



ÚRAD JADROVÉHO DOZORU
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

EDÍCIA

Bezpečnosť jadrových zariadení

2016

BNS II.3.1/2016

**Hodnotenie prípustnosti chýb zisťovaných pri prevádzkových
kontrolách vybraných zariadení jadrových zariadení
3. Vydanie – revidované a doplnené**

Hodnotenie prípustnosti chýb zisťovaných pri prevádzkových kontrolách vybraných zariadení jadrových zariadení (3. Vydanie – revidované a doplnené)

Vydal Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky
Neperiodická publikácia

Spracovateľ: Prof. Ing. Stanislav Vejvoda, CSc., Vítkovice

Spolupráca a redakčné úpravy: Ing. Martin Vitásek, PhD., INTEGRITA A BEZPEČNOSŤ
OCEĽOVÝCH KONŠTRUKCIÍ, akciová spoločnosť, v skratke IBOK, a. s., v
likvidácii

Gestor: Ing. Jozef Balaj, riaditeľ odboru systémov, komponentov a stavebných
konštrukcií, Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky

Recenzenti: Ing. Jozef Oltman, Slovenské elektrárne, a. s.
Ing. Juraj Neupauer, Slovenské elektrárne, a. s.
Ing. Peter Hudec, Slovenské elektrárne, a. s.

BNS II.3.1/2016

ISBN 978-80-89706-09-9

EAN 9788089706099

Bratislava, november 2016

Anotácia

Základné požiadavky Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky na prístupy k posudzovaniu výsledkov nedeštruktívnych skúšok, vykonávaných pri prevádzkových kontrolách vybraných zariadení jadrových elektrární typu VVER 440. Krokový postup a požiadavky na vstupné údaje pre určenie prípustnosti chýb. Druhy chýb. Spôsoby porušenia, ktoré treba uvažovať v závislosti od spôsobov namáhania konštrukčných častí obsahujúcich chyby, z hľadiska ich vplyvu na spoľahlivosť a bezpečnosť posudzovaného zariadenia počas zvyškovej životnosti.

bezpečnostný návod, technické požiadavky, vybrané zariadenia, jadrové zariadenia, spôsoby namáhania, druhy porušenia, chyby rovinné, chyby objemové, chyby tvarové, netesnosť, stabilita, korózia, prípustnosť chýb, tolerovateľnosť chýb, oprava komponentov, spoľahlivosť, bezpečnosť, zvyšková životnosť

Abstract

The safety guideline introduces the basic requirements of the Nuclear Regulatory Authority of Slovak Republic laid down for the approaches to the evaluation of non destructive tests results obtained by in-service inspection of components and systems of nuclear power plants of the VVER 440 type. Specification of step-by-step procedure and requirements on input data for assessing the acceptability of flaws. Types of flaws. Modes of failure to be considered with respect to loading conditions of structural parts containing flaws from the aspects of their influence on safety and reliability of structural parts during residual service life of nuclear equipment concerned.

safety guideline, technological requirements and rules, clasified equipment, nuclear equipment, loading modes, flaw types, planar, volume flaws, form flaws, failure by fracture, failure by fatigue, leakage, instability, corrosion-erosion, flaws admissibility, repairs of components, safety, reliability, residual service life

Obsah

Úvod	1
1 Predmet a účel	3
2 Rozsah platnosti.....	3
3 Použité symboly a skratky.....	4
3.1 Symboly ku kapitole 5	4
3.2 Symboly k Prílohe I.....	5
3.3 Symboly k Prílohe II.....	5
3.4 Použité skratky	5
4 Použité pojmy	6
5 Postup určovania prípustnosti zistených chýb	8
5.1 Všeobecné pravidlá	8
5.2 Charakteristika chýb	9
5.3 Klasifikácia prípustnosti chýb	9
5.4 Prevádzkové režimy	10
5.5 Výpočet napätí v oblasti chyby	10
5.6 Mechanické a fyzikálne vlastnosti materiálu v oblasti chýb	11
5.7 Vznik únavovej trhliny pri premenlivom zaťažovaní.....	12
5.8 Rast únavovej trhliny pri opakovanom zaťažovaní.....	12
6 Oprava komponentov s neprípustnými chybami	13
7 Odkazy	14
8 Literatúra	14
PRÍLOHA I.....	16
PRÍLOHA II.....	19
PRÍLOHA III	33
PRÍLOHA IV	38

Zoznam obrázkov

Obrázok I.3.1	Povrchová chyba (trhlina)
Obrázok I.3.2	Vnútná chyba (trhlina)
Obrázok II.1.1	Charakteristické rozmery povrchových chýb
Obrázok II.1.2	Charakteristické rozmery na posudzovanie chýb
Obrázok II.2.2	Valcová časť PG, $s = 135$ mm
Obrázok II.2.3	Valcová časť PG, $s = 75$ mm
Obrázok II.2.4	Veko PG, $s = 84$ mm
Obrázok II.2.5	Veko PG, $s = 84$ mm, oblasť s veľkou krivosťou
Obrázok II.2.6	Nátrubok DN 700 na PG
Obrázok II.2.7	Nátrubok DN 1100 na PG
Obrázok II.2.8	Valcová časť plášťa KO
Obrázok II.2.9	Nátrubok prielezov na hornom veku KO
Obrázok II.2.10	Nátrubok na dolnom dne KO
Obrázok II.2.11	Dolné dno KO v mieste privarenia podstavca
Obrázok IV.1	Vnútné plošné chyby, ležiace v rovine kolmej k povrchu zaťaženom tlakom
Obrázok IV.2	Zhluky plošných chýb, ležiacich v rovine kolmej k povrchu zaťaženom tlakom
Obrázok IV.3	Nerovinné eliptické vnútorné chyby
Obrázok IV.4	Rovinné chyby ležiace v rovnobežných rovinách
Obrázok IV.5	Laminárne chyby
Obrázok IV.6	Zhluk vzájomne sa ovplyvňujúcich rovinných chýb v jednej rovine
Obrázok IV.7	Posudzovanie radu chýb
Obrázok IV.8	Určenie dĺžky l vzájomne sa ovplyvňujúcich lineárnych povrchových chýb

Zoznam tabuliek

Tabuľka II.2.2	Maximálna prípustná veľkosť vnútorných plošných chýb vo valcovej časti plášťa PG ($s = 135$ mm)
Tabuľka II.2.3	Maximálna prípustná veľkosť vnútorných plošných chýb vo valcovej časti plášťa PG ($s = 75$ mm)
Tabuľka II.2.4	Maximálna prípustná veľkosť vnútorných plošných chýb v strednej časti veka PG ($s = 84$ mm)
Tabuľka II.2.5	Maximálna prípustná veľkosť vnútorných plošných chýb v oblasti veľkej krivosti veka PG ($s = 84$ mm)
Tabuľka II.2.6	Maximálna prípustná veľkosť vnútorných plošných chýb v nátrubku DN 700 na PG ($s = 55$ mm)
Tabuľka II.2.7	Maximálna prípustná veľkosť vnútorných plošných chýb v nátrubku PG (s

	= 77,5 mm)
Tabuľka II.2.8	Maximálna prípustná veľkosť vnútorných plošných chýb vo valcovej časti plášťa KO (s = 145 mm)
Tabuľka II.2.9	Maximálna prípustná veľkosť vnútorných plošných chýb v nátrubku prielezu na hornom veku KO (s = 125 mm)
Tabuľka II.2.10	Maximálna prípustná veľkosť vnútorných plošných chýb v nátrubku na dolnom dne KO (s = 75 mm)
Tabuľka II.2.11	Maximálna prípustná veľkosť vnútorných plošných chýb v dolnom dne KO v mieste privarenia podstavca (s = 160 mm)
Tabuľka II.3.2.1	Maximálne prípustné veľkosti vnútorných chýb pre valcovú časť TNR
Tabuľka II.3.2.2	Maximálne prípustné veľkosti vnútorných chýb nie pre valcovú časť TNR
Tabuľka II.3.2.3	Maximálne prípustné veľkosti laminárnych chýb v TNR
Tabuľka II.3.3.1	Maximálne prípustné veľkosti vnútorných chýb pre valcovú časť TNR
Tabuľka II.3.3.2	Maximálne prípustné veľkosti vnútorných chýb nie pre valcovú časť TNR
Tabuľka II.4.1	Prípustné veľkosti vnútorných chýb pre austenitické potrubia s $R_{p0,2} < 300$ MPa

Predhovor

Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky začal v roku 1995 vydávať vlastné neperiodické publikácie, ako edíciu Bezpečnosť jadrových zariadení, s cieľom zverejňovať vybrané všeobecne záväzné právne predpisy, bezpečnostné požiadavky, odporúčania a návody súvisiace s predmetom činnosti Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky.

V rámci edície Bezpečnosť jadrových zariadení Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky vydáva tri skupiny publikácií:

Obsahom prvej skupiny publikácií sú vybrané všeobecne záväzné právne predpisy a medzinárodné zmluvy z oblasti mierového využívania jadrovej energie; sú označené červeným pruhom.

V druhej skupine sú dokumenty z oblasti jadrovej bezpečnosti charakteru odporúčaní a návodov, ktoré konkretizujú a dopĺňajú požiadavky všeobecne záväzných právnych predpisov. Odporúčania dokumentov tejto kategórie nie sú všeobecne záväzné, avšak ich dodržiavanie zjednodušuje plnenie požiadaviek Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky zo strany dozorovaných organizácií; sú označené zeleným pruhom.

Obsahom tretej skupiny publikácií sú ostatné dokumenty z oblasti jadrovej bezpečnosti informatívneho charakteru; sú označené modrým pruhom.

Pri spracovaní dokumentov druhej a tretej skupiny sa využívajú dokumenty Medzinárodnej agentúry pre atómovú energiu vo Viedni a iných medzinárodných organizácií, medzinárodné a národné technické normy, ako aj dokumenty vydané zahraničnými dozornými orgánmi a odbornými organizáciami. Dokumenty sú spracované na základe rozhodnutia predsedu Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky zamestnancami úradu alebo externými organizáciami i s využitím vlastných skúseností a podmienok. Pred ich vydaním a zverejnením sú schválené predsedom úradu.

Predmetná publikácia Hodnotenie prípustnosti chýb zisťovaných pri prevádzkových kontrolách vybraných zariadení jadrových zariadení (3. Vydanie – revidované a doplnené) je bezpečnostným návodom.

Vydávaním bezpečnostných návodov úrad vytvára účinné nástroje riadenia a zabezpečovania vysokej kvality a jadrovej bezpečnosti jadrových zariadení.

V zmysle požiadaviek smernice úradu o vydávaní bezpečnostných návodov [4] sa tento bezpečnostný návod delí na **kapitoly**, **sekcie**, **časti** a **články**. Odkazy na predpisy a technické normy sú vyznačené poradovým číslom v šikmých zátvorkách /../. Odkazy na

informácie z iných zdrojov technickej literatúry sú vyznačené poradovým číslom v hranatých zátvorkách [..].

Pripomienky a doplnky k tejto publikácii zasielajte na Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky, odbor legislatívno-právny, Bajkalská 27, P. O. Box 24, 820 07 Bratislava 27.

Bezpečnostné návody nie sú právne záväzné, avšak ich dodržiavanie napomáha zabezpečiť podmienky bezpečného využívania jadrovej energie alebo vykonávania činností súvisiacich s využívaním jadrovej energie.

Úvod

Bezpečnostný návod BNS II.3.1/2016 špecifikuje postupy posudzovania výsledkov nedeštruktívnych skúšok materiálov a zvarových spojov pri prevádzkových kontrolách komponentov vybraných zariadení jadrových zariadení (VZJZ) s cieľom určiť možné dôsledky zistených chýb na spoľahlivosť a bezpečnosť týchto komponentov počas ich zvyškovej životnosti.

Koncepcia tohto BNS je založená na nižšie uvedených tézach:

- a) Posudzovanie kvality tavných zvarových spojov pri výrobe alebo po určitej dobe prevádzky zariadení, vychádzajúc z výsledkov predpísaných nedeštruktívnych skúšok, je možné len na základe prijatých noriem a/alebo kritérií prípustnosti chýb. Tieto sú obsiahnuté spravidla v technických podmienkach a predpisoch na výrobu a montáž /2/, alebo sa môžu určiť na základe analýzy vplyvu zistenej chyby na spoľahlivosť a bezpečnosť daného zariadenia proti porušeniu, napríklad s využitím prístupov k „posúdeniu vhodnosti daného zariadenia pre prevádzku“.
- b) Hranice prípustnosti chýb v normách kvality pre výrobu a montáž sú nevyhnutne užšie a prísnejšie, pretože musia zovšeobecňovať širšie požiadavky na spoľahlivosť a bezpečnosť zvarovaných komponentov a vytvárať rezervu kvality s ohľadom na nedokonalosť nedeštruktívnych skúšok a metód výpočtu úrovne namáhania v porovnaní s reálnymi prevádzkovými podmienkami. Praktická aplikácia noriem kvality pre výrobu predpisuje opravy chýb, ktoré prekračujú stanovené hranice prípustnosti. Oprava chýb je však vždy technicky a ekonomicky náročná, najmä ak sa prihliadne k reálnym priestorovým, časovým a environmentálnym podmienkam pri odstávke jadrovej elektrárne. Navyše oprava môže zaviniť vznik nových ťažšie zistiteľných chýb, nepriaznivo ovplyvňuje lokálne vlastností materiálu a zvyšuje hladinu zvyškových napätí. S ohľadom na skutočnosť, že po oprave často nie je možné aplikovať žihanie na zníženie zvyškových napätí (relaxačné žihanie), nie je možné ani znížiť hladinu zvyškových napätí.
- c) Naproti tomu hranice prípustnosti chýb odvodené z posúdenia vhodnosti daného zvarovaného zariadenia (konštrukcie) pre jeho ďalšiu prevádzku alebo podľa prijatých špecifických noriem prípustnosti, môžu byť menej prísne, ale stále musia vyhovovať požiadavkám na spoľahlivosť a bezpečnosť daného zariadenia v daných konkrétnych podmienkach jeho namáhania. Zistenie závažnejších chýb presahujúcich hranice prípustnosti podľa prijatých noriem kvality pre výrobu a montáž nemusí teda vyvolať nutnosť opravy alebo vyradenie zariadenia z ďalšej prevádzky ak sa preukáže, že v dôsledku pôsobenia posudzovaných chýb sa nevytvoria podmienky pre iniciáciu porušenia danej časti zariadenia. Často sa touto metódou dá tiež určiť, či sa oprava musí vykonať ihneď alebo či ju možno odložiť na neskoršiu, príhodnejšiu dobu, bez ohrozenia spoľahlivosti a bezpečnosti ďalšej prevádzky zariadenia.
- d) Pracovným nástrojom na posudzovanie vhodnosti zvarovaného zariadenia pre prevádzku je kritická analýza podmienok jeho porušenia ako dôsledku pôsobenia zistených chýb. Vychádza z výsledkov nedeštruktívnych skúšok, ktoré sa musia vykonať spôsobmi a

postupom v takom rozsahu, aby sa druh, veľkosť, poloha a orientácia chýb v kritických miestach konštrukcie dali určiť čo najspoľahlivejšie. Len tak môžu byť parametre zistených chýb (po náležitej idealizácii ich tvaru a po ich rekategorizácii v dôsledku interakcie s inými chybami a s povrchom časti zariadenia v ktorom sa nachádzajú) spoľahlivým vstupným údajom pre následnú analýzu podmienok porušovania.

- e) Proces porušovania závisí okrem vplyvu chýb tiež od radu ďalších významných premenných (vlastnosti materiálu, spôsob a úroveň namáhania, pracovné prostredie a i.), platných pre dané zariadenie. Tieto premenné sú taktiež vstupnými údajmi, potrebnými pre analýzu podmienok porušovania a spravidla sa stanovujú individuálne pre danú chybu zistenú v danej časti konštrukcie.
- f) Hĺbka analýzy medzných podmienok porušovania na základe projektových a/alebo experimentálne stanovených vstupných údajov na určenie významnosti zistených chýb môže byť rôzna v závislosti od komplexnosti vstupných údajov a od významnosti posudzovaného zariadenia. Ak sú k dispozícii výsledky analýzy podmienok porušovania obdobného zariadenia (t. j. vyrobeného s použitím rovnakých kombinácií základných a zväracích materiálov, spôsobov zvarovania a pre analogické podmienky prevádzkového namáhania), v ktorom sa zistili obdobné chyby, môže sa posúdenie prípustnosti chýb v danom zariadení vykonať kvalifikovaným porovnaním s obdobným zariadením.

1 Predmet a účel

Predmetom BNS II.3.1/2016 je stanovenie jednotných pravidiel a postupov určenia prípustnej veľkosti chýb zistených pri prevádzkových kontrolách VZJZ typu VVER 440 v SR.

Tento BNS určuje:

- a) postupy posudzovania výsledkov nedeštruktívnych skúšok, vykonávaných pri prevádzkových kontrolách komponentov VZJZ typu VVER 440. Výsledkom posudzovania je určenie podmienok ich tolerovania alebo opravy z hľadiska zabezpečenia spoľahlivosti a bezpečnosti proti porušeniu kontrolovaných komponentov v ďalšej prevádzke;
- b) metodiku a postup idealizácie a rekategorizácie tvaru a rozmerov zistených chýb (v zmysle definície týchto pojmov v kapitole 4) z hľadiska požiadaviek súčasných štandardov na hodnotenie ich vplyvu na spoľahlivosť a bezpečnosť posudzovaného zariadenia počas zvyškovej životnosti.

2 Rozsah platnosti

BNS II.3.1/2016 platí pre všetky VZJZ definované v zmysle zákona č. 541/2004 Z. z. o mierovom využívaní jadrovej energie (atómový zákon) a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov [1] a vyhlášky Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky č. 430/2011 Z. z. o požiadavkách na jadrovú bezpečnosť v znení vyhlášky ÚJD SR č. 103/2016 Z. z. [2].

