

Primerjava prilagodljivih konceptov regulacije tlaka

Darko Lovrec, Edvard Kiker
Fakulteta za strojništvo v Mariboru
Smetanova 17, 2000 Maribor
d.lovrec@uni-mb.si; edvard.kiker@uni-mb.si

Comparision of pressure control concepts

Abstract: Variable hydraulic pumps can be in principle controlled at the hydraulic or electric side. Constant speed induction motors in combination with adjustable pump displacement volume and constant displacement volume pumps in combination with variable rotational speed motors are used respectively in order to control flow or consequently pressure of the medium.

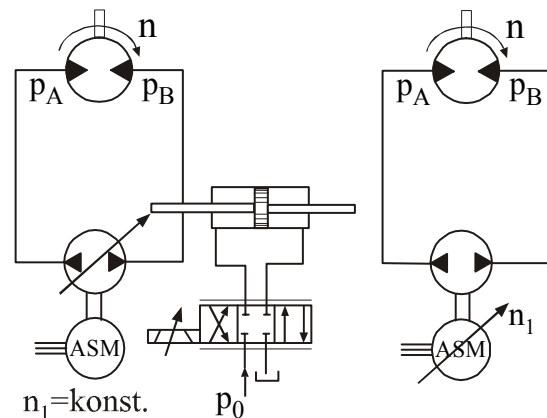
The purpose of the work is to present both concepts of pressure control and to compare the dynamics of both concepts under same conditions in particular.

1 Uvod

Pri industrijskih izvedbah elektro hidravličnih napajalnih pogonov, primernih za uporabo na sodobnih obdelovalnih in preoblikovalnih strojih, strojih za brizganje plastičnih mas ..., kot tudi na specifično zahtevnem področju namenskih in preskuševalnih strojev ter naprav, je vse bolj v ospredju potreba po prenosu velikih moči ob malih izgubah. V takšnih primerih se običajno uporablja princip volumetričnega krmiljenja hidravlične energije s prilagajanjem potrebam porabnikov - prilagodljivi hidravlični pogoni.

Tovrstni pogoni so lahko načeloma izvedeni s krmiljenjem na hidravlični oz. s krmiljenjem na električni strani. Prvi uporabljajo konstanten vir energije npr. asinhronski elektromotor, krmiljenje hidravlične energije pa se vrši na hidravlični strani s pomočjo nastavljivih črpalk, drugi pa uporabljajo hidravlične črpalke s konstantno iztislino, spreminjanje pretoka in s tem tlaka pa se dosega z nastavljanjem vrtilne hitrosti pogonskega elektromotorja - krmiljenje

energije na električni strani. Primerjavo obeh omenjenih konceptov prikazuje slika 1.



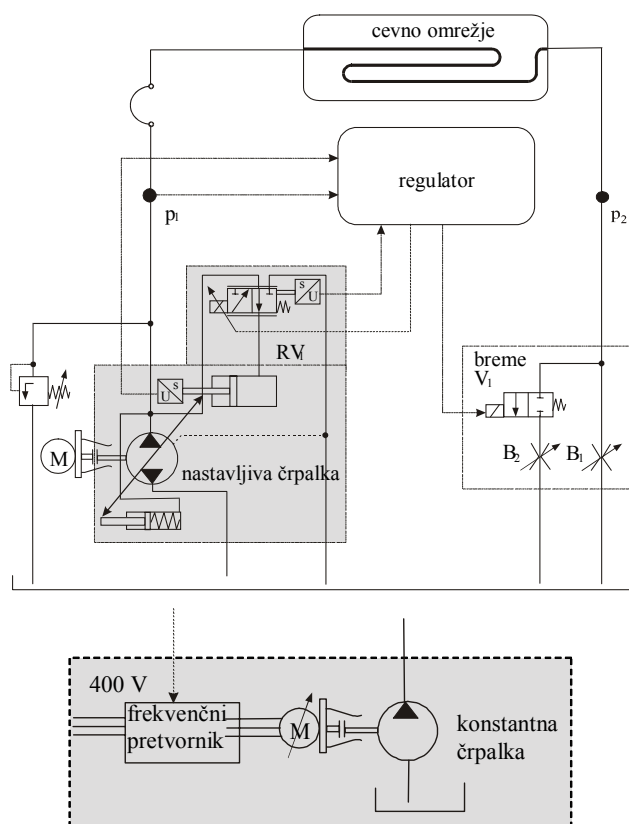
Slika 1: Obravnavana koncepta regulacije tlaka

