

ODREĐIVANJE POTROŠNJE VAZDUHA POD PRITISKOM ZA RAZLIČITE REŽIME RADA FLEKSIBILNOG PNEUMATSKOG KRUŽNOG MANIPULATORA**DETERMINATION OF COMPRESSED AIR CONSUMPTION FOR DIFFERENT OPERATING MODES OF A FLEXIBLE PNEUMATIC CIRCULAR MANIPULATOR**

Zoran Adamov, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – MEHATRONIKA

Kratak sadržaj – U sklopu ovog rada prikazan je pneumatski kružni manipulator koji je bio korišćen kao eksperimentalno postrojenje za različita ispitivanja. Posebno je istaknut značaj postojećeg daljinski upravljano regulatora pritiska i podsistema za detekciju predmeta rada. Korišćenjem odgovarajuće laboratorijske opreme izmerena je potrošnja vazduha pod pritiskom za različite režime rada pneumatskog kružnog manipulatora koji podrazumevaju različite načine nailazaka predmeta rada. Dodatno, izmerena su i vremena trajanja proizvodnog ciklusa za različite režime rada manipulatora. Analizirani su dobijeni rezultati i izvedeni su najvažniji zaključci.

Ključne reči: potrošnja vazduha pod pritiskom, fleksibilni sistem, pneumatski manipulator

Abstract – In this paper a pneumatic circular manipulator is presented. It was used as an experimental setup for various tests. The importance of the existing remotely controlled pressure regulator and the existing subsystem for workpieces detection is especially emphasized. Using appropriate laboratory equipment, the compressed air consumption was measured for different operating modes of the pneumatic circular manipulator, which imply different ways of finding the workpieces. Additionally, the production cycle times for different manipulator operating modes were measured. The obtained results were analyzed and the most important conclusions were drawn.

Keywords: compressed air consumption, flexible system, pneumatic manipulator

1. UVOD

U ovom radu, akcentat je stavljen na analizu rada jednog fleksibilnog pneumatskog kružnog manipulatora iz aspekta potrošnje vazduha pod pritiskom. Cilj rada bio je ispitati potrošnju vazduha pod pritiskom prilikom podizanja različitih predmeta rada za različite vrednosti ulaznog pritiska (2 bar, 4 bar i 6 bar) kod pneumatskog cilindra koji podiže predmete rada na viši nivo čime se dobija različita brzina kretanja aktuatora a samim tim i različita potrošnja vazduha pod pritiskom. Ovo je urađeno kako bi se dobila polazna osnova za dalje istraživanje na osnovu koga bi se definisao način za podešavanje upravljačkih parametara

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Slobodan Dudić, red. prof.

sistema u slučajevima kada se želi postići ili maksimalna efikasnost (minimalno vreme završetka operacija rada) ili maksimalna energetska efikasnost (minimalna potrošnja vazduha pod pritiskom), što su svakako jedni od zahteva proizvodnih sistema koji su zasnovani na principima Industrije 4.0.

2. PNEUMATSKI KRUŽNI MANIPULATOR

Sva ispitivanja izvršena su na pneumatskom kružnom manipulatoru. Manipulator je razvijen na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu i koristi se kao pomoćno sredstvo u nastavi.

2.1. Opis rada manipulatora

Pneumatski kružni manipulator prikazan je na slici 1.



Slika 1. Prikaz pneumatskog kružnog manipulatora

Napravljena su tri različita predmeta rada, istih gabaritnih dimenzija, ali različitih masa, kako bi se omogućili različiti uslovi rada pneumatskog kružnog manipulatora. Izrađeni predmeti rada su valjkastog oblika, prečnika 80 mm, visine 100 mm. Jedan predmet rada napravljen je od plastike pa je njegova masa približno 0,5 kg. Druga dva predmeta rada napravljeni su od čelika s tim što jedan ima rupu u središnjem delu pa je njegova masa približno 2 kg, a drugi ne, pa je njegova masa približno 4 kg. Predmeti rada postavljeni su u vertikalni magacin za skladištenje. U magacin je moguće smestiti najviše šest predmeta rada. U prvom koraku, pneumatski cilindar A (slika 1, oznaka A) se izvlači i potiskuje predmet rada na najnižoj tački, u poziciju za podizanje. Nakon toga, cilindar B (slika 1, oznaka B) se izvlači i prihvata sve ostale predmete rada iz magacina a zatim se cilindar A

