

Računalniško orodje v okenskem okolju za izbiro in določitev tesnil na osnovi dveh različnih računskih metod

Windows Based PC Software for Gasket Selection and Determination Based on Two Different Calculation Procedures

F. Bernard¹, Fakulteta za pomorstvo in promet, Univerza v Ljubljani
I. Borovničar, DONIT TESNITI, Tehnični servis, Medvode

Prejem rokopisa - received: 1996-10-04; sprejem za objavo - accepted for publication: 1997-01-17

V delu predstavljamo novo, uporabniku prijazno računalniško orodje za izbiro in preračun statičnih tesnil. Orodje omogoča pravilno izbiro tesnilnega materiala oz. tesnila in njegovih dimenzijskih parametrov. Zahtevani vhodni podatki so delovni pogoji in tesnostne zahteve tesnilnega sklopa. Preračun tesnilnega sklopa temelji na računskih metodah FSA in PVRC.

Ključne besede: tesnilo, izbira tesnilnega materiala, industrijsko statično tesnenje, preračunski metodi, računalniško orodje

This paper presents a user-friendly computer program. It allows correct selection of the gasket style and its dimension parameters of service as functions of service conditions and tightness requirements of bolted joints. Two methods are offered for the calculation of bolting parameters, based respectively on FSA and PVRC approaches.

Key words: gasket, sealing material selection, industrial static sealing, calculation methods, software

Nomenklatura

- y, y^* = tesnilni faktor, MPa
 P = delovni tlak, MPa
 m, m^* = tesnilni faktor, /
 A_i = površina, omejena s srednjim premerom tesnila, mm²
 T_{pact} = dejanski tesnostni parameter, /
 A_g = stisnjena površina tesnila, mm²
 A_e = učinkovitost prirobnic, /
 K = 1,5, je parameter prekomernega privijanja, ki velja samo za vijake ANSI, /
 S_{ya} = površinska obremenitev, potrebna za prilagoditev tesnila v prirobničnem sklopu, MPa
 S_{mo} = zahtevana obratovalna površinska obremenitev tesnila, MPa
 S_{moact} = dejanska obratovalna površinska obremenitev tesnila, MPa
 W_{moact} = dejanska sila v vijakih, kN
 W_{maact} = dejanska sila v tesnilnem sklopu, kN
 S_{yaact} = dejanska površinska obremenitev na tesnilo, MPa
 G_b, G_s = tesnilni konstanti, MPa
 a = tesnilna konstanta, /
 P^* = atmosferski tlak, MPa
 T_{pact} = dejanski tesnostni parameter, /
 T_{ract} = faktor, /
 T_{cact} = dejanski tesnostni koeficient, /

1 Uvod

Računalniško orodje za izbiro statičnih tesnil in preračun vseh potrebnih parametrov, ki so pomembni za tesnost prirobničnega sklopa deluje v popularnem okenskem okolju Windows. Primerna strojna oprema za zaganjanje omenjenega orodja je vsak zmožljivejši kompatibilni osebni računalnik IBM. **Slika 1** prikazuje nekaj pogovornih oken.

