METODIKA PRO ZPRACOVÁNÍ PRŮKAZNÉ DOKUMENTACE SYSTÉMŮ, KONSTRUKCÍ A KOMPONENT

	Funkce	Jméno	Podpis	Datum
Vypracoval:	Řešitel úkolu	**Ing. Lubomír JUNEK, Ph.D.**		2. 6. 2021
Kontroloval:	Specialista	**Ing. Aleš LIČKA**		2. 6. 2021
Schválil:	Jednatel společnosti	**Ing. Libor VLČEK, Ph.D.**		2. 6. 2021

Smlouva o dílo : **17E5000**
Evidenční číslo : **5447/14**
Skartační znak : **A**

Počet stran: **50**
Revize: **2**
Výtisk:

Brno, únor 2019

List revizí

ZMĚNA č.	Popis změny (strana, důvod, obsah)	Provedl, podpis, datum	Schválil, podpis, datum
❶	V revizi 1 jsou zohledněny požadavky nových vyhlášek SÚJB, nových verzí normativní dokumentace a nových metodik ČEZ, a.s.	Ing. Lubomír Junek, Ph.D. 28.2.2019	Ing. Lubomír Junek, Ph.D. 28.2.2019
❷	V revizi 2 je zpřesněn rozsah zpracování průkazné dokumentace v kap. 2 a dále byla v souladu s kapitolou 2.2 dána kapitola 5.2	Ing. Lubomír Junek, Ph.D. 2. 6. 2021	Ing. Lubomír Junek, Ph.D. 2. 6. 2021
❸			
❹			
❺			
❻			
❼			

Anotace

Zpráva uvádí souhrn základních požadavků na zpracování průkazné dokumentace vybraných zařízení (VZ) pro jaderné elektrárny. Uvádí požadavky na rozsah a obsah průkazné dokumentace. Jsou uvedeny hlavní zásady zpracování průkazné dokumentace a metodické postupy zpracování.

Klíčová slova :

JE, VVER, průkazná dokumentace, seismická odolnost, životnost

Textový editor : Microsoft Word 2008
Formát obrazové dokumentace : jpg, png, mpg
Archivní soubor : ZP5447.DOCx

© ÚAM Brno, s.r.o.

Použité zkratky

A.S.I.	Asociace strojních inženýrů
APP	Abnormální provozní podmínky
BT	Bezpečnostní třída
ETE	Jaderná elektrárna Temelín
EDU	Jaderná elektrárna Dukovany
HP	Havarijní podmínky
JE	Jaderná elektrárna
MVZ	Maximální výpočtové zemětřesení
NTD	Normativně technická dokumentace
NPP	Normální provozní podmínky
PZ	Projektové zemětřesení
S&A	Stevenson & Associate
SÚJB	Statní úřad jaderné bezpečnosti
SSSR	Svaz sovětských socialistických republik
SKK	Systémy, konstrukce a komponenty
VZ	Vybraná zařízení
ZP	Zkušební podmínky
ZS	Zátěžné stavy
ZB	Zátěžné bloky

OBSAH

POUŽITÉ ZKRATKY 5

1. ÚVOD 8

2. HLAVNÍ ZÁSADY PRŮKAZNÉ DOKUMENTACE SKK 8

2.1. Co je to průkazná dokumentace 8
2.2. K čemu slouží průkazná dokumentace a její rozsah 9
2.3. Rozsah průkazné dokumentace z pohledu BT a třídy seismické odolnosti 10
2.3.1. Průkazná dokumentace podle bezpečnostních tříd 10
2.3.2. Průkazná dokumentace podle seismické kategorie 10
2.4. Návrhová specifikace 11
2.5. Návrh základních rozměrů 12
2.6. Podrobný kontrolní výpočet 13
2.7. Výpočtové programy pro zhotovení průkazné dokumentace 14

3. NORMATIVNÍ DOKUMENTACE PRO PRŮKAZNOU DOKUMENTACI 15

3.1. Normativní dokumentace pro průkaznou dokumentaci SKK 15
3.2. Zásady použití zahraniční normativní dokumentace 16

4. PODPŮRNÉ METODIKY A NÁVODY PRO PRŮKAZNOU DOKUMENTACI 17

4.1. Podlažní spektra pro seismické analýzy 17
4.1.1. Seismická podlažní spektra pro JE Temelín 17
4.2. Seismická podlažní spektra pro JE Dukovany 17
4.3. Metodika seismického hodnocení ETE a EDU 17
4.4. Nevýpočtové posouzení 17
4.4.1. Statické hodnocení potrubí malého průměru 17
4.4.2. Seismické hodnocení potrubí malého průměru 17

5. KONTROLNÍ VÝPOČET PRO ZAŘÍZENÍ BT1, BT2 18

5.1. Analýza mechanických a deformačních zatížení 21
5.1.1. Výpočet teplotních polí 21
5.1.2. Výpočet napětí a deformací 21
5.2. Hodnocení mezních stavů 24

6. KONTROLNÍ VÝPOČET PRO ZAŘÍZENÍ BT3 26

7. POŽADAVKY NA OBSAH PRŮKAZNÉ DOKUMENTACE 27

7.1. Obecná struktura průkazné dokumentace SKK 27
7.2. Titulní listy 28
7.3. Seznam podkladů, literatura 28
7.4. Přílohy průkazné dokumentace 28
7.5. Průkazná dokumentace pro tlaková zařízení 29

7.5.1. Úvodní informace a údaje o návaznosti 29
7.5.2. Popis vstupních údajů pro zpracování průkazné dokumentace 29
7.5.3. Metodika výpočtu, stručný popis postupu výpočtu 31
7.5.4. Výpočet teplotních polí, deformací a napětí 31
7.5.5. Hodnocení vypočtených výsledků, hodnocení životnosti 32
7.5.6. Závěry průkazné dokumentace a návrhy na nápravná opatření 33
7.6. Potrubní systémy 33
7.6.1. Struktura průkazné dokumentace potrubních systémů 33
7.6.2. Úvodní list výpočtového potrubního systému 34
7.6.3. Zadávací specifikační list potrubního systému 35
7.6.4. Popis výpočtového modelu potrubních systémů 35
7.6.5. Přehled vypočtených výsledků a jejich hodnocení 36
7.6.6. Specifikace kritických řezů potrubních systémů 37
7.6.7. Závěr 37
7.7. Průkazná dokumentace pro ocelové konstrukce 37
7.7.1. Úvodní údaje 38
7.7.2. Schéma konstrukce 38
7.7.3. Základní normy použité k vypracování průkazné dokumentace 38
7.7.4. Použité výpočtové programy 38
7.7.5. Konstrukční a projekční podklady 38
7.7.6. Použité materiály 38
7.7.7. Zatížení konstrukce 39
7.7.8. Postup výpočtu a posouzení konstrukce 39
7.7.9. Popis případného nápravného opatření 40
7.8. Hlavní nedostatky průkazné dokumentace 40

8. SPECIFICKÉ POŽADAVKY NA PRŮKAZNOU DOKUMENTACI 41

8.1. Šroubové spoje 41
8.2. Ocelové konstrukce 43
8.3. Armatury 44
8.4. Potrubní systémy 45
8.5. Kotvení do stavby 45
8.6. Skutečné provozní zatížení 46

9. REVIZE PRŮKAZNÉ DOKUMENTACE 46

10. NEZÁVISLÁ KONTROLA PRŮKAZNÉ DOKUMENTACE 47

11. ZÁVĚR 47

12. LITERATURA 48

1. Úvod

První „Požadavky na výpočty pevnosti a životnosti vybraných zařízení ETE“ byly vydány ÚAM Brno v roce 1992 a revidovány v roce 1994 [1]. Zároveň s požadavky na výpočty pevnosti a životnosti byly firmou S&A vypracovány „Požadavky na seismické výpočty“ [2]. Podle výše uvedených požadavků a metodik byla během výstavby ETE zpracovávána průkazná dokumentace, pro kterou se vžil název průkaz pevnosti, životnosti a seismické odolnosti vybraných zařízení (VZ). Během zpracovávání dokumentace vybraných zařízení ETE byly postupně firmou S&A vypracovány další doplňující metodiky, především požadavky na posouzení stavebních konstrukcí [2], metodika posouzení kotvení zařízení [4] a metodika seismického hodnocení potrubí malého průměru [3,5], které se využily při zpracovávání průkazné dokumentace VZ .

Po dokončení obou bloků JE Temelín byla v roce 2004 pro obě lokality JE vydána nová dokumentace „Aktualizované požadavky na zpracování výpočtové dokumentace pevnosti a životnosti zařízení jaderných elektráren ČEZ“ [6], která zohledňovala tehdy nově vydané legislativní požadavky [7,8,9] na vybraná zařízení JE, zohlednila a doporučila inovované výše uvedené metodiky a dala návod na zpracování průkazné dokumentace pro nově dodávaná a inovovaná vybraná zařízení jaderných elektráren.

Předkládaná inovovaná metodika zpracování průkazné dokumentace systémů, konstrukcí a komponent (SKK) vychází z výše uvedených dokumentů, navazuje na ně a zároveň zohledňuje nově vydané legislativní požadavky SÚJB, které jsou k datu vydání této zprávy v ČR závazné [7,8,9,10]. Metodika si nedává za cíl sdělit jak provádět jednotlivé výpočty pro průkaznou dokumentaci, ale stanovuje rozsah údajů, informací a výpočtů, které by v průkazné dokumentaci SKK měly být obsaženy.

Tato metodika nahrazuje předchozí metodiky z roku 2004 (archivní číslo 3672/04, revize 2) a z roku 2014 (archivní číslo 5447/14, revize 0).

2. Hlavní zásady průkazné dokumentace SKK

2.1. Co je to průkazná dokumentace

Průkazná dokumentace SKK je základní dokument dokladující bezpečný provoz vybraných zařízení zařazených do bezpečnostních tříd po dobu předpokládané projektové životnosti jaderného bloku. Dokumentace je zpracována na základě skutečného provedení SKK, projektových předpokladů o provozu jaderných elektráren, zahrnující projektem předpokládaný normální (NPP), abnormální (APP) a havarijní provoz (HP) a počty opakování předpokládaných provozních stavů bloku. Průkazná dokumentace vybraných zařízení by měla být archivována po celou dobu provozu jaderné elektrárny, neboť je často využívána během provozu bloků JE při řešení provozních problémů VZ.

Dokumentace nezahrnuje jakékoliv odchylky od projektových provozních parametrů, které se během provozu mohou vyskytnout. Tyto odchylky se musí do průkazné dokumentace během provozu JE pravidelně zahrnovat, pokud dokumentace má být stále aktuální nebo tyto odchylky musí být posuzovány v rámci aktivit řízeného stárnutí vybraných SKK, kde se vybraná zařízení hodnotí na základě skutečných provozních parametrů. Pod pojmem odchylky od projektových provozních parametrů jsou myšleny neprojektové stavy VZ, jako jsou teplotní šoky, teplotní stratifikace a vrstvení, míchání studených a teplých médií, nepředpokládané

teplotní gradienty a jejich změna, tlakové rázy, korozní úbytky stěn zařízení, provozní vibrace, nové provozní stavy bloku, modifikace provozních režimů bloku apod. Průkazná dokumentace nicméně po celou dobu životnosti elektrárny slouží jako základní pramen informací o daném vybraném zařízení, jeho namáhání během provozu, pro jeho modifikace, opravy, prodlužování životnosti apod.

2.2. K čemu slouží průkazná dokumentace a její rozsah

Průkazná dokumentace musí dokladovat bezpečný provoz pro všechny možné mezní stavy zařízení, které se mohou vyskytnout během projektem předpokládaných provozních stavů (NPP, APP, HP). V průkazné dokumentaci by měly být posouzeny všechny, během provozu přepokládané, možné mezní stavy vybraných zařízení (VZ). Bezpečnost vzhledem k těmto mezním stavům musí být doložena splněním normou předepsaných limit a kritérií. Nejčastěji průkazná dokumentace pevnosti, životnosti a seismické odolnosti dokladuje:

- pevnost VZ při statickém (monotónním) zatížení,
- pevnost VZ při cyklickém (proměnném) zatížení a
- odolnost VZ proti seismickým účinkům.

Ve zvláštních případech a pro specifická VZ může být průkazná dokumentace rozšířena na dokladování:

- odolnosti proti náhlému (nestabilnímu) porušení,
- pevnosti při provozních vibracích,
- odolnosti proti ztrátě stability,
- odolnosti proti pádu letadla,
- odolnosti proti letícím předmětům a švihům potrubí apod.

Rozsah průkazné dokumentace je dán Návrhovou specifikací, ve které jsou uvedeny veškeré požadavky na hodnocení mezních stavů VZ (viz kapitola 2.4). Rozsah průkazné dokumentace je proto předmětem vstupní (úvodní) konzultace, kde v případě potřeby zpracovatel navrhne rozšíření rozsahu Návrhové specifikace, Tuto povinnost má zpracovatel i v průběhu prací, jestli zjistí závažná rizika, která průkazná dokumentace neřeší. Zadavatel má povinnost k návrhu zpracovatele zaujmout jednoznačné stanovisko.

V průkazné dokumentaci VZ by měly být hodnoceny všechny výše uvedené mezní stavy. Posouzení by mělo být provedeno i pro ty mezní stavy, které nejsou relevantní pro dané zařízení. Důvodem tohoto požadavku je jistota pro provozovatele jaderných elektráren, že během zpracovávání projektu VZ byly zváženy všechny možné mezní stavy, které mohou u VZ nastat. Některé z nich však mohou být vyloučeny z projektu na základě inženýrské úvahy. Za posouzení se dá považovat i výrok, že dané VZ nepodléhá cyklickému zatížení a tedy nemůže dojít k únavovému poškození. Tento požadavek plyne z technických standardů, které předepisují posouzení každého z mezních stavů, i když jeho výskyt je nepravděpodobný [11].

Jeden z důvodů největších ekonomických ztrát jaderných zařízení je ztráta těsnosti (hermetičnosti) šroubových spojů. Z tohoto důvodu je třeba průkaznou dokumentaci u VZ, kde je těsnící spoj, rozšířit o průkaz těsnosti na základě zařazení spoje do třídy těsnosti.

