno funkcijo, informacijo o konstrukciji pa dobimo le redko v novejših simbolih. Nekaj najbolj pogostih simbolov za hidravlične krmilne komponente je prikazanih v uvodnem poglavju.

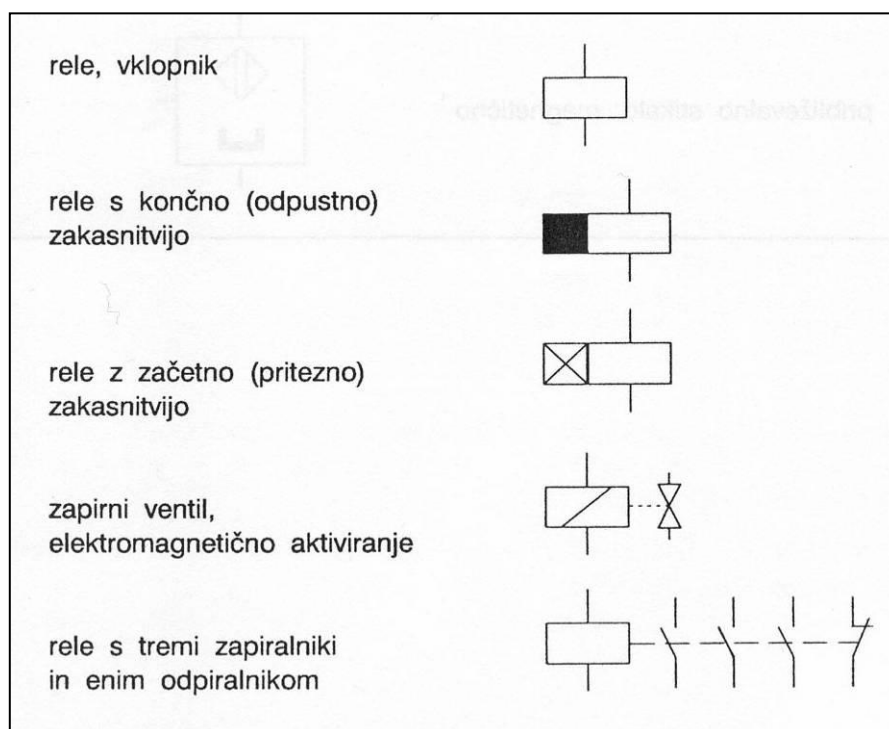
Električni znaki, splošno

enosmerna napetost, tok	
izmenična napetost, tok	
usmernik (omrežni aparat)	
trajni magnet	
upor, splošno	
tuljava (indukcija)	
svetlobni indikator	
kondenzator	
ozemljitev, splošno	

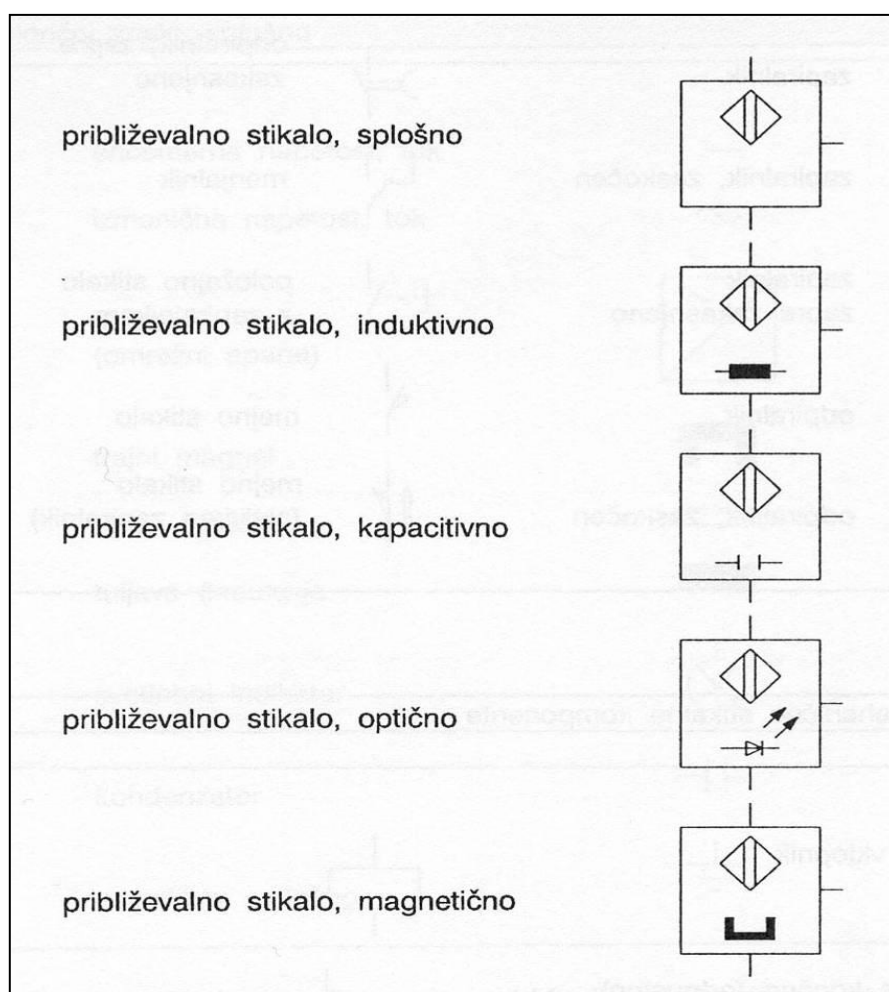
Stikalni členi

	zapiralnik		odpiralnik, zapre zakasnjeno
	zapiralnik, zaskočen		menjalnik
	zapiralnik zapre zakasnjeno		položajno stikalo z zapiralnikom
	odpiralnik		mejno stikalo
	odpiralnik, zaskočen		mejno stikalo (aktiviran zapiralnik)

Stikalne komponente



Brezkontaktna, približevalna stikala



Hidravlični vezalni plan

Hidravlični vezalni plan prikazuje zgradbo in medsebojno povezavo hidravličnih delov. Simbole komponent rišemo ležeče neodvisno od položaja na stroju, povezovalne vode pa kot ravne črte. Pri krmiljih z več delovnimi komponentami krmilje členimo na krmilne verige.

Posamezno krmilno verigo

označimo z zaporedno številko 1, 2, 3 ...

Komponente za oskrbo z energijo z 0 (0.1, 0.2).

Označevanje komponent:

