

ANALÝZA NETESNOSTI PRÍRUBOVÉHO SPOJA NA PREVÁDZKE ČPAVOK 4

Michaela KOHÚTOVÁ, Martin JURIGA, Peter PECIAR, Peter BRUNAI, Gabriel ZSILINSZKI

Anotácia

Cieľom práce bola analýza konkrétnych potrubných vetiev na prevádzke Čpavok 4 spoločnosti Duslo, a.s. v dôsledku únikov nebezpečného syntézneho plynu. Práca sa zameriavala na hľadanie príčin úniku syntézneho plynu na vybraných prírubových spojoch, pričom je potrebné uviesť, že sa jednalo o nebezpečné potrubia nie len z hľadiska prevádzkovej teploty a tlaku, ale taktiež samotného média, ktoré v potrubných trasách prúdi. Syntézny plyn je vysoko výbušná zmes, ktorá pri úniku a následnom výbuchu môže spôsobiť vážnu priemyselnú haváriu.

Kľúčové slová: potrubie, projektovanie, pevnostné analýzy, CADWorx, CAESAR II, 3D model, 3D tlač

ÚVOD

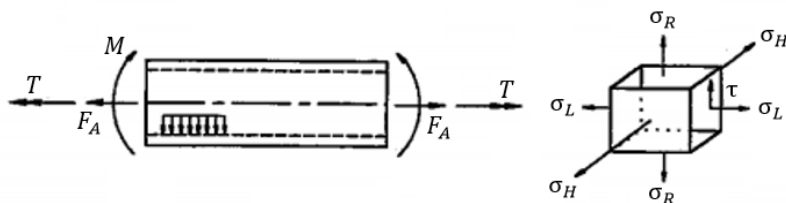
Mnohé projekčné firmy sa v súčasnej dobe špecializujú na inžinierske riešenia návrhov potrubných trás. Pri samotnom návrhu potrubia je dôležité vychádzať z teoretických a praktických poznatkov hydrodynamiky, prestupu tepla, konštrukčných materiálov a konštrukcie samotných zariadení. Pri riešení sa vychádza z noriem a overených postupov, ktoré sa verifikujú pomocou výpočtových programov.

Potrubie je možné klasifikovať, ako technický aparát, resp. špecializovaný dopravný prostriedok, ktorý je zložený z tesne spojených rúr. Potrubie je obvykle určené k doprave kvapalín, plynov a rôznych sypkých materiálov (prípadne ich vzájomných zmesí). Potrubím je však možné prepravovať aj drobné predmety. Potrubie musí byť v prvom rade nepriepustné, obvykle máva technické zariadenia, ktorými reguluje tok hmoty potrubím a podobne. Uloženie potrubia sa volí tak, aby bolo chránené pred vonkajším mechanickým poškodením a v prípade kovových potrubí taktiež pred možnou koróziou. Potrubie slúži taktiež na prenos tepelnej energie, ktorá je vždy viazaná na médium. Takéto potrubie býva chránené pred nežiadúcou stratou prenášaného tepla do okolia izoláciou.

Pri projektovaní potrubia musí inžinier/projektant porozumieť chovaniu systému pri predpokladaných zaťaženiach, ako aj prispôbeniam sa požiadavkám a zjednodušeniam, ktoré mu ukladajú normy (ASME B31.3, EN 13 480). Správanie sa systému tvoreného z rúr, tvaroviek, ventilov, ohybov, atď. možno kvantifikovať pomocou súhrnných hodnôt mnohých fyzikálnych parametrov, ktorými sú zrýchlenie, posun, vnútorné sily a momenty, napätia a vonkajšie reakcie vyvíjané pri pôsobení zaťaženia. Dovoľená hodnota pre každý z týchto parametrov sa stanoví po preskúmaní vhodných kritérií určených normou [1].

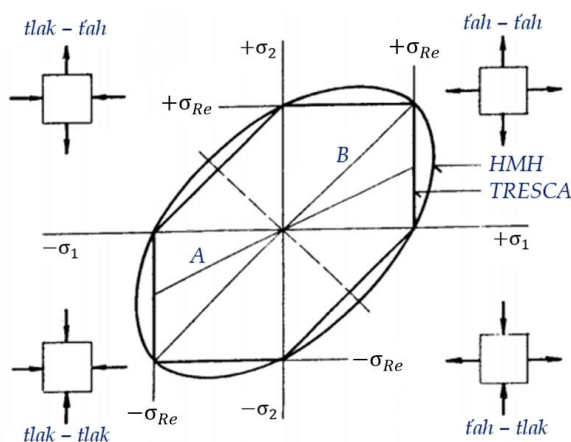
1. NAPÄŤOVÉ STAVY V POTRUBÍ

V praxi sú potrubia vystavené pôsobeniu všetkých druhov napätí, ktorými sú normálové, pozdĺžne (σ_L), napätie v priečnom smere (σ_H), radiálne (σ_R) a strihové napätie. Ak by sme zo steny potrubia najviac namáhaného bodu vyrezali časť v podobe kocky, rozdelenie napätí by vyzeralo nasledovne.