Výsledky analýzy podmienok porušenia vplyvom zistených chýb a určené charakteristiky ich prípustnosti sa vzťahujú na dané kontrolované zariadenie. V prípade, že je chyba podľa dnešných kritérií neprípustná, je potrebné ju sledovať a individuálne posudzovať. Ich uplatnenie na iné komponenty a zariadenia sa povoľuje po dohode zúčastnených strán¹ len na základe kvalifikovane preukázanej porovnateľnosti typu zariadenia, jeho konštrukčno-technologického riešenia a parametrov zistených chýb.

Tento BNS sa uplatňuje v súčinnosti so súborom ďalších, nižšie uvedených BNS, ktoré spolu s ním sú nástrojom zabezpečovania kvality v súlade s požiadavkami vyhlášky Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky č. 431/2011 Z. z. o systéme manažérstva kvality v znení vyhlášky ÚJD SR č. 104/2016 Z. z. [3]: BNS II.5.1/2012 /1/, BNS II.5.2/2012 /2/, BNS II.5.3/2011 /3/ a BNS II.3.3/2011 /4/

Tento BNS je odporúčaným dokumentom pre zamestnancov odborných útvarov orgánov a organizácií pri vykonávaní činností súvisiacich s mierovým využívaním jadrovej energie v SR v súlade so zákonom č. 541/ 2004 Z. z. (atómový zákon) [1].

¹ definícia tohto pojmu je v kapitole 4

Tento bezpečnostný návod je revidovaným a doplneným 3. vydaním dokumentu ÚJD SR s pôvodným označením BNS II.3.1/2007 Hodnotenie prípustnosti defektov zisťovaných pri prevádzkových kontrolách vybraných zariadení jadrových zariadení (2. Vydanie – revidované a doplnené), ktorý sa týmto v plnom rozsahu nahrádza.

Tento bezpečnostný návod sa vydáva bez časového obmedzenia.

3 Použité symboly a skratky

3.1 Symboly ku kapitole 5

K_I , K_{II} a K_{III}	súčinitele intenzity napätia ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)
E	modul pružnosti v ťahu (MPa)
μ	Poissonovo číslo (-)
R_e	medza klzu (MPa)
$R_{p0,2}$	dohovorená medza prietlačnosti pre trvalú deformáciu 0,2 % (MPa)
R_m	medza pevnosti (MPa)
A_5	ťažnosť určená zo skúšky ťahom podľa STN EN ISO 6892-1 /7/ (%)
Z	kontrakcia určená zo skúšky ťahom podľa STN EN ISO 6892-1 /7/ (%)
KV	nárazová práca (J)
KCV	rázová húževnatosť ($\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}$)
TT	prechodová teplota ($^{\circ}\text{C}$)
K_{IC}	lomová húževnatosť pri rovinnej deformácii podľa STN EN ISO 12737 /6/ ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)
K_{CJ}	lomová húževnatosť určená z J - integrálu ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)
δ_C	lomová húževnatosť materiálu určená z δ (mm)
K_{ISCC}	prahová hodnota súčiniteľa intenzity napätia pre korózne praskanie pri napätí ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)
F_{EN}	súčiniteľ vplyvu prostredia
φ_M	súčiniteľ vplyvu viacosovej napätosti
φ_w	súčiniteľ vplyvu zvarovania
φ_F	súčiniteľ vplyvu ožiarenia
da/dN	rýchlosť rastu únavovej trhliny (mm/kmit)
ΔK_I	hodnota rozkmitu súčiniteľa intenzity napätia ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)
$K_{I,min}$	minimálna hodnota súčiniteľa intenzity napätia ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)
$K_{I,u}$	hodnota súčiniteľa intenzity napätia, pri ktorej dochádza k dosadnutiu povrchov trhliny ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)
K_{th}	prahová hodnota súčiniteľa rastu trhliny pre stabilný rast trhliny ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)

3.2 Symboly k Prílohe I

a	hĺbka (vedľajšia poloos) trhliny (mm)
c	polovičná dĺžka (hlavná poloos) trhliny (mm)
s	hrúbka steny (mm)
b	najkratšia vzdialenosť povrchu trhliny od povrchu posudzovaného dielca (m)
$R_{p0.2}$	medza klzu (MPa)
$\sigma_K, \sigma_{KA}, \sigma_{KB}$	ekvivalentné napätie (MPa)
$\sigma_A, \sigma_B, \sigma_C$	normálové napätia v bodoch A, B, C (MPa)
σ_R	zvyškové napätie (MPa)
Y, Y_A, Y_B	tvarová funkcia (-)
K_I	súčiniteľ intenzity napätia (MPa.m ^{0.5})
A, B, C, D	body na čele trhliny

3.3 Symboly k Prílohe II

a	prípustná veľkosť malej poloosi idealizovanej chyby eliptického tvaru kolmého na povrch komponentu (smer „z“) (mm)
c	prípustná veľkosť veľkej poloosi idealizovanej chyby eliptického tvaru (t. j. poloosi rovnobežnej s povrchom komponentu – v smere „x“ alebo „y“) (mm)
l	prípustná dĺžka chyby ($l = 2c$) (mm)
b	hrúbka mostíka (mm)
s	hrúbka steny (mm)
F	prípustná plocha laminárnej chyby (mm ²)
T_k	teplota krehkosti podľa STN 42 0350 /8/ (°C)
T_0	referenčná teplota (°C)

3.4 Použité skratky

BNS	bezpečnostné návody úradu
NOO	nezávislá odborná organizácia
úrad	Úrad jadrového dozoru Slovenskej republiky
VVER	vodo-vodné energetické reaktory
VZJZ	vybrané zariadenia jadrových zariadení
PZK	program zabezpečovania kvality [3]
KO	kompensátor objemu
PG	parogenerátor
TNR	tlaková nádoba reaktora

4 Použité pojmy

Tento BNS aplikuje terminológiu bežnú vo oblastiach lomovej mechaniky, medzných stavov porušovania, skúšania charakteristík mechanických vlastností materiálov a nedeštruktívneho skúšania. Vybrané pojmy sa pre účely tohto BNS definujú takto:

Chyba je nedokonalosť (imperfekcia) materiálu; chybou v tomto zmysle môže byť napríklad neželaná štruktúra alebo neželaná heterogenita štruktúry alebo nespojitosť (necelistvosť) materiálu; chyba môže zhoršiť úžitkové vlastnosti materiálu alebo môže zmenšiť nosný prierez alebo vyvolať lokálnu koncentráciu napätia;

Chyba idealizovaná (idealizovaná chyba) je fiktívna chyba tvaru eliptickej alebo poleliptickej trhliny s rozmermi vhodnými pre výpočet parametrov a podmienok porušenia prístupmi lomovej mechaniky, ktorá nahrádza skutočnú chybu (alebo zhluk chýb) akéhokoľvek typu (vrátane trhlín), ktorej (ktorých) prítomnosť sa zistila nedeštruktívnymi skúškami v komponentoch VZJZ; metodika nahrádzania zhľuku chýb idealizovanou chybou je uvedená v Prílohe IV;

Chyba výpočtová (výpočtová chyba) je idealizovaná chyba použitá pri výpočte, v rámci ktorého sa posudzuje ako ostrá trhlina;

Chyba kritickej veľkosti je chyba s najmenším charakteristickým rozmerom, z ktorej sa pri danom spôsobe a parametroch namáhania iniciuje rozvoj trhliny alebo porušenie;

Chyba laminárna (laminárna chyba) je vnútorná plošná chyba, ktorá je tvorená rozvalcovanými nečistotami alebo štruktúrnymi fázami zhoršujúcimi vlastnosti materiálu (najmä húževnatosť a plasticitu), leží prevažne v strede hrúbky materiálu v rovine rovnobežnej s povrchom materiálu. Laminárna chyba je neželaný dôsledok niektorých výrobných postupov (chyba výroby), pričom môže byť posudzovaná ako laminárna iba v tom prípade, ak nedôjde k rozdeleniu materiálu po hrúbke (delaminácii materiálu) v mieste chyby – v opačnom prípade musí byť posudzovaná ako trhlina;

Chyba povrchová je chyba, ktorá zasahuje na povrch materiálu alebo nespĺňa podmienku (9) v Prílohe I;

Chyba plošná – na rozdiel od laminárnej chyby ide o nespojitosť materiálu (napr. trhlina), ktorej rozmer v jednom smere je výrazne menší, ako jej rozmery vo zvyšných dvoch smeroch;

Chyba prípustnej veľkosti je chyba, ktorej druh, poloha a charakteristické rozmery môžu byť väčšie ako sú dovolené podľa prijatých noriem kvality, ale sú menšie ako kritické pre iniciáciu porušenia v daných podmienkach a spôsobe namáhania prierezu konštrukčnej časti, v ktorej sa nachádza;

Chyba vnútorná² je chyba, ktorá nezasahuje na povrch materiálu a súčasne spĺňa podmienku (9) v Prílohe I;

Chyba rekatégorizovaná je chyba preradená – pre účely hodnotenia jej významnosti prístupmi lomovej mechaniky – z kategórie vnútorných do kategórie povrchových a/alebo chýb cez celú hrúbku na základe interakcie polohy a charakteristických rozmerov zistených chýb (skupiny chýb) s povrchom materiálu a/alebo s blízkymi chybami;

Napätie je pomer elementárnej sily k elementárnej plôške konštrukčnej časti;

Napätie hlavné – σ_1 , σ_2 , σ_3 zložky tenzoru napätia do súradnicovej sústavy, v ktorej sú nulové šmykové napätia;

Nezávislá odborná organizácia je certifikovaná právnická osoba spôsobilá vykonávať expertné činnosti a služby v príslušnej oblasti;

Oprava zariadení je odstránenie neprípustných odchýlok od stanovených požiadaviek na celistvosť a úžitkové vlastnosti materiálov a zvarových spojov zistených počas užívania zariadenia;

Stabilný rast chyby je stav, pri ktorom mechanizmom vysokocyklovej (nízkodeformačnej) alebo nízkyklovej (vysokodeformačnej) únavy, v materiáli rovnomerne rastie (únavová) trhlinka;

Súčiniteľ intenzity napätia – K_I určuje napäťové pole vo vrchole ideálnej trhliny zaťaženej ťahom kolmo na jej rovinu v oblasti lineárno-pružných deformácií;

Vybrané zariadenia jadrových zariadení (VZJZ) – v zmysle § 2 písm. r) atómového zákona [1] sú systémy, konštrukcie, komponenty alebo ich časti, vrátane ich programového vybavenia, dôležité z hľadiska jadrovej bezpečnosti jadrového zariadenia a zaradené do bezpečnostných tried I – IV v súlade s kritériami podľa Prílohy č. 1 k vyhláske č. 430/2011 Z. z. [2];

Zhluk chýb je skupina chýb, ktoré sa navzájom ovplyvňujú a ktoré je možné z dôvodu zjednodušenia výpočtu nahradiť jednou výpočtovou chybou idealizovaného tvaru (idealizovanou chybou v zmysle definície), obvykle eliptického alebo poleiptického tvaru;

Zúčastnené strany sú fyzické a právnické osoby, ktorými sú: úrad, držiteľ povolenia

² Pojem “chyba vnútorná” zodpovedá pojmu „subsurface flow“ v ASME CODE Section XI, Division 1

v zmysle atómového zákona a príslušné NOO pre oblasti projektovania, konštrukcie, metalurgie a skúšania materiálov, technológie zvarovania a nedeštruktívneho skúšania.

5 Postup určovania prípustnosti zistených chýb

5.1 Všeobecné pravidlá

Spôsobilosť pre ďalšiu prevádzku VZJZ alebo niektorého z jeho komponentov alebo dielcov s chybami zistenými predpísanými nedeštruktívnymi skúškami sa hodnotí v súlade s nasledujúcimi pravidlami:

- Použitie postupu na posúdenie prípustnosti prevádzky VZJZ so zistenými chybami alebo skupinami chýb počas obmedzenej doby alebo do budúcej plánovanej odstávky alebo do konca predpokladanej prevádzky VZJZ, musí prevádzkovateľ VZJZ dohodnúť s úradom.
- Posúdeniu podliehajú chyby alebo ich zhluky, ktoré sú podľa príslušného predpisu pre požadovanú metódu nedeštruktívneho skúšania označené ako neprípustné. Nájdený zhuk chýb musí byť nahradený idealizovanou chybou v zhode s Prílohou IV. Podľa tohto bezpečnostného návodu je idealizovaná chyba vždy ostrá trhlinka eliptického až kruhového tvaru. Príloha IV poskytuje návod na stanovenie veľkosti idealizovanej chyby zo samostatných chýb, ležiacich v jednej alebo niekoľkých blízkyh rovinách a uvádza kritériá, na základe ktorých je možné zistiť, či sa tieto chyby navzájom ovplyvňujú.
- V oblasti posudzovanej idealizovanej (výpočtovej) chyby typu ostrej trhliny musia byť vypočítané zložky tenzoru pomerných deformácií a tenzoru napätí, a to nielen pre prevádzkové režimy, ktoré doposiaľ prebehli, ale taktiež pre prevádzkové režimy, ktoré síce doposiaľ neprebehli, ale dané zariadenie je pre ne projektované.
- V prípade, že prípustná doba prevádzky do odstávky zariadenia je bez odstránenia chyby / chýb zvarovaním alebo vybrúsením kratšia, než doba predpokladaná prevádzkovateľom VZJZ, musia byť prijaté príslušné opatrenia, napr. odstavenie VZJZ alebo vylúčenie vznikov režimov, ktoré spôsobujú neželaný rast chýb. Jedným z opatrení môže byť tiež kontinuálne meranie rastu chyby tak, aby VZJZ, ktoré je zálohované a je možné ho odstaviť samostatne, bolo včas odstavené z prevádzky.
- Na čele idealizovanej (výpočtovej) chyby typu ostrej trhliny musia byť vypočítané hodnoty súčiniteľov intenzity napätia K_I , K_{II} a K_{III} . Na ich výpočet má byť použitý taký výpočtový programový systém, ktorý umožní zohľadniť nelinearitu mechanických a fyzikálnych vlastností materiálu a nehomogenitu ako mechanického, tak deformačného zaťaženia. V prípade, že posúdenie bude na strane dostatočnej bezpečnosti, je možné na výpočet súčiniteľa intenzity napätia K_I použiť analytické vzťahy uvedené v Prílohe I alebo v medzinárodne uznávaných normách, napr. [5] a [6].
- Pre posudzovaný materiál musia byť zmerané hodnoty lomovej húževnatosti materiálu v závislosti od teploty, rýchlosti stabilného rastu trhliny pri najnepriaznivejšej prevádzkovej teplote a prahová hodnota lomovej húževnatosti pre najnepriaznivejšiu asymetriu cyklu napätia. Požaduje sa zohľadniť vplyv starnutia materiálu v prevádzkových podmienkach na jeho východiskové vlastnosti, vrátane vplyvu prostredia, a to tiež pri odstavení

zariadenia. Prípadné použitie týchto materiálových vlastností z medzinárodne uznávaných predpisov musí byť zdôvodnené.

- g) Pri posúdení prípustnosti chyby sa musí vziať do úvahy vplyv prípadnej predchádzajúcej opravy zvaráním na vlastnosti materiálu a na úroveň zvyškových napätí po oprave zvaráním v oblasti zistenej chyby.

Za posúdenie prípustnosti prevádzky VZJZ zodpovedá prevádzkovateľ. Posúdenie môžu vypracovať jeho odborníci na danú problematiku alebo si môže posúdenie objednať u nezávislej odbornej organizácie. Použitá metodika a výsledky posúdenia, vrátane príslušných opatrení musia byť zdokumentované v technickej správe, ktorú predloží prevádzkovateľ odbornej komisii na hodnotenie výsledkov prevádzkových kontrol VZJZ, menovanej v súlade s platným systémom kvality. Závery komisie k posúdeniu prípustnosti ďalšej, vrátane dočasnej, prevádzky VZJZ s ponechanými alebo odstránenými chybami zvaráním alebo vybrúsením, predloží prevádzkovateľ VZJZ úradu ako súčasť dokladového materiálu k žiadosti o súhlas s uvedením VZJZ do ďalšej prevádzky.

5.2 Charakteristika chýb

Pri prevádzkových kontrolách VZJZ sa zisťujú nasledujúce kategórie a druhy chýb a nedokonalostí (druhy chýb podľa STN ISO 6520 /5/):

- plošné chyby (trhliny; neprievary; studené spoje; zápaly; pretečený povrch zvaru),
- objemové chyby (dutiny – kavity; pevné vtrúseniny – vmestky),
- odchýlky od zamýšľanej geometrie zvarového spoja (lineárne a uhlové presadenie; nedokonalý profil).

Nedeštruktívne skúšky sa musia vykonať v zhode so schváleným programom zabezpečovania kvality a požiadavkami úradu na kvalifikáciu systémov nedeštruktívneho skúšania tak, aby poskytl čo najspoľahlivejšie údaje o druhu, tvare, polohe a počte zistených chýb.

V prípadoch, keď predpísané spôsoby a rozsah nedeštruktívnych skúšok neposkytujú jednoznačné a/alebo úplné informácie o rozmeroch, polohe a orientácii zistených chýb, sa požaduje použiť taktiež doplnujúce spôsoby nedeštruktívnych skúšok, neuvedených v PZK s podmienkou, že boli taktiež kvalifikované v zhode s požiadavkami úradu.

Plošné a objemové chyby sa v závislosti od miesta v materiáli delia na povrchové a vnútorné chyby.

5.3 Klasifikácia prípustnosti chýb

Nájdene chyby sa odporúča nahrádzať idealizovanými chybami podľa pravidiel uvedených v Prílohe IV, pričom rozmerové parametre idealizovaných chýb by mali byť porovnané s rozmerovými parametrami v tabuľkách prípustných veľkostí chýb v jednotlivých uzloch VZJZ, uvedených v Prílohe II. alebo inými relevantnými kritériami prijateľnosti.

Chyby, ktoré neprekračujú uvedené rozmerové parametre, sú pre ďalšiu prevádzku VZJZ prípustné a nemusia byť hodnotené.

