

Moderne metode statičkog proračuna izmjenjivača topline

U V O D

Danas je gotovo nezamislivo da bi neki industrijski objekat postojao a da na neki način ne traži u toku procesa izvjesno hlađenje ili grijanje odnosno oduzimanje i dodavanje izvjesne količine topline. Uređaji koji to vrše su izmjenjivači topline (Heatexchangers). Oni jednom mediju dodaju ili oduzimaju toplinu koja je od prvobitnog značaja za kemijski proces ili stvaranje ambijenta za živa bića. Bezbrojni su primjeri upotrebe ovih važnih uređaja i da je gotovo nemoguće nabrojiti gdje se sve instaliraju ove važne termoenergetske jedinice.

Materijali koji služe za gradnju uređaja su različiti i da je promjena različitih materijala došla do izražaja od drveta, betona, aluminiya pa raznih vrsta čelika do bakra itd. Ako bi se išlo govoriti o različitim upotrebama i konstrukcijama, onda bi nas to nadaleko i naširoko odvelo kao što je isto širok dijapazon konstrukcije i svrhe ovih jedinica. Svrha ovog članka nije nikako do bi to sve obuhvatilo. Teorija proračuna izmjene topline je toliko široka, da su već mnoge knjige napisane. Termički proračun je jedna važna komponenta koja nam odava važan faktor mjerodavan za količinu izmijenjene topline.

Za jednog projektanta ili konstruktora energetskog kompleksa ili bilo kojeg procesnog postrojenja termički proračun je od primarnog značenja i često su serije i nizovi ili bolje reći familije ovih modernih važnih energetskih jedinica označene u projektu samo površinom iz čega je dovoljno da bi se odabrao jedan

tip izmjenjivača topline. Međutim, neke velike inženjering kompanije na zapadu idu daleko i ne zadovoljavaju se sa proračunatom površinom nego idu u detalje, jer znaju tako tačno koliki su stvarni troškovi izmjenjivača. Ne štedeći novca i vremena na osnovu dugog iskustva idući u detalje praćene statičkim proračunom, ove velike renomirane kompanije su razvile čitave serije i nizove izmjenjivača topline ovisno o fluidima koji su činioци izmjene energije. Tu opet treba razlikovati kakve materijale upotrebljavamo u odnosu na pojedine fluide i opet kakve sisteme odnosno tipove izmjenjivača projektant uzima. Uglavnom moje višegodišnje iskustvo na statičkim proračunima mi pomaže da o ovome izvedem jedan zaključak o izmjenjivačima i projektantima. U praksi je tako da ako je projektant nosilac glavnog ugovora (Main Contractor), on se zadovolji sa nekim osnovnim parametrima cijelog projekta — posla, a sve druge za njega neprimarne stvari rješava pomoću specijaliste odnosno podugovarača (Subcontractora). U našoj praksi sistem inženjeringa upravo odgovara ovoj metodi izvođenja projekta. To bi nas odvelo nadaleko i naširoko oko tumačenja izvođenja projekta. Ovdje bih htio da istaknem da velike inženjering kompanije na zapadu idu i u detalje t.j. izmjenjivače topline 100% projektiraju i detaljiraju. Razvijajući teoriju termičkog i statičkog proračuna izmjenjivača topline, one su došle kako mogu utjecati na troškove i uštede kod pojedinih materijala. Naravno imamo na umu da je tržište nekim materijalima za toplinske uređaje gotovo uvijek siromašno. Mi se ovdje želimo da ograničimo na tipove

izmjenjivača topline od čeličnih materijala i cilindričnog oblika. Ako u jednom petrokemijskom projektu proračun dava na desetine i desetine ovih termičkih jedinica onda je logično da se žele znati troškovi skoro svakog i da se dobar i iskusen projektant nikad neće zadovoljiti da napravi samo termički proračun koji mu dava površinu za izmjenu topline, nego će ići makar globalno do proračuna težina plašta sa priburubicama i cijevnog snopa sa dijafragmama. No to on ne može postići bez detaljnog statičkog proračuna. Samo tako se može doći do stvarne težine a koja je fundamentalna stvar za cijenu. Nije čudo zašto su stvoreni čitavi centri specijalista za izmjenjivače topline, snabdjeveni sa elektronskim uređajima za bilo kakav proračun ili podatak i bibliotekom koja je snabdjevena najnovijim izdanjima i rezultati istih, što naravno čini čvrstu vezu znanosti i prakse. Nezamislivo je biti projektant jedne velike petrolejske firme i zadovoljiti se nekim osnovnim parametrima i to prepuštati da za nekog drugog detaljira. Danas projektant odnosno moderni menadžer itekako ulazi u detalje dolazeći tako do stvarnih troškova. Imao sam prilike vidjeti gdje jedan projektmanager u Americi govori o tehnološkim detaljima nekih materijala ojačanih termičkom obradom da imate osjećaj kao da je to baš projektant došao iz biroa, a ne jedan menadžer. Radeći par godina isključivo na statičkim proračunima izmjenjivača topline u jednom renomiranom petrolejskom koncernu ENI koji u svjetskim relacijama za petrokemijski inženjering i naftu nešto znači stekao sam neka iskustva, koja potvrđuju da samo dobar projektant može biti onaj koji razumije i detalje svih statičkih proračuna. To se kod nas često ne shvaća i otuda mnogi projekti upravo puni manjkavosti i padaju pri prvoj reviziji.

