

Vysoké školy strojní a textilní v Liberci
nositelka řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23-07-8

Strojírenské technologie

zaměření

Tváření kovů a plastických hmot

Katedra svařování

PŘEPČET ZBYTKOVÉ ŽIVOTNOSTI PAROVODU PŘEHŘÁTÉ PÁRY U KO-
TLŮ TYPU G 350 t/hod. V ELEKTRÁRNĚ MĚLNÍK, k.p. HORNÍ PO-
ČAPLY

Otakar Fiala VŠST Liberec

KPT - 072

Vedoucí práce: Ing. Heinz Neumann

Konzultant: Ing. Bohumil Braun CSc. SVUSS Běchovice
s. Vladimír Pokorný, Elektrárna Mělník

Rozsah práce a příloh

Počet stran 57

Počet příloh 1

Počet tabulek 6

Počet obrázků -

Počet výkresů -

Počet modelů a -

jiných příloh

Datum 27. 5. 1983

Vysoká škola: strojní a textilní Fakulta: strojní
Katedra: tváření a plastů Školní rok: 1982/83

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DĚLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro s. Otakara F i a l u
obor strojírenská technologie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorozních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Přepečet zbytkové životnosti parevedu přehřáté páry
u kotlů typu G 350 t/hed. v Elektrárně Mělník, k.p.
Horní Pečaply

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s konstrukcí a technickými parametry kotlů G 350 t/hed.
2. Seznamte se s metodikou stanovení zbytkové životnosti vysokotlakých zařízení.
3. Proveďte návrh experimentálních zkušek.
4. Stanovte zbytkovou životnost parevedu.

V 126 / 83 S

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, SUDOVÁ ŠKOLA
PSČ 461 17

Autorské právo se řídí směrnicemi
MŠK pro státní záv. zkoušky č.j. 31
727/62-III/2 ze dne 13. července
1962-Věstník MŠK č. 24 ze
dne 31. 8. 1962

KPT-TP

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 50 stran textu

Seznam odborné literatury:

1.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Heinz Neumann

Konzultant :

Ing. Bohumil Braun CSc. SVÚS Běchovice
s. Vladimír Pokorný, Elektrárna Mělník

Datum zadání diplomové práce:

konečné zadání 1. 10. 1982

Termín odevzdání diplomové práce:

27. 5. 1983



Doc. Ing. Jaroslav Iměj CSc.
Vedoucí katedry

Doc. RNDr. Bohuslav Striž CSc.
Děkan

v Liberci dne 27. 9. 1982

"Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury."

v Liberci, dne 27. 5. 1983

Olgařata

OBSAH

	Přehled použitých symbolů a měrových jednotek	6
1.	Úvod	7
2.	Studijní část	9
2.1	Konstrukce a technické parametry kotle G 350t/h	9
2.1.1	Hlavní technické parametry kotle	9
2.1.2	Konstrukce kotle	9
2.2	Kontrola mechanických vlastností parovodů	13
2.3	Plastické deformace za vysokých teplot	15
2.3.1	Matematický popis křivek tečení	15
2.3.2	Creepové zkoušky	18
2.4	Metodika stanovení zbytkové životnosti dle SVUSS	21
2.4.1	Požadované vstupní informace pro výpočet	24
2.5	Stanovení zbytkové životnosti globální metodou	28
2.5.1	Charakteristika globální metody	28
2.5.2	Namáhání potrubních soustav VT systému	29
2.5.3	Definice efektivní teploty a Larson-Millerova vztahu	30
2.5.4	Definice materiálových konstant b_1 , b_2 , c	33
3.	Stanovení zbytkové životnosti výpočtem	35
3.1	Výpočet životnosti globální metodou pro kotle G 350t/h	35

3.1.1	Výchozí stav materiálů	35
3.1.2	Výchozí hodnoty pro výpočet	38
3.1.3	Vlastní výpočet	40
3.2	Výpočet životnosti globální metodou pro kotle G 250t/h	48
3.2.1	Výchozí hodnoty pro výpočet	48
3.2.2	Vlastní výpočet	48
3.3	Výsledky výpočtu	54
4.	Závěr	55
	Seznam použité literatury	56
	Seznam tabulek	57

PŘEHLED POUŽITÝCH SYMBOLŮ A MĚROVÝCH JEDNOTEK

Zn. veličiny	Jednotka	Název veličiny
\bar{T}	$^{\circ}\text{C}$	průměrné teplota
T_{ef}	$^{\circ}\text{C}$	efektivní teplota
$T_{výp}$	$^{\circ}\text{C}$	výpočtová teplota
p	MPa	výpočtový přetlak
σ_{red}	MPa	redukované napětí
σ_{max}	MPa	maximální napětí
$\sigma_{výp}$	MPa	výpočtové napětí
D_2	mm	maximální průměr potrubí
D_1	mm	minimální průměr potrubí
D_s	mm	střední průměr potrubí
s_{jmen}	mm	jmenovitá tloušťka stěny potrubí
s_{min}	mm	minimální tloušťka stěny potrubí
t	hod	doba provozních hodin
k_1	-	koefficient zvýšení napjatosti v ohybech
D	-	stupeň poškození
$\tau^*(\sigma_{výp}; T_{výp})$	hod	střední doba do lomu při výpočtovém napětí $\sigma_{výp}$ a výpočtové teplotě $T_{výp}$
$\tau_{výp}$	hod	výpočtová životnost

1. Ú V O D

Elektrické energie je nejušlechtilější ze všech druhů energie. Pro její četné přednosti se jí také nejčastěji používá. V některých oborech spotřeby téměř úplně vytlačila použití jiných druhů energie, jako např. v osvětlování, napájení přístrojů, pohonů motorů apod. Její použití je univerzální, snadno a s relativně malými ztrátami se rozvádí i na velké vzdálenosti. Pro všechny svoje výhody je ze všech druhů vyráběné energie nejrozšířenější. Umožnila velký rozmach řady průmyslových oborů a dnešní technický pokrok.

Spotřeba elektrické energie stoupá na celém světě tak rychle, že v posledním období se její výroba za každých 7 až 10 let ve většině průmyslově vyspělých států zdvojnásobuje. Takový rychlý rozvoj spotřeby elektrické energie klade mimořádně velké nároky na vývoj výroben elektrické energie, na úroveň výrobních zařízení, obsluhy a na řízení výrobních procesů.

Největší množství elektrické energie je ve světovém měřítku i u nás vyráběno v parních elektrárnách, nazývaných také kondenzační elektrárny. V těchto elektrárnách se vyrábí elektrické energie z tepla vzniklého spalováním paliv /pevných, kapalných nebo plyných/.

Základním technologickým zařízením kondenzační elektrárny jsou parní kotel, parní turbína a elektrický generátor. Parní kotel plní funkci zařízení, v němž se realizuje přeměna chemické energie paliva v tepelnou energii plamene a spalin i přenos této energie pracovní látkou. Soustava kotel - turbína se nazývá "blok elektrárny". Každý kotel je spojen parovodem jen s jednou turbínou, parovod má být co nejkratší.

Současné podmínky potřeby národního hospodářství ve výrobě elektrické energie kladou vysoké požadavky na

provozní schopnost energetických zařízení. Řešení otázky spolehlivosti potrubních systémů je proto neodkladným problémem pro zajištění plynulých dodávek elektrické energie. Protože při počátečních úvahách o provozu bloku nejsou uvažovány všechny provozní vlivy, je nutné po určité době provozu bloku přistoupit na základě stanovení efektivních hodnot teploty a tlaku k přepočtu reziduální /zbytkové/ životnosti. Tento výpočet provádí přesnou metodou SVUSS Běchovice.

Jelikož pro kotle G 350t/h na elektrárně EMĚ II. tento výpočet prováděn nebyl, byl mi tímto podnikem zadán jako diplomový úkol přepočet zbytkové životnosti VT parovodu u těchto kotlů. Výpočet jsem provedl globální metodou bez specifikace nejvíce poškozeného místa potrubí.

2. STUDIJNÍ ČÁST

2.1 Konstrukce a technické parametry kotle G 350t/h

2.1.1 Hlavní technické parametry kotle

Jmenovitý výkon kotle ... 350t/h

Hospoděrný výkon kotle ... 280t/h

Jmenovitý tlak páry na výstupu z přehříváku ... 14,2 MPa

Konstrukční tlak kotle ... 17,5 MPa

Jmenovitá teplota přehřáté páry ... 570_{-10}^{+5} °C

Jmenovitá teplota napájecí vody ... 240 °C

Jmenovitá teplota přehřáté páry ... 540_{-10}^{+5} °C

Účinnost při jmenovitém výkonu kotle ... 86,0%

Účinnost při hospoděrném výkonu kotle ... 86,2%

/účinnosti vztaženy na teplotu vzduchu +25 °C/

Palivo ... severočeské hnědé uhlí o výhřevnosti 2 500 kcal/kg

/obsah vody 35%, obsah popele 23%, obsah prchlavých látek

v hořlavině (55 ± 57)%, obsah síry v sušině (1,2 ± 2,8)%/

2.1.2 Konstrukce kotle

Kotel je jednobubnový s přirozenou cirkulací, granulární, polovenkovního uspořádání. Je určen pro provoz v bloku se 110 MW turbosoustrojím. Někres kotle je v příloze 1.

Spalovací komora - má přibližně čtvercový průřez. Šířka komory je 11 000mm, hloubka 10 000mm. Stěny jsou zcela vychlazeny kotlovými a částečně přehřívákovými trubkami. V horní části je spalovací komora zúžena vyhnutím zadní stěny. Vyhnutí tvoří trubky stěnového přehříváku a polovina kotlových trubek. V zúžené části komory jsou umístěny šotové přehříváky.

Odpařovací systém je dvoustupňový a skládá se z jednotlivých cirkulačních sekcí, které jsou propojeny v bubnu. Každá sekce má samostatné zavodnění. Aby bylo dosaženo rovnoměrné cirkulace, je varný systém rozdělen na samostat-

né sekce. Zavodňovací trubky jsou přivařeny ke spodním komorám a k bubnu prostřednictvím trubkových nástavců. Varné trubky jsou přivařeny ke spodním a horním komorám. Z horních komor je směs páry a vody vedena do kotlového bubnu převáděcími trubkami. Převáděcí trubky jsou ke komorám a k bubnu rovněž přivařeny, a to prostřednictvím trubkových nástavců. Veškeré otrubkování spalovací komory je zavěšeno na stropě kotle a dilatauje směrem dolů. Na varných trubkách je uchycena obezdívka a izolace spalovací komory. Kotlový buben má průměr 1 800mm a délku veltcové části - 11 800mm. Uvnitř je vestavěna přepážka pro dvoustupňové odpařování a zařízení, umožňující dosažení potřebné čistoty páry. V bubnu jsou rovněž hubice pro přívod cizí páry, kterou je buben nahříván během najíždění kotle.

Přehřívák páry - z kotlového bubnu je sytá pára vedena převáděcími trubkami do komory KP1, odtud trubkami stěnového přehříváku proudí přední stěnou směrem dolů do vratné komory KP2, kde se směr proudu obrací, pára se vrací dalšími trubkami nahoru a je vedena na zadní stěnu do vratné komory KP3. V této komoře se opět obrátí směr proudění vzhůru do komory KP4. Pára vystupuje z komory KP4 a prochází stropními trubkami do druhého svislého tahu do komory KP5. K této komoře jsou připojeny závěsné trubky přehříváku II a přihříváku I, jejichž část tvoří strop a zadní stěnu druhého tahu. Pára proudí závěsnými trubkami do vstupní komory přehříváku II KP6. Na výstupní komoru KP7 tohoto přehříváku je připojeno potrubí k šotovému přehříváku III, jehož vstupní komora je označena KP8. Šotový přehřívák je rozdělen na střední šoty a krajní šoty. Střední šoty jsou tvořeny šesti trubkovými deskami, které jsou umístěny ve střední části spalovací komory a jsou zakončeny komorou KP11. Výstup páry z bočních šotů je proveden komorami KP14. K dalšímu přehřívání páry dochází ve visutém přehříváku IV se vstupní komorou KP15 a výstupní KP16.

Posledním přehřívákem V je svazek se vstupní komorou KP17 a výstupními komorami KP18, pára v něm proudí převážně v souproudu se spalinami.

Mezi druhý a třetí, čtvrtý a pátý přehřívák je zařazen vstřikovací chladič páry. Uvedené vstřiky jsou ovládnuty automaticky. Mimo uvedené vstřiky je za přehřívákem III pomocný vstřik, jež je ovládnut ručně.

Přehřívák páry - sestává se z výměníku a dvou svazků. Výměník je proveden jako horizontální svazek, umístěný na druhém tahu kotle. Svazek trubek je umístěn systémem trubka v trubce. Vnitřní trubky jsou připojeny ke komorám KP19 a KP20, vnější trubky na KMP1 a KMP2.

Přehřátá pára je přiváděna oběma parovody ke vstupní komoře výměníku KMP1. Prochází mezikružím mezi vnitřní a vnější trubkou do komory KMP2. Vnitřními trubkami proudí přehřátá pára, které se odebírá v potřebném množství za II. přehřívákem, jež je automaticky regulována a přivádí se ke komoře KP19. Po projití svazkem se přehřátá pára, které předala část tepla přehřáté páře, odvede z komory KP20 zpět za přehřívák II.

Přehřátá pára, která se ve výměníku ohřála jak teplem přehřáté páry, tak i teplem spalin, je vedena z komory KMP2 do konvekčního přehříváku II. Z výstupní komory KMP3 tohoto přehříváku je přiváděna pára do výstupního přehříváku III s komorami KMP4, KMP5, KMP6. Zeústění do převáděcí komory KMP5 a výstupní komory KMP6 je provedeno tak, že zde dochází k mísení páry z pravé a levé strany kotle, takže se dosáhne vyrovnání případných rozdílů v teplotě páry na pravé a levé straně.

