

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Erik Plestenjak

**Krmiljenje stroja za izdelovanje lesnih
briketov**

DIPLOMSKO DELO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE
STOPNJE RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKA

MENTOR: izr. prof. dr. Uroš Lotrič

Ljubljana 2012

Rezultati diplomskega dela so intelektualna lastnina avtorja in Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Za objavljanje ali izkoriščanje rezultatov diplomskega dela je potrebno pisno soglasje avtorja, Fakultete za računalništvo in informatiko ter mentorja.

Besedilo je oblikovano z urejevalnikom besedil \LaTeX .



Št. naloge: 00214/2012

Datum: 02.04.2012

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Kandidat: **ERIK PLESTENJAK**


Naslov: **KRMILJENJE STROJA ZA IZDELOVANJE LESNIH BRIKETOV
CONTROL OF WOOD BRIQUETTING MACHINE**

Vrsta naloge: Diplomsko delo visokošolskega strokovnega študija prve stopnje


Tematika naloge:

Izdelajte celostno rešitev za posodobitev stroja za izdelovanje lesnih briketov. Navedite razloge za elektro-mehansko posodobitev in utemeljite izbor sestavnih delov. Sistem preizkusite v praksi in ovrednotite izboljšave.

Mentor:


prof. dr. Uroš Lotrič

Dekan:


prof. dr. Nikolaj Zimic



IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Spodaj podpisani Erik Plestenjak, z vpisno številko **63090276**, sem avtor diplomskega dela z naslovom:

Krmiljenje stroja za izdelovanje lesnih briketov

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem diplomsko delo izdelal samostojno pod mentorstvom izr. prof. dr. Uroša Lotriča,
- so elektronska oblika diplomskega dela, naslov (slov., angl.), povzetek (slov., angl.) ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko diplomskega dela
- soglašam z javno objavo elektronske oblike diplomskega dela v zbirki "Dela FRI".

V Ljubljani, dne 27. avgusta 2012

Podpis avtorja:

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. dr. Urošu Lotriču za prijaznost, strokovno pomoč, nasvete in popravke pri izdelavi diplomskega dela. Zahvaljujem se očetu Rajku Plestenjaku in stricu Romanu Plestenjaku za pomoč in svetovanje pri servisiranju hidravličnega dela diplomske naloge. Prav tako se zahvaljujem stricu Robertu Plestenjaku za pomoč in svetovanje pri izvedbi električnega dela diplomske naloge.

Na koncu bi se zahvalil še obema staršema za podporo tekom celega študija.

Kazalo

Povzetek

Abstract

1	Uvod	1
2	Prvotno stanje stroja	3
2.1	Hidravlika	3
2.2	Elektronika	6
2.2.1	Mikrostikala	6
2.2.2	Tlačna stikala	7
2.2.3	Električna inštalacija	7
2.2.4	Krmiljenje	8
3	Obnavljanje stroja	9
3.1	Hidravlika	9
3.1.1	Čiščenje sistema	9
3.1.2	Tesnenje cevi	10
3.2	Elektronika	10
3.2.1	Električne inštalacije	10
3.2.2	Napajanje	11
3.2.3	Induktivno stikalo	11
3.2.4	Tlačni senzor	13
3.2.5	Programirljivi logični krmilnik	14

KAZALO

3.3	Program	16
3.3.1	Razvojno okolje	16
3.3.2	Načrt programa	17
3.3.3	Implementacija	17
	Začetno stanje	17
	Stisk čeljusti	17
	Stisk materiala	18
	Stisk prve stopnje	19
	Stisk druge stopnje	19
	Izmet	19
	Doziranje materiala	20
	Ni materiala	20
3.3.4	Rešitve izivov pri programiranju	20
3.3.5	Uporabniški vmesnik	21
	Ročni način	22
	Avtomatski način	22
	Nastavitve	23
	Opozorila	24
4	Analiza rezultatov	25
5	Zaključek	27

Povzetek

Diplomska naloga opisuje obnovitev in posodobitev krmiljenja starega stroja za izdelovanje lesnih briketov. To je stroj, ki se v lesni industriji uporablja za stiskanje sipkega odpadnega lesnega materiala. Tako pridobimo lesne brikete, ki so biomasa, primerna za kurjavo v pečeh. Sam stroj sestoji iz stojnega in programskega dela.

Strojni del sestavljajo hidravlični in električni elementi. Ključni hidravlični elementi so: črpalka, cilindri in elektro ventili. Ključni električni elementi pa so: induktivna stikala, tlačni senzor, elektro ventili in programirljivi logični krmilnik. Sam hidravlični del stroja ni bil potreben večje obnove, zato je v diplomskem delu opisan bolj bežno.

Programski del stroja se nahaja na programirljivem logičnem krmilniku. Diplomsko delo se osredotoča predvsem nanj. Implementiran je v programskem jeziku logičnih lestvičnih diagramov. Uporabljen je koncept programiranja avtomata končnih stanj. Modernizacija, predvsem na področju programske opreme, je povečala učinkovitost stroja za približno 70 odstotkov.

Ključne besede:

stroj za izdelovanje lesnih briketov, krmiljenje, avtomatika, hidravlika, programirljivi logični krmilnik

Abstract

This thesis describes the renewal and modernization of an old wood briquetting machine. Wood briquetting machine is a machine that is used in the timber industry to compress fine wood waste material. The machine outputs woden briquettes, which are biomass, suitable for heating in the kiln. Machinery itself consists of a hardware and software part.

The hardware part consists of hydraulic and electrical components. The key hydraulic components are the pump, the electric cylinders and the valves. The key electrical elements are the inductive sensors, the pressure sensor, the electrovalves and the programmable logic controller (PLC). Hydraulic part of the machine itself did not require major renovation, so the thesis describes it only briefly.

The software of the machine is located on the programmable logic controller. Thesis focuses on it. It is implemented in the ladder logic diagrams PLC programming language. The programming concept of finite state machines is used. The modernization, mainly in the software, increased the effectiveness of the machine for approximately 70 percent.

Key words:

wood briquetting machine, control, automation, hydraulics, PLC

Poglavje 1

Uvod

V lesni industriji se pojavljajo velike količine odpadkov. Le te se s primernimi stroji da predelati v lesno biomaso, ki se uporablja kot kurjava. Eden izmed možnih načinov predelave odpadne žagovine in oblanja je stiskanje v lesne brikete (slika 1.1). To delamo s pomočjo stroja za izdelovanje lesnih briketov. Stroj stiska material s pomočjo hidravlike. Tako na relativno enostaven način material varno stisnemo pod visokim pritiskom. Zarad pritiska se material, brez aditivov, samo s pomočjo vsebovanega tanina, sprime in formira briket. Poleg varnosti mora biti stroj tudi energijsko učinkovit. Tako težimo k čim manjši energijski porabi na tono predelanega materiala. Za doseganje čim večje učinkovitosti mora stroj imeti sposobnost prilagajanja na različne gostote lesnih materialov.

Namen diplomske naloge je bila obnova in izboljšava starega stroja za izdelavo lesnih briketov. Zaradi časa in izpostavljenosti okoljskim vplivom je pri stroju prihajalo do nenehnih okvar. Posledica tega je bila visoka nezanesljivost stroja in ekonomska neupravičenost. Prav tako so nastajali problemi zaradi nejasnega nastavljanja stroja.

Na podlagi omenjenih težav smo se odločili za obnovo in posodobitev stroja, ki je predstavljena v sledečih poglavjih. V prvem poglavju je prikazano prvotno stanje stroja. Poleg tega je opisan tudi koncept delovanja in zgradba. V poglavju obnavljanje stroja, so opisane izvedene spremembe na



Slika 1.1: Neobdelana žagovina in oblanje na levi, ter izdelani briketi na desni.

posameznih področjih stroja. Poglavje je razdeljeno na podpoglavja: hidravlika, elektronika in program. V prvem opisujemo obnavljanje in nadgradnjo hidravličnega sistema. V podpoglavju elektronike, opisujemo uporabljene elemente in utemeljujemo njihovo uporabo. Predstavimo tudi končno izvedbo in opišemo njene prednosti. Zadnje podpoglavje program, je najobsežnejše, ker predstavlja največji del posodobitve. V tem najprej na kratko opišemo samo razvojno okolje, nato pa se lotimo že samega načrta programa. Tega v nadaljevanju razdelamo in podrobneje opišemo. Predstavimo tudi zanimive rešitve pri implementaciji, ki še niso opisane v samem načrtu. Predstavimo še zgradbo uporabniškega vmesnika in rokovanje z le tem. V poglavju analiza rezultatov finančno upravičimo izvedbo projekta, predstavimo izboljšave učinkovitosti delovanja v primerjavi s prvotnim stanjem in opišemo ugotovljene pomankljivosti. V zaključnem poglavju povzamemo celotno delo in predstavimo dodatne možnosti za implementacijo v prihodnosti.

