

# **Posodobitev nadzorno krmilnih funkcij hidravličnega agregata**

**Aljaž Čakš, Klemen Pušnik**

**Mentorji: <sup>1</sup>Darko Lovrec, <sup>1</sup>Vito Tič, <sup>2</sup>Aleš Hace**

**<sup>1</sup>Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Smetanova ulica 17, Maribor**

**<sup>2</sup>Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko računalništvo in informatiko,  
Smetanova ulica 17, Maribor**

**aljaz.caks@student.um.si, klemen.pusnik@student.um.si**

## ***Modernization of control and supervisory features of a hydraulic power unit***

The article discusses the problematics of control and supervision of a hydraulic power unit. The hydraulic power unit is without doubt the key part of any hydraulic system. With use of modern systems for control and supervision we can increase the reliability and also the lifetime of such system. Nowadays reliability is very important within all manufacturing processes.

The article is focused on insuring reliable operation of a hydraulic power unit. Nowadays these are equipped with many sensors which are used to control many actuators in the system. To handle and process all the data from the sensors, modern hydraulic power units may have an integrated controller and HMI (Human machine interface).

Based on an existing system for control and supervision an upgrade of this system was designed, using a more powerful controller and human machine interface screen which provides optimal operation of the whole hydraulic system. The new control program allows many expanded features and data logging.

## ***Kratek pregled prispevka***

Članek obravnava problematiko nadzora in krmiljenja hidravličnega agregata, ki je brez dvoma ključni del vsakega hidravličnega sistema. Z uporabo sodobnega krmilno-nadzornega sistema se poveča zanesljivost ter posledično tudi življenjska doba hidravličnega sistema. Zanesljivost je danes vsekakor ključnega pomena pri vsakem proizvodnem procesu.

Pozornost članka je usmerjena v zagotavljanje zanesljivega delovanja hidravličnega agregata. Ti so danes opremljeni s številnimi senzorji, ki skrbijo za krmiljenje in nadzor mnogih aktuatorjev v sistemu. Za obvladovanje in procesiranje vseh teh informacij imajo lahko sodobni hidravlični agregati nameščen krmilnik ter pripadajoč krmilni zaslon oz. vmesnik človek – stroj.

Na osnovi obstoječega sistema krmiljenja in nadzora hidravličnega agregata je bila zasnovana nadgradnja tega sistema z zmogljivejšim krmilnikom ter vmesnikom človek – stroj, ki zagotavlja optimalno delovanje celotnega hidravličnega agregata oz. sistema. Nov krmilni program omogoča mnoge razširjenje funkcije ter beleženje zgodovine dogodkov.

