

UDK 62.002.2:539.4:311.214

Konstruiranje in uspešnost izdelkov

MATIJA FAJDIGA

1. UVOD

Po doslej uveljavljenem pojmovanju funkcije konstruiranja v izdelavnem procesu, naj bi z dosledno izvedenimi konstrukterskimi opravili, metodično povezanimi med seboj v celovit razvojni proces (sl. 1), zagotovili izdelku določeno funkcionalnost in nazadnje na tehniški risbi določeno obliko. V preostali konstrukterski dokumentaciji pa naj bi z algoritmi dimenzioniranja in po različnih merilih pričakovane poškodbe ugotovili stopnjo varnosti oziroma zdržljivosti (dobe trajanja) ter izdelek ocenili z estetskih, ekonomskih, tehnoloških, surovin-skih, energetskih, ekoloških in drugih vidikov. V preteklosti smo splošnim gospodarskim in družbenim razmeram primerno dajali prednost enkrat enim, drugič drugim merilom. Bila so obdobja, ko smo poleg funkcionalnosti in varnosti poudarjali samo ekonomske (tržne) vidike rešitev, danes dobiva veljavo estetski videz konstrukcij, potrebna energija in ekološka vrednost.

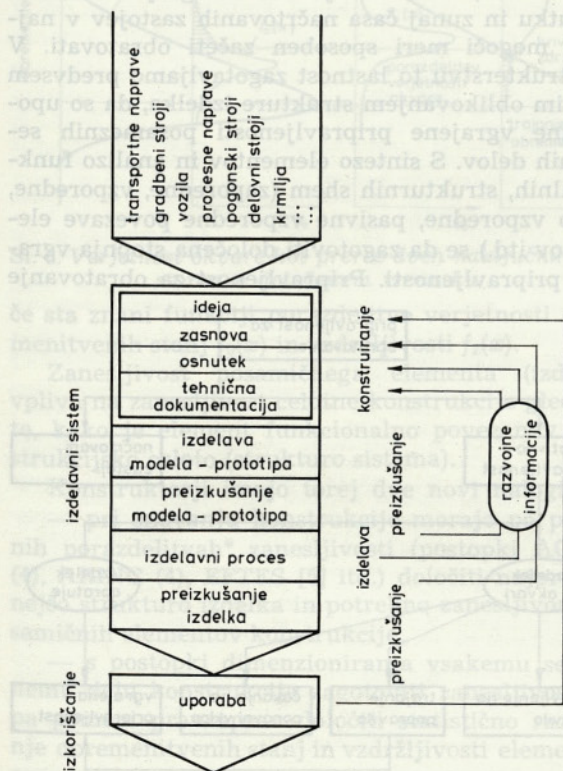
Od vrste izdelave oziroma izdelka pa je odvisno, ali izvedemo konstrukterski postopek povezano z drugimi fazami razvoja celovito, ali pa zadošča že, da izvedemo le nekatere faze oziroma operacije razvoja:

Pri posamični izdelavi starih, ustaljenih rešitev izdelkov (npr. žerjavov) se pri konstruiranju zgle-

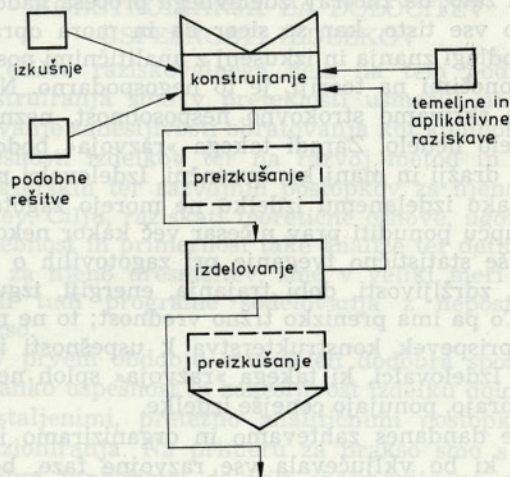
dujemo po podobnih konstrukcijah in z izkušnjami ter analitičnimi postopki konstruiranje končamo v prvem delovnem ciklu. Ne gradimo modelov ali prototipov, ne čakamo rezultatov preizkušanja, izsledki temeljnih in aplikativnih raziskav se uporabljajo pri tem le v manjši meri (sl. 2). Pri posamični izdelavi novih izdelkov (npr. robotov), pa se pri konstruiranju opremo predvsem na temeljne in aplikativne raziskave, manj so nam v pomoč izkušnje iz podobnih rešitev. Modela ali prototipa sicer navadno ne izdelamo, pač pa izdelek natančno preizkušamo preden ga predamo v uporabo. Rezultati teh preizkusov terjajo ponavljanje nekaterih faz konstruiranja (sl. 3).