Regulace teploty přehřáté páry

Teplota přehřáté páry je regulována vstřikováním napájecí vody. Přívodní potrubí vody je připojeno na napájecí potrubí před napájecí hlavou. Voda je vedena do rozdělovací komory a proudí přes regulační ventily, ovládané automa-

ticky, potrubím k jednotlivým vstřikovacím ejektorům. Ejektory jsou v převáděcím potrubí mezi druhým a třetím přehřívákem, čtvrtým a pátým přehřívákem, a to na levé i pravé straně kotle. Pomocné vstřiky, ovládané ručně, jsou před vstupem do konvekčního přehříváku IV.

Regulace teploty přihřáté páry

K regulaci slouží výměník tepla - triflux. Přihřáté pára proudí výměníkem v plném množství, odpovídajícím výkonu turbosoustrojí. Množství přihřáté páry proudící výměníkem a tím i jeho tepelný výkon, závisí na otevření trojcestných regulačních ventilů, které jsou po obou stranách kotle. Trojcestné regulační ventily jsou zařazeny v okruhu automatické regulace teploty přihřáté páry.

Oplechování

Kotelní blok je celý oplechován, aby se docílilo co největší těsnosti proti vnikání falešného vzduchu do kotle. Oplechování je svařované z plechu o tloušťce 1,5mm a 2mm, provedené se zřetelem ke správné dilataci. V místech, kde je nutná kontrola důležitých částí, je oplechování snímatelné.

2.2 Kontrola mechanických vlastností parovodů

Kontrola se provádí dle [1].

Pro sledování změn mechanických vlastností a strukturního stavu, příp. zbytkové životnosti oceli nových zařízení, se určí kontrolní úseky, zpravidla na výpočtově nejvíce namáhaném ohybu potrubí. Tento úsek obsahuje celý ohyb včetně svaru na jedné straně, s přímou částí za svarem, dlouhou minimálně 150mm. Na určeném kontrolním úseku se běžně měří tečení podle čl. 36 až 50.

Kontrolní úseky na nových zařízeních určuje projektant. Na starších zařízeních stanoví místo odběru pověřené organizace. Pro jeden druh oceli, jeden jmenovitý průměr potrubí a stejné parametry páry, se obvykle stanoví jeden kontrolní úsek nebo výřez. Určí-li se vzhledem k rozsáhlosti zařízení více úseků, je třeba dbět, aby jejich materiál nebyl z jedné a téže tavby. U nových zařízení je nutné, aby byl uschován vzorek původního výchozího materiálu. Vzorek musí být ze stejné tavby a shodně tepelně zpracován jako kontrolní úsek.

Kontrola změn struktury se provádí na vzorcích vyříznutých z kontrolního úseku potrubí. Vyjmutý kus se nahradí novým potrubím. O vyjmutí kontrolního úseku se dohodne provozní organizace s nadřízeným orgánem nebo jím pověřenou organizací. Je-li průběh tečení podle výsledků měření /podle čl. 48 a 50/ příznivý, vyjme se kontrolní kus při delším odstavení zařízení /generální opravě/ po 60%, nejpozději však po 70% projektované životnosti. Dochází-li k překročování jmenovité teploty zařízení, musí být kontrolní kus vyjmut přiměřeně dříve. Další kusy těchto parovodů se vyjímají podle potřeby, opět po dohodě s nadřízeným orgánem nebo jím pověřenou organizací. Vyjmuté vzorky se zašlou oborové materiálové zkušebně na provedení zkoušek podle čl. 64.

Při odběru kontrolního vzorku se provedou též zkouš-

ky na výskyt trhlin z přídatného namáhání na jiných silně exponovaných místech potrubí, např. ohybech, pevně uložených tvarovkách apod.

Na vyjmutém kontrolním vzorku se provedou tyto zkoušky:

a/ povrch potrubí se pečlivě prohlédne, zda se na něm nevyskytují trhlinky z tepelného pnutí. Rozsah případných trhlinek se ověří magnetickou zkouškou metodou práškovou /viz. ČSN 01 5015/, příp. jinou vhodnou metodou;

b/ proměří se pečlivě tloušťka stěny potrubí;

c/ kontrolní chemický rozbor na obsah slitinových přísad /Cr, Mo, V/ a základních přísadových prvků /C, Mn, Si, S, P/;

d/ svarový kov se analyzuje pouze na obsah slitinových přísad, ve zvláštních případech na obsah plynů /N₂, H₂/;

e/ zkouška tvrdosti podle Brinella nebo Vickerse na povrchu a na příčném řezu. Průběh tvrdosti přes povrch svaru a základní materiál proměřit do vzdálenosti 20mm od okraje svarové housenky na každou stranu, jednotlivé zkoušky ve vzdálenosti max. 2mm od sebe;

f/ zkouška tahem v podélném i tangenciálním směru základního materiálu vždy minimálně třech vzorcích /normalizovaná tyč, viz. ČSN 42 0311/

g/ zkouška vrubové houževnatosti na třech vzorcích z každého materiálu a svaru /vrub ve svarovém kovu a v přechodovém pásnu/ za normální teploty. V případě rozdílných výsledků /v rozptylovém pásnu/ se udělá přechodové křivka při 20°C, 40°C, 100°C, vždy po třech vzorcích;

h/ podle výsledků měření tvrdosti svarů se teprve rozhodne o mechanických zkouškách;

i/ metalografický rozbor svaru a základního materiálu;

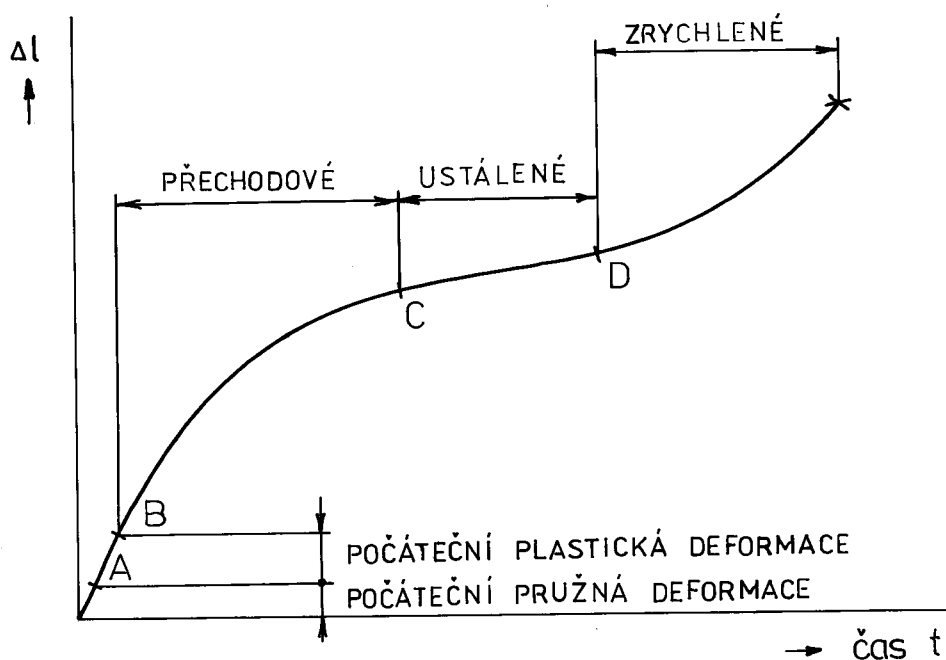
j/ makrovýbrus svaru;

k/ podle výsledků základních zkoušek rozhodne zkušební orgán o provedení a rozsahu creepových zkoušek;.

2.3 Plastická deformace za vysokých teplot /creep/

2.3.1 Matematický popis křivek tečení

Pomalé deformace kovů během dlouhé doby vlivem vnějších sil se označuje jako tečení materiálu /creep/. K tečení dle [2] dochází za určitých podmínek, tj. teploty, napětí a času i tehdy, když hodnota působícího napětí je nižší, než mez plastické deformace, určené statickou zkouškou.



Uvedený diagram ukazuje křivku tečení, tj. závislost prodloužení na čase, na které lze rozeznat tři stádia tečení:

I. Primární /přechodové/ tečení, které navezuje na počáteční pružnou a tvárnou deformaci. Vzorek se rychle prodloužuje, avšak po krátkém čase se rychlost tečení zmenšuje na nepřetržitou míru /bod C/.

II. Sekundární /ustálené/ tečení se vyznačuje přibližně

konstantní rychlostí tečení /úsek \overline{CD} /.

III. Terciální /zrychlené/ tečení je nad bodem D a je charakteristické zvyšující se rychlostí tečení a je zakončeno přetržením vzorku.

První práce Andradeovy zabývající se otázkami tečení, snaží se matematicky vystihnout tečení různými empirickými vztahy. Tak např. Andrade vyjadřuje deformace vzniklé tečením při $T = \text{konst.}$ a $\sigma = \text{konst.}$ pomocí konstant l_0 , β a k rovnicí:

$$l = l_0 (1 + \beta t^{\frac{1}{3}}) e^{kt}, \quad (1)$$

kde l ... délka drátu, který byl podroben napětí v tahu
 t ... čas,

konstantou β je vyjádřen podíl přechodového tečení a konstantou k je vyjádřen naopak podíl ustáleného tečení. Oba procesy tečení probíhají v materiálu současně a vlivem vnějších okolností se různou měrou uplatňují:

Pro $k=0$ nabývá rovnice (1) při přechodovém tečení tvar

$$l = l_0 (1 + \beta t^{\frac{1}{3}}) \quad (2)$$

a přechodové tečení, které odpovídá svým průběhem tomuto vztahu, je označováno jako tečení β .

Derivací rovnice (2) podle času stanovíme rychlost tečení

$$\frac{dl}{dt} = \frac{1}{3} l_0 \beta^{\frac{2}{3}}. \quad (3)$$

Pro $\beta=0$ mění se tvar rovnice (1) na

$$l = l_0 \exp(kt). \quad (4)$$

Rychlost tečení, stanovená derivací podle času, je

$$\frac{1}{l} \frac{dl}{dt} = k \quad (5)$$

Tečení vyjádřené touto rovnicí označuje Andrade tečením k .

Rychlost tečení, vztažena na jednotku délky drátu, je během tečení k přibližně konstantní.

Novější práce, které se zabývají tečením velmi čistých kovů, např. mědi a hliníku, ukazují na složitější průběh tečení v prvním stádiu, které je možno vyjádřit rovnicí:

$$a = \alpha \log(vt + 1) + \beta^{\frac{1}{3}} \quad (6)$$

Přítom za nízkých teplot /v rozsahu měřných teplot/ pře-
važuje tečení α , označené jako tečení logaritmické. Za
zvýšených teplot, popř. za zvýšeného napětí převažuje vliv
konstanty β a tečení je označováno jako tečení β .

Průběh logaritmického tečení

$$a = \alpha \log (vt + 1) \quad (7)$$

je vysvětlován následovně: při malém napětí působícím za
nízké teploty je plastická deformace jen omezena; proto ne-
dochází ke zpevnění krystalů, a tedy také probíhající te-
čení není ovlivňováno zotavováním. Tečení je umožňováno
např. vzájemnou interakcí mezi dislokacemi /např. jejich
anulací/ a tak se postupně vyčerpávají všechna místa v
krystalické stavbě, které umožňují tečení i při malé te-
pelné aktivaci. Postupným vyčerpáním takových míst se te-
čení zpomaluje na minimální hodnotu.

Tečení β , které má pro technickou praxi širší význam, než
tečení α , rozvíjí se naopak při větší plastické deformaci,
která vede ke zpevnění, a tedy průběh tečení je určován
současně probíhajícím zotavováním. V počátečním stádiu
překrývá se tečení β do určité míry s tečením logaritmickým
a později vlivem probíhajícího zotavování přechází na dru-
hé stádium tečení.

Pro ocel 15 123.1, z níž se potrubní systémy vyrábějí,
platí:

$$\ln \bar{\epsilon}_c (t) = \ln \frac{\sigma}{E_T} + At^N \quad (8)$$

$\bar{\epsilon}_c (t)$... střední /průměrné/ hodnoty creepové deformace
v závislosti na čase, σ [MPa]... napětí, t [hod]... čas,

E_T [MPa]... modul pružnosti při teplotě T

kde $A = f(\sigma; T)$ a $N = g(T)$:

$$A = \exp\{[k_2 + \delta(575 - T) \cdot k_1] \cdot (T - 575) \sigma^m + L \sigma^p + F\}$$

kde $m = m' [1 - \delta(575 - T)]$, kde $\delta(575 - T) \begin{cases} = 1, & \text{pro } T < 575^\circ\text{C} \\ = 0, & \text{pro } T \geq 575^\circ\text{C} \end{cases}$

T ... teplota ve °C

$$N = d - \frac{a}{b \left(T - \frac{a}{c} \right)^m + 1}$$

a jednotlivé parametry k_0 , L , m , a , c , k_2 , F , m , b , d jsou materiálové konstanty.

2.3.2 Creepové zkoušky

A. Zkouška meze pevnosti při tečení

Zkouška spočívá dle [3] v tom, že se zkušební tyč ohřeje na zkušební teplotu, při této teplotě se zatíží stálou silou a měří se doba do přetržení. Zkouška může být provedena bez přerušování nebo s přerušováním. Během zkoušky není nutno měřit prodloužení, ale měří se tažnost a kontrakce. Tažnost je trvalé poměrné prodloužení při přetržení a kontrakce je poměrné zúžení průřezu při přetržení.

Průřez zkušební tyče může být kruhový, obdélníkový, nebo ve zvláštních případech jiného tvaru. Přednost má být dávana zkušebním tyčím kruhového průřezu.

Ohřev zkušební tyče na zkušební teplotu má trvat od 1 do 4 hodin. Je nutno dbát toho, aby zkušební tyč nebyla ohřívána nad požadovanou teplotu. Po ohřevu má následovat vyrovnávací doba, jejíž délka se určuje podle druhu materiálu.