Obr. 1: Trojosová napätosť znázornená na vybranom elemente z časti potrubia [2]

K daným napätostným stavom máme na porovnanie len jednu hodnotu mechanických vlastností konštrukčného materiálu a tou je napätie získané z jednoosovej skúšky ťahom, teda napätie na medzi klzu. V inžinierskej praxi sa preto na výpočet viacosovej napätosti využíva podmienka najväčšieho šmykového napätia (Tresca) alebo podmienka rovnosti pretváratej práce na zmenu tvaru (HMH). V potrubných riešeniach je častejšie používaná práve Trescova teória maximálneho šmykového napätia, ktorá dáva do súvisu jednoosovú napätosť s viacosovou napätosťou. Po aplikácii Trescovej teórie dôjde k medznému stavu a k začiatku plastickej deformácie vtedy, keď sa maximálne šmykové napätie rovná polovici normálového napätia v ťahu. Inými slovami, keď materiál, z ktorého je potrubie vyrobené dosiahne hodnotu medze klzu. V prípade, že hodnota predstavujúca výsledné napätie leží vo vnútri Trescovho šesťuholníka, stav plasticity sa nedosiahol. Vnútro Trescovho šesťuholníka teda predstavuje bezpečnú oblasť namáhania, v prípade, ak sa za hodnotu hlavných napätí dosadí dovolené napätie.



Obr. 2: Trescov šesťuholník [3]: A - valcová škrupina; B - guľová škrupina

2.1 Rozdelenie zaťažení pôsobiacich na potrubie

Jednotlivé zaťaženia pôsobiace na potrubie sa rozdeľujú podľa kritéria prípustnosti namáhání a stability (napr. pružná analýza) [2]:

- **Trvalé zaťaženia** (sustained loads – SUS): Tieto zaťaženia zahŕňujú zaťaženie od vnútorného tlaku (vrátane axiálnej sily vytváranej kompenzátorom, alebo silového účinku vytváraného pri výtoku média do voľného priestoru) a zaťaženia od hmotnosti potrubia, média a izolácie. V prípade, že je potrubie pod zemou, pôsobí zaťaženie od zeminy. Tieto zaťaženia patria medzi primárne napätia.
- **Zaťaženie teplotnou dilatáciou** (extension loads – EXT): Patria sem zaťaženia vyvolané tepelnou rozťažnosťou potrubia a zaťaženie v dôsledku pohybu hrdiel aparátov a iných zariadení, spôsobených tepelnou expanziou. Tieto zaťaženia nazývame tiež sekundárne napätia.
- **Príležitostné zaťaženia** (occasional loads - OCC): Zaťaženie od vetra a snehu sú typickými predstaviteľmi OCC a kombinujú sa so silovými prejavmi dynamických javov ako je napr. hydrodynamický ráz, výbuch, zemetrasenie. Spôsobujú primárne napätia, preto sa môžu kombinovať s trvalými napätiami.

2. POROVNANIE PODKLADOV V PODOBE MODELOV A EXISTUJÚCEHO STAVU

Poklady v podobe výpočtových modelov realizovaných v programe CAESAR II (č.045 a č.048) boli dodané spoločnosťou Duslo a.s., na základe ktorých sa preukázali značné rozdiely medzi skutkovým stavom a namodelovanou situáciou. Pri obhliadke sa začalo pri výmenníku tepla, na ktoré nadväzovali 2 potrubné trasy.

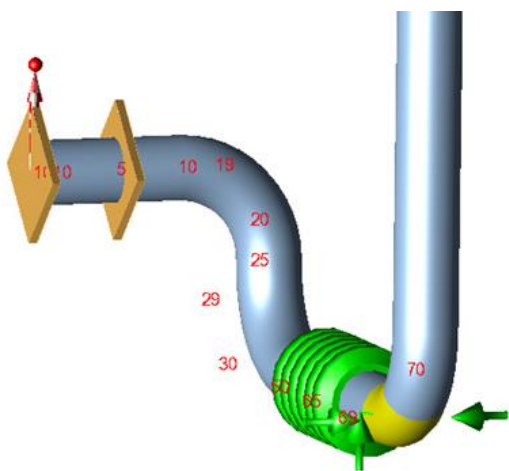


Obr. 3: Výmenník tepla [1]

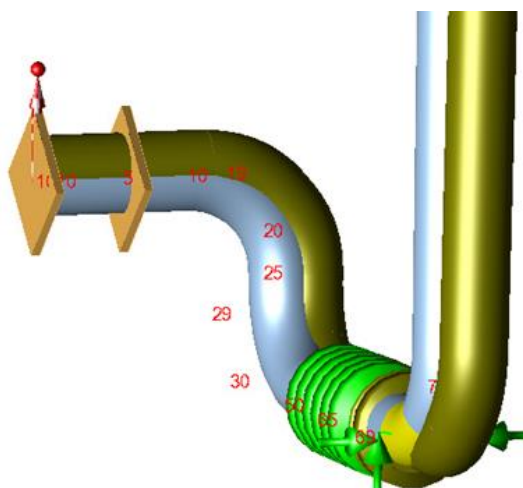


Obr. 4: Kritické miesto úniku syntézneho plynu v blízkosti ventilu [1]

