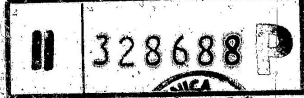


Štátna vedecká knižnica v Košiciach



ŠVK Košice



2720867965



U Č E B N Ý T E X T

KURZ REVÍZNYCH TECHNIKOV

TLAKOVÝCH NÁDOB

1989

Ing. Ján Rudaš, IBP Košice

Pevnostný výpočet tlakových nádob.

Výpočet pevnosti tlakových nádob v praxi predstavuje pomerne náročný teoretický problém. Okrem toho pokrokovosť a ekonomičnosť konštrukcie tlakových nádob je do značnej miery závislá na dokonalosti a presnosti výpočtu, voľby materiálu, výstroja, a skosti výroby. Z tohoto dôvodu je zrejmé, že pevnostným a konštrukčným problémom tlakových nádob sa musí venovať stále značná pozornosť. Každá tlaková nádoba ak má byť bezpečná a spoľahlivá musí vyhovovať určitým vopred stanoveným podmienkam, ktoré sú určené v predpisoch. Z toho vyplýva, že v každom štáte kde sa tlakové nádoby vyrábajú existujú aj takéto predpisy. Základným predpisom u nás je v súčasnej dobe ČSN 69 0010 - tlakové nádoby stabilné. Technické pravidlá. Obdobné normy existujú aj v zahraničí a to napríklad norma ASME BOILER and Pressure Vessel Code, Sec. VIII - 1972, AD Merkblätter a podobne. ČSN 69 0010 však opiera o uvedený zahraničný predpisom nevyžaduje analýzu napätí, iba usporiadanie hrúbky steny tak, aby obvodové napätie zostalo vždy pod vopred určeným dovoleným napätím. Taktiež sa nevyžaduje podrobné posúdenie vyšších miestne sa vyskytujúcich napätí o ktorých sa síce vie, avšak sú brané do úvahy iba v súčiniteľoch bezpečnosti ako i zavedením konštrukčných pomôcok. Vhodným príkladom je napríklad dovolený pomer H/D výšky priemeru klenutých čien, alebo najmenšieho polomeru zosoblenia lemu u plochých čien.

V citovanej ČSN je venovaná pomerne malá pozornosť napätiam, ktoré vznikajú tepelným namáhaním. V skutočnosti však v praxi u tlakových nádob tepelné namáhanie dosahujú značných hodnôt. Okrem toho aj hodnoty pevnosti materiálov pri vyšších teplotách a závislosti na čase dosahujú rozličné hodnoty. Z tohoto dôvodu musí konštruktér pri navrhovaní tlakových nádob obozretné voliť jednak súčiniteľ bezpečnosti ale i druh použitého materiálu. Zjednodušené postupy, ktoré sú uvedené v ČSN 69 0010 pri určovaní dovolených namáhaní nie sú vhodné pre náročnejšie druhy prevádzok ako napríklad tlakové nádoby v jadrových elektrárnach.

Keby sa každá tlaková nádoba vopred analyzovala pre jednotlivé prevádzkové podmienky a nepočítala sa iba v zmysle citovanej normy, mohla by sa doceliť úspora materiálu. Na druhej strane však je mnohokrát výhodné aby nádoba bola predimenzovaná a to hlavne z hľadiska prevádzkovateľa, po stránke technického stavu. Mnohokrát sa ukázalo, že môžu byť prevádzkované na vyšší tlak, inokedy sú korózne napadnutia vyššie než sa predpokladalo a preto je väčšia hrúbka steny výhodná, resp. životnosť nádoby sa predĺžila. Konštrukcia tlakových nádob o pohľadom na výpočet je veľmi náročná a vytvorenie takého predpisu, ktorý by vystihoval všetky špeciálne podmienky je nemožné a nebolo by ani účelné. Z tohoto dôvodu je výhodnejšie pre špeciálne zariadenia spracovať zvláštne technické podmienky, oborové resp. podnikové normy. Súčasná norma pre výpočet tlakových nádob je pravidelne revidovaná a v súčasnej dobe sa pripravuje nové vydanie, ktoré bude platné v celom RVHP.

Výpočet hrúbky steny válcového plášťa sú vnútorným pretlakom a výpočet rúrky podľa normy ČSN 69 0010 je založený na membránovej teórii válcovej škrupiny veľkej dĺžky a platí pre pomer vonkajšieho a vnútorného priemeru.

$$\frac{D}{D - 2 \text{ sp}} = 1,3$$

• pri priemere menšom ako 400 mm je možno použiť pomeru

$$\frac{D}{D - 2 \text{ sp}} = 1,5$$

Keďže táto nerovnosť nevyhovuje, takéto nádoby sa považujú za hrubostenné a pre ich výpočet v ČSN 69 0010 neplatí. Výpočet hrubostenných nádob je uvedený napríklad v norme ČSN 69 0017 a počítajú sa podľa súčasných poznatkov vedy a techniky.

