

UTICAJ PRIMJENE RAZLIČITIH METODA PRORAČUNA ELEMENTA MAŠINA NA KVALITET

APPLICATION OF DIFFERENT METHODS OF CALCULATIONS OF VARIOUS MACHINE ELEMENTS AND ITS EFFECT ON QUALITY

doc.dr. Mustafa Imamović
Mašinski fakultet u Zenici

REZIME

Kako se proračunom elemenata mašina, kao ključnom fazom u postupku konstruisanja, utvrđuju dimenzije, kvalitet materijala, masa i vjerovatnoća otkaza u radu, to se sa ovim dijelom i vrstom konstrukcijskog procesa može uticati na kvalitet. Pri tome se mogu primjeniti uglavnom dvije metode proračuna: deterministički (klasični) i probabilistički (stohastički) proračuni. Primjenom jednog ili drugog proračuna dobiju se manje ili više tačni rezultati. Pri tome probabilistički proračun omogućava dobijanje znatno tačnijih rezultata tj. njegovom primjenom može se povećati kvalitet elemenata mašine.

U ovom radu su date osnovne karakteristike različitih metoda proračuna kao i rezultati povećanja kvaliteta u slučaju primjene probabilističkog proračuna. Paralelno sa ovim je ukazano i na ograničenja u slučaju primjene jednog ili drugog proračuna.

Ključne riječi: klasičan proračun, probabilistički proračun, kvalitet elementa, pouzdanost, stohastičke promjene

SUMMARY

Taking into account that calculation of machine elements, as a key stage of the construction process, determines dimensions, quality of material, weight as well as operation malfunction probability, this part and type of construction process can significantly affect outcome quality. Two methods of calculation are mostly applicable: determination calculation (classical) and probability calculation (stochastic). Application of one or the other method provides more or less accurate results. Out of these two, probability calculation provides much more accurate results, meaning that its application can significantly improve quality of machine elements.

Basic characteristics of both calculation methods are given here as well as results of quality improvements when probability calculation is applied. Parallel to this, limitations in application of both methods are stated.

Keywords: classical calculation, probable calculation, quality of elements, reliability, stochastic changes.

1. UVOD

Ostvarujući i poboljšavajući kvalitet svojih proizvoda preduzeća ostvaruju konkurentsku prednost. Ta prednost se ostvaruje na osnovu bolje tržišne pozicije, manjih troškova i veće rentabilnosti. Da bi to bilo moguće potrebno je na odgovarajući način upravljati aktivnostima i procesima koji omogućavaju da proizvod posjeduje željene karakteristike. Zato upravljanje

kvalitetom nije neka izdvojena aktivnost koja se nadgrađuje na proizvode, već je to efikasan način za provođenje tih aktivnosti. [1]

Shodno ovim napomenama koje su opšte za sve proizvode i aktivnosti, može se posmatrati i težnja za povećanjem kvaliteta proizvoda u postupku projektovanja i konstruisanja. Suštinski u ovim fazama nastajanja proizvoda stvaraju se uslovi da proizvod ima povećan kvalitet u odnosu na ostale proizvode koji imaju istu funkciju. Kako faze projektovanja i konstruisanja sadrže u sebi više etapa i kako su sve one značajne, to se u ovom radu razmatra uticaj primjene jedne od etapa, a to je proračun.

Sa proračunom se ustvari definiše oblik, dimenzije, materijal, tehnologija izrade itd. Međutim, sam proračun može da bude različit tj. u toj etapi se mogu primjenjivati različite metode koji rezultiraju u različitim kvalitetima proizvoda.