K důkazu o tom, že teplota v průběhu zkoušky odpovídá příslušným požadavkům /úchyly od dané hodnoty/, má být pořízen buď plynulý záznam teploty, nebo dostatečný počet měření. Za zkušební teplotu se považuje průměrná hodnota všech měření.

Doba do lomu zkušební tyče je celková doba, po kterou je plně zatížena tyč na zkušební teplotě.

Je známo, že jsou často požadovány hodnoty pevnosti při tečení za mnohem delší časové úseky, než jakých se běžně používá při zkouškách. Použijeme-li extrapolace, musí být

použitá metoda přesně a podrobně popsána. V žádném případě se nedoporučuje extrapolovat hodnoty pevnosti při tečení, pokud alespoň některé ze série zkoušek netrvaly 500 hod. Při hodnocení extrapolace se má věnovat pozornost změně struktury materiálu, které mohou nastat vlivem teploty a doby zkoušky.

B. Zkouška meze tečení

Zkouška dle [4] spočívá v tom, že se zkušební tyč ohřeje na zkušební teplotu, při této teplotě se zatíží stálou silou a určuje se trvalé prodloužení v závislosti na době zatížení.

Zkušební tyče musí odpovídat tyčím ad.A.

Zařízení pro ohřev má umožnit ohřátí zkušební tyče na danou teplotu, které nesmí po celou dobu zkoušky a po celé měřené délce vykazovat větší úchytky než jsou povolené. Zařízení pro měření teploty /nejméně tři termoelektrické články/ musí pracovat s citlivostí 1°C .

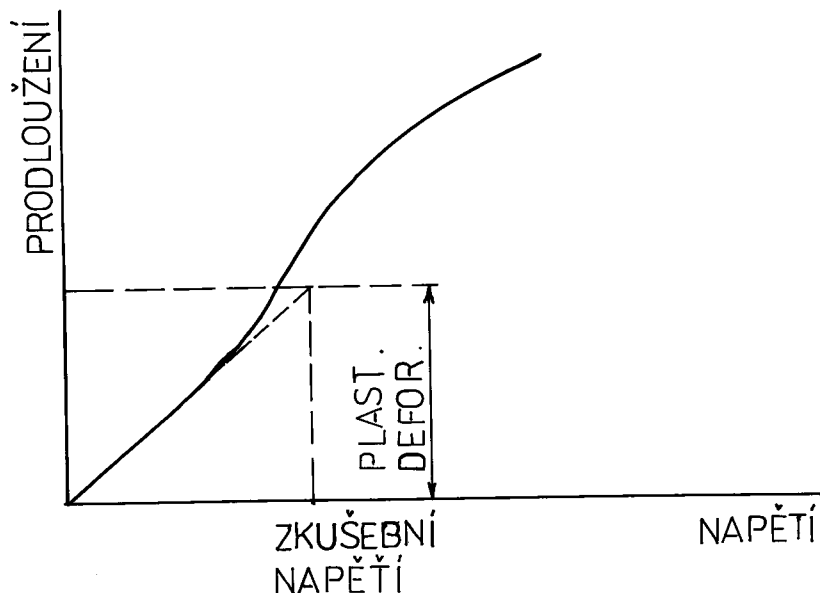
Ohřev zkušební tyče se musí provádět ad.A.

Měřená délka má být nejméně 25mm a má být stanovena s přesností 1%. Měřená délka má být zvolena s ohledem na přesnost měřícího přístroje a na velikost očekávaného prodloužení. Před plným zatížením se má zkušební tyč zatížit na několik minut předpětím nejvýše 10% zkušebního napětí a potom úplně nebo částečně odlehčit, aby se ověřila správná funkce zařízení. K zjišťování trvalého prodloužení /plastické deformace/ vzniklé při zatěžování je možno použít dva způsoby:

I. Od celkového prodloužení zkušební tyče po úplném zatížení odečteme pružné prodloužení stanovené výpočtem. Pro výpočet se použije modulu pružnosti pro zkoušený materiál při zkušební teplotě.

II. Zkušební tyč se zatěhuje stupňovitě, po každém zvýšení zatěžující síly se odečte údaj průtahoměru a naměřené

hodnoty se vynesou do diagramu. Hodnota trvalého prodloužení vzniklé během zatěžování se pak odečte z tohoto diagramu.



Aby se tečení, ke kterému dochází při zatěžování, omezilo na minimum, má se zkušební napětí dosáhnout co nejdříve. Trvalé prodloužení, které vzniké při zatěžování, má být připočteno k trvalému prodloužení naměřenému při zkoušce.

V průběhu zkoušky je prodloužení zaznamenáváno plynule nebo musí být proveden dostatečný počet měření, aby bylo možno sestrojít jednoznačně křivku pro celou zkušební dobu.

Při extrapolování se musí dodržet zásady sd.A.

2.4 Metodika stanovení zbytkové životnosti dle SVUSS

V potrubním prostorovém systému, který svazuje zdroj páry se zařízením jejího využití /např. kotel - parní turbína/ vzniké vlivem zatěžujících podmínek komplikovaný stav napjatosti, který mění svůj průběh jednak podle střední linie potrubního systému, jednak po obvodu průřezu a pochopitelně i podél tloušťky stěny trubky. Protože se jedné o zařízení, které je zatěžováno v oblasti creepu a nestacionárního provozu, můžeme říci, že základní složky napjatosti jsou dány následujícími zatěžujícími veličinami:

a/ vnitřním přetlakem

b/ teplotní dilatací

c/ vlastní hmotností trubky, média a izolace

d/ dalšími přídatnými vlivy, jako např. změněná geometrie ohybu /ovalita či excentricita průřezu/

A proto je nutné posuzovat jejich účinek na vyčerpání poškození extrémně namáhané lokality v daných souvislostech, tzn. při použití regresních vztahů pro creepovou deformaci, vztahů určujících závislost mezi napětím, dobou do lomu a teplotou /např. Larson-Millerův vztah/.

Protože úvodní návrh geometrické linie a průřezu trubky bývá stanovován většinou pouze pro napjatost, vzniklou působením vnitřního přetlaku a s použitím příslušných bezpečností, resp. tolerančních hodnot /rozměrových/ a dále s použitím hodnot σ_{pt} a σ_{tpt} /pokud v době návrhu bloku byly k dispozici/, je nutné provést nový komplexní statický výpočet potrubní trasy s uvažováním všech vlivů zatížení výše uvedených, včetně uvažování mnoha dalších údajů. Sem patří např. stupeň volnosti jednotlivých uložení potrubí, předpětí zévěsů, podpory, charakteristiky pružných zévěsů, kompenzátorů, určení poddajnosti související zařízení, posuvy souvisejících zařízení vnesené do systému, montážní vlivy, vlivy jakosti svarů a mnoho dalších údajů. Tento statický

výpočet elastických hodnot reakčních sil, momentů, posuvů a natočení v jednotl. uzlech systému je poměrně komplikovaný. Výpočet je naprogramován v SVÚSS Běchovice /pro použití středního počítače/, kde je rovněž běžně používán. V poslední době byl tento program upraven na základě použití výpočtu metody konečného prvku.

Protože rovněž při počátečních úvahách o provozu bloku je počítáno s hodnotami výpočtové teploty a výpočtového tlaku a obvykle ani výše uvedené skutečnosti, ani tyto hodnoty nejsou při provozu dodržovány nebo kolísají, je nutné po určité době provozu bloku /bloky nad 100 MW po 60 000 hod. provozu/ přistoupit k výše uvedenému výpočtu elastických hodnot systému a na základě stanovení efektivních hodnot teploty a tlaku přepočítat reziduální /zbytkové/ životnosti. Pro podniky GŘ ČEZ a GŘ SEP jsou uvedeny podklady, které jsou nezbytné pro takovýto výpočet ve směrnici č. 3 z roku 1973. Postup při stanovení zbytkové životnosti u parovodu je následující:

- 1/ Shromáždění všech požadovaných vstupních informací pro výpočet /tyto vstupní informace jsou uvedeny v kapitole 2.4.1/ a údajů o použitém materiálu:
 - a/ regresivní vztah pro creepovou deformaci
 - b/ vztah pro dobu do lomu v závislosti na napětí a teplotě
 - c/ další dostupné informace o chování se materiálu v podmínkách creepu, jako např. náchylnost k vyčerpání plastické deformace, spoluúčinek konstrukční nespojitosti atd.
- 2/ Zvolí se pro výpočet příslušný sumáční vztah pro poškození.
- 3/ Na základě podkladů, získaných v bodě 1/ se provede výpočet stabilních hodnot reakčních sil, momentů, posuvů a natočení pomocí např. výše uvedeného programu. Součástí tohoto výpočtu je i výpočet jednotlivých složek

- napjatosti, způsobených výše uvedenými vlivy. Podle vypočtených maximálních redukovaných napjatostí a podle poměrů složek napjatosti primární a sekundární, jsou pak vybrány k výpočtu reziduální životnosti nejvíce namáhané ohyby a přímé prvky potrubního systému.
- 4/ Na základě teorie tečení Kačanova a Spence jsou složkám napjatosti, způsobených teplotní dilatací a ovalitou průřezu, přisouzeny jejich relaxační průběhy. Součet všech složek napjatosti v závislosti na jejich reologickém charakteru, pak udává základní diagram průběhu napjatosti v závislosti na čase.
- 5/ Tento diagram je pak použit /s použitím přepočtu na základní bezpečnost/ v sumačním zákoně poškození, uvedeném v bodě 2/. Z tohoto vztahu je potom možno stanovit celkovou životnost dané lokality a rozdíl mezi odpracovanými provozními hodnotami něm pak dává reziduální životnost analyzovaného prvku.
- 6/ Na základě těchto výpočtů je pak přistoupeno ke konkrétním návrhům na opatření, které jsou nutné provést při dalším provozu bloku. Nejčastěji to bývá:
- návrh na ještě možnou dobu provozu všech kolen systému a tudíž i případné výměny
 - návrh na případnou úpravu provozních podmínek bloku, tj. teploty a tleku
 - návrh na častější kontroly účinnosti uložení systémů
 - návrh na častější vyhodnocení měření tečení, resp. jeho rychlosti
 - návrh na nedestruktivní zkoušky všech svarových spojů v blízkosti ohrožených lokalit /kontrola svarových spojů je velmi důležitá. Dosavadní havárie potrubních systémů byly vždy v místě svarů, nikdy nedošlo k destrukci materiálu, jako takového/
 - v případě extrémního ohrožení potrubního prvku, je doporučeno tento prvek ze systému vyjmout a provést pro

ověření výpočtu kompletní mechanické a reologické zkoušky vzorků z exponovaného kolena. Dále je nutné provedení zkrácených creepových zkoušek, ze kterých je možné určit regresní vztahy doby do lomu a porovnat s výpočtem.

V každém případě je nutné provést chemické, metalografické a fraktografické zkoušky daného vzorku. Totéž je bezpodmínečně nutné provést s replikami, odebranými ze svarů, umístěných nejbližší exponovaným místům. Je pochopitelné, že při výměně některého prvku systému je nutno dbát na přesném dodržení všech technologických postupů a nařízení pro svařování daného materiálu, včetně příslušného následujícího tepelného zpracování svarů.

Výše popsaný způsob stanovení reziduální životnosti v kombinaci výpočtu a experimentálního ověření je běžně používán v provozech GŘ ČEZ a GŘ SEP a je možno říci, že pokud jsou použité podklady pro výpočet důvěryhodné, pak tato metodika dává možnost výměny pouze exponovaných prvků systému. Není tedy nutné při proponování životnosti z předběžného výpočtu vyměňovat celý systém, což má za následek značné úspory materiálu, energie a pracovní kapacity. Dá se říci, že tato metoda je používána s ohledem na svou náročnost pouze v technicky vyspělých průmyslových státech.

2.4.1 Požadované vstupní informace pro výpočet

Výkresové dokumentace nebo axonometrické schema potrubního systému pracujícího v oblasti tečení a s ním přímo souvisejícího systému potrubí /vratné páry/ v případě, že jeden systém ovlivňuje namáhání systému druhého /oba systémy nejsou odděleny dokonalým zakotvením/. V této výkresové části by byly vyznačeny:

1. Geometrické rozměry potrubí včetně průřezu trubek;

2. Rozměry tvarovek, redukcí, armatur;
3. Rozměry a druh kolen /hladké, segmentové/;
4. Druh a poloha zakotvení a jeho stupně volnosti:
 - a/ dna nebo pláště nádob /geometrické rozměry nádob, poloha a druh jejich zakotvení, materiál, tlak a teplota/.
Tyto údaje slouží k určení tuhostní charakteristiky, špičkových napětí a deformací styku potrubí s nádobou;
 - b/ pevné kotevní stojany /dokonalé zakotvení/;
 - c/ uložení kluzné;
 - d/ uložení valivé;
 - e/ závěsy tyčové /bez pružin/ - délka tyče, výchylka tyče ze studeného stavu potrubí /proti směru dilatace potrubí/;
 - f/ závěsy a podpory pružné - druh - charakteristika a předpětí pružiny, délka tyče a její vychýlení ze studeného stavu potrubí;
 - g/ závěsy se závažím - tíha závaží;
 - h/ pevné podpory, axiální vedení - stupně volnosti;
 - i/ uložení na tyčích s klouby /spouštěcí ventily, pře-pouštěcí stanice/ - detailní výkres uložení;
 - j/ posuvy zakotvení způsobené jiným stroj. zařízením /např. turbinou/.
5. Vlnové kompenzátory - druh /osové, příčné, kloubové/, geometrie nebo charakteristika tuhostí kompenzátorů /síla potřebná k osovému nebo příčnému posuvu kompenzátoru o 1 cm resp. moment potřebný k úhlové výchylce o 1°/;
6. Montážní předpětí potrubí - místo, velikost;
7. Poloha návareků sloužících ke kontrole tečení potrubí;
8. Druh materiálu, hlavně součástí navazujících na potrubí;
9. Vzorek materiálu, pokud došlo k havarii trubek systému;
10. Výsledky měření tloušťek stěn a ovalit trubek /i kolen/,

byly-li měřeny.