.0 delovne komp. 1.0

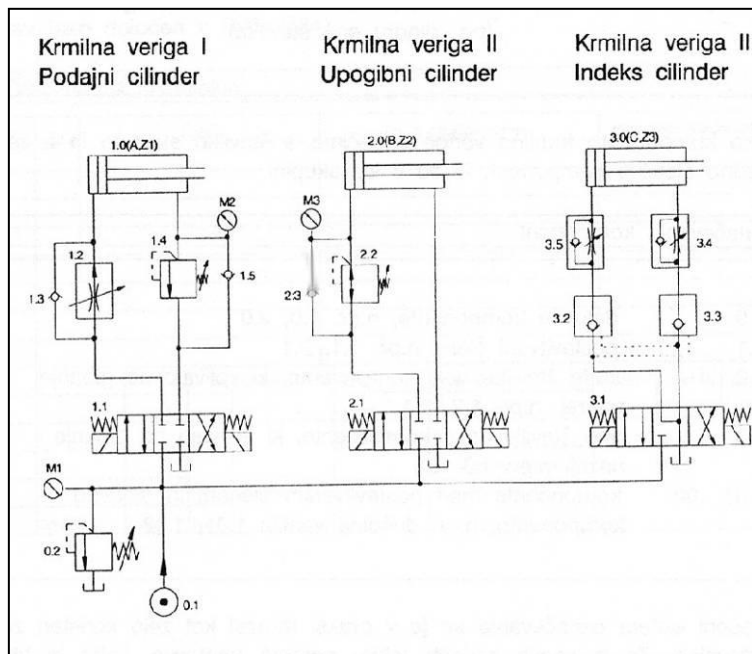
.1 delovni ventili 1.1

.2, .4 sign.-krmilne ventili za gibanje naprej 1.2, 1.4

.3, .5 sign.-krmilne ventili za gibanje nazaj 1.3, 1.5

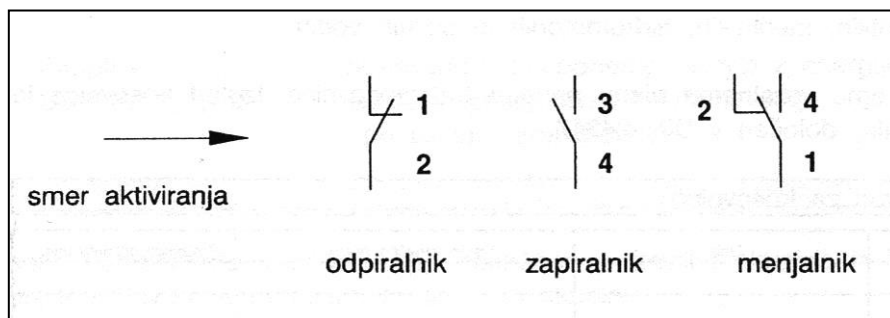
.01, .02 komponente med .0 in

.1 /1.01, 1.02/

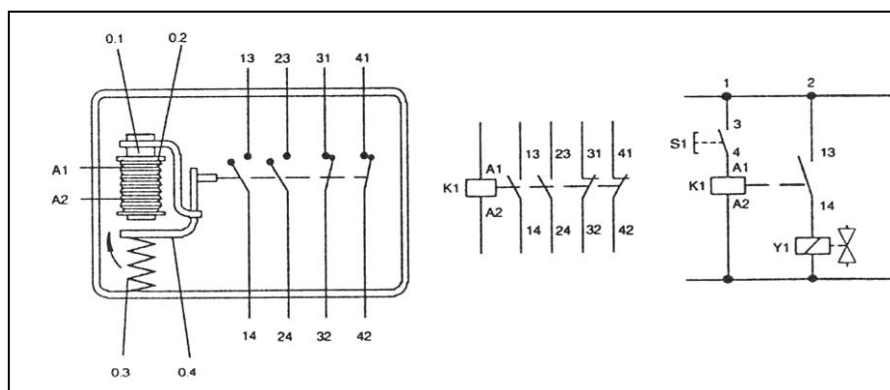


Električni vezalni plan

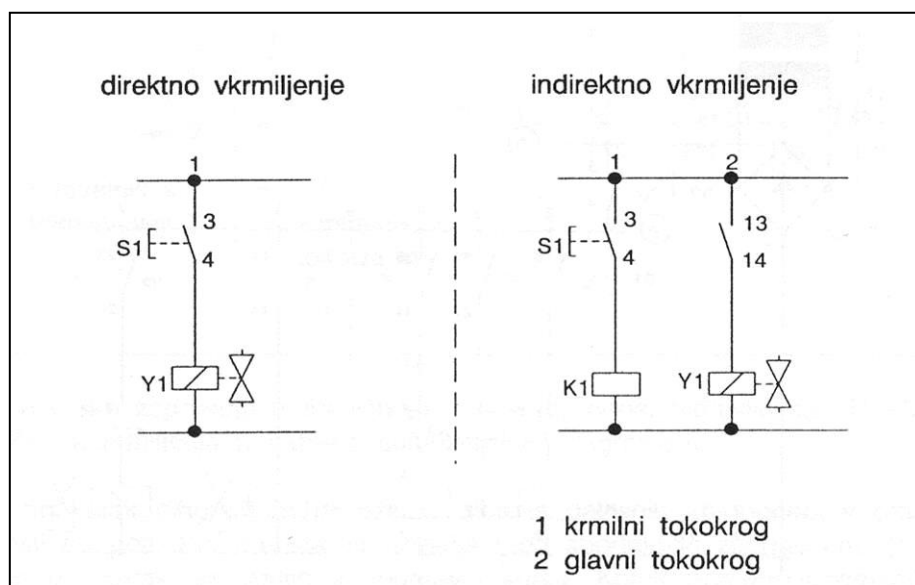
Označbe priključkov na stikalnih členih



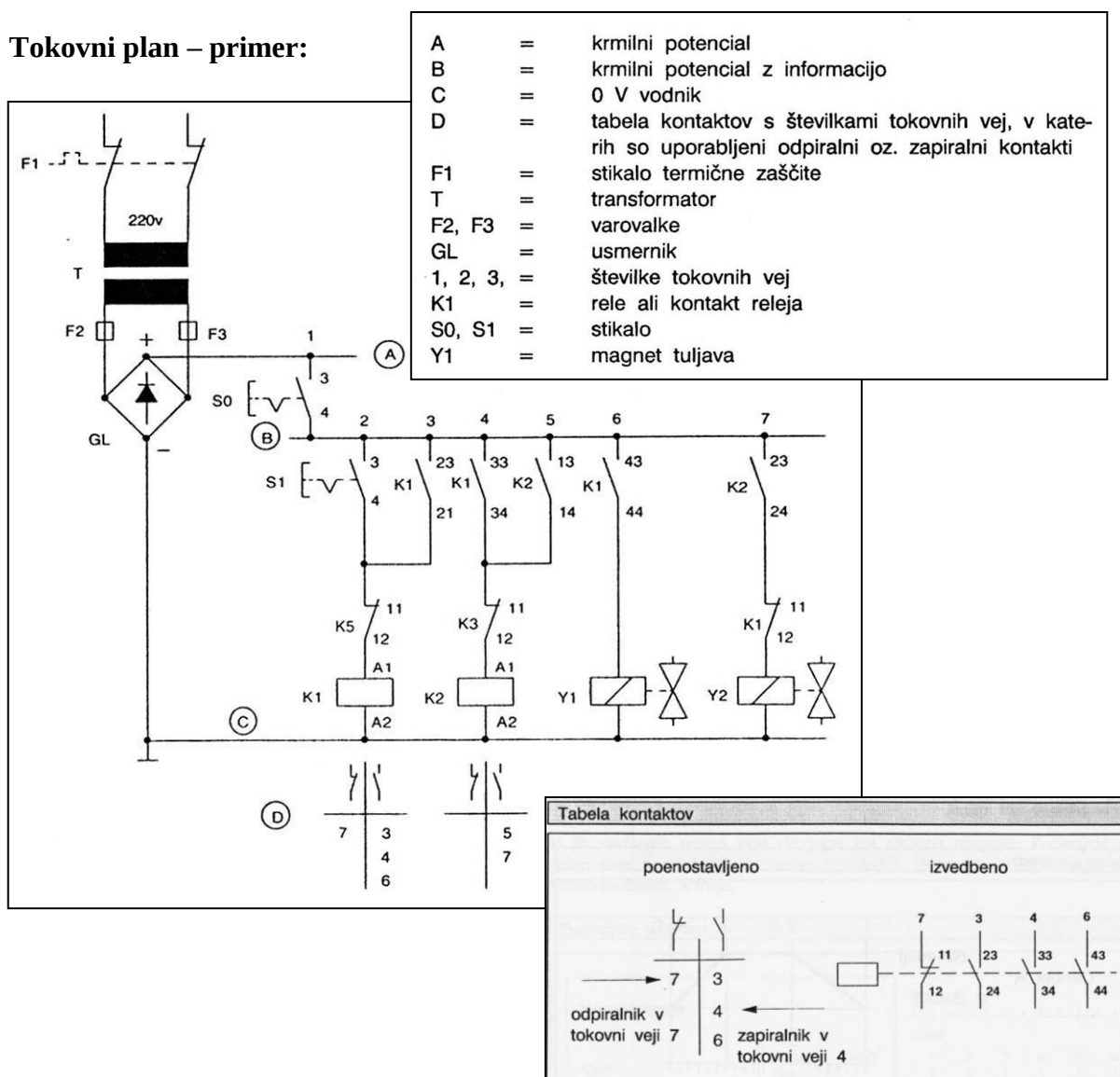
Označbe priključkov na relejih



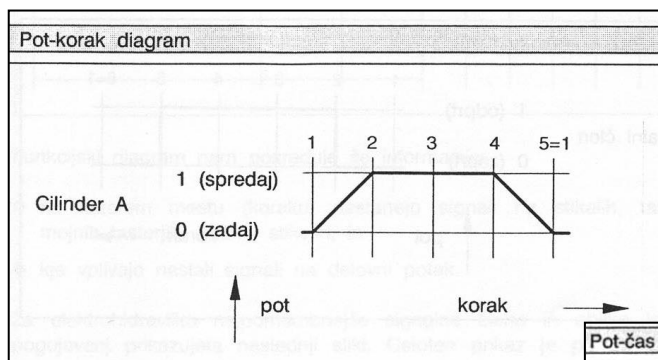
Direktno in indirektno vkrmiljenje:



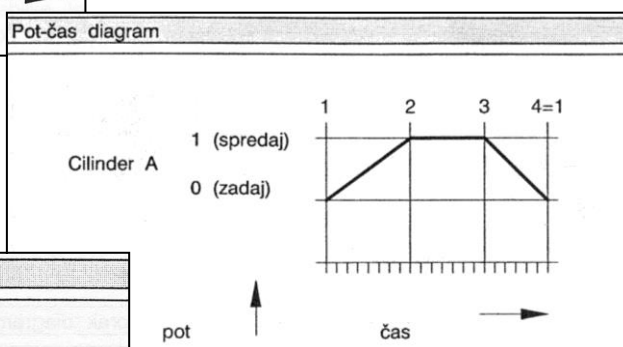
Tokovni plan – primer:



