

# 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**

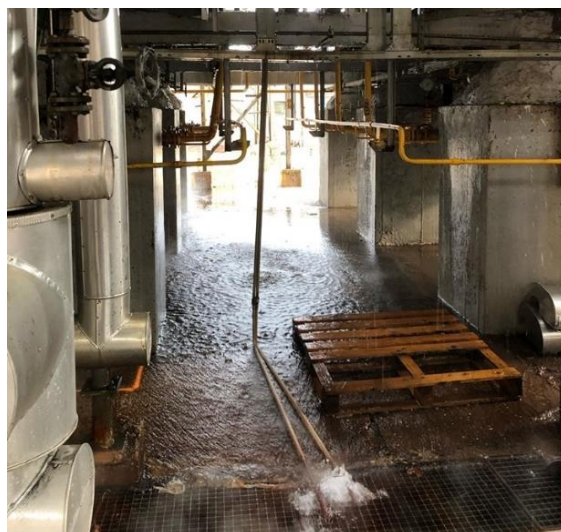
*Potrubné systémy sú počas svojej prevádzky vystavené mnohým negatívnym vplyvom spôsobujúcim rozvoj a vznik rozličných chýb, ktoré významne ovplyvňujú bezpečnosť a hospodárnosť ďalšej prevádzky. Preto je dôležité poznať technológie, ktorými je možné tieto potrubia, resp. ich komponenty opraviť bez odstavenia 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 prírodného 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

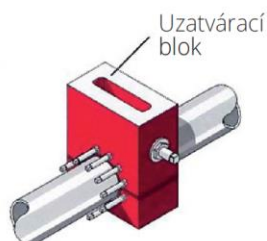
Vzhľadom k vyššie uvedeným prevádzkovým parametrom, najmä však s ohľadom na prevádzkový tlak 17,0 MPa, bolo k uzatvoreniu potrubia za prevádzky použité zariadenie Shear+Plug spoločnosti PLIDCO (USA). Uzatváracie zariadenie Shear+Plug používa tesnenie tesniaceho taniera typu kov na kov, ktorým je možné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

### TYPICKÝ POSTUP UZATVORENIA POTRUBIA ZA PREVÁDKY:

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



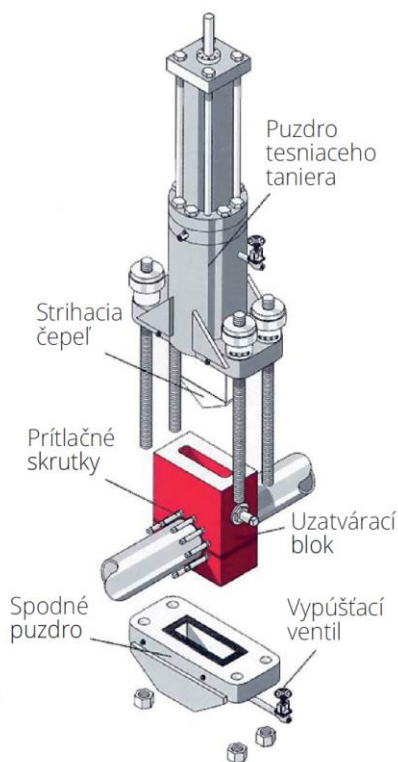
3. Uzatvárací blok sa uloží na potrubie a zo všetkých strán sa zvarí.



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.

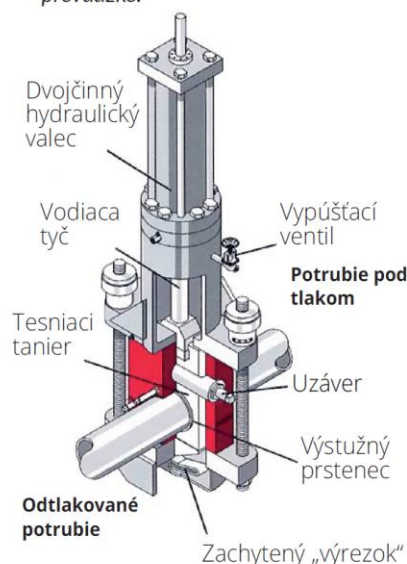
*V prípade potreby dotesnenia sa tanier utesní tesniacim tmelom.*



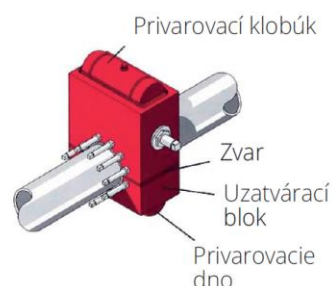
8. Odstavený úsek potrubia sa odtlakuje a vykonajú sa príslušné práce.
9. Počas naplánovanej práce na potrubí sa demontuje spodné zachytávacie puzdro uzatváracieho bloku, odstráni sa odstrihnutý „výrezok“ spolu s čepeľou a na dno uzatváracieho bloku sa navarí privarovacie dno.
10. Po dokončení naplánovaných 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 navareníu tlakového dienu, 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 zvarovania na potrubí, ktoré bude počas zvarovania 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 zvarovania 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 zvarovania.

