

Dr Svetislav Stojković, dipl.inž.<sup>1)</sup>  
 Dr Božidar Krstić, dipl.inž.<sup>1)</sup>  
 Vanja Šušteršić, dipl.inž.<sup>1)</sup>

## AKTUELNA PITANJA PRIMENE I RAZVOJA TURBOZUPČASTIH PRENOSNIKA SNAGE NA MOBILNIM RADNIM MAŠINAMA

Dat je matematički model dejstva turbovarijatora, s aspekta stacionarnih i nestacionarnih uslova rada, kao i osvrt na opštu kinematsku jednačinu diferencijala, a koji je sastavni deo turboplanetarnog menjača. Date su i radne karakteristike turbovarijatora i načini njihovog korigovanja. Spregom turbovarijatora i planetarnog menjača dobija se turboplanetarni varijator. Prikazane su strukturne šema, kao i tendencije njihove primene na nekim savremenim hidromehaničkim menjačima. Ukratko su dati i neki problemi i perspektive razvoja turbozupčastih menjača.

Ključne reči: Turbovarijator, planetarni prenosnik, turbozupčasti menjač.

### 1. Uvod

U poslednje 2-3 decenije primena turbozupčastih menjača (TZM) na teretnim i putničkim automobilima, autobusima kao i na građevinskim i poljoprivrednim mašinama u neprekidnom je porastu. Veliku primenu i trend njenog povećanja obezbedila je sposobnost TZM da vrši kontinualnu hiperboličku varijaciju obrtnog momenta i ugaone brzine, kao i parametra snage, u širokom intervalu njihovih vrednosti sa brzim odzivom njihovih promena. Pri tome, ostvaruje se bezudarni, hidraulički prenos snage bez prekida njenog toka, sa prigušenjem oscilacija, što povećava vek transmisije i pogonskog motora. Osim toga, TZM u transmisiji povećava produktivnost radne mašine, udobnost i bezbednost vožnje, pouzdanost u radu s obzirom da isključuje mogućnost havarije zbog preopterećenja i dr. Jasno je da postoji veliki interes za neprekidni i svestrani razvoj ovako progresivnog prenosnika. Njegov je prevashodni cilj poboljšanje radnih svojstava, a pre svega povećanje ekonomičnosti rada.

Turbozupčasti menjači predstavljaju kombinaciju turbo-prenosnika (TP) i zupčastog menjača (ZM). Ulogu TP vrši

turbospojnica (TS) ili turbovarijator (TV). TS se retko koristi u savremnim TZM.

Postojanje TV u transmisiji obezbeđuje hiperboličnu varijaciju obrtnog momenta ( $M$ ) i ugaone brzine ( $\omega$ ) kao parametra snage ( $P=M\cdot\omega$ ) čime je ispunjen osnovni zahtev menjača. Ovo obezbeđuje poboljšanje vučnih karakteristika vozila, ostvarenje puzećeg hoda, blag bezudarni prenos snage, prigušivanje vibracija, povećanje udobnosti, olakšano upravljanje vozilom, povećanje radnog učinka, povećanje bezbednosti u saobraćaju i produženje veka trajanja transmisije i pogonskog motora. Npr., firma *Alison* utvrdila je da se primenom automatskog turbozupčastog menjača (ATZM) povećava vek trajanja zupčastog dela menjača za 400%, diferencijala za 93% i motora za 47%.

U odnosu na potrošnju goriva, teorijski gledano, ATZM je nepovoljniji od ZM. Eksploatacioni podaci, međutim, govore obrnuto. Razlog leži u povoljnoj dinamici rada vozila s ATZM, pravilnijem automatskom komandovanju od komandovanja koje ostvaruje vozač i većoj prosečnoj produktivnosti vozila.

<sup>1)</sup> Mašinski fakultet, 34000 Kragujevac, Ulica sestara Janjić 4

TV ne može da ostvari dovoljan interval prenosnih odnosa sa zadovoljavajućom vrednosti stepena korisnog dejstva. Zato postoji potreba da se TV kombinuje sa ZM u TZM. ZM može biti neplanetarnog i planetarnog tipa. U savremenim konstrukcijama koriste se pretežno planetarni menjači (PM), jer se oni odlikuju kompaktnošću zbog raspodele opterećenja na više zupčanika, povoljnijim upravljanjem, manjom bukom i dr.

