



SLOVENSKÁ  
SPOLOČNOSŤ  
ÚDRŽBY

# ÚDRŽBA

**MAINTENANCE - INSTANDHALTUNG**

**VYDÁVA SLOVENSKÁ SPOLOČNOSŤ ÚDRŽBY**



# ÚDRŽBA 2/2021

## OBSAH

Šéfredaktor: doc. Ing. Juraj Grenčík, PhD.

Redakčná rada: Ing. Michal Abrahámfy  
Ing. Dušan Belko  
Ing. Peter Darvaši  
Ing. Gabriel Dravecký, PhD.  
Ing. Katarína Grandová  
prof. Ing. Hana Pačaiová, PhD.  
Ing. Marek Rentka  
Ing. Jan Vytřísal, MBA  
Ing. Michal Žilka

Vydavateľ: Slovenská spoločnosť údržby  
Kocel'ova 15  
815 94 Bratislava

<b>Analýza netesnosti prírubového spoja na prevádzke Čpavok 4</b>	1
Michaela Kohútová, Martin Juriga, Peter Peciar, Peter Brunai, Gabriel Zsilinszki	
<b>Preventívni údržba snižuje riziko kritické poruchy</b>	14
Václav Legát, Martin Pexa, Zdeněk Aleš, Jan Hroch	
<b>Oprava úniku prírodného potrubia kotlovej vody za prevádzky pri tlaku 17,0 MPa a teplote +145°C</b>	22
Jan Vytřísal	
<b>Praktické skúsenosti a postrehy z oblasti použitia priemyslového tesnenia II</b>	30
Martin Tesař	
<b>Obrábanie na mieste</b>	38
Michal Abrahámfy	

Elektronický časopis

Ročník vydania: XXI

Periodicita nepravidelná

ISSN 2729-8396

# 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 úniku 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**

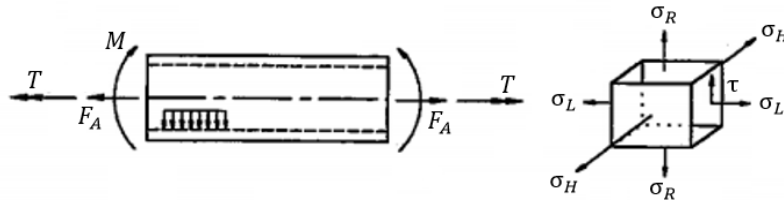
Mnohé projekčné firmy sa v súčasnej dobe špecializujú na inžinierske riešenia návrhov potrubných trás. Pri samotnom návrhu potrubia je dôležité vychádzať z teoretických a praktických poznatkov hydrodynamiky, prestupu tepla, konštrukčných materiálov a konštrukcie samotných zariadení. Pri riešení sa vychádza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

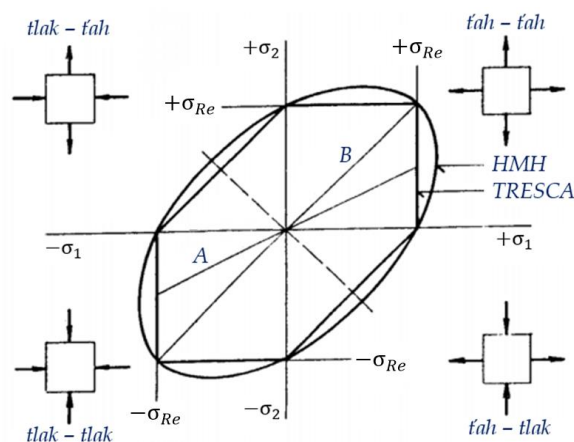
# 1. NAPĚŤOVÉ STAVY V POTRUBÍ

V praxi sú potrubia vystavené pôsobeniu všetkých druhov napätí, ktorými sú normálové, pozdĺžne ( $\sigma_L$ ), napätie v priečnom smere ( $\sigma_H$ ), radiálne ( $\sigma_R$ ) 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 pretváranej 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 rozdelia podľa kritéria prípustnosti namáhání a stability (napr. pružná analýza) [2]:

- **Trvalé zaťaženia** (sustained loads – SUS): Tieto zaťaženia zahrňujú zaťaženie od vnútorného tlaku (vrátane axiálnej sily vytváratej 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 teplotnou 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.

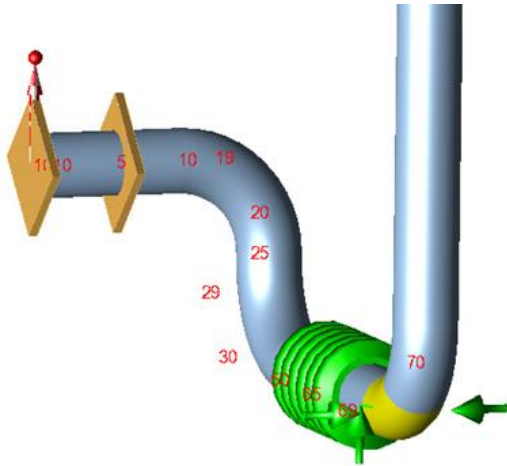


Obr. 3: Výmenník tepla [1]

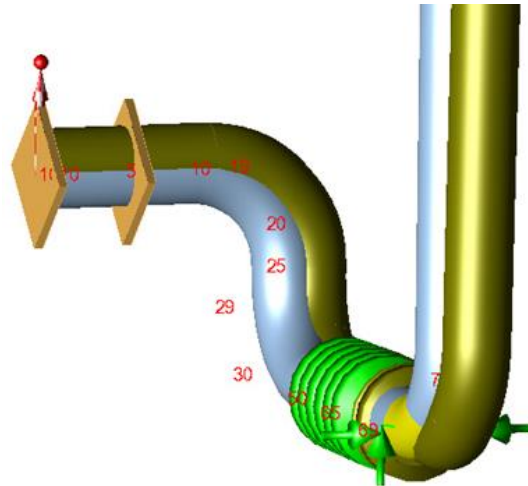


Obr. 4: Kritické miesto úniku syntézneho plynu v blízkosti ventilu [1]

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.

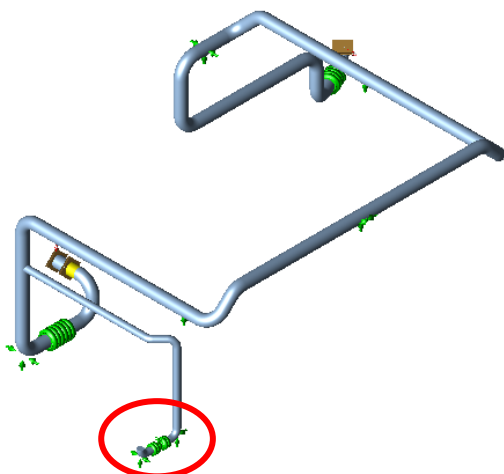


Obr. 8: Pohľad na klapku [1]

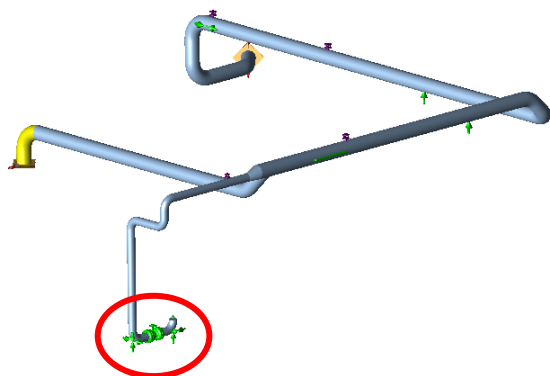


Obr. 9: Detailný pohľad na ukotvenie potrubia [1]

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]

Momenty 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 najpoužívanejších 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.

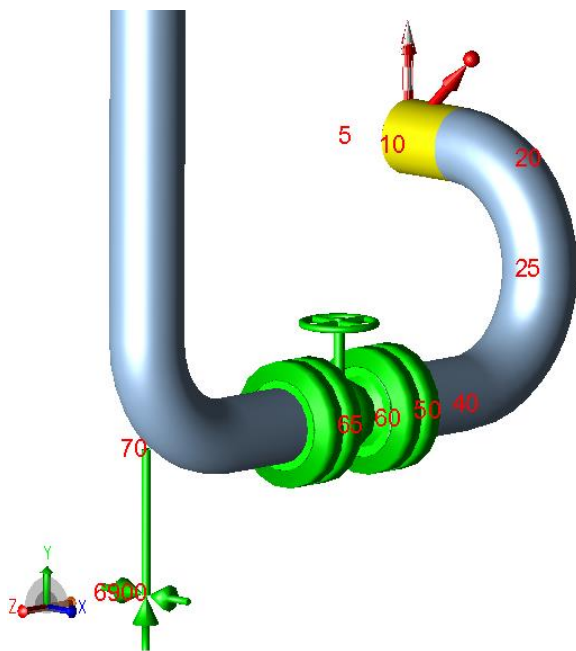
Toto všetko jasne ovplyvnilo sily a posunutia pri vyhodnocovaní zaťažujúcich stavov. Nasledujúcim krokom by malo byť spojenie modelov v jeden celok a rovnaké analýzy pre prírubové spoje.

## 3. VYTVORENIE NOVÉHO MODELU

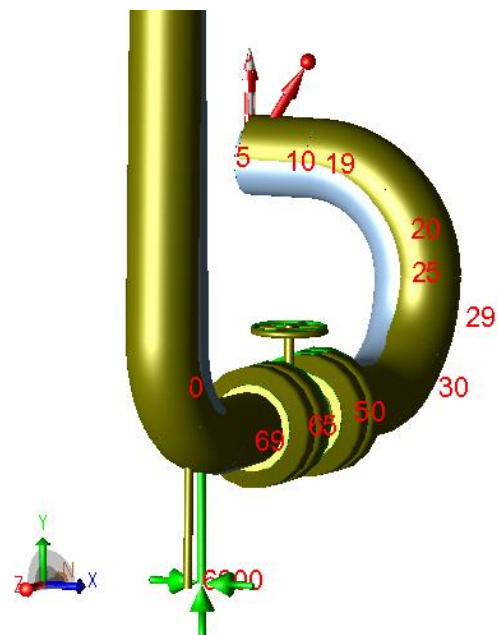


Vychádzajúc zo skutkového stavu a podkladov v podobe izometrií a existujúcich modelov sa uskutočnili práce na vytvorení nového modelu, ktorý by spájal modely č. 045 a č. 048, pojednával by o reálnom vyhotovení, prípadne úpravách, ktoré sa časom mohli na prevádzke realizovať a nie sú zakomponované, či 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 dovolené príslušné zaťaženie. Program Caesar II umožňuje presne definovať celkové limity zaťažení. V novom modeli potrubia sa uvažuje o posuve pripojovacie bodu nie len v kladnom smere osi  $y$ , ale rovnako tak aj v kladnom smere osi  $x$ , ktorý je spôsobený tepelnou rozťažnosťou.

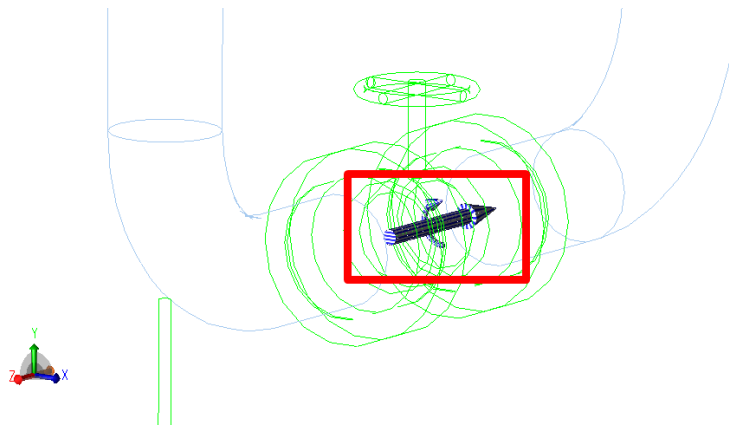


Obr. 12: Potrubná trasa napojená na hrdlo B1 výmenníka tepla [1]



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

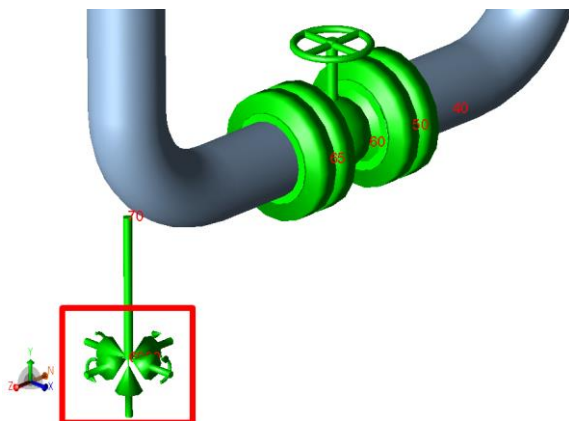
Na armatúre sa uvažovalo s krútiacim momentom, ktorý sa určil výpočtom zo zadanej hodnoty hmotnosti, gravitačného zrýchlenia a dĺžky ramena.



