

UDK 62—82:620.97

Varčevanje z energijo pri hidravličnih napravah*

ANTON STUŠEK

1. UVOD

Vse bolj kritična preskrba z energijo in vse zahtevnejši predpisi o zaščiti človekovega okolja terjajo tudi optimalnejše projektiranje hidravličnih naprav glede na porabo in izkoriščanje energije. Tem zahtevam se pridružuje še vse ostrejša konkurenca drugih načinov prenosa in spreminjanja energije ter krmiljenja strojev, predvsem z elektromehaničnimi prenosniki in elektronskimi krmilniki.

V splošnem moramo pri uporabi hidrostatičnih pogonov računati z nekoliko slabšimi skupnimi izkoristki. Pri tem je prava primerjava pogostoma vprašljiva, saj vedno ni na voljo ustreznih podatkov in meril. Toda s primerjalno analizo, ki jo v prispevku [19] podaja prof. dr. H. W. Nikolaus, za hidravlične motorje in elektromotorje lahko nedvoumno ugotovimo:

— veliko odvisnost izkoristka hidravličnih motorjev od delovnega tlaka,

— razmeroma dober izkoristek elektromotorja v območju blizu imenske vrtilne hitrosti ter

— zelo slab izkoristek električnega pogona v območju razmeroma majhnih obremenitev.

Toda niti prvi niti drugi način pogona ne zagotavljata ugodnih razmer pri izkoriščanju pogonske energije v širokem območju spreminjanja razmer pri obratovanju. Pri tem moramo upoštevati naslednje:

— pri industrijskih hidravličnih napravah je črpalka običajno gnana z elektromotorjem, kar pomeni, da je treba hidravličnim izgubam prišteti še električne, oziroma

— da so pri mobilnih strojih črpalke največkrat gnane z motorji z notranjim zgorevanjem, kjer se tudi pri dizelelektrični izvedbi pogona, podobno kakor pri hidrostatičnem pogonu, pojavljajo izgube v generatorju in motorju; zato je slednja, pri širšem območju spreminjanja obratovalnih razmer, lahko tudi neugodnejša.

Z uporabo sodobnih izvedb hidravličnih sestavin in novih zasnov krmiljenja je pri hidravličnih napravah mogoče pomembno izboljšati bilanco energije. Pri tem imajo na skupno porabo energije prevladujoč vpliv naslednji dejavniki:

— izkoristki črpalk, motorjev in hidravličnih akumulatorjev,

— dodatna moč za naprave, ki so potrebne za zagotovitev delovanja črpalk in motorjev, kakor so: krmiljenje in regulacija, dopolnjevanje, izpiranje, hlajenje ipd.,

— izgube v cevovodih in krmilnih ventilih,

— območja spremenljivih razmer pri obratovanju, npr.: delovni tlak, vrtilna in premočrna hitrost, delovne temperature itd.,

— načini in izvedbe hidravličnih vezij, krmiljenja in regulacije ter

— potrebna prestavna razmerja prenosnikov.

Tudi pri dobro izvedenih in brezhibno delujočih hidravličnih napravah lahko majhne, pogostoma tudi nevidne napake razmeroma majhen izkoristek še poslabšajo. Če takšne napake ugotovimo že v fazi projektiranja, lahko nepotrebno razmetavanje energije občutno zmanjšamo. Poznejši posegi so največkrat zamudni in težki ter povzročajo navadno tudi večje stroške. Zato bomo pred podrobnejšo razčlenitvijo možnosti za varčevanje z energijo najprej na kratko obravnavali najpomembnejše vire izgub v hidravličnih napravah.

2. IZGUBE V HIDRAVLIČNIH NAPRAVAH

Skupni izkoristek hidravličnega pogona je zmnožek izkoristkov posameznih sestavin v medsebojni povezavi. Bilanco energije lahko najpreprosteje opravimo s seštevanjem izgub posameznih sestavin v hidravličnem vezju tako, da za skupni izkoristek velja izraz:

$$\eta = 1 - \sum_{i=1}^n \frac{\Delta P_{iz}}{P_v} \quad (1)$$

kjer pomenijo: P_v — vhodno moč in ΔP_{iz} — izgube moči v posameznih hidravličnih sestavinah.