Zatížení potrubního systému

1. Tíha: a/ bm-izolace trubek
b/ armatur
c/ tvarovek, redukcí a podobných součástí potrubního systému
2. Velikost a působiště konkrétních sil a momentů - např. reakce vzniklé účinkem pojistných ventilů.

Projekční výpočtové hodnoty

1. Střední provozní tlak a jeho kolísání;
2. Střední teplota a její kolísání;
3. Provozní režim: a/ přerušovaný - počet přerušení
b/ nepřerušovaný
4. Podmínky spouštění a odstavení parovodu - najížděcí a sjížděcí charakteristiky.

Provozní režim

1. Výsledky registrace provozních teplot média, zjištěné buď pomocí statistických teploměrů nebo pomocí registrační pásky.
2. Střední provozní tlak a jeho kolísání na vstupu do příslušné části potrubí - postačí vyjádření provozovatele.
3. Podmínky spouštění a odstavení potrubí - naměřené najížděcí a sjížděcí charakteristiky.
4. Počet přerušení provozu.
5. Zjištěné kmitání potrubí - oblast, charakteristika, doba trvání kmitání, pravděpodobná jeho příčina, způsob odstranění.
6. Informace o zásazích do konstrukce parovodů během jejich provozu nebo do zařízení přímo s potrubím souvisejícího výměna prvků potrubí, závěsů apod. /V případě výměny

některých prvků potrubí nebo jeho zakotvení je nutné, aby v zájmu zachování vlivu předpětí resp. relaxace potrubí před výměnou prvku, byly před jeho demontáží konce potrubí /v místech plánovaného přerušeni potrubí/ upevněny tak, aby při montáži prvku nového nebylo vneseno do potrubí nežádoucí předpětí nové nebo dokonce nebylo likvidováno předpětí původní.

7. V případě výměny některých prvků udat důvody výměny, materiál, rozměry, po případě i vzorek materiálu nových prvků.
8. Konkrétní výsledky měření tlouštěk stěn a ovalit u vyměňovaných trubek /byly-li zjišťovány/.
9. Údaje o změnách charakteristik pružin. závěsů resp. podpor vlivem tepelné dilatace a dlouhodobého působení vlastní tíhy potrubního systému.
10. Výchylky tyčí s klouby nesoucí komory spouštěcích nebo přepouštěcích ventilů.

Jelikož nemám k dispozici vstupní údaje pro tento výpočet, ani podmínky pro stanovení životnosti tímto výpočtem, provedl jsem výpočet zbytkové životnosti parovodu přehřáté páry u kotlů G 350 t/h v EMĚ II globální metodou.

2.5 Stanovení zbytkové životnosti globální metodou

2.5.1 Charakteristika globální metody

Současné podmínky potřeby národního hospodářství ve výrobě elektrické energie kladou vysoké požadavky na provozuschopnost energetických zařízení. Řešení otázky spolehlivosti potrubních systémů je proto neodkladným problémem pro zajištění plynulých dodávek elektrické energie. Přestože výzkum i vývoj v oblasti spolehlivosti přinesl celou řadu cenných poznatků - které byly s úspěchem ověřeny v praxi a podle nichž lze především u novějších provozů se značnou věrohodností stanovit výpočtem životnost se specifikací nejvíce poškozených částí zařízení - zůstává i nadále problémem charakterizovat stupeň "vyčerpanosti" potrubních systémů v případech, kdy informace o provozních podmínkách zařízení, jeho konstrukci, počátečním uložení, napjetosti atd. Jsou jen zčásti dostupné. I přes tuto nesnadnou úlohu se v průběhu roku 1975 podařilo SVÚM ve spolupráci SVUSS vypracovat návrh směrnic či pokynů, jak postupovat při výpočtu životnosti potrubních soustav globálně, tj. bez specifikace nejvíce poškozených částí při respektování dosud ověřených poznatků o zvýšené napjetosti v ohybech v důsledku vlivu dilatačních sil, ovality, excentricity ohybů vlastní váhy potrubí atd. Výchozí hodnoty koeficientů, respektujících vliv přídatného namáhání, byly odhadnuty na základě výsledků výpočtu vybraných potrubních soustav, které provedl SVUSS dle směrnice pro výpočet spolehlivosti strojních částí v souladu s PPES č. 3/1973.

Globální metoda výpočtu životnosti potrubních systémů vychází tedy při stanovení přípustné provozní doby zařízení z několika předpokladů. Požadované vstupní informace o napjetosti potrubí nejsou zcela vyhovující pro konkrétní výpočet namáhání parovodní soustavy předepsaného směrnici PPES č. 3/1973. Dalším základním předpokladem globálního výpočtu je zásada, že zbytkové životnost se vztahuje

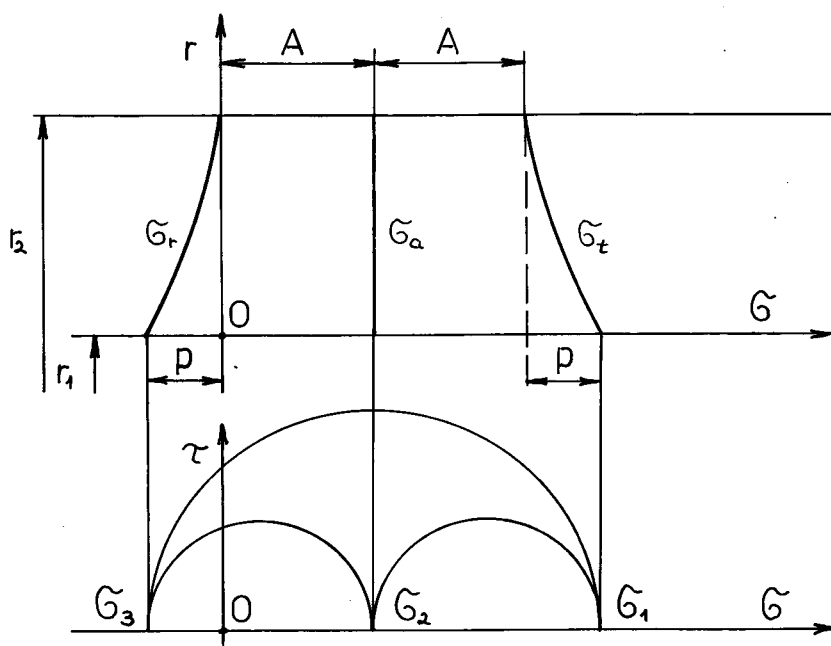
na celý uvažovaný systém bez specifikace poškození jednotlivých částí potrubí.

Podle těchto zhora uvedených pokynů a směrnic byl na základě analýzy provozních podmínek potrubních soustav vybraných bloků proveden výpočet životnosti globálním způsobem, přičemž z porovnání těchto výsledků a hodnot SVUSS byly variantním způsobem konkretizovány příslušné hodnoty koeficientů a tím ověřena míra věrohodnosti stanovených předpokladů. Globální metoda výpočtu životnosti potrubních systémů je popsána v literatuře [5] .

2.5.2 Namáhání potrubních soustav VT systému

Potrubní systémy VT parovodu jsou kromě jiných vlivů /teplotní dilatace, vlastní hmotnost trubek, medie a izolace, změněné geometrie ohybu atd./ zatíženy vnitřním přetletem. Tento typ úloh tj. zatížení válcové nádoby vnitřním přetletem se řeší buď jako zatížení tlustostěnné nádoby nebo jako zatížení tenkostěnné nádoby, [6] .

a/ tlustostěnná nádoba



Z grafů napětí vidíme, že kritické napjatost vzniká na vnitřním okraji nádoby, kde platí:

$$\sigma_r(r_1) = -p$$

$$\sigma_a = A$$

$$\sigma_t(r_1) = 2A + p$$

kde $A = \frac{pr_2}{r_2^2 - r_1^2}$ a je to vlastně velikost osového napětí σ_a .

b/ tenkostěnná nádoba

V tomto případě uvažujeme případy s malou tloušťkou stěny, kde je možné zjednodušení, že napětí podél šířky stěny je konstantní.

V našem případě uvažujeme výpočet tlustostěnné nádoby. Při výpočtu životnosti se do vzorců dosazuje redukované napětí, vypočítané podle HMM hypotézy. Toto redukované napětí je vlastně napětí od vnitřního přetlaku p na středním průměru potrubí D_s a vypočítá se podle vztahu:

$$\sigma_{red} = p \frac{k+1}{2(k-1)} \quad (9)$$

kde $k = \frac{D_2}{D_1}$ a nazývá se tlustostěnnost.

Po dosazení k do rovnice (9) dostáváme vztah:

$$\sigma_{red} = \frac{pD_s}{2s} \quad (10)$$

r_1 ... vnitřní poloměr nádoby, r_2 ... vnější poloměr nádoby, D_1 ... vnitřní průměr potrubí, D_2 ... vnější průměr potrubí, D_s ... střední průměr potrubí, s ... tloušťka stěny potrubí/

2.5.3 Definice efektivní teploty a Larson-Millerova vztahu

a/ Larson-Millerův vztah

V současné době jsou pro vyhodnocování výsledků zkoušek tečení do lomu používány různé parametrické vztahy, které se v podstatě snaží určit dobu do lomu při pracovní teplotě na základě výsledků relativně krátkodobých zkoušek proveděných při vyšších teplotách. Každý parametrický vztah, vyjadřující závislost doby do lomu na napětí a tep-

lotě, by měl vystihnout dílčí isothermické a isonapěťové závislosti, tj. závislosti doby do lomu na napětí při konstantní teplotě a závislost doby do lomu na teplotě při konstantním napětí. Rozborem nejpoužívanějších parametrických vztahů lze zjistit, že v podstatě nesplňují mezní podmínky kladené na dílčí isothermické a isonapěťové závislosti. S ohledem na tuto skutečnost je při použití zvoleného parametrického vztahu nutno vždy uvážit rozsah jeho platnosti. Ukazuje se, že i parametrické vztahy, které nesplňují uvedené mezní podmínky, se mohou v určitém rozmezí teplot a napětí velmi dobře přimykát výsledkům zkoušek tečení do lomu.

Vychází-li se z výsledků zkoušek tečení do lomu, lze vztah mezi dobou do lomu t , počátečním napětím σ a teplotou T vyjádřit v nejobecnější formě ve tvaru:

$$F(T, \sigma, t) = 0 \quad (11)$$

Za obecné vyjádření parametrických rovnic můžeme považovat vztah:

$$\Phi = \varphi(\sigma) \quad (12), \text{ který plyne z (11).}$$

Parametr Φ popisuje závislost mezi počátečním napětím σ , teplotou T a dobou do lomu t . Funkce $\varphi(\sigma)$ je vhodná fce, které udává vztah mezi parametrem Φ a napětím σ .

Larsonem a Millerem dle [7] odvozený parametrický vztah Φ_{LM} má tvar:

$$\Phi_{LM} = T(C + \log t) \quad (13)$$

C ... materiálové konstanta

t ... doba do lomu v hodinách

Nikitinem odvozenou rovnicí ve tvaru:

$$\log t = A_0 + \frac{A_1}{T} + \frac{A_2 \log \sigma}{T} + A_3 \log \sigma \quad (14)$$

přepíšeme do tvaru:

$$(\log t + C) = \frac{A_1}{T} + \frac{A_2 \log \sigma}{T} \quad (15), \text{ za podmíněk, že } C = -A_0 \text{ a } A_3 = 0 \text{ /platí pro L-M vztah/}$$

Po úpravě dostáváme:

$$T (\log t + C) = A_1 + A_2 \log \sigma \quad (16) .$$

Srovnáním rovnic (13) a (16) dostáváme pro L-M vztah:

$$\Phi_{LM} = T (\log t + C) = A_1 + A_2 \log \sigma \quad (17)$$

Ve výpočtu životnosti je použito L-M parametrického vztahu ve tvaru:

$$\log t = \frac{A_2 \log \sigma}{T} + \frac{A_1}{T} - C \quad (18) ,$$

a za podmínek $t = \tau^*$ a za vedení nových konstant b_1 , b_2 , a c dostáváme L-M vztah ve tvaru:

$$\log \tau^* = b_1 \frac{\log \sigma}{10^{-3} T} + b_2 \frac{1}{10^{-3} T} - c \quad (19) .$$

b/ Definice efektivní teploty

Označíme-li τ^* jako dobu do lomu, pak L-M vztah nabývá tvaru:

$$\log \tau^* = b_1 \frac{\log \sigma}{10^{-3} T} + b_2 \frac{1}{10^{-3} T} - c$$

/ τ^* ... doba do lomu v hodinách, σ ... napětí v MPa, T ... teplota v K/.