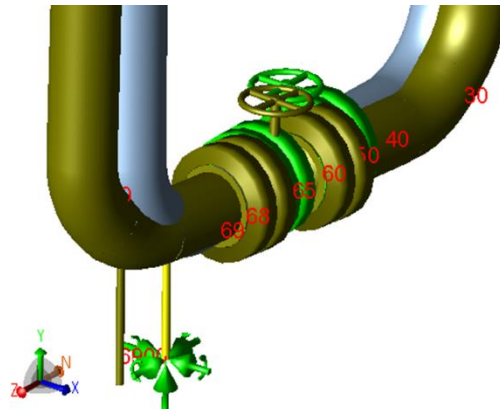
Obr. 14: Armatúra s pridaným krútiacim momentom od pohonu [1]

### 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	<b>113,75</b>
50	77264	8855	190,02	400	169,54	<b>112,08</b>
60	77264	112726	197,02	400	169,54	<b>116,62</b>
65	77264	160457	212,90	400	169,54	<b>125,58</b>

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.



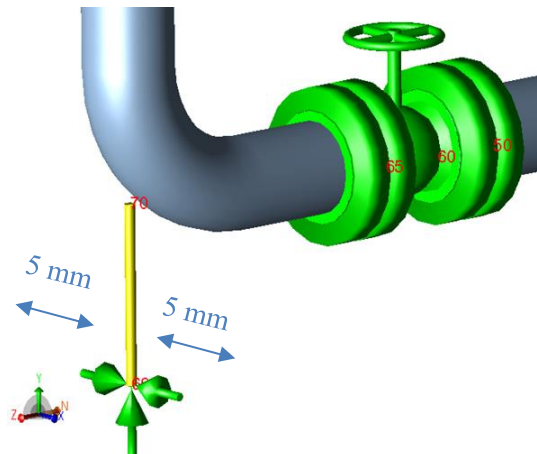
Obr. 17: Pohľad na prírubový spoj armatúry HV-5051 s označením miesta netesnosti [1]

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  $P_{eq}$ , kde bol vykonaný výpočet prírub v okolí kritického bodu. V najkritickesom 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 stúpila o 9 %.

### 3.3 Odporúčenia na zlepšenia stavu

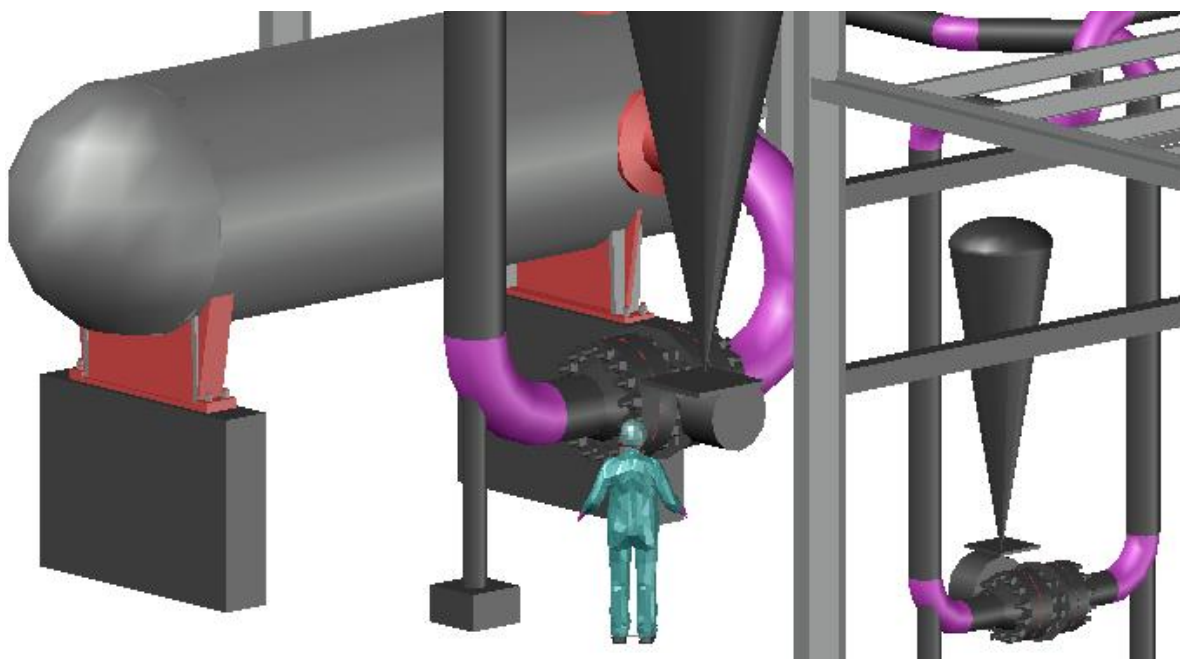
Z dôvodu vyššie uvedených analýz, ako aj komparatívneho porovnania modelu a skutkového stavu, sa dospelo k nasledujúcim odporučeniam, ktoré by vo výsledku mohli dopomôcť k zlepšeniu stavu na prevádzke Čpavok 4:

- 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,

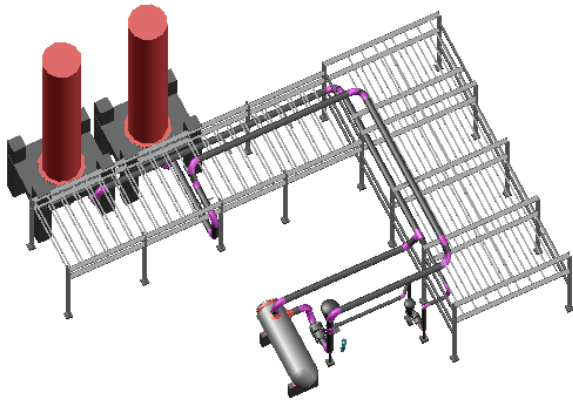
- z dlhodobého hľadiska zapracovať do firemných štandardov (Duslo a. s.), ktoré sa budú vyžadovať od projekčných organizácií pri projektovaní potrubných systémov, verifikáciu prírubových spojov podľa analýzy Peq prípadne EN-1591.

#### 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 tlačne.

## 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

# PREVENTIVNÍ ÚDRŽBA SNIŽUJE RIZIKO KRITICKÉ PORUCHY

Václav LEGÁT, Martin PEXA, Zdeněk ALEŠ, Jan HROCH

**Klíčová slova:** preventivní údržba, kritická porucha, ekonomická porucha

## **Anotace**

*Příspěvek je zaměřený na problematiku preventivní údržby se zacílením na snížení rizika kritické poruchy. Údržbu je nutné chápat jako zdroj výrobního procesu a ne jako nákladovou položku. Příspěvek popisuje, co může udělat údržba pro zvýšení bezporuchovosti a snížení rizika a tento efekt popisuje na příkladu ošetření rizika preventivní údržbou, zálohováním a ochranným krytem na systému čerpadel a reaktoru.*

## **1. Úvod**

**Bez údržby** majetku obecně a z toho výrobního zařízení zvláště se dříve nebo později **zastaví chod každé organizace**. Údržbu je proto nezbytné považovat jako **zdroj** výrobního procesu a nikoli pouze jako nákladovou položku. Údržba je svojí podstatou mnohem náročnější proces než samotná výroba. Proces výroby je zpravidla pečlivě naplánován, má do detailu rozpracované technologické postupy, plánování se řídí kusovníky nebo recepturami aj., kdežto údržba je proces velmi variabilní a většina rozhodování má intuitivní či expertní charakter, přičemž každé rozhodnutí ovlivňuje náklady. **Údržba po poruše** je ryze náhodný (stochastický) proces, ať již jde o okamžik vzniku poruchy a následné opravy nebo o její rozsah se všemi negativními dopady. Vzniklé poruchy zastavují výrobní proces, vyvolávají neplánované prostoje a následující výpadky výroby a havarijní a kritické poruchy přinášejí rizika nežádoucích událostí ekonomického (to vždy), environmentálního a/nebo bezpečnostního charakteru (zranění či úmrtí). Moderní údržba ke snížení těchto nežádoucích následků údržby po poruše přichází obecně s **údržbou preventivní** a v poslední době s údržbou **prediktivní** (založenou na diagnostice - monitorování a předpovědi technického stavu pro obnovu) s **proaktivním** vykonáváním (údržbář vyhledává příčiny poruchy, odstraňuje je a teprve potom provádí vlastní opravu poškozeného objektu) [6, 7]. Přední světoví odborníci v oblasti **Průmyslu 4.0** radí a doporučují aplikovat **prediktivní údržbu** všude tam, kde je to **technicky možné a ekonomicky výhodné**.

**Cílem** tohoto příspěvku je nejenom přiblížit manažerům údržby management rizik kritických poruch, ale také ukázat jak preventivní údržba a další opatření přispívají ke snížení rizik.

## **2. Definování rizika a jeho ošetřování**

**Riziko** je definováno jako *účinek nejistoty na dosažení cílů*. Účinek je odchylka od očekávaného – kladná a/nebo záporná. Cíle mohou mít různá hlediska (jako jsou finanční, zdravotní a bezpečnostní a environmentální cíle) a mohou být uplatňovány na různých úrovních (jako je strategická úroveň, úroveň týkající se celé organizace, projektu, produktu a procesu). Rizika jsou často charakterizována odkazem na potenciální události a následky nebo na jejich kombinaci. Riziko se často vyjadřuje jako kombinace následků události (včetně změn okolností) a s ní související možnosti výskytu. Nejistota je stav dokonce i částečného



nedostatku informací související s pochopením nebo znalostí události a jejích následků nebo možnosti výskytu [2] a [5]. Jiná norma [3] definuje **riziko** jako *kombinaci pravděpodobnosti výskytu poškození a závažnosti tohoto poškození*. Poznámka: V obvyklém případě, kdy lze závažnost poškození kvantifikovat, se místo „kombinace“ používá „součin“.

V naznačeném pojetí jde o kvantifikaci rizika kritické nebo havarijní poruchy jako nebezpečné události:

- **kritická porucha** je porucha, o které se usuzuje, že může způsobit úraz osob, značné materiální škody nebo může mít jiné nepřijatelné následky, nebo
- **havarijní porucha** je náhlá porucha, která končí úplnou neschopností objektu vykonávat požadované funkce a **velkými náklady** na odstranění následků [1].

Aktualizovaná norma [1] v souvislosti s výše uvedenými termíny definuje **kritičnost** poruchy nebo poruchového stavu jako *závažnost důsledku s ohledem na specifikovaná kritéria hodnocení*, což je jeden činitel rizika.

Riziko kritické poruchy  $R_{iskkp}$  je dáno v Kč vztahem

$$R_{iskkp}(t_p) = F_{kp}(t_p) * C_{kp} \quad (1)$$

kde:  $F_{kp}(t_p)$  je pravděpodobnost kritické poruchy v době provozu do preventivní údržby  $t_p$  a  $C_{kp}$  je ztráta (ocenění závažnosti) způsobená kritickou poruchou v Kč

**Jednotkové riziko** kritické poruchy  $r_{iskkp}$  v Kč/t (např. Kč/h) lze vyjádřit vztahem

$$r_{iskkp} = \lambda_{kp} * C_{kp} \quad (2)$$

kde:  $\lambda_{kp}$  je intenzita kritických poruch a  $C_{kp}$  je ztráta (ocenění závažnosti) způsobená kritickou poruchou v Kč

**Kumulativní riziko** kritické poruchy  $R_{iskkp}$  v Kč

$$R_{iskkp} = \lambda_{kp} * t_{pú} * C_{kp} \quad (3)$$

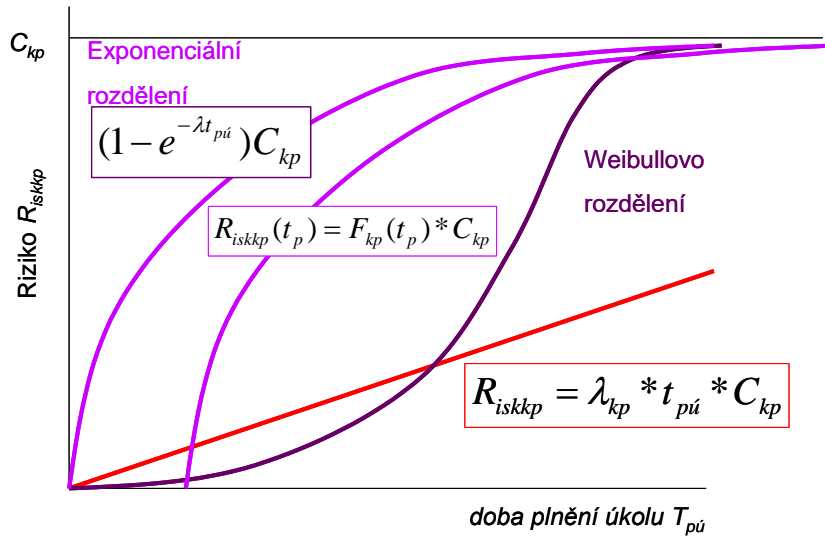
kde  $t_{pú}$  je doba plnění úkolu a je  $\ll$  MOTBCF (střední doba provozu mezi kritickými poruchami),  $\lambda_{kp}$  je intenzita kritických poruch a  $C_{kp}$  je ztráta (ocenění závažnosti) způsobená kritickou poruchou v Kč