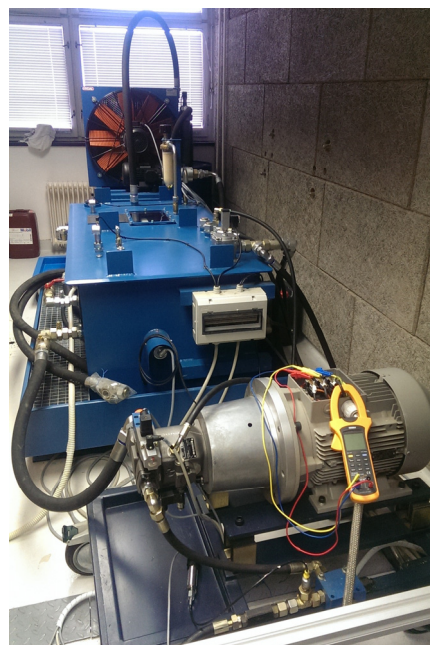
## 1 Uvod

Hidravlični agregat je brez dvoma ključni del vsakega hidravličnega sistema, ki vsebuje in združuje segmente strojništva, elektronike, senzorike in informatike. Torej ga upravičeno uvrščamo med predstavnike mehatronskih oz. natančneje fluidronskih sistemov. Od njegove zanesljivosti ni odvisno zgolj delovanje hidravlike, ampak je od nje odvisno delovanje celotnega stroja oz. naprave. Prav zanesljivost ima pri današnjih hidravličnih agregatih ogromen pomen. Z zanesljivejšim sistemom se namreč zmanjšajo stroški vzdrževanja, zmanjša se poraba energije, ter poveča izkoristek. Posledično pa se tudi podaljša življenjska doba hidravlične tekočine ter samega sistema. Z uporabo nepravilno oz. slabše izvedenega nadzorno krmilnega sistema se lahko na daljše obdobje stroški obratovanja zelo povečajo, saj so potrebna pogostejša vzdrževalna dela. Za zagotavljanje zanesljivejšega delovanja hidravličnih agregatov so ti danes opremljeni s številnimi senzorji, ki omogočajo krmiljenje in nadzor mnogih funkcij. Tako je mogoče nadzirati nivo hidravlične tekočine v rezervoarju, obratovalni tlak, temperaturo hidravlične tekočine, zamašenost filtrov, vklop hladilnih sistemov, itd. Mnogokrat zastarela senzorska oprema in krmilno nadzorni sistem agregata ne zagotavljata niti osnovnega nadzora najpomembnejših parametrov, kaj šele popolnega nadzora vseh obratovalnih parametrov. Nadzor se lahko izvaja bodisi na licu mesta ali, mnogo bolje, tudi na daljavo, medtem ko se lahko vsi pomembni dogodki in spremembe stanj beležijo v zgodovini obratovanja. V prispevku je predstavljen pristop k snovanju sodobnega nadzorno krmilnega sistema industrijskega agregata ter njegova implementacija. Krmiljenje aktuatorskega dela (motor glavne črpalke, grelnik tekočine, pogon obtočne črpalke ter motor hladilnega ventilatorja) in krmilno nadzorni sistem sta izvedena z uporabo krmilnika Siemens S7-1200, programiranega v programerskem okolju TIA Portal V12. Za vizualizacijo pa je uporabljen Simatic-ov HMI (Human machine interface oz.

vmesnik človek - stroj) Comfort Panel TP-700. Ta v povezavi s krmilnikom omogoča nadzor stanj posameznih aktuatorjev ali merjenih veličin, izboljšuje način arhiviranja podatkov in dogodkov ter omogoča uvedbo inovativnega servisnega koncepta. Tak sistem zagotavlja optimalno delovanje sodobnega hidravličnega agregata.

## 2 Hidravlični agregat

Eden najpomembnejših segmentov hidravličnega agregata je njegov rezervoar, saj ta shranjuje ves prenosni medij (npr. mineralno olje). Poleg tega tudi kompenzira spremembe količine olja zaradi temperaturnih sprememb in kompenzira izgube zaradi možnega puščanja v sistemu. Velikost rezervoarja je odvisna od pretoka črpalke, potrebne količine hidravlične tekočine za shranjevanje in od velikosti vgradnega prostora. Naslednji pomemben segment je pogonski del agregata, ki je sestavljen iz glavne batne črpalke [1], katero poganja elektromotor, moči 15 kW. Maksimalen pretok olja znaša 60 L/min.



*Slika 1: Hidravlični agregat.*

Pri črpanju hidravlične tekočine skozi celoten sistem se tekočina segreva, s tem pa se ji spreminja viskoznost. Višja kot je temperatura tekočine, manjša je namreč njena viskoznost