Pro jednotlivé 10^0 intervaly i platí:

$$\log \tau_i^* = b_1 \frac{\log \sigma}{10^{-3} T_i} + b_2 \frac{1}{10^{-3} T_i} - c \quad (20)$$

- jednotlivá /parciální/ poškození na teplotních hladinách (T_i) jsou definovány:

$$p_i = \frac{\Delta t_i}{\tau_i^*} \quad (21) ,$$

kde Δt_i ... doba pobytu v intervalu (T_i) v hodinách

- celkové poškození je definováno:

$$S = \sum p_i \quad (22) .$$

Dosezením rovnice (21) do (22) dostáváme:

$$S = \sum \frac{\Delta t_i}{\tau_i^*} = \frac{\sum \Delta t_i}{\tau_{ef}^*}$$

/sumace parciálních poškození = poškození pro celkovou dobu pobytu při "nějaké", nazvěme ji efektivní teplotě, čili jaké teplota by způsobila stejné poškození za $\sum \Delta t_i$, kdyby byla jen jedna; τ_{ef}^* ... doba do lomu při efektivní teplotě T_{ef} /

$$\frac{\sum \frac{\Delta t_i}{\tau_i^*}}{\sum \Delta t_i} = \frac{1}{\tau_{ef}^*}$$

a postupnou úpravou dostáváme:

$$\sum \left(\frac{\frac{\Delta t_i}{\sum \Delta t_i}}{\tau_i^*} \right) = \frac{1}{\tau_{ef}^*} \quad /100$$

$$\sum \left(\frac{\frac{\Delta t_i}{\sum \Delta t_i} 100}{\tau_i^*} \right) = \frac{100}{\tau_{ef}^*} \quad (23)$$

Označíme-li $\frac{\Delta t_i}{\sum \Delta t_i} 100 = \delta_{ti}$ a po dosazení do rce(23) máme:

$$\sum \left(\frac{\delta_{ti}}{\tau_i^*} \right) = \frac{100}{\tau_{ef}^*} \quad \text{a z toho:}$$

$$\tau_{ef}^* = \frac{100}{\sum \left(\frac{\delta_{ti}}{\tau_i^*} \right)} \quad (24)$$

Larson-Millerův vztah pro efektivní teplotu má tvar:

$$\log \tau_{ef}^* = b_1 \frac{\log \tilde{\sigma}}{10^{-3} T_{ef}} + b_2 \frac{1}{10^{-3} T_{ef}} - c \quad (25)$$

Dosazením rce(24) do (25) dostáváme:

$$\log \left(\frac{100}{\sum \frac{\delta_{ti}}{\tau_i^*}} \right) = b_1 \frac{\log \tilde{\sigma}}{10^{-3} T_{ef}} + b_2 \frac{1}{10^{-3} T_{ef}} - c \quad \text{a z toho } T_{ef}$$

$$T_{ef} = \frac{10^3 (b_2 + b_1 \log \tilde{\sigma})}{\log \left(\frac{100}{\sum \frac{\delta_{ti}}{\tau_i^*}} \right) + c} \quad (26)$$

2.5.4 Definice materiálových konstant b_1 , b_2 , c

Pro ocel 15 123 platí následující parametrický vztah

$$(\log t + 15,9) = -3,63106 \frac{\log \tilde{\sigma}}{10^{-3} T} + \frac{24,2736}{10^{-3} T} \quad \text{a z toho:}$$

$$\log t = \frac{-3,63106 \cdot \log \tilde{\sigma}}{10^{-3} T} + \frac{24,2736}{10^{-3} T} - 15,9 \quad (27)$$

Rovnice(27) vyjadřuje vztah, který stanoví závislost střední doby do lomu v závislosti na teplotě a napětí /Larson-Millerův vztah/. Pro daný soubor experimentálně zjištěných výsledků creepových zkoušek byly statisticky /metodou nejmenších čtverců/ stanoveny parametry b_1 , b_2 , c Larson-Millerova vztahu pro danou jakost oceli.

Při výpočtu zbytkové životnosti se tudíž do Larson-Millero-
rova vztahu za b_1 , b_2 , c dosazují hodnoty:

$$b_1 = -3,63106$$

$$b_2 = 24,2736$$

$$c = 15,9$$

3. STANOVENÍ ZBYTKOVÉ ŽIVOTNOSTI VÝPOČTEM

3.1 Výpočet životnosti globální metodou pro kotle G 350t/h

3.1.1 Výchozí stav materiálů

Vzorky odebrány z vodorovných částí parovodu za ohybem výstupu z komor na kótě 37m.

/K10 ... kotel č. 10, K8 ... kotel č. 8, K9 ... kotel č. 9/

vz.1: K10, o 245 x 36mm, tavba č. 3031, levé větve

vz.2: K 8, o 245 x 36mm, tavba č. 6587, levé a pravé větve

vz.3: K 9, o 245 x 36mm, tavba č. 1747, levé větve

vz.5: K10, o 245 x 36mm, tavba č. 3713, pravé větve

a/ chemický rozbor:

	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Mo	%V
vz.1	0,15	0,57	0,30	0,016	0,019	0,54	0,47	0,30
vz.2	0,11	0,57	0,30	0,014	0,018	0,54	0,43	0,27
vz.3	0,11	0,56	0,30	0,017	0,022	0,62	0,48	0,26
vz.5	0,11	0,58	0,31	0,010	0,016	0,55	0,49	0,29
Předpis ČSN 41 5123 pro ocel 15 123								
od	0,09	0,45	0,15	max	max	0,50	0,40	0,20
do	0,17	0,70	0,40	0,040	0,040	0,75	0,60	0,35

Vzorky 1, 2, 3, 5 jsou vyrobeny z dnes již nevyráběné oceli 15 123.

b/ zkouška tahem:

	Re [MPa]	Rm [MPa]	A [%]	Z [%]
vz.1	421	591	20	77
	422	586	26	76
	415	583	24	75
vz.2	398	538	28	79
	386	535	27	79
	399	540	26	77
vz.3	375	519	28	78
	366	520	28	75
	361	520	28	77
vz.5	387	550	27	79
	379	538	27	78
	402	553	26	77
pro ocel 15 123.1	min 294	471-637	23-17	-

Mechanické vlastnosti materiálu parovodů vyhovují požadavkům předpisu ze dne 4. 12. 1963 pro ocel 15 123 pro stav normalizačně žíhaný a popouštěný.

c/ zkouška vrubové houževnatosti /při teplotě +20°C/:

	R[J/cm ²]	Poznámka
vz.1	88	křehký lom s deformací-jemnozrný, lesklý
	76	křehký lom s deformací-jemnozrný, lesklý
	95	křehký lom s deformací-jemnozrný, lesklý
	102	křehký lom s deformací-jemnozrný, lesklý
vz.2	120	smíšený lom s deformací 80% křehkého lomu
	120	smíšený lom s deformací 80% křehkého lomu
	116	smíšený lom s deformací 80% křehkého lomu
	115	smíšený lom s deformací 80% křehkého lomu
vz.3	112	smíšený lom s deformací 80% křehkého lomu
	129	smíšený lom s deformací 60% křehkého lomu
	115	smíšený lom s deformací 80% křehkého lomu
	118	smíšený lom s deformací 80% křehkého lomu
vz. 5	102	smíšený lom s deformací 80% křehkého lomu
	110	smíšený lom s deformací 80% křehkého lomu
	139	smíšený lom s deformací 80% křehkého lomu
	126	smíšený lom s deformací 80% křehkého lomu

Předpis pro ocel 15 123.1: R = min 49J/cm²

Vrubová houževnatost materiálu parovodů vyhovuje požadavkům předpisu ze dne 4. 12. 1963 pro ocel 15 123.1

č/ metalografické hodnocení:

Mikrostruktura materiálu parovodů je ve všech případech feriticko-bainitická odpovídající normalizačně žíhanému a popouštěnému stavu.

3.1.2 Výchozí hodnoty pro výpočet

a/ provozní hodiny k 1. 1. 1982

K 7 - 65 459 provozních hodin

K 8 - 63 090 provozních hodin

K 9 - 66 484 provozních hodin

K10 - 64 510 provozních hodin

b/ efektivní teplota přehřáté páry na výstupu kotle K7,
vyhodnocené z registračních záznamů teplot za období
7. 10. - 4. 12. 1977

Teplotní spektrum [$^{\circ}\text{C}$]								
Teplotní pásma	1	2	3	4	5	6	7	8
Teplotní int.	565	555	545	535	525	515	505	495
Stř. tepl. int.	575	565	555	545	535	525	515	505
Stř. tepl. int.	570	560	550	540	530	520	510	500
Doba setrvání v teplot. int.	0,09	0,51	19,8	72,78	5,74	0,49	0,30	0,22

Průměrná teplota $\bar{T} = 541,2^{\circ}\text{C}$

Efektivní teplota $T = 542,8^{\circ}\text{C}$

Efektivní teplota nahrazuje časové teplotní spektrum z hlediska vneseného stupně poškození dlouhodobým provozem za vysokých teplot /creep/. Obecně je hodnota efektivní teploty různá od hodnoty průměrné /střední/ teploty spektra, neboť vnesený stupeň poškození materiálu creepem není lineární funkcí teploty; příslušné difference obou hodnot závisí na rozdělení teplot v teplotním spektru.

Průměrná teplota \bar{T} [$^{\circ}\text{C}$] se určí ze vztahu:

$$\bar{T} = \frac{\sum T_i \delta_{ti}}{100}$$

kde T_i [$^{\circ}\text{C}$] ... střední teplota desetistupňového teplotního intervalu teplotního spektra

δ_{ti} [%] ... relativní doba setrvání v desetistupňovém teplotním intervalu se střední teplotou T_i

Efektivní teplota [K] se určí ze vztahu (26) .

c/ hodnoty parametrů L-M vztahu pro ocel 15 123.1:

$$b_1 = -3,63106$$

$$b_2 = 24,2736$$

$$c = 15,9$$

d/ výpočtový přetlak p [MPa]

Uvažována hodnota dle výkresu MS č. 0 - FOT - 447/9

$$p = 146\text{kp/cm}^2 = 14,3\text{MPa}$$

e/ rozměry potrubí

- jmenovitý rozměr VT parovodů: $\varnothing 245 \times 36\text{mm}$

- uvažovaná výrobní tolerance tl. stěny: $\pm 12,5\%$

- minimální tl. stěny: $s_{\text{min}} = s_{\text{jmen}} - 12,5\% = 31,5\text{mm}$

- poloměr ohybů: $R = 900\text{mm}$

Poměr $R:D = 900\text{mm}:245\text{mm} = 3,7 < 4$.

Pokud poměr R/D vyjde menší než 4 /viz náš případ/, nebývá ve výpočtu zbytkové životnosti koeficient k_1 hodnoty

$$k_1 = \left(1 + \frac{D}{4R}\right) = 1,07$$

f/ napětí

Při výpočtu zbytkové životnosti se za napětí dosazuje hodnota σ_{max} , které se vypočítá z redukovaného napětí /viz vztah (10) / dosazením s_{min} za s :

$$\sigma_{max} = \frac{pD_s}{2s_{min}} \quad (28)$$

kde $D_s = D - s_{min} = 245\text{mm} - 31,5\text{mm} = 213,5\text{mm}$... střední průměr potrubí.

Po dosazení dostáváme: $\sigma_{max} = 48,5\text{MPa}$

g/ definice stupně poškození D:

Stupeň poškození je definován jako podíl doby provozu ku celkové době do lomu

$$D = \frac{T_{pr}}{T^*}$$

kde T_{pr} ... doba provozu

T^* ... doba do lomu určená podle L-M vztahu

3.1.3 Vlastní výpočet

Alternativa 1/

Uvažována pouze napjatost od vnitřního přetlaku a vliv dilatačních sil na zvýšení napjatosti v ohybech.

a/ přímé prvky potrubí

- výpočtové napětí $\sigma_{výp}$ [MPa] :

Stanoví se na základě σ_{max} /vztah (28) / s uvažováním součinitele bezpečnosti 1,5. Vliv vlastní váhy, izolace, ukotvení závěsů, dilatačních sil, ovality, excentricity a dalších vlivů se pro neznalost podrobné topologie napjatosti potrubního systému /statický výpočet potrubní soustavy/ neuvažuje s tím, že je dostatečně pokryt součinitelem bezpečnosti:

$$\sigma_{výp} = \sigma_{max} \cdot 1,5$$

$$\sigma_{výp} = 73\text{MPa}$$

- výpočtové teplota $T_{výp}$ [$^{\circ}\text{C}$] :

Uvažována je hodnota efektivní teploty vyhodnocena z registračních záznamů teploty přehřáté páry na výstupu kotle K7 za období 7. 10. - 4. 12. 1977:

$$T_{v\dot{\gamma}p} = 543^{\circ}\text{C}$$

- výpočtová životnost $\tau_{v\dot{\gamma}p}$ [hod] :

Stupeň /creepového/ poškození je možno definovat vztahem

$$D = \frac{\tau_{v\dot{\gamma}p}}{\tau^*(\sigma_{v\dot{\gamma}p}; T_{v\dot{\gamma}p})} \quad (29) ,$$

kde $\tau_{v\dot{\gamma}p}$... výpočtová životnost v hodinách

$\tau^*(\sigma_{v\dot{\gamma}p}; T_{v\dot{\gamma}p})$ [hod] ... střední doba do lomu při výpočtovém napětí $\sigma_{v\dot{\gamma}p}$ [MPa] a výpočtové teplotě $T_{v\dot{\gamma}p}$ [K] dané L-M vztahem dosažením $\sigma_{v\dot{\gamma}p}$, $T_{v\dot{\gamma}p}$:

$$\log \tau^*(\sigma_{v\dot{\gamma}p}; T_{v\dot{\gamma}p}) = b_1 \frac{\log \sigma_{v\dot{\gamma}p}}{10^{-3} T_{v\dot{\gamma}p}} + b_2 \frac{1}{10^{-3} T_{v\dot{\gamma}p}} - c \quad (30)$$

Po dosazení všech potřebných hodnot do vztahu (30) dostáváme dobu do lomu

$$\tau^*(73\text{MPa}; 543^{\circ}\text{C}) = 359\,411 \text{ hod}$$

Limitujeme-li stupeň poškození hodnotou $D = 0,9$, pak výpočtovou životnost $\tau_{v\dot{\gamma}p}$ [hod] určíme ze vztahu:

$$\frac{\tau_{v\dot{\gamma}p}}{\tau^*(\sigma_{v\dot{\gamma}p}; T_{v\dot{\gamma}p})} = 0,9 \quad (31)$$

Po dosazení za $\tau^*(\sigma_{v\dot{\gamma}p}; T_{v\dot{\gamma}p})$ ve vztahu (31) dostaneme:

$$\tau_{v\dot{\gamma}p} = 0,9 \cdot 359\,411 \text{ [hod]}$$

$$\tau_{v\dot{\gamma}p} = 320\,000 \text{ hod}$$

$$\tau_{v\dot{\gamma}p} = 2 \cdot 10^5 \text{ provozních hodin}$$

Vzhledem k platnosti regresního vztahu pro dobu do lomu, vycházejícího z normativních hodnot žerupevrosti pro ocel 15 123 je v tomto případě nutno limitovat výpočtovou životnost přímých prvků parovodů hodnotou $2 \cdot 10^5$ provozních hodin.

b/ ohyby potrubí

Při globálním výpočtu životnosti ohybů se uvažuje vliv dilatačních sil na zvýšení napjatosti, charakterizovaný koeficientem 1,15 a aplikovaným na základní membránové napětí po dobu počátečních $3 \cdot 10^4$ hodin provozu s násled-

nou úplnou relaxací.