To pitanje odnosi se na sve vrste projekata. No ovdje je riječ samo o izmjenjivačima topline. Što se tiče njihove konstrukcije, oni se mnogima čine previše jednostavi, pa se onda smatra da ići u detalje proračuna je čisti gubitak vremena i nekorisna stvar. Mnogi su razlozi zato uslovlili takva shvaćanja. Jedan od razloga što nacionalni standardi nijesu tako razvijeni odnosno nijesu detaljniji često se zadovoljavaju nekim jednostavnim uvjetima. Drugi razlog je često obilje tehničkih podataka za jednu vrstu izmjenjivača, koje publiciraju pojedini proizvođači i koji naravno zadovoljavaju obično osnovne parametre toplinske izmjene pritisak i temperaturu. I često se mnogi zadovolje podacima iz tablica pa tako jedna konstrukcija postaje često kopija prenešena sa originala na objekt koji bi sigurno mogao biti jeftiniji. Dobar projektant izmjenjivača ne bi smio nikad biti zanešen podacima nanizanim u prospektima ili skicama bez kritičkog gledanja na svaku dimenziju pa čak i običnu priburubicu. Neinženjerski bi bilo zadovoljiti se podacima iz tablica u funkciji sa samo nekim osnovnim parametrima pritisak i temperatura. Često praksa upravo tjera

ovaj način dimenzioniranja odnosno statičkog određivanja nekih veličina putem tablica.

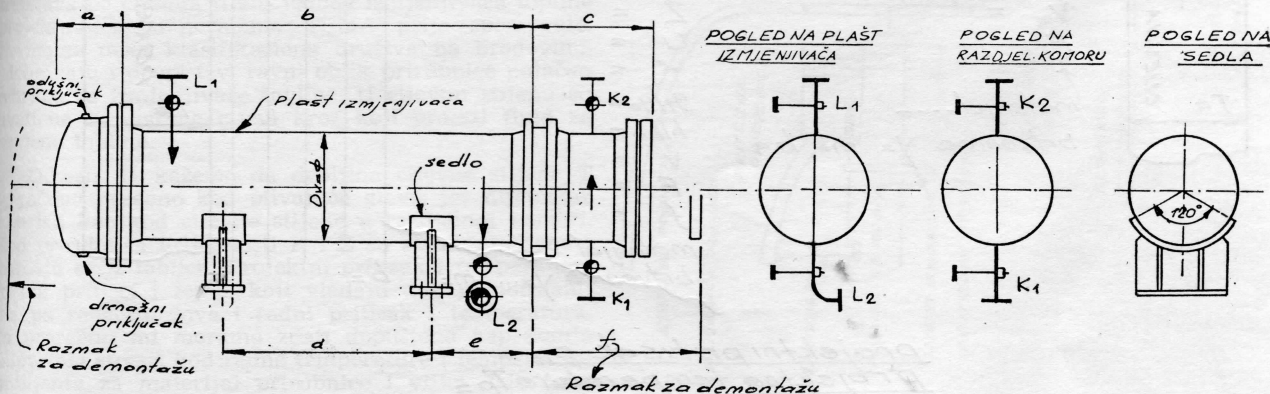
Neka mi bude dopušteno na ovom mjestu da na vedem jedan primjer; radeći u grupi specijalista za proračun izmjenjivača topline, na samom početku mog rada sa njima, dobio sam koristan savjet koji će mi ostati trajno u uspomeni. Naime, jedan priznati stručnjak za izmjenjivače u petrokemijskoj industriji mi je odmah savjetovao da izmjenjivače ne gledam kao jednostavnu konstrukciju sa dva fluida, pritiscima i brzinama nego da svaki dio i onaj najmanji moram gledati kroz dimenziju proizašlu iz statičkog proračuna pa čak male distantne motke između dijafragmi ili odušnike, jer obično smo svi zaneseni proračunom cijevnih ploča (tubesheet) ili plaštem (shell) i razdjelnom komorom (distributor). Samo na taj način ako poznamo naš izmjenjivač u detalje možemo biti majstori svog zanata, dobri projektanti i konstruktori ovih važnih energetske jedinice bez kojih bi praktički, na primjer, stala svaka rafinerija. Oni su praktički danas postali srce svake rafinerije zajedno sa Topping postrojenjima. Desetine i desetine ovih jedinica su instalirane u jednom energetskom kompleksu koji daje petrol i druge derivate ovoj industrijskoj civilizaciji žednoj goriva i energije. A da ne govorimo o njihovom značenju kod nuklearnih centrala.