nesmetano vraća u prvobitan položaj. Cilindar C (slika 1, oznaka C) se izvlači i podiže izuzeti predmet rada. Kada cilindar C dođe u krajnji položaj, cilindar E (slika 1, oznaka E) se izvlači i dovodi hvataljku u položaj za hvatanje predmeta rada. Potom se pneumatska hvataljka (slika 1, oznaka H) zatvara i hvata predmet rada. Nakon kratkog vremenskog zastoja (da bi se uspešno obavilo hvatanje predmeta), cilindri B i C se uvlače a cilindar D (slika 1, oznaka D) se izvlači i prenosi predmet rada do vrha vertikalnog magacina. Hvataljka se otvara i otpušta predmet rada koji se dalje kroz magacin kreće pod dejstvom sile gravitacije.

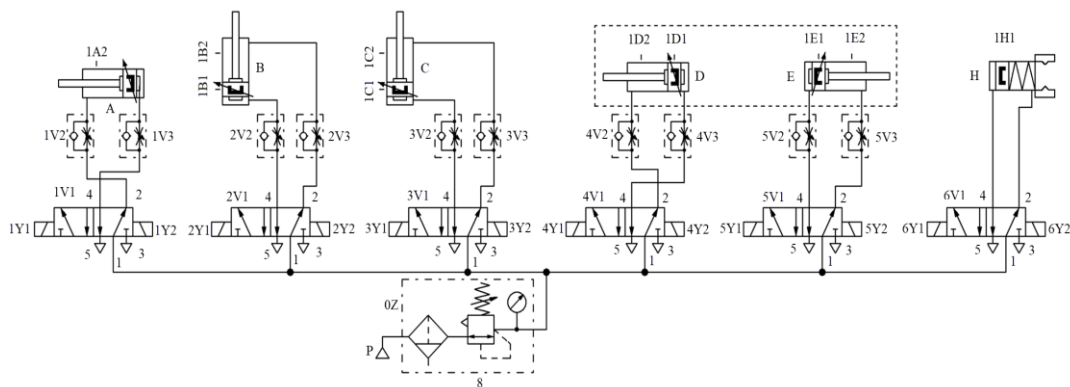
Cilindri D i E se vraćaju u početne položaje. Ciklus se ponavlja kada se cilindar B uvuče do kraja. Na taj način se izvršava jedan ciklus rada u kom predmeti „kruže“ kroz manipulator, pa otuda i potiče njegov naziv.

2.2. Pneumatska upravljačka šema

Sa šeme koja je prikazana na slici 2. vidi se da se za komandne razvodnike koriste bistabilni razvodnici sa električnim aktiviranjem. Za detekciju krajnjih položaja cilindara kao i za detekciju krajnjeg zatvorenog položaja hvataljke se koriste magnetni rid senzori. Svi cilindri imaju mogućnost regulisanja protoka vazduha pod pritiskom na oba priključka korišćenjem prigušno nepovratnih ventila.

2.3. Daljinski upravljani regulator pritiska

Uređaj je prikazan na slici 3. služi za regulisanje vrednosti radnog pritiska u pneumatskim upravljačkim sistemima daljinskim putem u realnom vremenu, pri čemu korisnika ili elemente proizvodnog sistema, nakon izvršene komande, obaveštava o podešenoj vrednosti pritiska. Na taj način, omogućena je neprekidna razmena informacija. U našem slučaju, daljinski upravljani regulator pritiska je bio implementiran na pneumatskom cilindru koji podiže predmete rada.