Vliv zvýšení napjatosti v ohybech s poměrem $R/D < 4$ a $s_{jmax} > 20\text{mm}$ je uvažován koeficientem k_1 /viz kap. 3.1.2/. Vliv vlastní váhy izolace, ukotvení, předpětí zévěsů, předpětí potrubí a dalších vlivů na zvýšení napjatosti v kolenech se při neznalosti výsledků podrobného statického výpočtu /reakce, momenty, deformace, posuvy, složky napětí/, zahrnuje v této alternativě do součinitele bezpečnosti 1,5 a stupeň creepového poškození se limituje hodnotou $D = 0,8$.

Je uvažována skoková změna napětí při provozní době $3 \cdot 10^4$ hodin. Odhad byl stanoven na základě výsledků experimentálních měření a výpočtů průběhu relaxace části VT potrubí, které provedí SVUSS v EMĚ I. Návrh vychází z předpokladu, že napětí od ovality, excentricity a tepelné dilatace vyrelaxuje při $3 \cdot 10^4$ hodin přibližně na nulovou hodnotu. V další fázi provozování se tudíž uplatní mimo základního membránového napětí pouze vliv od vlastní tíhy potrubí.

- výpočtové napětí $\sigma_{výp1}$ [MPa] ; $\sigma_{výp2}$ [MPa] :

$$\sigma_{výp1} = \sigma_{max} \cdot 1,15 \cdot k_1 \cdot 1,5 \text{ [MPa] pro } t \leq 30\ 000 \text{ hod}$$

$$\sigma_{výp2} = \sigma_{max} \cdot k_1 \cdot 1,5 \text{ [MPa] pro } t > 30\ 000 \text{ hod}$$

$$\sigma_{výp1} = 48,5 \cdot 1,15 \cdot 1,07 \cdot 1,5$$

$$\sigma_{výp1} = 90\text{MPa}$$

$$\sigma_{výp2} = 48,5 \cdot 1,07 \cdot 1,5$$

$$\sigma_{výp2} = 78\text{MPa}$$

- výpočtové teplota $T_{výp}$ [$^{\circ}\text{C}$]

Uvažována hodnota stejná jako v případě přímých prvků, tzn.

$$T_{výp} = 543^{\circ}\text{C}$$

- výpočtové životnost $\tau_{výp}$ [hod] :

Limitujeme-li stupeň poškození ohybů hodnotou $D = 0,8$, pak výpočtovou životnost $\tau_{výp}$ [hod] určíme ze vztahu:

$$\frac{30\ 000}{\tau^*(\sigma_{výp1}; T_{výp})} + \frac{\tau_{výp} - 30\ 000}{\tau^*(\sigma_{výp2}; T_{výp})} = 0,8 \quad \text{a z toho:}$$

$$\tau_{výp} = \left(0,8 - \frac{30\ 000}{\tau^*(\sigma_{výp1}; T_{výp})} \right) \cdot \tau^*(\sigma_{výp2}; T_{výp}) + 30\ 000 \quad (32)$$

kde $\tau^*(\sigma_{výp1}; T_{výp})$ a $\tau^*(\sigma_{výp2}; T_{výp})$ vypočítáme z tvaru L-M vztahu (30) dosazením $T_{výp}$, $\sigma_{výp1}$ a $\sigma_{výp2}$.

$$\tau^*(\sigma_{výp1}; T_{výp}) = 141\,584 \text{ hod}$$

$$\tau^*(\sigma_{výp2}; T_{výp}) = 267\,647 \text{ hod}$$

$$\tau_{výp} = \left(0,8 - \frac{30\,000}{141\,584}\right) \cdot 267\,647 + 30\,000 \text{ [hod]}$$

$$\tau_{výp} = 187\,000 \text{ hod}$$

Alternativa 2/

Kromě napjatosti od vnitřního přetlaku a vlivu dilatačních sil na zvýšení napjatosti v ohybech, je uvažován vliv vlastní váhy, izolace, ukotvení, závěsů apod. zvýšením základních napětí o 5MPa. Vyjádření výpočtového napětí, výpočtové teploty a výpočtové životnosti zůstává stejné jako u alternativy 1/toto platí jak pro přímé prvky, tak i pro ohyby potrubí/.

a/ přímé prvky potrubí

- výpočtové napětí $\sigma_{výp}$ [MPa] :

$$\sigma_{výp} = (\sigma_{max} + 5) \cdot 1,5$$

$$\sigma_{výp} = (48,5 + 5) \cdot 1,5$$

$$\sigma_{výp} = 80 \text{ MPa}$$

- výpočtová teplota $T_{výp}$ [$^{\circ}\text{C}$] :

$$T_{výp} = 543^{\circ}\text{C}$$

- výpočtová životnost $\tau_{výp}$ [hod] :

Ze vztahu (30) dostaneme dobu do lomu

$$\tau^*(80 \text{ MPa}; 543^{\circ}\text{C}) = 239\,130 \text{ hod}$$

Limitujeme-li stupeň poškození hodnotou $D = 0,9$, pak výpočtovou životnost $\tau_{výp}$ [hod] určíme ze vztahu (31) :

$$\tau_{výp} = 0,9 \cdot 239\,130 \text{ [hod]}$$

$$\tau_{výp} = 215\,000 \text{ hod}$$

$$\tau_{výp} = 2 \cdot 10^5 \text{ provozních hodin}$$

b/ ohyby potrubí

- výpočtové napětí $\sigma_{výp_1}$ [MPa] ; $\sigma_{výp_2}$ [MPa] ;

$$\sigma_{výp_1} = (\sigma_{max} \cdot 1,15 + 5) \cdot k_1 \cdot 1,5 \text{ [MPa] pro } t \leq 30 \text{ 000 hod}$$

$$\sigma_{výp_2} = (\sigma_{max} + 5) \cdot k_1 \cdot 1,5 \text{ [MPa] pro } t > 30 \text{ 000 hod}$$

$$\sigma_{výp_1} = (48,5 \cdot 1,15 + 5) \cdot 1,07 \cdot 1,5$$

$$\sigma_{výp_1} = 98 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{výp_2} = (48,5 + 5) \cdot 1,07 \cdot 1,5$$

$$\sigma_{výp_2} = 86 \text{ MPa}$$

- výpočtové teplota $T_{výp}$ [$^{\circ}\text{C}$]

$$T_{výp} = 543^{\circ}\text{C}$$

- výpočtová životnost $\tau_{výp}$ [hod] :

Ze vztahu (30) dostaneme doby do lomu

$$\tau^*(\sigma_{výp_1}; T_{výp}) = \tau^*(98 \text{ MPa}; 543^{\circ}\text{C}) = 96 \text{ 927 hod}$$

$$\tau^*(\sigma_{výp_2}; T_{výp}) = \tau^*(86 \text{ MPa}; 543^{\circ}\text{C}) = 173 \text{ 330 hod}$$

Limitujeme-li stupeň poškození hodnotou $D = 0,8$, pak výpočtovou životnost $\tau_{výp}$ [hod] určíme ze vztahu (32) :

$$\tau_{výp} = 115 \text{ 000 hod}$$

Alternativa 3/

Kromě napjatosti od vnitřního přetlaku a vlivu dilatačních sil na zvýšení napjatosti v ohybech, je uvažován vliv vlastní váhy, izolace, ukotvení, závěsů apod., zvýšením základních napětí o 12 MPa. Vyjádření výpočtového napětí, výpočtové teploty a výpočtové životnosti zůstává stejné jako u alternativy 1 /toto platí jak pro přímé prvky, tak i pro ohyby potrubí/.

a/ přímé prvky potrubí

- výpočtové napětí $\sigma_{výp}$ [MPa] :

$$\sigma_{výp} = (\sigma_{max} + 12) \cdot 1,5$$

$$\sigma_{výp} = (48,5 + 12) \cdot 1,5$$

$$\sigma_{výp} = 91 \text{ MPa}$$

- výpočtová teplota $T_{výp}$ [$^{\circ}\text{C}$]

$$T_{výp} = 543^{\circ}\text{C}$$

- výpočtová životnost $\tau_{výp}$ [hod] :

Ze vztahu (30) dostaneme $\tau^*(91 \text{ MPa}; 543^{\circ}\text{C}) = 134 \text{ 791 hod}$

Limitujeme-li stupeň poškození hodnotou $D = 0,9$, pak výpočtovou životnost $\tau_{výp}$ [hod] určíme ze vztahu (31) :

$$\tau_{výp} = 0,9 \cdot 134\,791 \text{ [hod]}$$

$$\tau_{výp} = 121\,000 \text{ hod}$$

b/ ohyby potrubí

- výpočtové napětí $\sigma_{výp1}$ [MPa] ; $\sigma_{výp2}$ [MPa] ;

$$\sigma_{výp1} = (\sigma_{max} \cdot 1,15 + 12) \cdot k_1 \cdot 1,5 \text{ [MPa]} \text{ pro } t \leq 3 \cdot 10^4 \text{ hod}$$

$$\sigma_{výp2} = (\sigma_{max} + 12) \cdot k_1 \cdot 1,5 \text{ [MPa]} \text{ pro } t > 3 \cdot 10^4 \text{ hod}$$

$$\sigma_{výp1} = (48,5 \cdot 1,15 + 12) \cdot 1,07 \cdot 1,5$$

$$\sigma_{výp1} = 109 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{výp2} = (48,5 + 12) \cdot 1,07 \cdot 1,5$$

$$\sigma_{výp2} = 97 \text{ MPa}$$

- výpočtová teplota $T_{výp}$ [$^{\circ}\text{C}$] :

$$T_{výp} = 543^{\circ}\text{C}$$

- výpočtová životnost $\tau_{výp}$ [hod] :

Ze vztahu (30) dostaneme doby do lomu

$$\tau^*(\sigma_{výp1}; T_{výp}) = \tau^*(109 \text{ MPa}; 543^{\circ}\text{C}) = 60\,375 \text{ hod}$$

$$\tau^*(\sigma_{výp2}; T_{výp}) = \tau^*(97 \text{ MPa}; 543^{\circ}\text{C}) = 101\,453 \text{ hod}$$

Limitujeme-li stupeň poškození hodnotou $D = 0,8$, pak výpočtovou životnost $\tau_{výp}$ [hod] určíme ze vztahu (32) :

$$\tau_{výp} = 61\,000 \text{ hod}$$

Alternativa 4/

Kromě napjatosti od vnitřního přetlaku a vlivu dilatačních sil na zvýšení napjatosti v ohybech, je uvažován vliv vlastní váhy, izolace, ukotvení, závěsů apod. zvýšením základních napětí o 20MPa. Vyjádření výpočtového napětí, výpočtové teploty a výpočtové životnosti zůstává stejné jako u alternativy 1 /toto platí jak pro přímé prvky, tak i pro ohyby potrubí/.

a/ přímé prvky potrubí

- výpočtové napětí $\sigma_{výp}$ [MPa] :

$$\sigma_{výp} = (\sigma_{max} + 20) \cdot 1,5$$

$$\sigma_{výp} = (48,5 + 20) \cdot 1,5$$

$$\sigma_{výp} = 103 \text{ MPa}$$

- výpočtová teplota $T_{výp}$ [$^{\circ}\text{C}$] :

$$T_{výp} = 543^{\circ}\text{C}$$

- výpočtová životnost $\tau_{výp}$ [hod] :

Ze vztahu (30) dostaneme dobu do lomu

$$\tau^*(103 \text{ MPa}; 543^{\circ}\text{C}) = 77\,680 \text{ hod}$$

Limitujeme-li stupeň poškození hodnotou $D = 0,9$, pak výpočtovou životnost $\tau_{výp}$ [hod] určíme ze vztahu (31) :

$$\tau_{výp} = 0,9 \cdot 77\,680$$

$$\tau_{výp} = 70\,000 \text{ hod}$$

b/ ohyby potrubí

- výpočtová napětí $\sigma_{výp1}$, [MPa] ; $\sigma_{výp2}$ [MPa] ;

$$\sigma_{výp1} = (\sigma_{max} \cdot 1,15 + 20) \cdot k_1 \cdot 1,5 \text{ [MPa]} \text{ pro } t \leq 3 \cdot 10^4 \text{ hod}$$

$$\sigma_{výp2} = (\sigma_{max} + 20) \cdot k_1 \cdot 1,5 \text{ [MPa]} \text{ pro } t > 3 \cdot 10^4 \text{ hod}$$

$$\sigma_{výp1} = (48,5 \cdot 1,15 + 20) \cdot 1,07 \cdot 1,5$$

$$\sigma_{výp1} = 122 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{výp2} = (48,5 + 20) \cdot 1,07 \cdot 1,5$$

$$\sigma_{výp2} = 110 \text{ MPa}$$

- výpočtová teplota $T_{výp}$ [$^{\circ}\text{C}$]

$$T_{výp} = 543^{\circ}\text{C}$$

- výpočtová životnost $\tau_{výp}$ [hod] :

Ze vztahu (30) dostaneme doby do lomu

$$\tau^*(\sigma_{výp1}; T_{výp}) = \tau^*(122 \text{ MPa}; 543^{\circ}\text{C}) = 36\,570 \text{ hod}$$

$$\tau^*(\sigma_{výp2}; T_{výp}) = \tau^*(110 \text{ MPa}; 543^{\circ}\text{C}) = 57\,970 \text{ hod}$$

Limitujeme-li stupeň poškození hodnotou $D = 0,8$, pak výpočtovou životnost $\tau_{výp}$ [hod] určíme ze vztahu (32) :

$$\tau_{výp} = \left(0,8 - \frac{30\,000}{36\,570}\right) \cdot 57\,970 + 30\,000 \text{ [hod]}$$

$$\frac{30\,000}{36\,570} = 0,82 > 0,8 \Rightarrow \text{stupeň poškození materiálu po uply-}$$

nutí prvních $3 \cdot 10^4$ provozních hodin dosáhl limitující hodnoty $D = 0,8$ a tak vzhledem k současnému počtu provozních hodin je zřejmé, že vypočtená životnost $\tau_{výp}$ je nereálná.