**Poznámka:** Rovnice (2) a (3) platí pro exponenciální rozdělení a konstantní intenzitu kritických poruch.

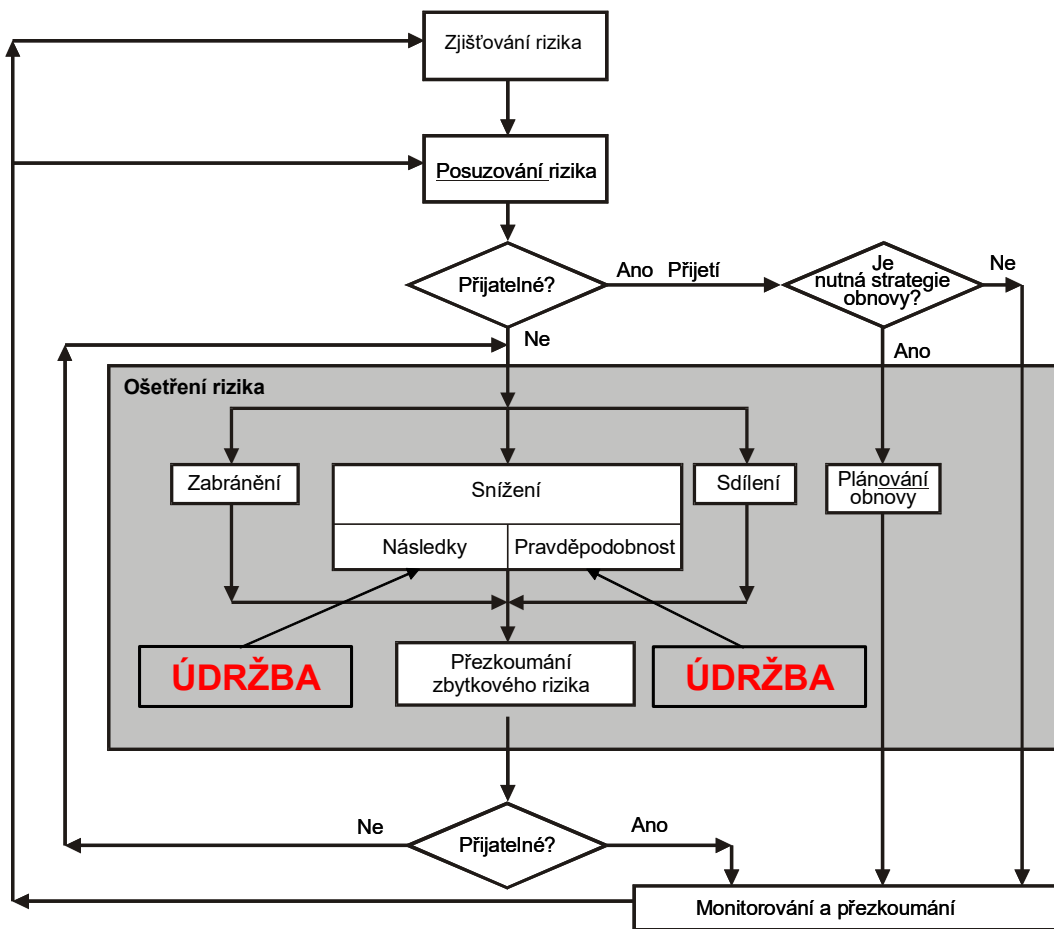
Grafické znázornění rovnic (1), (2) a (3) je uvedeno na obr. 1. Z tohoto obrázku je patrné, že čím je delší doba plnění úkolu, tím velikost rizika roste. Z obrázku je také zřejmé, že při použití rovnice (3) pro  $t_{pú} = MOTBCF$  a pro exponenciální rozdělení by součin  $\lambda_{kp} * t_{pú}$ , vyjadřující přibližně pravděpodobnost poruchy, byl roven jedné a riziko by bylo rovno  $C_{kp}$ . Ve skutečnosti je v tomto případě pravděpodobnost kritické poruchy rovna 0,63 (pro exponenciální rozdělení). Proto je třeba pracovat vždy s podmínkou, že  $t_{pú} \ll MOTBCF$ .

**Ošetřením rizika** se rozumí *proces volby a uplatňování opatření pro modifikaci rizika*. Termín „ošetření rizika“ se někdy používá i pro samotné opatření. Mezi opatření pro ošetření rizika lze zahrnout **zabránění, snížení, optimalizaci, přenos** nebo **zachování**

**rizika.** Proces ošetřování rizika je znázorněn na obr. 2. Právě do procesu ošetřování rizika by měla vstupovat údržba s nápravnými a preventivními opatřeními.



Obr. 1 Závislost rizika na době plnění úkolu



Obr. 2 Proces ošetřování rizik podle [4]

### 3. Co může dělat údržba pro zvýšení bezporuchovosti a snížení rizik

Údržba může **zvýšovat bezporuchovost** snižováním **pravděpodobnosti** kritických a havarijních poruch. Základním nástrojem **snižování pravděpodobnosti** těchto poruch je [8]:

#### a) preventivní údržba:

- periodická,
- diagnostická (podle stavu, prediktivní, proaktivní),

#### b) zálohování objektů:

- nezatížená (studená) záloha,
- zatížená (horká) záloha.

Údržba může snižovat **rizika** kritických a havarijních poruch výše uvedenou cestou zvyšování bezporuchovosti a dále snižováním dopadů (následků, důsledků) nežádoucích události kritických a havarijních poruch instalováním prvků:

- **pasivní** ochrany (zábradlí, ochranné bariéry apod.) a
- **aktivní** (laserová závora, automatické hasební zařízení apod.) **bezpečnosti**.

Např.: osobní automobil – deformační zóny, výztuhy apod. – pasivní bezpečnost; airbagy, ABS, ESP (Electronic Stability Programme) apod. – aktivní bezpečnost.

Lze shrnout, že ošetřováním rizika současně hledáme cesty ke zvyšování bezporuchovosti na straně jedné a na straně druhé ke snižování dopadů havarijních a kritických poruch, tedy bezporuchovost je přímou složkou (činitelem) rizika.

V tabulce 1 jsou uvedeny možnosti ovlivnění nebezpečné události (havarijní a kritické poruchy) a následného poškození údržbou. Jde o takové metody a nástroje (manažerské, semikvantitativní i kvantitativní), jako jsou revize elektrických, plynových a zdvihacích zařízení a tlakových nádob, metody BOZP, LOTO (Lockout / Tagout), ISO 18001 FMECA, RCM, FRACAS, RCFA, ISO 9001 aj.

Tab. 1 Možnost ovlivnění nebezpečné události a následného poškození údržbou

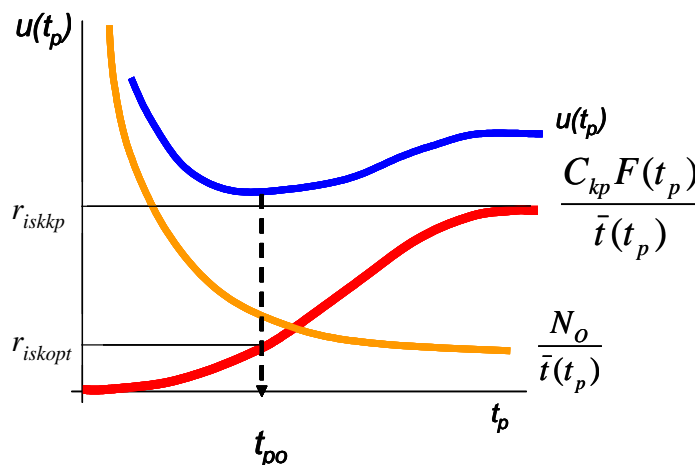
Poškození	Činnosti údržby	Použité nástroje
Fyzické <b>zranění</b>	Revizní prohlídky a nápravná opatření	Revize elektrických, plynových a zdvihacích zařízení a tlakových nádob, metody BOZP, LOTO (Lockout/Tagout), ISO 18001 aj.
Škoda na <b>majetku</b>	Preventivní údržba	FMECA, RCM, FRACAS, RCFA, ISO 9001 aj.
Škoda na životním <b>prostředí</b>	Revizní prohlídky a nápravná opatření, preventivní údržba	Revize tlakových nádob, údržba zaměřená na integritu, seřizování, ISO 14001 EMS aj.

#### 4 Preventivní údržba snižuje riziko

Riziko kritické poruchy lze snižovat optimalizovanou periodickou údržbou podle vztahu (4)

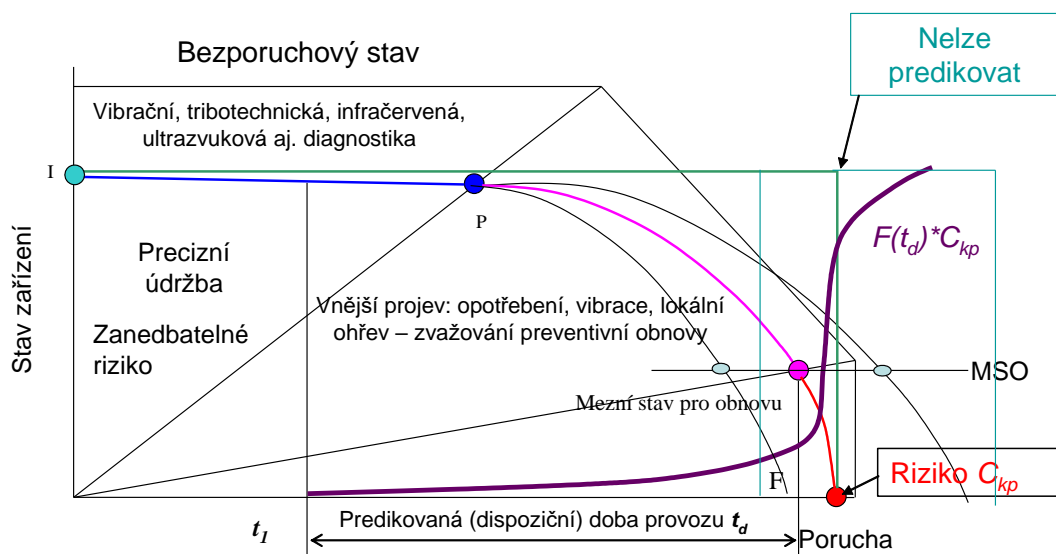
$$u(t_p) = \frac{N_o + C_{kp} F(t_p)}{\bar{i}(t_p)} = \frac{N_o + R_{iskkp}(t_p)}{\bar{i}(t_p)} \quad (4)$$

kde  $u(t_p)$  jsou jednotkové náklady na provoz a obnovu v závislosti na intervalu periodické údržby  $t_p$ , je střední doba provozu do obnovy,  $N_o$  jsou náklady na preventivní obnovu (údržbu).



Obr. 3 Minimalizace rizika periodickou údržbou

Průběh nákladů na provoz a obnovu, jejich minimalizace a velikost rizika je zřejmá z obr. 3. Dále je patrné, že při údržbě po poruše je velikost rizika  $r_{iskkp}$  a po aplikaci optimalizované periodické údržby riziko kleslo na hodnotu  $r_{iskopt}$  a rovněž jednotkové náklady na riziko a obnovu  $u(t_{po})$  klesly na minimum.



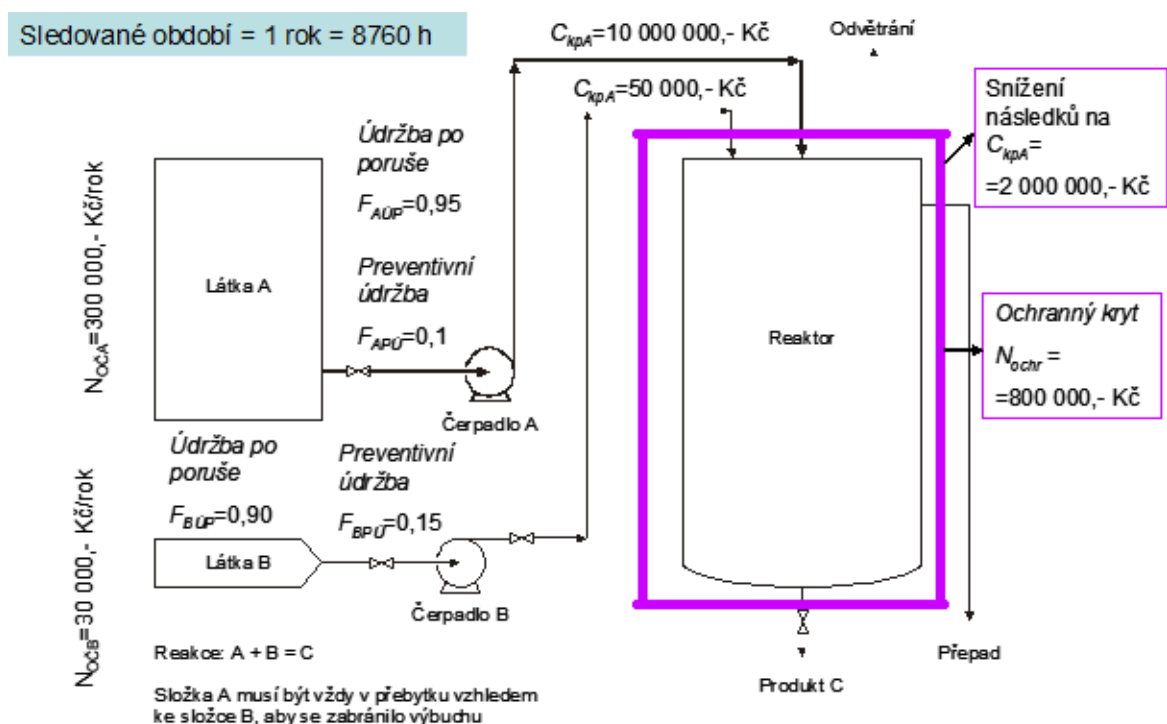
Obr. 4 Princip snižování rizika kritické poruchy diagnostickou údržbou

Na obr. 4 je naznačeno snižování rizika kritické poruchy diagnostickou údržbou při individuálním sledování objektů. Technický stav objektu (pokud je to technicky možné a ekonomicky výhodné) je nejlépe spojitě diagnosticky monitorován a posuzuje se průběh signálu. Stanoví se mezní hodnota signálu pro obnovu (MSO) tak, aby se předešlo kritické poruše. Při jejím dosažení je objekt obnoven a riziko je s velkou pravděpodobností eliminováno [6]. V případě, kdy se diagnostický signál mění skokem a kdy diagnostiku nejsme schopni uplatnit - nelze poruchu předikovat a není šance takové kritické poruše zabránit. Riziko se realizuje v plné výši [7].

