



Rikalović Milan 2024

# IZBOR POSTOPKA MEHANIČKOG PRORAČUNA ČVRSTOĆE

*(Prema monografiji TOM I – DRT Klasifikacija i konstrukcija, Novi Sad 2024)*

## 3.2.1. Izbor postupka mehaničkog proračuna čvrstoće

Mehanički proračun čvrstoće za usvojenu konstrukciju PED proračunate opreme obično se izvodi na kraju termičkog proračuna, a pre izrade konačne grafičke dokumentacije za fabrikaciju proizvoda. Pre početka proračuna, ponekad i u toku samog postupka moraju se razrešiti mnogobrojne nedoumice ili varijante procedure, koje zavise od odluke projektanta, a veoma često i od ugovornih uslova, zahteva naručioca, PED zakonodavstva, standarda, inspeksijskih zahteva itd.

### Izbor proračunskog normativnog kôda

Osnovna procedura mehaničkog proračuna čvrstoće PED opreme, što važi najčešće i za dobošaste razmenjivače toplote zavisi od izbora proračunskog kôda. Naručilac PED opreme, mora u zahtevu dostaviti između ostalog i sledeće podatke:

- Podatke o mestu ugradnje PED opreme, naziv zemlje i bliža lokacija,
- Proračunski kôd i osnovne važeće propise koji se primenjuju za PED opremu,
- Ako se oprema naručuje van zemlje ugradnje, obavezni su podaci distributera ili uvoznika, što podrazumeva zakonodavstvo i proceduru PED opreme te zemlje.

Cela procedura je veoma jednostavna, ako se PED oprema proizvodi i ugrađuje u istoj državi ili države proizvođača i mesta ugradnje koriste iste kôdove (kao što je npr. Evropska zajednica). Ako to nije slučaj, onda je potrebno dosta znanja i veštine da bi se obezbedila ispravna primena PED propisa, uz minimalne naknadne troškove. Za velike serije proizvoda proizvođači znaju unapred za koje je tržište namenjeno i opremaju ga prema dva najčešća koda EN ili ASME. Za druga tržišta različitog kôda i male narudžbine često ne postoji ekonomski interes proizvođača, osim ako nema jakog distributera u zemlji plasmana.

### Kontrola i ažuriranje važećih propisa i normativa PED opreme

Kada su utvrđeni dokumenti za izradu PED opreme, veoma je važno koristiti najnovije izdanje proračunskog kôda, jer se oni stalno menjaju i prilagođavaju najnovijim saznanjima iz predmetne oblasti. Ove promene često mogu biti veoma male, ali zahtevaju kontrolu sadržaja, koji se objavljuju na godišnjem nivou izdanja standarda. Provere standarda projektantima mogu oduzimati puno vremena, ali treba imati u vidu da nepoštovanje ili nepoznavanje novih kodeksa može rezultirati neplaniranim otpadom ili preradom konstrukcije. Slična provera je preporučljiva i za karakteristike materijala, koji su definisani odgovarajućim standardima, što za Evropsku uniju podrazumeva i proveru njihove harmonizacije. Za sve propise koji se koriste zahteva se da budu ažurirani.

### **Metodologija proračuna PED opreme**

Tipična metodologija proračuna čvrstoće je postupak formulama DBF (eng. design by formulae), ali prisutni su i postupci analizom DBA (eng. design by analysis), kao i metode zasnovane na eksperimentalnim tehnikama DBE. Metoda formulama je klasični postupak proračuna zamenom prethodno utvrđenih vrednosti u standardom preporučenu formulu. Ona se primenjuje uglavnom za statička odnosno ne-ciklična opterećenja, koja se tako deklarišu prema EN 13445-3 ako je broj promena opterećenja najviše do  $n_{ekv}=500$ . U tom slučaju nije potrebna analiza zamora materijala i ispitivanja bez razaranja. Metoda DBA ili direktna putanja (ruta) je alternativna metoda navedenoj DBF, služi kao dopuna za nepredviđene slučajeve, ili za slučaj superpozicija opterećenja (npr. dejstvo pritiska + vetar, seizmika, opterećenje usled cevovoda ili druge opreme, itd.). Ova metoda uključuje najčešće postupak konačnih elemenata (FEA), za šta je neophodna posebna obučenost. Metoda DBE zasnovana na eksperimentu je predviđena za specijalne slučajeve gde se merenjem dokazuje potrebna geometrijska veličina.