Što se tiče mehaničkog dela TZM, treba težiti smanjenju njegovog dijapazona rada, jer se tako smanjuje njegova masa. Preporučuje se da dijapazon teretnih drumskih vozila srednje prohodnosti bude od 5,5 do 8,5. Prenosni odnos 1. i 2. stepena TZM treba da bude od 1,8 do 2,2; a ostali stepeni prenosa od 1,4 do 2. Prenosni odnos 1. stepena prenosa kreće se od 3 do 5; a broj stepeni prenosa od 2 do 6 [1].

### Korišćene oznake i simboli

- $M$  - obrtni moment lopatičnog kola;
- $Y$  - napor lopatičnog kola,
- $\omega$  - ugaona brzina obrtanja lopatičnog kola,
- $M_p^*, \lambda_{Mp}$  - parametri radnog režima,
- $i_{go}^n$  - odnos izlaznog i ulaznog broja obrtaja planetarnog zupčanika.

### Indeksi:

- $n$  - bilo koje radno kolo,
- $s, d$  - statičko t. dinamičko,
- $1, 2$  - ulaz, tj. izlaz.

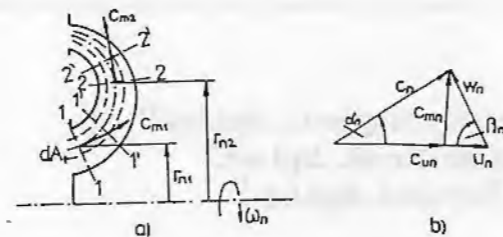
Značenje ostalih oznaka i skraćenica dato je u tekstu.

## 2. Matematički model dejstva turbovarijatora

Polazeći od trećeg Njutnovog zakona teoreme o momentu količine kretanja Ojlerove teoreme o momentu količine kretanja i Ojlerove teoreme rada turbomašine n-tog lopatičnog kola (sl.1) u dinamičkim, ili nestacionarnim uslovima rada:

$$\pm M_{nd} = \rho \cdot \dot{V} \cdot (r_{n2} \cdot c_{m2} - r_{n1} \cdot c_{m1}) + \rho \cdot \frac{d\omega_n}{dt} \cdot \int_1^2 r_n^2 \cdot A \cdot dl_m - \rho \cdot \frac{dV}{dt} \cdot \int_1^2 r_n \cdot ctg\beta_{nd} \cdot dl_m \quad (1)$$

$$\pm Y_n = \omega_n \cdot \left[ r_{n2} \cdot c_{m2} - r_{n1} \cdot c_{m1} + \frac{1}{V} \left( \frac{d\omega_n}{dt} \cdot \int_1^2 r_n^2 \cdot A \cdot dl_m - \frac{dV}{dt} \cdot \int_1^2 r_n \cdot ctg\beta_{nd} \cdot dl_m \right) \right] \quad (2)$$



Sl.1 - Meridijanski presek turbovarijatora sa trouglom vrzina

Treći i četvrti član u jednačinama (1 i 2) eksplicitno iskazuju uticaj nestacionarnog rada na  $M_n$  i  $Y_n$ . Kako i projekcije apsolutnih brzina na pravac obimne brzine  $c_{m1}$  i  $c_{m2}$  i implicitno zavise od  $d\omega_n/dt$  i  $dV/dt$ , to i prvi i drugi članovi prethodnih jednačina sadrže u sebi uticaj intenziteta nestacionarnosti rada. Taj uticaj se uzima u obzir preko vrednosti  $\beta_{n2d}$  [2], koji iznosi:

$$ctg\beta_{n2d} = ctg\beta_{n2l} - \frac{\pi \cdot r_{n2} \cdot \sin\beta_{n2l}}{2 \cdot z_n \cdot c_{mn}} \cdot \left( 2 \cdot \omega_n \cdot \sin\gamma_n + \frac{c_{mn}}{r_{n2}} \cdot ctg\beta_{n2l} \cdot \sin\gamma_n - \frac{c_{mn}}{\sin^3\beta_{n2l}} \cdot \frac{d\beta_{n2l}}{dt} \right) - \frac{\pi \cdot r_{n2} \cdot \sin\beta_{n2l}}{2 \cdot z_n \cdot c_{mn}^2} \cdot \left( r_{n2} \cdot \frac{d\omega_n}{dt} - ctg\beta_{n2l} \cdot \frac{dc_{mn}}{dt} \right) \quad (3)$$

gde su:

- $\beta_{n2l}$  - ugao nagiba lopatica na izlazu iz n-tog kola,
- $\gamma_n$  - ugao između tangente na strujnicu u meridijanskoj ravni i obrtne ose,
- $z_n$  - broj lopatica n-tog kola.

