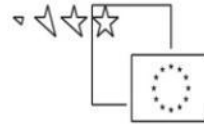




REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA ŠOLSTVO IN ŠPORT



Naložba v vašo prihodnost
OPERACIJO DELNO FINANCIRA EVROPSKA UNIJA
Evropski socialni sklad

AVTOMATIZACIJA IN ROBOTIKA

TOMAŽ PINTARIČ
MARJAN HOČEVAR
JANEZ ČURK
ANDREJ GORENC

Višješolski strokovni program Strojništvo
Učbenik Avtomatizacija in robotika
Gradivo za 2. letnik

Avtorji:

Tomaž Pintarič, univ. dipl. inž. str. (1. in 3. poglavje)
Marjan Hočevar, univ. dipl. ekon. (2. poglavje)
Janez Čurk, inž. ele. (4. poglavje)
Andrej Gorenc, univ. dipl. inž. el. (5. poglavje)



ŠOLSKI CENTER Novo mesto
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Strokovni recenzent:

Drago Simončič, univ. dipl. inž. str.

Lektorica:

Anita Vidic, prof.

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

007.52(075.8)(0.034.2)

681.51(075.8)(0.034.2)

AVTOMATIZACIJA in robotika [Elektronski vir] : gradivo za 2.
letnik / Tomaž Pintarič ... [et al.]. - El. knjiga. - Ljubljana :
Zavod IRC, 2011. - (Višješolski strokovni program Strojništvo /
Zavod IRC)

Način dostopa (URL): http://www.impletum.zavod-irc.si/docs/Skriti_dokumenti/Avtomatizacija_in_robotika-Pintaric_Hocevar_Curk_Gorenc.pdf. - Projekt Impletum

ISBN 978-961-6857-58-1

1. Pintarič, Tomaž, 1964-
258180352

Izdajatelj Konzorcij višjih strokovnih šol za izvedbo projekta IMPLETUM
Založnik Zavod IRC, Ljubljana.
Ljubljana, 2011

Strokovni svet RS za poklicno in strokovno izobraževanje je na svoji 132. seji dne 23.9.2011 na podlagi 26. člena Zakona o organizaciji in financiranju vzgoje in izobraževanja (Ur. l. RS, št. 16/07-ZOFVI-UPB5, 36/08 in 58/09) sprejel sklep št.01301-5/2011/11-2 o potrditvi tega učbenika za uporabo v višješolskem izobraževanju.

© Avtorske pravice ima Ministrstvo za šolstvo in šport Republike Slovenije.

Gradivo je sofinancirano iz sredstev projekta Impletum 'Uvajanje novih izobraževalnih programov na področju višjega strokovnega izobraževanja v obdobju 2008-11'.

Projekt oz. operacijo delno financira Evropska unija iz Evropskega socialnega sklada ter Ministrstvo RS za šolstvo in šport. Operacija se izvaja v okviru Operativnega programa razvoja človeških virov za obdobje 2007-2013, razvojne prioritete 'Razvoj človeških virov in vseživljenjskega učenja' in prednostne usmeritve 'Izboljšanje kakovosti in učinkovitosti sistemov izobraževanja in usposabljanja'.

Vsebina tega dokumenta v nobenem primeru ne odraža mnenja Evropske unije. Odgovornost za vsebino dokumenta nosi avtor.

KAZALO

1	NAČRTOVANJE SISTEMOV VODENJA	5
1.1	OSNOVNI POJMI SISTEMA VODENJA	6
1.1.1	Sistem	6
1.1.2	Vstopne in izstopne veličine	7
1.1.3	Informacije in signali	8
1.1.4	Pomnilnik	9
1.2	ODPRT SISTEM VODENJA	9
1.3	ZAPRT SISTEM VODENJA	11
1.4	OSNOVE TEORETIČNE OBDELAVE SIGNALOV ZA VODENJE	13
1.4.1	Logična funkcija IN (AND)	13
1.4.2	Logična funkcija ALI (OR)	14
1.4.3	Logična funkcija NE (NOT)	14
1.4.4	Logična funkcija NIN (NAND) – kombinacija funkcij IN in NE	15
1.4.5	Logična funkcija NALI (NOR) – kombinacija funkcij ALI in NE	15
1.4.6	Skrajševanje dolgih signalov	15
1.4.7	Podaljšanje kratkih signalov	16
1.4.8	Premaknitev signala	16
1.4.9	Stikalna (Boolova) algebra	16
1.4.10	Primer zapisa logičnega delovanja sistema za vodenje	17
1.5	FUNKCIJSKI DIAGRAM	18
1.6	NAČRTOVANJE KRMILIJ	20
2	PNEVMATIČNA IN ELEKTROPNEVMATIČNA KRMILJA	23
2.1	OSNOVE PNEVMATIKE	24
2.2	PRIDOBIVANJE STISNJENEGA ZRAKA	26
2.2.1	Linijski batni kompresorji	27
2.2.2	Vrtljivi batni kompresorji	28
2.2.3	Membranski kompresorji	28
2.2.4	Rootsov kompresor	28
2.2.5	Vijačni kompresorji	28
2.2.6	Večkomorni vrtljivi kompresor	29
2.2.7	Turbo kompresorji	29
2.3	PRIPRAVA ZRAKA	30
2.3.1	Absorpcijsko sušenje	31
2.3.2	Adsorpcijsko sušenje	31
2.3.3	Sušenje z ohladitvijo	32
2.3.4	Omrežje stisnejnega zraka	33
2.3.5	Dimenzioniranje cevovodov	35
2.3.6	Pretočni upor	36
2.3.7	Shranjevalnik stisnjenega zraka	38
2.3.8	Pripravna skupina	39
2.3.9	Regulator tlaka	42
2.3.10	Naoljevalnik	43
2.4	PNEVMATIČNE DELOVNE (IZVRŠILNE) KOMPONENTE	47
2.4.1	Pnevmatične komponente za premočrtno gibanje	47
2.4.2	Pnevmatične komponente za rotacijsko gibanje	50
2.4.3	Pnevmatični motorji	51
2.4.4	Načini pritrditve cilindrov	53
2.4.5	Dimenzioniranje cilindra	53
2.4.6	Izračun porabe zraka	54
2.5	PNEVMATIČNE KRMILNE KOMPONENTE	56
2.5.1	Potni ventili	56
2.5.2	Zaporni ventili	60
2.5.3	Tlačni ventili	61
2.5.4	Tokovni in zapirni ventili	62
2.5.5	Sestavljeni ventili, zlogi ali moduli	63
2.5.6	Izdelava pnevmatičnih vezalnih shem	64
2.6	ELEKTROPNEVMATIKA	69
2.6.1	Tipi kontaktov v elektrotehniki	70
2.6.2	Načini aktiviranja kontaktov	70

2.6.3	Električne naprave za obdelavo signalov	74
2.6.4	Elektromagnetni ventili	75
3	HIDRAVLIČNA IN ELEKTROHIDRAVLIČNA KRMILJA	81
3.1	TEORETIČNE OSNOVE HIDRAVLIKE	84
3.1.1	Uporabnost hidravlike	84
3.1.2	Fizikalne osnove hidravlike	84
3.1.2.1	Tlak	84
3.1.2.2	Širjenje tlaka	87
3.1.2.3	Prenos sile	88
3.1.2.4	Prenos poti	89
3.1.2.5	Prenos tlaka	91
3.1.2.6	Prostorninski tok	92
3.1.2.7	Enačba kontinuitete	93
3.1.2.8	Moč	93
3.2	TLAČNA TEKOČINA	96
3.2.1	Naloge tlačnih tekočin	96
3.2.2	Vrste tlačnih tekočin	96
3.2.3	Lastnosti in zahteve	97
3.3	ZGRADBA HIDRAVLIČNEGA KRMILJA	98
3.3.1	Oskrba s hidravlično energijo	98
3.3.1.1	Pogon	98
3.3.1.2	Črpalka	99
3.3.1.3	Sklopka	101
3.3.1.4	Rezervoar - tank	102
3.3.1.5	Filter	103
3.3.1.6	Hladilnik	103
3.3.1.7	Grelnik	104
3.3.2	Hidravlične delovne komponente	105
3.3.2.1	Enosmerni cilinder	105
3.3.2.2	Dvosmerni cilinder	106
3.3.2.3	Hidromotorji in zasučni motorji	108
3.3.3	Hidravlični ventili	109
3.3.3.1	Tlačni ventili	110
3.3.3.2	Potni ventili	111
3.3.3.3	Zaporni ventili	113
3.3.3.4	Tokovni ventili	114
3.3.4	Dodatna oprema za hidravlično krmilje	115
3.4	PRAKTIČNI PRIMERI HIDRAVLIČNIH KRMILJ	118
3.4.1	Vtiskovalna stiskalnica	118
3.4.2	Zajemalna naprava	119
3.4.3	Sušilna peč	121
3.4.4	Hidravlični primež	123
3.5	OSNOVE ELEKTROHIDRAVLIČNIH KRMILJ	125
3.5.1	Dajalniki električnih vhodnih signalov - stikala	126
3.5.2	Elektromagnetni stikalni elementi	126
3.5.3	Električni senzorji – dajalniki signalov	127
3.5.4	Elektromagnetni potni ventili	128
3.6	PRIKAZ ELEKTROHIDRAVLIČNIH KRMILJ	128
3.6.1	Shema električnega dela krmilja	129
3.7	PRAKTIČNI PRIMERI ELEKTROHIDRAVLIČNIH KRMILJ	131
3.7.1	Ravnalna proga	131
3.7.2	Stiskalnica za brizganje plastike	133
3.7.3	Avtomatizacija tekočega traku – kretnica	135
4	PROGRAMIRLJIVA LOGIČNA KRMILJA - PLK	138
4.1	KAJ SO RAČUNALNIŠKA KRMILJA	138
4.1.1	Zgodovina PLK-jev	138
4.2	OSNOVE DIGITALNE TEHNIKE	139
4.2.1	Vrste električnih krmilj	139
4.2.2	Oblike signalov v krmilni tehniki	139
4.2.3	Integrirana logična vezja	140
4.2.4	Logične funkcije	141
4.2.5	Tabela z opisom logičnih funkcij	142
4.2.6	Izvedba osnovnih logičnih funkcij z stikali in releji	143

4.2.7	Izvedba osnovnih logičnih funkcij s polprevodniki	143
4.2.8	Izvedba osnovnih logičnih funkcij s pnevmatiko	143
4.3	ZGRADBA IN DELOVANJE PLK	144
4.3.1	Centralna procesorska enota (CPU)	144
4.3.2	Vhodni modul	145
4.3.3	Izhodni modul	145
4.4	RAZLIČNE IZVEDBE KRMILNIKOV	146
4.4.1	Kompaktni krmilniki (Compact PLC)	146
4.4.2	Sestavljivi ali modularni krmilniki ali (Modular PLC)	146
4.5	NAČINI PROGRAMIRANJA PLK-JEV	147
4.6	PREDSTAVITEV KRMILNIKA SIEMENS S-200	148
4.7	PROGRAMIRANJE KRMILNIKA S STEP 7 PROGRAMOM	149
4.7.1	Program v ladder diagramu (LAD)	153
4.7.2	Izdelava programa za manipulator – koračno krmiljenje	154
5	OSNOVE ROBOTIKE	157
5.1	UVOD IN OSNOVNI POJMI V ROBOTIKI	157
5.2	UVOD	157
5.3	OSNOVNE DEFINICIJE V ROBOTIKI	159
5.4	OSNOVNI STATISTIČNI PODATKI	160
5.5	RAZLOGI ZA UVAJANJE	163
5.5.1	Področja uporabe industrijskih robotov	163
5.5.2	Vzroki robotizacije	163
5.5.3	Pomembne komponente pri uvajanju robotizacije	164
5.5.4	Osnovna analiza ekonomičnosti in rentabilnosti	166
5.6	GLAVNE OSNOVNE LASTNOSTI ROBOTOV	167
5.6.1	Razlika med robotom in avtomatom	167
5.6.2	Osnovne zgradbe robotov	167
5.6.3	Tipi segmentov in sklepov	170
5.6.4	Prostostne stopnje (ang. DOF - Degree Of Freedom)	171
5.6.5	Neredundanten in redundanten robot	173
5.6.6	Zunanje in notranje spremenljivke robota	173
5.6.7	Delovni in priročni delovni prostor robota	175
5.6.8	Primeri predstavitve delovnega prostora robota	176
5.7	NAČINI UČENJA IN PROGRAMIRANJA ROBOTOV	177
5.7.1	Načini učenja robota	177
5.7.2	Robotski jeziki	181
5.8	ROBOTSKA PRIJEMALA	182
5.8.1	Robotska prijemala	182
5.9	IZBIRA USTREZNEGA INDUSTRIJSKEGA ROBOTA	184
5.9.1	Delovni prostor	185
5.9.2	Orientacija prijemala ali orodja	185
5.9.3	Obremenitev robota	185
5.9.4	Natančnost pozicioniranja	186
5.9.5	Hitrost	187
5.9.6	Zanesljivost	188
5.9.7	Povezovanje z okolico	188
5.10	KINEMATIKA V ROBOTIKI	189
5.10.1	Homogene transformacije	190
5.10.1.1	Translacijska transformacija	190
5.10.1.2	Rotacijske transformacije	190
5.10.2	DH (Denavit – Hartenberg) zapis	192
5.11	PRIHODNOST ROBOTIKE	196
5.11.1	Umetna inteligenca v robotiki	196
5.11.2	Prihodnost robotskih sistemov – roboti 3. generacije	198
6	LITERATURA IN VIRI	200

KAZALO SLIK

Slika 1: Vodenje ladje	5
Slika 2: Sitem vodenja vodnega zbiralnika	6
Slika 3: Model sistema	7
Slika 4: Teoretični model sistema	7
Slika 5: Vstopne in izstopne veličine	8
Slika 6: Informacije in signali v sistemih vodenja	9
Slika 7: Odprt sistem vodenja – krmilni sistem	10
Slika 8: Primer krmiljenja vrtljive plošče	10
Slika 9: Primer odprtega sistema vodenja	10
Slika 10: Vtiskovalna priprava – odprt sistem vodenja	11
Slika 11: Zaprt sistema vodenja – regulacijski sistem	11
Slika 12: Primer regulacije vrtljive plošče	12
Slika 13: Shema zaprtega sistema vodenja – regulacijski sistem	12
Slika 14: Stroj za honanje – pogon s proporcionalnim hidravličnim sistemom	13
Slika 15: Simbol in časovni diagram skrajšanja signalov	15
Slika 16: Simbol in časovni diagram podaljšanja signalov	16
Slika 17: Simbol in časovni diagram premaknitve signala	16
Slika 18: Primera zapisa logičnih povezav z Boolovo algebro	17
Slika 19: Logično premikanje kretnice med dvema tekočima trakovoma	17
Slika 20: Logični zapis sistema vodenja za kretnico	18
Slika 21: Funkcijski diagram pot-korak	18
Slika 22: Časovni funkcijski diagram	18
Slika 23: Funkcijski diagram elektrohidravličnega krmilja	19
Slika 24: Pomen signalov v funkcijskem diagramu	19
Slika 25: Vrste tlakov	24
Slika 26: Princip Boyle Mariottovega zakona	25
Slika 27: Princip Gay Lussacovega zakona	25
Slika 28: Vrste kompresorjev	27
Slika 29: Batni kompresor	27
Slika 30: Dvostopenjski kompresor z vmesnim hlajenjem	27
Slika 31: Membranski kompresor	28
Slika 32: Rootsov kompresor	28
Slika 33: Vijačni kompresor	28
Slika 34: Večkomorni vrtljivi kompresor	28
Slika 35: Aksialni kompresor	29
Slika 36: Radialni kompresor	29
Slika 37: Krivulja nasičenosti	30
Slika 38: Absorpcijsko sušenje	32
Slika 39: Adsorpcijsko sušenje	32
Slika 40: Sušenje z ohladitvijo	32
Slika 41: Obročasti vod	33
Slika 42: Rešetkasta mreža	34
Slika 43: Sistem oskrbe s stisnjenim zrakom	34
Slika 44: Diagram izgube zraka zaradi netesnosti	35
Slika 45: Nomogram za določitev svetlega premera cevi	36
Slika 46: Nomogram za določanje nadomestne dolžine cevi	37
Slika 47: Shranjevalnik zraka	38
Slika 48: Diagram za določitev velikosti shranjevalnika z ustavljanjem	39
Slika 49: Pripravna skupina	40
Slika 50: Pripravna skupina	40
Slika 51: Fini filter	41
Slika 52: Regulator tlaka z odzračevanjem	43
Slika 53: Venturijev princip	43
Slika 54: Naoljevalnik	44
Slika 55: Prikaz elementov za pripravo zraka s simboli	44
Slika 56: Enosmerno delujoči cilinder	47
Slika 57: Dvosmerni cilinder s končnim dušenjem in trajnim magnetom	48
Slika 58: Linearni pogon	49
Slika 59: Linearni pogon	49
Slika 60: Simboli pnevmatskih komponent za linearno gibanje	49
Slika 61: Zasučni cilinder	50
Slika 62: Zasučni cilinder	50
Slika 63: Zasučni krilni cilinder	50
Slika 64: Simboli pnevmatskih komponent za rotacijsko gibanje	51
Slika 65: Radialni motor	51

Slika 66: Lamelni motor	52
Slika 67: Lamelni motor	52
Slika 68: Simboli pnevmatičnih motorjev	52
Slika 69: Načini pritrditve cilindrov	53
Slika 70: Nomogram za določitev porabe zraka	55
Slika 71: Način prikaza ventilov s simboli in oznake ventilov	57
Slika 72: Načini aktiviranja ventilov	57
Slika 73: Osnovno in aktivirano stanje pri 3/2 monostabilnem ventilu	58
Slika 74: Osnovno in aktivirano stanje pri 4/2 monostabilnem ventilu	58
Slika 75: Označevanje priključkov	59
Slika 76: Simboli zapornih ventilov	61
Slika 77: Simboli tlačnih ventilov	62
Slika 78: Simbol tokovnega in zapirnega ventila	62
Slika 79: Časovni ventili (zakasnitev vklopa/izklopa)	63
Slika 80: Nivoji označevanja	64
Slika 81: Primer označevanja po posameznem nivoju	64
Slika 82: POT – KORAK diagram in FUNKCIJSKI diagram	65
Slika 83: Skrajšani zapis gibanja cilindrov	66
Slika 84: Vezalna shema po minimalni kaskadni metodi	66
Slika 85: Vezalna shema po minimalni kaskadni metodi	67
Slika 86: Sestava elektropnevmatskega krmilja	69
Slika 87: Osnovni tipi kontaktov	70
Slika 88: Fizično aktiviranje z gumbom	70
Slika 89: Fizično aktiviranje s stikalom	70
Slika 90: Simboli za fizično aktiviranje	71
Slika 91: Mehanski način aktiviranja s kolescem	71
Slika 92: Tlačno stikalo	71
Slika 93: Reedov kontakt s simbolom	72
Slika 94: Induktivni senzor	72
Slika 95: Kapacitivni senzor	73
Slika 96: Optični senzor	73
Slika 97: Rele	74
Slika 98: Časovni rele	75
Slika 99: Simboli časovnih kontaktov	75
Slika 100: 3/2 elektromagnetni ventil v osnovnem stanju, zaprt	76
Slika 101: 5/2 monostabilni in bistabilni elektromagnetni ventil v drsni izvedbi	76
Slika 102: Krmiljenje dvosmernega cilindra	77
Slika 103: Primer označevanja vezalne sheme	77
Slika 104: Avtomatizacija sodobnih proizvodnih procesov s hidravliko	81
Slika 105: Mobilna hidravlika	82
Slika 106: Hidravlična stiskalnica za globoki vlek	82
Slika 107: Prikaz hidravličnega krmilja za avtomatizacijo transportne proge	83
Slika 108: Hidrostatika in hidrodinamika	85
Slika 109: Neodvisnost hidrostatičnega tlaka od oblike posode	85
Slika 110: Sila na površino	86
Slika 111: Pascalov zakon	87
Slika 112: Prenos sile	88
Slika 113: Princip avtomobilske dvigalke	89
Slika 114: Prenos poti	89
Slika 115: Hidravlični pretvornik	90
Slika 116: Prenos tlaka	91
Slika 117: Diferencialni cilinder	91
Slika 118: Prostorninski tok	92
Slika 119: Električna, hidravlična in mehanična moč	94
Slika 120: Hidravlični agregat	98
Slika 121: Oskrba hidravlične naprave iz centralnega hidravličnega sistema	99
Slika 122: Tlaki hidravlične črpalke	100
Slika 123: Rezervoar (tank) za olje	102
Slika 124: Škodljivi vplivi onesnaženega okolja	103
Slika 125: Zračni hladilnik in vodni hladilniki	104
Slika 126: Ogrevalni vložek	104
Slika 127: Enosmerni cilinder - plunžer cilinder	105
Slika 128: Plunžer in teleskopski cilinder	106

Slika 129: Dvosmerni cilinder	106
Slika 130: Sedežni princip	110
Slika 131: Sedežni princip	110
Slika 132: Simboli tlačnih ventilov	111
Slika 133: 2/2 potni ventil	111
Slika 134: Vklonni položaji potnih ventilov	112
Slika 135: Simboli potnih ventilov	113
Slika 136: Simboli zapornih ventilov	114
Slika 137: Tokovni ventili	115
Slika 138: Sestava elektrohidravličnega krmilja	125
Slika 139: Dajalnik signalov - stikala	126
Slika 140: Elektromagnetni stikalni elementi	127
Slika 141: Električni senzorji	127
Slika 142: Elektromagnetni potni ventil	128
Slika 143: Shema elektrohidravličnega krmilja z oznakami komponent	129
Slika 144: Shema elektrohidravličnega krmilja z oznakami komponent	129
Slika 145: Elektromagnetno stikalo - rele	130
Slika 146: Direktni in posredni način aktiviranja elektromagnetnega ventila	130
Slika 147: Ravnalna proga	132
Slika 148: Manipulator v delu	138
Slika 149: Vrste električnih krmilj	139
Slika 150: Analogni in digitalni signali	140
Slika 151: Signal v digitalni logiki	140
Slika 152: TTL in CMOS integrirano vezje	140
Slika 153: Logična vrata	141
Slika 155: Izvedba logičnih funkcij s polprevodniki	143
Slika 154: Izvedba logičnih funkcij z stikali in releji	143
Slika 156: Izvedba logičnih funkcij s pnevmatiko	143
Slika 157: Zgradba krmilnika	144
Slika 158: Skica delovanja CPU	144
Slika 159: Povezava vhodov na PLK	145
Slika 160: Povezava izhodov na PLK	145
Slika 161: Kompaktni PLC	146
Slika 162: Modularni PLC	146
Slika 163: Kombinacija strojne in programske opreme	147
Slika 164: Krmilnik S7-200	148
Slika 165: Ikona za zagon programa	149
Slika 167: Okno za shranjevanje	150
Slika 166: Preizkus komunikacije računalnik – krmilnik	150
Slika 168: Delovno polje	151
Slika 169: Prevajanje programa	152
Slika 170: Prenos v krmilnik (DOWNLOAD) in iz krmilnika (UPLOAD)	152
Slika 171: Zagon krmilnika in opazovanje delovanja programa	153
Slika 172: Realizacija osnovnih in sestavljenih logičnih funkcij v ladder diagramu	154
Slika 173: Manipulator - časi pomikov	155
Slika 174: Industrijski robot, krmilna omara in orodje ali prijemalo	158
Slika 175: Prizor iz drame Rossum's Universal Robots	159
Slika 176: Isaac Asimovs	159
Slika 177: Letno povečanje robotov po navedenih kontinentih v letih od 1997 do 2009	161
Slika 178: Vzroki za uvajanje robotizacije	164
Slika 179: Rotacijski in translacijski sklep	171
Slika 180: Kvader na površini	171
Slika 181: Valj na površini	172
Slika 182: Krogla na površini	172
Slika 183: Različni koordinatni sistemi robotske celice	174
Slika 184: Tloris in stranski pogled delovnega prostora	175
Slika 185: Delovni prostor robota s 6 rotacijskimi sklepi	177
Slika 186: Delovni prostor t. i. Scara robota s 3 rotacijskimi ter 1 translacijskim sklepom	177
Slika 187: Zamaknitev robotske trajektorije	178
Slika 188: Robotski programi in trajektorije	178
Slika 189: Tolerance v obliki tarče pri doseganju ustavitvenih in prehodnih točk	179
Slika 190: Ročna konzola za generiranje robotske trajektorije	180
Slika 191: Primeri krmilne omare ter ročne konzole	180

Slika 192: Robotska celica narejena s simulacijskim programom ROBCAD	181
Slika 193: Razdelitev robotskih prijemal	183
Slika 194: Dopustna obremenitev robota, ki je odvisna od položaja težišča	186
Slika 195: Trikotni hitrostni profil	187
Slika 196: Trapezni hitrostni profil	188
Slika 197: Predstavitev direktnega in inverznega kinematičnega problema	189
Slika 198: Desnoročni koordinatni sistem z vrisanimi pozitivnimi rotacijami	190
Slika 199: Rotacija okoli x osi	191
Slika 200: Rotacija okoli y osi	191
Slika 201: Rotacija okoli z osi	192
Slika 202: Koordinatni sistemi pri DH zapisu	193
Slika 203: Koordinatni sistemi za odprto kinematično verigo z i osmi	195

KAZALO TABEL

Tabela 1: Logična funkcija IN	14
Tabela 2: Logična funkcija ALI	14
Tabela 3: Logična funkcija NE	14
Tabela 4: Logična funkcija NIN	15
Tabela 5: Logična funkcija NALI	15
Tabela 6: Področja uporabe pnevmatike	23
Tabela 7: Značilnosti in prednosti pnevmatike	23
Tabela 8: Slabosti pnevmatike	24
Tabela 9: Kriteriji izbire kompresorjev	29
Tabela 10: Elementi preventivnega vzdrževanja pripravne skupine	41
Tabela 11: Dušilni elementi	45
Tabela 12: Vrste potnih ventilov	59
Tabela 13: Pomen oznak na ventilih	60
Tabela 14: Vrste zapornih ventilov	60
Tabela 15: Vrste tlačnih ventilov	62
Tabela 16: Tokovni in zapirni ventil	62
Tabela 17: Vrste sestavljenih ventilov	63
Tabela 18: Hidravlična olja za hidravlične postavitve	97
Tabela 19: Osnovni tipi hidravličnih črpalk	101
Tabela 20: Primerjava zračnega in vodnega hladilnika	104
Tabela 21: Izvedbe dvosmernih cilindrov	107
Tabela 22: Uporaba dvosmernih hidravličnih cilindrov	107
Tabela 23: Logične funkcije	142
Tabela 24: Načini programiranja	147
Tabela 25: Programski jeziki	148
Tabela 26: Porazdelitev deležev robotskih aplikacij	161
Tabela 27: Glavni proizvajalci robotov in njihovi osnovni podatki	162
Tabela 28: Osnovne zgradbe robotov	168
Tabela 29: Razlike med naravno in umetno inteligenco	197

PREDGOVOR

Pojem avtomatično pomeni samodejno, torej nekaj, kar se samodejno odvija in deluje. V industriji to pomeni, da avtomatizacija omogoča samodejno odvijanje raznih delovnih procesov. Delovne procese lahko avtomatiziramo na različne načine in s tem dosegamo različne nivoje avtomatizacije. Najvišji nivo avtomatizacije delovnega procesa je robotizacija delovnega procesa.

Smisel uvajanja avtomatizacije ni enostavno nadomeščanje človeka v proizvodnji zaradi pomanjkanja delovne sile ali zaradi osvobajanja človeka od dela. Avtomatizacija mora biti ekonomsko utemeljena. V avtomobilski industriji se uvaja robotizacija šele, ko dnevna proizvodnja avtomobilov preseže določeno vrednost. Seveda pa se avtomatizirajo tudi vsa človeku težka in nevarna dela, tudi če to ni ekonomsko upravičeno.

Avtomatizirana naprava lahko deluje mnogo hitreje kot človek, naprava ne pozna utrujenosti, ni podrejena vplivom razpoloženja itd. Zaradi tega deluje bolj kvalitetno in predvsem enakomerno. Končni rezultat v proizvodnji se kaže tako, da proizvajamo hitreje, proizvajamo več in bolj kakovostno. Proizvodi postajo cenejši, sodobni in se hitro prilagajajo. S tem dosegamo večji dohodek, boljši zaslužek in višji osebni standard.

Za avtomatizacijo je značilno, da se izdatki relativno hitro povrnejo. Pomembno je, da dobro poznamo proces, ki ga želimo avtomatizirati ali celo robotizirati. Potem potrebujemo dobro predstavo o zahtevah delovanja procesa in vse njegove funkcije. Za avtomatizacijo le teh moramo izbrati pravilno tehniko. Seveda to zahteva kar nekaj znanja. Del tega želimo avtorji v tej skripti posredovati študentom programa strojništvo. Avtorji smo si učbenik zamislili tako, da smo izhajali iz praktičnih problemov, ki jih srečujemo pri avtomatizaciji delovnih procesov. Na začetku vsakega poglavja predstavimo problem, ki bi ga morali biti študenti sposobni rešiti na koncu poglavja. Tudi pri spoznavanju različnih tehnik avtomatizacije izhajamo iz enostavnih praktičnih problemov. Reševanja praktičnih problemov avtomatizacije naj bi bili študenti sposobni v okviru tega predmeta.

Naša industrija mora na mednarodnem tržišču nastopati s kvalitetnimi izdelki in mora biti konkurenčna. To pomeni, da moramo proizvajati hitro, dobro in poceni. Industrijsko manj razvite države morajo še več vlagati v avtomatizacijo kot industrijsko razvite, kajti na tržišču morajo ponujati enako kvalitetne proizvode, ki morajo biti cenejši. To pomeni, da morajo naša proizvodnja podjetja stalno strmeti k modernizaciji in racionalizaciji svojih proizvodnih procesov.

Kot smo že omenili, brez ustrezno usposobljenega kadra procesa avtomatizacije v industriji ne moremo pospešiti. Študenti višješolskega študijskega programa strojništvo, ki jim je namenjen učbenik, bodo v okviru predmeta Avtomatizacija in robotika pridobili naslednje kompetence:

- prepoznavanje možnosti za uvajanje avtomatizacije v proizvodne procese;
- vodenje projektov s področja avtomatizacije proizvodnih procesov;
- samostojno načrtovanje avtomatizacije enostavnih proizvodnih procesov in sodelovanje pri načrtovanju in uvajanju avtomatizacije kompleksnih proizvodnih procesov;
- načrtovanje vzdrževanja pnevmatičnih, hidravličnih in elektro-mehanskih krmilnih sistemov;
- prepoznavanje možnosti za uvajanje robotizacije v proizvodne procese;

- sposobnost izbire optimalnega robota glede na lastnosti proizvodnega procesa.

Avtorji smo učbenik pripravili skladno s katalogom za predmet Avtomatizacija in robotika. Ima pet glavnih poglavij: Načrtovanje sistemov vodenja, Pnevmatična in elektro-pnevmatična krmilja, Hidravlična in elektro-hidravlična krmilja, Računalniška krmilja - PLK in Osnove robotike. Vsako poglavje se začne z uvodom, sledi praktični primer. Ta predstavlja skupek znanj, ki jih mora študent usvojiti v poglavju. Drugače povedano, avtorji želimo s praktičnim primerom na začetku študentom sporočiti, kaj bodo morali v tem poglavju znati in zakaj. Temu sledi nekaj informativnih podpoglavij, v katerih nanizamo teoretične osnove in nova spoznanja, ki jih potrebujemo za začetek reševanja praktičnih problemov avtomatizacije. Na koncu sledi povzetek in vprašanja ali naloge.

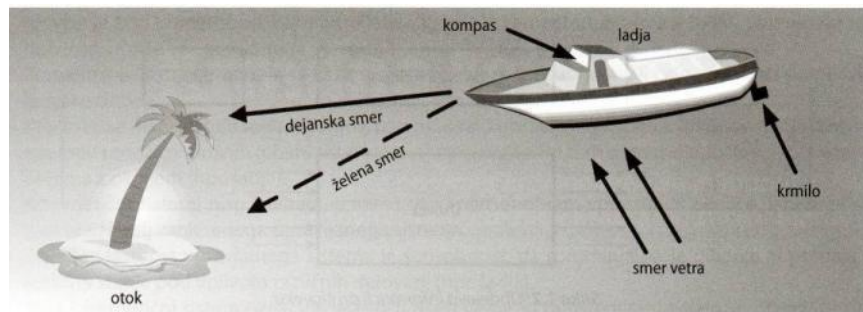
Ker je področje avtomatizacije in robotike zelo široko, smo avtorji v tej skripti povzeli samo najvažnejše vsebine, ki jih potrebujejo študenti za reševanje avtomatizacijskih problemov iz proizvodnih procesov.

Pri uporabi učbenika vam želimo veliko uspešnega študija in novo pridobljenih znanj ter kompetenc.

Avtorji

1 NAČRTOVANJE SISTEMOV VODENJA

Sisteme vodenja procesov poznamo že zelo dolgo. Če potujemo z ladjo, jo moramo voditi, da pridemo do cilja (slika 1). Krmar mora voditi ladjo. To pomeni, da premika krmilo, da pride ladja do cilja. Pri tem se umika otokom, čerem in stalno popravlja smer plovbe, tako da izniči vpliv vetrov in morskih tokov. Kompetenca, da obvlada krmarjenje in vse ostale naprave na ladji, so pogoj, da ladja pride do cilja. To kompetenco so v starogrškem jeziku imenovali »kibernetike tehne« (krmilna spretnost). Ta izraz je dal osnovo za poimenovanje nove vede, ki obravnava sisteme vodenja. Veda se imenuje kibernetika.



Slika 1: Vodenje ladje
Vir: Lasten

Za primer sistema vodenja si lahko izberemo namesto ladje tudi letalo, avtomobil ali napravo za uravnavanje gladine v vodnem zbiralniku ali robota, ki s pomočjo laserja spaja streho na avtomobilski karoseriji. Če opazujemo različne sisteme vodenja, lahko opazimo, da se sistemi vodenja dogajajo neprestano in so povsod okoli nas. Opazimo lahko, da za vse veljajo skupne zakonitosti.

V tem poglavju bomo spoznali osnovne teoretične pojme sistemov vodenje. Naučili se bomo prepoznati in definirati krmilni sistem, to je odprt sistem vodenja in regulacijski sistem vodenja, to je zaprt sistem vodenja. Slednjega imenujemo tudi sistem z zaprto zanko. Spoznali bomo različne načine za teoretični prikaz krmilnih in regulacijskih sistemov iz prakse in se naučili, kako lahko na podlagi praktičnega primera sestavimo teoretični model sistema vodenja. Če znamo prepoznati sistem vodenja, ga bomo potem na podlagi teoretičnega primera znali posodobiti v smislu avtomatizacije in robotizacije.

Za vsak sistem vodenja je zelo pomembno, da ga dobro definiramo. Jasno morajo biti zapisane vse zahteve za vodenje tega sistema, kakor tudi vsi robni pogoji, ki jih je potrebno upoštevati v sistemu vodenja. Sisteme vodenja lahko opišemo in definiramo na različne načine. Znati moramo pravilno zapisati besedilni opis sistema vodenja, znati moramo to prikazati s skico in shemo. Celotni sistem vodenja mora biti definiran na tak način, da ga bomo lahko potem izvedli z različni krmilnimi tehnikami. Za avtomatizacijo in robotizacijo je važno, da imamo definirane krmilne zahteve. Včasih se dogaja, da se nam več krmilnih ukazov prekriva, zato moramo vedeti, kako take krmilne ukaze racionalizirati.

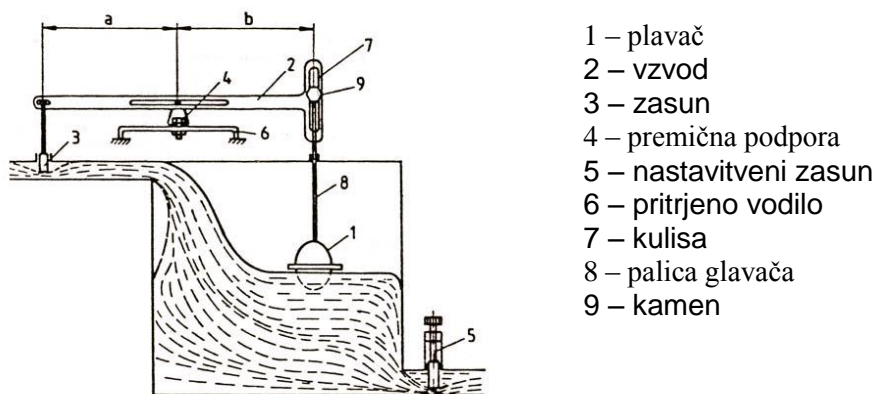
Študenti morajo znati izdelati funkcijski diagram za kombinacijsko ali koračno krmiljenje. Te zahteve so standardizirane (EN 60848). Če bomo za sistem vodenja znali pravilno izdelati funkcijski diagram, ga bodo znali vsi, ki poznajo standard, izvesti ne glede na to, katero tehniko avtomatizacije bomo uporabili.

Že v uvodnem poglavju in tudi vseh naslednjih želimo študente opozoriti na upoštevanje varnostnih standardov pri načrtovanju sistemov vodenja (EN 954-1, EN 1037 ...). Te standarde je potrebno poznati in upoštevati pri izdelavi vseh avtomatizacijskih naprav.

Če bomo znali prepoznati sistem vodenja ob različnih praktičnih primerih in jih znali analizirati, definirati in pravilno opisati, ne bomo imeli težav pri snovanju novih sistemov vodenja. Pravilno zapisan sistem vodenja je osnova za njegovo racionalizacijo, poenostavitev ali posodobitev. Standardni funkcijski diagram sistema vodenja bo osnova za izvedbo. Inženirju je pomembno, da ve, kako so posamezni krmilni signali povezani, kakšne so njihove logične relacije, kaj in kje si je treba zapomniti in časovno premakniti. Kako bo pa to izvedel, pa je odvisno od tega, kaj ima na voljo, kje bo ta naprava delovala, kakšne sile bo morala prenašati, kdo jo bo uporabljal, koliko denarja je na voljo za avtomatizacijo in podobno.

1.1 OSNOVNI POJMI SISTEMA VODENJA

Na sliki 2 imamo prikazano skico vodnega zbiralnika. Za analizo sistema vodenja je pomembno, da omejimo predmet analize. Za sistem vodenja je pomembno, kaj obravnavamo, kateri so vplivni parametri in na kakšen način jih moramo upoštevati.



Slika 2: Sitem vodenja vodnega zbiralnika

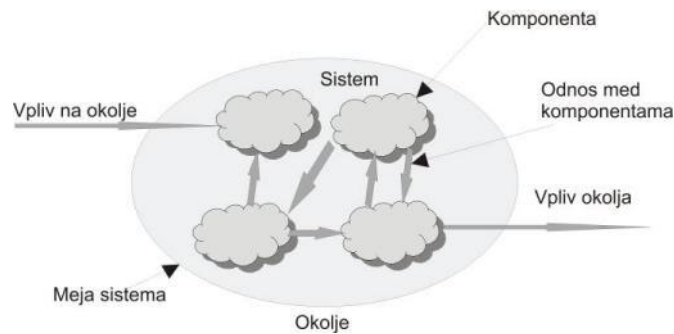
Vir: Lasten

Za prikazan vodni zbiralnik moramo definirati teoretični model sistema vodenja. Najprej pa bomo definirali osnovne pojme za teoretično obravnavo.

1.1.1 Sistem

Sistem je celota med seboj povezanih enot, ki ima določeno zgradbo in je v medsebojnem stiku z okolico. Teoretični model imamo prikazan na sliki 3. Ta teoretični model je lahko vodni zbiralnik, lahko je ladja, ki jo vodimo ali karkoli želimo analizirati. Za vsako analizo moramo iz okolice ločiti sistem. Le tako se bomo lahko osredotočili na predmet analize. Medsebojne vplive okolice na sistem in sistema na okolico pa moramo pravilno definirati. Če bomo upoštevali vse vplive, bo naš sistem deloval stabilno in zanesljivo. Sistemov ne moremo ločiti od okolice, da bi delovali zanesljivo. Važno je, da znamo vplive upoštevati v sistemu vodenja. Sisteme vedno obravnavamo in opazujemo v njihovem gibanju in razvoju,

kajti le tako lahko ugotovimo tiste njihove lastnosti, ki so pomembne za prilagajanje spreminjajoči okolici.



Slika 3: Model sistema
Vir: Lasten

Za analizo sistemov vodenja je pomembno, da definiramo, kaj je znotraj sistema in kaj je zunaj in opredelimo mejo sistema. Meja sistema loči sistem od okolja. Odnosom iz okolja, ki imajo vpliv na posamezne komponente sistema, pravimo vhodi v sistem $x(t)$, ang. input, odnosom, ki vplivajo na okolje, pa pravimo izhodi $y(t)$, ang. output. Teoretični model sistema imamo prikazan na sliki 4.



Slika 4: Teoretični model sistema
Vir: Lasten

Za vsak sistem, ki ga analiziramo, moramo definirati stanje tega sistema. Stanje sistema je množica veličin, ki določajo njegovo obnašanje. Te veličine nam omogočajo primerjanje stanj posameznih sistemov ali stanje istega sistema v različnih trenutkih. Stanje sistema lahko prikažemo z različnimi veličinami, ki se jih pa mora dati meriti in zapisati teoretično ali grafično. Bolnik v bolnišnici predstavlja osnovni sistem, ki ga mora analizirati zdravnik. Da bo lahko zdravnik kaj vedel o tem sistemu, ga lahko opišemo z veličinama kot sta telesna temperatura in krvni tlak. Ti dve veličini stalno merimo in s tem prikazujemo stanje sistema. To seveda niso vse veličine, ki bi prikazovale stanje tega sistema.

1.1.2 Vstopne in izstopne veličine

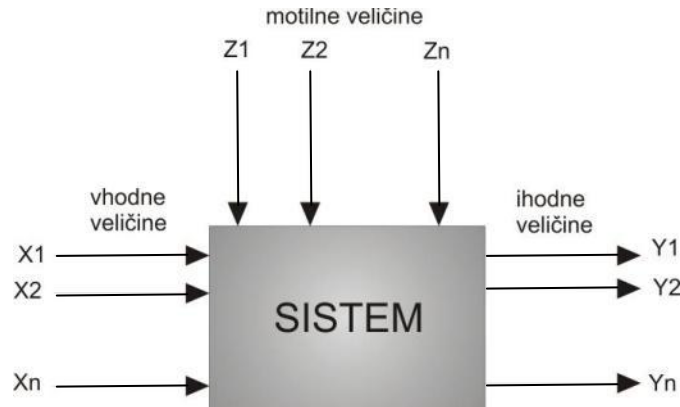
Na vsak sistem deluje množica različnih zunanjih delovanj, vendar niso vsa bistvena. Iz množice vseh delovanj izberemo samo tista, ki bistveno vplivajo na stanje sistema pri reševanju nalog. Ta zunanja delovanja imenujemo vstopna veličina ali vstopno delovanje, elemente sistema, na katerega delujejo vstopna delovanja, pa vhod sistema (slika 5).

Delovanje sistema na okolico označujejo vrednosti njegovih izstopnih veličin. Množica izstopnih veličin in njegovih sprememb kaže vedenje sistema (zunanjemu opazovalcu omogoča, da ocenjuje skladnost gibanja sistema s cilji vodenja).

Spremembe vstopnih veličin praviloma povzročajo spremembe izstopnih veličin. Vendar se izstopne veličine ne spremenijo vedno takoj, včasih se spremenijo celo z zamudo. V nobenem primeru pa ne morejo prehiteti sprememb vstopnih veličin. Te so namreč vzrok, izstopne veličine pa posledica gibanja sistema.

Pri analizi sistemov vodenja razlikujemo dve vrsti vstopnih veličin:

- upravljalne veličine
- motilna delovanja (motnje).



Slika 5: Vstopne in izstopne veličine
Vir: Lasten

Med upravljalne veličine štejemo tiste, ki jih izbiramo glede na gibanje sistema, ki ga vodimo. Motilna delovanja pa so druga delovanja na sistem.

Vhodne veličine INPUT $x(t)$ zaznamujejo vpliv okolice na sistem. Izhodne veličine OUTPUT $y(t)$ zaznamujejo vpliv sistema na okolico. Motnje $Z(t)$ so nepredvideni vplivi okolice na sistem.

1.1.3 Informacije in signali

Informacija je neko spoznanje, pojasnilo ali sporočilo, ki se oblikuje na osnovi nekih podatkov in določenega znanja, ki ga imamo o teh podatkih. Informacijo do uporabnika prenašamo s signali (npr. zvok, svetloba, elektromagnetno valovanje, električna napetost ...). Če si za sistem vodenja predstavljamo sobo, v kateri pišemo nalogo, je lahko informacija za vodenje te sobe osvetljenost prostora. Ko osvetljenost zaradi nastopa noči ni več ustrezna, se oblikuje sporočilo, da je treba prižgati svetilko. Signal, ki prenese to sporočilo, je v tem primeru električna napetost.

Signal je fizikalna upodobitev nekega sporočila in je nosilec informacije, ki gre v obdelavo. Signale lahko prenašamo na razdalje. Lahko pa jih shranjujemo in jih prenašamo s časom.

Pri človeku posredujejo informacije o vhodnih veličinah čutila, pri tehničnih sistemih vodenja pa posredujejo informacije dajalniki signalov. To so lahko: končno stikalo, fotocelica, termometer, manometer ... Vsi zajemajo informacijo o neki fizikalni večini, s katero merimo

stanje sistema (lega, temperatura, hitrost, svetlobni tok ...) in jo v obliki ustreznega signala posredujejo sistemu, ki ga vodimo.

Pri sistemih vodenja ločimo tri osnovne postopke (slika 6):

- meritev vhodnih veličin (x) z namenom pridobitve informacije o stanju teh veličin;
- obdelava informacij z namenom pridobitve ustrezne odločitve;
- izhod ukazov (y) za delovanje na sistem vodenja z namenom nekaj doseči.



Zgradba krmilja:

X-vhodne veličine
y-izhodne veličine
D-dajalnik signalov
O-ojačevalnik

Slika 6: Informacije in signali v sistemih vodenja

Vir: Lasten

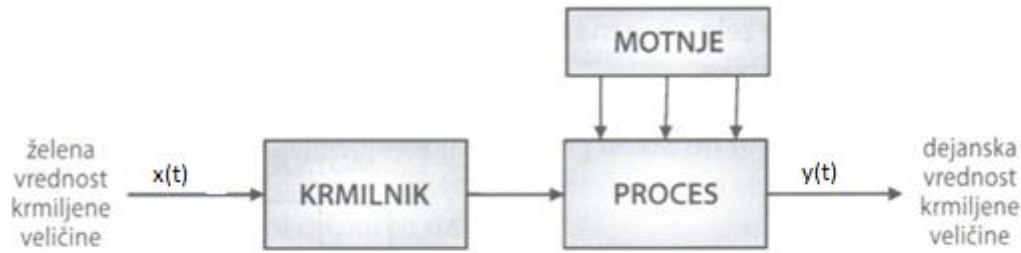
1.1.4 Pomnilnik

Ker moramo pogosto povezovati časovno ločene sisteme, moramo imeti v kanalih zvez rezervoarje – pomnilnike, kjer lahko shranimo sporočila (informacijo ali signal).

Če želimo ohraniti sporočilo, moramo realne signale, ki se menjujejo glede na prostor in čas na nek način ohraniti. Zato potrebujejo sistem (nosilec) sporočil, ki mora dano informacijo vzdrževati poljubno dolgo, ne glede na to, da je zunanji signal že izginil. Take sisteme imenujemo pomnilnik (npr. magnetni trak, fotografska plošča, kartice, trakovi, integrirana spominska vezja).

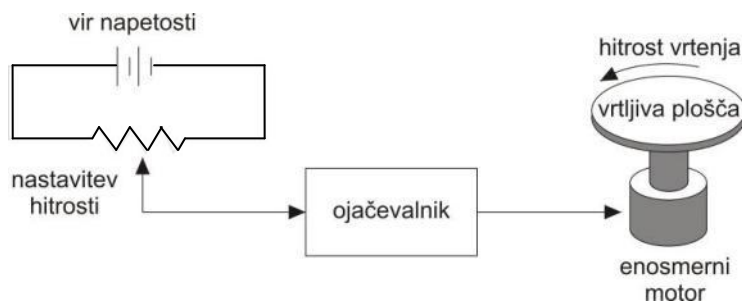
1.2 ODPRT SISTEM VODENJA

Pri odprtem sistemu vodenja sprejema krmilni sistem želene vhodne vrednosti veličin, na svojem izhodu pa daje krmilne signale za vplivanje na proces (slika 7). Na izhodne veličine vplivajo vhodne veličine in motilne veličine. Motnje vnašajo v krmilni sistem napake, ki se kažejo kot odstopanje dejanske vrednosti krmiljene veličine od želene vrednosti. Če se v danem trenutku pojavi motnja, njen vpliv izničimo tako, da ustrezno popravimo želeno vrednost krmiljene veličine. Odprte sisteme vodenja imenujemo tudi krmilni sistemi.



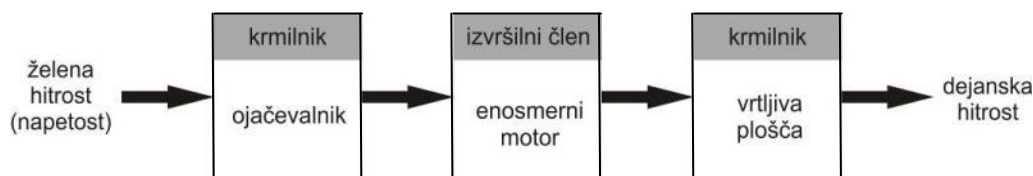
Slika 7: Odprt sistem vodenja – krmilni sistem
Vir: Lasten

Na sliki 8 je prikazan sistem vodenja – krmiljenja, pri katerem krmilimo hitrost vrtljive plošče (npr. akumulatorska brusilka). Želena vrednost hitrosti vrtenja določa napetost, ki jo na ojačevalnik pripeljemo iz spremenljivega vira napetosti. Na primer: napetost od 0V do 10 določa želena vrednost kotne hitrosti ob 0 vrt./min do 1000 vrt./min. Če vrtljivo ploščo obremenimo (začnemo rezati pločevino), ob tem pa ostane želena vrednost nespremenjena, se kotna hitrost plošče zmanjša. V tem primeru nam motnjo predstavlja obremenitev. Če bi želeli, da se plošča vrti z enako kotno hitrostjo tudi po obremenitvi, bi morali povečati želena vrednost na vhodu, s katero bi nadomestili (kompenzirali) zmanjšanje kotne hitrosti zaradi obremenitve.



Slika 8: Primer krmiljenja vrtljive plošče
Vir: Lasten

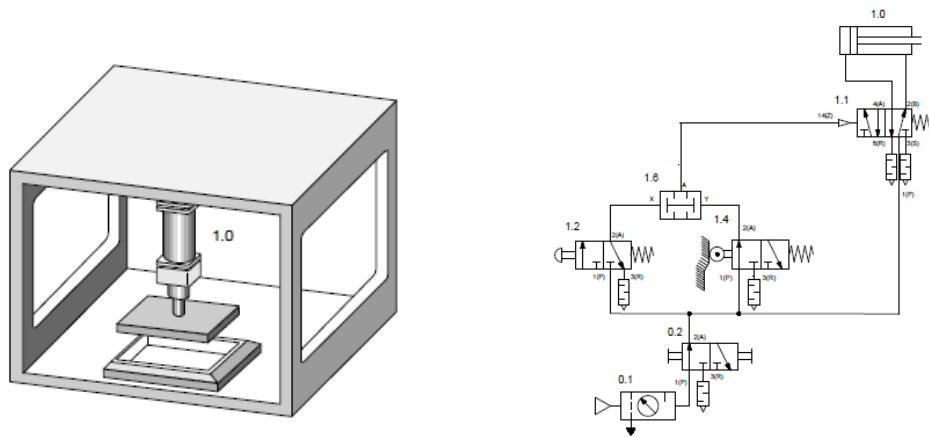
Na sliki 9 je prikazan teoretični model krmiljenja vrtljive plošče. Na sliki vidimo, da krmilni sistem nima zaključene povratne zanke, s katero bi dobival informacije o tem, kaj se dogaja na izhodu. Pri odprtih sistemih vodenja – krmilnih sistemih nastavimo želena vrednost, ne moremo pa vedeti, ali je izhodna vrednost pravilna, ker je ne merimo in je zato ne moremo popraviti. Iz tega izhaja, da če se v sistemu pojavijo motnje, le ta ni sposoben samodejno vzdrževati nastavljenih zelenih vrednosti.



Slika 9: Primer odprtega sistema vodenja
Vir: Lasten

Odprte sisteme vodenja uporabljamo, kjer krmilne zahteve niso velike, ni velikih zahtev po natančnem vodenju in ni prisotnih večjih motenj. Vsi enostavni sistemi vodenja v pnevmatiki,

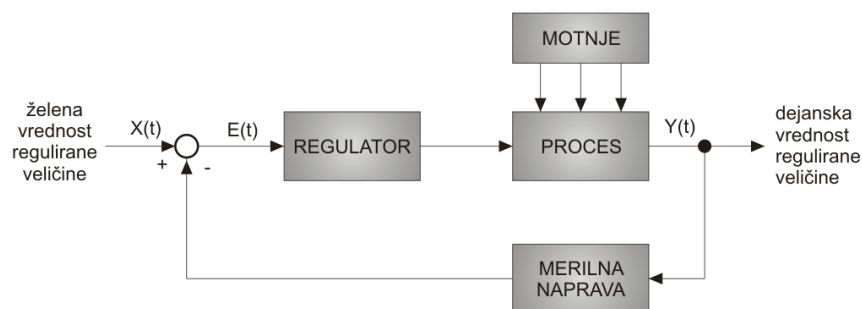
elektropnevmatiki in hidravliki so običajno narejeni kot odprti sistemi vodenja. Ustrezne krmilne signale posredujemo izvršnim elementom, ki nato izvedejo želeno delovanje.



Slika 10: Vtiskovalna priprava – odprt sistem vodenja
Vir: Croser in Ebel, 1994

1.3 ZAPRT SISTEM VODENJA

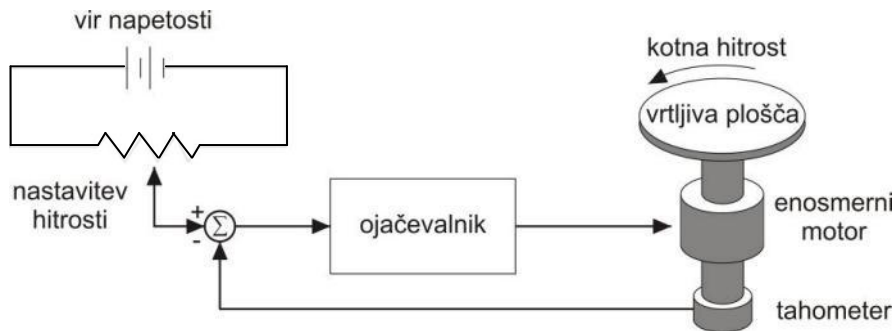
Zaprta sistema vodenja imenujemo regulacijski sistem. Na sliki 11 je prikazana zgradba zaprtega sistema vodenja. Ta se od odprtega sistema vodenja razlikuje v tem, da dejansko vrednost regulirane veličine merimo in jo posredujemo na vhod sistema. Vrednost odstopanja $E(t)$ (regulacijski pogrešek) dejanske vrednosti regulirane veličine $Y(t)$ od želene vrednosti $X(t)$ posredujemo regulatorju. Ta ima nalogo, da tvori takšen signal, da bo dejanska vrednost regulirane veličine čim prej in s čim manj odstopanji dosegla želeno vrednost regulirane veličine.



Slika 11: Zaprt sistema vodenja – regulacijski sistem
Vir: Lasten

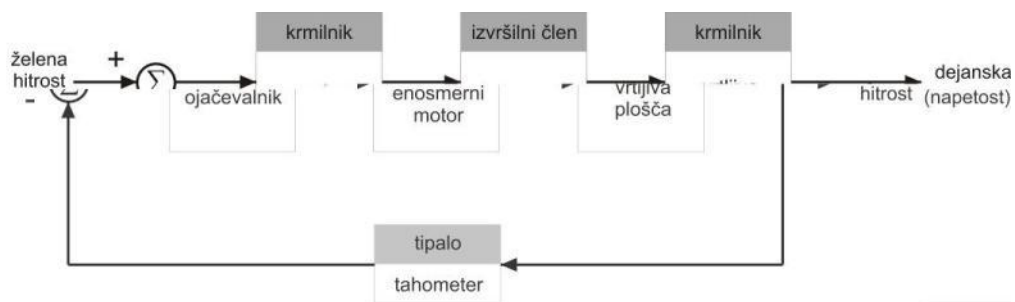
Poznamo več tipov regulatorjev. Kateri tip izberemo, je odvisno od vrste procesa, ki ga želimo avtomatizirati in od tega, kako hitro in s kakšno natančnostjo je treba doseči želeno vrednost. Teorija regulacij – zaprtih sistemov vodenja je zelo zahtevna, zato se bomo v tem učbeniku seznanili samo z osnovami, tako da bomo sposobni take sisteme v praksi prepoznati in jih vzdrževati po potrebi. Na tej osnovi delujejo vsi sodobni avtomatizacijski sistemi vodenja, kajti sposobnost prilagajanja krmilnih sistemov je možnost, da taki sistemi delujejo samodejno ob nenehno spremljajočih pogojih (proporcionalna pnevmatika in hidravlika). Za primer zaprtega sistema vodenja – regulacijskega sistema imamo na sliki 12 prikazan sistem vodenja brusne plošče. Brusno ploščo vrti enosmerni motor. Kotno hitrost brusne

plošče merimo s tahometrom. Želena kotna hitrost brusne plošče nastavimo s tem, da nastavimo električno napetost. V primeru obremenitve na brusni plošči se kotna hitrost zniža. To zazna tahometer, ki posreduje signal o številu vrtljajev. Ko ojačevalnik, ki v našem primeru predstavlja regulator, to zazna, poveča napetost, kar omogoča povečanje števila vrtljajev in s tem odpravo motnje. Da bo regulacijski sistem ustrezno deloval, moramo ustrezno izbrati ojačitev ojačevalca. Če bo ojačitev premajhna, regulator ne bo sposoben odpraviti motenj in nenadnih sprememb dejanske vrednosti, če pa je ojačitev prevelika, pa postane sistem nestabilen – v našem primeru bi to pomenilo nihanje vrednosti kotne hitrosti.



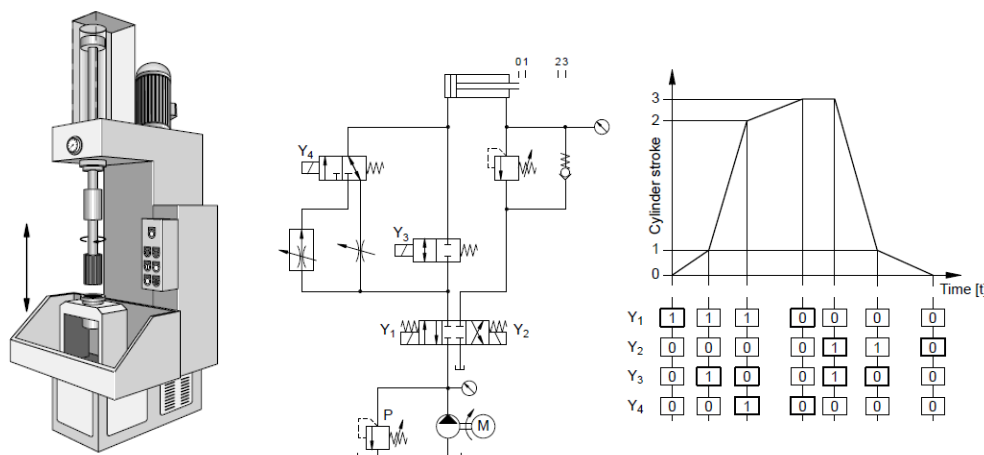
Slika 12: Primer regulacije vrtljive plošče
Vir: Lasten

Razlika med odprtim sistemom vodenja – krmilnim sistemom in zaprtim sistemom vodenja – regulacijskim sistemom je, da pri regulacijskih sistemih vodenja izhodne vrednosti merimo in z njihovo pomočjo odpravimo morebitne motnje v sistemu. Pri krmilnih sistemih jih ne merimo, zato krmilni sistemi niso sposobni kompenzirati motnje. Klasični zavorni sistem pri avtomobilu je primer krmilnega sistema, sistem zaviranja ABS pa je regulacijski sistem. Tudi pri klimi v avtomobilu imamo lahko enostaven krmilni sistem, ki ga ročno vključujemo in izključujemo ali pa imamo samodejno klimo – regulacijski sistem, kjer samo nastavimo želena temperaturo v prostoru. Na sliki 13 je prikazana shema zaprtega sistema vodenja – regulacijskega sistema.



Slika 13: Shema zaprtega sistema vodenja – regulacijski sistem
Vir: Lasten

Na sliki 14 je prikazan primer zaprtega sistema vodenja v hidravliki. Kot smo že omenili, to področje imenujemo proporcionalna hidravlika, ki je sposobna regulirati določene krmilne veličine in se je sposobna prilagoditi na spreminjanje krmilnih veličin. Večino avtomatiziranih sistemov z roboti izvedemo kot zaprte sisteme vodenja.



Slika 14: Stroj za honanje – pogon s proporcionalnim hidravličnim sistemom
Vir: Scholz in Zimmermann, 1996

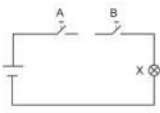
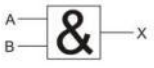
1.4 OSNOVE TEORETIČNE OBDELAVE SIGNALOV ZA VODENJE

Sisteme za vodenje obvladujemo z digitalnimi signali. Različni dajalniki signalov nam morajo dati signal, ki ima eno od dveh možnih stanj. Stanje signala je lahko ENA (1), imenujemo ga tudi »je« ali pa rečemo »da«, »obstaja« ali pa je NIČ (0), kar imenujemo »ni«, »ne obstaja«. Te osnovne signale, ki zaznavajo stanje, lahko medsebojno povežemo ali sestavimo, tako da nam lahko izvedejo določeno logiko delovanja. Osnovno logiko delovanja zgradimo iz osnovnih logičnih funkcij. V logično obdelavo krmilnih signalov lahko vključimo tudi časovne člene, ki nam skrajšajo, podaljšajo ali premaknejo določene signale. Več kot je sestavljenih logičnih funkcij, bolj zahtevno logiko lahko izvede sistem vodenja. Vso logiko, ki jo mora sistem vodenja izvesti, mu jo moramo vgraditi. To lahko izvedemo z različnimi logičnimi povezavami signalov in elementov, ki realizirajo določene logične funkcije. Lahko pa enostavno tudi vso logiko sprogramiramo v krmilnikih, ki nato na izvršnih elementih izvedejo določeno logično delovanje. Včasih se zgodi, da imamo za avtomatizacijo praktični primer z zelo zahtevnim logičnim delovanjem več povezanih signalov, ki se nam pojavljajo večkrat. V teh primerih lahko uporabimo teoretično obdelavo logike. Logične funkcije pred realizacijo bistveno poenostavimo in s tem prihranimo pri izvedbi avtomatizacijskega procesa. Zato imamo tako imenovano stikalno ali Boolovo algebro. S pravili te algebre lahko enostavno zapišemo logične povezave signalov in jih tudi minimiziramo.

1.4.1 Logična funkcija IN (AND)

Funkcija IN ima na izhodu logično stanje 1, če so vsi vhodi 1. Funkcija ponazarja matematično enačbo množenja ($1 \times 1 = 1$, $1 \times 0 = 0$). V primeru, ki je v tabeli 1, je $X = 1$, če sta vhod $A = 1$ in vhod $B = 1$ (tabela 1).

Tabela 1: Logična funkcija IN

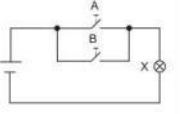
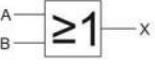
Izvedba s stikali	Simbol	Algebrična logična enačba	Kombinacijsko-izjavnostna tabela															
		$X=A \wedge B$	<table border="1" style="display: inline-table;"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>X</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	X	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1
A	B	X																
0	0	0																
1	0	0																
0	1	0																
1	1	1																

Vir: Lasten

1.4.2 Logična funkcija ALI (OR)

Logična funkcija ALI ima na izhodu logično stanje 1, če je vsaj ena izmed vhodnih spremenljivk v stanju 1. Ta funkcija ponazarja matematično operacijo seštevanja ($1 + 0 = 1$, $0 + 0 = 0$). Izhod $X = 1$, če je $A = 1$ ali $B = 1$ (tabela 2).

Tabela 2: Logična funkcija ALI

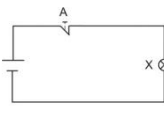

Izvedba s stikali	Simbol	Algebrična logična enačba	Kombinacijsko-izjavnostna tabela															
		$X=A \vee B$	<table border="1" style="display: inline-table;"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>X</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	X	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
A	B	X																
0	0	0																
1	0	1																
0	1	1																
1	1	1																

Vir: Lasten

1.4.3 Logična funkcija NE (NOT)

Logična funkcija NE (tabela3) ima na izhodu logično stanje 1, če je na vhodu logično stanje 0, in obratno. Logična funkcija NE vedno povzroči nasprotno stanje.

Tabela 3: Logična funkcija NE

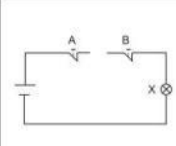
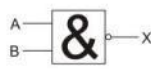
Izvedba s stikali	Simbol	Algebrična logična enačba	Kombinacijsko-izjavnostna tabela						
		$X=\bar{A}$	<table border="1" style="display: inline-table;"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>X</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	X	0	1	1	0
A	X								
0	1								
1	0								

Vir: Lasten

1.4.4 Logična funkcija NIN (NAND) – kombinacija funkcij IN in NE

Logično funkcijo NIN (tabela 4) bi lahko sestavili iz logične funkcije IN in logične funkcije NE. Če bi jih sestavljali, bi prišlo do večjih zakasnitev, cena logičnega vezja pa bi se povečala. S to funkcijo lahko realiziramo obe logični funkciji.

Tabela 4: Logična funkcija NIN

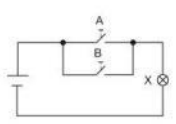

Izvedba s stikali	Simbol	Algebrična logična enačba	Kombinacijsko-izjavnostna tabela															
		$X = \overline{A \wedge B}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>X</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	X	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0
A	B	X																
0	0	1																
1	0	0																
0	1	0																
1	1	0																

Vir: Lasten

1.4.5 Logična funkcija NALI (NOR) – kombinacija funkcij ALI in NE

Logično funkcijo NALI (tabela 5) bi lahko sestavili iz logične funkcije ALI in logične funkcije NE. Tudi v primeru te funkcije gre za poenostavitev izvedbe določenih logičnih primerov, ko s pomočjo ene funkcije lahko realiziramo dve.

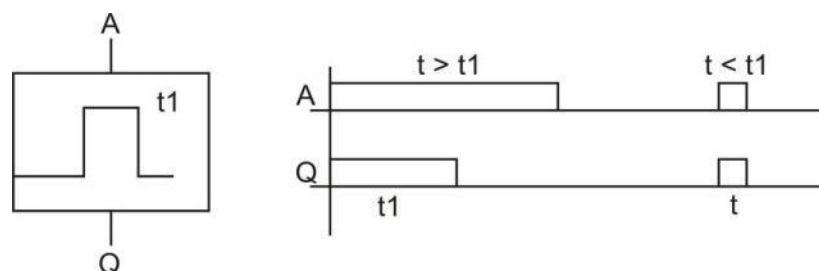
Tabela 5: Logična funkcija NALI

Izvedba s stikali	Simbol	Algebrična logična enačba	Kombinacijsko-izjavnostna tabela															
		$X = \overline{A \vee B}$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>X</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	A	B	X	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1
A	B	X																
0	0	0																
1	0	1																
0	1	1																
1	1	1																

Vir: Lasten

1.4.6 Skrajševanje dolgih signalov

Če je signal na vhodu A krajši od prednastavljenega časa t_1 , se na izhodu Q pojavi časovno nespremenjeni signal, če pa je vhodni signal daljši od časa t_1 , pa se trajanje izhodnega signala omeji na čas t_1 (slika 15).

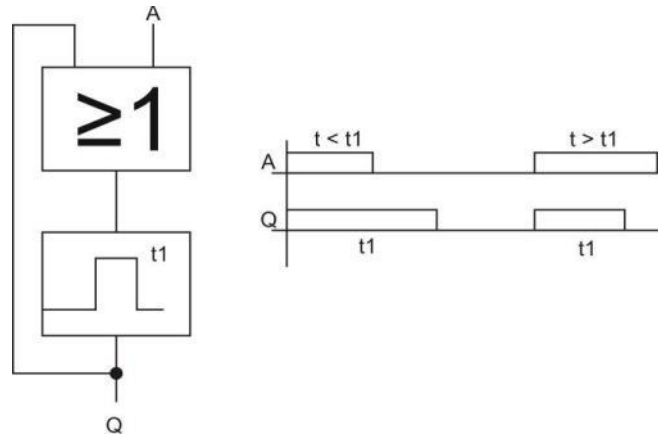


Slika 15: Simbol in časovni diagram skrajšanja signalov

Vir: Lasten

1.4.7 Podaljšanje kratkih signalov

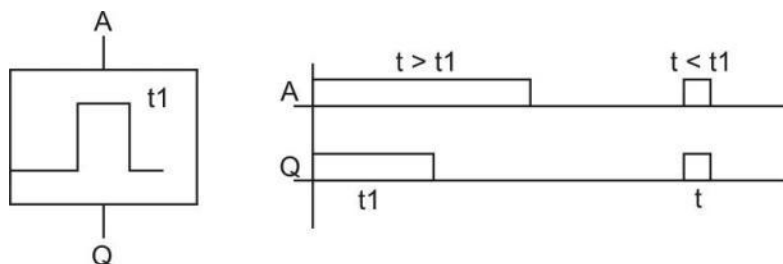
Če je signal na vhodu A krajši od prednastavljenega časa t_1 , se na izhodu Q pojavi signal, podaljšan na čas t_1 , če pa je vhodni signal daljši od t_1 , se trajanje izhodnega signala omeji na čas t_1 (slika 16).



Slika 16: Simbol in časovni diagram podaljšanja signalov
Vir: Lasten

1.4.8 Premaknitev signala

Na izhodu Q se pojavi za čas t_1 zakasneni signal glede na začetek vhodnega signala A in traja še čas t_2 po tem, ko je prenehal vhodni signal A (slika 17).



Slika 17: Simbol in časovni diagram premaknitve signala
Vir: Lasten

Iz tega primera se da izvesti še dve izpeljanki in sicer samo za zakasnitev prehoda na 1 za čas t_1 in samo zakasnitev prehoda na 0 za čas t_2 .

1.4.9 Stikalna (Boolova) algebra

V stikalni algebri, ki jo uporabljamo za zapis in racionalizacijo logičnih povezav signalov, ima lahko spremenljivka samo dve vrednosti: 0 in 1. Uporaba znakov + in x je enaka kot v matematiki. Posamezne povezave lahko zapišemo z oklepaji in uporabimo matematična pravila.

Pravila Boolove algebre:

$$\overline{\overline{A}} = A$$

$$A + 1 = 1$$

$$A + 0 = A$$

$$A \cdot 0 = 0$$

$$A \cdot 1 = A$$

$$A + A = A$$

$$A \cdot A = A$$

$$A + \overline{A} = 1$$

$$A \cdot \overline{A} = 0$$

$$A + B = B + A$$

$$A \cdot B = B \cdot A$$

$$(A + B) + C = A + (B + C) = A + B + C$$

$$(A \cdot B) \cdot C = A \cdot (B \cdot C) = A \cdot B \cdot C$$

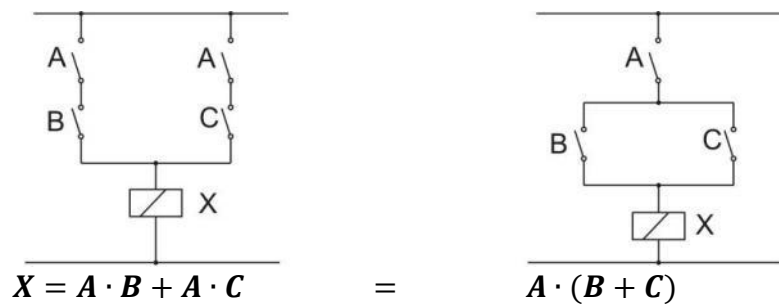
$$A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot (A + C)$$

$$A \cdot (B + C) = (A \cdot B) + (A \cdot C)$$

$$\overline{A + B} = \overline{A} \cdot \overline{B}$$

$$\overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B}$$

S pomočjo Boolove algebre lahko zapišemo in racionaliziramo logične zahteve, ki jih imamo pri avtomatizaciji v praksi. Dva primera sta prikazana na sliki 18.