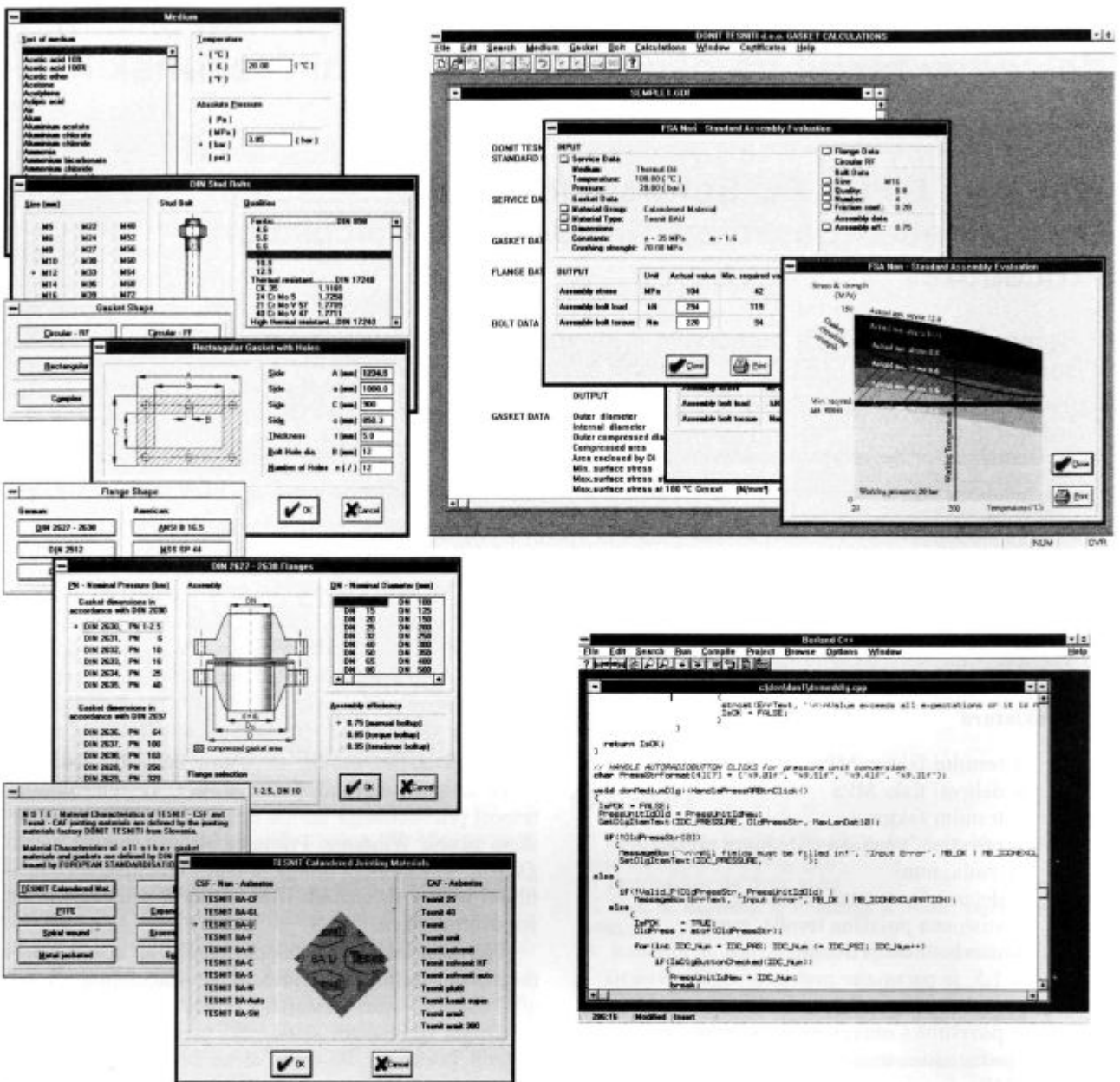
Preračun tesnilnega sklopa temelji na standardnem računskem postopku Fluid Sealing Association - FSA¹ ali Pressure Vessel Research Council - PVRC². Slednji bo kmalu sprejet kot standardni preračunski postopek (ASME Boiler and Pressure Vessel Code). Oba računski postopka vključujeta standardne lastnosti kalandriranih tesnilnih materialov in lastnosti, ki smo jih ovrednotili z meritvami v tovarni DONIT TESNITI. Podatke za druge materiale pa smo pridobili iz uradnih virov in literature.

2 Opis računalniškega orodja

Izvorno kodo smo zapisali v računalniškem jeziku C++. Osnovni ukazi so dostopni v obliki zavesnih menijev, drugi pa kot ikonizirani gumbi. Osnovni ukazi vodijo do podukazov, potrditev zadnjega zaporednega podukaza v razvejeni drevesni strukturi pa zažene ustrezno pogovorno okno.

Izhodišče programa so trije osnovni ukazi: *Medium, Gasket & Flange in Bolt*, ki omogočajo spreminjanje predvnesenih podatkov ter še četrti osnovni ukaz *Numeric & Graphic Evaluation*. Z njim dosežemo prikaz rezultatov in spreminjanje oziroma prilagajanje že izbra-

¹ Dr. Franc BERNARD, dipl. inž.
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za pomorstvo in promet
Pot pomorščakov 4 6320 Portorož, Slovenija



Slika 1: Prikaz programskih oken
 Figure 1: Appearance of the program dialogs and windows

nih podatkov. Odzivi na nadaljnjih pet ukazov: *File, Edit, Search, Windows in Help*, so primerljivi z odzivi v mnogih drugih, uporabniško razširjenih in v okenskem okolju delujočih programskih orodjih.