Za statičke, odnosno stacionarne uslove rada, jednačine (1, 2 i 3) prelaze u sledeće oblike:

$$\pm M_{nd} = \rho \cdot \dot{V} \cdot (r_{n2} \cdot c_{m2} - r_{n1} \cdot c_{m1}) \quad (4)$$

$$\pm Y_n = \omega_n \cdot (r_{n2} \cdot c_{m2} - r_{n1} \cdot c_{m1}) \quad (5)$$

$$ctg\beta_{n2} = ctg\beta_{n2l} - \frac{\pi \cdot r_{n2} \cdot \sin\beta_{n2l}}{2 \cdot z_n \cdot c_{mn}} \cdot \left( 2 \cdot \omega_n \cdot \sin\gamma_n - ctg\beta_{n2l} \cdot \frac{dc_{mn}}{dl_m} - \frac{c_{mn}}{\sin^3\beta_{n2l}} \cdot \frac{d\beta_{n2l}}{dl_m} - \frac{c_{mn}}{r_{n2}} \cdot ctg\beta_{n2l} \cdot \sin\gamma_n \right) \quad (6)$$

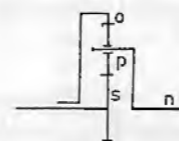
Sistem jednačina (4, 5 i 6) predstavlja matematički model dejstva TV u uslovima stacionarnog rada.

## 3. Opšta kinematska jednačina diferencijala

U TPM najčešće se koristi tročlani diferencijal D (sl.2).

Opšta kinematska jednačina diferencijala dobija se transformacijom Wilsovog obrasca [1]:

$$(1 - i_{so}^n) \cdot \omega_n = \omega_s - i_{so}^n \cdot \omega_s \quad (7)$$



Sl.2 - Šema osnovnog planetarnog prenosnika

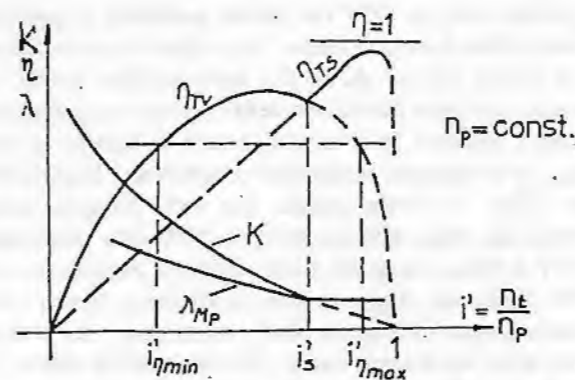
Ova jednačina pokazuje da se snaga dovedena preko vodećeg člana može raspodeliti u varijabilnom odnosu na dva vođena člana, i obrnuto. Ovo svojstvo diferencijala obezbeđuje njegovu široku primenu u transmisijama uopšte, a posebno TZM.

## 4. Radne karakteristike turbovarijatora i načini njihovog korigovanja

Kada se jednačina (4) primeni na lopatična kola P, T i R, s obzirom da između njih nema promene količine kretanja ( $r \cdot c_u = const.$ ), dobija se jednačina bilansa obrtnih momenata TV:

$$M_t = M_p \pm M_r \quad (8)$$

koja iskazuje sposobnost TV da varira  $M_t$  u odnosu na  $M_p$ . Kada se R postavi na jednosmernu spojnicu (JS), TV u domenu rada sa slobodnim obrtanjem R dejstvuje kao TS, tačnije rečeno, kao turbovarijator brzine (TVB). Ovakav prenosnik predstavlja kompleksni turbovarijator (KTV), koji je sa svojim radnim karakteristikama, prikazan na sl.3. Osnovne radne karakteristike prenosnika definisane su koeficijentom transformacije obrtnog momenta (K), koeficijentom promene obrtnog momenta pumpe ( $\lambda_{Mp}$ ), stepenom prozračnosti (II) i djapazonom ekonomičnog rada ( $d_r$ ), koje glase:



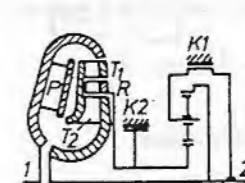
Sl.3 - Osnovne radne karakteristike

$$K = \frac{M_t}{M_p} \cdot \lambda_{Mp} = \frac{M_p}{\rho \cdot \omega_p^2 \cdot D_a^5}$$