[2]. Zato je potrebno temperaturo olja vzdrževati na optimalni temperaturi, ki običajno znaša 40 °C, za kar je potrebno olje hladiti (v določenih primerih pa tudi greti). V ta namen se uporablja obtočna črpalka [1], ki se vklopi v primeru povečanja temperature in/ali povečanja nivoja olja. Kadar je temperatura zelo visoka se vključi še ventilator [3] za hlajenje olja, ki ga črpalka poganja skozi obtočni vod. Za gretje prenosnega medija med obdobji, ko hidravlični sistem ne obratuje, ali pa je potrebno greti prenosni medij zaradi nizkih temperatur okolice, je uporabljen grelnik [4]. Zelo pomemben je način vgradnje grelnika. Namreč, potrebno ga je vgraditi v pretočnem območju, saj lahko pride v nasprotnem primeru do lokalnega pregrevanja olja na stenah grelnika, pri čemer se tvorijo netopni lakasti produkti, olje pa se pri tem pospešeno stara. V primeru, da grelnik ni nameščen, ima olje pri zagonu nižjo temperaturo olja, ter posledično višjo viskoznost. Rezultat je večje trenje in možen pojav kavitacije na sesalni strani črpalke.

Naslednja segmenta agregata sta povratni in obtočni filter, ki opravljata vlogo filtriranja olja. Povratni filter je nameščen na pokrovu agregata in filtrira hidravlično olje ob vračanju iz sistema v rezervoar. Obtočni filter pa je pozicioniran poleg obtočne črpalke in je običajno finejši od povratnega, kar nam omogoča boljšo dodatno filtracijo nečistoč iz olja. Oba filtra imata tudi vgrajen senzor zamašenosti filtra.

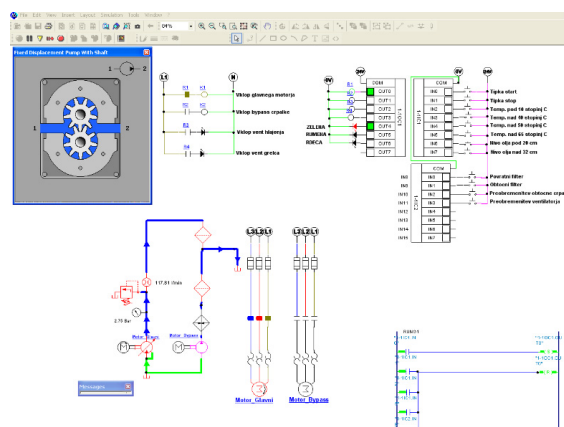
## 2.1 Senzorji

Merilnik temperature hidravlične tekočine [5] ima štiri številčni digitalni prikazovalnik, ki ga je možno rotirati za boljšo vidljivost. Poleg analognega izhoda nam ponuja tudi dva preklopna izhoda, ki jih lahko obremenimo s tokovi do 1,2 A. Merilno območje senzorja znaša od -25 °C do 100 °C, s pogreškom 1,5 °C. Meritev lahko prikazuje v stopinjah Celzija ali pa v stopinjah Farenheita. Merilnik nivoja s temperaturo [6] smo vgradili v področju sesalne cevi, saj želimo meriti nivo in temperaturo hidravličnega olja, ki ga črpamo v sistem. Uporabljen je senzor, ki omogoča meritev obeh

veličin hkrati. Tudi ta senzor ima vrtljiv štiri številčni digitalni prikazovalnik, ponuja pa štiri preklopne izhode, ki jih lahko posamezno obremenimo s tokovi do 1,2 A. Prav tako ima dva analogna izhoda, ki jih lahko določimo kot tokovna (4 – 20 mA) ali pa napetostna (0 – 10 V), s pogreškom 2 % območja merjenja, ki znaša od -25 °C do 100 °C. Tlačna senzorja [7] smo vgradili tako na območju podtlaka na sesalni strani črpalke, kakor tudi na tlačni strani črpalke. Merilno območje slednjega sega od 0 do 400 bar, medtem ko merilno območje senzorja podtlaka sega od -1 bar do 10 bar relativno. Senzorja imata relativno hiter odzivni čas, ki znaša manj kot 10 ms. Merilnika zamašenosti filtra [8] sta elektronska in nas o zamašenosti filtra obvestita z digitalnim krmilnim signalom, poteg tega pa nas opozorita tudi optično, saj se na njima vklopi opozorilna LED signalna lučka.

## 3 Krmilje

Najprej smo preučili delovanje obstoječega krmilja oz. programa, ki smo ga simulirali v programu Automation Studio [9].