S takšno razčlenitvijo je razmeroma preprosto ugotoviti, kje so glavni viri izgub, ki vplivajo na skupni izkoristek, in s kakšnimi posegi in kje v hidravlični napravi se lahko najpomembneje vpliva na njegovo izboljšanje.

Podrobnejša razčlenitev in obravnava izgub je podana v [18], na tem mestu pa bomo omenili le najpomembnejše.

V zadnjih letih je pri hidrostatičnih enotah (črpalkah in motorjih) uspelo pomembno izboljšati skupne izkoristke. Toda njihovi izdelovalci na žalost ne dajejo vedno ustreznih školjkastih diagramov za posamezne vrste in izvedbe enot, čeprav je optimalno projektiranje mogoče le ob upoštevanju natančnih podatkov o odvisnosti izkoristka od razmer pri obratovanju.

Pri črpalkah in motorjih s spremenljivo iztisnino (= delovno prostornino) je potrebna dodatna energija za krmiljenje, ki lahko v skupni bilanci pomeni pomembne izgube, seveda v odvisnosti od zahtevane intenzivnosti procesov krmiljenja (velikost, hitrost in število prekrmiljenj v enoti časa).

Hidrostatični prenosniki z zaprtim obtokom pa imajo, poleg že naštetega, prigradjeno še črpalko za

* Za tisk prevedeno in prirejeno predavanje, ki ga je imel avtor na posvetu HIPNEF '84 v Beogradu z naslovom: *Neke možnosti štednje energije kod hidrauličkih uređaja*. Posvet je priredila Zveza strojnih inženirjev in tehnikov Srbije (SMEITS).

dopolnjevanje, ki mora biti dimenzionirana za najneugodnejše obratovalne razmere (navadno za tlak $0,4 \dots 1$ MPa in tok $0,1 \dots 0,4$ Q_N). Potrebna energija dopolnjevanja je lahko, še posebno pri napravah z izpiranjem, razmeroma velika.

Pogoste so napačne ocene izgub pri dimenzioniranju cevovodov in izbiri imenskih velikosti krmilnih ventilov. Pri tem premajhne imenske vrednosti lahko odločujoče vplivajo na skupni izkoristek hidravličnih naprav.

Pri uporabi hidravličnih akumulatorjev se pojavlja izgube energije (E_z) zaradi pretočnih odporov pri vtoku in iztoku, zaradi nepovratnosti termodinamičnih procesov pri spremembah stanja plina v akumulatorju ter zaradi izgub trenja v ločilnih elementih med oljem in plinom (mehu, membrani ali batu). Izkoristek je pri tem kvocient izkoriščene (E_i) in dovedene energije (E_v):

$$\eta_{HA} = \frac{E_i}{E_v} = \frac{E_v - E_z}{E_v} = 1 - \frac{E_z}{E_v} \quad (2)$$

Toda hidravličnim akumulatorjem se pogosto neupravičeno prištevajo slabi izkoristki, saj imajo pri razmeroma hitrih delovnih procesih (znotraj dveh minut), v primerjavi z električnimi akumulatorji (baterijami) in giroskopskimi akumulatorji (vztrajniki), v tem pogledu pomembne prednosti, [18] in [20].

Uporaba hidrostatičnih enot s spremenljivo iztisinno omogoča optimalno prilagoditev prestavnega razmerja in dobivanje trenutno potrebne hidravlične energije. Podobno temu se lahko prilagoditev doseže tudi s priključevanjem ali izključevanjem ene ali več enot z nespremenljivo iztisinno. Toda pri tem ne smemo pozabiti, da tudi enote v praznem teku ($\Delta p \approx 0$ in $Q \approx 0$), pač v odvisnosti od vrste in izvedbe, porabijo več ali manj energije za premaganje notranjih odporov, kar tudi negativno vpliva na skupni izkoristek naprave.