Slika 2. Pneumatska upravljačka šema



Slika 3. Daljinski upravljani regulator pritiska [1]



Slika 4. Podsystem za detekciju predmeta rada [2]

2.4. Podsystem za detekciju predmeta rada

Senzorski sklop za detekciju predmeta rada prikazan na slici 4. zasnovan je na principu BT (*eng.* Bluetooth) i RFID tehnologije. Ovaj uređaj može da čita podatke sa RFID tagova, i/ili upisuje podatke na tagove. Potrebno je napomenuti da su omogućena dva tipa pristupa, preko serijske veze i bežičnim putem.

U našem slučaju, podsystem za detekciju predmeta rada, služio je da po spuštanju predmeta rada iz vertikalnog magacina, očitava informaciju sa RFID taga koji je nalepljen na predmete rada i na taj način prepozna koji je predmet rada naišao.

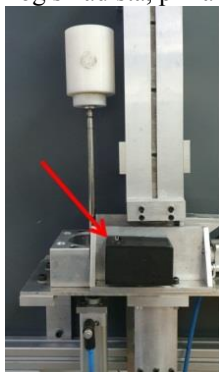
2.5. Integracija daljinskog upravljanog regulatora pritiska i podsystema za detekciju predmeta rada

U sklopu ideje o povećanju stepena automatizacije prethodno opisanog kružnog manipulatora, sa integrisanim daljinski upravljanim regulatorom pritiska javila se potreba za povezivanjem sa podsystemom za detekciju predmeta rada. Osnovna ideja podrazumeva to, da svaki od korišćenih predmeta rada, koji nasumičnim redosledom dolaze iz vertikalnog magacina manipulatora, u skladu sa zahtevom za povećanjem fleksibilnosti, poznaje svoje karakteristike i da ih upravljačkom sistemu, može proslediti (bežičnim ili serijskim putem) u trenutku kada se predmet rada spusti iz vertikalnog magacina. Na osnovu te informacije, upravljački sistem generiše odgovarajuće upravljačke instrukcije koje se šalju preko serijske veze daljinski upravljanom regulatoru pritiska.

U pomenutom regulatoru pritiska, mikrokontroler će, nakon proračuna broja obrtaja, podesiti poziciju koračnog elektromotora, i na taj način će regulator pritiska dati željenu vrednost pritiska na izlazu. Dakle, predmeti rada su nosioci informacije, pa su na njih postavljeni RFID anti-metalni tagovi (jer su dva tipa predmeta rada napravljena od čelika).

2.6. Ugradnja podsistema za detekciju predmeta rada u eksperimentalno postrojenje

Podsistem za detekciju predmeta rada je implementiran na dnu držača vertikalnog skladišta, prikazan na slici 5.



Slika 5. Mesto ugradnje

Nakon ugradnje podsistema za detekciju predmeta rada, bilo je potrebno utvrditi vreme potrebno za podešavanje vrednosti pritiska na daljinski upravljanoj regulatoru pritiska i ustanoviti koliko ova promena „usporava“ izvršavanje radnog ciklusa. U tabeli 1. su date izmerene vrednosti vremena potrebnog za promenu položaja na daljinski upravljanoj regulatoru pritiska u odnosu na trenutnu i zadatu vrednost pritiska.

Tabela 1. Rezultati vremena reagovanja

Promena vrednosti	Vreme [s]
od 0 bar do 6 bar	~8,30
od 0 bar do 1 bar	~5,15
od 1 bar do 6 bar	~3,15
od 2 bar do 6 bar	~2,30
od 2 bar do 4 bar	~1,30
od 4 bar do 6 bar	~1,30

Na osnovu dobijenih rezultata, utvrđeno je da je, u našem najkritičnijem slučaju (promena pritiska od 2 bar na 6 bar), vreme trajanja pozicioniranja regulatora ~2,30 s. S obzirom na to da je vreme koje protekne od spuštanja predmeta rada iz vertikalnog magacina i do njegovog podizanja ~3,2 s, zaključeno je da korišćenje ovog regulatora pritiska sa podsistemom za detekciju predmeta rada ne pravi nikakve zastoje u sistemu.