## 5. Příklad ošetření rizika kritické poruchy

Příklad ošetření rizika preventivní údržbou, zálohováním a ochranným krytem je znázorněn na obr. 5. Na tomto schématu jsou uvedena vstupní data pravděpodobností kritických poruch, nákladů a ztrát a jsou uvažovány čtyři scénáře:

1. Neošetřené riziko.
2. Ošetřené riziko preventivní údržbou čerpadel A a B.
3. Ošetřené riziko preventivní údržbou čerpadel A a B a zálohováním čerpadla A.
4. Ošetřené riziko preventivní údržbou čerpadel A a B, zálohováním čerpadla A a ochranným krytem.



Obr. 5 Schéma upravené podle ČSN IEC 61882 Studie nebezpečí a provozuschopnosti

V tabulce 2 je proveden výpočet rizik pro čtyři scénáře ošetření rizika preventivní údržbou, zálohováním a ochranným krytem [8].

Tab. 2 Výpočty ošetření ročního rizika preventivní údržbou, zálohováním a ochranným krytem

<b>1. Neošetřené riziko</b>	<b>9 545 000,- Kč</b>
$R_{iskneošAB} = F_{AÚP} * C_{kpA} + F_{BÚP} * C_{kpA} = 0,95 * 10000000 + 0,90 * 50000 = 9\,545\,000,- \text{ Kč}$	
<b>2. Ošetřené riziko preventivní údržbou čerpadel A a B</b>	<b>1 007 500,- Kč</b>
$R_{iskošpúAB} = F_{APÚ} * C_{kpA} + F_{BPÚ} * C_{kpA} = 0,10 * 10000000 + 0,15 * 50000 = 1\,007\,500,- \text{ Kč}$	
$Roční náklady = R_{iskošpúAB} + N_{OČA} + N_{OČB} = 1007500 + 300000 + 30000 = 1\,337\,500,- \text{ Kč}$	
<b>3. Ošetřené riziko preventivní údržbou čerpadel A a B a zálohováním čerpadla A</b>	<b>107 500,- Kč</b>
$R_{iskošpúzalAB} = F_{APÚ} * F_{APÚ} * C_{kpA} + F_{BPÚ} * C_{kpA} = 0,10 * 0,10 * 10000000 + 0,15 * 50000 = 107\,500,- \text{ Kč}$	
$Roční náklady = R_{iskošpúzalAB} + N_{OČA} + N_{OČB} = 107500 + 300000 + 300000 + 30000 = 737\,500,- \text{ Kč}$	
<b>4. Ošetřené riziko preventivní údržbou čerpadel A a B, zálohováním čerpadla A a ochranným krytem</b>	<b>35 500,- Kč</b>
$R_{iskošpúzalochrAB} = F_{APÚ} * F_{APÚ} * C_{kpA} + F_{BPÚ} * C_{kpA} = 0,10 * 0,10 * 2800000 + 0,15 * 50000 = 35\,500,- \text{ Kč}$	
$Roční náklady = R_{iskošpúzalAB} + N_{OČA} + N_{OČB} = 35500 + 300000 + 300000 + 30000 = 665\,500,- \text{ Kč}$	

## 6. Závěr

**Údržba po poruše** ze své podstaty pouze kopíruje inherentní (vloženou) bezporuchovost objektů u primárních (nezávislých) poruch a ještě navíc nebrání nežádoucím sekundárním (závislým, vynuceným) poruchám, které jsou způsobeny poruchou primární. Způsobuje provozní ztráty vyvolané sekundárními poruchami, neplánovanými výpadky výroby a případnými nežádoucími dopady na bezpečnost provozu a životní prostředí.

- Preventivní údržba** (periodická, diagnostická podle stavu, prediktivní) přispívá ke **zvyšování bezporuchovosti** tím, že snižuje pravděpodobnost poruchy (údržba provedená před vznikem poruchy se nezapočítává jako porucha, započítávají se pouze poruchy, kterým systém preventivní údržby nezabránil).
- K **ošetřování (snižování) rizik** přispívá zvláště **preventivní údržba** tím, že snižuje pravděpodobnost nebezpečných událostí (kritických poruch) a obecné činnosti údržby mohou přispět **zálohováním** rovněž ke snížení pravděpodobnosti poruch a dále **různými opatřeními** (např. montáží zábran, krytů, zádržných nádrží apod.) ke snížení **následků rizik**.
- Všechna rozhodnutí údržby** je nutno posuzovat **ekonomickými kritérii** a pro dané objekty a podmínky je třeba **volit správný systém údržby** (údržbu po poruše, periodickou nebo diagnostickou podle stavu nebo prediktivní údržbu). **Světový trend** je

uplatňovat **diagnostickou prediktivní údržbu** (založenou na znalosti konkrétního technického stavu a predikci dispozičního užitečného života) všude tam, kde je to **technicky možné a ekonomicky výhodné**.

#### **Použitá literatura:**

- [1] ČSN IEC 60050-191 Mezinárodní elektrotechnický slovník – Část 191: Spolehlivost
- [2] TNI 01 0350:2010 Management rizik – Slovník
- [3] ČSN IEC 61882:2002 Studie nebezpečí a provozuschopnosti (studie HAZOP) – Návod k použití
- [4] ČSN IEC 62198 Management rizika projektu – Směrnice pro použití
- [5] ČSN ISO 31000:2010 Management rizik – Principy a směrnice
- [6] LEGÁT, V.: Kolik systémů managementu údržby směřuje k její excelenci? Konference Národní fórum údržby 15. a 16. 5. 2006, vydavatel Žilinská univerzita 2006, s. 32-40, ISBN 80-8070-541-0
- [7] LEGÁT, V. – POŠTA, J. – JURČA, V. – FLEGL, R. – HRNČÍŘ, P.: Systémy managementu jakosti a spolehlivosti v údržbě. ČSJ Praha 2007. ISBN 978-80-02-01949-7
- [8] LEGÁT, V.: Správná údržba snižuje rizika. In: Sborník konference Národní fórum údržby konané 31. 5. 2011, vydavatel Žilinská univerzita 2011, ISBN 978-80-554-0363-2

#### **Autoři:**

prof. Ing. Václav Legát, DrSc.

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

vedoucí katedry jakosti a spolehlivosti strojů, Technická fakulta, Česká zemědělská univerzita v Praze  
předseda předsednictva České společnosti pro údržbu (ČSPÚ)

doc. Ing. Zdeněk Aleš, Ph.D.

proděkan, Technická fakulta, Česká zemědělská univerzita v Praze  
člen předsednictva České společnosti pro údržbu (ČSPÚ)

Ing. Jan Hroch

výkonný ředitel České společnosti pro údržbu (ČSPÚ)

Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, katedra jakosti a spolehlivosti strojů,

Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbát

Česká společnost pro údržbu, Areál České zemědělské univerzity v Praze, Technická fakulta,

Kamýcká 872, 165 21 Praha 6 – Suchbát

E-mail: pexa@tf.czu.cz, ales@tf.czu.cz, hroch@udrzba-cspu.cz

# OPRAVA ÚNIKU PRÍVODNÉHO POTRUBIA KOTLOVEJ VODY ZA PREVÁDZKY PRI TLAKU 17,0 MPa A TEPLOTE +145°C

Jan VYTRÍŠAL

**Kľúčové slová:** oprava potrubia, oprava únikov, oprava uzáverov, kotlová voda

## **Anotácia**

*Potrubné systémy sú počas svojej prevádzky vystavené mnohým negatívnym vplyvom spôsobujúcim rozvoj a vznik rozličných chýb, ktoré významne ovplyvňujú bezpečnosť a hospodárnosť ďalšej prevádzky. Preto je dôležité poznať technológie, ktorými je možné tieto potrubia, resp. ich komponenty opraviť bez odstavenia prevádzky. Opravami za prevádzky sa znižujú náklady na odstavenie výroby, ako aj náklady stratenej výroby, čo znamená ušlý zisk vplyvom odstavenia technológie.*

## **1. Únik na uzávere prívodného potrubia**

Jedným z najčastejších problémov na starých potrubných rozvodoch sú úniky na uzáveroch, ktoré sú už opotrebované, alebo prevádzkou poškodené. Drobná netesnosť tesniacich sediel uzáveru (viď. obr. 1) v určitom časovom úseku väčšinou narastie až do takého úniku cez uzáver, ktorý je už problematické zastaviť bežnými dostupnými technológiami. V prípade malých uzáverov, ktoré nemajú žiadne dodatočné utesňovacie možnosti, môže takýto únik spôsobiť vážne problémy, ako sa stalo na obr. 1 prívodného potrubia kotlovej vody. Uzáver bol síce malý (DN50), ale spôsobil veľmi veľký únik vody (viď. obr. 2), ktorý bolo nutné vyriešiť bez odstavenia prevádzky.



Obr.1 Poškodený uzáver prívodu kotlovej vody



Obr.2 Miera úniku



## 2. Prevádzkové parametre prívodného potrubia

vonkajší priemer potrubia: 60,3mm (DN50)

max. konštrukčný tlak: 17,5 MPa

hrúbka steny potrubia: 8,8-9,7mm

prevádzkový tlak počas prác: 17,0MPa

materiál potrubia: A106 Gr. B

prevádzková teplota počas prác: 145°C

médium v potrubí: kotlová voda

práce vo výškach: cca 30m

## 3. Návrh technického riešenia

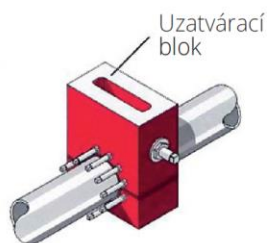
Vzhľadom k vyššie uvedeným prevádzkovým parametrom, najmä však s ohľadom na prevádzkový tlak 17,0 MPa, bolo k uzatvoreniu potrubia za prevádzky použité zariadenie Shear+Plug spoločnosti PLIDCO (USA). Uzatváracie zariadenie Shear+Plug používa tesnenie tesniaceho taniera typu kov na kov, ktorým je možné dosiahnuť dokonalé utesnenie aj pri vysokých teplotách a tlakoch až do teploty 537°C a tlaku 17,0 MPa.

### TYPICKÝ POSTUP UZATVORENIA POTRUBIA ZA PREVÁDZKY:

1. Defektoskopická kontrola potrubia ultrazvukom.
2. Navarenie výstužných prstencov na potrubie za prevádzky.



3. Uzatvárací blok sa uloží na potrubie a zo všetkých strán sa zvarí.



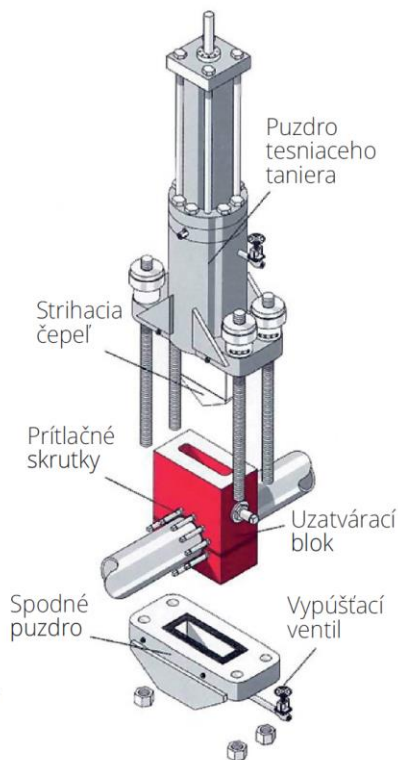
4. Na uzatvárací blok sa nasadí zariadenie na vytvorenie zárezov do potrubia a potrubie sa zareže.
5. Zariadenie Shear+Plug sa nainštaluje na uzatvárací blok a vykoná sa tlaková skúška tesnosti celej zostavy.

6. Vysunutím hydraulického valca prestrihne „čepel“ rúru potrubia naskrz a „výrezok“ sa zasunie do spodného puzdra uzatváracieho bloku.

7. Tesniaci tanier sa prítlačnými skrutkami prítlačí do tesniacej polohy a vytvorí tak tesnenie kov-na-kov a **potrubie sa za prevádzky uzatvorí.**

Otvorením vypúšťacieho ventilu sa overí uzatvorenie a utesnenie potrubia.

V prípade potreby dotesnenia sa tanier utesní tesniacim tmelom.