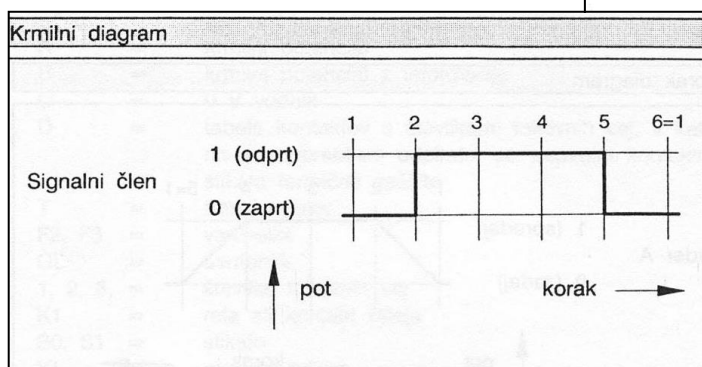
Pot-korak diagram



Pot-čas diagram

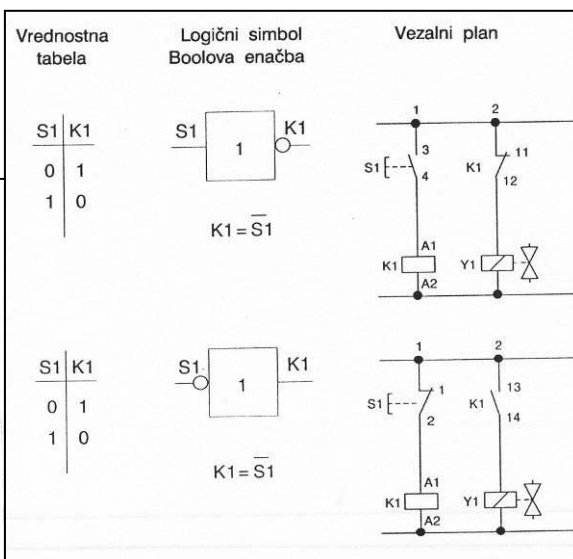
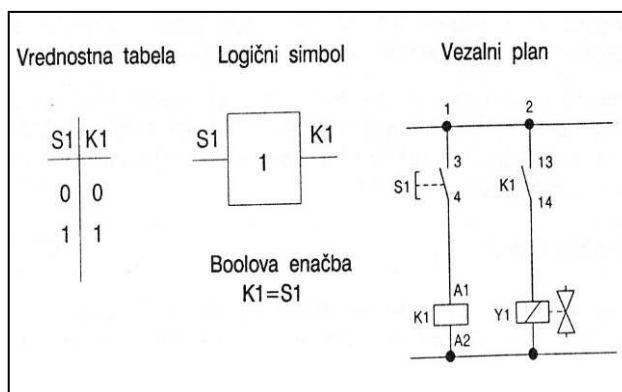


Krmilni diagram



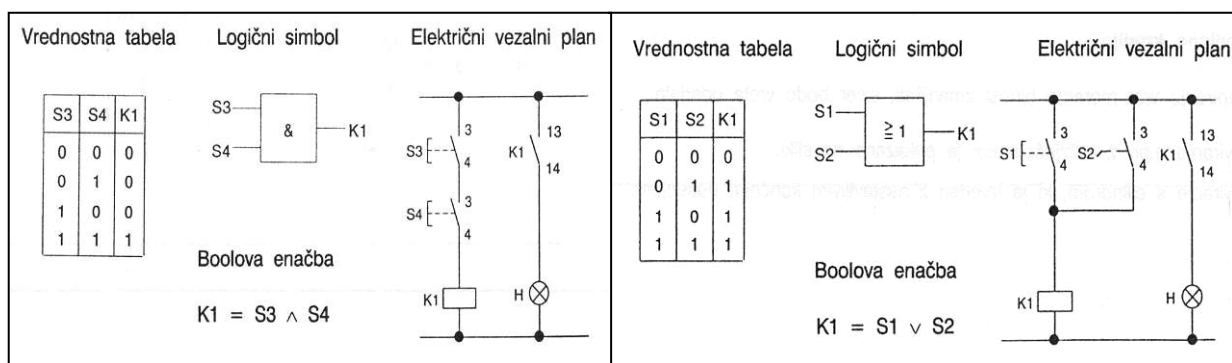
Izvedba osnovnih logičnih funkcij relejno-kontaktne tehniki

Identičnost signala in logična »NE« funkcija – negacija

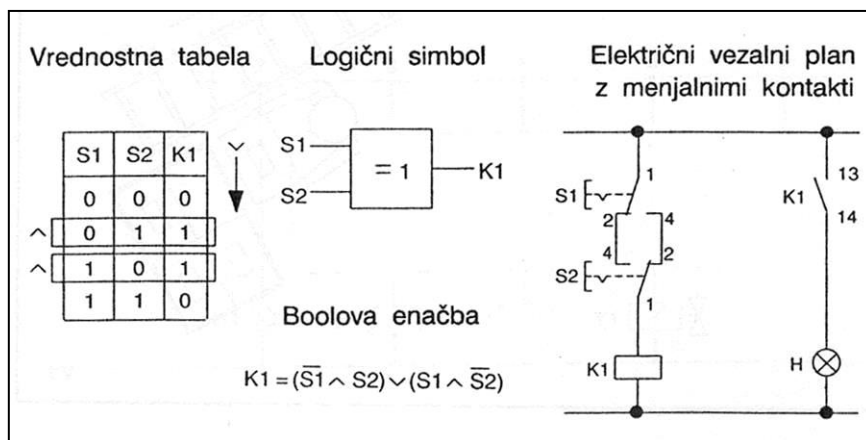


Logična »IN« funkcija – konjunkcija

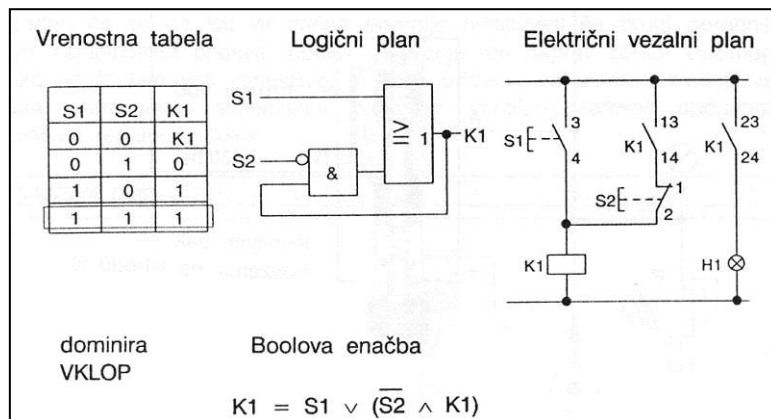
Logična »ALI« funkcija – disjunkcija



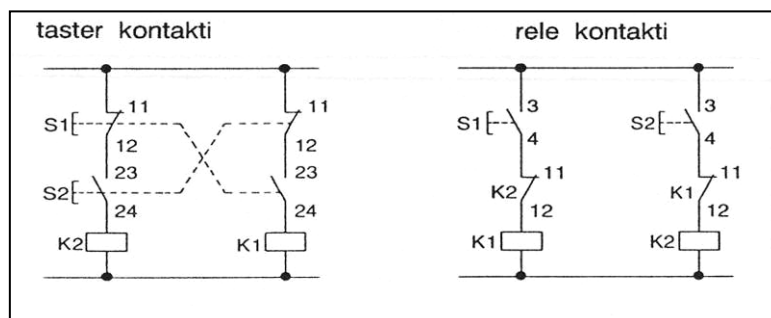
Ekskluzivni "ALI"