Prírodné namáhanie nádob vyplývajúce z uchytenia alebo kotvenia sú určené podľa ČSN 69 0015. Nie je doteraz spoľahlivo stanovená otázka životnosti tlakových nádob. Väčšina výrobcov tlakových nádob určuje s prihliadnutím na najväčšie prevádzkové namáhanie na 15 až 20 rokov. U zvarovaných tlakových nádob je životnosť steny podstatne ovplyvnená súčiniteľom zvarového spoja. Tento koeficient je taktiež stanovený v citovanej norme podľa

druhu zverového spoja, spôsobu zvrárania a rozsahu kontrol zverových spojov. Pretože konštrukcia tlakových nádob je veľmi náročná záležitosť sú v jednotlivých normách pre pevnostné výpočty prijaté celé rady zjednodušených predpokladov. Pri výpočte hrubostenných tlakových nádob sa vychádza z uznávaných pravidiel vedy a techniky t.j. teórií pružnosti a pevnosti najčastejšie podľa teórie maximálnej mernej potenciónálnej energie na zmenu tvaru / Huber - Miseses - Hencky /, ale taktiež podľa teórie maximálnych šmykových napätí. Pre výpočet pevnosti častí a uzlov vysokotlakových nádob používaných v chemickom, naftu spracujúcom priemysle, ktoré pre odlišnosti konštrukčných prevedení so zreteľom na veľmi vysoký tlak / hrubostenné, viacvrstvové / nie je možné počítať podľa ČSN 69 0010, možno použiť ON 69 0017.

V zmysle ČSN 69 0010 možno počítať i nádoby, ktoré sú namáhané cyklicky. Za cyklické namáhané nádoby sa považujú také nádoby kde počet nábehu na pracovný pretlak a teplotu prekróí 1000 cyklov za dobu životnosti. Cyklické namáhanie hrubostenných nádob nie je zatiaľ riešené normou a preto konštruktér musí tieto pracovné podmienky zahrnúť do súčiniteľa bezpečnosti.

Pretože tieto skriptá sú svojím obsahom zamerané hlavne pre revíznych technikov nádob a technikov zodpovedných za bezpečnú a spoľahlivú prevádzku tlakových nádob sú v nasledujúcom uvedené iba základy prenosného výpočtu.

Jednoduchý výpočet steny tenkostennej valcovej nádoby s vnútorným pretlakom / odvodenie základného vzťahu /.

Pretlakom sa rozumie rozdiel meraných tlakov vo vnútri a zvonka nádoby. Ak je v nádobe tlak vzduchu napríklad 2 MPa znamená to, že absolútny tlak vzduchu je 2,1 MPa, lebo atmosférický tlak je 0,1 MPa.

V nádobe pôsobí tlak vzduchu všetkými smermi pretlakom p. Pracovná látka sa snaží nádobu roztrhnúť v priečnom a pozdĺžnom smere, pričom tieto sily sú stejne veľké ale opačného smeru. Na hornú polovicu valcovej nádoby pôsobí pracovná látka výslednou silou + F₂, na spodnú polovicu pôsobí rovnako veľká sila ale opačného smeru t.j. - F₂. Ak vnútorný tlak bude väčší ako vonkajší vypočítame pevnostnú rovnicu pre priečny rez I - I / obr. /.

Vnútornu silu F₁ určíme z plochy S₁ a pretlaku p z rovnice :

$$F_1 = S_1 \cdot p = \frac{\pi d^2}{4} \cdot p$$

kde d - je vnútorný priemer nádoby

So silou F₁ musí byť v rovnováhe sila N₁ vyvolaná napätím materiálu σ_I a plochou prierezu valcovej nádoby S₂.

$$N_1 = S_2 \cdot \sigma_I = \pi \cdot d \cdot s \cdot \sigma_I$$

Plochu prierezu môžeme rozvinúť do obdĺžnika, takže

$$S_2 \text{ bude } S_2 = \pi \cdot d \cdot s$$

Z rovnováhy síl vyjadríme konečnú rovnicu :

$$F_1 = N_1$$

$$\frac{\pi d^2}{4} \cdot p = \pi \cdot d \cdot s \cdot \sigma_I$$

$$s = \frac{d \cdot p}{4 \sigma_I}$$

Za σ_I sa dosadí dovolené namáhanie materiálu podľa ČSN 69 0010.

Vypočítame pevnostnú rovnicu v pozdĺžnom reze :

Vnútorná sila F₂ pôsobí v pozdĺžnom reze, je daná plochou S₁ pozdĺžneho rezu po určitej dĺžke l a pretlakom p

$$F_2 = S_1 \cdot p = d \cdot l \cdot p$$

Plocha S₁ je daná priemerom plochy d a dĺžkou l. Sila F₂ musí byť v rovnováhe so silou N₂, ktorá je daná plochou S₂ (vypočítaná z hrúbky steny s a dĺžky steny l a daná stenami ako je to uvedené na obrázku) a napätím materiálu σ_{II}.