3. MOŽNOSTI ZA VARČEVANJE Z ENERGIJO

Opravljen razčlemba mogočih virov izgub, pridobljene praktične izkušnje in objavljeni rezultati raziskav postavljajo v ospredje več možnosti za varčevanje z energijo pri hidravličnih napravah. V grobem jih lahko podelimo v štiri skupine, in sicer:

- prizadevanja in napore za povečanje posamičnih in skupnih izkoristkov; z izbiro boljših sestavin, optimalnejših vezij, pravilnega delovnega tlaka, ustreznih načinov napajanja in krmiljenja ipd.,

- uporaba mešanih hidravlično — mehaničnih prenosnikov,

- uporaba centralnih hidravličnih agregatov
- uporaba notranjega kroženja energije,

kar omogoča manjšo porabo energije z zmanjšanjem notranjih izgub in/ali delno izkoriščanje sekundarne energije z njenim notranjim kroženjem. V nadaljevanju bomo podrobneje obdelali navedene skupine možnosti.

3.1. Prijemi za povečanje izkoristkov

3.1.1. Boljše sestavine

Z izbiro oziroma uporabo sodobnih izvedb hidravličnih sestavin, ki imajo manjše notranje izgube tlaka, toka in trenja, neposredno izboljšujemo skupni izkoristek naprave. Nova gradiva, predvsem umetne snovi, sodobne tehnologije izdelave ter nove konstrukcijske rešitve hidravličnih sestavin pomenijo osnovo dosežkov v tej smeri.

3.1.2. Ustrezen delovni tlak

Pogled na školjkasti diagram katerekoli hidrostatične enote jasno kaže vpliv delovnega tlaka in vrtilne hitrosti na njen izkoristek. Ne glede na izvedbo je skupni izkoristek vedno najboljši pri tlakih in vrtilnih hitrostih, ki so znatno manjše od največjih dopustnih vrednosti (navadno nekje med 45 in 75 %). Delovanje pri zelo majhnih ali velikih obremenitvah oziroma hitrostih v primerjavi z optimalnimi vrednostmi povzroča torej poslabšanje izkoristka. Pri projektiranju naprav je zato pravilna izbira delovnega tlaka izredno pomembna.

3.1.3. Ustrezni načini napajanja in krmiljenja

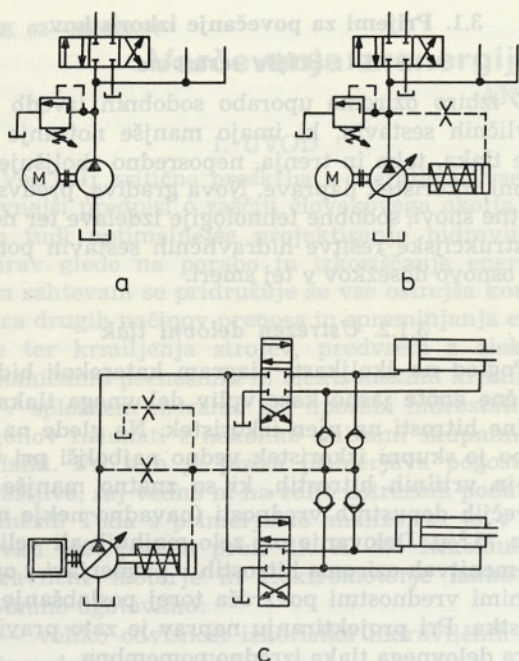
Zelo pomembne izboljšave glede racionalne izrabe energije je mogoče doseči z izbiro ustreznih zasnov napajanja in/ali krmiljenja črpalk in motorjev.

3.1.3.1. Izvedba hidravličnega agregata

Široke možnosti za izbiro hidravličnih agregatov z eno ali več črpalkami, ki imajo lahko nespremenljivo ali spremenljivo iztisinno in so opremljene z različnimi krmilnimi enotami, zagotavljajo optimalno prilagoditev agregata zahtevam pogona ob racionalni izrabi razpoložljive energije. Pri projektiranju hidravličnih naprav moramo zato lastnosti črpalk in njihovih krmilnikov pazljivo prilagoditi zahtevam pogona. Nekaj tipičnih izvedb je prikazanih na slikah 1 in 2, razmerja moči črpalke P_P in moči obremenitve P_0 podajajo slike 2 in 3, podrobnejša obravnava vezij pa je podana v [6], [9] in [10]. Pri tem zaslužijo v zadnjem času posebno pozornost naprave s t. i. »čutilnikom obremenitve«, ki je podrobneje obdelan v naslednji točki.