Izmjenjivači topline na brodu

Svaki brod kao jedna energetska jedinica posmatrana sadrži niz takvih uređaja ovisno o svrši za koju je brod projektiran. Kao prvo možemo spomenuti problem slatke vode za hlađenje diesellovih motora, pošto se nastoji da uštedi stalna količina te vode za hlađenje motora. Takva slatka voda se hladi morskom vodom sistemom izmjenjivača topline. Kod tankera da bi održali određeni viskozitet nafte koju oni prevoze, potreban za rad pumpi prilikom iskrcavanja nafte u petrolejskom terminalu — luci, nafta se mora zagrijavati putem izmjenjivača topline različite izvedbe. Dnevni tankovi za diesel gorivo se također zagrijavaju da bi se zadržala žitkost diesel ulja odnosno goriva prije ulaska u plamenike od kotlova i pretkomore za paljenje kod diesellovih pogonskih motora, na brodovima.

Kao drugi tipičan primjer upotrebe izmjenjivača topline je kod pranja tankera nakon iskrcavanja u petrolejskoj luci to je tzv. Butterworth uređaj u stvari baterija izmjenjivača topline kojim se grije voda za pranje praznih tankova. Prazni tankovi ako se ne očiste često su u većoj opasnosti da se zapale ili eksplodiraju nego ako su puni, budući da se stvaraju zapaljive pare koje se gomilaju u tim tankovima nakon praznjenja tankera u luci. Za to svaki tanker ima takav uređaj da bi se oprali tankovi od ostataka nafte. Dugo bi nas sve odvelo ako bi navodili sve primjere gdje dolaze izmjenjivači topline na brodovima. Postoje čitave teorije razrađene i obrađene za svaku vrstu

SLATIPIČAN AES IZMJENJIVAČ TOPLINE SA KARAKTERISTIČNIM DIMENZIJAMA



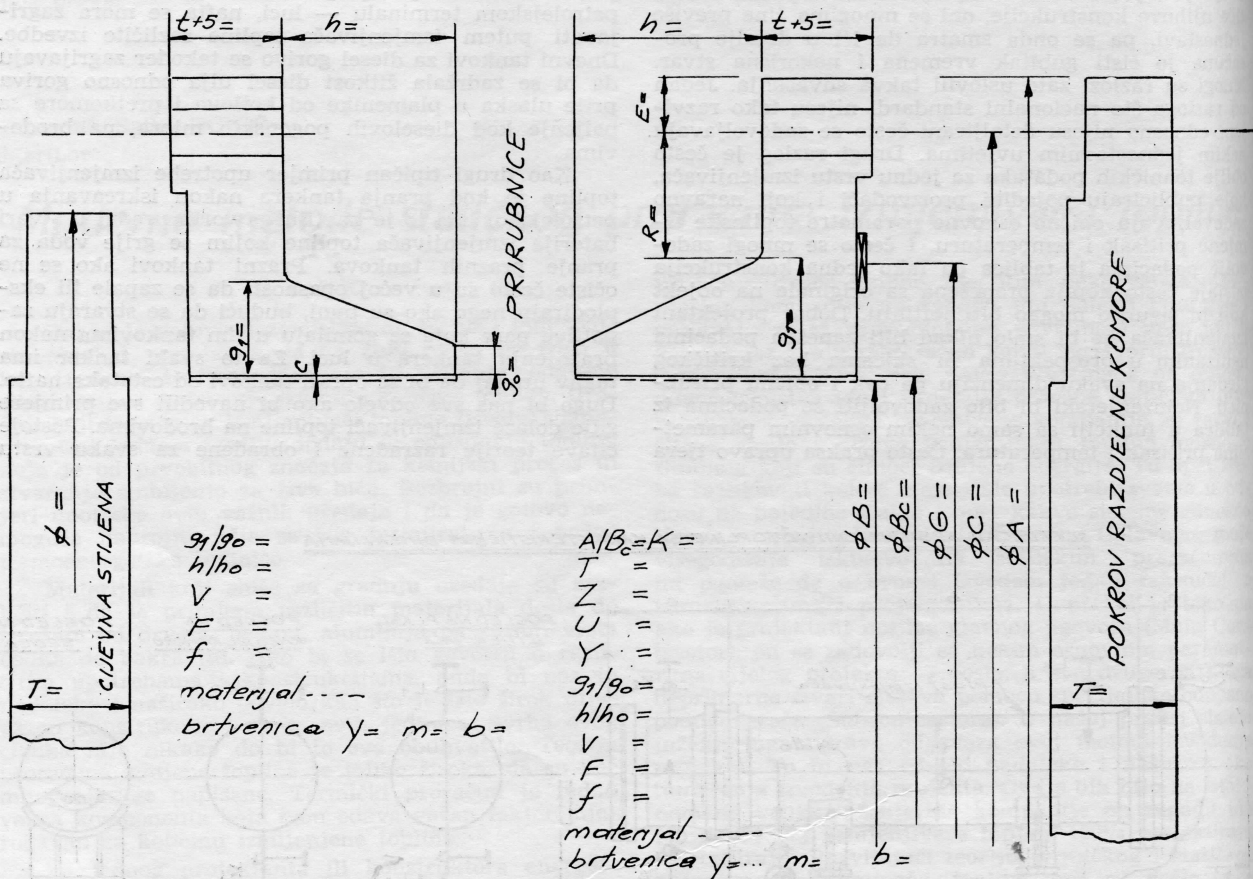
izmjenjivača primjenjenih u točno određene uslove, jer napomenimo da reklama jednog velikog proizvođača topline priznatog takođe u području brodogradarstva je da ne postoje izmjenjivači topline koji zadovoljavaju svaku potrebu. Svaki brod i uslovi pogona diesel, turbo (parni ili plinski), i atomski traže veliku odgovornost projektanta. Svaki izračunati odnosno projektirani uređaj kao što je izmjenjivač topline traži poseban i specifičan uslov rada i proračun mora polaziti samo od tih specifičnih uslova. Ako izmjenjivač ne služi za svrhu za koju je proračunat on postaje mrtvi kapital beskorisan a na brodu postaje mrtav teret. Sva klasifikaciona društva od Lloyd's Registera do American Shipping Bureau postavljaju propise za dimenzioniranje i neke osnovne uslove za konstrukciju izmjenjivača topline. Međutim, američka pravila za proračun za dimenzioniranje ovih energetske jedinice su takorekuć prihvaćena u cijelom tehničkom svijetu na istoku i zapadu. To su propisi TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association); te su sa propisima ASME (American Society of Mechanical Engineers) postali standardna pravila za proračun izmjenjivača topline. Pošto norme ASME obuhvaćaju sve vrste kotlova i nuklearnih reaktora, za tačno odabiranje materijala kao i njihovih mehaničkih karakteristika (dozvoljeno naprezanje, prekidna čvrstoća, granica plastičnosti, kemijski sastav itd.) za proračun ovih izmjenjivača topline su mjerodavni propisi ASME sect VIII a koji se odnose na posude pod pritiskom bez izgaranja (Unfire pressure Vessels). Niz izvedbi i kon-