3. EKSPERIMENTALNI DEO

U eksperimentalnom delu, izvršeno je merenje potrošnje vazduha pod pritiskom pneumatskog kružnog manipu-



Slika 5. Manipulator sa postavkom merenja

latora i vremena trajanja ciklusa rada. Radni pritisak je bio jednak 6 bar, a pri nailasku različitih predmeta rada vršena je promena vrednosti pritiska pomoću daljinski upravljanoj regulatoru pritiska na pneumatskom cilindru koji podiže predmete rada. Pre početka merenja, definisane su odgovarajuće vrednosti pritiska za pomenuti cilindar. Za plastični predmet rada definisan je radni pritisak od 2 bar, za lakši čelični predmet rada definisan je radni pritisak od 4 bar, a za najteži predmet rada definisan je radni pritisak od 6 bar. Jedno merenje je podrazumevalo 10 ciklusa rada manipulatora.

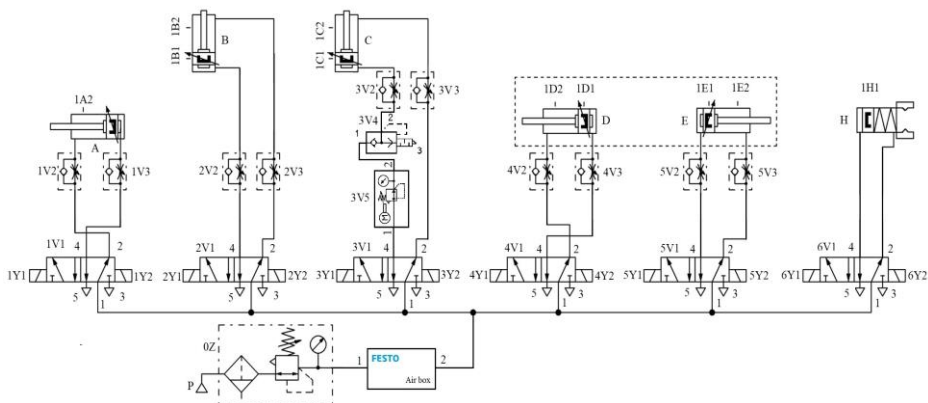
3.1. Postavka merenja

Po spuštanju predmeta rada iz vertikalnog magacina uz pomoć pneumatskog cilindra A (slika 5, pozicija 1), podsistem za detekciju predmeta rada (slika 5, pozicija 2), očitava informaciju sa RFID taga koji je nalepljen na predmet rada i u zavisnosti od vrste predmeta rada koji nailazi, šalje se informacija daljinski upravljanoj regulatoru pritiska (slika 5, pozicija 3), nakon čega će isti dati željenu vrednost pritiska na izlazu. Ulaz u pomenuti regulator pritiska je dovod vazduha pod pritiskom direktno sa izvora napajanja (iz upravljačkog ormana), a izlaz regulatora je povezan na priključak klipne komore pneumatskog cilindra C (slika 5, pozicija 6), koji podiže predmet rada. Između daljinski upravljanoj regulatoru pritiska i pneumatskog cilindra C postavljen je brzoispušni ventil (slika 5, pozicija 4), čija je uloga odzračivanje vazduha iz klipne komore cilindra C usled nemogućnosti da vazduh u ovom smeru prođe kroz daljinski regulator pritiska. Merenje potrošnje vazduha je izvršeno pomoću laboratorijskog uređaja AirBox (slika 5, pozicija 5). Ulaz u AirBox je povezan sa vazduhom pod pritiskom koji dolazi direktno sa pripreme grupe, a izlaz iz AirBox-a se povezuje na ulaz u sistem.

Na slici 6, prikazana je pneumatska upravljačka šema manipulatora sa postavkom merenja.