Pri velikoserijski izdelavi (sl. 4) že zaradi preverjanja funkcionalnosti (npr. motornih vozil) izdelamo modele in prototipe in jih preizkusimo.

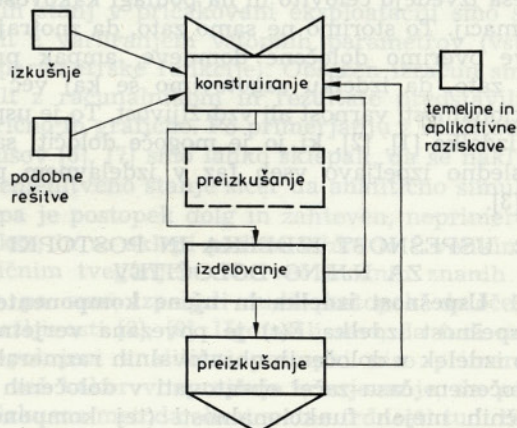
Torej moramo imeti konstruiranje za del nepretrganega razvoja in ga večkrat ponovimo zato, da v njem uporabimo rezultate (informacije) iz drugih faz izdelavnega procesa (sl. 1).



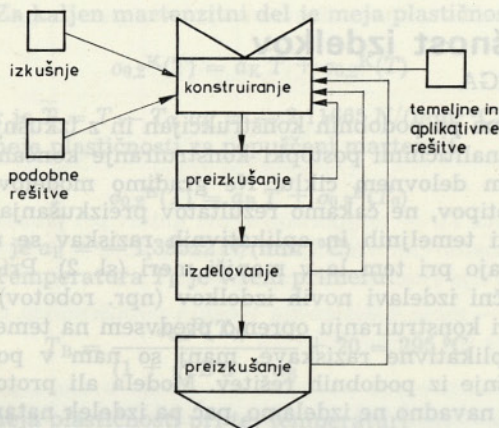
Sl. 1. Konstruiranje v izdelovalnem sistemu



Sl. 2. Konstruiranje starih rešitev v posamični izdelavi



Sl. 3. Konstruiranje novih rešitev v posamični izdelavi



Sl. 4. Konstruiranje v velikoserijski izdelavi

Izdelovanje pa postane kaj hitro predrago, če pri tem organiziramo celovit razvoj zato, da konstrukterji (če se omejimo samo nanje) v njem preverjajo svoje napovedi o funkcionalnosti in varnosti, o estetskem videzu, tehnoloških in izdelovalnih možnostih, o izgubah energije ali o ekološkem vplivu in podobno. Če torej izdelamo in preizkusimo model, prototip ali celo končni izdelek predvsem zato, da znotraj izdelavnega procesa nadomestimo vse tisto, kar se sicer da in mora opraviti na podlagi znanja in izkušenj z analitičnimi postopki slonečimi na teoriji, je to negospodarno. Na ta način skrivamo strokovno nesposobnost, neznanje ali celo nedelo. Zaradi takega »razvoja« bodo izdelki dražji in manj konkurenčni. Izdelovalci namreč tako izdelanemu izdelku ne morejo zagotoviti in kupcu ponuditi prav ničesar več kakor nekoliko manjše statistično tveganje pri zagotovitvi o varnosti, zdržljivosti, dobi trajanja, energiji, izgubah itd. To pa ima prenizko tržno vrednost; to ne more biti prispevek konstrukterstva k uspešnosti izdelave. Izdelovalci, ki takega »razvoja« sploh ne organizirajo, ponujajo cenejše izdelke.

Če dandanes zahtevamo in organiziramo izdelavo, ki bo vključevala vse razvojne faze, bo to omogočalo konstrukterjem, da svoj del izdelavnega procesa izvedejo celovito in na podlagi kakovostnih informacij. To storimo ne samo zato, da znotraj izdelave overimo določene domneve, ampak predvsem zato, da izdelku zagotovimo še kaj več kot funkcionalnost, varnost ali vzdržljivost. To je uspešnost izdelka [1], [2], ki jo je mogoče določiti samo z dosledno izpeljavo vseh faz v izdelavnem procesu [3].