strukcija ovisno o uslovima rada postoji, ali mi ćemo uzeti u razmatranje samo onu izvedbu koja se najčešće primjenjuje tzv. AES konstrukcija.

OPIS AES izvedbe

Ovaj tip izmjenjivača ima razdjelnu komoru (Distributor) koja razdijeljena sa dijafragmom tako da jedan fluid ulazi u cijevni snop i nakon izmjene topline vraća se u distributor i izlazi kroz priključak. Razdjelna komora zatvorena je ravnom pločom okruglog presjeka koja je vezana vijčanom vezom sa prirubnicom zavarenom za plašt i komore. Sa druge strane je cijevna ploča (tubesheet) sa zavarenim cijevima. Pokrov distributora — prije rečena okrugla ploča (Coverplate), prirubnice sa glom za varenje (welding-neck), pritezni vijci, te plašt (shell) razdjelne komore se računaju prema pritisku i temperaturi koji vladaju u razdjelnoj komori. Za proračun vijčanih spojeva prirubnica sa kojima se priteže cijevna stijena (tubesheet) mjerodavni su teži uslovi ili u plaštu izmjenjivača ili razdjelnoj komori. Cijevni snop je pričvršćen raznim dijafragmama (baffles) radi bolje turbulencije medija koji oko prolazi oko cijevi vršeci izmjenu topline sa onim fluidom u cijevima. Cijevni snop se završava u plivajućoj glavi (floating head) koja ima plivajuću cijevnu ploču (floating tubesheet) te je pomoću dvije prirubnice vječno pritegnuta sa prirubnicom varenom za podnicu. Kako se vidi ova podnica obično eliptičnog oblika je izložena djelovanju vanj-

SL.2. SKICA RAZDJELNE KOMORE SA OSNOVNIM PARAMETRIMA KOD STATICKOG PRORAČUNA



projektni pritisak $p_p =$
 projektna temperatura $T_p =$

skog i unutarnjeg pritiska. Za proračun je mjerodavan onaj koji je veći. Plašt izmjenjivača (shellexchanger) se računa prema uslovima koji vladaju u plaštu kroz koji prolazi naš snop cijevi. Dijametar izmjenjivača je nešto veći u području plivajuće glave pa će plašt statičke glave (fixed head) kao i sama glava odnosno podnica imati veće dimenzije odnosno debljine. To isto vrijedi i za prirubnice vijčano vezane. Znači za dimenzioniranje velike prirubnice koja spaja plašt izmjenjivača sa plaštom statičke podnice (fixed head) mjerodavne su sile u vijčanom spoju koji spaja ove dvije prirubnice. Normalno da uz svaki ovoj dolazi brtvenica (gasket). Ovdje u zagradi stavljamo engleske izraze pošto je to u stručnoj literaturi tako nazvano i prihvaćeno. Isto tako kakav fluid ulazi i sa kojim vrši izmjenu topline ovisno je da li imamo jednu vrstu brtvenica u razdjelnoj komori i plivajućoj glavi i drugu na prirubnicama plašta izmjenjivača. Uslovi rada, pritisak i temperatura određuju kakav je dodatak na koroziju; ili se mora upotrebiti (stainless steel) ili platinirani čelik (cladding steel) itd.

