

Oprema pod tlakom i njezina važnost

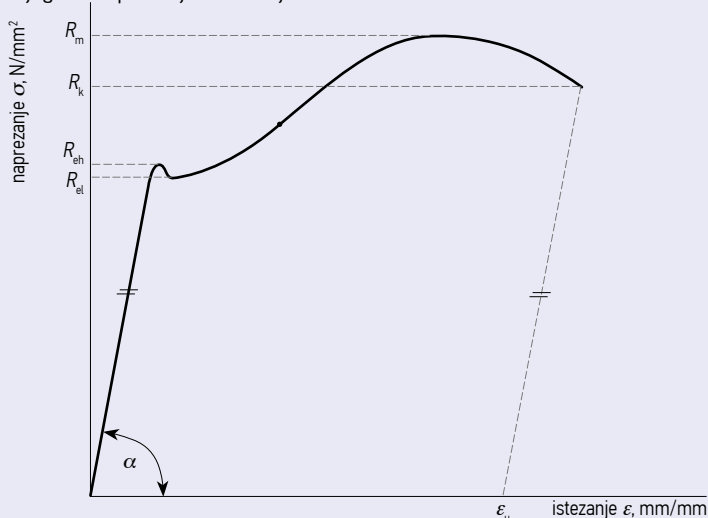
PRVENSTVENO SIGURNOST

prof. dr. sc.
Srećko Švaić
dipl. ing.

Oprema pod tlakom predstavlja osnovne elemente energetskih, procesnih i termotehničkih sustava. To je i razlog zašto se njezinom proračunu mora posvetiti posebna pozornost.

▼ Ilustracija 1

Dijagram naprezanje - istezanje



PRORAČUNSKA ČVRSTOĆA DIJELOVA POD TLAKOM

Karakteristične točke bitne za proračun dijelova opreme pod tlakom najjednostavnije se mogu prikazati na dijagramu naprezanje - istezanje (il. 1). To su:

- granica razvlačenja (R_e)
- konvencionalna granica razvlačenja na proračunskoj temperaturi, za 0,2% ili 1,0% trajne deformacije ($R_{p0,2/t}$ i $R_{p1,0/t}$)
- vlačna čvrstoća (R_m).

Proračunska čvrstoća za materijale za izradu opreme pod tlakom određena je u normama niza HRN EN 13 445 (tablica 1).

KOEFICIJENT ZAVARENOG SPOJA

U svim tehničkim specifikacijama pretpostavlja se da zavareni spoj nema čvrstoću kao osnovni materijal, osim ako se to ne potvrdi ispitivanjima. To se smanjenje čvrstoće uzima u obzir koeficijentom zavarenog spoja (ϕ) koji je jednak omjeru čvrstoće zavara i čvrstoće osnovnog materijala, a iznosi od 100% kod dobro izvedenog zavara do 85%, odnosno 75% kada integritet spoja nije zajamčen.

DODATAK ZBOG KOROZIJE I TROŠENJA MATERIJALA

Korozija ili trošenje materijala uzima se u obzir dodacima na minimalnu debljinu stijenke (c_1, c_2 itd.), ovisno o tome postoje li i drugi utjecaji u vijeku trajanja opreme pod tlakom (il. 2). Neke tehničke specifikacije tra-

▼ Tablica 1

Jednadžbe za određivanje proračunske čvrstoće materijala za izradu opreme pod tlakom prema HRN EN 13 445-3 : 2014