3.1.3.2. Čutilnik obremenitve

Hidravlične naprave s »čutilnikom obremenitve« (angl.: *load-sensing device*) imajo v splošnem znatno manjše izgube energije in s tem toplotno manj obremenjujejo črpalke z nespremenljivo iztisinno. Če pa takšen način krmiljenja uporabljamo pri črpalkah s spremenljivo iztisinno, dobimo t. i. *tlavno kompenzirane črpalke*, ki ob zahtevnem toku zagotavljajo samodejno prilagajanje tlaka spremenljivi obremenitvi ter tako omogočajo dodatno varčevanje z energijo. Značilen primer takšnega vezja



Sl. 1. Značilne sheme hidravličnih agregatov

a — črpalka z nespremenljivo iztisnino, b — črpalka s tlačno kompenzacijo, c — črpalka s čutilnikom obremenitve, izvedba podjetja »Denison«

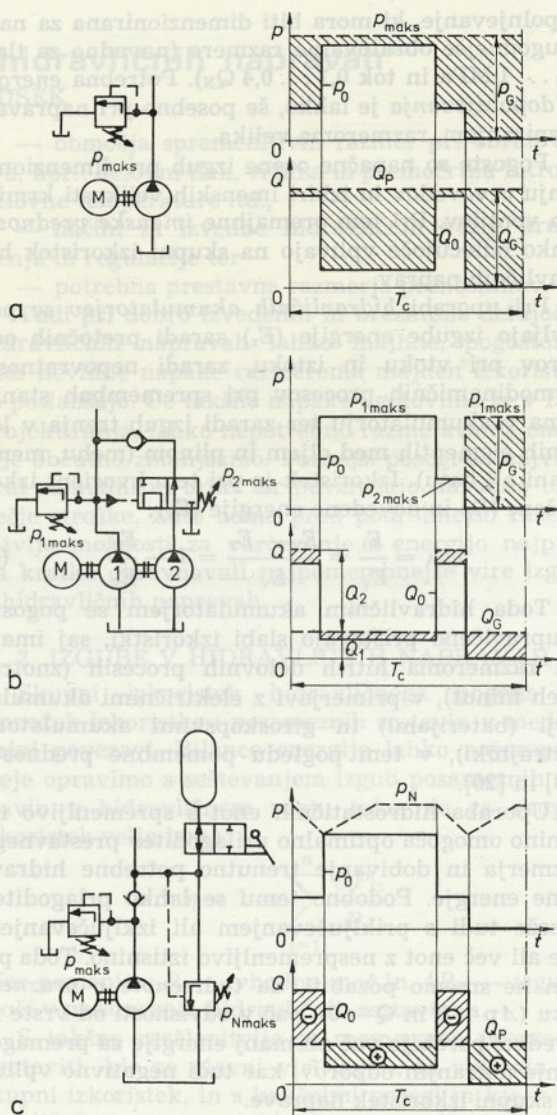
je prikazan na sliki 1c, načela delovanja in izvedbe takšnih vezij so podrobneje opisani v [3], [6], [7], [10], [14] in [19], lastnosti pa prikazane v diagramih na slikah 3d in 3e.

3.1.3.3. Izvedbe krmilnih ventilov in vezij

Klasične, lahko bi rekli nepremišljene izvedbe hidravličnih krmilnih vezij, porabljajo pogosto nepotrebno velike energije zaradi neustrezne uporabe oziroma napačne vgradnje protipovratnih, protitlačnih in drugih ventilov, filtrov in cevne armature; uporabe neustreznih prijemov za oblikovanje krmilnih tlakov ter drugih neracionalnih rešitev. Z uporabo ločenega napajanja krmilnih vezij z nižjim tlakom ter s premišljeno izbiro in vgradnjo ustreznih ventilov in druge opreme je mogoče doseči pomembne prihranke energije. Dodatni investicijski stroški se pri tem navadno amortizirajo že po nekaj mesecih ali letu dni. Značilen zgled takšnega vezja v alternativnih izvedbah, z razmetavanjem in varčevanjem z energijo, je prikazan na sliki 4 in podrobneje opisan v [8].