Jelikož jsme výpočet zbytkové životnosti počítali několika alternativami, musíme nyní stanovit který z výsledků se nejvíce blíží pravdě. Proto jsem provedl výpočet zbytkové životnosti také pro kotle G 250t/h na EMĚ I, kde tentýž výpočet prováděl před časem SVUSS přesnou metodou.

Srovnáním výsledků mého výpočtu a výpočtu SVUSS rozhodnu, která z uvedených alternativ vede k nejpřesnějšímu výsledku.

3.2 Výpočet životnosti globální metodou pro kotle G 250t/h

3.2.1 Výchozí hodnoty pro výpočet

a/ efektivní teplota T_{ef} [K]

T_{ef} dostaneme ze vztahu (26) stejně jako u předchozího výpočtu. $T_{ef} \doteq 535^{\circ}\text{C} = T_{výp}$

b/ hodnoty parametrů L-M vztahu pro ocel 15 123.1:

$$b_1 = -3,63106$$

$$b_2 = 24,2736$$

$$c = 15,9$$

c/ výpočtový přetlak p [MPa]

Uvažována hodnota 9,6MPa

d/ rozměry potrubí

- jmenovitý rozměr VT parovodů: ϕ 273 x 28mm

- uvažovaná výrobní tolerance tl. stěny: $\pm 12,5\%$

- minimální tloušťka stěny: $s_{min} = s_{jmen} - 12,5\% = 24,5\text{mm}$

- poloměr ohybů: $R = 1200\text{mm}$

Poměr $R:D = 4,4 > 4$.

Pokud poměr $R:D$ vyjde větší než 4 /viz náš případ/, nabývá ve výpočtu zbytkové životnosti koeficient k_1 hodnoty 1,0.

e/ napětí

Dosazením výpočtového přetleku a rozměrů potrubí do vztahu (28) dostáváme hodnotu výpočtového napětí

$$\sigma_{max} = 48,7 \text{ MPa}$$

3.2.2 Vlastní výpočet

Výpočet se provádí stejným způsobem jako u kotlů G 350t/h.

Alternativa 1/

a/ přímé prvky potrubí

- výpočtové napětí $\sigma_{výp}$ [MPa] :

$$\sigma_{výp} = \sigma_{max} \cdot 1,5$$

$$\sigma_{výp} = 48,7 \cdot 1,5$$

$$\sigma_{výp} = 73\text{MPa}$$

- výpočtová teplota $T_{výp}$ [°C]

$$T_{výp} = 535^{\circ}\text{C}$$

- výpočtová životnost $\tau_{výp}$ [hod] :

Ze vztahu (30) dostaneme dobu do lomu

$$\tau^*(73\text{MPa}; 535^{\circ}\text{C}) = 580\,767 \text{ hod}$$

Limitujeme-li stupeň poškození hodnotou $D = 0,9$, pak výpočtovou životnost $\tau_{výp}$ [hod] určíme ze vztahu (31) :

$$\tau_{výp} = 0,9 \cdot 580\,767 \text{ hod}$$

$$\tau_{výp} = 522\,690 \text{ hod}$$

$$\tau_{výp} > 2 \cdot 10^5 \text{ provozních hodin}$$

b/ ohyby potrubí

- výpočtová napětí $\sigma_{výp1}$ [MPa] ; $\sigma_{výp2}$ [MPa] ;

$$\sigma_{výp1} = (\sigma_{max.1,15}) \cdot k_1 \cdot 1,5 \text{ [MPa]} \quad \text{pro } t \leq 3 \cdot 10^4 \text{ hod}$$

$$\sigma_{výp2} = \sigma_{max} \cdot k_1 \cdot 1,5 \text{ [MPa]} \quad \text{pro } t > 3 \cdot 10^4 \text{ hod}$$

$$\sigma_{výp1} = 48,7 \cdot 1,15 \cdot 1,0 \cdot 1,5$$

$$\sigma_{výp1} = 84\text{MPa}$$

$$\sigma_{výp2} = 48,7 \cdot 1,0 \cdot 1,5$$

$$\sigma_{výp2} = 73\text{MPa}$$

- výpočtová teplota $T_{výp}$ [°C]

$$T_{výp} = 535^{\circ}\text{C}$$

- výpočtová životnost $\tau_{výp}$ [hod] :

Ze vztahu (30) dostaneme doby do lomu

$$\tau^*(\sigma_{výp1}; T_{výp}) = \tau^*(84\text{MPa}; 535^{\circ}\text{C}) = 309\,116 \text{ hod}$$

$$\tau^*(\sigma_{výp2}; T_{výp}) = \tau^*(73\text{MPa}; 535^{\circ}\text{C}) = 580\,767 \text{ hod}$$

Limitujeme-li stupeň poškození hodnotou $D = 0,8$, pak výpočtovou životnost $\tau_{výp}$ [hod] určíme ze vztahu (32) :

$$\tau_{výp} = 438\,250 \text{ hod}$$

$$\tau_{výp} > 2 \cdot 10^5 \text{ provozních hodin}$$

Alternativa 2/

a/ přímé prvky potrubí

- výpočtové napětí $\sigma_{výp}$ [MPa] :

$$\sigma_{výp} = (\sigma_{max} + 5) \cdot 1,5$$

$$\sigma_{výp} = (48,7 + 5) \cdot 1,5$$

$$\sigma_{výp} = 81 \text{ MPa}$$

- výpočtová teplota $T_{výp}$ [$^{\circ}\text{C}$] :

$$T_{výp} = 535^{\circ}\text{C}$$

- výpočtová životnost $\tau_{výp}$ [hod] :

Ze vztahu (30) dostaneme dobu do lomu

$$\tau^*(81 \text{ MPa}; 535^{\circ}\text{C}) = 363\,987 \text{ hod}$$

Limitujeme-li stupeň poškození hodnotou $D = 0,9$, pak výpočtovou životnost $\tau_{výp}$ [hod] určíme ze vztahu (31) :

$$\tau_{výp} = 0,9 \cdot 363\,987 \text{ hod}$$

$$\tau_{výp} = 327\,588 \text{ hod}$$

$$\tau_{výp} > 2 \cdot 10^5 \text{ provozních hodin}$$

b/ ohyby potrubí

- výpočtová napětí $\sigma_{výp1}$ [MPa] ; $\sigma_{výp2}$ [MPa] :

$$\sigma_{výp1} = (\sigma_{max} \cdot 1,15 + 5) \cdot k_1 \cdot 1,5 \text{ [MPa]} \quad \text{pro } t \leq 3 \cdot 10^4 \text{ hod}$$

$$\sigma_{výp2} = (\sigma_{max} + 5) \cdot k_1 \cdot 1,5 \text{ [MPa]} \quad \text{pro } t > 3 \cdot 10^4 \text{ hod}$$

$$\sigma_{výp1} = (48,7 \cdot 1,15 + 5) \cdot 1,0 \cdot 1,5$$

$$\sigma_{výp1} = 92 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{výp2} = (48,7 + 5) \cdot 1,0 \cdot 1,5$$

$$\sigma_{výp2} = 81 \text{ MPa}$$

- výpočtová teplota $T_{výp}$ [$^{\circ}\text{C}$] :

$$T_{výp} = 535^{\circ}\text{C}$$

- výpočtová životnost $\tau_{výp}$ [hod] :

Ze vztahu (30) dostaneme doby do lomu

$$\tau^*(\sigma_{vyp1}; T_{vyp}) = \tau^*(92\text{MPa}; 535^\circ\text{C}) = 205\,403 \text{ hod}$$

$$\tau^*(\sigma_{vyp2}; T_{vyp}) = \tau^*(81\text{MPa}; 535^\circ\text{C}) = 363\,987 \text{ hod}$$

Limitujeme-li stupeň poškození hodnotou $D = 0,8$, pak výpočtovou životnost τ_{vyp} [hod] určíme ze vztahu (32) :

$$\tau_{vyp} = 208\,027 \text{ hod}$$

$$\tau_{vyp} > 2 \cdot 10^5 \text{ provozních hodin}$$

Alternativa 3/

a/ přímé prvky potrubí

- výpočtové napětí σ_{vyp} [MPa] :

$$\sigma_{vyp} = (\sigma_{max} + 12) \cdot 1,5$$

$$\sigma_{vyp} = (48,7 + 12) \cdot 1,5$$

$$\sigma_{vyp} = 91\text{MPa}$$

- výpočtová teplota T_{vyp} [$^\circ\text{C}$] :

$$T_{vyp} = 535^\circ\text{C}$$

- výpočtová životnost τ_{vyp} [hod] :

Ze vztahu (30) dostaneme dobu do lomu

$$\tau^*(91\text{MPa}; 535^\circ\text{C}) = 215\,741 \text{ hod}$$

Limitujeme-li stupeň poškození hodnotou $D = 0,9$, pak výpočtovou životnost τ_{vyp} [hod] určíme ze vztahu (31) :

$$\tau_{vyp} = 0,9 \cdot 215\,741 \text{ hod}$$

$$\tau_{vyp} = 194\,166 \text{ hod}$$

b/ ohyby potrubí

- výpočtové napětí σ_{vyp1} [MPa] ; σ_{vyp2} [MPa] :

$$\sigma_{vyp1} = (\sigma_{max} \cdot 1,15 + 12) \cdot k_1 \cdot 1,5 \text{ [MPa]} \text{ pro } t \leq 3 \cdot 10^4 \text{ hod}$$

$$\sigma_{vyp2} = (\sigma_{max} + 12) \cdot k_1 \cdot 1,5 \text{ [MPa]} \text{ pro } t > 3 \cdot 10^4 \text{ hod}$$

$$\sigma_{vyp1} = (48,7 \cdot 1,15 + 12) \cdot 1,0 \cdot 1,5$$

$$\sigma_{vyp1} = 102\text{MPa}$$

$$\sigma_{vyp2} = (48,7 + 12) \cdot 1,0 \cdot 1,5$$

$$\sigma_{vyp2} = 91\text{MPa}$$

- výpočtová teplota $T_{výp}$ [$^{\circ}\text{C}$] :

$$T_{výp} = 535^{\circ}\text{C}$$

- výpočtová životnost $\tau_{výp}$ [hod] :

Ze vztahu (30) dostaneme doby do lomu

$$\tau^*(\sigma_{výp_1}; T_{výp}) = \tau^*(102\text{MPa}; 535^{\circ}\text{C}) = 129\ 200 \text{ hod}$$

$$\tau^*(\sigma_{výp_2}; T_{výp}) = \tau^*(91\text{MPa}; 535^{\circ}\text{C}) = 215\ 741 \text{ hod}$$

Limitujeme-li stupeň poškození hodnotou $D = 0,8$, pak výpočtovou životnost $\tau_{výp}$ [hod] určíme ze vztahu (32) :

$$\tau_{výp} = 152\ 498 \text{ hod}$$

Alternativa 4/

a/ přímé prvky potrubí

- výpočtová napětí $\sigma_{výp}$ [MPa] :

$$\sigma_{výp} = (\sigma_{\max} + 20) \cdot 1,5$$

$$\sigma_{výp} = (48,7 + 20) \cdot 1,5$$

$$\sigma_{výp} = 103\text{MPa}$$

- výpočtová teplota $T_{výp}$ [$^{\circ}\text{C}$] :

$$T_{výp} = 535^{\circ}\text{C}$$

- výpočtová životnost $\tau_{výp}$ [hod] :

Ze vztahu (30) dostaneme dobu do lomu

$$\tau^*(103\text{MPa}; 535^{\circ}\text{C}) = 123\ 659 \text{ hod}$$

Limitujeme-li stupeň poškození hodnotou $D = 0,9$, pak výpočtovou životnost $\tau_{výp}$ [hod] určíme ze vztahu (31) :

$$\tau_{výp} = 0,9 \cdot 123\ 659 \text{ hod}$$

$$\tau_{výp} = 111\ 293 \text{ hod}$$

b/ ohyby potrubí

- výpočtová napětí $\sigma_{výp_1}$ [MPa] ; $\sigma_{výp_2}$ [MPa] :

$$\sigma_{výp_1} = (\sigma_{\max} \cdot 1,15 + 20) \cdot k_1 \cdot 1,5 \text{ [MPa] pro } t \leq 3 \cdot 10^4 \text{ hod}$$

$$\sigma_{v\dot{p}2} = (\sigma_{max} + 20) \cdot k_1 \cdot 1,5 \text{ [MPa]} \quad \text{pro } t > 3 \cdot 10^4 \text{ hod}$$

$$\sigma_{v\dot{p}1} = (48,7 \cdot 1,15 + 20) \cdot 1,0 \cdot 1,5$$

$$\sigma_{v\dot{p}1} = 114 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{v\dot{p}2} = (48,7 + 20) \cdot 1,0 \cdot 1,5$$

$$\sigma_{v\dot{p}2} = 103 \text{ MPa}$$

- výpočtová teplota $T_{v\dot{p}}$ [$^{\circ}\text{C}$] :

$$T_{v\dot{p}} = 535^{\circ}\text{C}$$

- výpočtová životnost $\tau_{v\dot{p}}$ [hod] :

Ze vztahu (30) dostaneme doby do lomu

$$\tau^*(\sigma_{v\dot{p}1}; T_{v\dot{p}}) = \tau^*(114 \text{ MPa}; 535^{\circ}\text{C}) = 78\,384 \text{ hod}$$

$$\tau^*(\sigma_{v\dot{p}2}; T_{v\dot{p}}) = \tau^*(103 \text{ MPa}; 535^{\circ}\text{C}) = 123\,659 \text{ hod}$$

Limitujeme-li stupeň poškození hodnotou $D = 0,8$, pak výpočtovou životnost $\tau_{v\dot{p}}$ [hod] určíme ze vztahu (32) :

$$\tau_{v\dot{p}} = 81\,599 \text{ hod}$$

3.3 Výsledky výpočtu

Životnost parovodu kotlů G 350t/h v tis. hod.

	přímé prvky	ohyby potrubí
alternativa 1	320	187
alternativa 2	215	115
alternativa 3	121	61
alternativa 4	70	-

Životnost parovodu kotlů G 250t/h v tis. hod.

	přímé prvky	ohyby potrubí
alternativa 1	523	438
alternativa 2	328	268
alternativa 3	194	152
alternativa 4	111	82

Výsledky výpočtu pro kotle G 250t/h dle SVUSS:

- přímé prvky: $\tau_{výp} = 2 \cdot 10^5$ hod
- ohyby potrubí: $\tau_{výp} = 180\ 000$ hod

Z porovnání výsledků obou způsobů výpočtu zbytkové životnosti parovodu kotlů G 250t/h vidíme, že alternativa 3 vede k nejpřesnějšímu výsledku.