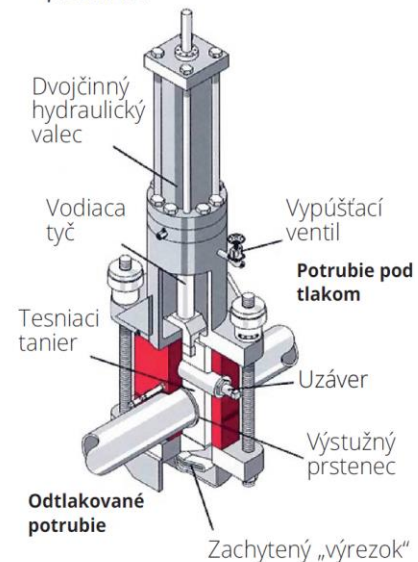
8. Odstavený úsek potrubia sa odtlačuje a vykonajú sa príslušné práce.

9. Počas naplánovanej práce na potrubí sa demontuje spodné zachytávacie puzdro uzatváracieho bloku, odstráni sa odstrihnutý „výrezok“ spolu s čepelou a na dno uzatváracieho bloku sa navarí privarovacie dno.

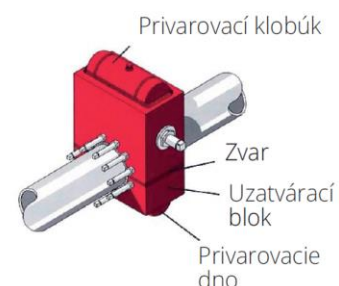
10. Po dokončení naplánovaných prác na vypustenom potrubí môže byť potrubie znovu uvedené do prevádzky.

Prítlačné skrutky tesniaceho taniera sa uvoľnia a tesniaci tanier sa zasunie späť do puzdra.

Týmto je potrubie opätovne v plnej prevádzke.



11. Po zasunutí tesniaceho taniera späť do puzdra sa uzavrie uzáver uzatváracieho bloku. Zariadenie Shear+Plug sa demontuje a na vrchnú otvorenú časť uzatváracieho bloku sa navarí privarovací klobúk.



Vzhľadom k požiadavkám prevádzkovateľa s ohľadom na prevádzkové podmienky kotla a dobu po najbližšiu plánovanú odstávku bolo dohodnuté, že po uzatvorení potrubia, overení tesnosti a vypustení vody z potrubia nad polohou uzatvorenia dôjde k odrezaniu potrubia vstupujúceho do kotla a navarení tlakového dienka, čím sa zastaví únik kotlovej vody.

#### **4. Základná analýza rizík operácie pod tlakom**

Analýzou rizík bolo zistené, že najväčšie riziká vznikajúce pri tejto operácii sa týkajú zvárania na potrubí, ktoré bude počas zvárania zaťažené tlakom 17,0 MPa pri teplote 145°C.

Na zníženie týchto rizík boli identifikované 3 základné opatrenia:

- overenie materiálu jestvujúceho potrubia zadaného prevádzkovateľom s ohľadom na zabezpečenie zvariteľnosti uzatváracieho bloku na jestvujúce potrubie,
- dôkladná kontrola kvality materiálu jestvujúceho potrubia v miestach budúcich zvarových spojov (vhodné NDT skúšky),
- overenie podmienok zvárania na zníženie rizika perforácie potrubia experimentálnymi skúškami v rámci schvaľovania WPQR.

#### **5. Návrh modelu a experimentálne skúšky**

##### **5.1. Overenie materiálu jestvujúceho potrubia**

Na overenie materiálu jestvujúceho potrubia zadaného prevádzkovateľom bol použitý prenosný opticko-emisný spektrálny analyzátor kovov PMI Master Smart. Analyzátor vyhodnocuje meranie podľa 19 hlavných chemických prvkov vrátane uhlíka, čím bolo možné pomerne spoľahlivo identifikovať základný materiál jestvujúceho potrubia a pripraviť tak vhodné postupy zvárania.

##### **5.2. NDT jestvujúceho materiálu potrubia**

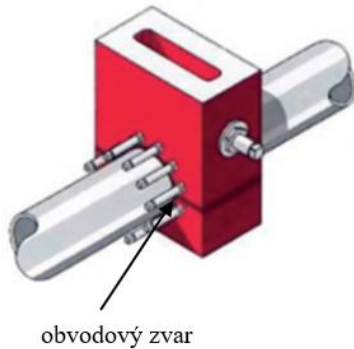
Súčasne s overovaním materiálu jestvujúceho potrubia bolo vykonané meranie hrúbky steny sondou pre vysoké teploty. Meraním boli zistené hodnoty hrúbky steny jestvujúceho potrubia v miestach budúcich zvarov od 8,3 do 9,0mm. Po zmeraní hrúbok stien bola vykonaná ultrazvuková kontrola na delaminácie, ktoré neboli v miestach budúcich zvarov identifikované.

##### **5.3. Návrh modelu**

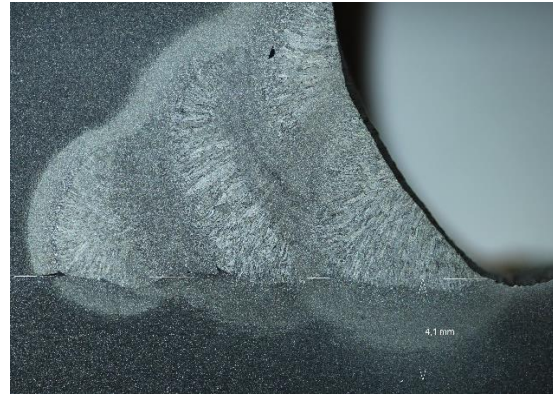
Hlavným rizikom inštalácie systému je realizácia obvodového zvaru (vid'. obr.3) medzi potrubím a telom uzatváracieho bloku. Počas zvaracieho procesu dochádza k prehrievaniu lokálnej oblasti. Pri zvýšených teplotách sú mechanické vlastnosti materiálov nižšie a keďže inštalácia uzatváracieho systému sa realizuje pri prevádzkovom tlaku v potrubí (17,0 MPa), je potrebné stanoviť maximálnu možnú mieru tepelného ovplyvnenia pri ktorej nie je ohrozená prevádzkyschopnosť potrubia. Výpočtové analýzy sa realizovali pomocou metódy konečných prvkov. Výsledkom tepelno mechanickej analýzy bol vyrátaný stav napätosti, ktorý sa vyhodnotil metodikou kategorizácie napätí v zmysle normy EN 13445-3.

### 5.3.1. Fáza experimentálna

V experimentálnej fáze bola vyhotovená vzorka potrubia vrátane časti uzatváracieho bloku a v dielenských podmienkach bola na toto potrubie zaťažené vnútorným pretlakom 17,0 MPa zvarená vzorka časti uzatváracieho bloku. Po zvarení a vykonaní potrebných skúšok bola vzorka rozrezaná a na makroskopickej snímke (obr.4) na základe štrukturálnych zmien materiálu bola odhadnutá izotermická zóna 720°C o vzdialenosti 4,1mm.



Obr.3 Obvodový zvar uzatváracieho bloku na jestvujúce potrubie



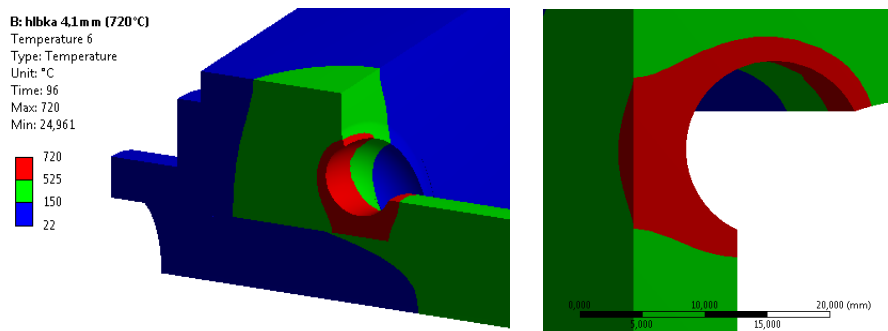
Obr.4 Makroskopická vzorka, hĺbka izotermickej zóny 720°C – 4,1mm

Súčasťou experimentálnej fázy bolo aj overenie vybraného spôsobu zvarovania a schválenie WPQR.

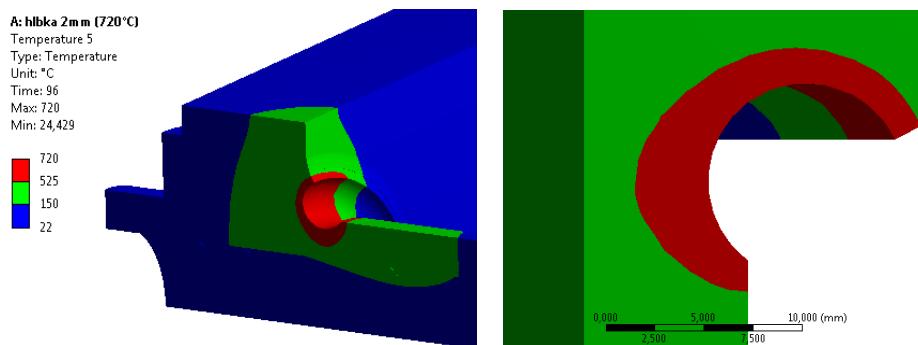
### 5.3.2. Výpočtová fáza

Vzhľadom k tomu, že tepelno-mechanické vlastnosti materiálu A 106 Gr. B sú tabuľkovo stanovené po max. teplote 525°C, bolo nutné najskôr stanoviť izotermickú zónu pri teplote 525°C. Hĺbka a šírka izotermickej zóny 525°C získanej tepelným výpočtom definovala objemovú hranicu, nad ktorou sa neuvažuje objem materiálu. Na základe tejto úvahy sa vytvoril mechanický model s odstránenou tepelnou zónou nad 525°C. Konzervatívne sa uvažovalo, že najhoršia prierezová charakteristika vyplývajúca z tepelného výpočtu, je konštantná po celom obvode zvaru. Lokálny charakter zvarovania bol zanedbaný.

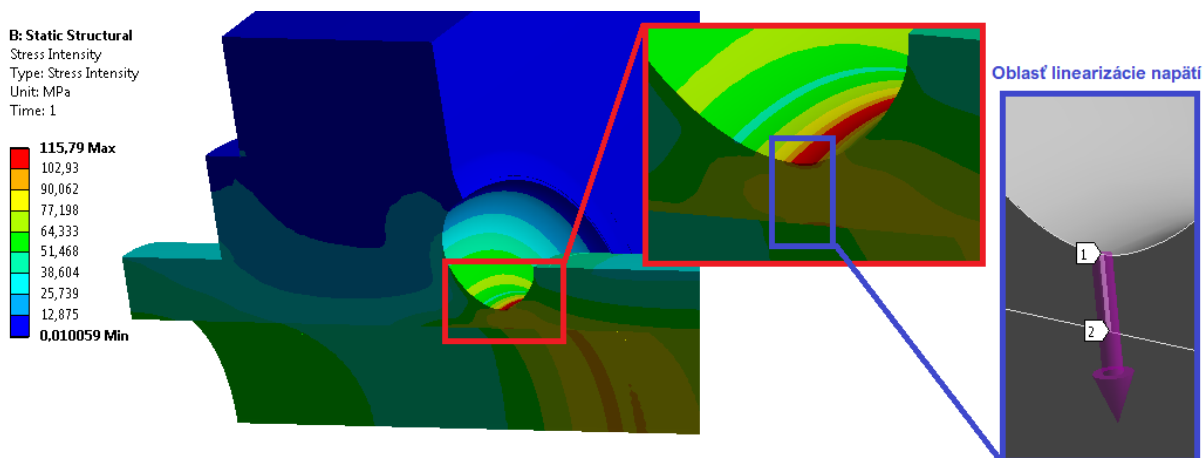
Vzhľadom k nerovnomernosti pretavenia po šírke makroskopickej vzorky bol vytvorený aj model s hĺbkou izotermickej zóny 2 mm. Na základe dostupných výsledkov z realizácie skúšobného zvaru (obr.4) sa konzervatívne uvažovalo s konštantným tvarom prierezu po celom obvode.



Obr.5 Teplota v čase 96 s, detail v reze, hĺbka izotermickej zóny 4,1 mm



Obr.6 Teplota v čase 96 s, detail v reze, hĺbka izotermickej zóny 2 mm



Obr.7 Porovnávacie napätie v čase 96 s, detail zvaru a oblasť linearizácie napätí

Na základe výsledkov výpočtov tepelných polí bolo možné konštatovať:

- najvyššia stredná hodnota teploty (prehriatie modelu) je na konci časového cyklu 96 s, predstavujúceho navarenie predmetnej vrstvy zvaru,
- pre výpočtový model s izotermickou zónou 720°C hlbokou 4,1 mm je teplotná zóna vyššia ako 525°C rozsiahla a zasahuje až na vnútorný povrch potrubia (obr.5),
- pre výpočtový model s izotermickou zónou 720°C hlbokou 2 mm je teplotná zóna vyššia ako 525°C menšia a zasahuje cca 2,5 mm od vnútorného povrchu (obr.6).

Na základe výsledkov mechanických výpočtov bolo možné konštatovať:

- maximálne porovnávacie napätia 116 MPa (obr. 7) sú lokalizované v mieste najväčšieho oslabenia potrubia,
- Linearizované membránové napätie v oblasti maximálnej koncentrácie je 82 MPa a je menšie ako dovolené namáhanie 97 MPa.