Na obrázku 3 je znázornený výmenník tepla, ktorý je ukotvený pomocou sedlovej podpory tzn., že za prevádzky bude dilatovať v kladnom smere osi y (rastie smerom nahor). Potrubná trasa vychádzajúca z výmenníka tepla v horizontálnej rovine dilatuje pri teplotnej expanzii nie len v kladnom smere osi y , ale tiež v kladnom smere osi x . Pokračujúc ďalej po potrubnej trase sa mení silové pôsobenie a to v zápornom smere osi y (potrubie je tlačené smerom k zemi) a súčasne v kladnom smere osi x .



Obr. 5: Namodelovaná potrubná trasa (sivá farba) [1]



Obr.6: Tepelná expanzia potrubnej trasy (žltá farba) pri prevádzkových podmienkach [1]

Predmetné netesnosti na nasledujúcom prírubovom spoji armatúry môžu byť vyvolané existujúcimi zarážkami na opornej nohe kolena v bode 69 výpočtového modelu. Tu by podľa reálneho stavu mala figurovať oporná noha „dummy leg“, ktorá by reálnejšie zobrazovala skutkový stav a bola by súčasťou výpočtov jednotlivých stavov zaťaženia a posunutia, ku ktorým tu jasne dochádza. V modeli sa tu počíta len s odsadením zarážok o 5 mm v oboch smeroch x , avšak vychádzajúc z reálneho stavu sa potrubie oprie o zarážku v kladnom smere osi x o spomínaných 5 mm maximálne. Tendencia aj na ďalší posuv sa tu dá reálne pozorovať. Otázkou však ostáva aký vplyv by to zanechalo na spomínanú armatúru a jej prírubové spoje.



Obr. 7: Oporná noha „dummy leg“ figurujúca v bode 69 výpočtového modelu programu CAESAR II [1]

Rovnaké netesnosti sa pozorovali aj na prírubovom spoji klapky na potrubnej vetve, ktorá tvorila „bypass“. Pozorovaním sa zistilo, že v smere prúdenia média dochádza k posuvu potrubia najprv v zápornom smere osi y a zároveň v kladnom smere x . Pohon samotnej klapky je pevne ukotvený a keďže sa nespozoroval pohyb ukotvenia, možno ho považovať za pevný bod.

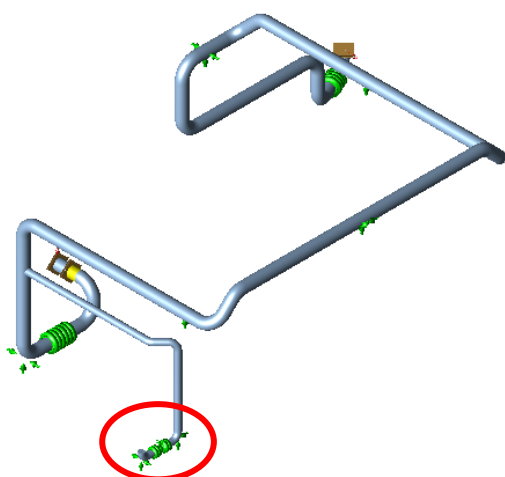


Obr. 8: Pohľad na klapku [1]

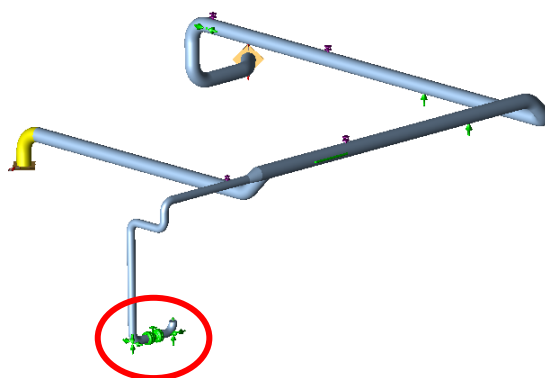


Obr. 9: Detailný pohľad na ukotvenie potrubia [1]

V mieste úniku syntézneho plynu na spomínanej klapke sa výpočtové modely delia a k doteraz analyzovanému modelu č. 045 sa pridá model č. 048. V prvom kroku je dôležité zistiť, aké momenty a sily sa nachádzajú v rovnakých miestach jednotlivých modelov.



Obr. 10: Model č.045 [1]



Obr.11: Model č.048 [1]

Momeny a sily v okolí klapky sú uvedené v tabuľke 1, vyjadrujúcej značné rozdiely v hodnotách totožných bodov v rozdielnych modeloch. Z tohto dôvodu nebolo rozdeleniu

výpočtového modelu správne, nakoľko sa v rovnakých bodoch modelov nachádzajú rozdielne momenty a sily, ktoré mohli v globálnom meradle ovplyvniť pevnosť samotných prírub. V nasledujúcom kroku boli modely podrobené analýze Peq, ktorej výsledkom bude vyhodnotenie prírub z hľadiska dovoleného namáhania.