Slika 2: Automation studio.

Sledila je nadgradnja ter optimizacija programa, ki je predhodno vseboval tudi nekaj manjših napak. Prvotni program je bil napisan v programskem jeziku STL v programskem okolju Simatic Step 7 in se je izvajal na krmilniku Siemens S7 200. Omenjeni krmilnik je nadomestil novejši in zmogljivejši krmilnik Siemens serije S7 1200. Program zanj smo napisali v programskem jeziku LAD (lestvični

diagram) v programskem okolju TIA Portal V12 [10]. Krmilniku smo dodali še dodatni analogni modul SM 1234 AI/AQ ter Ethernet stikalo (CSM 1277).

Krmilnik Siemens S7 200 [11] vsebuje procesor CPU 224, deluje na 24 V enosmerne napetosti. Ponuja nam 14 digitalnih vhodov, ter 10 digitalnih izhodov, kar zadostuje trenutni osnovni aplikaciji.

Siemens krmilniki serije S7 1200 [12] so zasnovani na treh različnih procesorjih CPU 1211C, CPU 1212C in CPU 1214C, ki jih lahko razširimo z vhodno / izhodnimi moduli. Deluje na 24 V enosmerne napetosti. Ima 75 kB delovnega spomina. Ponuja nam 14 digitalnih vhodov in digitalnih 10 izhodov, ter 2 analogna vhoda.

Ethernet stikalo CSM 1277 vsebuje štiri priključke s katerim lahko priključimo štiri naprave (računalnik, HMI...) preko Ethernet vodila. Povezuje jih s hitrostjo do 10/100 MBit/s.



Slika 3: Krmilnik S7 200 (levo) in krmilnik S7 1200 (desno).

### 3.1 Nadzor

Krmilno-nadzorni program izvaja nadzor stanj, ki mu jih sporočajo senzori. V našem primeru so ti parametri oz. stanja:

- **temperatura hidravličnega olja v bližini glavne sesalne cevi**, s pomočjo katere nadzorujemo spremembo temperature olja in s tem tudi njegove viskoznost – ohraniti skušamo optimalno vrednost
- **temperaturo hidravličnega olja v bližini obtočne sesalne cevi**, saj želimo ohraniti optimalno vrednost temperature. Olje hladimo v obtočnem sistemu, pri

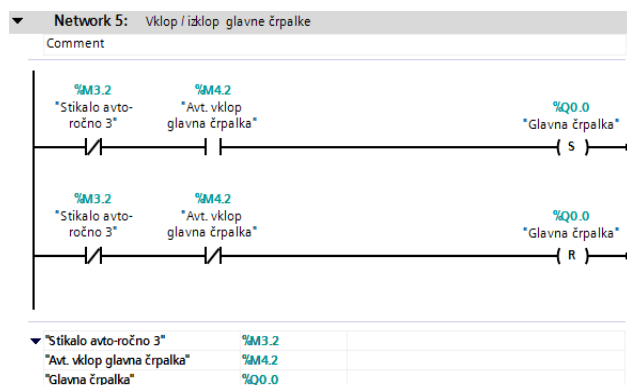
čemer temperaturo vzdržujemo s krmiljenjem ventilatorja. Zato je smiselno meriti temperaturo pri vstopu v obtočno cev.

- **nivo hidravličnega olja v bližini glavne sesalne cevi**, saj želimo zagotoviti ustrezen nivo olja na mestu črpanja.
- **zamašenost povratnega in obtočnega filtra**, saj je potrebno oba filtra ob primeru zamašitve nemudoma zamenjati.
- **preobremenitev motorja obtočne črpalke in hladilnega sistema**, saj je potrebno v primeru preobremenitve njihovo delovanje prekiniti. V primeru samo povišane temperature lahko stanje javimo v obliki opozorila (rumena lučka), v primeru nedopustne temperature pa moramo obtočni sistem ohladiti.