O izboru metode odlučuje projektant, dok se u ovom poglavlju razmatra samo najčešće korišćena metoda proračuna formulama (DBF).

### **Obim i granice sistema za proračun čvrstoće**

Ovo se pitanje odnosi na slučaj složenih postrojenja, koja sadrži više povezanih jedinica PED opreme, ili složenih tehnoloških sistema različite namene, ili slučaj zamene-proširenja u postojećem funkcionalnom sistemu. Takva složena postrojenja mogu implicirati različite situacije u zavisnosti od toga da li je projekat integralni ili parcijalni, da li je proizvođač i montažer ista organizacija, kao i od toga da li je predviđena ocena usaglašenosti celog PED sistema (tzv. globalna) ili je usaglašenost nezavisna po sistemima. O tome odlučuje naručilac odnosno korisnik instalacije u saradnji sa izabranim projektantom, koji mora biti posebno iskusan u izboru rešenja koje se ekonomično uklapaju u tok realizacije projekta. U svakom slučaju ovde se razmatra samo izrada DRT kao pojedinačne opreme pod pritiskom.

### **Organizacija proizvodnje PED opreme**

Organizacija proizvodnje DRT ili druge PED opreme može biti integralna u okviru jedne organizacije ili sastavljena iz više delova u kome su projektant i izvođači potpuno nezavisni, ili čak da proizvođač angažuje projektanta i veći broj kooperanata a da on ništa ne proizvodi, već samo preuzima odgovornost i pušta proizvod na tržište pod svojim imenom i svojim žigom. U bilo kojoj organizaciji proizvodnje projekat PED opreme mora sadržati sve elemente konstrukcije, koji su proračunati u skladu sa usvojenim kôdom. Takođe mora sadržati izbor i sledljivost materijala, kao i tehnologiju spajanja (zavarivanje i sl.) i ispitivanja. Svi učesnici u proizvodnji PED opreme moraju se pridržavati projekta i predviđene procedure ispitivanja, dok tok ocene usaglašenosti i angažovanje imenovanih tela najčešće (a to je i najbolje) treba da je u organizaciji onoga ko se potpisuje kao proizvođač.

### **Tehnika proračuna i upotreba softvera za proračun**

Tok proračuna u skladu s usvojenim kôdom je veoma važna odluka pre ili najkasnije u toku proračuna, nju donosi projektant, ili to može da odluči

proizvođač sam ili u konsultaciji s imenovanim telom. Prema metodi formulama, potrebno je navesti osnovni izraz, uneti pojedinačne vrednosti u izraz i dati rezultat proračuna, koji omogućava kontrolu postupka i sledljivost rezultata. To je postupak koji je prihvatljiv većini imenovanih tela ili drugih kontrolora projekta. Problem takvog, a i bilo kojeg drugog računanja je pojava i otkrivanje računskih grešaka, naročito u uslovnim i iterativnim postupcima, kao i sporost, zamornost i izrada velikog broja ponavljanja. Pojava računara je omogućila brze tabelarne proračune (excel), koji dozvoljavaju laku pojedinačnu upotrebu, dobar prikaz rezultata, a uglavnom slabiju sledljivost proračuna. Oni se mogu smatrati kao lični alat projektanta.

Pojava na tržištu integralnih računarskih programa mehaničkog proračuna PED opreme, unapredila je i olakšala izradu projektne dokumentacije, kao:

- Pitanje upotrebe važećih i ažuriranih kôdova se prenosi od projektanta na programera, što može biti značajna ušteda, pogotovo ako se koriste i ažurne baze svojstava materijala. Projektant ima program koji može odmah da koristi.

- Veliku prednost imaju softveri koji umesto nevidljivih postupaka računanja imaju vidljive formule i unešene vrednosti veličina u skladu sa izabranim kôdom, što je prihvatljivo imenovanom telu. Ipak, brojni programi nemaju ovu mogućnost.