Da unaprijed prije tumačenja proračuna kažemo to da plivajuća podnica se vrlo lako i normalno izračuna ako je pritisak u razdjelnoj komori veći od pritiska u plaštu; ovdje na čelični materijal i temperaturama ne većim od 321° C (650° F) dakle, dokle se dopušteno naprezanje (allowable stress) može smatrati kao na normalnoj temperaturi ambijenta. Ali ako je to obratno, onda razlika između vanjskog i unutarnjeg pritiska stvara uslove za proračun podnice pod vakuumom odnosno kad je mjerodavan vanjski pritisak. Ovdje nije svrha ovog članka da repetira postojeće proračune izmjenjivača topline odnosno njihovo dimenzioniranje, nego da ukaže na najjednostavnije i tačne metode koji se mogu primijeniti u proračunu. Na ukupnu težinu svakako utiču priključci i ostala armatura sa ojačanjima na plaštu ovisno o promjeru priključka (nozzles) ili su priključci sa prirubnicama sa dugačkim grlom za varenje samo svojim plaštom predstavljaju ojačanje tzv. LWN (longwelding neck) odabrane prema seriji ASA (American Standard Association) da zadovolje pritisak i temperaturu za koje se uređaj projektira isto tako kod izuzetno visokih temperatura ugradnja jednog dilatacijskog prstena koji može da kompenzira dilatacije plašta izazvane toplinom. To isto može da poveća težinu i cijenu koštanja tog izmjenjivača topline. Dimenzioniranje standardizirano putem tablica ovisno o vanjskom promjeru plašta, debljina i broj dijafragmi je standardiziran ovisno o promjeru unutarnjeg plašta izmjenjivača topline. Isto tako je standardiziran broj i debljina odnosno promjer distantnih motki (tie rods) koje fiksiraju položaj dijafragmi (baffles).

Proračun prirubnice

Na slici br. 2 prikazane su prirubnice u razdjelnoj komori. Iz tog je vidljivo da su sve prirubnice modernog tzv. integralnog tipa sa suženjem za varenje, sa plaštom u literaturi su poznate pod imenom WNF (welding neck flanges). Ovaj oblik prirubnica se upotrebljava po cijelom tijelu jednog izmjenjivača topline projektiranog po normama TEMA prije spomenute. Normalno neka klasifikaciona društva na brodovima odobravaju i drugi tzv. ravni oblik prirubnice pojačan rebrom za izmjenjivače topline. U cijevnu stijenu su uvaljene i zavarene cijevi kroz koji prolazi fluid za izmjenu topline.

Odmah da kažemo da debljina cijevne stijene T se računa posebno kod plivajuće glave, jer dijametar nije isti kao kod cijevne stijene u razdjelnoj komori. Kod prirubnica vrijednosti R i E su standardizirane i uzimaju se iz tablica. Projektni pritisak i temperatura su oni pritisci i temp. koji vladaju dok je normalni rad pa se često zove i radni pritisak i temperatura. Za proračun mi moramo znati dopušteno naprezanje (allowable stress) kod radne temperature i temperature ambijenta za materijal prirubnice i vijka. Isto tako kao početni uslov za proračun moramo znati koliko je

dodatak na koroziju (corrosio allowance), kao i vrstu brtve i medija koji ulazi kroz plašt odnosno kroz razdjelnu komoru.

Prema označenim simbolima na slici 2 mi prvo računamo obodnu silu na brtvu $H\gamma = b \cdot \pi \cdot G \cdot \gamma$ gdje nam je b aktivna širina brtve γ minimalna čvrstoća nasjedanja brtve i γb se uzimaju iz tablica ASME VIII sect.