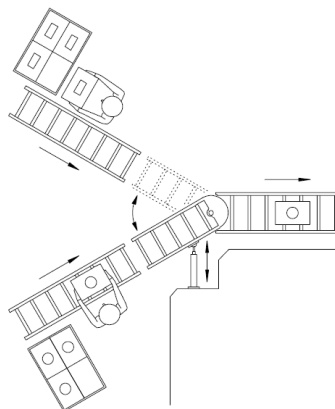


Slika 18: Primeri zapisa logičnih povezav z Boolovo algebro

Vir: Lasten

1.4.10 Primer zapisa logičnega delovanja sistema za vodenje

Na sliki 19 imamo prikazano kretnico, ki služi za povezavo dveh tekočih trakov. Na obeh tekočih trakovih je delovno mesto in operater. Kretnico lahko premikata oba operaterja. Eden ima za to ukazni gumb S1 – signal za premik, drugi ukazni gumb S2. Če ukaže premik tekočega traku operater s signalom S1, se ukaz lahko izvrši, če ni bil predhodno sprožen ukaz z delovnega mesta S2. Enako lahko stori operater s signalom S2, če ni bil predhodno sprožen signal S1.



Slika 19: Logično premikanje kretnice med dvema tekočima trakovoma

Vir: Merkle, Rupp in Scholz, 1994

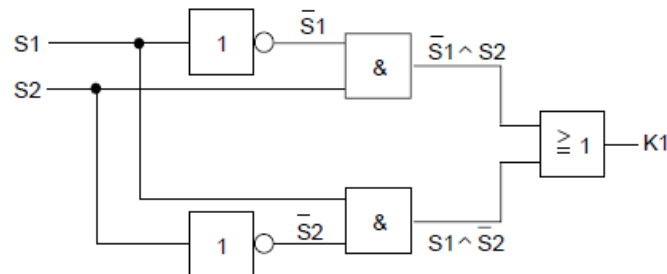
Rešitev – zapis zahtev logičnega delovanja

Imamo dva vhodna signala za vodenje kretnice in sicer S1 in S2. Kretnico lahko premaknemo, če je prisoten signal S1 in ni signala S2 ali v primeru, če je prisoten signal S2 in ni prisoten signal S1.

Matematični zapis:

$$K1 = (\bar{S1} \cdot S2) + (S1 \cdot \bar{S2})$$

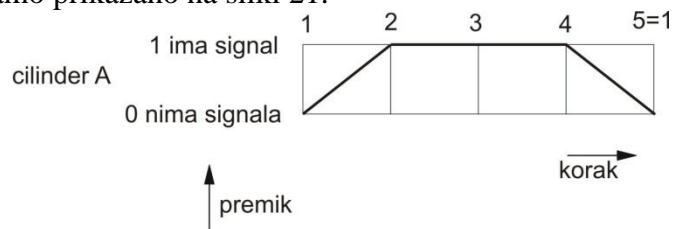
Logični zapis je prikazan na sliki 20.



Slika 20: Logični zapis sistema vodenja za kretnico
Vir: Lasten

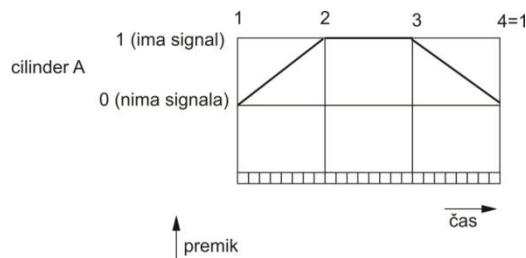
1.5 FUNKCIJSKI DIAGRAM

S funkcijskim diagramom prikažemo zaporedje delovanja pnevmatičnih hidravličnih in električnih komponent krmilja. Največkrat prikazujemo delovanje posamezne komponente v odvisnosti od poti. Funkcijski diagram razdelimo na posamezne korake v delovanju komponente, kar imamo prikazano na sliki 21.



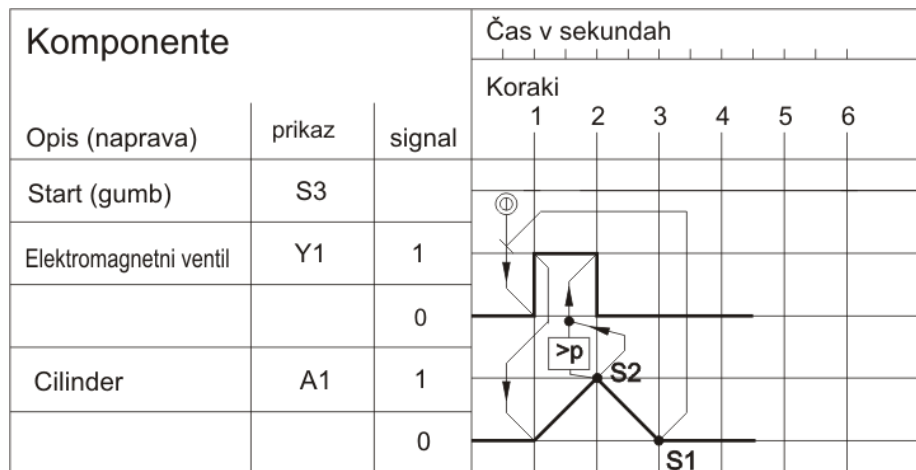
Slika 21: Funkcijski diagram pot-korak
Vir: Lasten

Funkcijo delovanja posamezne komponente lahko prikažemo tudi s časovnim funkcijskim diagramom (slika 22). V nasprotju od pot-korak diagrama je v časovnem diagramu čas prikazan v merilu. To pomeni, da lahko čas določenega stanja komponente neposredno odčitamo iz diagrama.



Slika 22: Časovni funkcijski diagram
Vir: Lasten

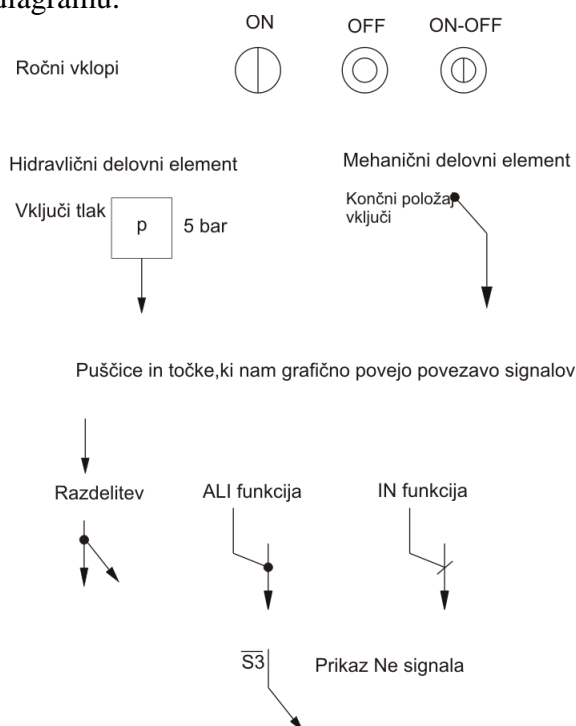
Funkcijski diagram je definiran s standardom VDI 3260. V funkcijskem diagramu prikažemo delovanje vseh komponent krmilnega sistema. Na sliki 23 imamo del funkcijskega diagrama za elektrohidravlično krmilje.



Slika 23: Funkcijski diagram elektrohidravličnega krmilja
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

Na sliki 23 lahko iz funkcijskega diagrama preberemo delovanje krmilja. Batnica cilindra A1 je na začetku v osnovnem (uvlečenem) položaju. Za začetek je potrebno pritisniti tipko S1. Signal pritiska na tipko S1 aktivira elektromagnetni ventil Y1. Elektromagnetni ventil se preklopi in povzroči, da se batnica cilindra premakne v iztegnjeni položaj. Tlačno stikalo ali signal pozicije iztegnjene lege cilindra S2 da signal za preklop elektromagnetnega ventila Y1. Ta da signal za vrnitev cilindra v izhodiščno pozicijo. Če ponovno pritisnemo tipko S1, se krmilje ponovi.

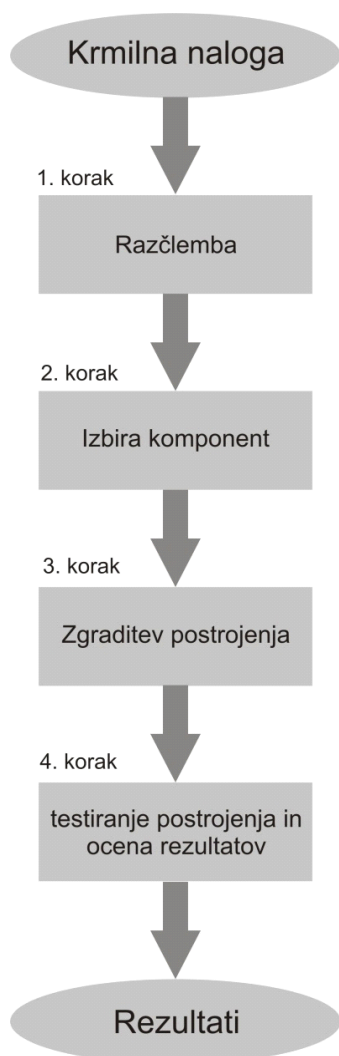
V funkcijskem diagramu prikažemo tudi posamezne signale za krmiljenje. Signali so medsebojno odvisni in jih lahko povezujemo. Lahko imajo različne pomeni. Povezovanje posameznih signalov in način opisa pomena oziroma funkcije signalov je tudi opredeljeno v standardu VDI 3260. Na sliki 24 je prikazano nekaj najosnovnejših povezav in pomenov signalov v funkcijskem diagramu.



Slika 24: Pomen signalov v funkcijskem diagramu
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

1.6 NAČRTOVANJE KRMILIJ

Razvijanje krmilnega sistema naj poteka sistematično. Načrt razvoja prikazuje cikel od začetnega problema do izboljšanja realiziranega sistema.



Prvi korak je določitev želenega cilja z nedvoumnim in jasnim opisom problema. Razvoj ali načrtovanje rešitev ne spada v fazo analize. Lahko pa izdelamo diagram izvajanja postopkov za izdelavo projekta.

Drugi korak je splošno sistemsko načrtovanje, kjer gre za določitev sistemskih komponent in krmilnega medija. Dodatno lahko pripravimo tudi alternativne rešitve.

Tretji korak obsega:

- načrtovanje krmilnega sistema
- izdelava dokumentacije
- definiranje dodatnih zahtev
- določitev časovnega plana projekta
- izdelava kosovnice
- izračun stroškov.

V četrtem koraku moramo pred začetkom vgraditve kontrolirati vse vezalne plane, če so res zagotovljene vse predvidene funkcije na pravilen način. Po dokončni vgraditvi moramo s preizkušanjem ugotoviti dejansko funkcionalnost sistema, in če so izpolnjeni pričakovani obratovalni pogoji, kot n. pr. enojni cikel, avtomatični cikel, NOT-STOP, blokade itd.

Ko zaključimo s prevzemnih preizkušanjem, primerjamo rezultate ugotovitev z zahtevami, ki so bile podane ob začetku projektiranja sistema. Če je potrebno, se lahko izvede še izboljšave.

Povzetek

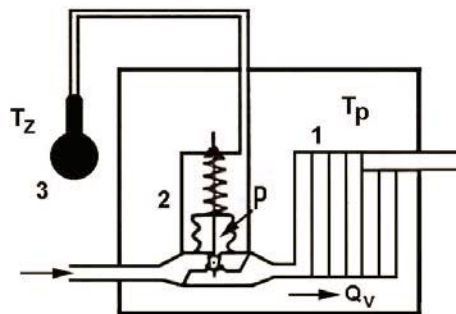
Če želimo načrtovati sisteme vodenja, moramo dobro poznati teoretične osnove vodenja. Te najlažje spoznamo ob praktičnih primerih že izvedenih sistemov vodenja, ki jih znamo analizirati in jim sestaviti teoretične modele. Na ta način se naučimo načrtovati in sestavljati nove sisteme. Osnovna veda, ki se ukvarja s sistemi vodenja, je kibernetika. Če želimo obravnavati določene sisteme, jih moramo izvzeti iz okolice in oblikovati model sistema. Definirati moramo vplive okolice na sistem in sistema na okolico.

Sisteme za vodenje delimo na odprte ali krmilne sisteme in zaprte ali regulacijske sisteme vodenja. Enostavne avtomatizacijske sisteme realiziramo z odprtim sistemom vodenja, za zahtevne in občutljive pa uporabimo zaprte sisteme vodenja. Zaprti sistemi vodenja se lahko tudi prilagajajo določenim spremembam in kompenzirajo motnje, zaprti pa krmilne ukaze samo izvršijo.

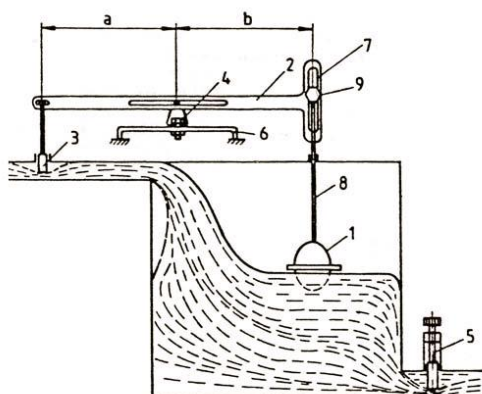
Krmilne signale, ki jih pridobimo iz različnih dajalnikov signalov, moramo logično obdelati, da bodo sposobni izvesti želeno logično delovanje. To lahko storimo z osnovnimi logičnimi funkcijami. Obdelavo lahko nadgradimo s časovno obdelavo signalov. Bolj kompleksna zahtevana logična delovanja zapišemo z Boolovo algebro. S pomočjo te lahko tudi določene logične probleme poenostavimo in racionaliziramo teoretično logično delovanje sistema za vodenje.

Vprašanja in naloge

1. V prostoru želimo vzdrževati temperaturo T_p , ki je za naš primer izhodna veličina. Na to temperaturo najbolj vpliva temperatura okolice, zato jo izberemo za vhodno veličino. Pod vplivom zunanje temperature se spreminja volumen tekočine v termometru, posredno pa tlak v komori, ki deluje na elastični meh. Ventil, ki je togo povezan z elastičnim meh, izravnava pretok vode Q_v v radiator tako, da se v prostoru vzdržuje konstantna temperatura T_p . Za ta primer sistema za vodenje narišite teoretični model vodenja. V model vpišite glavne elemente sistema za vodenje in njihovo funkcijo.



2. V vodnem zbiralniku reguliramo – krmilimo gladino tako, da je na željeni višini. Regulacijo dosežemo s plavcem (1), ki preko vzvoda (2) in zasuna (3) vpliva na vodni tok v nasprotni smeri kot se giblje gladina. Če se gladina dviga, se pri tem dviga plavač, ki preko vzvoda, ta sloni na premični podpori (4), spušča zasun, ki zapira vodni tok. Pri tem nastavitveni zasun (5) miruje. Spuščanje zasuna pomeni zmanjšanje dotoka in s tem tudi zniževanje gladine, vse dokler le ta ne doseže predpisane vrednosti. Ta predpisana ali referenčna vrednost se regulira s premikom pritrditvene točke palice plavača (8) v kolisi (7). S premikom premične podpore (4) pa spreminjamo razmerje ročic a in b in s tem vplivamo na krepitev sistema. Nastavitveni zasun (5) omogoča še dodatno nastavitvev pretoka. Narišite teoretični model vodenja. V model vpišite glavne elemente sistema za vodenje in njihovo funkcijo.



- 1 – plavač
- 2 – vzvod
- 3 – zasun
- 4 – prečna podpora
- 5 – nastavitveni zasun
- 6 – pritrjeno vodilo
- 7 – kulisa
- 8 – palica glavača
- 9 – kamen

3. Narišite časovni diagram za pnevmatično krmilno napravo, ki s pomočjo signala S1 ukaže vpetje obdelovanca s pnevmatičnim cilindrom. Vpetje obdelovanca mora trajati 20s. Po preteku tega časa se obdelovanec samodejno izpne.
4. Napišite logično enačbo in narišite logični diagram za vodenje hidravličnega cilindra za stiskalnico. Stiskalnica dobi ukaz s pomočjo tipke S1 ali nožnega pedala S2. Ukaz se lahko izvede samo v primeru, če so zaprta varnostna vrata stiskalnice – senzor S3 in v stiskalnici ni prisoten izdelek – senzor S4.
5. Napišite logično enačbo in narišite logični diagram za odpiranje avtomatskih garažnih vrat. Za odpiranje garažnih vrat imamo izbirno stikalo S1. Če je izbirno stikalo v položaju 1, naj se vrata odprejo, ko magnetni senzor S2 zazna prisotnost avtomobila pred garažo. Vrata se odprejo lahko tudi v primeru, ko je izbirno stikalo S1 v položaju 0 in infrardeči senzor S3 zazna pravilno kodiran signal iz daljinskega ključa.

2 PNEVMATIČNA IN ELEKTROPNEVMATIČNA KRMILJA

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

Tehnološki razvoj na področju materialov, konstrukcij in proizvodnje izkušnje je vplival na kvaliteto in raznolikost pnevmatičnih komponent. S tem se je povečala možnost uporabe pnevmatike v tehniki avtomatizacije (tabela 6).

Tabela 6: Področja uporabe pnevmatike

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

Vir: Lasten

Tabela 7: Značilnosti in prednosti pnevmatike

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

Vir: Lasten

Tabela 8: Slabosti pnevmatike

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

Vir: Lasten

2.1 OSNOVE PNEVMATIKE

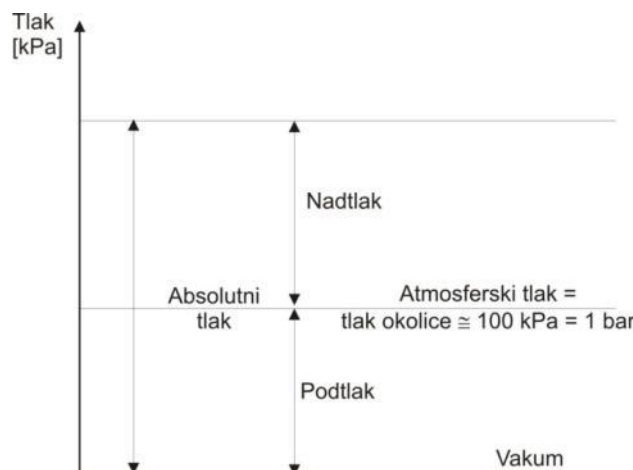
Vse na Zemlji je izpostavljeno tlaku okolice oziroma atmosferskemu tlaku. Za atmosferski tlak je značilno, da se spreminja z geografsko lego in vremenom. Atmosferski tlak se meri na nadmorski višini 0 metrov in znaša 101,325 kPa oziroma 1,01323 bar \approx 1 bar.

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

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

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

Absolutni tlak dobimo, če seštejemo tlak, ki se pojavi nad atmosferskim tlakom, imenujemo ga nadtlak in tlak, ki se pojavi pod atmosferskim tlakom, imenujemo ga podtlak. Posamezne vrste tlakov prikazuje slika 25.

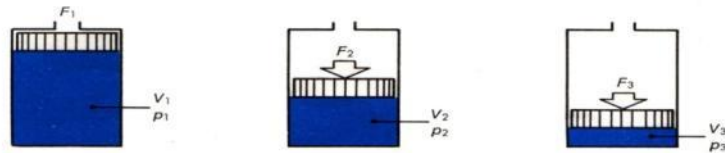


Slika 25: Vrste tlakov

Vir: Prirejeno po: Croser in Ebel, 1994

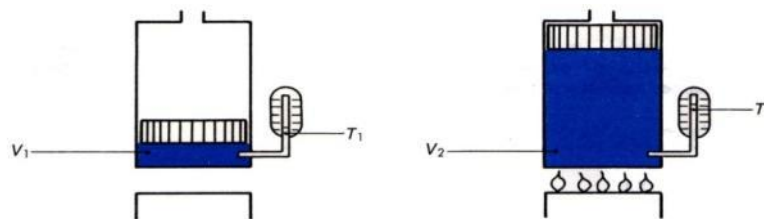
Za zrak je značilno, da nima določene oblike in ga lahko stiskamo oziroma komprimiramo, stisnjen zrak pa teži k razširitvi oziroma ekspanziji. Stiskanje zraka pojasnjuje Boyle Mariottov zakon, ki govori, da so prostornine enakih količin nekega plina pri konstantni temperaturi v obratnem sorazmerju z absolutnim tlakom, kar prikazuje slika 26. To pomeni, da je zmnožek absolutnega tlaka in prostornine pri konstantni temperaturi konstanten.

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



Slika 26: Princip Boyle Mariottovega zakona
Vir: Croser in Ebel, 1994

Če zrak segrevamo pri konstantnem tlaku, kar prikazuje slika 27, se bo njegov volumen z vsako stopinjo povečal za 1/273 volumna, ki bi ga imel pri 0 °C in enakem tlaku. Pri ohlajanju pa se bo volumen za isto vrednost zmanjšal.



Slika 27: Princip Gay Lussacovega zakona
Vir: Croser in Ebel, 1994

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

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

V_1 = volumen pri temperaturi T_1 ;

V_2 = volumen pri temperaturi T_2

Iz osnovnega zakona lahko izpeljemo:

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

Pri tem znaša sprememba volumna:

$$\Delta V = V_2 - V_1$$

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

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

Za V_2 pa velja:

$$V_2 = V_1 + \Delta V$$

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

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

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

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

Povzetek

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

Vprašanja in naloge

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

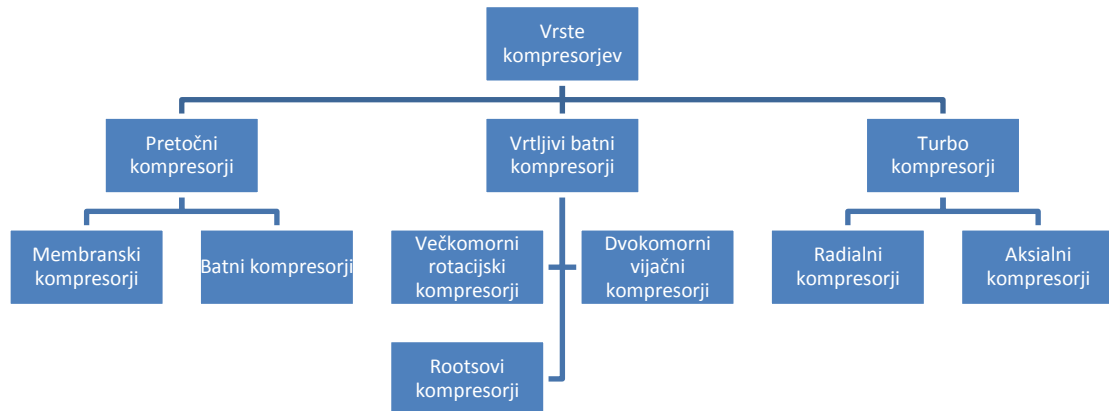
2.2 PRIDOBIVANJE STISNJENEGA ZRAKA

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

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

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

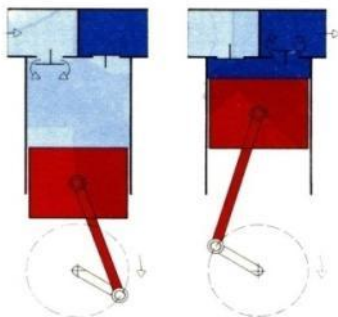
Pri prvem principu zmanjšujemo volumen prostora, v katerem je zrak zaprt. Po tem principu delujejo batni kompresorji (vrtljivi in premočrtni). Pri drugem principu gre za pridobivanje stisnjenega zraka na osnovi masnega pospeševanja, kjer se toku zraka poveča hitrost. Na tej osnovi delujejo turbo kompresorji.



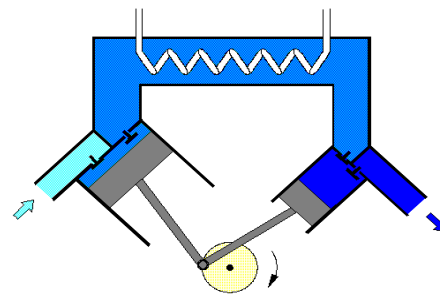
Slika 28: Vrste kompresorjev
Vir: Croser in Ebel, 1994

2.2.1 Linijski batni kompresorji

Največ se v praksi uporabljajo batni kompresorji, saj so primerni za nizke, srednje in visoke tlake. Njihovo delovno območje sega od cca. 100 kPa pa do več tisoč kPa. Zrak se vsesa skozi vhodni ventil in potiska skozi izhodni ventil v tlačni vod. Princip delovanja batnega kompresorja ponazarja slika 29.



Slika 29: Batni kompresor
Vir: Croser in Ebel, 1994



Slika 30: Dvostopenjski kompresor z vmesnim hlajenjem
Vir: Croser in Ebel, 1994

Optimalna tlačna območja pri batnih kompresorjih:

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

Možna, toda negospodarna proizvodnja stisnjenega zraka:

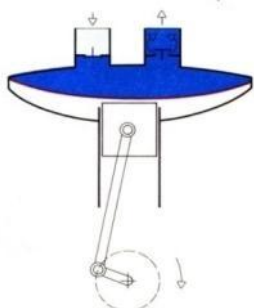
do 1200 kPa (12 bar)	enostopenjski
do 3000 kPa (30 bar)	dvostopenjski
nad 22000 kPa (220 bar)	tri- ali večstopenjski

2.2.2 Vrtljivi batni kompresorji

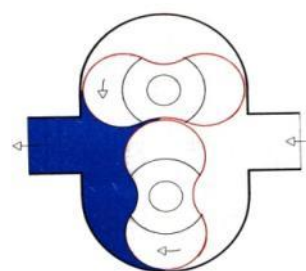
Za proizvodnjanje višjih tlakov uporabljamo večstopenjske kompresorje. Med posameznimi stopnjami se zrak hladi. Pri vrtljivih batnih kompresorjih se zrak stiska z vrtečimi se bati. Pri stiskanju se kompresijski prostor kontinuirano zmanjšuje. Primer dvostopenjskega batnega kompresorja z vmesim hlajenjem prikazuje slika 29.

2.2.3 Membranski kompresorji

Membranski kompresorji spadajo v skupino batnih kompresorjev. Primer batnega kompresorja prikazuje slika 30, kjer je kompresijski prostor ločen od bata z membrano in zrak ne more priti v stik z drsnimi površinami bata in se pri tem navzeti kompresorskega olja in neprijetnega vonja. Zaradi tega uporabljamo membranske kompresorje v živilski, kemični, farmacevtski industriji, v zobozdravstvu.



Slika 31: Membranski kompresor
Vir: Croser in Ebel, 1994



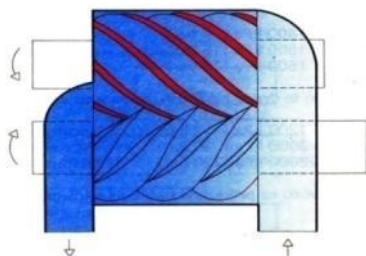
Slika 32: Rootsov kompresor
Vir: Croser in Ebel, 1994

2.2.4 Rootsov kompresor

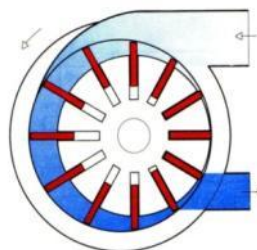
Zrak se prenaša z ene strani na drugo stran brez spremembe volumna. Tlak nastane, ko se zrak iztiska iz kompresorja. Princip delovanja Rootsovega kompresorja prikazuje slika 32.

2.2.5 Vijačni kompresorji

Vijačno oblikovan profil oprijemata dve gredi (tekača), kar prikazuje slika 33. Pri vrtenju se v profil zajeti zrak stiska v tlačni vod.



Slika 33: Vijačni kompresor
Vir: Croser in Ebel, 1994



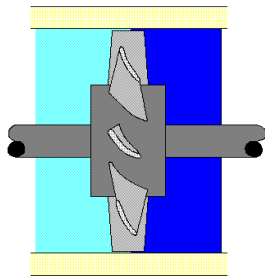
Slika 34: Večkomorni vrtljivi kompresor
Vir: Croser in Ebel, 1994

2.2.6 Večkomorni vrtljivi kompresor

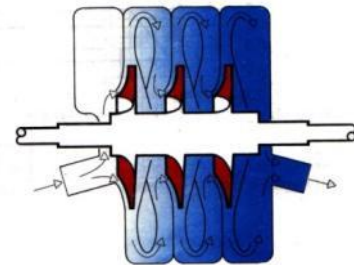
Klasični bat nadomeščajo vrtljive lamele, ki so vstavljene v rege ekscentrično vležajnega rotorja. Slika 34 prikazuje, kako rege tvorijo posamične komore, katerih velikost se pri vrtenju spreminja. Kompresorje odlikuje miren tek, ustvarjajo stisnjen zrak zelo enakomerno in brez sunkov.

2.2.7 Turbo kompresorji

Delujejo po principu pospeševanja zraka. Odlikuje jih zelo velika zmogljivost. Eno ali več turbinskih koles povzroča tok zraka, energija gibanja oziroma kinetična energija se nato pretvori v tlačno oziroma potencialno energijo. Če se zrak pospešuje v aksialni smeri, govorimo o aksialnem kompresorju, ki ga prikazuje slika 35. Če pa se zrak pospešuje v radialni smeri, pa govorimo o radialnem kompresorju, ki ga prikazuje slika 36.



Slika 35: Aksialni kompresor
Vir: Croser in Ebel, 1994



Slika 36: Radialni kompresor
Vir: Croser in Ebel, 1994

Povzetek

Pri izbiri ustreznega kompresorja si lahko pomagamo s kriteriji, ki so predstavljeni v tabeli 9.

Tabela 9: Kriteriji izbire kompresorjev

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

Vir: Lasten

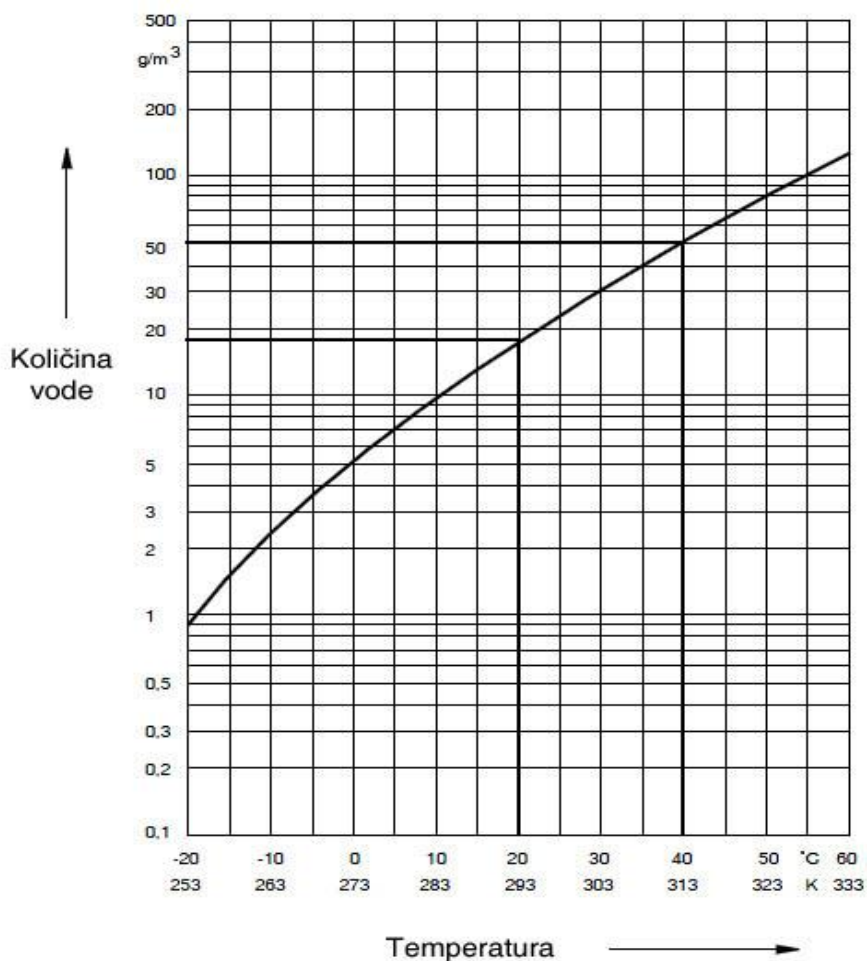
Vprašanja in naloge

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

2.3 PRIPRAVA ZRAKA

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

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



Slika 37: Krivulja nasičenosti
Vir: Croser in Ebel, 1994

Absolutna vlažnost je količina vode, ki jo vsebuje 1 m³ zraka. Količina nasičenja oziroma maksimalna vlažnost je količina vode, ki jo lahko sprejme 1 m³ zraka pri določeni temperaturi. Količino nasičenja pri določeni temperaturi lahko odčitamo na sliki 37.

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

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

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

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

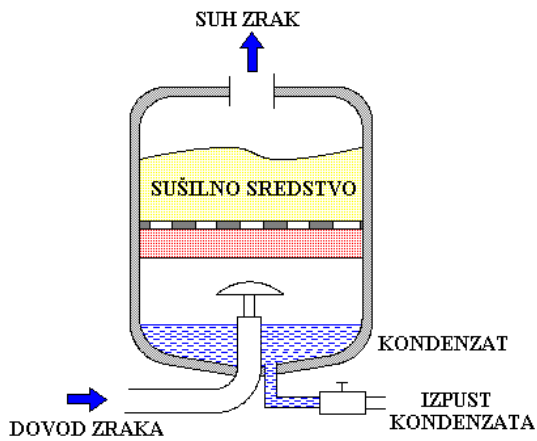
2.3.1 Absorpcijsko sušenje

Absorpcijsko sušenje je kemični postopek, ki ga prikazuje slika 38. Zaradi visokih obratovalnih stroškov se ta način uporablja redkeje.

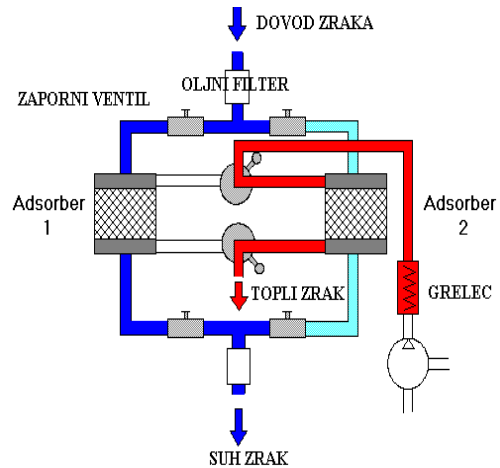
S predfiltrom se iz zraka odstrani večje vodne in oljne kapljice. Pri dotekanju v sušilnik se stisnjen zrak zvrtniči, nato teče skozi sušilni prostor, ki je napolnjen s sušilnim sredstvom. Sušilno sredstvo predstavlja 100 % silicijev dioksid v obliki zrn. Kemično sredstvo, ki reagira z vlago, se pri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

2.3.2 Adsorpcijsko sušenje

Je lastnost trdnega materiala, da zadrži vlago na svoji površini. Sušilni material, ki ga imenujemo tudi gel, je granulat pretežno iz silicijevega dioksida. Z adsorpcijo lahko dosežemo najnižjo točko rosišča (do -70 °C). Uporabljamo vedno po dva adsorbenta. Ko se gel v prvem adsorbentu nasiti z vlago, se preklopi sušenje na drugega, prvega pa se regenerira z vročim zrakom. Princip delovanja prikazuje slika 39.



Slika 38: Absorpcijsko sušenje
Vir: Croser in Ebel, 1994

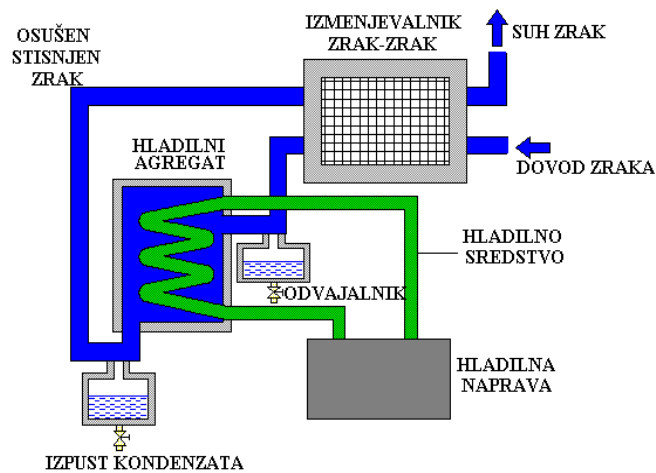


Slika 39: Adsorpcijsko sušenje
Vir: Croser in Ebel, 1994

2.3.3 Sušenje z ohlavitvijo

Najpogosteje se v praksi uporablja sušenje stisnjenga zraka z ohlavitvijo, ki ga predstavlja slika 40. Zrak, ki teče skozi toplotni izmenjevalnik zrak – zrak, kjer se mu temperatura nekoliko zniža in posledično izloči že del vlage. Zrak teče nato v hladilno komoro, se ohladi pod točko rosišča. Kondenzirana vlaga se zbira v odvajalni posodi.

Suh zrak peljemo skozi toplotni izmenjevalnik zrak – zrak, kjer ga s pomočjo zraka, ki priteka v toplotni izmenjevalnik, segrejemo in na ta način nekoliko prihranimo pri porabi energiji. Temperatura točke rosišča je temperatura, na katero je potrebno ohladiti zrak, da vlaga kondenzira. Večja ko je temperaturna razlika do točke rosišča, več vlage kondenzira. Pri sušenju zraka z ohlavitvijo lahko dosežemo točke rosišča med 2 °C do 5 °C.



Slika 40: Sušenje z ohlavitvijo
Vir: Croser in Ebel, 1994

2.3.4 Omrežje stisnjenega zraka

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

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

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

Moderen razdelilni sistem stisnjenega zraka zahteva posebno kvaliteten cevni material.

Omogočati mora:

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

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

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

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

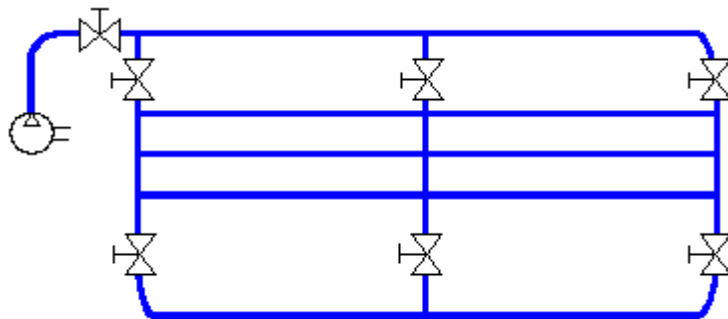
Poleg pravilnega dimenzioniranja in ustrezne kvalitete uporabljenega materiala je za gospodarno obratovanje zelo pomembna tudi izvedba razdelilne mreže. Kompresor oskrbuje sistem s stisnjnim zrakom v določenih časovnih intervalih. Pogosto se zgodi, da se poraba zraka samo kratkotrajno poveča, kar povzroči upad tlaka v mreži. Zaradi takih primerov se priporoča izvedba glavnega voda v obliki obroča, ki omogoča boljše dovajanje stisnjenega zraka (obročasti vod namesto odprtega voda). Primer obročastega omrežja ponazarja slika 41.



Slika 41: Obročasti vod

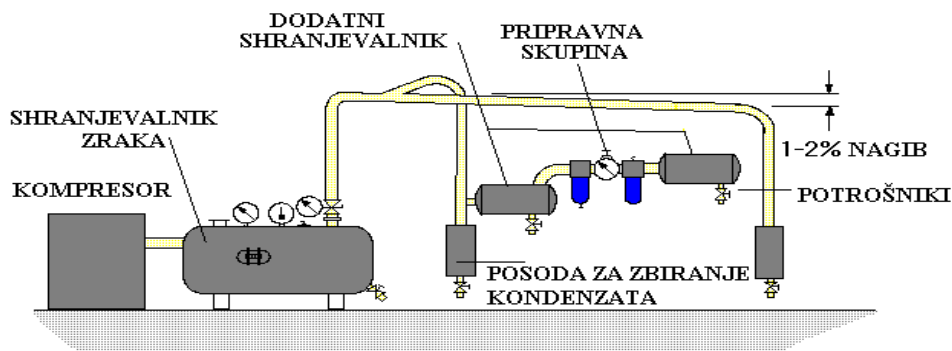
Vir: Prirejeno po: Croser in Ebel, 1994

Da se pri vzdrževanju, popravilih ali podaljševanju ne moti celotne oskrbe s stisnjenim zrakom, naj bo mreža izdelana rešetkasto ali razdeljena na posamezne sektorje. Lahko se predvidi odcepe s T kosi in zbiralnice z vtičnimi sklopkami. Na razvejitvah se lahko predvidi zaporne ventile ali standardne krogljčne ventile. Primer izvedbe rešetkastega omrežja prikazuje slika 42.



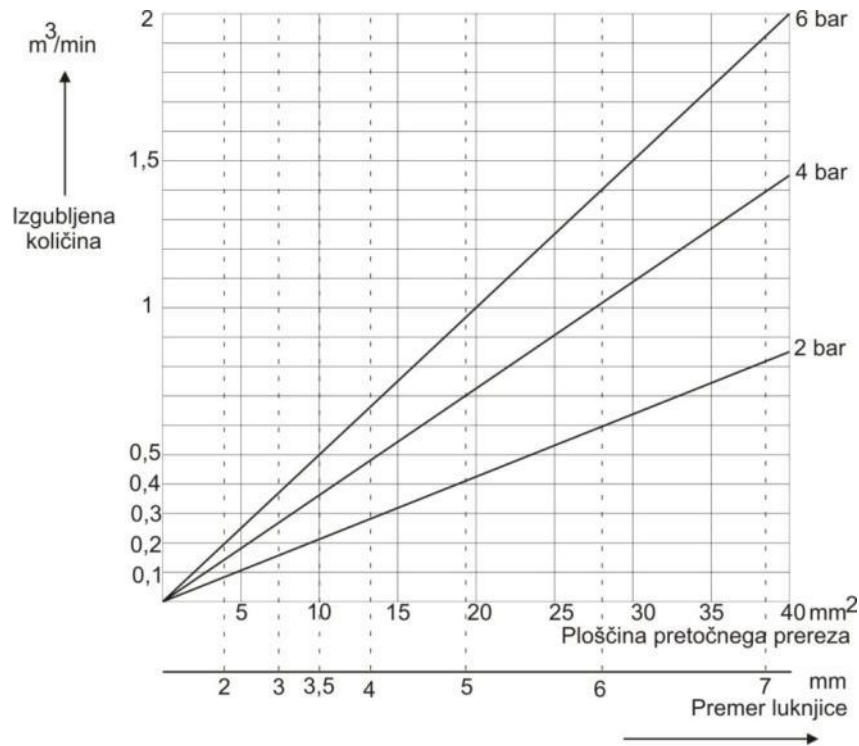
Slika 42: Rešetkasta mreža
Vir: Prirejeno po: Croser in Ebel, 1994

Kljub dobremu centralnemu izločanju kondenzata iz stisnjenega zraka se lahko izloči kondenzat tudi še v cevnem sistemu zaradi znižanja tlaka ali nizkih zunanjih temperatur. Zaradi zbiranja in odvajanja tega kondenzata naj bodo glavni vodi položeni z 1–2 % nagibom v smeri toka zraka. Lahko so položeni stopničasto. Na najnižjih mestih se predvidi kondenzne lončke za zbiranje in občasno odvajanje kondenzata. Primer omenjene izvedbe omrežja prikazuje slika 43.



Slika 43: Sistem oskrbe s stisnjenim zrakom
Vir: Croser in Ebel, 1994

Na povečanje stroškov priprave stisnjenega zraka vpliva tudi tesnost naprav in samega omrežja, saj že majhna netesnost pomeni precejšnje količine izgubljenega zraka. Zaradi netesnosti lahko uhajajoči zrak tudi škodljivo vpliva na obdelovalni material (n. pr. na živila v prehranski industriji). Kolikšna je izguba zraka zaradi netesnosti lahko odčitamo na sliki 44.



Slika 44: Diagram izgube zraka zaradi netesnosti
Vir: Croser in Ebel, 1994

2.3.5 Dimenzioniranje cevovodov

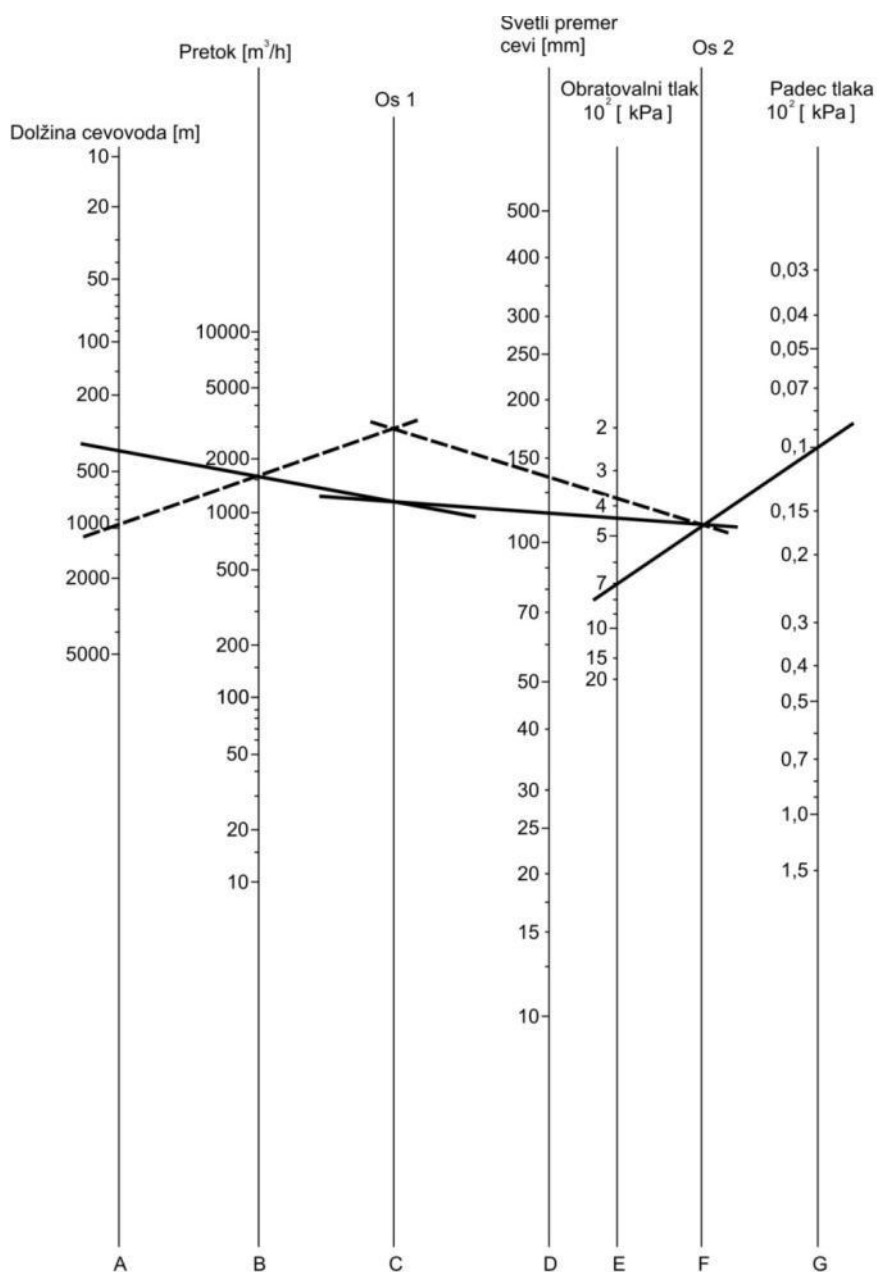
Premer cevovoda moramo dimenzionirati tako, da padec tlaka od zbiralnika do potrošnika ne bo večji od 10 kPa (0,1 bar). Večja izguba bi ogrozila gospodarnost in zmanjšala sposobnost pnevmatičnih naprav. Pri načrtovanju moramo tudi upoštevati naknadno povečanje kompresorskih zmogljivosti zaradi večjih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

Pri določanju premera cevi moramo upoštevati:

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

Za določitev premera cevi moramo poznati celotno dolžino cevovoda. Za cevne zveze, odcepe, loke, za zaporne ventile določimo upore z nadomestno dolžino cevovoda. Izbira notranjega premera cevi je poleg tega odvisna tudi od obratovalnega tlaka in pretočne količine. Najboljše je, če določimo premer cevi s pomočjo nomograma, prikazanega na sliki 45.

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

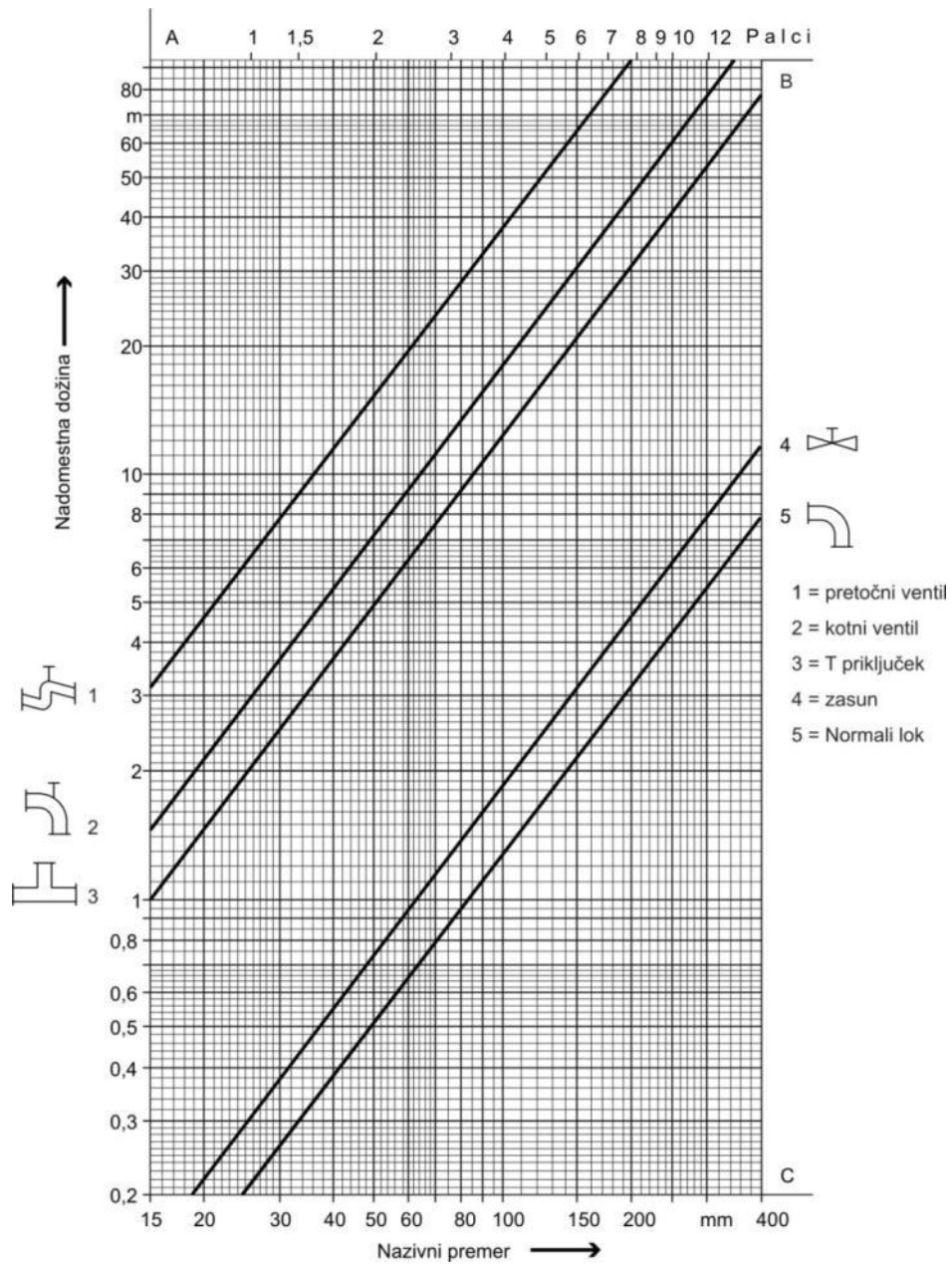


Slika 45: Nomogram za določitev svetlega premera cevi
Vir: Croser in Ebel, 1994

2.3.6 Pretočni upor

Vsak tok zraka znotraj cevi je moten zaradi pretočnih uporov, ki povzročajo stalen padec tlaka znotraj cevne sistema. Padec tlaka povzročajo tudi cevne zveze, odcepi, loki in druga potrebna armatura. Izgub tlaka v cevovodu ne moremo preprečiti, jih pa lahko z uporabo ustreznih materialov in pravilno montažo občutno znižamo.

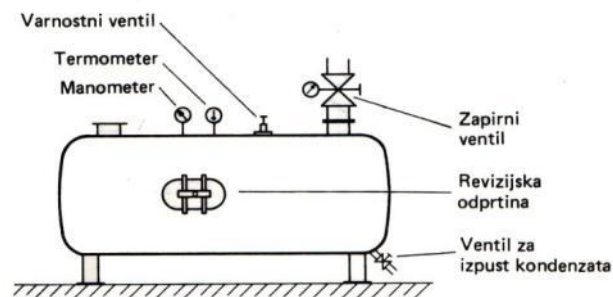
Upori pretoka se podajajo z nadomestno dolžino cevi. Pod nadomestno dolžino razumemo ravne cevi z enakim pretočnim uporom, kot ga ima dušilni element. Premer nadomestne dolžine je enak premeru cevne voda. Nadomestno dolžino cevi odčitamo za posamezne dušilne elemente na osnovi znanega premera s pomočjo nomograma na sliki 46.



Slika 46: Nomogram za določanje nadomestne dolžine cevi
Vir: Croser in Ebel, 1994

2.3.7 Shranjevalnik stisnjenega zraka

Shranjevalnik zagotavlja stabilnost oskrbe s stisnjenim zrakom, izravnava tlačna nihanja v omrežju zaradi odvzema. Zaradi velike površine shranjevalnika se zrak ohlaja, pri čemer se izloči del vlage v obliki kondenzata. Sestavne dele shranjevalnika prikazuje slika 47.



Slika 47: Shranjevalnik zraka
Vir: Croser in Ebel, 1994

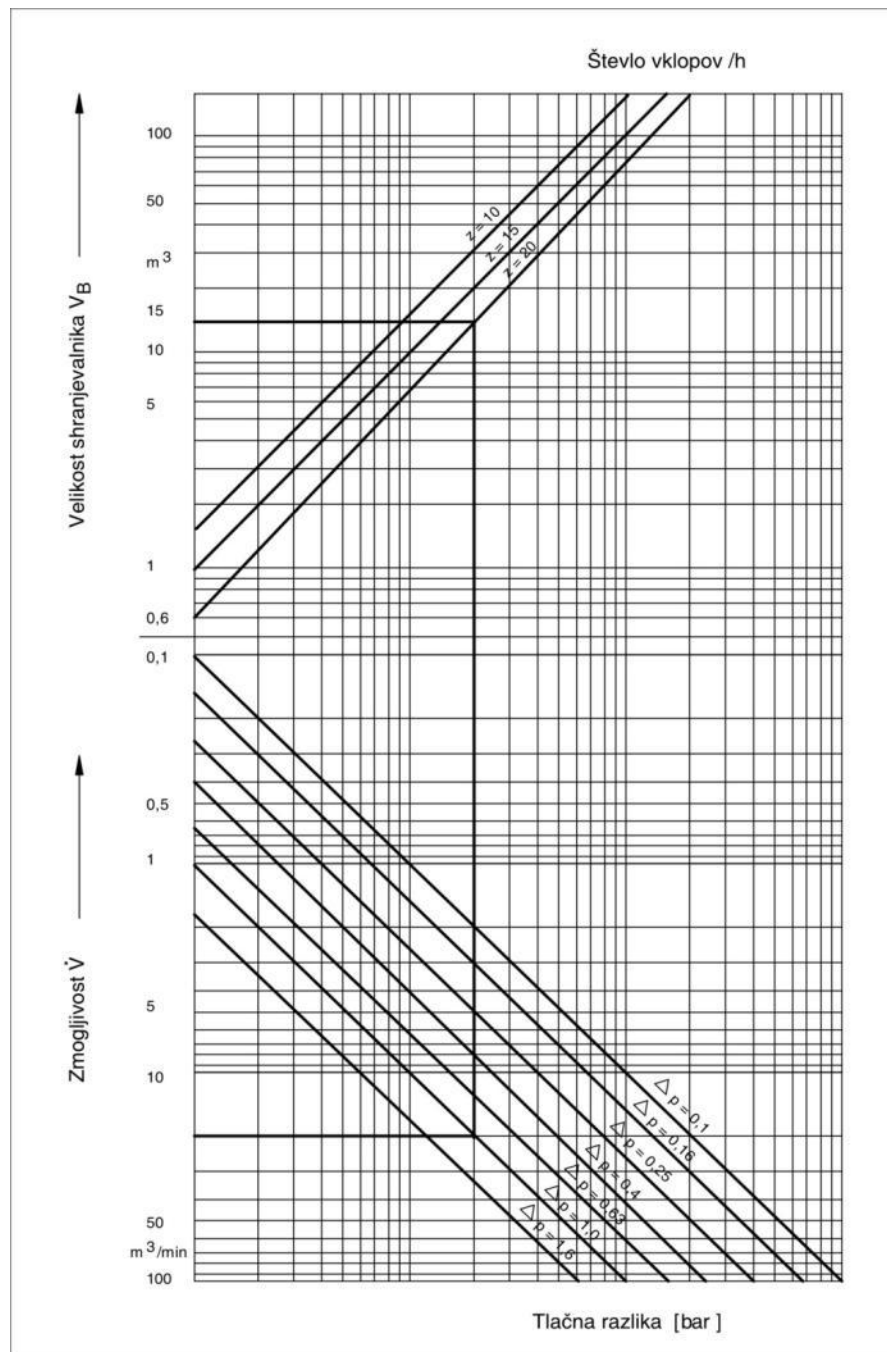
Velikost shranjevalnika pogojuje:

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

Primer

S pomočjo diagrama na sliki 48 določite velikost shranjevalnika ob podatkih:

Zmogljivosti kompresorja	$\dot{V} = 20 \text{ m}^3/\text{min}$
Število vklopov/uro	$z = 20$
Tlačna razlika	$\Delta p = 100 \text{ kPa}$
Velikost shranjevalnika	$V_B = ?$



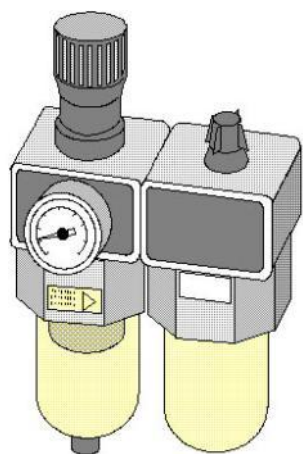
Slika 48: Diagram za določitev velikosti shranjevalnika z ustavljanjem
Vir: Croser in Ebel, 1994

2.3.8 Pripravna skupina

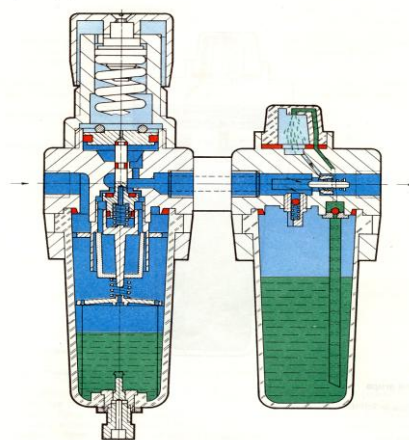
Pripravna skupina je namenjena za pripravo stisnjenga zraka. Pripravno skupino sestavlja zračni filter, regulator tlaka, manometer in naoljevalnik. Sestavo pripravne skupine ponazarja slika 49, v prerezu pa slika 50.

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

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



Slika 49: Pripravna skupina
Vir: Croser in Ebel, 1994



Slika 50: Pripravna skupina
Vir: Croser in Ebel, 1994

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

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

Naoljevanje stisnjenega zraka naj se zagotovi v primerih:

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

Prekomerno naoljevanje lahko povzroči:

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

Pri pripravnici moramo upoštevati:

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

Tabela 10: Elementi preventivnega vzdrževanja pripravne skupine

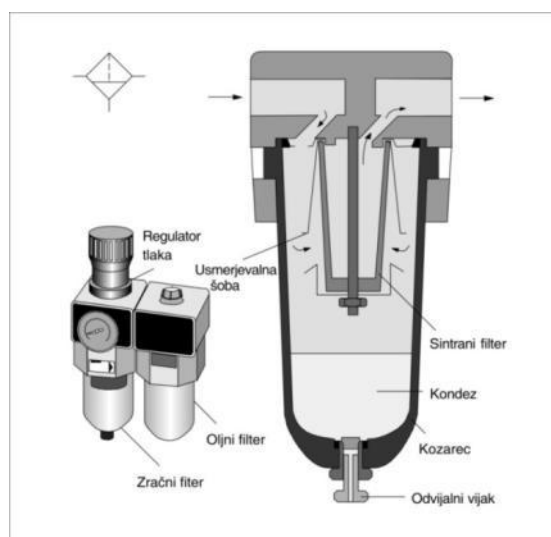
Sestavni del	Vrsta opravil
Filter stisnjenega zraka	Skozi prozorni kozarec moramo redno kontrolirati nivo kondenzata, ki ne sme preseči maksimalnega nivoja. Pri previsokem nivoju odnaša zrak kondenzat naprej. Nabrani kondenzat odvedemo z odvajalnim ventilom na spodnjem koncu kozarca. Istočasno kontroliramo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

Vir: Lasten

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

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

Pri ustrezni konstrukcijski izvedbi so filtri stisnjenege zraka uporabni tudi za filtriranje kondenzata. Nabrani kondenzat se mora, še predno doseže zgornji nivo, odvesti, sicer ga zračni tok odnaša skozi filter naprej. Tok zraka skozi filter in sestavo filtra prikazuje slika 51.



Slika 51: Fini filter

Vir: Croser in Ebel, 1994

Če zrak ni osušen, se v kozarcu hitro nabere preveč kondenzata oziroma ga je treba zelo pogosto odvajati. V takem primeru je priporočljiva uporaba avtomatične odvajalne naprave namesto ročnega ventila.

Avtomatično odvajalno napravo sestavlja plavač, ki povzroči pri zvišanju kondenzata na maksimalni nivo odpiranja odvajalnega ventila. Pri znižanju gladine kondenzata na minimalni nivo se ventil zopet zapre. Dodatno je možno tudi ročno odvajanje - preizkušanje delovanja.

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

S stopnjo filtriranja kot značilnost filtra razumemo odstotno količino delcev, ki jih filter izloči od skupne količine iz stisnjene zrak. Pri velikosti filtra 5 μm se praviloma lahko doseže stopnjo filtriranja 99,99 %.

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

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

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

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

2.3.9 Regulator tlaka

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

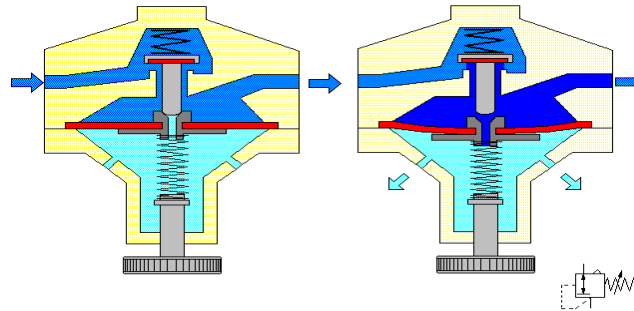
Za zanesljivo delovanje pnevmatičnega sistema je potreben konstanten nivo tlaka, ki ga zagotovimo z ventilom za regulacijo tlaka - regulator tlaka. Regulator tlaka vgrajujemo na priključku pnevmatičnega sistema na razdelilno mrežo stisnjene zrak. Z njim zagotovimo neodvisno od tlačnih nihanj v mreži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

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

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

Če se poveča tlak na sekundarni strani, n. pr. pri spremembi obremenitve na cilindru, se membrana potisne navzdol proti vzmeti. Pretočni ventil se pripre ali zapre. Membranski ventil se odpre in povečani tlak se sprostí skozi odzračevalne odprtine na prosto (funkcija varnostnega ventila). Princip delovanja regulatorja tlaka z odzračevanjem prikazuje slika 52.

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



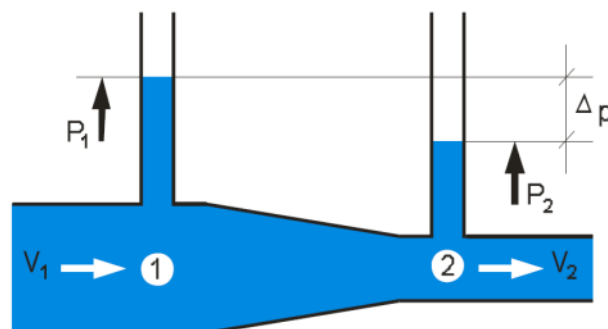
Slika 52: Regulator tlaka z odzračevanjem

Vir: Croser in Ebel, 1994

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

2.3.10 Naoljevalnik

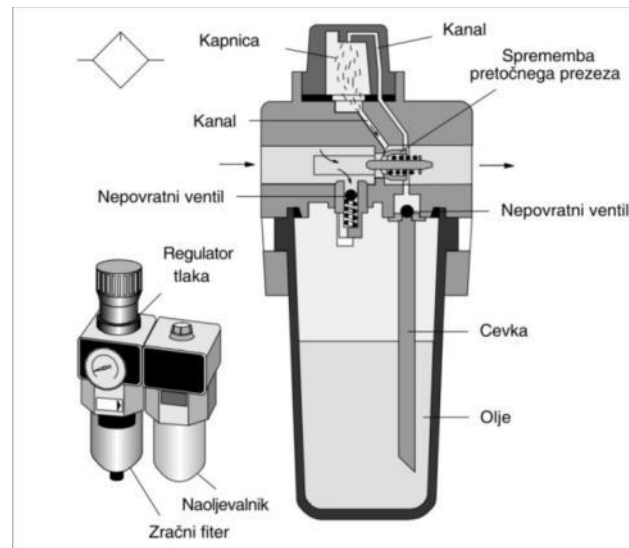
Naoljevalnik omogoča varovanje elementov pred korozijo in izrabo gibajočih delov. Naoljevalnik deluje po Venturijevem principu, ki ga ponazarja slika 53. Razliko tlaka Δp med tlakom na začetku šobe in tlakom na zoženem mestu šobe uporabljamo za sesanje tekočine iz kozarca in za razprševanje v stisnjen zrak.



Slika 53: Venturijev princip

Vir: Croser in Ebel, 1994

Stisnjen zrak, ki teče skozi naoljevalnik, povzroča v zoženem delu podtlak. S podtlakom se po sesalni cevi sesa olje iz kozarca. Olje prihaja po kapljicah skozi kapnico v zračni tok, ki razprši kapljice v oljno meglo in jo odnaša do mest mazanja. Princip delovanja naoljevalnika in sestavne dele prikazuje slika 54.

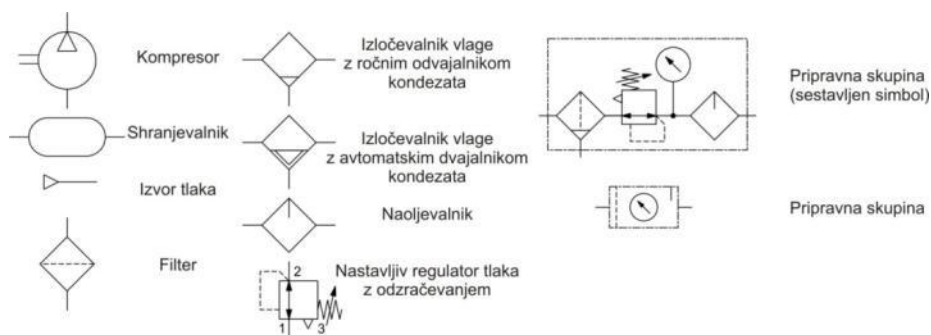


Slika 54: Naoljevalnik
Vir: Croser in Ebel, 1994

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

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

Zgoraj opisane elemente lahko prikažemo tudi s simboli, ki so prikazani na sliki 55. Simboli ne prikazujejo konstrukcijskih lastnosti posameznih elementov ampak princip delovanja.



Slika 55: Prikaz elementov za pripravo zraka s simboli
Vir: Croser in Ebel, 1994

Povzetek

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

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

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

Vprašanja in naloge

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

Poraba zraka:

Trenutna poraba zraka	=	1200,0 m ³ /h
Predvideno povečanje porabe = 50 %	=	500,0 m ³ /h
Predvidene izgube = 10 %	=	150,0 m ³ /h
Skupna poraba		= 1.850,0 m³/h

Ostali podatki:

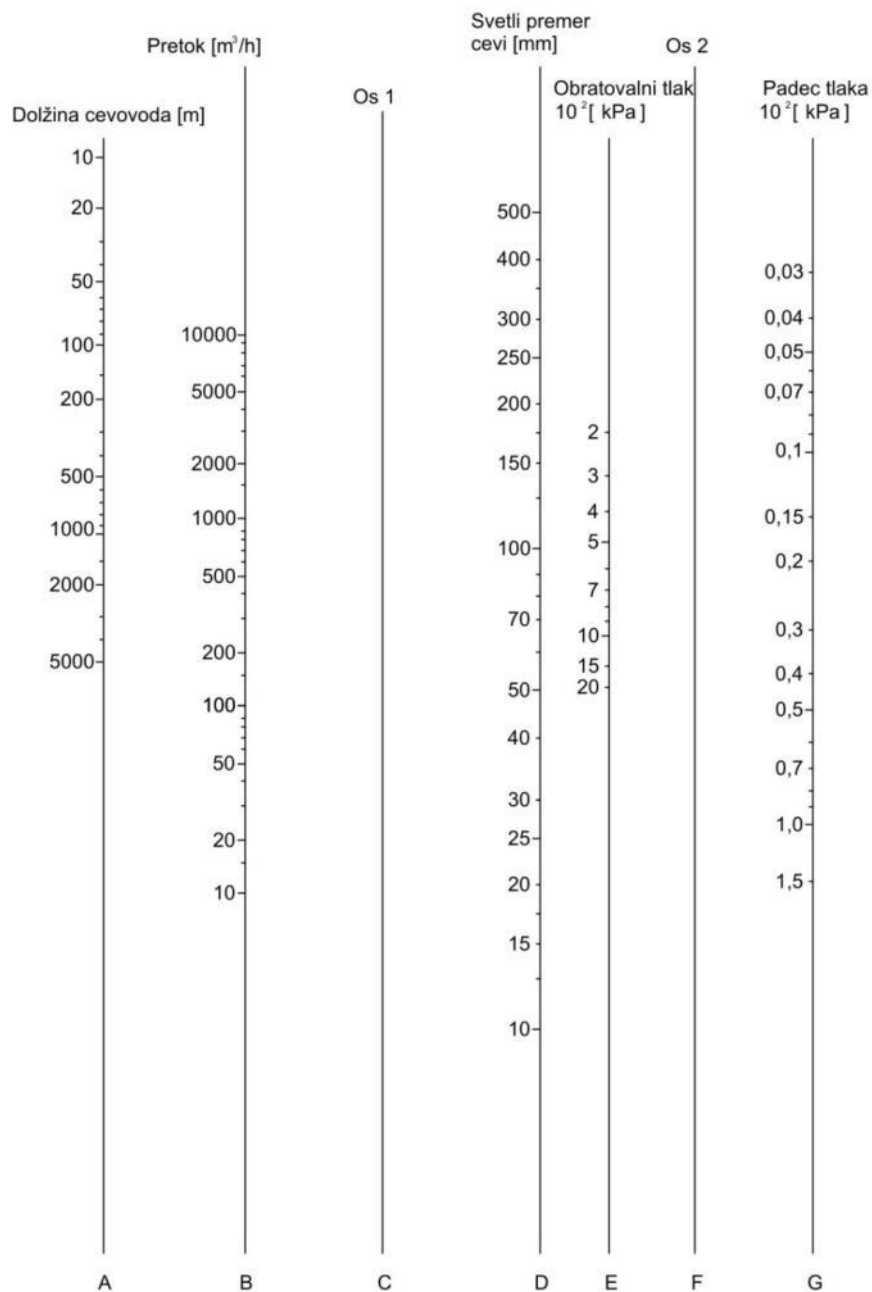
Obratovalni tlak	=	800,0 kPa
Dopustni padec tlaka	=	10,0 kPa
Dolžina cevovoda	=	650 m

Katere dušilne elemente imamo vgrajene v cevovodu in koliko, prikazuje spodnja tabela 11.