Osnovni cilj in namen prispevka je predstaviti oba omenjena koncepta regulacije tlaka, predvsem pa primerjati dinamiki obeh izvedb regulacije. Zaradi tega so bile izbrane komponente s približno enako iztislino (iztisljenim volumnom na vrtljaj) in potrebno pogonsko močjo, vodilno in motilno obnašanje ter kombinirano vodilno-motilno obnašanje pa primerjano pri enakih obratovalnih pogojih in v enakih obratovalnih točkah.

Dinamika obeh konceptov izvedbe regulacije tlaka je primerjana za najprej za vodilno in motilno ter za kombinirano vodilno-motilno obnašanje. Najprej so primerjani rezultati simulacije in eksperimenta regulacije tlaka izvedene z nastavljivo črpalko, nakar enako še za koncept s konstantno črpalko. Natančnejšo primerjavo dinamike obeh izvedb regulacije tlaka pa podaja samo neposredna primerjava eksperimentalnih rezultatov obeh konceptov, na osnovi katere je tudi ugotovljeno iskano razmerje dinamik obeh obravnavanih konceptov regulacije tlaka.

2 Zgradba preskuševališča

Za namene najprej simulacijsko teoretičnih in kasnejših eksperimentalnih raziskav regulacije tlaka, tako konceptov z nastavljivimi črpalkami kot konceptov z hitrostno reguliranim elektromotorjem in konstantno črpalko, je bilo zgrajeno večnamensko preskuševališče. Primer izvedbe preskuševališča, namenjenega raziskavam regulacije tlaka z nastavljivimi črpalkami, prikazuje slika 2. V primeru izvedbe hitrostno regulirane konstantne črpalke je razen črpalke oz. pogonskega dela, preostali del preskuševališča enak.



Slika 2: Zgradba preskuševališča za primer uporabe nastavljive (zgoraj) oz. konstantne črpalke (spodaj)

Pri tem je bila upoštevana zahteva, da je v obeh primerih potrebno uporabiti cenovno ugodne komponente v tržni, industrijski kvaliteti.

V primeru uporabe nastavljive črpalke služi za napajanje sistema aksialna batna črpalka z nagibno ploščo proizvajalca Bosch-Rexroth, tip A10VSO, ki jo poganja 15 kW asinhronski elektromotor proizvajalca Siemens, tip 1LA7

166-4AA 60. Ker je vrtilna hitrost motorja konstantna (1500 min^{-1}), je pretok črpalke odvisen samo od nagibnega kota plošče črpalke. Krmilni sistem nagibanja plošče je izveden s proporcionalnim ventilom RV_1 z dvema krmilnima robovoma. Napajanje sistema nastavljanja črpalke je izvedeno interno, iz tlačne mreže. Vzoredno prigraven tlačno omejevalni ventil pa varuje hidravlični krogotok pred preobremenitvami.

Črpalka dobavlja hidravlično tekočino v cevno omrežje, katerega je možno s pomočjo 3-potnih krogličnih ventilov spreminjati. Vključeni so lahko le posamezni odseki cevnega omrežja. Cevno omrežje je izvedeno tako, da je možno spreminjati dolžino cevovoda. V našem primeru so dolžine cevi 9 m, 21 m in 33 m. Na ta način se lahko s spremembo volumna tekočine v cevnem omrežju raziščejo vplivi hidravlične kapacitivnosti in hidravlične induktivnosti na samo regulacijo tlaka, ki sta pomembna vplivna dejavnika pri regulaciji tlaka.