Druga sila je $H_p = 2 b \cdot \pi \cdot G \cdot n \cdot p$ ovdje je nova vrijednost n faktor brtve uzet iz iste knjige, p je radni pritisak. Ove dvije sile $H\gamma$ i H_p dakle direktno ovisne o karakteristikama brtve. Sila koja dolazi uslijed hidrostatičkog pritiska na promjeru G je $H = \frac{G^2 \pi \cdot p}{4}$

Zbrojimo li silu H i H_p dobijemo ukupnu silu djelovanja uslijed radnog pritiska, ako ovu sumu podijelimo sa dozvoljenim naprezanjem vijaka na radnoj temperaturi dobit ćemo radnu minimalnu površinu presjeka vijaka znači $A_m = \frac{H_p + H}{f_b}$ $A_m = \text{mini-}$

malna radna površina presjeka vijaka, ako to isto učinimo sa silom $H\gamma$ i podijelimo sa dozvoljenim naprezanjem na temperaturi ambijenta fa prema tome $A_n = H\gamma/fa$ će nam isto dati neku površinu presjeka vijaka. Od ove dvije vrijednosti A_m uzimamo koje je veće i sa njim ulazimo u detaljni proračun normalno uzevši broj vijaka djeljiv sa 4, znači iz tablica moramo uzeti veću površinu presjeka vijaka A^B . Prema tome ukupna sila djelovanja na vijak bit će ako pomnožimo srednju vrijednost od dobivenih površina $[(A^B + A_m) \cdot 0,5]$ sa naprezanjem na temperaturi ambijenta fa.

Dobivamo silu $W = 0,5 (A^B + A^B) \cdot fa = \text{sila djelovanja}$ i druga sila bi bila $W_m = H_p + H$.

Obadviije ove sile ulaze u daljnji proračun.

Kontrola minimalne širine brtve

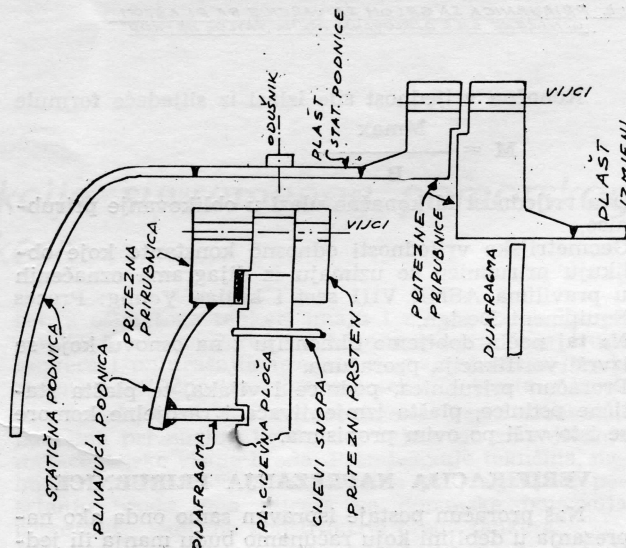
$A^B \cdot fa$
 $N_{\text{min}} = \frac{A^B \cdot fa}{2\gamma\pi G}$ nam daje minimalnu širinu koja ulazi u proračun.

Sile i momenti djelovanja na prirubnici

Sila djelovanja s obzirom na unutarnji promjer izmjenjivača (ϕB)

a $H_p = \pi/4 \cdot B^2 \cdot p$ Krak djelovanja ove sile je $h_D = R + 0,5 g$ i moment će biti $M^D = H^D \cdot h^D$

SL.3. TIPIČAN RASPORED POJEDINIH DIJELOVA PLIVAJUĆE GLAVE



b Sila koja nastaje razlikom $H^G = Wm_1 - H = H_p$ i njen krak $h^G = 0,5(C - G)$ i moment će biti $M^G = H^G \cdot h^G$

c Sila koja nastaje razlikom $H^T = H - H^D$ i njen krak je $h^T = 0,5(R + g_1 + h^G)$ i njen moment je $M^T = H^T \cdot h^T$
Suma momenata će biti $M^D = M^D + M^G + M^T$

Opterećenje prirubnice

Usljed djelovanja vijčanog napreznja je $H^G = W$ Krak djelovanja sile H^G je $h^G = 0,5(C - G)$ i moment djelovanja na prirubnicu je $M^G = H^G \cdot h^G$

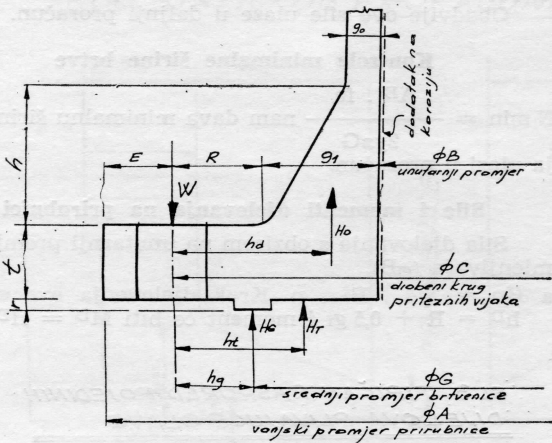
Izbor momenta

Ako nam je dopušteno naprezanje materijala prirubnice [PSI] pound per square inch ili [kg/mm²] na temperaturi rada f^{FO} i na temperaturi ambijenta f^{FA} onda će maksimalni moment djelovanja na prirubnicu

$$\text{biti } M_{\max} = M_o \text{ ili } M_a \cdot \frac{f^{FO}}{f^{FA}}$$

Mi trebamo uzeti koji je moment od ova dva veći dakle M_o ili M_a pomnoženo sa kvocjentom dobivenim ako podijelimo dopušteno naprezanje materijala prirubnice na temperaturi rada sa napreznjem na normalnoj temperaturi tj. f^{FA}