Tabela 11: Dušilni elementi

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

Vir: Lasten



4. V podjetju imajo organizirano dvoizmensko delo. V proizvodnji imajo obratovalni tlak nastavljen na 6 barov. Nekje v cevovodnem omrežju uhaja zrak zaradi slabe izvedbe spoja med cevjo omrežja in ventilom. Omenjena netesnost ustreza premeru odprtine 2 mm. S pomočjo diagrama ugotovite izgubljeno količino zraka v [m³/min] in izračunajte dnevno izgubo zraka.

2.4 PNEVMATIČNE DELOVNE (IZVRŠILNE) KOMPONENTE

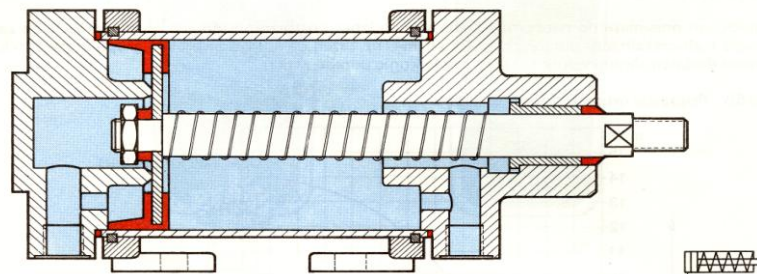
Pnevmatične delovne komponente so naprave, ki energijo stisnjenega zraka spreminjajo v premočrtno ali rotacijsko gibanje. Enosmerni in dvosmerni cilinder sta osnova za različne nadaljnje konstrukcijske variante.

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

2.4.1 Pnevmatične komponente za premočrtno gibanje

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

Pri enosmernem cilindru dovajamo stisnjeni zrak samo z ene strani. Delo lahko opravlja samo v eni smeri. Pri enosmernih cilindrih z vgrajeno povratno vzmetjo je dolžina giba omejena zaradi konstrukcijskih možnosti vgradnje vzmeti. Vzmet mora biti dimenzionirana tako, da vrne bat v izhodiščni položaj z dovolj veliko hitrostjo. Primer enosmerne cilindra prikazuje slika 56.

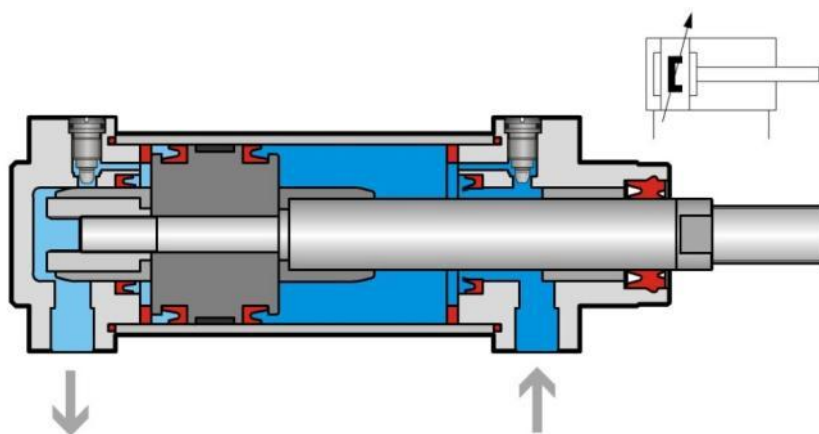


Slika 56: Enosmerno delujoči cilinder

Vir: Croser in Ebel, 1994

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

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



Slika 57: Dvosmerni cilinder s končnim dušenjem in trajnim magnetom
Vir: Croser in Ebel, 1994

Če se premika večje mase, uporabimo dvosmerni cilinder s končnim dušenjem. S tem se prepreči udarjanje bata in poškodovanje valja. Malo pred končnim položajem se z dodatnim batom zapre neovirano odzračevanje valja. Zrak lahko potem odteka le skozi nastavljivo dušilko in bat se premakne v končni položaj z zmanjšano hitrostjo. Dušilke ne smemo popolnoma zapreti, ker se sicer bat ne more premakniti v končni položaj. Na sliki 57 vidimo, da ima bat vgrajen trajni magnet, ki služi za kontrolo položaja batnice.

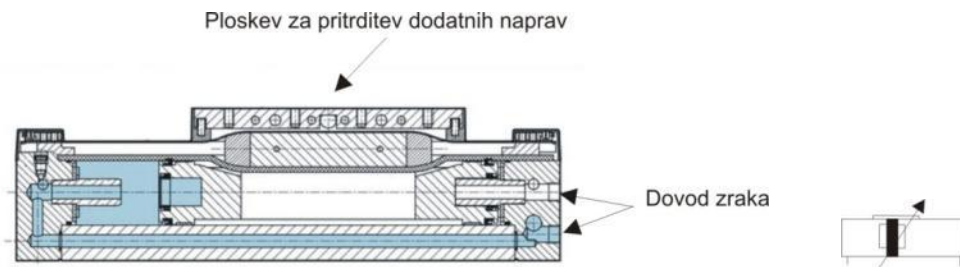
Cilinder sestavlja cev ohišja, zadnji in ležajni pokrov, bat s tesnilom (dvojna cilindrična manšeta), batnica, ležajna puša, tesnilni obroček, vezni členi in tesnila. Za cev ohišja se uporablja pretežno brezšivno, vlečeno jekleno cev.

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

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

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

Linearni pogon, ki je prikazan na sliki 58 in 59, sestavlja cilindrična cev, bat in zunanji drsnik. Bat se v cilindrični cevi prosto premika pod vplivom stisnjene zraka. V batni in drsniku je vgrajen permanentni magnet. Gibanje bata se prenaša na drsnik z magnetnimi silnicami. Kakor se pod vplivom stisnjene zraka premika bat, tako se premika (sinhrono) tudi drsnik. Te cilindre uporabljamo za posebno dolge gibe; tudi do 10 m. Naprave, ki se jih premika, se lahko pritrdi direktno na drsnik.



Slika 58: Linearni pogon

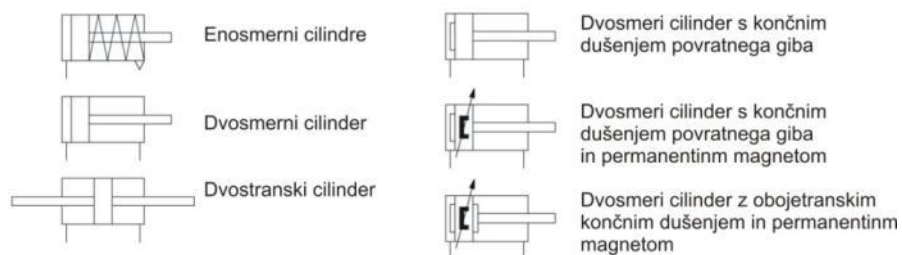
Vir: prirejeno po: <http://pdf.directindustry.com/pdf/festo/dgp-linear-drive-unit/4735-24720-13.html> (15. 3. 2011)



Slika 59: Linearni pogon

Vir: prirejeno po: <http://pdf.directindustry.com/pdf/festo/dgp-linear-drive-unit/4735-24720-6.html> (15. 3. 2011)

Pnevmatične komponente za premočrtno gibanje lahko ponazorimo tudi s simboli, prikazanimi na sliki 60.



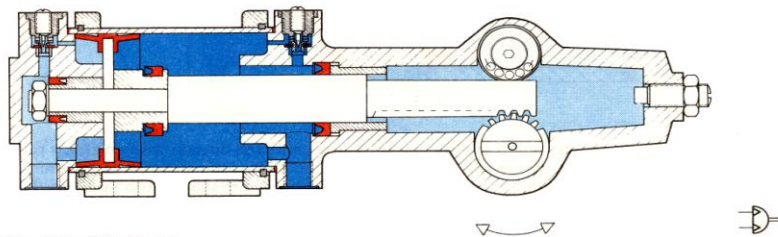
Slika 60: Simboli pnevmatskih komponent za linearno gibanje

Vir: prirejeno po: Haring, Metzger in Weber, 2009

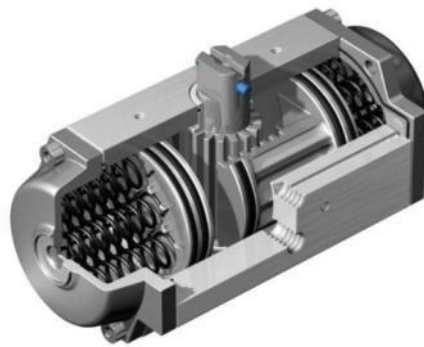
2.4.2 Pnevmatične komponente za rotacijsko gibanje

Zasučni cilinder ima konec batnice na določeni dolžini ozobljeno, prikazuje ga slika 61. Pri gibanju bata poganja batnica zobnik in tako dobimo iz premočrtnega vrtilno gibanje. Glede na smer gibanja bata se suka zobnik v eno ali drugo smer. Od izvedbe je odvisen kot zasuka; od 45° , 90° , 180° , 290° do 720° . Obstaja tudi možnost nastavljanja zasuka glede na maksimalno območje.

Vrtilni moment je odvisen od tlaka zraka, ploščine bata in od prestavnega razmerja. Zasučni cilinder lahko uporabimo za obračanje obdelovancev, za upogibanje kovinskih cevi, za regulacijo klimatskih naprav in podobno. Zasučni cilinder v prerezu predstavlja slika 62.

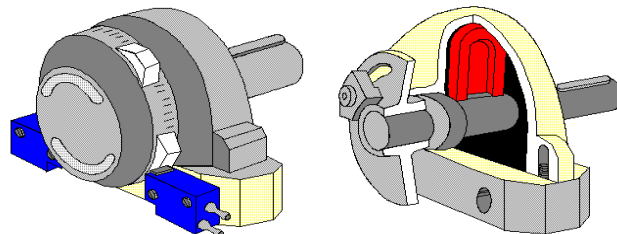


Slika 61: Zasučni cilinder
Vir: Croser in Ebel, 1994



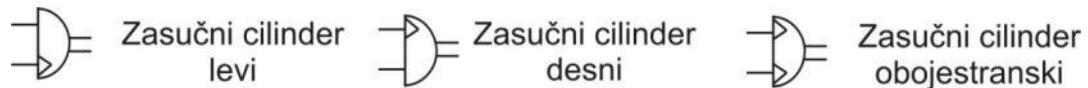
Slika 62: Zasučni cilinder
Vir: Haring, Metzger, in Weber, 2009

Zasučni krilni cilinder, ki ga predstavlja slika 63, ima omejen kot zasuka. Kot zasuka je redkokdaj večji od 300° . Problematično je tesnjenje in dimenzijska obsežnost. Z njim dosegamo praktično le majhne vrtilne momente. Občasno jih uporabljamo v pnevmatiki, pogosto pa v hidravliki.



Slika 63: Zasučni krilni cilinder
Vir: Croser in Ebel, 1994

Za poenostavljen prikaz zasučnih cilindrov uporabljamo simbole, prikazane na sliki 64.



Slika 64: Simboli pnevmatskih komponent za rotacijsko gibanje
Vir: Croser in Ebel, 1994

2.4.3 Pnevmatični motorji

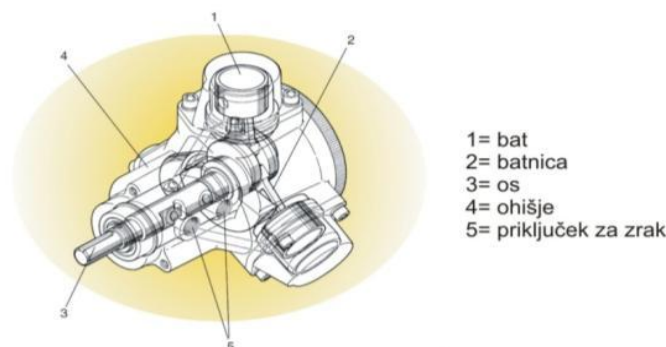
Pnevmatični motorji so naprave, ki spreminjajo pnevmatično energijo v mehansko energijo vrtenja. Pretežno v praksi uporabljamo pnevmatične motorje - brez omejenega kota zasuka.

Pnevmatične motorje delimo po njihovi konstrukciji na:

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

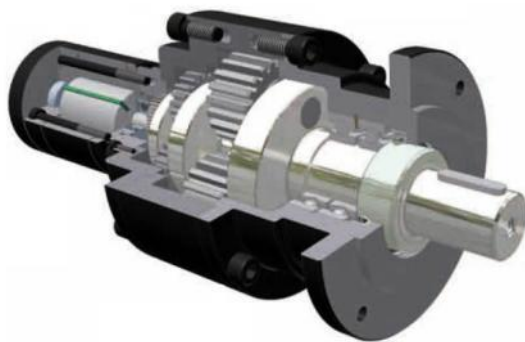
Batne motorje delimo po izvedbi na radialne in aksialne. Pri radialnih motorjih poganja stisnjen zrak kolenčasto gred preko radialno nameščenih valjev. Zaradi enakomernega teka je vgrajenih več valjev. Zmogljivost motorja je odvisna od vhodnega tlaka, števila batov, ploščine batov, dolžine giba in hitrosti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

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



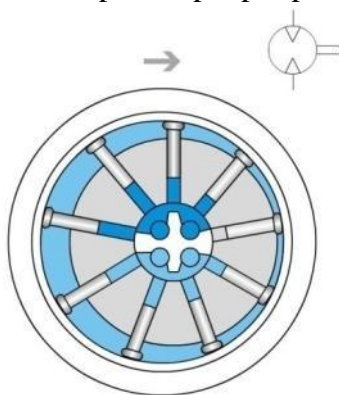
Slika 65: Radialni motor

Vir: prirejeno po: http://www.guedon.de/fileadmin/user_upload/pdf/guedon-radial-kolbenmotoren-reihe-p1v-p-p09pdf.pdf (12. 3. 2011)



Slika 66: Lamelni motor

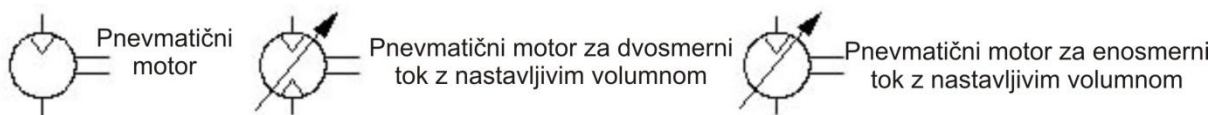
Vir: prirejeno po: http://www.guedon.de/fileadmin/user_upload/pdf/guedon-robuste-druckluft-motoren-reihe-p1v-m-p09pdf.pdf/ (12. 3. 2011)



Slika 67: Lamelni motor

Vir: Croser in Ebel, 1994

Lamelni motor ima v cilindričnem ohišju ekscentrično vgrajen rotor. V rotorju so utori, v katerih so lamele. Pri vrtenju rotorja so lamele zaradi centrifugalne sile pritisnjene ob steno cilindričnega ohišja. S tem je zagotovljeno tesnjenje med posameznimi celicami. Število vrtljajev rotorja je med 3000 in 8500 min^{-1} . Tudi lamelni motorji se lahko vrtijo v desno ali levo smer, zmogljivost znaša od $0,1$ - 17 kW ($0,1$ - 24 KM). Za lamelne motorje je značilna enostavna konstrukcija in majhna teža.



Slika 68: Simboli pnevmatičnih motorjev

Vir: Croser in Ebel, 1994

2.4.4 Načini pritrditve cilindrov

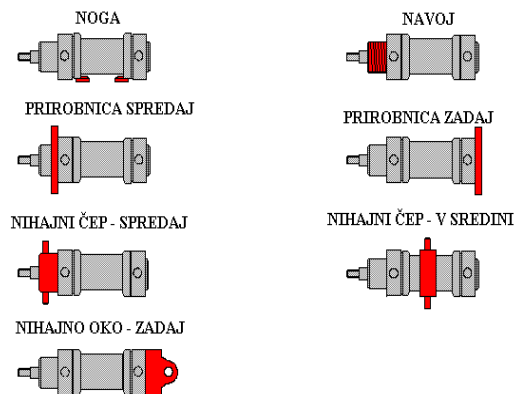
Način pritrditve cilindra prikazuje slika 69 in je odvisen od vgradnje cilindra na stroj. Če ni predvidena poznejša sprememba vgradnje, se lahko izvede trajno pritrditev cilindra. Sicer pa pritrdimo cilindre z uporabo dodatnih elementov tako, da jih lahko enostavno demontiramo, vgradimo drugače ali drugje.

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

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

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

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



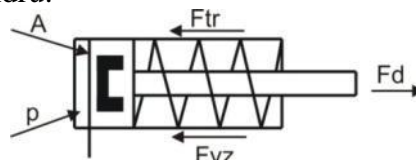
Slika 69: Načini pritrditve cilindrov

Vir: Croser in Ebel, 1994

2.4.5 Dimenzioniranje cilindra

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

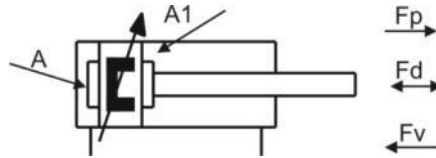
Sila bata pri enosmernem cilindru:



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

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

Sila pri dvosmernem cilindru



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

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

Dejanska sila pri potiskanju
Dejanska sila pri vlečenju

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

Površina pri delovnem gibu bata

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

Površina pri povratnem gibu bata

F_{teor} = teoretična sila bata	[N]
F_d = dejanska sila bata	[N]
F_{tr} = sila trenja (3-20% F_d)	[N]
F_{vz} = sila povratne vzmeti	[N]
A = koristna površina bata	[m ²]
A_1 = površina kolobarja bata	[m ²]
D = premer valja	[m]
d = premer batnice	[m]
p = delovni tlak	[Pa, N/m ²]

2.4.6 Izračun porabe zraka

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

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

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

p = delovni tlak
 T_r = tlačno razmerje

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

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

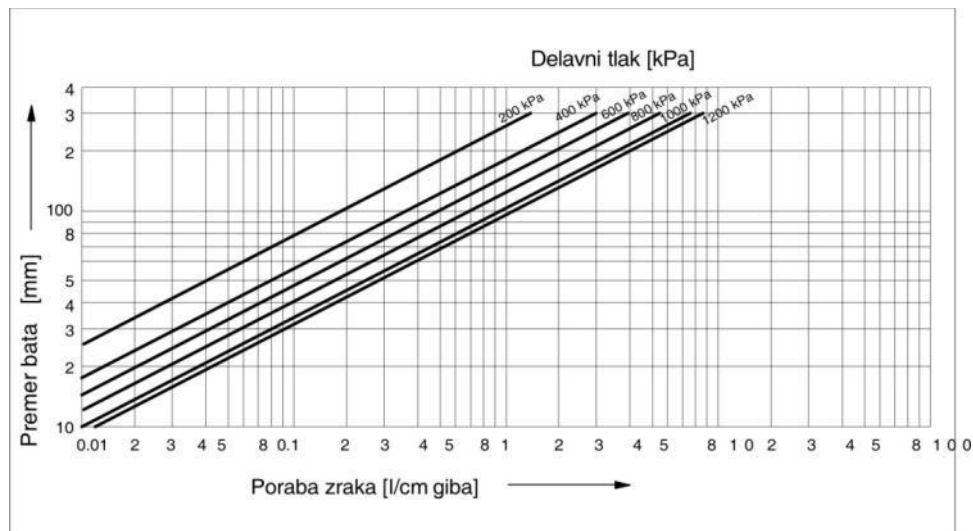
Poraba zraka pri dvosmernem valju: $Q = s \cdot \left[\frac{D^2 \cdot \pi}{4} + \frac{(D^2 - d^2) \cdot \pi}{4} \right] \cdot n \cdot T_r [l/min]$

Q = količina zraka	[l/min]
s = dolžina giba	[cm]
n = število gibov	[min]
D = premer bata	[cm]

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

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

Q = količina zraka	[l/min]
s = dolžina giba	[cm]
n = število gibov	[1/min]
q = poraba zraka na cm giba	[l/cm]



Slika 70: Nomogram za določitev porabe zraka
Vir: Croser in Ebel, 1994

Ob upoštevanju gornjih podatkov tako dobimo:

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

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

Povzetek

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

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

Vprašanja in naloge

1. Na osnovi podatkov izračunajte dejansko silo dvosmernega cilindra pri potiskanju in vlečenju.

$$D = 50 \text{ mm}$$

$$d = 12 \text{ mm}$$

$$p = 600 \text{ kPa}$$

$$A = 19,625 \text{ cm}^2$$

$$A_1 = 18,5 \text{ cm}^2$$

$$F_{tr} = 10\% \text{ srednje vrednosti}$$

2. Kolikšna je poraba zraka pri dvosmerno delujočem cilindru premera bata 50 mm in batnice 12 mm, z dolžino giba 100 mm, če cilindri opravi 10 gibov na minuto pri tlaku 600 kPa?
3. Pojasnite, od česa je odvisna poraba zraka priključenih delovnih elementov?

2.5 PNEVMATIČNE KRMILNE KOMPONENTE

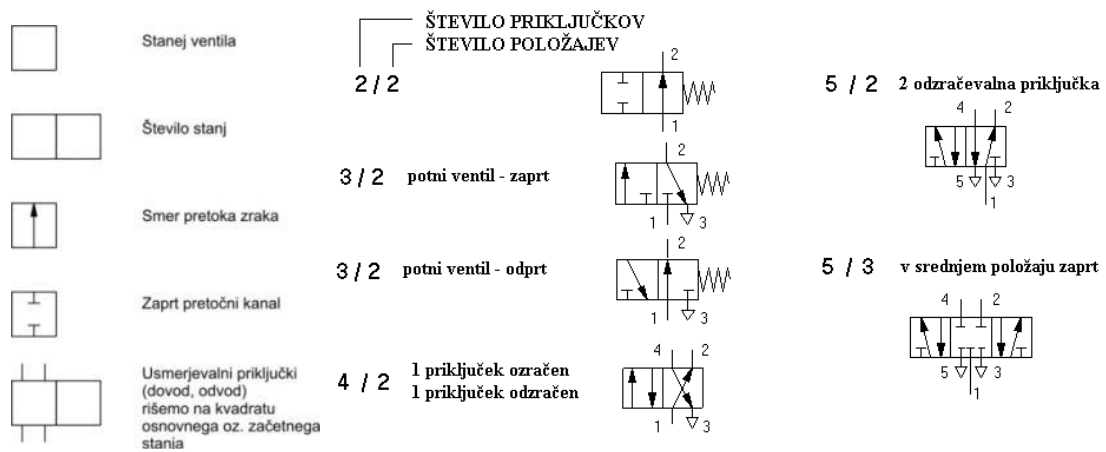
Pnevmatično krmilje sestavljajo signalne in krmilne komponente, ki vplivajo na potek delovanja delovnih komponent. Signalne in krmilne komponente po ISO 1219 so ventili, ki vplivajo na pot zračnega toka. Uporabljajo se za krmiljenje funkcij START, STOJ, regulacijo tlaka in pretoka delovnega medija. Iz simbola ventila je razvidno število priključkov, vklopnih položajev in način aktiviranja. Simboli ne prikazujejo konstrukcijskih značilnosti, temveč samo funkcijo ventilov.

Po funkciji jih delimo na :

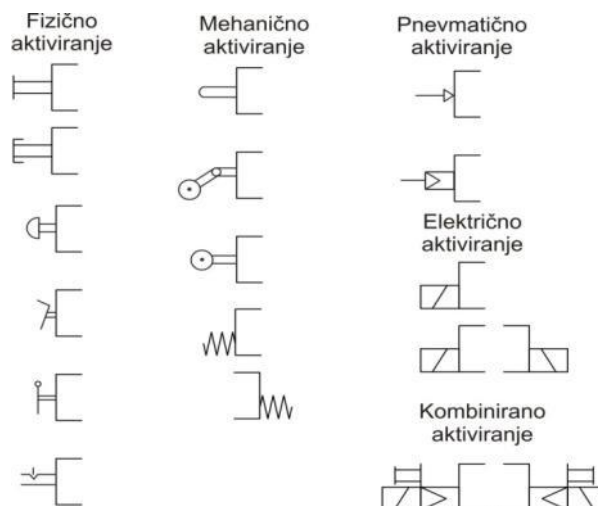
- potne ventile
- zaporne ventile
- tlačne ventile
- tokovne ventile
- zapirne ventile.

2.5.1 Potni ventili

Potni ventili so naprave, ki vplivajo na pot zračnega toka, ki ga odpirajo in zapirajo. Potne ventile opišemo s številom priključkov, številom položajev in z označbo pretočne poti, kar prikazuje slika 71. Da pri priključevanju ne pride do pomote, so vsi vhodi oziroma izhodi ventila označeni.



Slika 71: Način prikaza ventilov s simboli in oznake ventilov
Vir: Prirejeno po: Croser in Ebel, 1994



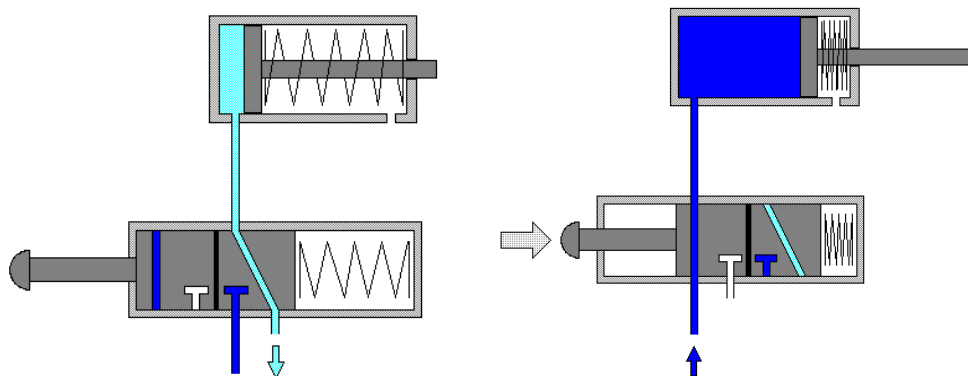
Slika 72: Načini aktiviranja ventilov
Vir: Haring, Metzger in Weber, 2009

Načine aktiviranja ventilov ponazarjamo s simboli, ki so določeni s standardom ISO 1219. Pri simbolu ventila mora biti označen način aktiviranja in način povratnega preklopa. Normalno narišemo te znake na obeh straneh simbola ventila. Posamezne načine aktiviranja ventilov prikazuje slika 72.

Ločimo **osnovno stanje ventila**. To je stanje, ko na ventil ne delujemo z nobeno silo. **Aktivirano stanje ventila** je stanje, ko na ventil delujemo z določeno silo. **Izhodiščni položaj** ventila je položaj, ki ga zavzamejo gibljivi deli ventila ob vgradnji na stroj in pri vklopu energije (stisnjen zrak, elektrika).

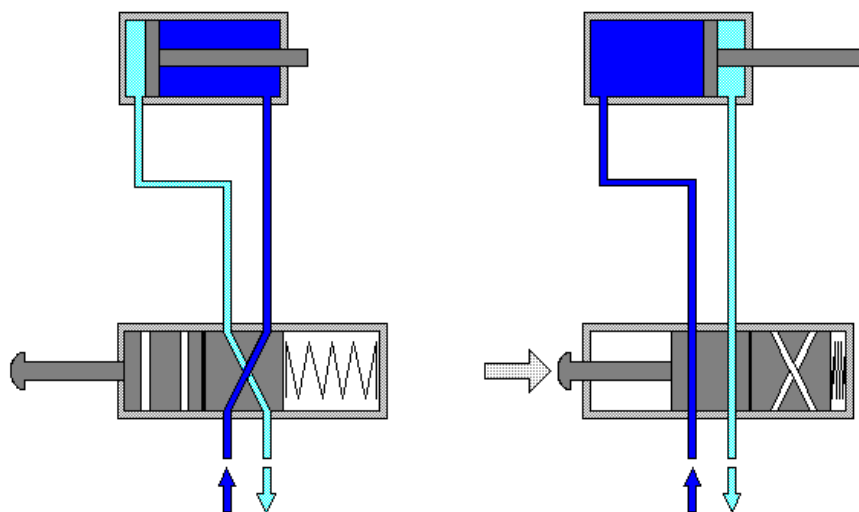
Monostabilni ventil je ventil, ki se po prenehanju delovanja sile vrne v osnovno stanje. Poleg monostabilnih ventilov poznamo tudi **bistabilne ventile**, za katere je značilno, da se po prenehanju delovanja sile ne vrnejo v osnovno stanje (ostanejo v preklapljenem stanju).

Če je ventil v **osnovnem stanju zaprt**, pomeni, da ko na ventil ne delujemo z nobeno silo na izhodnem priključku, nimamo signala. Če pa je ventil v **osnovnem stanju odprt**, pomeni, da ko na ventil ne delujemo z nobeno silo, imamo na izhodnem priključku signal. Krmiljenje cilindra z ventilom, ki je v osnovnem položaju zaprt, prikazujeta sliki 73 in 74.



Slika 73: Osnovno in aktivirano stanje pri 3/2 monostabilnem ventilu

Vir: Croser in Ebel, 1994



Slika 74: Osnovno in aktivirano stanje pri 4/2 monostabilnem ventilu

Vir: Croser in Ebel, 1994

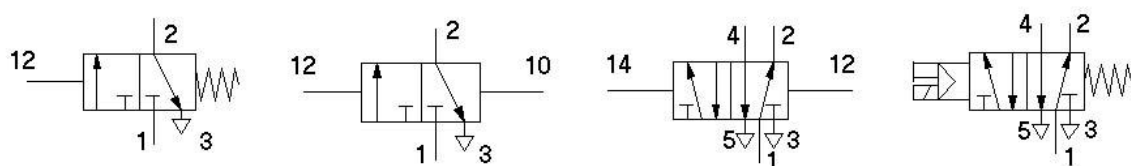
Konstruktivske značilnosti ventilov vplivajo na dobo trajanja, preklopno silo, način preklopa, na možnosti priključevanja in na velikost ventila. V tabeli 12 imamo zbrane ventile, ki se glede konstrukcijske izvedbe ločijo na ventil s kroglico, krožnikom in batnim drsnikom.

Tabela 12: Vrste potnih ventilov

<p>3/2 ventil s kroglico (zaprt)</p>	<p>3/2 ventil s krožnikom (odprt)</p>	<p>3/2 pnevmatično krmiljen s sedežem v obliki krožnika</p>	<p>Posredno krmiljen 3/2 ventil s sedežem v obliki krožnika</p>
<p>5/2 potni ventil, pnevmatično krmiljen z vzdolžnim batnim drsnikom</p>		<p>5/2 potni ventil, pnevmatično krmiljen z vzdolžnim batnim drsnikom z možnostjo ročnega preklopa</p>	

Vir: Croser in Ebel, 1994

Priključke potnih ventilov lahko označujemo po standardu ISO 5599-3 na način, kot prikazuje spodnja slika 75. V tabeli 13 pa prikazujemo pomen oznak posameznih priključkov.



Slika 75: Označevanje priključkov

Vir: Croser in Ebel, 1994

Tabela 13: Pomen oznak na ventilih

Delovni priključki	Opis
1 (P)	dovod zraka
2 (A pri 3/2 oz. B pri 5/2, 4 (A))	delovni priključek 2 in 4
3 (S), 5 (R)	odzračevalni priključek 3 in 5

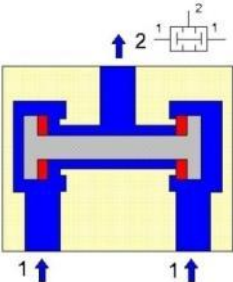
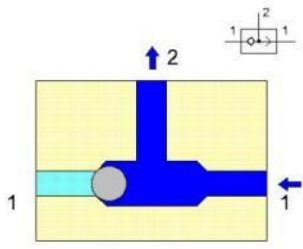
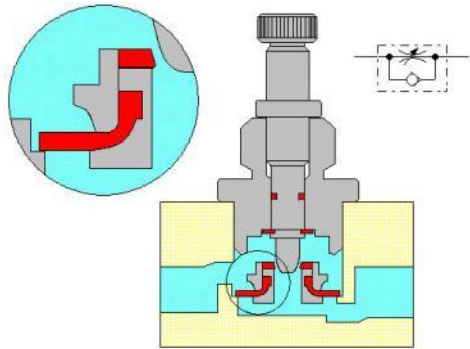
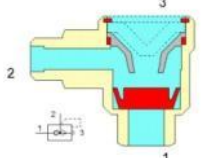
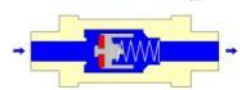
Krmilni priključki	Opis
Oznaka 10 pomeni	zapre pretok 1 proti 2
Oznaka 12 pomeni	signal na priključku 12 poveže priključka 1 in 2
Oznaka 14 pomeni	signal na priključku 14 poveže priključka 1 in 4

Vir: Lasten

2.5.2 Zaporni ventili

Zaporni ventili zapirajo pretok v eni smeri, v drugi smeri pa omogočajo neoviran pretok. Tlak v zaporni smeri deluje na tesnilni element in s tem prispeva k tesnitvi ventila. Posamezne izvedbe zapornih ventilov imamo zbrane v tabeli 14. Slika 76 pa prikazuje omenjene ventile s simboli.

Tabela 14: Vrste zapornih ventilov

Dvotlačni ventil	Izmenično nepovratni ventil	Dušilno nepovratni ventil
		
Hitro odzračevalni ventil	Nepovratni ventil	
		

Vir: Croser in Ebel, 1994

Dvotlačni ventil ima dva vhoda in en izhod. Pretok je odprt le, če je signal na obeh vhodih. Če imamo vhodni signal samo na enem vhodu, si sam zapre pretok s premičnim batom in pripravi prosto pot za drugi signal neodvisno od časa. Pri signalih z različnim tlakom si zapre pot močnejši signal in na izhodu 2 nastane signal z nižjim tlakom. Dvotlačni ventil uporabljamo na splošno za blokade, kontrolne funkcije oziroma za logično IN pogojevanje signalov.

Izmenično nepovratni ventil ima dva vhoda in en izhod. Ko nastane signal na enem vhodu, zapre tesnilni element drugi vhod in zrak teče proti izhodu. Ta ventil imenujemo tudi ALI člen. Za krmiljenje valja ali ventila z dveh ali več mest moramo vedno uporabiti potrebno število izmeničnih ventilov.

Hitro odzračevalni ventili so namenjeni za povečanje hitrosti cilindrov. Hitrost gibanja, predvsem povratno gibanje pri enosmernih valjih, lahko povečamo in s tem skrajšamo čas vračanja cilindra. Batnica cilindra se premakne nazaj z največjo možno hitrostjo, ker lahko

zrak odteka skozi hitro odzračevalni ventil ob najmanjših pretočnih uporih (eliminirani so pretočni upori cevi, ventilov). Hitro odzračevalni ventili imajo relativno veliko odzračevalno odprtino.

Nepovratni ventili lahko pretok v eni smeri popolnoma zapirajo, v nasprotni smeri pa lahko teče zrak z najmanjšo možno tlačno izgubo. Zaporni element je lahko kegelj, kroglica, ploščica ali membrana.

Dušilni ventili vplivajo na prostorninski tok stisnjenega zraka v obeh smereh. Če dodamo k dušilnemu ventilu še nepovratni ventil, bo pretok v eni smeri skozi dušilko oviran, v nasprotni smeri skozi nepovratni ventil pa neoviran. Dušilni ventili so praviloma nastavljivi. V nastavljenem položaju jih lahko fiksiramo. Dušilne ventile uporabljamo za nastavitve hitrosti cilindrov. Pri dušilnih nepovratnih ventilih se duši tok zraka samo v eni smeri.

Pri tej smeri toka zraka se nepovratni ventil zapre in zrak lahko teče samo skozi nastavljev preoz dušilke. V nasprotni smeri teče zrak neovirano skozi odprti nepovratni ventil. Te ventile uporabljamo za krmiljenje hitrosti cilindrov. Vgrajujemo jih čim bližje ali direktno na priključke cilindrov.



Slika 76: Simboli zapornih ventilov

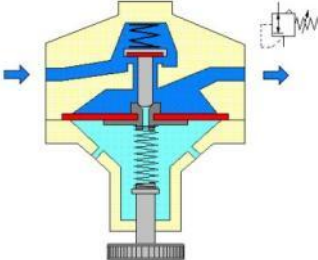
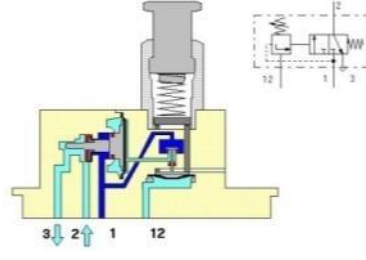
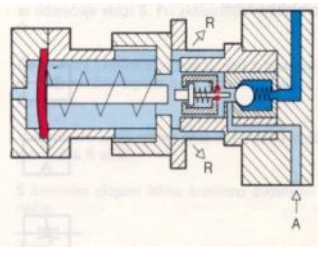
Vir: Croser in Ebel, 1994

2.5.3 Tlačni ventili

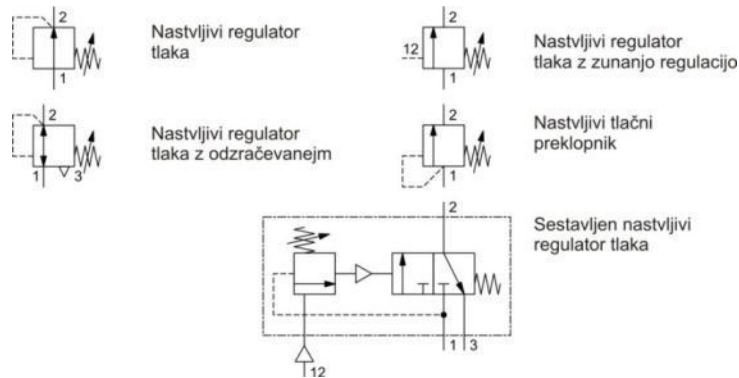
Tlačni ventili so komponente, ki pretežno vplivajo na tlak oziroma se jih krmili v odvisnosti od tlaka. Ventil za regulacijo tlaka je bil že obravnavan v podpoglavju, ki govori o pripravnih skupini. Ventil uporabljamo za zagotavljanje konstantnega tlaka tudi pri nihajočem tlaku pnevmatične mreže. Vhodni tlak mora biti večji od izhodnega tlaka. Ta ventil uporabljamo predvsem kot varnostni (nadtlačni) ventil.

Preprečuje, da bi se tlak sistema zvišal preko maksimalno dopustne vrednosti. Če doseže tlak na vходу maksimalno vrednost, se ventil odpre in zrak odteka na prosto. Ventil ostane odprt, dokler se tlak ne zniža pod nastavljeno vrednost, ko se zapre zaradi vgrajene vzmeti v odvisnosti od njene karakteristike. V tabeli 15 imamo prikazane različne izvedbe tlačnih ventilov. Prikaz tlačnih ventilov s simboli pa prikazuje slika 77.

Tabela 15: Vrste tlačnih ventilov

Regulator tlak z odzračevanjem	Tlačni preklopnik	Tlačni preklopnik
		

Vir: Lasten



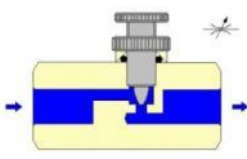
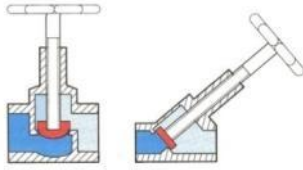
Slika 77: Simboli tlačnih ventilov

Vir: Croser in Ebel, 1994

2.5.4 Tokovni in zapirni ventili

Tokovni ventili vplivajo na tok stisnjenega zraka v obe smeri. S pomočjo zapirnih ventilov pa brezstopenjsko odpiramo in zapiramo pretok. Tokovni in zapirni ventil prikazuje tabela 16, simbolično izvedbo pa slika 78.

Tabela 16: Tokovni in zapirni ventil

Tokovni ventil	Zapirni ventil
	

Vir: Lasten



Slika 78: Simbol tokovnega in zapirnega ventila

Vir: Croser in Ebel, 1994

2.5.5 Sestavljeni ventili, zlogi ali moduli

Ventile različnih funkcij lahko konstrukcijsko vgradimo v isto ohišje. Tako nastane kombinirani ventil. Simbol takega ventila sestavljajo simboli funkcijskih sestavin.

Tabela 17: Vrste sestavljenih ventilov

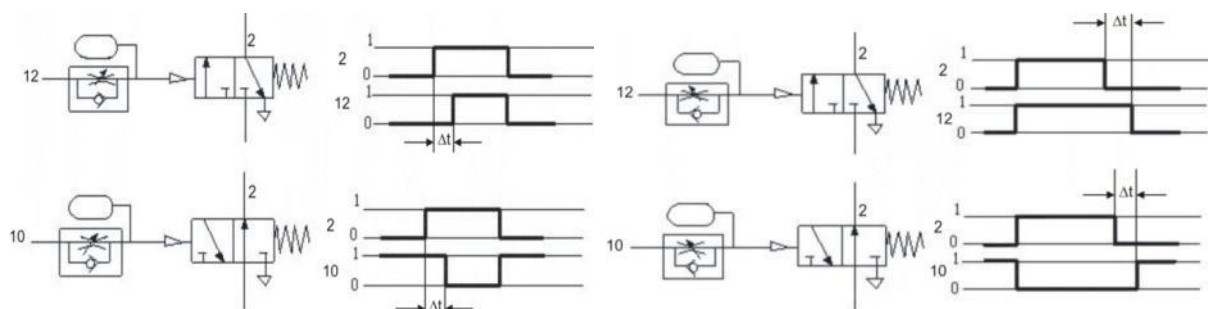
Pnevmatični časovni ventil za zakasnitev vklopa (osnovni položaj zaprt)	Pnevmatični časovni ventil za zakasnitev izklopa (osnovni položaj odprt)

Vir: Croser in Ebel, 1994

Pnevmatične časovne ventile, ki so prikazani v tabeli 17, se lahko enostavno sestavi s kombinacijo potnega ventila, dušilno nepovratnega ventila in majhnega zbiralnika. Za časovne ventile lahko uporabimo že namensko izdelane časovne ventile. Simbol časovnega ventila je sestavljen iz posameznih potrebnih funkcij.

Preklop ventila se v prvem primeru izvrši, ko tlak v shranjevalniku doseže vrednost, potrebno za preklop ventila. Zakasnitev vklopa nastavimo z dušilno nepovratnim ventilom, kajti z njim vplivamo na čas, potreben, da se v shranjevalniku vzpostavi potreben tlak.

Pri zakasnitvi izklopa se ventil takoj preklopi, saj gre zrak skozi nepovratni ventil, pri čemer se ustvari dovolj velika sila za preklop ventila. Šele nato se polni shranjevalnik. Ko krmilni signal ugasne (priključek 12 ali 10), zrak iz shranjevalnika počasi odteka skozi dušilni ventil in tako realiziramo zakasnitev izklopa. Zakasnitev vklopa in izklopa prikazuje slika 79.



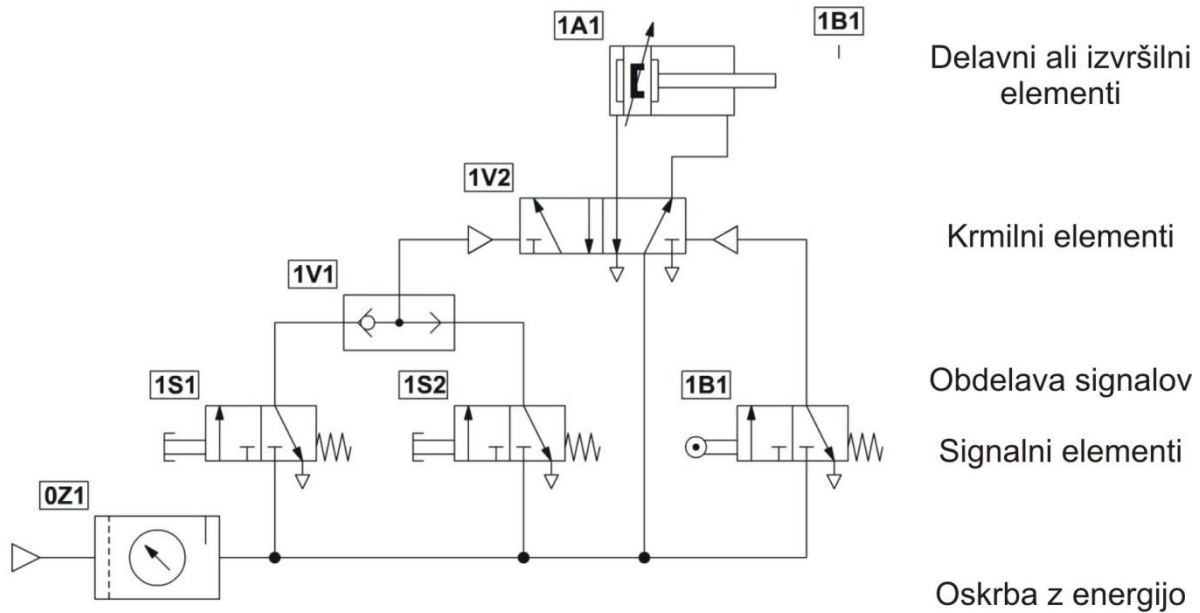
Slika 79: Časovni ventili (zakasnitev vklopa/izklopa)

Vir: Croser in Ebel, 1994

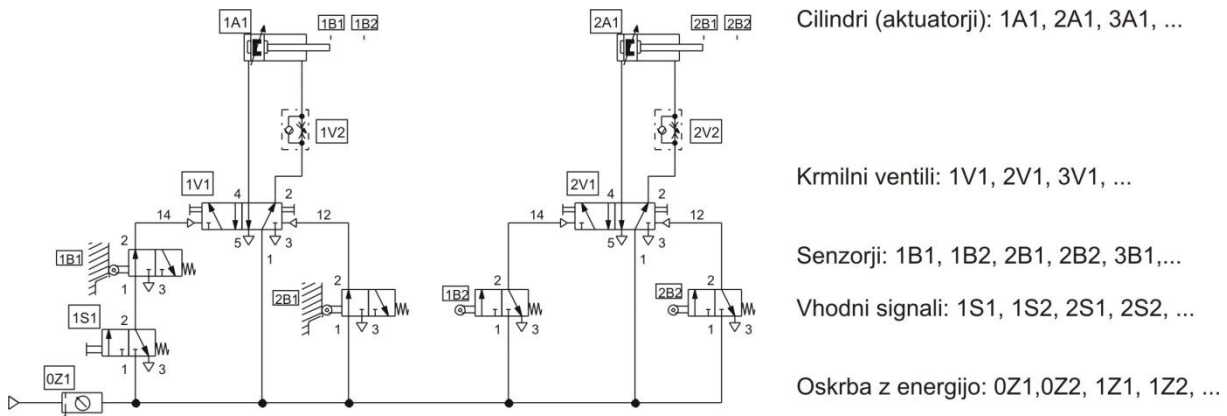
2.5.6 Izdelava pnevmatičnih vezalnih shem

Pri izdelavi pnevmatičnih vezalnih shem oz. planov moramo upoštevati standard ISO 1219, saj jih moramo narisati tako, da bodo razumljive načrtovalcem, izvajalcem in vzdrževalcem sistemov. Shema mora biti narejena tako, da je iz nje razvidno delovanje krmilja.

Primer označevanja posameznih elementov prikazujeta sliki 80 in 81.



Slika 80: Nivoji označevanja
Vir: Croser in Ebel, 1994

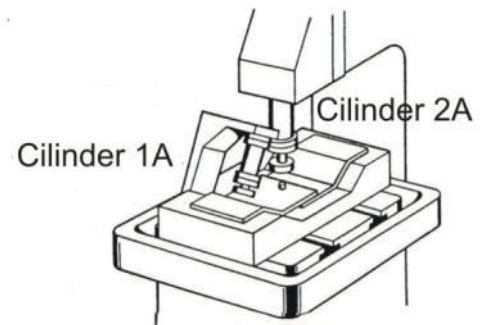


Slika 81: Primer označevanja po posameznem nivoju
Vir: Croser in Ebel, 1994

Pri uporabi **KASKADNE METODE** je krmilni signal prisoten toliko časa, kolikor je potrebno za delovanje sistema, nato pa se izklopi. Da preprečimo pojav dvostransko delujočih signalov na glavnih krmilnih ventilih, razdelimo zaporedja gibanja cilindrov v skupine. Te skupine bodo zagotavljale oskrbo s stisnjenim zrakom tistim krmilnim ventilom, ki jih trenutno potrebujemo. Med skupine namestimo menjalne ventile, ki zagotavljajo zrak samo tistim krmilnim ventilom, ki jih trenutno potrebujemo. V primeru, da je zaporedje gibanj cilindrov razdeljeno tako, da je v vsaki skupini samo en gib valja, je to **MAKSIMALNA METODA**. Če pa je v skupini več gibov različnih valjev, je to **MINIMALNA METODA**.

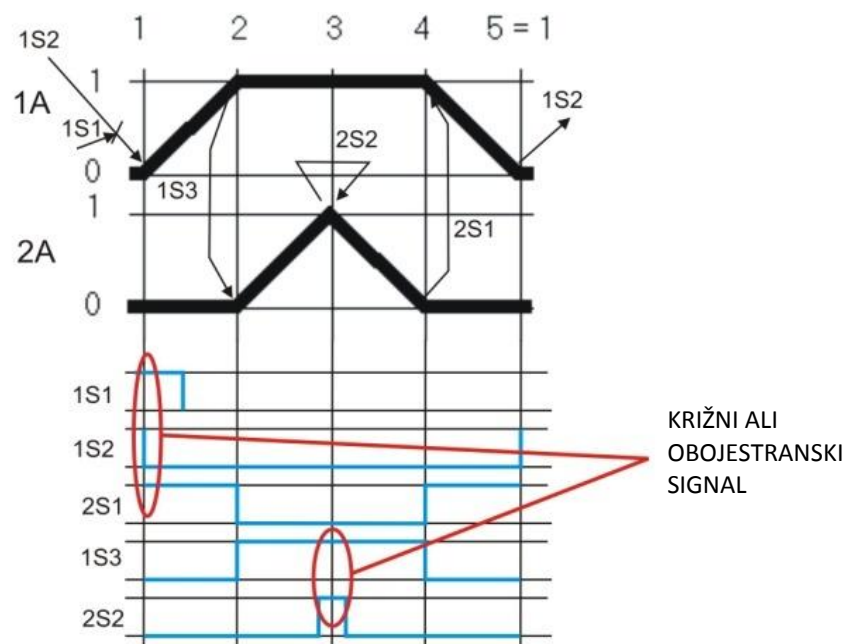
Načrtovanja vezalne sheme po minimalni metodi se lotimo tako, da najprej preučimo zastavljeno nalogo.

Na delno avtomatizirani stiskalnici želimo kovičiti dve pločevini. Oba dela pločevine in kovici namestimo ročno in jih po končanem postopku tudi ročno odstranimo. Avtomatizacija delovnega ciklusa obsega vpenjanje pločevine in kovičenje. Delovni cikel naj se izvede, ko pritisnemo na tipko startnega ventila. Za nalogo narišite pot, korak, diagram in vezalno shemo.



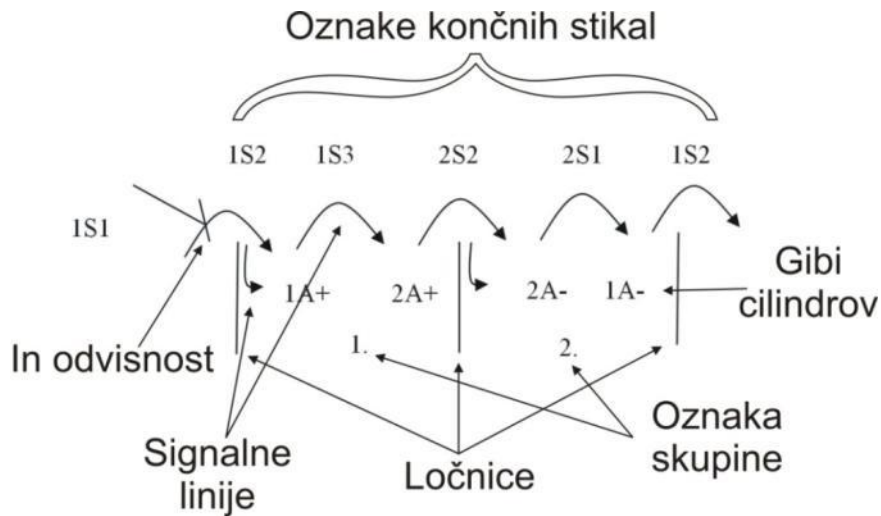
Osnova načrtovanja vezalne sheme je skrajšani zapis zaporedja gibanja cilindrov, ki ga zapišemo v vrsto ali krog ($1A + 2A + 2A - 1A -$); + pomeni delovni gib batnice in – povratni gib batnice). Gibe nato razdelimo v skupine, pri čemer pazimo, da je v posamezni skupini samo gib istega cilindra (**ločimo $2A +$ in $2A -$**).

Katere signale je potrebno ugašati, se lahko ugotovi iz POT – KORAK oziroma FUNKCIJSKEGA diagrama, prikazanega na sliki 82 ali enostavneje iz skrajšanega zapisa gibanja cilindrov, ki so ločeni na skupine, prikazane na sliki 83.



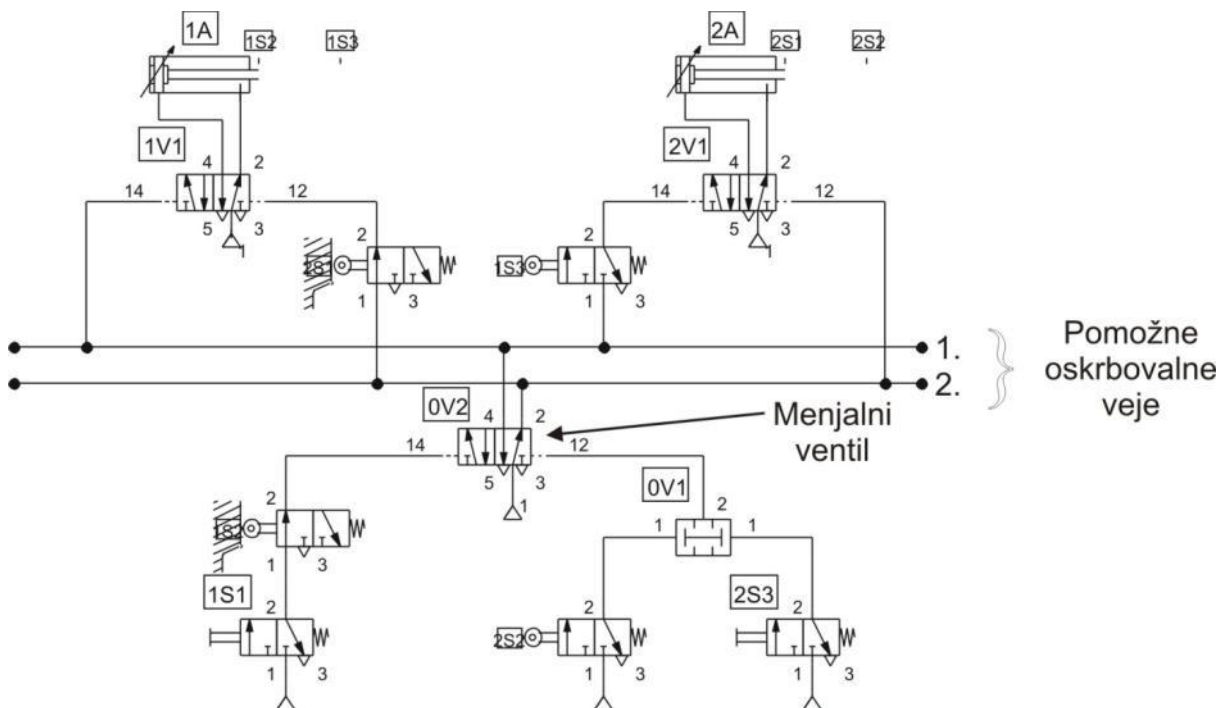
Slika 82: POT – KORAK diagram in FUNKCIJSKI diagram
Vir: Lasten

S pokončno črto, ki ji rečemo ločnica, ločimo ponavljajoči gib cilindra. Potrebne pogoje za posamezni gib cilindra ponazorimo s signalnimi linijami. Signalne linije, ki potekajo preko ločnic, povzročajo preklon pomožnih oskrbovalnih vej.



Slika 83: Skrajšani zapis gibanja cilindrov
Vir: Prirejeno po: Croser in Ebel, 1994

Signalne linije, ki sledijo neposredno za ločnico, so direktni ukazi vklopljene veje oziroma skupine. Signalne linije med ukazi znotraj skupine povzročajo nadaljnja gibanja znotraj iste skupine. Vsaka ločnica (črta, ki loči skupine) pomeni spremembo skupine, pri čemer je ločnica na koncu skrajšanega zapisa identična z ločnico na začetku.



Slika 84: Vežalna shema po minimalni kaskadni metodi
Vir: Lasten

Število skupin predstavlja število pomožnih oskrbovalnih vej (razdelilne veje rišemo takrat, ko je potrebno razvejiti od enega mesta več signalov; v osnovnem položaju ima zadnja veja zrak). Število menjalnih ventilov je enako številu skupin (vej) minus 1. Pomožne oskrbovalne veje in menjalni ventil prikazuje slika 84.

Z vezavo ventilov v IN odvisnosti glede na pomožne veje oziroma ostale ventile zagotovimo, da lahko odda signalni člen signal samo takrat, ko je potreben in po preklopu menjalnega ventila takoj ugasne (izklopi).

Na osnovi skrajšanega zapisa gibanj valjev zapišemo **LOGIČNE ENAČBE GIBANJ**, ki nam povedo, kateri pogoji morajo biti izpolnjeni, da se izvede posamezni gib cilindra in **LOGIČNE ENAČBE VEJ**, ki nam povedo, kateri pogoji morajo biti izpolnjeni, da dobi posamezna veja signal (zrak, tlak).

Uporaba kaskadnih metod je omejena, ker se dovaja zrak samo na enem priključku. Zato zrak teče skozi vse zaporedno vezane menjalne ventile in šele nato vpliva na krmilni postopek. Zaradi varnosti se lahko doda ločnico med začetkom in koncem ciklusa.

LOGIČNE ENAČBE GIBANJ:

$$1A + = 1. VEJA$$

$$1A - = 2S1 \wedge 2. VEJA$$

$$2A + = 1S3 \wedge 1. VEJA$$

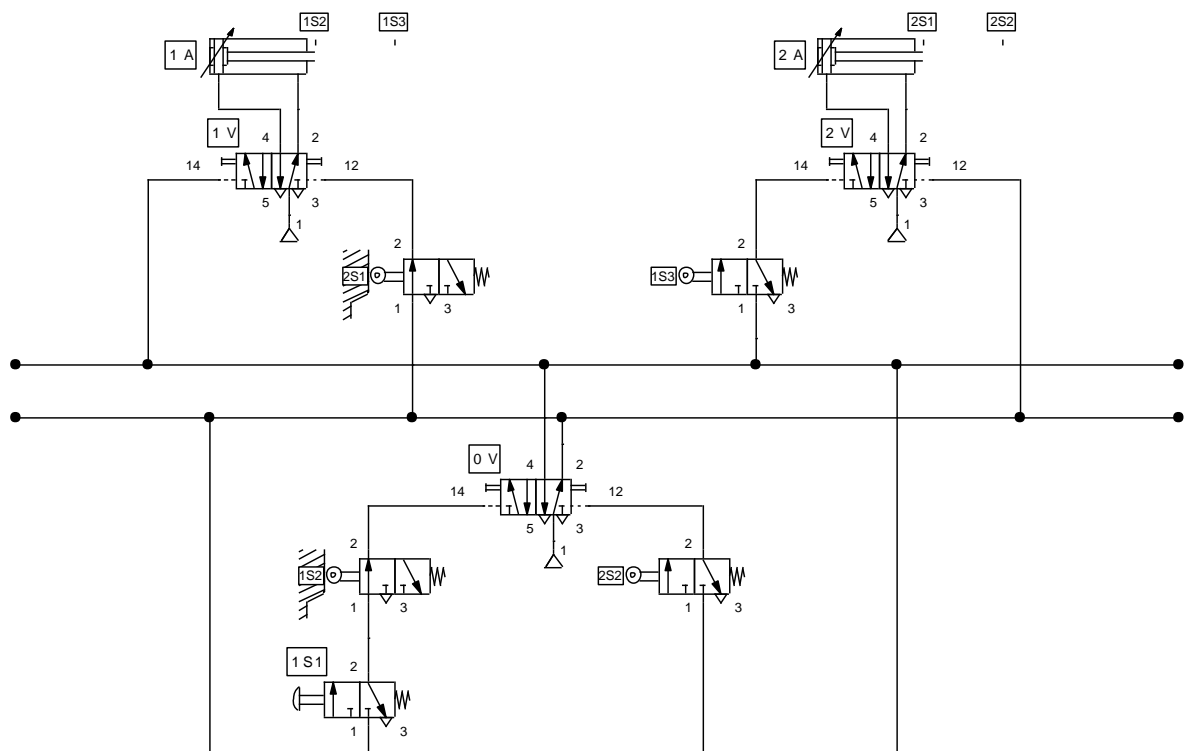
$$2A - = 2. VEJA$$

LOGIČNE ENAČBE VEJ:

$$1. VEJA = 1S1 \wedge 1S2 \wedge 2. VEJA$$

$$2. VEJA = 2S2 \wedge 1. VEJA$$

Na osnovi zapisanih enačb se lotimo izdelave vezalne **sheme**, prikazane na sliki 85 (krmilje se zgradi v minimalnem tehničnem obsegu).



Slika 85: Vezalna shema po minimalni kaskadni metodi

Vir: Lasten

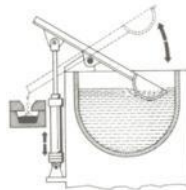
Povzetek

Stisnjen zrak prenašamo po napeljavi do ventilov in delovnih naprav, s katerimi realiziramo določeno silo ali vrtilni moment. Z ventili krmilimo in reguliramo stisnjen zrak. Glede na funkcijo jih razlikujemo na potne, zaporne, tlačne, tokovne in zapirne ventile.

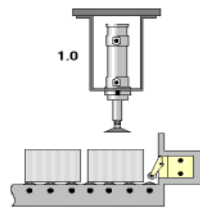
Pri načrtovanju osnovnih in kompleksnejših vezalnih shem imamo v mislih, kako izvesti pomik enega ali več batov naprej oziroma nazaj. Pri tem moramo poznati razlike glede konstrukcijske izvedbe posameznih ventilov in njihove značilnosti, kot so način aktiviranja, način preklopa, potrebno silo za aktiviranje in značilnosti glede pretoka zraka.

Vprašanja in naloge

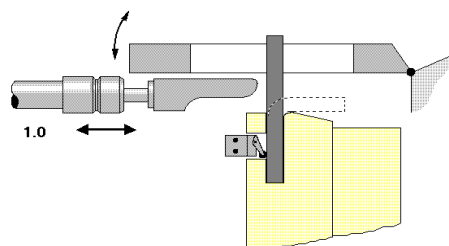
1. Livarsko zajemalko pričemo počasi spuščati, ko vklopimo startni ventil. Ko doseže zajemalka spodnji položaj, se ventil preklopi in zajemalka se prične počasi dvigovati. Za navedeno nalogo narišite vezalno shemo, označite uporabljene simbole in razložite delovanje krmilne sheme.



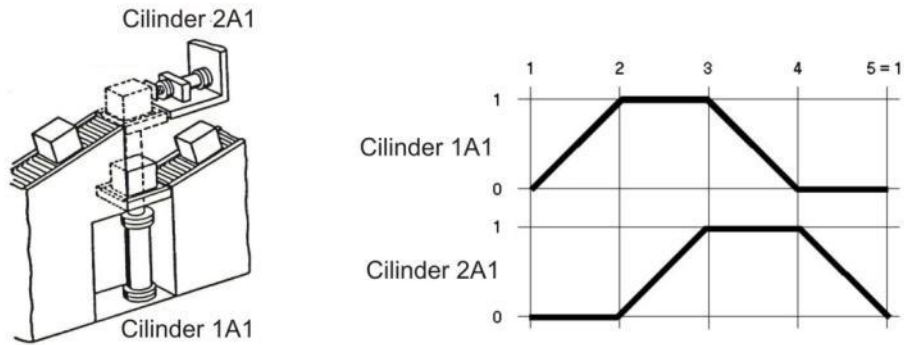
2. Obdelovanci, ki jih bomo žigosali s pomočjo dvosmernega cilindra, prihajajo po spodnji valjčni progi. Žigovanje - delovni gib dvosmernega cilindra, dosežemo s pritiskom na startno stikalo in ob pogoju, da je obdelovanec prišel v položaj za žigovanje. Položaj obdelovanca kontroliramo z ventilom, ki je nameščen na napravi. Za nalogo izdelajte vezalno shemo.



3. Izdelajte vezalno krmilno shemo za krmiljenje dvosmerno delujočega cilindra, ki krivi pločevino. Delovni gib se lahko opravi, če je prisoten signal za delovni gib in je vložena pločevina, ki jo krivimo. Delovni gib naj bo čim hitrejši, povratni pa čim bolj počasen. Povratni gib se opravi, ko spustimo startno tipko 1.

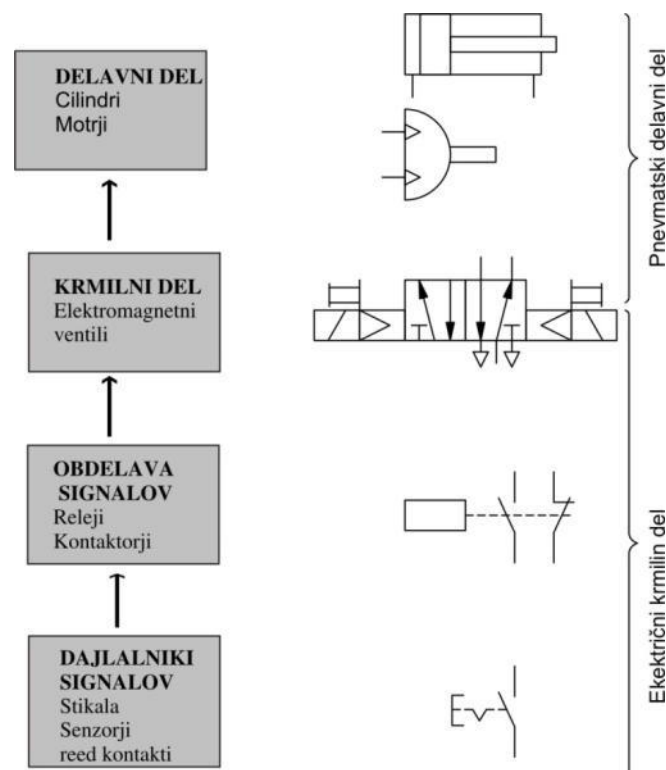


4. Zaboje, ki prihajajo iz skladišča po spodnjem transportnem traku v ustreznih časovnih intervalih, želimo s pomočjo dvosmerno delujočega cilindra 1A1 počasi dvigniti na območje zgornjega transportnega traka. Potem pa s pomočjo cilindra 2A1 želimo počasi potisniti zaboj z dvižne plošče na zgornji transportni trak. Povratni gib najprej opravi cilinder 1A1 in nato še valj 2A1. Za navedeno narišite diagram in vezalno shemo.



2.6 ELEKTROPNEVMATIKA

V industriji pogosto uporabljamo kombinacijo elektrike in pnevmatike, kar imenujemo elektropnevmatika. S pnevmatiko realiziramo delovni del krmilja, signalni del pa z električnimi signali. Krmili del predstavljajo naprave, ki med seboj povezujejo tako pnevmatiko kot tudi elektropnevmatiko in jih imenujemo elektromagnetne ventile. Na sliki 86 vidimo naprave, ki predstavljajo električni in pnevmatski del sheme.



Slika 86: Sestava elektropnevmatskega krmilja
Vir: Croser in Ebel, 1994

2.6.1 Tipi kontaktov v elektrotehnik

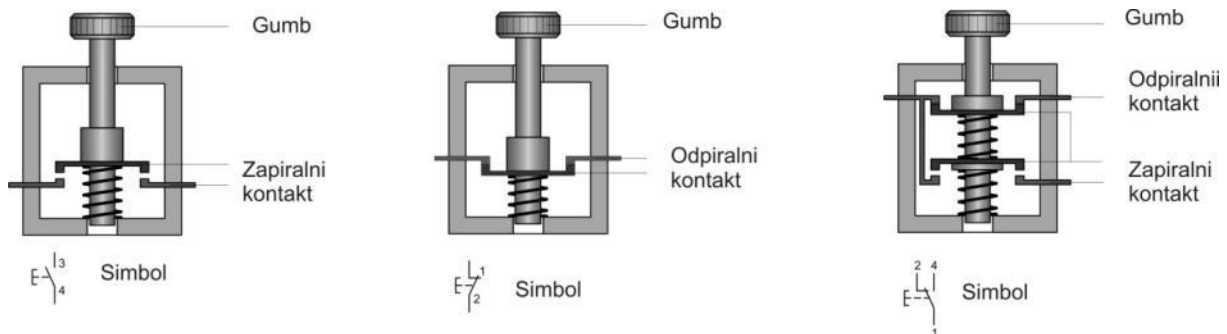
Naloga kontaktov, prikazanih na sliki 87, je posredovanje signalov v tokovni krog. Omenjeno nalogo lahko realiziramo s pomočjo zapiralnega ali delovnega kontakta, ki ima nalogo zapiranja (sklenitve) tokovnega kroga, odpiralnega ali mirovnega kontakta, ki mora tokovni krog odpreti (prekiniti) in menjalnega kontakta, ki odpre ali zapre tokovni krog.



Slika 87: Osnovni tipi kontaktov
Vir: Croser in Ebel, 1994

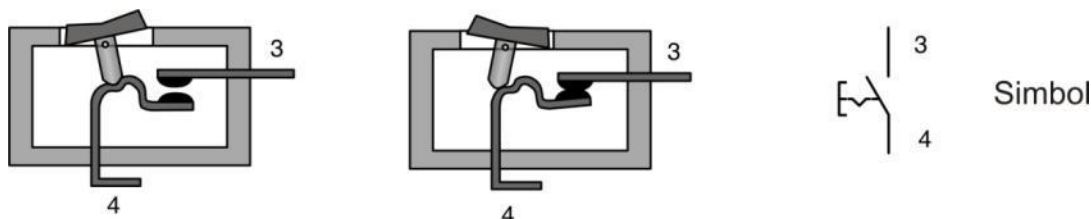
2.6.2 Načini aktiviranja kontaktov

Posredovanje signalov v tokovni krog izvedemo s kontakti, ki jih lahko aktiviramo fizično, mehansko ali brez dotika s pomočjo senzorjev. **Fizično** jih lahko aktiviramo s pritiskom na gumb. Na ta način so kontakti sklenjeni oziroma prekinjeni toliko časa, dokler gumba ne spustimo. Ko gumb spustimo, se le ta zaradi vgrajene vzmeti vrne v osnovni položaj. Omenjeni način aktiviranja prikazuje slika 88.

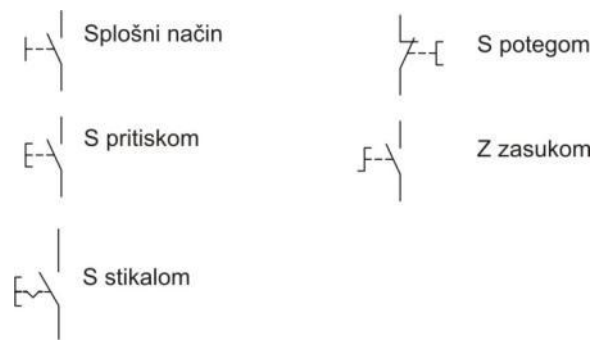


Slika 88: Fizično aktiviranje z gumbom
Vir: Prirejeno po: Vir: Croser in Ebel, 1994

Kontakte lahko aktiviramo tudi s stikalom, prikazanim na sliki 89. Omenjeni način aktiviranja kontakta prikazuje spodnja slika 89, iz katere je razvidno, da se stikalo po aktiviranju ne vrne samodejno v osnovni položaj. Za vrnitev v osnovni položaj ga moramo zopet fizično aktivirati.