4. PRIKAZ I ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA

U tabeli 2 prikazani su kompletni rezultati merenja i to na taj način što su prikazane različite kombinacije nailazaka predmeta rada, kao i rezultati prosečne potrošnje vazduha pod pritiskom i vremena trajanja ciklusa rada manipulatora u tim slučajevima.

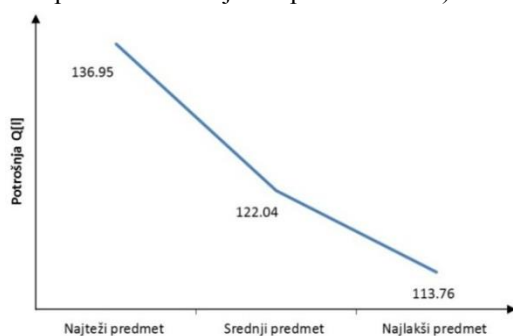


Slika 6. Pneumatska šema sa postavkom merenja

Tabela 2. Prikaz dobijenih rezultata

Redni br.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
kombinacija nailazka predmeta rada	4 kg	2 kg	0,5 kg	0,5 kg	2 kg	0,5 kg	0,5 kg	0,5 kg	2 kg	0,5 kg	0,5 kg	0,5 kg
	4 kg	2 kg	2 kg	0,5 kg	2 kg	0,5 kg	0,5 kg	0,5 kg	2 kg	0,5 kg	0,5 kg	0,5 kg
	4 kg	4 kg	4 kg	4 kg	2 kg	0,5 kg	0,5 kg	0,5 kg	2 kg	0,5 kg	0,5 kg	0,5 kg
	4 kg	4 kg	4 kg	4 kg	2 kg	2 kg	0,5 kg	2 kg	2 kg	0,5 kg	0,5 kg	0,5 kg
	4 kg	4 kg	4 kg	4 kg	2 kg	2 kg	0,5 kg	2 kg	2 kg	2 kg	0,5 kg	0,5 kg
	4 kg	4 kg	4 kg	4 kg	4 kg	2 kg	4 kg	4 kg	2 kg	2 kg	0,5 kg	0,5 kg
	4 kg	4 kg	4 kg	4 kg	4 kg	4 kg	4 kg	2 kg	2 kg	2 kg	0,5 kg	0,5kg
	4 kg	4 kg	4 kg	4 kg	4 kg	4 kg	4 kg	2 kg	2 kg	2 kg	0,5 kg	0,5kg
	4 kg	4 kg	4 kg	4 kg	4 kg	4 kg	4 kg	4 kg	2 kg	4 kg	4 kg	0,5kg
	4 kg	4 kg	4 kg	4 kg	4 kg	4 kg	4 kg	4 kg	2 kg	4 kg	4 kg	0,5kg
Q [l]	136,95	131,24	130,64	130,4	129,94	126,67	125,21	122,81	122,04	121,43	117,73	113,76
Vreme[s]	136	130	131	132,4	120,5	121,3	127	115	105	116,4	121,5	118

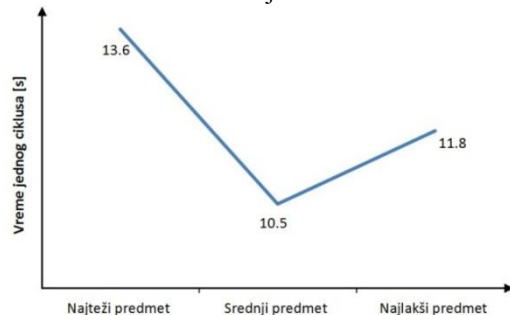
Radi lakšeg razumevanja, na grafiku 1 prikazane su vrednosti potrošnje vazduha pod pritiskom u slučajevima kada nailazi deset istih predmeta rada za sva tri vrste (deset plastičnih predmeta rada ili deset čeličnih predmeta rada sa rupom ili deset najtežih predmeta rada).