Kot porabnika služita dve nastavljivi zaslonki B_1 in B_2 , ki predstavljata dva vzoredno vgrajena hidravlična odpora. S pomočjo vklopnega ventila V_1 , ki je vgrajen pred zaslonko B_2 , je možno izvesti skorajda nenadno skočno spremembo odtekajočega toka tekočine, kar ustreza pojavu motnje pri regulaciji, npr. vklop oziroma odklop nekega nadaljnjege porabnika.

Za merjenje tlaka sta uporabljena manometra, eden meri tlak p_1 , tlak na izstopu iz črpalke, ki napaja sistem - obratovni tlak. Drugi manometer meri tlak p_2 , tlak pred samim porabnikom, na koncu cevnega omrežja.

V primeru izvedbe regulacije tlaka s konstantno črpalko in frekvenčno reguliranim asinhronskim elektromotorjem je uporabljen isti elektromotor kot pri prvem konceptu - le s to razliko, da je bil tam nastavljen na konstantno frekvenco in s tem konstantno vrtilno hitrost (1500 min^{-1}), v tem primeru pa preko prigrajenega frekvenčnega pretvornika (MIDIMASTER, proizvajalca Siemens) njegovo vrtilno hitrost lahko nastavljamo.

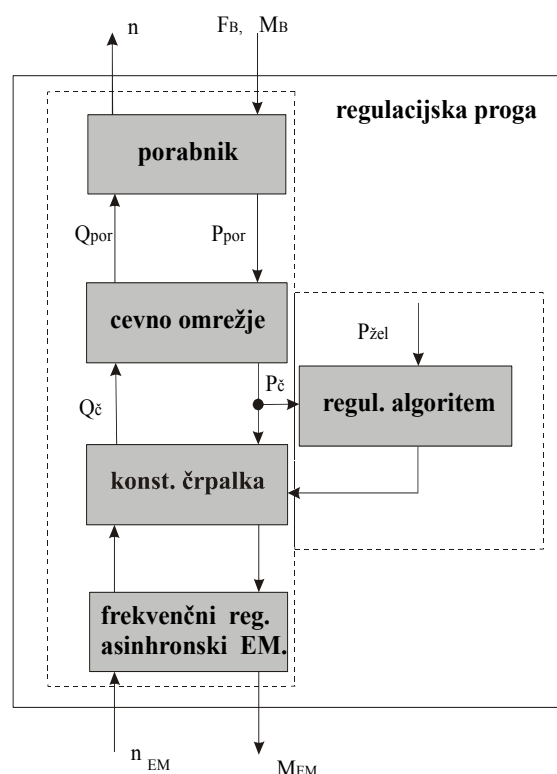
Za napajanje je uporabljena zobniška črpalka z zunanjim ozobjem velikosti NG 29, tip G3 serije 3X, proizvajalca Bosch-Rexroth, bremenska enota in cevno omrežje sta enaki kot pri konceptu z nastavljivo črpalko.

3 Modeliranje in simulacijske raziskave

Proces načrtovanja kompleksnih sistemov, kakršni so npr. elektro hidravlični pogoni, je zaradi medsebojnega učinkovanja hidravlike, elektronike, regulacijske tehnike in sensorike dokaj zahtevno opravilo. Koristen pripomoček pri tem delu je vsekakor uporaba primernega računalniškega orodja, ki je zasnovano na matematičnem modelu. Računalniška simulacija hidravličnih pogonov ponuja možnost oceniti in optimirati obnašanje pogona že v sami fazi načrtovanja, omogoča vpogled v delovanje pogona, izboljša razumevanje dinamičnega dogajanja, omogoča cenovno ugodne odločitve in optimiranje konstrukcijskih izvedb ter je v pomoč pri načrtovanju in optimiranju regulatorjev. Za oba primera regulacije tlaka bo v nadaljevanju prikazano modeliranje posameznih komponent in celotnega pogona ter izvedena simulacija dinamičnega dogajanja. Izhodišče bo najprej preprost model, ki omogoča samo splošen vpogled v dogajanje, nadalje bo model nadgrajevan oziroma razširjen do te stopnje, da bo opis dogajanja zelo blizu realnemu, sam model pa bo še vedno dokaj preprost in priročen za inženirsko uporabo.