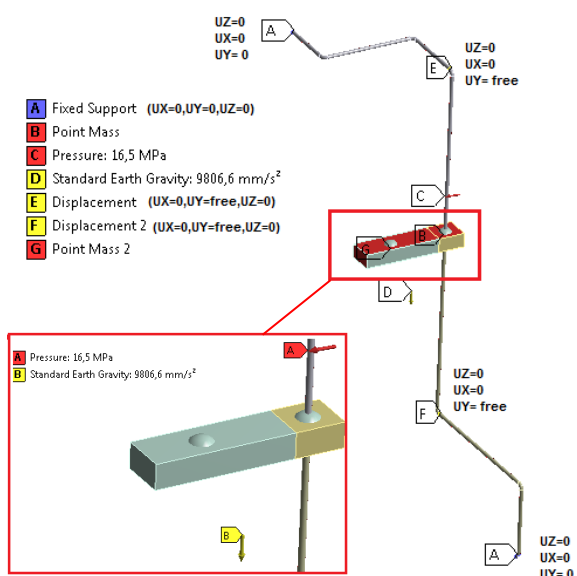
Z uvedených výsledkov bolo možné konštatovať, že uvedené zvarenie uzatváracieho bloku je možné bezpečne vykonať na jestvujúcom potrubí s vnútorným pretlakom 17,0 MPa pri teplote 145°C,

ale s tým, že bolo nutné upraviť parametre zvarovania tak, aby mala zóna natavenia podobné geometrické parametre ako je zrejmé na obr. 6 (izotermická zóna 720°C v hĺbke cca 2 mm).

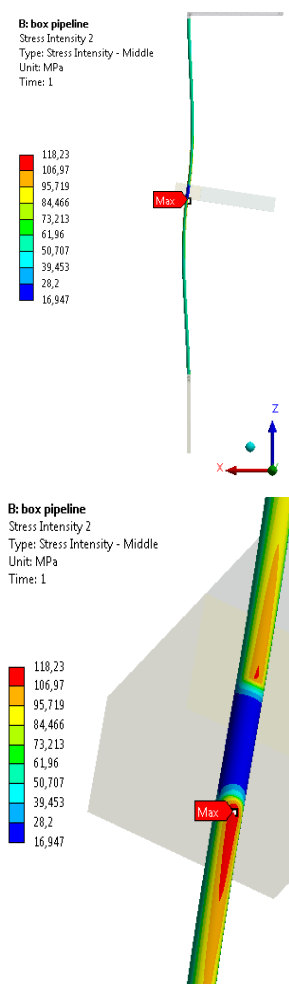
#### 5.4. Overenie tuhosti potrubia s nainštalovaným zariadením Shear+Plug

Vzhľadom k tomu, že zariadenie Shear+Plug malo celkovú hmotnosť cca 500kg, pričom najväčšia hmotnosť bola posunutá o 1072mm od osi potrubia, bolo nutné posúdiť, či odrezaním potrubia v jeho hornej časti (kvôli potrebe uzatvorenia tlakovým dielkom) nestratí toto potrubie svoju tuhosť, prípadne navrhnuť príslušné opatrenia.

Stav napätosti od uvedených zaťažení bol stanovený metódou konečných prvkov a napätia boli kategorizované a vyhodnotené v zmysle normy EN 13480. Vo výpočtovom modeli sa pre potrubný systém použili škruvinové (shell) elementy. Montážna zostava bola vytvorená kombináciou priestorových (solid) elementov s nulovou objemovou hmotnosťou v kombinácii s elementami koncentrovanej hmoty v ťažisku dvoch identifikovaných konštrukčných častí zostavy (uzáver a montážna zostava – vid' obr. 8).



Obr.8 Zaťaženie a okrajové podmienky



Obr.9 Membránové porovnávacie napätie

Na základe vykonaných výpočtov (analýz) bolo možné konštatovať, že maximálne porovnávacie napätie povrchové je na úrovni 133 MPa a maximálne porovnávacie napätie

membránové na úrovni 118 MPa, čo znamená, že navrhovaná konštrukcia vyhovuje podmienkam zaťaženia hmotnosťou zariadenia a nie je nutné potrubie špeciálne podopierať, resp. stabilizovať..

## 6. Realizácia

Po vykonaní všetkých výpočtov a analýz sme prišli k realizácii.

### 6.1. Zváranie a skúšky po zvaraní

#### 6.1.1. Navarenie výstužných prstencov na jestvujúce potrubie za prevádzky



Obr.10 Navarenie výstužných prstencov



Obr.11 NDT výstužných prstencov po navarení

#### 6.1.2. Navarenie uzatváracieho bloku na jestvujúce potrubie za prevádzky



Obr.12 Navarenie uzatváracieho bloku



Obr.13 NDT uzatváracieho bloku po navarení

### 6.2. Uzatvorenie potrubia za prevádzky



Obr.14 Uzatvorenie potrubia za prevádzky



Obr.15 Navarenie privarovacieho dna

### 6.3. Demontáž zariadenia a ukončenie prác



*Obr.16 Demontáž zariadenia, na potrubí zostáva uzatvárací blok*



*Obr.17 Odrezané jestvujúce potrubie a navarené klenuté dienko*

## 7. Záver

Konštrukcia tesniaceho taniera a uzatváracieho bloku zariadenia Shear+Plug firmy Plidco (USA) umožňuje dočasné uzatvorenie potrubia v trvaní niekoľkých dní, mesiacov a aj rokov do doby ďalšej plánovanej odstávky technologického procesu, alebo opakované uvedenie do prevádzky po odstránení poruchy. Vďaka technológii prestrihnutia potrubia a zachytenia „výrezku“ v zariadení nevznikajú oceľové špony, ktoré pri frézovaní klasickými zariadeniami pre vrtanie a uzatváranie potrubia za prevádzky padajú do potrubia a musia byť zachytené na filtroch. Tento spôsob uzatvorenia je vyžadovaný najmä tam, kde je nutné zamedziť prítomnosti akýchkoľvek nečistôt, alebo súčastí, ktoré by mohli poškodiť prípadný technologický proces napojený na opravované potrubie.

Vďaka konštrukcii zariadenia Shear+Plug a tesneniu kov na kov je možné garantovať 100% utesnenie potrubia, ktoré je bezpodmienečne nutné pri opravách a zásahoch do potrubí, ktoré prepravuje produkty nebezpečné pre ľudí alebo životné prostredie aj pri takýchto vysokých tlakoch do 17,0 MPa a vysokých teplotách až do 537°C.

### Autor:

Ing. Jan Vytřísal, MBA  
generálny riaditeľ  
SEPS, a.s.  
Údernícka 11, 85101 Bratislava  
Tel.: +421 2 68 245 720  
E-mail: office@sepssk.sk

# PRAKTICKÉ SKÚŠENOSTI A POSTREHY Z OBLASTI POUŽITIA PRIEMYSLOVÉHO TESNENIA II

Martin TESAŘ

Vážení čitatelia,

Dovoľte mi za spoločnosť Pokorný spol. s r.o. Brno , ktorá je na česko-slovenskom trhu s priemyselnými tesneniami skoro 30 rokov, podeliť sa o naše praktické skúseností a postrehy z oblasti tesnení.

**Ucelený prehľad o činnosti firmy Pokorný spol.s.r.o Brno si môžete urobiť na <https://www.tesneni.cz/sk>**

V prípade otázok nás neváhajte kontaktovať na [info@tesneni.cz](mailto:info@tesneni.cz)

**Za spoločnosť Pokorný spol.s.r.o Brno**

**Tím skupiny Flange management**

Tento krát by sme sa radi chceli s Vami podeliť o naše skúsenosti a zistení, vyplývajúcich z našich marení trení vo skrutkovom spoji.

Ide o 2 odborné články:

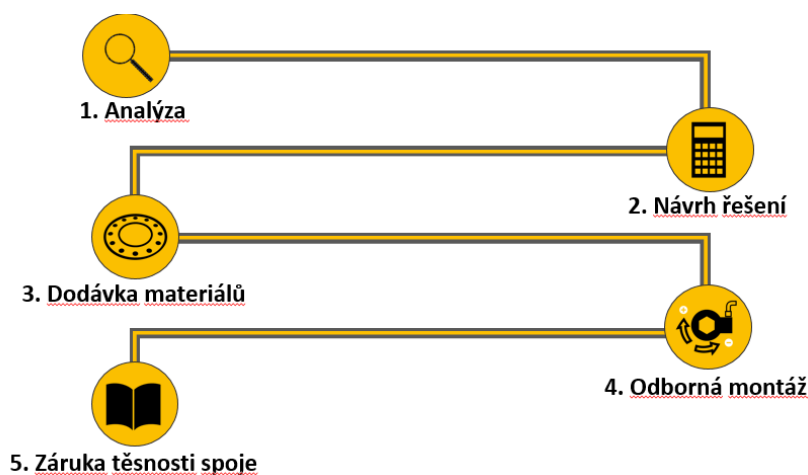
- ***Vplyv mazania na prenos síl pri ťahovaní skrutkového spoja***
- ***Mazacie pasty pre bežné skrutkové spoje***



# Vplyv mazania na prenos síl pri uťahovaní skrutkového spoja

Na základe našich dlhoročných skúseností vieme, že dodať zákazníkovi na stôl iba katalóg s tesnením nestačí. Z tohto dôvodu ponúkame priemyselným podnikom pomocnú ruku s komplexným riešením netesností v ich prevádzkach.

1. Analýza
2. Návrh riešení
3. Dodanie materiálu
4. Odborná montáž
5. Záruka tesnosti spoja



*Postup optimalizácie tesnosti spoja*

Neoddeliteľnou súčasťou našich riešení je detailná znalosť mazív používaných pri montáži skrutkových spojov. V tomto článku by sme Vás radi zoznámili so zisteniami, ktoré sa týkajú **vplyvov trenia v závite a pod maticou na výpočet uťahovacieho momentu a tesnosť prírubového spoja**.

Pre mazanie skrutkových spojov je treba použiť mazivo, u ktorého sú výrobcom uvedené informácie o súčiniteľoch trení v závite ( $\mu_{th}$ ) a pod maticou ( $\mu_b$ ). Tieto hodnoty musia byť namerané podľa normy EN 16047, ktorá popisuje spôsob a **postup merania trení v skrutkovom spoji**. Znalosť súčiniteľov trení ( $\mu_{th}$ ) a ( $\mu_b$ ) nám hovorí, v akom pomere je skrutkový spoj namáhaný z hľadiska krutu a ťahu.

Hodnota trenia uvedená výrobcom na základe iného spôsobu merania, napr. štvorguľôčkovým testom\* alebo testom Pin-on-Disc \*\*, je **pre výpočet uťahovacieho momentu zavádzajúci**. Skutočná hodnota trenia nameraná inou metódou ako podľa EN 16047 sa môže významne líšiť.

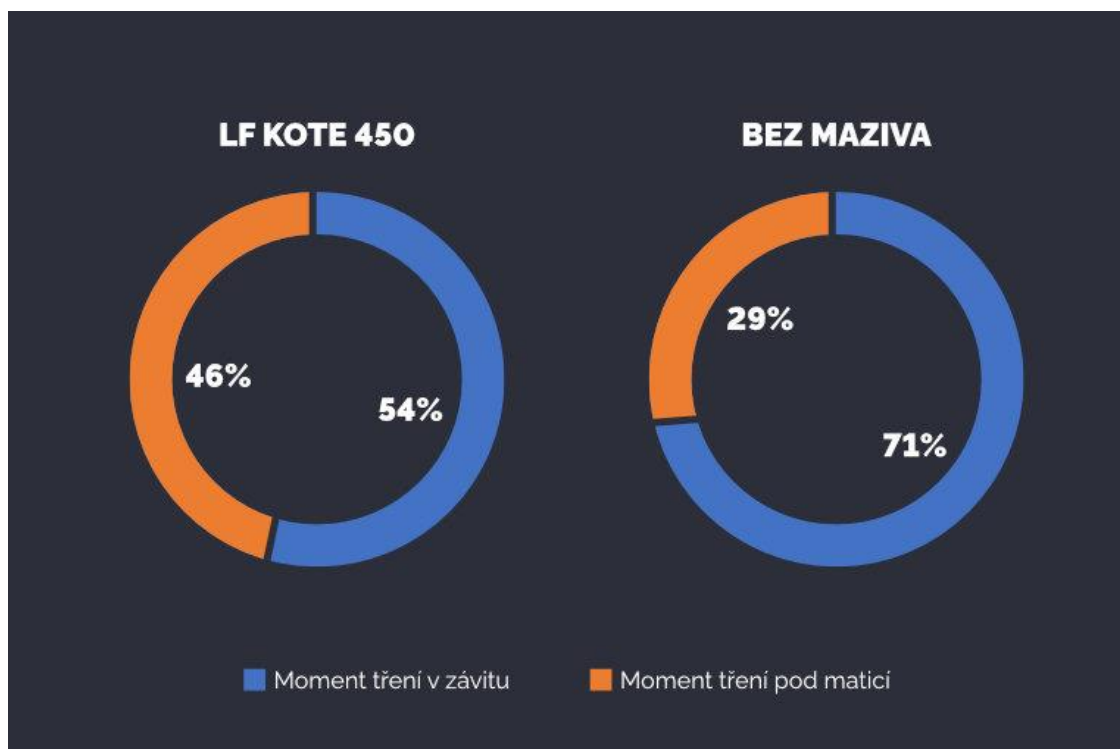
Na našom špecializovanom pracovisku meriame súčinitele trení (v závite aj pod maticou) a ich závislosti v skrutkovom spoji podľa normy EN 16047.