Pomnilniška funkcija – samodržna vezava



Blokada sočasnega vklopa

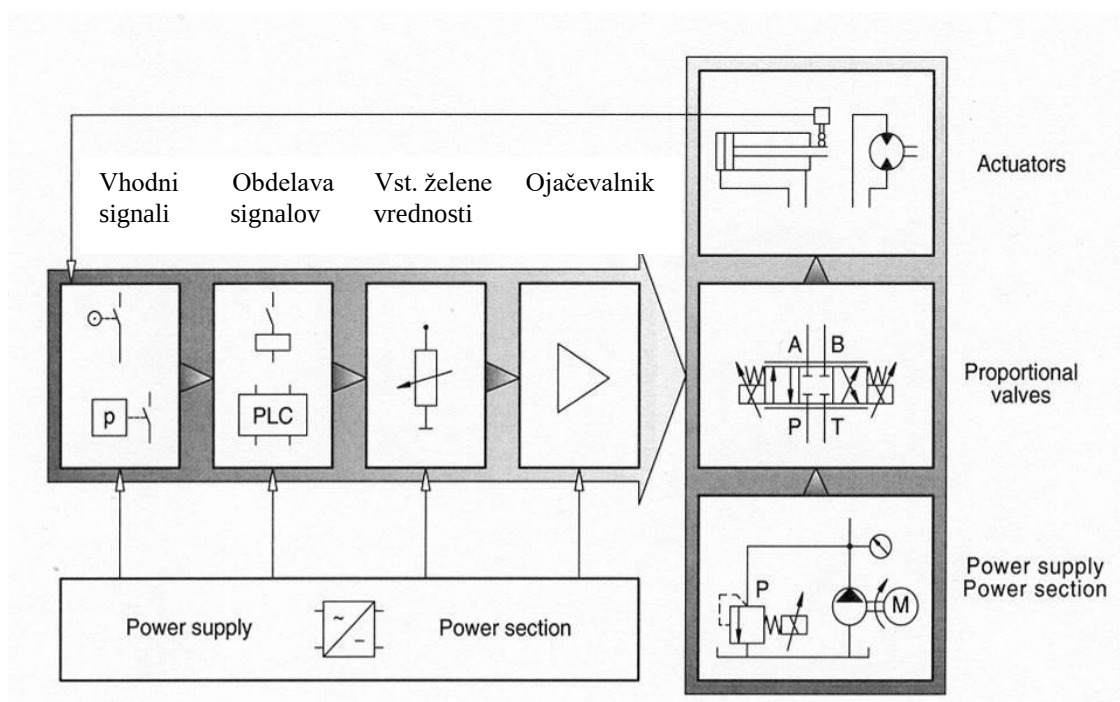


Nekaj o proporcionalni hidravliki

Splošno o delovanju

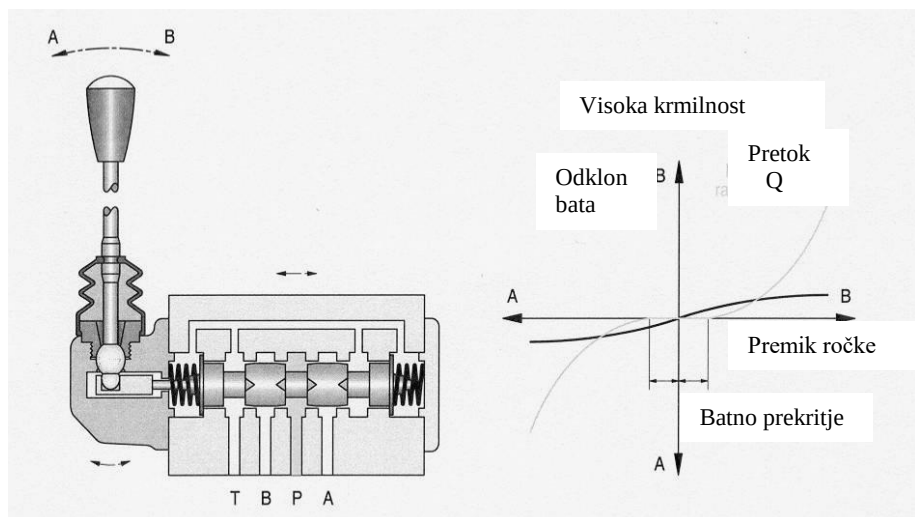
Princip delovanja proporcionalnega hidravličnega sistema se kaže v tem, da se potni ventil odpira oz. zapira v odvisnosti od vrednosti vhodnega signala, in tako zvezno spreminja hitrost delovne komponente. Prav tako lahko zvezno spreminjamo tlak s proporcionalnim tlačnim ventilom in dosežemo želeno silo ali moment v valju oz. hidromotorju.

Proporcionalni ventili združujejo več funkcij, zato se zmanjšuje število komponent na minimum. Proporcionalni magneti predstavljajo vmesne člene med signalno krmilnim delom in izvršilnim močnostnim delom.



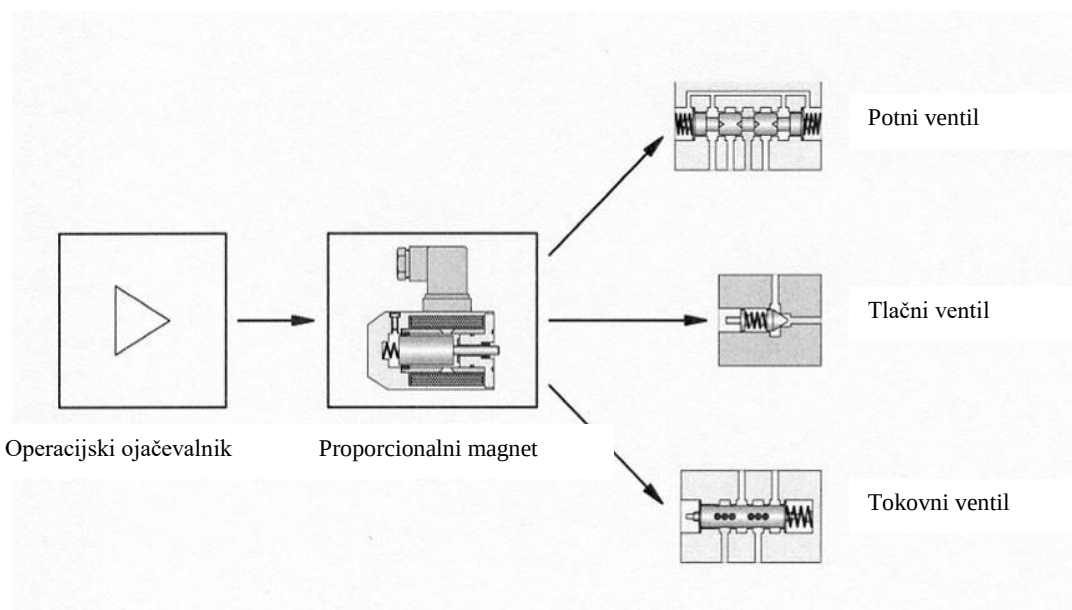
Primerjava proporcionalnega sistema s krmiljenjem ročnega potnega ventila mobilne hidravlike:

Dosežemo dokaj veliko stopnjo proporcionalnosti med premikom ročke in odklonom krmilnega bata v ventilu. Poleg tega je dosežena dobra krmilnost pretoka ob velikem prestavnem razmerju premikom ročke in pretokom (če izvajamo vpliv batnega prekritja).

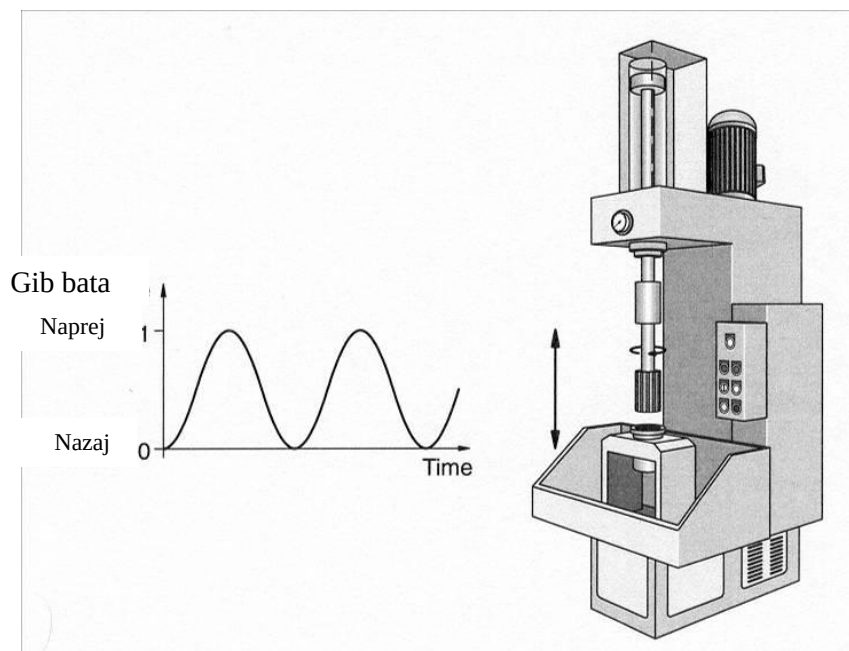


Delovanje proporcionalnih ventilov

Vhodna vrednosti signala se ojača in preoblikuje v magnetni fluks, ki povzroči premik krmilnega bata v ventilu. Proporcionalni magneti krmilijo potne, tlačne in tokovne ventile.