2. USPEŠNOST IZDELKA IN POSTOPKI ZA NJENO DOLOČITEV

2.1. Uspešnost izdelka in njene komponente

Uspešnost izdelka $E(t)$ je povezana verjetnost, da bo izdelek v določenih obratovalnih razmerah in v določenem času začel obratovati v določenih tolerančnih mejah funkcionalnosti (tej komponenti uspešnosti pravimo pripravljenost za obratovanje

$RP(t)$) in verjetnosti, da bo izdelek določeno obdobje (dobo trajanja) in v določenih tolerančnih mejah uspešno deloval (tej komponenti pravimo zanesljivost obratovanja — $P(t)$). V tem obdobju se bo tudi uspešno prilagajal spremenljivim obratovalnim razmeram (to je časovno neodvisni faktor elastičnosti — f_{EL}).

Problem določitve uspešnosti se spremeni v problem določitve komponent uspešnosti, če v določenih razmerah upoštevamo dokazano pravilo [1], da je uspešnost zmnožek verjetnosti »pripravljenosti za obratovanje«, »zanesljivosti« in faktorja »elastičnosti«, torej:

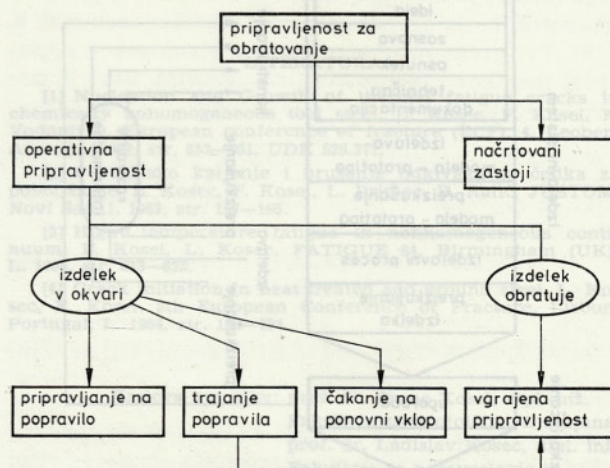
$$E(t) = PR(t) P(t) f_{EL}$$

2.2. Določevanje komponent uspešnosti v konstrukterskem postopku

Določeno lastnost in stanje ter s tem tudi uspešnost priredimo izdelku v vseh izdelavnih fazah kakor tudi v uporabi in pri vzdrževanju. Na tem mestu se bomo omejili samo pri nalogah, ki jih v postopku določanja uspešnosti razrešujemo v konstrukterskem delu.

2.2.1. Pripravljenost za obratovanje

Ta dejavnik uspešnosti se določa običajno z ocenjevanjem dveh parametrov: operative pripravljenosti in načrtovanih zastojev (sl. 5). Konstrukterji odločilno vplivajo na »vneseno pripravljenost«: lastnosti in stanje izdelku zagotavljajo, da je tehniški sistem, v katerem je izdelek vgrajen v danem trenutku in zunaj časa načrtovanih zastojev v največji mogoči meri sposoben začeti obratovati. V konstrukterstvu to lastnost zagotavljamo predvsem s takim oblikovanjem strukture izdelka, da so upoštevane vgrajene pripravljenosti posameznih sestavnih delov. S sintezo elementov in analizo funkcionalnih, strukturnih shem (zaporedne, vzporedne, delno vzporedne, pasivne vzporedne povezave elementov itd.) se da zagotoviti določena stopnja vgrajene pripravljenosti. Pripravljenost za obratovanje



Sl. 5. Pripravljenost za obratovanje in njeni elementi

pa seveda povečuje dobro načrtovano in izpeljano vzdrževanje. Konstrukterji vplivajo na sistem vzdrževanja takrat, ko se izdelku določa »vzdrževalnost«, če tako označimo primernost oblike strukture izdelka za vzdrževalne posege.

V konstrukterskem procesu, ki ga izvedemo lahko tudi brez informacij o rezultatih različnih preizkušanj, je treba za določitev pripravljenosti za obratovanje narediti specifične analize konstrukcije in pri tem določiti tudi osnove sistema vzdrževanja.