Experimentálne meranie súčiniteľov trení  $\mu_{th}$  a  $\mu_b$  ukázalo, že rozptyl hodnôt u suchého, tj. nenamazaného, spojovacieho materiálu je značný. Chyba vo výpočte ťahovacieho momentu  $M_u$  môže byť aj  $\pm 30\%$ .

V skrutkovom spoji je významný **rozdiel medzi vplyvom trenia v závite a trením pod maticou**. Obe tieto parametre majú vplyv na veľkosť i rozptyl dosiahnutého predpätia v skrutke, avšak dopad na jeho namáhanie sa líši.

Súčiniteľ trenia ( $\mu_{th}$ ) ovplyvňuje zložku krutu a súčiniteľ trenia pod hlavou ( $\mu_b$ ) má vplyv na účinnosť.

**Nie je možné** teda vychádzať z predpokladu, že súčiniteľ trenia v závite  $\mu_{th}$ , súčiniteľ trenia pod maticou  $\mu_b$  a celkový súčiniteľ  $\mu_{tot}$  sú identické ( $\mu_{th} \neq \mu_b \neq \mu_{tot}$ ). Rovnako výsledky z experimentálnych meraní preukázali rozptyly u súčiniteľoch trení  $\mu_{th}$ ,  $\mu_b$  a  $\mu_{tot}$ . Preto nie je možné použiť zjednodušenie  $\mu_{th} = \mu_b = \mu_{tot}$ .



*Moment trenia v závite tvorí obecně 2/3 z celkového momentu utiahnutia.*

Z vyššie uvedeného vyplýva, že **ak počítame s rovnosťou súčiniteľov trení, tak výsledný ťahovací moment môže byť nedostačujúci, alebo naopak preťažujúci**.

Na základe stoviek meraní sme pred viac než desiatimi rokmi vyvinuli mazací systém [POWERtorque LF kote 450](#), ktorý v priebehu ťahovania zaisťuje požadovaný a nemenný súčiniteľ trenia v závite aj pod maticou.

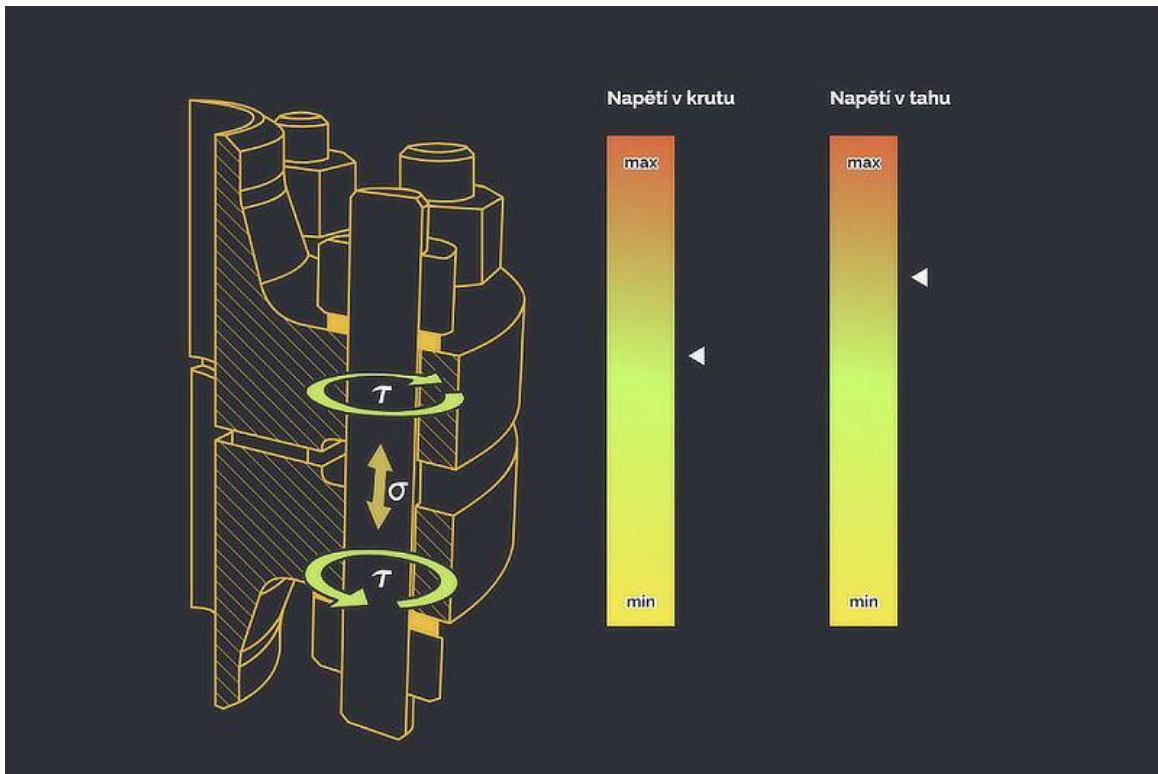
Jedná sa o systém tzv. „suchého mazania“, ktorý je trvalo zakotvený do povrchu závitu. Odoláva extrémnemu tlakovému zaťaženiu, ktoré pôsobí na plochy závitov pri ťahovaní. [POWERtorque LF kote 450](#) trvalo oddeľuje materiály skrutky a matice. Vďaka tomu nedochádza k tzv. „zakusovaniu závitov“ a spojovací materiál je možné následne povoliť.

Ako podporu pre konštruktérov a výpočtárov prírubových spojov poskytujeme výsledky našich meraní na stránkach. [utahovacimoment.tesneni.cz](http://utahovacimoment.tesneni.cz)

**Do kalkulátoru je potrebné zadať:**

- $F_o$  – požadovanú silu v skrutke
- veľkosť skrutky
- materiál skrutky

Výsledkom je ťahovací moment  $M_u$  a kontrola skrutky z pohľadu napätí v ťahu  $\sigma$  [MPa], krutu  $\tau$  [MPa] a redukovaného napätia pre mazivo [Powertorque LF Kote 450](#).



*Príklad zobrazenia výsledku výpočtu ťahovacieho momentu  $M_u$ .*

**Do kalkulátoru je potrebné zadať:**

- $F_o$  – požadovaná sila v skrutke
- Veľkosť skrutky
- Materiál skrutky

**Výsledkom je ťahovací moment  $M_u$**  a kontrola skrutky z pohľadu napätia v ťahu  $\sigma$  [MPa], krutu  $\tau$  [MPa] a redukovaného napätia **pre mazivo** [POWER®torque LF kote 450](#).

\* Štvorgulôčkový test: Metóda merania súčiniteľa trenia pre oleje a mazivá. Hodnotí sa odolnosť maziva proti zaťaženiu a všeobecný ukazovateľ oderu. Delí sa na test zvarenia podľa normy ASTM D 2596 a test opotrebenia podľa normy D 2266.

\*\* Pin-on-Disc: Meranie spočíva vo vytlačení pevne uchyteného skúšobného telieska („PIN“) v tvare guľôčky zo zvoleného materiálu napred definovanou silou do disku (skúšobného vzorku).

## Mazacie pasty pre bežné skrutkové spoje



Skrutkový spoj má svoje špecifikácie. Počas celého priebehu uťahovania je skrutkový spoj namáhaný na **ťah, krútenie** a prípadne na **ohyb**. S narastajúcim predpätím sa zvyšuje tlak v kontaktných plochách.

Z týchto základných predpokladov je potrebné vychádzať pri voľbe maziva pre bežné skrutkové spoje.

Existujú viaceré mazacie pasty, u ktorých je uvedené, že majú nízky súčiniteľ trenia. Nízky súčiniteľ trenia však samostatne nič negarantuje. Je potrebné zohľadniť akým spôsobom a podľa akej normy bol daný parameter meraný.

**Súčiniteľ trenia nie je jedno číslo. Potrebné je poznať jeho priebeh a rozptyl v závislosti na zaťažení počas uťahovania skrutkového spoja.**

**Test súčiniteľa trenia v závite skrutkového spoja sa uskutočňuje** podľa normy ČSN EN ISO 16047, ktorá ustanovuje podmienky pre uskutočnenie skúšok točivého momentu a upínacie sily u spojovacích súčastiach.

Hodnota trenia je uvedená výrobcom na základe iného spôsobu merania, napr. štvorguľôčkovým testom alebo testom Pin-on-Disc. Tieto hodnoty sú pre výpočet uťahovacieho momentu zavádzajúce.

**Tieto testy nestanovujú trenie v závite ani pod maticou vrátane ich rozptylov. Nie je z nich možné odvodiť celkové trenie ani faktor utiahnutia, tzv. k-faktor.**

Skutočná hodnota trenia, nameraná inou metódou ako podľa ČSN EN ISO 16047, je významne odlišná.

Často nás naši zákazníci kontaktujú s požiadavkami na výpočet ťahovacích momentov. Spojovací materiál si následne chcú ťahovať vlastnými silami a s použitím vlastného maziva.

S ohľadom na vyššie uvedené skutočnosti si u mazivách, s ktorými nemáme historicky namerané dáta, uskutočňujeme kontrolné meranie súčiniteľa trenia vrátane rozptylu. Vďaka vlastnému laboratóriu, v ktorom meranie realizujeme v súlade s normou ČSN EN ISO 16047, máme následne k dispozícii presné a reálne údaje o súčiniteloch trení jednotlivých mazív v celom rozsahu dovoleného zaťaženia skrutiek.

Na základe stoviek meraní, ktoré sme uskutočnili, môžeme vyhlásiť, že v mnoho prípadoch sa reálne údaje súčinitelov trení líšia od tých, ktoré sú bežne dostupné v materiálových listoch. Rozdiely môžu dosahovať desiatky percent a často sú spôsobené práve rôznymi metódami meraní.

Pri samotnom ťahovaní prírubového spoja je potrebné vždy použiť rovnaké mazivo, ktoré bolo uvedené vo výpočte. V opačnom prípade môže prísť k preťaženiu alebo naopak k nedostatočnému utiahnutiu jednotlivých skrutiek a k nedostatočnému alebo nadmernému stlačeniu tesnenia.



[Powertorque LF Booster](#) je tuhé mazivo v podobe pasty s nízkym a ustáleným súčinitelom trenia, ktoré je určené pre bežnú montáž skrutkových spojov. Také, ktoré montér sebou nosí v montážnej brašne.

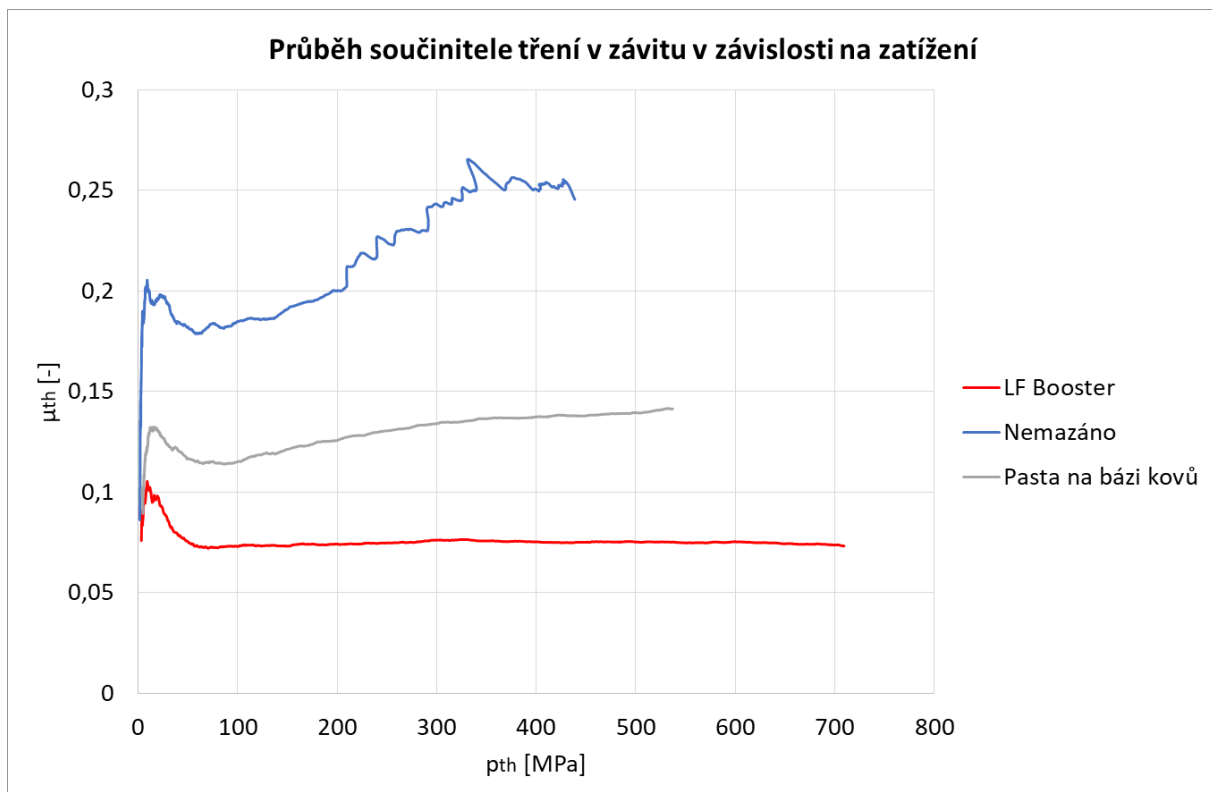
Po premiešaní sa mazivo nanáša štetcom na závit, podložky a čelá matíc či pod hlavy skrutiek. Medzi trecími plochami vytvára účinný mazací film oddelujúci od seba závit skrutky

a matice. S narastajúcim tlakom na styčných plochách závitů a pod hlavou matice sa súčiniteľ trenia **nemení**, viď graf.