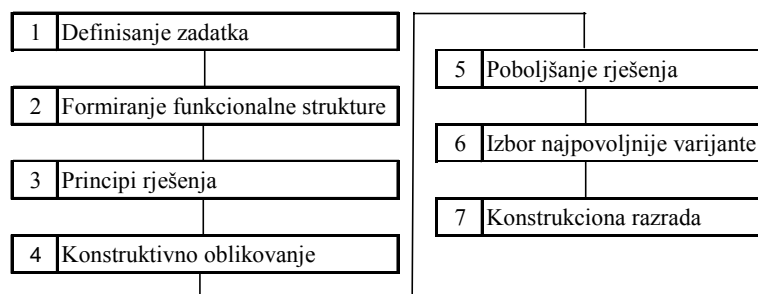
U dosadašnjem periodu konstruktori koji dizajniraju proizvod su uglavnom koristili klasični proračun. On je podrazumijevao da predpostavljamo da su elementi proračuna konstantne (nepromjenljive) veličine. To se prvenstveno odnosi na radna opterećenja i kritična opterećenja (radne izdržljivosti). Rezultati ovakvog proračuna, koji su bazirani na velikoj sigurnosti, su proizvodi većih dimenzija. Konstruktor se „zaštiti“ da nebi ugrozio pouzdanost proizvoda. Međutim, u stvarnosti su radna i kritična opterećenja promjenljiva u radnom vijeku te je za dimenzionisanje proizvoda neophodno uzeti u obzir rasipanje rezultata tj. konstruisati proizvode na osnovu pouzdanosti. Na ovakav način proračuna se dobijaju rezultati veće tačnosti, a time se može uticati na povećavanje kvaliteta proizvoda.

Klasičan proračun se u praksi naziva deterministički, dok je proračun na osnovu vjerovatnoća probabilistički, tj. proračun na osnovu pouzdanosti.

2. OSNOVNI KORACI I PRORAČUN U TOKU KONSTRUISANJA PROIZVODA

2.1. Koraci konstruisanja

Težište praktične metode konstruisanja proizvoda nalazi se u razvoju najboljeg rješenja postavljenog konstrukcijskog zadatka. Pri tome je težište na prvoj kvalitetnoj fazi u procesu konstruisanja u kojoj se definiše idejno rješenje postavljenog zadatka. Tek kada se definiše idejno rješenje postavljenog zadatka počinje se sa kvantitativnom fazom procesa konstruisanja – dimenzionisanjem. Ovako postavljen model konstruisanja moguće je podijeliti na više koraka, slika 1.



Slika 1. Koraci u toku konstruisanja

Kao što se vidi, svaki korak ima za cilj postepeno približavanje rješenju problema. Rješenje problema počinje sa sistematskim prikupljanjem podataka neophodni za rješenje zadatka, nakon čega se pristupa formulisanju i postavljanju zadatka, *prvi korak*. [4] *Drugi korak* obuhvata iznalaženje najpovoljnije funkcionalne strukture za zadatak. Prvo se definiše ukupna funkcija, a nakon toga i parcijalne funkcije pojedinih dijelova i elementata. Utvrđivanjem logičkih zavisnosti između funkcija nižeg nivoa složenosti definiše se tok

izvođenja operacija. Dobiveni tokovi se spajaju u jednu blok shemu koja predstavlja funkcionalnu strukturu.

Za svaki funkcionalni element u *trećem koraku* se traže principi rješenja koji će na najbolji način realizovati parcijalne, odnosno elementarne funkcije.

Četvrti korak je korak konstruktivnog oblikovanja u kojem se definiše predmetna struktura. Konstruktivnim oblikovanju se iznuđuju izvršioci parcijalnih funkcija koji na najbolji način mogu ostvariti proces predviđen fizičkim modelom konstrukcije. Dakle, projektuju se mašinski elementi koji egzaktno ispunjavju funkciju.