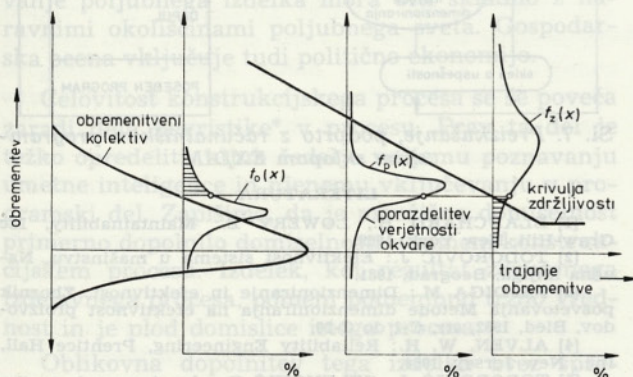
2.2.2. Zanesljivost izdelka

Zanesljivost izdelka je mogoča samo z novimi konstrukterskimi postopki in metodami, ki se v naših razmerah — žal — vse premalo uporabljajo.

Zanesljivost $P(t)$ določamo izdelku tako, da ugotovljamo prerez dveh naključnih prostorov: verjetnosti, da se bo pri uporabi pojavilo določeno obremenitveno stanje in določene obratovalne razmere in verjetnosti, da bo izdelek v taki uporabi imel vnaprej določeno vzdržljivost.

Tako je merilo »nezanesljivosti« verjetnost okvare $F(t)$, ki jo je mogoče določiti (sl. 6) po enačbi:

$$F(t) = \int_{\beta} f_0(x) \left(\int_{-\infty}^x f_z(x) dx \right) dx$$



Sl. 6. Verjetnost okvare kot prerez dveh naključnih prostorov v določenem trenutku

če sta znani funkciji porazdelitve verjetnosti obremenitvenih stanj $f_0(x)$ in vzdržljivosti $f_z(x)$.

Zanesljivost posameznega elementa (izdelka) vpliva na zanesljivost celotne konstrukcije glede na to, kako je element funkcionalno povezan v konstrukcijsko celoto (strukturo sistema).

Konstrukterji imajo torej dve novi nalogi:

— pri snovanju konstrukcije morajo po posebnih porazdelitvah* zanesljivosti (postopki AGREE (4), ARINC (4), EFTES [5] itd.) določiti najprimernejšo strukturo izdelka in potrebno zanesljivost posamičnih elementov konstrukcije,

— s postopki dimenzioniranja vsakemu sestavnemu delu konstrukcije zagotoviti zanesljivost. To pa pomeni pravzaprav določiti statistično razsipanje obremenitvenih stanj in vzdržljivosti elementov.

* V tuji literaturi je v rabi izraz alokacija.

2.2.3. Elastičnost izdelka

V konstrukterskem postopku, predvsem v fazah oblikovanja, smo soočeni z dvema nasprotnima značilnostima:

— s statično (nespremenljivo) strukturo sistema, ki jo določimo v postopkih oblikovanja tako, da ima izdelek določeno funkcionalnost

— in z dinamičnimi, časovno spremenljivimi razmerami pri obratovanju in uporabi.

Elastičnost sistema EL je tako mera v mejah

$$0 \leq f_{EL} \leq 1$$

ki pokaže, v kakšni meri se je izdelek sposoben prilagoditi spremenljivim obratovalnim razmeram in spremenljivemu delovnemu procesu pri uporabi.

Novost naloge za konstrukterje ni v tem, da se taka analiza za konstrukcijo naredi, da se poišče nek optimum med stopnjo izkoriščenosti delovne sposobnosti izdelka in stopnjo zapletenosti konstrukcije, kapaciteto, prostorsko izkoriščenostjo in podobno, temveč v tem, da analizo elastičnosti sistema opredelimo kolikostno in s tem dopolnimo analizo uspešnosti sistema.

3. RAZISKOVALNO IN VZGOJNO-IZOBRAŽEVALNO DELO NA PODROČJU KONSTRUIRANJA ZA DOLOČITEV USPEŠNOSTI IZDELKOV

Težišče raziskovalnega dela na tem področju konstruiranja smo v preteklosti usmerili na raziskovanje zanesljivosti obratovanja kot komponente uspešnosti izdelkov ter na razvoj metod in konstrukterskih ter razvojnih postopkov za njeno določitev. Cilju, raziskati teoretične osnove, ugotoviti potrebnost in primernost take analize ter definirati poti za njeno uresničitev, smo v veliki meri podrejali tudi programe sodelovanja z neposredno prakso.