3.1.3.4. Krmiljenje hidravličnih motorjev

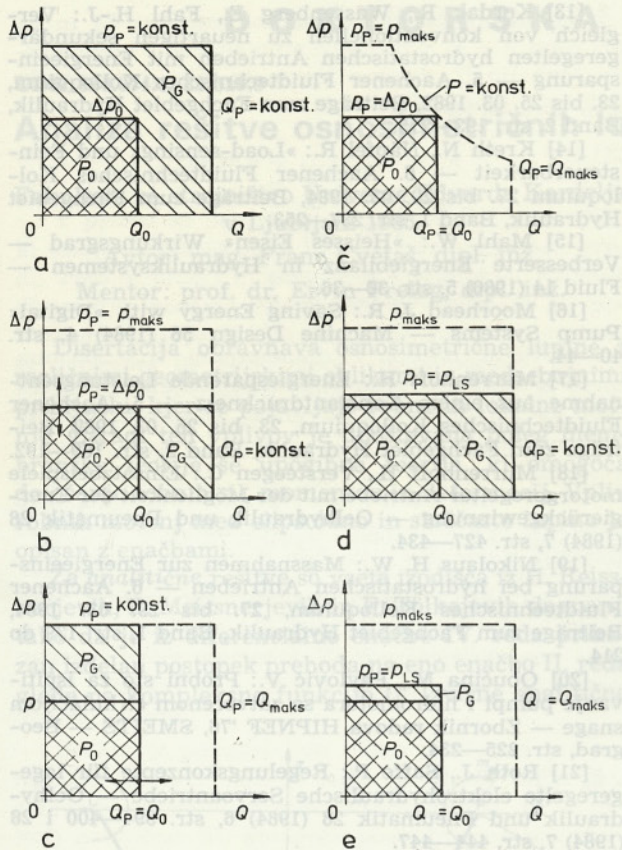
Uporaba novejših načinov krmiljenja in regulacije hidravličnih motorjev s spremenljivo iztisnino omogoča — poleg drugih prednosti — tudi glede varčevanja z energijo izredno racionalne rešitve. Zamisel »krmiljenja po stanju« z uporabo t. i. opazovalnika (angl.: *observer*; nem.: *Beobachter*), v povezavi z mikroracionalniškim krmilnikom, omogoča



Sl. 2. Alternativne izvedbe hidravličnega agregata za enako nalogo

a — navadna črpalka z varnostnim ventilom, b — dvoobtočna (visokotlačna in nizkotlačna) črpalka z razbremenilnim ventilom za nizkotlačno stran, c — navadna črpalka s hidravličnim akumulatorjem in razbremenilnim ventilom

namreč regulacijo vrtilne hitrosti motorja v enakotlačni hidravlični napravi ob hkratnem samodejnem prilagajanju spremenljivi obremenitvi. Hidravlični motor s takšnim krmiljem, navadno v izvedbi univerzalne hidrostatične enote, omogoča pri tem — poleg ustreznega prilagajanja zahtevam dinamičnih sprememb obremenitve — tudi izkoriščanje energije zaviranja in njeno shranjevanje v hidravličnih akumulatorjih. Tako se lahko zmanjšuje potreba po primarni energiji in hkrati poenostavlja tudi problem hlajenja naprave. Zasnovane in načela delovanja takšnih naprav so podrobneje opisani v [5], [13], [17], [18] in [21].