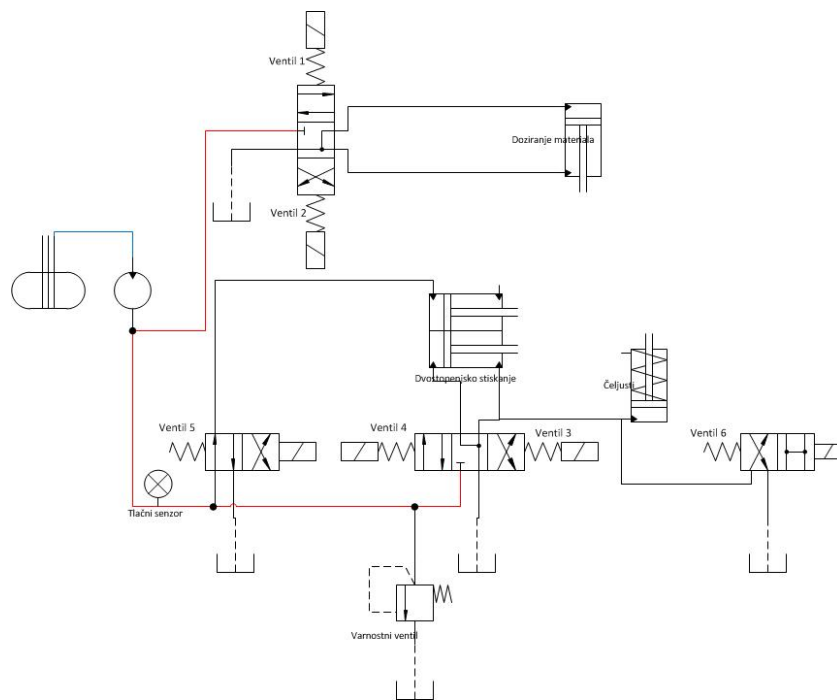
Poglavje 2

Prvotno stanje stroja

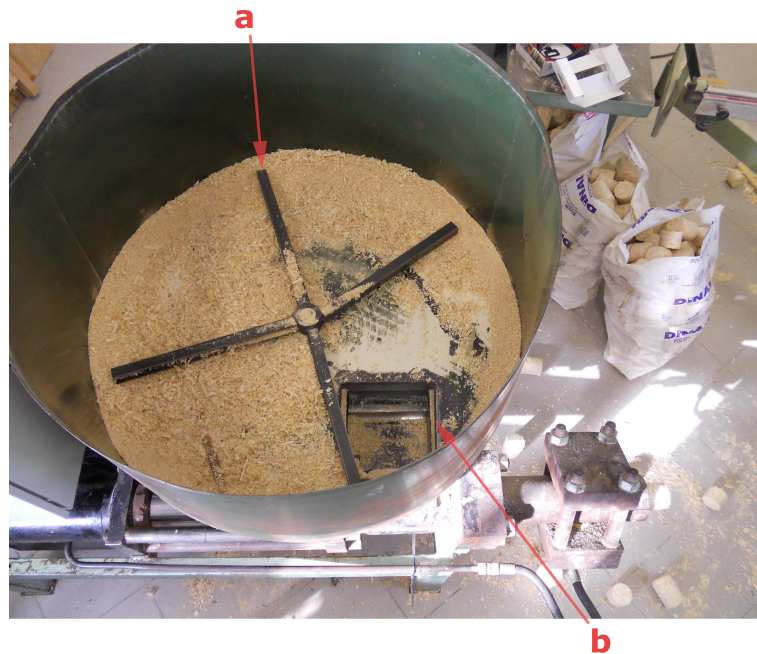
Sam stroj je bil v osnovi izdelan s strani amaterskega mehatronika. Tako je imel že v sami zasnovi nekaj napak. Po nekaj letih obratovanja je začelo prihajati do izpadov obratovanja stroja. Pri samih popravilih se je izkazalo, da so ta, zaradi neorganiziranosti in zapletenosti stroja, skoraj nemogoča.

2.1 Hidravlika

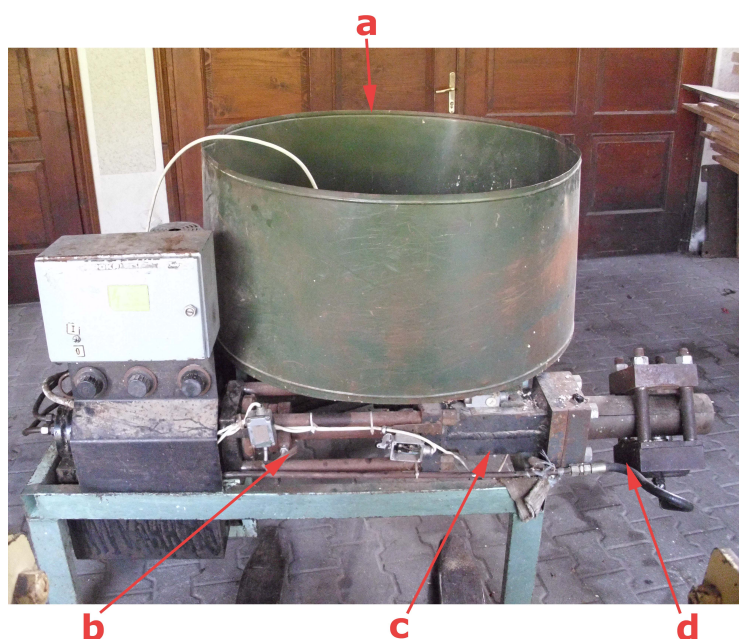
Stroj je sestavljen iz treh hidravličnih cilindrov (slika 2.1), od katerih ima vsak svoj namen. Prvi cilinder (slika 2.2) služi za doziranje materiala v glavno komoro, drugi pa za stiskanje čeljusti ki zadržujejo material do samega izmeta. Najbolj zanimiv je tretji, glavni cilinder, ki služi za končno stiskanje materiala (slika 2.3). Le ta je dvojni, tako da material v prvi stopnji stisnemo hitro nato pa v drugi stopnji izvedemo končni počasni stisk pod visokim pritiskom. Poleg tega je povezan tudi na mešalni rotor v zalogovniku. Tega premika pri povratnem hodu. Vsi cilindri so krmljeni s pomočjo solenoidnih hidravličnih ventilov (slika 2.4). Poleg tega je tu še hidravlična črpalka, ki jo poganja elektromotor z močjo 5 kW. Sama črpalka je potopljena v rezervoarju hidravličnega olja.



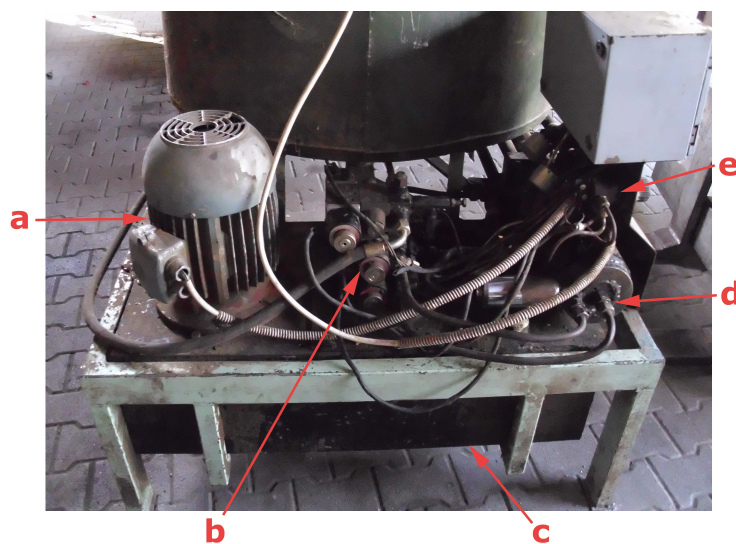
Slika 2.1: Načrt hidravličnega sistema stroja.