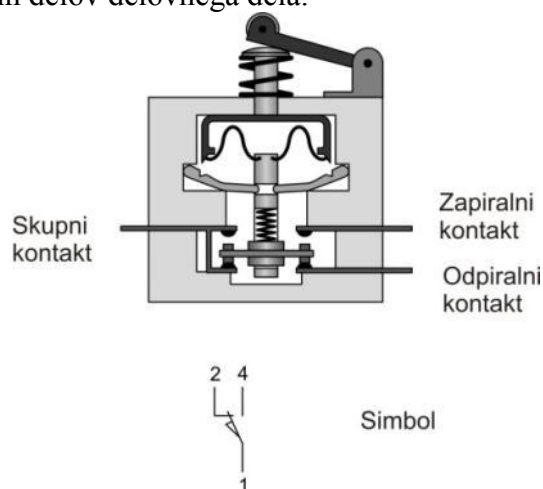


Slika 89: Fizično aktiviranje s stikalom
Vir: Croser in Ebel, 1994



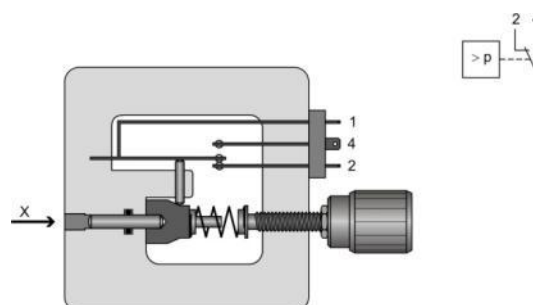
Slika 90: Simboli za fizično aktiviranje
Vir: Croser in Ebel, 1994

Mehanski način aktiviranja kontakta, ki ga prikazuje slika 91, je v praksi najpogosteje izveden s pomočjo kolesca, ki ga aktivira delovni del (batnica cilindra). Uporabljamo jih za kontrolo položaja gibajočih delov delovnega dela.



Slika 91: Mehanski način aktiviranja s kolescem
Vir: Prirejeno po: Croser in Ebel, 1994

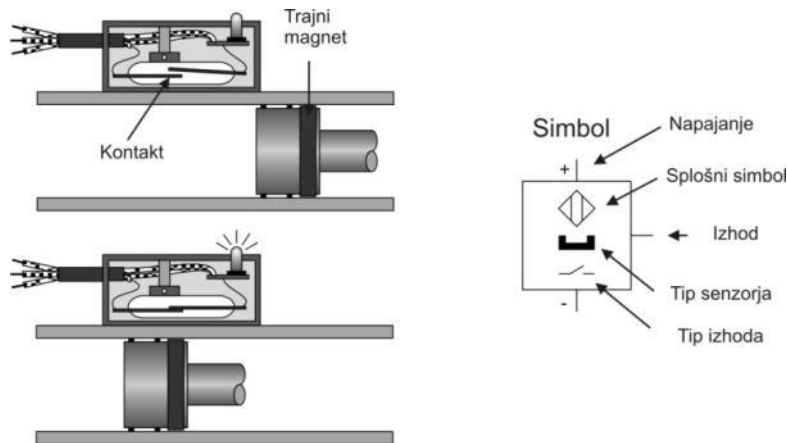
Tlačna stikala sklenejo, prekinejo ali preklopijo tokokrog, ko tlak doseže nastavljeno vrednost. Vhodni tlak z določeno silo deluje na površino bata. Tej sili nasprotuje sila vzmeti, ki jo ročno nastavimo. Ko je sila tlaka večja od sile vzmeti, se stikalo prekopi.



Slika 92: Tlačno stikalo
Vir: Croser in Ebel, 1994

Posebno skupino aktiviranja predstavljajo **stikala brez dotika**. V to skupino uvrščamo kontakte, občutljive na magnet (reedov kontakt) in induktivne, kapacitivne ter optične senzorje.

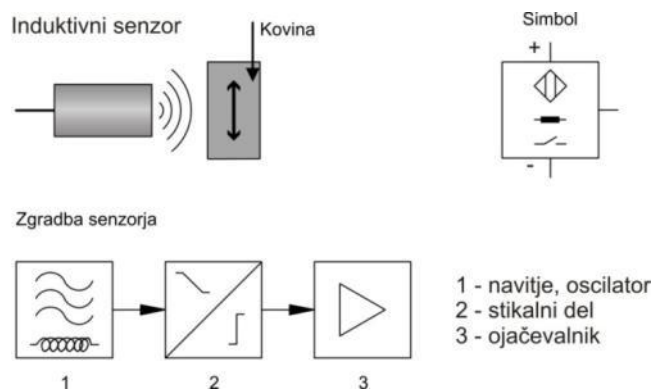
Za kontakt, občutljiv na magnet (**reedov kontakt**), je značilno, da je vgrajen v stekleno cevko, v kateri je zaščitni plin. Steklena cevka je vgrajena v ohišje iz umetne mase, ki je pritrjeno na cilindrično cev. V ohišje kontakta je vgrajena tudi svetleča dioda, ki kaže stikalno stanje kontaktov. Kontakt aktivira bat z vgrajenim trajnim magnetom, kot je prikazano na sliki 92. Uporabljamo jih v primeru, ko imamo malo prostora za vgradnjo in v okolju, kjer je prah, vlaga, pesek. Pri vgradnji moramo paziti, da ni v bližini kakšne naprave z močnim magnetnim poljem.



Slika 93: Reedov kontakt s simbolom
Vir: Croser in Ebel, 1994

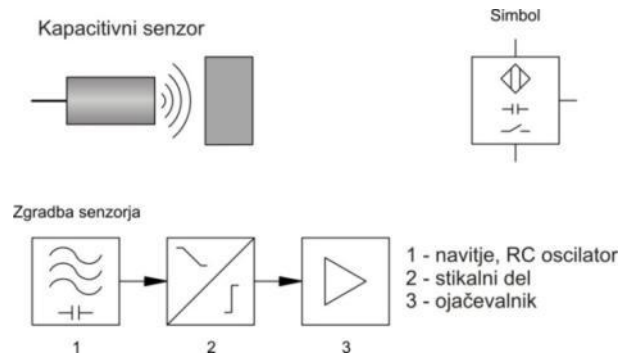
V proizvodnji imamo pogosto zahteve, ko moramo zaznavati gibanje obdelovancev ali gibe določenih naprav in nimamo prostora za vgradnjo mehanskega načina aktiviranja kontaktov. V tem primeru lahko to storimo z vgradnjo induktivnega sensorja. Induktivni sensorji so občutljivi samo na kovine in jih za signaliziranje izdelkov iz umetnih mas ne moremo uporabljati.

Induktivni senzor, ki je prikazan na sliki 94, sestavlja oscilator, stikalni del in ojačevalnik. Tuljava oscilatorja ustvarja visokofrekvenčno magnetno polje. Če se približamo polju s kovinskim predmetom, se inducirajo v njem vrtilni tokovi, ki jemljejo oscilatorju energijo. Znižanje napetosti zazna stikalni del, ki povzroči na izhodu spremembo stanja (npr. neprevodno v prevodno stanje). Po odstranitvi kovinskega predmeta se vzpostavi prvotno stanje induktivnega sensorja.



Slika 94: Induktivni senzor
Vir: Croser in Ebel, 1994

Kapacitivni senzorji so konstruirani podobno kot induktivni. Osnovna razlika je RC oscilator, ki seva skozi aktivno ploskev električno polje. Ko približamo aktivni ploskvi poljuben predmet, ki ima dielektrično konstanto občutno večjo od zraka, se kapacitivnost oscilatorja spremeni, kar izzove osciliranje oscilatorja. To zazna stikalna stopnja, ki izvede preklon na izhodu senzorja. Vsi kapacitivni senzorji imajo vgrajen potenciometer, s katerim lahko spreminjamo občutljivost senzorja. Kapacitivni senzorji so občutljivi na kovine in nekovine ter na vse snovi, ki lahko v dielektričnem polju povzročajo spremembe (prah). Zgradbo kapacitivnega senzorja prikazuje spodnja slika 95.

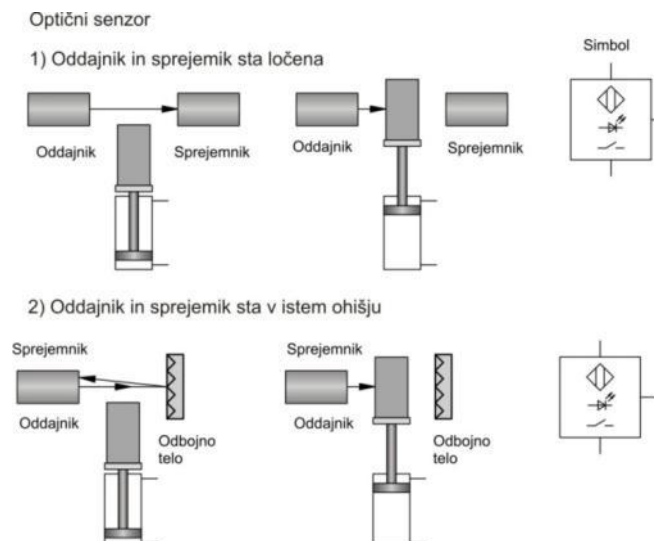


Slika 95: Kapacitivni senzor

Vir: Croser in Ebel, 1994

Optični senzorji reagirajo na spremembo količine sprejete svetlobe. Senzor sestavlja oddajnik in sprejemnik svetlobe, ki sta lahko združena v enem ohišju ali pa ločena, kot je prikazano na sliki 96. Oddajnik svetlobe odda vidno ali nevidno svetlobo in v primeru, da pride v polje svetlobe predmet, se svetloba odbije, zazna pa jo fotocelica v sprejemniku.

V primeru, ko sta sprejemnik in oddajnik ločena in je žarek prekinjen zaradi ovire, fotocelica zazna izgubo signala in odda izhodni signal. Za natančno delovanje senzorja mora vedno prispeti zadosti svetlobe od oddajnika k sprejemniku. Optični senzorji so primerni za uporabo v različnih industrijskih, komercialnih in hišnih aplikacijah.



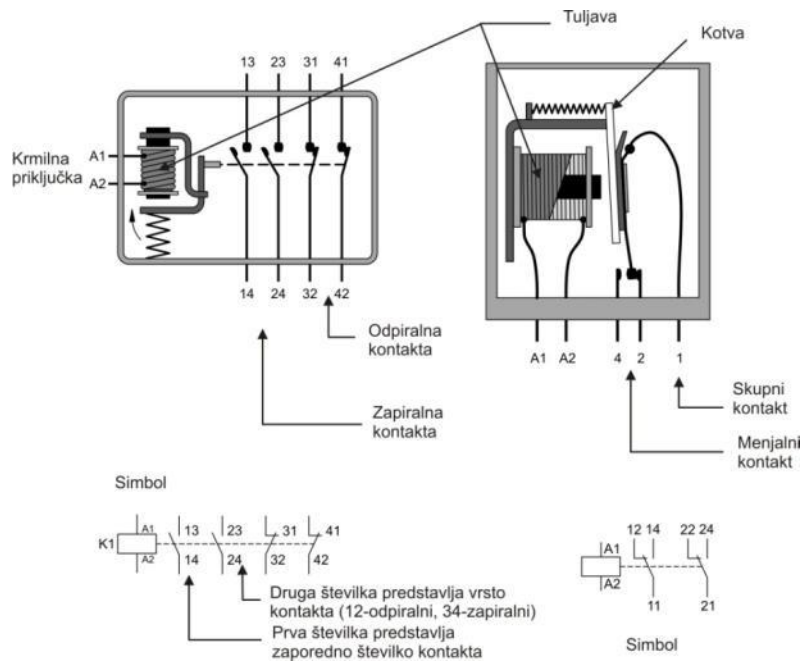
Slika 96: Optični senzor

Vir: Croser in Ebel, 1994

2.6.3 Električne naprave za obdelavo signalov

Releji so stikala z elektromagnetnim aktiviranjem, ki jih uporabljamo za obdelavo signalov. Rele ima galvansko ločen krmilni tokokrog od delovnih kontaktov. Princip delovanja releja: pri dovodu napetosti na tuljavo steče po navitju električni tok, zgradi se magnetno polje, ki pritegne kotvo v jedru tuljave in na ta način preklaplja med zapiralnim in odpiralnim kontaktom. Stikalno stanje se obdrži toliko časa, dokler je na tuljavi napetost. Po odvzemu napetosti vrne povratna vzmet kotvo v izhodiščni položaj.

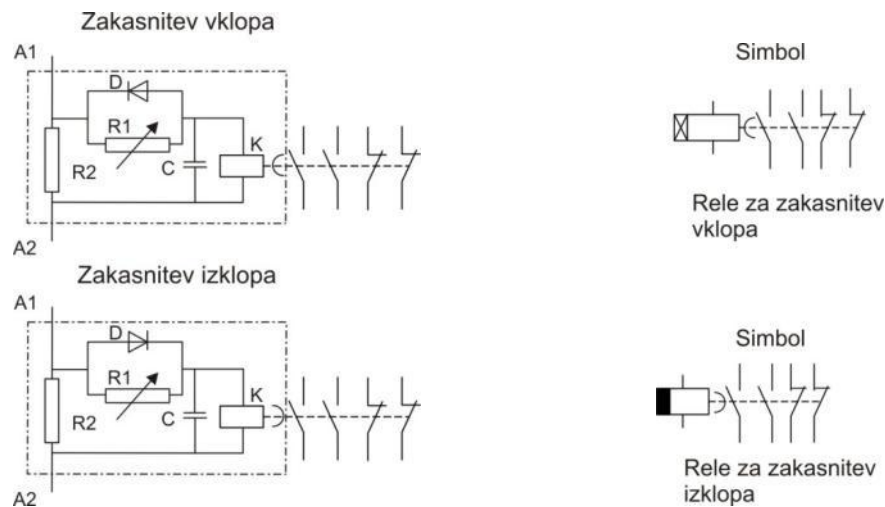
Za prikaz releja uporabljamo simbole, ki olajšujejo branje vezalne sheme. Releji se označujejo z oznakami K1, K2, K3 itd. Priključka za aktiviranje sta označena z oznakami A1 in A2. Kontakti relejev pa so označeni s številkami. Z releji vklopjamo bremena do moči 1kW.



Slika 97: Rele
Vir: Croser in Ebel, 1994

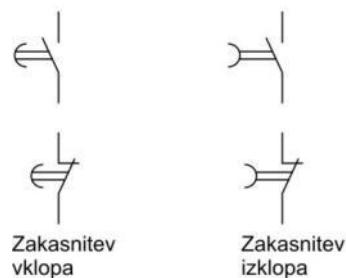
Za realizacijo časovnih funkcij uporabljamo **časovne releje** z zakasnitvijo vklopa ali zakasnitvijo izklopa. Pri zakasnitvi vklopa teče tok skozi nastavljen upor R1 in polni kondenzator C. Ko na njem doseže napetost preklopno vrednost, se rele vklopi. Ker dioda zapira le v eni smeri, teče tok od A1 preko R1. Čas, ki je potreben, da se kondenzator napolni do preklopne napetosti, nastavimo z uporom R1, s čimer realiziramo zakasnitev vklopa.

Pri zakasnitvi izklopa dioda zapira v nasprotni smeri. Zato se rele takoj vklopi, kondenzator se napolni. Po prekinutvi tokokroga se kondenzator prazni preko nastavljivega upora R1 in s tem določen čas vzdržuje magnetno polje v tuljavi.



Slika 98: Časovni rele
Vir: Croser in Ebel, 1994

Posebno skupino kontaktov predstavljajo **časovni kontakti**, prikazani na sliki 99, s pomočjo katerih lahko izvedemo zakasnitev vklopa ali izklopa oziroma kombinacijo z zakasnitvijo vklopa in izklopa.

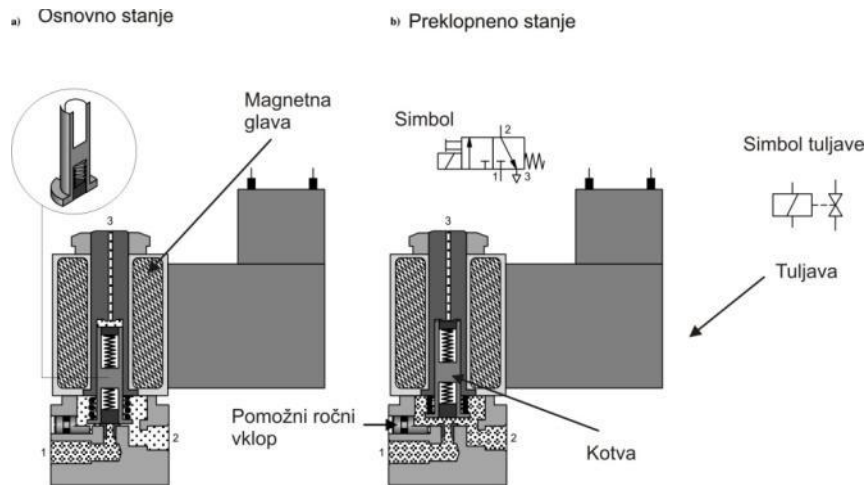


Slika 99: Simboli časovnih kontaktov
Vir: Croser in Ebel, 1994

2.6.4 Elektromagnetni ventili

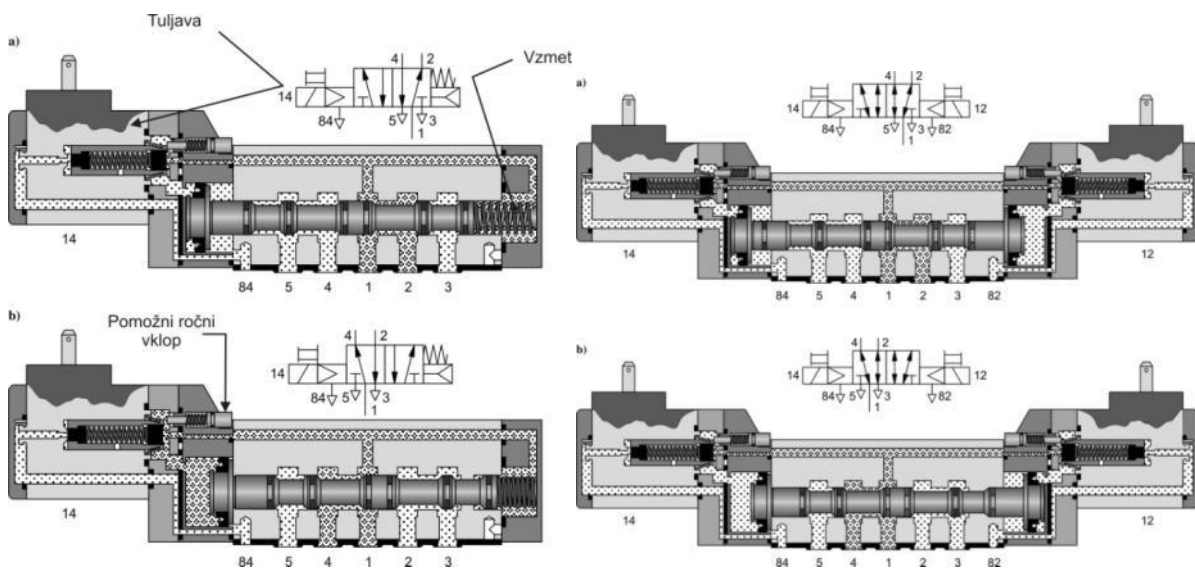
Elektromagnetni ventili predstavljajo povezovalni element med električno in pnevmatsko energijo. Sestavljeni so iz električnega dela, ki ga predstavlja magnetna tuljava in iz pnevmatskega ventila, ki služi za pretok delovnega medija.

Ko steče skozi tuljavo električni tok, nastane elektromagnetno polje, ki premakne kotvo tuljave in na ta način omogoči pretok zraka v smeri priključka 1 in 2. Ko se tokokrog prekine, se kotva premakne navzdol in zapre pretok od priključka 1 proti priključku 2. Omenjeno delovanje prikazuje slika 100.



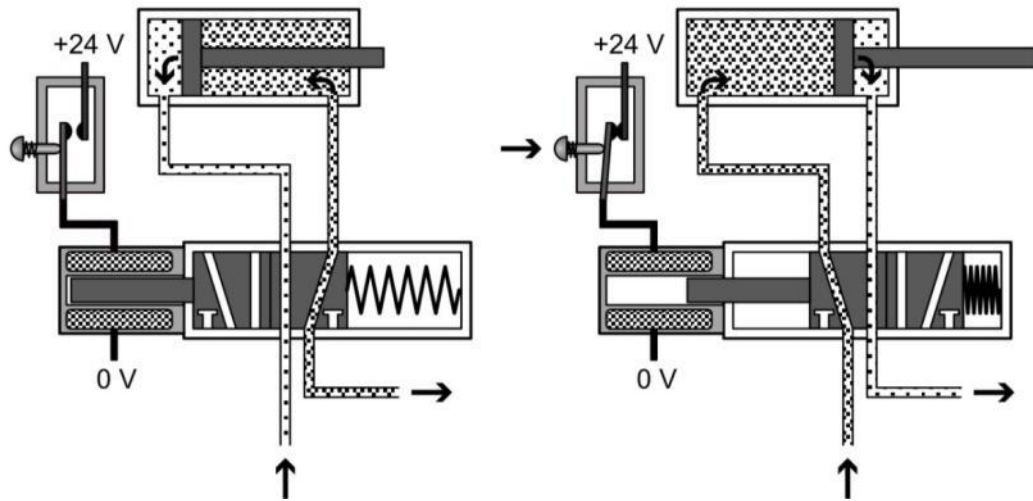
Slika 100: 3/2 elektromagnetni ventil v osnovnem stanju, zaprt
Vir: Prirejeno po: Croser in Ebel, 1994

Primer 5/2 posredno krmiljenega monostabilnega in bistabilnega ventila prikazuje spodnja slika 101.



Slika 101: 5/2 monostabilni in bistabilni elektromagnetni ventil v drsni izvedbi
Vir: Croser in Ebel, 1994

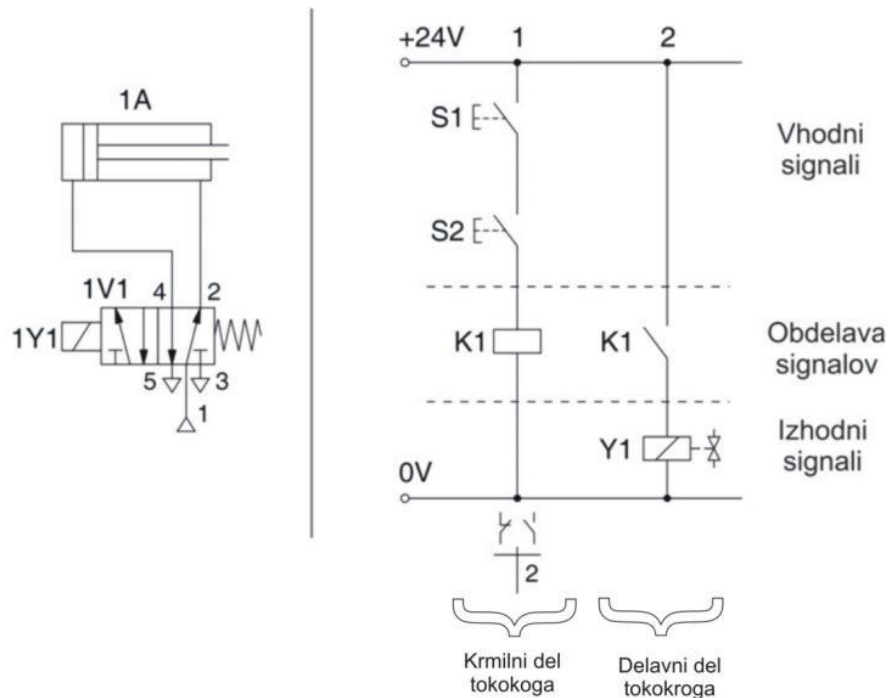
Primer osnovnega vezja, kjer krmilimo dvosmerne cilindre s pomočjo 5/2 monostabilnega ventila v elektropnevmatiki, prikazuje slika 102.



Slika 102: Krmiljenje dvosmernega cilindra
Vir: Croser in Ebel, 1994

Za označevanje predstavljenih električnih elementov uporabljamo v vezalni shemi na sliki 103 sledeče oznake:

Način aktiviranja	oznaka
fizični način aktiviranja stikala.....	S1, S2
mehanski način aktiviranja stikala.....	1S1, 1S2
senzorji, tlačna stikala	1B1, 1B2, 2B1
releji.....	K1, K2, K3
tuljave	1Y1, 1Y2, 2Y1



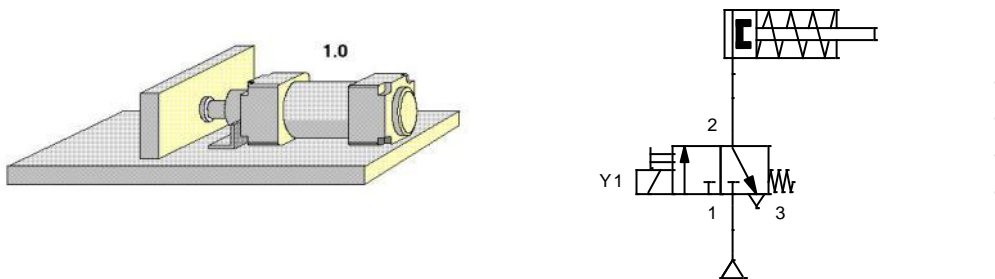
Slika 103: Primer označevanja vezalne sheme
Vir: Croser in Ebel, 1994

Povzetek

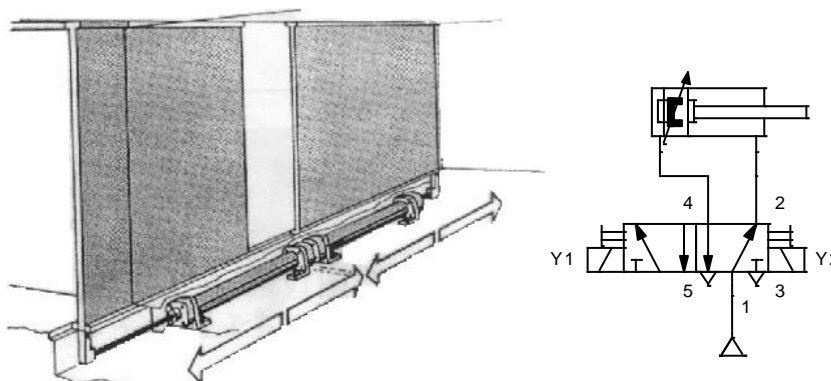
Za oddajanje signalov v elektropnevmatiki uporabljamo stikala z zapiralnimi, odpiralnimi ali menjalnimi kontakti, ki jih lahko aktiviramo fizično, mehansko ali brezdotično. Signale se obdela z releji, ki jih narišemo v krmilni del tokokroga. Kontakte relejev v osnovi rišemo v delovni del tokokroga v posebnih primerih (samodržna vezava ...) pa tudi v krmilni del tokokroga. Za povezavo električne in pnevmatske energije uporabljamo elektromagnetne ventile, na katere priključimo različne pnevmatske cilindre ali motorje.

Vprašanja in naloge

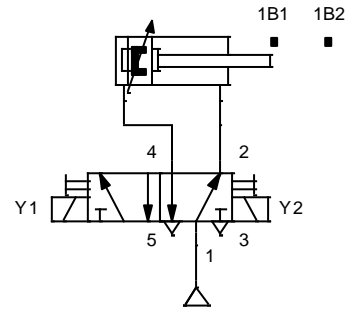
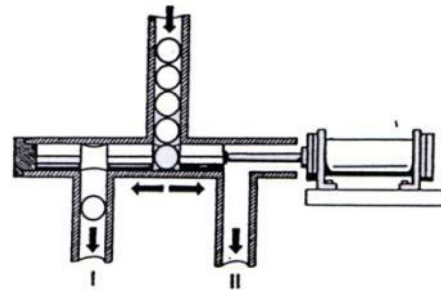
1. Za enosmerni cilinder, na katerega je pritrjena plošča, narišite in praktično sestavite električno krmilno shemo za direktni in indirektni način krmiljenja. Batnica enosmerne cilindra se pomakne naprej, ko pritisnemo tipko 1 (stikalo). Batnica cilindra je v sprednjem položaju toliko časa, dokler tipke ne spustimo. Po spustitvi tipke se batnica vrne v izhodiščni položaj.



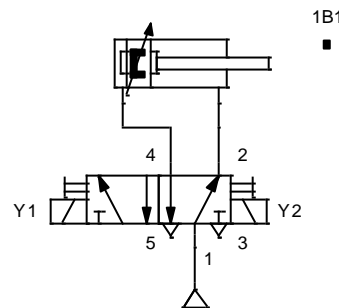
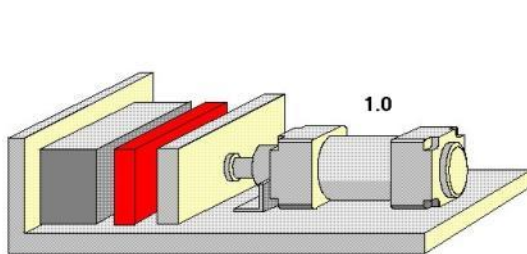
2. Vrata tovarniške hale odpiramo in zapiramo s pomočjo dvosmerno delujočega cilindra. Vrata hale lahko odpremo s pomočjo stikala, ki se nahaja pred vstopom v prostor in s pomočjo stikala, ki je v prostoru. Na enak način izvedemo tudi zapiranje vrat. Za navedeno nalogo narišite direktno in indirektno električno vezalno shemo.



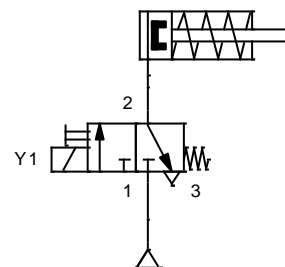
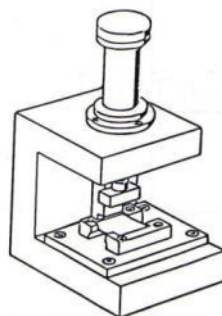
3. S pomočjo dvosmerno delujočega cilindra razdeljujemo kroglice, ki prihajajo iz skupnega zalogovnika naprej v I in II zalogovnik. Razdeljevanje kroglic se prične, ko pritisnemo na stikalo 1 in ob pogoju, da je batnica v začetnem položaju. Batnica cilindra potuje naprej in nazaj dokler imamo vklopljeno stikalo. Ko stikalo izklopimo, želimo, da se batnica cilindra vrne v izhodiščno lego. Narišite električno vezalno shemo.



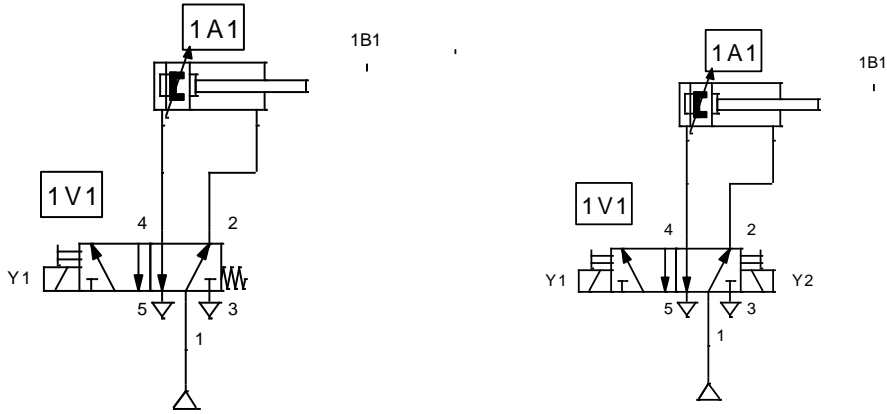
4. S pritiskom na tipko startnega stikala se batnica dvosmernega cilindra pomakne v končni položaj (1B1). V tem položaju ostane 10 sekund, nato se samodejno vrne nazaj. Na osnovi skice naprave in pnevmatske krmilne sheme narišite električno vezalno shemo.



5. Za upogibanje debele pločevine uporabljamo napravo z enosmernim cilindrom. Batnica cilindra se pomakne v končni položaj in v tem položaju tudi ostane, ko pritisnemo stikalo S1. S stikalom S2 pa dosežemo, da se batnica cilindra pomakne v prvotni položaj. Za navedeno nalogo narišite električno vezalno shemo (s samodržno vezavo), v kateri prevladuje vklop in shemo, v kateri prevladuje izklop.



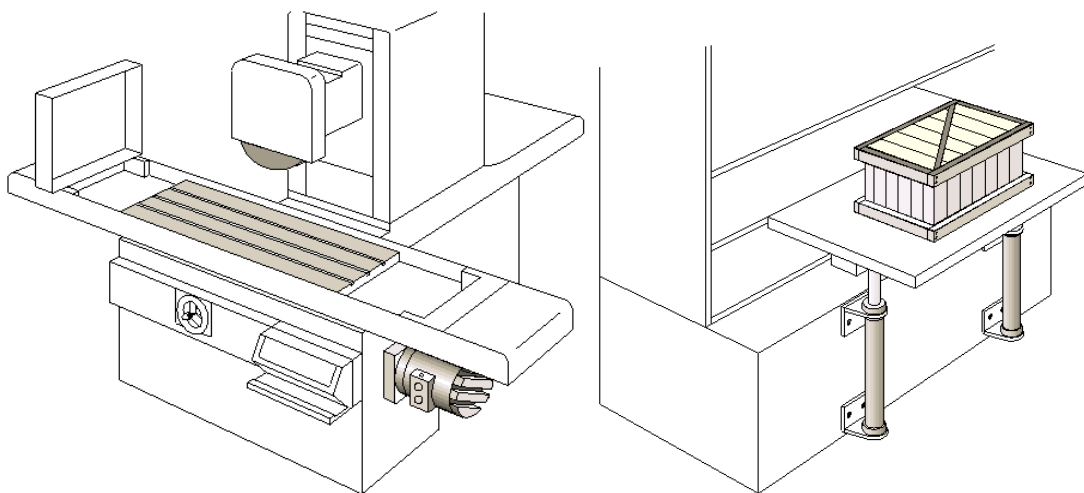
6. Batnica dvosmerno delujočega cilindra opravi gib naprej, ko vklopimo stikalo S1 (VKLOP). V sprednjem položaju ostane 10 sekund, nato se samodejno vrne nazaj. Prednji položaj batnice se kontrolira z mejnim stikalom. Za navedeno nalogo narišite električno vezano shemo, kjer za krmiljenje dvosmerno delujočega cilindra uporabite 5/2 monostabilni ventil ali 5/2 bistabilni ventil.



3 HIDRAVLIČNA IN ELEKTROHIDRAVLIČNA KRMILJA

Hidravlična in elektrohidravlična krmilja se uporabljajo pri modernih obdelovalnih strojih in za avtomatizacijo sodobnih proizvodnih procesov. Hidravlična krmilja srečamo na različnih področjih uporabe:

- proizvodni in montažni sistemi vseh vrst
- transportne proge
- dvizne in prenosne naprave
- stiskalnice
- stroji za tlačni liv
- valjarniške proge
- dvigala.



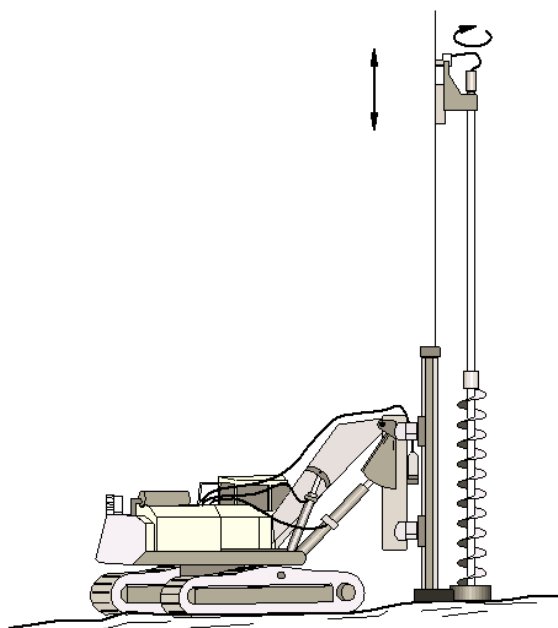
Slika 104: Avtomatizacija sodobnih proizvodnih procesov s hidravliko

Vir: Merkle, Rupp, in Scholz, 1994

Beseda hidravlika pomeni ustvarjanje sil in gibanj s pomočjo tekočin. Pri tem so tlačne tekočine sredstvo za prenos energije.

Hidravlika in s tem hidravlična in elektrohidravlična krmilja so zelo uporabna tudi v mobilni hidravliki. Tovrstna krmilja so uporabna:

- za gradbene stroje
- za kmetijske stroje
- za dvizne in prenosne naprave.

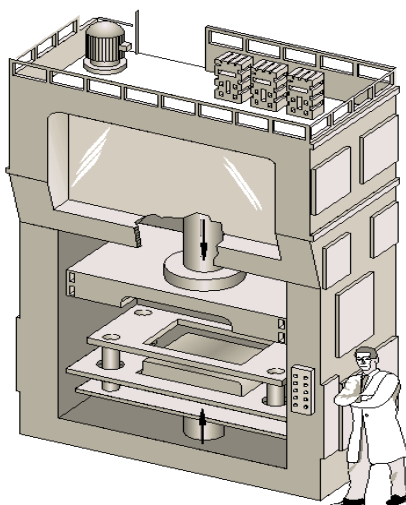


Slika 105: Mobilna hidravlika
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

V tem poglavju želimo študente seznaniti s področji uporabe hidravlike, sestavo in zahtevami hidravličnih postavitvev, hidravličnim in elektrohidravličnim krmiljem. Študenti morajo na koncu samostojno izbrati vse komponente hidravlične postavitve za avtomatizacijo manjšega obdelovalnega procesa s pomočjo hidravlike. Skladno s standardi znajo napisati in preizkusiti hidravlično ali elektrohidravlično krmilje za enostaven avtomatizirani proces v proizvodnji.

Praktični primer, ki bi ga morali znati rešiti na koncu predavanj.

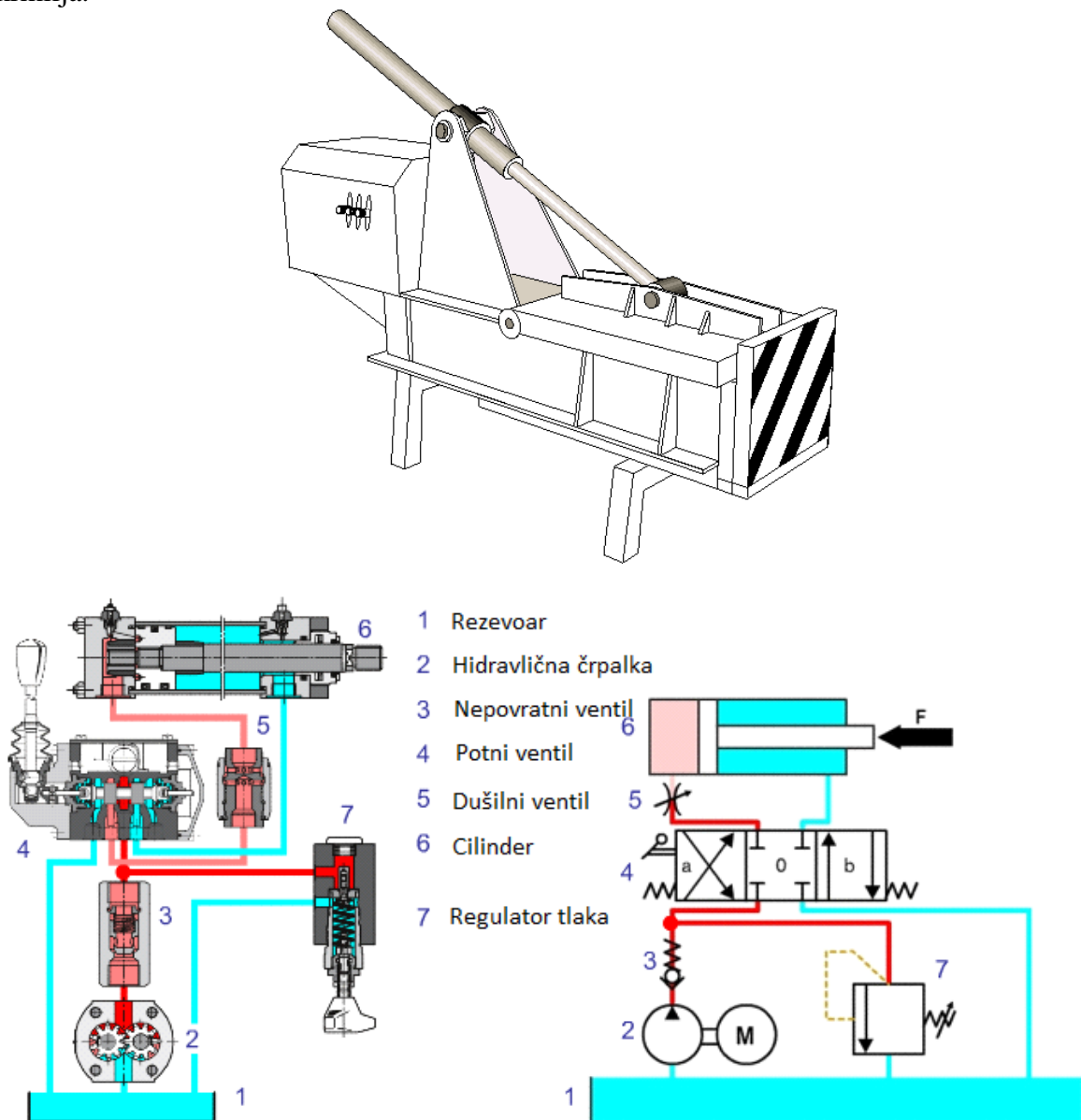
Na sliki 106 imamo prikazano hidravlično stiskalnico za globoki vlek. Glavni pogon je izveden s hidravličnim cilindrom. Za stiskalnico je potrebno izbrati ustrezen hidravlični cilinder in agregat ter izdelati elektrohidravlično krmilje za osnovne zahteve. Zahteve krmiljenja in delovanja so določene. Pri načrtovanju in izvedbi je potrebno upoštevati varnostne zahteve in ustrezne standarde.



Slika 106: Hidravlična stiskalnica za globoki vlek
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

Celotno poglavje je zasnovano na način, da imamo na začetku nekaj teoretičnih osnov, ki jih potrebujemo, nekaj osnovnih prikazov sestave in delovanja hidravličnih komponent in nekaj enostavnih izračunov, ki jih potrebujemo za dimenzioniranje in izbiro hidravličnih komponent. Velik poudarek je namenjen sistematiki reševanja praktičnih primerov hidravličnih in elektrohidravličnih krmilij, upoštevanja varnostnih predpisov in standardov, ki veljajo za to področje. Posamezne komponente in sistemi krmiljenja pa so obravnavani na način analize in reševanja praktičnih primerov iz avtomatizacijskih procesov, ki jih srečujemo v proizvodnji.

Na sliki 107 je shematski prikaz hidravličnih komponent in hidravlično krmilje za rešitev avtomatizacije dodajanja izdelkov s hidravličnim cilindrom na transportni progi. Za napravo je potrebno izbrati hidravlične komponente in izdelati krmilno vezje z upoštevanjem zahtev krmilja.



Slika 107: Prikaz hidravličnega krmilja za avtomatizacijo transportne proge

Vir: <http://www.boschrexroth.com>

3.1 TEORETIČNE OSNOVE HIDRAVLIKE

V tem poglavju bomo spoznali osnove, ki jih potrebujemo za reševanje avtomatizacije s pomočjo hidravličnih in elektrohidravličnih krmilij. Poglavje je namenjeno definiranju uporabnosti hidravlike, fizikalnim osnovam hidravlike.

3.1.1 Uporabnost hidravlike

V krmilni tehniki lahko sile, gibanja in krmilne zahteve ustvarjamo s pomočjo različnih tehnik. V predhodnih poglavjih smo spoznali in znamo za krmiljenje uporabiti pnevmatiko in elektriko in njune kombinacije. V primerjavi s pnevmatiko, elektriko in elektropnevmatiko ima hidravlika naslednje prednosti:

- prenos velikih sil;
- prenos velikih sil ob uporabi majhnih komponent; torej velika koncentrirana sposobnost;
- natančno pozicioniranje;
- zagon ob največji obremenitvi;
- enakomerno, od obremenitve neodvisno gibanje, ker so tekočine praktično nestisljive in ker se lahko uporabi regulacijske ventile;
- mehko delovanje in preklapljanje;
- dobro krmiljenje in regulacija;
- zadovoljivo odvajanje toplote.

V primerjavi z drugimi tehnikami ima hidravlika naslednje slabosti:

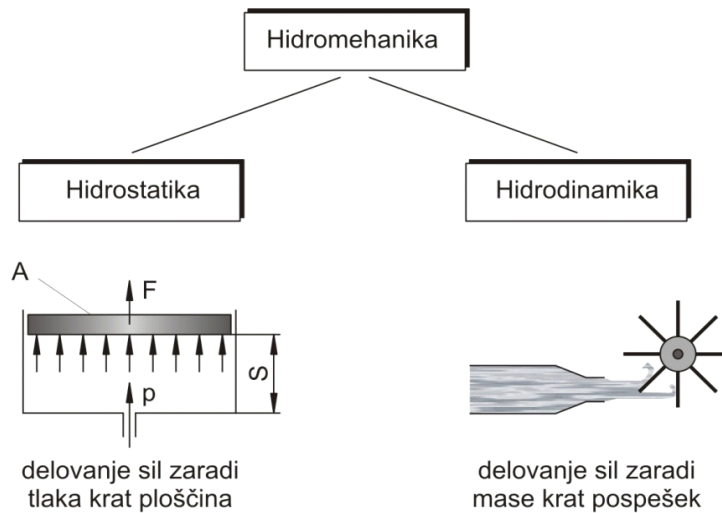
- onesnaževanje okolja z oljem (nevarnost požara, nezgode);
- občutljivost na umazanijo;
- nevarnost zaradi visokih tlakov (rezalni curek);
- temperaturna odvisnost (sprememba viskoznosti);
- slab izkoristek.

3.1.2 Fizikalne osnove hidravlike

V tem poglavju bomo spoznali in se naučili uporabljati osnovne fizikalne veličine in enote, ki so pomembne za uporabo v hidravliki. Z njihovo pomočjo bomo znali izračunati osnovne parametre, ki so pomembni v hidravličnih krmiljih.

3.1.2.1 Tlak

Hidravlika je veda o silah in gibanjih, ki se jih prenaša s tekočinami. Lastnosti hidravlike obravnava hidromehanika. Hidromehaniko delimo na hidrostatiko, kjer je delovanje sil posledica tlaka na površino in na hidrodinamiko, kjer so sile posledica mas in pospeškov (slika 108).



Slika 108: Hidrostatika in hidrodinamika
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

Hidrostatični tlak nastane v tekočini zaradi teže višine tekočinske mase:

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

p_s = hidrostatični tlak (težnostni tlak) [Pa]

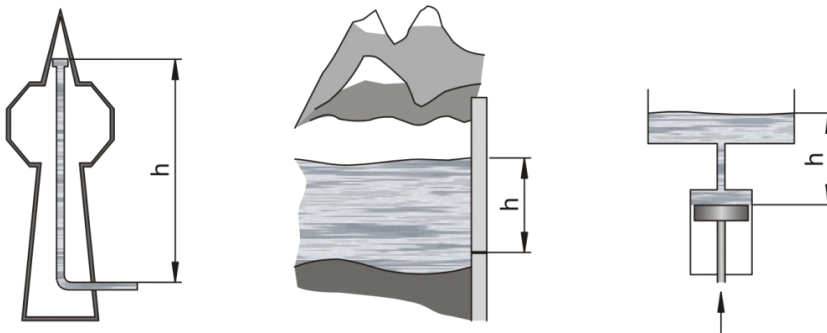
h = višina tekočinskega stebra [m]

ρ = gostota tekočine [kg/m^3]

g = zemeljski pospešek [m/s^2]

Enota za hidrostatični tlak je Pascal.

Hidrostatični tlak je neodvisen od oblike posode. Odvisen je samo od višine in gostole tekočinskega stebra (slika 109).



Slika 109: Neodvisnost hidrostatičnega tlaka od oblike posode
Vir: Lasten

Primer

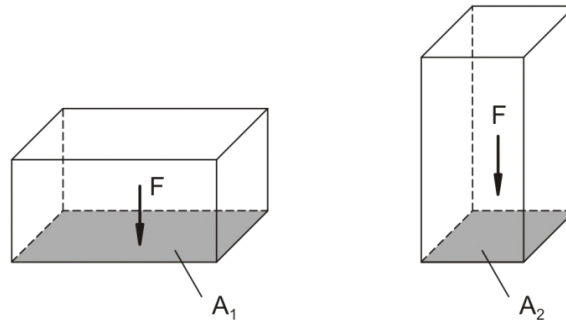
$$h = 300 \text{ m}$$

$$p = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$p_s = h \cdot \rho \cdot g = 300 \cdot 1000 \cdot 10 = 3000000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 3000000 \text{ Pa (30bar)}$$

Vsako telo pritiska na svojo podlago z določenim tlakom p. Velikost tlaka je odvisna od sile F teže telesa in od velikosti ploščine A, na katero deluje sila teže.



Slika 110: Sila na površino
Vir: Lasten

Na sliki 110 sta prikazani dve telesi, ki sta postavljeni na različno osnovno ploskev (A₁ in A₂). Pri enaki masi teles deluje na podlago enaka sila teže F, toda tlak je zaradi različnih osnovnih ploskev različen. Pri majhnih osnovnih ploskvah in enaki sili teže je tlak večji kot pri večjih osnovnih ploskvah. To zakonitost lahko zapišemo s sledečo enačbo:

$$p = \frac{F}{A}$$

Enote:

$1 \text{ Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$	$1\text{bar} = 100000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 10^5 \text{ Pa}$
p - tlak [Pa]	Pa = Pascal (druga enota: bar)
F - sila [N]	N = Newton ($1\text{N} = 1 \frac{\text{kg} \times \text{m}}{\text{s}^2}$)
A - ploščina [m ²]	m ² = kvadratni meter

Iz podane enačbe lahko izpeljemo enačbo za izračun sile (F) in ploščine (A).

Primer

V cilindru deluje tlak 100 barov, aktivna površina bata A znaša $7,85 \text{ cm}^2$. Kolikšna je največja sila?

Podano:

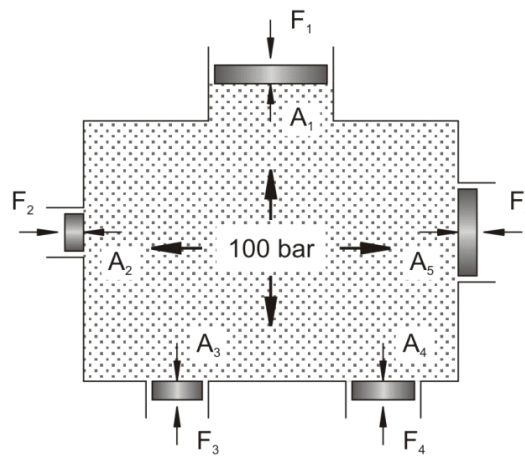
$$p = 100 \text{ bar} = 1000 \text{ N/cm}^2$$

$$A = 7,85 \text{ cm}^2$$

$$F = p \cdot A = 1000 \cdot 7,85 = 7850 \text{ N}$$

3.1.2.2 Širjenje tlaka

Če deluje sila F preko ploščine A na zaprto tekočino, nastane tlak p , ki se razširi preko vse tekočine (Pascalov zakon). Na vsakem mestu deluje v zaprtem sistemu enak tlak (slika 111).



Slika 111: Pascalov zakon
Vir: Lasten

Hidrostatski tlak v tem primeru

$$h = 1 \text{ m}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,82 \text{ m/s}^2 \approx 10 \text{ m/s}^2$$

$$p_s = h \cdot \rho \cdot g = 1 \times 1000 \times 10 = 10000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 10000 \text{ Pa (0,1 bar)}$$

Hidrostatski tlak lahko v hidravličnih sistemih glede na delujoče tlake zanemarimo. Pri računanju tlaka v tekočinah tako upoštevamo samo tlak zaradi zunanjih sil. Na ploščine A_2 , A_3 ... deluje enak tlak kot na A_1 . Ta tlak lahko izračunamo po enačbi, ki velja za trdna telesa:

$$p = \frac{F}{A}$$

Primer

Podano:

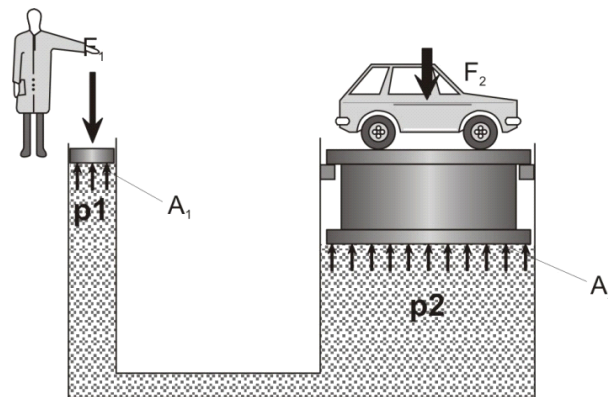
$$A_1 = 10 \text{ cm}^2 = 0,001 \text{ m}^2$$

$$F = 10000 \text{ N}$$

$$p = \frac{F}{A} = \frac{10000}{0,001} = 10000000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 100 \cdot 10^5 \text{ Pa (100bar)}$$

3.1.2.3 Prenos sile

V zaprtem sistemu deluje na vsakem mestu enak tlak; pri tem ni pomembna oblika posode (slika 112).



Slika 112: Prenos sile
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

Z ustrezno oblikovano posodo, ki je prikazana na sliki 112, lahko prenesemo silo. Vrednost tekočinskega tlaka lahko zapišemo s sledečo enačbo:

$$p_1 = \frac{F_1}{A_1} \quad \text{in} \quad p_2 = \frac{F_2}{A_2}$$

Za ravnotežno stanje sistema velja:

$$p_1 = p_2$$

In tako lahko zapišemo prvo enačbo:

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

Iz te enačbe lahko izpeljemo enačbe za posamezne veličine F_1 in F_2 ter A_1 in A_2 .

Npr. enačba za F_1 oziroma A_2 :

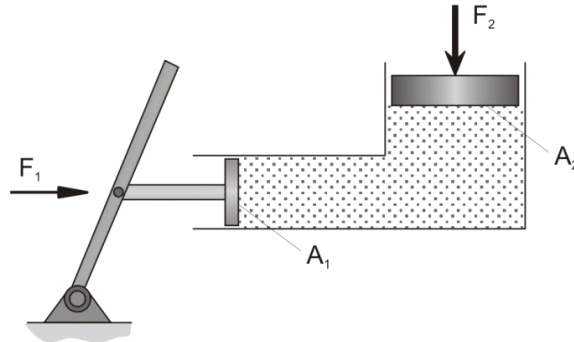
$$F_1 = \frac{A_1 \cdot F_2}{A_2}$$

$$A_2 = \frac{A_1 \cdot F_2}{F_1}$$

Majhne sile lahko povečamo s povečanjem ploščine delovnega bata. Ta osnovni princip je uporabljen pri avtomobilskih hidravličnih dvigalkah, pri dvižnih ploščadih. Sila F mora biti tolikšna, da premaga tekočinski tlak silo bremena (slika 113).

Primer

Z avtomobilsko dvigalko dvigamo vozilo. Masa m vozila znaša 1500 kg. Kolikšna sila F , mora delovati na bat?



Slika 113: Princip avtomobilske dvigalke
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

Podano:

breme = 1500 kg

sila teže $F_2 = m \cdot g$

$$F_2 = m \cdot g = 1500 \cdot 10 = 15000 N$$

Podano:

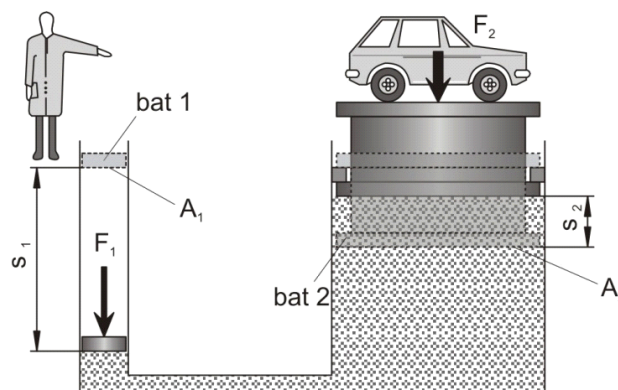
$A_1 = 40 \text{ cm}^2 = 0.004 \text{ m}^2$

$A_2 = 1200 \text{ cm}^2 = 0.12 \text{ m}^2$

$$F_1 = \frac{A_1 \cdot F_2}{A_2} = \frac{0,004 \cdot 15000}{0,12} = 500 N$$

3.1.2.4 Prenos poti

Če želimo po že opisanem principu dvigniti breme F_2 za pot S_2 , moramo z batom B_1 iztisniti določeno količino tekočine, ta pa bo odrinila bat B_2 za pot s_2 (slika 114).



Slika 114: Prenos poti
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

Potrebno odrinjeno prostornino izračunamo:

$$V_1 = s_1 \cdot A_1 \quad \text{in} \quad V_2 = s_2 \cdot A_2$$

Ker je iztisnjena prostornina enaka v obeh primerih ($V_1 = V_2$), dobimo enačbo:

$$s_1 \cdot A_1 = s_2 \cdot A_2$$

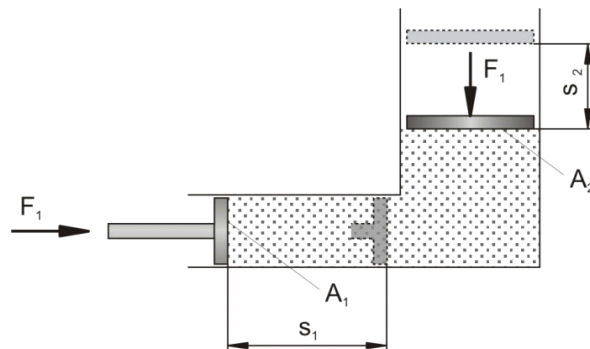
Iz enačbe lahko ugotovimo, da mora biti pot s_2 večja od poti s_1 , ker je ploščina A_1 manjša od ploščine A_2 .

Pot s_2 je v obratnem sorazmerju z njegovo ploščino. Iz zadnje enačbe lahko izpeljemo enačbe za posamezne veličine (s_1 , s_2 , A_1 , A_2). Enačba za s_2 oziroma za A_1 :

$$s_2 = \frac{s_1 \cdot A_1}{A_2}$$

$$A_1 = \frac{s_2 \cdot A_2}{s_1}$$

Primer



Slika 115: Hidravlični pretvornik
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

Podano:

$$A_1 = 40 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 1200 \text{ cm}^2$$

$$s_1 = 15 \text{ cm}$$

$$s_2 = \frac{s_1 \cdot A_1}{A_2} = \frac{15 \cdot 40}{1200} = 0,5 \text{ cm}$$

Podano:

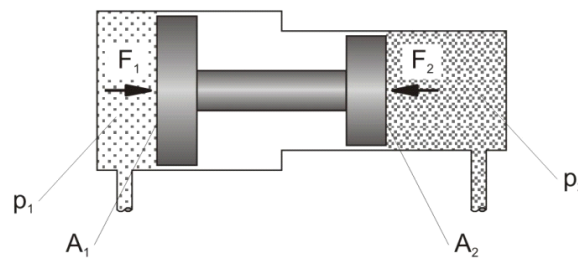
$$A_2 = 1200 \text{ cm}^2$$

$$s_1 = 30 \text{ cm}$$

$$s_2 = 0,3 \text{ cm}$$

$$A_1 = \frac{s_2 \cdot A_2}{s_1} = \frac{0,3 \cdot 1200}{30} = 12 \text{ cm}^2$$

3.1.2.5 Prenos tlaka



Slika 116: Prenos tlaka

Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

Tekočinski tlak p povzroči na batu ploščine A silo F , ki se prenese z batnico na manjši bat. Sila F_1 , ki deluje na batu s ploščino A_2 , povzroči tekočinski tlak p_2 . Ker je ploščina bata A_2 manjša kot A_1 , mora biti tlak p_2 večji kot p_1 . Tudi tu velja enačba:

$$p = \frac{F}{A}$$

Izpeljemo enačbi za sili F_1 in F_2 :

$$F_1 = p_1 \cdot A_1$$

in

$$F_2 = p_2 \cdot A_2$$

Ker sta sili na obeh batih enaki ($F_1 = F_2$), lahko enačbi izenačimo:

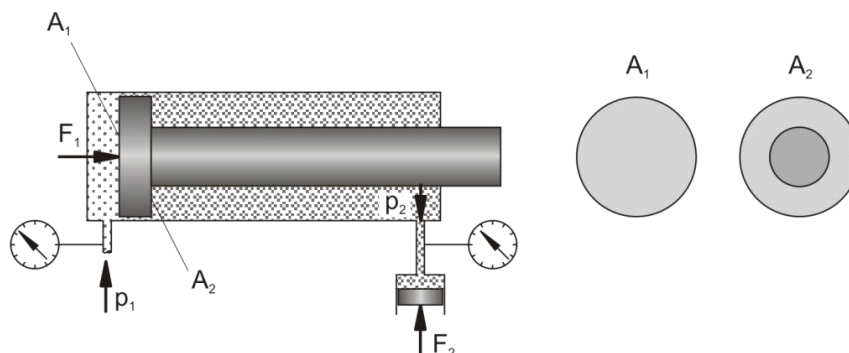
$$p_1 \cdot A_1 = p_2 \cdot A_2$$

Po tej enačbi lahko izračunamo posamezne veličine p_1 in p_2 ter A_1 in A_2 . Za ogled sta izpeljani enačbi za p_2 in A_2 :

$$p_2 = \frac{p_1 \cdot A_1}{A_2}$$

$$A_2 = \frac{p_1 \cdot A_1}{p_2}$$

Pri dvosmernem cilindru lahko nastane zaradi prenosa tlaka nedopustno visok tlak, če se zapre sprednji priključek cilindra (slika 117).

Primer

Slika 117: Diferencialni cilindar

Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

Podano:

$$p_1 = 10 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$A_1 = 8 \text{ cm}^2 = 0,0008 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 4,2 \text{ cm}^2 = 0,00042 \text{ m}^2$$

$$p_2 = \frac{p_1 \cdot A_1}{A_2} = \frac{10 \cdot 10^5 \cdot 0,0008}{0,00042} = 19 \cdot 10^5 \text{ Pa (19 bar)}$$

Podano:

$$p_1 = 20 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

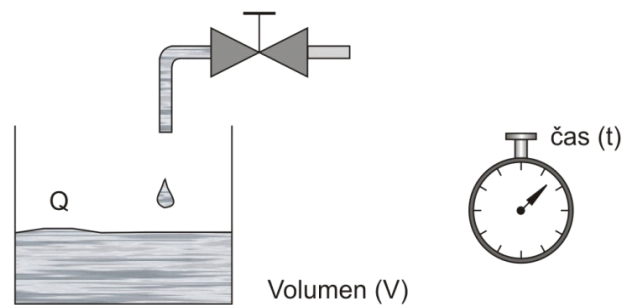
$$p_2 = 100 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$A_1 = 8 \text{ cm}^2 = 0,0008 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \frac{p_1 \cdot A_1}{p_2} = \frac{20 \cdot 10^5 \cdot 0,0008}{100 \cdot 10^5} = 0,0002 \text{ m}^2 = 2 \text{ cm}^2$$

3.1.2.6 Prostorninski tok

Prostorninski tok je prostornina (volumen) tekočine, ki steče skozi cev v določenem času (slika 118). Da napolnimo 10-litrsko posodo s pomočjo vodovodne pipe, traja približno eno minuto. Prostorninski tok je torej 10 l/min.



Slika 118: Prostorninski tok
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

V hidravliki označujemo prostorninski tok ali na kratko pretok s črko Q. Velja sledeča enačba:

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

Q - prostorninski tok [m³/s]

V - volumen [m³]

t - čas

Iz enačbe pretoka lahko izpeljemo enačbo za volumen V oziroma čas t:

$$V = Q \cdot t$$

Primer

Podano:

$$Q = 4,2 \text{ l/min} = \frac{4,2}{60} \text{ l/s}$$

$$t = 10 \text{ s}$$

$$V = Q \cdot t = \frac{4,2 \cdot 10}{60} = 0,7 \text{ l}$$

Rezultat:

Pri prostorninskem toku 4,2 litra na minuto izteče iz vodovodne pipe v 10 sekundah 0,7 litra vode.

3.1.2.7 Enačba kontinuitete

Če postavimo v enačbi za pretok čas $t = s/v$ ($v = s/t$) in volumen $V = A \cdot s$, dobimo enačbo $Q = A \cdot v$

Q - prostorninski tok [m^3/s]v - pretočna hitrost [m/s]A - prerez cevi [m^2]

Iz te enačbe lahko za izračune izpeljemo enačbo za prerez cevi in hitrost toka:

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

Primer

Podano:

$$Q = 4,2 \text{ l/min} = \frac{4,2}{60} = 0,07 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$v = 4 \text{ m/s}$$

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{0,07 \cdot 10^{-3}}{4} = 0,00002 \text{ m}^2 = 0,2 \text{ cm}^2$$

Rezultat:

Za prostorninski tok 4,2 l/min s hitrostjo 4 m/s potrebujemo cev s premerom 0,2 cm².

3.1.2.8 Moč

Na splošno je definirana moč kot delo ali kot sprememba energije na časovno enoto. V hidravličnih sistemih razlikujemo mehanično in hidravlično moč (slika 119). Mehanična moč se spremeni v hidravlično, ki se jo lahko transportira, krmili, in na koncu zopet spremeni v mehanično.

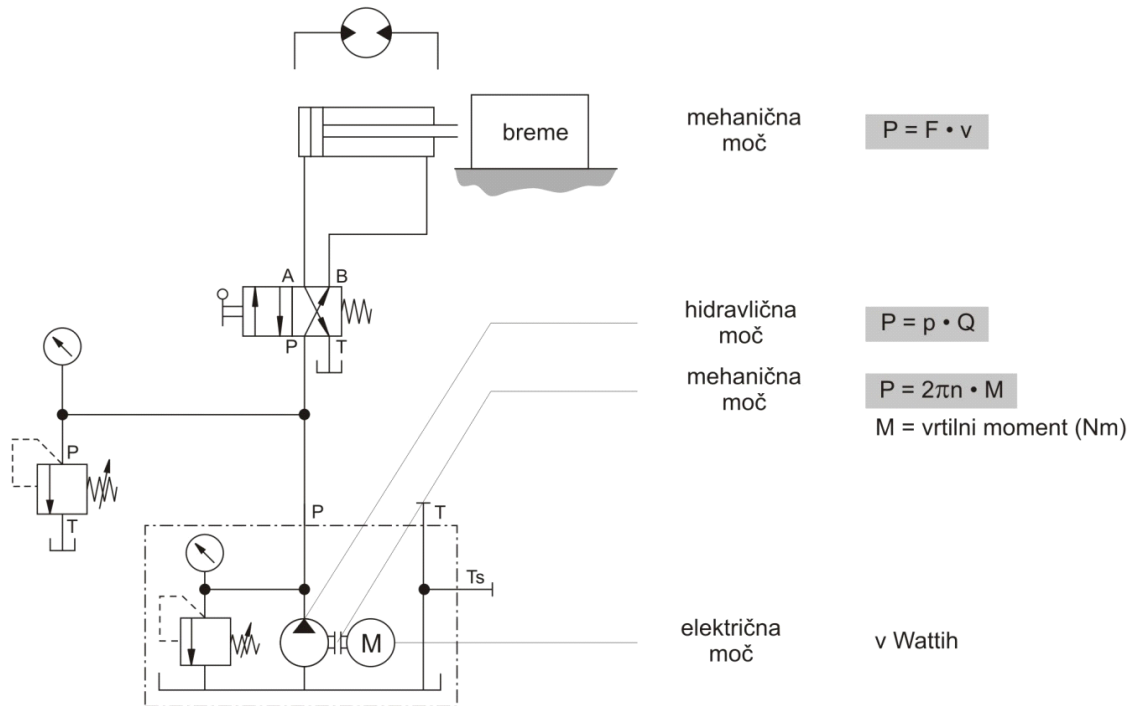
Hidravlična moč je zmnožek tlaka in prostorninskega toka. Iz enačbe za moč lahko izpeljemo enačbo za tlak oz. prostorninski tok:

$$P = p \cdot Q$$

P - moč [W] = [Nm/s]

p - tlak [Pa]

Q - volumenski tok [m³/s]



Slika 119: Električna, hidravlična in mehanična moč
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

Primer

Podan imamo tlak in pretok.

$$p = 60 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$Q = 4,2 \text{ l/min} = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{min} = \frac{4,2}{60} \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 0,07 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$P = p \cdot Q = 60 \cdot 10^5 \cdot 0,07 \cdot 10^{-3} = 4,2 \cdot 10^2 = 420 \text{ W}$$

Iz enačbe za moč izpeljemo enačbo za tlak oz. prostorninski tok.

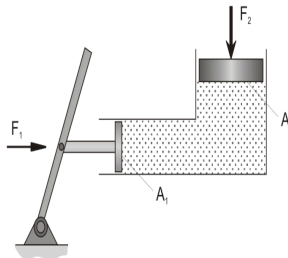
$$p = \frac{P}{Q}$$

Povzetek

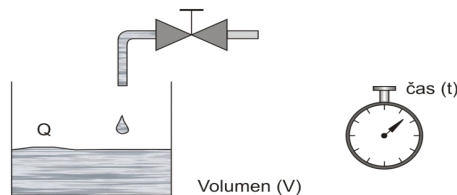
Hidravlična in elektrohidravlična krmilja uporabljamo za avtomatizacijo stabilnih in mobilnih strojev in naprav, kjer so potrebne velike sile in moči. Uporaba hidravlike zahteva dobro poznavanje hidromehanike in hidrodinamike. Iz hidromehanike izhajajo vsi principi, ki jih v hidravličnih in elektrohidravličnih krmiljih uporabimo za reševanje praktičnih problemov v avtomatizaciji. S pomočjo znanja hidromehanike lahko na potrebne sile in moči določimo hidravlične komponente in ocenimo potrebo energije za njihovo delovanje.

Vprašanja in naloge

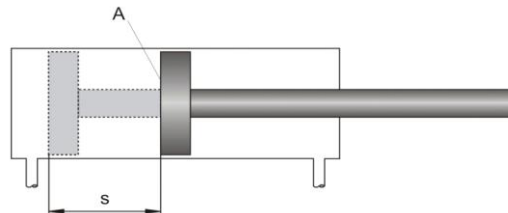
1. Z dvižno ploščadjo dvigamo breme 15000 N, sistemski tlak je 75 barov. Kako velika mora biti ploščina bata A?



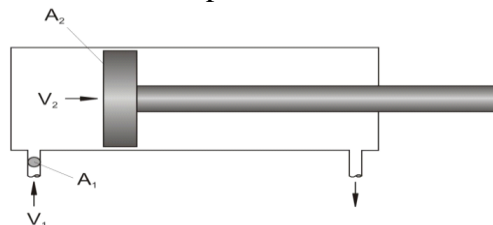
2. Sila $F_1 = 500$ N je prevelika za ročno delovanje. Kolikšna mora biti ploščina bata A_2 , če je ploščina bata $A_1 = 40$ cm², da bo potrebna na batu samo sila $F_1 = 100$ N?



3. Pri prostorninskem toku 4,2 litra na minuto izteče iz vodovodne pipe 0,5 litra vode. Koliko časa izteka voda?
4. Kolikšna je pretočna hitrost hidravličnega olja v cevi s prerezom 28 cm² pri prostorninskem toku 4,2l/min.



5. Kolikšen prostorninski tok mora omogočati oskrba z energijo, da se cilinder s ploščino bata 8 cm² v eni minuti premakne za 10 cm.



6. Zmožljivost črpalke Q je 10l/min. Premer dotočnega priključka $d_1 = 6$ mm. Premer bata $d_2 = 32$ mm. Zanima nas, s kolikšno hitrostjo e pri tej zmogljivosti črpalke premika bat.
7. Kolikšen tlak nam lahko ustvari črpalka z močjo 315 W in zmogljivostjo 4,2l/min.

3.2 TLAČNA TEKOČINA

Za prenašanje tlačne energije je v principu uporabna vsaka tekočina. Ker pa mora v hidravličnih postavitvah ustrezati tlačna tekočina določenim zahtevam, je izbor ustreznih tlačnih tekočin občutno manjši.

Z vodo kot tlačno tekočino so problemi zaradi korozije, točke vrelišča, zmrzovanja in redkosti.

Tlačne tekočine na mineralni osnovi - imenujemo jih tudi hidravlična olja, ustrezajo normalnim zahtevam (npr. pri orodnih strojih). V praksi se uporabljajo običajno ta olja.

V hidravličnih sistemih, ki delujejo v okoljih s povečano požarno nevarnostjo, se mora uporabljati težko vnetljivo tlačno tekočino. V vseh prej navedenih primerih obstaja pri tlačnih tekočinah na mineralni osnovi nevarnost vžiga, če se olje razlije po razbeljenih kovinskih delih zaradi netesnosti ali zaradi raztrganja tlačne cevi. Namesto standardnih olj na mineralni osnovi se v omenjenih primerih uporablja mešanice z vodo in s sintetičnimi olji.