Chyby, ktoré prekračujú uvedené rozmerové parametre, musia byť posúdené v zhode s medzinárodne uznávanými predpismi, napr. [5] a [6]. Je možné taktiež použiť postupy uvedené v Sekcii IV Normatívne technické dokumentace ASI [7], ktorá vychádza z dokumentu VERLIFE [8].

5.4 Prevádzkové režimy

Pri hodnotení prípustnosti prevádzky VZJZ so zistenými chybami musia byť použité parametre (pretlak alebo podtlak, teplota, vplyv prostredia) ako absolvovaných prevádzkových režimov, tak aj prevádzkových režimov, ktorých výskyt sa predpokladá v priebehu nasledujúcej prevádzky VZJZ s ponechanými chybami.

Pri hodnotení prípustnosti prevádzky VZJZ so zistenými chybami je možné použiť napätia vypočítané v preukaznej dokumentácii dodanej výrobcom VZJZ jeho prevádzkovateľovi, ak sa v nej uvažované parametre prevádzkových režimov neodlišujú o viac než 10 % od skutočných parametrov absolvovaných prevádzkových režimov.

Ak sa niektorý prevádzkový režim počas doterajšej prevádzky VZJZ so zistenou chybou vyskytol vo väčšom počte, než pre dané obdobie predpokladal projekt, musí sa táto skutočnosť zohľadniť pri výpočte prípustnej nasledujúcej doby prevádzky VZJZ s ponechanou chybou. Ak počet absolvovaných prevádzkových režimov bol menší, než pre dané obdobie predpokladal projekt, potom sa vo výpočte berie počet prevádzkových režimov predpokladaný projektom.

Pri výpočte stabilného rastu chyby sa zostaví taká následnosť prevádzkových režimov, aby bol vypočítaný čo najväčší prírastok chyby počas budúcej predpokladanej alebo prípustnej doby prevádzky VZJZ.

5.5 Výpočet napätí v oblasti chyby

Pri výpočte zložiek tenzoru pomerných deformácií a tenzoru napätí musia byť použité programy umožňujúce ich výpočet pre každý spôsob zaťaženia posudzovanej konštrukcie (napr. tepelné šoky, vodné rázy a pod.), ktorý je možné očakávať, a to nielen pre prevádzkové režimy, ktoré doposiaľ prebehli, ale taktiež pre prevádzkové režimy, ktoré síce doposiaľ neprebehli ale dané zariadenie je na ne projektované.

Napätia v oblasti posudzovanej výpočtovej chyby sa počítajú bez uvažovania prítomnosti chýb, neuvažujú sa teda koncentrácie napätí na ich čele. V prípade, že sú pre výpočet súčiniteľov intenzity napätí použité preverené programové systémy, založené na metóde konečných prvkov, musia byť prítomné výpočtové chyby súčasťou siete prvkov. V ich oblasti musí byť sieť prvkov dostatočne jemná, aby umožnila výpočet súčiniteľov intenzity napätí na

celom čele stabilne rastúcej výpočtovej chyby minimálne v smere poloos "a" a "c" eliptickej výpočtovej chyby.

Na výpočet poľa napätí v oblasti výpočtovej chyby sa dovoľuje použitie analytických metód (napr. membránová teória, metóda okrajového efektu, poloohybová teória, vrátane uváženia súčiniteľov koncentrácie napätí v oblasti vrubov), ak sa dostatočne presne určí pole napätí v oblasti výpočtovej chyby. Pole napätí sa pritom vypočíta bez prítomnosti výpočtovej chyby.

Pri výpočte súčiniteľov intenzity napätia musí byť zohľadnené pole zvyškových napätí po zvaraní. Ak bol použitý uznávaný postup zníženia zvyškových napätí, napr. tepelným spracovaním alebo ich prerozdelením v telese preťažením alebo vibrovaním, berie sa do výpočtu pole zvyškových napätí, ktoré vznikne po aplikácii týchto postupov.

5.6 Mechanické a fyzikálne vlastnosti materiálu v oblasti chýb

Na výpočet doby prípustného stabilného rastu zistených chýb musia byť k dispozícii potrebné mechanické a fyzikálne vlastnosti základného materiálu, zvarového kovu a zvarového spoja, a to vo východiskovom stave aj v stave ovplyvnenom zaťažením a vplyvom prostredia počas absolvovanej doby prevádzky zariadenia s posudzovanou chybou. Patria k nim:

- štandardné a neštandardné mechanické vlastnosti, ako napr.: E , μ , R_e (alebo $R_{p0,2}$), R_m , A_5 , Z , KV (alebo KCV), TT , K_{IC} , (alebo K_{CI}), δ_{IC} , vrátane ich tepelných závislostí;
- štruktúrne charakteristiky, vrátane mikro- a makrocelistvosti charakteristických oblastí zvarových spojov použitých materiálov a ich zmeny vplyvom prevádzkových parametrov, vrátane vplyvu prostredia;
- neštandardné limitné vlastnosti zmerané pri súčasnom účinku špecifikovaných druhov korózie a/alebo erózie a pre korózne praskanie (K_{ISCC}) a koróznou únavu;
- analytické vyjadrenie kriviek únavovej pevnosti do iniciácie makrotrhliny o zmluvnej veľkosti cca 0,5 mm, a to ako v oblasti vysokodeformačnej únavy (typu Langer, typu Manson-Coffina), tak aj v oblasti vysokocyklovej únavy (typu Wöhlera), vrátane stanovenia súčiniteľa vplyvu prostredia F_{EN} (pozri Prílohu III), vplyvu viacosovej napätosti φ_M (pozri Prílohu III), vplyvu zvarovania φ_w a vplyvu ožiarenia φ_F ;
- analytické vyjadrenie rýchlosti stabilného rastu trhliny da/dN v závislosti od ΔK_I a prahovej hodnoty stabilného rastu trhliny K_{th} , pri súčasnom vplyve prítomného média a asymetrie cyklu súčiniteľa intenzity napätia K_I na ich veľkosť, ak by bez tohto vplyvu bolo posúdenie prípustnosti prevádzky zariadenia s ponechanou chybou na strane nedostatočnej konzervatívnosti.

Ďalšie štandardné a neštandardné mechanické a fyzikálne vlastnosti základného materiálu, zvarového kovu a zvarového spoja môžu byť vyžadované v prípade, keď je potrebné použiť špeciálne, novo aplikované alebo publikované postupy na posúdenie prípustnosti prevádzky zariadenia s ponechanou chybou.

5.7 Vznik únavovej trhliny pri premenlivom zaťažovaní

Na výpočet počtu cyklov do vzniku únavovej makrotrhliny o zmluvnej veľkosti cca 0,5 mm je možné použiť analytické vzťahy kriviek únavovej pevnosti a vzťahy pre výpočet kumulácie poškodenia materiálu únavou pri premennom zaťažovaní, uvedené napr. v normách [9], [10] a [11].

Pri výpočte deformácií a napätí vo vruboch sa pri výpočte počtu cyklov do vzniku únavovej makrotrhliny vo vruboch neuvažuje prítomnosť povrchových ani vnútorných chýb.

V záujme väčšej konzervatívnosti sa predpokladá, že čelo výpočtovej chyby, ktorá nahrádza zistené chyby, je ostré, čo znamená, že táto výpočtová chyba je schopná okamžitého rastu pri následnom premenlivom zaťažovaní. Výnimkou je prípad, ak je použitá nedeštruktívna metóda skúšania schopná preukazne (dostatočne presne) stanoviť povrchový tvar a rozmery objemovej (priestorovej) chyby. Potom je možné výpočet spresniť tým, že najskôr bude na povrchu tejto chyby nájdené miesto, kde počas následného premenného zaťažovania vznikne ostrá trhlina schopná následného stabilného rastu pri premennom zaťažovaní.

5.8 Rast únavovej trhliny pri opakovanom zaťažovaní

Na výpočet stabilného rastu výpočtovej chyby, ktorá nahrádza zistené chyby, je možné použiť postupy uvedené v medzinárodne uznávaných normách, napr. [5], [6] alebo [7] a [8]. Potrebné hodnoty súčiniteľov intenzity napätia sa určujú v zhode s bodom 5.1 e).

Ak nie je známa následnosť prevádzkových režimov, musí byť výpočet stabilného rastu výpočtovej chyby vykonaný pre najnepriaznivejšiu kombináciu následnosti režimov, ktorých výskyt musí byť očakávaný v zhode s projektovými prevádzkovými režimami. Musí byť taktiež uvažovaný výskyt projektových prevádzkových režimov, ktoré sa v priebehu absolvovanej prevádzky VZJZ ešte nevyskytli. Výnimkou môže byť situácia, keď prevádzkovateľ VZJZ po dohode s úradom zaistí, že počas doby následnej dočasnej prevádzky s neopravenými chybami buď nenastane nepriaznivý projektový režim, resp. ak tento stav môže nastať, musia byť prijaté účinné opatrenia vedúce až k okamžitému odstaveniu VZJZ.

Vo výpočte stabilného rastu výpočtovej chyby sa uvažuje celý rozkmit ΔK_I aj v prípade, že minimálna hodnota cyklu je záporná. Výnimkou je prípad, ak bude známa hodnota $K_{I,u}$, pri ktorej dôjde k dosadnutiu povrchov výpočtovej chyby na seba, t. j. dôjde k uzatvoreniu trhliny. V takom prípade je možné vo výpočte použiť $\Delta K_I = K_{I,max} - K_{I,u}$ namiesto $\Delta K_I = K_{I,max} - K_{I,min}$.

Vo výpočte stabilného rastu výpočtovej chyby sa neuvažuje možnosť dočasného zastavenia (zbrzdzenia) rastu chyby, ktorá by mohla nastať v prípade, že vznikom oblasti plastických deformácií pred čelom výpočtovej chyby (trhliny) sa vytvorí dočasná prekážka brániaca jeho (jej) rastu pri následných cykloch zaťaženia s menšími rozkmitmi ΔK_I .

Pri zariadení schválenom pre ďalšiu prevádzku (a to aj iba dočasnú) s chybami presahujúcimi prípustnú veľkosť, musí byť preukázaná odolnosť proti porušeniu materiálu krehkým lomom počas celej doby prevádzky. Na takéto preukázanie je možné použiť postup podľa normy [5] až [8].

6 Oprava komponentov s neprípustnými chybami

Komponenty VZJZ, v základnom materiáli a/alebo vo zvarových spojoch ktorých sa zistili chyby klasifikované v zmysle tohto BNS ako neprípustné, sa musia opraviť alebo vymeniť.

Rozsah, spôsob a technologický postup opravy je predmetom technického riešenia, ktoré podlieha schváleniu odbornej komisie, menovanej užívateľom. Pri oprave zváraním sa treba riadiť požiadavkami BNS II.5.1/2012 /1/, BNS II.5.2/2012 /2/ a BNS II.5.3/2011 /3/.

Úplná konštrukčná a technologická dokumentácia opravy sa prikladá k žiadosti o súhlas úradu s uvedením opravovaného zariadenia do ďalšej prevádzky.

7 Odkazy

- /1/ Zváranie jadrových zariadení. Základné požiadavky a pravidlá. 4. vydanie. BNS II.5.1/2012, Bratislava, ÚJD SR 2012.
- /2/ Kontrola zvárania a kvality zvarových spojov komponentov vybraných zariadení jadrových zariadení. Požiadavky. 4. vydanie. BNS II.5.2/2012, Bratislava, ÚJD SR 2012.
- /3/ Zváracie materiály na zváranie strojno-technologických komponentov vybraných zariadení jadrových zariadení. Technické požiadavky a pravidlá výberu. 4. vydanie. BNS II.5.3/2011, Bratislava, ÚJD SR 2011.
- /4/ Hutnícke výrobky a náhradné diely pre jadrové zariadenia. Požiadavky 3. vydanie. BNS II.3.3/2011, Bratislava, ÚJD SR 2011.
- /5/ STN ISO 6520: Klasifikácia nedokonalostí zvarových spojov pri tavnom zváraní kovov s vysvetlivkami.
- /6/ STN EN ISO 12737:2011 Určenie lomovej húževnatosti pri rovinnej deformácii.
- /7/ EN ISO 6892-1: 2010 Kovové materiály. Skúška ťahom. Časť 1: Skúška ťahom pri teplote okolia.
- /8/ STN 42 0350: 1987 Stanovenie teploty krehkosti konštrukčných ocelí skúškou rázom v ohybe.

8 Literatúra

- [1] Zákon č. 541/2004 Z. z. o mierovom využívaní jadrovej energie (atómový zákon) a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov.
- [2] Vyhláška Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky č. 430/2011 Z. z. o požiadavkách na jadrovú bezpečnosť v znení vyhlášky ÚJD SR č. 103/2016 Z. z.
- [3] Vyhláška Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky č. 431/2011 Z. z. o systéme manažérstva kvality v znení vyhlášky ÚJD SR č. 104/2016 Z. z.
- [4] Smernica o vydávaní bezpečnostných návodov Úradu jadrového dozoru Slovenskej republiky č. S 230 012:16.
- [5] BS 7910:2005, Guide to methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures. British Standards Institution, London, 1999.
- [6] ASME Boiler and Pressure Vessel Code an Internationally Recognized Code. Section XI. Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components. 1995 Edition, July 1, 1995 New York. Prípadne 2010 Edition.
- [7] Normativně technická dokumentace Asociace strojních inženýrů. Sekce IV. Hodnocení zbytkové životnosti zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER. Praha, Brno, 2007.
- [8] Unified procedure for lifetime assessment of Components and piping in WWER NPPs, “VERLIFE”, Version 5 – Final, Contract n° fiks-ct-2001-20198.
- [9] Normativně technická dokumentace Asociace strojních inženýrů. Sekce III. Hodnocení pevnosti zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER. Praha, Brno, 2007.

- [10] Normy raščota na pročnosť oborudovanija i truboprovodov atomnyh energetičeskich ustanovok. PNAE G-7-002-86. Moskva, Energoatomizdat, 1989.
- [11] Rukovodstvo po raščetu na pročnosť oborudovanija i truboprovodov reaktornych ustanovok RBMK i VVER na stadii expluatacii. PDEO 0330-01. Ministerstvo Rossijskoj Federacii po atomnoj energetike, Moskva 2001.
- [12] Metodičeskie rekomendacii MP 1008.7 -86. Oborudovanie energetičeskoe. Raščoty i ispitánija na pročnosť. Raščot koeficientov intensivnosti naprjaženija. Ministerstvo energetičeskovo mašinostroenija. Moskva 1986.
- [13] Vejvoda. S.: Návrh postupu pro hodnocení nalezených necelistvostí. Zpráva ÚAM Brno č. 2150/95. Duben 1995.
- [14] Licka. A.: Databáze přípustných necelistvostí. Zpráva ÚAM Brno, č. 2193/95. Říjen 1995.
- [15] Smejč. V.: Postup pro stanovení přípustnosti necelistvostí zjištěných při nedestruktivních prohlídkách kompenzátoru objemu. Zpráva VITKOVICE. Oddělení 603. č. Z-4-JL-000056.
- [16] Higuchi, M.: Corrosion Fatigue - Japanese Program Overview, Proceedings of the 3rd International Conference on Fatigue of Reactor Components, October 2004, Seville, Spain.
- [17] Chopra, O. K. and Shack, W.J.: Effects of Light Water Reactor Coolant Environments on Fatigue Crack Initiation in Carbon & Low-Alloy Steel and Austenitic Stainless Steels, NRC JCN Y6388, Proceedings of the 3rd International Conference on Fatigue of Reactor Components, October 2004, Seville, Spain.
- [18] Effects of LWR Coolant Environments on Fatigue Design Curve of Austenitic Stainless Steels. Argonne National Laboratory, NUREG/CR-5704, ANL-98/31.
- [19] Rukovodstvo po raščetu na pročnosť oborudovanija i truboprovodov reaktornych ustanovok RBMK i VVER na stadii expluatacii. PDEO 0330-01. Ministerstvo Rossijskoj Federacii po atomnoj energetike, Moskva 2001.
- [20] Předpis pro vyhodnocování předprovozních a provozních kontrol dílů reaktorů jaderných elektráren EBO a EMO. Ae 12522/Dok rev.3, Škoda JS, Plzeň 2014.

PRÍLOHA I**VÝPOČET SÚČiniteľa INTENZITY NAPÄTIA K_I** **1 Všeobecné zásady**

Vzorce uvedené v tejto Prílohe I môžu byť použité iba na výpočet súčiniteľa intenzity napätia K_I , v rozsahu použiteľnosti lineárnej lomovej mechaniky. Postup výpočtu je prevzatý z [12].

2 Stanovenie súčiniteľa intenzity napätia K_I

2.1 Súčiniteľ intenzity napätia sa vypočíta zo vzťahu:

$$K_I = \sigma_K Y_A^{1/2} \quad (1)$$

Vzťah (1) platí pre σ_K menšie ako medza klzu $R_{p0.2}$. Napätie σ_K zahŕňa zvyškové napätia σ_R .

2.2 Pri výpočte K_I podľa (1) sa zoberie do úvahy nasledujúce napätie σ_K a tvarová funkcia Y pre povrchovú trhlinu (Obrázok I.3.1):

a) v bode A

$$\sigma = \sigma_{KA}, \quad Y = Y_A, \quad (2)$$

kde tvarová funkcia Y_A je určená vzťahom:

$$Y_A = \frac{2 - 0,82 \cdot a/c}{\left\{ 1 - \left[0,89 - 0,57(a/c)^{1/2} \right]^3 \cdot (a/s)^{1,5} \right\}^{3,25}}; \quad (3)$$

b) v bode B

$$\sigma = \sigma_{KB}, \quad Y = Y_B \quad (4)$$

$$Y_B = [1,1 + 0,35 (a/s)^2] \cdot (a/c)^{1/2} \cdot Y_A.$$

Vzťahy (3) a (4) platia pre $a \leq c$ a $a \leq 0,7 s$.