materijali	radno stanje (*) (**)	ispitno stanje
čelik, osim austenitnog	$f = \min \left(\frac{R_{p0,2/t}}{1,5}, \frac{R_{m20}}{2,4} \right)$	$f_{test} = \frac{R_{p0,2/t, test}}{1,05}$
austenitni čelik ($A \geq 30\%$)	$f = \frac{R_{p0,2/t}}{1,5}$	$f_{test} = \frac{R_{p1,0/t, test}}{1,05}$
austenitni čelik ($A \geq 35\%$)	$f = \frac{R_{p1,0/t}}{1,5} = \min \left(\frac{R_{p1,0/t}}{1,5}, \frac{R_{m/t}}{2,4} \right)$	$f_{test} = \max \left(\frac{R_{p1,0/t, test}}{1,05}, \frac{R_{m/t, test}}{2} \right)$
čelični lijev	$f = \min \left(\frac{R_{p0,2/t}}{1,9}, \frac{R_{m20}}{3} \right)$	$f_{test} = \frac{R_{p0,2/t, test}}{1,33}$

Legenda:

(*) Za ispitnu kategoriju IV, proračunska čvrstoća se množi s 0,9.

(**) Kao gornja granica elastičnosti koristi se R_{eH} umjesto $R_{p0,2}$.

že obavezan dodatak na koroziju $c_1 = 1$ mm, dok europske norme ostavljaju proizvođaču da ih definira ovisno o namjeni opreme. U svakom slučaju, ako je dio izrađen s debljinom materijala e_n i ako su korozija ili trošenje jednostrani ($e_n - \Sigma c$), mora se osigurati minimalna debljina stijenke koja je rezultat opterećenja i učinkovitosti zavarenog spoja. Analogno tome, ako su cijevi izložene unutarnjoj koroziji, tada će unutarnji promjer cijevi na kraju vijeka trajanja biti $D_u + 2 \cdot c$ (il. 3). No, ne smije se zaboraviti da postoje i slučajevi kada se korozija odvija i na vanjskoj i na unutarnjoj strani.

OPTEREĆENJE CILINDRIČNOG PLAŠTA

Minimalna debljina stijenke cilindričnog plašta određena je izrazom (il. 4):

$$e = \frac{p \cdot D_v}{2 \cdot f \cdot z + p},$$

pri čemu su:

e - minimalna debljina stijenke, mm

p - proračunski tlak, MPa

D_v - vanjski promjer, mm

f - proračunska čvrstoća, N/mm²

z - koeficijent zavarenog spoja, $= 1$ za ispitnu grupu 1 i 2, $= 0,85$ za ispitnu grupu 3 i $= 0,7$ za ispitnu grupu 4.

Izraz se temelji na teoriji tanke ljuske i, prema HRN EN 13 445-3 : 2014, vrijedi odnos:

$$\frac{e_n}{D_v} \leq 0,16.$$

OPTEREĆENJE KUGLASTOG PLAŠTA

Minimalna debljina stijenke kuglastog plašta određena je izrazom (il. 5):