### 3.2 Zasnova krmilja

Kadar je temperatura olja v območju med 10 °C in 40 °C, delujeta glavna črpalka in grelnik. Njuna naloga je, da olju zagotovita optimalno temperaturo, ki znaša okoli 40 °C. Ko se olje nahaja na optimalni temperaturi, to signalizira zelena lučka. V kolikor temperatura pade pod 10 °C je potrebna takojšnja zaustavitev delovanja celotnega hidravličnega sistema, obenem pa se prižge rdeča lučka, kot znak napake. Ko temperatura naraste nad 40 °C se vklopi obtočna črpalka. V primeru, da temperatura še naprej narašča, se pri 50 °C vklopi ventilator. V primeru, da temperatura naraste na 65 °C, se mora celoten hidravlični sistem ustaviti. Prav tako je potrebna zaustavitev sistema, kadar pride do preobremenitve motorja ventilatorja ali preobremenitve glavne črpalke. V primeru zamašitve povratnega filtra se delovanje agregata ustavi, medtem ko se zamašitev obtočnega filtra le signalizira z rumenim alarmom, pri čemer se tudi izklopita obtočna črpalka ter ventilator (ostali aktuatorji obratujejo nemoteno naprej). Ko nivo olja pade pod 20 cm se celoten sistem nemudoma ustavi, saj bi lahko prišlo v nasprotnem primeru do poškodb ali/in uničenja glavne črpalke. Kadar

znaša nivo olja med 20 cm in 32 cm agregat deluje nemoteno, kar signalizira zelena lučka, v kolikor pa nivo olja naraste nad 32 cm, se vklopi obtočna črpalka in začne svetiti rumena lučka, kot znak opozorila. V primeru, da tlak naraste na 80 bar se celoten hidravlični sistem ustavi. Ob vsaki zaustavitvi sistema do njegovega ponovnega zagona sveti rdeča lučka, ki signalizira napako.



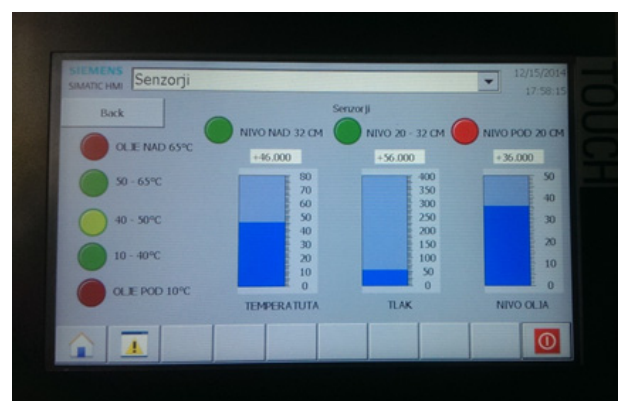
Slika 4: Izsek krmilnega programa.

#### 4 Vmesnik človek – stroj in Scada sistem

Vmesnik človek – stroj oz. HMI (Human machine interface) je pomemben del vsakega nadzornega sistema, saj predstavlja vmesnik med operaterjem in samim procesom. Njegove osnovne naloge so vizualizacija parametrov oz. stanj na agregatu, prikazovanje alarmov oz. napak, beleženje zgodovine, omogoča pa tudi nadzor sistema neposredno preko interneta. Prvotno je bil za vizualizacijo uporabljen zaslon Simatic KTP 400 [13], ki pa je omogočal zgolj vizualizacijo stanja sistema in javljanje napak ali opozoril. Ta zaslon je bil tudi relativno majhen. Zato smo se odločili za uporabo večjega in zmogljivejšega HMI zaslona TP 700 Comfort [14]. Ta nam poleg prej naštetih prednosti omogoča tudi beleženje zgodovine več podatkov, naprednejše javljanje alarmov in neposredno povezavo z internetom, kar nam omogoča nadzor hidravličnega agregata preko oddaljenega računalnika. Zaslon ima tudi režo za SD kartico, na katero je mogoče shranjevati zgodovino.