2.3 Pre vnútornú trhlinu (Obrázok I.3.2) sa použijú nasledujúce hodnoty σ_K a Y pre výpočet K_I :

a) V bode A

$$\sigma_K = \sigma_{KA}, \quad (5)$$

$$Y = \frac{1,79 - 0,66 \cdot a/c}{[1 - \beta^{1,8} (1 - 0,4(a/c) - 0,8\gamma^{0,4})]^{0,54}}$$

kde

$$\beta = \frac{a}{b+a}; \quad \gamma = 0,5 - \frac{b+a}{s}, \quad (6)$$

b je vzdialenosť bodu na čele trhliny, ležiaceho najbližšie k povrchu steny (šírka mostíka), pozri Obrázok I.3.2;

b) V bode B

$$\sigma_K = \sigma_{KB} \quad (7)$$

$$Y = \frac{1,79 - 0,66 \cdot a/c}{[1 - \beta^{1,8} (1 - 0,4(a/c) - \gamma^2)]^{0,54}}.$$

Vzťahy (5) a (7) pre výpočet Y platia pre $a \leq c$, $a \leq 9b$ a $b + a \leq s/2$.

- c) V bode D (vrchol na hlavnej osi elipsy, Obrázok I.3.2) sa hodnota súčiniteľa intenzity napätia K_I určí na základe jeho hodnôt v bodoch A a B podľa vzťahu:

$$K_I(D) = \frac{K_I(A) + K_I(B)}{2} \quad (8)$$

- 2.4 Trhliny s pomerom poloosí $a/c > 1$ sa považujú za kruhové alebo polkruhové s polomerom a .

- 2.5 Trhlina je považovaná za vnútornú, ak jej vzdialenosť b od bližšieho z povrchov (Obrázok I.3.2) vyhovuje vzťahu:

$$b > \frac{a}{9} \quad (9)$$

Typ trhliny musí byť zmenený a trhlina musí byť považovaná za povrchovú, ak pri jej postupnom raste prestane platiť podmienka (9).

3 Výpočet ekvivalentného napätia

Ekvivalentné napätie σ_K potrebné pre výpočet súčiniteľa intenzity napätia K_I sa vypočíta z napätí $\sigma_A, \sigma_B, \sigma_C$ v bodoch A, B, C (pozri. Obrázok I.3.1 a Obrázok I.3.2), ktoré je určené z napäťových polí, vypočítaných na modeli komponentu bez trhliny. Napätia $\sigma_A, \sigma_B, \sigma_C$ sú normálové napätia, t. j. kolmé k rovine trhliny.

- 3.1 Stanovenie ekvivalentného napätia pre povrchovú trhlinu (symboly pozri Obrázok I.3.1):

- 3.1.1 Ak sú napätia konštantné cez celú hrúbku steny, potom:

$$\sigma_{KA} = \sigma_{KB} = \sigma_A = \sigma_B \quad (10)$$

- 3.1.2 Ak má napätie cez celú hrúbku steny lineárny priebeh, potom:

$$\sigma_{KA} = 0,61 \sigma_A + 0,39 \sigma_B + \left\{ 0,11 \cdot (a/c) - 0,28 \cdot (a/s) \cdot \left[1 - (a/c)^{1/2} \right] \right\} \cdot (\sigma_A - \sigma_B) \quad (11)$$

$$\sigma_{KB} = 0,18 \sigma_A + 0,82 \sigma_B \quad (12)$$

- 3.1.3 Ak má napätie parabolický priebeh cez celú hrúbku steny, potom:

$$\sigma_{KA} = 0,111 \cdot (3 \sigma_A + \sigma_B + 5 \sigma_C) + 0,4 \cdot (a/c) \cdot (0,38 \sigma_A - 0,17 \sigma_B - 0,21 \sigma_C) - 0,28 \cdot (a/s) \cdot [1 - (a/c)^{1/2}] \cdot (\sigma_A - \sigma_B) \quad (13)$$

$$\sigma_{KB} = 0,64 \sigma_B + 0,36 \sigma_C \quad (14)$$

- 3.2 Ekvivalentné napätie pre vnútornú (podpovrchovú) trhlinu (symboly pozri Obrázok I.3.2) sa vypočíta nasledovne:

3.2.1 Ak je napätie konštantné cez celú hrúbku steny, potom platí vzťah (10).

3.2.2 Ak má napätie lineárny priebeh cez celú hrúbku steny, potom:

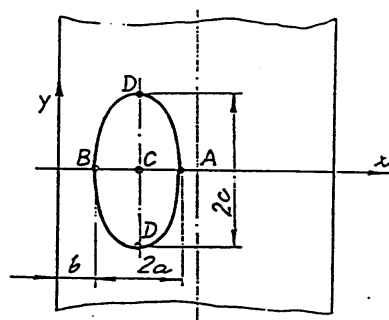
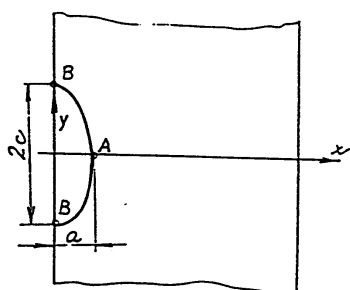
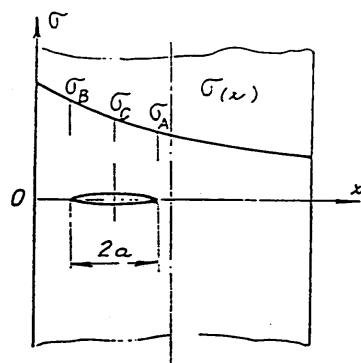
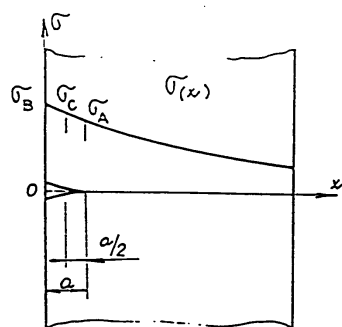
$$\sigma_{KA} = \frac{3\sigma_A + \sigma_B}{4} + \frac{a}{c} \cdot \frac{\sigma_A - \sigma_B}{12}, \quad (15)$$

$$\sigma_{KB} = \frac{3\sigma_B + \sigma_A}{4} + \frac{a}{c} \cdot \frac{\sigma_B - \sigma_A}{12} \quad (16)$$

3.2.3 Ak má napätie parabolický priebeh cez celú hrúbku steny, potom:

$$\sigma_{KA} = \frac{\sigma_A + \sigma_C}{2} + \frac{a}{c} \cdot \frac{4\sigma_A - 3\sigma_C - \sigma_B}{30} \quad (17)$$

$$\sigma_{KB} = \frac{\sigma_B + \sigma_C}{2} + \frac{a}{c} \cdot \frac{4\sigma_B - 3\sigma_C - \sigma_A}{30} \quad (18)$$

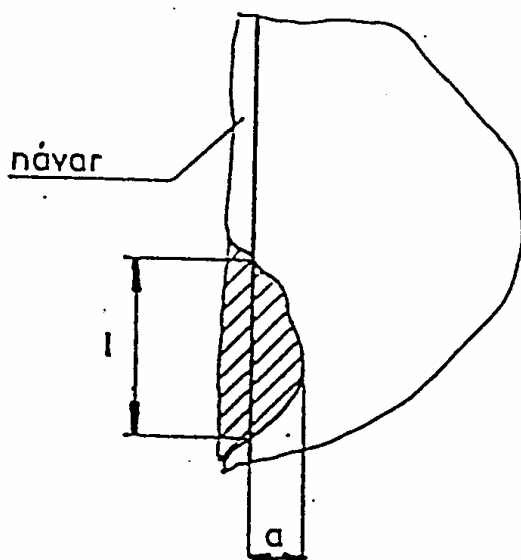


Obrázok I.3.1 Povrchová chyba (trhlina)

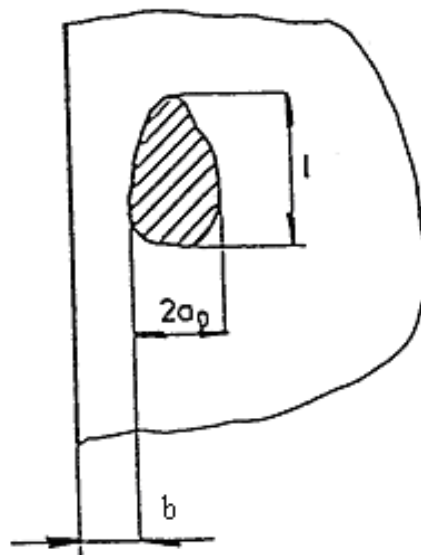
Obrázok I.3.2 Vnútna chyba (trhlina)

PRÍLOHA II**PRÍPUSTNÉ VEĽKOSTI IDEALIZOVANÝCH CHÝB****1 Všeobecné zásady**

- 1.1 Príloha II je len informatívna. Prevádzkovateľ sa musí u zariadení, u ktorých už boli prípustné veľkosti chýb určené, držať danými hodnotami. U zariadení, kde veľkosť prípustných chýb nie je určená, treba určiť prípustnú veľkosť chyby v súlade s týmto dokumentom BNS.
- 1.2 V tejto Prílohe II sú uvedené prípustné veľkosti idealizovaných chýb laminárneho a plošného typu, ktoré sa našli na parogenerátoroch, kompenzátoroch objemu, tlakovej nádobe reaktora a austenitickom potrubí v priebehu prevádzkových kontrol týchto zariadení. Prípustné veľkosti chýb sú rozdelené podľa miesta, kde sa na zariadení nachádzajú. Na stanovenie prípustných veľkostí sa použili prístupy uvedené v [13] až [15]. Postup a metodika sú uvedené v [20].
- 1.3 Vo všeobecnosti je potrebné pri hodnotení chýb aplikovať nasledujúce zásady:
- 1.3.1. Časť chyby, ktorá sa nachádza v austenitickom návare sa nezahŕňa do veľkosti chyby (pozri Obrázok II.1.1).
- 1.3.2. Ak veľkosť mostíka b medzi chybou a bližším povrchom je menšia než $a/9$, chyba je považovaná za povrchovú, pričom $a = 2a_0 + b$ (pozri Obrázok II.1.2)



Obrázok II.1.1 Charakteristické rozmery povrchových chýb



Obrázok II.1.2 Charakteristické rozmery na posudzovanie chýb

2 Parogenerátor a kompenzátor objemu VVER-440/V-213 a V-230

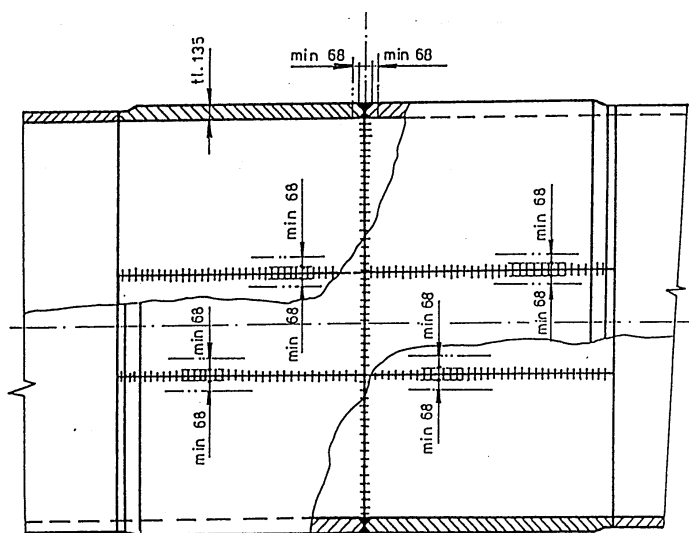
2.1 Chyby (zhluky chýb) nájdené v priebehu prevádzkových kontrol v PG a KO VVER-440/V-213 a V-230 sú v kontrolovaných oblastiach prípustné, ak rozmery z nich odvodených idealizovaných chýb nepresahujú hodnoty uvedené v článkoch 2.2 až 2.11.

2.2 Valcová časť plášťa PG – hrúbka steny $s = 135$ mm.

Maximálna prípustná plocha laminárnych chýb vo valcovej časti plášťa PG ($s = 135$ mm, Obrázok II. 2.2): $F \leq 10\,306 \text{ mm}^2$

Tab. II.2.2 Maximálna prípustná veľkosť vnútorných plošných chýb vo valcovej časti plášťa PG ($s = 135$ mm)

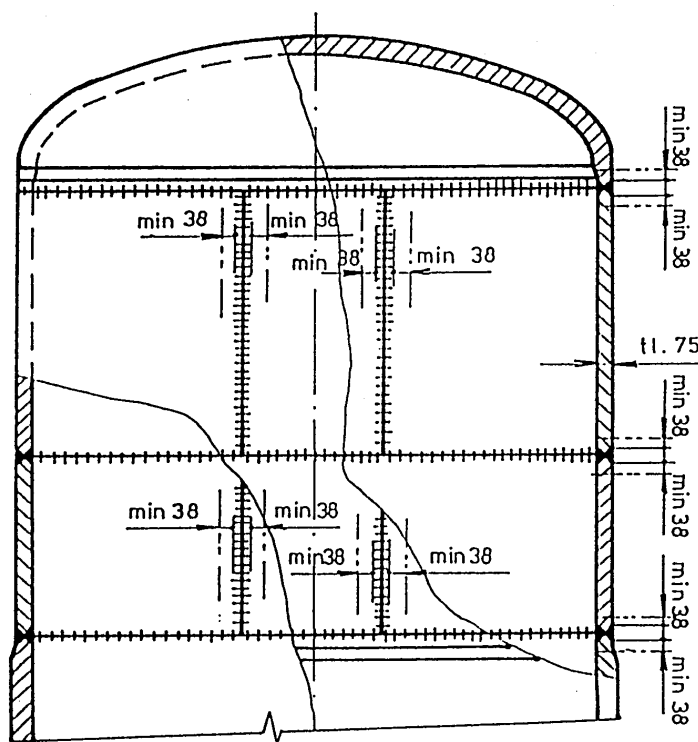
Referenčná hodnota	Maximálna prípustná veľkosť jednotlivých rozmerov	
a/l	$[a]$ (mm)	$[l] = [2c]$ (mm)
do 0,05	3,0	59,4
0,05 ÷ 0,10	3,4	33,8
0,10 ÷ 0,15	3,9	26,1
0,15 ÷ 0,20	4,5	22,3
0,20 ÷ 0,25	5,1	20,5
0,25 ÷ 0,30	5,9	19,8
0,30 ÷ 0,35	6,9	19,7
0,35 ÷ 0,40	7,8	19,5
0,40 ÷ 0,45	9,1	20,1
0,45 ÷ 0,50	10,3	20,5



Obrázok II.2.2 Valcová časť PG, $s = 135$ mm

2.3 Valcová časť plášťa PG – hrúbka steny $s = 75$ mmMaximálna prípustná plocha laminárnych chýb vo valcovej časti plášťa PG ($s = 75$ mm,Obr. II. 2.3): $F \leq 5\,715\text{ mm}^2$ Tabuľka II.2.3 Maximálna prípustná veľkosť vnútorných plošných chýb vo valcovej časti plášťa PG ($s = 75$ mm)

Referenčná hodnota	Maximálna prípustná veľkosť jednotlivých rozmerov	
	$[a]$ (mm)	$[l] = [2c]$ (mm)
do 0,05	2,4	48,0
0,05 ÷ 0,10	2,8	28,3
0,10 ÷ 0,15	3,2	21,5
0,15 ÷ 0,20	3,7	18,7
0,20 ÷ 0,25	4,3	17,2
0,25 ÷ 0,30	5,1	16,9
0,30 ÷ 0,35	5,9	16,8
0,35 ÷ 0,40	6,8	17,0
0,40 ÷ 0,45	8,0	17,7
0,45 ÷ 0,50	9,2	18,4

Obrázok II.2.3 Valcová časť PG, $s = 75$ mm

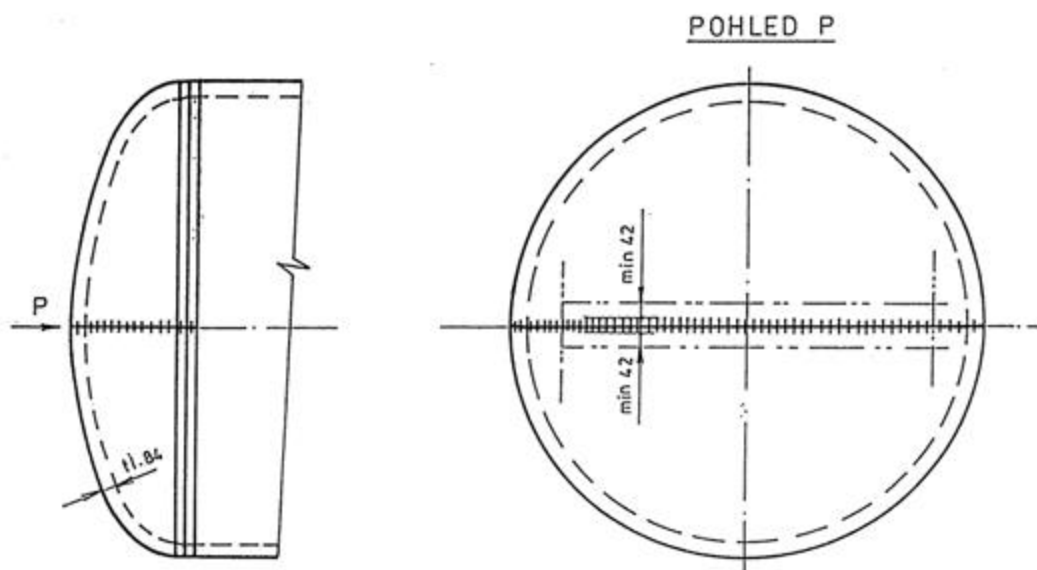
2.4 Veko PG – hrúbka steny $s = 84$ mm – stredná časť.