Teda S₂ = 2.s.l

Ďalej je daná napätosť materiálu σ_I.

Teda

$$N_2 = 2 \cdot s \cdot l \cdot \sigma_{II}$$

Z podmienky rovnováhy vyplýva :

$$F_2 = N_2$$

$$S_1 \cdot p = S_2 \cdot \sigma_I$$

$$d \cdot l \cdot p = 2 \cdot s \cdot l \cdot \sigma_I$$

$$s = \frac{d \cdot l \cdot p}{2 \cdot l \cdot \sigma_I}$$

$$s = \frac{d \cdot p}{2 \cdot \sigma_I}$$

Z obidvoch rovníc vyplýva, že potrebná hrúbka steny v pozdĺžnom reze je väčšia, ako v priečnom. Preto určujeme hrúbku steny valcovej nádoby s vnútorným pretlakom podľa rovnice v pozdĺžnom reze.

Zjednodušený vzorec odvodený pre tenkostenné nádoby s vnútorným pretlakom je v norme doplnený vplyvom zvarových spojov (koeficienty súčiniteľa zvarových spojov su vedené v norme) vplyvmi hrúbky steny, vplyvmi tvaru dna ap.

Výpočtovú hrúbku steny musíme ďalej kontrolovať či nie je zoslabená otvormi, alebo či nie je miestne či nesymetricky zatažená.

Pre výpočet hrúbky steny valcového plášťa s vnútorným pretlakom a výpočet rúrky platí vzťah :

$$s = s_0 + c$$

$$s_0 = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \sigma_D \cdot v + p}$$

kde :

p - výpočtový pretlak

v - súčiniteľ zvarového spoja

c - prídavok k základnej výpočtovej hrúbke

$$c = c_1 + c_2$$

c₁ - prídavok na výrobné nepresnosti a zápornú výrobnú odchýlku hrúbky steny

c₂ - prídavok na koróziu

σ_D - dovolené namáhanie, určené pomocou súčiniteľa bezpečnosti z hodnôt σ_{Kt} alebo σ_{Pt} do výpočtovej teploty 350 ° C a σ_{Kt} , σ_{Tpt} alebo σ_{Tt} 10° pri teplotách nad 350 °C

Výpočet hrúbky steny klenutého dna vychádza z membránovej teórie guľovej škrupiny opravenej so zreteľom na ohybové namáhanie vyvolané jednk odchýlkou skutočného tvaru od tvaru gule a jednak obmedzením voľnej deformácie dna tým, že je napojené na valcovú škrupinu. Priverením dna k valcovému plášťu je obmedzená možnosť jeho voľnej deformácie membránovým napätím, v dôsledku toho vznikajú v miestach spojenia prídavné namáhanie. Do týchto miest sa nesmú umiestňovať žiadne ďalšie časti, ktoré by spôsobovali prídavné namáhanie (otvory, závesy, odpory). Taktiež tupé zvary medzi klenutým dnom a plášťom musí byť mimo oblasť lokálnej špičky napätia mimo zvlášť povolených prípadov v anuloidovom prechode. Výpočet dna pri vnútornom pretlaku platí vzťah :

$$s = s_0 + c$$
$$s_0 = \frac{D \cdot p \cdot \beta}{4 \cdot \sigma_D} + 1$$

β - hodnota súčiniteľa tvaru dna (uvedená v ČSN 69 0010)

Pre výpočet dovoleného namáhanie jednotlivých častí tlakových nádob namáhaných cyklicky (ak počet nábehu na pracovný tlak a teplotu je vyšší ako 10³) je nutné použiť doplnok k ČSN 69 0010. Tento doplnok možno použiť u nádob namáhaných fyzicky do teploty 370 ° C u uhlíkových a nízko- legovaných ocelí, a do teploty 420 °C u sustenitických ocelí. Pre vyššie teploty je nutné posudzovať dovolené namáhanie podľa uznaných pravidiel vedy a techniky.

Dovolené namáhanie pre cyklické zataženie sa určí zo vzťahu :

$$\sigma_{ZC} = \frac{\sigma_{ZC}}{\eta}$$

kde : σ_{ZC} - základné dovolené cyklické namáhanie pre uhlíkové ocele, napr.

$$\sigma_{ZC} = \frac{14 \cdot (3000-t)}{\sqrt{N}} + \sigma_D$$

η - hodnota súčiniteľa tvaru nádoby

Vlastný výpočet pevnosti sa urobí podľa ČSN 69 0010 pritom dovolené namáhanie sa berie ako minimálne z hodnôt

$$\sigma_{DV} = \min \{ \sigma_D; \sigma_{DC} \}$$

Ak sa mení pretlak v rozmedzí od p_{Min} do p_{Max} (premenné zaťaženie) určia sa pomery :

$$\frac{p}{\sigma_D} \text{ a } \frac{p_{Max} - p_{Min}}{\sigma_{DC}} \text{ a výpočet sa prevedie pre}$$

ten pomer, ktorý dáva väčšiu hodnotu

Jednoduchý výpočet valcovej nádoby s vonkajším pretlakom :