Dinamično obnašanje takšnih kompleksnih sistemov, ki imajo veliko število linearnih in nelinearnih soodvisnosti med posameznimi veličinami, se ne da opisati z eno pregledno enačbo ali s sistemom linearnih diferencialnih enačb. Smiselna je ločena obravnava po posameznih podsistemih - delnih sistemih.

V primeru regulacije tlaka s konstantno črpalko je celoten sistem sestavljen iz sledečih delnih sistemov: konstantne črpalke, hitrostno (frekvenčno) reguliranega asinhronskega elektromotorja, cevnega omrežja, porabnikov in regulatorja. Medsebojni vpliv omenjenih delnih sistemov je shematično prikazan na sliki 3.



Slika 3: Delni sistemi regulacije tlaka s hitrostno reguliranim elektromotorjem in konstantno zobniško črpalko ter njihov medsebojni vpliv

Model, ki ga dobimo na osnovi enačb, ki opisujejo posamezne podsisteme, mora biti (dovolj) enostaven, primeren za inženirsko uporabo, rešljiv z običajnimi orodji za namene simulacije dinamičnega obnašanja ter kljub vsemu dovolj natančen ([1], [2]).

Da bi se opis dogajanja z modelom čimbolj približal dejanskemu stanju, je vsekakor smiselno upoštevati vrsto posebnosti pogona.

V primeru uporabe npr. nastavljive črpalke je vsekakor smiselno upoštevati vrsto napajanja mehanizma nastavljanja črpalke. Za krmiljenje valja mehanizma nagibanja se uporablja 3/2-potni proporcionalni regulacijski ventil, napajan interno, preko tlačnega priključka na črpalki. Interno napajanje regulacijskega ventila ima v primerjavi z eksternim napajanjem sicer prednost v enostavni zgradbi, vendar pa je dinamika regulacije glede vodilnega in motilnega obnašanja slabša, saj se količina tekočine, ki je potrebna za napajanje ventila

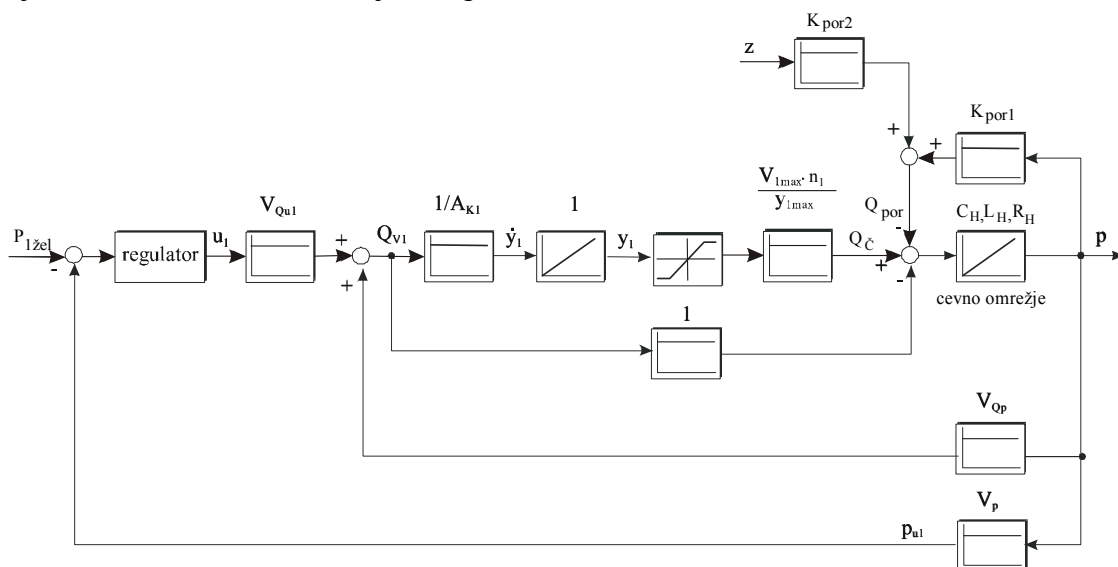
odvzema cevnemu omrežju, v katerem se regulira tlak, količina sama pa je tudi odvisna od tlaka sistema.