Nejčastěji jsou v průkazné dokumentaci VZ posuzovány mezní stavy statické pevnosti, odolnosti VZ proti cyklickému zatížení a odolnosti VZ proti seismickým účinkům. Proto se zažil pojem průkaz pevnosti, životnosti a seismické odolnosti, přičemž pojem životnost byl zúžen na posouzení únavového procesu, který je nejvíce detailně matematicky propracován. Mezní stavy související s korozí musí být v etapě projektování vyloučeny vhodnou volbou materiálů VZ určených pro dané provozní prostředí.

Nicméně průkazná dokumentace vybraných SKK by měla dokladovat hodnocení všech předpokládaných degradačních mechanismů.

2.3. Rozsah průkazné dokumentace z pohledu BT a třídy seismické odolnosti

2.3.1. Průkazná dokumentace podle bezpečnostních tříd

VZ jsou rozdělena do bezpečnostních tříd (BT) podle svého významu pro bezpečnost provozu jaderných elektráren, podle bezpečnostní funkce systému, jehož jsou součástí, a podle závažnosti jejich případné poruchy. Kritéria pro zařazení a rozdělení vybraných zařízení do bezpečnostních tříd u jaderných zařízení jsou uvedena v příloze k Vyhlášce SÚJB č. 329/2017 Sb. BT1 zahrnuje VZ, které jsou nezbytné k tomu, aby zabránily úniku radioaktivních částic z aktivní zóny do životního prostředí. BT2 zahrnuje ty VZ, které jsou nezbytné k tomu, aby zmírnily důsledky nehody, které by jinak vedly k úniku radioaktivních částic z aktivní zóny do životního prostředí a pro zabránění tomu, aby předpokládané provozní události vedly k havarijním stavům. BT3 zahrnuje VZ nezbytné pro to, aby se zabránilo tomu, aby ozáření veřejnosti nebo personálu elektrárny ze zdrojů mimo systém chladiva reaktoru překročilo příslušné povolené limity. Úrovni bezpečnostních tříd odpovídají i požadavky na zpracování průkazné dokumentace.

Průkazná dokumentace se obvykle vypracovává ve dvou etapách. Nejprve se provede návrh základních rozměrů VZ a pak následuje podrobný kontrolní výpočet. U VZ zařazených do BT1 a BT2 musí být zpracován podrobný kontrolní výpočet i s návrhem základních rozměrů. U zařízení zařazených do BT 3 se podrobný kontrolní výpočet zpracovávat nemusí. U VZ zařazených do BT3 se pouze provede zjednodušené posouzení životnosti na základě znalosti předpokládaných projektových provozních podmínek. Životností se míní relevantní mezní stavy (degradační mechanismy) zařízení. Zjednodušené posouzení životnosti se provede na mezní stavy a degradační mechanismy, které se v provozu mohou vyskytnout.

2.3.2. Průkazná dokumentace podle seismické kategorie

Podle českých standardů se rozlišují dvě základní kategorie seismické odolnosti technologických systémů a zařízení (aparátů a potrubí) a sice seismické kategorie I a II, které musí být definovány pro veškeré JE. Do seismické kategorie I patří ty systémy a zařízení, které jsou nutné pro plnění hlavních bezpečnostních funkcí bloku JE při zemětřesení až do úrovně MVZ. Jedná se o systémy a zařízení zajišťující základní všeobecná bezpečnostní kritéria jaderných elektráren. Do seismické kategorie II pak mohou být zařazeny systémy a zařízení, které nepatří do seismické kategorie I, ale souvisejí s bezpečným provozem JE. Seismická kategorie II nebyla v českých podmínkách zavedena, ale přesněji se specifikovala kategorie I, která se rozčlenila na následující podkapitoly:

podkategorie 1a:	vyžaduje se seismická odolnost na úrovni MVZ ve smyslu plné funkční způsobilosti, včetně mechanické pevnosti a hermetičnosti (těsnosti),
podkategorie 1b:	vyžaduje se seismická odolnost na úrovni MVZ ve smyslu dostatečné mechanické pevnosti a hermetičnosti (těsnosti) podle příslušných pevnostních norem a předpisů,
podkategorie 1c:	vyžaduje se seismická odolnost na úrovni MVZ ve smyslu zachování stability polohy, dílčí porušení pevnosti, hermetičnosti či funkční způsobilosti jsou možná.

Z pohledu seismických požadavků je hodnocení mezních stavů a průkazu těsnosti, zmiňované v předchozím odstavci 2.3.1. rozšířeno u podkategorie 1a o průkaz funkční způsobilosti VZ při seismické události. Tento průkaz lze doložit výpočtem nebo experimentem.

2.4. Návrhová specifikace

Návrhová specifikace je dokument se zásadním dopadem na provedení a vypracování průkazné dokumentace. Návrhová specifikace je požadována všemi mezinárodními i národními standardy pro jaderné elektrárny, jako je český standard NTD A.S.I., americký ASME Code, francouzský RCC_M nebo německý KTA. Jedná se o dokument se základními údaji pro zhotovení průkazné dokumentace. Návrhová specifikace musí minimálně obsahovat následující údaje nebo aspoň odkazy na dokumentaci, kde se příslušné informace dají dohledat:

1) Identifikace a popis VZ. Projekční a konstrukční dokumentace.
2) Klasifikace VZ z hlediska jaderné bezpečnosti a seismické odolnosti.
3) Hranice, kotvení, umístění (podlaží, místnost), popis funkce a konstrukce VZ.
4) Výpočtové parametry, provozní projektová nebo skutečná provozní zatížení.
5) Provozní parametry členěné do NPP, ZP, APP a HP a jejich časové průběhy.
6) Zátěžné bloky, předpokládaná doba životnosti, výsledky provozních měření.
7) Popis médií a okolního prostředí (koroze, eroze, radioaktivita).
8) Normy a předpisy pro zpracování průkazné dokumentace.
9) Definování odchylek od standardního provedení průkazné dokumentace.
10) Stanovení alternativních podkladů pro zpracování.
11) Třída těsnosti u přírubových spojů.
12) Limitní parametry provozuschopnosti.
13) Doplňující požadavky na průkazy pevnosti, životnosti a seismické odolnosti.

Návrhová specifikace je zadáním pro provedení výpočtů a stanovuje rozsah hodnocení. Měl by ji vyhotovovat zadavatel průkazné dokumentace, což v současné době je většinou držitel povolení k provozu jaderného zařízení (ČEZ, a.s.) nebo při nově dodávaných zařízení dodavatel zařízení, ke kterému průkazné dokumentace tvoří část průvodně technické

dokumentace. Vzhledem k předpokládané vysoké odbornosti zpracovatele průkazné dokumentace je vlastní obsah i rozsah (viz kap. 2.2) Návrhové specifikace podrobně zpracovatelem diskutován během vstupní konzultace.

Na vstupní konzultaci zpracovatel průkazné dokumentace dále ujistí zadavatele, že používá SW nástroje schválené dle Směrnice k hodnocení výpočtových programů pro posuzování jaderné bezpečnosti (VDS 030), postupuje v souladu s požadavky stanovenými v NTD A.S.I. a uvede rovněž další skutečnosti (postupy výpočtu, výstupní zprávy, doporučení, apod.), které mohou ovlivnit výslednou průkaznou dokumentaci. Zadavatel na základě zjištění může (např v případě zpracovatele bez referencí) požadovat od zpracovatele dodání nezávislého posudku průkazné dokumentace i v případě VZ BT2 a BT3, kdy posudek není nezbytně vyžadován.

Uvedené doporučujeme provést, neboť se předchází mnohým formálním chybám i chybám při zpracování průkazné dokumentace. Návrhová specifikace je podkladem pro provedení nezávislé kontroly a oponentury průkazné dokumentace a napomáhá i schvalovacím procesům na SÚJB. Do návrhové specifikace se mohou včlenit i odchylky oproti standardnímu provádění hodnocení, což může být důležité při použití jiných normativních standardů, než podle kterých byly provedeny návrhy VZ.

2.5. Návrh základních rozměrů

Návrh základních rozměrů (návrhový výpočet) se provádí na základě výpočtových zatížení. Obvykle to bývá výpočtový tlak (vnitřní a vnější), výpočtová teplota, zatížení vyvolaná utažením šroubů a svorníků, zatížení od sil a momentů připojených potrubí a účinky vlastní tíhy konstrukce a tíhy náplně. Výpočtové parametry jsou vyšší než skutečné provozní zatížení, ale ne vždy jsou vyšší výpočtové parametry dostatečně konzervativní v místech rozměrové diskontinuity, což je důvodem vypracování podrobného kontrolního výpočtu.

Podstatou návrhového výpočtu je určení základních rozměrů VZ, což spočívá v určení výrobních tlouštěk stěn a průřezů na základě normativních vztahů. Návrhový výpočet vychází při stanovení tlouštěk stěn a průřezů VZ zpravidla z explicitních vztahů, daných národními normami, předpisy, či osvědčenými firemními výpočtovými postupy. Výrobní tloušťky stěn musí být vždy větší než výpočtové tloušťky o přídavek na korozi a erozi, o přídavek na kompenzaci záporných úchylek a technologický výrobní přídavek. Hodnoty výrobních přídavků k výpočtové hodnotě určuje konstrukční a výrobní organizace. Při určení výpočtové tloušťky stěny se nebere v úvahu tloušťka antikorozního návaru nebo ochranné plátované vrstvy. Při návrhu se uvažují následující mezní stavy:

1) houževnaté porušení,
2) plastické deformace v celém průřezu součásti,
3) doba do iniciace trhlin při cyklickém zatížení pomocí zjednodušených postupů,
4) ztráty stability.

Mohou nastat případy, kdy při návrhu základních rozměrů použitím výpočtových parametrů (výpočtový tlak a teplota) nemusí vycházet použité nominální rozměry. V těchto případech lze navržené rozměry a tloušťky prokázat podrobným kontrolním výpočtem při použití skutečných provozních parametrů.

Není nikde v normativních požadavcích zakotveno, že návrh základních rozměrů je součástí průkazné dokumentace. Nicméně jedná se, spolu s výrobními výkresy, o jeden ze vstupních dokumentů pro výrobu, takže je vhodné, zejména u VZ zařazených do BT1 a BT2, tento návrh základních rozměrů mít v průkazné dokumentaci zahrnut.

2.6. Podrobný kontrolní výpočet

Účelem podrobného kontrolního výpočtu je prokázání (doložení) pevnosti, těsnosti, životnosti a seismické odolnosti VZ a stability jaderné elektrárny na základě podrobné napěťové analýzy, dnes již většinou prováděné metodou konečných prvků (MKP). Hodnocení mezních stavů, uvedených v kapitole 2.2., je provedeno porovnáním vypočtených hodnot redukovaných napětí s předepsanými limitami a kritérii, které jsou obsaženy v příslušných standardech nebo normách. Dokladem pevnosti, těsnosti, životnosti a seismické odolnosti VZ je vyhovující porovnání vypočtených hodnot s předepsanými kritérii a limitami pro jednotlivé mezní stavy.

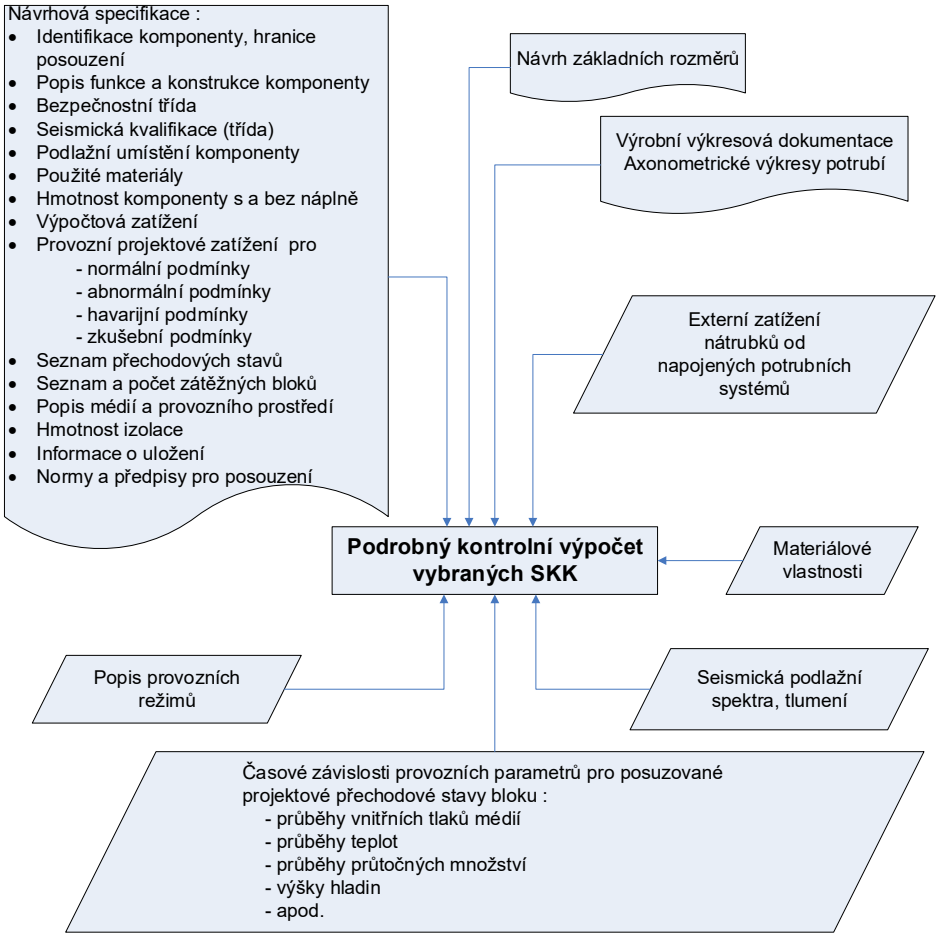
K určení vnitřních sil, přemístění, napětí a deformací posuzovaných částí VZ se v kontrolním výpočtu mohou použít jak výpočtové, tak i experimentální metody nebo jejich kombinace.

Základním podkladem pro zpracování podrobného kontrolního výpočtu je Návrhová specifikace, kde jsou uvedeny základní informace k zpracování podrobné napěťové analýzy. Podrobný kontrolní výpočet se provádí, na rozdíl od návrhového výpočtu, pro projektové provozní parametry a jejich časové průběhy, které jsou předepsány pro VZ v Návrhové specifikaci. Provozní projektové parametry a jejich průběhy musí být členěny pro NPP, ZP, APP a HP.