Tabuľka 1: Momenty a sily v okolí klapky TV-5052

		číslo bodu model 045	číslo bodu model 048	F_x [N]	F_y [N]	F_z [N]	M_x [N.m]	M_y [N.m]	M_z [N.m]
model I 045	W+D1 +T1+P 1	508	288	16465	-26525	2697	20832	18618	4436
		538	258	9487	-14823	4530	4520	2556	-1059
model 048	W+D1 +T1+P 1+H	508	288	9805	30081	-4371	9678	-3736	-3736
		538	258	1220	-18794	13050	37930	-16261	-3271

Peq– Kellogg equivalent pressure method (Kelogova metóda ekvivalentného tlaku), pri ktorej sa axiálna sila F a ohybový moment M_b prevedú na ekvivalentný tlak p_e , je jednou z najpoužívanějších hodnotení na vykonanie kontroly prírubového spoja od vonkajšieho zaťaženia.

Prírubové spoje v okolí armatúry a klapky boli podrobené analýzám, z ktorých jednoznačne vyplynul nevyhovujúci stav prírubových spojov. V prípade, že by sa dané analýzy vykonali pri prvotných výpočtových modeloch č.045 a č.048, mohli by sa hľadať možné riešenia vyhovujúcich stavov už pri realizácii stavby.

2.1 Výsledky komparatívneho porovnania

Záverom samotného porovnania stavby, t.j. reálneho stavu a podkladov v podobe výpočtových modelov, sú mnohé rozdiely, ktoré prispeli k súčasným pozorovaným únikom a netesnostiam. Je to spôsobené tým, že pri modelovaní sa vyskytli chyby:

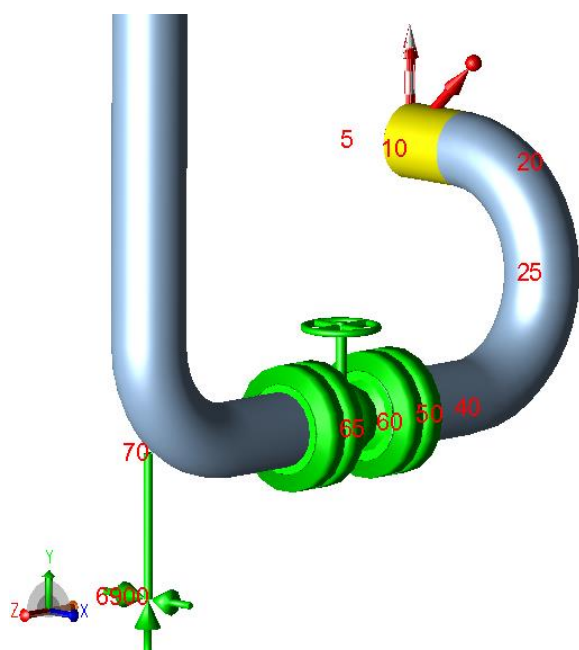
- v ukotvení potrubia,
- v dorazoch,
- chybným rozdelením modelu na dve časti,
- zanedbaním termálneho posuvu pri potrubnej trase v smere x ,
- zanedbaním prídavného zaťaženia na armatúre a klapke od pohonu,
- absenciou analýz prírubového spoja podľa EN-1591 a Peq metódy.

Toto všetko jasne ovplyvnilo sily a posunutia pri vyhodnocovaní zaťažujúcich stavov. Nasledujúcim krokom by malo byť spojenie modelov v jeden celok a rovnaké analýzy pre prírubové spoje.

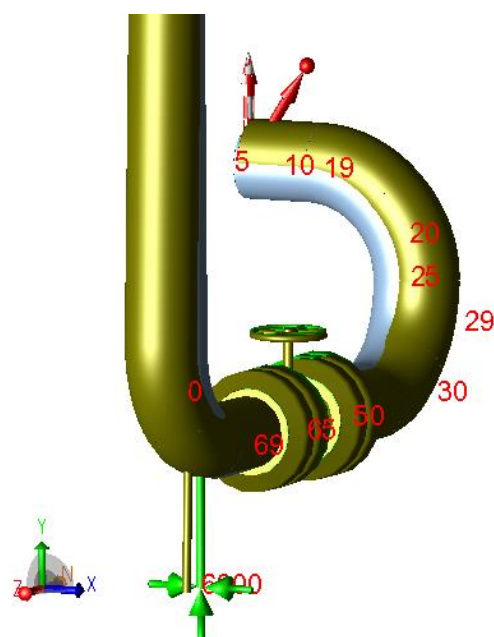
3. VYTVORENIE NOVÉHO MODELU

Vychádzajúc zo skutkového stavu a podkladov v podobe izometrií a existujúcich modelov sa uskutočnili práce na vytvorení nového modelu, ktorý by spájal modely č. 045 a č. 048, pojednával by o reálnom vyhotovení, prípadne úpravách, ktoré sa časom mohli na prevádzke realizovať a nie sú zakomponované, či už v modeli alebo v izometriách.