Prav tako je več pozornosti potrebno posvetiti tudi primernemu modelu cevnega omrežja in porabnika [3].

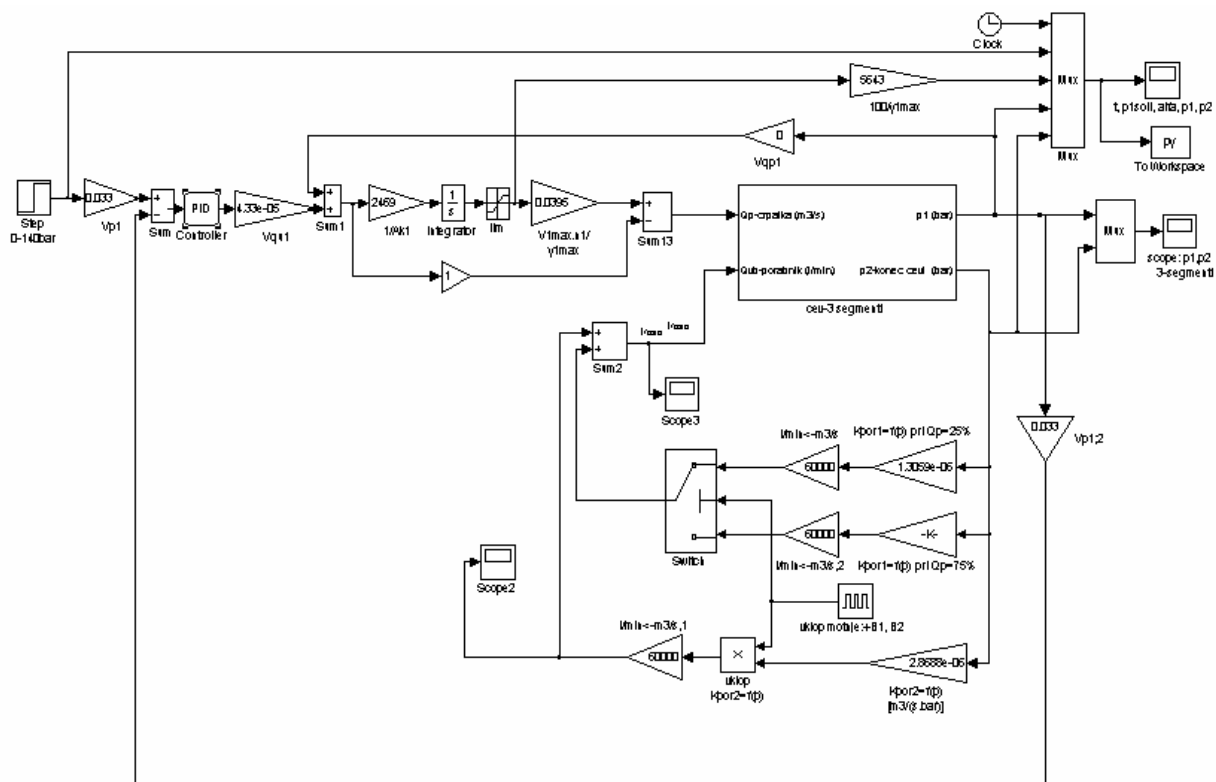
Kot primer prikazuje slika 4 blokovno shemo regulacije tlaka izvedene z nastavljivo črpalko,

z upoštevanjem internega napajanja črpalke, ustreznim modelom cevodov in modelom bremena, slika 5 pa prikazuje ustrezni, pripadajoči simulacijski model (Matlab/Simulink).