Na čelo nádoby pôsobí vonkajšia sila.

$$F_1 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot p$$

kde d - je vonkajší priemer nádoby
 p - je vonkajší pretlak

Na hornú a dolnú polovicu pôsobí sila

$$F_2 = 1 \cdot d \cdot p$$

Rovnakým postupom ako v predchádzajúcom odstavci sa odvodí vzťah pre hrúbku steny s :

$$s = \frac{d \cdot p}{2 \sigma}$$

Výpočet guľovej nádoby s vnútorným pretlakom

Ako rozdelíme guľovú nádobu ľubovoľným rezom na poloviny pôsobí na jednu pologuľu vonkajšia sila.

$$F = \frac{\pi d^2}{4} \cdot p$$

Vnútorná sila rezu bude

$$N = S \cdot p = \pi \cdot (d + s) \cdot s \cdot \sigma$$

Ak zanedbáme hrúbku s (lebo je proti priemeru d malá) dostaneme vnútornú silu

$$N = \pi \cdot d \cdot s \cdot \sigma$$

Pre prierez platí rovnica :

$$F_2 = S \cdot \sigma$$

Ak dosadíme dostaneme :

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot p = \pi \cdot d \cdot s \cdot \sigma$$

Z toho hrúbka steny bude :

$$s = \frac{d \cdot p}{4 \sigma}$$

Ak porovnáme rovnice vidíme, že guľová nádoba je rovnako namáhaná ako valcová nádoba v priečnom reze. To znamená, že má polovičnú hrúbku steny ako nádoba valcová v pozdĺžnom reze rovnakého vnútorného priemeru s rovnako veľkým vnútorným pretlakom. Z toho dôvodu je vždy výhodnejšie pre veľké zásobné nádrže voliť tvar gule, i keď výroba je zložitejšia.

Výpočet guľovej nádoby s vonkajším pretlakom :

Pri odvodení vzťahu pre hrúbku steny môžeme použiť rovnicu : $s = \frac{d \cdot p}{4 \sigma}$, kde nahradíme vnútorný priemer vonkajším priemerom, D a dovolené napätie v ťahu dovoleným napätím v tlaku.
Potom hrúbka steny bude : $s = \frac{D \cdot p}{4 \sigma}$

Výpočet hrúbky steny hrubostenných tlakových nádob :

Pevnostné využitie stien u nádob pre vysoké tlaky klesá veľmi rýchle so stúpajúcim pomerom hrúbky steny k jej priemeru, čiže so stúpajúcim pomerom vonkajšieho priemeru jej vnútornému priemeru.
U vysokotlakých hrubostenných nádob sú rozhodujúce napätia tangencionálne a radiálne od vnútorného pretlaku. Axiálne napätie je v celej valcovej časti konštantné.
Všetky tri napätia sa vektorovo týkajú v určité výsledné (redukované) napätie.

$$\sigma_{red} = \frac{2}{\sqrt{(\sigma_t - \sigma_r)^2 + (\sigma_t - \sigma_a)^2 + (\sigma_r - \sigma_a)^2}}$$

kde σ_t - tangencionálne napätie
 σ_r - radiálne napätie
 σ_a - axiálne napätie

Ak vyjadríme jednotlivé složky trojesej napätosti ako funkciu vnútorného pretlaku, to znamená ako dosadíme do predchádzajúcej rovnice za

$$\sigma_t = p \cdot \frac{u^2 + 1}{u^2 - 1}$$

$$\sigma_r = -p$$

$$\sigma_a = \frac{p \cdot 1}{u^2 - 1}$$

dostaneme zjednodušený tvar rovnice pre redukované namáhanie :

$$\sigma_{red} = \frac{u^2 \cdot \sqrt{3}}{u^2 - 1}$$

kde : p - pracovný pretlak
u - pomer vonkajšieho priemeru k vnútornému priemeru nádoby

Dosadíme do rovnice

$$z_a \ u = \frac{D}{d}$$

dostaneme rovnicu v tvare :

$$\sigma_{red} = \frac{\sqrt{3} \cdot D^2 \cdot p}{D^2 - d^2}$$

úpravou tejto rovnice dostaneme :

$$\frac{D}{d} = \sqrt{\frac{\sigma_{red}}{\sigma_{red} - \sqrt{3} \cdot p}}$$

podľa týchto rovníc sa určuje ako to už bolo uvedené na začiatku hrúbka steny vysokotlakých nádob, kde pomer priemeru D/d je väčší ako 1,3. V predchádzajúcej rovnici sú 2 neznáme a to : σ_{red} a D alebo d. Preto pri pevnostnom výpočte sa postupuje tak, že najskôr sa určí druh materiálu a súčiniteľ bezpečnosti, z čoho dostaneme dovolené namáhanie, ktoré sa rovná redukovanému namáhaniu. Potom sa zvolí, napr. vnútorný priemer nádoby a vypočíta sa vonkajší priemer nádoby, alebo opačne.