Budući da je ovaj proračun pravljen za engleski sistem mjerenja, naprezanje je izraženo u [PSI] libra po kvadratnom inču (inču) a pritisak isto u [PSI]. Relacija između specifičnog pritiska kg/cm² i libra po kvadratnom inču je ova $1 \text{ kg/cm}^2 = 14,22 \text{ PSI}$



SL4. PRIRUBNICA SA GRLOM ZA GRAVENE SA PLAŠTOJ
OZNAČENE SILE DJELOVANJA PREMA "TAYLOR METHOD"

Konačna vrijednost sile izlazi iz slijedeće formule

$$M = \frac{M_{\max}}{B}$$

Ova vrijednost M konačno ulazi u oblikovanje prirubnice.

Geometrijske vrijednosti odnosno konstante koje oblikuju prirubnicu se uzimaju iz dijagrama označenih u pravilima ASME VIII sect i knjige Young: Proces Equipment Design.

Na taj način dobijemo dimenziju t na osnovu koje se izvrši verifikacija proračuna.

Proračun prirubnica, podnice i vijaka, te plašta statične podnice, plašta izmjenjivača i razdjelne komore se isto vrši po ovim propisima.

VERIFIKACIJA NAPREZNJA PRIRUBNICE

Naš proračun postaje ispravan samo onda ako napreznja u debljini koju računamo budu manja ili jednaka od onih koja su zadana u početku. To znači da

naše izračunato naprezanje kod vijaka i prirubnice mora biti manje ili jednako onome na radnoj temperaturi za vijke f_o i prirubnicu f^{FO}

Evo kako to izgleda

Uzdužno naprezanje u kosom dijelu prirubnice $f^H = f^M/\lambda g_1^2$ gdje λ koeficijent dobiven prema ASME ovo naprezanje može biti 50% više to znači $f^H = 1,5f^{FO}$

Radijalno naprezanje prirubnice

$$f^R = \beta M/\lambda t^2$$

β = koeficijent predhodno izračunat

t = debljina prirubnice [inch] 1 inch = 2,54 cm

f^R = radijalno naprezanje [PSI]

Tangencijalno naprezanje prirubnice

$$f^T = (M\gamma/t^2) - Zf^R$$

f^T = tangencijalno naprezanje prirubnice [PSI]

γ = bezdimenzionalni koeficijent iz dijagrama

Z = bezdimenzionalni koeficijent iz dijagrama

f^R = radijalno naprezanje [PSI]

Konačno verifikiranje proračuna

$$S_1 = 0,5 (f^H + f^R) \text{ [PSI]}$$

$$S_2 = 0,5 (f^H + f^T) \text{ [PSI]}$$

S_1 i S_2 su srednja napreznja koja nastaju u prirubnici. Mi uzimamo od ova dva koje je veće. To veće mora biti manje ili jednako onom zadanom na početku proračuna. Ako to nije onda znači da moramo ponoviti cijeli proračun odnosno povećati debljine prirubnice, dok naše željeno naprezanje dž ne bude manje od zadanog na radnoj temperaturi.

Znači naše napreznje mora biti

$$S_{1,2} = \delta z \text{ } f^{FO}$$

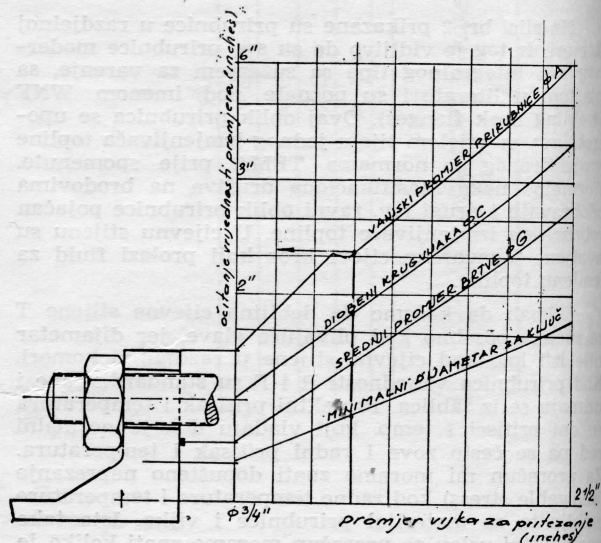
Proračun se mora ponoviti svaki put dok ne dođemo do zadovoljavajućeg rješenja.

Slika 5. kaže kako se mogu sastaviti dijagrami za točno dobivanje osnovnih veličina prirubnice ϕA , ϕC , ϕG itd. kod standardnih promjera priteznih vijaka.