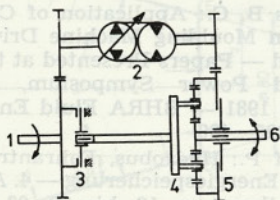


Sl. 3. Razmerja porabljene in izkoriščene energije pri različnih načinih krmiljenja črpalke

a — črpalka z nespremenljivo iztislino, b — črpalka z regulatorjem tlaka, c — črpalka z regulatorjem toka, d — črpalka z regulatorjem moči, e — črpalka z nespremenljivo iztislino in »čutilnikom obremenitve«, e — črpalka s spremenljivo iztislino in »čutilnikom obremenitve«

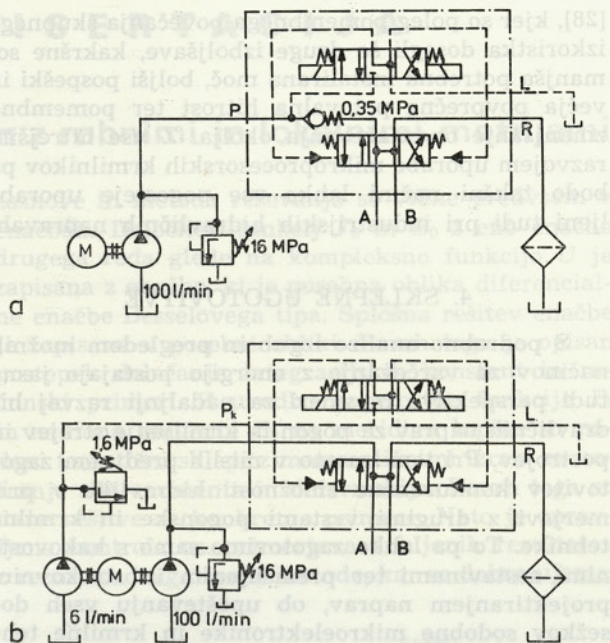
3.2. Mešani hidrostatično-mehanični prenosniki

Prenos in krmiljenje večjih moči pri procesnih postrojih in mobilnih strojih oziroma vozilih, ob hkratnem izboljšanju skupnega izkoristka in zagotovitvi dobre krmilnosti, omogočajo izvedbe mešanih hidrostatično-mehaničnih prenosnikov, [1] in [2]. Značilen takšen prenosnik sestoji iz hidrostatičnega prenosnika (črpalke s spreminljivo in motorja s konstantno ali spremenljivo iztislino), navadnega ali planetnega dvo- ali večstopenjskega mehničnega prenosnika ter določenega števila sklopov in zavor z avtomatičnim delovanjem (sl. 5).



Sl. 5. Hidrostatično-mehanični prenosnik

1 — vhodna gred, 2 — hidrostatični prenosnik, 3 — sklopka in zavora, 4 — planetni prenosnik, 5 — sklopka, 6 — izhodna gred



Sl. 4. Hidravlično krmilno vezje

a — izvedba z razmetavanjem energije, b — izvedba z varčevanjem energije

3.3. Centralni hidravlični agregati

Prednosti uporabe centralnih hidravličnih agregatov z baterijami hidravličnih akumulatorjev za napajanje več izvršnih motorjev z naključno porabo energije so znane in se pogosto uporabljajo predvsem pri velikih strojih in postrojih v metalurgiji, vodnem gospodarstvu in podobnih vejah gospodarstva. Toda takšen način hidravličnih naprav, kakor kažejo rezultati raziskav, ponuja vrsto prednosti tudi v kovinsko predelovalni industriji, industriji predelave umetnih snovi in podobnih vejah industrije z večjim številom manjših strojev in naprav [11] in [27]. Pri tem se — poleg pomembnega povečanja skupnega izkoristka za dva- in večkrat — dosejajo tudi druge prednosti, kakor so: splošno zmanjšanje hrupa, zmanjšanje skupnih stroškov investicije, povečanje zmogljivosti, razpoložljivosti in zanesljivosti, poenostavitev in poenostev vzdrževanja itd.