3.2.1 Naloge tlačnih tekočin

V hidravličnih sistemih uporabljene tlačne tekočine morajo izpolnjevati zelo različne naloge:

- prenos tlaka
- mazanje gibljivih delov
- hlajenje oz. odvajanje toplote, ki nastane zaradi spreminjanja energije (tlačne izgube)
- dušenje vibracij, ki nastanejo zaradi tlačnih udarov
- korozijska zaščita
- odstranjevanje delcev izrabe
- prenos signalov.

3.2.2 Vrste tlačnih tekočin

Pri obeh skupinah - hidravličnih oljih in težko vnetljivih tlačnih tekočinah obstajajo različne vrste, ki se razlikujejo po lastnostih. Določene lastnosti se doseže z osnovno tekočino, kateri se doda manjše količine dodatkov.

Hidravlična olja

Po DIN 51524 in 51525 so razvrščena hidravlična olja po njihovih lastnosti in sestavu v tri razrede:

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

Označba je sestavljena iz črk. Črka H pomeni hidravlično olje, naslednja črka oz. črke pa označujejo dodatke. Črkovna označba je dopolnjena po DIN 51517 (ISO - viskoznostni razredi) še z viskoznostnim številom.

Tabela 18: Hidravlična olja za hidravlične postavitve

Označba	Posebne lastnosti	Področje uporabe
HL	Korozijska zaščita in povečana obstojnost	Postavitve z visokimi toplotnimi obremenitvami ali možno korozijsko zaščito zaradi vdora vode.
HLP	Povečana zaščita pred izrabo	Kot HL olja, predvsem pa pri postavitvah, v katerih nastajajo močnejša trenja zaradi konstrukcije in obratovalnih pogojev.
HV	Povečana neodvisnost viskoznosti od temperature	Kot HLP olja in pri močno spreminjajočih in nizkih temperaturah okolice.

Vir: Lasten

Primer

Hidravlično olje HLP 68

HLP 68	<p>H: hidravlično olje L: z dodatki za povečanje korozijske zaščite in/ali obstojnosti P: z dodatki za znižanje in/ali zvišanje obremenljivosti</p> <p>68: viskoznostno število po DIN51517</p>
--------	---

3.2.3 Lastnosti in zahteve

Hidravlične tekočine morajo imeti določene lastnosti za izpolnjevanje zahtevanih nalog glede na posamične obratovalne razmere. K tem materialnim lastnostim spadajo:

- kolikor mogoče nizka gostota
- majhna stisljivost
- ne prenizka viskoznost (mazalni film)
- dobra neodvisnost viskoznosti od temperature
- dobra neodvisnost viskoznosti od tlaka
- dobra obstojnost pred staranjem
- slaba gorljivost
- dobra stabilnost.

Hidravlična olja morajo izpolnjevati naslednje zahteve:

- izločanje zraka
- slabo penjenje
- obstojnost pri mrazu
- zaščita pred izrabo in korozijo
- zmožnost izločanja vode
- ne smejo se mešati z vodo.

Zelo pomemben podatek pri hidravličnih oljih je viskoznost.

3.3 ZGRADBA HIDRAVLIČNEGA KRMILJA

Osnovne komponente hidravličnega krmilja sestavljajo hidravlični agregat, ki skrbi za oskrbo z hidravlično energijo. Hidravlična energija se umerja preko hidravličnih krmilnih komponent – ventilov do hidravličnih izvršnih komponent kot so hidravlični cilindri in hidro motorji. Hidravlične komponente povezujemo z cevmi, ki so sposobne prenašati tlake, ki nastanejo v hidravličnih krmiljih. Vse hidravlične komponente morajo imeti ustrezne priključke, da lahko enostavno izvedemo povezave.

3.3.1 Oskrba s hidravlično energijo

Hidravlični agregat z energijo zagotavlja hidravličnemu sistemu potrebno energijo. Sestavljajo ga naslednje komponente:

- pogon
- črpalka
- ventil za omejitev tlaka
- sklopka
- rezervoar (tank)
- filter
- hladilnik
- ogrevalnik.

Na hidravličnem agregatu imamo še komponente za vzdrževanje, kontrolne in varnostne ukrepe ter cevi za povezavo hidravličnih komponent.

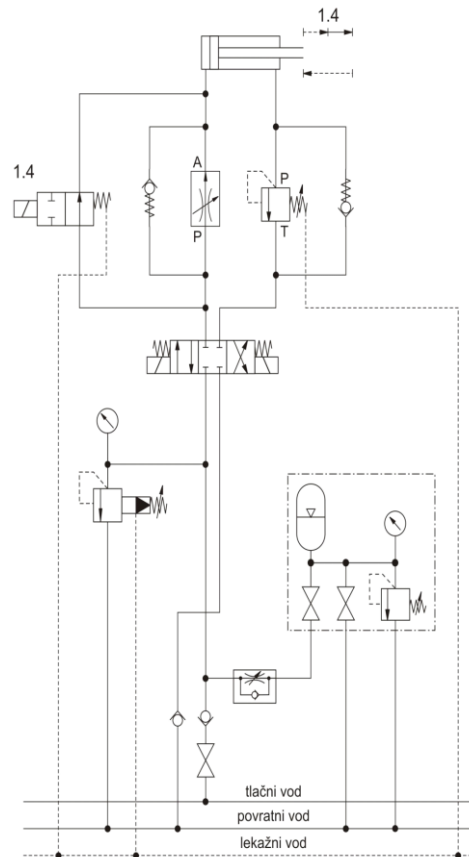


Slika 120: Hidravlični agregat
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

3.3.1.1 Pogon

Za pogon hidravličnih črpalk se uporabljajo elektromotorji in motorji z notranjim izgorevanjem. Pri stacionarni hidravliki se uporablja elektromotorje, pri mobilni hidravliki pa motorje z notranjim izgorevanjem.

Pri večjih strojih in sestavljenih hidravličnih napravah imamo centralni hidravlični sistem, ki vse porabnike oskrbuje iz skupnega tlačnega voda, ki dobiva energijo od enega ali več hidravličnih agregatov. V takem centralnem hidravličnem sistemu imamo vgrajene hidravlične akumulatorje, ki lahko hidravlično energijo akumulirajo in po potrebi oddajajo. Tlačne, povratne in lekažne vode izvedemo kot krožne vode. S tem prihranimo prostor in energijo. Primer oskrbe s centralnim hidravličnim sistemom je prikazan na sliki 121.



Slika 121: Oskrba hidravlične naprave iz centralnega hidravličnega sistema

Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

3.3.1.2 Črpalka

Črpalka hidravličnega sistema spreminja mehanično energijo pogonskega motorja v hidravlično (tlačno) energijo.

Črpalka sesa hidravlično tekočino in jo tlači v cevni sistem. Zaradi uporov, ki nasprotujejo toku tekočine, nastane v hidravličnem sistemu tlak. Vrednost tlaka ustreza skupnemu upor, ki ga sestavljajo zunanji in notranji upori pretoka.

- **Zunanji upori:** nastanejo zaradi koristne obremenitve in mehaničnih trenj ter zaradi statične obremenitve in pospeševalnih sil.
- **Notranji upori:** nastanejo zaradi skupnih trenj v cevovodih in komponentah ter zaradi trenja tekočine in pretočnih izgub (dušilna mesta).

Tekočinski tlak hidravličnega sistema torej ni vnaprej določen s črpalko, ampak nastane v odvisnosti od uporov-v ekstremnem primeru tolikšen, da katero od komponent razžene. V praksi se seveda takih primerov izogibamo tako, da neposredno za črpalko ali v ohišju črpalke vgrajujemo ventil za omejitev tlaka, ki ima nalogo varnostnega ventila. Z njim nastavimo največji dopustni obratovalni tlak črpalke.

Volumen tlačenja V (oddajni volumen) je enota za velikost črpalke. Označuje volumen tekočine, ki ga odda črpalka pri enem vrtljaju.

Oddani volumen tekočine v časovni enoti, imenujemo pretok Q . Pretok dobimo, če pomnožimo oddajni volumen V s številom vrtljajev n .

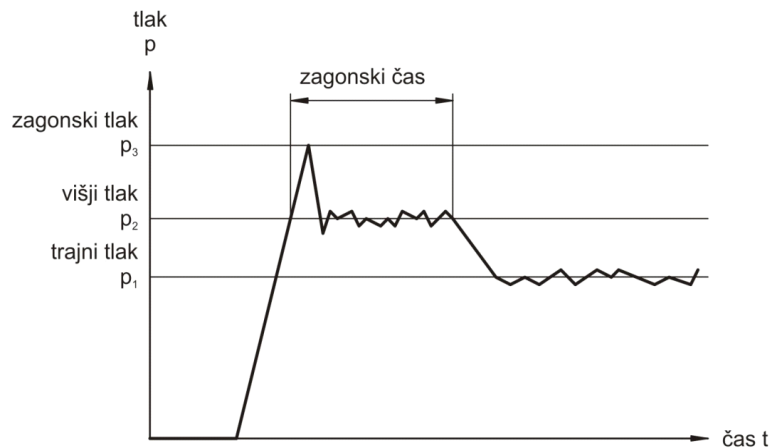
$$Q = n \cdot V$$

Primer

Kolikšen je pretok zobniške črpalke, če število vrtljajev $n=1450 \text{ min}^{-1}$ oddajni volumen pa $V = 2,8 \text{ cm}^3$.

$$Q = n \cdot V = 1450 \cdot 2,8 = 4060 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} = 4,06 \frac{\text{dm}^3}{\text{min}} = 4,06 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

Za uporabo črpalke je pomemben obratovalni tlak. Običajno imamo podan tudi zagonski tlak, ki sme trajati le kratek čas (slika 122), sicer pride do predčasne izrabe črpalke.



Slika 122: Tlaki hidravlične črpalke

Vir: Lasten

Kot kriterij za izbiro črpalke je tudi število vrtljajev. Obstaja veliko črpalk, ki se lahko obratujejo le v določenem območju vrtljajev in jih ne smemo zaganjati pod obremenitvijo. Najpogostejše število vrtljajev črpalk je $n = 1500 \text{ min}^{-1}$, ker se jih pretežno poganjamo z asinhronskimi motorji.

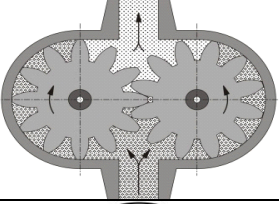
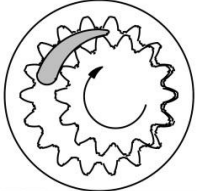
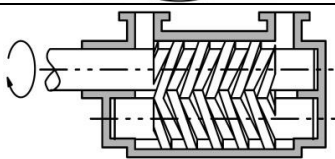
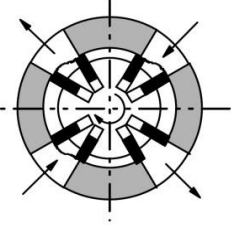
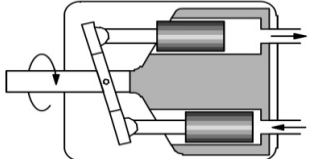
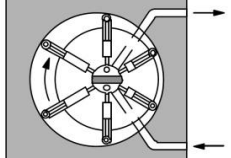
Pri izbrani črpalci moramo upoštevati še konstrukcijske pogoje:

- način pritrditve
- temperaturno območje
- glasnost
- priporočilo o tlačni tekočini
- tip črpalke.

Glede na volumen tlačenja razlikujemo tri osnovne tipe črpalk:

- konstantne črpalke: konstanten volumen tlačenja
- nastavljive črpalke: nastavljiv volumen tlačenja
- regulirane črpalke: regulacija volumna tlačenja s tlakom, pretokom oz. močjo.

Tabela 19: Osnovni tipi hidravličnih črpalk

	Konstrukcija	Območje vrtljajev 1/min	Volumen tlačjenja (cm ³)	Nazivni tlak (bar)	Skupna stopnja izkoristka
	zobniška črpalka, zunanje ozobje	500-3500	1,2-250	63-160	0,8-0,91
	zobniška črpalka, notranje ozobje	500-3500	4-250	160-250	0,8-0,91
	vijačna črpalka	500-4000	4-630	25-160	0,7-0,84
	krilna črpalka	960-3000	5-160	100-160	0,8-0,93
	aksialna batna črpalka	.....-3000 750-3000 750-3000	100 25-800 25-800	200 160-250 160-320	0,82-0,92 0,82-0,92 0,8-0,92
	radialna batna črpalka	960-3000	5-160	160-320	0,9

Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

Konstrukcije hidravličnih črpalk so zelo različne. Vse pa delujejo na principu tlačjenja tekočine v cevovod. To lahko izvedemo z bati, lamelami, vijaki ali zobniki.

3.3.1.3 Sklopka

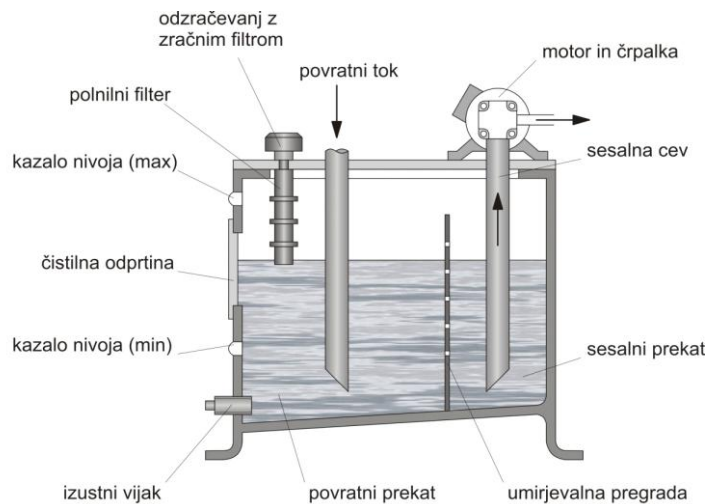
Sklopko namestimo med pogonski motor in črpalko. Prenaša vrtilni moment z motorja na črpalko. Njena naloga je tudi amortiziranje medsebojnih vplivov. Preprečuje prenašanje vplivov neenakomernega teka motorja na črpalko in vplivov tlačnih sunkov na motor. S sklopko se izravnava tudi morebitne ekscentričnosti in s tem preprečuje opletanje gredi motorja in črpalke.

Največkrat uporabljamo gumi sklopke, zobate sklopke ali parkljaste sklopke z elastičnimi vložki.

3.3.1.4 Rezervoar - tank

Rezervoar hidravličnega sistema ima več nalog:

- prevzem in zaloga hidravlične tekočine, ki je potrebna za obratovanje hidravličnega sistema,
- odvajanje toplote;
- izločanje zraka, vode in trdnih delcev (nečistote);
- lahko je podstavek za vgradnjo ene ali več črpalk s pogonskimi motorji in drugih hidravličnih komponent.



Slika 123: Rezervoar (tank) za olje
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

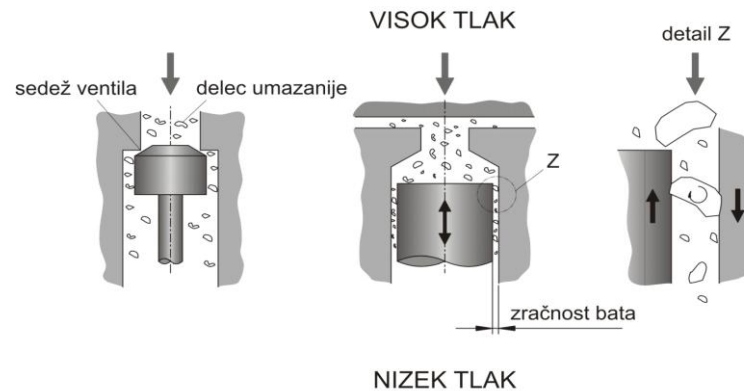
Velikost rezervoarja je odvisna od:

- zmogljivosti črpalke;
- segrevanja pri obratovanju v odvisnosti od maksimalne dopustne temperature tekočine;
- največje možne diference volumna tekočine, ki nastane pri polnjenju in praznjenju porabnikov (cilindrov in hidravličnih akumulatorjev);
- lokacije postavitve;
- časa obkroženja tekočine.

Pri stacionarnih sistemih je po izkušnjah potreben tako velik rezervoar, kolikor znaša prostornina tekočine, ki jo odda črpalka pri 3- do 5-minutnem delovanju. Dodatno se mora predvideti še približno 15 % zračnega prostora zaradi nihanja nivoja tekočine. Pri mobilni hidravliki so rezervoarji manjši zaradi teže in razpoložljivega prostora. Višje rezervoarji so boljši za odvajanje toplote, bolj široki pa boljši za izločanje zraka. Sesalna in povratna cev naj bosta kolikor mogoče narazen in naj segata dovolj globoko v olje. Umirjevalna pregrada ločuje prekat za sesanje in vračanje olja. Zaradi pregrade ne more povratno olje odtekati takoj k sesalni cevi. S tem se zagotovi določen čas, ki je potreben za učinkovito izločanje umazanije, vode in zraka iz olja. Dno naj bo nagnjeno proti izpustnemu vijaku za občasno izpuščanje usedline in vode iz rezervoarja. Zaradi nemotene nihanja nivoja olja mora biti zagotovljena možnost odzračevanje in ozračevanje rezervoarja. Navadno je vgrajen zračni filter kar v pokrovu polnilne odprtine.

3.3.1.5 Filter

V hidravličnem sistemu moramo nujno vgraditi filtre, da preprečimo vplive onesnaženega okolja. Filtri nam zagotavljajo nemoteno delovanje hidravličnih komponent in ustrezno življenjsko dobo hidravličnih komponent



Slika 124: Škodljivi vplivi onesnaženega okolja
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

Izvori onesnaženja tlačne tekočine:

- onesnaženost novega sistema s kovinskimi delci, ostružki, livarskim peskom, prahom, varilnimi perlami, barvo, tesnilnim materialom in drugo umazanijo;
- onesnaženje med obratovanjem zaradi izrabljanja, vdorov skozi netesnjena mesta, zaradi zračenja rezervoarja, pri dolivanju ali menjavi tlačne tekočine pri zamenjavi cevi, komponent.

Naloga filtra je zmanjšanje onesnaženosti na dopustno mero. S tem varujemo posamezne komponente pred prehitro izrabo. Filtriranje mora biti toliko fino, kolikor je nujno za določen primer. Učinkovitost filtra naj bo možno kontrolirati s kazalom onesnaženosti filtra. Pri izbiri in vgraditvi filtrov upoštevamo občutljivost hidravličnih komponent na nečistoče.

3.3.1.6 Hladilnik

Ko teče tlačna tekočina skozi cevovode in komponente, nastanejo zaradi trenja izgube energije. Tlačna tekočina se segreje. Nastala toplota se deloma odvaja v okolico preko površine rezervoarja, cevovodov in komponent.

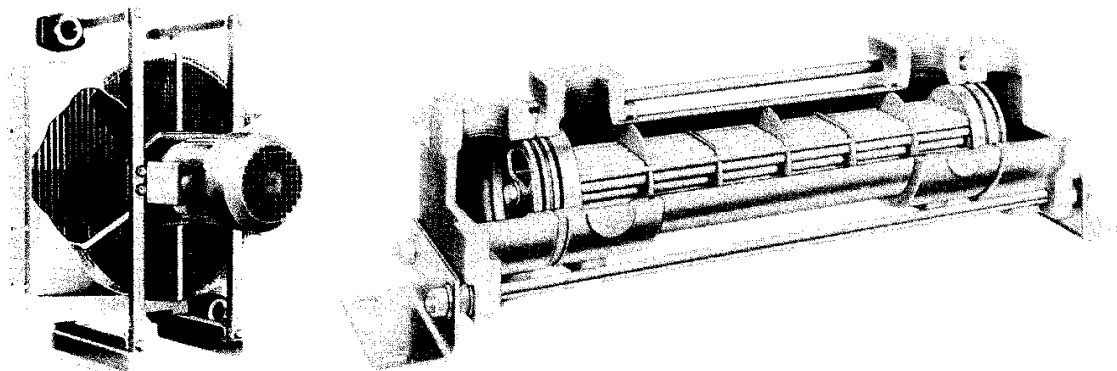
Obratovalna temperatura naj ne preseže 50-60 °C. Višja temperatura povzroča nedopustno znižanje viskoznosti in hitrejšo staranje olja. Skrajšuje tudi življenjsko dobo tesnil.

Če ne zadostuje naravno ohlajanje, se doda še hlajenje, ki se vključuje s termostatom. Na tak način obdržimo temperaturo v določenih mejah.

Hladilne naprave lahko izvedemo kot (slika 125):

- zračni hladilnik: možna temperaturna razlika do 25 °C
- vodni hladilnik: možna temperaturna razlika do 35 °C
- hladilniško hlajenje: odvajanje velikih količin toplote.

V mobilni hidravliki so zaradi majhnih rezervoarjev vedno potrebni hladilniki za zadosten odvod toplote.



Slika 125: Zračni hladilnik in vodni hladilniki
Vir: Längerer & Reich

Tabela 20: Primerjava zračnega in vodnega hladilnika

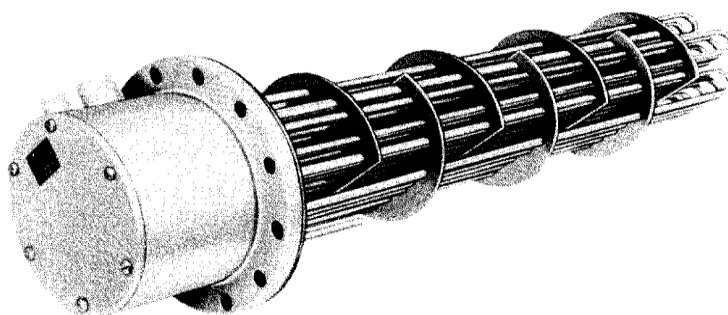
	Zračni hladilnik	Vodni hladilnik
Opis	Tlačna tekočina teče iz povratnega voda skozi sistem cevi, ki se ga hladi z zrakom ventilatorja.	Olje teče skozi cevi, preko katerih teče hladilno sredstvo.
Prednosti	Majhni obratovalni stroški, enostavna vgradnja.	Odvaja se lahko večje količine toplote in ne povzroča hrupa.
slabosti	Povzroča hrup.	Višji obratovalni stroški (hladilno sredstvo), problemi zaradi onesnaženja in korozije.

Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

3.3.1.7 Grelnik

Za hitrejšo doseg optimalne obratovalne temperature je pogosto potrebno ogrevanje. Namen ogrevanja je, da se po startu stroja čim prej doseže optimalno viskoznost tlačne tekočine. Pri višji viskoznosti (gostejša tekočina) se namreč zaradi povečanega trenja in kavitacije poveča izraba komponent.

V pretočnih grelnikih se uporabljajo za ogrevanje in predgrevanje tlačne tekočine ogrevalni vložki (slika 126).



Slika 126: Ogrevalni vložek
Vir: Längerer & Reich

Priporočljiva temperatura tlačne tekočine je za stacionarna postrojenja 35-55°C, za mobilna postrojenja pa 45-65 °C v tanku.

3.3.2 Hidravlične delovne komponente

Hidravlični cilindri (hidrocilindri) spreminjajo hidravlično energijo v mehanično. Izvajajo premočrtna (linearna) gibanja in jih zato imenujemo tudi linearni motorji.

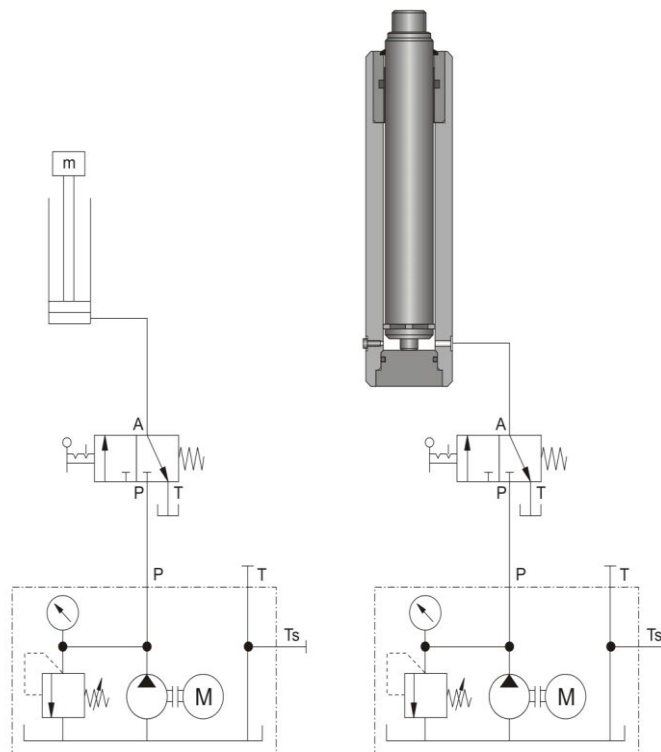
Hidravlične cilindre delimo na:

- enosmerne cilindre
- dvosmerne cilindre.

3.3.2.1 Enosmerni cilinder

Pri enosmernih cilindrih deluje tlačna tekočina na bat samo z zadnje strani cilindra. Zaradi tega lahko opravlja delo samo v **eni smeri**. Pri povratnem gibanju je zadnja stran cilindra povezana skozi ventil s tankom, tlačni vod je pa zaprt. Povratno gibanje se opravi zaradi lastne teže, vzmeti ali obtežitve. Pri tem mora povratna sila premagati sile zaradi trenja v cilindru, cevovodih in ventilih ter iztisniti tlačno tekočino v odtočni cevovod.

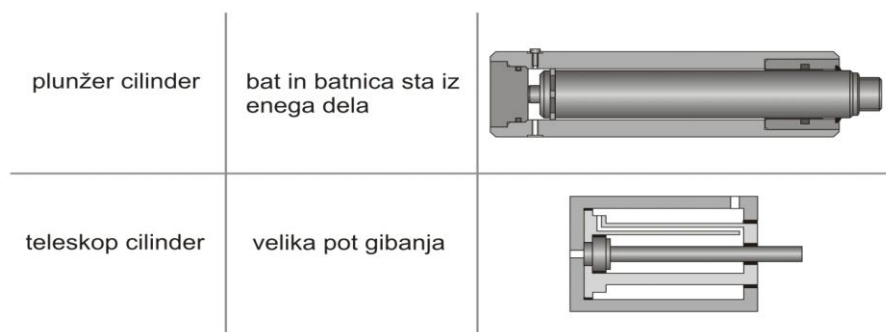
Enosmerni cilinder - plunžer cilinder



Slika 127: Enosmerni cilinder - plunžer cilinder

Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

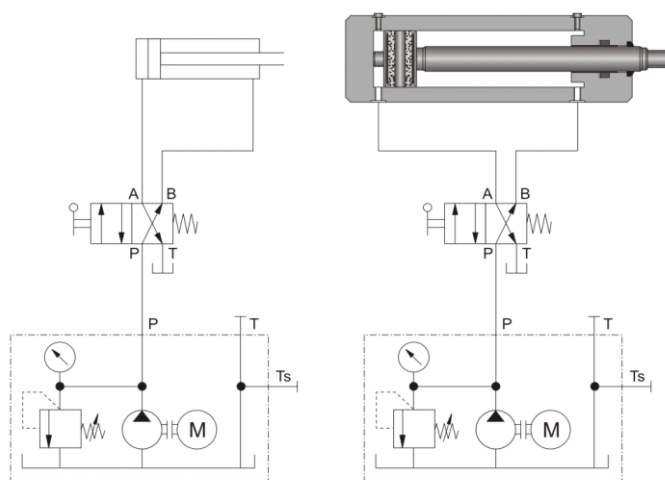
Enosmerne cilindre uporabljamo takrat, kadar je potrebno hidravlično delo samo v eni smeri gibanja (dviganje, vpenjanje obdelovancev, hidravlične dvigalke, škarjaste dvižne mize in ploščadi). Na sliki 128 sta prikazana osnovna tipa enosmernih hidravličnih cilindrov.



Slika 128: Plunžer in teleskopski cilinder
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

3.3.2.2 Dvosmerni cilinder

Pri dvosmernem cilindru lahko deluje tlačna tekočina z obeh strani bata. Zaradi tega lahko opravlja delovna gibanja v **obeh** smereh (slika 129).



Slika 129: Dvosmerni cilinder
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

Pri dvosmernem cilindru z enostransko batnico sta pri iztegnitvi in uvleku batnice različni sili in hitrosti pri enakem pretoku zaradi različnih ploščin bata. Hitrost uvleka je večja ob enakem pretoku, ker je aktivna ploščina bata manjša kot pri iztegnitvi. Dvosmerne cilindre se izdeluje v različnih izvedbah v odvisnosti od zahtev uporabe (tabela 21).

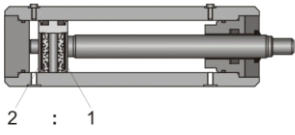
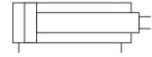
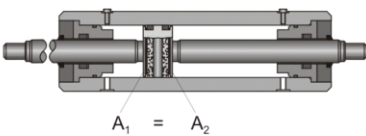

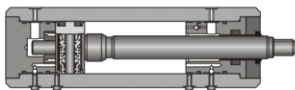

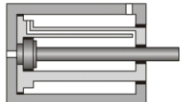

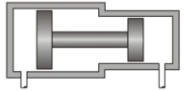

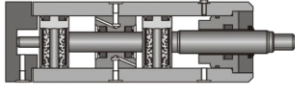
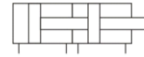
diferencial cilindar	razmerje ploščin 2:1 (krog:kolobar), uvlek 2x hitrejši kot iztegnitev		
dvostranski cilindar	enaki ploščini bata, hitrost naprej in nazaj enaka		
cilinder s končnim dušenjem	elastično zaustavljanje pri premikanju večjih mas		
teleskop cilindar	večje dolžine poti		
pretvornik tlaka	zvišanje tlaka		
tandem cilindar	za večje sile pri majhnih izmerah		

Tabela 21: Izvedbe dvosmernih cilindrov
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

V tabeli 22 so zbrane najbolj pogoste uporabe dvosmernih hidravličnih cilindrov.

Tabela 22: Uporaba dvosmernih hidravličnih cilindrov

Orodni stroji	Dvižne naprave	Mobilne naprave	Letala	Ladje
podajalna gibanja orodij in obdelovancev, vpenjalne naprave, stiskalnice za hladno oblikovanje, stiskalnice za tlačni liv itd.	dviganje, nagibanje, nihanje itd.	bagri, nakladalniki, traktorji, transportna vozila itd.	dviganje, spuščanje podvozja, loput itd.	premikanje krmila, nastavljanje ladijskega vijaka itd.

Vir: Lasten

3.3.2.3 Hidromotorji in zasučni motorji

Hidromotorji spreminjajo hidravlično energijo v mehanično in ustvarjajo vrtilna gibanja (rotacijski pogon). Če se ustvarja vrtilno gibanje samo za določen kot, govorimo o zasučnih motorjih.

Hidromotorji imajo enake karakteristike in podatke kot črpalke. Hidromotorji sprejemajo tlačno tekočino. Sprejeto prostornino tlačne tekočine podajajo proizvajalci v kubičnih centimetrih (cm^3) na vrtljaj. Pomemben podatek je tudi območje vrtljajev, v katerem je delovanje motorja najbolj ekonomično. Za sprejemno prostornino (volumen) velja:

$$p = -\frac{M}{V}$$

$$Q = n \cdot V$$

p - tlak

M - vrtilni moment

V - sprejemni tlačni volumen (cm^3)

Q - prostorninski tok (dm^3/min)

n - število vrtljajev (min^{-1})

S sprejemno prostornino in želenim številom vrtljajev, ki naj jih ima motor, izračunamo potreben pretok.

Primer

Motor s 10 cm^3 sprejemne prostornine (V) se naj vrti z $n=600$ vrtljajev na minuto. Kolikšen pretok (Q) potrebuje motor?

$$Q = n \cdot V = 10 \cdot 600 = 6000 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} = 6 \frac{\text{dm}^3}{\text{min}} \left(\frac{\text{l}}{\text{min}} \right)$$

Črpalka mora oddajati $6 \text{ dm}^3/\text{min}$, da se motor vrti s 600 vrtljaji na minuto.

Mehanično moč hidromotorja izračunamo kot sledi:

ω = kotna hitrost (s^{-1})

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$$

Primer

Hidromotor s sprejemno prostornino $V = 12,9 \text{ cm}^3$ poganjamo s črpalke kapacitete $Q = 15 \text{ dm}^3/\text{min}$. Pri številu vrtljajev, ki jih izračunamo iz prejšnji dveh podatkov, je vrtilni moment $M = 1 \text{ Nm}$.

Kolikšno je število vrtljajev n in oddana moč P?

Izračunajte vrtilni moment, če se motor zaradi obremenitve močno zadržuje, da nastane zaradi tega tlak 140 bar.

Izračun števila vrtljajev n:

$$Q = n \cdot V$$

$$n = \frac{Q}{V} = \frac{15}{12,9} = \frac{15 \cdot 10^{-3}}{12,9 \cdot 10^{-6}} = 1162,8 \text{ min}^{-1}$$

Izračun moči P v Wattih (W):

$$P = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot M = 2 \cdot \pi \cdot \frac{1162,8}{60} = 121,77 \text{ W}$$

Izračun vrtilnega momenta pri maksimalnem vhodnem tlaku:

$$p_{\text{MAX}} = 140 \cdot 10^5 \text{ (140 bar)}$$

$$p = \frac{M}{V}$$

$$M = p \cdot V = 140 \cdot 10^5 \cdot 12,910^{-6} = 180,6 \text{ Nm}$$

Pri teh izračunih ni bil upoštevan hidravlično-mehanični in prostorninski izkoristek.

Običajno so hidromotorji konstruirani na enak način kot hidročrpalke. Delimo jih na:

- konstantni motorji - konstanten sprejemni volumen
- nastavljivi motorji - nastavljiv sprejemni volumen.

3.3.3 Hidravlični ventili

Pri hidravličnih sistemih je izveden prenos energije od črpalke do porabnikov z ustreznimi cevovodi. Da nastane na porabnikih zahtevana moč ali vrtilni moment, hitrost ali število vrtljajev, in to v določeno smer ob upoštevanju predpisanih obratovalnih pogojev, se v cevovode vgrajuje ventile kot komponente za krmiljenje energije. Ventili krmilijo ali regulirajo tlak in pretok.

Vsak ventil predstavlja v sistemu tudi določen upor.

Nazivni podatke ventilov določajo:

- nazivna dimenzija v mm (4;6 ;10; 16; 20; 22; 25; 30; 32; 40; 50; 52; 63; 82; 100; 102);
- nazivni tlak, za katerega so izdelani v bar 25; 40; 63; 100; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630) po VDMA 24312;
- nazivni pretok Q_i -količina olja (l/min), ki teče skozi ventil in povzroča izgubo tlaka
- $p = 1$ bar (viskoznost olja $35 \text{ mm}^2/\text{s}$ pri $40 \text{ }^\circ\text{C}$);
- maksimalni pretok Q_{max} - največja količina olja (l/min), ki lahko teče skozi ventil
- območje viskoznosti - Npr. $20\text{-}230 \text{ mm}^2/\text{s}$ (c/St);
- območje temperature tlačnega sredstva - Npr. $10 \text{ }^\circ\text{-}80 \text{ }^\circ\text{C}$.

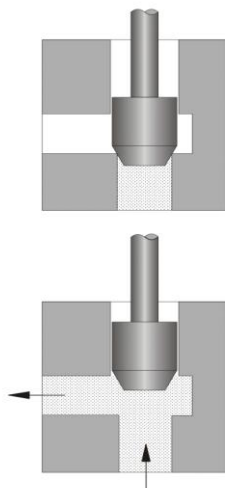
Ventile delimo po:

- nalogah
- konstrukciji
- načinu aktiviranja.

Glede na naloge, ki jih morajo izpolnjevati ventili v hidravličnem sistemu, uporabljamo:

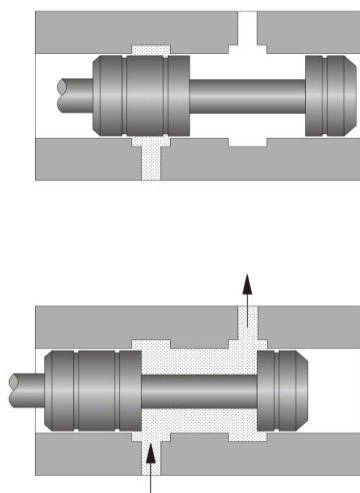
- tlačne ventile
- potne ventile
- zaporne ventile
- tokovne ventile.

Po konstrukciji razlikujemo sedežne (slika 130) in drsniške (slika 131) ventile.



Slika 130: Sedežni princip
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

Drsniški princip

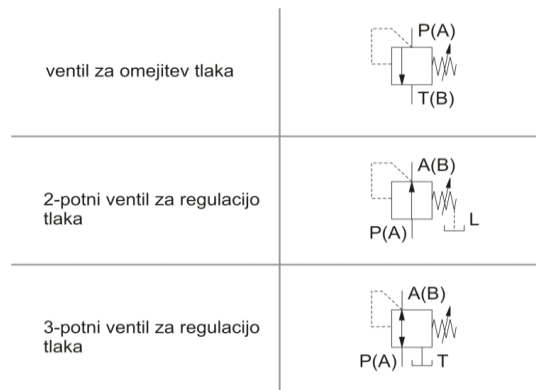


Slika 131: Sedežni princip
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

3.3.3.1 Tlačni ventili

Tlačni ventili imajo nalogo krmiljenja in reguliranja tlaka v hidravličnem sistemu. Lahko so izvedeni kot ventili za omejitev tlaka (omejilni ventili). S temi ventili se nastavi in omeji tlak sistema. Lahko pa so izvedeni za regulacijo tlaka (regulatorji tlaka). S temi ventili se reducira izhodni tlak pri spremenljivem vhodnem tlaku.

Na sliki 132 so prikazani simboli tlačnih ventilov.

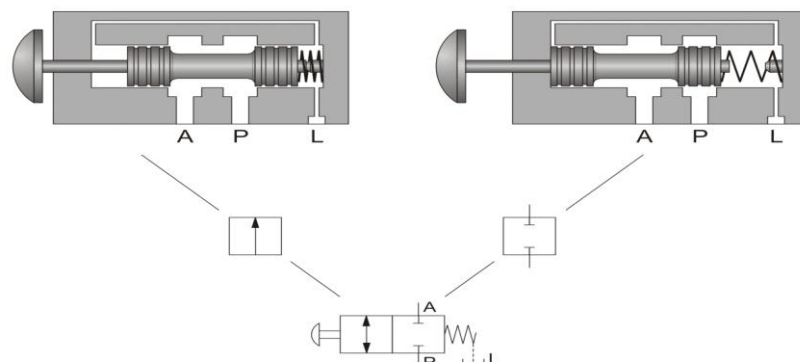


Slika 132: Simboli tlačnih ventilov
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

3.3.3.2 Potni ventili

Potni ventili so komponente, ki v hidravličnem sistemu spreminjajo, odpirajo ali zapirajo pretočne poti. S tem se krmili gibanje v določeno smer ali ustavlja delovne komponente. Simbolični prikaz polnih ventilov določa DIN 1219.

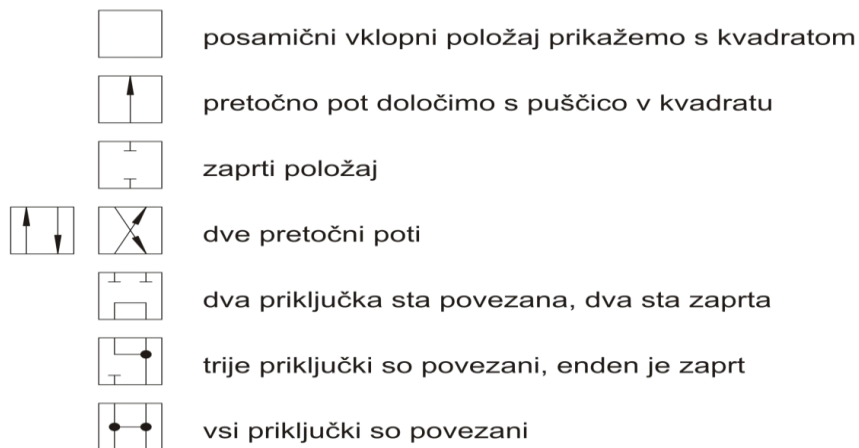
2/2 potni ventil:



Slika 133: 2/2 potni ventil
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

Simbolika potnih ventilov

- kvadrat pomeni posamezni vklopni položaj;
- puščice označujejo smeri poti oziroma pretočne poti;
- zaprte priključke označujejo prečne črtice;
- kratke črtice pri vklopnem položaju označujejo priključke;
- lekažne priključke se riše s črtkano linijo in označuje s črko L;
- vklopne položaje se označuje z a, b ... od leve proti desni in mirovni položaj z 0 pri tripoložajnem ventilu.



Slika 134: Vklopni položaji potnih ventilov

Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

Potne ventile delimo na analogno in digitalno delujoče potne ventile.

- Analogno delujoči potni ventili. Ti ventili imajo poleg dveh mejnih položajev še poljubno veliko vmesnih položajev z različnimi dušilnimi učinki. V to skupino spadajo proporcionalni in servo ventili.
- Digitalno delujoči potni ventili. Ti ventili imajo vedno le določeno število (2, 3, 4 ...) vhodnih položajev. V praksi imenujemo te ventile enostavno potni ventili.

Glede na število priključkov in vklopnih položajev razlikujemo sledeče potne ventile:

- 2/2-potni ventili
- 3/2-potni ventili
- 4/2-potni ventili
- 5/2-potni ventili
- 4/3-potni ventili

Na sliki 135 so zbrani simboli najbolj uporabnih potnih ventilov. Zaradi preglednosti so brez dodatnih označb za način aktiviranja. V praksi obstaja še veliko drugih izvedb.

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



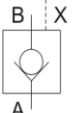
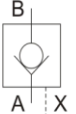

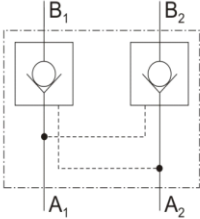
Slika 135: Simboli potnih ventilov
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

3.3.3.3 Zaporni ventili

Zaporni ventili zapirajo pretok v eni smeri, v drugi pa omogočajo neoviran pretok. Da je zapiranje neprepustno, se izdeluje te ventile vedno v sedežni izvedbi. Tesnilni element (največkrat kroglica ali kegelj) je pritisnjen na ustrezen sedež. Da je mogoč pretok v obratni smeri, se mora tesnilni element odmakniti s sedeža.

Pri zapornih ventilih razlikujemo (slika 136):

- nepovratni ventili - brez in z vzmetjo
- zaporni in odporni nepovratni ventili.

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

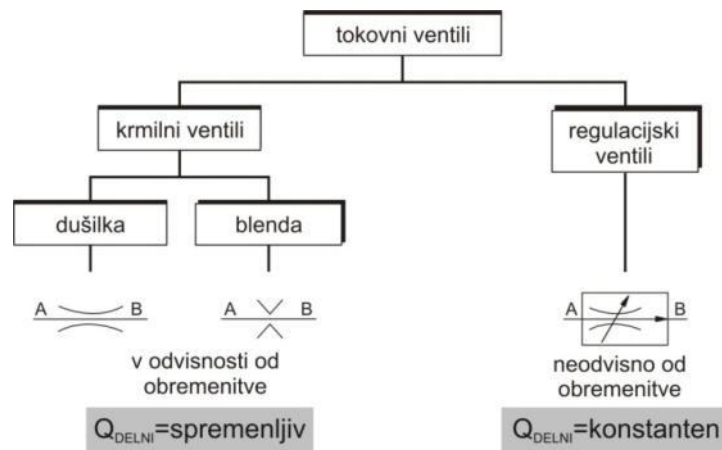
Slika 136: Simboli zapornih ventilov
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

3.3.3.4 Tokovni ventili

Tokovne ventile uporabljamo za zmanjševanje hitrosti cilindrov ali vrtljajev motorjev. Ker sta obe vrednosti odvisni od pretoka, ju lahko zmanjšamo z zmanjšanjem pretoka. Konstantne črpalke dajejo konstanten pretok. Zaradi zožitve pretočnega prereza v tokovnem ventilu se pred njim tlak zviša. Ta tlak povzroči odpiranje omejitelne ventila in s tem razdelitev pretoka. Zaradi zmanjšane pretoka k delovni komponenti je hitrost gibanja ustrezno manjša. Drugi del pretoka se vrača skozi omejitelni ventil v tank - večje izgube energije.

Tokovne ventile delimo glede na njihovo uporabno funkcijo (slika 137):

- ventili za krmiljenje pretoka
- ventili za regulacijo pretoka.



Slika 137: Tokovni ventili

Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

3.3.4 Dodatna oprema za hidravlično krmilje

Dodatna oprema za hidravlično krmilje služi za povezovanje hidravličnih komponent in celotno sestavo hidravličnega postrojenja. To so:

- gibke cevi
- priključki za gibke cevi
- toge cevi
- vijačni elementi
- priključne plošče
- odzračevalni ventili
- merilniki tlaka in
- merilniki pretoka.

Povzetek

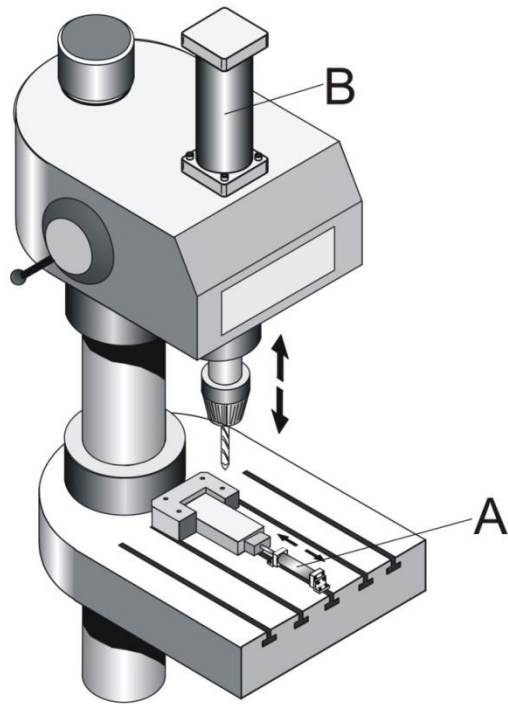
Za hidravlični sistem moramo pravilno izbrati hidravlično tekočino. Hidravlične tekočine imajo standardizirane oznake, iz katerih razberemo osnovne lastnosti. Hidravlični agregat skrbi, da ima hidravlični sistem ustrezno energijo. Sestavlja ga hidravlična črpalka, ki jo poganja ustrezen motor preko sklopke, rezervoar s hidravlično tekočino in regulacijski tlačni ventil, na katerem nastavimo želeni tlak v hidravličnem sistemu. Da lahko zagotavljamo ustrezno oskrbo s hidravlično energijo, imamo v hidravličnem agregatu še filtre hidravličnega olja, hladilnike in grelnike.

Za opravljanje delovnih gibov nam služijo hidravlični cilindri, ki so lahko enostransko delujoči ali dvostransko delujoči. Za izvajanje rotacijskih gibanj uporabljamo hidravlične motorje.

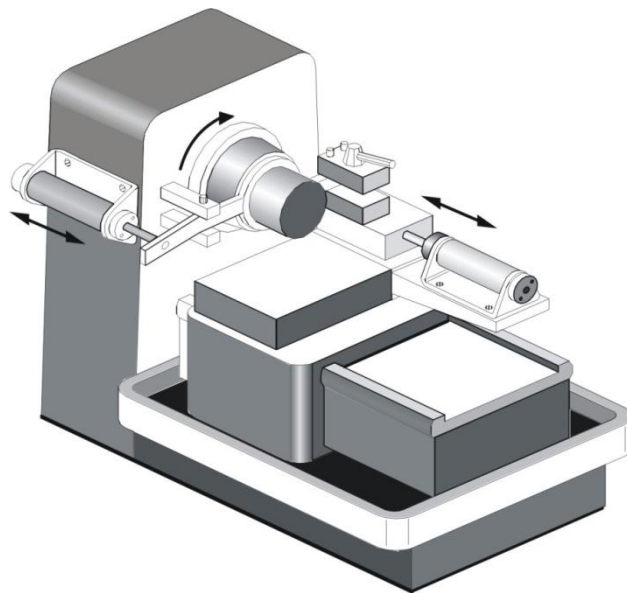
Za krmiljenje pretokov nam služijo potni ventili, ki imajo glede na pnevmatične ventile večinoma več položajev. Vedno moramo priključiti tudi povratne poti olja v rezervoar. Za regulacijo tlakov in pretokov nam služijo tlačni in tokovni ventili.

Vprašanja in naloge

1. Zakaj je pomembno, da za hidravlični sistem izberemo ustrezno hidravlično tekočino?
2. Pojasnite razliko med hidravličnim oljem HLP in hidravličnim oljem HV. Kdaj uporabimo katero od teh olj?
3. Kako nastavimo tekočinski tlak hidravličnega sistema?
4. Kako je definirana velikost hidravlične črpalke? Navedite primer.
5. Kolikšen je pretok zobniške črpalke, če je število vrtljajev $n = 1450 \text{ min}^{-1}$, oddajni volumen pa $V = 4,8 \text{ cm}^3$?
6. Zakaj v hidravlične sisteme vgrajujemo hladilne sisteme? Navedite primer, kje se to uporabi in zakaj.
7. Kdaj v hidravlične sisteme vgradimo grelnike? Navedite primer, kje se to uporabi in zakaj.
8. Prikažite plunžer cilinder, pojasnite njegovo delovanje in navedite njegovo uporabo. V shemi prikažite primer enostavnega ročnega krmiljenja hidravličnega sistema, kjer delo opravlja plunžen cilinder.
9. Navedite primer uporabe dvostransko delujočih hidravličnih cilindrov. V shemi prikažite primer enostavnega ročnega krmiljenja hidravličnega sistema, kjer delo opravlja dvostranski cilinder.
10. Hidromotor s sprejemno prostornino $V = 14,2 \text{ cm}^3$ poganjamo s črpalko kapacitete $Q = 18 \text{ dm}^3/\text{min}$. Pri številu vrtljajev, ki jih izračunamo iz prejšnjih dveh podatkov, je vrtilni moment $M = 1 \text{ Nm}$. Kolikšno je število vrtljajev (n) in oddana moč (P)? Izračunajte vrtilni moment, če se motor zaradi obremenitve močno zadržuje, da nastane zaradi tega tlak 140 barov.
11. Narišite simbol za tlačni ventil, ki nam služi za omejitev tlaka v hidravličnem sistemu. Označite tudi priključke tega ventila. Kdaj in zakaj bomo tak ventil uporabili? Navedite primer uporabe tlačnega ventila.
12. Narišite simbol za 4/3 potni hidravlični ventil, ki v osnovnem položaju omogoča obtok črpalke. Označite tudi priključke tega ventila. Kdaj in zakaj bomo tak ventil uporabili? Navedite primer uporabe tega ventila.
13. Narišite simbol za nepovratni ventil z vzmetjo. Kdaj in zakaj bomo tak ventil uporabili? Navedite primer uporabe tega ventila.
14. Narišite simbol za ventil, ki nam lahko regulira pretok. Kdaj in zakaj bomo tak ventil uporabili? Navedite primer uporabe tega ventila.
15. Na vrtalnem stroju je izvedeno hidravlično podajanje vrtalnega vretena in vpenjanje obdelovanca. Hidravlično krmilje ima dva cilindra; vpenjalni cilinder A in podajalni cilinder B (glej sliko). Zaradi potrebnih različnih vpenjalnih sil mora biti zagotovljena možnost nastavljanja vpenjalnega tlaka na cilindru A. Za izvedbo te zahteve je potrebno uporabiti ventil za regulacijo tlaka (regulator tlaka). Za ta primer narišite hidravlično krmilno shemo in opišite delovanje krmilja, ki izpolnjuje zahteve te naloge.



16. Avtomatizirati moramo stružnico in sicer na način, da ročno podajanje noža nadomestimo s hidravličnim krmilnim sistemom. Hitrost podajanja naj bo nastavljiva in enakomerna tudi pri spreminjajočih se obremenitvah noža. Narišite in razložite hidravlično shemo za to nalogo.



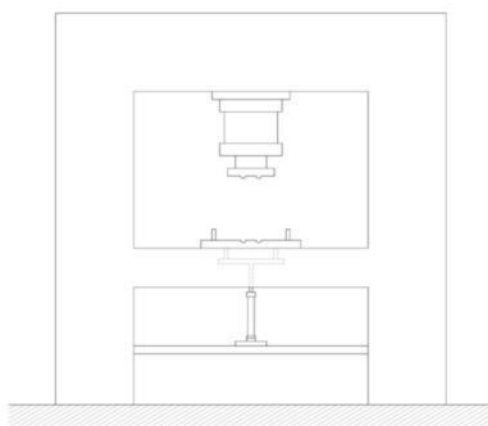
3.4 PRAKTIČNI PRIMERI HIDRAVLIČNIH KRMILJ

Pri vsakem praktičnem primeru bomo spoznali uporabnost in način krmiljenja hidravličnih delovnih in krmilnih komponent. Naučili se bomo postopka reševanja praktičnih primerov, ugotavljanja napak in kako kakšna komponenta deluje oziroma kako jo moramo pravilno uporabiti.

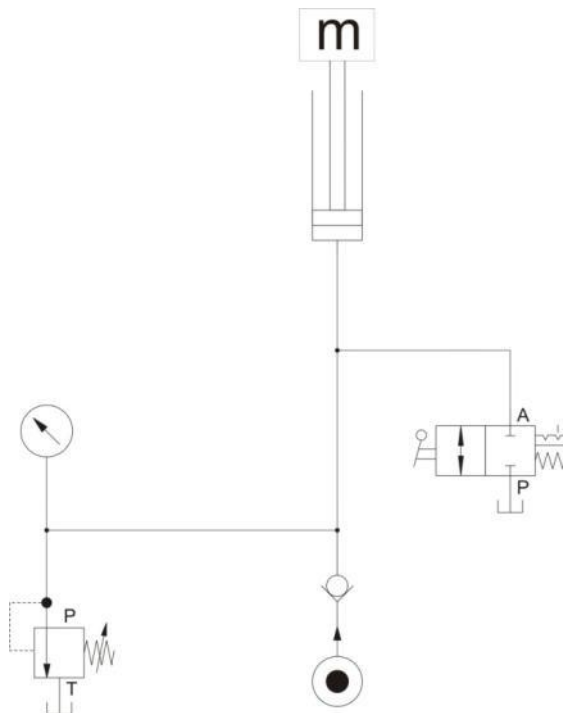
3.4.1 Vtiskovalna stiskalnica

Opis problema

Pri vtiskovalni stiskalnici je izvedeno izmetavanje obdelovancev na hidravlični način. Za izmetovanje uporabimo enosmerni cilinder B (položajna slika). Za vračanje e-cilindra v izhodiščni položaj poskrbi teža orodja.



Na stiskalnici je za izmetavanje obdelovancev vgrajen enosmerni cilinder. Za krmiljenje cilindra lahko uporabimo 2/2 ali 3/2-potni ventil.



Izračunajmo še tlak iztegnitve (p), če je premer bata $d = 50$ mm in obremenitev $F = 4$ kN. Pri izračunu zanemarimo upore.

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

$$p = \frac{F}{A}$$

Iztezni tlak

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 5^2}{4}$$

$$p = \frac{F}{A} = \frac{F \cdot 4}{\pi \cdot 5^2} = \frac{4000 \cdot 4}{\pi \cdot 25} = 204 \frac{N}{cm^2} = 20,4 \text{ bar} = 20,4 \times 10^5 Pa$$

3.4.2 Zajemalna naprava

Opis problema

Iz grelne peči se zajemamo in prelivamo tekoči aluminij v kanal stiskalnice za tlačni liv. Za zajemanje in prelivanje je uporabljena ustrezna zajemalka. Za premikanje zajemalke je uporabljen dvosmerni cilinder. Ta cilinder omogoča delovne gibanje v obeh smereh. Cilinder je krmiljen s 4/2-potnim ventilom. Ko ventil ni aktiviran, zajemalka ne sme biti spuščena v talino.

Obrazložitev

Za opisano premikanje zajemalke je potreben dvosmerni cilinder. Tak cilinder ima dva priključka za dovod tlačnega olja v zadnjo oziroma sprednjo prostornino cilindra. To omogoča spremembo gibanja batnice. Gibanje cilindra se krmili s 4/2-potnim ventilom.

Za dotekanje tlačne tekočine v cilinder oddaja črpalka prostorninski tok (oddajni tok črpalke). Za izračun teoretičnega oddajnega toka je treba poznati tlačno prostornino (V) pri enem vrtljaju črpalke in število vrtljajev (n) elektromotorja. Teoretični oddajni tok črpalke lahko izračunamo po sledeči enačbi:

$$Q = V \cdot n$$

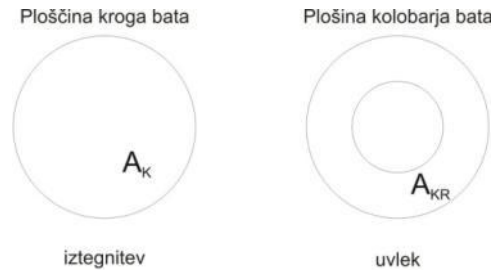
Kako hitro se batnica iztegne oziroma uvleče, je odvisno od prostornine cilindra in od oddajnega toka črpalke. V tem primeru računamo po enačbi:

$$Q = A \cdot v$$

Hitrost v lahko nadomestimo z enačbo $v = s/t$.

Pri ploščini A je seveda treba razlikovati med zadnjo in sprednjo stranjo bata. Pri iztegnitvi batnice je aktivna zadnja (krog), pri uvleku batnice pa sprednja (kolobar) ploščina bata.

Izračuni cilindra



$$F = p \cdot A_K > F = p \cdot A_{KR}$$

$$V = \frac{Q}{A_K} < V = \frac{Q}{A_{KR}}$$

Pri izvleku batnice se doseže večjo silo, pri uvleku pa večjo hitrost.

Če se zahteva določen položaj delovnih komponent, ko je stroj v mirovnem položaju, potem se uporabi ventile z vzmetjo (monostabilni ventili). Pri tej vaji lahko uporabimo vzdolžni drsniški ventil s povratno vzmetjo oziroma s centrirnimi vzmetmi ali z zaporo. Uporabili bomo 4/2-potni ventil s povratno vzmetjo (4/2-potni monostabilni ventil). Pri tem ventilu ostane cilindar zanesljivo v svojem položaju, ko vklopimo hidravlični agregat.

Pomemben je izračun oddajne količine črpalke in izračun hitrosti iztegnitve in uvleka batnice, ker:

- pretočna hitrost v ceveh (do cca. 5 m/s)
- maksimalna hitrost batnice (do cca. 12 m/min) ne sme biti presežena.

Izračunajmo še premer cilindra in hitrost uvleka batnice cilindra.

Tlačna prostornina črpalke na vrtljaj znaša $3,45 \text{ cm}^3$, število vrtljajev elektromotorja je 1450 min^{-1} . Potrebna sila znaša $F = 5000 \text{ N}$, maksimalni sistemski tlak 40 bar. Razmerje ploščin bata (ploščina kroga bata : ploščina kolobarja bata) je 1,5 : 1.

Premer cilindra izračunamo po enačbi:

$$F = p \cdot A$$

$$A = \frac{F}{p} = \frac{5000}{400} = 12,5 \text{ cm}^2$$

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

Iz tega

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 12,5}{\pi}} = 3,98 \text{ cm} \approx 4 \text{ cm} = 40 \text{ mm}$$

Izračun uvlečne hitrosti

izračun oddajnega toka črpalke Q

$$Q = V \cdot n = 3,45 \cdot 1450 = 5000 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} = 5 \frac{\text{dm}^3}{\text{min}}$$

izračun uvelčne hitrosti

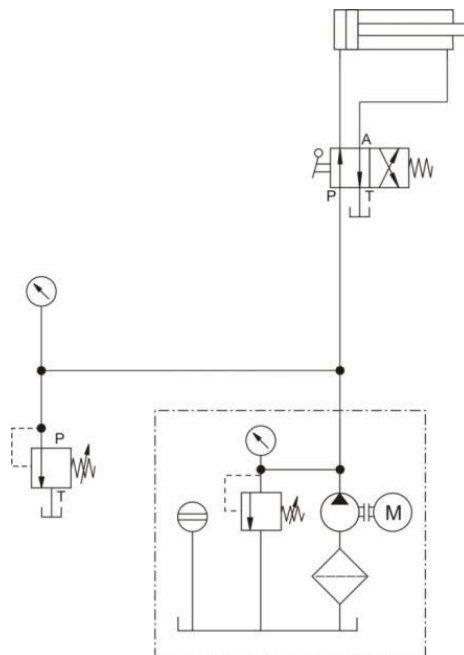
$$Q = A \cdot v$$

$$v = \frac{Q}{A_{KB}}$$

$$A_B = 12,5 \text{ cm}^2$$

Ker je $A_B = 12,5 \text{ cm}^2$, dobimo iz ploščinskega razmerja $1,5:1 = 12,5:1,5 = 8,33 \text{ cm}^2$,
 $A_{KB} = 0,0833 \text{ dm}^2$

$$v = \frac{Q}{A_{KB}} = \frac{5}{0,0833} = 60 \frac{\text{dm}}{\text{min}} = 6 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

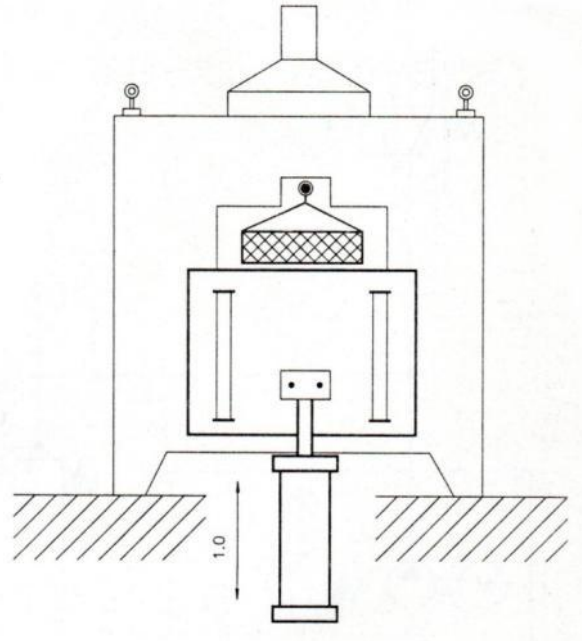


3.4.3 Sušilna peč

Opis problema

Skozi sušilno peč se kontinuirano transportira obešene predmete. Zaradi čim manjših toplotnih izgub naj bodo vrata peči vedno samo toliko odprta, kolikor je potrebno za neoviran prenos predmetov. Hidravlično krmiljenje se mora izdelati tako, da bodo ostala vrata v določenem položaju tudi daljši čas brez popuščanja.

Položajni plan



Obrazložitev

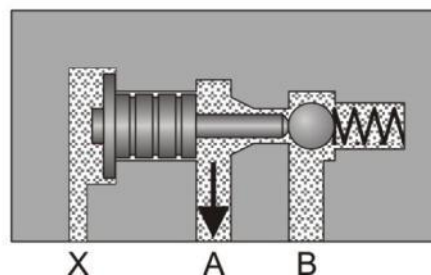
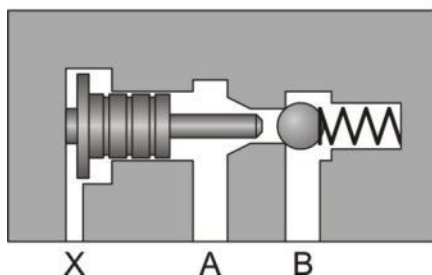
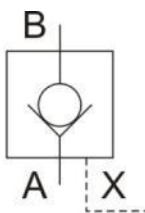
Za krmiljenje hidravličnega cilindra uporabimo pri obravnavanem krmilju 4/3-potni ventil: en položaj ventila je za dviganje, drugi za spuščanje in tretji za držanje vrat v določeni poziciji.

Pri hidravličnem krmilju sušilne peči je treba upoštevati, da morajo ostati vrata v določeni poziciji za daljši čas brez popuščanja. S krmiljenjem se mora zagotoviti hidravlično varovanje pred popuščanjem tako, da bodo težka vrata obstala v svoji poziciji kljub lekažnim izgubam potnega ventila.

Za zagotovitev omenjene funkcije lahko uporabimo sedežni potni ventil ali drsniški ventil z dodatnim odpirnim nepovratnim ventilom.

Nepovratni ventil v eni smeri pretok zapira, v drugi ga omogoča. Pri odpirnem nepovratnem ventilu je normalno tudi možen pretok samo v eni smeri - od A proti B.

Odpirni nepovratni ventil



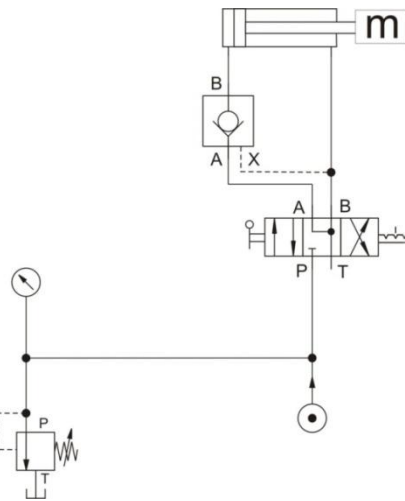
Ta ventil se lahko z vgrajenim batom (1) hidravlično odpre v zaporni smeri. Tesnilni element (2) se odrine s sedeža in se tako odpre pretok od B proti A. Da se lahko odpre ventil v zaporni smeri, mora biti sila na batu F_{BAT} - krmilni tlak na priključku X (p_x) pomnožen s ploščino bata A_{BAT} - večja kot je nasprotna sila - tlak na priključku B (p_B) pomnožen z aktivno ploščino tesnilnega elementa A_{TE} + sila vzmeti F_{VZMETI} :

$$F_{BAT} = p_x \cdot A_{BAT} > F_{VENTIL} = p_B \cdot A_{TE} + F_{VZMETI}$$

Rešitev problema

Pri izdelavi vezalnega plana je treba upoštevati zahteve iz opisa problema:

- Vrata morajo ostati v poljubnem položaju daljši čas brez popuščanja. Izberite 4/3-potni ventil z ustreznim srednjim položajem.
- Da se trajno prepreči popuščanje težkih vrat zaradi lekažnih izgub v potnem ventilu, predvidite v vezalnem planu hidravlično varovanje z odprtim nepovratnim ventilom. S kakšnim srednjim položajem mora biti 4/3-potni ventil?

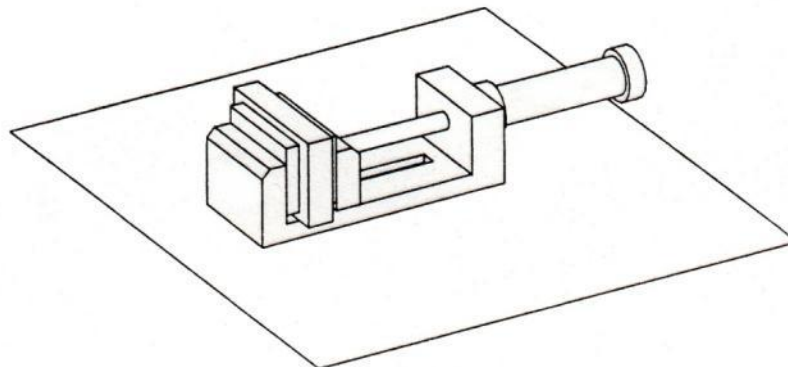


3.4.4 Hidravlični primež

Opis problema

Obdelovance se vpenja s hidravličnim cilindrom. Da se pri vpenjanju ne poškoduje obdelovanca, naj bo hitrost vpenjanja upočasnjena, izpenjanje pa naj bo z normalno hitrostjo.

Položajni plan



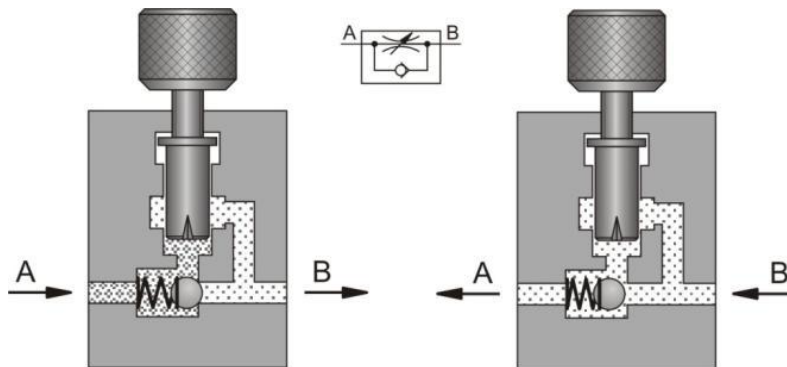
Obrazložitev

Hidravlično krmilje primeža se naj dopolni z dušilnim nepovratnim ventilom zaradi vplivanja na hitrost.

Dušilni nepovratni ventil je kombinacija dušilnega in nepovratnega ventila. Pri pretoku v smeri od A proti B je tok tlačne tekočine dušen z dušilnim ventilom. Dušilka deluje kot upor, zaradi katerega na vходу A naraste tlak. Ta tlak omogoča v sodelovanju z ventilom za omejitev tlaka razčlenitev toka. Zaradi razdelitve toka se zmanjša prostorninski tok k porabniku, kar ima za posledico zmanjšanje hitrosti.

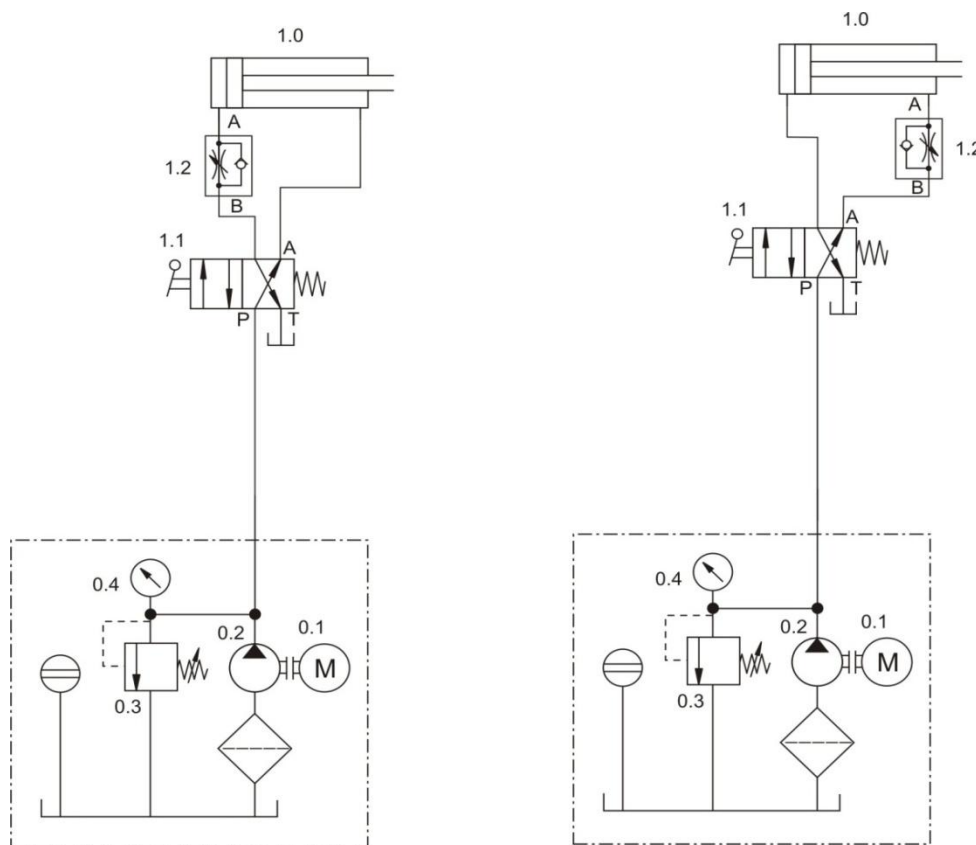
Pri nastavljivih dušilnih nepovratnih ventilih lahko prerez dušilke zmanjšamo ali povečamo.

Dušilni nepovratni ventil



Rešitev problema

Dušilne ventile lahko vgradimo v dotočne in odtočne vode cilindra.



3.5 OSNOVE ELEKTROHIDRAVLIČNIH KRMILJ

Elektro-hidravlična krmilja so sestavljena iz hidravličnih in električnih komponent. Vhodni signali in obdelava signalov se izvrši z električnimi ali elektronskimi komponentami, izvršilne komponente pa so hidravlične.