Pre výpočet pevnosti častí a uzlov vysokotlakých nádob používaných v chemickom, naftospracujúcom a príslušnom priemyslovom odvetví, ktoré pre odlišnosť konštrukčného prevedenia so zreteľom na vysoký tlak (hrubostenné, viacvrstvé), nie je možné riešiť výpočtom podľa ČSN 69 0010, možno použiť ON 69 0017. Výpočtové pretlaky týchto nádob sú spravidla vyššie ako 10 MPa a rozsah pracovných teplôt od - 40 °C až do teploty, pri ktorej dochádza u použitého materiálu k jeho tečeniu.

Nádoby však musia pracovať pri statickom zatažení, za ktoré sa považuje aj cyklické namáhanie, pokiaľ počet nábehov na pracovný tlak a teplotu je menší ako 1000 cyklov za dobu životnosti nádoby. V zmysle citovanej ON sa dovolené namáhanie určí :

$$\sigma_D = \text{Min} \left\{ \frac{\sigma_{kt} (0,2)}{x_1} ; \frac{\sigma_{Pt}}{x} \right\};$$

pričom súčinitele pre 'oceľ' $x_1 = 1,5$, $x = 2,4$

Najmenšia hrúbka stena sa určí zo vzorca :

$$s = s_0 + c$$

$$s_0 = \frac{p \cdot d}{2 \cdot \sigma_D \cdot v - 0,9 \cdot p}$$

Zrovnáním výsledkov výpočtu pevnosti hrubostenných nádob podľa teórií pružnosti a pevnosti a ustanovení ON 69 0017 zistíme, že priateľná zhoda výsledkov existuje iba do hodnoty výpočtového tlaku 50 MPa. U vyšších tlakov sú značné rozdiely preto je nutné pevnostný výpočet tlakových nádob s najvyšším pracovným pretlakom väčším ako 50 MPa riešiť podľa špecifických podmienok.

Výpočet hrúbky steny kúzelového pláštá

Výpočet hrúbky steny kúzelovej nádoby s vnútorným a vonkajším pretlakom z pevnostného hľadiska vychádza taktiež s membránovej teórie kúzelovej škrupiny. Výpočty hrúbok anuloidových prechodov sú odvodené z výpočtu dna a súčiniteľov, ktoré boli zistené meraním. Konkrétny postup výpočtu je uvedený v ČSN 69 0010. Takové nádoby s kúzelovými plášťami vznikli hlavne pre potrebu dopravy sypkých a tekutých materiálov. Namáhanie týchto stien je o niečo priaznivejšie. Kúzelové tvary sa používajú pre dopravu cementov, práškového popolčeka ako i u starších fekálnych vozidiel. Vnútrojšok nádoby je opatrený prepážkami proti posúvaniu hmot pri jazde.

Výpočet hrúbky kruhových viek tlakových nádob :

Výpočet kruhových viek vychádza z teórie kruhovej dosky namáhanej rozloženým napätím po celom priereze a predpokladá, že v miestach maximálnych napätí bude proti plastickému stavu príslušná bezpečnosť. Napr. u dna eliptického je tvar tvorený maximálnym priehybovým tvarom, ktorý vyplýva z parabolickej čiary. Okraje alebo prechody sú tvorené oblúkom podľa normy ČSN 69 0010. Tvar prechodov má podstatný vplyv na namáhanie dien. Privarením alebo prinitovaním dien rotačných tvarov (doskových), kúzelových, výpuklových a guľových k valcovému plášťu tlakovej nádoby je obmedzená možnosť voľnej deformácie membránovým napätím a preto vznikajú v okolí miesta spojenia prídavné napätia prevažne ohybové. Tieto napätia sú po obvode valcového pláštá rozdelné rovnomerne, pretože ide o rotačne symetrické rozmery. Pri pevnostnom výpočte valcového pláštá je preto vplyv pripojeného dna v podstate zachytený v tvarovom súčiniteľi, ktorého hodnoty v závislosti od typu dna a spôsobu pripojenia sú uvedené v norme ČSN 69 0010.

U polguľových dien je súčiniteľ rovno jednej, takže nádobu môže byť spojená v ose zvarom. Polguľové dna sú však výrobne veľmi drahé. Vrchlíkové dna sa používajú na menšie tlaky a v podstate sú náhradou pre jednoduchšiu výrobu za dna výpuklé. V citovanej norme je uvedený výpočet vrchlíkového veka s deleným zámkom pre skrutkové spojenie. Táto úprava alebo usporiadanie sa používa pre konštrukciu nádob liatých alebo zvarovaných. Sú to hlavne veľké tepálnych vložiek s trubkovicami, veľká ohrievačov, rôznych kontrolných otvorov a pod.

Kúzelové dna a kúzelové prechody :

Výpočty sa vzťahujú hlavne na prechody a sklon kúzelovitosti dna. Valcová stena pláštá má predchádzať do kúzela anuloidovým prechodom. Sklon kúzelových plášťov nevznikne byť menší ako 60 stupňov a sklon kúzelových stien nesmie byť menší ako 30 stupňov. Vzdialenosť pre napojenie zvaru je daná

empirickým vzťahom podľa normy ČSN 69 0010 alebo inej odbornej literatúry.