Maximálna prípustná plocha laminárnych chýb vo veku PG ($s = 84$ mm, Obrázok II.2.4):

$$F \leq 6\,540 \text{ mm}^2$$

Tabuľka II.2.4 Maximálna prípustná veľkosť vnútorných plošných chýb v strednej časti veka PG ($s = 84$ mm)

Referenčná hodnota	Maximálna prípustná veľkosť jednotlivých rozmerov	
	a/l	$[a]$ (mm)
do 0,05	2,5	49,4
0,05 ÷ 0,10	2,8	28,0
0,10 ÷ 0,15	3,2	21,4
0,15 ÷ 0,20	3,7	18,5
0,20 ÷ 0,25	4,3	17,1
0,25 ÷ 0,30	5,0	16,7
0,30 ÷ 0,35	5,8	16,6
0,35 ÷ 0,40	6,7	16,7
0,40 ÷ 0,45	7,8	17,3
0,45 ÷ 0,50	9,0	18,0



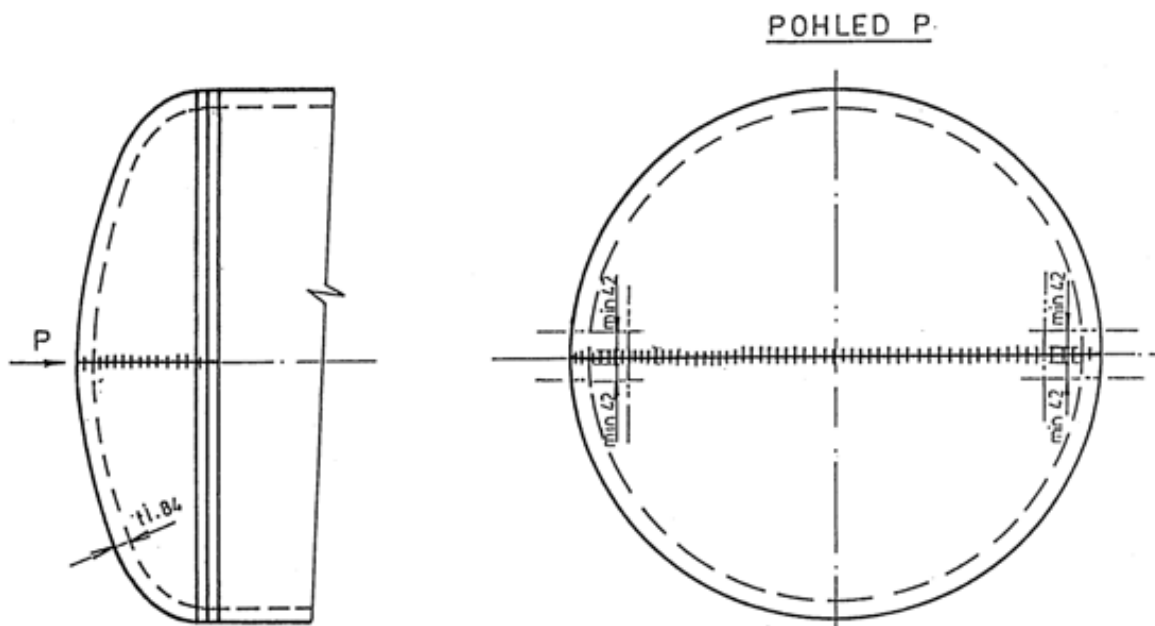
Obrázok II.2.4 Veko PG, $s = 84$ mm

2.5 Veko PG – hrúbka steny $s = 84$ mm – oblasť s veľkou krivosťou.

Maximálna prípustná plocha laminárnych chýb v oblasti veľkej krivosti veka PG ($s = 84$ mm, Obrázok II.2.5): $F \leq 6\,540 \text{ mm}^2$

Tabuľka II.2.5 Maximálna prípustná veľkosť vnútorných plošných chýb v oblasti veľkej krivosti veka PG ($s = 84$ mm)

Referenčná hodnota	Maximálna prípustná veľkosť jednotlivých rozmerov	
	a/l	$[a]$ (mm) $[l] = [2c]$ (mm)
do 0,05	2,5	49,4
0,05 ÷ 0,10	2,8	28,0
0,10 ÷ 0,15	3,2	21,4
0,15 ÷ 0,20	3,7	18,5
0,20 ÷ 0,25	4,3	17,1
0,25 ÷ 0,30	5,0	16,7
0,30 ÷ 0,35	5,8	16,6
0,35 ÷ 0,40	6,7	16,7
0,40 ÷ 0,45	7,8	17,3
0,45 ÷ 0,50	9,0	18,0



Obrázok II.2.5 Veko PG, $s = 84$ mm, oblasť s veľkou krivosťou

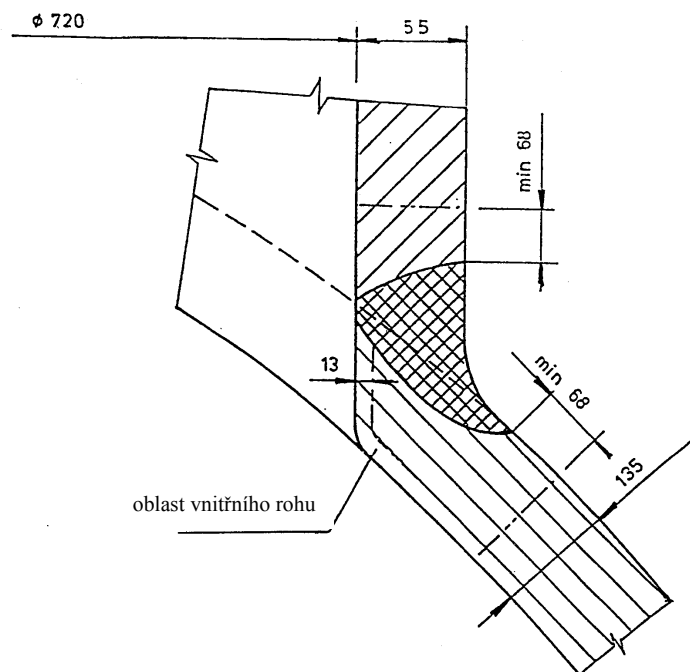
2.6 Nátrubok DN 700 na PG – hrúbka steny nátrubku $s = 55$ mm, hrúbka steny PG $s = 135$ mm.

Laminárne chyby v stene nátrubku musia byť posudzované ako plošné chyby (Obrázok II.2.6).

Tabuľka II.2.6 Maximálna prípustná veľkosť vnútorných plošných chýb v nátrubku DN 700 na PG ($s = 55$ mm)

Referenčná hodnota	Maximálna prípustná veľkosť jednotlivých rozmerov	
	$[a]$ (mm)	$[l] = [2c]$ (mm)
do 0,05	2,1	41,8
0,05 ÷ 0,10	2,4	23,6
0,10 ÷ 0,15	2,7	18,0
0,15 ÷ 0,20	3,1	15,7
0,20 ÷ 0,25	3,6	14,5
0,25 ÷ 0,30	4,3	14,3
0,30 ÷ 0,35	4,9	14,1
0,35 ÷ 0,40	5,8	14,4
0,40 ÷ 0,45	6,8	15,0
0,45 ÷ 0,50	7,9	15,7

Pre oblasť vnútorného rohu nátrubku platí: $a = 1,3$ mm.



Obrázok II.2.6 Nátrubok DN 700 na PG

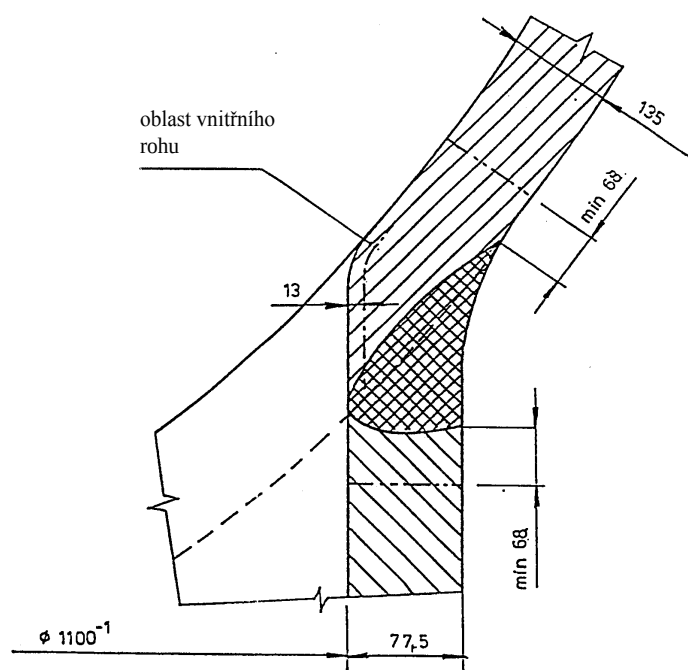
2.7 Nátrubok DN 1100 na PG – hrúbka steny nátrubku $s = 77,5$ mm, hrúbka steny PG $s = 135$ mm.

Laminárne chyby v stene nátrubku musia byť posudzované ako plošné chyby (Obrázok II.2.7).

Tabuľka II.2.7 Maximálna prípustná veľkosť vnútorných plošných chýb v nátrubku PG ($s = 77,5$ mm)

Referenčná hodnota	Maximálna prípustná veľkosť jednotlivých rozmerov	
	$[a]$ (mm)	$[l] = [2c]$ (mm)
do 0,05	2,4	48,0
0,05 ÷ 0,10	2,7	27,1
0,10 ÷ 0,15	3,1	20,7
0,15 ÷ 0,20	3,6	17,8
0,20 ÷ 0,25	4,1	16,4
0,25 ÷ 0,30	5,0	16,8
0,30 ÷ 0,35	5,6	15,9
0,35 ÷ 0,40	6,5	16,3
0,40 ÷ 0,45	7,6	16,9
0,45 ÷ 0,50	8,7	17,5

Pre oblasť vnútorného rohu nátrubku platí: $a = 1,9$ mm.



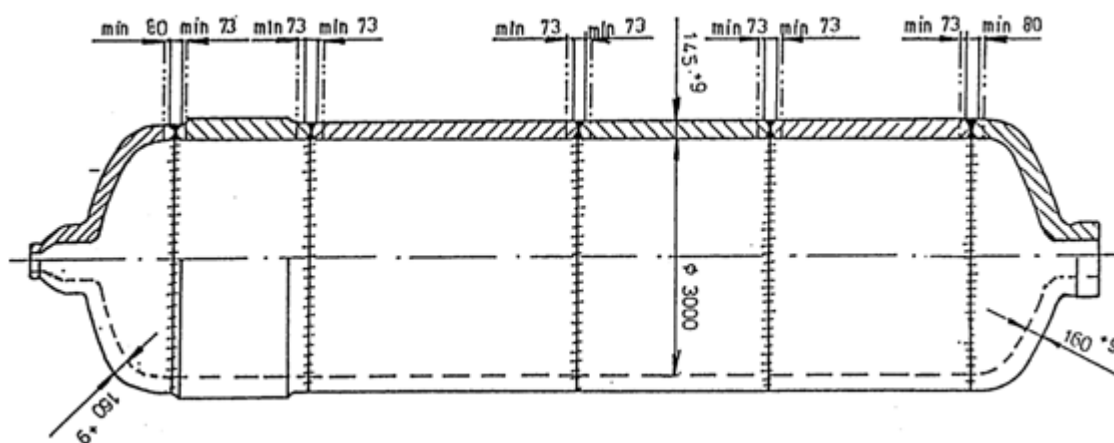
Obrázok II.2.7 Nátrubok DN 1100 na PG

2.8 Valcová časť plášťa KO – hrúbka steny $s = 145 \text{ mm}$

Maximálna prípustná plocha laminárnych chýb vo valcovej časti plášťa KO
(s = 145 mm, Obrázok II.2.8): $F \leq 11\,091\text{ mm}^2$

Tabuľka II.2.8 Maximálna prípustná veľkosť vnútorných plošných chýb vo valcovej časti plášťa KO (s = 145 mm)

Referenčná hodnota	Maximálna prípustná veľkosť jednotlivých rozmerov	
a/l	[a] (mm)	[l] = [2c] (mm)
do 0,05	3,2	64
0,05 ÷ 0,10	3,6	36
0,10 ÷ 0,15	4,2	28
0,15 ÷ 0,20	4,8	24
0,20 ÷ 0,25	5,5	22
0,25 ÷ 0,30	6,4	21
0,35 ÷ 0,35	7,4	21
0,35 ÷ 0,40	8,4	21
0,40 ÷ 0,45	9,7	22
0,45 ÷ 0,50	11,0	22



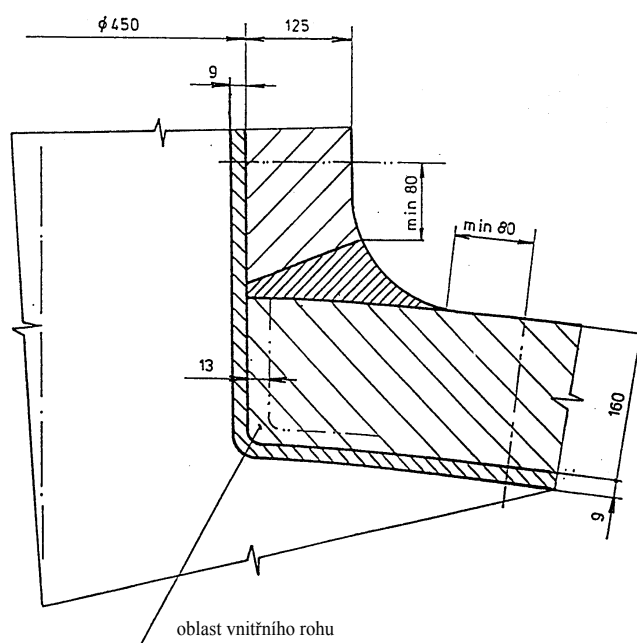
Obrázok II.2.8 Valcová časť plášťa KO

- 2.9 Nátrubok prielezu na hornom veku KO – hrúbka steny nátrubku $s = 125$ mm, hrúbka steny škrupiny 160 mm
Laminárne chyby v stene nátrubku musia byť posudzované ako plošné chyby (Obrázok II.2.9).

Tabuľka II.2.9 Maximálna prípustná veľkosť vnútorných plošných chýb v nátrubku prielezu na hornom veku KO ($s = 125$ mm)

Referenčná hodnota	Maximálna prípustná veľkosť jednotlivých rozmerov	
	$[a]$ (mm)	$[l] = [2c]$ (mm)
do 0,05	2,7	55,0
0,05 ÷ 0,10	3,1	31,0
0,10 ÷ 0,15	3,6	24,0
0,15 ÷ 0,20	4,1	20,0
0,20 ÷ 0,25	4,7	19,0
0,25 ÷ 0,30	5,5	18,0
0,35 ÷ 0,35	6,4	18,0
0,35 ÷ 0,40	7,2	18,0
0,40 ÷ 0,45	8,4	18,0
0,45 ÷ 0,50	9,5	19,0

Pre oblasť vnútorného rohu nátrubku platí: $a = 3,1$ mm.



Obrázok II.2.9 Nátrubok prielezov na hornom veku KO

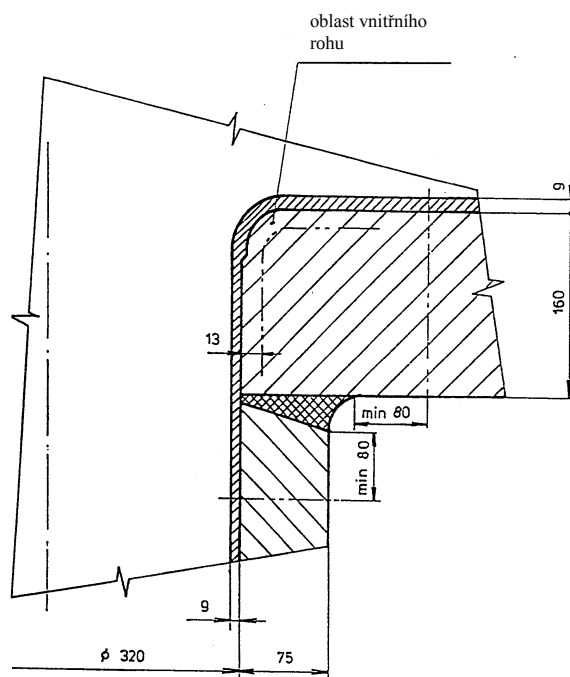
2.10 Nátrubok na dolnom dne KO – hrúbka steny nátrubku $s = 75$ mm, hrúbka steny KO 160 mm

Laminárne chyby v stene nátrubku musia byť posudzované ako plošné chyby (Obrázok II.2.10).

Tabuľka II.2.10 Maximálna prípustná veľkosť vnútorných plošných chýb v nátrubku na dolnom dne KO ($s = 75$ mm)

Referenčná hodnota	Maximálna prípustná veľkosť jednotlivých rozmerov	
	$[a]$ (mm)	$[l] = [2c]$ (mm)
do 0,05	2,4	48,0
0,05 ÷ 0,10	2,7	27,0
0,10 ÷ 0,15	3,1	20,0
0,15 ÷ 0,20	3,6	18,0
0,20 ÷ 0,25	4,1	17,0
0,25 ÷ 0,30	5,0	17,0
0,35 ÷ 0,35	5,6	16,0
0,35 ÷ 0,40	6,5	16,0
0,40 ÷ 0,45	7,6	17,0
0,45 ÷ 0,50	8,8	17,0

Pre oblasť vnútorného rohu nátrubku platí: $a = 1,8$ mm.