Potrubná trasa, ktorá sa v horizontálnej rovine napája na hrdlo výmenníka tepla, je v pripojovacom bode definovaná zaťažením hrdla a posunutím. Vyhodnotenie hrdla zariadenia býva jednou z najdôležitejších úloh pri analýze potrubného systému. Zaťažieniam, ktorým sú hrdlá vystavené, musia byť nižšie ako dovoľené príslušné zaťaženie. Program Caesar II umožňuje presne definovať celkové limity zaťažení. V novom modeli potrubia sa uvažuje o posuve pripojovacieho bodu nie len v kladnom smere osi y , ale rovnako tak aj v kladnom smere osi x , ktorý je spôsobený tepelnou rozťažnosťou.

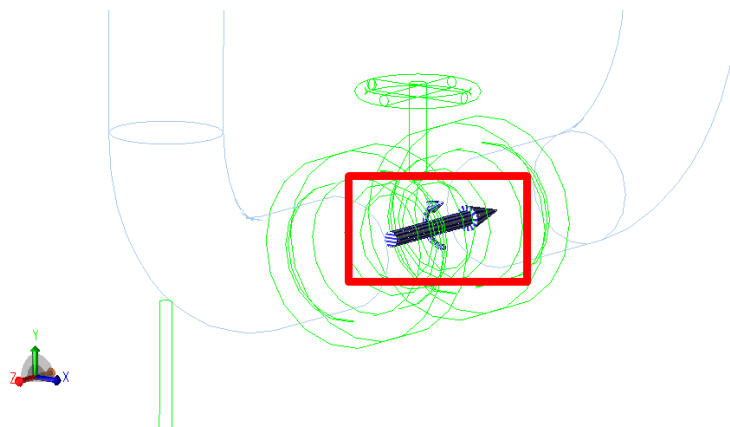


Obr. 12: Potrubná trasa napojená na hrdlo B1 výmenníka tepla [1]



Obr. 13: Potrubná trasa za studena (sivá farba) a pri prevádzkových podmienkach (žltá farba) [1]

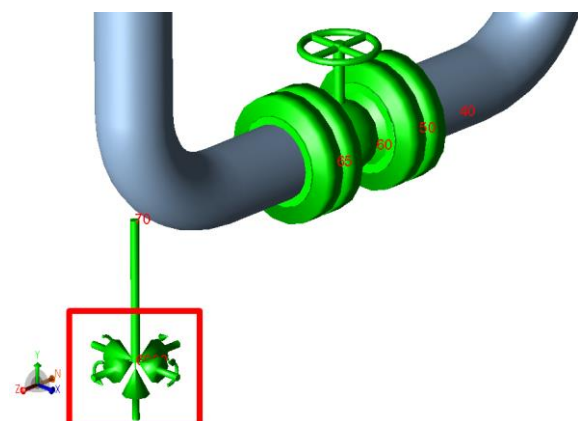
Na armatúre sa uvažovalo s krútiacim momentom, ktorý sa určil výpočtom zo zadanej hodnoty hmotnosti, gravitačného zrýchlenia a dĺžky ramena.



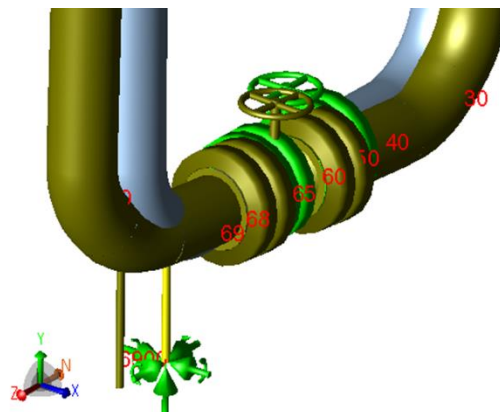
Obr. 14: Armatúra s pridaným krútiacim momentom od pohonu [1]

3.1 Vytvorenie porovnávacieho riešenia kritického bodu

Porovnávacie riešenie kritického bodu vzniklo s cieľom namodelovania situácie, ktorá by zhodnocovala technické riešenie výpočtových modelov č. 045 a č. 048 spolu. Pri tomto riešení bol obmedzený pohyb opornej nohy v smere osi x a taktiež obmedzená rotácia v smere rX a rZ , ktorú má oporná noha tendenciu vytvárať. Takto bude vytvorený akýsi pomyslený pevný bod, ktorý je častým riešením takýchto úsekov pri projektovaní.



Obr. 15: Oporná noha na trase GSY-12002 so zamedzením pohybu v smere osi x a rotácie v smere rX a rZ [1]



Obr.16: Sivá farba predstavuje potrubie za studena a žltá je verzia potrubia, ktorá sa dosiahne pri prevádzkových hodnotách 4 (OPE) [1]

Metóda Peq

Po vytvorení takéhoto porovnávacieho modelu bol prírubový spoj v blízkosti armatúry podrobený analýze Peq – Kellogg equivalent pressure method, výsledkom ktorej je tabuľka 2, v ktorej sa zobrazujú vstupné položky spolu s vypočítanými momentmi a napätiami, alebo ekvivalentným tlakom pre každý bod, v ktorom sa požadovalo vyhodnotenie prírubového spoja podľa tejto metódy.