A zároveň z přepočtu zbytkové životnosti oběma způsoby u některých jiných elektréren je zřejmé, že výsledky alternativy 3 jsou nejvíce srovnatelné s výsledky dosaženými metodou SVUSS.

4. Z Á V Ě R

Cílem této diplomové práce byl přepočít zbytkové životnosti VT parovodu u kotlů G 350t/h. Jak vyplývá z kapitoly 3.3. dosáhl jsem těchto výsledků životnosti:

- přímé prvky: $\tau_{výp} = 121\ 000$ hod
- ohyby potrubí: $\tau_{výp} = 61\ 000$ hod

Toto jsou hodnoty celkové životnosti potrubí. Jelikož byl výpočet prováděn globální metodou bez specifikace nejvíce poškozeného místa je možné říci, že dosažené hodnoty jsou přibližné. Vzhledem k použití všech koeficientů bezpečnosti v této metodě, nabývá skutečná životnost o něco vyšších hodnot.

Souběžně s mým výpočtem se provedí v Koncernovém kooperačním materiálovém středisku v Chomutově experimentální creepové zkoušky na vzorcích VT parovodu vyjmutých z kotle č. 9 na EMĚ II. Tyto zkoušky jsou dlouhodobé a tudíž je v této době ještě neznám výsledky. Není proto prozatím možné provést srovnání mých výsledků dosažených výpočtem s výsledky experimentálních zkoušek.

V závěru bych chtěl poděkovat především vedoucímu diplomové práce s. ing. Neumenovi, konzultantům s. Pokornému a s. ing. Braunovi CSc. a všem, kteří mně poskytovali cenné rady, všestrannou pomoc při zajišťování důležitých informací ohledně řešené problematiky.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] OEG 13 1011. - Kontrola tečení ocelí parovodů a tlakových částí kotlů. 1980.
- [2] PÍŠEK, F., JENÍČEK, L., RYŠ, P.: Nauka o materiálu. 2. vyd. SNTL Praha 1968.
- [3] ČSN 42 0351. - Zkouška meze pevnosti při tečení. 1961.
- [4] ČSN 42 0352. - Zkouška meze tečení. 1961.
- [5] MATULÍK, T.: Přepočet životnosti potrubních soustav vybraných bloků globální metodou. /Technické zpráva./ Praha, SVUM 1976.
- [6] STŘÍŽ, B.: Pružnost a pevnost II. VŠST Liberec, /skripta/, 1980.
- [7] LARSON, F. R., MILLER, J.: Trans. ASME 74, 1952.

SEZNAM TABULEK

1. Chemický rozbor materiálů	35
2. Vyhodnocení zkoušky tahem	36
3. Vyhodnocení zkoušky vrubové houževnatosti	37
4. Teplotní spektrum pro kotel K7	38
5. Výsledky výpočtu parovodu pro kotle G 350t/h	54
6. Výsledky výpočtu parovodu pro kotle G 250t/h	54

Hodnocení diplomové práce

S. Otakara F i a l y

**Téma práce : Přesněti zbytkové životnosti parovodu
námáhací páry u kotelů typu G 350 t/hod
v Elektrárně Mělník, k. a. s. Hecol, Pošádky**

Diplomová práce S. Otakara Fialy vychází z potřeb Elektrárny Mělník, kam nastoupí po ukončení VŠST do zaměstnání.

S. Fiala přistoupil k plnění diplomového úkolu se zjevnou snahou o se nejrychlejší zvládnutí úkolu, ovšem bez snahy o hlubší pochopení řešení problematiky. Po dílčím seznámení se základními literárními podklady okamžitě přikročil k výpočtu zbytkové životnosti podle tzv. globální metody. Tuto práci vykonal pouze mechanicky, t. j. dosadil do vzorců konkrétní hodnoty a stanovil výsledek. V této době však o charakteru namáhání /rozložené napětí ve stěně parovodu/ a procesu poškozování páry rozvedů páry nevěděl prakticky nic. Stejně tak nerozuměl metodice stanovení zbytkové životnosti.

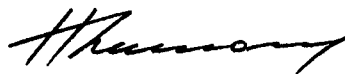
Po důkladné domluvě a prodiskutování přesné náplně práce se diplomant neochotně zaměřil na podrobnější studium literárních podkladů.

V té době prokázal, že je schopen samostatně pracovat s odbornou literaturou a řešit i složitější úkoly technické praxe. V praxi se však musí oprostit od lehkomyšlného přístupu k řešení technických problémů a nesmí přeceňovat své schopnosti a znalosti.

S. Fiala nakonec zadání diplomové práce splnil v celém rozsahu. Podrobněji se mohl zmínit o metodice stanovení zbytkové životnosti kombinací výpočet - experiment.

Vzhledem k celkové práci diplomanta i odborné a grafické úpravě a úrovni diplomové práce, doporučuji práci k obhajobě. Práci hodnotím klasifikačním stupněm

"dobře"



Ing. Heinz N e u m a n n
vedoucí diplomové práce

Posudek diplomové práce Otakara Fialy

Výpočet zrychlové životnosti parovodu plynákové lámy
u kotlí typu G 330 6,100 v Dlešinské dílně, s.p.
Horní Počepice

Diplomant měl jako hlavní úkol zrealizovat zrychlové životnosti parovodu plynákové lámy kotlí G 330 6,100 v E. Š. II.

Samotná diplomová práce je rozčleněna do dvou částí závěru do dvou kapitol: části označené jako studijní část, 9-34 a vlastního stanoviska zrychlové životnosti výpočet, str. 35-38.

Ve studijní části diplomové práce autor uvádí ve svých poznámkách nejprve teoretické poznatky o konstrukci kotlí G 330 6,100 lámy a způsobu kontroly mechanického vlastností parovodu dle jeho oborové normy. V konstrukci kotlí G 330 6,100 lámy teorii vzniku a její mechanické splnění při zrychlové životnosti, a zejména v beztažení. Vzhledem k tomu, že diplomová práce je dílem studenta vysoké školy, životnosti parovodu dle G 330 6,100 lámy a z hlediska parovodu životnosti parovodu tzv. globální autor. Autor předkládá jako přílohu k diplomu vztahující se k specializovaným pracovištím, která jsou v oblasti teorie a praxe životnosti parovodu uvedeny v kapitole. Dále je uvedeno, že autor se zabývá vztahem mezi životností parovodu a jeho životností parovodu. Dále je uvedeno, že autor se zabývá vztahem mezi životností parovodu a jeho životností parovodu. Dále je uvedeno, že autor se zabývá vztahem mezi životností parovodu a jeho životností parovodu.

Studijní část diplomové práce je provedena v souladu s cíli, přičemž s cílem teoreticky zohlednit vztah mezi životností parovodu a jeho životností parovodu.

V závěrečné části kapitol, zejména se týká životnosti parovodu životnosti parovodu autor uvádí výsledky materiálových zkušebních prací provedených v oborové normy parovodu plynákové lámy G 330 6,100 v E. Š. II. Zde je nutné poznamenat, že tyto zkušební výsledky životnosti parovodu /což samozřejmě nemůže být z hlediska diplomové práce, ale jejich výsledky byly převzaty z oficiálně zavedené životnosti parovodu. Životnost parovodu dle G 330 6,100 lámy

Posudek diplomové práce Otakara Fialy:

Přepočet zbytkové životnosti parovodu přehřáté páry
u kotlů typu G 350 t/hod v Elektrárně Mělník, k.p.
Horní Počaply

Diplomant měl jako hlavní úkol zadáno stanovení zbytkové životnosti parovodu přehřáté páry kotlů G 350 t/h na EMĚ II.

Samotná diplomová práce je rozčleněna kromě úvodu a závěru do dvou kapitol: části označené jako studijní /str. 9-34/ a vlastního stanovení zbytkové životnosti výpočtem /str. 35-54/.

Ve studijní části diplomové práce autor uvádí ve smyslu zadání nejprve technické parametry a konstrukci kotle a předkládá způsob kontroly mechanických vlastností materiálu parovodů daný platnou oborovou normou. Ve stručnosti se zabývá rovněž teorií creepu a její technickou aplikací při zkouškách meze pevnosti při tečení a meze tečení. Těžištěm studijní části diplomové práce je však studium metodiky stanovení životnosti parovodů dle SVÚSS Břehovice a zásady predikce zbytkové životnosti parovodů tzv. globální metodou. Autor předkládá přehled výsledků výzkumu našich specializovaných pracovišť, která se problematikou spolehlivosti a životnosti potrubních soustav zabývají. Důležitým vstupním údajem pro dané výpočty je hodnota efektivní teploty; autor zoe odvozuje vztah pro její výpočet na základě znalosti teplotního histogramu za použití Larson-Hillerova parametrického vztahu.

Studijní část diplomové práce je provedena autorem celkem přehledně s cílem teoreticky zdůvodnit princip metody vlastního přepočtu reziduální životnosti daného konkrétního zařízení.

V úvodní části kapitoly zabývající se stanovením zbytkové životnosti výpočtem autor uvádí výsledky materiálových zkoušek na odebraných vzorcích parovodu jednotlivých kotlů EMĚ II ve výchozím stavu. Zde je nutno podotknout, že tyto zkoušky neprovedl diplomant osobně /což samozřejmě nebylo předmětem zadání diplomové práce/, ale jejich výsledky byly převzaty z technické zprávy resortní zkušebny. Z formálního hlediska chybí tedy odkaz

na pramen těchto šetření. Tato poznámka se týká rovněž vyhodnocení registračních záznamů teplot.

Vlastní výpočet globální metodou je zcela původní a odpovídá zavedené praxi v rámci koncernu ČS2. Výpočet je proveden alternativně ve čtyřech variantách pro různé úrovně napjatosti, a to pro přímé elementy a zvláště pro ohyby vysokotlakého parovodu kotle G 350 t/h elny kotelník II. Analogický výpočet je proveden pro parovod kotlů G 250 t/h na EMĚ I, u kterého byl proveden detailní výpočet životnosti ve SVÚSS Blchovice. Autor porovnal výsledky výpočtů obou metodik a zvolil alternativu globální metody reprezentativní pro parovod přehřáté páry u kotlů typu G 350 t/h na EMĚ II.

Fraktický význam takto pojetého řešení zadaného úkolu lze shrnout zhruba do dvou hlavních bodů:

1/ na základě výsledků alternativního způsobu výpočtu globální metodou se zcela jasně projevuje význam exaktního statického výpočtu potrubních soustav exploatovaných při interakci creepu a nízkocyklové únavy, který je nemyslitelný bez využití výsledků dlouholetých teoretických výzkumů a bez využití moderní výpočetní techniky /metodika SVÚSS/;

2/ v podmínkách, kdy nelze z objektivních důvodů zabezpečit všechny nezbytné vstupní údaje pro detailní výpočet, lze i při použití globální metody přepočtu životnosti parovodů provést celkem reálný odhad vneseného stupně creepového poškození a v komplexu s diagnostickými šetřeními /např. nedestructivní defektoskopické kontroly, kontroly tečení oceli, materiálové zkoušky, creepové zkoušky na odebraných vzorcích apod./ stanovit bezpečnou, spolehlivou i ekonomickou dobu provozu tohoto vysoce exponovaného energetického zařízení.

Protože se zadání této diplomové práce týká značně specifické oblasti, jejímž výzkumem a aplikacemi se zabývá pouze několik specializovaných pracovišť, byl diplomant postaven před nalehkou úlohu zvládnout problematiku málo známou široké technické veřejnosti. Přesto se svého úkolu zhostil svědomitě a zodpovědně.

Diplomová práce je psána přehledně, logicky a bez závažných věcných nedostatků. Z formálního hlediska je diplomová práce pečlivě napsána a lze ji hodnotit jako celkem úspěšnou. Navrhujeme ji uznat jako práci diplomovou.

8. 6. 1983


Jaroslav Procházka, prom. fyzik
Koncernové kooperativní materiálové
středisko Chomutov,
Dimitrovova 15

o klasifikaci diplomové práce (tekara Fialy):

Přepočet zbytkové životnosti parovoců přehřáté páry
u kotlí typu G 350 t/hod v elektrárně Křižník, k.p.
Horní Počaply

Navrhuji uznat předloženou práci jako diplomovou
a klasifikovat ji stupněm v i n i d o b ř e .

8. 6. 1983


Miroslav Procházká,
GfS Chemutov, Dimitrovova 15

o klasifikaci diplomové práce Otakara Fialy:

Přepočít zbytkové životnosti parovodu přehřáté páry
u kotle typu G 350 t/hod v elektrárně Kálmán, k.p.
Horní Počaply

Navrhuji uznat předloženou práci jako diplomovou
a klasifikovat ji stupněm v e l m i d o b ř e .

8. 6. 1983

Jaroslav Procházk a , prom. fyz.
KKMS Chomutov, Dimitrovova 15