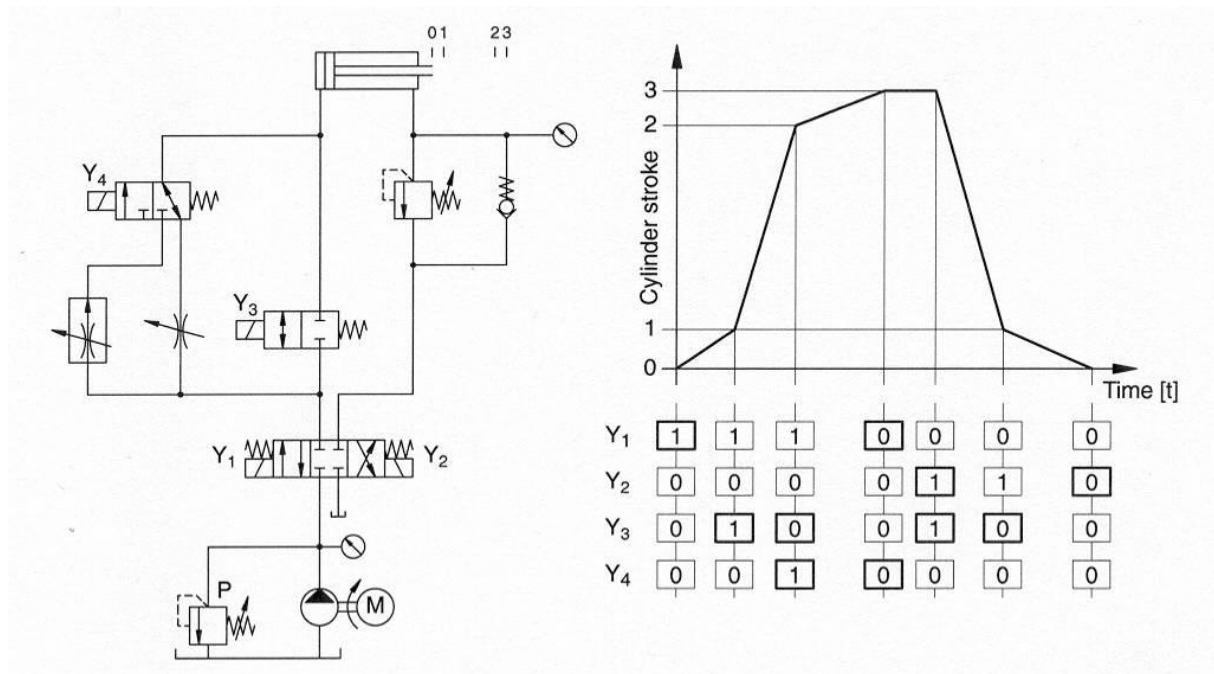
Primer proporcionalnega krmiljenja stroja za honanje: krmilimo pot, hitrost in pospešek orodja. Dobimo je mehek prehod pri spremembi smeri gibanja in časovno skladnost v delovanju.



Primerjava klasične hidravlike s proporcionalno

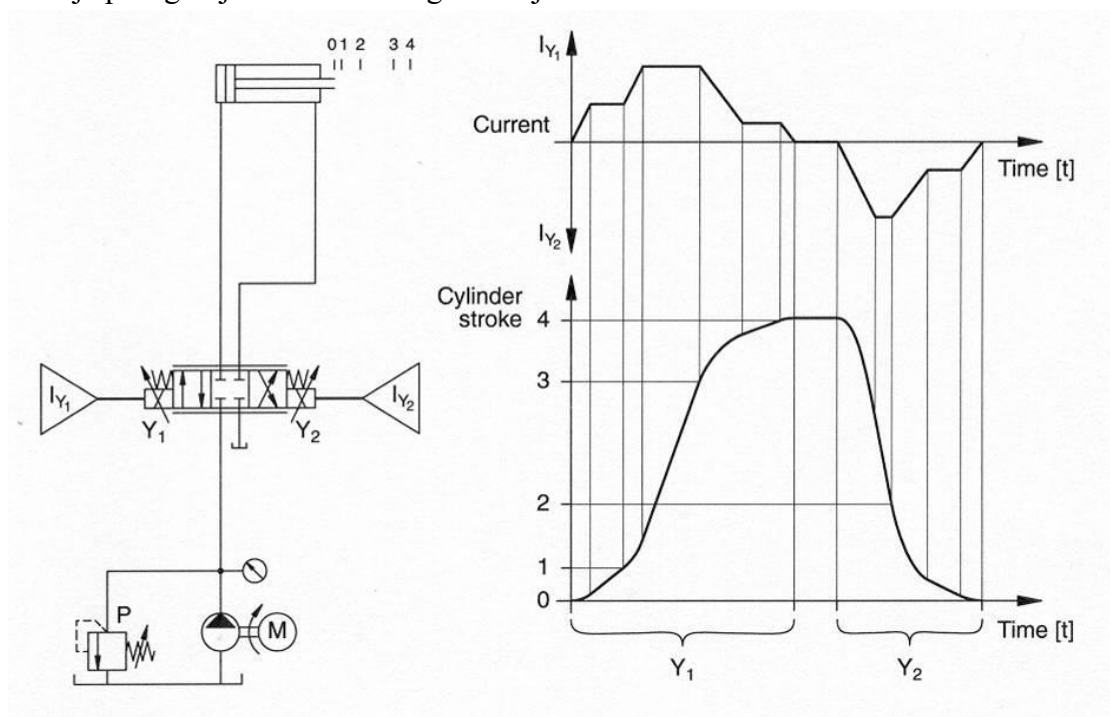
Elektrohidravlično krmiljenje:

- krmiljenje hitrosti je stopničasto
- potrebnih več signalnikov za krmiljenje hitrosti
- obsežnost krmilne opreme



Proporcionalno krmiljenje:

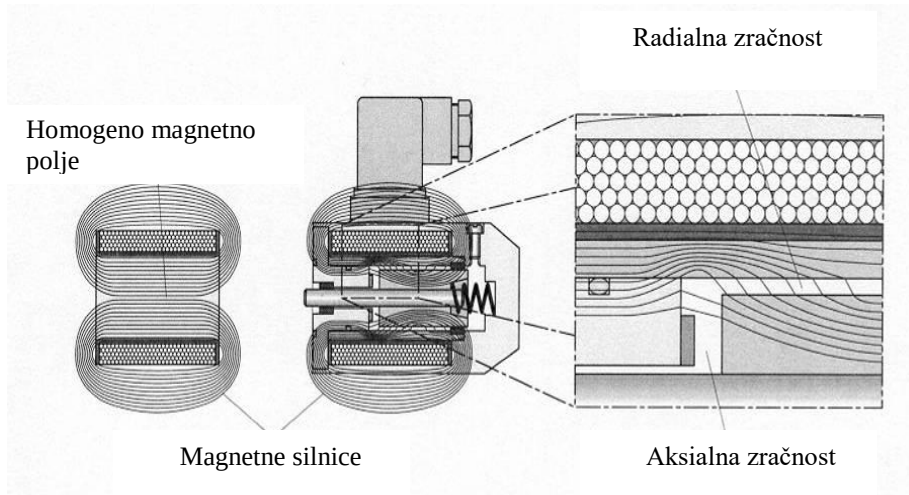
- močno zmanjšan hidravlični krmilni obseg (enostavnejši)
- razširjen električni krmilni del
- dodatne zahteve pri določitvi vhodnih vrednosti in prehodnih funkcij (rampe)
- večja prilagodljivost električnega krmilja