- Upotreba lokalnih projektantskih softverskih alata, zahteva dokazivanje ispravnosti inspektorima imenovanih tela. Zato je preporučljiva koordinacija s imenovanim telom u pogledu izbora proračunskog softvera, pogotovo ukoliko imenovana tela rutinski koriste određene softvere u svojoj redovnoj praksi.

#### **Odgovarajući softver za proračun čvrstoće DRT**

Zanimljivo je da su prve softvere za razmenjivače toplote radile kompanije globalnog kapaciteta (npr. Danfoss), ali je vreme pokazalo da su takvi softveri uglavnom komercijalno usmereni, odnosno imaju cilj da kupac što lakše i brže izabere njihov proizvod. Međutim, dalji razvoj je doneo proizvođače softvera koji izrađuju programe za PED opremu, čak posebno za razmenjivače toplote, odvojeno termički i hidraulički dizajn, odvojeno mehanički dizajn, a postoji i integralni softver. Za izradu složenih programa koji obuhvataju i grafički dizajn potrebni su moćni softverski timovi, koji mnogo koštaju. Da bi održali kontinuitet i smanjili pojedinačne cene, softverske kuće pribegavaju cepkanju programa na tzv. module za svaki proračun, kao i apdejtovanju programa na godišnjem nivou.

Upotreba aplikativnog softvera razmenjivača daje sledeće uštede:

1. Ušteda troškova, jer dizajner razmenjivača troši svoje vreme na pripremu i izradu projekta, što je isplativije od cene pretplate na ažurirani softver.

2. Zadržavanje stečenog znanja u proračunima i arhiviranim datotekama. Odlazak dizajnera u tom slučaju ne podrazumeva gubitak tog znanja, već samo kraću obuku novog dizajnera, jer znanje ostaje u formiranim bazama podataka.

3. Jednostavna mogućnost obuke projektanata i inoviranja znanja od strane proizvođača softvera putem onlajn konferencija, seminara i sl.

4. Ušteda vremena korišćenjem postojećih arhiva izvedenog proračuna je veoma velika u odnosu na pregled dokumentacije urađene bez softvera, kao i ušteda vremena u dokazivanju dokumentacije imenovanom telu. Čak i ako postoji

dilema u uštedi novca od nabavke integralnog softvera, znatno veći troškovi mogu nastati usled ažuriranja kućnih alata, ispravki grešaka i uhodavanju malih aplikacija.

5. Postojanje biblioteke izvedenog dizajna i arhiva materijala, omogućuje brzu izradu konstruktivnih varijanti i upotrebu alternativnih materijala, a naročitu uštedu daje optimizacija troškova, što poboljšava tržišnu konkurentnost.

Po pitanju upotrebe softvera, stav ASME VIII je neutralan, parafrazirano: Inženjeri projektanti preuzimaju punu odgovornost u primenjenim postupcima proračuna i tačnosti rezultata, pa prema tome kodeks niti zahteva niti zabranjuje korišćenje računara za dizajn ili analizu konstrukcije komponenti prema zahtevima standarda. I pored brojnih prednosti, cena integralnog softvera u grafičkom okruženju u zavisnosti od broja tipova RT je značajna stavka i isplativa je za velike firme i velike serije proizvoda. Za male proizvođače to svakako nije najbolja opcija, jer učešće takvog softvera u jediničnoj ceni proizvoda značajno utiče na njegovu konkurentnost. Prema navodima HEDH [2], mehanički dizajn opreme PED i razmenjivača toplote jedno je od poslednjih područja delatnosti, koje se u procesu dizajna ne oslanja potpuno na softver. Razlozi za zadržavanje ljudske uključenosti su zbog toga, što postoje suptilne razlike u detaljima dizajna koje nude različiti proizvođači ili zahtevaju krajnji korisnici. Proizvođači izradu komponenti mogu analizirati korišćenjem raznih metoda dizajna za različite kôdove, što može biti isključujuće za određene mogućnosti ostalog dizajna. I pored donetih brojnih standarda, još uvek značajno nedostaju standardi u geometriji PED opreme i RT, što dizajn te opreme čini kreativnom temom u donošenju inženjerskih odluka u kalkulacijama i dilemama tipa "šta ako". Teško je reći koliko treba platiti za softver za opremu pod pritiskom, međutim stara poslovica kaže "dobiješ ono što platiš", a to važi i ovom slučaju. Treba napomenuti, da su softverske greške relativno česte i stalno se otklanjaju (nove verzije, novi trošak), što može dovesti do značajnog rasta troškova na proizvodu. Zato, jeftini softverski programi koji ne poseduju tzv. QA (analiza kvaliteta po fazama) i QC (kontrola kvaliteta na kraju) podršku nisu baš preporučljivi za proizvodnju skupe opreme. Nije lako preporučiti adekvatni softver za mehanički dizajn RT na osnovu internet prezentacija ili na osnovu probnih verzija, jer im nedostaje provera u praksi. Navedeni programi iz perioda pisanja knjige su informacija sa kratkim opisom, bez dokaza tačnosti i pouzdanosti.