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

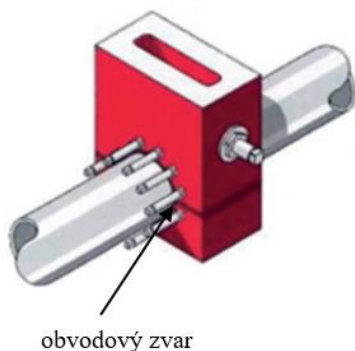
Súčasne s overovaním materiálu jestvujúceho potrubia bolo vykonané meranie hrúbky steny sondou pre vysoké teploty. Meraním boli zistené hodnoty hrúbky steny jestvujúceho potrubia v miestach budúcich zvarov od 8,3 do 9,0mm. Po zmeraní hrúbok stien bola vykonaná ultrazvuková kontrola na delaminácie, ktoré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

##### **5.3. Návrh modelu**

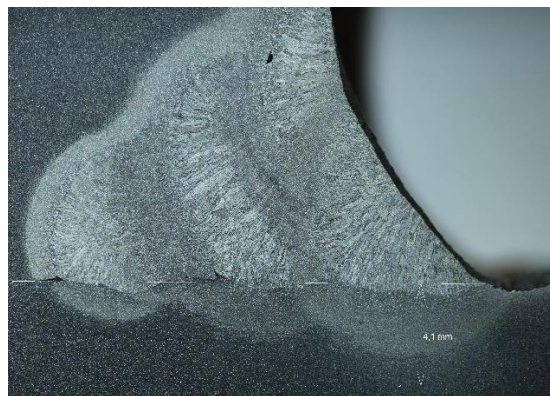
Hlavným rizikom inštalácie systému je realizácia obvodového zvaru (viď. obr.3) medzi potrubím a telom uzatváracieho bloku. Počas zvaracieho procesu dochádza k prehrievaniu lokálnej oblasti. Pri zvýšených teplotách sú mechanické vlastnosti materiálov nižšie a keďže inštalácia uzatváracieho systému sa 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 makroskopickú snímku (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



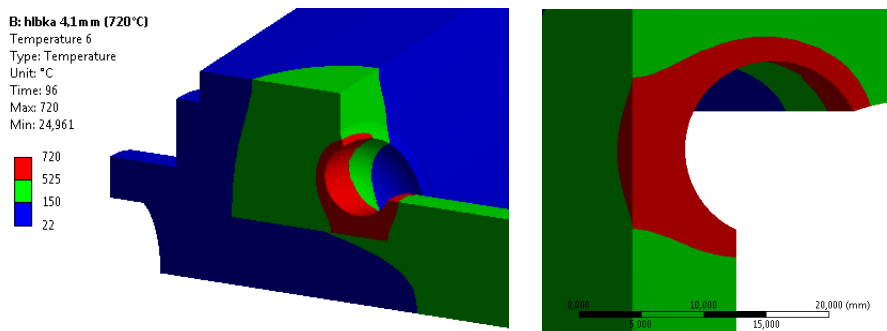
Obr.4 Makroskopická vzorka, hĺbka izotermickej zóny 720°C – 4,1mm

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

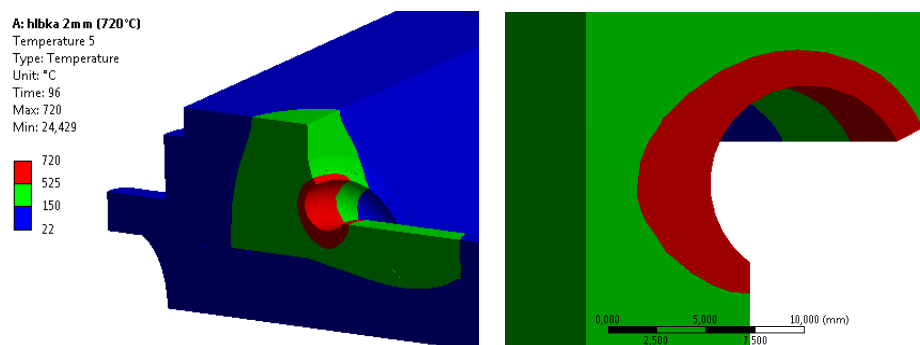
### 5.3.2. Výpočtová fáza

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.