Slika 5: HMI KTP 400 basic.



Slika 6: HMI Comfort TP 700.

#### 5 Zaključek

Sodobni hidravlični agregati so običajno opremljeni z mnogimi senzorji, ki pogojujejo uporabo napredne in zmogljive krmilne opreme. Nadzorno krmilna oprema sodobnega agregata vsebuje krmilnik ter zaslon, ki služi kot vmesnik človek – stroj. Krmiljenje samega agregata lahko sicer poteka preko diskretnih oz. digitalnih krmilnih signalov, ampak se vedno pogosteje uporabljajo zvezni oz. analogni krmilni signali, ki nam omogočajo natančno spremljanje stanj ter beleženje natančne zgodovine dogodkov, v kolikor nam nadzorno krmilna oprema to seveda mogoča. Pri sami izbiri krmilne opreme pa je bistvenega pomena njena funkcionalnost, razširljivost ter zanesljivost.

Napredne funkcije, ki jih ponujajo sodobni krmilno nadzorni sistemi, kot npr. simultano spremljanje in prikazovanje več parametrov hkrati, beleženje zgodovine dogodkov in stanj,

dostopnost do krmilno nadzorovalnih funkcij iz oddaljenega mesta – preko interneta, ter mnoge ostale funkcije, se zaradi mnogih prednostih pri spremljanju in vzdrževanju strojev vedno bolj uveljavljajo tudi na področju hidravličnih agregatov.

## 6 Literatura

- [1] <http://www.boschrexroth.com/ics/Vornavigation/Vornavi.cfm?Language=EN&DisplayType=tile&Region=none&VHist=Start,p537304,p537302,p537444&PageID=p539194>.
- [2] [https://estudij.um.si/pluginfile.php/192957/mod\\_resource/content/1/03\\_teden\\_3/hp-03a\\_fizikalne\\_osnove\\_2.pdf](https://estudij.um.si/pluginfile.php/192957/mod_resource/content/1/03_teden_3/hp-03a_fizikalne_osnove_2.pdf).
- [3] <http://www.hydacusa.com/betadownloads/catalogs/1303-1506%20Standard%20Coolers.pdf>
- [4] <http://www.scribd.com/doc/211134056/AB-32-10-heater#scribd>.
- [5] <http://www.hydac.com/de-en/products/sensors/temperature-sensors/electronic-temperature-switch/ets-3200.html>.
- [6] <http://www.hydac.com/de-en/products/sensors/level-sensors/electronic-level-switch/ens-3000.html>.
- [7] <http://www.hydac.com/de-en/products/sensors/pressure-sensors/electronic-pressure-switches.html>.
- [8] <http://www.hydac.com.au/MessageForceWebsite/Sites/279/Files/E.7.050.13.03.12.pdf>
- [9] <http://www.automationstudio.com/>.
- [10] <https://support.industry.siemens.com/cs/?lc=en-AE>.
- [11] [https://www.automation.siemens.com/doconweb/pdf/SINUMERIK\\_SINAMICS\\_03\\_2013\\_E/S7200SH.pdf?p=1](https://www.automation.siemens.com/doconweb/pdf/SINUMERIK_SINAMICS_03_2013_E/S7200SH.pdf?p=1).
- [12] [https://cache.automation.siemens.com/dnl/jI/jIyNTY3AAAA\\_39710145\\_HB/s71200\\_easy\\_book\\_en-US\\_en-US.pdf](https://cache.automation.siemens.com/dnl/jI/jIyNTY3AAAA_39710145_HB/s71200_easy_book_en-US_en-US.pdf).
- [13] [https://www.automatyka.siemens.pl/docs/docs\\_ia/HMI\\_KTP400\\_KTP600\\_KTP1000\\_TP1500.pdf](https://www.automatyka.siemens.pl/docs/docs_ia/HMI_KTP400_KTP600_KTP1000_TP1500.pdf).
- [14] <http://www.auser.fi/data/attachments/ST80%20Comfort%20panelit.pdf>.