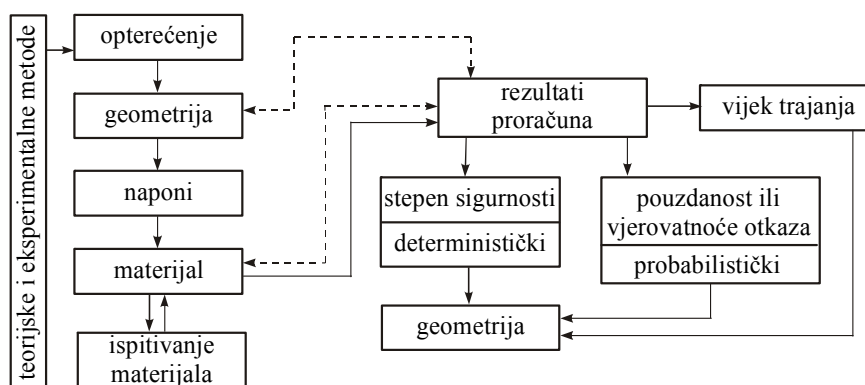
U *petom koraku* se kritičkim pristupkom analiziraju sve varijante rješenja i vrše neophodne korekcije u cilju poboljšanja.

Šesti korak je korak izbora. Odabira se najbolje rješenje koje će u kombinaciji dati principsko rješenje postavljenog zadatka. Ovo rješenje služi kao podloga za daljnje faze konstrukcione razrade proizvoda.

Radni korak konstrukcione razrade sadrži sve aktivnosti potrebne da se dobiveno principsko rješenje razradi i razvije do te mjere da je njegova tehnološka razrada i proizvodna izrada moguća. Međutim, kako su dobijena djelimična rješenja, potrebno ih je ukomponovati u jednu cjelinu, te provesti prethodni proračun uz istovremeni izbor materijala.

2.2. Proračun u toku konstruisanja

Proračun kao dio radnog toka procesa projektovanja tj. konstruisanja sadrži u sebi više faza. Sve one čine jednu cjelinu (zaokružen tok) pri čemu svi elementi tog procesa treba da prođu kroz sve te faze. Jedan od mogućih tokova proračuna elementa mašinskih sistema prikazan je na slici 2.



Slika 2. Radni tok proračuna u procesu konstruisanja

Na osnovu teorijskih i eksperimentalnih metoda utvrđuje se za svaki element mjerodavno opterećenje ili njegov spektar za radni vijek. Prema utvrđenom opterećenju procjenjuje se početna geometrija a nakon toga proračunavaju se radni naponi u karakterističnim presjecima. Izbor materijala se vrši na bazi procjene uslova rada i potrebnoj nosivosti. Na osnovu tako utvrđene čvrstoće materijala i radnih napona moguće je obzirom na vrstu proračuna (deterministički ili probabilistički) utvrditi stepen sigurnosti ili vjerovatnoću ispravnog rada tj. pouzdanost.

Dakle, pri proračunu elemenata uvijek se nameće potreba uspostavljanja odnosa između kritičnih i radnih opterećenja (napona). Mogući su slučajevi da su stepen sigurnosti i nivo pouzdanosti poznate veličine. U tom slučaju oni se ugrađuju prema istom postupku u elemente koji se konstruišu.

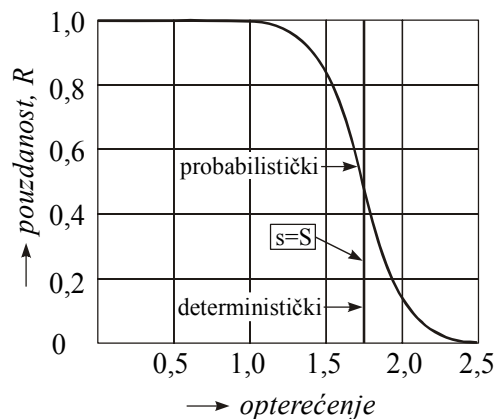
3. KARAKTERISTIKE DETERMINISTIČKOG I PROBABILISTIČKOG PRORAČUNA

U opštem slučaju radni naponi kod proračuna (s) se određuju kao funkcije $s = (x_1, x_2 \dots x_n)$ gdje su x_i – promjenljive (opterećenje L, geometrija A). U determinističkom prilazu radni i kritični naponi imaju jednu vrijednost. U slučaju da više opterećenja djeluju na element utvrđuju se radni naponi s_{max} . U tom slučaju rezultujući napon je mjerodavan za daljnji proračun elemenata.