Slika 2.2: Pogled zalogovnika zgoraj. Vidna sta mešalni rotor (*a*) in cilinder za doziranje materiala (*b*).



Slika 2.3: Slika prikazuje: zalogovnik materiala (*a*), glavni cilindri (b), komora za stiskanje materiala (*c*), čeljusti za zadrževanje materiala (*d*).



Slika 2.4: Na sliki so vidni: elektromotor hidraulične črpalke (*a*), solenoidni ventili (*b*), montirani na standardnem razdelilnem bloku (*c*), zadnji del glavnega cilindra (*d*), tlačna stikala ter električna omarica (*e*) in rezervoar hidrauličnega olja (*f*).

Pri obratovanju v prašnem okolju je zaradi slabega tesnenja hidravličnega rezervoarja prišlo do mešanja hidravličnega olja in prahu. Zaradi onesnaženosti olja so nastali problemi na solenoidnih ventilih, na katerih so se nabirale nečistoče. Tako je prišlo do blokade in okvare samih ventilov. Poleg tega je sčasoma v cilindre prišel zrak. Zračni žepi so pri stiskanju zmanjševali odzivnost samih cilindrov, zaradi česar se je delovanje celotnega stroja močno upočasnilo.

2.2 Elektronika

Največje prenove sta bili potrebni sama elektroinstalacija in krmiljenje stroja.

2.2.1 Mikrostikala

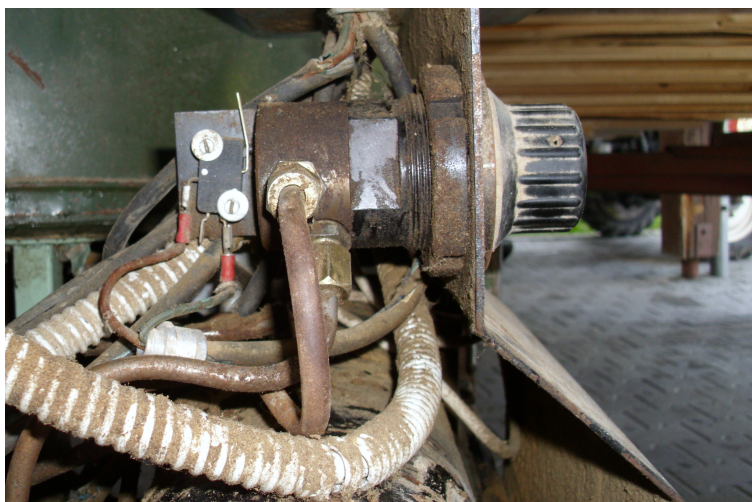
Končne položaje cilindrov je stroj zaznaval s pomočjo mikrostikal (slika 2.5). Ta so priljubljena zaradi svoje ugodne cene, njihova slabost pa je slaba odpornost na težke pogoje delovanja in mehanska obraba. Prav zaradi slednjih lastnosti je stroj popolnoma prenehal z obratovanjem, saj je bilo konstantne okvare mikrostikal težko odkrivati. Poleg tega se se dogajalo, da stikala niso odpovedala v celoti, ampak so delovala samo delno. Tako je iz neznanega razloga stroj obtičal sredi obratovalnega cikla.



Slika 2.5: Obrabljena mikrostikala v zaščitnem ohišju, ki naj bi preprečevalo stik z vodo in prahom.

2.2.2 Tlačna stikala

Stroj mora omogočati nastavljanje pritiska, s katerim se stisne material, da se uspešno formira lesni briket. Zaznavanje tega je bilo izvedeno s pomočjo treh mehanskih tlačnih stikal (slika 2.6). Ta so delovala na principu stiskanja vzmeti. Ob dovolj visokem tlaku v hidravličnem sistemu je le ta premagal vzmet in posledično sprožil mikrostikalo. Prag preklopa se je nastavljal z vrtenjem gumba ki je mehansko povečeval začetno napetost vzmeti. Zaradi korozije je prihajalo do okvar tudi pri tlačnih stikalih. Prav tako so njihov sestavni del mikrostikala.



Slika 2.6: Staro mehansko tlačno stikalo z regulacijskim gumbom in pripadajočim mikrostikalom.

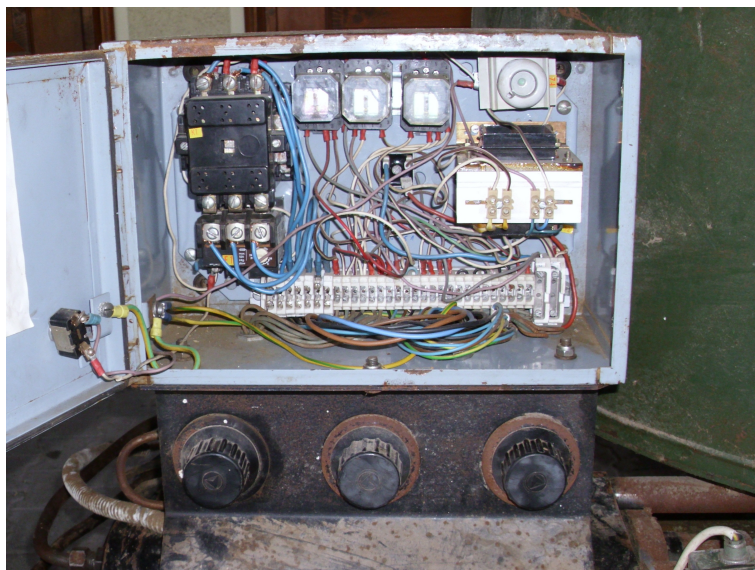
2.2.3 Električna inštalacija

Za električno napeljavo so bili v osnovi uporabljeni gumijasti kabli. Ti so priljubljeni zaradi svoje fleksibilnosti. Njihova pomankljivost je preperevanje. Kot posledica slabega tesnenja hidravličnega sistema so bili izpostavljeni hidravličnemu olju, ki je sam proces močno pospešil. Prav tako so bili zaradi mehanskih poškodb uničeni vsi konektorji na solenoidnih ventilih. Ti so

občasno zaradi slabega stika, povzročali odpoved preklapljanja ventilov.

2.2.4 Krmiljenje

V času izdelave stroja programirljivi logični krmilniki še niso bili razviti. Edini obstoječi način avtomatizacije strojev je bila trdoožičena logika z uporabo relejskih stikal. Takšna je bila tudi izvedba pri našem stroju. Krmiljenje je delovalno na enosmerni napetosti 24 V, ki je bila generirana s kombinacijo transformatorja in Gretzovega člena. Logična vezava je bila izvedena s pomočjo vrstnih sponk na letvi DIN. Za preklapljanje ventilov so skrbeli tri relejska stikala. Krmiljenje je bilo zavarovano z žično varovalko. Poleg tega je bila izvedena bimetalna zaščita proti preobremenitvi elektromotorja. Kot je razvidno na sliki 2.7, je sama logika ožičena popolnoma amatersko, brez kakršnekoli organizacije ali barvnega kodiranja žic.



Slika 2.7: Stara električna omarica s trdo ožičeno relejsko logiko.