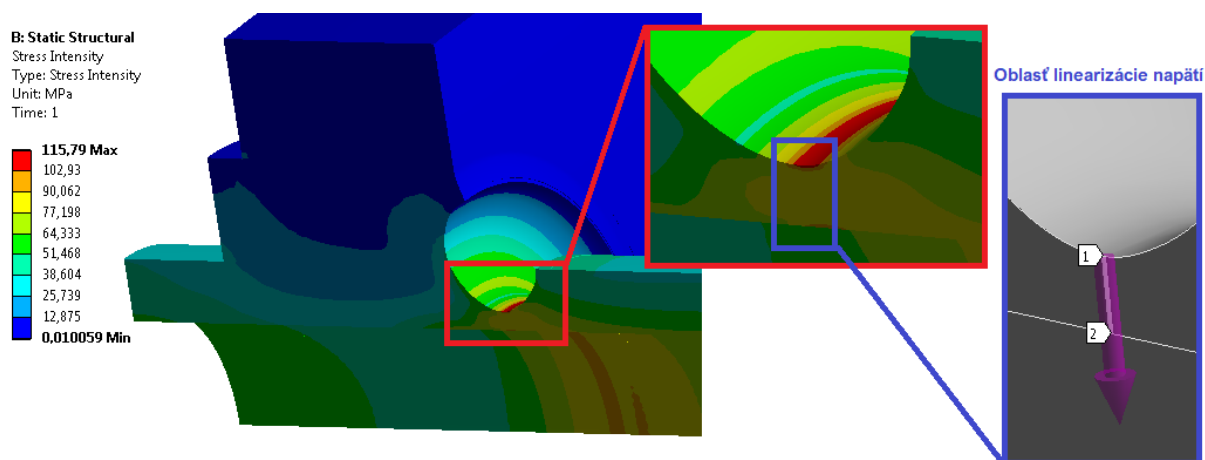
Vzhľadom k nerovnomernosti pretavenia po šírke makroskopickej vzorky bol vytvorený aj model s hĺbkou izotermickej zóny 2 mm. Na základe dostupných výsledkov z realizácie skúšobného zvaru (obr.4) sa konzervatívne uvažovalo s konštantným tvarom prierezu po celom obvode.



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.

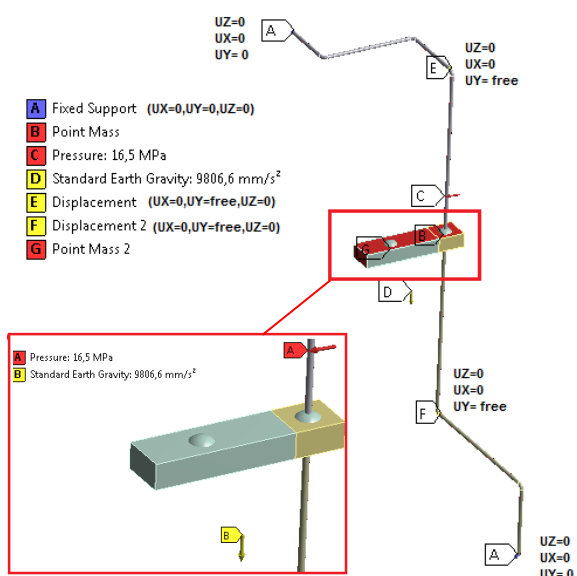
Z uvedených výsledkov bolo možné konštatovať, že uvedené zvarenie uzatváracieho bloku je možné bezpečne vykonať na jestvujúcom potrubí s vnútorným pretlakom 17,0 MPa pri teplote 145°C,

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).

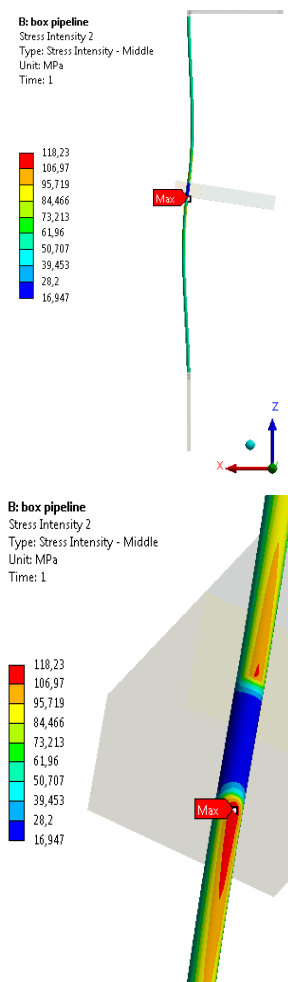
#### 5.4. Overenie tuhosti potrubia s nainštalovaným zariadením Shear+Plug

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 dienkom) 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 škupinové (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 zváraní

#### 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 vŕtanie 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