Tabuľka 2: Výsledky analýzy Peq pre prírubové spoje v okolí armatúry

Bod	Axiálna sila [N]	Ohybový moment [N.m]	Ekvivalentný tlak [bar]	Teplota [°C]	Dovolený tlak/ zaťaženie [bar]	Pomer [%]
40	77264	97458	192,85	400	169,54	113,75
50	77264	8855	190,02	400	169,54	112,08
60	77264	112726	197,02	400	169,54	116,62
65	77264	160457	212,90	400	169,54	125,58

Vychádzajúc z výsledkov tabuľky 2 je zrejmé, že ani jedna z prírub nie je vyhovujúca zaťažujúcemu stavu pri prevádzkovej teplote 400 °C. Z jednotlivých hodnôt pomerov je príruha nachádzajúca sa za armatúru na tom podstatne horšie, ako príruha pred ňou, o čom svedčí aj skutočnosť, že na tejto strane armatúry sa v skutočnosti únik syntézneho plynu pozoroval.



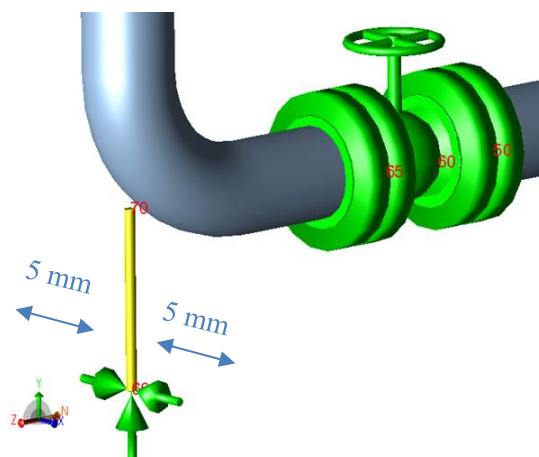
Obr. 17: Pohľad na prírubový spoj armatúry HV-5051 s označením miesta netesnosti [1]

Pre porovnanie výsledkov sa zvolila na analýzu prírubového spoja aj metóda podľa EN-1591. Táto metóda je podstatne komplexnejšia, ale zároveň aj menej konzervatívnejšia. Zo vstupných údajov rozmerov príruby, tesnenia, skrutiek a taktiež zaťažujúcich stavov (v tomto prípade sme zvolili prevádzkový stav pri teplote 400 °C) bol zvolený bod 65, ktorý sa pri analýze Peq vyhodnotil ako najhorší. Výsledkom metódy podľa EN-1591 je 12 % preťaženie prírubového spoja v bode 65. Rovnako tak, ako pri analýze Peq môžeme konštatovať, že príruha nespĺňa normami stanovené hodnoty dovoleného zaťaženia pri prevádzkových podmienkach.

3.2 Optimalizačné riešenie kritického bodu

Pri hľadaní novej alternatívy a celkového zlepšenia sa vychádzalo z najkritickejšieho bodu, za ktorý sa pokladala oporná noha v dôsledku, ktorej sa potrubie nemohlo pohnúť ani

rotovať. Zmena v modeli predstavovala odstránenie blokácie rotácie a vytvorenie dorazov v smere osi x o 5 mm.



Obrázok 18: Alternatívne riešenie opornej nohy [1]

Po vytvorení dorazov boli v prvom kroku otestované pripojovacie body na výmenníku tepla a tiež na čpavkovom reaktore. Výsledkom čoho bolo, že daná zmena v modeli neidentifikovala značné rozdiely v silách a momentoch jednotlivých pripojovacích bodov a teda model možno považovať, čo sa týka síl a momentov, za vyhovujúci. Následne na to sa prešlo k rozboru opornej nohy a tiež príruby za armatúrou. Zo silovej analýzy vyplynulo, že v mieste ukotvenia opornej nohy sa sily v smere osi x znížili o takmer 92 % z pôvodnej sily cca 38000 N na silu 2800 N. Pôvodnú silu sme v tomto prípade považovali za silu, ktorú sme dostali pri výpočte konzervatívnejšej možnosti riešenia modelu a samotný pokles síl možno pripísať zmenám vykonaným v modeli.

Na overenie zlepšenia sa pristúpilo k analýze Peq, kde bol vykonaný výpočet prírub v okolí kritického bodu. V najkritickejšom bode príruby v nóde 65 hodnoty pomeru ekvivalentného a dovoleného tlaku klesli zo 125 % na 103 %. Z analýzy podľa EN-1591 taktiež vyplýva, že zmeny vykonané v ukotvení opornej nohy mali vplyv na pevnosť prírubového spoja, ktorá stúpala o 9 %.