Prednosti elektro-hidravličnih krmilj

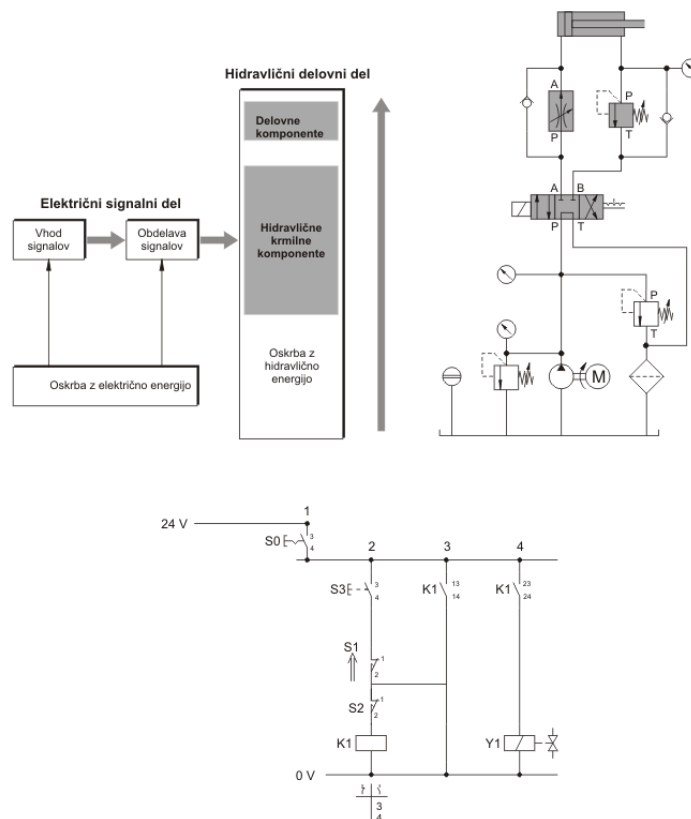
- Električni signali se lahko prenašajo hitro, enostavno in velike razdalje.
- Na večjih avtomatizacijskih sistemih se večinoma obdelava signalov izvede z električnimi in elektronskimi elementi, zato je smiselno, da to uporabimo tudi pri hidravličnih krmilnih sistemih.
- Sodobni stroji z hidravličnim pogonom imajo večino zahteven in zapleten sistem krmilja. V teh primerih je izvedbo obdelave signalov zna električni ali elektronskim sistemov cenejša in učinkovitejša.

Področja uporabe elektrohidravlike

V zadnjih 25 letih je bil razvoj na področju električne obdelave signalov zelo velik. Elementi so enostavni in poceni, zato elektrohidravliko srečamo na vseh področjih strojegradnje. Z elektrohidravliko so opremljeni sodobni stroji za obdelavo in preoblikovanje kovin, stroji za brizganje plastike. Veliko elektrohidravlike srečamo na strojih v gradbeništvu, ladjah in na letalih.

Sestava elektrohidravličnega krmilja

Na sliki 138 prikazan električni del krmilja, ki skrbi za vhodne signale in obdelavo signalov, ter hidravlični del, ki skrbi za oskrbo z energijo in izvršuje ukaze.



Slika 138: Sestava elektrohidravličnega krmilja
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

Vhodni signali se pretvorijo v električne signale, nato jih obdelamo v ustrezno krmilno obliko in preko vmesnika posredujemo na hidravlične ventile, ki krmilijo hidravlične izvršne elemente. Električna energija se tako najprej pretvori v hidravlično in nato v mehansko energijo

3.5.1 Dajalniki električnih vhodnih signalov - stikala

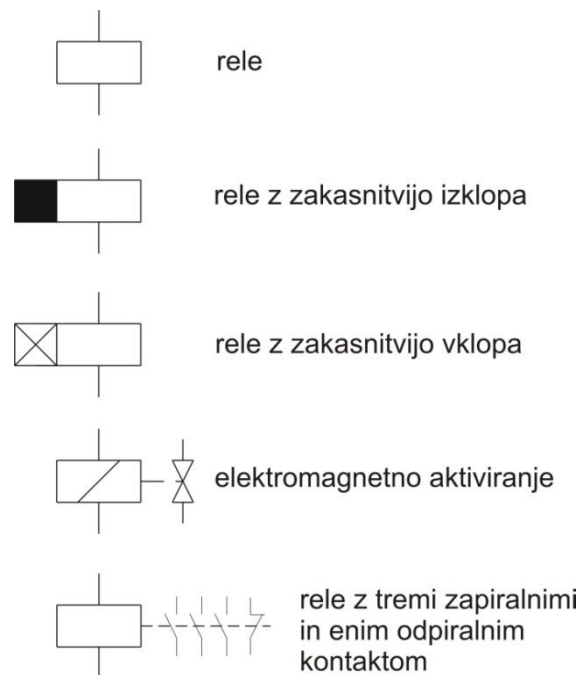
Dajalniki signali so glede na funkcijo delovanja odprti ali zaprti po standardu DIN 40 900 razvrščeni in prikazani s simboli, kot je vidno na sliki 139. Prikazane imamo najbolj pogoste načine aktiviranja, kot so tipka, ročica, poteg itd.



Slika 139: Dajalnik signalov - stikala
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

3.5.2 Elektromagnetni stikalni elementi

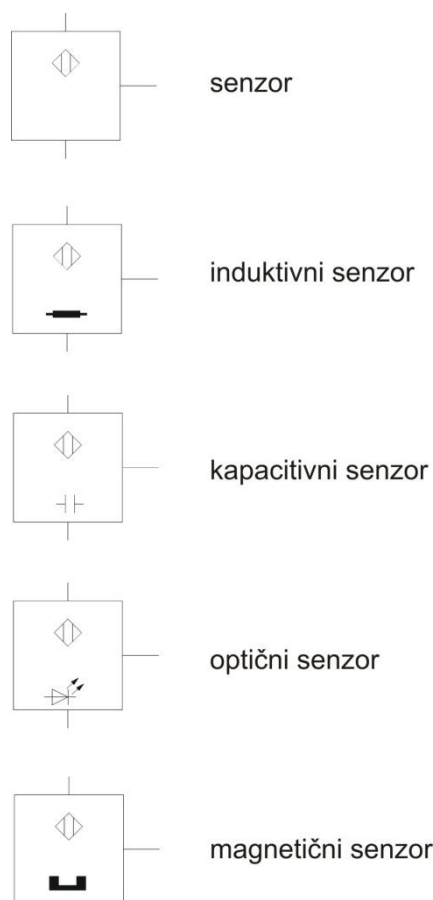
Elektromagnetne stikalne elemente uporabljamo za aktiviranje pogona električnih motorjev ali hidravličnih ventilov, ki krmilijo hidravlične motorje in cilindre. Na sliki 140 so prikazani simboli največkrat uporabnih elektromagnetnih stikalnih elementov.



Slika 140: Elektromagnetni stikalni elementi
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

3.5.3 Električni sensorji – dajalniki signalov

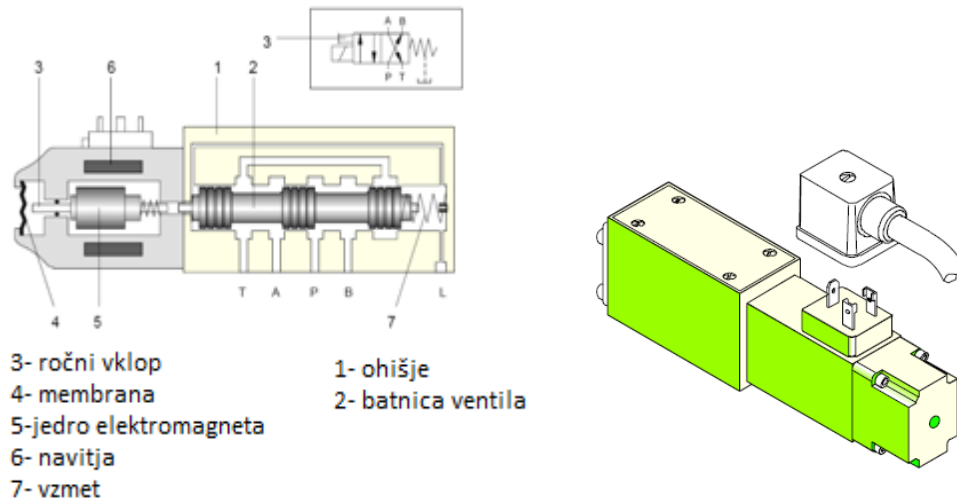
Senzorji reagirajo na različne prisotnosti objektov in nam dajo električne signala. Na sliki 141 je prikaza najbolj uporabnih električnih senzorjev v elektrohidravličnih krmiljih.



Slika 141: Električni sensorji
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

3.5.4 Elektromagnetni potni ventili

Elektromagnetni potni ventili so vez med električnem delom elektrohidravličnega krmilja in hidravličnim delom. Obdelani električni krmilni signali pridejo do elektromagnetnega potnega ventila, ki glede na signale odpira pretok hidravlične tekočine do izvršnih hidravličnih elementov. Na sliki 142 imamo prikazan elektromagnetni potni ventil. Osnova je tuljava, ki v primeru električne napetosti premakne vodnik – to pa izkoristimo za spremembo stanja ventila. Elektromagnetni potni ventili so izvedeni lahko kot monostabilni ali pa imajo več stabilnih stanj.



Slika 142: Elektromagnetni potni ventil
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

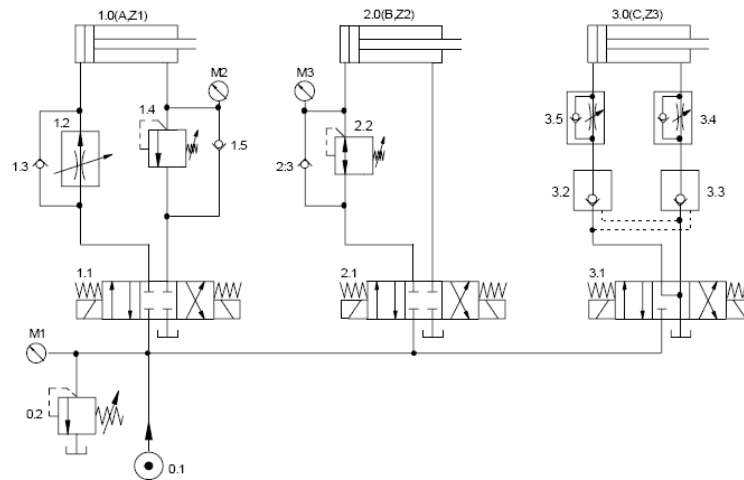
V elektro-hidravličnih shemah elektromagnetne ventile označimo z Y. Poleg črke je še zaporedna številka ventila.

3.6 PRIKAZ ELEKTROHIDRAVLIČNIH KRMILJ

S pomočjo simbolov prikažemo, kako je elektrohidravlično krmilje načrtovano. To poimenujemo shema elektrohidravličnega krmilja. V shemi ne prikazujemo točne lokacije posameznih komponent elektrohidravličnega krmilja, temveč kako so te komponente povezane med seboj. Komponente so v shemi urejene po energetskega tokovih. Točni položaj posameznih komponent običajno prikazuje posebna skica. Vse simbole, če je možno postavimo v vodoravni položaj, črte ki pa prikazujejo povezave, pa naj bodo ravne in se naj ne sekajo. Shemo za elektrohidravlična krmilja rišemo v stanju, da so hidravlične komponente vključene, električne pa izključene. To pomeni, da so vse električne komponente v osnovnem položaju, ventili niso aktivirani. Hidravlični izvršni elementi so priključeni na hidravlično energijo. Večinoma sheme ne prikazujejo osnovnega stanja, temveč prikazujejo krmilni sistem v najbolj prepoznavnem stanju.

V shemi vse komponente označimo s številkami. Številka je sestavljena iz prve številke, ki pove kateri skupini pripada komponente, nato je pika, za piko pa druga števila, ki poveza zaporedno oznako te komponente v skupini. Komponente skupine za zagotavljanje energije imajo prvo oznako 0. Prva številka v oznaki pove kateremu izvršnemu elementu pripada

komponenta. Druga številka pa je oznaka tipa elementa. Številka 0 na drugem mestu pove, da gre za izvršno komponento, število 1, da je to glavna krmilna komponente, številke naprej pa so oznake dodatnih krmilnih komponent. Na sliki 143 imamo prikazan hidravlično shemo in oznake posameznih komponent.



Slika 143: Shema elektrohidravličnega krmilja z oznakami komponent

Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

3.6.1 Shema električnega dela krmilja

Električna stikala, ki nam dajejo in obdelujejo električne krmilne signale prikažemo v električnem tokokrogu. Če ima stikalo v osnovnem položaju zaprt kontakt jih označimo s števili 1 in 2, če pa gre za kontakt, ki se vklopi po delovanju signala pa s števili 3 in 4 (Slika 144). Za menjalni kontakt uporabimo števila 1,2 in 4. Oznake definira standard DIN EN 50 005 in DIN EN 50 011-13.

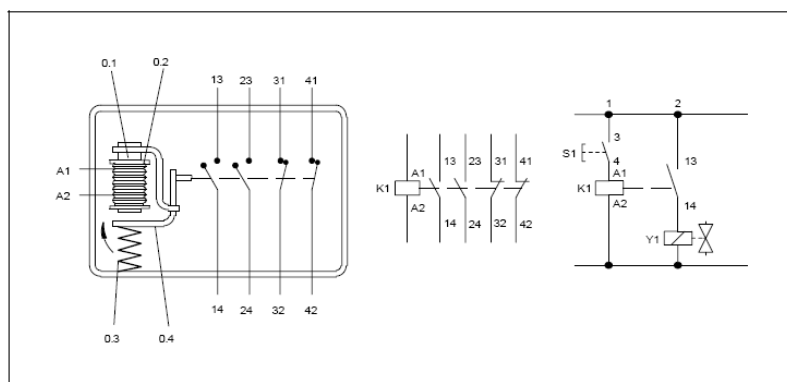


Slika 144: Shema elektrohidravličnega krmilja z oznakami komponent

Vir: Lasten

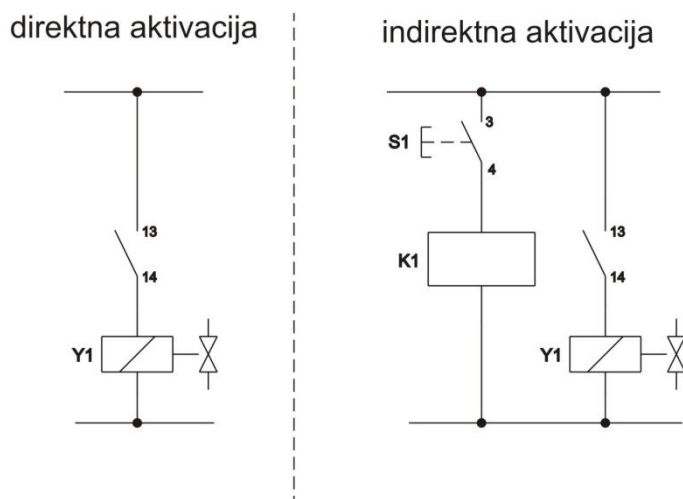
Če imamo več kontaktov imamo dvoštevilčno oznako. Prva številka pove zaporedno številko kontakta, druga pa tip kontakta.

Kontakte lahko direktno aktiviramo ali pa za preklon uporabimo elektromagnetno stikalo – rele. Na releju imamo običajno večje število kontaktov. Na sliki 145 imamo prikazan rele z štirimi kontakti. Rele v električnih shemah označimo z črko K. Število za črko K pomeni zaporedna številka releja.



Slika 145: Elektromagnetno stikalo - rele
Vir: Merkle, Schrader in Thomes, 1994

Električni del krmilja je lahko izveden na način, da s stikalom direktno aktiviramo elektromagnetni ventil, ki električni signal uporabi za krmiljenje hidravličnega dela krmilja. Lahko pa izvedemo električni del krmilja z posrednim načinom delovanja. V tem primeru z stikalom aktiviramo rele, z enim kontaktom od releja pa nato preklopimo elektromagnetni ventil. Oba primera sta prikazana na sliki 146.



Slika 146: Direktni in posredni način aktiviranja elektromagnetnega ventila
Vir: Lasten

Povzetek

V elektrohidravliki krmilne signale pridobivamo in obdelujemo s pomočjo električnih kontaktov. Glede na zahtevane informacije o krmiljenju, nam stikala in ostali dajalniki signalov premikajo kontakte, kar nam daje krmilne signale. Te krmilne signale lahko obdelamo ali ojačimo z releji in s tem pridobimo glavne krmilne signale za krmiljenje hidravličnega dela elektro hidravličnega krmilnega sistema. Povezovalni del med električnim in hidravličnim krmiljem je elektromagnetni potni ventil, ki sprejema električne krmilne signale in krmili poti hidravličnega medija. Hidravlične komponente poskrbijo za ustrezno regulacijo in krmiljenje delovnih komponent, ki opravljajo zahtevane naloge. V elektrohidravlikah na shemah posebej prikažemo električni del krmilja, ki skrbi za dajalnike in obdelavo krmilnih signalov in hidravlični del krmilja, ki potem izvrši zahtevane naloge.

Vprašanja in naloge

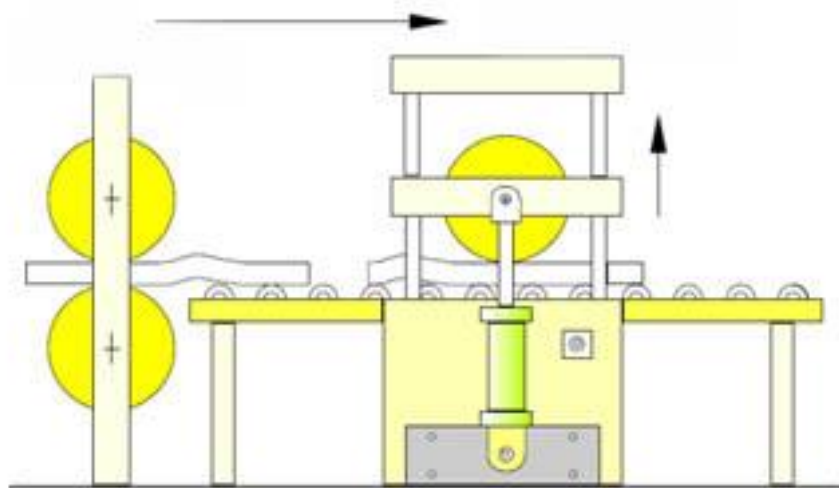
1. Kdaj bi se odločili, da za avtomatizacijo procesa uporabite elektrohidravlični sistem krmiljenja?
2. Prikažite osnovne tri tipe kontaktov za pridobivanje električnih signalov in jih označite. Za vsak tip kontakta navedite primer uporabe.
3. Prikažite osnovne štiri tipe senzorjev kot dajalnike signalov in navedite, kdaj bi lahko kateri tip senzorja uporabili.
4. Prikažite osnovni princip delovanja releja in navedite, zakaj je rele uporaben v električnem delu krmilja. Prikažite primer neposrednega in posrednega krmiljenja elektromagnetnega ventila z ročno tipko.
5. Zakaj moramo vedno senzorje in dajalnike signalov priključevati s pomočjo relejev? Prikažite primer priključitve kapacitivnega senzorja, ki aktivira elektromagnetni ventil.

3.7 PRAKTIČNI PRIMERI ELEKTROHIDRAVLIČNIH KRMILJ

Reševanje krmilnih nalog s pomočjo elektrohidravličnih krmilj bomo spoznali s pomočjo praktičnih primerov. Več takih primerov boste spoznali pri vajah. Na koncu boste osvojili toliko znanja, da boste sami samostojno rešili enostavne praktične primere, znali zgraditi elektrohidravlično krmilje ter znali preizkusiti njegovo delovanje.

3.7.1 Ravnalna proga

Pločevino ravnamo z valjem, ki ga premika enosmerno delujoč hidravlični cilinder (slika 147). Če pritisnemo na tipko pride do premika hidravličnega cilindra, po prenehanju signala, ki ga je povzročila tipka pa se mora hidravlični cilinder vrniti v osnovni položaj. Ker je z direktnim električnim signalom težko prekrmiliti elektromagnetni ventil, izvedemo primer z posrednim krmiljem. To pomeni da s tipko aktiviramo rele, s kontaktom od releja pa potem aktiviramo elektromagnetni ventil. Po prenehanju delovanja tipke se mora cilinder vrniti v izhodiščni položaj. V izhodiščni položaj se vrne zaradi obtežbe delovnega valja – zunanja sila ga vrne v izhodišče. V hidravlični del krmilja namestimo ventil, ki bo omogočil regulacijo vračanje cilindra v izhodiščni položaj.



Slika 147: Ravnalna proga
Vir: Lasten

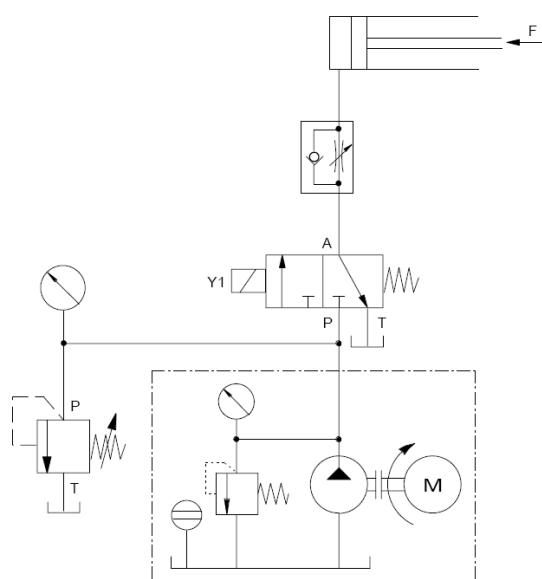
Hidravlične komponente

Za izvedbo krmilja je dovolj enosmerno delujoč hidravlični cilinder. Potrebujemo tudi potni ventil z elektromagnetnim načinom aktiviranja. Za regulacijo vračanja potrebujemo dušilno nepovratni ventil. Za oskrbo s hidravlično energijo potrebujemo hidravlični agregat, hidravlični del krmilja pa varujemo z regulatorjem tlaka.

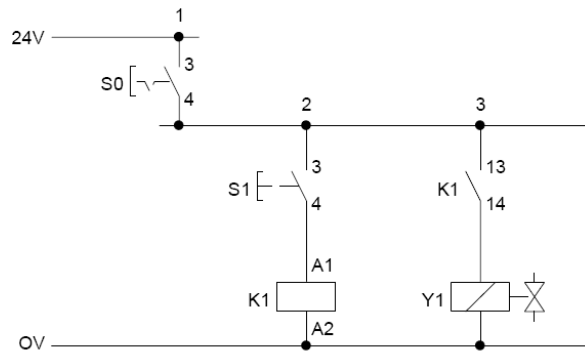
Električne komponente

Potrebujemo električno stikalo – tipko za posredovanje ukaza za začetek delovanja. Z tem signalom aktiviramo rele, z kontaktom od releja pa elektromagnetni hidravlični ventil.

Hidravlični del krmilja



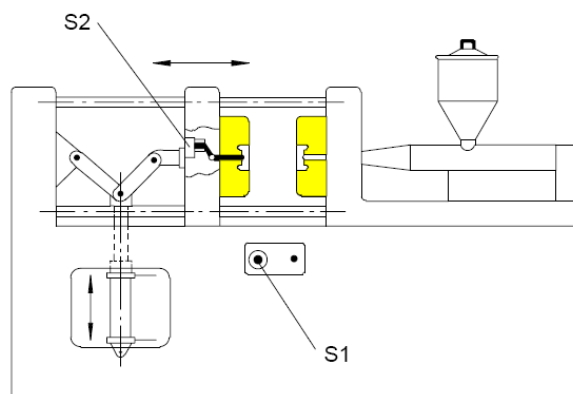
Električni del krmilja



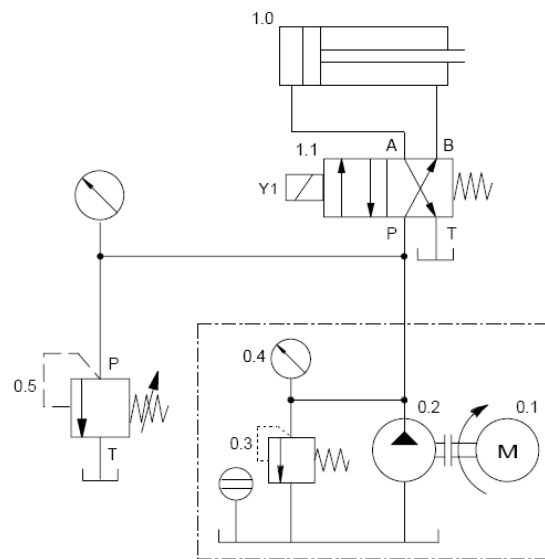
Stikalo S0 je glavno vklopno stikalo. Če pritisnemo na tipko S1, se preklopi rele K1. Prvi zapiralni kontakt od releja K1 preklopi elektromagnetni ventil Y1, ki odpre tok hidravličnega olja v enosmerno delujoč hidravlični cilinder. Po prenehanju signala na tipki S1, se rele izključi, posredno s tem se tudi elektromagnetni ventil Y1 vrne v izhodiščni položaj. Zunanja sila vrne hidravlični cilinder v izhodišče – hidravlično olje regulirano odteče iz cilindra preko dušilno nepovratnega ventila. Dušilno nepovratni ventil je v tem primeru dobro namestiti čim bližje hidravličnemu cilindru.

3.7.2 Stiskalnica za brizganje plastike

Stiskalnico za brizganje plastike zapiramo s pomočjo dvosmerno delujočega hidravličnega cilindra. Orodje se lahko zapre z ukazom tipke S1, ki jo aktiviramo kot start in če ni v orodju prisoten izdelek. Če slučajno v orodju ostane izdelek se aktivira stikalo S2. V tem primeru more stikalo preprečiti zapiranje orodja, kajti ob primeru prisotnosti izdelka v orodju, bi lahko pri zapiranju prišlo do loma izdelka.

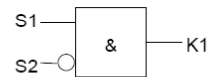


Hidravlični del krmilja

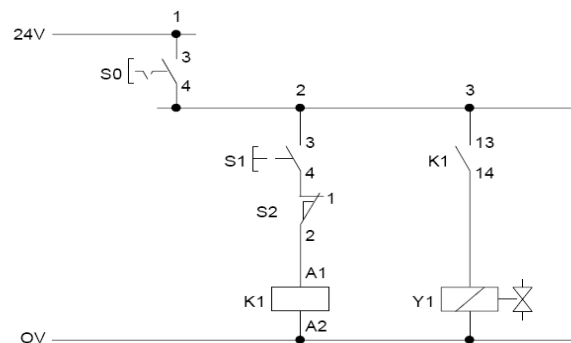


Resničnostna tabela in logični diagram

S1	S2	K1
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



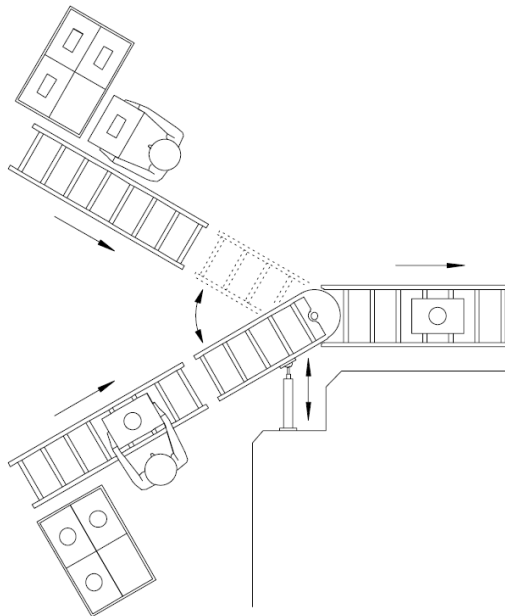
Električni del krmilja



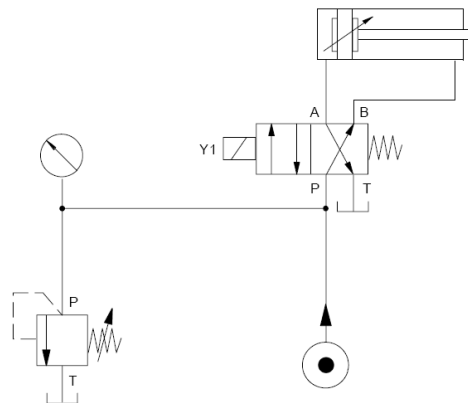
Negacijo signala S2 izvedemo z uporabo zaprtega kontakta, povezavo IN signala S1 in S2 pa z zaporedno vezavo.

3.7.3 Avtomatizacija tekočega traku – kretnica

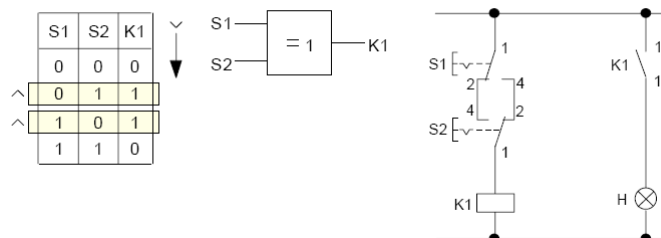
Dve montažni liniji povezuje kretnica, ki jo premika dvosmerno delujoč hidravlični cilinder. Na obeh montažnih linijah sta delavca, ki lahko z tipko na svojem delovnem mestu ukažeta premik kretnice. Če ukaže premik kretnice delavec na prvi montažni liniji, premika ne more ukazati delavec na drugi montažni liniji. V tem primeru imamo logično funkcijo ekskluzivni ALI.



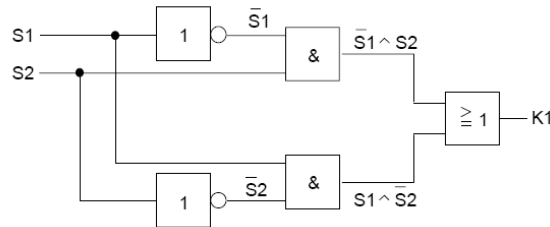
Hidravlični del krmilja



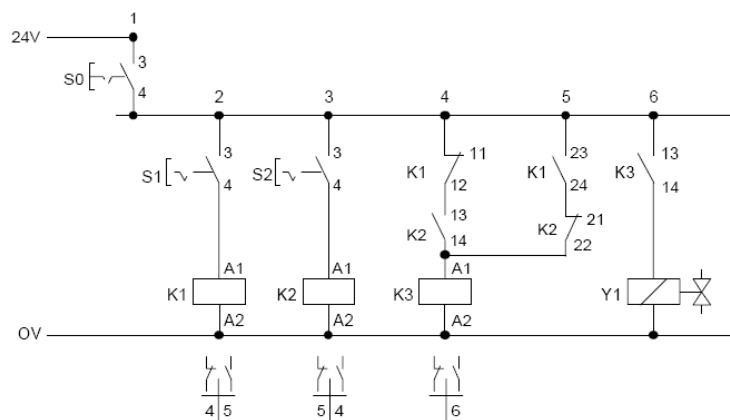
Eksluzivni ALI funkcija



Pri ekskluzivni ALI funkciji imamo sestavljene logične funkcije. Na začetku z negacijo izničimo vhodne signale, potem z IN povezavo povežemo vhodni signal (eden DA in drugi NE), nato pa še omogočimo z ALI povezavo, da lahko krmilimo z dveh mest. Logični diagram ekskluzivni ALI



Električni del krmilja



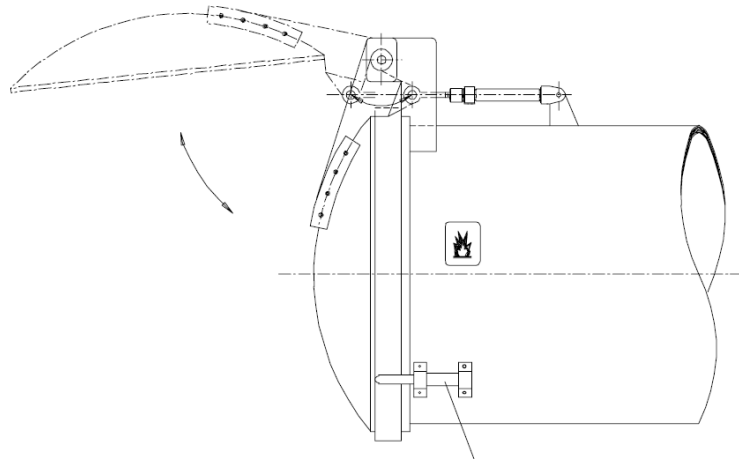
Vidimo, da relativno zahteven način krmiljenja izvedeno s pomočjo električne obdelave signalov enostavno s pomočjo dveh stikal in treh relejev. To je ena izmed bistvenih prednosti uporabe elektrohidravličnih krmilj.

Povzetek

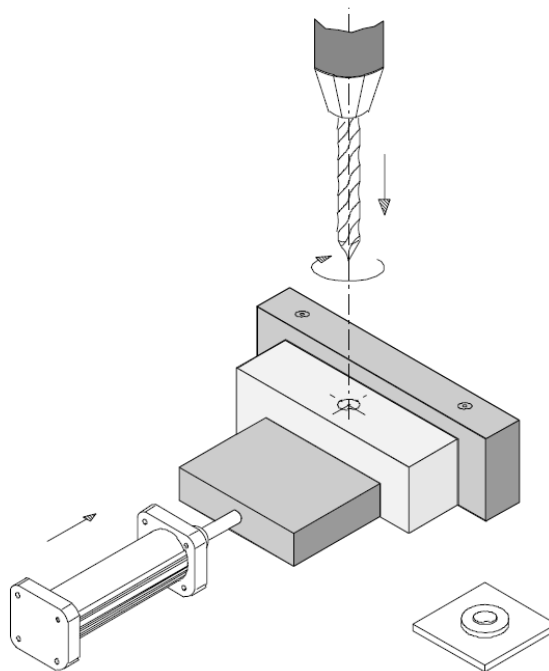
Elektrohidravlična krmilja rešujemo tako, da najprej v električnem delu krmilja poskrbimo za pridobitev in obdelavo vseh krmilnih signalov. Te obdelane signale potem okrepimo na relejih in z njihovimi kontakti pridobimo krmilne signale, ki jih vodimo do elektromagnetnih ventilov. Ti nam potem krmilijo smeri pretokov hidravličnega medija. Ker so hidravlične delovne komponente bistveno zahtevnejše za krmiljenje kot pnevmatične, moramo v hidravličnem delu krmilja poskrbeti za vse varnostne in regulacijske zahteve krmiljenja. Če želimo ustrezno načrtovati in izvajati elektrohidravlična krmilja moramo dobro poznati električni del pridobivanja in obdelave signalov in zelo dobro tudi sistema krmiljenja v hidravliki.

Vprašanja in naloge

1. Tunelsko peč za kaljenje obdelovalcev zapiramo z vrati, ki jih premika dvostransko delujoči hidravlični cilinder. Zapiranje in odpiranje vrat peči lahko ukažemo z pritiskom na tipko S1 ali pritiskom na nožni pedal S2.



2. V procesu obdelave vpenjamo obdelovance s pomočjo hidravličnega cilindra. Vpenjanje more biti zanesljivo, saj obdelovance vrtamo. Če bi prišlo do nenadnega izpetja, bi lahko prišlo do nevarnosti in poškodb. Zaradi tega izvedemo krmiljenje hidravličnega sistema vpetja tako, da imamo tipko S1, s katero damo signal za vpetje in tipko S2 s katero damo signal za izpetje. Krmilje nam mora omogočati varnostni pogoj, da tudi v primeru izpada električne napetosti ne pride do izpetja in da lahko izpetje ukažemo samo s tipko S2 za izpetje, vpetje pa samo s tipko za vpetje S1, ki je v tem varnostnem sistemu krmiljenja glavni krmilni signal.

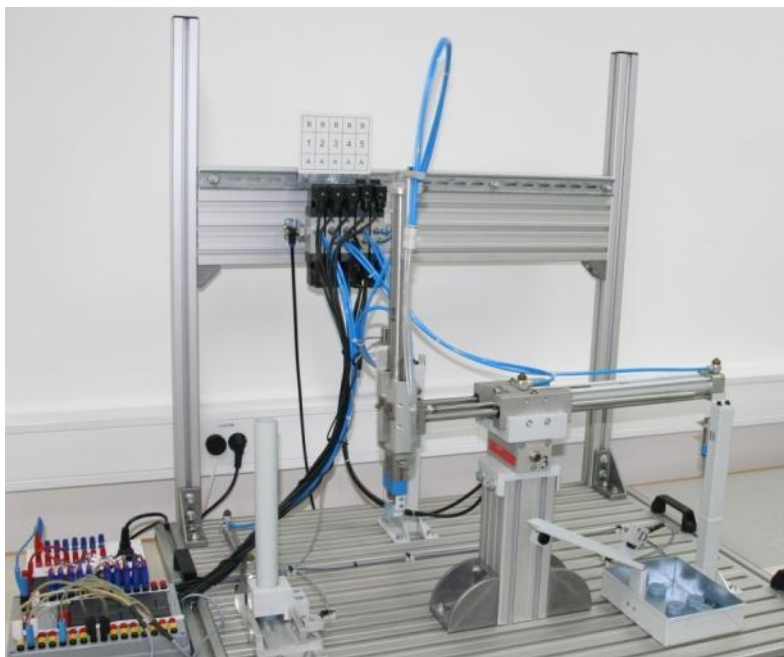


4 PROGRAMIRLJIVA LOGIČNA KRMILJA - PLK

Cilji poglavja so, da študenti spoznajo PLK, kako so zgrajeni, kako delujejo, kako jih priključujemo, njihove vhodne in izhodne enote, in na kakšne načine jih programirajo. Za enostavne praktične primere avtomatizacije bodo znali izbrati ustrezni PLK, priključiti signalne vhodne enote izhodne enote, pripraviti program za krmiljenje, ga vnesti v sistem in preizkusiti delovanje takega avtomatiziranega sistema.

Naloga

Spoznali bomo krmilnik Siemens S7-200 in se naučili programirati z programom STEP 7. Izdelali bomo program za manipulator (slika 148), ki podaja kose iz zalogovnika na drčo.



Slika 148: Manipulator v delu

Vir: Lasten

4.1 KAJ SO RAČUNALNIŠKA KRMILJA

Programabilni logični krmilnik (PLK) ali programabilni krmilnik je digitalni računalnik za avtomatizacijo elektromehanskih procesov. PLK se uporabljajo v številnih industrijah in za domačo raba. Za razliko od računalnikov je PLC zasnovan za več vhodov in izhod. Izdelani so, da delujejo pri različnih temperaturnih območjih ter odpornost na vibracije in vpliv okolja.

4.1.1 Zgodovina PLK-jev

Programabilne logične krmilnike so izumili za potrebe avtomobilske industrije. Proces ožičenja so poenostavili z krmilniki, s tem se je dodobra spremenila izdelava avtomobilov. Ni bilo potrebno povezovati več različnih modelov z relejsko tehniko, kar je poenostavilo proizvodnjo. Avtomobilska industrija je še vedno eden največjih uporabnikov PLK.

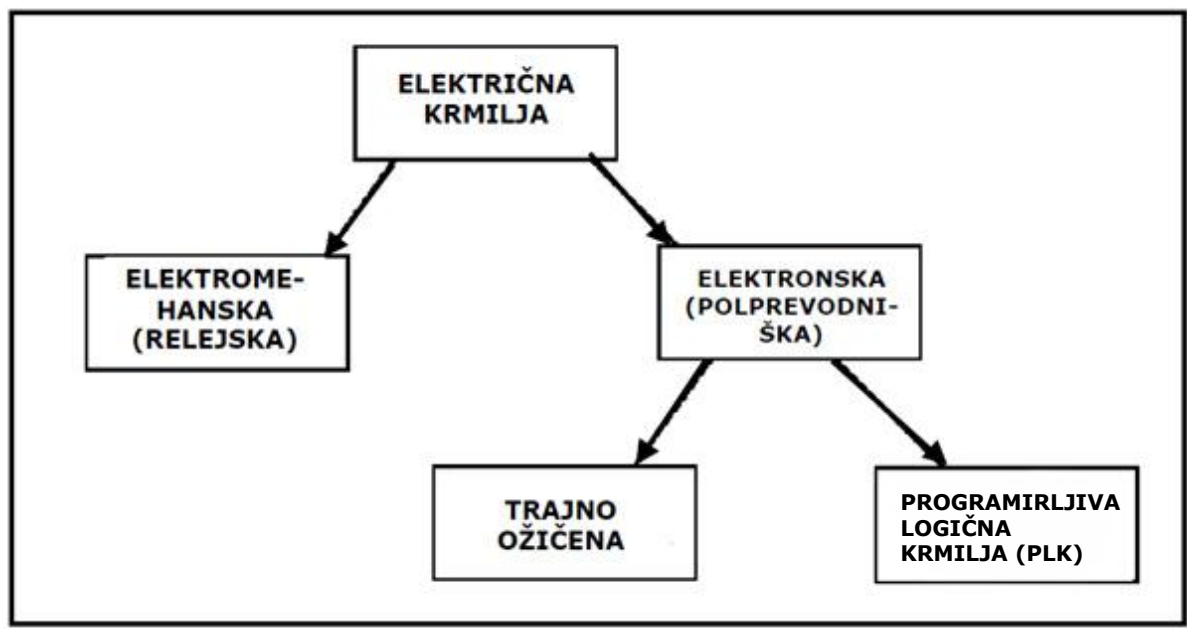
4.2 OSNOVE DIGITALNE TEHNIKE

Pri digitalni tehniki obravnavamo vrste signalov in njihovo obdelavo. Signal je funkcija, ki prenaša informacije o stanju in obnašanju fizičnih sistemov. Matematično tako funkcijo predstavimo kot zvezo neodvisnih spremenljivk, stvarno pa signali pomenijo niz časovnih sprememb neke veličine ali pa sprememb stanj (položaja) v prostoru. Pri krmilnik signale opazujemo in spremljamo v realnem času.

4.2.1 Vrste električnih krmilj

Poznamo dve vrste električnih krmilj (slika 149):

- kontaktna ali relejna krmilja
- brezkontaktna ali polprevodniška krmilja, ki pa jih delimo na ožičena in programirana (PLK)



Slika 149: Vrste električnih krmilj

Vir: Lasten

4.2.2 Oblike signalov v krmilni tehniki

V krmilni tehniki poznamo tri vrste signalov (slika 150):

- Analogni signali

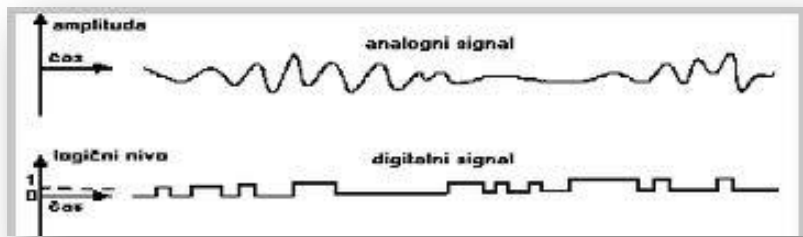
Analogni signali lahko zavzemajo različne vrednosti napetosti. Vrednost analognega signala je lahko katerakoli vmesna napetost v nekem napetostnem območju in je zvezno spremenljiva.

- Digitalni signali

Digitalni signali skokovito spreminjajo svojo vrednost napetosti. Digitalni signal se razlikuje od binarnega, da ima več napetostnih stanj in je stopničasto spremenljiv.

- Binarni signali

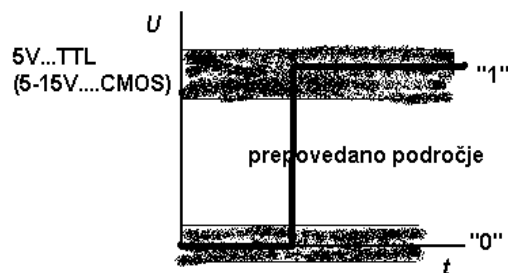
Binarni signali so lahko samo v dveh napetostnih stanjih. Binarni signal je lahko sestavljen iz dveh definiranih napetostnih nivojev. Podatek imenujemo logična »1« ali »0« (podatek enega bita).



Slika 150: Analogni in digitalni signali
Vir: Lasten

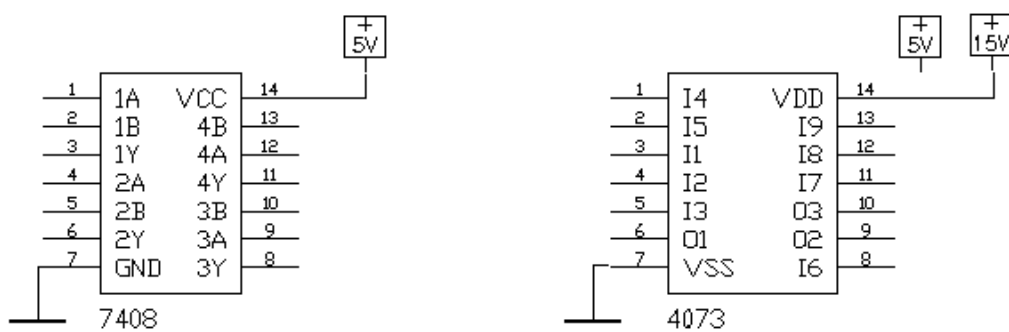
4.2.3 Integrirana logična vezja

Signal v digitalni logiki (slika 151):



Slika 151: Signal v digitalni logiki
Vir: Lasten

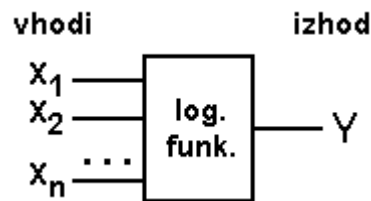
Primer integriranega logičnega vezja prikazuje slika 152:



Slika 152: TTL in CMOS integrirano vezje
Vir: Lasten

4.2.4 Logične funkcije

Logična vrata (slika 153) so digitalno elektronsko vezje, ki opravljajo določeno logično funkcijo. Logičnim stanjem na vhodu priredijo logično stanje na izhodu. Zvezo, ki povezuje vhodna in izhodna stanja imenujemo logična funkcija.



Slika 153: Logična vrata
Vir: Lasten

Osnovne logične funkcije vrat so naslednje:

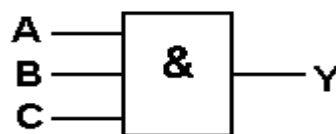
- **negacija** (NE, angl. NOT)
- **konjunkcija** (IN, angl. AND) in
- **disjunkcija** (ALI, angl. OR).

Pogosto pa se uporabljajo še nekatere druge vrste vrat:

- izključujoči ALI (XOR)
- NE-IN (NAND)
- NE-ALI (NOR).

Besedni opis predstavimo bolj skraćeno z logično funkcijo in logičnim vezjem.

- Logično funkcijo za opisano zvezo zapišemo takole: $Y = A \text{ IN } B \text{ IN } C$
- Grafično pa jo prikažemo z ustreznim simbolom za vrata IN:



Vse logične funkcije in rezultati logične operacije so opisani v spodnji tabeli 23.

4.2.5 Tabela z opisom logičnih funkcij

Za vsaka logična vrata sta narisana evropski (IEC) in ameriški simbol. Sledi opis in pravilnostna tabela, ki za vsako stanje na vhodu prikazuje rezultat na izhodu vrat.

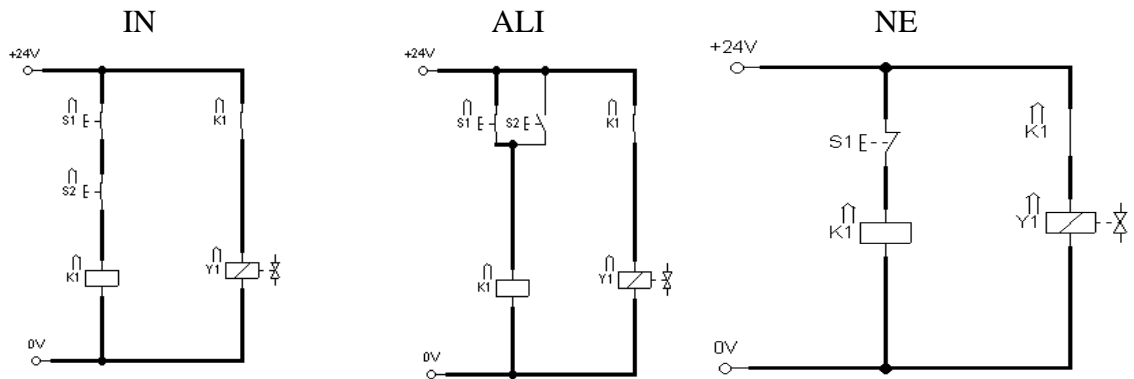
Tabela 23: Logične funkcije

IME VRAT	IEC SIMBOL VRAT	AMERIŠKI SIMBOL	OPIS	PRAVILNOSTNA TABELA																			
				VHOD		IZHOD																	
IN, AND			$Y = A \text{ AND } B$ Izhod je 1, če sta oba vhoda 1.	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">VHOD</th> <th>IZHOD</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>A AND B</th> </tr> </thead> <tbody> <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> </tbody> </table>		VHOD		IZHOD	A	B	A AND B	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
VHOD		IZHOD																					
A	B	A AND B																					
0	0	0																					
0	1	0																					
1	0	0																					
1	1	1																					
ALI, OR			$Y = A \text{ OR } B$ Izhod je 1, če je vsaj eden od vhodov 1.	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">VHOD</th> <th>IZHOD</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>A OR B</th> </tr> </thead> <tbody> <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> </tbody> </table>		VHOD		IZHOD	A	B	A OR B	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
VHOD		IZHOD																					
A	B	A OR B																					
0	0	0																					
0	1	1																					
1	0	1																					
1	1	1																					
NE, NOT, negator			$Y = \text{NOT } A$ (ali: $Y = \bar{A}$) Izhod je 1, če je vhod = 0 in obratno. Izhod je negirana vrednost vhoda.	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">VHOD</th> <th>IZHOD</th> </tr> <tr> <th colspan="2">A</th> <th>NOT A</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>		VHOD		IZHOD	A		NOT A	0		1	1		0						
VHOD		IZHOD																					
A		NOT A																					
0		1																					
1		0																					
izključujoči ALI, XOR			$Y = A \text{ XOR } B$ Izhod je 1, če je natanko eden izmed vhodov =1.	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">VHOD</th> <th>IZHOD</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>A XOR B</th> </tr> </thead> <tbody> <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> </tbody> </table>		VHOD		IZHOD	A	B	A XOR B	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
VHOD		IZHOD																					
A	B	A XOR B																					
0	0	0																					
0	1	1																					
1	0	1																					
1	1	0																					
NE-IN, NAND			$Y = \text{NOT } (A \text{ AND } B)$ Izhod je 0 (!) , če sta oba vhoda 1. (Ali: Izhod je 1, če je vsaj eden od vhodov 0.)	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">VHOD</th> <th>IZHOD</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>A NAND B</th> </tr> </thead> <tbody> <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> </tbody> </table>		VHOD		IZHOD	A	B	A NAND B	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
VHOD		IZHOD																					
A	B	A NAND B																					
0	0	1																					
0	1	1																					
1	0	1																					
1	1	0																					
NE-ALI, NOR			$Y = \text{NOT } (A \text{ OR } B)$ Izhod je 0 (!) , če je vsaj eden od vhodov 1. (Ali: Izhod je 1, če so vsi vhodi 0.)	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">VHOD</th> <th>IZHOD</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>A NOR B</th> </tr> </thead> <tbody> <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> </tbody> </table>		VHOD		IZHOD	A	B	A NOR B	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0
VHOD		IZHOD																					
A	B	A NOR B																					
0	0	1																					
0	1	0																					
1	0	0																					
1	1	0																					

Vir: Lasten

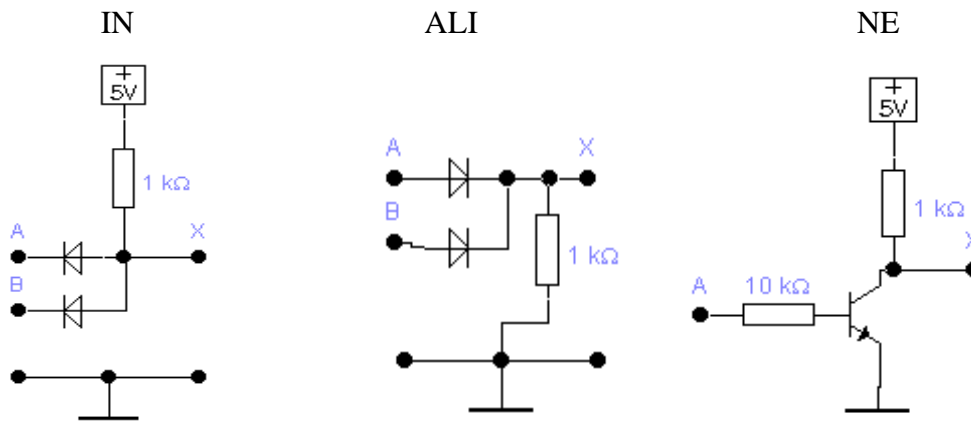
Iz samih negiranih IN vrat (NE-IN oz. NAND) lahko sestavimo vse ostale logične funkcije. Prav tako velja tudi za negirana vrata ALI (NOR). Logična vrata so po zgradbi preprosta vezja iz nekaj tranzistorjev.

4.2.6 Izvedba osnovnih logičnih funkcij z stikali in releji



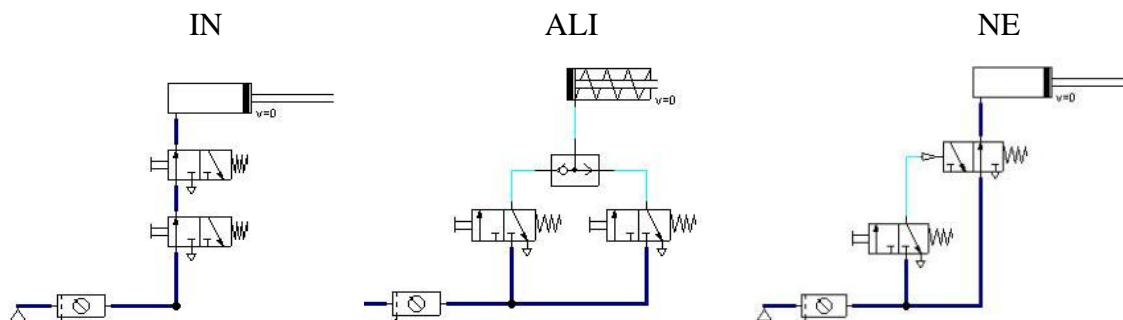
Slika 154: Izvedba logičnih funkcij z stikali in releji
Vir: Lasten

4.2.7 Izvedba osnovnih logičnih funkcij s polprevodniki



Slika 155: Izvedba logičnih funkcij s polprevodniki
Vir: Lasten

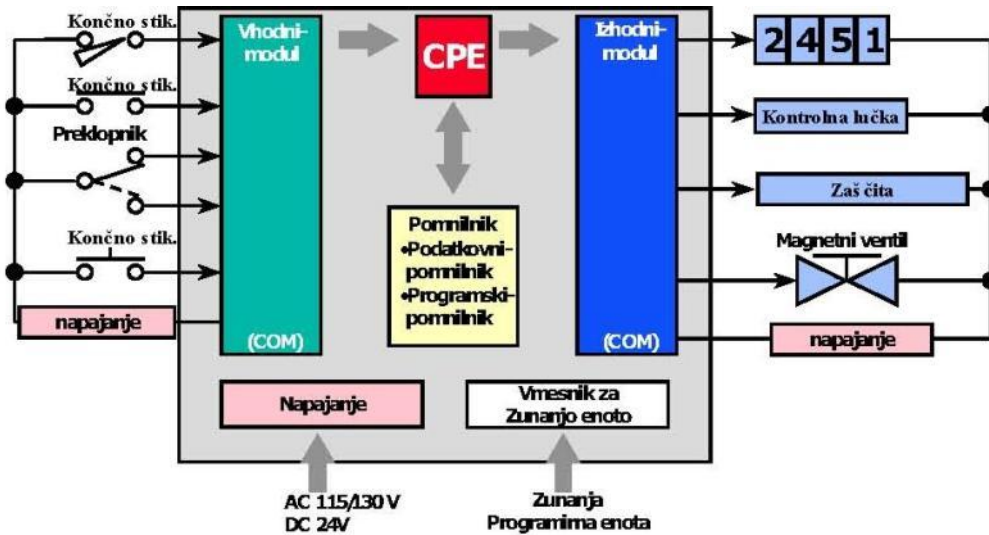
4.2.8 Izvedba osnovnih logičnih funkcij s pnevmatiko



Slika 156: Izvedba logičnih funkcij s pnevmatiko
Vir: Lasten

4.3 ZGRADBA IN DELOVANJE PLK

PLK je digitalno delujoča elektronska naprava, ki na podlagi ukazov, shranjenih v programirljivem pomnilniku, izvaja logične, sekvenčne, časovne in aritmetične operacije ter s tem vodi različne naprave in procese preko digitalnih in analognih vhodov in izhodov. Zgrajeni (slika 157) so iz centralne procesne enote, vhodne enote, izhodne enote in napajalnega dela.

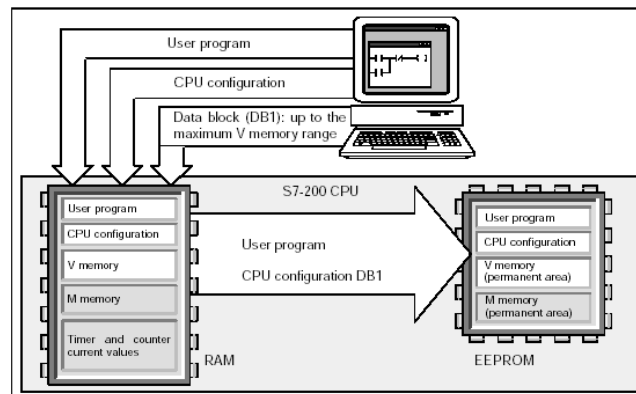


Slika 157: Zgradba krmilnika
Vir: Kamin, 2010

4.3.1 Centralna procesorska enota (CPU)

V centralno procesni enoti (slika 158) se nahajajo:

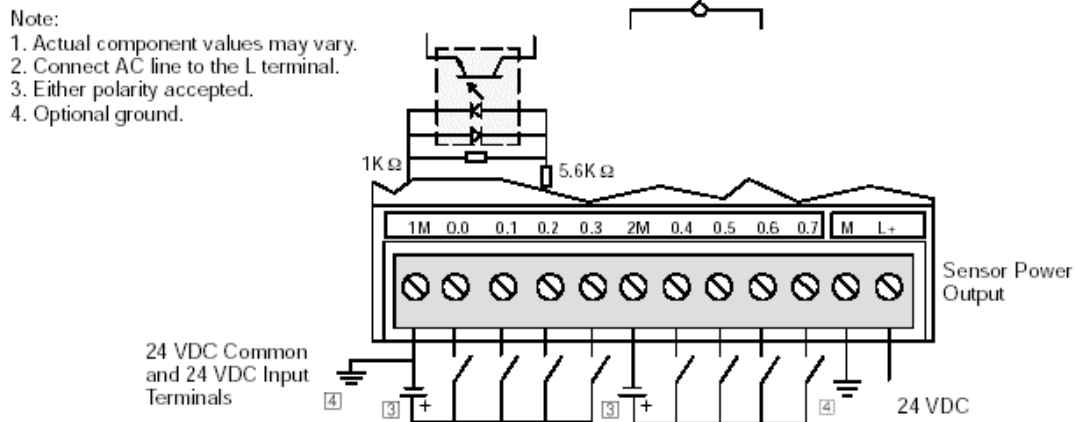
- mikroprocesor, ki izvaja ukaze in nadzira delovanje;
- pomožni pomnilniki, akumulatorji, enobitni vmesni pomnilniki;
- časovniki (timer – T), števci (counter – C), računske enote, enote za primerjalne funkcije, funkcije za pomik podatkovnih blokov, pomnilne funkcije, enote za nadzor, komunikacijske enote, regulacijske enote.



Slika 158: Skica delovanja CPU
Vir: <http://automation.siemens.com/mcms/> (11. 3. 2011)

4.3.2 Vhodni modul

Vhodni modul (slika 159) spreminja signale iz procesa v interne binarne signale, ki jih PPK obdeluje. Signale iz procesa posredujejo različni senzorji in dajalniki, kot so tipkala, končna stikala, kontakti in releji. Napetosti, ki pridejo iz teh dajalnikov, so lahko različne.



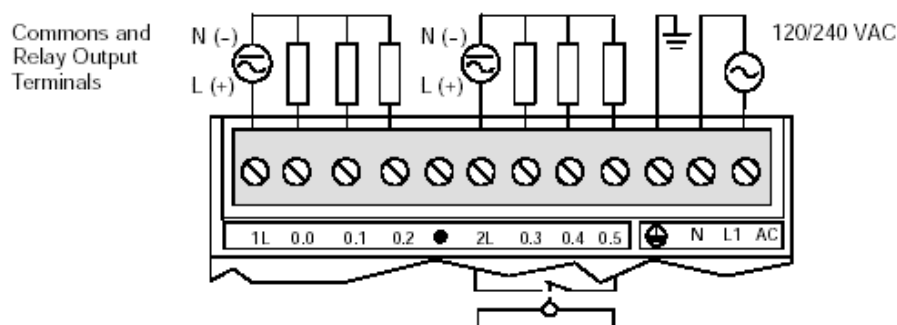
Slika 159: Povezava vhodov na PLK

Vir: <http://automation.siemens.com/mcms/> (11. 3. 2011)

4.3.3 Izhodni modul

Digitalni izhodi so namenjeni za prenos in oblikovanje signala, ki ga posreduje centralna enota krmilnika. Signali iz centralno procesne enote so navadno TTL-nivoja (5 V napajanje). Energijsko višji nivoji signalov dosežemo s tranzistorskim ojačevalnikom, pomožnimi releji ali s triaki. Tokovne obremenitve so v območju od nekaj mA do nekaj A.

Analogni izhodi so namenjeni za posredovanje analognih signalov v proces. To dosežemo z D/A-pretvorniki. Primer izhodnega modula prikazuje slika 160.



Slika 160: Povezava izhodov na PLK

Vir: <http://automation.siemens.com/mcms/> (11. 3. 2011)

4.4 RAZLIČNE IZVEDBE KRMILNIKOV

V praksi srečujemo različne izvedbe logičnih krmilnikov. Omejili se bomo na primere krmilnikov Siemens.

4.4.1 Kompaktni krmilniki (Compact PLC)

O kompaktnih krmilnikih govorimo kadar je vse v enem ohišju: napajalnik, procesorska enota, vhodne in izhodne enote (slika 161). Ti krmilniki so uporabni pri majhnih sistemih, saj jih odlikuje nizka cena in možnost nadgradnje. Kot primere lahko omenimo: Siemens S7-200, Logo, Moeller – Easy, Mitsubishi Alfa.



Slika 161: Kompaktni PLC

Vir: <http://www.ingemaq.com.ar/ingenieria.html/> (10. 3. 2011)

4.4.2 Sestavljeni ali modularni krmilniki ali (Modular PLC)

Sestavljeni krmilnik je sestavljen iz posameznih modulov. Na okvir s konektorji priključimo napajalnik, procesni in pomnilniški del ter poljubno število vhodnih in izhodnih modulov, analogne vhode in izhode, regulacijski modul in druge module. Sistem lahko razširimo in nadgradimo. Kot primere, ki so na sliki 162 lahko omenimo: Siemens S7-300, S7-400, Mitsubishi AnSH.



Slika 162: Modularni PLC

Vir: <http://automation.siemens.com/mcms/> (11. 3. 2011)

4.5 NAČINI PROGRAMIRANJA PLK-JEV

Najbolj pogosti način programiranja je lestvični diagram (angl. Ladder diagram). Izhaja neposredno iz postopka vezave relejev, ki so jih za krmiljenje uporabljali v preteklosti.

Proizvajalci ponujajo tudi druge načine podajanja krmilne kode.

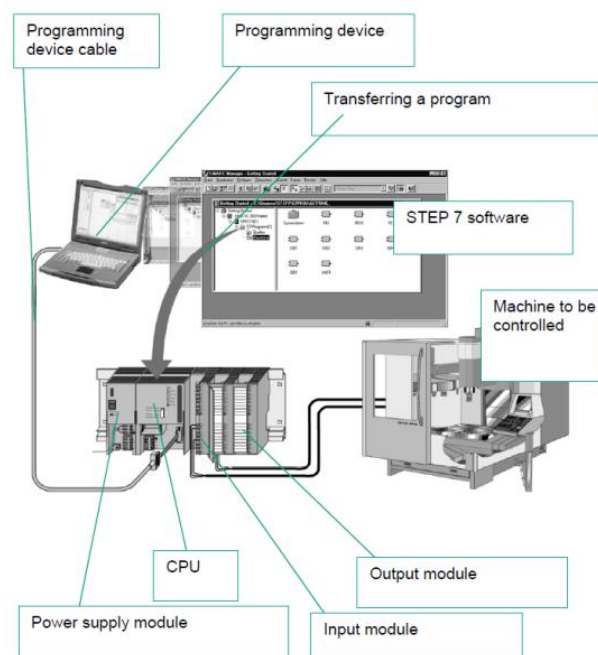
Programski jeziki različnih proizvajalcev običajno niso združljivi. Programski jezik FBD (Function Block Diagram) je grafični jezik, v katerem pri programiranju sestavljamo programske gradnike v celoto. V programskem jeziku STL (Statement list) programiramo opisno.

Po standardu IEC 61131-3 poznamo naslednje programske jezike za programiranje PLC:

- IL seznam ukazov (Instruction List)
- ST strukturiran tekst (Structured Text)
- LD lestvični diagram (Ladder Diagram)
- FBD funkcijski blokovni diagram (Function Block Diagram)
- SFC sekvenčni funkcijski diagram (Sequential Function Chart)

Tabela 24: Načini programiranja

PREDSTAVITEV	OPIS
Lestvični diagram (ladder diagram)	Grafična predstavitev
Instruction list (IL)	Podajanje krmilne kode je podobno programiranju v zbirniku na običajnih računalnikih
Sekvenčni pretočni diagram (sequential flow-chart ali SFC)	Grafična predstavitev (temelji na načelu binarnih petrijevih mrež)
Funkcijskobločni diagram (function block diagram ali FBD)	Grafična predstavitev
Structured text (ST)	Podajanje kode v jeziku, ki spominja na jezik Pascal

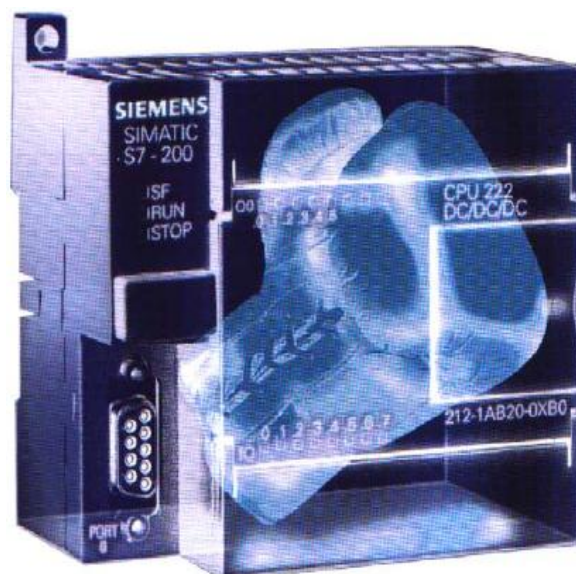


Slika 163: Kombinacija strojne in programske opreme
Vir: <http://automation.siemens.com/mcms/> (11. 3. 2011)

4.6 PREDSTAVITEV KRMILNIKA SIEMENS S-200

Krmilniki družine SIMATIC S7-200 (slika 164) predstavljajo spodnji zmogljivostni razred. Uporabni so za avtomatizacijo enostavnejših sistemov kot so: krmiljenje strojev, hidravličnih dvigal, procesov v živilski industriji, krmiljenje v elektroinstalacijah, daljinsko krmiljenje.

Družino SIMATIC S7-200 predstavljajo krmilniki za različno zmogljivimi centralno procesnimi enotami: CPU 212, 214, 215, 216, 221, 222, 224 in 226 ter z različnimi izvedbami izhodnih enot.



Slika 164: Krmilnik S7-200

Vir: <http://automation.siemens.com/mcms/> (11. 3. 2011)

Krmilnik, ki ga bomo spoznali in ga uporabljamo pri vajah na večini slovenskih srednjih in višjih šolah, ima:

- 8 digitalnih vhodov/6 digitalnih izhodov
- 4 hitre števec
- 2 impulzna izhoda 2
- 1 analogno nastavljiv vhod preko potenciometra
- komunicira preko RS-485
- ima širok razpon različnih pomnilniških lokacij, 256 časovnikov s tremi časovnimi bazami, 256 števecv tipa UP, DOWN ali UP/DOWN.

Krmilnik omogoča izbiro programiranja med SIMATIC-ovim naborom inštrukcij (STL, LAD in FBD) ter IEC-inštrukcijami.

Tabela 25: Programski jeziki

SIMATIC Instruction Set	IEC 1131-3 Instruction Set
Statement List (STL) Editor	STL not available
Ladder Logic (LAD) Editor	Ladder Logic (LAD) Editor
Function Block Diagram (FBD) Editor	Function Block Diagram (FBD) Editor

Nabor ukazov v IEC je bistveno manjši kot pri SIMATIC-u. Če napišemo program v univerzalnem jeziku IEC, je uporaben pri vseh proizvajalcih. Program IEC je standardni programski jezik za PLC krmilnike. V programu IEC je potrebno za vsako spremenljivko definirati tip podatka, kajti inštrukcije so definirane za širok nabor različnih podatkovnih tipov.

Prednosti programiranja s SIMATIC so:

- hitrost izvajanja SIMATIC programa je praviloma večja
- nekatere IEC-inštrukcije (časovniki, števcji, množilniki...) delujejo nekoliko drugače kot SIMATIC-inštrukcije
- kadarkoli lahko preklopimo iz enega programskega jezika v drugega (STL, LAD ali FBD).

4.7 PROGRAMIRANJE KRMILNIKA S STEP 7 PROGRAMOM

Spoznali bomo Siemensov programirnljivi logični krmilnik Simatic S7-222 in programski paket STEP 7 Micro/Win 32. Naučili se bomo osnovnih korakov programiranja, prenosa uporabniškega programa v krmilnik in spoznali način preizkusa delovanja.

Napisali bomo osnovne programe v lestvični shemi (LD-ladder diagram). Prikazali bomo kako program prenese v krmilnik in kako se preizkusi njegovo delovanje.

Prvi in osnovni koraki, ki so potrebni, da napišemo preprost program, ga prevedemo, naložimo v krmilnik in preizkusimo delovanje, so:

1. *Zagon izvedemo s klikom na ikono ali v meniju Start, Programi.*



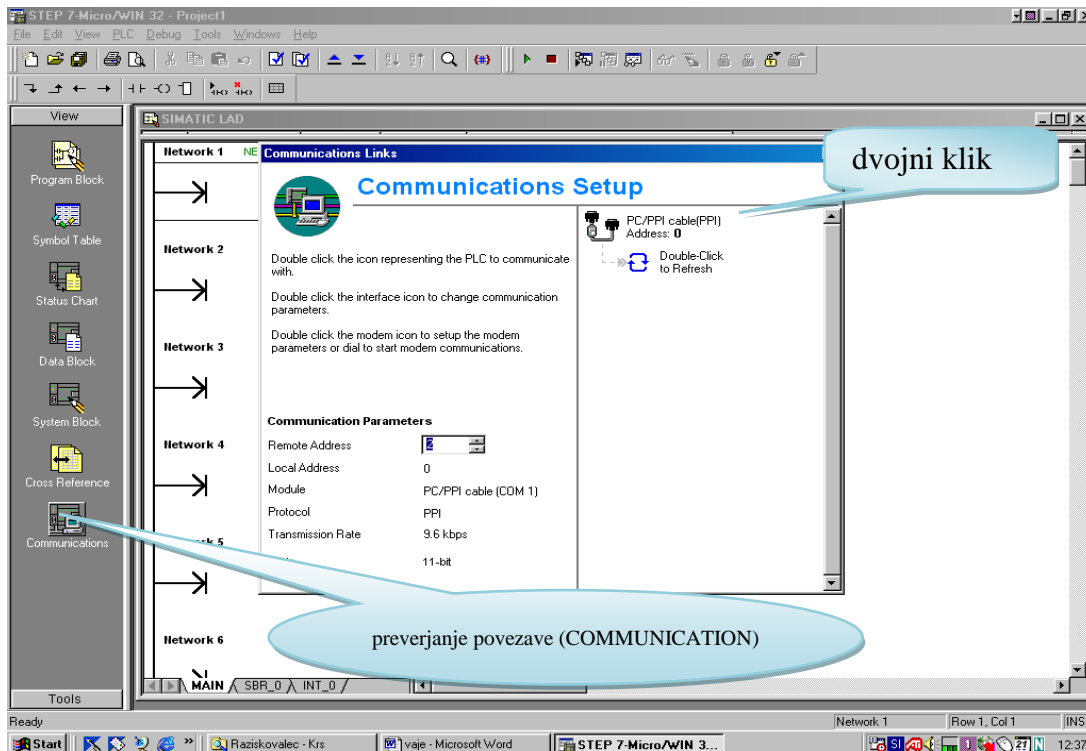
STEP 7 MicroWin 3

Slika 165: Ikona za zagon programa

Vir: Lasten

2. Preizkus komunikacije krmilnik - računalnik

Preizkus komunikacije (slika 166) računalnik-krmilnik izvedemo s klikom na ikono Communications in nato Double Click to refresh. Če komunikacija deluje, računalnik najde krmilnik, mu določi naslov in tudi prepozna tip krmilnika.