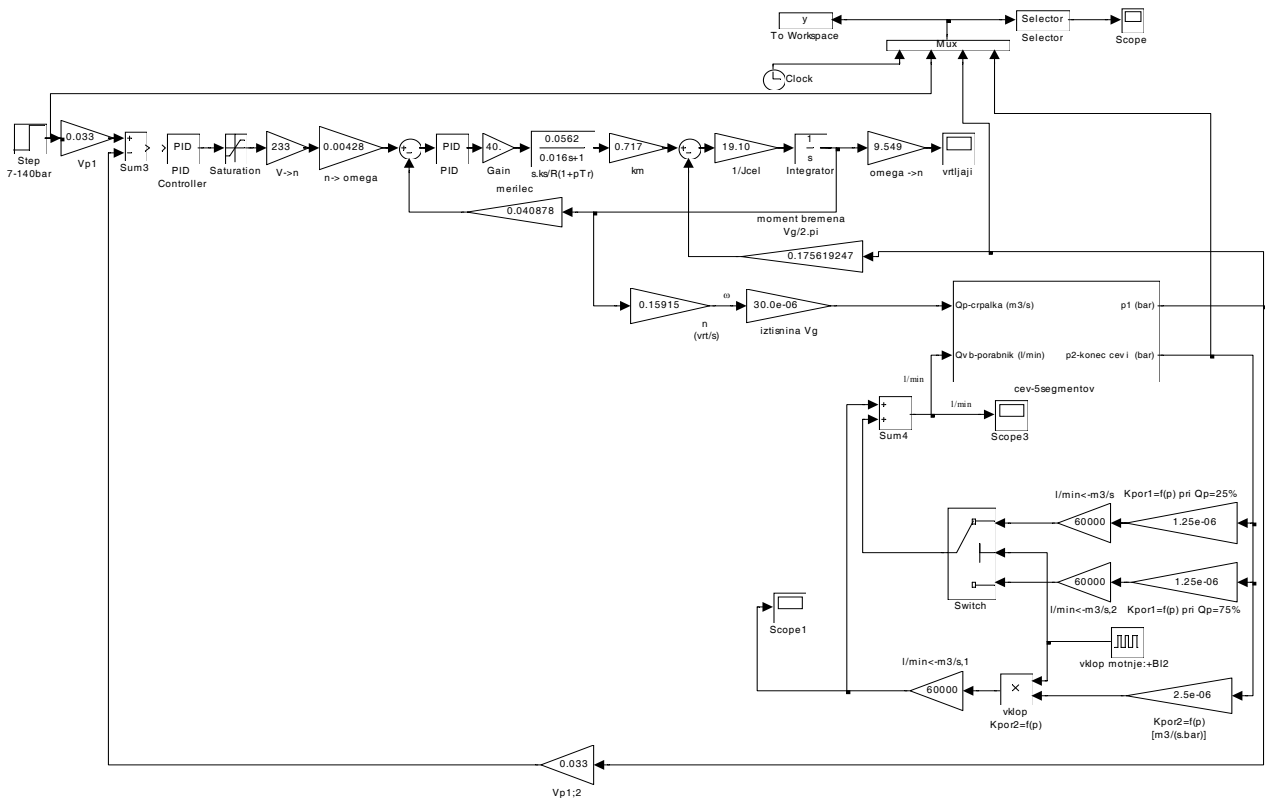
Podobno slika 6 prikazuje simulacijsko shemo regulacije tlaka izvedene s konstantno črpalko in frekvenčno reguliranim elektromotorjem.