- Computer Engineering, Inc. (CEI) USA, ([www.thinkcei.com](http://www.thinkcei.com)) sadrži proračun prema kôdu EN 13445-3 sa unošenjem podataka prema formulama i mogućnostima uključenja u pogramе grafičkog okruženja.

- Lauterbach Verfahrenstechnik (LV) Karlsruhe Nemačka, ([www.lv-soft.net](http://www.lv-soft.net)), je veoma razgranat program sa modulima za svaku komponentu, prema raznim kodovima uključujući i EN 13445-3 i AD-2000 i bazama podataka materijala.

- Codeware, Inc. Kanada, ([www.codeware.com](http://www.codeware.com)) sadrži program compress za mehanički dizajn RT u ASME kodu, sa integrisanom grafikom u Solidworksu ili

Inventoru, a takođe je povezan sa termičkim softverom HTRI ([www.htri.net](http://www.htri.net)) preko programa Xchanger Suite, tako da je veoma rasprostranjen u svetu (65 zemalja).

- Aspen, USA, Aspen Shell & Tube Mechanical ([www.aspentech.com](http://www.aspentech.com)) sadrži veoma rašireni softver za mehanički proračun RT na najprihvaćenijim kodovima sveta, ASME , Section VIII, Div. 1, EN 13445, CODAP, AD-Merkblätter, prema ranije veoma zastupljenom softveru B-JAC.

- PV Elite, (Intergraph), corp. Hexagon, ([www.hexagonppm.com](http://www.hexagonppm.com)) sadrži mehaničko-grafički program prema kodu ASME VIII 1 i 2, EN 13445, PD 5500 i garancijama kvaliteta, sa lokacijama na više mesta u svetu, koja obuhvata i ranije poznate programe COADE i CAESAR.

- P3 Engineering, Holandija, ([www.p3engineering.com](http://www.p3engineering.com)), je program za mehanički dizajn PED opreme, koji je od skora nastao odvajanjem od firme Red Bag, a koji je ranije preuzeo Vessel Engineering Software (VES) glavnog tvorca ovog programa. Program obuhvata kôdove: ASME VIII, EN 13445-3, AD-2000. U okviru programa je poseban modul dobošastih razmenjivača toplote.

Pri odluci o izboru softvera, posebno treba razmotriti evropske programe jer su najbolje prilagođeni EN normativi. Pored proračunskog dela projekat dizajna razmenjivača toplote mora sadržati i grafičku dokumentaciju uključujući i crteže za radioničku upotrebu u proizvodnji. Ukoliko aplikativni softer sadrži izradu grafičke dokumentacije, ona mora biti standardna u odgovarajućoj razmeri. Ukoliko grafički moduli jako poskupljuju softver, grafika se može uraditi opštim softverom, (acad).

Imajući u vidu da ova monografija ima edukativnu namenu, u njoj se ne koristi integralni softver za mehanički dizajn (osim komparativnih prikaza), već se koriste tabelarni programi (excel) za sprovođenje računskih operacija.