Obrázok II.2.10 Nátrubok na dolnom dne KO

2.11 Dolné dno KO v mieste privarenia podstavca – hrúbka steny $s = 160 \text{ mm}$

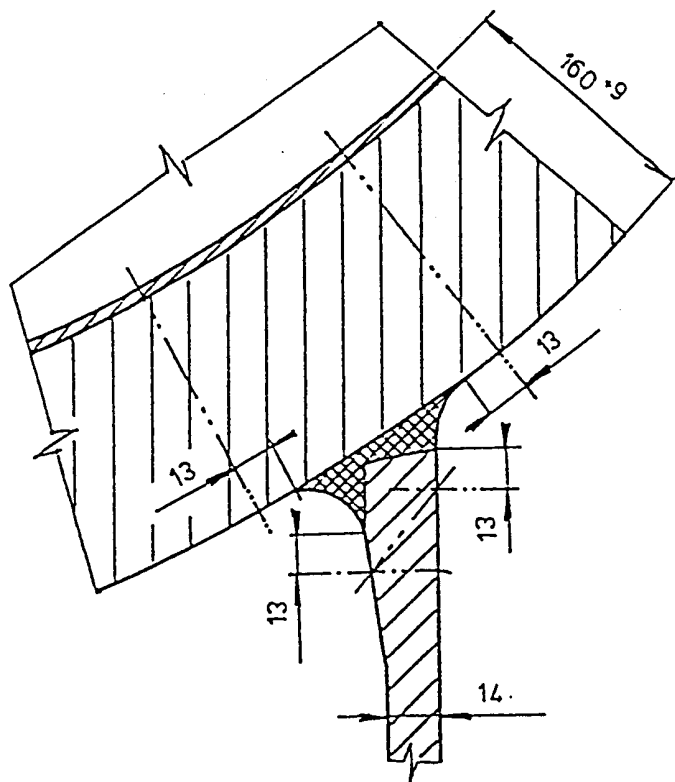
Maximálna prípustná plocha laminárnych chýb v dolnom dne KO ($s = 160 \text{ mm}$,

Obrázok II.2.11):

$$F \leq 12\,247 \text{ mm}^2$$

Tabuľka II.2.11 Maximálna prípustná veľkosť vnútorných plošných chýb v dolnom dne KO v mieste privarenia podstavca ($s = 160 \text{ mm}$)

Referenčná hodnota	Maximálna prípustná veľkosť jednotlivých rozmerov	
	a (mm)	l (mm)
do 0,05	3,2	64,0
0,05 ÷ 0,10	4,0	40,0
0,10 ÷ 0,15	4,6	31,0
0,15 ÷ 0,20	5,3	26,0
0,20 ÷ 0,25	6,1	24,0
0,25 ÷ 0,30	7,0	23,0
0,35 ÷ 0,35	8,2	23,0
0,35 ÷ 0,40	9,3	23,0
0,40 ÷ 0,45	10,7	24,0
0,45 ÷ 0,50	12,1	24,0



Obrázok II.2.11 Dolné dno KO v mieste privarenia podstavca

3 Tlaková nádoba reaktoru VVER-440/V-213 a V-230

- 3.1 Chyby zistené v priebehu prevádzkových kontrol v TNR VVER-440/V-231 a V-230 sú prípustné, ak veľkosti z nich odvodených idealizovaných chýb sú menšie než hodnoty uvedené v tabuľkách v čl. 3.2 a 3.3.
- 3.2 V Tabuľke II.3.2.1 a Tabuľke II.3.2.2 sú uvedené prípustné veľkosti idealizovaných chýb platné pre TNR len v tých prípadoch, keď teplota krehkosti T_k alebo referenčná teplota T_0 materiálov na vnútornom povrchu TNR (hranica medzi austenitickým návarom a základným materiálom, resp. zvarovým kovom spojovacích zvarov TNR) nie je väčšia než $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tabuľka II.3.2.1 Maximálne prípustné veľkosti vnútorných chýb pre valcovú časť TNR

$[2a]$ (mm)	$[2c]$ (mm)
4	14,5
5	9,5
6	8,5
7	8,0
8	8,0

Tabuľka II.3.2.2 Maximálne prípustné veľkosti vnútorných chýb nie pre valcovú časť TNR

$[2a]$ (mm)	$[2c]$ (mm)
8	66
9	33
10	25
11	22
12	20
14	19
16	18
18	18

Tabuľka II.3.2.3 Maximálne prípustné veľkosti laminárnych chýb v TNR

$[s]$ (mm)	$[F]$ (mm ²)
60	4 800
100	7 700
150	11 000
200	15 000
250	19 000
300	23 000
350	27 000
400 a viac	33 000

- 3.2.1 Pre medzihodnoty hrúbok stien s je dovolená lineárna interpolácia veľkostí plôch F .
- 3.2.2 Laminárne chyby v nátrubkoch nádoby sa hodnotia ako vnútorné plošné chyby.
- 3.2.3 Veľkosti laminárnych chýb uvedené v Tabuľke II.3.2.3 sú nezávislé od hodnôt referenčnej / prechodovej teploty.
- 3.3 V Tabuľke II.3.3.1 a Tabuľke II.3.3.2 sú uvedené maximálne prípustné veľkosti idealizovaných chýb platné pre TNR len v tých prípadoch, keď referenčná teplota T_0 a/alebo teplota krehkosti je vyššia než $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$, ale nie vyššia, než $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tabuľka II.3.3.1 Maximálne prípustné veľkosti vnútorných chýb pre valcovú časť TNR

$[2a]$ (mm)	$[2c]$ (mm)
4	12,5
5	8,0
6	7,0
7	7,0

Tabuľka II.3.3.2 Maximálne prípustné veľkosti vnútorných chýb nie pre valcovú časť TNR

$[2a]$ (mm)	$[2c]$ (mm)
8	66
9	33
10	25
11	22
12	20
14	19
16	18
18	18

- 3.4 V prípadoch, keď idealizované chyby sú väčšie než chyby uvedené v tabuľkách čl. 3.2 a 3.3, je nutné vykonať doplnkové výpočty s použitím postupov lomovej mechaniky.

4 Austenitické potrubie

- 4.1 Chyby zistené v priebehu prevádzkových kontrol v austenitickom potrubí sú prípustné, ak veľkosti z nich odvodených idealizovaných chýb sú menšie než hodnoty uvedené v Tabuľke II.4.1.

Tabuľke II.4.1 Prípustné veľkosti vnútorných chýb
pre austenitické potrubia s $R_{p0,2} < 300$ MPa

a/l	s (mm)			
	10	20	50	100
	a/s			
0,00	0,103	0,105	0,107	0,108
0,00 ÷ 0,05	0,103	0,105	0,107	0,108
0,05 ÷ 0,10	0,105	0,106	0,108	0,110
0,10 ÷ 0,15	0,106	0,107	0,110	0,112
0,15 ÷ 0,20	0,107	0,109	0,111	0,113
0,20 ÷ 0,25	0,109	0,111	0,113	0,115
0,25 ÷ 0,30	0,110	0,113	0,115	0,118
0,30 ÷ 0,35	0,113	0,115	0,118	0,120
0,35 ÷ 0,40	0,116	0,117	0,120	0,123
0,40 ÷ 0,45	0,119	0,119	0,123	0,125
0,45 ÷ 0,50	0,123	0,124	0,126	0,128

PRÍLOHA III**SÚČINITEĽ ZNÍŽENIA ÚNAVOVEJ PEVNOSTI MATERIÁLU VPLYVOM PRACOVNÉHO PROSTREDIA A VIACOSOVEJ NAPÄTOSTI****1 Súčiniteľ zníženia únavovej pevnosti vplyvom pracovného prostredia F_{EN}**

Pre komponenty nezaťažované na vonkajšom povrchu prestupom tepla, napr. s tepelnou izoláciou na vonkajšom povrchu (tlakové nádoby, kotlové telesá, vstupné komory, prevádzacie potrubia – namáhané do teploty $T < 340\text{ °C}$), je možné pre stanovenie súčiniteľa zníženia únavovej pevnosti vplyvom pracovného prostredia F_{EN} použiť postupy popísané v sekcii 1.1 a 1.2 pre uhlíkové a nízkolegované ocele a v článku 1.3 pre austenitické ocele a v článku 1.4 pre tam uvedené typy ocelí. Vplyv pracovného média, prúdiaceho vnútri potrubia alebo komponentu, na zníženie únavovej pevnosti ocele je možné pre každý cyklus napätie vyjadriť súčiniteľom:

$$F_{EN} = [N_o]/[N_o]_{EN} \quad (1.1)$$

kde:

$[N_o]$ dovoľený počet cyklov bez vplyvu pracovného prostredia,

$[N_o]_{EN}$ dovoľený počet cyklov s vplyvom pracovného prostredia,

F_{EN} súčiniteľ zníženia únavovej pevnosti vplyvom pracovného prostredia,

$$F_{EN} \geq 1,0.$$

Z dvoch postupov pre nelegované a nízkolegované ocele, uvedených v nasledujúcich čl. 1.2 a 1.3, sa odporúča pre daný prípad vziať vyššiu vypočítanú hodnotu F_{EN} .

1.1 Japonský model TENPES (Higuchi)

1.1.1 Model TENPES (Thermal and Nuclear Power Engineering Society, Japan) zavádza pre nelegované a nízkolegované ocele podľa [16] výpočet súčiniteľa F_{EN} , nezávislého od druhu a vlastností ocele:

$$\ln(F_{EN}) = -(0,199 T^* \cdot O^* + 0,112) S^* \cdot \dot{\epsilon}_t^* \quad (2.1)$$

1.1.2 Parametre vstupujúce do (2.1) nadobúdajú nasledujúce hodnoty:

- vplyv rýchlosti pomernej deformácie sa berie:

$$\begin{aligned}\dot{\epsilon}_t^* &= 0 & \text{pre } \dot{\epsilon}_t > 1,0 \% \text{ s}^{-1} \\ \dot{\epsilon}_t^* &= \ln(\dot{\epsilon}_t) & \text{pre } 1,0 \% \text{ s}^{-1} \geq \dot{\epsilon}_t \geq 0,0004 \% \text{ s}^{-1} \\ \dot{\epsilon}_t^* &= \ln(0,0004) & \text{pre } \dot{\epsilon}_t < 0,0004 \% \text{ s}^{-1}\end{aligned}\quad (2.2)$$

- vplyv teploty prostredia sa berie:

$$\begin{aligned}T^* &= 0,00531 T - 0,7396 & \text{pre } T \geq 180^\circ \text{C} \\ T^* &= 0,216 & \text{pre } T < 180^\circ \text{C}\end{aligned}\quad (2.3)$$

- vplyv kyslíka oceli sa berie:

$$\begin{aligned}O^* &= \ln(w(\text{O})/30) & \text{pre } 30 \mu\text{g kg}^{-1} \leq w(\text{O}) \leq 500 \mu\text{g kg}^{-1} \\ O^* &= 0 & \text{pre } w(\text{O}) < 30 \mu\text{g kg}^{-1} \\ O^* &= \ln(500/30) & \text{pre } w(\text{O}) > 500 \mu\text{g kg}^{-1}\end{aligned}\quad (2.4)$$

- vplyv obsahu síry v oceli sa berie:

$$S^* = 17,23 w(\text{S}) + 0,777 \quad \text{kde } S \text{ sa berie v } \% \text{ hm} \quad (2.5)$$

Vplyv prostredia sa neprejaví pre:

$$F_{\text{EN}} = 1,0 \quad \text{pre } \epsilon_{\text{at}} \leq 0,042 \% \quad (2.6)$$

kde $\epsilon_{\text{at}} = 0,042 \%$ je amplitúda pomernej deformácie pre 10^6 cyklov na konštrukčnej krivke životnosti.

1.2 Model US ANL (Chopra) [17]

- a) pre uhlíkové ocele:

$$\ln(F_{\text{EN}}) = 0,554 - 0,101 S^* \cdot T^* \cdot O^* \cdot \dot{\epsilon}_t^* \quad (2.7)$$

- b) pre nízkoalegované ocele:

$$\ln(F_{\text{EN}}) = 0,898 - 0,101 S^* \cdot T^* \cdot O^* \cdot \dot{\epsilon}_t^* \quad (2.8)$$

Vo vzťahoch (2.7) a (2.8) jednotlivé parametre predstavujú:

- vplyv obsahu síry v oceli:

$$\begin{aligned}S^* &= S & \text{pre } w(\text{O}) \leq 1000 \mu\text{g kg}^{-1} \text{ a } S \leq 0,015 \% \text{ hm} \\ S^* &= 0,015 & \text{pre } w(\text{O}) > 1000 \mu\text{g kg}^{-1} \text{ alebo } S > 0,015 \% \text{ hm}\end{aligned}\quad (2.9)$$

- vplyv teploty prostredia:

$$\begin{aligned}T^* &= 0 & \text{pre } T < 150^\circ \text{C} \\ T^* &= T - 150 & \text{pre } 150^\circ \text{C} \leq T \leq 350^\circ \text{C}\end{aligned}\quad (2.10)$$

- vplyv obsahu kyslíka v oceli:

$$O^* = 0 \quad \text{pre } w(\text{O}) < 40 \mu\text{g kg}^{-1}$$

$$\begin{aligned} O^* &= \ln (w(O) / 40) && \text{pre } 40 \mu\text{g kg}^{-1} \leq w(O) \leq 500 \mu\text{g kg}^{-1} \\ O^* &= \ln (12,5) && \text{pre } w(O) > 500 \mu\text{g kg}^{-1} \end{aligned} \quad (2.11)$$

- vplyv rýchlosti pomernej deformácie:

$$\begin{aligned} \dot{\epsilon}_t^* &= 0 && \text{pre } \dot{\epsilon}_t > 1 \% \text{ s}^{-1} \\ \dot{\epsilon}_t^* &= \ln (\dot{\epsilon}_t) && \text{pre } 0,001 \% \text{ s}^{-1} \leq \dot{\epsilon}_t \leq 1 \% \text{ s}^{-1} \\ \dot{\epsilon}_t^* &= \ln (0,001) && \text{pre } \dot{\epsilon}_t < 0,001 \% \text{ s}^{-1} \end{aligned} \quad (2.12)$$

Vplyv prostredia sa neprejaví pri:

$$F_{EN} = 1,0 \quad \text{pre } \epsilon_{at} \leq 0,07 \% \quad (2.13)$$

1.3 Austenitické ocele

V zhode s dokumentom NUREG [18] je možné k výpočtu redukčného súčiniteľa F_{EN} použiť vzťah:

$$\ln (F_{EN}) = 0,935 - T^* \cdot O^* \cdot \dot{\epsilon}_t^* \quad (3.1)$$

Vo vzťahu (3.1) jednotlivé parametre predstavujú:

- vplyv teploty prostredia:

$$\begin{aligned} T^* &= 0 && \text{pre } T < 200^\circ\text{C} \\ T^* &= 1 && \text{pre } T \geq 200^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (3.2)$$

- vplyv obsahu kyslíka v oceli:

$$\begin{aligned} O^* &= 0,260 && \text{pre } w(O) < 50 \mu\text{g kg}^{-1} \\ O^* &= 0,172 && \text{pre } w(O) \geq 50 \mu\text{g kg}^{-1} \end{aligned} \quad (3.3)$$

- vplyv rýchlosti pomernej deformácie:

$$\begin{aligned} \dot{\epsilon}_t^* &= 0 && \text{pre } \dot{\epsilon}_t > 0,4 \% \text{ s}^{-1} \\ \dot{\epsilon}_t^* &= \ln (\dot{\epsilon}_t / 0,4) && \text{pre } 0,0004 \% \text{ s}^{-1} \leq \dot{\epsilon}_t \leq 0,4 \% \text{ s}^{-1} \\ \dot{\epsilon}_t^* &= \ln (0,0004 / 0,4) && \text{pre } \dot{\epsilon}_t < 0,0004 \% \text{ s}^{-1} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Vplyv prostredia sa neprejaví pre:

$$F_{EN} = 1,0 \quad \text{pre } \epsilon_{at} \leq 0,32 \text{ až } 0,36 \% \quad (3.5)$$

Podľa [18] by táto pomerná deformácia mala byť limitnou hodnotou, pri ktorej by sa oxidická vrstva na povrchu austenitickej oceli už nemala pri zaťažení v ťahu porušiť.

Podľa [18] sa pre teploty $T \geq 200^\circ\text{C}$, rýchlosť pomernej deformácie $\dot{\epsilon}_t \leq 0,0004 \% \text{ s}^{-1}$, $w(O) < 50 \mu\text{g kg}^{-1}$ zo vzťahu (3.1) vypočíta $F_{EN} = 15$. Pre teploty $T \geq 200^\circ\text{C}$, rýchlosť pomernej deformácie $\dot{\epsilon}_t \leq 0,0004 \% \text{ s}^{-1}$, $w(O) \geq 50 \mu\text{g kg}^{-1}$ zo vzťahu (3.1) vypočíta $F_{EN} = 8$. Pre teploty $T < 200^\circ\text{C}$ sa zo vzťahu (3.1) vypočíta $F_{EN} = 2,55$ a to ako pre $w(O) < 50 \mu\text{g kg}^{-1}$, tak aj pre $w(O) \geq 50 \mu\text{g kg}^{-1}$.

1.4 Postup podľa RDEO 0330-01

Pre výpočet dovoleného počtu cyklov $[N_o]_{EN}$ za vplyvu vodného prostredia podľa dokumentu [19] sa do použitej krivky životnosti dosadí veličina e_c , vypočítaná pre mechanické vlastnosti ocelí zmerané pri 20 °C a neuvažuje sa vplyv asymetrie cyklu napätia, berie sa $r_\sigma = -1$. Súčiniteľ F_{EN} je použitý len v prvom člene na pravej strane rovníc životnosti, teda u plastickej deformácie ε_{ap} . Súčiniteľ F_{EN} vypočítaný zo vzťahov tohto čl. 1.4 je možné dosadiť do všetkých rovníc životnosti, ak bude oproti postupom uvedených v čl. 1.1, 1.2 a 1.3 získaná nižšia hodnota $[N_o]_{EN}$.