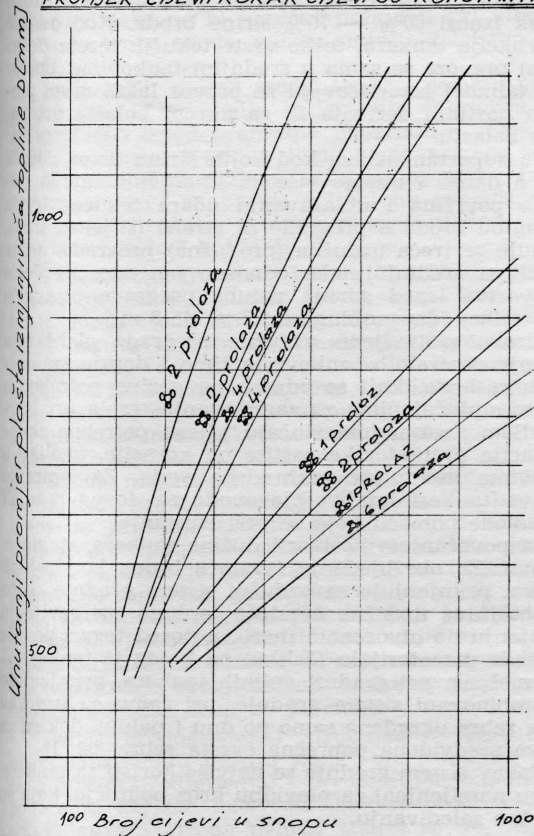
Slika 6. nam kaže kako brzo za određeni korak cijevi u snopu izmjenjivača kod određenog dijametra cijevi ako znamo broj prolaza možemo lako izračunati broj cijevi i promjer izmjenjivača.

Ovo je važno jer vrijednost odnosno cijena jedne jedinice 70-80% otpada na snop cijevi dok 20% otpada na plašt podnice i prirubnice.

SL5. DIJAGRAM POMOĆU KOJEG SE MOGU DIMENZIONIRATI PRIRUBNICE IZMJENJIVAČA TOPLINE



SL. 6. DIJAGRAM ZA BRZO RAČUNANJE TEŽINE SNOPA CIJEVI
PROMJER CIJEVI KORAK CIJEVI SU KONSTANTNI



Proračun debljine T_p pokrova razdjelne komore

$$T_p = \left[3,19P \left(\frac{G}{100} \right)^4 + 0,396 \frac{\text{kg} \cdot A^B}{\sqrt{d^B}} \cdot \frac{G}{100} \right]^{1/3} \cdot \left[\frac{17600}{E} \right]^{1/3}$$

Ova je formula transformirana za metarski sistem.

gdje d^B = promjer vijaka (\varnothing mm)

$$h_0 = \frac{C - G}{2}$$

C = diobeni krug priteznih vijaka (mm)

G = srednji promjer brtvenice (mm)

A^B = površina presjeka svih vijaka (mm^2)

E = modul elastičnosti za čelične materijale na temperaturi rada izmjenjivača

Proračun cijevne stijene

Proračun cijevne ploče (Tubesheet) se izvodi samo za savijanje i pritisak sa kojim ulazimo u proračun se uzima samo onaj koji je veći

$$T = \frac{F \cdot G}{20} \sqrt{\frac{P}{\delta}} \quad \text{gdje}$$

F = specifični pritisak (kg/cm^2)

F = koeficijent = 1 za »U« cijevi 1,25

G = srednji promjer brtve (mm)

δ = dopušteno naprezanje na toj temperaturi (kg/mm^2)

Zaključak

To bi bio proračun ukratko za izmjenjivače topline, važnih jedinica u brodskom kompleksu i rafinerijama nafte. Čitave teorije su se razvile za brzo otkrivanje pukotina i grešaka u snopovima izmjenjivača. Dok je brod u remontu često se mogu vidjeti i remontirani ovih važnih jedinica brodskog pogona. Sistem pranja i demontaže izmjenjivača je razvijen i to se poboljšava poslije svakog čišćenja.

Cilj ovoga članka je bio da prikaže sve što jedan projektant ovih jedinica mora znati, nakon što definitivno dobije termički proračun odnosno važne parametre za daljnje dimenzioniranje odnosno statički proračun.

Literatura :

1. ASME VIII section Unfire Pressure Vessels Young: (Američki propisi za posude pod pritiskom)
2. PROCESS EQUIPMENT DESIGN
3. TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association (Propisi za proračun izmjenjivača topline u USA)
4. Katalozi: LUMUS Comp, FOSTER WHEELER, SNAM PROGETTI, SHELL, BP, ESSO
5. Vlastiti dijagrami za brzo računanje težine izmjenjivača topline.
6. ANCC (Assoziacione Nazionale del Controllo Combustibile) Talijanska inspekcija za parne kotlove
7. Časopisi »Motorship«