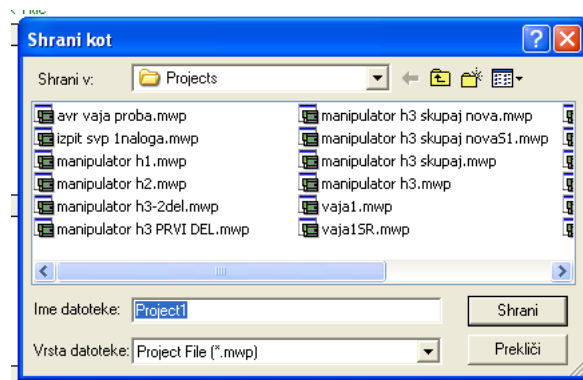


Slika 166: Preizkus komunikacije računalnik – krmilnik

Vir: Lasten

3. Shranjevanje in poimenovanje projekta

Standarden postopek, znan v vseh Windows aplikacijah.



Slika 167: Okno za shranjevanje

Vir: Lasten

4. Programiranje

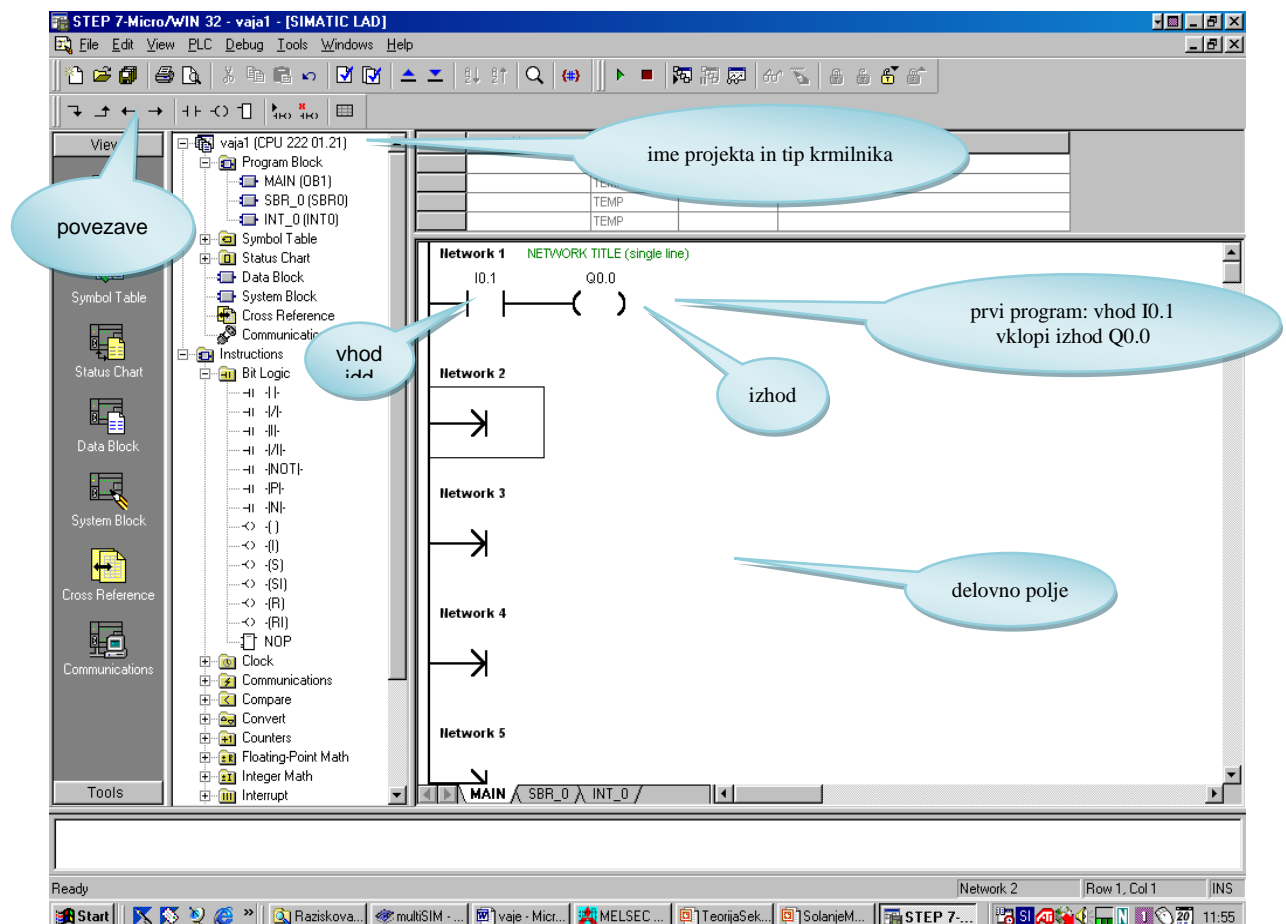
Primer naloge:

Tipka na vhodu I 0.1 aktivira prvi digitalni izhod Q 0.0.

Krmilnik ima osem vhodov in šest izhodov.

Vsak Simaticov naslov je določen z vrsto pomnilne enote (I, Q, M, S, V, AI, ...) in tipom oz. dolžino podatka (bit-0.1, B-byte, W-word, I-integer, D-double word ...).

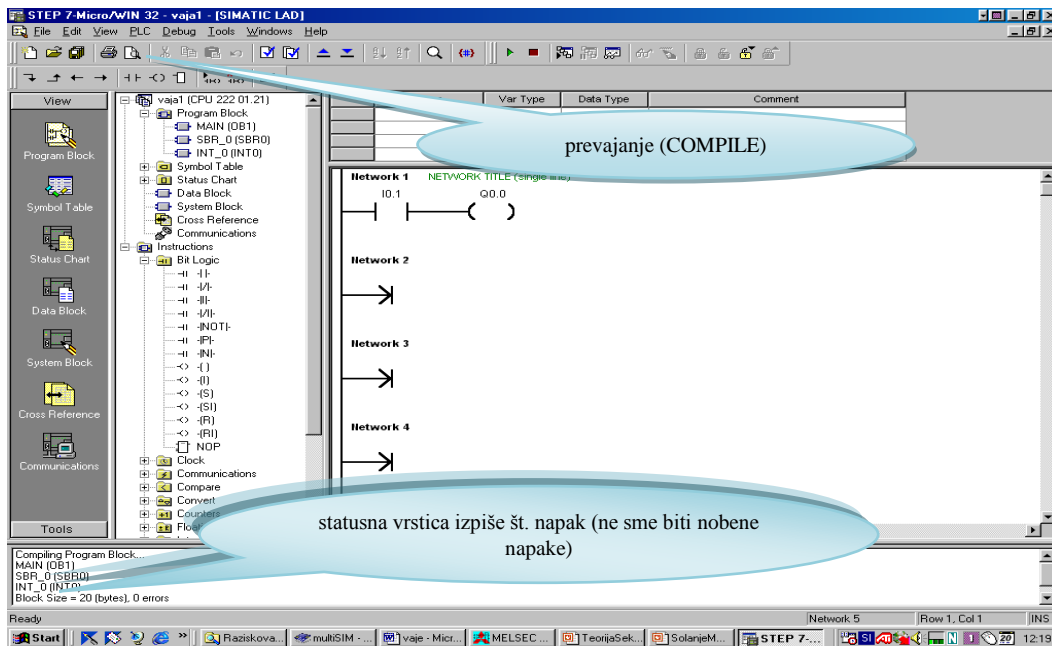
Digitalne vhode označujemo z I (Input). Ker gre za spremenljivke tipa BOOL oz. bitne spremenljivke, jih označujemo od I 0.0 do I 0.7 (bitno naslavljanje). Podobno velja za izhode, le da jih označujemo s Q, od Q 0.0 do Q 0.5.



Slika 168: Delovno polje

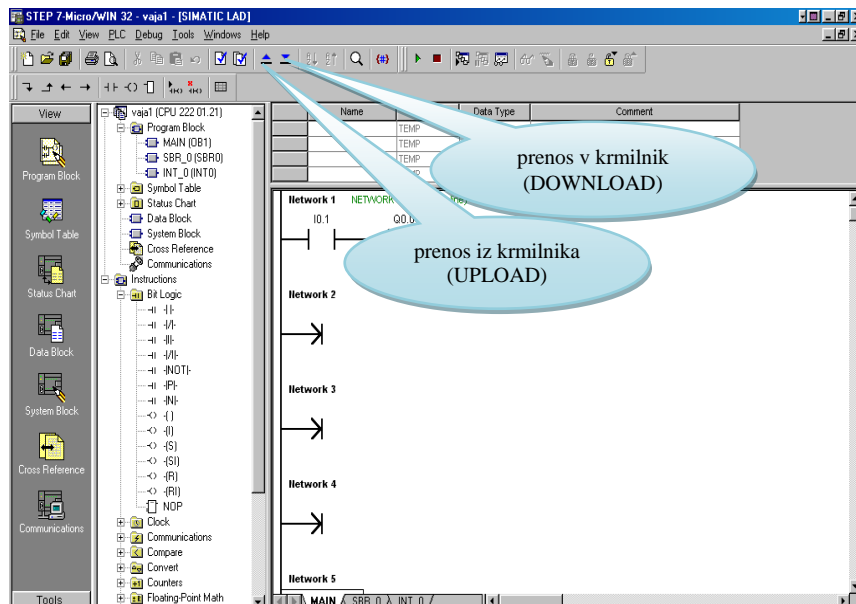
Vir: Lasten

5. **Prevajanje programa:** preden program prenesemo v krmilnik, ga moramo obvezno prevesti (slika 169).



Slika 169: Prevajanje programa
Vir: Lasten

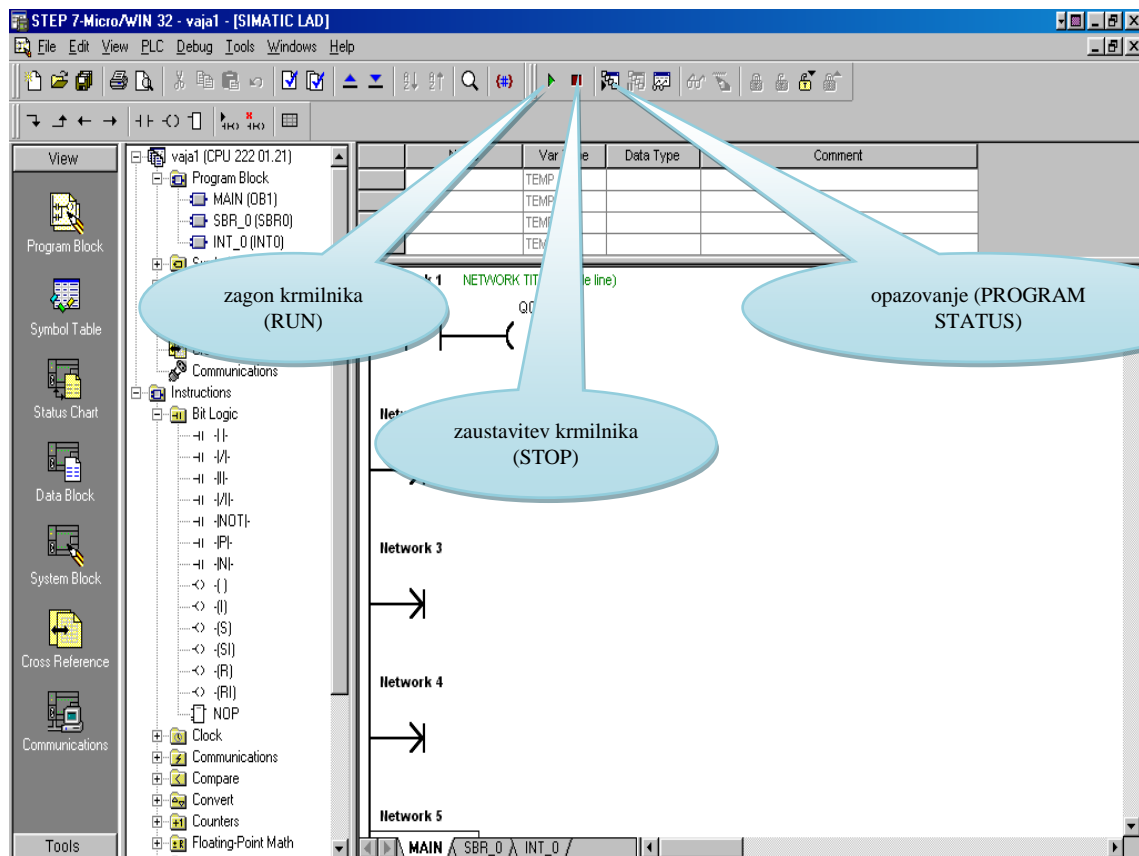
- **Prenos programa v krmilnik (download):** če prevajalnik ni javil nobene napake, lahko program preko ikone za prenos prenesemo in naložimo v krmilnik. Pri tem mora biti krmilnik v stanju zaustavitve (stop mode). Program lahko tudi naložimo **iz krmilnika v računalnik (upload)**.



Slika 170: Prenos v krmilnik (DOWNLOAD) in iz krmilnika (UPLOAD)

Vir: Lasten

- **Zagon programa in opazovanje:** krmilnik lahko zaganjamo in ustavljamo programsko (slika 171), prav tako lahko trenutno stanje v programu in stanje spremenljivk v krmilniku tudi opazujemo (Program Status in Status Chart).



Slika 171: Zagon krmilnika in opazovanje delovanja programa

Vir: Lasten

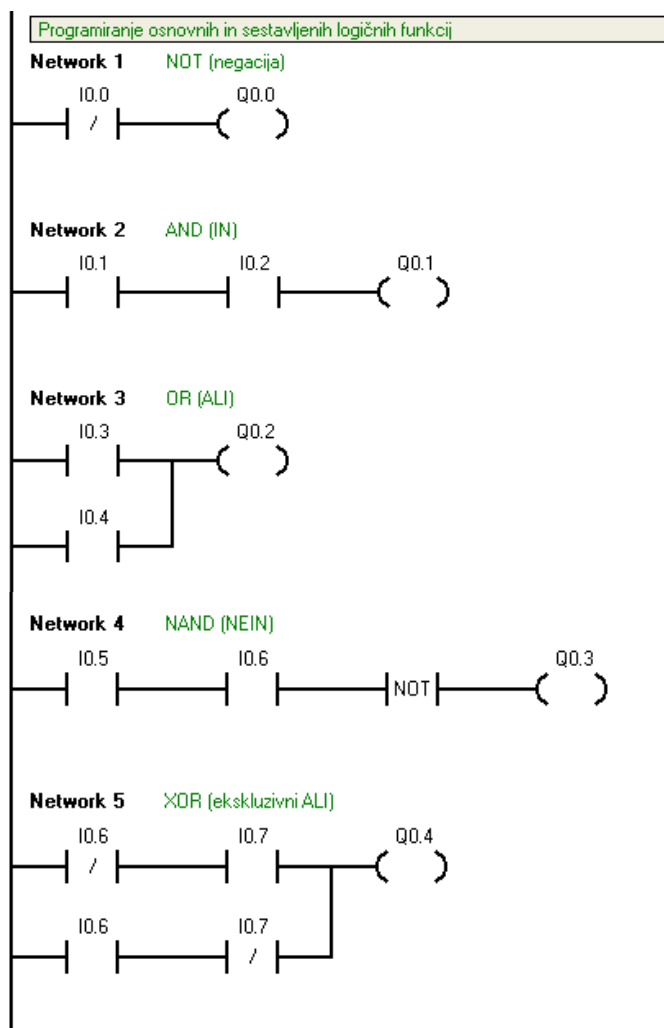
Prva dva koraka sta potrebna, ko prvič zaženemo program.

Nadaljnji koraki so bolj ali manj povsod enaki, razen četrtega, v katerem pišemo program.

4.7.1 Program v ladder diagramu (LAD)

Da lažje razumemo delovanje programov, moramo poznati delovanje programa v STL-programskem jeziku, kajti vsak LAD- ali FBD-program se najprej prevede v programsko kodo in kasneje v strojno kodo.

Pisanje programov v STL je seveda hitrejše, z njim lahko realiziramo praktično poljubno zahteven problem. Potrebno pa je poznati ukaze (mnemonično kodo) oz. sintakso jezika. Simatic se pri tem, kot vsi ostali proizvajalci in tipi krmilnikov, razlikuje od IEC oz. standardnega programskega jezika.



Slika 172: Realizacija osnovnih in sestavljenih logičnih funkcij v ladder diagramu
 Vir: Lasten

V meniju View lahko kadarkoli preklopimo iz enega jezika oz. načina programiranja v drugega. Izbiramo lahko med: STL (statement list – instrukcije), Ladder (lestvični diagram) ali FBD (funkcijska bločna shema). Kaj izberemo, je odvisno od izkušenj in znanja. Vsekakor pa sta za začetek bolj primerna načina Ladder ali FBD.

4.7.2 Izdelava programa za manipulator – koračno krmiljenje

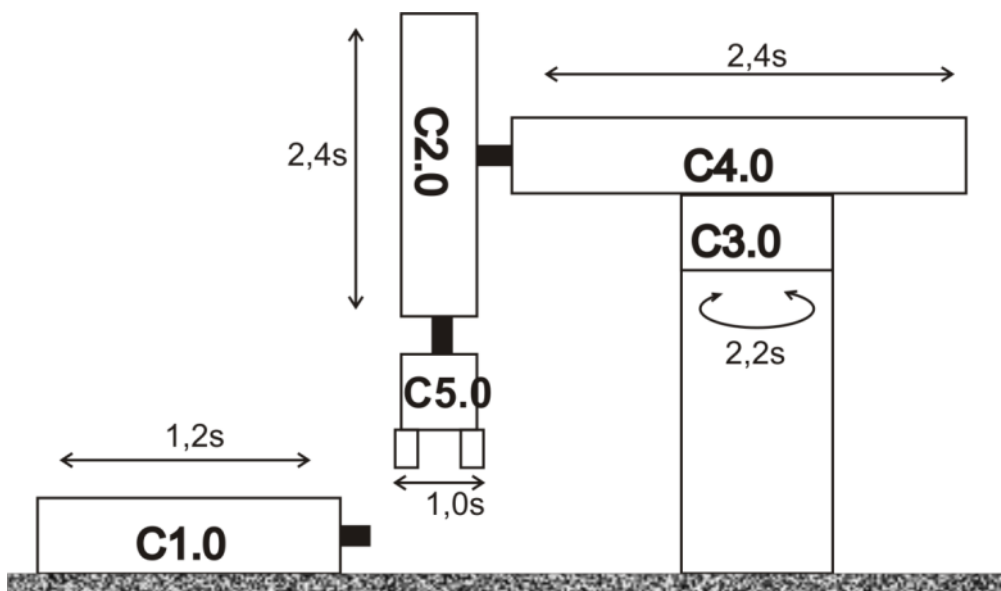
Izdelali bomo program za manipulator, ki podaja kose iz zalogovnika na drčo. Program Bomo naredili z koračnim (sekvenčnim) programiranjem manipulatorja (programiramo po korakih – ko sprogramiramo korak, ga zaključimo in programiramo naslednji korak).

Besedni opis zahtev krmilja

Krmilje mora po pritisku na tipko start izvajati naslednje korake:

1. korak: podamo polizdelek z dodajalnim cilindrom (cilinder C 1.0, ventil Y1B, čas koraka 1.3 s).
2. korak: obrnemo glavo manipulatorja z zasučno enoto (zasučna enota C 3.0; ventil Y3B, čas koraka 2,4 s) in postavimo dodajalni cilindar v začetni položaj (cilinder C 1.0 ventil Y1A, čas koraka 2.4 s).
3. korak: horizontalna translacija - premaknemo prijemalo manipulatorja v levo stran (cilinder C 4.0, ventil Y4B). čas koraka 2,4 s).
4. korak: vertikalna translacija – premaknemo prijemalo dol (cilinder C 2.0, ventil Y2B; čas koraka 2,4 s).
5. korak: z prijemalom primemo polizdelek (prijemalo C 5.0, ventil Y5B; čas koraka 1 s)
6. korak: vertikalna translacija – premaknemo prijemalo gor (cilinder C 2.0, ventil Y2A; čas koraka 2,4 s).
7. korak: horizontalna translacija - premaknemo prijemalo manipulatorja nazaj v desno (cilinder C 4.0, ventil Y4A). čas koraka 2,4 s).
8. korak: obrnemo glavo manipulatorja z zasučno enoto nazaj (zasučna enota C 3.0; ventil Y3A, čas koraka 2,4 s).
9. korak: vertikalna translacija – premaknemo prijemalo dol (cilinder C 2.0, ventil Y2B; čas koraka 2,4 s).
10. korak: spustimo polizdelek iz prijemala (prijemalo C 5.0, ventil Y5A; čas koraka 1 s Y5A; 1 sekunde).
11. korak: vertikalna translacija – premaknemo prijemalo gor (cilinder C 2.0, ventil Y2A; čas koraka 2,4 s).

Delovna skica manipulatorja z napisanimi časi za pomik cilindrov v obe strani je prikazana na sliki 173.



Slika 173: Manipulator - časi pomikov

Vir: Lasten

Povzetek

V poglavju smo spoznali osnove računalniških krmilj, njihovo zgradbo in delovanje.

Naučili smo se osnov digitalne tehnike. Spoznali smo vrste električnih krmilj, oblike signalov v krmilni tehniki in integrirana logična vezja.

Našteli smo logične funkcije, se naučili njihovo delovanje, pogledali simbole in različne izvedbe logičnih funkcij z stikali, polprevodniki in pnevmatiko.

Pri zgradbi PLK-ja smo pogledali način delovanja centralne procesorske enote (CPU) in opisali njene funkcijske enote. Prav tako smo spoznali delovanje vhodnega in izhodnega modula in način priključitve vhodov in izhodov.

Spoznali smo različne izvedbe krmilnikov kot so kompaktni krmilniki in sestavljivi ali modularni krmilniki.

Predstavljen je bil krmilnik Siemens S-200. Spoznali smo njegove sestavne dele in način delovanja krmilnika. Naučili smo se delovanje programa STEP 7, s katerim programiramo Siemensov krmilnik. Naučili smo se osnov programiranja v ladder diagramu in sprogramirali osnovne logične funkcije ter jih preizkusili z delovanjem krmilnika CPU 222 DC/DC/DC.

Naredili smo vajo pri kateri smo naredili program za manipulator kateri je podajal kose. Program smo napisali z orodjem za programiranje STEP 7 in ga vnesli v krmilnik. Preizkusili smo delovanje programa in ga vnesli v krmilnik. Naredili smo pnevmatske in električne povezave za manipulator.

Vprašanja in naloge

1. Katere vrste električnih krmilj poznamo?
2. Naštajte osnovne logične funkcije in njihove izpeljanke.
3. Narišite skico krmilnika in naštajte dele PLK-ja.
4. Katere načine programiranja poznamo po standardu IEC?
5. Ali lahko pri Siemens serije 200 preklopimo v različne programske jezike? Katere?
6. Opišite naslavljanje bita I 3.4 (I=?, 3=?, 4=?).
7. Katere ventile uporabimo pri krmiljenju manipulatorja? Napišite njihovo oznako.
8. Katere časovnike (timerje) smo uporabili pri vaji (TON, TOF)?

5 OSNOVE ROBOTIKE

5.1 UVOD IN OSNOVNI POJMI V ROBOTIKI

Glavni cilj poglavja je, da smo zmožni izbrati optimalni industrijski robot za našo konkretno delovno nalogo.

Potek tega poglavja je tak, da najprej spoznamo osnovne pojme v robotiki ter nato postopoma še glavne osnove lastnosti robotov. Velik poudarek celotnega poglavja je na tem, da v praksi znamo preveriti kriterije, po katerih moramo izbrati industrijski robot, ki bo najbolj optimalno zadovoljil naši zastavljeni nalogi.

Na koncu poglavja sledi nekaj osnovnih vprašanj, na katera naletimo v praksi, ko se lotevamo robotizirati neko delovno nalogo. Obravnavane teme tega poglavja naj bi pomagala pri iskanju odgovorov na ta vprašanja.

5.2 UVOD

Verjetno ga ni med nami, ki še ni slišal za besedo robot ter se ob njej spomni vsaj enega področja, kjer se pojavljajo roboti. Nekateri bi omenili avtomobilsko industrijo, kjer so bili tudi začetki razvoja robotike, drugi bi omenili znanstveno-fantastični film, kjer nastopajo razne vrste likov, v filmu obravnavani kot roboti. V industriji si skoraj ne moremo več predstavljati resne proizvodnje brez robotske podpore, enako pa se robotika razvija tudi na neindustrijskih področjih, omenimo hišna opravila, pomoč pri raziskovanjih, zdravstvo, vojaška sfera, zabavna tehnologija in še na mnogo drugih področjih.

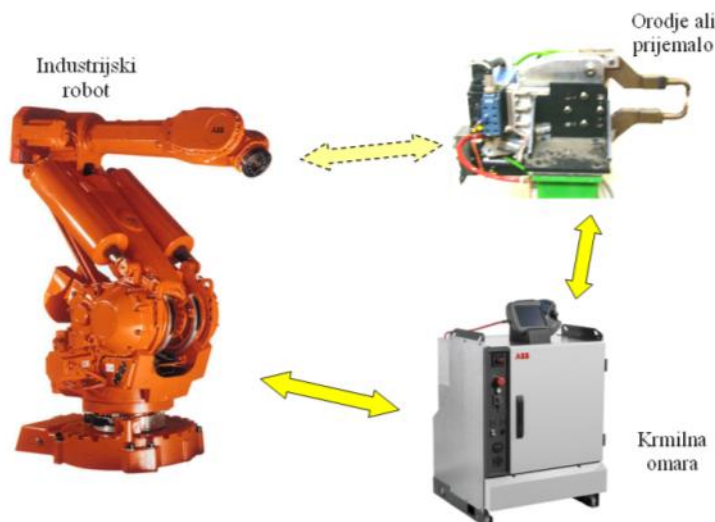
Razvoj robotike seveda še zdaleč ni izčrpan, saj je na področjih robotske kinematike in dinamike, krmiljenja robotov, generiranja robotske poti, umetnega vida in inteligence, hodečih robotov ter drugje še vedno veliko možnosti za napredek in izboljšave. Pomembno vprašanje, povezano s samim razvojem, je seveda tudi zmanjševanje energijske porabe in lastne mehanske teže brez omejevanja danes že doseženih lastnosti.

Ker je področje robotike zelo razširjeno in zahtevno, se tudi pogledi na njeno osnovno definicijo zelo razlikujejo. Kot ena izmed osnovnih definicij velja, da gre za znanstveno panogo, ki črpa znanja iz številnih tehničnih in netehničnih ved ter tako na teh osnovah gradi novo znanje, ki je značilno le za robotske sisteme. Pri robotizaciji nekega delovnega procesa radi govorimo, da gre za umetno posnemanje lastnosti človeka in idej iz narave. Med proučevanjem narave (lastnosti gibanja človeka in živali, načini razpoznavanja bistva v okolici, vzroki za izbrane odločitve v dani situaciji in drugo) moramo biti podkreppljeni z raznimi znanji s teh področji, ki jim pravimo poenostavljeno tudi netehnična znanja. Velja trditev, da roboti daleč zaostajajo za vsem, kar je narava storila in česar je sama narava zmožna. In tako naj tudi ostane!

V industriji (govorimo o industrijskem robotu) je predvsem želja po zmanjševanju vpliva človeškega faktorja na kakovost proizvodnje. V ta namen pa je potrebno človeka kot variabilni faktor čim bolj izločiti. Človeško ročno delo poskušamo najbolj optimalno zamenjati z robotskim. Ob vsem tem ne smemo pozabiti na pomembno dejstvo, da človeka kot kreativnega delavca ne smemo popolnoma izločiti oz. nadomestiti. Njegovo kreativno vlogo poskušamo čimbolj upoštevati že pri posameznih fazah uvajanja robotizacije, kot tudi kasneje v fazi serijske proizvodnje. V tako definirani funkciji velja, da robot postane vezni člen med človekom in avtomatom. Zaradi razvoja robot zajema na obeh straneh vedno večji delež.

O robotu lahko govorimo tudi s tehničnega vidika. Tu pravimo, da je robot v splošnem nek sistem, ki vključuje naslednje tri glavne sklope oz. dele:

- mehanski del (segmenti, motorji, zavore),
- informacijski del (krmilnik, računalnik, umetna inteligenca),
- senzorji (sile, momenti, pospeški, hitrost, pomik, umetni vid idr.).



Slika 174: Industrijski robot, krmilna omara in orodje ali prijemalo

Vir: ABB, reklamni prospekt in <http://www.abb.si/> (1. 3. 2011)

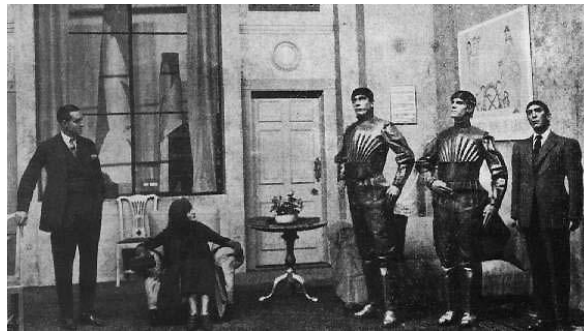
Vsi ti sklopi skupaj predstavljajo celoto, ki ji rečemo robot. Medtem ko ima vsak robot mehanski in informacijski del, ni nujno, da ima tudi tretji sklop – senzorje. Pri industrijskih robotih pogosto ne potrebujemo senzorjev, ki bi zajemali podatke iz okolice. Vsako zajemanje informacije iz okolice namreč pomeni dodatno obdelavo podatkov, sposobnost določanja bistva zajetega podatka, omogočiti način reagiranja glede na zajete informacije itd. Vsaka zajeta informacija predstavlja tudi določen potreben čas, ki je pri serijski, ciklični proizvodnji še kako pomemben. V primeru cikličnega ponavljanja robotskih trajektorij, če je le možno, ne uporabljamo dodatnih senzorjev. Informacije glede položaja obdelovanca, prostega dostopa do njega in podobno lahko določimo s pomočjo različnih zunanjih detektorjev, katere informacije pri robotu vključimo kot potrebne pogoje za izvrševanje določene naloge.

Srečujemo tudi t. i. načelno delitev robotov. Tu poznamo tri skupine:

- antropomorfni (človeku podobni roboti)
- neantropomorfni (po obliki spominjajo na stroje)
- lokomocijski (robot z elementi hoje).

Karel Čapek je prvi pisal o majhnih, človeku podobnih strojih, ki na ukaz neumorno delajo. Tako je izumil besedo »robot«, ki izhaja iz češke besede za "delo".

V Čapkovi drami *RUR (Rossum's Universal Robots)*, ki je prišla v London leta 1921, so postali roboti tako pametni in tako razočarani nad svojimi človeškimi gospodarji, da so se uprli. Uničili so človeštvo in ustvarili nov svet, ki so ga naseljevali samo roboti.



Slika 175: Prizor iz drame Rossum's Universal Robots

Vir: <http://malcolmlowryatthe19thhole.blogspot.com/2010/12/karel-capeks-rur-rossums-universal.html> (1. 3. 2011)

Tematika nevhvaležnih robotov, ki se uprejo svojim človeškim stvariteljem, uporabljajo mnogi pisatelji znanstvene fantastike.

Pisec znanstvene fantastike, Isaac Asimov, je "iznašel" izraz "robotika" in leta 1942 v eni od zgodb navedel tri še danes aktualne zakone robotike:

- Robot ne sme poškodovati človeka, niti zaradi svoje neaktivnosti pustiti, da bi človeško bitje utrpelo škodo.
- Robot mora izvrševati ukaze, ki mu jih dajo človeška bitja, razen v primeru, ko bi le te kršile prvi zakon.
- Robot mora ščititi svoj obstoj, razen če bi to kršilo prvi in drugi zakon.



Slika 176: Isaac Asimovs

Vir: <http://www.flickr.com/photos/26425820@N06/5511957353/> (1.3.2011)

5.3 OSNOVNE DEFINICIJE V ROBOTIKI

V svetu je obveljalo več različnih mednarodnih definicij robota oziroma robotike. Naj omenimo samo nekaj glavnih (povzeto po mednarodnem združenju IFR – International Federation of Robotics, www.ifr.org).

Definicija industrijske robota po ISO 8383:

Robot je avtomatsko krmiljen, reprogramabilen, multifunkcionalen manipulator s tremi ali več osmi, fiksno pritrjen ali v mobilen in se uporablja v avtomatizirani industrijskih aplikacijah.

Japanese Industrial Robot Association

Robot je mehanična roka, ki je sposobna v določenem obsegu glede na našo izbiro (predprogramiranje) opravljati manipulacijsko delo.

Robot Institute of America

Robot je večnamenski, reprogramabilen in multifunkcionalen manipulator, namenjen prestavljanju materiala, orodij in delov po različnih poteh s ciljem, da opravi razne naloge.

A. Newell

Robotika je znanstvena panoga, ki združuje inteligenco z energijo in predstavlja inteligentno opravljanje senzorno koordiniranega gibanja.

V literaturi najdemo tudi klasifikacijo robotov na generacije, ki skuša pokazati sposobnost različnih generacij robotov.

Prvo generacijo predstavljajo roboti, kjer človek ročno vodi robot skozi željene gibe, ki se jih robot nauči in kasneje avtomatično ponavlja, ali roboti, ki so numerično vodeni oziroma, kjer človek v številčni obliki vstavi željeno zaporedje gibov robota.

Drugo generacijo predstavljajo inteligentni roboti, ki poznajo svoje okolje in kljub spreminjanju okolja lahko opravljajo zastavljena dela (se prilagajajo okolju).

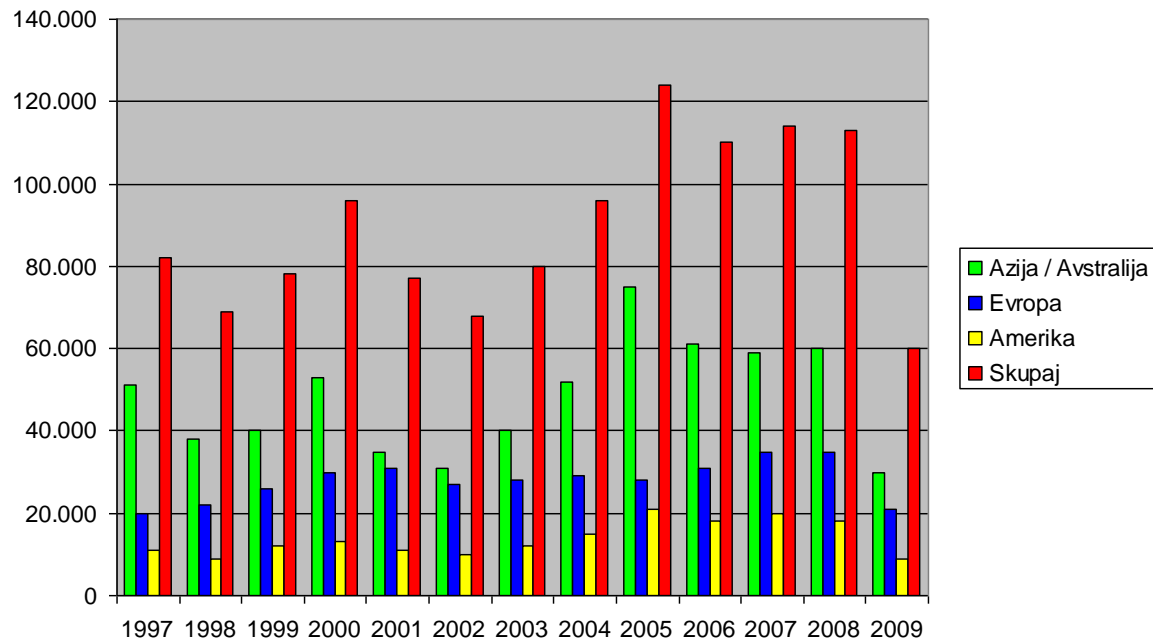
Tretja generacija je generacija robotov, ki šele prihajajo in bodo imeli lastnosti kot so trodimenzionalni vid, logično odločanje, elementi umetne inteligence, govor in drugo.

Omenimo lahko tudi evropsko normo, ki predpisuje vse v zvezi z varnim delovanjem robotskih sistemov. Gre za normo *Manipulating industrial robots – Safety, ISO 10218: 1992 modified*. Vsebina te norme je razdeljena na naslednja glavna poglavja: namen in cilj, referenčne norme, definicije, splošna dejstva, splošne zahteve, oblika in konstrukcija robota, varnost robotskih sistemov, uporaba in varnost, integracija, prevzem in funkcionalni testi, dokumentacija ter izobraževanje.

5.4 OSNOVNI STATISTIČNI PODATKI

Po oceni mednarodnega združenja IFR – International Federation of Robotics (www.ifr.org) je bilo v letu 2009 v svetovnem merilu operativnih že preko 1.000.000 robotov. Ker natančnih podatkov ni na voljo, sloni ocena na povprečni življenjski dobi industrijskih robotov, ki pa se po nekaterih študijah giblje od 12 do 15 let. Podatki so lahko varljivi, saj je znano, da obstajajo različne interpretacije, kaj sploh štejemo kot industrijski robot.

Zanimiva je tudi ocena, da naj bi se število robotov od leta 2011 do leta 2013 povečevalo z 10 odstotnim prirastkom. V številkah to pomeni, da se je v letu 2001 število robotov povečalo za 78.000, medtem ko je bilo povečanje v letu 2005 in 2006 že preko 100.000. V letu 2009 je opaziti občutni padec števila robotov v svetovnem merilu.



Slika 177: Letno povečanje robotov po navedenih kontinentih v letih od 1997 do 2009

Vir: Lasten na osnovi podatkov www.ifr.org (1. 3. 2011)

Tabela 26 prikazuje deleže posameznih robotskih aplikacij v svetovnem merilu. S tipom robotske aplikacije mislimo na vrsto in način dela, ki ga robot izvaja.

Največ je robotskih aplikacij varjenja (uporovno, obločno, lasersko idr.) ter sestavljanj (sestava integriranih vezij, sestava avtomobilskih podsklopov idr.), ki predstavljajo več kot polovico vseh robotskih aplikacij. Sledi funkcija manipulacije oz. podajanja (strega stiskalnic, prijem ali odlaganje na vhodu ali izhodu robotske celice ali linije idr.). Sledijo aplikacije pri izdelovanju proizvodov iz plastike ter razvrščanja (izločanje slabih končnih obdelovancev, paletizacija, razvrščanje glede na kakovost, velikost idr.). Med ostale aplikacije lahko štejemo barvanje, lepljenje, nanos tesnilnih mas, razna merjenja, površinsko obdelavo idr.

Tabela 26: Porazdelitev deležev robotskih aplikacij

Vrsta aplikacije	Delež (%)
Varjenje	27
Sestavljanje	27
Manipulacija	10
Oblikovanje plastike	10
Strojna obdelava	8
Razvrščanje	3
Ostalo	15

Vir: Lasten na osnovi podatkov www.ifr.org (1. 3. 2011)

Po podatkih IFR je bila povprečna vrednost robota v letu 1999 samo še 1/5 cene povprečnega robota v letu 1990. Dejstvo je, da se je trend zmanjševanja cen robotov nadaljeval in se še nadaljuje. Z leti se je izboljšala tudi uporabnost in vzdržljivost robotov.

Lahko trdimo, da danes skoraj ni področja, kjer roboti že ne bi bili uveljavljeni oziroma, da so bili ali so še poskusi njihove uveljavitve. Po zgoraj navedenem viru je današnja življenjska doba robota že 12 let, kar omogoča ponovno uporabo istega robota pri izdelavi novega produkta, kar seveda zmanjšuje višino potrebne investicije.

Glede na to, da je bila povprečna prodaja zadnjih deset let preko 100.000 robotov, obstaja seveda kar nekaj proizvajalcev robotov na svetu.

Tabela 27: Glavni proizvajalci robotov in njihovi osnovni podatki

<i>Naziv</i>	<i>Sedež</i>	<i>Spletna stran</i>
ABB (Asea Brown Boveri)	Västerås, Švedska	www.abb.com/robotics
<i>Posebnost:</i> 1974 pod imenom ASEA razvil prvi robot; nosilnosti od 1 kg do 500 kg; prodal preko 100.000 robotov		
KUKA Roboter GmbH	Augsburg, Nemčija	www.kuka.com
<i>Posebnost:</i> roboti s specifično programsko opremo		
YASKAWA Electric Co Robot Sector	Kitakyushu, Japonska	www.motoman.com/
<i>Posebnost:</i> povezava z Motomanom iz Nemčije (tudi izdeluje robote)		
FANUC Ltd.	Yamanashi, Japonska	www.fanuc.co.jp/
<i>Posebnost:</i> močni v uporaba umetne inteligence		
Adept Technology, Inc	San Jose, ZDA	www.adept.com
<i>Posebnost:</i> manipulacija majhnih delov; največji ameriški proizvajalec robotov		
Comau Body Systems - Robotics	Torino, Italija	
<i>Posebnost:</i> predvsem v avtomobilski industriji		
FANUC Ltd.	Yamanashi, Japonska	www.fanuc.co.jp/
<i>Posebnost:</i> močni v uporaba umetne inteligence		
Kawasaki Heavy Industries, Ltd.	Tokio, Japonska	www.khi.co.jp/robot/
<i>Posebnost:</i> uporaba v različnih industrijah		

Vir: Lasten

Poleg zgoraj naštetih pa obstaja še mnogo drugih proizvajalcev robotov. Omenimo še DENSO in TOYODA Machine Works, Ltd iz Japonske, NACHI Robotics iz Združenih držav Amerike, STÄUBLI Unimation iz Francije in drugi.

Vsak proizvajalec poskuša biti vodilen vsaj na eni ali več različnih robotskih aplikacijah. Razumeti moramo, da sam robot kot tak, brez prave sinhronizacije s posamezno aplikacijo, ne služi svojemu namenu. Robot brez orodja ali prijemala je postal komercialni izdelek, ki ga dandanes ni težko kupiti, vendar nam kot tak ne služi namenu. Na osnovi predhodno zahtevane naloge moramo izbrati najbolj optimalni tip robota. Pomembno je lahko tudi dejstvo, kateri proizvajalci imajo prodajno in tehnično podporo v Sloveniji. Lahko omenimo MOTOMAN ROBOTEC d.o.o. iz Ribnice, ABB Slovenija iz Ljubljane in ostale.

Posamezni proizvajalci ponujajo tudi različno programsko podporo za t. i. off-line simulacije. Obstajajo pa tudi programski paketi za statično in dinamično simulacijo robotskega gibanja in izvrševanja zahtevanih nalog. Eden izmed takih programskih paketov je ROBCAD (Tecnomatix Technologies Inc.), kjer lahko s pomočjo različnih knjižnic simuliramo različne robote s standardnimi orodji različnih proizvajalcev teh orodij (knjižnice je možno kupiti pri posameznih proizvajalcih). Obstaja seveda tudi možnost kreiranja in upoštevanja lastnih specifičnih zahtev (omejitve prostora, specifične oblike prijemala, oblika našega obdelovanca idr.).

5.5 RAZLOGI ZA UVAJANJE

5.5.1 Področja uporabe industrijskih robotov

Za industrijske robote lahko trdimo, da so se že uveljavili v skorajda vseh možnih proizvodnih procesih. Na danes morda še nova področja pa se uveljavljajo čedalje bolj mobilni roboti, roboti z možnostjo lastnega odločanja idr. Uporaba robota je omejena povsod tam, kjer delo zahteva inteligenčne odločitve ter vzorce kreativnosti. Upravljalca robotov mora ostati človek!

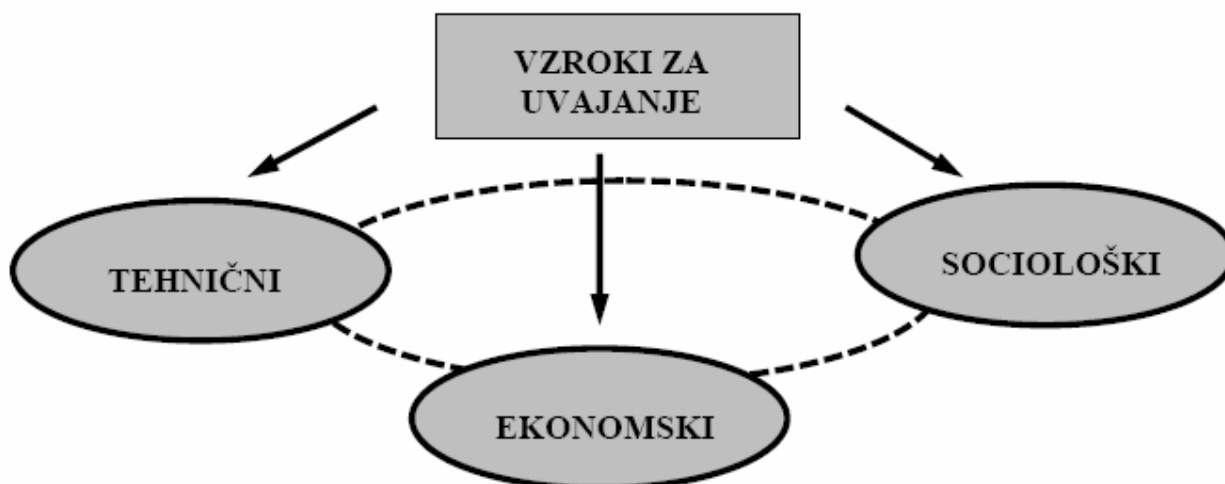
Naj naštejemo samo nekaj glavnih področij, kjer se je uporaba robotov že dodobra uveljavila:

- varjenje (obločno, točkovno, lasersko idr.),
- manipulacija materialov, orodij, sestavnih delov, strega strojem,
- strojna obdelava,
- kontrola kvalitete in merjenja,
- sestava elektronskih komponent in vezij,
- razna barvanja, emajliranje, nanašanje zaščitnih premazov,
- lepljenje in nanos lepil,
- obdelava plastičnih snovi ter toplotna in površinska obdelava (brušenje, poliranje),
- skladiščenje in paletizacija,
- pregled in čiščenje cevi in kanalov,
- delo z nevarnimi snovmi,
- raziskovalni nameni v težko dostopnih okoljih (vesolje, morske globine, rudniki),
- kmetijstvo, medicina, vojaški nameni
- in druga.

5.5.2 Vzroki robotizacije

Čeprav so roboti v današnjem času že nekaj povsem samoumevnega, se moramo vseeno vprašati, kateri so tisti osnovni vzroki za tak hiter razvoj robotizacije na že skoraj vseh možnih področjih. Vzroke lahko globalno razdelimo na tri glavne skupine: tehnični, ekonomski in sociološki.

Slika 178 prikazuje vse tri glavne vzroke, ki so posredno med sabo povezane. Velja namreč, da se vzrok pod eno skupino neposredno ali vsaj posredno pojavi tudi v vsaj eni izmed ostalih dveh kategorij vzrokov.



Slika 178: Vzroki za uvajanje robotizacije
Vir: Lasten

Naštejmo le nekaj glavnih razlogov pri posameznih omenjenih kategorijah vzrokov.

TEHNIČNI VZROKI:

- večja zanesljivost delovanja,
- večja kvaliteta in natančnost izdelanega izdelka,
- adaptivnost (hitro spreminjanje izdelkov),
- ergonomija (velika bremena, dolgotrajno delo),
- enakomernost oz. hitrost dela,
- človek ne zmore zadostiti tehničnih zahtev.

EKONOMSKI VZROKI:

- večji zaslužek, dobiček preko večje produktivnosti,
- racionalizacija za uspešnejši boj proti konkurenci,
- nižanje produkcijskih stroškov oz. hitrejše obračanje kapitala (npr. delo v 3 izmenah),
- krajša amortizacijska doba in večja rentabilnost,
- pomanjkanje delovne sile.

SOCIOLOŠKI VZROKI:

- neprimerno delovno okolje (strupi, vročina, umazanija, tlaki idr.),
- povečani varnostni ukrepi in strožja zakonodaja,
- večanje življenjskega standarda (osvoboditev človeka od monotonih del)

5.5.3 Pomembne komponente pri uvajanju robotizacije

V primeru, da se odločimo robotizirati neko delovno nalogo ali že obstoječe ročno delovno mesto, moramo biti pozorni na naslednje pomembne komponente.

- Izbira prave in uspešne prve aplikacije.
Ne smemo izbrati prezahtevno nalogo, saj morda tehnično in kadrovsko ne bomo kos reševanju naloge. Izogibajmo se aplikacij, ki so zahtevne že same po sebi – npr. barvanje velikih površin, zapletene geometrijske sestave itd.
- Izbira in določitev robota, ki bo najboljše zadostil našim zahtevam.

Ko določimo nalogo, moramo izbrati optimalni tip robota. Ne smemo pozabiti na zahtevano število prostostnih stopenj, obliko delovnega prostora, obliko in lastnosti nameščenega orodja ali prijemala, nosilnost (ne pozabiti na "bruto" težo). Ne pozabimo na njegovo kasnejše vzdrževanje, možnost nakupa rezervnih delov, možnost za kasnejšo ponovno uporabo in drugo.

- Določitev paralelnega delovnega mesta.
Če robotiziramo delovno operacijo, ki se nahaja sredi nekega proizvodnega procesa (nimamo možnosti za zagotovitev večje zaloge), potem je smiselno razmišljati o (ročnem) paralelnem delovnem mestu. V primeru robotiziranja že obstoječega delovnega mesta, poskušamo to delovno mesto obdržati v operativnem stanju. Seveda vsako podvajanje operaciji ni zastonj in nam predstavlja dodatne stroške kot tudi zasedanje površin.
- Kompleksnost avtomatizacije (bolj enostavno - večji zaslužek).
Ne pozabimo na dejstvo, da preproste rešitve vodijo k lažjemu obvladovanju situacije in s tem posredno k manjšim stroškom zagona in vzdrževanja.
- Hitrost proizvodnje (roboti delajo načeloma počasneje kot človek, vendar bolj enakomerno).
V fazi študije je pomembno izdelati kvalitetno analizo časov oziroma določitvi časa cikla robota kot tudi celotne robotske celice ali linije. V praksi obstajajo različne metode za ocenjevanje potrebnega časa posameznih operacij. Nerodno je dejstvo, če nam robotizirano delovno mesto postane ozko grlo proizvodnje.
- Ekonomska upravičenost (pomembnejši faktor).
Eden izmed pomembnejših ciljev (ni potrebno, da je ravno glavni) je seveda ekonomska upravičenost. Z robotizacijo seveda pričakujemo pozitivne učinke v smislu večje produktivnosti, manjšega izmeta, kvalitetnejših izdelkov idr. V avtomobilski industriji se pogosto pred uvedbo večjega števila nove serije robotov postavi testno robotsko celico. Predhodna postavitev služi za učenje tehničnega kadra.
- Časovno trajanje uvedbe (menjava proizvodnega programa).
V fazi študije je potrebno tudi predvideti, kolikšna bo delovna doba delovanja. To obdobje pomembno vpliva na amortizacijo vloženi sredstev.
- Prva inštalacija (izkaže se, da je najboljši strokovnjak najcenejši).
Brez ustreznega kadra se je seveda težko lotiti takega projekta. Tudi če kupimo robotsko celico od dobavitelja na ključ, bomo potrebovali domači tehnični kader za vzdrževanje in odpravo napak. Robot, ki ne opravlja svoje funkcije, je nekoristen.
- (Ne)naklonjenost okolja (ljudje se pritožujejo in sabotirajo robote).
Posebej v okoljih, kjer niso vajeni delati skupaj z roboti, lahko pride do pritožb in strahu pred njimi. Pomembno je, da pri uvajanju robotov ne zanemarimo ta psihološki vidik.
- Podpora vodilnega kadra, vodstva.
Vse zgoraj omenjeno je izguba časa, če nas vodstvo pri uvedbi novih tehnologij ne podpira.

Naštete pomembne komponente pri odločanju za robotizacijo lahko združimo v 4 vprašanja opravičenosti robotizacije na katera naj bi imeli odgovore.

1. Ali je izbrani industrijski robot sposoben opravljati zahtevane naloge?
2. Ali zahteva uporaba robota tehnične omejitve (prostor, prisotnost tekočin, zaščita pred prahom, ojačitev tal, povezava s produkcijsko linijo, varnost idr.)?
3. Kakšni strokovnjaki (programerji, vzdrževalci idr.) so potrebni za nemoteno delovanje robotov?
4. Kakšni sta cena in rentabilnost delovanja robota (investicija, povečanje produktivnosti idr.)?

5.5.4 Osnovna analiza ekonomičnosti in rentabilnosti

V primeru pozitivne odločitve k resni pristopitvi k projektu robotizacije je vmesno seveda izdelati podrobno študijo ekonomičnosti. Točnost prve grobe ocene ekonomičnosti je seveda močno odvisna od pravilnosti ocenjenih stroškov in prihrankov. Med minimalne zahteve za izračun ekonomičnosti spadajo stroški nakupa in postavitve robota ter njegovega orodja ali prijemala, stroški robotske okolice in morebitne dodatne opreme, ocena časa delovnega cikla, stroški ročnega delovnega mesta (če že obstaja), ocena prihrankov.

Po uspešno končanem projektu pogosto preverimo izračun z realnimi podatki. Tak izračun nam zelo prav pride pri oceni ekonomičnosti naslednjega projekta.

Glavna komponenta analize ekonomičnosti je amortizacija, ki jo na kratko lahko definiramo kot čas, v katerem investicija povrne vložena sredstva. Dejansko je odvisna od potrebnih investicij, ki vključujejo nakup in postavitve robotske celice, stroške spremljanja projekta pri dobavitelju (če kupujemo po sistemu "na ključ"), stroške izobraževanja in druge stroške, ki so potrebni do trenutka zagona.

Na osnovi nekaterih parametrov lahko zapišemo enačbo za poenostavljen izračun amortizacije (natančnejši izračuni upoštevajo še faktor produktivnosti, popravek pri izračunu letnega prihranka stroškov, vrednosti letnih odpisov vrednosti opreme in drugo, kar je seveda bolj podrobno obravnavano pri predmetih ekonomije).

Velja:

$$A = \frac{I}{n \cdot D + P - V}$$

A - amortizacija

I - investicijska cena

P - prihranki

V - stroški vzdrževanja

n - število zamenjanih delavcev

D - dohodek delavca na leto

Razumljivo je, da se s povečanjem časa obratovanja oziroma povečanjem števila izmen znatno lahko skrajša amortizacijski čas. Iz zgornje enačbe je možno enostavno razbrati, kako posamezni faktorji vplivajo na amortizacijo. Enostavno matematično razmišljanje pokaže, da bo čas amortizacije manjši, če bo vrednost investicije v števcu čim manjša, ter če bo vrednost imenovalca čim večja.

Če nas zanima podatek, koliko bi letno več prinašal denar, ki smo ga vložili v izbrano investicijo, glede na isti denar vložen v banko, se moramo lotiti rentabilnostnega izračuna. Rentabilnost torej pokaže, koliko pridobimo, če investiramo v robotizacijo.

Če predpostavimo, da je minimalna predpisana rentabilnost velikosti 0.25 (vrednost rentabilnosti je od 0 do 1 oziroma od 0 do 100 %), lahko s pomočjo naslednje enačbe izračunamo maksimalno dopustno investicijsko vrednost.

$$I_{\max} = \frac{P - V}{R_{\min} + f_o}$$

I_{\max} - maksimalna dopustna investicija

R_{\min} - minimalna rentabilnost (0.25)

P - prihranki

V - stroški vzdrževanja

f_o - faktor obresti uporabne dobe

5.6 GLAVNE OSNOVNE LASTNOSTI ROBOTOV

5.6.1 Razlika med robotom in avtomatom

Pogosto zamenjujemo pojma robot in avtomat. Za razumevanje robotike je pomembno, da ju razlikujemo. Pri avtomatu gre za stroj, ki je prirejen samo za že vnaprej določena dela in je s tem neadaptiven. Zaradi opisanih lastnosti je avtomat pogosto težko hitro in poceni prirediti za drugo delo.

Robot pa je fleksibilen, reprogramabilen in adaptiven, kar nam omogoča, da lahko uporabo in namembnost robota relativno enostavno spremenimo. Dejstvo, da ima robot zgoraj omenjene lastnosti, moramo upoštevati že pri sami zasnovi robotskih celic ali linij. Pri določitvi mesta robota in obliki njegovega prijemala lahko na primer predvidimo morebitno zamenjavo oblike izdelka, morebitno povečanje proizvodnih kapacitet, začetek izdelave novega izdelka in drugo.

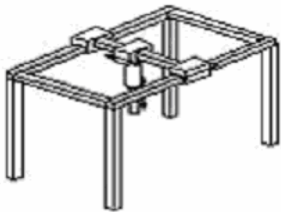
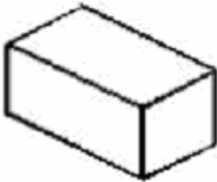

5.6.2 Osnovne zgradbe robotov

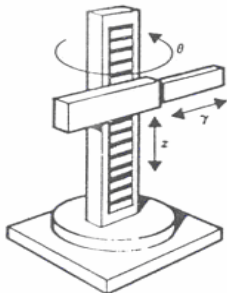

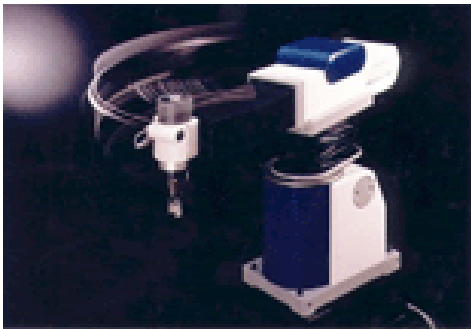
Glede na način zgradbe robota se giba tudi vrh robota. Pri uporabi treh translatorskih gibanj se vrh robota giba po pravilih kartezijskega koordinatnega sistema. Podobno lahko sestavimo še cilindrično in sferično konfiguracijo. Industrijski roboti pa so pogosto kombinirane zgradbe.

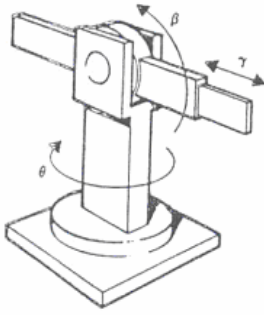


Posebna vrsta je t. i. scara robot, ki ima dva ali tri paralelne rotacijske sklepe, kar omogoča veliko uporabnost v ravnini.

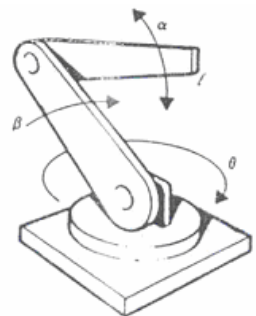


Tabela 28: Osnovne zgradbe robotov

Zgradba

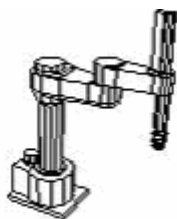
K A R T E Z I Č N A	Tip robota 	Delovni prostor 
	Primer 	

C I L I N D R I Č N A	Tip robota 	Delovni prostor 
	Primer 	

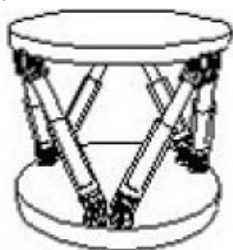
S F E R I Č N A	Tip robota 	Delovni prostor 
	Primer 	

K O M B I N I R A N A	Tip robota 	Delovni prostor 
	Primer 	

S C A R A	Tip robota	Delovni prostor
	Primer	



P A R A L E L N A	Tip robota	Delovni prostor
	Primer	



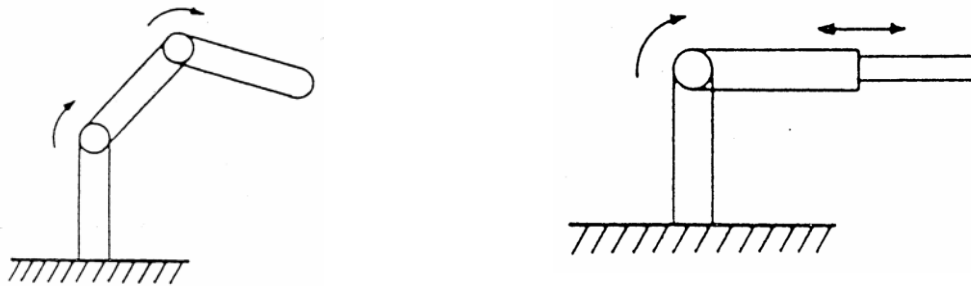
Vir: Lasten in www.ifr.org (1. 3. 2011)

5.6.3 Tipi segmentov in sklepov

Vsak industrijski robot ima določeno število sklepov, ki so med seboj povezani s segmenti robotskega mehanizma. Velja, da vsak robotski sklep povezuje dva sosednja robotska segmenta. Sklep zaradi svoje omejene gibljivosti omogoča samo rotacijski ali linearni pomik. Govorimo o rotacijskih in translacijskih sklepih (slika 179).

Rotacijski sklep ima obliko tečaja in omejuje gibanje dveh sosednjih segmentov na rotacijo okrog skupne osi. Relativni trenutni položaj in spremembo položaja rotacijskega sklepa podamo v enotah rotacije oz. kotnega zasuka (radiani, stopinje).

Translacijski sklep omejuje gibanje dveh sosednih segmentov na njegov medsebojni premi pomik – translacijo. Relativni trenutni položaj in spremembo položaja translacijskega sklepa podamo v enotah razdalje oz. premegea pomika (milimetri).



Slika 179: Rotacijski in translacijski sklep

Vir: Bajd in Karčnik, 1999

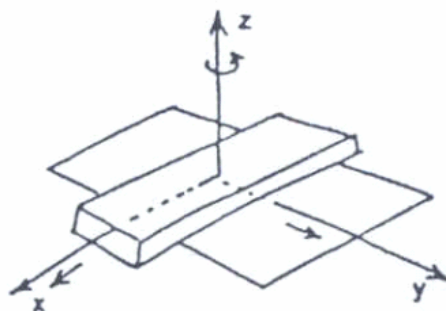
5.6.4 Prostostne stopnje (ang. DOF - Degree Of Freedom)

Prostostna stopnja označuje geometrijo načina spreminjanja odnosa med dvema segmentoma glede na osi sklepa brez upoštevanja časa. Kot že omenjeno sta dva segmenta povezana preko sklepa s svojo določeno kinematiko (študiranje gibanja brez upoštevanja mas in sil), ki jima pravimo v robotiki tudi kinematični par. Zaporedje večjega števila kinematičnih parov imenujemo kinematično verigo.

Razumevanje pojma prostostne stopnje v robotiki bo lažje z razlago na določenih primerih. Velja, da razlikujemo prostostno vrtenje in prostostni pomik.

1. primer: Kvader na površini (slika 180).

Kvader se lahko giblje v dveh smereh (na sliki označeno kot os x in os y) ter ima možnost rotacije okoli navpične osi (os z). Pravimo, da ima kvader dve prosti translaciji in eno prosto rotacijo oziroma, da ima tri prostostne stopnje.



2 translaciji
1 rotacija
1 omejena translacija
2 omejeni rotaciji

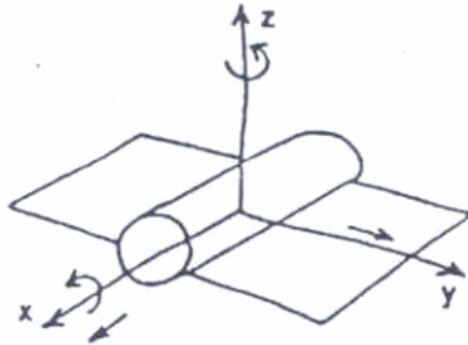
= 3 prostostne stopnje

Slika 180: Kvader na površini

Vir: Bajd in Karčnik, 1999

2. primer: Valj na površini (slika 181).

Valj se lahko giblje v dveh smereh (na sliki označeno kot os x in os y) ter ima možnost rotacije okoli dveh osi (osi x in z). Pravimo, da ima valj prosti dve translaciji in prosti dve rotaciji oziroma, da ima štiri prostostne stopnje.

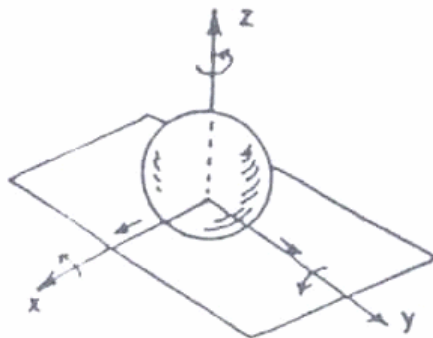


2 translaciji
2 rotaciji
1 omejena translacija
1 omejena rotacija
= 4 prostostne stopnje

Slika 181: Valj na površini
Vir: Bajd in Karčnik, 1999

3. primer: Krogla na površini (slika 182).

Krogla se lahko giblje v dveh smereh (na sliki označeno kot os x in os y) ter ima možnost rotacije okoli vseh treh oseh (osi x, y in z). Pravimo, da ima krogla dve prosti translaciji in tri proste rotacije oziroma, da ima pet prostostnih stopenj.



2 translaciji
3 rotacije
1 omejena translacija
= 5 prostostnih stopenj

Slika 182: Krogla na površini
Vir: Bajd in Karčnik, 1999

Obstaja še mnogo primerov z različnimi možnostmi prostih translacij in rotacij in s tem z različnimi možnostmi prostostnih stopenj.

V robotiki poznamo kinematične pare, torej sklep z dvema segmentoma. Vsak kinematični par predstavlja eno prostostno stopnjo. Velja, da kolikor kinematičnih parov ima robot, toliko ima tudi prostostnih stopenj! Ali tudi, da kolikor sklepov ima robot, toliko prostostnih stopenj ima.

Velja, da ima vsako togo telo v prostoru lahko 6 prostostnih stopenj:

- tri translacije, ki določajo pozicijo in
- tri rotacije, ki določajo orientacijo.

Z definirano pozicijo in orientacijo imamo določeno lego togega telesa. Če uporabljamo robot s 6 sklepi, pomeni, da lahko s takim robotom rešujemo naloge, kjer so pomembne vse tri translacije in vse tri rotacije.

5.6.5 Neredundanten in redundanten robot

Neredundantni roboti so roboti s šestimi (ali manj) prostostnimi stopnjami. Šest prostostnih stopenj (n) potrebujemo za poljubno pozicioniranje in orientacijo predmeta v prostoru. Pri neredundantnih robotih je reševanje dinamike in upravljanje robota veliko lažje kot pri redundantnih.

Velja:

$n \leq 6$... neredundanten robot

$n \geq 7$... redundanten robot

Kadar želimo položiti nek predmet na ravnino, nam zadoščajo tri prostostne stopnje. Dve določata pozicijo predmeta na ravnini, tretja pa določa orientacijo predmeta na ravnini. Za rešitev te naloge bi ustrezal že robot s tremi pravimi prostostnimi stopnjami (dve translaciji in ena rotacija). Lahko zaključimo, da število potrebnih prostostnih stopenj robota določa zahtevnost in tip robotske naloge.

Število prostostnih stopenj robota oziroma vrha robota mora biti večje ali vsaj enako številu prostostnih stopenj naloge, ki jo želimo rešiti. V nasprotnem primeru govorimo o singularni konfiguraciji.

Za redundantne robote velja, da imajo več kot 6 prostostnih stopenj in zato lahko določeno točko v prostoru dosežemo na neskončno različnih načinov. Običajni industrijski roboti imajo največ 6 prostostnih stopenj, saj z dodatnimi prostostnimi stopnjami postanejo naloge pozicioniranja in upravljanja mehansko nedoločeni (teoretično neskončno število možnih rešitev) in s tem se pojavi težava določanja optimalnih rešitev.

5.6.6 Zunanje in notranje spremenljivke robota

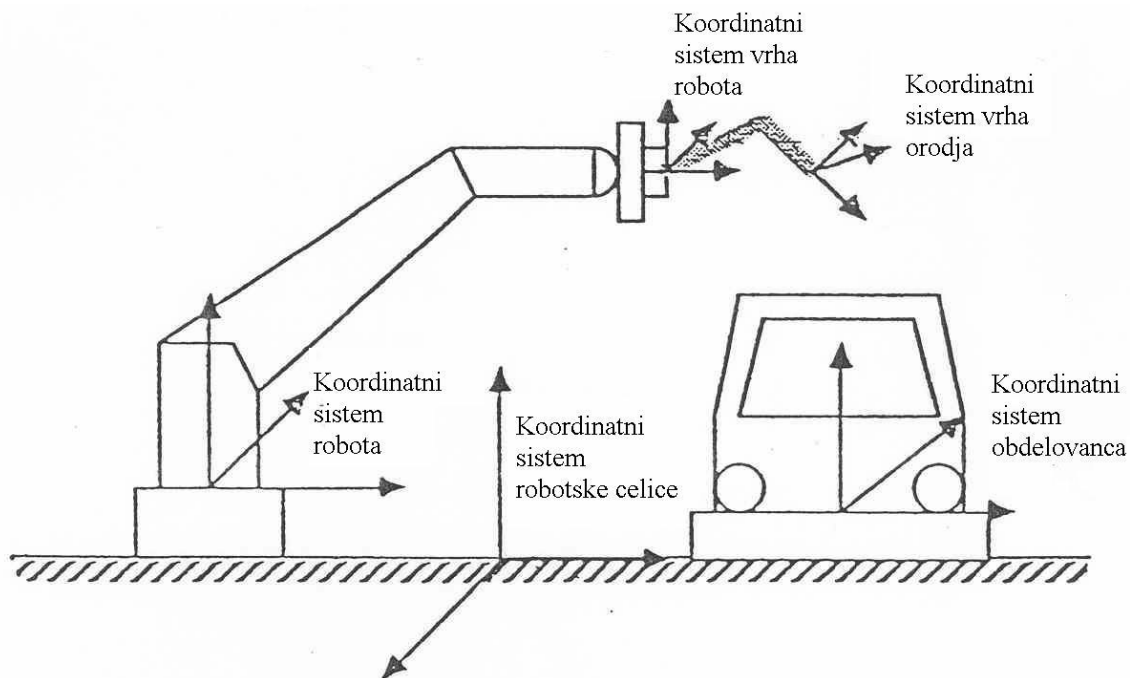
Z zunanjimi spremenljivkami robota opisujemo položaj in orientacijo vrha robota v nekem prostoru, ki mu pravimo robotsko okolje. Najpogosteje uporabljamo določanje položaja in orientacije s pomočjo klasičnega kartezijskega koordinatnega sistema. Glede na izbrano izhodišče, določimo položaj vrha robota s pomočjo vrednosti v smereh x , y in z . Orientacija je določena z vrednostmi zasuka okoli posameznih osi (x , y in z).

Z notranjimi spremenljivkami robota opisujemo trenutne vrednosti posameznih robotskih sklepov. Neka vrednost notranjih spremenljivk se izraža s tem, da robot oziroma njegov vrh zavzame nek določen položaj. Za določen položaj in orientacijo vrha robota potrebujemo določene vrednosti notranjih spremenljivk posameznih sklepov robota. V primeru, da lahko

dosežemo nek položaj in orientacijo vrha robota z več kot eno možno rešitvijo vrednosti notranjih spremenljivk, govorimo o že omenjeni singularni funkciji (redundanca).

Uporabnik robota v glavnem uporablja izražanje položaja in orientacijo vrha robota v zunanjih spremenljivkah, medtem ko so notranje spremenljivke predvsem domena samih proizvajalcev robota. Pri večini robotov lahko zunanje spremenljivke izražamo relativno glede na specifični izbrani koordinatni sistem. V avtomobilski industriji so koordinatni sistemi pogosto izraženi glede na izhodiščni položaj, ki se nahaja na primer v sredini samega vozila.

Na sliki 183 so prikazani različni možni koordinatni sistemi neke robotske celice. Od uporabnika je odvisno, kateri koordinatni sistem mu najbolj ustreza. Zaradi lažjega dela so pogosto osi posameznih koordinatnih sistemov v enakih smereh.