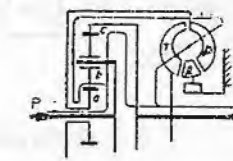
$$\Pi = \frac{M_{pmax}}{M_m^*} = \frac{\lambda_{Mpmax}}{\lambda_{Mp}} \cdot d_r = \frac{i'_{max}}{i'_{pmin}}$$

Na dobrotu radnih karakteristika TV za određenu namenu utiče se preko složene hidrodinamičke rešetke, dakle odgovarajućim oblikovanjem radnog prostora, ili različitim konstrukcionim merema van radnog prostora. To se postiže pomoću blokade P i T, prinudnim kretanjem pojedinih radnih kola na određenim režimima rada, regulacijom lopatica pojedinih radnih kola. Najčešće se koristi kombinacija ovih i drugih mera.

## 5. Turboplanetarni varijatori



Sl.4 - Unutrašnja raspodela snage



Sl.5 - Spoljašnja raspodela snage

Pouzdaniji i jednostavniji put za dovođenje karakteristika TV u željeni oblik, od puta prikazanog u prethodnom odeljku, predstavlja primena turboplanetarnih varijatora (TPV) koji se dobijaju kombinacijom TV i D. U njima se ostvaruje paralelni tok snage, tako da jedan deo ukupne snage teče hidrauličkom, a drugi mehaničkom granom. Raspodela snage može biti unutrašnja (sl.4) ili spoljašnja (sl.5). Prva se ostvaruje u TV, a druga u D. Na sl.5 prikazana je jedna od mogućih šest kinematskih šema TPV sa D na ulazu, u kojima snaga u hidrauličkoj grani teče od P ka T, pri čemu njena vrednost opada sa porastom  $\omega$ , a najveća je pri startovanju. Prikazana je i jedna od šest mogućih kinematskih šema TPV sa D na izlazu, koje su dobijene promenom uloga vodećih i vođenih vratila. Vrednost snage TV menja se na način suprotan prethodnom.

Proračuni i ispitivanja pokazuju da TV i TPV imaju iste zakonitosti promena radnih svojstava. To znači da je moguće dobiti identične radne karakteristike pomoću određenog TV i TPV, ali ih je mnogo lakše ostvariti pomoću TPV.

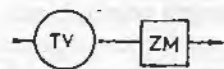
U TPV bez cirkulacione snage ( $P_c$ ) mogu se dobiti bolje radne karakteristike od onih koje ima TV u njemu, izuzev parametra K. Obratno, pomoću TPV sa  $P_c$  može se dobiti veća vrednost K, ali su sve ostale karakteristike lošije od onih koje imaju TV u njemu.

Treba primetiti da TPV, u kojima kroz TV teče samo  $P_c$ , čija je vrednost manja od snage motora  $P_m$ , može imati svojstva bolja od svojstava TV ugrađenog u TPV.

## 6. Strukturne šeme turbozupčastih menjača

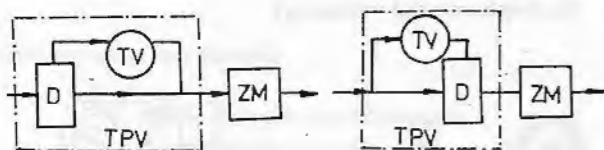
Ispunjavanje velikog broja strogih zahteva koji se postavljaju menjačima postiže se, ne samo odgovarajućim karakteristikama TV, odn. TPV, s jedne strane, već i njihovom odgovarajućom kombinacijom.

Primenjuju se redni (sl.6), redno paralelni (sl.7) i paralelni tok snage (sl.8 i sl.9). U TZM sa paralelnim tokom snage, TV se nalazi u jednoj od grana sam ili sa drugim komponentama (PR-prenosnik).

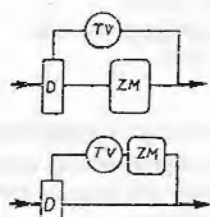


Sl.6- Redni način vezivanja TV i ZM

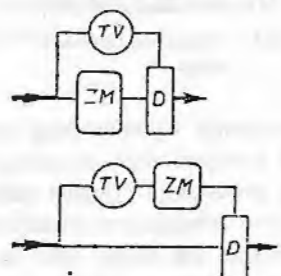
Radi boljeg usaglašavanja rada motora i varijatora, između njih se ponekad ugrađuje odgovarajući prenosnik sa jednim ili više stepeni prenosa.