Podrobný kontrolní výpočet musí být vypracován pro jmenovité rozměry uvedené ve výrobní výkresové dokumentaci VZ, určené ve shodě s návrhem základních rozměrů VZ, zmenšené o přídavek k tloušťce stěny, vyrovnávající zmenšení její tloušťky vlivem všech druhů koroze a eroze za dobu požadovaného technického života konstrukce.

Mechanické a fyzikální vlastnosti použitých materiálů VZ, které jsou potřebné pro zpracování podrobného kontrolního výpočtu, jsou většinou pro VZ zařazené v BT1 a BT2 obsaženy v technických materiálových specifikacích VZ. V případě, že technické materiálové specifikace VZ nejsou zpracované, musí se použít normované minimálně zaručované materiálové charakteristiky. Technické materiálové specifikace VZ jsou nadřazené nad normované charakteristiky.

Obecný souhrn vstupních informací pro provedení podrobného kontrolního výpočtu napětí je uveden na následujícím obrázku 2.1.



Obr. 2.1. Obecný přehled vstupních podkladů pro zpracování průkazné dokumentace VZ (SKK)

2.7. Výpočtové programy pro zhotovení průkazné dokumentace

Výběr vhodného výpočtového programu pro zpracování průkazné dokumentace je záležitostí a odpovědností organizace zpracovávající průkaznou dokumentaci. V ČR se zavedl systém standardizace výpočtových programů pro jadernou energetiku. Standardizace výpočtových programů pro provádění výpočtů v rámci průkazné dokumentace je posouzení jednotlivých dostupných výpočtových programů odbornou hodnotící komisí SÚJB a vytvoření seznamu programů, které byly uznány za vhodné pro použití v jaderné energetice. Program, který je zařazen do seznamu standardizovaných programů, je podrobným všestranným posouzením na základě několika oponentních posudků uznán za vhodný pro využití při zpracování průkazné dokumentace.

V případě použití programu mimo seznam schválených výpočtových programů je třeba o této skutečnosti informovat objednavatele průkazné dokumentace a domluvit s ním další postup. Program se do schváleného seznamu zahrnuje na základě žádosti provozovatele jaderného zařízení po oponentním posouzení programu odbornou komisí při SÚJB.

3. Normativní dokumentace pro průkaznou dokumentaci

Většina vybraných zařízení byla vyrobena, dodávána a montována podle původních ruských předpisů. Pro výpočty pevnosti, životnosti a seismické odolnosti zařízení a komponent jaderných elektráren typu VVER do roku 1996 neexistovala Normativně technická dokumentace vydaná v České republice, která by odrážela současné ověřené poznatky v této oblasti. Asociace strojních inženýrů (A.S.I.) v České republice proto po dohodě se Státním úřadem pro jadernou bezpečnost (SÚJB) zpracovala Normativně technickou dokumentaci A.S.I. V květnu 1996 A.S.I. po úspěšném veřejném připomínkovém řízení vydala Normativně technickou dokumentaci A.S.I. „Hodnocení pevnosti zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER, Sekce III“. Tato dokumentace vychází z norem NTD SEV 4201-86 až 4214-86 a dodatků z revizí do r. 1989 a ruské normy PNAE-G-7-002-86. SÚJB v roce 1998 v ediční řadě „Bezpečnost jaderných zařízení 1/1998, BN 05.01 vydal „Stanovisko SÚJB k použitelnosti NTD ASI-III-Z-5/96 [12]. Tímto stanoviskem SÚJB akceptoval použití NTD A.S.I. Sekce III k vypracování nové průkazné dokumentace pro komponenty JE Temelín. V následujícím období byly vyvíjeny další Sekce NTD, které pro zpracování průkazné dokumentace staly podpůrnými. V roce 2017 byly všechny Sekce NTD A.S.I. schváleny jako celek.

3.1. Normativní dokumentace pro průkaznou dokumentaci SKK

Od roku 2006 vychází všechny Sekce NTD A.S.I. v pravidelných tříletých intervalech. V průběhu tříletého intervalu jsou průběžně do jednotlivých Sekcí NTD A.S.I. zapracovávány:

- výsledky výzkumných a vývojových úkolů, které jsou financovány ČEZ, a.s. nebo jinými dotačními agenturami,
- nové požadavky plynoucí z přijímané evropské legislativy,
- nové přístupy hodnocení SKK na základě provozních zkušeností a
- nové poznatky z oblasti vědy a techniky uváděných v mezinárodních výzkumných zprávách (EPRI).

O připravovaných změnách v jednotlivých Sekcích NTD A.S.I. je pravidelně prostřednictvím svých zástupců v pracovních komisích NTD informován SÚJB, který tímto může vývoj NTD A.S.I. regulovat.

NTD A.S.I. je nyní určena pro vybraná zařízení, zařazená do bezpečnostních tříd dle Vyhlášky SÚJB 329/20178 Sb., dle §9 vyhlášky a přílohy č. 1

- hodnocení pevnosti aparátů, potrubí a jejich podpěr, které byly projektované, vyrobené, kontrolované, montované a uvedené do provozu dle norem bývalého SSSR, Normativně technické dokumentace bývalé RVHP, bývalých československých státních norem a jiných technických norem, dále pro aparáty, potrubí a jejich podpěry opravené nebo vyrobené na výměnu podle původních nebo nových projektů,
- prokazování životnosti, provozní bezpečnosti a spolehlivosti aparátů, potrubí a jejich podpěr a pro stanovení předpokladů a podmínek jejich licencování k dalšímu provozování nad jejich původně projektovanou dobu jejich technického života,

- vypracování dokumentace podle Vyhlášky SÚJB č. 162/2017 Sb. pro oblast hodnocení bezpečnosti a způsobů dokumentování hodnocení bezpečnosti, kterou je povinen držitel povolení předložit Státnímu úřadu pro jadernou bezpečnost,
- výběr materiálů a přídavných materiálů pro svařování a opravy zařízení a potrubí typu VVER,
- stanovení podmínek, za kterých je možné nové materiály a nové přídavné materiály pro svařování zařadit do seznamu materiálů použitelných pro výrobu a opravy zařízení a potrubí typu VVER,
- hodnocení zbytkové životnosti zařízení a potrubí typu VVER v rámci předprovozních bezpečnostních zpráv.

Soubor NTD A.S.I. pro jaderné elektrárny tvoří celek osmi částí:

I	-	Svařování zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER [13]
II	-	Charakteristiky materiálů pro zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER [14]
III	-	Hodnocení pevnosti zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER [11]
IV	-	Výpočet zbytkové životnosti zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER [15]
V	-	Zkoušky materiálů [16]
VI	-	Vzduchotechnické systémy jaderných elektráren typu VVER [17]
VII	-	NDT kontroly
I-VI	-	Zvláštní případy [18]

Na základě výše uvedeného Stanoviska SÚJB se jednoznačně doporučuje provádět průkazy pevnosti, životnosti a seismické odolnosti podle NTD A.S.I v jeho aktuální platné verzi.

Moderní norma předepisuje napěťová nebo deformační kritéria, která musí být splněna, což NTD A.S.I. přesně definuje i pro tato zařízení. Nepředepisuje však již, jak stanovit napětí, neboť někdo upřednostní analytické vztahy, jiný metodu MKP.

Nejvýznamnější VZ na jaderných elektrárnách byla projektovaná, vyrobená, kontrolovaná, montovaná a uvedená do provozu dle norem bývalého SSSR. Pro zpracování průkazné dokumentace lze tedy využít i ruskou normu PNAE G-7-002-86[28], nicméně postupy hodnocení zahrnuté v NTD A.S.I. jsou shodné s ruskou normou. Z tohoto důvodu jednoznačně doporučujeme použití NTD A.S.I. pro hodnocení VZ JE zařazených do bezpečnostních tříd.

3.2. Zásady použití zahraniční normativní dokumentace

V případě běžného využívání nebo úvah zpracovatele použít pro tvorbu průkazné dokumentace zahraniční standardy, musí tuto skutečnost sdělit zadavateli (obvykle jako součást vstupní konzultace), taková skutečnost se stane součástí konzultace k Návrhové specifikaci (viz kap 2.3).

4. Podpůrné metodiky a návody pro průkaznou dokumentaci

Ne všechny potřebné údaje pro zpracování průkazné dokumentace jsou v normách a standardech obsaženy. Jedná se většinou o specifické údaje odpovídající lokalitě elektrárny. Následující podkapitoly uvádí aktuální platné metodiky, návody a doporučení, které při zpracování průkazné dokumentace by měly být zohledněny.

4.1. Podlažní spektra pro seismické analýzy

4.1.1. Seismická podlažní spektra pro JE Temelín

V případě provádění seismických výpočtů pro lokalitu Temelín by měly být použita aktuálně platná podlažní spektra uvedená ve zprávě Stevenson and Associates (S&A) - nyní RIZZO&Ass. „Požadovaná spektra odezvy pro seizmickou kvalifikaci nově dodávaných a inovovaných zařízení JE Temelín“ [20].

4.2. Seismická podlažní spektra pro JE Dukovany

Pro lokalitu Dukovany byl původní dokument f. David 087-006 z 1996 nahrazen pro nově dodávaná a inovovaná zařízení zprávou SEDYC, R080-2005-12.edu [21] a dále R076-2005-12.edu [33] s rozšířenými a vyhlazenými spektry odezvy bloků EDU.

4.3. Metodika seismického hodnocení ETE a EDU

Použití postupů pro zadání seismických výpočtů, spekter odezvy a hodnot útlumu, příp. dalších volitelných koeficientů závisí na účelu výpočtu. Při řešení dokladů odolnosti v případě vynucených zásahů do stávajících SSK nebo v případech dílčích inovací, kdy dochází k výměnám či úpravám částí stávajících SSK (např. úprava dílčí části kotvení potrubní trasy apod.) se obvykle, pro zachování kontinuity, používají původní výpočtové metodické přístupy (pro EDU např. rep05-95.edu.rev5 [34]) a v nich uvedené koeficienty. Pro nově projektovaná a komplexně modifikovaná SSK se používá inovovaná metodologie s vyššími konzervativními přístupy rep088-04.ete [23].

4.4. Nevýpočtové posouzení

Potrubí malého průměru se jmenovitou světlostí do 50 mm představují ve všech jaderných elektrárnách naprostou většinu co do celkové délky potrubí. Hodnocení jejich statické pevnosti, životnosti a seismické odolnosti je určitým problémem, protože výpočty takovýchto potrubních systémů jsou velice nákladné. Proto byly vypracovány metodiky hodnocení potrubí malého průměru, aby bylo možné provést jejich hodnocení na základě zkušeností bez podrobných výpočtů.

4.4.1. Statické hodnocení potrubí malého průměru

Pro potřeby ETE byla vypracována firmou KP SAG s.r.o. „Metodika nevýpočtového hodnocení potrubí malého průměru v ETE – revize 1“ [24], která prošla oponentním řízením a kterou lze doporučit k používání na obou lokalitách.

4.4.2. Seismické hodnocení potrubí malého průměru

Pro lokalitu Temelín byla zpracována „Metodika nevýpočtového hodnocení pevnosti a seismické odolnosti potrubí malého průměru v ETE“ [25].

Pro lokalitu Dukovany byla zpracována obdobná metodika „Hodnocení seizmické odolnosti potrubí malého průměru vč. impulsního potrubí a studeného potrubí velkého průměru v EDU“ [26]. Obě metodiky prošly oponentním řízením, takže je lze použít pro seismické hodnocení potrubí malého průměru.

5. Kontrolní výpočet pro zařízení BT1, BT2

Podrobný kontrolní výpočet v úplném rozsahu požadavků norem a předpisů pro zařízení jaderných elektráren je vyžadován všemi normami (NTD A.S.I., ASME Code, RCC_M, PNAEG) pro vybraná zařízení jaderných elektráren zařazených do bezpečnostní třídy 1 a 2 a tedy i SKK zařazených do těchto tříd. U těchto důležitých SKK se požaduje důsledná výpočtová analýza napětí všech jejich částí a hodnocení napětí pro všechny mezní stavy, které u tohoto zařízení přicházejí s hlediska provozních podmínek a provedení v úvahu. Tento podstatný rozdíl vůči pevnostním výpočtům běžných tlakových nádob je dán vysokými požadavky na jadernou bezpečnost. Velmi stručně lze shrnout postup při analýze napětí následovně:

- rozbor konkrétní úlohy kontrolního výpočtu dané komponenty po stránce jeho struktury, zatížení a režimů tak, aby volba metody a modelu analýzy věrohodně zachytila napjatost, potřebnou pro následné hodnocení v úvahu přicházejících mezních stavů;
- volba metody analýzy (metoda konečných prvků, analytické metody, kombinace obou metod, experimentální postupy apod.);
- volba výpočtového modelu pro teplotní pole a pro napětí a deformace;
- výpočet teplotních polí;
- výpočet napětí, deformací a přetvoření;
- kontrola vlastních výsledků výpočtů napětí, deformací, přetvoření a teplotních polí alternativními analytickými metodami (nulové napětí na nezatíženém povrchu, membránové napětí od vnitřního přetlaku, nominální napětí, bilance vypočtených sil na těsnících spojích atd.);
- výpočet redukovaných napětí a rozdělení na kategorie a skupiny kategorií;
- posouzení všech mezních stavů SKK (potenciálních degradačních mechanismů).

Analýza napětí musí být provedena tak, aby bylo zcela zřejmé, z jakého výpočtového modelu vychází – včetně zatížení a okrajových podmínek, jaké zjednodušující předpoklady pro výpočet byly přijaty, jak pro vlastní geometrii, výpočtový model, tak i jejich zatížení. Musí být provedeno zhodnocení dopadů těchto zjednodušujících předpokladů na konečné výsledky analýzy.

Každý výpočtový model je přibližný, pokud nejsou použity analytické vztahy. Přiblížení ke skutečnosti je závislé na mnoha faktorech, jako je programové vybavení, výpočetní technika, úroveň teoretických znalostí, znalost podstaty MKP, zkušenosti s výpočty MKP apod. Je-li použita metoda MKP, vždy je výpočet zatížen určitou chybou. Je žádoucí, aby každý zpracovatel si ověřil přijatelnost chyby. Lze použít možnosti používaných programů, které již v sobě mají zabudované postupy na kontrolu kvality sítě MKP. Můžeme doporučit zjednodušený postup stanovení chyby v síti MKP, který se skládá z následujících kroků:

1. Provede se první návrh sítě MKP a provede se výpočet teplot nebo napětí od všech jednotkových zatížení.
2. Provede se zjemnění sítě. Síť se zjemní dvojnásobným počtem elementů v místech nejvyšších teplotních nebo napěťových gradientů a provede se opětovný výpočet teplot nebo napětí.
3. Porovnají se výsledky obou výpočtů. Síť se dá považovat za vyhovující, když relativní chyba vypočtených výsledků (teplota nebo napětí) je menší než nebo rovna 5%. Pouze v ojedinělých specifických případech se dá akceptovat chyba do 10%, např. trubka v trubce na konci svařená tvoří ostrý vrub typu trhliny apod.