Elektromagneti

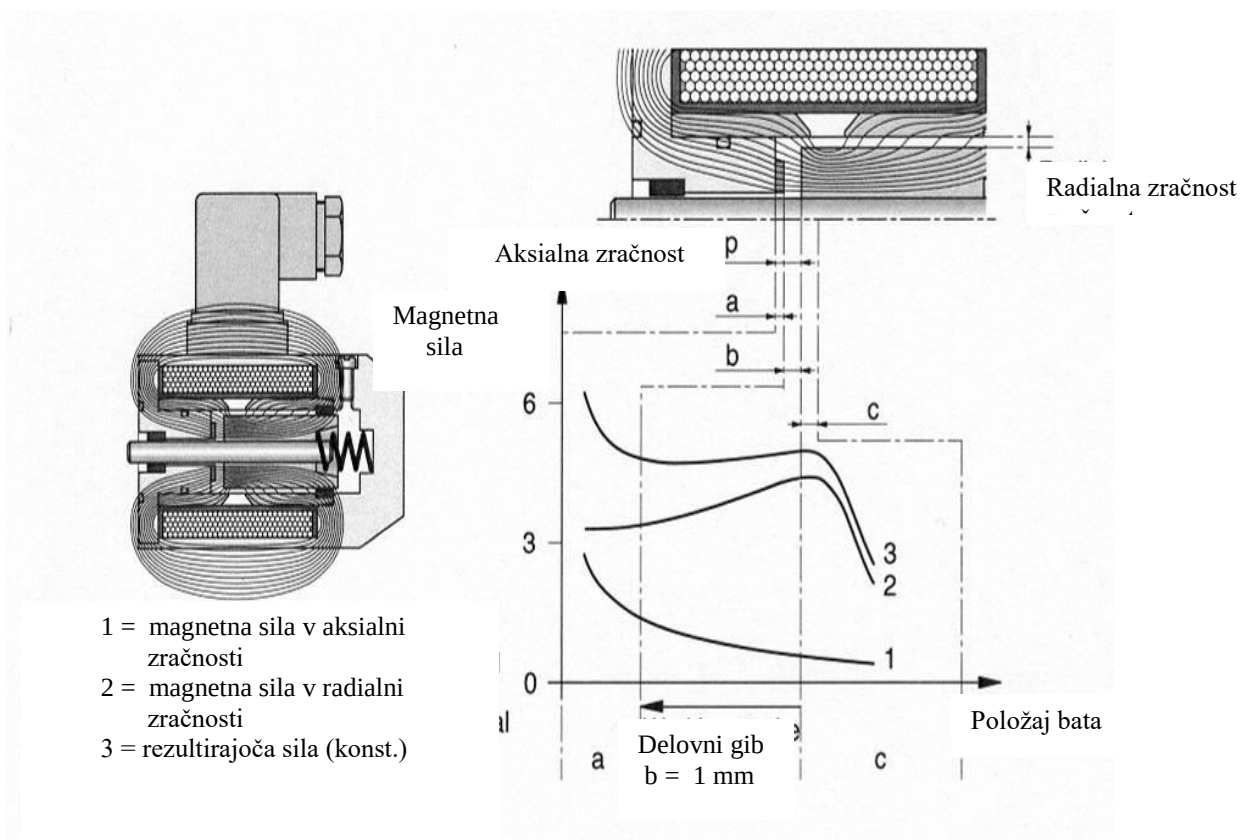
Navadni elektromagnet DC

Magnetna sila deluje na kotvo v glavnem preko radialne zračnosti, medtem ko je sila preko jedra majhna. Pritezna sila magneta ni konstantna pri premiku kotve.

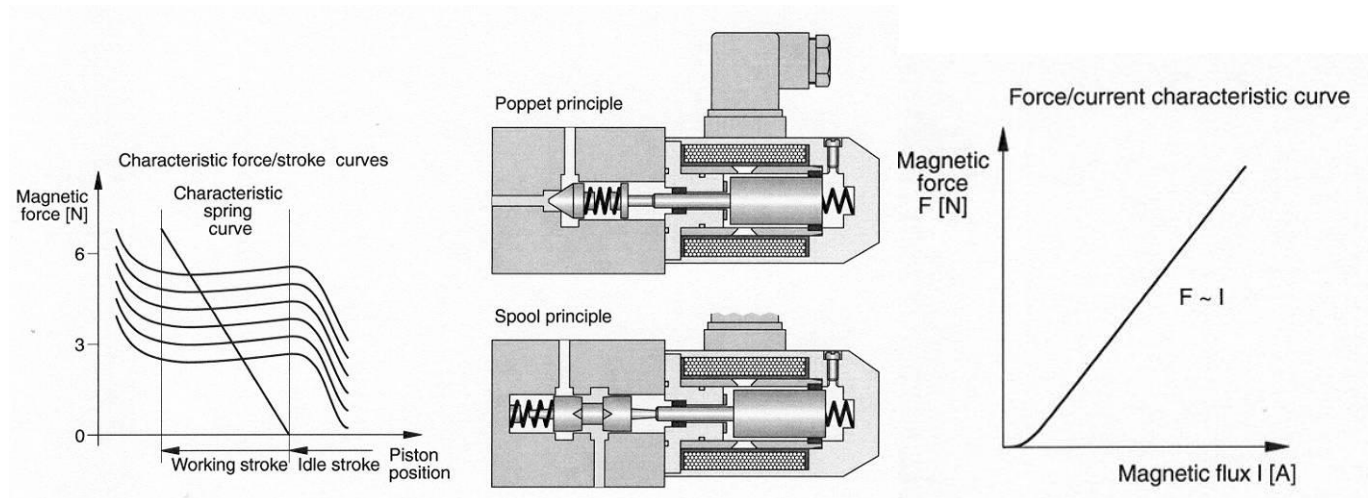


Proporcionalni magnet

Razporeditev magnetnih silnic je zaradi konstrukcijskih ukrepov ugodnejša in dobimo pri določenem vzbujevalnem toku v tuljavi konstantno magnetno silo v delovnem območju giba – glej diagram.



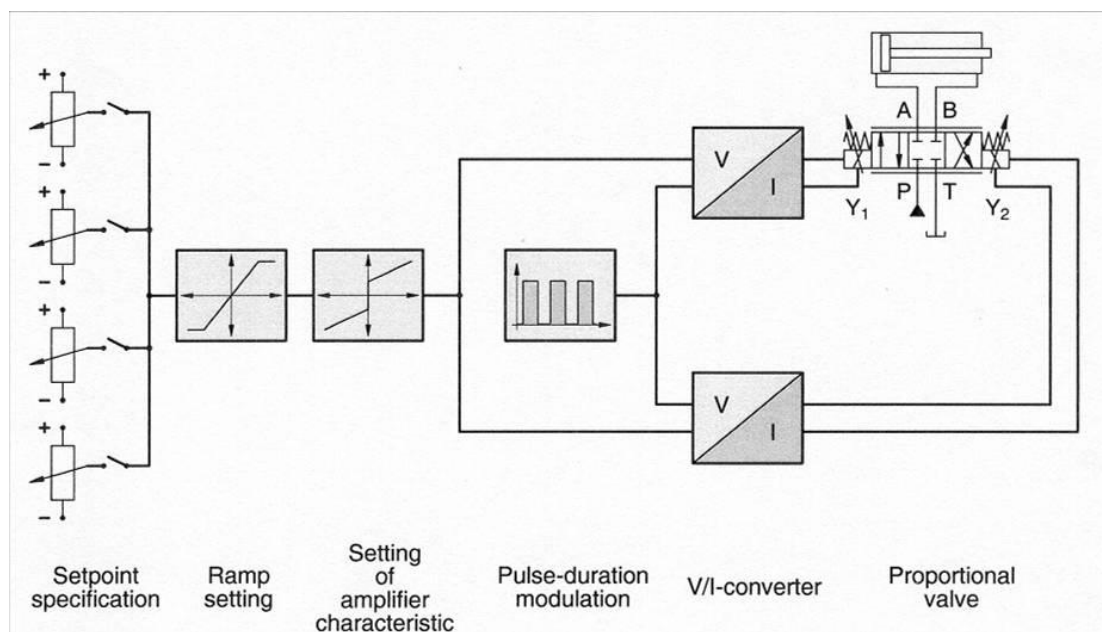
Magnetna sila proporcionalnega magneta je tako linearno odvisna od magnetilnega toka (desni diagram). Če spreminjamo tok, se ustrezno spreminja tudi magnetna sila, ki premaguje silo vzmeti ventila. Odnos med magnetno silo, silo vzmeti in delovnim gibom kaže levi diagram.



Proporcionalni magnet predstavlja pretvornik električnega signala v mehničnega, s katerim vplivamo na delovanje ventilov tako, da krmilijo izhodne veličine (tok olja, tlak) sorazmerno s vrednostjo električnega signala.

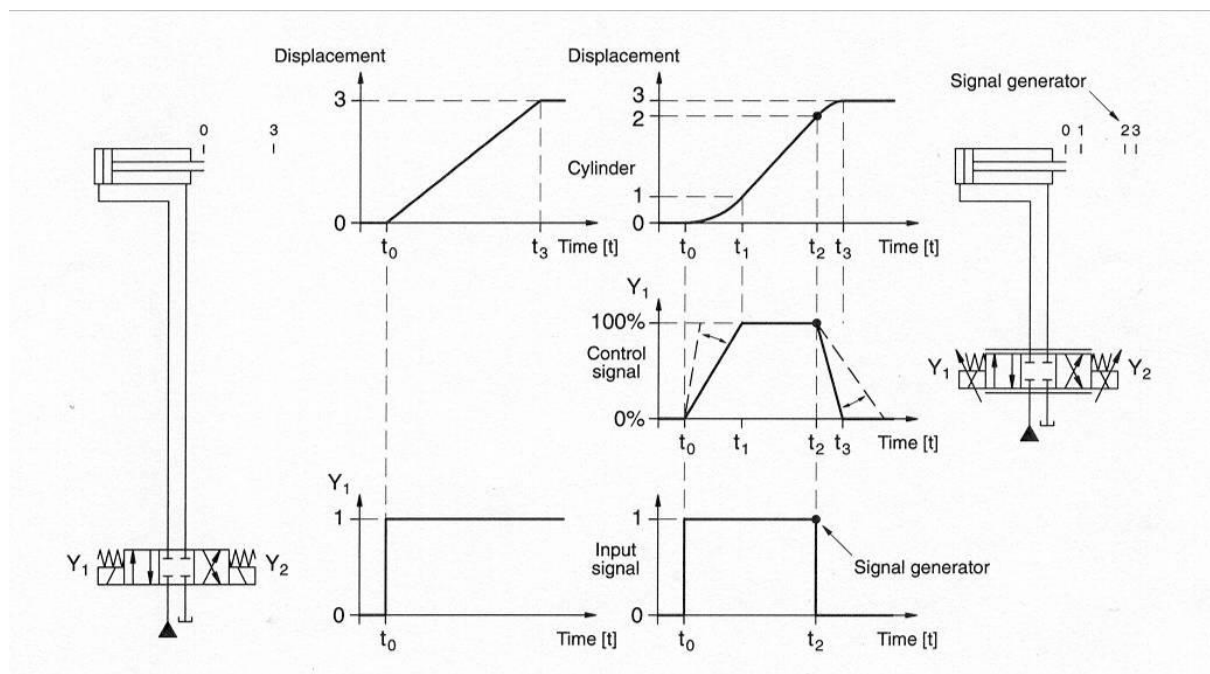
Elektronska podpora proporcionalnim magnetom