Skrutkové spoje sa štandardne ťahujú za studena. Teplotná odolnosť mazív v skutočnosti udáva informáciu o schopnosti zaistiť následné povolenie skutkového spoja. Test teplotnej odolnosti utiahnutého skrutkového spoja s pastou [Powertorque LF Booster](#) prebehol po jeho zahriatí na 600 °C a následnom ochladení.

Pre predstavu prikladáme porovnanie priebehov trení skrutiek nenamazaného, namazaného a skrutky utiahnutou s pastou [Powertorque LF Booster](#).

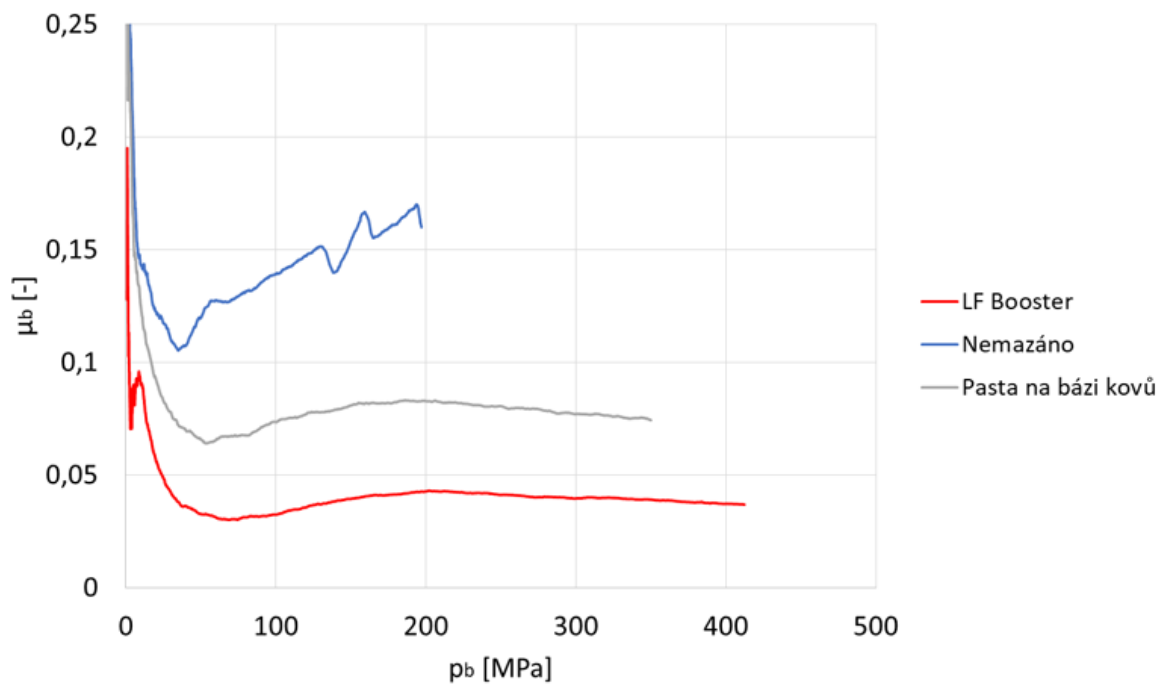
### Porovnanie súčiniteľov trení mazacej pasty LF Booster, vysokoteplotnej pasty na báze kovov a skrutkového spoja bez maziva.



Z priebehov uvedených grafov vyplýva, že súčiniteľ trenia je u maziva [Powertorque LF Booster](#) stály v celom priebehu dovoleného zaťaženia skrutky, čo u štandardných pastách a mazivách na báze kovov nie je pravidlom. Koeficient trenia, ktorý sa v priebehu zaťaženia mení, nie je žiaduci.

So zhoršeným trením dochádza na styčných plochách závitů ku kontaktu kov na kov. Tento jav sa v skrutkovom spoji následne spôsobuje jeho zadieranie a dodatočne nežiaducim efektom zaťažuje na krútenie. Pri ťahovaní potom nie je možné dosiahnuť požadovaného predpätia v skrutke.

Průběh součinitele tření pod maticí v závislosti na zatížení



# OBRÁBANIE NA MIESTE

Michal ABRAHÁMFY

## Čo to vlastne je

Z dôvodov stálej snahy znižovania nákladov vo výrobe resp. pri údržbe, hľadajú sa všade vo svete také riešenia, ktoré by čo najviac znížili súvisiace výdavky. Často je dôležitá aj rýchlosť opravy, zákazník ráta odstávkou prevádzky na hodiny...

Tradične sa zariadenia pred opravami prírub alebo uložení musia:

- zdemontovať
- naložiť
- odvieť do dielne na opravu
- po oprave zase naložiť, odvieť a ustaviť na miesto

Pri oprave uložení hlavnej prevodovky alebo pri egalizácii vysokotlakovej príruby môžu tieto pridružené činnosti vyvolať nečakane vysoké finančné požiadavky a časovo trvať aj celé týždne.

Je to rýchle a kvalitné riešenie, ktoré šetrí čas (oprava hotová v priebehu pár hodín) a peniaze (žiadna demontáž zariadenia, žiadny transport). Prácu vykonávajú odborní pracovníci- technici na mieste, za pomoci prenosných zariadení.

Presnosť týchto opráv je na stotiny milimetra, priemer opravovaných prírub je od 40 aj do 6 000 mm (špeciálne stroje).

Aká sa dá dosiahnuť kvalita? Vzhľadom na to, že sa používajú zariadenia často prevzaté z konvenčných obrábacích strojov tak sa dá robiť v kvalite  $\pm 0,01$  mm. Ustavenie stroja sa vykonáva v 3 osiach (x, y, z) po celej dĺžke plochy opravy. Po vykonaní diela sa uskutočňuje odborné meranie.

## Trocha z histórie

Medzi prvých priekopníkov takéhoto druhu opráv na Slovensku patrí jednoznačne legendárny pán František Kliha (obr. č. 1), ktorý s takýmito opravami začínal v spoločnosti Slovnaft už v minulom storočí a potom pokračoval s týmito špeciálnymi činnosťami po celom Československu. Z hľadiska nedostatočného prístupu k takýmto strojom (len zo zahraničia) a tiež nesporne aj so záujmom ušetriť finančné prostriedky presadzoval systém výstavby originálneho špeciálneho stroja postaveného z bežne obrábačom dostupných súčiastok. Pohon mu robili vrtačky (napr. od firmy Narex), obrábacie hlavy boli pôvodom z horizontálnych vyvrtávačiek... Všetky ďalšie držiaky, podpery, pomocné a hlavné príruby, lišty atď. boli vyrobené svojpomocne s cieľom dosiahnuť vytúžené výsledky.

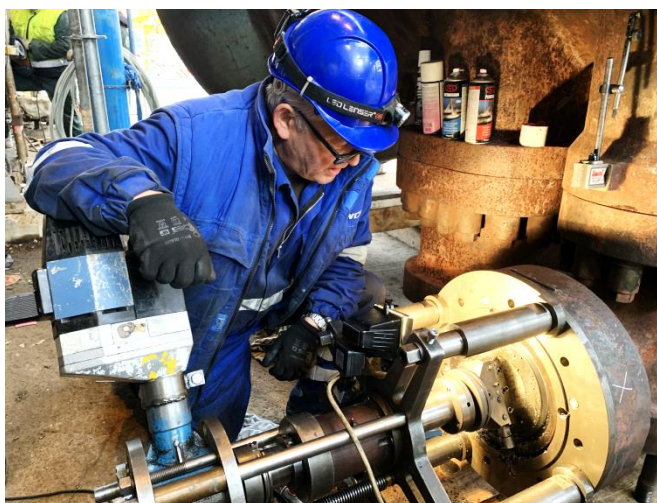




*Obr. 1 Pán František Kliha pri meraní hriadeľa*

### **Ako sa to rozbehlo**

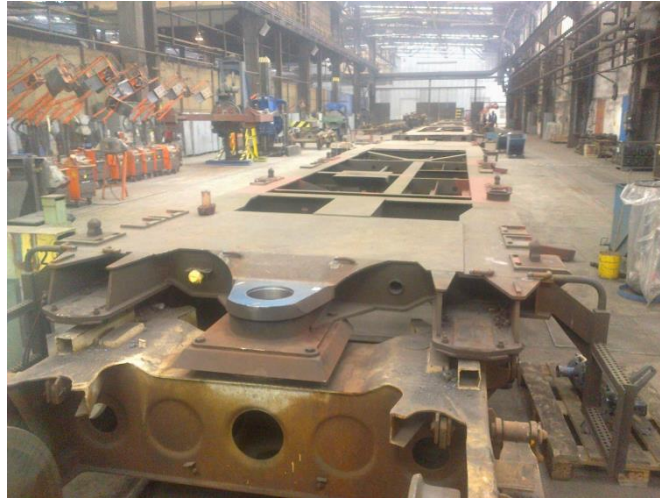
Pán Kliha si nenechával svoje vedomosti pre seba... Túto metódu od neho prevzali aj ďalší slovenskí údržbári, ktorí sa realizovali s menšími alebo väčšími úspechmi. Určite jednotkou medzi nimi je pán Štefan Majzún (obr. č. 2) zo spoločnosti SLOVCEM, ktorý sa týmto systémom opráv na mieste začal vo väčšom zaoberať po roku 2005 a postupne pridal k nemu ešte viac unikátnosti a zdravého sedliackeho, či v tomto prípade je možné už povedať inžinierskeho rozumu.



*Obr. 2 Pán Štefan Majzún egalizuje prírubu*

### **Kľúčový je človek**

Metódou zostavenia obrábacieho stroja za účelom opravy na mieste sa dá doceliť veľmi kvalitná oprava za prijateľnú cenu, čo často využívajú údržbári v spoločnostiach ako so Slovnaft, USSteel Košice, Duslo Šaľa, ŽOS Trnava (obr. č. 3), atď. Dôraz je kladený na obsluhu, ktorá musí mať skúsenosti, vedomosti, ale aj predstavivosť, pretože často krát sa problém na prevádzke javí ako neprekonateľný a treba vymyslieť, ako ho prekonať.



Obr. 3 Opravené ťažné oko podvozku železničného vozňa

### **„Neriešiteľné“ problémy**

Samozrejme, na všetky druhy obrábania a egalizácií existujú vysoko špecializované stroje, ktoré sa dajú kúpiť alebo požičať v Nemecku, Taliansku, vo Francúzsku a inde. Tieto stroje nemajú problém s presnosťou obrábania, s veľkými plochami (často treba zarovnať desiatky metrov štvorcových v hrúbke niekoľko mm), ani s veľkými priermi.

Ale v prevádzkach sa nájdu aj „neriešiteľné“ problémy, na ktoré jednoducho špecializované stroje nestačia. Medzi ne patria:

- prerušovaná plocha
- vzdialenosť obrobenia
- drážky na hriadeľ (napr. pre zaistovacie klíny)
- eliptický otvor
- špeciálny úkos prírub
- previsy resp. plochy mimo hlavných rozmerov zariadenia
- a ďalšie

Ale aj tieto sa podarilo v slovenských podmienkach prekonať...

V našej poprednej automobile bola slovenskými technikmi vykonaná oprava pojazdovej dráhy frameru Alfo 120 v dĺžke 4 000 mm (o túto opravu má záujem aj sesterská automobilka v Moskve), urobilo sa zarovnanie prerušovanej tesniacej plochy šupátka spaľovne RNV 3200, opravil sa hriadeľ s drážkami pre zaistovacie klíny remenice vážiacej 4 tony (obr. č. 4), v najvýznamnejšom našom hutníckom závode sa obrobili dve uloženia (priemer 600) vo vzdialenosti 1850 mm od seba (alternatíva bola požiadať o opravu firmu z USA), zväčšila sa aj dosadacia drážka reaktora, ktorá sa nachádza 450 mm pod prírubou reaktora priemeru 3804 mm...



*Obr. 4 Meranie hriadeľa s drážkami*

„Neriešiteľným“ problém sa môže zdať aj obrobenie dvoch otvorov (priemer 600 mm) na pohone stolice valcovne, vzdialených od seba 1 850 mm, kde je potrebné zachovať dokonalé centrovanie otvorov. Inak ako s obrábacím zariadením na mieste (s tyčou dlhou 5 metrov, na ktorej sú upevnené podpery, ukotvenia, pohon aj samotná obrábacia hlava) sa táto práca urobiť nedá.

Podobne opracovanie vysokotlakových prírub s odvozom do dielne (odpálenie z potrubia, odvoz, frézovanie v dielni, spätný odvoz, privarenie) sa javí ako neuskutočniteľná misia. Riešením je obrábanie na mieste.

### **Aj tu sú však ťažkosti**

Tento systém opráv je v mnohých smeroch výborný, vyžaduje si však viac času na premyslenie, ako stroj zostaviť tak, aby sa dosiahli požadované parametre. Sú za tým často krát dlhšie odborné diskusie, skúšky, výroba prípravkov a testovanie strojov. A prevádzka potrebuje spustiť výrobu hneď...