1.4.1. Pre uhlíkové ocele sa súčiniteľ F_{EN} vypočíta zo vzťahu (4.1); pre legované a legované chróm-molybdén-vanádové ocele sa súčiniteľ F_{EN} vypočíta zo vzťahu (4.2):

$$F_{EN} = \exp(0,912 - 0,101 S^* \cdot T^* \cdot O^* \cdot \dot{\varepsilon}_t^*) \quad (4.1)$$

$$F_{EN} = \exp(1,031 - 0,101 S^* \cdot T^* \cdot O^* \cdot \dot{\varepsilon}_t^*) \quad (4.2)$$

Vo vzťahoch (4.1) a (4.2) jednotlivé parametre predstavujú:

- vplyv obsahu síry v oceli:

$$\begin{aligned} S^* &= 0,015 && \text{pre } w(O) > 1000 \mu\text{g kg}^{-1} \\ S^* &= S && \text{pre } w(O) \leq 1000 \mu\text{g kg}^{-1} \text{ a } S \leq 0,015 \% \text{ hm} \\ S^* &= 0,015 && \text{pre } w(O) > 1000 \mu\text{g kg}^{-1} \text{ alebo } S > 0,015 \% \text{ hm} \end{aligned} \quad (4.3)$$

- vplyv teploty prostredia:

$$\begin{aligned} T^* &= 0 && \text{pre } T \leq 150^\circ\text{C} \\ T^* &= T - 150 && \text{pre } 150^\circ\text{C} < T \leq 350^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (4.4)$$

- vplyv obsahu kyslíka v oceli:

$$\begin{aligned} O^* &= 0 && \text{pre } w(O) \leq 50 \mu\text{g kg}^{-1} \\ O^* &= \ln(w(O) / 40) && \text{pre } 50 \mu\text{g kg}^{-1} < w(O) \leq 500 \mu\text{g kg}^{-1} \\ O^* &= \ln(12,5) && \text{pre } w(O) > 500 \mu\text{g kg}^{-1} \end{aligned} \quad (4.5)$$

- vplyv rýchlosti pomernej deformácie:

$$\begin{aligned} \dot{\varepsilon}_t^* &= 0 && \text{pre } \dot{\varepsilon}_t \geq 1 \% \text{ s}^{-1} \\ \dot{\varepsilon}_t^* &= \ln(\dot{\varepsilon}_t) && \text{pre } 0,001 \% \text{ s}^{-1} < \dot{\varepsilon}_t < 1 \% \text{ s}^{-1} \\ \dot{\varepsilon}_t^* &= \ln(0,001) && \text{pre } \dot{\varepsilon}_t \leq 0,001 \% \text{ s}^{-1} \end{aligned} \quad (4.6)$$

1.4.2. Pre chróm-niklové austenitické ocele sa súčiniteľ F_{EN} vypočíta zo vzťahu (4.7):

$$F_{EN} = \exp(0,935 - T^* \cdot O^* \cdot \dot{\varepsilon}_t^*) \quad (4.7)$$

Vo vzťahu (4.7) jednotlivé parametre predstavujú:

- vplyv teploty prostredia:

$$T^* = 0 \quad \text{pre } T \leq 180^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} T^* &= (T-180) / 40 && \text{pre } 180 < T \leq 220^\circ\text{C} \\ T^* &= 1 && \text{pre } 220 < T \leq 350^\circ\text{C} \end{aligned} \quad (4.8)$$

- vplyv obsahu kyslíka v oceli:

$$\begin{aligned} O^* &= 0 && \text{pre } w(\text{O}) \geq 50 \mu\text{g kg}^{-1} \\ O^* &= 0,260 && \text{pre } w(\text{O}) < 50 \mu\text{g kg}^{-1} \end{aligned} \quad (4.9)$$

- vplyv rýchlosti pomernej deformácie:

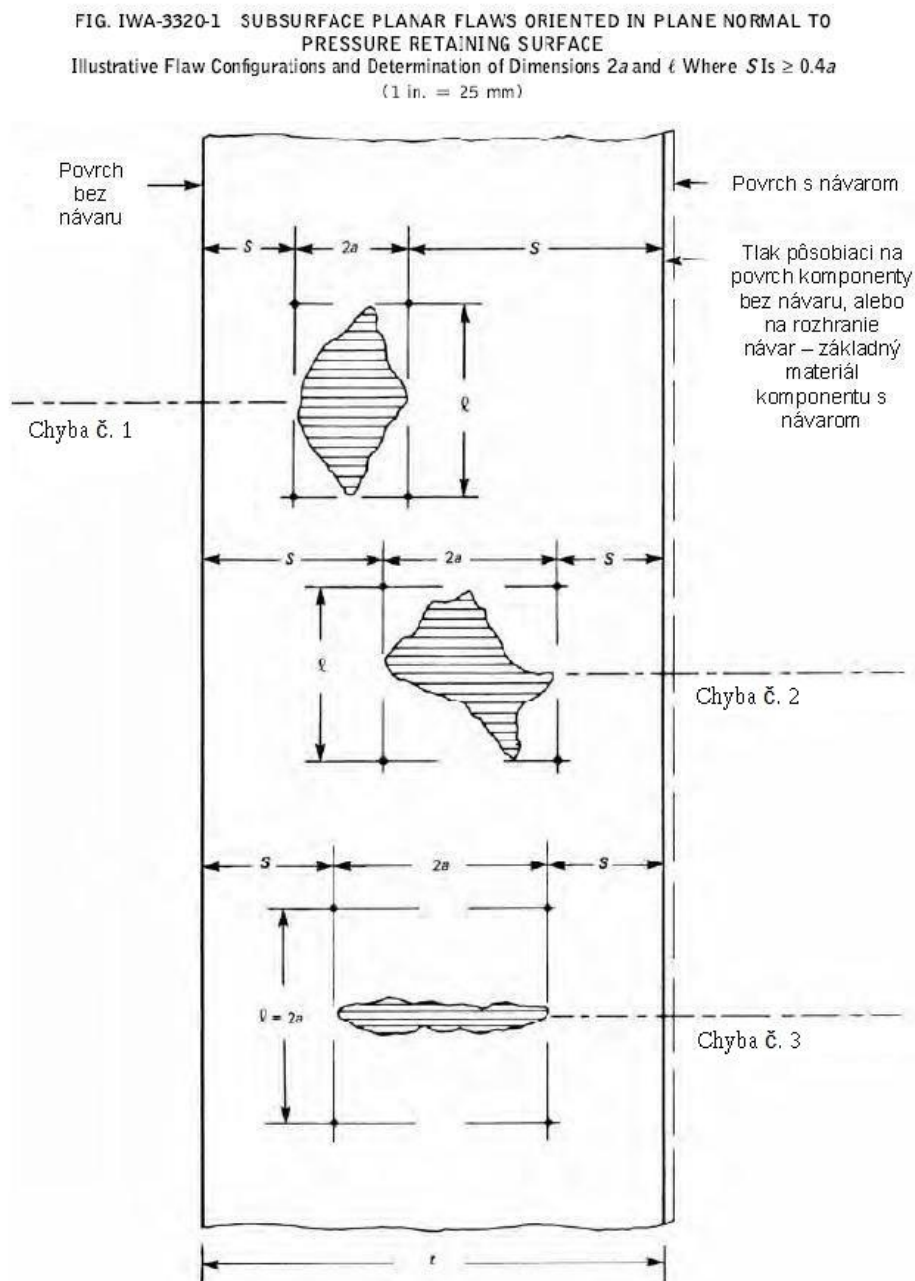
$$\begin{aligned} \dot{\epsilon}_t^* &= 0 && \text{pre } \dot{\epsilon}_t \geq 0,4 \% \text{ s}^{-1} \\ \dot{\epsilon}_t^* &= \ln(\dot{\epsilon}_t / 0,4) && \text{pre } 0,0004 \% \text{ s}^{-1} < \dot{\epsilon}_t < 0,4 \% \text{ s}^{-1} \\ \dot{\epsilon}_t^* &= \ln(0,001) && \text{pre } \dot{\epsilon}_t \leq 0,0004 \% \text{ s}^{-1} \end{aligned} \quad (4.10)$$

2 Súčiniteľ zníženia únavovej pevnosti materiálu vplyvom viacosovej napätosti

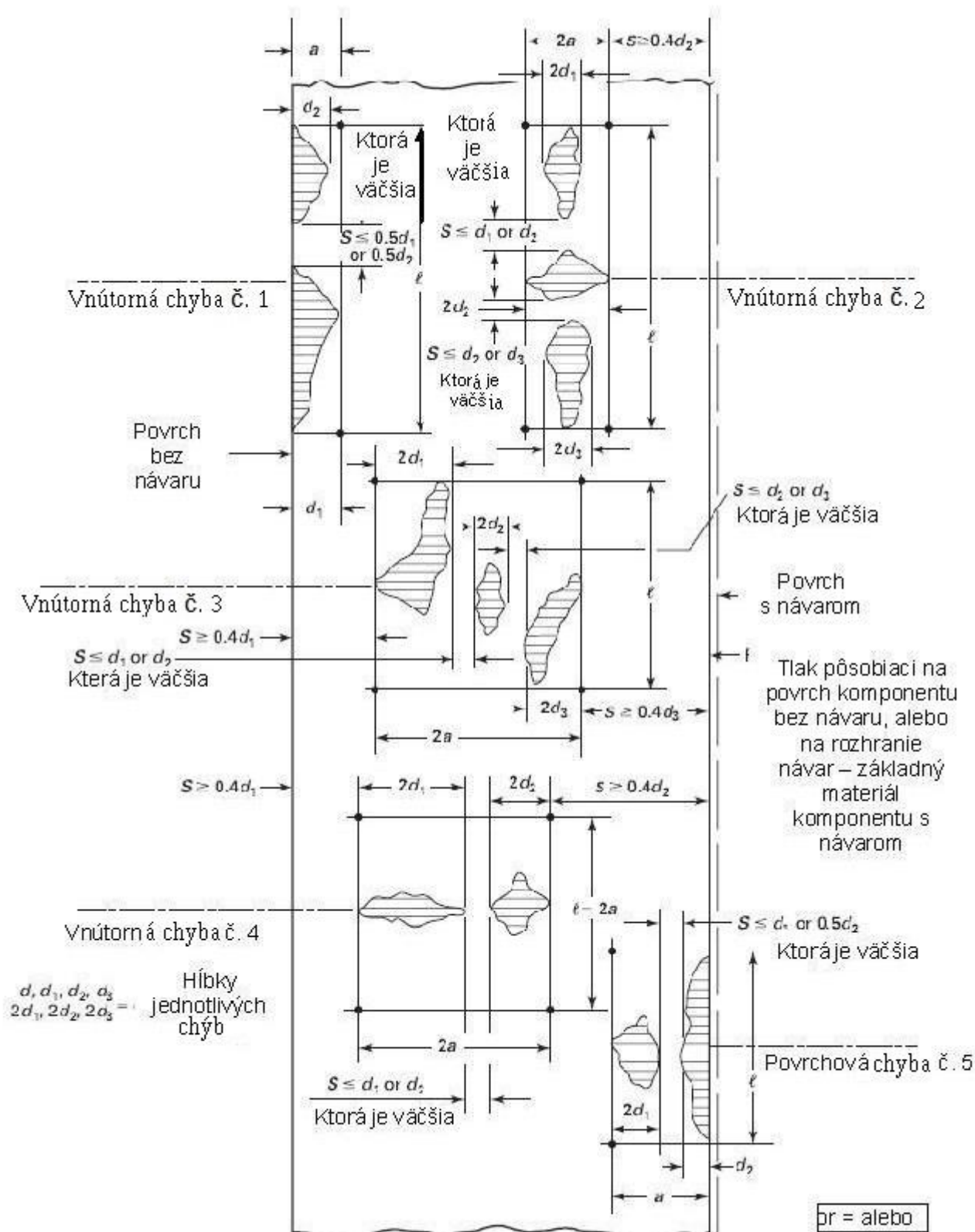
Pre nedostatok podkladov na presnejšie stanovenie veľkosti súčiniteľa F_M je možné použiť hodnotu $F_M = 10$. Pri jej veľkej konzervatívnosti sa odporúča stanoviť pre daný prípad jej hodnotu presnejšie experimentálne skúškou na únavu pri viacosovej napätosti.

STANOVENIE IDEALIZOVANEJ CHYBY

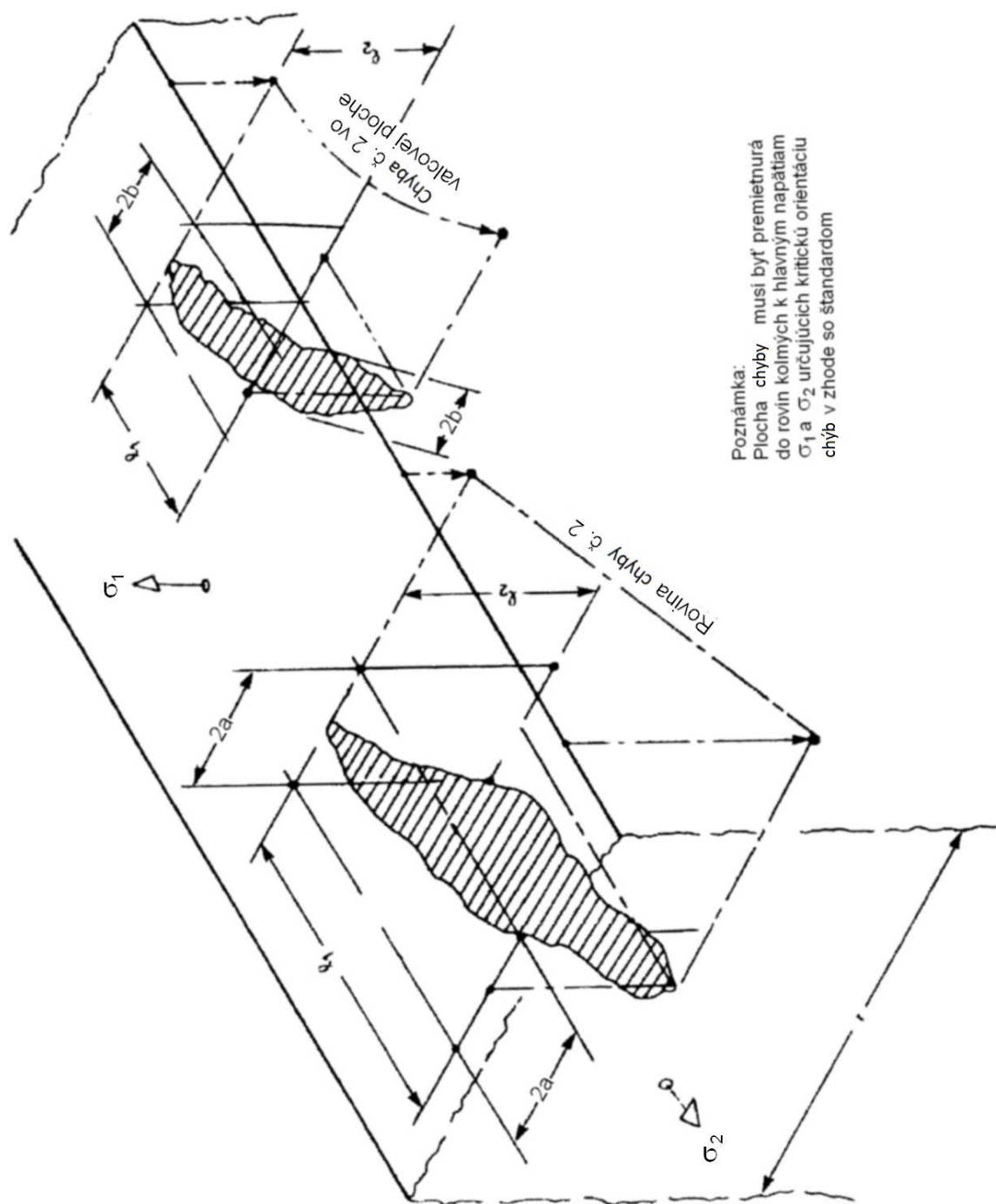
Postup na stanovenie idealizovanej (výpočtovej) chyby z izolovaných, vzájomne sa ovplyvňujúcich chýb je ukázaný na Obrázku IV.1 až IV.8 tejto prílohy a je v zhode s prístupom štandardu [6].