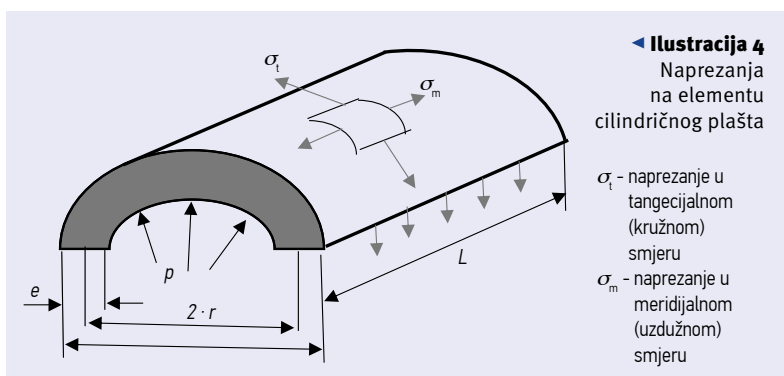
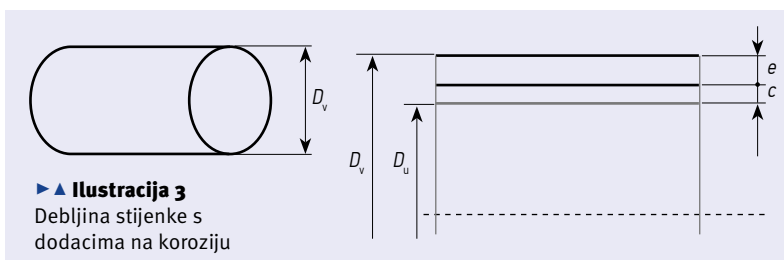
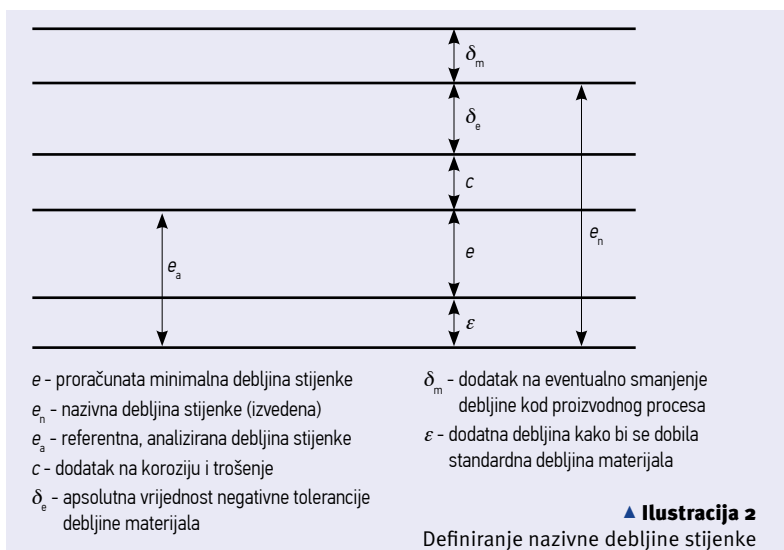
$$e = \frac{p \cdot D_v}{4 \cdot f \cdot z + p}.$$

Taj se izraz također temelji na teoriji tanke ljuske i vrijedi uz raniji uvjet.

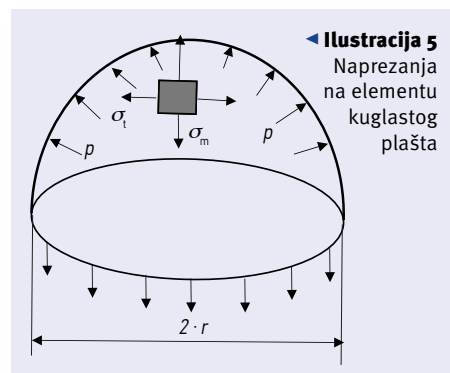
OPTEREĆENJE PODNICA

Podnice na opremi pod tlakom mogu biti ravne, poluloptaste (hemisferične), plitke (torisferične) ili duboke (elipsoidne).

Proračun podnica je razmjerno složen. Potrebna debljina podnice ovisi o unutarnjem polumjeru torusa, kalote i cilindričnog dijela. Potrebna debljina stijenke, prema HRN EN 13 445-3 : 2014, najveća je od sljedećih vrijednosti:



- potrebne debljine stijenke torusa kako bi se spriječile plastične deformacije (e_b)
- potrebne debljine stijenke zbog naprezanja u kaloti (e_s)
- potrebne debljine stijenke torusa kako bi se spriječile osnosimetrične elastične deformacije (e_v).



Izrazi za proračun debljine stijenke podnica ograničeni su njihovim geometrijskim karakteristikama (vanjskim i unutarnjim promjerom cilindričnog dijela, polumjerom kalote i torusa).

Napomena

Članak je već četvrti u seriji članaka posvećenih stabilnoj i pokretnoj opremi pod tlakom, direktivama, bitnim zahtjevima za konstrukciju, periodičkim pregledima i stanju u tom području u Hrvatskoj.