Sl.7- Redno paralelni način vezivanja



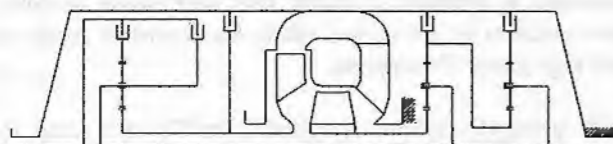
Sl.8- Paralelni način vezivanja sa D na ulazu



Sl.9- Paralelni način vezivanja sa D na izlazu

## 7. Primeri primene savremenih hidromehaničkih menjača

Primena savremenih TZM i njihov razvoj predstavlja jedan od osnovnih puteva razvoja radnih i drumskih mašina: traktora, bagera, buldoždera, utovarivača, autobusa, kamiona, dostavnih i komunalnih vozila. Konstrukciona složenost TZM zavisi od vrste mobilne mašine i njene snage. Sa porastom snage mašine pooštavaju se i zahtevi u pogledu ekonomičnosti rada, smanjenja udarnih opterećenja, vibracija, buke itd.



Sl.10- Kinematska šema Voith-ovog TZM menjača

Na sl.10 je prikazan primer Voithovog TZM koji se ugrađuje u gradske i prigradske autobuse.

## 8. Perspektive razvoja turbozupčastih menjača

Problematika razvoja turbozupčastih menjača može da se podeli na problematike razvoja njihovih komponentata, sinteze komponentata u celini TZM, upravljanja i tehnologije proizvodnje.

Osnovni problem osvajanja novih TV sa originalnim karakteristikama je u nepouzdanom matematičkom modelu dejstva, zasnovanom na teoriji jednodimenzionog strujanja tečnosti u složenom radnom traktu TV, i to na stacionarnim režimima rada. U toku su nastojanja da se dođe do tačnijeg matematičkog modela koji bi respektovao stvarno, trodimenzionalno strujanje neviskozne tečnosti u nestacionarnim uslovima rada, što zaista predstavlja težak istraživački zadatak, čije rešenje traži mnogo teorijskog i eksperimentalnog rada.

Drugi istraživački zadatak na razvoju TV leži u iznalaženju optimalnih konstrukcijskih mera kojima se, kraćim putem, pospešuju određene radne karakteristike u željenom pravcu.

Jedan od osnovnih puteva za povećanje ekonomičnosti vozila sa ATZM predstavlja povećanje broja stepeni prenosa mehaničkog dela menjača i smanjenje gubitaka u njemu. Veći broj stepeni prenosa održava rad motora u užem, ekonomičnom dijapazonu rada i obezbeđuje bolje korišćenje dinamičkih svojstava vozila. Prema tome, osnovne tendencije razvoja mehaničkog dela TZM idu ka primeni planetarnih prenosnika snage sa, najčešće 4 i više stepenju prenosa i ka iznalaženju konstrukcionih rešenja i proizvodnih postupaka koji vode ka minimiziranju gubitaka. Ovo pokazuje da je optimizacija kinematskih šema, s aspekta smanjenja gubitaka i buke, vrlo aktuelno razvojno pitanje.

## 9. Z a k l j u č a k

Sa gledišta razvoja TZM kao celine, potrebno je, polazeći od dobro rešenih komponentata, tako ostvariti sintezu celine da se dobiju željene dinamičke karakteristike vozila, uz najmanju potrošnju goriva. Na veliki prostor ovog područja delovanja ukazano je u poglavlju br.6, a odnosi se, pre svega, na iznalaženju optimalnih strukturnih i kinematskih šema TZM. U ovom smislu, sve veću primenu nalazi paralelni tok snage bilo korišćenjem TPV, bilo postavljanjem TV u jednoj od grana TZM. Trajni je zadatak razvoja ATZM povećanje njegovog stepena korisnog dejstva i sistem upravljanja mora da obezbedi prenos snage bez prekida njenog toka, bez trzanja vozila i bez dinamičkih udara. On mora da spreči havarije koje bi mogle biti posledice otkaza elemenata ili greške vozača. Od upravljačkog sistema se

zahteva i dijagnosticiranje pravilnosti rada motora i transmisije, pouzdan rad i dug radni vek.