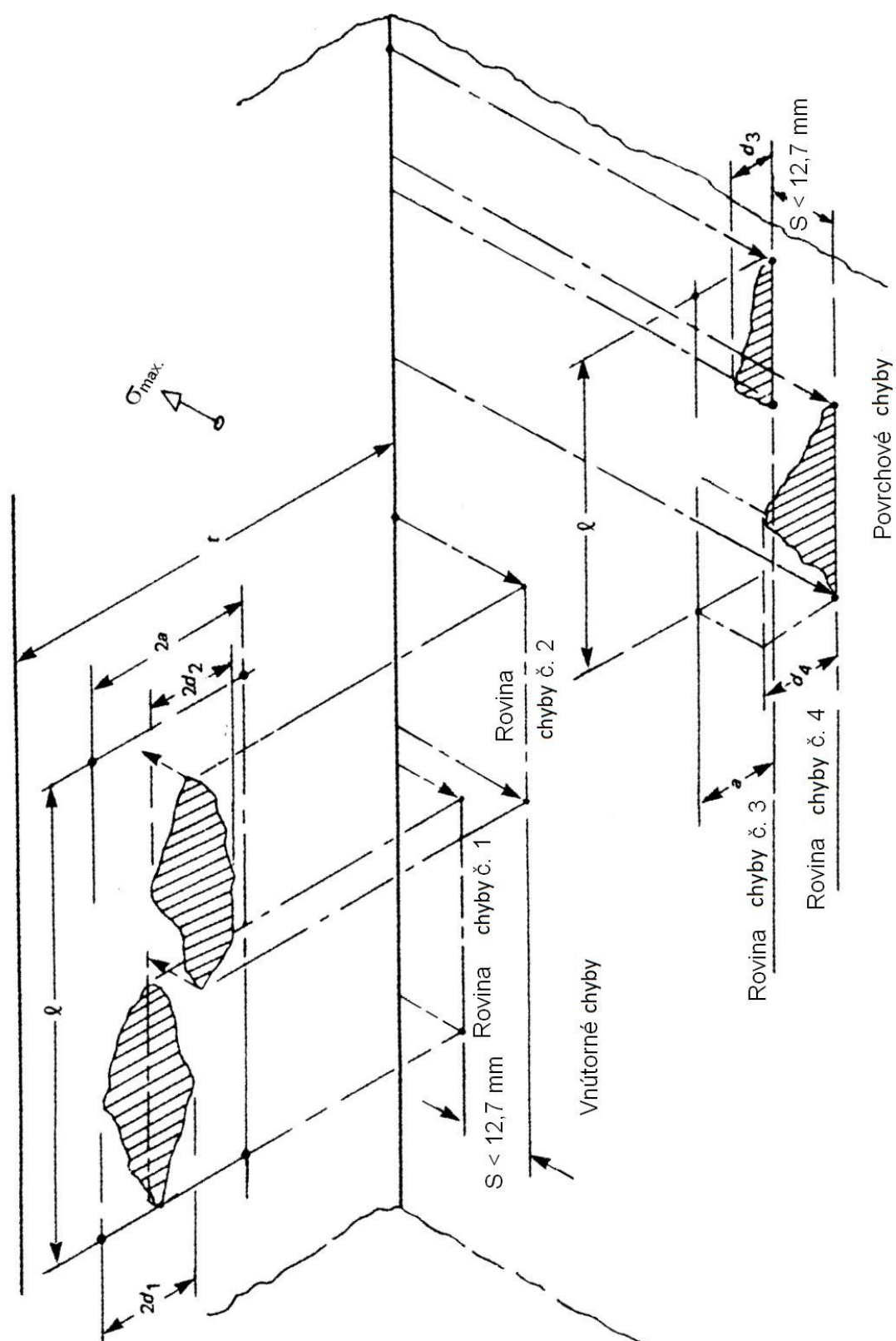
Obrázok IV.1 Vnútorne plošné chyby ležiace v rovine kolmej k povrchu zaťaženom tlakom



Obrázok IV.2 Zhluky rovinných chýb ležiacich v rovine kolmej k povrchu zaťaženom tlakom

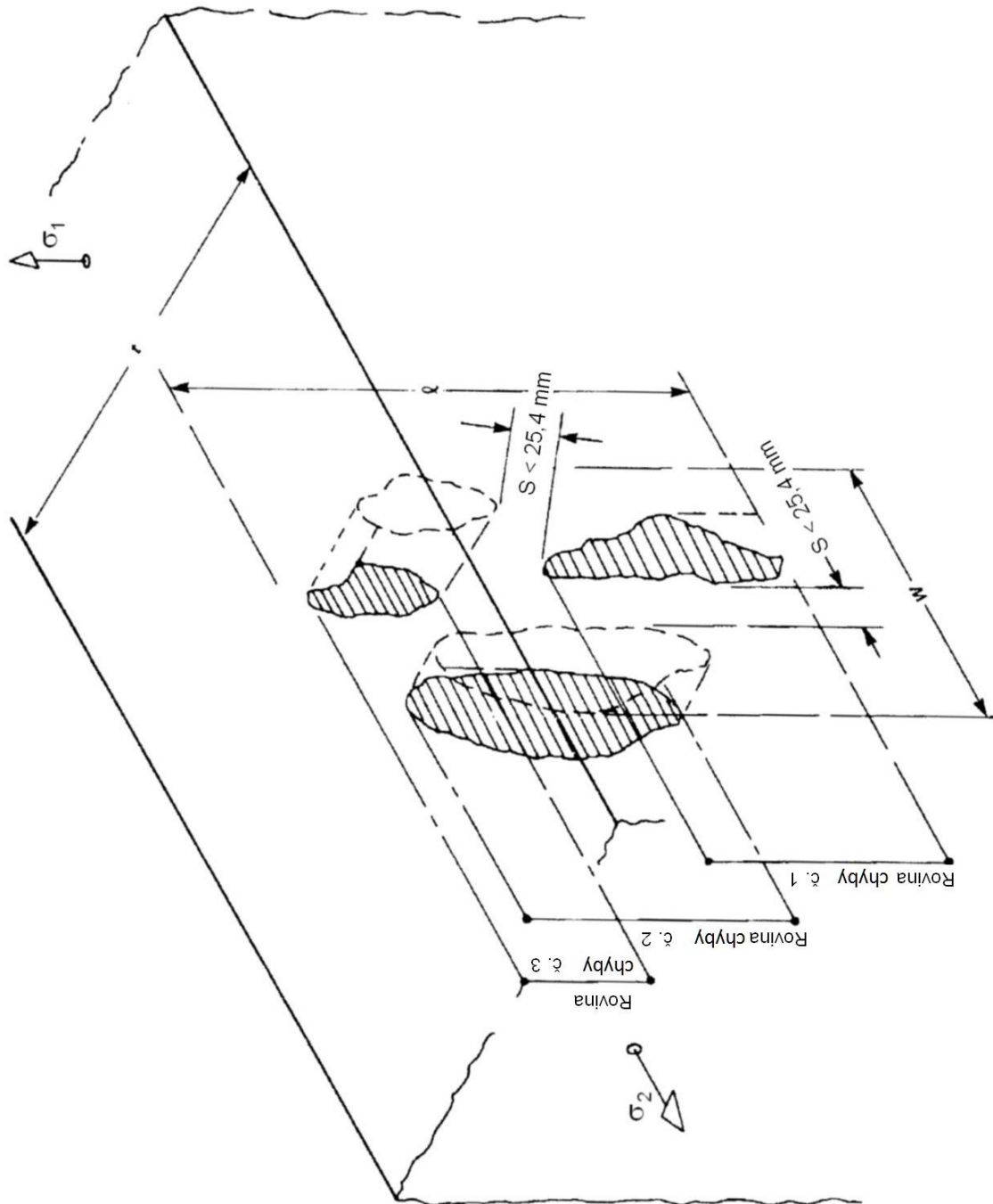


Obrázok IV.3 Nerovinné eliptické vnútorné chyby



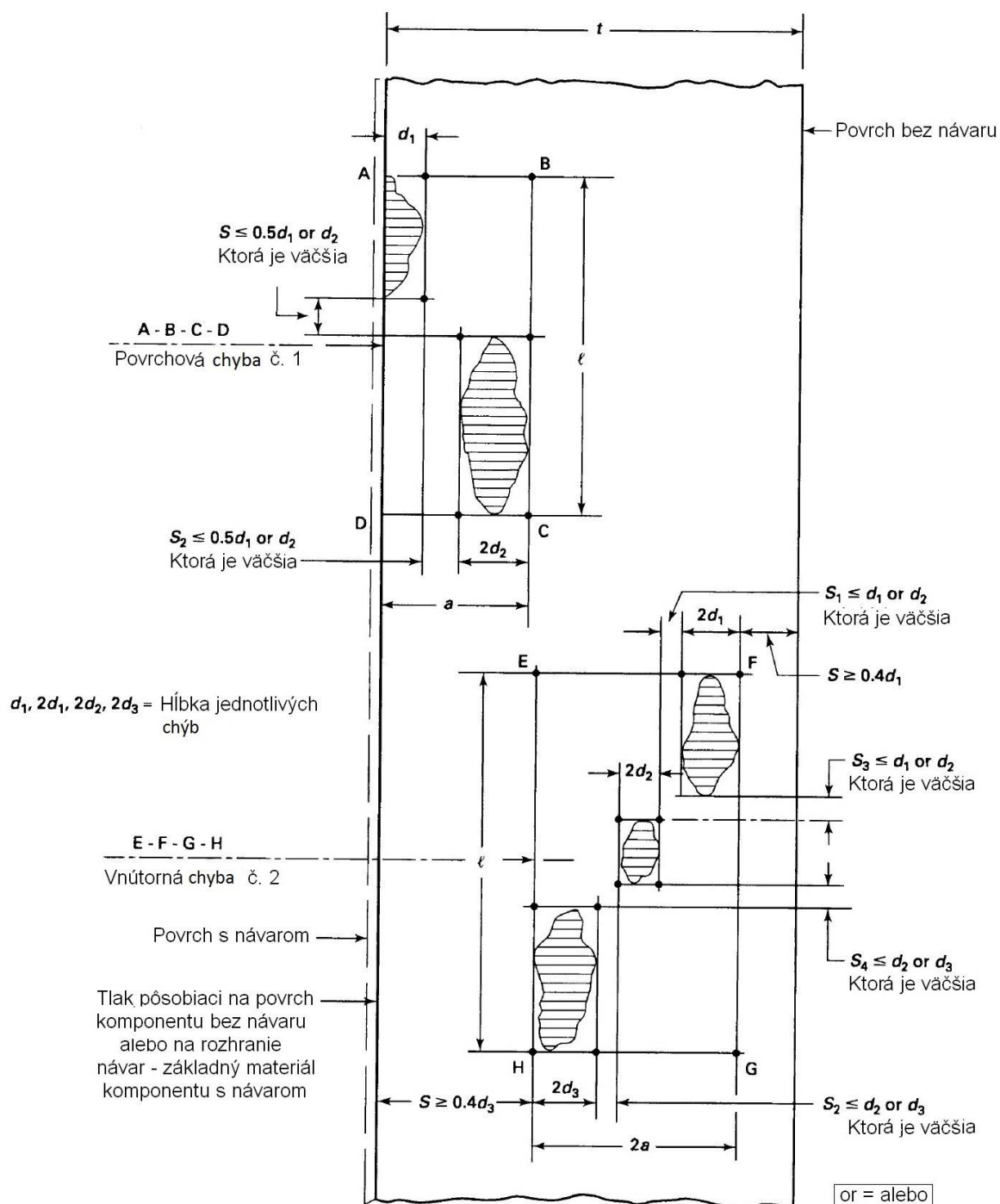
Obrázok IV.4 Rovinné chyby ležiace v rovnobežných rovinách

Ak je vzdialenosť rovin menšia, ako $S < 12,7 \text{ mm}$, musia byť chyby z týchto rovin premietnuté do jednej roviny



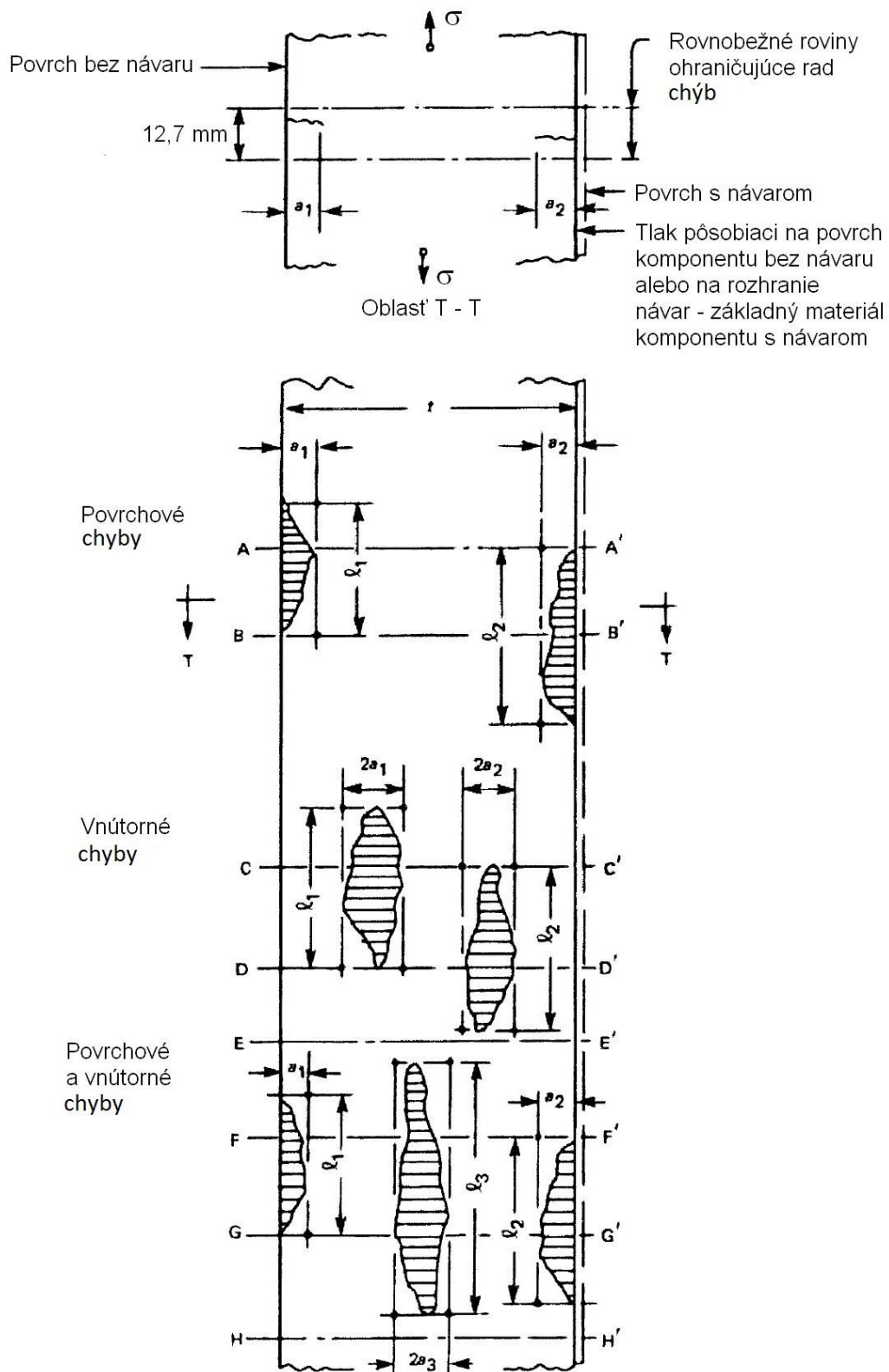
Obrázok IV.5 Laminárne chyby

Ak je vzdialenosť medzi laminárnymi chybami, premietnutými do jednej roviny menšia ako $S < 12,7 \text{ mm}$, musia byť hodnotené ako jedna eliptická výpočtová chyba vpísaná do obdĺžnika s rozmermi strán l a w .



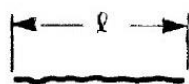
Obrázok IV.6 Zhluk vzájomne sa ovplyvňujúcich rovinných chýb v jednej rovine

Pri platnosti podmienok uvedených na tomto obrázku, sa okolo nich opisuje obdĺžnik s jednou stranou rovnobežnou s povrchom. Do obdĺžnika sa vписuje povrchová poleptická chyba (pre $S < d$) alebo vnútorná eliptická chyba (pre $S \geq d$).

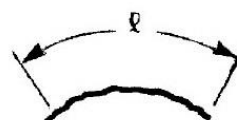


Obrázok IV.7 Posudzovanie radu chýb

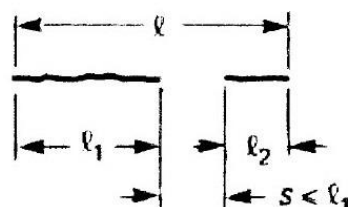
Rad chýb ležiacich medzi dvoma rovnobežnými rovinami vzdialenými od seba menej ako 12,7 mm, musí byť premietnutý do jednej roviny.



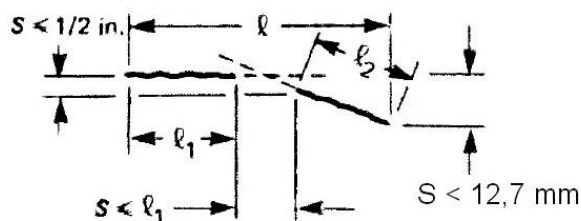
(a) Samostatná lineárna chyba



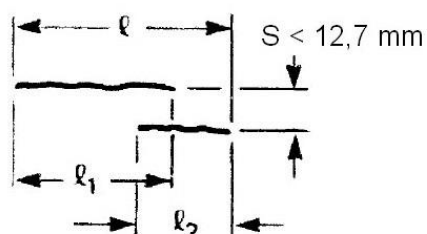
(b) Samostatná zakrivená chyba



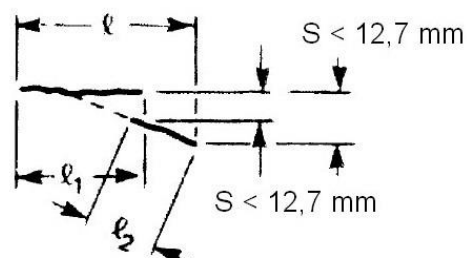
(c) Rad lineárnych chýb
 $l_1 \geq l_2$



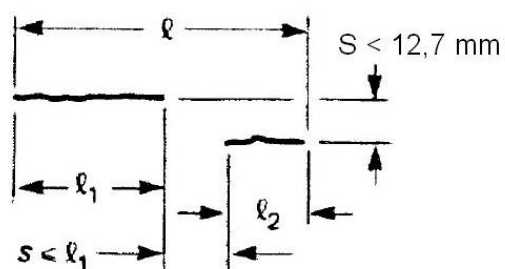
(d) Neprekrývajúce sa chyby ležiace v nerovnoběžných rovinách
 $l_1 \geq l_2$



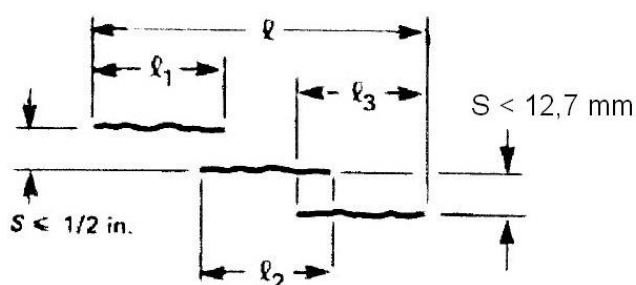
(e) Prekrývajúce sa chyby ležiace v rovnoběžných rovinách



(f) Prekrývajúce sa chyby ležiace v nerovnoběžných rovinách



(g) Neprekrývajúce sa chyby ležiace v nerovnoběžných rovinách
 $l_1 \geq l_2$



(h) Chyby ležiace v rovnoběžných rovinách

Obrázok IV.8 Určenie dĺžky l vzájomne sa ovplyvňujúcich lineárnych povrchových chýb