Poglavje 3

Obnavljanje stroja

3.1 Hidravlika

3.1.1 Čiščenje sistema

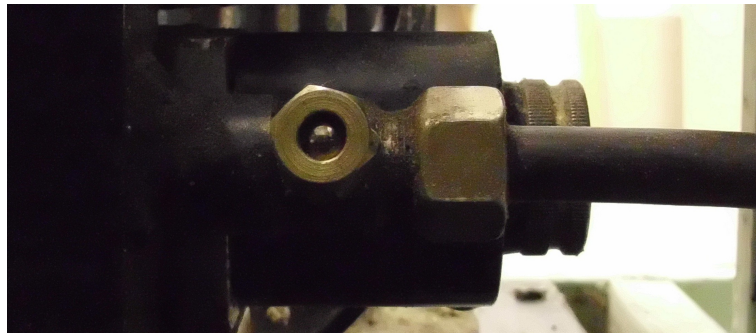
Pri obnavljanju hidravličnega dela smo najprej sčistili olje. Tega je bilo zaradi kontaminacije s prahom potrebno temeljito prefiltrirati. Ob sami filtraciji olja smo pregledali še hidravlično črpalko, ki je bila v brezhibnem stanju. Predvsem je bila takšna stopnja ohranjenosti posledica trajne potopitve v olju, zaradi česar ni prišlo do korozije. Podrobnejšega čiščenja so bili potrebni tudi vsi ventili. Te smo očistili s pomočjo stisnjenega zraka.

Najzahtevnejši del obnovitve hidravličnega dela je bilo odzračevanje celotnega sistema, saj prisotnost zraka v hidravličnih sistemih zmanjšuje njihovo učinkovitost. Pri odzračevanju odstranimo zračne mehurčke v cilindrih in ceveh. [3].

Samo odzračevanje smo pričeli z odstranitvijo vseh cilindrov. Nato smo vsakega posebej do vrha napolnili z oljem. Pri polnjenju smo cilindre postavili vertikalno, da se v njihovih prekatih ne bi ujel kakšen zračni mehurček. Sledila je previdna montaža nazaj v obstoječ sistem. Ta nam je povzročala kar nekaj preglavic, saj smo morali paziti, da nam olje iz cilindra ni izteklo.

3.1.2 Tesnenje cevi

Ker starih tlačnih stikal nismo več potrebovali, smo jih odstranili. Do vsakega tlačnega stikala je bila iz sistema speljana posebna cev. Zaradi novega merilnega sistema so bile te cevi zdaj odveč, zato smo jih morali zatestniti. Uporabili smo enostavno rešitev. Zaradi konične oblike spojke voda, smo jo enostavno zatesnili z vstavitvijo jeklene kroglice odsluženega krogličnega ležaja (slika 3.1). Ob ponovni namestitvi cevi, smo vse spoje zatesnili s teflonskim trakom. Ta je preprečil nezaželjeno puščanje na cevni spojih.

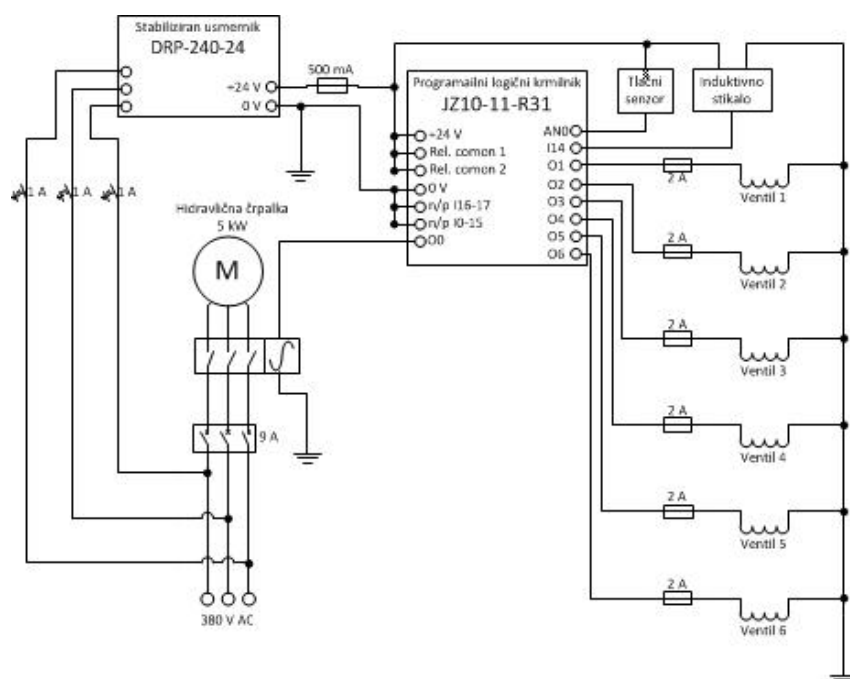


Slika 3.1: Eden izmed blindiranih vodov s kroglico na notranji strani.

3.2 Elektronika

3.2.1 Električne inštalacije

Popolnoma smo zamenjali vso električno inštalacijo. Staro električno omarico smo nadomestili z novo, kovinsko. Ta je namenjena industrijskim okoljem saj ima stopnjo zaščite IP 65. Namestili smo nove kable s konektorji za krmiljenje ventilov in dovodne trofazne kable. Pri speljevanju le teh v električno omarico smo uporabili uvodnice, ki zagotavljajo ustrezno tesnenje. Znotraj omarice smo na montažno ploščo nametili dve letvi DIN. Poleg teh smo namestili tudi kanale za lažje in lepše polaganje kablov. Vse prikope kablov smo izvedli preko vrstnih sponk. Shema električne vezave je vidna na sliki 3.2



Slika 3.2: Shema električne vezave.

3.2.2 Napajanje

Solenoidni ventili in programirljivi logični krmilnik potrebujejo za svoje delovanje stabilno enosmerno napetost 24 V. To smo zagotovili z uporabo stabiliziranega usmernika. Maksimalen tok posameznega ventila znaša 2 A, poraba programirljivega logičnega krmilnika z vsemi senzorji pa približno 300 mA. Na podlagi teh zahtev smo se odločili za stabiliziran usmernik z izhodno tokovno zmogljivostjo 10 A.

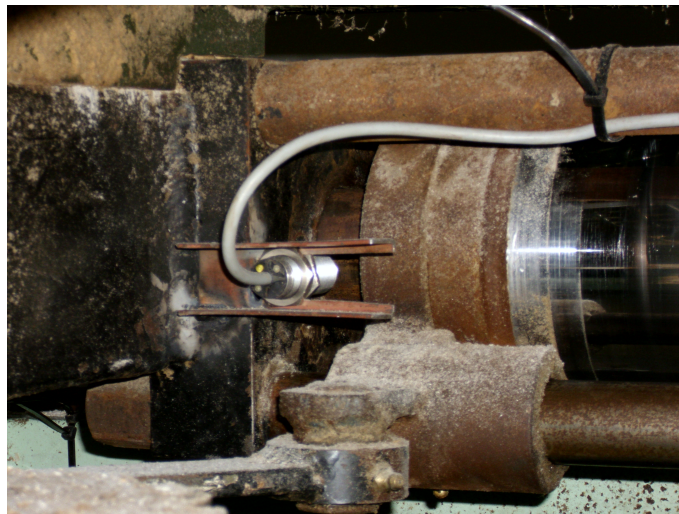
Izbrali smo si produkt znamke MEAN WELL z oznako DRP-240-24 [5]. Ta nam iz vhodne trofazne napetosti 380 V generira stabilno enosmerno napetost, z manj kot 80 mV nihanja in šuma.

3.2.3 Induktivno stikalo

Odrabljena mikrostikala za zaznavanje končnih položajev cilindrov smo nadomestili z induktivnim stikalom. Ta deluje na principu zaznavanja spre-

membe magnetnega polja ob prisotnosti kovine. Takšno zaznavanje se izvaja brezkontaktno na razdalji nekaj milimetrov. Tako je popolnoma izničena mehanska obraba ob več tisoč preklonih, ki je značilna za mikrostikala. Druge prednosti induktivnih stikal so visoka odpornost na prah in vodo (zaščita IP 68) ter kompaktna izvedba. Zaradi tega so pogosto uporabljena v težki industriji.

Izbrali smo si induktivno stikalo M18 pnp [6] proizvajalca TURCK, ki je zmožno zaznave do razdalje 8 mm. Samo stikalo smo namestili na notranjo stran stroja, kjer je varno pred mehanskimi poškodbami. Za pritrditev smo morali izdelati primeren nosilec iz kosa pločevine oblikovane v profil U. V sredino obstoječega profila smo naredili zarezo, v katero je stikalo privijačeno (slika 3.3). Zareza nam omogoča enostavno nastavljanje položaja stikala, kar pripomore k dobri končni nastavitvi stroja.