3.3 Odporúčenia na zlepšenia stavu

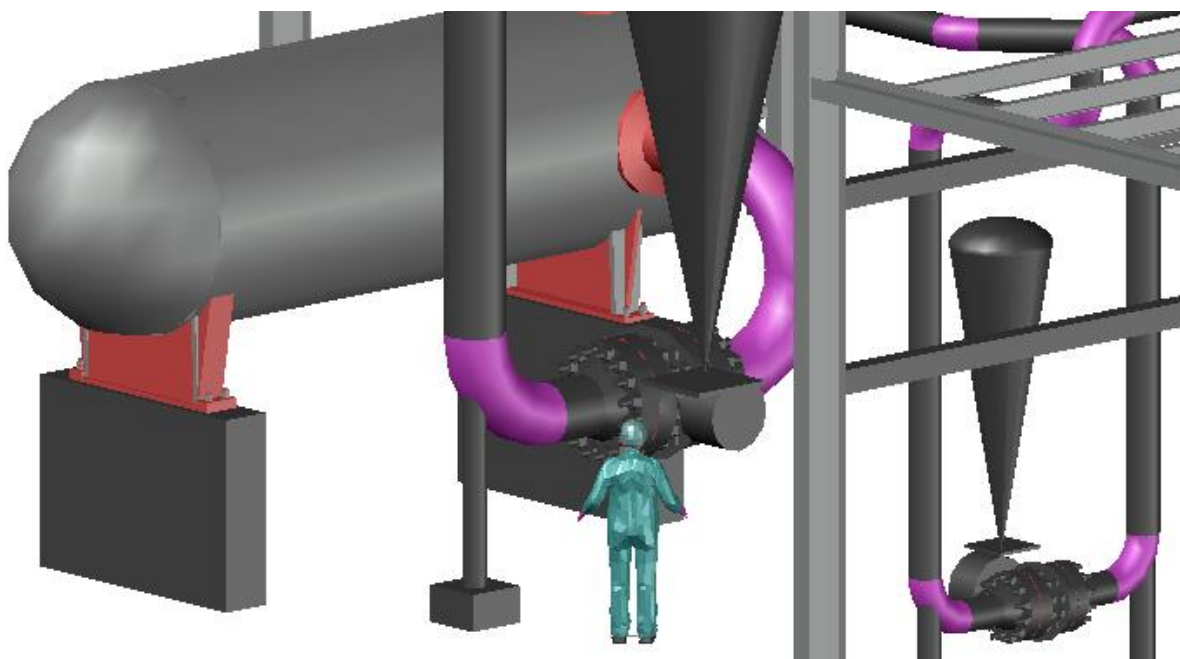
Z dôvodu vyššie uvedených analýz, ako aj komparatívneho porovnania modelu a skutkového stavu, sa dospelo k nasledujúcim odporúčeniam, ktoré by vo výsledku mohli dopomôcť k zlepšeniu stavu na prevádzke Čpavok 4:

- opraviť existujúce dorazy na oporných nohách vetiev GSY-12002 a GSY-10102 v rozmedzí 5 - 10 mm tak, aby pri prevádzkových podmienkach mala oporná noha vôľu 5 mm,
- skontrolovať prítomnosť teflónových podložiek pod opornými nohami, ktorých prípadná absencia sťažuje pohyb a rotáciu opornej nohy a taktiež ovplyvňuje pevnostné výpočty,

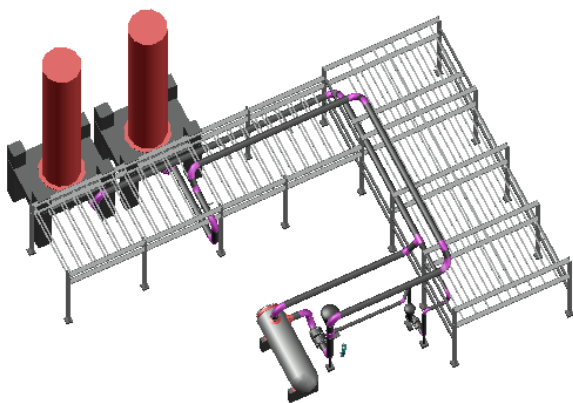
- z dlhodobého hľadiska zapracovať do firemných štandardov (Duslo a. s.), ktoré sa budú vyžadovať od projekčných organizácií pri projektovaní potrubných systémov, verifikáciu prírubových spojov podľa analýzy Peq prípadne EN-1591.

4. PRIESTOROVÝ MODEL RIEŠENÉHO POTRUBIA

Po namodelovaní a odladení modelu v programe Caesar II, po ktorých nasledovala rada pevnostných výpočtov, sa pristúpilo k vytvoreniu priestorového modelu potrubných trás na prevádzke Čpavok 4. Projekčná časť sa realizovali v programe CADWorx, kde bol okrem spomenutých trás vymodelovaný aj výmenník tepla a čpavkové reaktory. Súčasťou priestorového modelu je aj oceľová konštrukcia, ktorá v tomto prípade nemusí zodpovedať skutkovému stavu nachádzajúcemu sa na prevádzke Čpavok 4. Slúži na vyobrazenie zachytenia hmotnosti potrubia v priestore prostredníctvom oporných prvkov, ako sú závesy a podpery, ktoré sú taktiež súčasťou izometrických výkresov jednotlivých potrubných trás, ktoré sú súčasťou príloh.