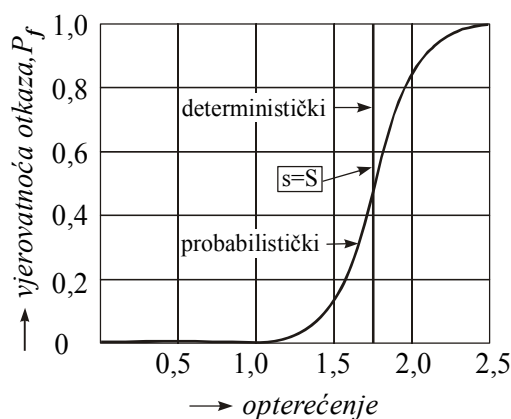
Probabilistički prilaz proračunu elemenata polazi od činjenice da je teško, ako ne i nemoguće, egzaktno odrediti sve bitne veličine. Zbog toga se uticajne veličine: opterećenje, geometrijske veličine, karakteristike materijala uzimaju kao stohastički promjenljive, sa pripadajućim raspodjelama. Poređenje kritičnih i radnih opterećenja dovodi do preklapanja raspodjela, pri čemu postoji mogućnost da su radni naponi veći od čvrstoće materijala.

Dakle, probabilistički prilaz proračunu se svodi na određivanje vjerovatnoće otkaza, te na osnovu nje i pouzdanosti. [3]

Upoređenje determinističkog i probabilističkog prilaza proračunu, te rezultati do kojih se dolazi, mogu se prikazati grafički kao na slikama 3. i 4.



Slika 3. Pouzdanost elemenata u funkciji radnih opterećenja



Slika 4 Vjerovatnoća otkaza u funkciji radnih opterećenja

Pri probabilističkom proračunu određuje se vjerovatnoća da će čvrstoća materijala biti veća od radnih napona (s) nastalih kao rezultat djelovanja opterećenja. Procjena pouzdanosti se pri tome može da ostvari na više načina, polazeći od različitih osnovnih definicija i to:

$$P(S > s) = P(S - s > 0) = P(S/s > 1) = R \quad \dots(1)$$

Kao što se vidi, brojana vrijednost vjerovatnoće da će čvrstoća materijala biti veća od radnih napona, predstavlja pouzdanost elementa (R). Pri porastu opterećenja, nivo pouzdanosti (R) opada a vjerovatnoća otkaza P_f postepeno se povećava, slika 3. i 4. U slučaju da su čvrstoća materijala i radni naponi determinističke veličine, tada izraz (1) ima oblik:

$$P(S > s) = P(S - s > 0) = R = 1 \quad \dots(2)$$

Znači, pouzdanost je $R = 1$, nema otkaza elementa i obrnuto. Kada je radni napon (opterećenje) veće od čvrstoće materijala vrijedi izraz:

$$P(S < s) = P(S - s < 0) = R = 0 \quad \dots(3)$$

U ovom slučaju svaki put dolazi do otkaza elementa jer je $R = 0$.

4. ZAŠTO PRIMJENITI PROBABILISTIČKI PRORAČUN?

Postavlja se pitanje koje su prednosti i nedostaci determinističkog i stohastičkog prilaza, te zašto primjenjivati jednu, a ne drugu metodu.

Deterministički prilaz, odnosno klasičan proračun, izgrađivan je u vrlo dugom vremenskom periodu. Mnogi konstruktori imaju iskustvo i osjećaj (fizičkih) veličina i naviknuti su na deterministički način proračuna (način razmišljanja). Sem toga, postoje kriterijumi i norme, podaci o karakteristikama materijala, razvijene su metode proračuna (aproksimativne i kompleksne), postoji literatura iz koje se mogu uzeti približne ili tačne vrijednosti koeficijenata, odnosno podataka. Nasuprot determinističkom prilazu, statistički proračun je noviji. Metodi proračuna su još u razvoju, a formiraju se i podaci o materijalu. Poseban problem čine kriterijumi i zahtjevi.