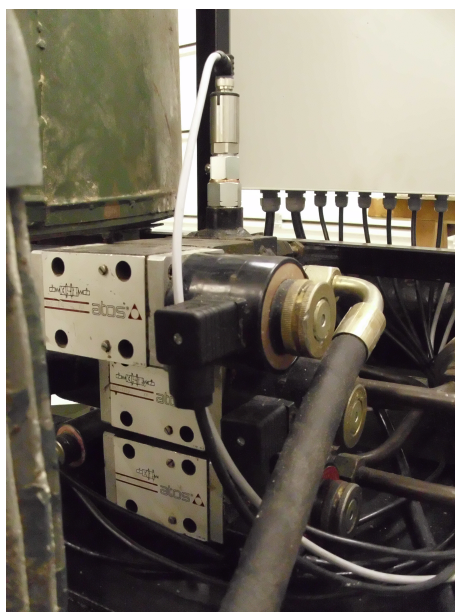


Slika 3.3: Induktivno stikalo na nosilcu, tik pred zaznavo končnega položaja glavnega cilindra.

3.2.4 Tlačni senzor

Na stroju je potrebno meriti več različnih tlakov. Te bi lahko merili s tlačnimi stikali. Odločili smo se za alternativo, ki je analogni tlačni senzor. Ta nam namesto ene diskretne vrednosti poda zvezno analogno. Tako smo tri stikala nadomestili zgolj z enim senzorjem.

Odločili smo se za tlačni senzor PT250R-14-LI3-H1131 [7] proizvajalca TURCK. Njegovo merilno območje je od 0 do 250 bar. Območje odpovedi je 600 bar, kar pripomore k večji varnosti. Stopnja zaščite proti okoljskim vplivom je IP 67. Izbrali smo si dvožično verzijo, ki podaja rezultate meritev preko tokovne zanke (4-20 mA). Prednost te izvedbe je odpornost na presluhe s sosednjih vodnikov, slabost pa nižja resolucija meritev.



Slika 3.4: Tlačni senzor s pretvornikom na vrhu razdelilnega bloka z ventili.

Montirali smo ga na, pred tem neuporabljen, izhod na vrhu hidravličnega razdelilnega bloka (sliki 3.4 in 3.6). Pri sami montaži smo morali uporabiti pretvornik, saj so bili navoji na senzorju in bloku različni. Izhod bloka je povezan neposredno na hidravlično črpalko.

3.2.5 Programirljivi logični krmilnik

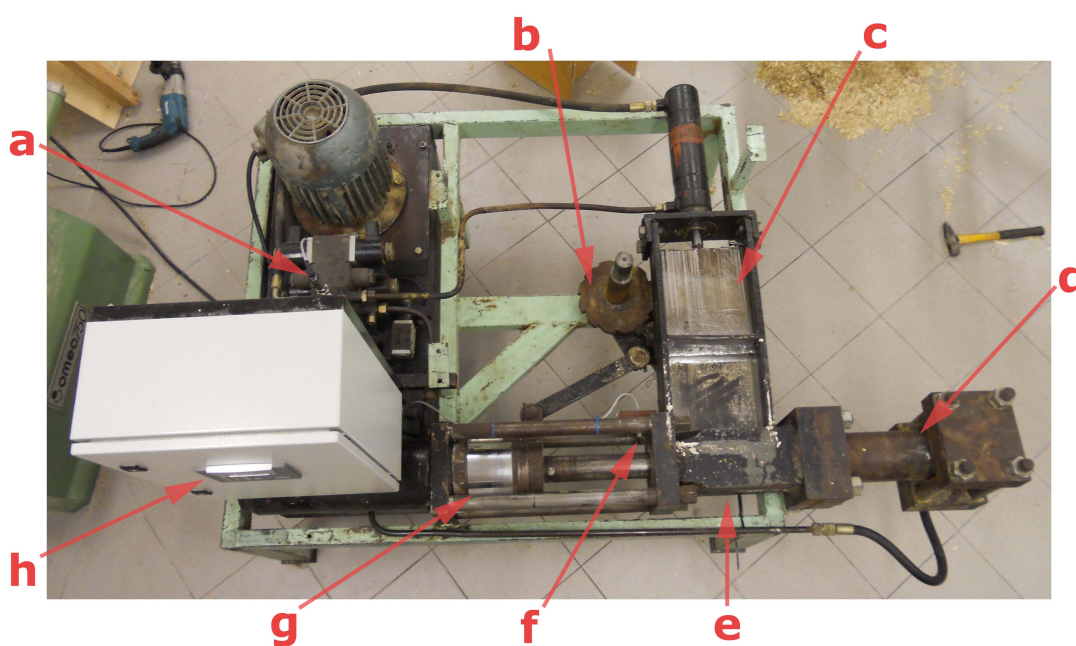
Od same izdelave stroja je tehnologija avtomatizacije zelo napredovala. Danes trdo ožičene logike praktično ne poznamo več. Kontrolna logika se izvaja na programirljivih logičnih krmilnikih. To so programljive naprave, ki omogočajo krmiljenje procesov s programirano logiko. Poznamo jih v več izvedbah [1]. Najbolj široko razširjena je modularna. Sestavljena je iz glavnega modula s procesorjem in pomnilnikom. Na tega lahko priključimo različne razširitvene module. Prednost takšne izvedbe je poljubna razširljivost, glavna slabost pa je ponavadi visoka cena. Druga širše razširjena izvedba programljivih logičnih krmilnikov je kompaktna. Njene značilnosti so fiksni vhodi in izhodi ki se nahajajo v glavnem modulu skupaj s procesorjem in pomnilnikom. Zaradi svoje narave ponavadi niso enostavno razširljivi. Prednosti kompaktne izvedbe so enostavnejše in kompaktnije ožičenje, ki zavzame manj prostora. Poleg tega so kompaktni krmilniki ponavadi cenejši. Ker je naš stroj relativno enostaven smo izbirali predvsem med krmilniki v kompaktni izvedbi.

Izbrali smo si krmilnik Jazz JZ-10-11-R31 [8] proizvajalca UNITRONICS. Ta se nam je po primerjavi s konkurenčnimi produkti zdel najboljša izbira saj vključuje vnosno tipkovnico, digitalni prikazovalnik z osvetlitvijo, relejska stikala in ima ugodno ceno. Druge, za nas pomembne lastnosti krmilnika, so še: tokovna analogna vhoda (za tlačni senzor), digitalni pnp vhodi (za induktivni senzor), 11 relejskih stikalnih izhodov (za solenoidne ventile in hidravlično črpalko). Poleg omenjenih lastnosti, smo izrabili tudi možnost izdelave svoje predloge za tipke (sliki 3.5 in 3.6). Tako je upravljanje s strojem enostavnejše.

Krmilnik smo vgradili na vrata električne omarice, kjer je lahko dostopen in dobro viden. Tako operaterju omogoča enostavno upravljanje in pregled nad delovanjem stroja.



Slika 3.5: Krmilnik z zaslonom in tipkovnico s prilagojenimi tipkami.