Z osnovnim ukazom *Medium* vstopimo v istoimensko pogovorno okno. V njem izberemo delovni medij, delovni tlak in delovno temperaturo. Osnovni ukaz *Gasket & Flange* vsebuje dva podukaza. To sta *Gasket material in Shape*. Uporabnik programskega orodja lahko izbira med osmimi različnimi glavnimi skupinami statičnih tesnilnih materialov in tesnil, kot so kalandrirani tesnilni materiali, ekspanzirani grafit, PTFE ipd. Vsaka od glavnih skupin vodi k nadaljnjim podoknom. Izbira *Ca-*

landered materials pripelje v listo tesnilnih materialov Tesnit®. V pogovornem oknu *Gasket shape* izbiramo med standardnimi prirobnicami DIN, ANSI, API ali MSS in med nestandardnimi oblikami. Pomembno dopolnitev tovrstnih preračnov je vnos in upoštevanje podatka o učinkovitosti prirobnice.

Osnovni ukaz *Bolt* vsebuje podukaza za dostop do standardnih skupin vijakov ANSI in DIN. V primeru, da smo se odločili za vijake ANSI, nam pogovorno okno omogoči tudi vnos koeficienta trenja in parametra prekomernega privijanja.

Ko potrdimo izbiro vseh vhodnih podatkov, nas vnos osnovnega ukaza *Evaluation* pripelje do podukazov, na

podlagi katerih se odločimo za računsko metodo FSA ali PVRC. Metoda FSA je osnovana na dveh različnih tesnilnih faktorjih: y^* in m^* . Metoda PVRC pa temelji na faktorjih G_b , a in G_s . Z izbiro metode vstopimo v odgovarjajoče pogovorno okno, ki nam tabelarično ali grafično prikaže rezultate in dovoljuje spreminjanje oziroma prilagajanje že izbranih podatkov.

Predvneseni podatki so eksperimentalno določeni za tesnile materiale Tesnit®. Za druge tesnilne materiale ali tesnila pa so podatki pridobljeni iz uradnih virov, kot sta standarda PVRC in DIN³.

Pogovorno okno *Evaluation* izpiše glavne vhodne podatke in programske rezultate v obliki dejanskih, minimalnih in maksimalnih vrednosti prirobnih parametrov, kot so: površinska obremenitev na tesnilo, skupna sila v vijakih in moment privijanja na vijaku. Ti rezultati so prikazani kot:

1. Dejanske vrednosti prirobnih parametrov, ki se odzivajo na podatke o vijakih in dimenzijskih parametrih tesnila.
2. Minimalne zahtevane vrednosti prirobnih parametrov, ki jih določajo karakteristike tesnilnega materiala. Minimalne zahtevane vrednosti zagotavljajo tesnost prirobnega sklopa.
3. Maksimalne dopustne vrednosti prirobnih parametrov, ki so pogojene z zrušilno trdnostjo tesnilnega materiala in temperaturo.
4. Predvidene in ciljne vrednosti "prepuščanja" in relativni "tesnostni razred" (samo za metodo PVRC).

Podatki o skupni sili v vijakih in momentu na vijak so uporabni in potrebni podatki za pravilno delovanje prirobnega sklopa. Priporočljivo je, da so minimalne zahtevane vrednosti med dejanskimi in maksimalnimi dopustnimi vrednostmi, da se morebitne napake v prirobnem sklopu in razrahljanost sklopa, ki je posledica segrevanja, kompenzirajo. Če minimalne zahtevane vrednosti niso med spodnjimi in zgornjimi mejami, potem mora uporabnik spreminjati vrsto ali število vijakov, material ali površino tesnila toliko časa, dokler spremembe niso verificirane. V primeru računske metode PVRC imamo še sklop podatkov, ki je v zvezi s stopnjo prepuščanja, kar je učinkovito orodje za kontrolo velikosti nezaželenih emisij delovnega fluida iz tesnilnega sklopa.

Comment v pogovornem oknu *Evaluation* pove uporabniku, da je izbrani tesnilni material ali tesnilo primerno za delovne razmere in ali je tesnilni sklop sposoben zagotoviti zahtevano tesnost.

3 Preračun prirobnega sklopa

Natančno razlago enačb, uporabljenih v tem programu, vključuje⁴.

3.1 Računski postopek FSA¹

Računski postopek je zasnovan na tesnilnih faktorjih y^* in m^* ter na naslednjih enačbah.

Zahtevana površinska obremenitev na tesnilo med obratovanjem je:

$$S_{mo} = \max(y^* + P m^*, 2 P, S_{min}), \quad (1)$$

zahtevana obratovalna sila na tesnilo pa:

$$W_{mo} = S_{mo} A_g + P A_i. \quad (2)$$

Enačbi (1) in (2) omogočata določitev zahtevane skupne sile v prirobnem sklopu:

$$W_{ma} = \max(W_{mo}, \frac{S_{mo} A_g}{A_e}). \quad (3)$$

Omenjena tesnilna faktorja y^* in m^* se razlikujeta od faktorjev y in m , ki ju definira standard ASTM F 586. Rossheim in Markl sta leta 1943 faktorja y in m izpeljala teoretično⁵. Za kalandrirane tesnilne materiale so y^* in m^* faktorji določeni eksperimentalno. Podjetje DONIT TESNITI je za tesnostno merilo določilo stopnjo prepuščanja 0,2 ml/min dušika skozi tesnilo dimenzij 50 x 90 mm. Nekateri avtorji so predlagali drugačna merila⁶.