Při výpočtu napětí za účelem posouzení únavy materiálu je třeba zvážit, jaká metodika bude použita při posouzení na únavu. Pokud je zvolena metodika, která vyžaduje znalost skutečných maximálních špičkových napětí nebo deformací (lineárních nebo pružně-plastických) v místech geometrických koncentrátorů, je třeba věnovat pozornost dostatečné jemnosti sítě MKP v místech geometrické, tvarové koncentrace napětí. Koncentrátor napětí tvaru rádiusu by měl být diskretizován kvadratickými elementy MKP o velikosti hrany rovné nebo menší než ¼ poloměru rádiusu (1/6 poloměru rádiusu u lineárních elementů).

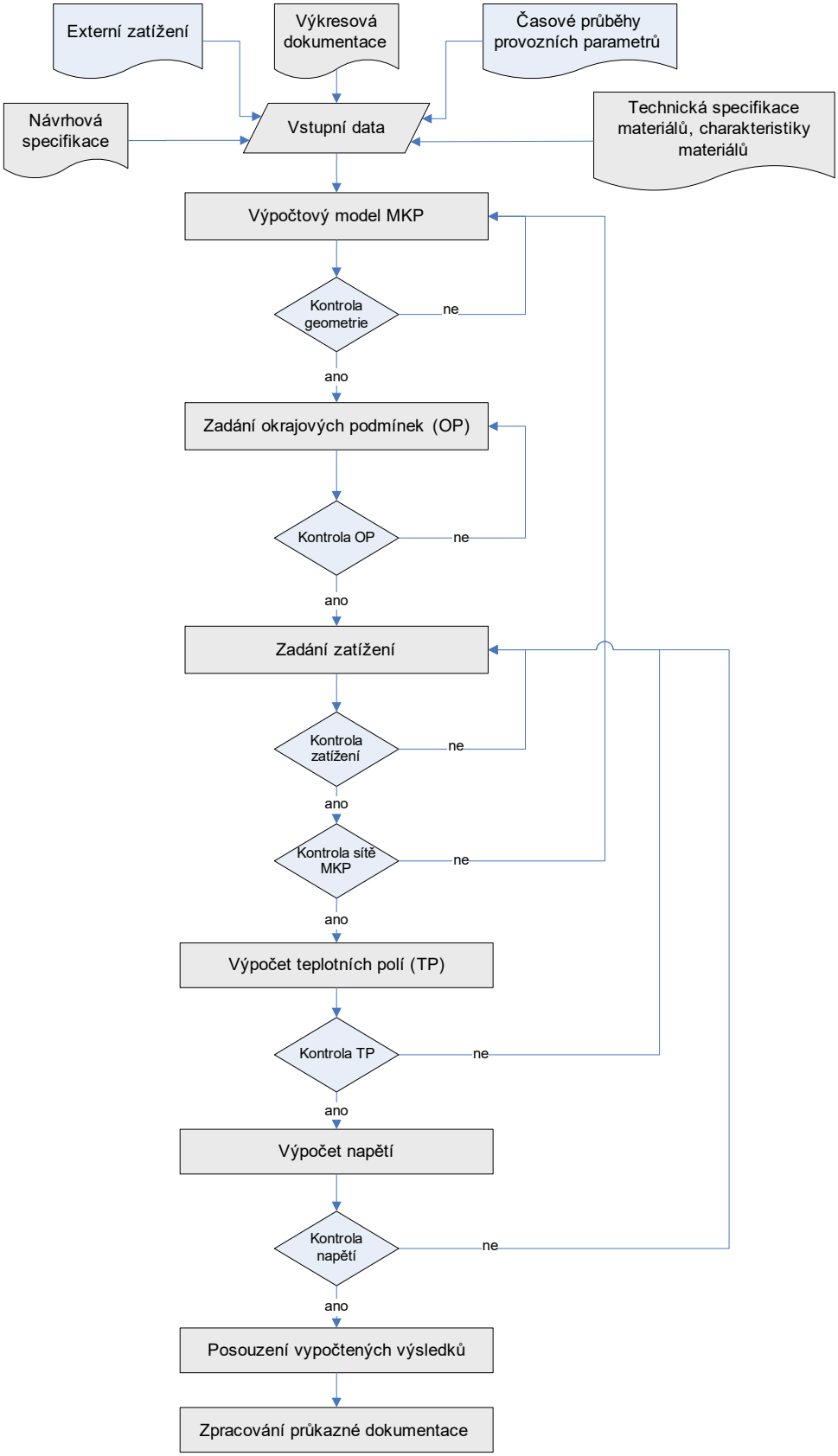
U koncentrátorů daných ostrými rohy (blížící se singularitám), kde je poloměr rádia menší než 1 mm a je obtížné vypočítat přesněji napětí, se doporučuje modelovat rádius o poloměru 1 mm, který bude diskretizován dle výše uvedeného doporučení. Výpočty napětí v těchto „ostrých vrubech“ budou alespoň porovnatelné pro různé modely.

Je třeba si uvědomit, že velikost vypočítaného napětí v koncentrátorech napětí (při metodice výpočtu únavy přes skutečná max. špičková napětí, nikoli přes např. nominální napětí) zásadně ovlivňuje výsledky únavového výpočtu. Pokud není na rozsáhlých modelech možné dostatečně jemně diskretizovat ostré koncentrátory napětí, je třeba zvážit přístup výpočtu přes nominální napětí a vhodně zvolené součinitele koncentrace napětí.

Nicméně při následném výpočtu únavového poškození je vždy třeba podrobně uvézt, jaká byla použita metodika a postup pro výpočet únavového poškození.

Výsledky výpočtů teplotních polí, napětí, deformací a přetvoření musí být názorně přehledně interpretovány tak, aby se snadno dala nalézt místa vysoce exponovaná, a to nejen pro potřeby následného hodnocení, ale i umístění kontrolních čidel, provádění měření za provozu apod.

Analýza napětí musí umožnit její posouzení, překontrolování pomocí jiných metod výpočtů, případně její dopracování pro jiné, změněné parametry zatížení či rekonstruované nebo modifikované konstrukční části SKK. Kontrola výsledků výpočtů napětí, deformací, přetvoření a teplotních polí se provádí alternativními metodami. Kontrola správnosti výsledků výpočtů se musí provádět vždy a organizace zpracovatele průkazné dokumentace je za ně přímo odpovědná.



Obr. 5.1 Postup provedení analýzy napětí SKK pro průkaznou dokumentaci

5.1. Analýza mechanických a deformačních zatížení

5.1.1. Výpočet teplotních polí

Výpočet teplotních polí předchází výpočtu napětí, deformací a přetvoření; na jeho základě se určují teplotní napětí, deformace a přetvoření, která se superponují s napětími, deformacemi a přetvořeními od dalších působících zatížení.

Výsledkem výpočtu teplotních polí je rozložení teplot po tloušťce a po ploše (délce, obvodu apod.) vyšetřované oblasti vybraných zařízení. Teplotní pole jsou dvojího druhu:

- nestacionární, časově závislá, vznikající při najíždění, odstavování, změnách režimů;
- stacionární, časově nezávislá, vznikající při ustáleném provozním režimu bez změn teplot media v SKK.

Zpracovatel musí vždy zhodnotit, které teplotní zatížení je pro danou konstrukci nebo její část důležité a které lze zanedbat. Zanedbání některých teplotních zatížení však vždy musí být zdůvodněno. Často je také nutné pro provedení výpočtů teplotních polí modely zjednodušovat. Každé takové zjednodušení musí být doloženo zdůvodněním a odborným odhadem dopadu na výsledky napjatosti při posouzení pevnosti a životnosti SKK.

Důležitá je vhodná interpretace výsledků výpočtu teplotních polí, např. grafickou formou – průběhy teplot po tloušťkách či po površích, a to v časové závislosti. Tato interpretace dává názornou představu o průběhu a velikosti teplotních spádů a časových změn, což je důležité pro určení kritických míst analyzovaných zařízení.

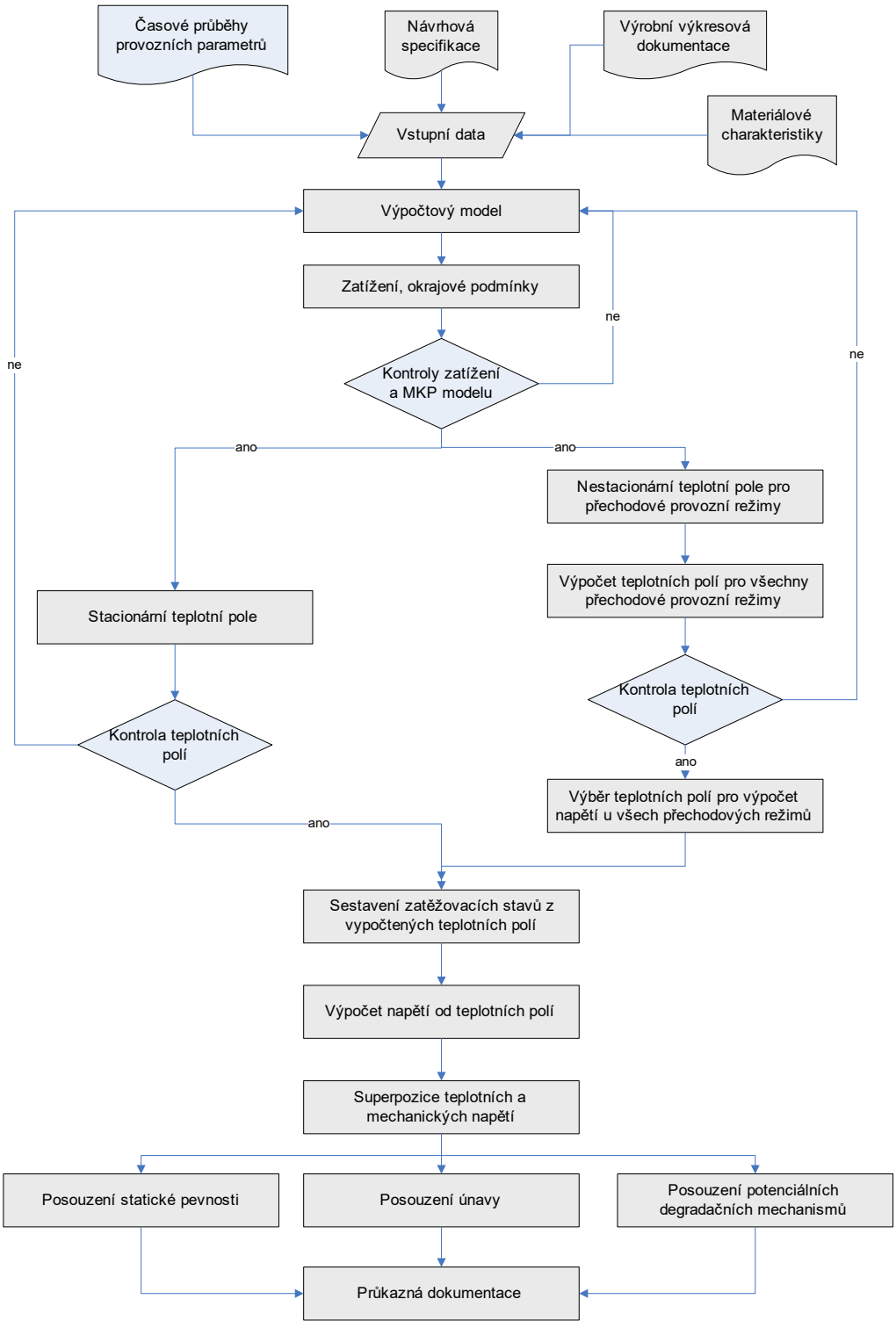
Na základě grafického vykreslení časového průběhu teplot na vnitřním a vnějším povrchu komponent v kritických místech se provádí výběr teplotních polí pro výpočet napětí. Pro každý přechodový režim se hledají časové okamžiky, kdy jsou teplotní gradienty po průřezu maximální a minimální. Tyto extrémy jsou uváděny v průkazné dokumentaci.