V prvem obdobju smo želeli dodobra spoznati, ali lahko uspešnost in zanesljivost izdelku določimo z ustaljenimi, pretežno analitičnimi postopki dimenzioniranja. Na primeru za prakso smo s prenosnimi funkcijami določili obremenitveno stanje transmisije vozila. Rastros naključnih obremenitvenih stanj v pričakovani eksploataciji smo simulirali z variiranjem vstopnih parametrov (vstopne večparametrskje funkcije). Obsežen izračun smo izvedli z računalnikom in rezultate predstavili numerično in grafično. Po primerjanju z rezultati preizkusov [6], [7] smo lahko sklepali, da se naključno obremenitveno stanje sicer da analitično simulirati, da pa je postopek dolg in zahteven, neprimeren za prakso, in so sklepi podani lahko le z velikim statističnim tveganjem. Na več možnih znanih načinov pa smo izpeljali tudi postopek določevanja vzdržljivosti [8], [9]. Ugotovili smo, da tudi najbolj izpopolnjeni analitični postopki niso primerni za kaj več kakor vnaprejšnje ocenjevanje, da pa ima preizkusna metoda obratovalne trdnosti tudi bistvene pomanjkljivosti. Predvsem jo je mogoče izpe-

ljati le na prototipu (modelu) oziroma izdelku, pa je zato za prve konstruktorske faze neuporabna. Z njo pa tudi ne moremo določiti komponente učinkovitosti, saj je kot razvojna metoda v izvirni obliki definirana tako, da z njo lahko sklepamo le o varnosti ali dobi trajanja.

Znano pa je, kako skromna, oziroma zaradi statističnega raztrosa, celo neprimerna podatka sta za obratovalno sposobnost izdelka varnost in doba trajanja [10]. Zato smo v nadaljevanju raziskav najprej dopolnili znano metodo obratovalne trdnosti, tako da je z njo mogoče sklepati o zanesljivosti v določeni dobi [3]. Hkrati pa smo raziskali in bistveno dopolnili novejšje eksperimentalne metode dimenzioniranja (npr. metoda pulziranja z majhnim številom ciklov), tako da je z njimi mogoče sklepati o uspešnosti [11], [12], [13], [14] z majhnim statističnim tveganjem.

Bistveni sklepi tega dela so [15] naslednji:

— uspešnost in njene komponente lahko določimo samo s preizkusnimi postopki dimenzioniranja,

— preizkusne metode je mogoče podpreti z računalniki in bistveno skrajšati in poceniti razvojno delo.

Konkreten rezultat teh raziskav je vsekakor algoritem eksperimentalnega postopka za določevanje uspešnosti (sl. 7), ki ga lahko izpeljemo z računalniškim programskim paketom EXDIM (s programskimi podsklopi ANDIG, DINAL in DAPUL), izdelanim in potrjenim na fakulteti, na domači raziskovalni opremi. Z njim ustvarimo kompleksno datoteko, tj. zbirko izmerkov pri preizkusih in podatkov za konstruiranje [15].

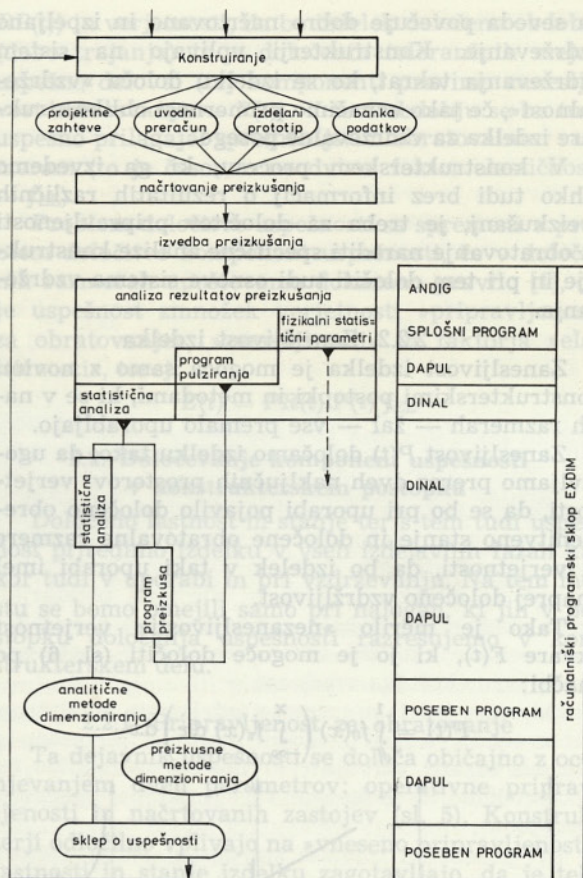
Hkrati z raziskovalnim in razvojnim delom smo dopolnjevali tudi študijski program.