Elektronski del obsega »kartico« za nastavljanje želenih vrednosti in operacijski ojačevalnik. Na ojačevalniku nastavljamo vrednosti prehodnih funkcij – rampe, ojačevalne karakteristike, frekvenco PWM (pulzno širinski modulator). Na izhodu operacijskega ojačevalnika je napetostno-tokovni pretvornik, katerega tok teče na proporcionalni magnet.



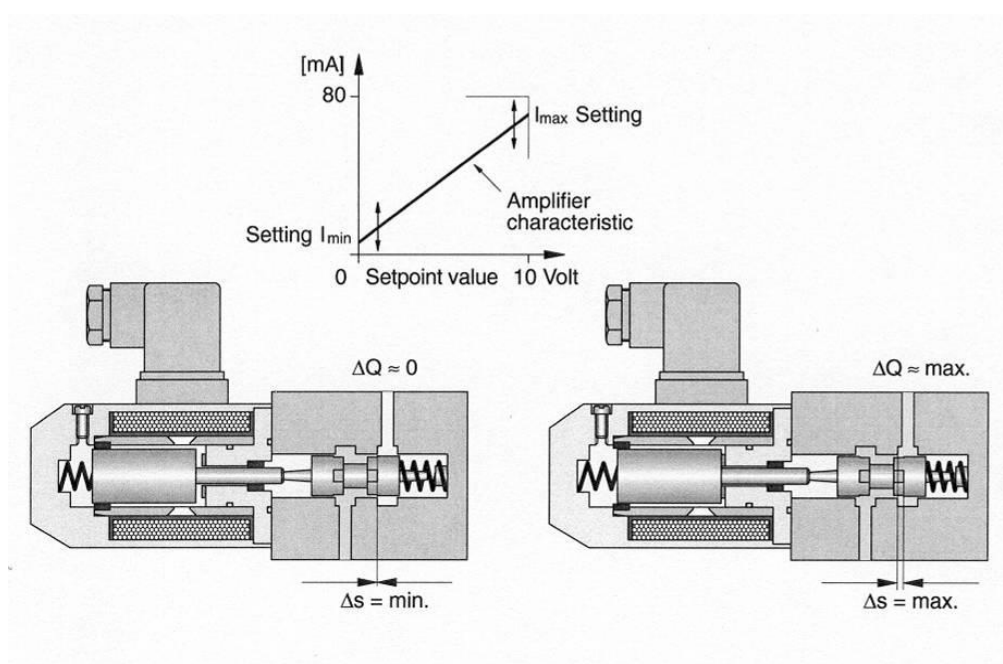
Primerjava gibanja batnice klasičnega in proporcionalnega krmiljenja

Iz diagramov vidimo razliko v načinu gibanja batnice pri uporabi klasičnega potnega ventila, ali proporcionalnega, kjer lahko nastavimo »rampe« za pospeševanje oz. pojemanje hitrosti batnice. Tokovni signal ni diskreten in se spreminja od 0 do 100 %, temu sledi tudi pretok olja v valj. Izognemo pa se tudi pojavu tlačnih konic.



Nastavitve ojačevalnika

Na ojačevalniku nastavljamo tokovno področje / ojačevalno karakteristiko. Izhodni tok je odvisen od vhodne vrednosti napetosti, ki znašajo od 0 do 10 V (-10 V), katerim ustreza vrednost min. oz. max. toka. Največji tok na izhodu je 1000 mA, napajalna napetost ojačevalnika je 24 V DC.



Shema na levi kaže povezavo ojačevalnika z magnetom.

V_i – vhodni signal (0 ... 10 V)

V_v – napajalna napetost 24 V DC

I_{eff} – efektivni magnetilni tok

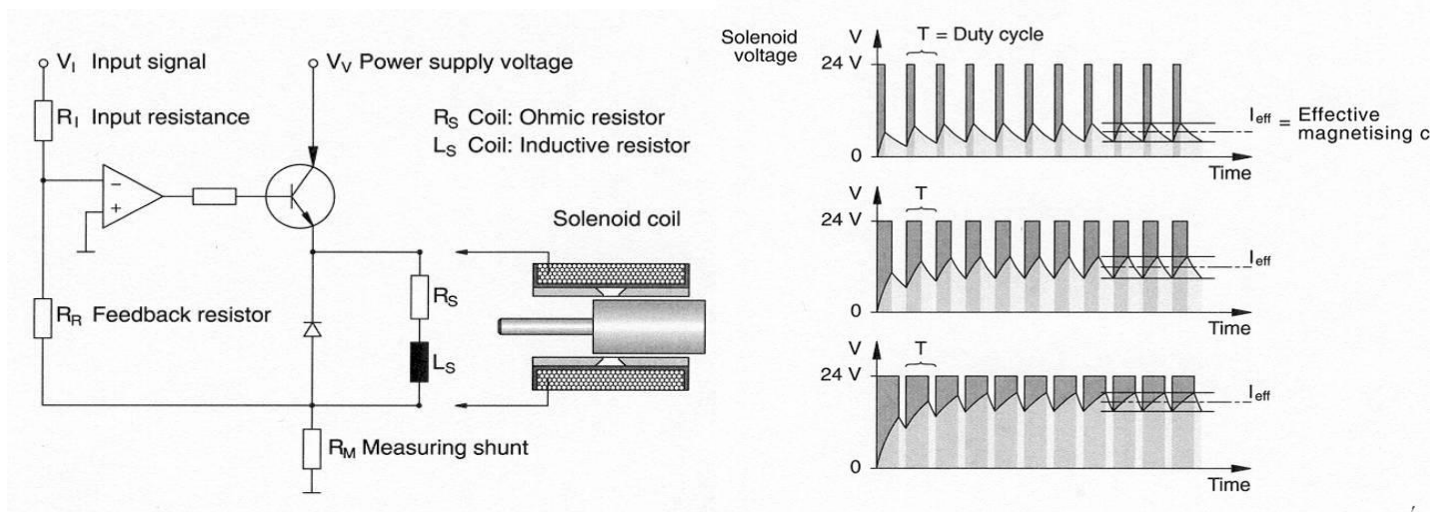


Diagram na desni kaže odvisnost efektivnega toka na izhodu ojačevalnika, ki ga dobimo s posebnim frekvenčnim modulatorjem (pulzno širinska modulacija). Širina polja znotraj ene periode je odvisna od vhodnega signala V_i . Frekvenco modulatorja nastavljamo v odvisnosti od dinamičnih lastnosti ventilov, ki jih krmilimo. Mora biti dovolj različna od lastne frekvence ventila oz. krmilnega bata. Zaradi tega krmilni bat neprestano niha – trepet (dither efekt), kar je ugodno, ker ni statičnega trenja in se zmanjša histereza ventila na minimum.

VZDRŽEVANJE HIDRAVLIČNIH NAPRAV IN SISTEMOV

Analize okvar na hidravličnih napravah nam kažejo, da so osnovni vzroki v slabem vzdrževanju hidravličnih naprav ali v nekvalitetnih hidravličnih napravah določenih proizvajalcev. V nadaljevanju bomo obravnavali le vzroke okvar zaradi slabega vzdrževanja, manj pa ostale vzroke. Prav tako se bomo omejili pri tlačnih tekočinah na hidravlična olja, ki se največ uporabljajo v hidravličnih napravah.