Osnovni razlog primjene probabilističkog načina proračuna (umjesto ili uz deterministički proračun) proističe iz prirode promjenljivih. Opterećenje, geometrijske veličine i karakteristike materijala u realnosti se ponašaju kao stohastičke veličine. Veoma rijetko se u praksi može naći slučaj da je opterećenje konstantno (da ima samo jednu vrijednost sve vrijeme upotrebe konstrukcije), da se može predstaviti kao deterministička veličina. Čak i maksimalna vrijednost opterećenja, koja se najčešće u praksi uzme kao mjerodavna vrijednost za proračun konstrukcije, u realnosti se realizuje sa nešto (malo) manjom ili nešto većom vrijednosti, zbog čega se pri klasičnom – determinističkom proračunu dodaje još (iskustveno) određeni faktor sigurnosti.

Veoma je slično i sa geometrijskim veličinama. I pored velike preciznosti izrade i detaljne kontrole, realizovane geometrijske veličine se u procesu proizvodnje razlikuju, iako se mogu nalaziti u relativno uskom tolerantnom području. I pored veoma kontrolisanog savremenog procesa proizvodnje karakteristike materijala (čvrstoća i druge) razlikuju se pri različitim šaržama proizvodnje i kod različitih proizvođača, tako da se u realnosti promjenljive, koje dominantno utiču na proračun konstrukcije (opterećenje, geometrijske veličine, karakteristike materijala), ponašaju kao stohastičke veličine, pa je i probabilistički proračun adekvatniji od determinističkog.

Kao što je očigledno rezultati dobijeni na osnovu probabilističkog proračuna su daleko tačniji još realnije prikazuju stanje opterećenja kako radnih tako i kritičnih. [2] Dakle, primjenom ovoga proračuna može se većom tačnošću definisati karakteristike proizvoda (elemenata) kao što su dimenzije, materijal, masa. Kad su poznate ove veličine sa velikom vjerovatnoćom je moguće krajnje karakteristike odrediti veoma tačno. Time je moguće kontrolisati kvalitet, te uticati na njegovo povećanje uz realan tok kontrole cijene koštanja proizvoda, obzirom na njegov vijek trajanja. To u krajnjem slučaju pozitivno utiče na zadovoljstvo kupaca proizvoda.

5. ZAKLJUČCI

Na osnovu analiza provedenih u prethodnim tačkama moguće je donijeti sljedeći zaključke:

- Proračun kao jedna od faza u procesu konstruisanja proizvoda je veoma bitan.
- U osnovi postoje dva prilaza proračuna: deterministički i probabilistički. U radu sa date karakteristike jednog i drugog prilaza proračuna.
- Primjenom probabilističkog prilaza proračuna moguće je dobiti daleko tačnije rezultate proračuna.
- Probabilistički proračun može uticati pozitivno na kvalitet proizvoda.
- Primjenom probabilističkog proračuna može se upravljati kvalitetom proizvoda (elemenata)

6. LITERATURA

- [1] Grupa autora: Konceptija menadžmenta u funkciji postizanja, održavanja i poboljšavanja kvaliteta proizvoda i usluga, Naučno-stručni skup „KVALITET 2003“ Zenica
- [2] Vladimir Zeljković: Pouzdanost u praksi, Lola Institut Beograd 2000.godine.
- [3] Mustafa Imamović, „Konstrukcioni aspekti izbora i proračuna pouzdanosti osnovnih dijelova valjačkih stanova“, Zenica 2004.godina
- [4] Vladeta Radović, Radoslav Tomović, „Praktične metode konstruisanja proizvoda“, IRMES, 2002