Ploché, doskové a zaslepovacie dna :

Výpočty sa vzťahujú na valcové plášte s priverenými doskovými dnami z plechu alebo liatými. Dáva sa prednosť vždy pripojeniu valcovému pláštu zvaru tupému, jednostrannému alebo dvojstrannému. Kútový zvar sa používa iba na prikrytie tupých zvarov. Jednostranné kútové zvary sú pre pevnostné spoje zakázané.

Hrúbka steny sa počíta podľa empirických vzorcov ČSN 69 0010 s ohľadom na súčinitele upevnenia okrajov dosky event. ak je uprostred otvor pre zátku alebo iný otvor aj so súčiniteľom uvažujúcim vplyv tohoto otvoru. Iné spôsoby uchytenia dosiek sú na obr. 12 normy ČSN 69 0010 .

Výpočet vystužovania otvor :

Výpočet vystužovania otvor vychádza z podmienky, že plastické demornácie v okolí výrezu nesmú prekročiť prípustnú medzu. Čím je otvor väčší, tým sú aj prídavné namáhanie väčšie v okolí otvorov. Výpočet podľa ČSN 69 0010 určuje spôsob výpočtu ako aj rozsah platnosti. Otvor v nádobe je spravidla opatrený hrdlom, ktorý je súčasne aj rúrkovou výstuhou. Ak táto výstuha samo o sebe je nepostačujúca, zosilňuje sa stena nádoba buď celkovo alebo výstužným prstencom. Rúrková výstuha môže byť jedностenná alebo dvojestenná. Ak sú otvory blízko sebe, vzájomne sa aj ovplyvňujú. Preto je potrebné previesť pri pevnostnom výpočte kontrolu vzájomného ovplyvňovania ako v priečnom tak aj v pozdĺžnom smere namáhania. V prípadoch vzájomného ovplyvnenia musia byť splnené podmienky uvedené v citovanej norme. Špičkové napätia u otvorov musia byť v relácii s celkovým namáhaním tlakovej nádoby tak, aby nebola porušená celková stabilita nádoby. Plocha medzi prierezmi musí byť nosná v závislosti na dovolenom namáhaní materiálu plochy.

Pri väčších rozmeroch tlakových nádob silnostenných kotlových valcov pre zavalované rúrky sa overujú výpočtové hodnoty tenzometrickými meraniami hlavne tam, kde sú veľké špičkové napätia alebo sa jedná o nádoby v sériovej výrobe.

Výpočet skrutiak:

Výpočet skrutiak je stanovený z dovoleného napätia materiálu od sily z pretlaku k nádobe a ploche skrutiak, t. z.

$$F_{dov} = F/S$$

Všetky ostatné hodnoty z normy ČSN 69 0010 sú hodnotami bezpečnostnými. Skrutiak sa počíta pre predpätie tiež s ohľadom na tuhosť prírub a tesnení. Kontrola namáhania skrutiak sa prevedie taktiež s ohľadom na silu, ktorá vzniká pri skúšobnom pretlaku. Vždy je rozhodujúci vplyv väčšieho namáhania. Obvykle to býva prevádzková a tesniaca sila. Prevádzková sila je daná

$$F_1 = \frac{\pi}{4} \cdot D_t^2 \cdot p$$

Tesniaca sila

$$F_2 = 2 \pi D_t \cdot b_v \cdot p$$

Pri väčších silnejších prírubách je potrebné uvažovať aj skrutiak na elasticitu. Po určitom čase sa v prírubových spojoch stráca predpätie. Objavuje sa hlavne pri periodických tlakových skúškach. Pri tlakovej skúške vyššej ako 1,5 násobok pretlaku pracovného sú potom prírubové spojenia tesné. V tomto prípade stačí, ak nie je vadné tesnenie iba skrutiak dotiahnuť pre nové predpätie.

U prírub parovodov a iných zariadení, kde sa už prejavuje vplyv prevádzkových teplôt cez 400 °C, sa skrutiak skontrolujú pri demontáži na predĺženie. Skrutiak predĺžený o 1 % sa vyradujú z prevádzky.

Pre priemer jadra skrutky, poprípade drieku skrutky sa pre teploty do 400 °C uprší dovolené namáhanie takto :

$$\sigma_{dov} = \frac{\sigma_{Kt}}{z}$$

zo vzorca

$$d = \beta \cdot \sqrt{\frac{F_g}{\sigma_{dov}}} + c_g$$

F_g - ťahovacia sila na jednu skrutku

σ_{dov} - dovolené namáhanie

β, c_g - koeficient bezpečnosti pre prevedenie a zoslabenie

Pre skrutkové spoje sa predpokladá, kvalitné prevedenie skrutiek s metrickým závitom podľa normy a zaťaženie skrutiek iba osovými silami.