VZROKI OKVAR

Osnovni vzroki okvar na hidravličnih napravah so:

- nečistoče v hidravličnem olju
- nedopustna delovna temperatura
- prisotnost plinov v hidravlični tekočini
- napačno vzdrževanje
- napake v materialih, izdelavi in montaži hidravličnih naprav

Prvi trije vzroki sodelujejo v 95 % vseh napak, zato jim bomo posvetili veliko pozornosti.

Nečistoče v hidravličnem olju

Nečistoče v hidravličnem olju predstavljajo trdi delci, smola, voda itd. Vse to je potrebno izločiti iz olja do najmanjše možne mere. Idealno čistega hidravličnega olja ne moremo dobiti.

Onesnaženje hidravličnega olja se pojavi, če:

- pred pričetkom prvega obratovanja ne izperemo hidravličnih izvršilnih in krmilnih komponent, cevovodov itd.
- rezervoar ni očiščen
- se pojavi korozija na notranjih stenah rezervoarja (slaba protikorozijska zaščita notranjih sten ali če naprava dlje časa ni obratovala)
- pravočasno ne ugotovimo povečane obrabe gibljivih delov hidravlične naprave
- se olje pretaka skozi prelivni ventil, ker ni bil pravočasno zamenjan vložek filtra, je olje neočiščeno
- hidravlični sistem deluje v zelo slabih pogojih (prah, blato, kemijsko agresivna atmosfera itd.)
- se uporablja neustrezno hidravlično olje (zaradi višjih temperatur se pojavi oksidacija)

Zaradi nečistoč v olju se:

- prekomerno obrabijo drsne površine in s tem poveča zračnost
- zamašijo kanali in odprtine pri ventilih
- zamašijo odprtine za mazanje
- pojavljajo vzdolžni risi na površini drsnih batov ventilov in cilindrov
- poveča sila za gibanje bata krmilnih ventilov zaradi izločanja smolnatih komponent iz olja in se le-te oprijemajo na giljive dele

Nedopustna delovna temperatura

Visoke in nizke temperature delujejo negativno na hidravlične sisteme. Visoke temperature vplivajo negativno predvsem na fizikalno-kemijske lastnosti hidravličnega olja (hitro staranje olja) in tesnilnega materiala, lastnosti merilnih naprav in senzorjev. Povečanje temperature vpliva na večje iztočne izgube in s tem tudi izgube energije.

Nizke temperature vplivajo negativno na gostoto in viskoznost hidravličnega olja ter elastičnost in trdnost tesnilnega materiala. Posledica teh sprememb je prav gotovo povečanje potrebne energije za zagon naprave in občutno zmanjšanje mazanja gibljivih delov.

Optimalna delovna temperatura hidravlične naprave je v področju 50 do 70 °C. Naprava za kontrolo temperature je sestavni del hidravlične naprave, da se lahko kontrolira temperatura hidravličnega olja v rezervoarju. Povišana delovna temperatura iznad predpisane vrednosti v obratovanju naprave opozarja na spremembe, ki vodijo do okvare naprave. Zato moramo v takih primerih hidravlično napravo izklopiti in odpraviti vzroke za povišanje temperature.

Prisotnost plinov v hidravlični napravi

Zaradi spremembe tlaka se plin iz hidravličnega olja izloča v obliki mehurčkov. Številni mehurčki plina z oljem tvorijo nehomogeno tekočino, ki vpliva na gostoto, viskoznost in modul elastičnosti olja. Tako se s padcem tlaka v napravi najpogosteje poveča elastičnost volumna olja, kar zmanjša točnost lege izvršilnih komponent.

Prisotnost zraka v mineralnem olju pri določenih pogojih lahko povzroči nastajanje pene, ki poslabša mazalne lastnosti olja, povzroča oksidacijo olja in pospešuje korozijo kovinskih delov.

V neposredni zvezi s prisotnostjo zraka v hidravlični napravi je pojav kavitacije. Problem nastane zaradi izločanja zraka iz olja v območju nižjega tlaka ter njihovega ponovnega vpijanja v območju višjega tlaka, kjer nastane erozija kovinskih delcev.

PRVI ZAGON HIDRAVLIČNE NAPRAVE

Najpogosteje se hidravlična naprava obrabi pri njenem prvem zagonu. Zato moramo upoštevati naslednje predpisane postopke.

1. Najbolje je, da prvo obratovanje izvrši servisna služba proizvajalca.
2. Če pri vključevanju hidravlične naprave obstaja neposredna nevarnost za ljudi, moramo na vidno mesto postaviti opozorilno tablo in poskrbeti za varnost ljudi.
3. Preveriti moramo čistost rezervoarja in ga napolniti s predpisanim hidravličnim oljem.
4. Izključiti moramo avtomatiko za upravljanje krmilnih komponent in preveriti položaj izvršilnih motorjev.
5. Kontrolirati moramo smer vrtenja pogonskega elektromotorja in jo po možnosti tudi označiti.
6. Vključiti moramo napravo in preveriti spoje, velikost tlaka in delovanje izvršilnih komponent.
7. V času od ene do dveh ur obratovanja hidravlične naprave (delovni pogoji) moramo izmeriti temperaturo olja in preveriti delovanje naprave za hlajenje oz. gretje olja, če je ta vgrajena.
8. Preveriti moramo delovanje varnostnih ventilov in jih pravilno nastaviti.
9. Testirati moramo moči hidravlične naprave.

VZDRŽEVANJE HIDRAVLIČNIH SISTEMOV

Cilj vzdrževanja je zagotoviti čim daljši čas obratovanja hidravličnih sistemov, kar zahteva ustrezno organizacijo vzdrževanja.

Poznamo naslednje vrste vzdrževanja hidravličnih sistemov:

- tekoče vzdrževanje
- preventivno vzdrževanje
- obnova (revizija) hidravličnih sistemov
- generalno popravilo

Tekoče vzdrževanje predstavlja vrsto vsakodnevnih opravil, ki jih mora vzdrževalec vestno in redno opraviti.

Ta opravila so:

- pravilno delo z napravo
- kontrola osnovnih parametrov pri obratovanju
- kontrola višine olja v rezervoarju
- kontrola delovne temperature naprave
- spremljanje hitrosti gibanja izvršilnih komponent
- spremljanje šumov
- preverjanje izgub olja na spojih in tesnilih
- evidenca časa obratovanja hidravlične naprave, olja in filtra
- kontrola in pravočasna menjava filterških vložkov

Preventivno vzdrževanje temelji na dolgoletnih izkušnjah, kar omogoča, da na osnovi predhodnih okvar pravočasno ugotovimo vzroke in jih odpravljamo. Preventivno vzdrževanje načrtujemo vnaprej po določenih urah obratovanja ali v določenih časovnih presledkih.

Obnova (revizija) hidravličnega sistema

Hidravlični sistem vsebuje vrsto elementov, ki se v obratovanju izrabijo in jih moramo zamenjati. To predpisuje proizvajalec na osnovi življenjske dobe določenih sestavnih elementov sistema. Hidravlični sistem obnavljamo, da podaljšamo njegovo življensko dobo. To lahko naredimo večkrat vse do generalnega popravila naprave.

Generalno popravilo hidravličnega sistema sledi po preteku določene obratovalne dobe, ki jo je določil proizvajalec. Če pa pride do večjih okvar že pred tem rokom, moramo to opraviti že prej. To popravilo največkrat izvaja proizvajalec opreme.

VIRI:

- [1] Cajhen, Rafael: Regulacije, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elekt. in računalništvo, Ljubljana, 1990.
- [2] Beovič, Anton: Hidravlika, Zavod Republike Slovenije za šolstvo in šport, Ljubljana, 1993.
- [3] Deppert, W., Stoll, K.: Pneumatik in der Verpackungstechnik, Vogel- Buchverlag Würzburg, 1982.
- [4] Meixner, H., Sauer E : Uvod v elektropneumatiko, Festo Didactic, Esslingen, 1983.
- [5] Kiker, E.: Hidravlika in pnevmatika- zbrano gradivo, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Maribor, 1997.
- [6] Kiker, Edvard in Cajhen, Rafael: Regulacijska tehnika, VTŠ Maribor, Maribor, 1980.
- [7] Meixner, H., Kobler R.: Uvod v pnevmatiko, Radizel: Černel & Rogina, 1989.
- [8] Harb, Robert: Pnevmatika in hidravlika, Zavod Republike Slovenije za šolstvo, Ljubljana, 2001.
- [9] Merkle, D., Schrader, B., Thomas, M.: Hydraulics, Festo Didactic, Denkendorf, 1998.
- [11] Pintarič, Tomaž: Regulacije in krmilja – PNEVMATIKA, Zavod Republike Slovenije za šolstvo, Ljubljana 1998.
- [10] Prede, G., Scholz, D.: Electro-Hydraulics, Festo Didactic, Denkendorf, 2002.
- [12] Harb, Robert: Krmilna tehnika, Tehniška založba Slovenije, Ljubljana 2009.