Slika 4: Blokovna shema regulacije tlaka z nastavljivo črpalko in internim napajanjem



Slika 5: Simulacijska shema regulacije tlaka z nastavljivo črpalko



Slika 6: Simulacijska shema regulacije tlaka s konstantno črpalko [4]

4 Primerjava obeh konceptov regulacije tlaka

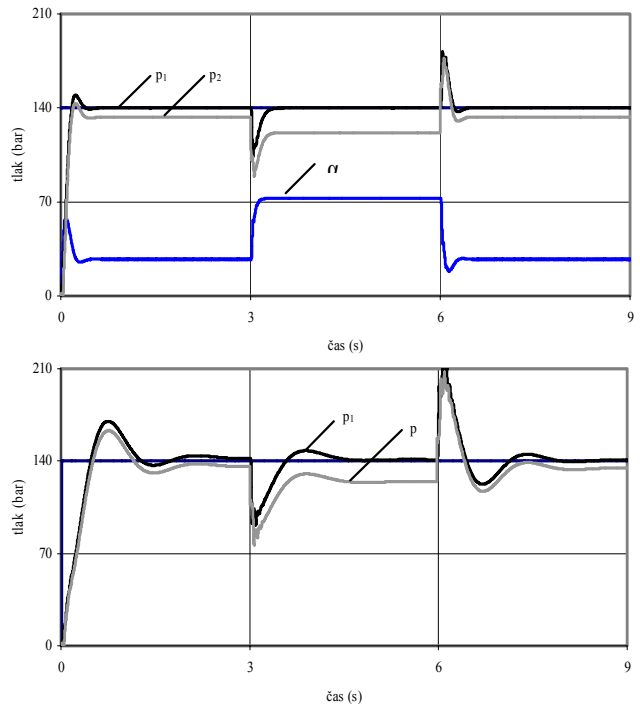
Primerjava simuliranih odzivov regulacije tlaka, enkrat z nastavljivo črpalko in drugič s konstantno črpalko, na osnovi modelov prikazanih na sliki 5 in sliki 6, je prikazana na sliki 7. V obeh primerih je bil uporabljen podroben model cevnega omrežja in bremena.

Na osnovi neposredne primerjave obeh simuliranih potekov tlaka je že možno ugotoviti razliko v dinamiki, hitrosti regulacije. Po grobi oceni znaša to razmerje približno med 4 in 5: regulacija tlaka z nastavljivo črpalko je približno štiri do pet krat hitrejša.

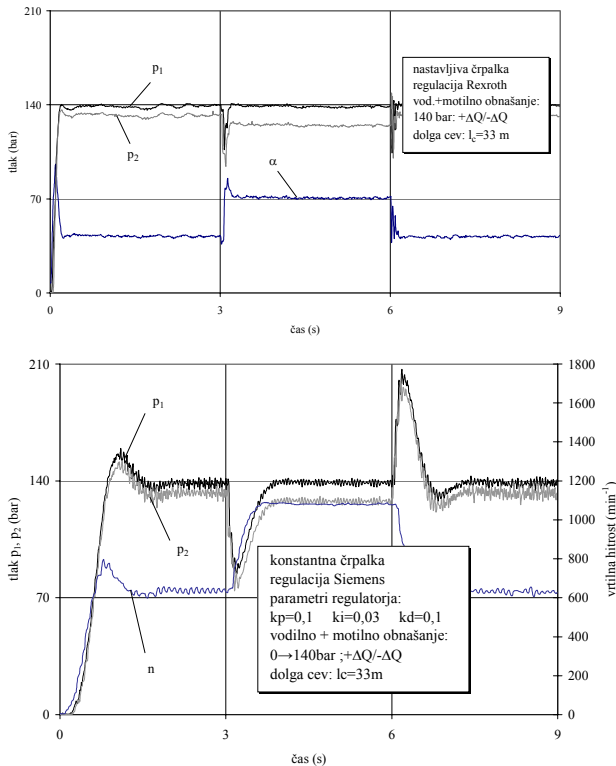
Bolj točen odgovor na vprašanje, za koliko se razlikujeta dinamiki obeh konceptov regulacije tlaka, je možno dati le na osnovi primerjave obeh eksperimentalnih potekov tlaka. To primerjavo prikazuje slika 8, za primer 33 m dolgega cevnega omrežja (enako kot v primeru simuliranih potekov).