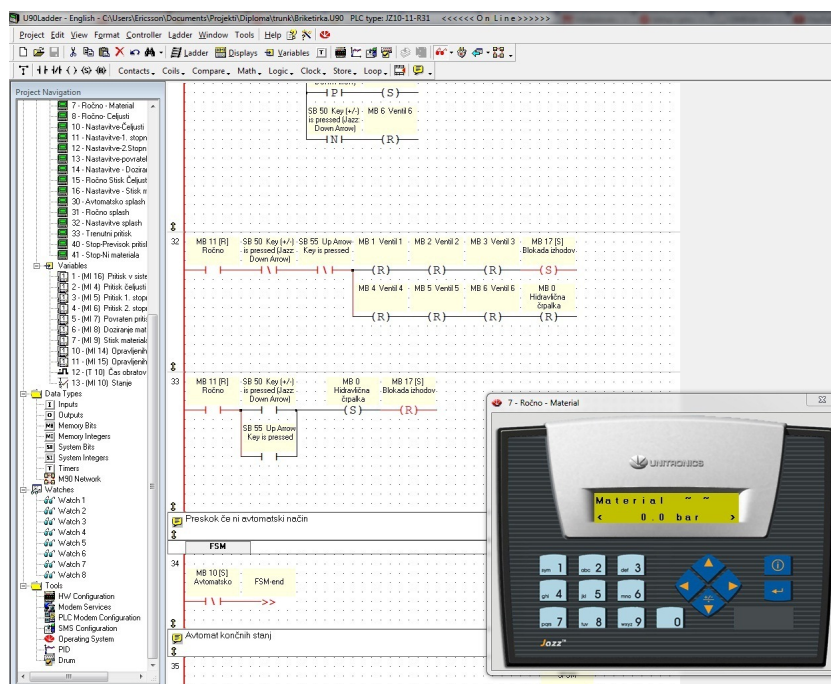


Slika 3.6: Pogled zgoraj z odstranjenim zalogovnikom. Vidne komponente so: tlačni senzor (*a*), mehanizem za obračanje mešalnega rotorja v zalogovniku (*b*), cilinder za doziranje materiala (*c*), čeljusti za zadrževanje materiala (*d*), glavna stiskalna komora (*e*), induktivno stikalo (*f*), glavni cilinder (*g*), programljivi logični krmilnik (*h*).

3.3 Program

3.3.1 Razvojno okolje

Za programiranje programirljivega logičnega krmilnika potrebujemo programator [9] in serijski vmesnik. Prav tako potrebujemo programsko opremo. To najdemo na spletni strani proizvajalca [10]. Programska oprema nam omogoča pisanje v dveh različnih programskih jezikih. To sta strukturirani tekst (ang. Structured Text Language, STL) in lestvični diagrami (ang. Ladder Diagram, LD). Odločili smo se za slednjega, ker nam omogoča preglednejše razhroščevanje med samim izvajanjem programa (slika 3.7).



Slika 3.7: Razvojno okolje v fazi razhroščevanja. Razviden je potek logike in trenutno aktivirana stikala.

3.3.2 Načrt programa

Program naj bi vodil avtomatsko obratovanje stroja. Ker to vsebuje več spremenljivih parametrov, smo se odločili da bomo uporabniku omogočili nastavljanje le teh. Poleg tega naj bi program omogočal tudi ročno vodenje stroja. To je predsem pomembno v fazi razvoja programa in pa tudi kasneje za enostavnejše reševanje zastojev. Stroj med avtomatskim obratovanjem izvaja zaporedne cikle. Vsak od ciklov vsebuje natančno določena stanja. Na podlagi tega smo izbrali programski koncept avtomata končnih stanj [4].

3.3.3 Implementacija

Implementacija ročnega vodenja je bila trivialna. Najbolj smo se osredotočili na avtomat končnih stanj.

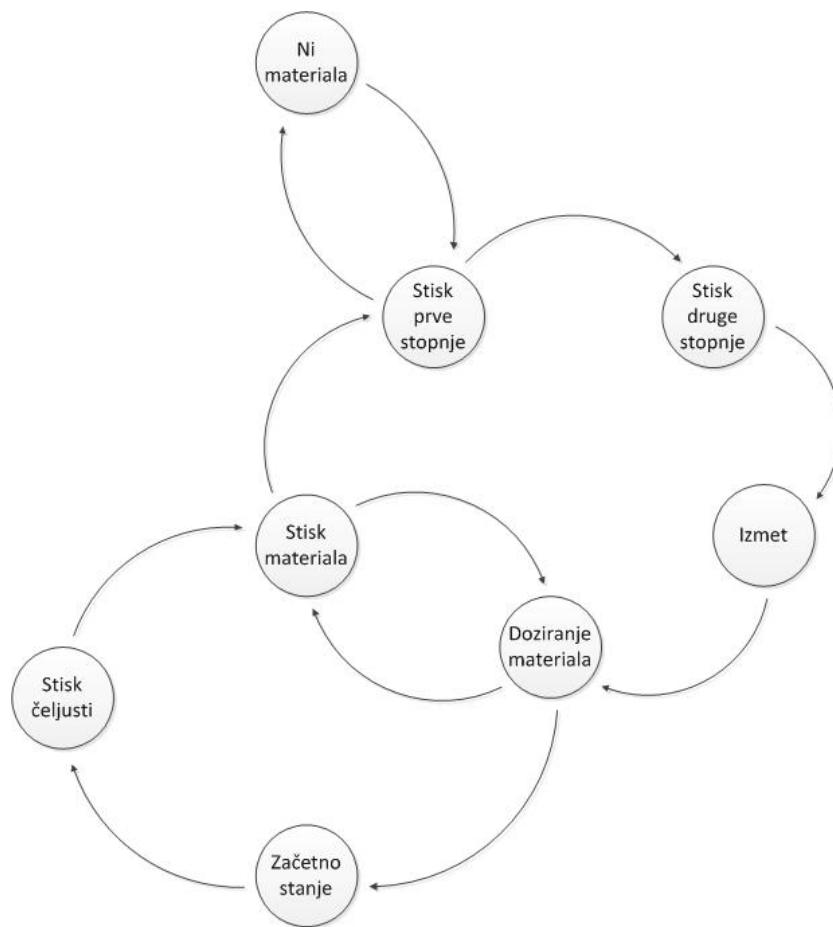
Sprogramirali smo začetno in končno lestev, ki sta nam služili kot vhodne in izhodne točke v avtomat (slika 3.8). Od tam smo, odvisno od zahtevanega stanja stroja, izvajali skoke na posamična stanja.

Začetno stanje

V začetnem stanju, stroj premakne glavni cilinder v svoj začetni položaj. To stori z vklopom ventilov 3 in 5. Med povratkom glavnega cilindra, nam preko mehanske povezave, rotor v zalogovniku meša material. Ko glavni cilinder doseže svoj končni položaj, tlak v sistemu skokovito naraste. To lastnost smo s pridom iskristili za zaznavanje njegovega končnega položaja. Ko tlačni senzor zazna, da je tlak v sistemu višji od nastavljene menjne vrednosti (17 bar). Ob zaključku izvede prehod v stanje stisk čeljusti.

Stisk čeljusti

Premikanje čeljusti je izvedeno s pomočjo enosmernega hidravličnega cilindra. Kot je razvidno iz hidravličnega načrta so povezane na ventil 3, ki je obenem povratni vod glavnega cilindra. To pomeni, da jih lahko stisnemo le kadar je glavni cilinder popolnoma odmaknjen. V tem stanju ostajata ventila



Slika 3.8: Načrt programa na konceptu avtomata končnih stanj.

3 in 5 aktivirana, dokler tlak v sistemu ne doseže nastavljene vrednosti za moč stiska čeljusti. To vrednost lahko operater ročno nastavlja (19 bar). Ob izpolnjenju pogoja, avtomat preklopi na stanje stisk materiala.

Stisk materiala

V tem stanju s cilindrom, ki se nahaja pod zalogovnikom, stisnemo material v glavno komoro. To naredimo z aktivacijo ventila 1. Stiskanje izvajamo vse dokler ne dosežemo končnega položaja, ki ga zaznamo posredno preko zvišanja tlaka. Ob izpolnjenem pogoju, avtomat odvisno od nastavitve, pre-

klopi v stanje doziranje materiala ali pa na stisk prve stopnje.

Stisk prve stopnje

Stanje predstavlja začetek stiskanja materiala v glavni komori. V tej fazi ni aktiviran noben ventil, ventil 5 pa je zaradi konstrukcije hidravličnega sistema v stanju mirovanja odprt. To povzroči hitro stiskanje glavnega cilindra. To stiskanje nima velike moči. Uporabljamo ga zaradi optimizacije procesa, saj tako prihranimo na času. Stanje izvede prehod na stisk druge stopnje ob doseženem pritisku, nastavljenem s strani operaterja (40 bar).