5.1.2. Výpočet napětí a deformací

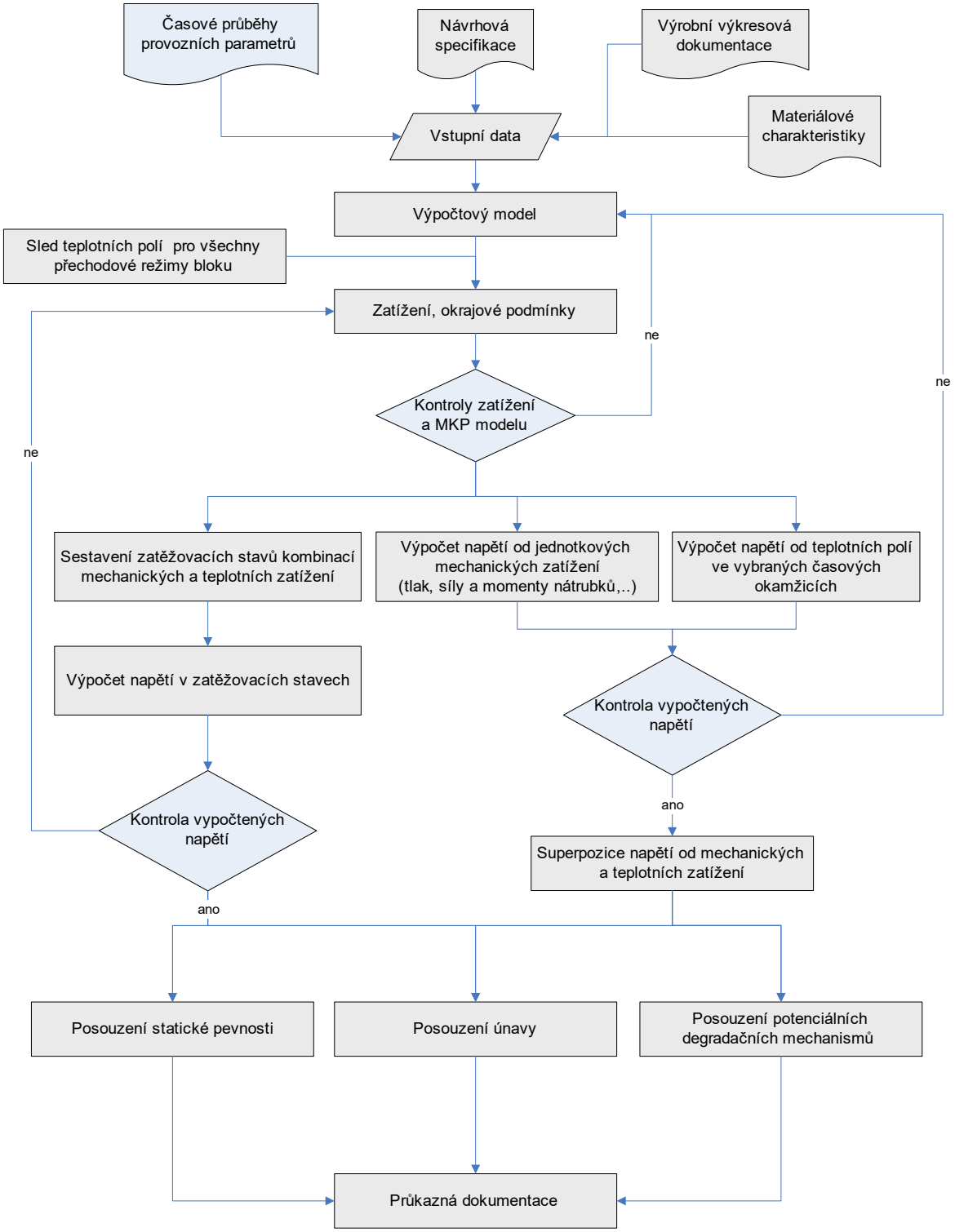
Po výpočtu teplotních polí se provádí výpočet napětí, deformací a přetvoření. Výsledky výpočtu teplotních polí (rozložení teplot ve vyšetřované oblasti SKK) jsou jedním ze vstupních údajů zatížení pro tento výpočet. Dalšími vstupními údaji jsou zejména údaje geometrické a materiálové, okrajové podmínky, zatížení aj.

Výpočtový model pro výpočet napětí a deformací se volí buď pro komponentu jako celek, nebo po jeho jednotlivých částech. V případech zjednodušení výpočtového modelu, zatížení a okrajových podmínek je nutné toto zjednodušení doložit zdůvodněním a odborným odhadem jeho dopadu na výsledky výpočtu. Důležitá je vhodná interpretace výsledků výpočtů napětí a deformací v jednotlivých částech SKK, např. grafickou formou. Slouží pro výběr kritických míst a uzlů pro hodnocení napjatosti, dává názornou představu o průběhu a velikosti pro případný odhad dopadů změn zatížení při modifikaci SKK a slouží pro porovnání výsledků s výsledky alternativních výpočtů – kontrola výsledků výpočtů. Je důležitá i pro určení míst nedestruktivních provozních kontrol a kontrolních měření během provozu.

Metodický postup výpočtu teplotních polí lze prezentovat obrázkem 5.2., postup analýzy napětí obrázkem 5.3.



Obr. 5.2. Metodický postup při výpočtu teplotních polí



Obr. 5.3. Metodický postup při výpočtu napětí

5.2. Hodnocení mezních stavů (limit) zařízení

Cílem kontrolního výpočtu je prokázání pevnosti a odolnosti při jednotlivých (níže uvedených) mezních stavech. Kontrolní výpočet musí obsahovat posouzení všech v úvahu přicházejících mezních stavů, i když výskyt některých z nich je méně pravděpodobný. (viz čl. 3.2.10. normy NTD A.S.I. [1]).

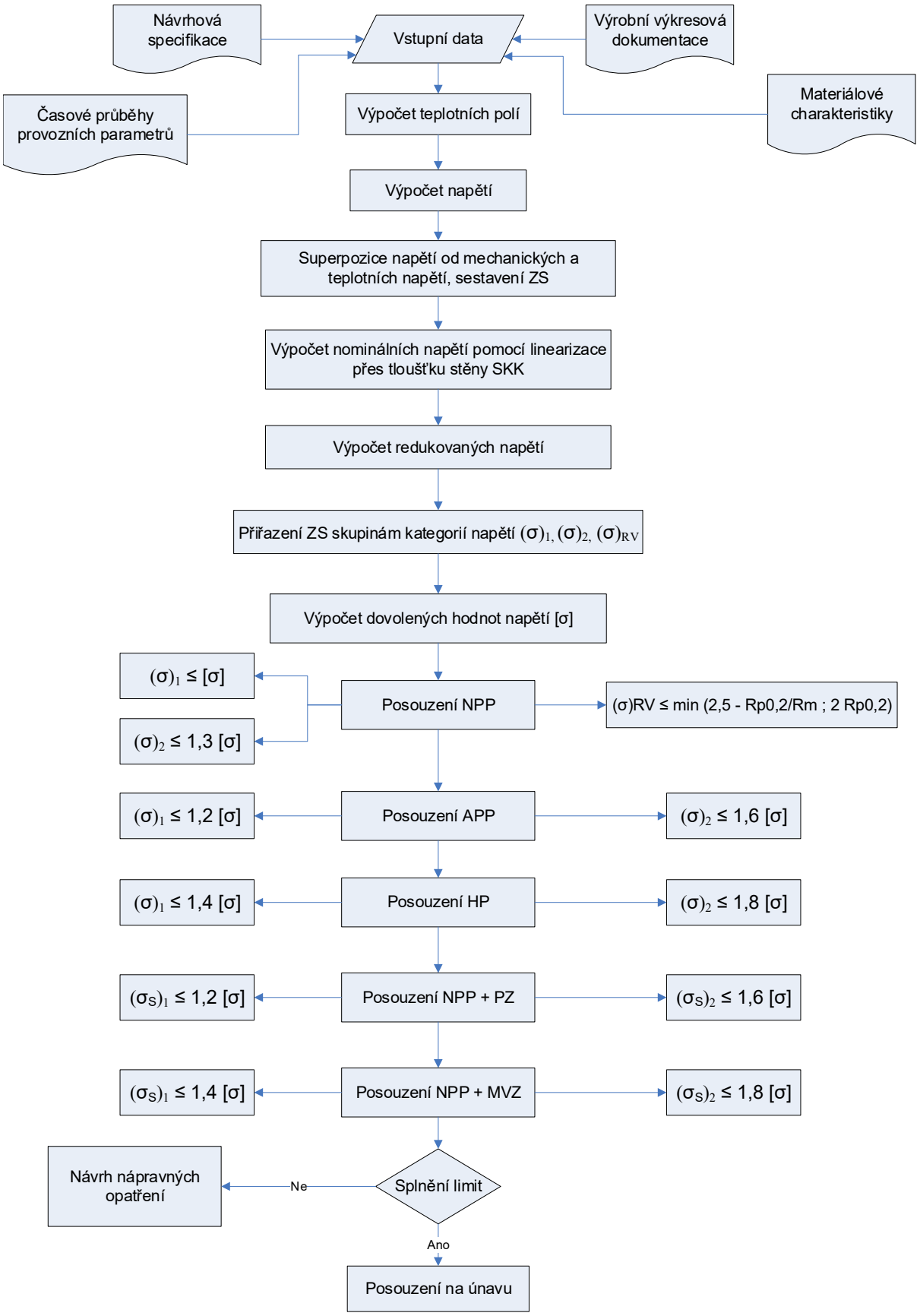
Nejčastěji se při hodnocení napětí provádí:

- prokázání pevnosti při statickém (monotónním) zatížení,
- prokázání pevnosti při cyklickém (proměnném) zatížení a
- prokázání odolnosti proti seismickým účinkům.

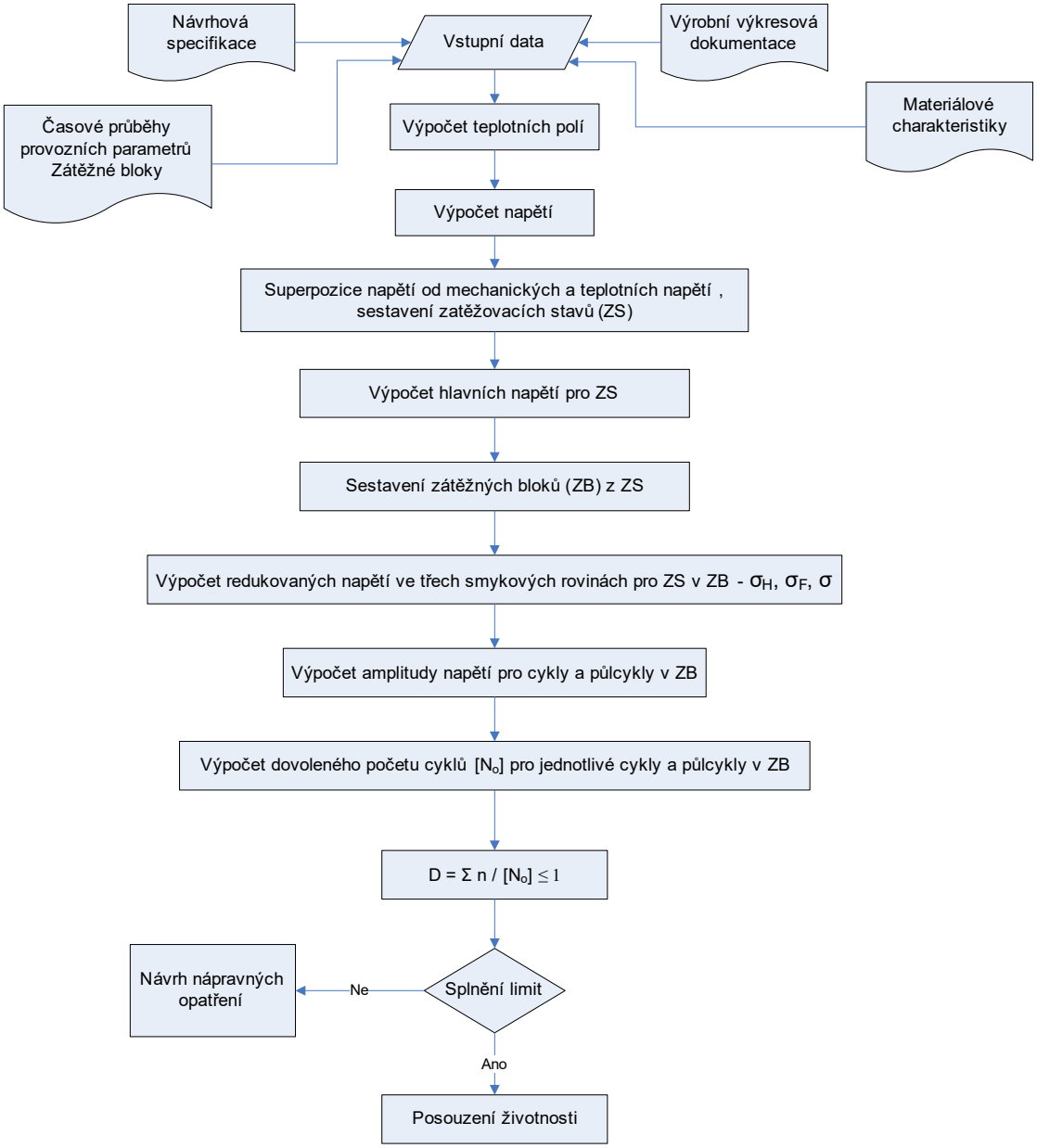
Ve speciálních případech lze ve shodě s návrhovou specifikací hodnotit napětí při:

- prokázání odolnosti proti ztrátě stability,
- prokázání odolnosti proti náhlému (nestabilnímu) porušení,
- prokázání pevnosti při vibracích,
- prokázání odolnosti proti dalším případným účinkům a zatížením které mají vliv na pevnost a provozuschopnost zařízení.

Na rozdíl od analýzy napětí, pro kterou nejsou normami předepsány závazné výpočtové postupy a metody, je hodnocení napětí normami předepsáno a je závazné. Dále jsou uváděny pouze metodické postupy ve formě vývojových diagramů u nejčastěji prováděných posouzení.



Obr. 5.4. Příklad postupu provedení posouzení statické pevnosti podle NTD A.S.I.



Obr. 5.5. Příklad postupu posouzení únavového poškození podle NTD A.S.I.

6. Kontrolní výpočet pro zařízení BT3

Průkazem pevnosti je u zařízení BT3 návrhový výpočet doplněný o hodnocení částí, které v návrhovém výpočtu nejsou zahrnuty. Jedná se zejména o části zařízení, zatížené vnějšími silami a momenty (od připojených potrubí apod.), jako oblasti hrdel, sedel, podstavců, kotvení. Při SKK zařazených do BT3, u kterých je požadovaná seismická odolnost, je nutno postupovat v souladu se schválenými metodikami.

Vybraná zařízení jaderných elektráren musí mít vedle průkazu pevnosti a seismické odolnosti i průkaz životnosti. Životnost zařízení je především ovlivněna únavou materiálu, ale i dalšími degradačními mechanismy, jako jsou provozní vibrace, teplotní šoky, eroze, apod.

Pro VZ zařazené do BT3 lze provést tento průkaz zjednodušeným posouzením životnosti. Toto posouzení spočívá ve zjednodušeném výpočtu na únavu, který především vychází z normativních postupů pro výpočet tlakových nádob a dále se musí posoudit všechny další působící degradační mechanismy, omezující životnost vybraných zařízení.

Pevnostní kontrola částí SKK, které nejsou zahrnuty do běžného návrhového výpočtu podle norem, se provádí na úrovni těchto norem za použití současných pravidel a znalostí vědy a techniky dle různých dostupných podkladů. Jde především o analytické postupy určení napjatosti.