Slika 183: Različni koordinatni sistemi robotske celice
Vir: Lasten

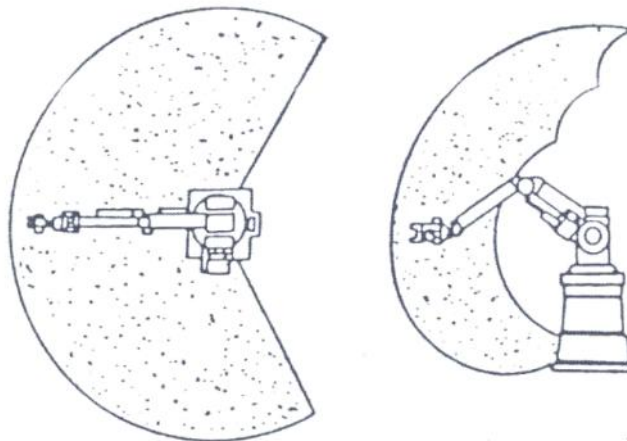
Zunanje in notranje spremenljivke robota so povezane med seboj preko Jacobijeve matrike. Jacobijeva matrika je neka splošna matematična funkcija, ki je vezana na določen robotski mehanizem in je zelo pomembna za samo analizo načina gibanja robota. Preko Jacobijeve matrike lahko študiramo načine krmiljenja robotskih sistemov, planiranja robotskih trajektorij, določanju in iskanju singularnih točk posameznih robotskih konfiguracij, pomagamo si lahko pri dinamični analizi robotskih mehanizmov ter nalogah transformacije sil in momentov na vrhu robota v sile in momente v sklepih mehanizma. Bolj ko je Jacobijeva matrika definirana, bolj realni so razni izračuni in simulacije!

Matematično enačbo, ki preko Jacobijeve matrike povezuje zunanje in notranje spremenljivke robota, lahko označimo kot osnovno enačbo v robotiki.

$$\underline{\Delta x} = \underline{J}(\underline{\mathcal{G}})\underline{\Delta \mathcal{G}} \quad \left| \quad \begin{array}{l} \underline{\Delta x} \\ \underline{\Delta \mathcal{G}} \\ \underline{J} \end{array} \quad \left| \quad \begin{array}{l} \dots \text{ sprememba izražena v zunanjih spremenljivkah} \\ \dots \text{ sprememba izražena v notranjih spremenljivkah} \\ \dots \text{ Jacobijeva matrika} \end{array} \right.$$

5.6.7 Delovni in priročni delovni prostor robota

Med pomembne lastnosti vsakega robota spada oblika njegovega delovnega prostora. Delovni prostor robota je definiran z vsemi točkami v prostoru, ki jih vrh robota lahko doseže. V primeru mobilnih robotov se njegov delovni prostor od industrijskih robotov seveda popolnoma razlikuje v smislu drugačne oblike in velikosti. Proizvajalci industrijskih robotov pogosto podajajo obliko in lastnosti delovnega prostora na grafični način, kot poenostavljeno prikazuje sledeča slika 184.



Slika 184: Tloris in stranski pogled delovnega prostora
Vir: MOTOMAN Robotec GmbH, reklamni prospekt

V osnovi vsako opravilo zahteva nek določen delovni prostor. Pri robotiziranju neke delovne naloge je tako seveda zelo pomembna študija potrebnega delovnega prostora. Na osnovi zahtev lahko nato določimo ustrezní tip robota. Pri študiji ne smemo pozabiti na omejitve, ki jih prinaša na robota nameščeno orodje ali prijemalo, prav tako je potrebno upoštevati morebitne omejitve prostora in delovnih priprav ter zahteve samega obdelovanca. Pri robotiziranju delovnih nalog se srečujemo z dvema vrstama nalog.

- a) Poznamo robot in moramo določiti njegov delovni prostor.

Potreba po določitvi oblike delovnega prostora je možna v primeru, da sami izdelamo robota ali pa da imamo na voljo robot brez ustrezne dokumentacije. Načeloma proizvajalci robotov v spremljajoči dokumentaciji prikažejo delovni prostor na grafični način. Delovni prostor določimo lahko tudi s pomočjo matematičnega izračuna (glej primer izračuna za dvosegmentni ravninski robot).



b) Poznamo delovni prostor in moramo določiti robot.

Ko pravimo, da poznamo delovni prostor, pomeni, da v bistvu poznamo prostorske zahteve naloge, katero želimo robotizirati oziroma opraviti s pomočjo robota. V primeru da se odločamo o nakupu novega robota, je pomembno, da zelo dobro poznamo prostorske zahteve naše naloge. Poznati moramo kakšne položaje in orientacije obdelovanca potrebujemo v samem procesu obdelave. Nerodno je, da izberemo robota, za katerega se kasneje izkaže, da ne zadovoljuje naše zahteve in z njim ne moremo realizirati rešitev naloge.

DELOVNI PROSTOR *določiti* ROBOT
⇒ ⇒ ⇒ ⇒ ⇒

S poznavanjem delovnega prostora robota še ne zagotovimo popolno rešljivost naloge, četudi se nahaja znotraj tega prostora. Od robota zahtevamo, da znotraj tega prostora opravi želeno delo in ne samo z vrhom robota doseči predpisano točko. Če želimo v neki točki opraviti neko poljubno delo, nam more orodje ali prijemalo z obdelovancem omogočiti doseganje te točke s poljubno orientacijo (3 podatki za položaj in 3 podatki za orientacijo).

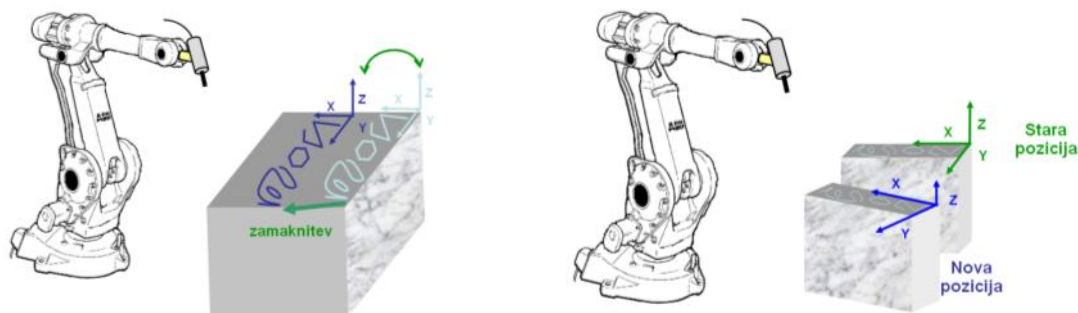
S tako zahtevo lahko definiramo priročni delovni prostor robota kot del delovnega prostora robota, v katerem lahko vsako točko dosežemo s poljubno orientacijo orodja ali prijemala. Iz definicije sledi pravilo, da ni nujno, da ima vsaka konfiguracija robota tudi priročni delovni prostor. Velja tudi, da je vsak priročni delovni prostor vedno znotraj področja delovnega prostora robota. Prav tako je razumljivo, da je priročni delovni prostor vedno manjši od delovnega prostora robota.

Za industrijske robote splošno velja izrek, da bo njegov delovni prostor tem večji, čim večje bodo dimenzije posameznih segmentov, ter da bo priročni delovni prostor tem večji, čim krajši bo zadnji segment.

Medtem ko delovni prostor robota dobimo predstavljenega s strani proizvajalca robota, je priročni delovni prostor specifičen, saj je odvisen od nameščenega orodja ali prijemala. Proizvajalec robota torej vedno poda samo obliko delovnega prostora robota in nikdar obliko priročnega delovnega prostora, saj ne pozna specifičnosti uporabe njihovih robotov.

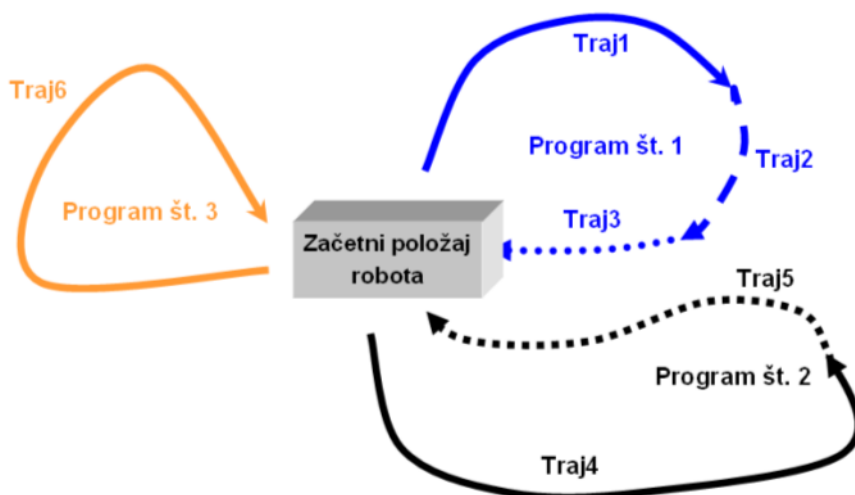
5.6.8 Primeri predstavitve delovnega prostora robota

V nadaljevanju nekaj grafičnih prikazov delovnega prostora. Skoraj vedno proizvajalec poda stranski in tlorisni pogled. Poleg grafičnega prikaza so v posebni tabeli zbrane posamezne mejne vrednosti posameznih sklepov.



Slika 187: Zamaknitev robotske trajektorije
Vir: Lasten

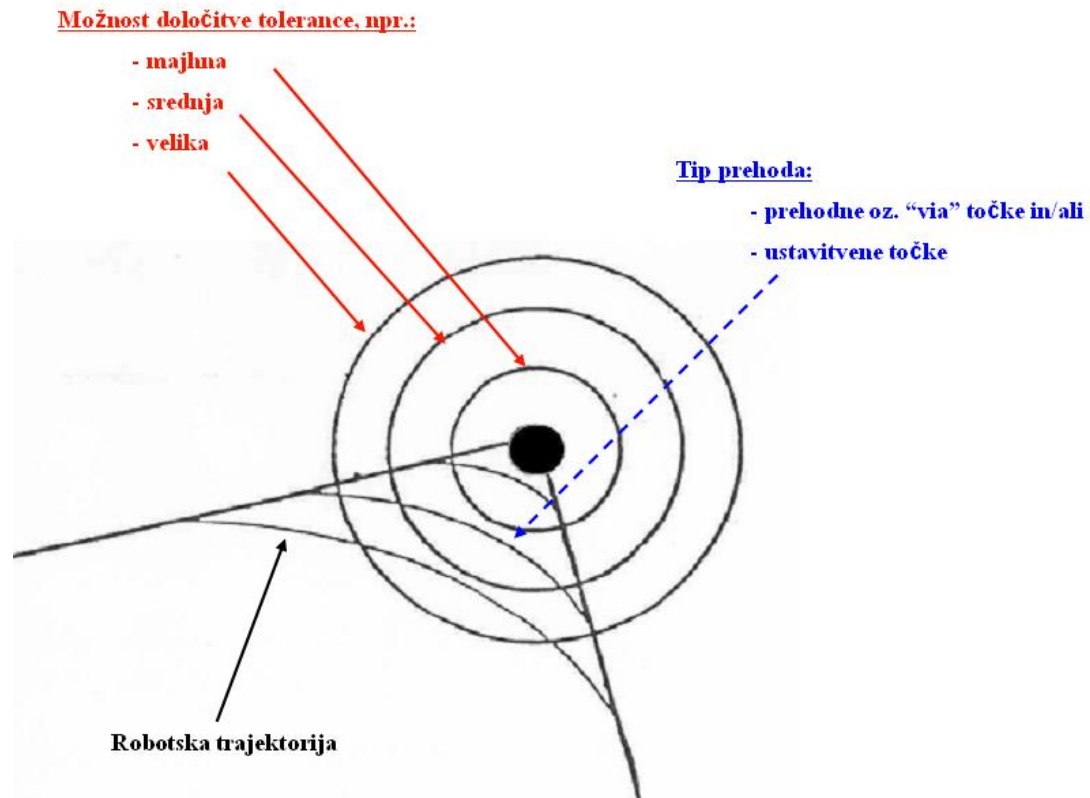
Robotska trajektorija je zaporedje točk v prostoru, ki jih vrh robota poveže na svoji poti. Točke so lahko določene kot ustavitvene ali prehodne. Razlika je v tem, da se robot v ustavitveni točki ustavi, medtem ko prehodno lahko preleti. V ustavitvenih točkah običajno izvedemo neko aktivnost (na primer zvarna točka, začetek barvanja, preverjanje informacij iz okolice in drugo). Prehodne ali tudi »via« točke uporabljamo tam, kjer je to obvezni položaj robota za nemoteno doseganje naslednje točke (obhod ovire, vmesna točka pri obračanju prijemala večjih dimenzij in drugo).



Slika 188: Robotski programi in trajektorije
Vir: Lasten

Običajno lahko pri obeh vrstah točk določimo, s kakšno natančnostjo želimo doseči shranjen položaj. Pri vsaki točki določimo toleranco, ki jo dopustimo. Zavedati se moramo, da za ustavitveno točko robot potrebuje več časa kot za prehodno ter da robot za večjo zahtevano natančnost potrebuje več časa. Pri generiranju robotskih trajektorij torej pazimo, da ne povečujemo časa cikla zaradi nepotrebnih ostrejših zahtev.

Tolerance lahko najlažje prikažemo s pomočjo tarče okoli zelene točke.



Slika 189: Tolerance v obliki tarče pri doseganju ustavitvenih in prehodnih točk
Vir: Lasten

Generiranje robotske trajektorije lahko na splošno razdelimo na tri glavne načine.

1. Ročno vodenje robota

a) učenje z neposrednim vodenjem pasivnega robota

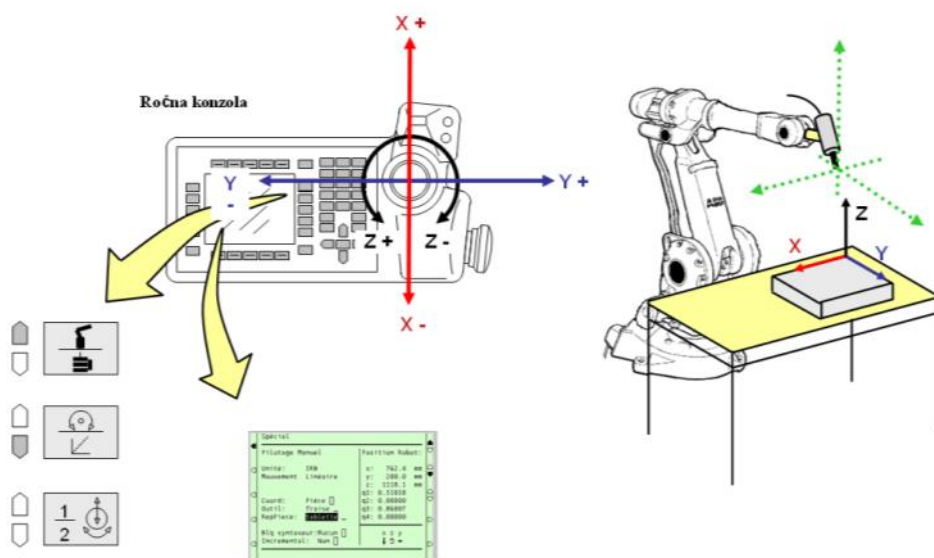
- operater vodi vrh robota po prostoru v skladu z zahtevano nalogo;
- za lahke oz. majhne robote ter naloge majhne natančnosti.

b) učenje z neposrednim vodenjem aktivnega robota

- operater vodi robot s pomočjo krmilnih ročic na vrhu robota ter shranjuje posamezne točke;
- operater ne premika robota fizično s svojo silo, ampak s pomočjo krmilne palice na samem robotu;
- ni mehanskih omejitev iz prejšnjega primera.

2. Vodenje s pomočjo ročne konzole

- vodenje aktivnega robota (operater stoji poleg robota) s pomočjo ročne konzole;
- preko konzole lahko spreminjamo, dodajamo ali odvezujemo točke ter v njih določamo željene aktivnosti;
- zaradi nahajanja v bližini robota med premikanjem je potrebna posebna varnost.



Slika 190: Ročna konzola za generiranje robotske trajektorije
Vir: Lasten



Slika 191: Primeri krmilne omare ter ročne konzole
Vir: www.abb.com/robotics (1.3.2011)

3. Programiranje robota s pomočjo računalnika (OFF LINE)

- izven delovnega mesta brez fizične prisotnosti robota;
- programiranje v ustreznih robotskih jezikih na zmogljivih računalnikih;
- možnost predhodnega preizkušanja (npr. dostopnost varilnih klešč, omejitve prostora idr.);
- prihranek delovnega časa robota ter možnost vnaprejšnje priprave;
- potrebno ustrezno visoko znanje.

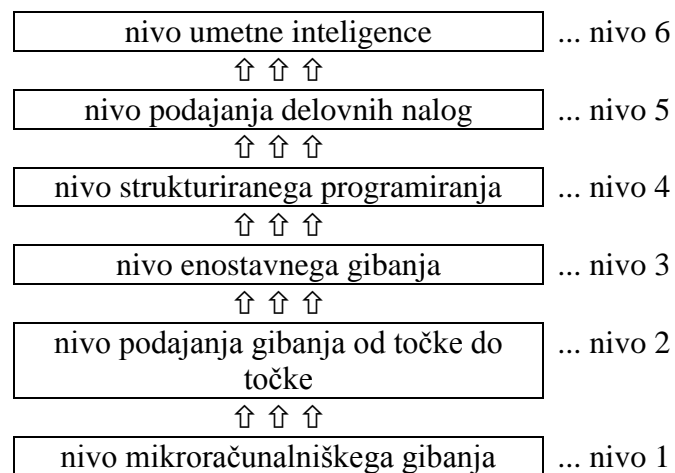


Slika 192: Robotska celica narejena s simulacijskim programom ROBCAD

Vir: http://www.atngmbh.com/home/company/images/stories/atn_dienstleistungen/robcat_08.jpg
(1. 3. 2011)

5.7.2 Robotski jeziki

Načini generiranja robotskih trajektorij se za uporabnika z razvojem robotike spreminjajo. V literaturi zasledimo razdelitev robotskih jezikov na 6 nivojev. Zadnji, šesti nivo, predstavlja najbolj razvit tip robotskega jezika.



Nivo 1

- omogoča najbolj preprosto upravljanje robota
- ukazi so odvisni od konstrukcije robota.

Nivo 2

- robot si zapomni množico točk, ki smo jih shranili pri predhodnem ročnem vodenju (ang. point to point)
- danes v praksi najbolj razširjen.

Nivo 3

- izboljššan nivo 2
- omogoča enostavne razvejitve, uporabo podprogramov, večje možnosti razpoznavanja okolice robota ter primitivna paralelna delovanja.

Nivo 4

- vključuje strukturirane ukaze in omogoča široko uporabo koordinatnih transformacij in izhodišč
- možno paralelno procesiranje ter uporaba spremenljivk stanja robota
- zapleten za razumevanje in uporabo (nepriimeren v običajnem delovnem okolju robota).

Nivo 5

- gibi robota niso več vnaprej programirani, temveč se generirajo v skladu z zahtevano nalogo
- programski jezik potrebuje tudi model okolja
- primer ukaza: POLOŽI PREDMET 1 NA PREDMET 2.

Nivo 6

- značilne so velike podatkovne baze z modelom okolja, ki se ažurira ob podpori senzorskega sistema
- vsebuje algoritme za preprečevanje trčenj in iskanje optimalne varne poti
- uporaba simulacijskih računalniških programov ter grafike omogoča tridimenzionalno projekcijo poteka dogodkov v proizvodni celici.

5.8 ROBOTSKA PRIJEMALA

Pravimo, da je industrijski robot opremljen ali s prijemalom ali z orodjem. Med orodja štejemo tisti zadnji segment, s katerim robot lahko opravi neko delo, kamor ne spadajo prijem in spust ter premikanje obdelovanca. Na robota nameščeno orodje so lahko varilne klešče, brizgalne šobe, optične kamere in drugo. Prijemala uporabljajo različne načine prijema.

5.8.1 Robotska prijemala

Pri robotskih prijemalih gre za boljši ali slabši posnetek človekove roke. V literaturi lahko odkrijemo podatek, da ima človekova roka v ožjem pomenu besede, torej zapestje in prsti, kar dvaindvajset prostostnih stopenj. Mehanska prijemala so seveda preprostejša, razvita do take stopnje, da so zmožna opraviti zahtevano nalogo.

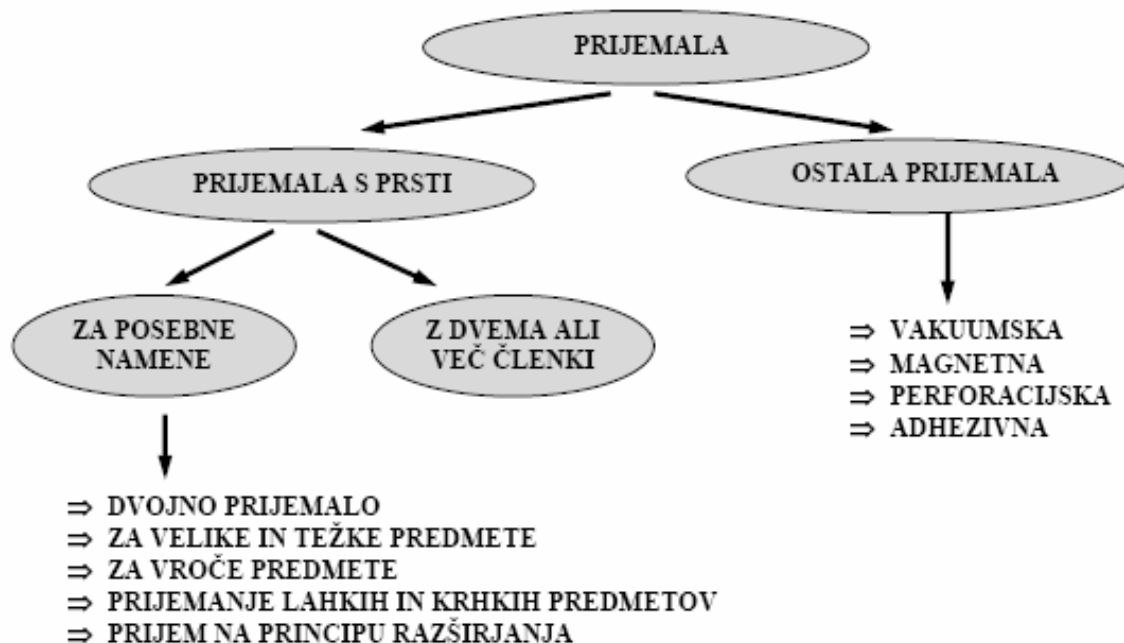
Razvoj vodi k univerzalnemu prijemalu, ki naj bi imelo več prstov in bi bilo opremljeno s senzorji za pritisk, položaj, silo, moment, težo, temperaturo in tako res podobno človekovi roki.

Na osnovi poskusov z različnimi oblikami predmetov je dokazano, da lahko s/z:

- 4 prsti zgrabimo 99 % vseh teles
- 3 prsti zgrabimo 90 % vseh teles
- 2 prstoma zgrabimo 40 % vseh teles.

Na osnovi teh rezultatov lahko zaključimo, da za prijem večine predmetov potrebujemo največ štiri prste. Pri tem je pomembna študija kontaktne površine med prsti in telesom. Kontakt je lahko točkovni, vzdolž premice ali ravninski.

Obstoječa prijemala industrijskih robotov lahko razdelimo na dve glavni skupini: prijemala s prsti ter skupina ostalih prijemal. Razdelitev prijemal je nazorno prikazana v naslednji shemi.



Slika 193: Razdelitev robotskih prijemal

Vir: Lasten

Prijemala z dvema ali več členki

So najpogosteje uporabljeni v izdelčni industriji in pogosto izdelana iz mehanizmov, ki imajo le dva člena. Glede na zahtevnost naloge, moramo določiti smer prijemanja in hitrost delovanja prijemala. Mehanizme z več členki uporabimo takrat, kadar želimo paralelno prijemanje prstov.

Prijemala s prsti za posebne namene

Dvojno prijemalo

Ima možnost prijema dveh obdelovancev hkrati. Uporabno, kadar želimo pridobiti na času, ker lahko istočasno drži že obdelani in še neobdelani kos. Odlaganje izdelanega ter pripravo neobdelanega kosa izvedemo v maskiranem času (čas obdelave obdelovanca).

Prijemalo za velike in/ali težke predmete

Če so predmeti veliki in težki hkrati, nastanejo težave.

Prijemalo za vroče predmete

Pomembno, da vročina na robota ne vpliva škodljivo. Včasih je potrebno dodatno hlajenje. V fazi nakupa robota pa je potrebno preveriti tipe robotov, ki so bolj odporni proti vročini.

Prijemalo za lahke in krhke predmete

Pogosto uporabljamo elastične vzmetne prste, da dosežemo omejeno silo prijemanja, omogoča pa tudi enostavno odpiranje in zapiranje.

Prijemalo, ki deluje na principu razširjanja

Takšna prijemala so uporabna pri predmetih, ki imajo odprtine. Preprost način je, da napihnemo balon v taki odprtini in s tem dosežemo, da robot drži predmet.

Ostala prijemala

Vakuumsko prijemalo

Uporabna so tam, kjer so površine obdelovanca ravne, čiste in gladke. Velika prednost teh prijemal je, da so zanesljiva, poceni in majhne teže.

Magnetno prijemalo

Lahko uporabljamo permanentne magnete ali elektromagnete. Pri permanentnih magnetih se pojavi težava pri spuščanju. Če obdelovanec to dopušča, je ena izmed preprostih rešitev ta, da predmet enostavno odrinemo od magneta.

Perforacijsko prijemalo

Princip prijema je prebadanje predmeta. Uporabljamo ga tam, kjer prebadanje ne povzroči škode (blago).

Adhezivno prijemalo

Deluje na principu lepljenja in je uporabno pri zelo krhkih predmetih. Težava nastopi pri spuščanju predmeta ter pri poslabšanju kvalitete lepila.

5.9 IZBIRA USTREZNEGA INDUSTRIJSKEGA ROBOTA

Pri iskanju ustreznega industrijskega robota za naše potrebe moramo dobro poznati zahteve za uspešno izvedbo naloge. Kot uporabnik moramo na primer poznati težo objektov, ki jih bo robot premikal, s kakšno natančnostjo moramo te objekte pozicionirati, kakšna je zahtevana hitrost izvedbe naloge, zahteve glede zanesljivosti delovanja, potrebne energijske razmere, povezava in komunikacija z okolico idr.

Pri določitvi tipa robota moramo imeti v mislih tudi njegovo morebitno kasnejšo ponovno uporabo. Želimo čim bolj izkoristiti njegovo mnogostranost, to je zmožnost opravljanja raznovrstnih nalog, ki niso določene vnaprej. Pogosto je v praktičnem načrtovanju nemogoče predvideti vse mogoče kasnejše vrste uporabe, prav tako od proizvajalca robotov ne izvemo vseh njegovih omejitev. Pogosto proizvajalci robotov, tako kot tudi na ostalih področjih, podajo samo dobre lastnosti njihovih robotov.

Sledi opis sedmih zahtev, ki jih moramo za točno določeno nalogo preveriti pred nakupom industrijskega robota.

5.9.1 Delovni prostor

Da lahko opravimo želeno nalogo, mora biti ta naloga dimenzijsko dosegljiva delovnemu prostoru robota. Zato je pomembno, da dodobra poznamo lastnosti in karakteristike naloge, ki jo želimo robotizirati, ker le tako lahko izberemo ustrezni oz. optimalni robot.

O delovnem prostoru je bilo več opisanega že v enem predhodnem poglavju. Ponovimo le, da tu ne govorimo samo o prostoru, ki ga opišemo z volumskimi merskimi enotami, ampak tudi o sami obliki prostora, ki je odvisna od omejitev gibanja v posameznih sklepih ter dimenzij posameznih segmentov. Največkrat je delovni prostor podan v grafični obliki.

5.9.2 Orientacija prijemala ali orodja

Ker ima vsak posamezni robotski sklep omejen obseg gibanja, je zelo pomembno, na kakšen način je pritrjeno prijemalo ali orodje na zadnjo os robota. Orientacija prijemala ali orodja glede na zadnjo os robota je odvisna glede na zahtevano nalogo. Z nameščenim prijemalom ali orodjem moramo doseči vse zahtevane položaje in orientacije za uspešno izvedbo naloge.

Pogosto je med prijemalom ali orodjem in zadnjo osjo robota vgrajen nosilec s specifično določeno geometrijsko obliko.

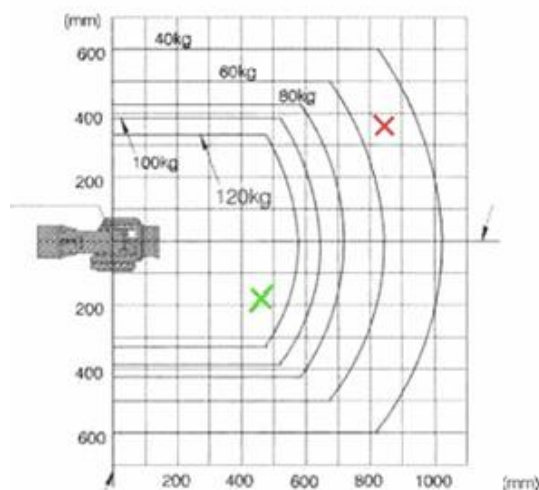
Proizvajalci robotov morajo podati posamezne maksimalne hode ali kote posameznih sklepov.

5.9.3 Obremenitev robota

Poleg delovnega prostora in orientacije prijemala ali orodja je pomembna praktična lastnost robota, njegova dopustna obremenitev oziroma kakšno breme lahko prenaša po delovnem prostoru. Proizvajalec poda t. i. efektivno breme, ki ga robot lahko prenaša po vsem delovnem prostoru.

Poleg skupne največje dovoljene obremenitve (prijemalo in objekt ali orodje) je zelo pomembno, kje se nahaja težišče prijemala z objektom ali nameščenega orodja. V ta namen proizvajalci podajo poseben graf, kjer krivulje prikazujejo dovoljene meje oddaljenosti težišča od zadnje osi v neposredni povezavi s samo težo. Slika 194 prikazuje primer, kjer lahko s položajem težišča, ki je označeno z zelenim križcem, obremenimo robota do 120 kg, medtem ko je pri težišču, označenem z rdečim križcem, dovoljena obremenitev največ 40 kg.

Če se težišče nahaja na robu določene krivulje in je obremenitev maskimalna za tisto območje, je možno, da se pojavijo težave zaradi preobremenitve (poenostavljen izračun težišča, neupoštevanje dinamičnih komponent kot je na primer opletanje dovodnih cevi do orodja med gibanjem idr.). Kot marsikje drugje tudi v tem primeru ni najboljše, da se nahajamo na robnih pogojih.



Slika 194: Dopustna obremenitev robota, ki je odvisna od položaja težišča
Vir: MOTOMAN Robotec GmbH, reklamni prospekt

5.9.4 Natančnost pozicioniranja

Proizvajalec poda za posamezni robot, kako natančno ga je mogoče prestaviti iz enega položaja v drugega. Natančnost pozicioniranja po celotnem delovnem prostoru ni enaka, ker je odvisna od vpliva elastičnosti posameznih segmentov, lastnosti mehanike posameznih sklepov, načina krmiljenja in seveda tudi od trenutno nameščenega bremena. Podatek o natančnosti, ki ga poda proizvajalec, mora veljati ne glede na obremenitev (seveda znotraj dovoljenih meja) in položaj robota (tudi pri popolnoma iztegnjenem položaju).

Proizvajalci lahko podajo podatek o natančnosti na dva možna načina:

- natančnost pozicioniranja vrha robota oziroma težišča prijemala ali orodja (v milimetrih),
- natančnost nastavljanja kota v posameznih sklepih (v radianih).

Uporabnik se mora zavedati, da se z nameščenim prijemalom ali orodjem poslabša podana natančnost s strani proizvajalca robota, ker je potrebno na primer upoštevati povečanje napake zaradi oddaljenosti prijema od vrha robota. Ker industrijski roboti pogosto nenehno ponavljajo isto operacijo, je pomemben podatek tudi ponovljivost te iste operacije. Proizvajalci to ponovljivost pogosto podajo v obliki podatka +/- x milimetrov.

V praksi velja, da naj bosta natančnost in ponovljivost čim bližje uporabnim mejam. Preostre zahteve tehnično in ekonomsko niso opravičljive.

5.9.5 Hitrost

Hitrost robota je ena izmed njegovih glavnih praktičnih lastnosti. Proizvajalci navadno podajo hitrost za rotacijske sklepe v stopinjah ali radianih na sekundo ter v milimetrih na sekundo za translacijske sklepe. Pri teh podatkih moramo biti zelo previdni, saj proizvajalec mnogokrat ne določi v kolikšnem času robot doseže omenjeno maksimalno hitrost. Pogosto je ta maksimalna hitrost odvisna tudi od oblike in dolžine poti med dvema točkama v prostoru. Proizvajalec včasih tudi ne omenja, da se hitrosti ob sočasnem gibanju vseh osi lahko zmanjšajo.

Zanimiva je tudi študija različnih oblik profilov hitrosti. Velja, da je povezavo vrha in zasukov sklepov možno zapisati preko že omenjene Jacobijeve matrike:

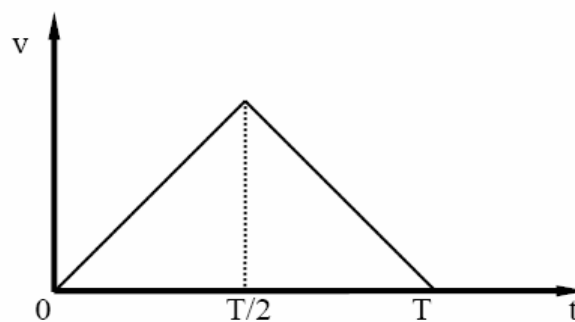
$$\underline{\Delta x} = \underline{J}(\underline{\mathcal{G}})\underline{\Delta \mathcal{G}}$$

Na osnovi zgornje enačbe lahko določimo trenutno hitrost vrha robota, kjer pomeni T perioda vzorčenja in opisuje hitrost vrha robota v odvisnosti od spreminjajočih se sprememb v posameznih sklepih.

$$\dot{\underline{x}} \approx \frac{\underline{\Delta x}}{T} = \underline{J}(\underline{\mathcal{G}}) \frac{\underline{\Delta \mathcal{G}}}{T} \cong \underline{J}(\underline{\mathcal{G}}) \dot{\underline{\mathcal{G}}}$$

Najpogostejši obliki hitrostnih profilov sta trikotni ter trapezni profil. Pri bolj podrobni analizi obeh profilov je možno odkriti posamezne odseke nelinearnosti ter posamezne vplive na obliko poti in pospeška.

Trikotni hitrostni profil:

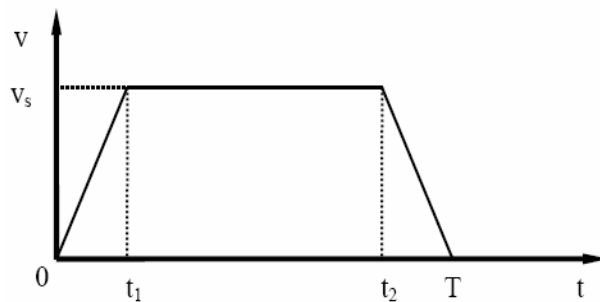


v – hitrost
T - celotni čas gibanja
S - pot

Slika 195: Trikotni hitrostni profil
Vir: Lasten

$$S = \int_0^T v dt = a \int_0^{T/2} t dt - a \int_{T/2}^T (t - T) dt = a \frac{T^2}{4}$$

Trapezni hitrostni profil:



v_s - hitrost nasičenja
 T - celotni čas gibanja
 S - pot
 a - pospešek oz. pojemek

Slika 196: Trapezni hitrostni profil
 Vir: Lasten

$$S = a \int_0^{t_1} t dt + v_s \int_{t_1}^{t_2} dt - a \int_{t_2}^T (t - T) dt$$

5.9.6 Zanesljivost

Kot pri ostali tehnični opremi je tudi v robotiki zanesljivost določena s pogostostjo okvar. Zanesljivost lahko izrazimo z odstotkom časa, v katerem robot ne more opravljati zadane naloge. Seveda je pri vsakem zastoju pomembno poznati vzrok za zaustavitev. V industriji je bolj zanimivo spremljanje zanesljivosti celotne robotske celice ali linije, kjer robot predstavlja samo en del možnega vzroka za nedelovanje celotne celice. Zaustavitev povzroči lahko tudi preostala oprema. Pogosto je delovanje samega robota dovolj zanesljivo, medtem ko posamezne aplikacije lahko povzročajo težave pri zanesljivem delovanju.

5.9.7 Povezovanje z okolico

V proizvodnem procesu imamo običajno opravke z različnimi nalogami, ki so si povezane in si tudi sledijo po nekem časovnem zaporedju. Robot, ki se nahaja sredi nekega procesa, mora biti sposoben komunicirati z drugimi roboti, stroji in preostalo opremo.

Vsak robot ima svoj krmilnik, ki predstavlja sintezo krmilnih zakonov, kateri upravljajo gibanje motorjev in s tem segmentov robotskega mehanizma. Omogoča želeno gibanje zadnjega segmenta - vrha manipulatorja. Vsak robot preko svojega robotskega krmilnika komunicira s krmilnikom produkcijske celice, ki nadzoruje in določa zaporedje operacij, ki jih je potrebno opraviti na osnovi morebitnih dodatnih informacij in pogojev iz okolice. Krmilniku produkcijske celice je potrebno določiti ustrezn algoritem, ki upošteva vse možne kombinacije položajev in izvedbe del posameznih elementov, ki so del te produkcijske celice.

Če imamo na primer produkcijsko celico, ki je sestavljena iz dveh robotov, tekočega traku kot vhoda obdelovancev, sistema za ponovljivo enako pozicioniranje vhodnega obdelovanca, obdelovalnega stroja ter tekočega traku za odlaganje obdelanega obdelovanca oziroma kot izhod te produkcijske celice, potem mora biti krmilnik te produkcijske celice zmožen uspešno določiti in nadzorovati posamezne faze obdelovalnega procesa. Robotu dovoli prijem objekta na vhodnem tekočem traku le, če je obdelovanec pravilno pozicioniran na svojem mestu in ga po končani obdelavi odloži na izhodni trak, če je seveda prosto odlagalno mesto. V primeru,

da imata dva robota del skupnega delovnega prostora, potem krmilnik produkcijske celice ne sme dovoliti vstopa robota v delovni prostor drugega robota, če se ta seveda še nahaja v tem skupnem delovnem prostoru.

Več ko je v produkcijski celici vključenih različnih elementov, bolj zmogljiv mora biti njegov krmilnik in bolj zahteven je njegov algoritem delovanja.

5.10 KINEMATIKA V ROBOTIKI

Pri kinematiki gre za področje mehanike, kjer študiramo gibanje oziroma opisujemo geometrijske razmere (poti, kote, ploske in prostor) ter hitrosti in pospeške teles brez upoštevanja mas in sil.

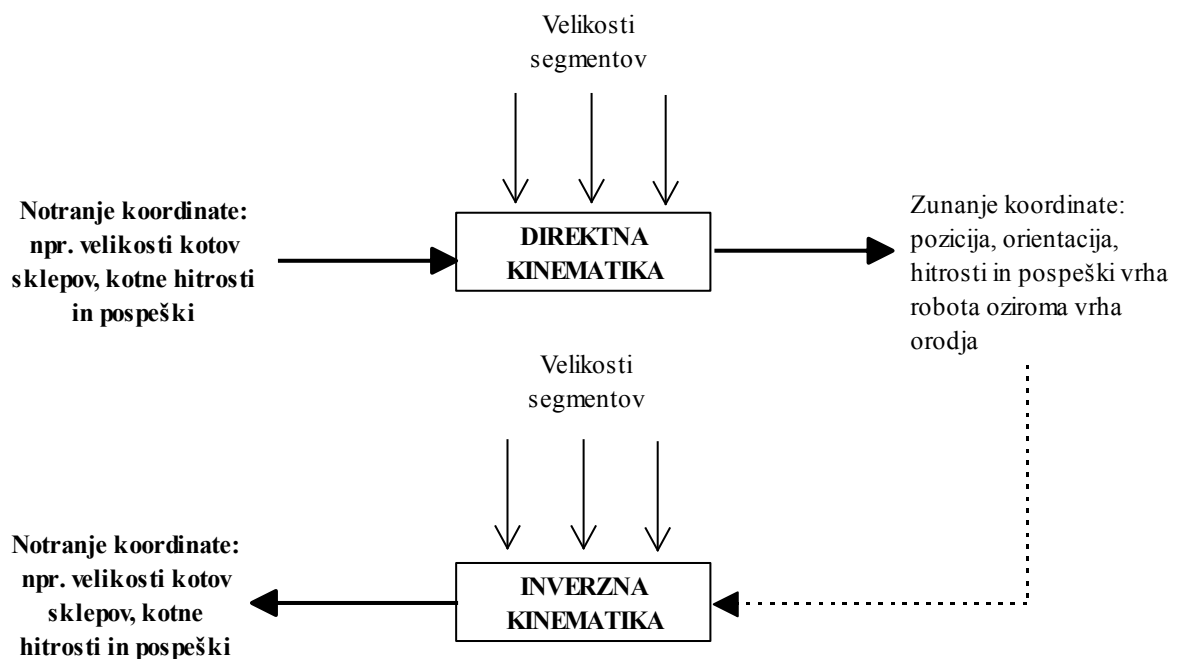
Naloge kinematike v robotiki delimo na dve vrsti:

a) Direktna naloga (enoznačna)

Na osnovi podanih dimenzij posameznih segmentov in vrednosti notranjih spremenljivk moramo določiti položaj vrha robota, izražen v zunanjih spremenljivkah.

b) Inverzna naloga (mnogoznačna)

Na osnovi znanega robotskega sistema je potrebno za določen položaj vrha robota določiti ustrezne notranje spremenljivke. Inverzni kinematični problem je veliko bolj zahteven izračun od izračuna direktne kinematike.



Slika 197: Predstavitev direktnega in inverznega kinematičnega problema

Vir: Lasten

5.10.1 Homogene transformacije

Homogene transformacije so matrice s katerimi lahko na matematični način definiramo odnos med predmeti. V našem primeru najpogosteje odnos med nekim predmetom in vrhom robota oziroma njegovim prijemalom. S pomočjo homogene transformacije lahko nek element (točko, vektor, lik itd.) poljubno krat transformiramo oziroma preslikujemo. V robotiki je osnovna oblika matrice reda 4×4 .

Poznamo transformacije za translacije in rotacije.

5.10.1.1 Translacijska transformacija

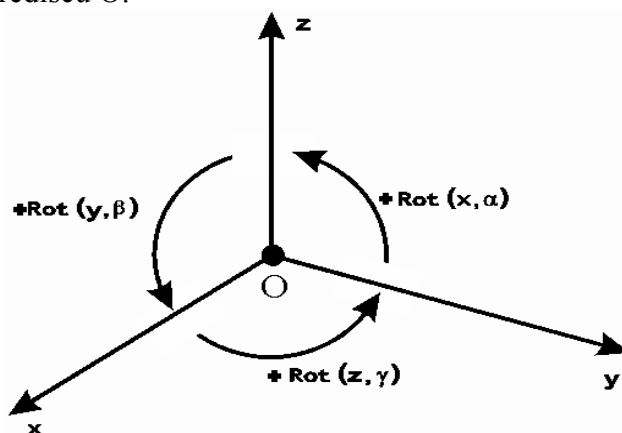
Za translacijo, ki jo podaja vektor $x = a\mathbf{i} + b\mathbf{j} + c\mathbf{k}$, je translacijska matrika definirana kot matrika $\underline{\underline{H}}$:

$$\underline{\underline{H}} = \text{Trans}(a, b, c) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

5.10.1.2 Rotacijske transformacije

V primeru zavrnega koordinatnega sistema za nek kot lahko s pomočjo rotacijskih transformacij določimo koordinate v osnovnem, nezavrnem koordinatnem sistemu. Izrazimo na primer neko točko v zavrnem koordinatnem sistemu x' , y' in z' v koordinatah x , y in z osnovnega koordinatnega sistema.

Pozitivna smer rotacije je v nasprotni smeri urinega kazalca oziroma po pravilih desnoročnega koordinatnega sistema. Ko to ugotavljamo, moramo gledati iz pozitivne smeri neke koordinatne osi proti središču O .



Slika 198: Desnoročni koordinatni sistem z vrisanimi pozitivnimi rotacijami

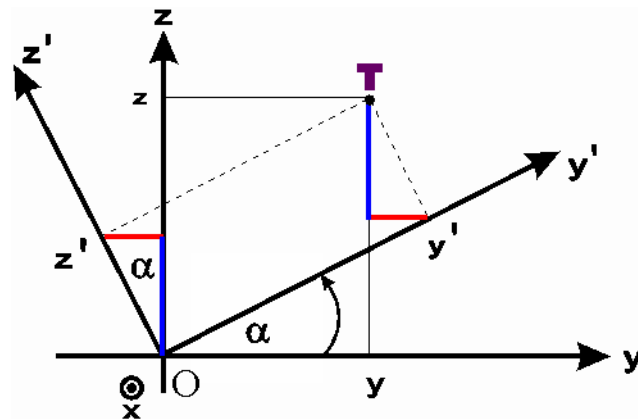
Vir: Bajd in Karčnik, 1999

Ker so možne translacije v treh smereh, v smeri x, y in z, poznamo seveda tudi tri možne rotacije. Rotacije okoli osi x, y ali z.

Rotacija okoli x osi

$$\begin{aligned} y &= y' \cos \alpha - z' \sin \alpha \\ z &= y' \sin \alpha + z' \cos \alpha \end{aligned}$$

$$\underline{\underline{Rot}}(x, \alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} x \\ y \\ z \end{matrix}$$

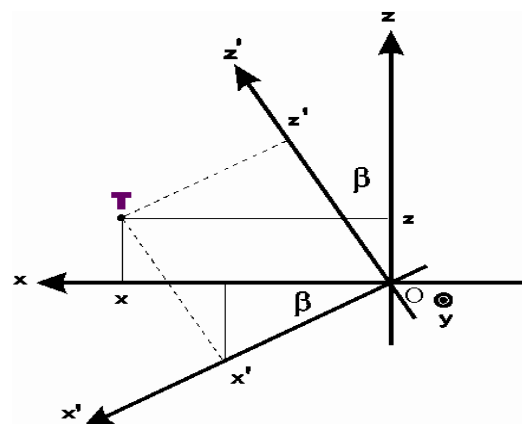


Slika 199: Rotacija okoli x osi
Vir: Bajd in Karčnik, 1999

Rotacija okoli y osi

$$\begin{aligned} x &= x' \cos \beta - z' \sin \beta \\ z &= -x' \sin \beta + z' \cos \beta \end{aligned}$$

$$\underline{\underline{Rot}}(y, \beta) = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

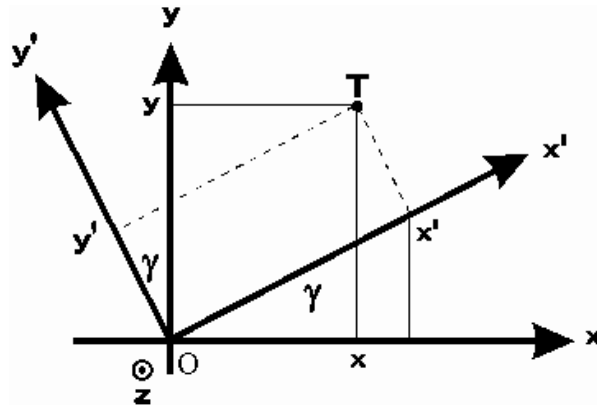


Slika 200: Rotacija okoli y osi
Vir: Bajd in Karčnik, 1999

Rotacija okoli z osi

$$\begin{aligned} x &= x' \cos \gamma - y' \sin \gamma \\ y &= x' \sin \gamma + y' \cos \gamma \end{aligned}$$

$$\underline{\underline{\text{Rot}(z, \gamma)}} = \begin{bmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



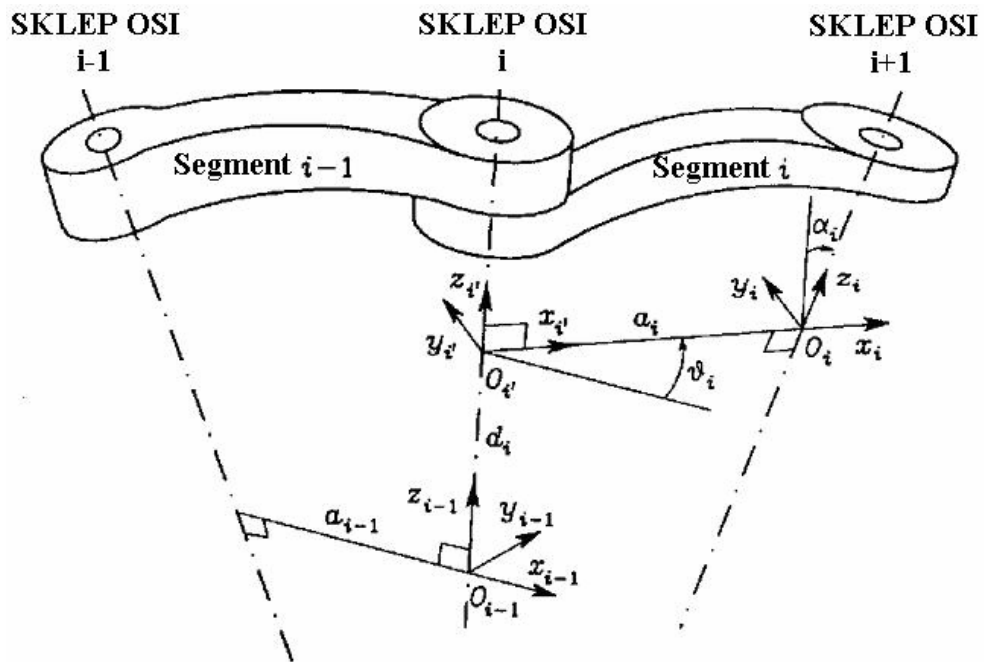
Slika 201: Rotacija okoli z osi
Vir: Bajd in Karčnik, 1999

5.10.2 DH (Denavit – Hartenberg) zapis

Denavit – Hartenbergerjev zapis je postopek za izračun direktne kinematike za splošno odprto kinematično verigo. Zapis predpostavlja, da vsak sklep povezuje samo dva segmenta. Izpeljava za celotni robotski sistem sloni na posamezni študiji kinematične zveze med samo dvema zaporednima segmentoma.

Opis postopka je povzet po Alojz Kralj, Tadej Bajd, Robotika, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, 1992.

Najprej je potrebno na povsem splošen način določiti relativno pozicijo in orientacijo med dvema zaporednima segmentoma. Določimo dva koordinatna sistema, ki sta pripeta na vsakega od segmentov, med katerima bomo določili koordinantno transformacijo. Na sliki 202 je prikazano, da os i povezujeta segmenta i-1 in i.



Slika 202: Koordinatni sistemi pri DH zapisu
Vir: Bajd in Karčnik, 1999

Za Denavit – Hartenbergerjev zapis i -tega koordinatnega sistema robotskega segmenta veljajo naslednja pravila:

- izberi os z_i vzdolž osi sklepa $i+1$,
- postavi koordinatno izhodišče O_i na presečišče osi z_i s skupno normalo na osi z_{i-1} in z_i . Postavi koordinatno izhodišče O_{i-1} na presečišče te skupne normale in osi z_{i-1} .

Predstavljati si moramo dve premici v prostoru. Skupna normala predstavlja najmanjšo razdaljo med obema premicama in je pravokotna na vsako od premic. Kadar sta dve premici vzporedni (kar je v robotiki pogost primer), potem skupna normala ni enotno določena. To postopka nič ne moti, saj je vseeno, kam postavimo koordinatno izhodišče. Kadar se dve premici sekata, normale ne moremo določiti in smer normale je poljubna.

- izberi os x_i vzdolž skupne normale na osi z_{i-1} in z_i tako, da je usmerjena od sklepa i k sklepu $i+1$,
- izberi os y_i tako, da dobiš desnosučni koordinatni sistem.

Poleg vzporednih osi in osi, ki se sekajo, dobimo neenotno definicijo lege koordinatnih sistemov še v naslednjih primerih:

- v primeru baznega - 0-tega segmenta - je določena le os z_0 . Položaj izhodišča O_0 in smer osi x_0 sta potemtakem poljubna,
- za koordinatni sistem prijemale, n -ti koordinatni sistem, je določena samo os x_n , ki mora biti pravokotna na os z_{n-1} . Ker nimamo sklepa $(n+1)$, ne moremo določiti smeri z_n , ki je lahko poljubno izbrana,
- kadar je i -ti sklep translacijski, določimo le smer osi z_{i-1} .

Takšne nedoločenosti uporabimo z namenom, da DH zapis poenostavimo. Ponavadi poljubne osi izberemo tako, da so paralelne z osmi, ki pripadajo koordinatnemu sistemu prejšnjega segmenta.

V nadaljevanju narišimo še skupno normalo med $i-1$ in i -to osjo. Dobimo koordinatno izhodišče O_{i-1} . Os z_{i-1} poteka vzdolž i -te osi sklepa, os x_{i-1} pa vzdolž nove skupne normale.

Končno narišemo še koordinatni sistem (x_i, y_i, z_i) , ki ima izhodišče v O_i , in smo ga določili že v začetku. Os x_i leži na isti skupni normali in ima isto smer kot x_{i-1} . Os z_i leži vzdolž osi i -tega sklepa. Os y_i dopolnjuje desnosučni koordinatni sistem.

Potem ko smo postavili koordinatni sistem segmentov, je lega i -tega koordinatnega sistema glede na $i-1$ koordinatni sistem povsem določena z naslednjimi štirimi parametri:

- a_i - razdalja med O_i in O_i' (dolžina sklepov)
- d_i - razdalja med O_{i-1} in O_i' (koordinata koordinatnega izhodišča O_i' vzdolž z_{i-1} osi; translacijski sklep)
- α_i - kot med osema z_{i-1} in z_i okrog osi x_i . Kot je pozitiven v primeru zasuka, ki je nasproten smeri urinega kazalca (če je $\alpha_i = 0$ ostanemo v ravnini)
- θ_i - kot med osema x_{i-1} in x_i okrog osi z_{i-1} . Kot je pozitiven v primeru zasuka, ki je nasproten smeri urinega kazalca (rotacijski sklep).

Parametra a_i in α_i sta vedno konstantna in sta odvisna le od povezav in geometrije med dvema zaporednima sklepoma, ki ju povezuje i -ti segment.

Od ostalih dveh parametrov je le en spremenljivka, glede na tip sklepa, ki povezuje i -ti in $(i-1)$ -ti segment:

- če je i -ti sklep rotacijski, je spremenljivka θ_i
- če je i -ti sklep translacijski, je spremenljivka d_i .

Relacijo med koordinatnim sistemom i ter koordinatnim sistemom $i-1$ lahko zapišemo z naslednjimi štirimi koraki:

1. Izberi koordinatni sistem, ki je povezan s koordinatnim sistemom $(i-1)$.
2. Translacijsko premakni izbrani koordinatni sistem za razdaljo d_i vzdolž osi z_{i-1} in ga zavrti za kot θ_i okrog osi z_{i-1} . Ta operacija poravna trenutni koordinatni sistem s koordinatnim sistemom O_i' . Opišemo jo z naslednjo homogeno transformacijo:

$$\underline{\underline{A}}_i^{i-1} = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & 0 \\ s\theta_i & c\theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Kjer $c\theta_i$ pomeni cosinus kota θ_i oziroma $s\theta_i$ sinus kota θ_i .

3. Translacijsko premakni koordinatni sistem povezan z O_i' , za razdaljo a_i vzdolž osi x_i in ga zavrti za α_i okrog osi x_i . Ta operacija poravna trenutni koordinatni sistem s koordinatnim sistemom O_i . Opisuje jo naslednja matrika:

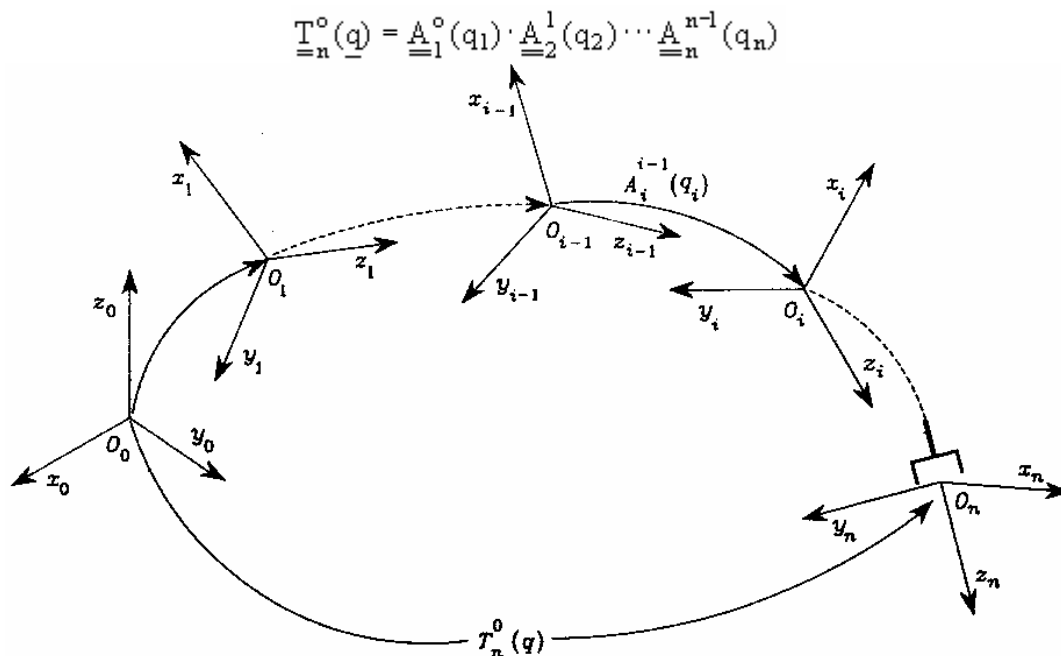
$$\underline{\underline{A}}_i^{i'} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & c\alpha_i & -s\alpha_i & 0 \\ 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

4. DH transformacijo dobimo s postmultiplikacijo posameznih transformacij:

$$\underline{\underline{A}}_i^{i-1}(q_i) = \underline{\underline{A}}_i^{i-1} \cdot \underline{\underline{A}}_i^{i'} = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i c\alpha_i & s\theta_i s\alpha_i & a_i c\theta_i \\ s\theta_i & c\theta_i c\alpha_i & -c\theta_i s\alpha_i & a_i s\theta_i \\ 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Kot že omenjeno, je transformacijska matrika funkcija ene same spremenljivke, θ_i za rotacijski sklep in d_i za translacijski sklep.

DH zapis direktne kinematike je sestavljen iz posameznih predhodno določenih DH transformacij. Za vsak segment, kateremu smo določili koordinatni sistem, izračunamo transformacijo, ki opisuje lego n-tega koordinatnega sistema glede na osnovni koordinatni sistem.



Slika 203: Koordinatni sistemi za odprto kinematično verigo z i osmi
Vir: Bajd in Karčnik, 1999

Direktno kinematiko računamo tako, da opravljamo množenje s transformacijami, ki jih povzročijo posamezne prostostne stopnje.

Način izračuna je veljaven za vsako odprto kinematično verigo in poteka s pomočjo zgornje skice po sledečem vrstnem redu:

- Oštevilči osi vseh sklepov po vrstnem redu ter določi smer osem z_0, z_1, \dots, z_{n-1} .
- Osnovni koordinatni sistem postavimo tako, da je koordinatno izhodišče na os z_0 ; osi x_0 in y_0 izberemo tako, da dobimo desnosučni koordinatni sistem.

Korake od 3 do 5 moramo opraviti za $i=1, 2 \dots n-1$ oziroma za vse osi.

- Postavi koordinatno izhodišče O_i na presečišče osi z_i in skupne normale na osi z_{i-1} in z_i . Če sta osi z_{i-1} in z_i paralelni in je i -ti sklep rotacijski, potem postavi O_i tako, da bo $d_i=0$. Če je i -ti sklep translacijski, potem postavi O_i v referenčno lego glede na obseg translacijskega giba v skladu z mehanskimi omejitvami.
- Postavi x_i vzdolž skupne normale na oseh z_{i-1} in z_i , tako da je usmerjena od i -tega sklepa k sklepu $i+1$.
- Izberi os y_i tako, da dobiš desnosučni koordinatni sistem.
- Izberi koordinatni sistem n z osjo x_n , ki je pravokotna na os z_{n-1} . Če je zadnji sklep rotacijski, potem poravnaj os z_n z osjo z_{n-1} .
- Napiši tabelo parametrov a_i, d_i, α_i in θ_i za $i=1, 2 \dots n$
- Na osnovi parametrov v tabeli izračunaj homogeno transformacijsko matriko $A_i^{i-1}(q_i)$ za $i=1, 2 \dots n$
- Izračunaj funkcijo direktne kinematike, ki podaja lego koordinatnega sistema n glede na osnovni koordinatni sistem.

$$\underline{T}_n^0(q) = \underline{A}_1^0(q_1) \cdot \underline{A}_2^1(q_2) \cdots \underline{A}_n^{n-1}(q_n)$$

Lego in orientacijo prijemala ali orodja, to je n -tega koordinatnega sistema, smo določili že na začetku. V primeru, da izračun po DH zapisu ne bo pravilen, je potrebno dodati konstantno homogeno transformacijo, ki uskladi oba koordinatna sistema.

5.11 PRIHODNOST ROBOTIKE

5.11.1 Umetna inteligenca v robotiki

Inteligenco na splošno lahko kategoriziramo kot:

- lastnost za učenje in razumevanje,
- lastnost, da se znajdemo v novih situacijah,
- lastnost za preizkušanje,
- lastnost, da pridobljeno znanje zavestno in usmerjeno uporabljamo.

Tako kot pri definiciji robotike tudi neke osnovne, splošno veljavne definicije umetne inteligence ni. Ena izmed prvih definicij na osnovi načina odločanja je bila leta 1983 definirana s pomočjo testov v Ameriki (E. Rich, Artificial Intelligence, New York, 1983):

1. Oseba se nahaja v sobi 1, računalnik v sobi 2 ter kandidat v sobi 3.
2. Vsi so povezani preko računalniške povezave. V sobi 1 je terminal 1, v sobi 2 terminal 2 ter v sobi 3 terminal 3.

3. Kandidat (pri terminalu 3) poskuša s pomočjo vprašanj ugotoviti, kateri terminal (1 ali 2) je povezan z računalnikom.
4. Če kandidat ne more ugotoviti razlike, potem govorimo o umetni inteligenci.

O umetni inteligenci lahko govorimo tudi takrat, kadar uporabljamo računalnik za opravljanje nalog, kjer smo predhodno predpostavili, da jih je zmožen opraviti le človek.

Kot posledica študije umetne inteligence je razvoj računalniških sistemov, ki jih uporabljamo na področjih, katere že po naravi povezujemo s človekovo inteligenco.

Tabela 29 prikazuje primerjavo razlik med naravno in umetno inteligenco.

Tabela 29: Razlike med naravno in umetno inteligenco

NARAVNA INTELIGENCA	UMETNA INTELIGENCA
kreativnost	nekreativnost
učenje, pridobivanje znanja	znanje je potrebno posredovati, naučiti
senzorski vhodi	simbolni vhodi
širok obseg zaznavanja	ozek obseg zaznavanja
potreben čas učenja	enostavno množenje
dragoceno	ceneno
neenakomerno	enakomerno
spremenljivo	nespremenljivo
težko arhiviranje	enostavno arhiviranje

Vir: Lasten

Delovna področja umetne inteligence lahko na splošno razdelimo na 3 med seboj neodvisne sklope:

- obdelava govora
- razvoj inteligentnega robota
- razvoj računalniških programov, ki se s pomočjo znanja simbolike obnašajo človekovim odločitvam podobno.

Cilj robotizacije je reševanje nalog, kar pomeni najti ustrezno oziroma optimalno pot od začetne situacije do zelenega cilja. Pri prehodu te poti lahko človek zavestno ali podzavestno opravi določene naloge. Reševanje nalog je mentalna lastnost, ki jo pogosto označujemo kot razmišljanje. Vsako razmišljanje seveda še ne vodi k rešitvi naloge. Ali rešitve ne najdemo (primanjkuje nam znanja, ne vztrajamo idr.) ali pa rešitev sploh ne obstaja. Pri umetni inteligenci poskušamo v bistvu kopirati človekovo razmišljanje in njegov način odločanja.

Pri reševanju neke naloge lahko uporabimo naslednje načine:

- s pomočjo preizkušanja oziroma poskusi
- neupoštevanje morebitne omejitve
- iskanje poti od cilja nazaj (če je znan)
- uporaba sistemskih metod, zapisovanje že preizkušenih poti, obdelava in analiza rezultatov.

Rešitev naloge je težavna, če je naloga slabo ali pomanjkljivo definirana (realne naloge so pogosto pomanjkljivo definirane):

- cilj ni neposredno opisan oz. podan
- okoliščine niso jasno opisane
- prostor naloge je neskončen
- časovna omejitev za določitev rezultata.

Človeku uspe neko nalogo rešiti, ker uporablja že znane rešitve in znanja, ki jih ima v svojem spominu na razpolago. Pri zahtevnejših nalogah gre v bistvu za določanje potrebnega znanja, da se težavnost naloge poenostavi.

5.11.2 Prihodnost robotskih sistemov – roboti 3. generacije

Tako kot na primer v mobilni telefoniji lahko tudi v robotiki govorimo o njihovi 3. generaciji. Načeloma označujemo začetke razvoja kot 1. generacijo, trenutno razširjene aplikacije kot 2. generacijo. V bližnji ali daljni prihodnosti pa bomo pričali robotom 3. generacije.

Ena izmed možnih definicij za robote 3. generacije je lahko sledeča:

“Robot 3. generacije je stroj, opremljen s senzorji, in je zmožen rešiti določeno število definiranih nalog pod pogojem, da naloga ni predhodno neposredno znana. Zahtevano preverjanje, preizkušanje, izvajanje, učenje in ostalo se izvede na osnovi samostojne odločitve robota” (Dieter W. Wloka: *Roboter systeme 1, 2 in 3*, Springer - Verlag Berlin Heidelberg New York, Berlin, 1992).

Osnovne lastnosti robotov 3. generacije:

- samostojno načrtovanje, preverjanje in nadziranje določenega števila nalog
- adaptivno obnašanje
- možnost samostojnega učenja novih algoritmov za izvedbo, nadziranje ali preverjanje določenih nalog.

Inteligentni robot prihodnosti bo sposoben zaznavati in obdelovati informacije iz svoje okolice ter jih upoštevati pri svojem izvajanju naloge. Inteligentni roboti bodo lahko na osnovi informacij okolice reagirali na spremembe ter si spremenili predvideno izvajanje naloge. Na osnovi senzorskih podatkov bodo lahko logično odločali ter istočasno komunicirali s človekom ali nekim računalniškim sistemom.

Lastnosti inteligentnega robota lahko zajamemo z naslednjimi lastnostmi:

- so mobilni in samostojno vodljivi
- se adaptivno obnašajo
- njihovo programiranje je človeku in nalogi prijazno
- glavni program vsebuje vrsto delnih nalog in akcij
- opremljeni so z močno senzorsko podporo
- možnost sprotne obdelave in obnavljanje znanja na osnovi senzorskih podatkov
- izboljšana mehanska konstrukcija; robot je več modularno sestavljen, lahko ima več robotskih rok
- je opremljen z univerzalnim prijemalom za izvajanje različnih nalog
- ima možnost komuniciranja z okolico (razumevanje govora).

Medtem ko je nivo lastnega odločanja in »razmišljanja« današnjih industrijskih robotov še zelo na nizkem nivoju, naj bi bil potek »razmišljanja« bodočega inteligentnega robota že bolj podoben naravnemu razmišljanju.

Potek razmišljanja inteligentnega robota poteka v 4 osnovnih fazah.

1. Zaznavanje več različnih senzorskih informacij
2. Obdelava vseh senzorskih podatkov
3. Izbiranje optimalne poti k rešitvi
4. Določitev optimalnih akcij

Dodatno k danes že uveljavljenim korakom bomo torej priča avtomatskemu iskanju poti in generiranju trajektorij, razvoju strategije prijema in posebnih gibov robotske roke.

V razmislek:

Sodelujete v ekipi, ki ima nalogo postaviti oz. zagnati prvi industrijski robot v vašem podjetju. Predpostavljamo, da prav vi najbolj poznate področje robotike.

1. Kako boste izbrali tisti pravi delovni proces, ki bi ga robotizirali? Katere so najbolj pomembne komponente, ki vplivajo na pravilni oz. optimalni izbor?
2. Za neko konkretno, danes vam dobro poznano ročno delovno mesto, poskušajte določiti osnovne zahteve za robota (kako je z dostopnostjo oz. delovnim prostorom, obremenitvijo, zahtevano natančnostjo, hitrostjo delovanja oz. časom cikla, ki ga imate na voljo, zanesljivostjo delovanja, pogoji postavitve robota in njegove okolice idr.).
3. Kako boste opremili robota oz. kaj boste na njega namestili? Ali potrebujete kakšna posebna specifična znanja (s področja varjenja, barvanja ...)?
4. Na kakšen način boste generirali robotsko trajektorijo oz. pot? S pomočjo simulacijskega programa ali neposredno z robotom?
5. Kako bo izveden projekt postavitve in zagon robotske celice?
6. Ali ste pri osnovni študiji upoštevali morebitne kasnejše prilagoditve v primeru zamenjave obstoječega proizvoda z novim?

6 LITERATURA IN VIRI

Bajd, T. *Osnove robotike*. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, 2000.

Bajd, T., in Karčnik, T. *Osnove robotike: predavanja in vaje*. Ljubljana: FE, zgoščanka, LR, 1999.

Bajd, T., Mihelj, M., Lenarčič, J., Stanovnik, A. in Munih M. *Robotika*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Založba FE in FRI, 2008.

Beovič, A. *Hidravlika*. Ljubljana: Zavod R Slovenije za šolstvo in šport, 1993.

Cajhen, R. *Regulacije*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo, 1990.

Croser, P., in Ebel, F. *Pnevmatik*. Esslingen: Festo Didactic, 1994.

Čeh, M. *Mehatronika*. Ljubljana: Pasadena, 2009.

Deppert, W., in Stoll, K. *Pnevmatik in der Verpackungstechnik*, Vogel – Buchverlag Würzburg, 1983.

Dieter, W. Wloka *Roboter systeme 1, 2 in 3*. New York, Berlin: Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 1992.

Haring, W., Metzger, M. in Weber, R. C. *Pneumatics Basic level*. Esslingen: Festo Didactic, 2009.

Harb, R. *Krmilna tehnika*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije, 2008.

Harb, R. *Pnevmatika in hidravlika*. Ljubljana: Zavod R Slovenije za šolstvo in šport, 2001.

Kamin, M. *Gradiva za predavanja SVP*. Novo mesto: Višja strokovna šola, 2010.

Kiker, E. *Hidravlika in pnevmatika – zbrano gradivo*, Maribor: Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, 1997.

Kralj, A. in Bajd, T. *Industrijska robotika*, Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, 1992.

Kralj, A. in Bajd, T. *Robotika*, Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, 1992.

Meixner, H. in Kobler R. *Einführung in die Pneumatik*. Esslingen: Festo Didactic, 1987.

Meixner, H. in Sauer, E. *Uvod v elektropnevmatiko*. Esslingen: Festo Didactic, 1983.

Merkle, D., Rupp, K. in Scholz, D. *Electro-hydraulics*. Esslingen: Festo Diddactic, 1994.

Merkle, D., Schrader, B. in Thomes, M. *Electro-hydraulics*. Festo Didactic GmbH, 1994.

Richard, P. Paul *Robot Manipulators - Mathematics, Programming and Control*. Massachusetts: The MIT Press, 1989.

Scholz, D. in Zimmermann, A. *Proportional hydraulics*. Esslingen: Festo Diddactic, 1996.

Zimmermann, A. *Hydraulics*. Esslingen: Festo Diddactic, 1995.

ABB Slovenija, *ABB novice* (Citirano 12. 2. 2011). Dostopno na naslovu: <http://www.abb.si/http://www.ingemaq.com.ar/ingenieria.html/> (10. 3. 2011)

Automation Technology. (Citirano 21. 2. 2011). Dostopno na naslovu <http://automation.siemens.com/mcms/>

International Federation of Robotics IFR., (Citirano 1. 2. 2011). Dostopno na naslovu www.ifr.org

Motoman, *Novice in dogodki*. (Citirano 1. 2. 2011). Dostopno na naslovu <http://www.motoman.si/>

Projekt **Impletum**

Uvajanje novih izobraževalnih programov na področju višjega strokovnega izobraževanja v obdobju 2008–11

Konzorcijski partnerji:



Operacijo delno financira Evropska unija iz Evropskega socialnega sklada ter Ministrstvo RS za šolstvo in šport. Operacija se izvaja v okviru Operativnega programa razvoja človeških virov za obdobje 2007–2013, razvojne prioritete Razvoj človeških virov in vseživljenjskega učenja in prednostne usmeritve Izboljšanje kakovosti in učinkovitosti sistemov izobraževanja in usposabljanja.