3.4. Notranje kroženje energije

Z notranjim kroženjem energije pri večjih preizkuševališčih s hidravličnim pogonom [20], z izkoriščanjem zavorne energije pri cestnih vozilih in večjih industrijskih postrojih, [2], [25] in [28] ter potencialne energije pri dvigalnih in transportnih napravah, je mogoče doseči pomembno povečanje skupnega izkoristka. Pri tem so še posebno prepričljivi rezultati razvojnih raziskav na hidrobusu v Zahodni Nemčiji [25] in hidrogrobusu na Švedskem

[28], kjer so poleg pomembnega povečanja skupnega izkoristka dosegli še druge izboljšave, kakršne so: manjša potrebna instalirana moč, boljši pospeški in večja povprečna potovalna hitrost ter pomembno zmanjšanje onesnaževanja okolja. Z vse hitrejšim razvojem uporabe mikroprocesorskih krmilnikov pa bodo takšni načini lahko vse pogostejše uporabljeni tudi pri industrijskih hidravličnih napravah.

4. SKLEPNE UGOTOVITVE

S podrobno analizo izgub in pregledom možnih načinov za varčevanje z energijo postajajo jasne tudi perspektive in smeri za nadaljnji razvoj hidravličnih naprav za pogon in krmiljenje strojev in postrojev. Pri tem imamo v mislih predvsem zagotovitev konkurenčne zmožnosti hidravlike v primerjavi z drugimi vrstami pogonske in krmilne tehnike. To pa lahko zagotovimo samo s kakovostnimi sestavinami ter premišljenim in strokovnim projektiranjem naprav, ob upoštevanju vseh dosežkov sodobne mikroelektronike in krmilne tehnike.