7. Požadavky na obsah průkazné dokumentace

Zabezpečení cílů průkazné dokumentace a umožnění splnění požadavků na její přezkoumávání (nezávislé oponentury) a kontroly vyžaduje od průkazné dokumentace určitou strukturu, obsah a formu zpracování, které především zajišťují:

- přesnou identifikaci VZ,
- přehlednost a rychlou orientaci v obsahu,
- dostatečnou obsahovou podrobnost,
- srozumitelnost a jednoznačnost,
- uložení všech výpočtů včetně všech dodatků po celou dobu životnosti zařízení,
- snadnou archivaci a vyhledávání.

Jedním z důležitých požadavků na průkaznou dokumentaci je, že na základě uvedených údajů a souvisejících podkladů musí být možné kdykoliv v průběhu provozu JE zpracovat nezávislou výpočtovou verifikaci výsledků jinou organizací. Toto by měl mít zpracovatel průkazné dokumentace vždy na paměti.

Forma a obsah průkazné dokumentace se liší v závislosti na typu technologického zařízení jaderné elektrárny. Na základě dosavadních zkušeností lze rozsahy (obsahy) zpracování průkazné dokumentace rozdělit na tři charakteristická zařízení:

1) Tlakové komponenty a zařízení (tlakové nádoby)
2) Potrubní systémy
3) Ocelové a stavební konstrukce

7.1. Obecná struktura průkazné dokumentace SKK

Níže uvedená struktura průkazné dokumentace platí pro všechny typy výpočtů a analýz. Výpočtová zpráva musí minimálně obsahovat:

- titulní listy, s uvedenými údaji o zpracovateli,
- cíle průkazné dokumentace,
- úvodní vstupní údaje z Návrhové specifikace a odkaz na specifikaci,
- schéma zařízení s vyznačením analyzovaných částí,

- použité základní normy a výpočtové programy,
- výpočtové, projektové, provozní zatížení a provozní režimy,
- použité materiálové charakteristiky a svary,
- stručný přehled výpočtu, popis hodnocení napětí,
- výpočet napětí a jeho hodnocení v jednotlivých částech VZ,
- popis případného nápravného opatření,
- závěr a doporučení pro další provoz,
- seznam použitých podkladů (literatura),
- přílohy.

7.2. Titulní listy

Titulní listy jsou individuální záležitostí každé organizace, nicméně vzhledem k nutnosti citace a odkazů na tuto dokumentaci v budoucnosti je nutné některé informace požadovat. Z titulních listů by mělo být zřejmé, kdo dokumentaci zpracoval, její název a přesné identifikační nebo archivní označení s uvedením revize a měsíce vydání. Titulní list je společný pro všechny typy technologických zařízení. Na titulním listě by měly být minimálně následující informace:

- Název zpracovatele průkazné dokumentace s firemní značkou a adresou
- Název průkazné dokumentace nebo identifikace výpočtu.
- Autor (autoři) průkazné dokumentace.
- Identifikační označení průkazné dokumentace (archivní číslo zpracovatele zprávy).
- Měsíc a rok vyhotovení.

7.3. Seznam podkladů, literatura

Všechny podklady, použité při vypracovávání průkazné dokumentace, musí být uvedeny v seznamu s odkazem na autory, názvem, příslušným archivním nebo evidenčním číslem, rokem vydání a vydavatelem nebo zpracovatelskou organizací.

Dále se v literatuře uvádí veškeré použité normy, předpisy, metodické pokyny a postupy, instrukce a typizace výrobních organizací, výkresy konstrukční a projekční aj. Rovněž se zde uvedou všechny související výpočtové zprávy.

7.4. Přílohy průkazné dokumentace

Jednotlivé přílohy jsou označeny číslem a uvedeny v souhrnném seznamu příloh. Přílohy průkazné dokumentace zpravidla obsahují:

- výsledky výpočtů zatížení od připojených potrubních větví,
- výsledky výpočtů teplotních polí (zpravidla grafická forma),
- výsledky výpočtů deformací a napětí (zpravidla grafická forma),
- výsledky termohydraulických výpočtů,

- výpisy počítačových sestav u výpočtu potrubních systémů,
- sestavný výkres,
- důležitá korespondence.

7.5. Průkazná dokumentace pro tlaková zařízení

Obsah průkazné dokumentace je i standardizován. Obsah je uveden v NTD A.S.I. Sekce III (kapitola 3.3. Dokumentace) nebo Sekce IV (kapitola 3.4. Dokumentace). Následující odstavce podrobněji rozvádějí normované požadavky.

7.5.1. Úvodní informace a údaje o návaznosti

Na začátku každé průkazné dokumentace (výpočtové zprávy) musí být úvod do návrhového, kontrolního nebo seismického výpočtu. V úvodu se hlavně **uvede účel a hlavní cíle** předkládané průkazné dokumentace.

Uvede se návaznost na případné předchozí výpočty, analýzy, měření nebo hodnocení, návrhový výpočet, seismický výpočet, čísla protokolů SÚJB apod. Předchozí dokumentace, na které průkazná dokumentace navazuje, se uvedou v textu nebo v literatuře, uvede se název dokumentace, číslo protokolu, zpracovatel a archivní čísla a další údaje pro přesnou identifikaci dokumentu.

Úvodní část zprávy musí uvádět stručný popis zařízení s jeho projektovým označením, uvedením bezpečnostní třídy a třídy seismické odolnosti, popis funkce zařízení a jeho význam v systému, projektové značení, PS/DPS, stavební objekt, místnost, podlaží a další důležité informace identifikující zařízení. Součástí úvodních údajů je stručný popis konstrukce zařízení včetně jeho vestaveb (vnitřních částí) i přímo připojených zařízení.

Součástí popisu musí být uvedena hranice posuzovaného zařízení, aby bylo zřejmé, co vše je v předkládané dokumentaci posuzováno a co je již předmětem jiné dodávky. Musí se uvést také způsob jeho uložení, čísla (označení) potrubních systémů připojených k jednotlivým hrdlům a popis těchto hrdel (vstupní, výstupní, drenáž apod.).

7.5.2. Popis vstupních údajů pro zpracování průkazné dokumentace

Nejdůležitějším požadavkem této části dokumentace **je důsledný popis a citace** všech zdrojů vstupních údajů, informací a podkladů, které jsou pro zpracování průkazné dokumentace daného zařízení nebo jeho částí důležité. V části popisu vstupních údajů se obvykle uvádí:

- Obrázky a náčrty vyjadřující geometrický tvar zařízení nebo analyzované části. Musí být uvedeny základní rozměry analyzovaného zařízení nebo jeho částí.
- Normy, předpisy, metodické postupy nebo v Návrhové specifikaci vzájemně odsouhlasená pravidla současné vědy a techniky – jejich názvy, vydavatel, rok vydání, podle kterých se provádí hodnocení jednotlivých mezních stavů. V případě použití NTD A.S.I. se v literatuře uvede evidenční číslo výtisku.
- Popis materiálů použitých pro výrobu zařízení a uvedení jejich značky podle platných standardů.

- Fyzikální a mechanické charakteristiky materiálů použitých ve výpočtu v závislosti na teplotě. Vždy se musí důsledně uvádět zdroj použitých vlastností. Přednostně by měly být použity hodnoty uvedené v Materiálových specifikacích VZ nebo Technických podmínkách. Nejsou-li Technické podmínky dostupné nebo nejsou-li materiálové hodnoty v nich uvedené, použijí se minimálně zaručované hodnoty z NTD A.S.I. Sekce II ve shodě se značkou nebo ekvivalentem materiálu.
- Statická a dynamická zatížení v místech jejich působení jako jsou teploty, tlaky, vlastní tíhy, zatížení od připojených potrubních systémů, zatížení od provozních vibrací, váhy přídavných hmotností apod. V případě nestacionárního působení zatížení je nutné uvést celý časový průběh, který může být popsán v grafické nebo tabulkové formě. Jedná-li se o jiný běžně používaný dokument např. dodatek k úvodnímu projektu, uvede se v literatuře přesné označení dokumentu.
- Při seismickém výpočtu se uvedou příslušná podlažní spektra odezvy a použité tlumení. Uvede se odkaz na literaturu, odkud byla spektra a tlumení převzaty.
- Přehled analyzovaných provozních nebo projektových režimů a zátěžných bloků včetně jejich popisu, zvláštností a návazností. Uvést odkaz na zdroj informací týkajících se analyzovaných režimů a zátěžných bloků (projekt, provozní měření, předpoklad apod.).
- Výpis zvolených a analyzovaných zatěžovacích stavů reprezentující provozní nebo projektové režimy.
- V případě použití nelineární analýzy je třeba popsat nejen fyzikální, ale i geometrické nelinearity, jsou-li uvažovány.
- Názvy všech použitých výpočtových programů a číslo jejich standardizace. V případě použití jiného programu, než standardizovaného „Odbornou hodnotící komisí SÚJB", je toto nutné projednat se zadavatelem průkazné dokumentace a postupovat podle jeho pokynů.
- Použité součinitele koncentrace napětí, snížení únavové a statické pevnosti apod., jsou-li použity při výpočtu.
- Popisy jednotlivých svarových spojů (základní materiál, technologie svařování, přídavný materiál – elektrody, svařovací drát, tepelné zpracování po svařování), jsou podkladem pro stanovení součinitelů snížení pevnosti při únavě vlivem svarových spojů. Tento součinitel se pro jednotlivé svarové spoje určí dle příslušné vybrané normy v Návrhové specifikaci, například dle normy NTD A.S.I. Sekce III. tab. 10.2. a 10.3. I tyto údaje je vhodné přehledně zpracovat formou tabulek.
- Popis použitých měřících přístrojů, jejich přesnost, měřící rozsah, způsob kalibrace přístrojů.
- Limity a kritéria posuzovaných mezních stavů.
- Limity a kritéria pro omezení napětí u jednotlivých provozních (projektových nebo skutečných) režimů, limity deformací při pružně-plastické analýze, limity pro teploty, rychlosti náhřevu a ochlazování, kumulaci poškození apod.

Někdo upřednostňuje uvedení limit a kritérií až v kapitolách, které se týkají hodnocení mezních stavů, zvlášť je-li hodnoceno více stavů. Použité limity a kritéria musí ale průkazná dokumentace obsahovat.

7.5.3. Metodika výpočtu, stručný popis postupu výpočtu

Výpočtová zpráva pro návrhový výpočet (návrh základních rozměrů VZ) v této části obsahuje zvolenou normu, podle které se výpočet provádí, případně více norem a metodik s odvoláním na Návrhovou specifikaci. Je zde uvedeno, jakou formou je výpočet proveden (většinou výstupní tisk z příslušného normativního programu nebo předtištěného formuláře výrobce zařízení apod.). Uvedou se zde části, uzly zařízení, pro které se návrhový výpočet zpracovává.

Požadavky na popis postupu kontrolního výpočtu jsou rozsáhlejší. Výpočtový model je vždy přiblížení ke skutečnosti. Míra jeho přiblížení je závislá na úrovni vědomostí, možností a času pro zpracování průkazné dokumentace. Hlavním cílem této části průkazné dokumentace je popis a zdůvodnění všech použitých zjednodušení, které se při tvorbě výpočtových modelů a při postupu výpočtů provedou. V této části průkazné dokumentace se zejména uvádí:

- Stručný popis výpočtového nebo experimentálního modelu s jeho vykreslením nebo jeho náčrtem. V případě měření popis měřícího řetězce.
- Popis všech zjednodušujících předpokladů výpočtového nebo experimentálního modelu a zdůvodní se jejich použití.
- Popis použitých okrajových podmínek. Popis okrajových podmínek výpočtu nebo hodnocení by měl být znázorněn (prokázán) jejich vykreslením na výpočtovém modelu. Provedení musí být takové, aby jednotlivé okrajové podmínky byly kontrolovatelné.
- Popis působících zatížení výpočtového nebo experimentálně zkoumaného modelu. Zatížení výpočtového modelu by mělo být doloženo jejich vykreslením na výpočtovém modelu.
- Stručně se popíše metodika zvoleného výpočtu nebo postupu posouzení. Uvedou se postupné kroky analýzy až k finálním výsledkům a posouzení. Z popisu musí být zřejmý celý metodický postup analýzy.
- Při použití normového postupu výpočtu nebo hodnocení (posouzení) se musí uvést odkazy na příslušné články a kapitoly použitého standardu.

7.5.4. Výpočet teplotních polí, deformací a napětí

Hlavním cílem zde uvedených požadavků je přehlednost uvedených výsledků. Tato část průkazné dokumentace by měla být zpracována tak, aby vybraný nezávislý oponent průkazné dokumentace měl snadnou orientaci v prezentovaných výsledcích a mohl provést ověření předložených výsledků. V této části průkazné dokumentace by tedy mělo být hlavně uvedeno:

- Zdůvodnění metody použité ve výpočtu (stacionární, nestacionární, lineární, nelineární apod.).

- Při výpočtu nestacionárních teplotních polí se uvede postup stanovení součinitelů přestupu tepla v jednotlivých částech výpočtového modelu u jednotlivých projektových nebo provozních režimů.
- Názornou a přehlednou formou se uvedou výsledky výpočtu. Názornou formou se rozumí obrázková, tabulková nebo grafická podoba prezentace výsledků teplotních polí, napětí, deformací.
- Z prezentovaných výsledků (obrázků, grafů a tabulek) musí být zřejmé, kde se nacházejí místa konstrukce s extrémními prezentovanými hodnotami (teplota, napětí, deformace apod.), v kterých časových okamžicích, zatěžovacích stavech nebo režimech.
- Každý v dokumentaci uvedený obrázek, graf nebo tabulka musí obsahovat popis a jednotky, aby bylo patrné, co prezentuje, znázorňuje a proč je obrázek, graf nebo tabulka uvedena.
- Stručné zhodnocení prezentovaných výsledků, zdůraznění nejdůležitějších obsažených výsledků, uvede se důvod zdůraznění.

Součástí průkazné dokumentace nesmí být výpisy počítačových sestav. Dávat výpisy počítačových programů do textu výpočtové zprávy se **zásadně nedoporučuje**. Výpisy počítačových programů mohou ale být použity v přílohách. Pokud ale budou do výpočtové zprávy výpisy z nějakého důvodu vloženy jako přílohy, nebo jen jejich část, musí být prezentovaný výpis ve zprávě **podrobně textem popsán**, aby bylo zřejmé, co výpis výpočtového programu uvádí a prezentuje. Musí být popsány jednotlivé symboly, zkratky, nadpisy a jednotky. Z popisu prezentovaných výpisů musí být pro oponenta jasná orientace v hodnotách výpisu, vazba uzlů na výpočtový model apod. Hlavní důvod těchto požadavků je, že oponent výpis programu vidí mnohdy poprvé a rychlá orientace ve výpisech programů bez popisu je velice obtížná.