Aby skrutkový spoj bol ľahko rozoberateľný, doporučuje sa zvoliť skrutku o rozdielnej tvrdosti od matice. Okrem toho je potrebné dodržať súosť závitov s dĺžkou a toleranciu závitov. Výrobe a výberu materiálov pre skrutky je potrebné venovať zvýšenú pozornosť, lebo skrutka je jedným z najviac namáhaných súčastí prírubového spoja.

U väčších nádob je z úsporných dôvodov správnejšie zvlniť radšej väčší počet menších skrutiek a pokiaľ možno s menšou vzdialenosťou od seba a umiestnené čo najbližšie k nádobe. Zmenšuje sa tým jednak rameno ohybového momentu, ktorý je vnášaný do príruby a jednak od sily vyvolanej neúmernym utiahnutím prírubových skrutiek. Pri deštrukcii skrutky a posúdenia charakteru lomu je zrejmé, napr. na obvode jemnejšia zrnitosť, ktorá vznikla únavou a k strede hrubšia zrnitosť, ktorá už vznikla pevnostným lomom.

Výpočet prírub :

Prevýpočet prírub je niekoľko teórií :

Jedna z nich je daná empirickým vzorcom ČSN 69 0010.

U prírubarých prírub a plochých prírub možno hrúbku určiť takto :

$$\frac{a}{D} = \lambda \sqrt{\frac{p}{\sigma_{dov}}}$$

kde : a - hrúbka príruby

D - vonkajší priemer nádoby alebo rúrky

λ - súčiniteľ bezpečnosti

σ_{dov} - dovolené namáhanie

p - pretlak

U prírub je potrebné sa vyvarovať ostrých zápchov v miestach najväčších namáhání. Taktiež u oblúkových prechodov je potrebné vždy voliť čo najväčší rozmer.

Príruby pre malé rozmery sú určené v normách pre potrubia.

Pre výpočet namáhania valcových stien tlakového celku nádob od zaťaženia oporných uzlov (záväznýc ôk, nosných a sedlových podpier) platí ČSN 69 0015.

Podporný uzol - súčasť, ktorá slúži k podopretiu alebo zaveseniu nádoby.

Oporná pätka - súčasť, ktorá slúži k bodovému podopretiu vertikálnej tlakovej nádoby.

Sedlové podpora - súčasť, ktorá slúži k podopreniu tlakovej nádoby pozdĺž časti obvodu jej plášťa.

Výpočet podľa ČSN 69 0015 platí pre materiály, ktoré sú schopné pružnej deformácie a sú prevažne staticky namáhané.

Pri konštrukčnom a pevnostnom riešení vlastných oporných elementov je nutné postupovať podľa základných výpočtových metód a podľa uznaných pravidiel vedy a techniky.

Pre výpočet namáhania vysokých zvislých nádob a aparátov, ktoré sú namáhané vetrom a seizmickými účinkami platí ČSN 69 0014. Táto norma stanovuje metódu rozdelenia výpočtu síl vznikajúcich v častiach zvislých valcových nádob. Definuje určenie doby vlastných kmitov, ohybový moment od zaťaženia vetrom a určenie výpočtových síl od seizmických účinkov.

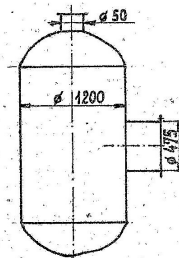
Pre výpočet nosných častí vysokých zvislých nádob a aparátov platí ČSN 69 0016. Táto norma platí pre vyššie uvedené výpočty v oblasti chemického a naftospracujúceho priemyslu. Vlastný výpočet zahŕňa tiež ťažové zaťaženie, ohybové momenty, tepelné zaťaženia a pod.

Na záver uvediem jednoduchý konkrétny výpočet valcovej nádoby na vnútorný pretlak :

Príklad : Prevedzte pevnostný výpočet tlakovej nádoby stabilnej podľa obrázku.

Dané hodnoty :

Výpočtový pretlak	p = 0,6 MPa
Priemer nádoby	D = 1200 mm
Výpočtová teplota	100 °C
Pracovná látka	vzduch
objem	2500 l
Materiál	11 416.1
Súčiniteľ zvarového spoja	v = 0,7
Prídavok na koróziu	c = 1 mm



i/ Výpočet hrúbky steny plášťa na vnútorný pretlak podľa ČSN 69 0010

D = 1200 mm
 p = 0,6 MPa
 $\sigma_{Kt} = 225$ MPa
 v = 0,7
 c = c₁ + c₂ = 1 mm
 x₁ = 1,5

a/ Vypočítame dovolené namáhanie $\sigma_D = \frac{\sigma_{Kt} \cdot 20}{x_1}$

$$\sigma_D = \frac{225 \cdot 20}{1,5} = 3000 \text{ MPa}$$

b/ Základná hrúbka steny

$$s_D = \frac{p \cdot D}{2 \sigma_D \cdot v} = \frac{0,6 \cdot 1200}{2 \cdot 3000 \cdot 0,7} = 0,171 \text{ mm}$$

$$s = s_D + c = 0,171 + 1 = 1,171 \text{ mm}$$

$$s = s_D + c = 4,42 \text{ mm}, \quad s_p = 5 \text{ mm}$$

Prevedená hrúbka steny plášťa bude s_p = 5 mm (volíme najbližšiu hodnotu podľa vyrábanej hrúbky materiálu).