V kolikor cilinder doseže končni položaj preden doseže nastavljeni tlak, v komori ni dovolj materiala. V tem primeru povečamo števec praznih hodov za 1. Če je števec praznih hodov večji od tri, avtomat skoči na stanje ni materiala.

Stisk druge stopnje

To stanje nam predstavlja počasen stisk, kjer uporabimo celotno površino glavnega cilindra. To dosežemo z aktivacijo ventila 4. Pri tem stanju sistem dosega najvišje tlake. Zaradi visokega tlaka, se material v glavni komori sprime in tvori lesni briket. Stisk se vrši vse do dosega nastavljenega tlaka (60 bar). Ob dosegu tlaka, avtomat preklopi na stanje izmet.

Izmet

Stanje izmet nadaljuje s potiskom glavnega cilindra, pri tem pa sproti čeljusti s pomočjo ventila 6. Tako se trenutno stisnjeni briket premakne nekaj centimetrov naprej, iz glavne komore v izstopno vrsto. V tej vrsti se ponavadi nahaja približno 5 briketov. Stanje se izvaja dokler glavni cilinder ne pride do induktivnega senzorja za končni položaj. To je edini končni položaj, ki ga ne moremo zaznavati na podlagi zvišanja tlaka, saj je tlak v hidravličnem sistemu pri izmetu že sam po sebi zelo visok. Po uspešnem izmetu avtomat preklopi v stanje doziranja materiala.

Doziranje materiala

Stanje izvaja doziranje materiala z vklopom ventila 2. Ker imamo opravka z različnimi gostotami materiala, moramo material dozirati proporcionalno. Pri zelo gostih materialih (žagovina) odvezamo le polovico enega hoda dozirnega cilindra. Nasprotno v primeru redkega materiala (oblanje), odvezamo dva polna hoda cilindra.

Proporcionalno doziranje smo realizirali s pomočjo časovnikov. Ob začetku izvajanja doziranja zaženemo z merjenjem časa. Odvzem vršimo dokler se čas ne izteče oziroma cylinder ne doseže svojega končnega položaja. V kolikor cylinder doseže svoj končni položaj preden se čas izteče, vemo da bomo morali s preostalim časom izvesti ponovni odvzem.

V primeru da je šlo za prvo doziranje, avtomat preklopi na začetno stanje. Če pa je bilo doziranje drugo, stanje preklopi na stisk materiala.

Ni materiala

Stanje se aktivira v kolikor dosežemo tri prazne cikle pri stisku 1. stopnje. Naloga stanja je, da izklopi vse ventile in hidravlično črpalko. Stroj se ustavi. Na prikazovalniku se izpiše sporočilo "Ni materiala". Stroj tako v mirovanju čaka na dodajanje materiala. Po dodajanju materiala, mora operater pritisniti tipko start. Stroj se zažene, in nadaljuje svoje obratovanje od stanja pri katerem se je ustavil.

3.3.4 Rešitve izivov pri programiranju

Pri implementaciji programa smo naleteli na več zahtevnih problemov.

Največ preglavic nam je povzročalo neobjasnjeno prehitro preklapljanje med stanji končnega avtomata. Po daljšem diagnosticiranju težave smo ugotovili, da pride do pojava zaradi prepočasnega preklapljanja ventilov. Torej ob prehodu v novo stanje senzorji čakajo do določenega tlaka v sistemu. Ker traja skoraj pol sekunde da ventili zamenjajo stanje in tlak pade, senzorji zaznavajo še nespremenjen visoki tlak v sistemu. Tako pride do predčasnega

preklopa v naslednje stanje avtomata in efektivnega preskoka. Problem smo rešili z ignoriranjem vrednosti tlačnega senzorja prve pol sekunde ob menjavi stanja končnega avtomata.

Poleg pomanjkanja materiala, smo realizirali še opozorili za previsok tlak v sistemu in zastoj sistema. Opozorilo za visok tlak prikažemo, kadar je tlak v sistemu nad 200 bar več kot 0,7 s. Zakasnitev nam služi za filtriranje kratkočasnih špic, ki se pojavljajo ob preklonih ventilov. Te so pričakovane in ne smejo sprožiti opozorila. Zastoj sistema zaznavamo preko trajanja stanja končnega avtomata. Če katerokoli stanje končnega avtomata traja več kot 20 s vemo, da se je v sistemu pojavila nenkakšna napaka, zato sprožimo opozorilo za zastoj.

3.3.5 Uporabniški vmesnik

Pomemben del nadgradnje stroja je bil poleg učinkovitejše avtomatizacije, tudi večja prijaznost uporabniku. Operater s strojem rokuje preko vgrajenega prikazovalnika in tipkovnice (slika 3.5).

Tipkovnica nam omogoča takojšen zagon in ustavitev stroja (tipki start, stop). Prav tako je mogoče enostavno prekloniti med načini obratovanja stroja (tipki ročno, avtomatsko) in nastavitvami (tipka nastavitve). Tipka reset služi za ponastavitev stanja končnega avtomata stroja na začetno stanje. Manj pomembni sta tipki za prikaz trenutnega tlaka v sistemu in tipka za vklop osvetlitve zaslona. Prva je označena z besedo "bar", druga pa s simbolom žarnice.

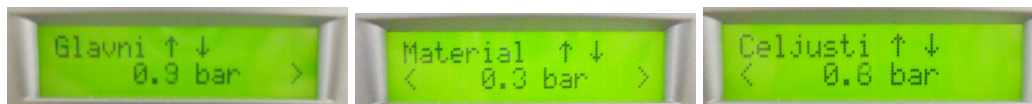
Pri preklonih med načini delovanja stroja preklapljammo tudi med njihovimi meniji. V glavnem meniju imamo tri izbire: ročni način, avtomatski način in nastavitve. Pri preklapljanju med njimi se nam prikazujejo pozdravni zasloni (slika 3.9). Navigiramo se s pomočjo smernih tipk levo in desno, kar je tudi ponazorjeno na prikazovalniku s pomočjo puščic.

Ročni način

Meni ročni omogoča ročno premikanje posameznih cilindrov. Sestavljen je iz zaslonov: glavni, material, čeljusti (slika 3.10). Premike cilindrov izvajamo s smernima tipkama gor in dol. Ti premiki so ponazorjeni s puščicami na prikazovalniku. Ob samem pritisku na smerno tipko za premik cilindra se vklopi hidravlična črpalka in ventili za izbran premik. Ob izpustu tipke se stroj samodejno ustavi.



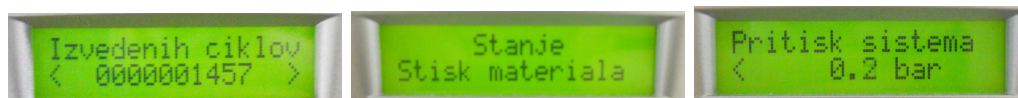
Slika 3.9: Pozdravni zaslon menija ročnega načina.



Slika 3.10: Zaslone ročnega načina za premikanje cilindrov. Ponazorjeni so prehodi med zaslone s puščicama levo in desno. Prav tako je ponazorjeno premikanje cilindrov s puščicama gor in dol.

Avtomatski način

Meni avtomatski način omogoča pregled trenutne faze delovanja avtomata končnih stanj, skupno število opravljenih ciklov, čas obratovanja in tlaka v sistemu (slika 3.11). Je zgolj informativne narave in ne omogoča nikakršnega nastavljanja parametrov.

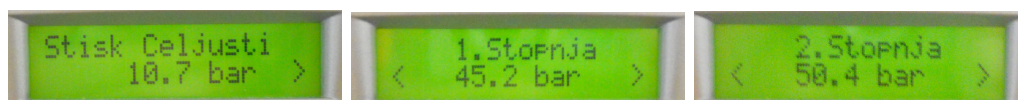


Slika 3.11: Primeri zaslonov menija avtomatskega načina. Prikazujejo nam skupno število izvedenih ciklov, trenutno stanje avtomata končnih stanj in trenutni tlak sistema.