3.2 Računski postopek PVRC

To je postopek za izračun minimalnih parametrov privijanja. Izhaja iz postopka, ki ga je pred leti predložil J. Payne. Osnovan je na tesnilnih konstantah ROTT: G_b , a , G_s^2 .

Vnesena zahtevana tesnost prirobnega sklopa omogoča izračun zahtevanega tesnostnega parametra T_{pmin} . V primeru računskega postopka PVRC določa skupno zahtevano silo v vijakih sklopa W_{ma} enačba (3), ki vključuje enačbi (2) in (4). Enačba (4) je spremenjena enačba (1) za zahtevano površinsko obremenitev tesnila med obratovanjem:

$$S_{mo} = \max(S_{min}, 2 P, \min(S_{mo1}, S_{mo2}, S_{ya} A_e)), \quad (4)$$

kjer so:

zahtevana površinska obremenitev tesnila med obratovanjem S_{mo1}

$$S_{mo1} = G_s \left(\frac{S_{ya} A_e}{G_s} \right)^{\left(\frac{1}{Tr} \right)} \quad (5)$$

zahtevana površinska obremenitev tesnila med obratovanjem S_{mo2}

$$S_{mo2} = \frac{S_{ya}}{R} - P \left(\frac{A_i}{A_e} \right) \quad \text{in} \quad (6) \quad \text{in}$$

zahtevana površinska obremenitev tesnila za prilagoditev tesnila

$$S_{ya} = \frac{G_b}{A_e} (X T_{pmin})^2. \quad (7)$$

Števlec ulomka, ki predstavlja potenco v enačbi (5), je

$$Tr = \frac{\log(X T_{pmin})}{\log T_{pmin}}, \quad (8)$$

kjer X določimo iterativno tako, da velja $S_{mo1} = S_{mo2}$ pri pogoju $X \geq 1$.

R je faktor oslavitve vijakov, ki izraža razmerje med začetno silo v vijakih med vgradnjo in preostalo silo v vijakih med obratovanjem. Tudi tega določimo iterativno:

$$R = \max \left(\frac{Wma}{Wmo_{act}}, 1 \right) \quad (9)$$

Ta postopek ima v primerjavi s postopkom FSA dve pomembni prednosti. Bolj natančno popisuje vedenje tesnila med obratovanjem, ko se njegova površinska obremenitev zmanjšuje zaradi hidrostatičnega razbremenjevanja in termičnega razrahljanja vijakov, hkrati pa dopušča izbiro željene tesnosti sklopa.

Program primerja zahtevane vrednosti parametrov privijanja z dejanskimi, hkrati pa omogoča izračun predvidenega dejanskega tesnostnega parametra za obstoječi sklop. Če sta pri sobni in delovni temperaturi, Wma_{act} in Wmo_{act} , dejanski dopustni vrednosti sile v vijakih, potem lahko določimo:

- dejansko površinsko obremenitev prirobničnega sklopa:

$$Sg_{act} = \frac{Wma_{act}}{A_g} \quad (10)$$

- dejansko površinsko obremenitev med obratovanjem:

$$Smo_{act} = \frac{\min(Wmo_{act} - P A_g, Wma_{act} A_e)}{A_g} \quad \text{in} \quad (11)$$

- dejanski tesnostni parameter:

$$Tr_{act} = \left(Sg_{act} \frac{A_e}{Gb} \right)^{\frac{1}{Tr_{act}}}, \quad (12)$$

ki vključuje faktor

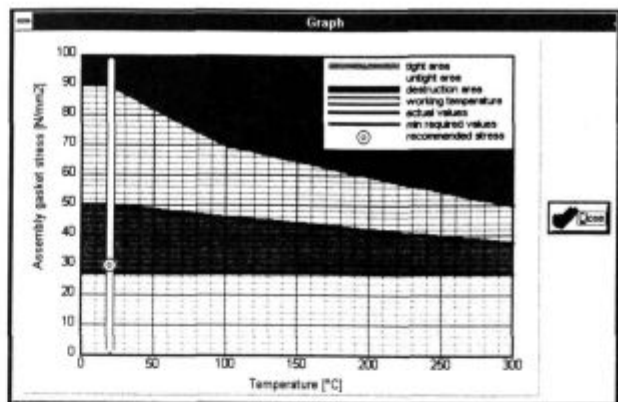
$$Tr_{act} = \frac{\log \left(Sg_{act} \frac{A_e}{Gs} \right)}{\log \left(\frac{Smo_{act}}{Gs} \right)} \quad (13)$$

Z vpeljavo napovedi stopnje prepuščanja na podlagi kinematične viskoznosti in širine tesnila nam program omogoča tudi vrednotenje ciljne in dejanske stopnje prepuščanja skozi sklop za različne medije in dimenzije tesnil⁷.