Další závažnou chybou v této části průkazné dokumentace je uvádění části výpisu použitého počítačového programu bez bližšího popisu a to ještě v cizím jazyce. Zásada jednotného jazyka by měla být důsledně dodržována.

7.5.5. Hodnocení vypočtených výsledků, hodnocení životnosti

Zákon [7] požaduje, aby posouzení, podpůrné výpočty, rozbory a analýzy v rámci procesu návrhu jaderného zařízení byly zaznamenány tak, aby mohly být přezkoumány a ověřeny. V této části průkazné dokumentace se prokazuje a uvádí, že vypočtené deformace a redukovaná napětí jednotlivých mezních stavů splňují předepsané limity a kritéria použitého standardu platného pro JE, což je zejména:

- Články standardů, podle kterých se posouzení provádí. V případě odchýlení se od normou doporučovaného postupu popíše použitá metodika a zdůvodní se odchylka.
- V tabulkách s výsledky výpočtu deformací a napětí (viz výše) se uvedou hodnoty jednotlivých skupin kategorií napětí a celkové kumulace poškození a jejich porovnání s příslušnými limitami a vždy musí být u každého hodnoceného místa či řezu uvedeno, že hodnocení vyhovuje.
- Uvedou se odkazy na obrázky nebo se přímo uvedou obrázky konstrukce nebo komponenty, kde je místo posouzení nebo hodnocení znázorněné.

- Znázornit místa posouzení každého mezního stavu je povinné. Ukazují se tak místa, která by měla být brána v úvahu při pravidelných nedestruktivních provozních kontrolách v rámci programu provozních kontrol.
- Provedou se všechny další kontroly předepsané pro hodnocení napětí dle zvolené normy s ohledem na daná zatížení a typ zařízení (stabilita, náhlý lom, vibrace aj.), a to vhodnou a přiměřenou formou v dalších odstavcích.
- Na závěr části výpočtové zprávy o výpočtu napětí a jeho hodnocení pro každou část nebo uzel zařízení se uvede stručné zhodnocení prezentovaných výsledků.

Specifika některých druhů zařízení jaderných elektráren (čerpadla, armatury aj.) mohou vést k některým úpravám výpočtových zpráv, případně k jejich doplnění. Výše uvedené hlavní části musí však být vždy zachovány.

7.5.6. Závěry průkazné dokumentace a návrhy na nápravná opatření

V závěrečné části průkazné dokumentace se stručně zhodnotí splnění účelu a hlavních cílů výpočtu nebo měření, které byly stanoveny a popsány v úvodní části dokumentace. V závěrečné části se zobecní výsledky provedených posouzení pevnosti, životnosti a seismické odolnosti nebo hodnocení všech mezních stavů.

V závěru se jednoznačně uvede prohlášení, že analyzované zařízení vyhovuje všem limitám a kritériím, které jsou předepisovány použitou normativní dokumentací, všem předpisům a požadavkům na průkaznou dokumentaci.

V případě nutnosti se specifikují požadovaná ověřovací měření během provozu a navrhnou se diagnostická měření po specifikovanou dobu provozu. Určí se místa, která musí podléhat nedestruktivním kontrolám během provozu JE a stanoví se potřebná perioda nedestruktivních kontrol. U vyměnitelných dílů se v případě potřeby určí periody jejich výměn z důvodu vyčerpání životnosti. Popíše se význam výsledků z hlediska životnosti zařízení a z hlediska provozování.

V případě, že se během zpracování výpočtů průkazné dokumentace dospěje k nevyhovujícím výsledkům, musí se na daném zařízení / potrubním systému provést nápravná opatření, která pak následně vedou k výsledkům vyhovujícím. Tato opatření spočívají v konstrukčních změnách, ve změně zatížení, aj. V této části jsou pak stručně popsána, je uveden odkaz na příslušnou výkresovou dokumentaci, zápis či protokol o jednání. Vhodné je také uvést výstižné schéma s navrhovanou úpravou.

7.6. Potrubní systémy

Následující text byl převzat a upraven z dokumentace [27].

7.6.1. Struktura průkazné dokumentace potrubních systémů

Průkazná dokumentace potrubních systémů má oproti tlakovým zařízením svoje specifika a je uváděna zvlášť. Jedná se většinou o opakované výpočty generující velké množství výsledků, takže v průkazné dokumentaci se tak detailně nepopisují výpočtové modely, neanalyzují se přechodové režimy a nehodnotí se velké množství mezních stavů. Průkazná dokumentace potrubních systémů má zpravidla následující strukturu:

- titulní listy

- úvodní list
- zadávací specifikační list
- výpočtová část (modelování)
    - všeobecné údaje
    - obecný popis výpočtového modelu
    - popis uložení potrubí a podpůrné ocelové konstrukce
    - popis modelů (uložení a armatury)
- výpočtová část (přehled vypočtených veličin a jejich hodnocení)
    - interakce a posuvy potrubí na podpěrách
    - účinky potrubí na uložení
    - účinky potrubního systému na závěsné a podpěrné konstrukce
    - účinky potrubního systému na hrdla komponent
    - účinky potrubního systému na ostatní opory
- posouzení armatur
    - kontrola zatížení nátrubků armatur
    - posouzení zrychlení armatur při seismické události
- posouzení ekvivalentní délky navazujících potrubních větví nezahrnutých do výpočtového modelu
- specifikace kritických řezů a jejich hodnocení
- závěr
- literatura
- přílohy

Následující část detailněji popisuje strukturu průkazné dokumentace potrubních systémů.

7.6.2. Úvodní list výpočtového potrubního systému

Úvodní list průkazné dokumentace potrubních systémů obvykle obsahuje:

- Název a označení řešeného dílčího provozního souboru
- Pořadové číslo výpočtového potrubního systému
- Umístění řešeného potrubního systému – stavební objekt, zóna, místnost
- Projekční označení posuzovaných potrubních větví
- Hranice a návaznosti řešeného potrubního systému
- Číslo výkresu výpočtového potrubního systému
- Účel zpracování průkazné dokumentace v rámci zajištění jaderné bezpečnosti
- Stručná charakteristika potrubního systému

- Zdůvodnění revize

Úvodní list výpočtového potrubního systému musí vycházet z návrhové specifikace potrubního systému.

7.6.3. Zadávací specifikační list potrubního systému

Zadávací specifikační list potrubního systému musí vycházet z návrhové specifikace potrubního systému. Obvykle uvádí následující informace:

- Použité materiály potrubních prvků.
- Zatěžovací režimy, montážní teplota. Obvykle se uvádí tlaky a teploty pro jednotlivé provozní stavy a tlakové zkoušky. Vždy jsou konzervativně uvažovány výpočtové parametry, které jsou vyšší nebo stejné jako maximální pracovní parametry. Dále jsou zde uvedeny počty jednotlivých cyklů.
- Ostatní zatížení potrubního systému (médium, izolace, osamělá břemena jako zpětné klapky, armatury, clony, redukce atd., posuvy potrubních uložení např. hrdel komponent, seismicita – umístění potrubního systému).
- Rozměry potrubí a kolen, zeslabení.
- Specifikace uložení potrubí. Jsou specifikována veškerá uložení např. pevné body, kluzné podpěry, vedení, pružinové závěsy, táhla, tlumiče, hrdla atd.
- Specifikace podpůrných ocelových konstrukcí.
- Typové podpůrné ocelové konstrukce mohou být specifikovány pomocí odkazů na vhodnou literaturu typu konstrukce. Pokud použitá literatura není všeobecně dostupná, potom musí být dodána s průkaznou dokumentací. Atypické konstrukce jsou specifikovány pomocí výkresové dokumentace, která je součástí příloh.
- Popis armatur. Jsou uváděny technické specifikace všech armatur. Především jsou uvedeny údaje nutné z hlediska zatížení řešeného potrubního systému. Jedná se o zatížení vyplývající z umístění armatury v gravitačním poli, zatížení vyplývající ze seismického buzení popř. zatížení vyplývající z vlastní práce armatury.
- Další speciální údaje nezbytné k provedení kvalitní pevnostní analýzy řešeného potrubního systému.

7.6.4. Popis výpočtového modelu potrubních systémů

Tato část průkazné dokumentace potrubních systémů uvádí všeobecné údaje týkající se analyzovaného potrubí, jako je použitý výpočtový program, jeho číslo, použité normativní dokumenty, metodiky, postupy apod. Dále jsou uváděny hlavní zásady tvorby výpočtového modelu potrubních systémů. V této části dokumentace se uvádí:

- geometrie;
- okrajové podmínky;
- způsob aplikace MKP;
- zatížení statické, seismické, popř. jiné;
- důležité předpoklady z hlediska pružnosti, pevnosti atd.;

- zavedení uložení potrubí s definovanými posuvy do výpočtu (např. hrdla komponent);
- zatěžovací stavy;
- odezva potrubí;
- popř. další.

Dále se uvádí popisy modelů jednotlivých uložení, jak byly uvažovány ve výpočtu. Jednoznačně je popsán každý stupeň volnosti uvažovaný jako deformační okrajová podmínka, např. nulový posuv, nulová rotace, posuv dané velikosti (např. hrdlo komponent), translační (rotační) tuhost, stupeň volnosti bez omezení, matice tuhosti, předpětí (např. pružinový závěs), popř. způsob modelování navazující nebo podpůrné konstrukce atd.

Jsou popsány modely jednotlivých typů armatur. Pro každou armaturu, která není uvažována pouze hmotou v ose potrubí (např. armatura s elektropohonem), je detailně popsán model vystihující její působení jak v gravitačním poli, tak např. při seismické události.

7.6.5. Přehled vypočtených výsledků a jejich hodnocení

V přehledné formě jsou uváděny účinky potrubního systému na závěsné a podpěrné konstrukce. Pro každé uložení, průchodky a hrdla komponent je uváděno:

- identifikace uložení (číslo výpočtového uzlu a projektové označení);
- typ uložení (v případě typového uložení je uveden odkaz na normu popř. výpočet únosnosti, pro atypické uložení je únosnost řešena individuálně);
- typ podpůrné ocelové konstrukce včetně využití (v případě typové ocelové konstrukce je uveden odkaz na stanovené únosnosti konstrukce, v případě atypické podpůrné ocelové konstrukce je uveden odkaz na výpočet – posouzení ocelové konstrukce a výkresovou dokumentaci, může být v přílohách);
- pro každý zatěžovací stav řešeného uložení je vypsána teplota, tlak;
- posuvy ve směru souřadných os x, y, z;
- síly (reakce) potrubí ve směru souřadných os x, y, z;
- momenty (reakce) potrubí kolem souřadných os x, y, z;
- hodnocení ekvivalentních délek připojeného potrubí o menší světlosti nezahrnutého do výpočtového modelu.

Dále tato část průkazné dokumentace uvádí posouzení interakcí a posuvů potrubí na podpěrách, hodnocení silových a momentových účinků potrubí na nátrubky armatur vzhledem k přípustným hodnotám, které jsou uvedeny v OTT-87, maximální dosažené zrychlení všech částí každé armatury při seismické události. I zrychlení je kontrolováno na limity uvedené v OTT-87.

Nejsou-li armatury dodávány dle OTT-87, potom jsou dodávány dle jiných technických dodacích podmínek popř. jiné NTD nebo NP-068-05 z roku 2005[31]. V každém případě musí dodavatel armatur prokázat splnění všech požadavků stanovených v technických dodacích podmínkách dodaných armatur.

7.6.6. Specifikace kritických řezů potrubních systémů

V odstavci je uveden způsob určení dovolených namáhání a kritéria pro kategorizovaná napětí a všechny zatěžovací stavy.

V průkazné dokumentaci je vždy uveden stručný přehled maxim dosažených napětí po jednotlivých kategoriích a to pro všechny zatěžovací stavy. Je vždy uvedena lokalizace dosažených maxim pro jednotlivé typy komponent (přímé trubky, kolena, T-kusy).

V případě, že se vyskytnou další prvky (komponenty), jež je nutno posoudit, je tyto nutno ve zprávě uvést a posoudit. Jedná se např. o kompenzátory, hadice, speciální vestavěné spotřebiče, jež se jinde neposuzují atd.

V případě, že výpočtový potrubní systém náleží do nějaké seismické kategorie, je nutno při hodnocení vypočtených veličin uplatnit postupy a požadavky dle platných seismických metodik.

7.6.7. Závěr

V závěrečném odstavci je provedeno shrnutí dosažených výsledků včetně výroku, že potrubní systém vyhovuje navrženému zatížení. Dále se uvádí doplňující požadavky na montáž, sledování a údržbu potrubí apod.

7.7. Průkazná dokumentace pro ocelové konstrukce

Následující text byl převzat a upraven z dokumentace [27].

Pod kontrolními výpočty ocelových konstrukcí se rozumí jejich zhodnocení z hlediska statické a seismické odolnosti. Kontrolní výpočet dokladuje bezpečnost konstrukce jako celku včetně uložení i jednotlivých prvků ocelové konstrukce na všechna v úvahu přicházející zatížení. Průkazná dokumentace pro ocelové konstrukce obvykle obsahuje:

- titulní listy
- úvodní údaje (hranice, umístění, funkce, konstrukce)
- schéma konstrukce
- základní normy použité k vypracování průkazné dokumentace
- použité výpočtové programy
- konstrukční a projekční podklady
- použité materiály
- zatížení konstrukce
- postup výpočtu a posouzení konstrukce
- popis případného nápravného opatření
- závěr
- seznam podkladů
- přílohy

7.7.1. Úvodní údaje

Úvodní údaje obsahují popis umístění konstrukce – označení místnosti, stavebního objektu a podlaží, dále popis hranice posuzované ocelové konstrukce, popis konstrukce a způsobu jejího uložení, popř. návazností na další konstrukce a popis hranice dodávky finálního dodavatele.

V části úvodních údajů se dále musí uvést stručný popis funkce ocelové konstrukce, aby byly zřejmé hlavní zatěžovací stavy působící na konstrukci. Součástí úvodních údajů je i případný stručný popis přímo připojených zařízení.