c/ Kontrola hrúbky plášťa pre tlakovú skúšku (čl. 227)

$$p_s = p \cdot 1,25 = 0,75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Kt} = 255 \text{ MPa}$$

$$x_s = 1,1$$

$$DS = \frac{\sigma_{Kt}}{x_s} = \frac{255}{1,1} = 232 \text{ MPa}$$

Kontrolu robíme iba, ak $p_s > \frac{\sigma_{DS}}{6} \cdot p$, čiže

$$0,75 > \frac{232}{150} \cdot 0,6$$

0,75 > 0,93, čo nie je pravda a preto samostatnú kontrolu pre tlakovú skúšku nemusíme robiť.

Ak pravá strana nerovnosti bude skutočne menšia ako ľavá, napr. 0,75 > 0,65, potom kontrolu robíme nasledujúcim spôsobom :

Do základného vzorca pre výpočet hrúbky steny za hodnotu p dosadíme skúšobný pretlak p_s. Ak hrúbka steny, ktorú vypočítame týmto spôsobom vyjde väčšia, volíme ju za výpočtovú.

d/ Kontrola najväčšieho nevystuženého otvoru v plášti (čl. 436)

Pretože v plášti nádoby sa nachádza otvor, ktorý zoslabuje pevnosť steny plášťa, musíme zistiť, či je potrebné tento otvor vystužiť, prípadne voliť druh výstuže.

$$D = D = 1200 \text{ mm}$$

$$p = 0,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_p = 150 \text{ MPa}$$

$$s_p - c = 4 \text{ mm}$$

$$v_A = \frac{D' \cdot p}{2 \sigma_D / s_p - c} = \frac{1200 \cdot 0,6}{2 \cdot 150 \cdot 4} = 0,4$$

Z diagramu 15 bude pomer $\frac{d}{\sqrt{D/s_p - c}} = 1,2$, z toho

priemer najväčšieho nevystuženého otvoru bude
 $d = 1,2 \sqrt{D/s_p - c} = 1,2 \sqrt{1200 \cdot 4} = 83,2$ mm

Pretože najväčší priemer otvoru v plášti bude 475 mm, tento otvor musíme vystužiť.

Volíme rúrkovú výstuhu (čl. 438)

$$\frac{d}{\sqrt{D/s_p - c}} = \frac{475}{\sqrt{1200 \cdot 4}} = 6,86$$

Z diagramu 15 bude $\frac{s_1 - c}{s_p - c} = 1,79$

z toho $s_1 = 1,79 / s_p - c / + c = 8,16$ mm
 Rúrková výstuha bude prevedená $s = 9$ mm.
 Potrebná dĺžka výstuhy podľa čl. 449 bude

$$l \geq \sqrt{d/s_1 - c} = 61,64$$
 mm

Dĺžku výstuhy volíme $l = 100$ mm

2. Výpočet hrúbky steny dna na vnútorný pretlak

a/ hrúbka steny dna (čl. 296)

$$D = 1200 \text{ mm}$$

$$p = 0,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_D = 150 \text{ MPa}$$

Súčiniteľ β volíme z diagramu 5 podľa pomeru $\frac{H}{D}$

$H = 228$ mm a pomer $\frac{H}{D} = 0,19$

$\beta = 3,2$

prídavok $c = 1$ mm

$$s_0 = \frac{D' \cdot p \cdot \beta}{4 \sigma_D} + 1 = \frac{1200 \cdot 0,6 \cdot 3,2}{4 \cdot 150} + 1 = 4,84 \text{ mm}$$

$$s = s_0 + c = 5,84 \text{ mm}$$

Hrúbku dna volíme $s_p = 8$ mm, podľa ČSN 42 5815

b/ Stanovenie najväčšieho vystuženého otvoru (čl. 436)

$$D' = 2R = 2 \cdot 1208 = 2416 \text{ mm}$$

$$v_A = \frac{D' \cdot p}{4 \sigma_D / s_v - c} = \frac{2416 \cdot 0,6}{4 \cdot 150 \cdot 7} = 0,345$$

Z diagramu pomer $\frac{d}{\sqrt{D'/s_v - c}} = 2,75$

$$d = 2,75 \sqrt{D'/s_v - c} = 357,6 \text{ mm}$$

Pretože najväčší otvor na hornom dne je 50 mm a $50 < 357,6$, nie je potrebné otvor osobitne vystužiť.

Obdobným spôsobom môžeme podľa ČSN 69 0010 vypočítať aj ostatné hodnoty prielezu, veka, skrutiak a pod.