4 Grafična predstavitev rezultatov

Glavni del novega programskega orodja, ki ga predstavljamo, je pogovorno okno *Evaluation*. V njem prikazujemo vse pomembne vhodne podatke in rezultate. Uporabnik lahko v tem oknu spremeni večino vhodnih podatkov s pritiskom na ustrezni gumb za neposredno spreminjanje podatkov. To okno omogoča poleg tabularične predstavitve rezultatov tudi grafično, kot je prikazano na **sliki 2**.

V diagramu je prikazana specifična površinska obremenitev na tesnilo kot funkcija delovne temperature v obliki minimalnih, dejanskih in maksimalnih vrednosti.



Slika 2: Grafična predstavitev rezultatov
Figure 2: Graphic presentation of the results

Z grafičnim prikazom rezultatov lahko uporabnik takoj določi položaj svojih vhodnih podatkov, ki so določeni z navpično belo črto in drobno belo točko. Ko leži točka vhodnih podatkov znotraj temnosivega, varnega območja, smemo trditi, da je izbira tesnila ustrezna. Če ni tako, potem mora uporabnik ponavljati in spreminjati podatke toliko časa (kvaliteta in/ali velikost vijakov, tesnilni material ali dimenzijski parametri tesnila), dokler ne doseže temnosivega področja. Področje netesnosti - najsvetlejšo področje - se razprostira vse do horizontalne sive črte. Le-ta pomeni minimalne zahteve, ki jih mora prirobnični sklop izpolnjevati, da bo tesnil. Področje tesnosti je torej temnosivo obarvano. Področje zrušilne trdnosti tesnilnega materiala je obarvano črno in sega od zgornjega roba diagrama, do črne meje. Temna črta v diagramu, ki zgoraj omejuje področje tesnosti, pa pomeni največjo zmogljivost vijakov v prirobničnem sklopu.

5 Sklepi

Računalniško orodje dopušča izbiro kateregakoli statičnega tesnila, tudi novih tipov, s predpostavko da so njihovi tesnilni faktorji znani. Možnost izbire med dvema računskima metodama in vnos poljubnih tesnilnih faktorjev razširja njeno področje uporabe. Izbira in uporaba računske metode PVRC omogoča določitev pravih parametrov z namenom doseči zahtevano tesnost prirobničnega sklopa. Na ta način lahko kontroliramo in minimiziramo škodljivo puščanje skozi prirobnični sklop v okolico.

Menimo, da je računalniško orodje primerno in uporabno za izbiro tesnil na osnovi delovnih pogojev in tesnostnih zahtev. V prihodnosti ga nameravamo nadgraditi z računsko metodo DIN EN 1591.

Zahvala

G. Ghirlanda Maxu se zahvaljujemo za prijazno pomoč in podrobno razlago računske metode PVRC.

6 Literatura

- ¹ Non-Metallic Gasketing Handbook: Fluid Sealing Association, Philadelphia, USA, 1989, 5-6
- ² J. R. Paine: Current activities on gasket constants. *Proc. of PVRC Conference*, Information Exchange Sessions on Gasket testing, San Antonio, Texas, USA, February 1994, 51-76
- ³ Design Rules for Gasketed Circular Flange Connections, *DIN EN 1591*, 1994, 30-33
- ⁴ F. Bernard, I. Borovničar, M. Ghirlanda: Windows based computer program for gasket determination based on two different procedures. *Proc. of PVRC & PVP Conference*, Montreal, Canada, July 1996, 109-113
- ⁵ D. B. Rossheim, A. R. C. Markl: Gasket Loading Constants, *Mechanical Engineering*, 65, 1943, 647
- ⁶ J. Latte, C. Rossi: Survey and Development of Design Rules for Flange Connections, *Proc. of ESA Conference on Fugitive Emissions*, Antwerpen, Belgium, October 1995, 121-150
- ⁷ M. Ghirlanda: A procedure for the calculation of gasket tightness parameters on the basis of PVRC gasket design procedure, 1995, Guarco Industria's technical publication, 10-12