LITERATURA

- [1] Anonimus: New Kinds of Fluid Power Controls Save Oil as Well as Energy — Product Engineering (1975) 2, str. 35—37.
- [2] Avramović D.: Entwicklungen und Tendenzen in der Fluid-Antriebstechnik — Vortrag anlässlich der Eröffnung der 10. Internationalen Fachmesse für Oelhydraulik und Pneumatik, in Zürich 1982.
- [3] Beercheck R. C.: Curbing the Energy Appetite of Hydraulic Systems — Machine Design 52 (1980) 15, str. 95—99.
- [4] Dotter R. J., Keir J. B.: Hydraulic System Compensation Conserves Lift Truck Power — Hydraulics and Pneumatics 35 (1982) 9, str. 121—124.
- [5] Fahl H.-J., Metzner F.: Energiespeicherung in einem hydrostatischen Fahrtrieb mit Serienagregaten — Oelhydraulik und Pneumatik 26 (1984) 7, str. 420 do 426.
- [6] Harms H.-H.: Energieeinsparung durch Systemwahl in der Mobilhydraulik — VDI-Z 122 (1980) 22, str. 1006—1010.
- [7] Harms H.-H.: Load-Sensing-Hydrauliksysteme in der Mobilhydraulik — 4. Aachener Fluidtechnisches Kolloquium, 18. bis 20. 03. 1980, Beiträge zum Fachgebiet Hydraulik, Band 1, str. 63—81.
- [8] Harter D. R.: Saving Energy in Pilot-operated Valve Systems — Machine Design 51 (1979) 9, str. 266 i 227.
- [9] Henke R.: Hydraulic Systems that Conserve Energy — Machine Design 48 (1976) 18, str. 81—85.
- [10] Henke R. W.: Load Sensing Hydraulic Systems — Hydraulics and Pneumatics 36 (1983) 6, str. 55—57 in 36 (1983) 8, str. 52—55.
- [11] Hutter J.: Zentralhydraulik und zentrale Druckölversorgung — Sparen an Investitionen, Energie und Wartung — Fluid 14 (1980) 6, str. 14—17.
- [12] Jarchow F., Berger G.: Koppelgetriebe mit stufenlosem hydrostatischen Getriebe und Nachschaltstufen für Kraftfahrzeuge — 6. Aachener Fluidtechnisches Kolloquium, 27. bis 29. 03. 1984, Beiträge zum Fachgebiet Hydraulik, Band 2, str. 291—319.
- [13] Kordak R., Wassenberg E., Fahl H.-J.: Vergeleichen von konventionellen zu neuartigen sekundär-geregelten hydrostatischen Antrieben mit Energieeinsparung — 5. Aachener Fluidtechnisches Kolloquium, 23. bis 25. 03. 1982, Beiträge zum Fachgebiet Hydraulik, Band 2, str. 193—215.
- [14] Kreth N., Näpfel R.: »Load-sensing« und Feinsteuerbarkeit — 6. Aachener Fluidtechnisches Kolloquium 27. bis 29. 03. 1984, Beiträge zum Fachgebiet Hydraulik, Band 1, str. 237—253.
- [15] Mahl W.: »Heisses Eisen« Wirkungsgrad — Verbesserte Energiebilanz in Hydrauliksystemen — Fluid 14 (1980) 5, str. 30—36.
- [16] Moorhead J. R.: Saving Energy with »Digital« Pump Systems — Machine Design 56 (1984) 4, str. 40—44.
- [17] Murrenhoff H.: Energiesparende Leistungsentnahme aus einem Konstantdrucknetz — 5. Aachener Fluidtechnisches Kolloquium, 23. bis 25. 03. 1982, Beiträge zum Fachgebiet Hydraulik, Band 2, str. 169—192.
- [18] Murrenhoff H., Versteegen C.: Einsatzbeispiele motorgeregelter Antriebe mit der Möglichkeit der Energierückgewinnung — Oelhydraulik und Pneumatik 28 (1984) 7, str. 427—434.
- [19] Nikolaus H. W.: Massnahmen zur Energieeinsparung bei hydrostatischen Antrieben — 6. Aachener Fluidtechnisches Kolloquium, 27. bis 29. 03. 1984, Beiträge zum Fachgebiet Hydraulik, Band 1, str. 179 do 214.
- [20] Obućina M., Pavlović V.: Probni sto za ispitivanje pumpi i hidromotora sa zatvorenim cirkulacijom snage — Zbornik radova HIPNEF '76, SMEITS — Beograd, str. 225—234.
- [21] Roth J., Saffe P.: Regelungskonzepte für lage-regelte elektrohydraulische Servoantriebe — Oelhydraulik und Pneumatik 28 (1984) 6, str. 394—400 i 28 (1984) 7, str. 444—447.
- [22] Schneider H. D.: »Hydraulikspeicher als Fahrzeugantrieb im Vergleich zu anderen Energiespeichersystemen — 4. Aachener Fluidtechnisches Kolloquium, 18. bis 20. 03. 1980, Beiträge zum Fachgebiet Hydraulik, Band 1, str. 83—106.
- [23] Schöller K.: Energieeinsparung bei stationären hydraulischen Anlagen — 4. Aachener Fluidtechnisches Kolloquium, 18. bis 20. 03. 1980, Beiträge zum Fachgebiet Hydraulik, Band 1 str. 33—42.
- [24] Van Logten H., Weingarten F.: Eine neue Generation von Pumpensteuerungen — 6. Aachener Fluidtechnisches Kolloquium, 27. bis 29. 03. 1984, Beiträge zum Fachgebiet Hydraulik, Band 1, str. 349—365.
- [25] Welin A., Hydrén I., Isberg B.: Stadtbusantrieb mit 40° verstellbare Axialkolbeneinheiten — 5. Aachener Fluidtechnisches Kolloquium 23. bis 25. 03. 1982, Beiträge zum Fachgebiet Hydraulik, Band 2, str. 147 do 167.
- [26] Weule H., Stierle H.-J.: Hydraulische Industrieroboter, Leistungsbedarf, Möglichkeiten der Energieeinsparung — 6. Aachener Fluidtechnisches Kolloquium, 27. bis 29. 03. 1984, Beiträge zum Fachgebiet Hydraulik, Band 1, str. 215—235.
- [27] Wilkins B. C.: Application of Central Hydraulics to Injection Moulding Machine Drives at Chloride Lorival Limited — Papers Presented at the Sixth International Fluid Power Symposium, Cambridge — England, April 1981 — BHRA Fluid Engineering, 1981, Paper G7, str. 393—400.
- [28] Westhof P.: Hydrobus, Fahrtrieb mit hydro-pneumatischer Energiespeicherung — 4. Aachener Fluidtechnisches Kolloquium, 18. bis 20. 03. 1980, Beiträge zum Fachgebiet Hydraulik, Band 1, str. 107—136.