OPTEREĆENJE KONUSNOG PLAŠTA

Minimalna debljina stijenke konusnog plašta određena je izrazom:

$$e = \frac{p \cdot D_i}{2 \cdot f \cdot z + p} \cdot \frac{1}{\cos \alpha},$$

pri čemu su:

$D_i = D_k$ - referentni promjer konusnog plašta, mm

$\alpha = \varphi_1$ - nagib konusnog plašta, °.

Podroban proračun dan je u HRN EN 13 445-3 : 2014 ili drugim tehničkim specifikacijama. Treba napomenuti da konusni plašt na svojem širem kraju može biti s prijevom ili bez njega. Ovisno o izvedbi treba poštivati zahtjeve norme, odnosno tehničke specifikacije. Za plitke konusne plašteve ($\alpha > 60^\circ$ prema HRN EN 13 445-3 : 2014) postoji posebna metoda proračuna.

OPTEREĆENJE POSUDA PODVRGNUTIH VANJSKOM TLAKOM

Posuda je podvrgnuta vanjskom tlaku kada je tlak u posudi manji od tlaka koji dje-

luje na posudu izvana, dok uvjeti vakuumu podrazumijevaju da je u posudi podtlak, a na posudu izvana djeluje atmosferski tlak. Posude koje rade u uvjetima vakuumu nisu obuhvaćene Direktivom 2014/68/EU o opremi pod tlakom (PED) ni Direktivom 2014/29/EU o jednostavnim tlačnim posudama (SPV), za koje je donja granica tlaka 0,5 bar pretlaka.

Proračun posuda podvrgnutih vanjskom tlaku suštinski se razlikuje od onoga za pretlačne posude. Kod tih posuda se zbog djelovanja vanjskog tlaka pojavljuju elastične i plastične deformacije, a odstupanje od kružnosti i druge geometrijske nepravilnosti dodatno povećavaju pojavu deformacija. Maksimalni dopušteni tlak kojem je podvrgnuta posuda opterećena vanjskim tlakom mnogo je manji od maksimalnog dopuštenog tlaka za istu posudu pod djelovanjem unutarnjeg tlaka.

Da bi se spriječile plastične i elastične deformacije, treba ukrutiti plašt ili, što je skuplje, povećati debljinu stijenke. Ukrute se mogu postaviti na vanjskoj ili unutarnjoj strani u obliku profila ili kanala na vanjskoj strani koji ujedno mogu služiti za grijanje ili hlađenje. Razmak ukrućenja za određenu debljinu stijenke određuje se proračunom.

Da bi se osigurala krutost konstrukcije uz određivanje potrebnog razmaka ukrućenja, treba provjeriti i krutost same ukrute kako se ona ne bi deformirala pri opterećenju vanjskim tlakom. To se provjerava pomoću površinskog momenta inercije, a detaljnije informacije mogu se pronaći u HRN EN 13 445-3 : 2014 ili drugim tehničkim specifikacijama.

OPTEREĆENJE PRIKLJUČAKA I OTVORA

Razni priključci i otvori na dijelovima posuda pod tlakom oslabljuju osnovni dio, što zahtijeva kompenzaciju tog oslabljenja odgovarajućim ojačanjem. Mogući načini rješavanja kompenzacije za otvore i izreze dani su u normama. U svakom slučaju, proračunska čvrstoća materijala kojim se izvodi ojačanje ne smije biti veća od proračunske čvrstoće osnovnog dijela koji se ojačava, a debljina ploče za ojačanje ne smije biti veća od debljine stijenke dijela koji se ojačava.

U proračunu treba poštivati zahtjeve norme, odnosno tehničke specifikacije koja se primjenjuje. ■

PRIPREMAMO NOVO IZDANJE!



Srećko Švaić
STABILNA
OPREMA POD
TLAKOM
- priručnik

očekivani izlazak: srpanj 2021.

(na 18. hrvatskom seminaru o tlačnoj opremi)