Nastavitve

Meni nastavitve je eden izmed najpomembnejših. Preko njegovih zaslonov upravljamo z nastavitvami, ki določajo način obratovanja stroja. Tako lahko nastavljamo pritisk preklopa stiska prve stopnje, pritisk preklopa stiska druge stopnje, stisk čeljusti, povratni pritisk v začetnem stanju, pritisk stiska materiala (slika 3.12) in doziranje materiala (slika 3.13).

Nastavitve se shanjujejo v prvih 15 spominskih lokacij programirljivega logičnega krmilnika. Te se ob izgubi električne energije ohranjajo, s pomočjo notranje baterije, do deset let.



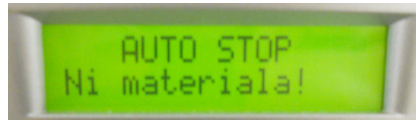
Slika 3.12: Zaslone v meniju nastavitve. Omogočajo nam nastavljanje mejnih tlakov za prehod med omenjenimi stanji končnega avtomata.



Slika 3.13: Zaslone za nastavljanje doziranja. Vidna je trenutna vrednost 1.75. To predstavlja en polni odvzem, ter nato še dodatni 0.75 odvzem materiala.

Opozorila

Stroj operaterju pri izjemnih dogodkih izpisuje opozorila. Opozorila izpiše v primeru: pomanjkanja materiala (slika 3.14), previsokem tlaku v sistemu in v primeru zastoja.



Slika 3.14: Zaslona opozorila za pomanjkanje materiala. Prikaže se po štirih izvedenih praznih ciklih.

Poglavje 4

Analiza rezultatov

Stroj smo obnovili in posodobili z investicijo približno 700 EUR. Glede na trenutne cene biomase na trgu [11], bi se morala investicija povrniti po predelanih štirih tonah materiala.

Po posodobitvi stroj obratuje bolj tekoče in učinkovito. Zmanjšali smo število uporabljenih stikal in senzorjev. S tem smo znižali možnost okvare. Največja pridobitev je dvojno doziranje materiala. To smo implementirali z uporabo naprednega krmiljenja. Tako smo dosegli, da stroj pri posameznem ciklu porabi 20 % več časa pri čemer naredi 100 % večji izdelek (slika 4.1). Tako je skupni pridobitek na učinkovitosti približno 70 %. Zaradi funkcionalnosti proporcionalnega doziranja je stroj postal primeren tudi za različnejše gostote materialov.

Največja pomankljivost na stroju, ki je nismo predvideli, je življenjska doba relejskih stikal. Ta se nahajajo v samem programirljivem logičnem krmilniku. V tehnični specifikaciji [8] je navedeno da je njihova predvidena življenjska doba 100.000 preklopov pri maksimalni tokovni obremenitvi (3 A). Mi jih sicer uporabljamo pri polovični obremenitvi (1.5 A). Vseeno smo s hitrim izračunom ugotovili da posamezno stikalo povprečno preklopi 150 krat na uro. Tako lahko pričakujemo prve okvare stikal že po 666 urah obratovanja. Stroj sicer v povprečju obratuje le 12 ur na mesec. Tako bi moral brez okvar delovati prihodnja 4 leta in pol.



Slika 4.1: Briket izdelan z uporabo dvojnega doziranja na levi in briket z uporabo enojnega doziranja na desni.

O pojavitvi prvih odpovedi notranjih relejskih stikal, nameravamo prevezati sklop z okvarjenim stikalom na enega od še ne izkoriščenih stikal (trenutno je v uporabi 7 od 11 notranjih relejskih stikal). To je ponovno le začasna rešitev. Ob končni odpovedi bomo poizkusili menjati vsa notranja stikala krmilnika. V kolikor nam to ne bo uspelo, bomo krmilnik nadomestili z novim. Ta bo imel tranzistorske izhode, relejska stikala pa bomo montirali ločeno. Tako bomo omogočili enostavno vzdrževanje.

Poglavje 5

Zaključek

Star stroj za izdelavo lesnih briketov smo polpolnoma razstavili in očistili. Obrabljene dele smo zamenjali z novimi, nekatere nepotrebne pa smo popolnoma odstranili. Z obnovo smo zamenjali kompletno krmiljenje stroja. Poleg obnove, smo stroj tudi nadgradili. To smo izvedli s pomočjo modernih senzorjev in stikal, prilagojenih za obratovanje v industrijskem okolju. Za krmiljenje smo uporabili sodobni programljivi logični krmilnik. Z njegovo pomočjo smo na novo implementirali krmilno logiko. Pri implementaciji programa smo uporabili programski model avtomata končnih stanj. Nova izvedba krmiljenja je zaneslivejša in pri isti strojni opremi prinese boljšo produktivnost stroja. Poleg krmiljenja smo s pomočjo zaslona in tipkovnice programskega logičnega krmilnika izvedli še uporabniški vmesnik. Tako stroj prikazuje svoje stanje in opozorila. Uporabniku je preko vmesnika omogočeno tudi enostavno in pregledno nastavljanje parametrov stroja. Tako smo razširili področje uporabe, saj je stroj sedaj primeren za procesiranje več različnih vrst vhodnega materiala. Poleg nastavljanja parametrov je uporabniku omogočeno še ročno vodenje stroja, za reševanje zastojev. S pomočjo naprednega krmiljenja nas sam stroj na le te tudi opozarja. Implementirali smo še avtomatsko ustavitev stroja v primeru napake oziroma pomanjkanja materiala. To nam omogoči samostojno obratovanje stroja, brez konstantnega nadzora operaterja.

Izdelek ponuja še dodatne možnosti za nadgradnjo. Tako v prihodno-

sti računamo na vgraditev induktivnega stikala za zaznavanje položaja dozirnega cilindra. S tem bi lahko material stiskali že pri doziranju, kar je trenutno nemogoče, ker končni položaj cilindra za doziranje zaznavamo na podlagi zvišanja tlaka. Obstaja tudi opcija implementacije doziranja materiala s pomočjo regulacije PID (proportional integral derivative) [2]. Z njo bi v odvisnosti od tlaka v stanju stiska materiala spreminjali velikost doziranja. Na ta način bi še povečali avtonomnost stroja, saj bi se ta dinamično prilagajal materialu. Zaradi tega ne bi bilo več potrebe po operaterjevem ročnem nastavljanju doziranja materiala. Prišli pa smo do zaključka, da je delovanje stroja dovolj stabilno in optimalno za začetek obratovanja.

Ocenjujemo, da smo v celoti dosegli zadane cilje in menimo da bo izdelek ekonomsko popolnoma upravičil stroške nadgradnje.

Literatura

- [1] J. Stenerson, *Fundamentals of programmable logic controllers, sensors, and communications*, Columbus: Prentice Hall, 2004, str. 24 do 134.
- [2] A. Visioli, *Practical PID control*, London: Springer, 2006, pogl. 2 in 3.
- [3] Q. Zhang, *Basics of hydraulic systems*, London: CRC Press, 2009, pogl. 2, 3 in 4.
- [4] F. Wagner, R. Schmuki, T. Wagner, P. Wolstenholmei, *Modeling Software with Finite State Machines: A Practical Approach*, Boca Raton: Auerbach Publications, 2006, str. 63 do 180.
- [5] Tehnični podatki usmernika. Dostopno na:
<http://www.meanwell.com/search/DRP-240/DRP-240-spec.pdf>.
- [6] Tehnični podatki induktivnega stikala. Dostopno na:
<http://pdb.turck.de/en/DE/product/000000050003f47e0001003a>
- [7] Tehnični podatki tlačnega senzorja. Dostopno na:
<http://pdb.turck.de/en/DE/product/000000010001492a0004003a>
- [8] Jazz programirljivi logični krmilnik. Dostopno na:
http://www.unitronics.com/Data/Uploads/Jazz/JZ10-11-R31_TECH-SPEC_%2006-06.pdf.
- [9] Programator. Dostopno na:
http://www.unitronics.com/data/uploads/pdf/JZ-PRG_INSTL-GUIDE_01-06.pdf

- [10] Razvojno okolje U90 Ladder. Dostopno na:
<http://www.unitronics.com/Content.aspx?page=Downloads&CatId=3>.
- [11] Cene biomase. Dostopno na:
http://www2.arnes.si/~mlicen3/html/cene_energentov.html.