Primerjava hitrosti odzivov vodilnega obnašanja regulacije tlaka med nastavljivo in konstantno črpalko kaže na razmerje 1: 4,7, v

primeru motilnega obnašanja, ob nastanku motnje - priklopu nadaljnega porabnika na razmerje 1:2,6 oz. ob odklopu porabnika 1: 4,4.



Slika 7: Primerjava rezultatov simulacije regulacije tlaka z nastavljivo (zgoraj) in s konstantno črpalko (spodaj)



Slika 8: Primerjava eksperimentalnih rezultatov regulacije tlaka z nastavljivo (zgoraj) in s konstantno črpalko (spodaj)

Profili časovnih potekov tlaka dobljeni na osnovi najprej simuliranih in nato še eksperimentalnih raziskav so si pri obeh izvedbah regulacije tlaka zelo podobni, razen mogoče pri odklopu bremena. Vzrok temu je potrebno iskati v dejanski izvedbi analognega regulatorja, na elektronski kartici nastavljive črpalke, ki uporabniku ni znana (razen tega, da gre za PD-regulator). Prav tako niso znane tovarniško nastavljene vrednosti parametrov regulatorja K_P in K_D . Še posebej to velja za parameter K_D , ki se grobo nastavi le glede na ocenjeno velikost volumna cevovoda.

Razmerja v dinamiki potekov tlaka pri drugačnih dolžinah cevi oz. drugih delovnih točkah so več ali manj podobna.

5 Zaključek

Razvoj na področju elektronike in cenovna sprejemljivost ter dostopnost komponent pogonske tehnike so veliko primerih omogočili ne samo napredka v določenih smereh tehnike, temveč tudi uporabo na drugih področjih

pogonske tehnike, kjer so imeli domicil drugačni pogonski koncepti.

Eden takšnih primerov so tudi sodobni elektro hidravlični napajalni pogoni s prilagodljivim napajalnim tlakom. Pri tem se vedno postavlja vprašanje kakšne so značilnosti oz. primernost uporabe enega ali drugega koncepta, predvsem pa vprašanje kakšna je dejanska razlika v njihovi dinamiki.

S tovrstnim vprašanjem se ukvarjal ta prispevek, kjer sta bila v ospredju dva različna koncepta regulacije tlaka: regulacija tlaka z nastavljivo črpalko in konstantno vrtlino hitrostjo pogona črpalke kot uveljavljen in razširjen koncept oz. regulacija tlaka s hitrostno reguliranim pogonom in konstantno črpalko, kot koncept, ki se zaradi svoje cenovne ugodnosti vse bolj uporablja.

Na podlagi najprej simulacijsko teoretičnih in kasneje še eksperimentalnih raziskav je bil poiskan odgovor na to na vprašanje. Podatek, da je ob enakih obratovalnih pogojih in ob enaki pogonski moči regulacija tlaka izvedena s konstantno črpalko in hitrostno reguliranim asinhronskim elektromotorjem 4 do 5 krat počasnejša od izvedbe z nastavljivo črpalko, je velikokrat koristen podatek pri odločanju projektantov o izbiri pogona.

6 Literatura

- [1] D. Lovrec in drugi, *Hidravlični pogoni s spremenljivim napajalnim tlakom – IRIOS (Inteligentni računalniško integrirani obdelovalni sistemi)*, zaključno poročilo programske skupine, Fakulteta za strojništvo v Mariboru, Maribor 2004
- [2] D. Hribernik, *Primerjava prilagodljivih napajalnih hidravličnih sistemov*, magistrska naloga, Fakulteta za strojništvo v Mariboru, Maribor 2004
- [3] D. Lovrec, D. Hribernik, E. Kiker *Model elektro hidravlične regulacije tlaka – osnova za načrtovanje in optimiranje pogona*, Ventil 8 (2002)/3
- [4] M. Kastrevc, *Analiza dinamike pogonske zveze asinhronskega elektromotorja in zobniške črpalke*, doktorska naloga, Fakulteta za strojništvo v Mariboru, Maribor 2003