V iztekajočem se programu višješolskega in visokošolskega študija smo v prvih letnikih razložili osnove novih metod konstruiranja in dimenzioniranja. V četrtem letniku pa smo s študenti že izvedli dele postopka dimenzioniranja na uspešnost.

V novem študijskem programu bo s predmetom metode dimenzioniranja v konstruktorski smeri mogoče študente celoviteje seznaniti, napotiti in delno usposobiti za uporabo vseh metod in tudi novih metod dimenzioniranja zanesljivosti. Delo bomo lahko opravili z moderno raziskovalno in računalniško tehnologijo v centru za konstruktorsko dejavnost, ki ga pripravljamo na fakulteti.

V statično konstrukcijskem programu podiplomskega študija podiplomci že več let uspešno študirajo to novo konstruktorsko-razvojno pot. Podiplomci so dali [12] in dajejo tudi bistvene prispevke k novim spoznanjem na tem področju.

Tako lahko pričakujemo, da bo to znanje, posebej po uveljavitvi novih študijskih programov, hitreje in intenzivneje prodiralo v prakso in se bo tudi tako večal delež konstrukterstva k uspešnosti izdelovanja.



Sl. 7. Preizkušanje, podprto z računalniškim programskim sklopom EXDIM

LITERATURA

- [1] BLANCHARD B., LOWERY E.: Maintainability, McGraw-Hill, New York, 1969.
- [2] TODOROVIC J.: Efektivnost sistema u mašinstvu, Naučna knjiga, Beograd, 1981.
- [3] FAJDIGA M.: Dimenzioniranje in efektivnost, Zbornik posvetovanja Metode dimenzioniranja na efektivnost proizvodov, Bled, 1982, str. C-1 do C-20.
- [4] ALVEN, W. H.: Reliability Engineering, Prentice Hall, Inc., New Jersey, 1964.
- [5] TODOROVIC J., ZELENOVIC D.: An Approach to the Allocation of Mechanical System's Reliability — EFTES Method, Int. J. Prod. Res., Vol. 18 No. 2, 1980.
- [6] FAJDIGA M.: Homologacijski testi za elemente vozil, II. simpozij o prenosnicima snage, JUMV, Beograd, 1978, str. 57—66.
- [7] FAJDIGA M.: Efekti optimizacije dimenzij polgredi z metodo obratovalne trdnosti, III. simpozij o prenosnicima snage, JUMV, Beograd, 1980, str. 175—183.
- [8] FAJDIGA M.: Raziskava zdržljivosti razdelilnih pogonov vozila TAM glede na dejanski obremenitveni kolektiv, Poročilo RSS, Ljubljana, 1975.
- [9] FAJDIGA M.: Raziskave obratovalne trdnosti polosi terenskega vozila TAM, Poročilo za TAM, Ljubljana, 1976.
- [10] FAJDIGA M., ČARMAN M.: Raziskava metod dimenzioniranja na zanesljivost, Poročilo RSS, Ljubljana, 1982.
- [11] FAJDIGA M.: Uticaj primene najnovijih metoda projektovanja na proces ostvarenja efektivnosti sistema vozil — okolina, JUMV '81, Kragujevac, 1981.
- [12] ČARMAN M.: Uporabnost metode obratovalne trdnosti pri dimenzioniranju, razvoju in homologaciji karavan prikolice IMV, magistrsko delo, Ljubljana, 1982.
- [13] FAJDIGA M., ČARMAN M.: Verifikacija metode dimenzioniranja na verjetnost okvare, Poročilo RSS, Ljubljana, 1981.
- [14] ČARMAN M.: Nizkociklično pulziranje in dimenzioniranje na zanesljivost, Zbornik posvetovanja Metode dimenzioniranja na efektivnost proizvodov, Bled, 1982, str. C1—C21.
- [15] FAJDIGA M., KERNIC J.: Eksperimentalne metode dimenzioniranja, Seminar 11-LAKOS, Ljubljana, 1985.

Avtorjev naslov: prof. dr. Matija Fajdiga, dipl. inž.
Fakulteta za strojništvo, Ljubljana