Grafik 1. Prikaz potrošnje vazduha

Kao što se sa grafika 1 može videti, najveća potrošnja vazduha pod pritiskom je 136,95 l, i to u slučaju kada nailazi deset najtežih predmeta rada. Kada nailaze predmeti rada srednje mase, količina utrošenog vazduha pod pritiskom je 122,04 l, dok je u slučaju najlakših predmeta rada količina utrošenog vazduha 113,76 l. Iz dobijenih rezultata jasno se vidi da je ušteda vazduha pod pritiskom pri vrednostima pritiska 2 bar i 4 bar značajno manja u odnosu na slučaj kada ceo sistem radi na pritisku od 6 bar. Na osnovu rezultata, zaključuje se da najveća moguća ušteda dobijena na ovaj način iznosi 17%.

Na grafiku 2 date su vrednosti vremena potrebnog za izvršavanje jednog radnog ciklusa pri nailasku deset istih predmeta rada za sva tri slučaja.



Grafik 2. Prikaz vremena

Iz datih rezultata vidi se da je vreme trajanja ciklusa najkraće u slučaju kada nailaze predmeti rada srednje mase, gde je definisan radni pritisak od 4 bar za cilindar C koji podiže predmete rada. Dobijeni rezultati pokazuju da je vreme trajanja ciklusa najduže u slučaju kada nailaze najteži predmeti rada gde je definisan radni pritisak od 6 bar. Razlog tome jeste taj što, se komora

klipnjače cilindra C koji podiže predmete rada pri podizanju najlakšeg predmeta rada napuni količinom vazduha od 1,43 [NI] a pri podizanju najtežeg predmeta rada napuni količinom vazduha od 3,34 [NI]. U skladu sa tim, prilikom odzračivanja komore cilindra C pri uvlačenju, potrebno je više vremena kod najtežeg predmeta rada nego kod lakših predmeta rada. Zbog ovih činjenica, manipulator najbrže izvrši ciklus rada kada cilindar C radi sa pritiskom od 4 bar, jer je brzina izvlačenja klipnjače cilindra C veća nego u slučaju kada radi sa pritiskom od 2 bar, a brzina odzračivanja klipne komore veća nego u slučaju kada radi sa 6 bar.

5. ZAKLJUČAK

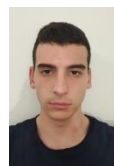
U ovom radu prikazani su mogući načini poboljšanja energetske efikasnosti pneumatskog kružnog manipulatora. U sklopu ideje o povećanju stepena automatizacije kružnog manipulatora, izvršena je integracija daljinski upravljano regulatora pritiska i podsistema za detekciju predmeta rada u pomenuti manipulator. Cilj rada bio je ispitati potrošnju vazduha pod pritiskom kao i vremena trajanja proizvodnog ciklusa novonastalog sistema za različite uslove rada, odnosno različite vrednosti radnog pritiska kod pneumatskog cilindra koji podiže predmete rada.

Analiza rezultata potrošnje vazduha pod pritiskom novonastalog sistema je pokazala da se smanjivanjem radnog pritiska dobija odgovarajuća ušteda vazduha pod pritiskom, koja varira u zavisnosti od kombinacije nailaska predmeta rada, a u najboljem slučaju, iznosi 17%.

6. LITERATURA

- [1] P. Knežević, "Razvoj i testiranje daljinski upravljano regulatora pritiska za pneumatske sisteme," diplomski rad, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 2019.
- [2] M. Kovač, "Razvoj sistema za komunikaciju između predmeta rada i fleksibilnog pneumatskog sistema," diplomski rad, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 2019.

Kratka biografija:



Zoran Adamov rođen je u Subotici 1996. godine. Godine 2015 upisuje osnovne akademske studije na studijskom programu Mehatronika, robotika i automatizacija. 2019 godine završava osnovne i upisuje master akademske studije na istom studijskom programu.
kontakt: adamovzoran@uns.ac.rs.