## Literatura

- [1] Petrov, A.V.: Planetarnije i gidromehaničke pjeredači kaljosnih i guseničnih mašin, Moskva, 1966.
- [2] Stojković S.: Prilog tačnijem određivanju uticaja konačnog broja lopatica na rad turbomenjača automobilskog tipa, III. jugoslovenski simpozijum o prenosnicima snage, Zbornik radova, Beograd, 1980.
- [3] Stojković, S., Krstić, B.: Zastupljenost automatskih turbozupčastih menjača u proizvodnji savremenih drumskih vozila, MVM-saopštenja, N 58/59, Kragujevac, 1984.
- [4] Krstić, B.: Neka od mogućih rešenja turbozupčastog menjača za ugradnju u drumsko vozilo, Tehnika, br.3, 1986, 341-344.

[5] Stesin, S.P., Jakovensko, E.A.: Gidrodinamičke pjeredači, Mašinstrojenje, Moskva, 1973.

[6] ...: Prospekti materijal proizvođača turbo i turbozupčastih menjača.  
[7] Pruss, L.: Das neue Viergang-Automatikgetriebe von Volkswagen, ATZ, Vol.92, br.9, 1990.

Rad primljen: 19.04.1995.god.

**Dr Radomir Janković, dipl.inž.<sup>1)</sup>**

## YUINFO '95

### - Simpozijum o računarskim naukama i informatici -

U organizaciji *Univerziteta* u Beogradu, *Univerziteta* u Prištini, *Univerziteta* Crne Gore, *Univerziteta* u Novom Sadu, *Univerziteta* u Nišu, *Ministarstva za nauku i tehnologiju* Republike Srbije i *Ministarstva za obrazovanje i nauku* Republike Crne Gore, u Brezovici je održan, od 4. do 8. aprila 1995. godine, Jugoslovenski simpozijum o računarskim naukama i informatici - YUINFO '95.

Na ovom naučnom skupu, kojim se nastavljaju tradicije međunarodnog simpozijuma INFORMATICA i jugoslovenskog simpozijuma JAHORINA, koji su se u našoj zemlji održavali 70-ih i 80-ih godina, okupilo se preko 600 naučnika iz oblasti računarskih nauka i informatike iz Jugoslavije i inostranstva. YUINFO '95 je prvi naučni skup ove vrste održan u novoj Jugoslaviji i najveći takav skup koji je ikada održan na ovim prostorima.

Na simpozijumu YUINFO '95 učestvovali su svetski eksperti za informatiku akademik Jakov Fet iz Novosibirskaja u Ruskoj Federaciji, koji je objavio najbolji rad o super-računarima i poljski akademik Andžej Janjicki, koji se u svom radu bavio multimedijalnim tehnologijama. Jugoslovenskim naučnicima je za objavljivanje na YUINFO '95 prihvaćeno 398 radova, od kojih je saopšteno preko tri stotine.

Na jugoslovenskom naučnom simpozijumu YUINFO '95 organizovan je okrugli sto na temu: ISTRŽIVAČKI PROJEKTI IZ RAČUNARSTVA I INFORMATIKE U NAUCI I TEHNOLOŠKOM RAZVOJU.

Učesnici simpozijuma YUINFO '95 su svoje trenutno angažovanje i naučna i stručna dostignuća predstavili kroz

radove, u sledećim oblastima računarskih nauka i informatike:

- INFORMACIONI SISTEMI, ukupno 102 rada u 18 sednica, i to:
  - Baze podataka - Analize i karakteristike,
  - Baze podataka - Primene,
  - Geografski informacioni sistemi 1 i 2,
  - Informacioni sistemi različitih namena 1, 2, 3 i 4
  - Informacioni sistemi u zdravstvu 1 i 2,
  - Opšti aspekti primene informacionih tehnologija 1 i 2,
  - Planiranje i razvoj IS - Analiza i primena CASE alata,
  - Planiranje i razvoj IS - Razvoj i primena metoda,
  - Planiranje i razvoj IS velikih poslovnih sistema 1 i 2,
  - Posebna aplikativna rešenja 1 i 2.
- PROGRAMSKI JEZICI I PROGRAMIRANJE, ukupno 55 radova u 9 sednica, i to:
  - Objektivno-orijentisano programiranje,
  - Programiranje 1, 2, 3 i 4,
  - Programske aplikacije 1, 2 i 3,
  - Programski jezici.
- RAČUNARSKI HARDVER, ukupno 31 rad u 6 sednica, i to:
  - Računarski hardver 1, 2, 3, 4, 5 i 6

<sup>1)</sup>Vojnotehnički institut VJ, 11000 Beograd, Katanićeva 15