Obr. 19: Pohľad na výmenník tepla 010-E-500 a potrubné trasy GSY-12002 s armatúrou HV-5051 a GSY-10102 s klapkou TV-5052 [1]



Obr. 20: Komplexný pohľad vybranej časti prevádzky Čpavok 4 [1]



Obr. 21: 3D model v mierke 1:50 zhotovený 3D tlačou [1]

5. ZÁVEREČNE POZNÁMKY

Z komparatívneho porovnania získaných modelov od spoločnosti Duslo, a.s. a skutkového stavu, vyplynuli značné rozdiely a nezrovnalosti, či už v uloženiach potrubia, existujúcich zarážkach, zanedbaní termálneho posuvu na potrubnej trase v smere x , chybným rozdelením modelu na dve časti, zanedbaním prídavného zaťaženia na armatúre a klapke od pohonu a absencia analýzy prírubového spoja, ktorá by vo výsledku predikovala zlyhanie tesnosti. Preto sme sa zamerali na vytvorenie komplexného návrhu vysokotlakového potrubia v programe Caesar II. V ňom sa realizovali pevnostné analýzy potrubných vetiev, ako celku, ako aj analýza kritických bodov, v ktorých sa použila na rozbor prírubového spoja metóda podľa EN-1591. Pri rozbere sa vytvorili dve modelové skutočnosti. Prvá z nich, porovnávacia, sa vo výsledku ukázala ako stav, ktorý sa pozoruje na prevádzke Čpavok 4 v súčasnosti, t.j. dochádza pri ňom a pri prevádzkových podmienkach k netesnostiam a úniku syntézneho plynu. Pri analýze bolo zistené, že naprojektovanie takéhoto porovnávacieho modelu, by signalizovalo 12 % preťaženie pevnosti prírubového spoja za armatúrou. Pristúpilo sa teda k vytvoreniu optimalizovaného modelu, ktorý vo výsledku analýzy podľa EN-1591 signalizoval iba 3 % preťaženie prírubového spoja za spomínanou armatúrou. Zhrnuli sme teda určité odporúčenia na zlepšenie pozorovaných stavov na prevádzke Čpavok 4, ktoré zahŕňajú opravu existujúcich dorazov na oporných nohách potrubných vetiev v rozmedzí 5 - 10 mm, tak aby pri prevádzkových podmienkach mala oporná noha vôľu 5 mm. Ďalším odporúčením je aj kontrola prítomnosti teflónových podložiek pod opornými nohami, ktorých prípadná absencia sťažuje pohyb a rotáciu opornej nohy a taktiež ovplyvňuje pevnostné výpočty.

Pre lepšiu orientáciu bol vytvorený priestorový model potrubia, ktorého súčasťou sú aparáty a oceľová konštrukcia, ktorá v tomto prípade nemusí zodpovedať skutkovému stavu, slúži len na vyobrazenie zachytenia hmotnosti potrubia v priestore prostredníctvom oporných prvkov, ktorými sú závesy a podpery. Súčasťou vytvorenia priestorového modelu,

realizovaného v programe CADWorx, bolo aj vytvorenie izometrických výkresov jednotlivých potrubných trás.

Táto práca bola úspešne obhájená ako diplomová práca na Ústave procesného inžinierstva Strojníckej fakulty STU v Bratislave v študijnom programe Chemické a potravinárske stroje a zariadenia v roku 2020 a bola ocenená Cenou SSU za diplomovú prácu v roku 2020 na konferencií Národné fórum údržby 2021 pod záštitou Slovenskej spoločnosti údržby.

POĎAKOVANIE

Poďakovanie patrí spoločnosti Duslo, a.s. za vytvorené podmienky pri realizácii tejto práce a Ministerstvu školstva, vedy výskumu a športu Slovenskej republiky v rámci riešenia grantu KEGA 036STU-4/2020 pri tvorbe modelu pomocou 3D tlače.

Použitá literatúra

- [1] Kohútová, M.: Návrh potrubia na prevádzke Čpavok 4. Diplomová práca. Bratislava: Strojnícka fakulta STU v Bratislave, 2020.
- [2] COADE: Pipe Stress Analysis Seminar Notes. USA, 1985-1998.
- [3] Peciar, M., Jaššo, I.: Konštrukcia výrobných zariadení. STU, Bratislava, 2000. ISBN 80- 227 13724



Ing. Michaela Kohútová, doc. Ing. Martin Juriga, PhD., doc. Ing. Peter Peciar, PhD.
Strojnícka fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave,
Námestie slobody 17, 812 31 Bratislava, Slovenská republika
michaela.kohutova@stuba.sk, martin.juriga@stuba.sk



Ing. Gabriel Zsilinszki, Ing. Peter Brunai
Duslo, a.s.
Administratívna budova, ev. č. 1236927 03 Šaľa, Slovenská republika