7.7.2. Schéma konstrukce

Schéma konstrukce je názorným doplněním popisu konstrukce. Jedná se často o půdorys ocelové konstrukce doplněný důležitými řezy a detaily. Nesmí chybět jednoznačné znázornění uložení a kotvení konstrukce, případně návazností na další konstrukce. Schéma musí obsahovat základní rozměry konstrukce.

7.7.3. Základní normy použité k vypracování průkazné dokumentace

Uvedou se normy, předpisy, metodické postupy nebo v návrhové specifikaci vzájemně odsouhlasená pravidla současné vědy a techniky – jejich názvy, vydavatel, rok vydání, podle kterých se provádí hodnocení jednotlivých mezních stavů. V případě použití většího počtu norem se v této kapitole uvádí jen nejdůležitější, na ostatní se odkáže dle seznamu použitých podkladů.

7.7.4. Použité výpočtové programy

Uvedou se všechny výpočtové programy použité při výpočtech. Uvede se vždy jejich název, odkaz na jejich zpracovatele v seznamu podkladů a odkaz na podklady. U programů, které nejsou standardně komerčně dosažitelné je nutno uvést reference.

7.7.5. Konstrukční a projekční podklady

V dané kapitole se uvedou všechny použité výkresy, dokumenty a jiné podklady nutné pro vypracování kontrolního výpočtu ocelové konstrukce.

7.7.6. Použité materiály

V této části se formou tabulek uvedou všechny použité materiály s uvedením jejich značky podle platných standardů.

V tabulce musí být uvedeny mechanické a fyzikální vlastnosti materiálů (v závislosti na teplotě) s uvedením zdroje těchto údajů. Minimálně se uvede mez pevnosti v tahu, mez kluzu, modul pružnosti v tahu, součinitel délkové roztažnosti a měrná hmotnost materiálu. Je nutno uvést jak specifikace základního materiálu konstrukce, tak i materiálu spojovacích prvků.

7.7.7. Zatížení konstrukce

Tato důležitá část výpočtové zprávy musí obsahovat podklady, ze kterých byly údaje o zatížení převzaty. Důležité dokumenty sloužící jako podklady pro určení zatížení jsou obvykle umístěny v přílohách výpočtové zprávy na prvních místech.

Zatěžovací stavy musí být uvedeny přehledně včetně součinitelů zatížení dle použité normy a včetně místa působení zatížení. Zatížení je rozděleno na statické a seismické (pokud je ocelová konstrukce zařazena do některé seismické kategorie). Ve shodě s pravidly, uvedenými v předpisu použitém pro vypracování kontrolního výpočtu, jsou vytvářeny kombinace jednotlivých zatěžovacích stavů. Při popisu zatížení ocelové konstrukce nesmí být opomenuta teplota, při níž bude konstrukce po dobu své životnosti působit. Je nutno jasně uvést hmotnost konstrukce včetně spojovacího materiálu a nenosných částí konstrukce, popř. hmotnosti nesené technologie. Dále musí být zcela transparentně uvedeno, která stálá a nahodilá zatížení jsou pouze silového charakteru a která jsou hmotného charakteru (důležité pro seismickou analýzu).

7.7.8. Postup výpočtu a posouzení konstrukce

V této části výpočtové zprávy je uveden výpočet a posouzení jednotlivých prvků ocelové konstrukce dle zvolených norem, případně metodik, a to nejčastěji ve formě výpisů z příslušného výpočtového programu. Často je podrobný výpis z výpočtového programu o výpočtu a posouzení ocelové konstrukce obsahem některé přílohy. V takovém případě obsahuje popisovaná část výpočtové zprávy posouzení vybraných nejvíce namáhaných prvků konstrukce. Kontrolní výpočet musí obsahovat i posouzení všech spojů konstrukce a posouzení kotvení.

Posouzení ocelové konstrukce obsahuje posouzení z hlediska mezních stavů únosnost i použitelnosti pro všechny navrhované zatěžovací stavy a jejich kombinace. Jednotlivé prvky ocelové konstrukce musí být posouzeny jak z hlediska napětí, tak i z hlediska stability. Pokud je konstrukce zařazena do některé seismické kategorie provede se i stanovení hraniční seismické odolnosti a to pro všechna hodnocená místa, veličiny a použitá kritéria.

Dále popsaný způsob zahrnuje v jednom odstavci výpis vnitřních sil i jejich posouzení. Tento způsob je přehledný, jednoduchý a srozumitelný.

Průkazná dokumentace v části výpočtu a posouzení ocelové konstrukce musí obsahovat:

- schéma modelu konstrukce, nejlépe prutové schéma i prostorové zobrazení modelu;
- popis vytvořeného modelu z hlediska MKP - počet prvků (např. prutů a uzlů) použitých pro sestavení modelu, popis okrajových podmínek modelu, zdroj podkladů použitých pro sestavení výpočtového modelu, hmotnost modelu (musí odpovídat hmotnosti uvedené v projekční nebo konstrukční dokumentaci včetně nesené technologie);
- popis postupu výpočtu a posouzení konstrukce: použité předpisy a metodiky, postup metody výpočtu deformací, napětí, modální analýzy a analýzy seismických účinků, zdůvodnění použitých zjednodušení; z popisu musí být zřetelný celý metodický postup analýzy, postup posouzení konstrukce a jejích jednotlivých prvků, postup stanovení hraniční seismické odolnosti (pokud je ocelová konstrukce zařazena do některé seismické

kategorie), uvedou se všechny použité součinitele pro analýzu vnitřních sil a získání únosností použitých pro posouzení konstrukce;

- velmi důležité je v případě stanovení seismické odezvy metodou spekter odezvy (tj. použití modální analýzy) zdokumentovat splnění kritérií dostatečnosti počtu použitých vlastních tvarů. Je nutno uvést celkovou hmotnost modelu, efektivní hmotnost modelu v jednotlivých směrech souřadných os a efektivní dynamickou hmotnost modelu v jednotlivých směrech souřadných os;
- kritéria statické a seismické odolnosti, tj. výpis položek jednotlivých posudků pro statické a případně i seismické kombinace, včetně odkazu na použité předpisy a metodiky;
- výsledky výpočtu vnitřních sil a deformací se uvedou přehlednou a srozumitelnou formou; v přílohách zpravidla graficky, v textové části formou tabulek;
- z prezentovaných výsledků (obrázky, grafy, tabulky) musí být zřejmé, kde se nacházejí místa nejvíce exponovaná (z hlediska napětí, stability, deformací, aj.) a v kterých kombinacích zatěžovacích stavů;
- v tabulkách s výsledky výpočtu deformací, vnitřních sil a napětí (viz výše) se provede jejich porovnání s příslušnými únosnostmi a limitními hodnotami, u každého hodnoceného prvku či řezu musí být uvedeno, že hodnocení vyhovuje;
- pro všechna hodnocená místa, veličiny a kritéria se provede výpočet hraniční seismické odolnosti včetně hodnocení;
- znázornění míst posouzení každého mezního stavu je povinné – ukazují se tak místa, která by měla být brána v úvahu při pravidelných nedestruktivních provozních kontrolách (nebo z nich tato vybírána);
- v závěru části zprávy o výpočtu a posouzení konstrukce se uvede stručné zhodnocení prezentovaných výsledků.

7.7.9. Popis případného nápravného opatření

V případě, že se během zpracování výpočtů průkazné dokumentace dospěje k nevyhovujícím výsledkům, musí se na dané konstrukci provést nápravná opatření, která pak následně vedou k výsledkům vyhovujícím. Tato opatření spočívají v konstrukčních změnách (tj. změnách uspořádání konstrukce, použití jiných profilů apod.), ve změně zatížení, aj. V této části jsou pak stručně popsána, je uveden odkaz na příslušnou výkresovou dokumentaci, zápis či protokol o jednání. Vhodné je také uvést výstižné schéma dané části konstrukce s úpravou. Je však nutno zdůraznit, že celý předkládaný soubor výpočtových zpráv se vztahuje pouze na vyhovující konstrukce po provedení nápravného opatření.

7.8. Hlavní nedostatky průkazné dokumentace

Následující kapitola je zpracována na základě více jak 15ti leté zkušenosti pracovníků ÚAM Brno z provádění nezávislých posouzení a oponentur průkazných dokumentací dodávaných na jaderné elektrárny. V následujících odrážkách jsou uvedeny pouze ty nejčastější nedostatky:

- Nedostatečně popsané vstupní údaje, scházející odkazy na použitou literaturu

- Absence Návrhové specifikace, nejasnost v zadání úlohy ze strany objednavatele
- Nedostatečně popsaný metodický postup výpočtu napětí a následného hodnocení mezních stavů
- Absence popisu stanovení limit a kritérií pro jednotlivé mezní stavy
- Není popsána hranice posouzení, co vše je v dokumentaci obsaženo
- Používání zahraničních normativních dokumentací v kombinaci s českými standardy
- Nedostatečně popsaný výpočtový model a popis jeho zjednodušení
- Nedoložení verifikace použitých vstupních dat do výpočtu
- Nedůsledná citace vstupních podkladů pro zpracování průkazné dokumentace
- Uvádění výpisů z výpočtových programů, často v anglickém nebo jiném jazyce
- Uvádění obrázků bez jejich popisu a významu v dokumentaci
- Nehodnocení některých důležitých mezních stavů

8. Specifické požadavky na průkaznou dokumentaci

8.1. Šroubové spoje

V případě šroubových spojů je požadavek na průkaznou dokumentaci rozšířen o průkaz těsnosti.

U přírubových spojů je vedle požadavků na pevnost spoje také nutno prokázat požadovanou těsnost spoje, která je dána obvykle dodržením požadované třídy těsnosti – v normách obvykle se označuje L. Třídu těsnosti zadává objednavatel průkazné dokumentace. Třída těsnosti je dána únikem media přes těsnění v jednotce miligramů za sekundu na metr [mg/s·m].

Údaje výrobců těsnění musí platit pro použité těsnění a provozní podmínky. Protože charakteristické hodnoty se určují z technických důvodů ve zkouškách pomocí plynných medií, je v případě požadavku na třídu těsnosti nutné přiřadit požadované třídě těsnosti provozního média příslušnou třídu těsnosti zkušebního média. V NTD A.S.I. se zavedlo a je doporučeno požadovat :

- pro vodu $L_{1,0}$ při zkoušce dusíkem,
- pro zařízení v BT1 a BT2 a pro vodní médium $L_{0,1}$ při zkoušce dusíkem,
- pro horkou vodu s radioaktivními částečkami $L_{0,1}$ při zkoušce dusíkem,
- pro páru $L_{0,01}$ při zkoušce dusíkem,
- pro vodík $L_{0,01}$ při zkoušce dusíkem.

Úkolem průkazu těsnosti je tedy určit velikost předepnutí, která musí na těsnění vyvolat potřebné napětí pro utěsnění spoje, nejlépe v závislosti na požadované třídě těsnosti. Dále je třeba určit napětí při předepsaných provozních projektových stavech SKK, což je časová změna předepnutí v závislosti na vnitřním přetlaku, vnějším namáhání a hodně teplotních polí a teplotách a relaxačních vlastnostech částí spoje – šroubů, přírub, těsnění. Hodnoty

kontaktního tlaku musí být větší než minimální napětí na těsnění pro dosažení těsnosti, v závislosti na požadované třídě těsnosti a ty jsou závislé na celkovém napětí na těsnění při předepnutí spoje. Z uvedeného plyne významnost stanovení utahovací síly pro zabezpečení těsnosti spoje.

Ve výpočtu musí být zohledněny plastické deformace těsnících materiálů dosahované za studena během procesu utahování i plastické deformace dosahované během provozních podmínek se zahrnutím vlivu relaxace těsnění.

Pro výběr těsnění a výpočet spoje s těsněním jsou potřebné charakteristické hodnoty, které jsou definovány v NTD A.S.I. Sekce V a ČSN EN 13 555. Tyto normy obsahují také údaje k provedení experimentů a vyhodnocení výsledků. Charakteristické hodnoty musí být udány výrobcem těsnění pro použitá těsnění. Pro plochá těsnění (měkká nebo kombinovaná) bylo prokázáno, že jejich hodnoty jsou prakticky nezávislé na průměru těsnění, ale závislé na výšce a šířce těsnění.

Potřebné deformační vlastnosti těsnění:

- Q_{smax} - maximální povrchový (utahovací) tlak, který může při stanovených teplotách působit na těsnění bez jeho zhroucení nebo selhání způsobených tlakem, bez nepřípustného proniknutí těsnění do otvoru (vnitřní cesty) nebo bez poškození namáhané plochy těsnění tak, že hrozí jeho selhání.
- E_G - modul pružnosti při uvolňování zatížení, který se určuje na základě zotavení tloušťky těsnění mezi počátečním kompresním povrchovým tlakem a odlehčením na třetinu počátečního povrchového (utahovacího) tlaku.
- P_{QR} - součinitel zohledňující vliv relaxace zatížení těsnění mezi utažením šroubového spoje a dlouhodobým účinkem provozní teploty.

Těsnící vlastnosti těsnění:

- $Q_{min(L)}$ - požadovaný minimální povrchový (utahovací) tlak působící na těsnění při montáži při teplotě okolního prostředí, aby těsnění dosedlo na nerovnosti čelní plochy příruby a utěsnilo vnitřní cesty tak, aby třída těsnosti odpovídala požadované úrovni L pro vnitřní zkušební tlak,
- Q_{Smin} - požadovaný minimální povrchový (utahovací) tlak působící na těsnění při provozních tlakových podmínkách, to je po odlehčení a při provozní teplotě tak, aby se při vnitřním zkušebním tlaku udržela požadovaná třída těsnosti L.

Obě tyto charakteristické hodnoty se určují za teploty okolí a při provozní teplotě. Vliv teploty na napětí na těsnění (relaxace) je obsažen v P_{QR}.

Charakteristické hodnoty těsnění je nutno změřit experimentálně.

Průkaz těsnosti musí obsahovat:

- zajištění napětí na těsnění při montáži potřebné k dosažení těsnosti, v závislosti na požadované třídě těsnosti L,
- zajištění většího napětí na těsnění než je potřebné napětí na těsnění pro zajištění těsnosti, v závislosti na požadované třídě těsnosti L, při relevantních provozních stavech.

8.2. Ocelové konstrukce

Podpůrné ocelové konstrukce komponent většinou bývají speciální jednoúčelové ocelové konstrukce, sloužící pouze k přenesení zatížení od nesené technologie do stavby. Obvykle se jedná o jednodušší ocelové konstrukce s relativně vysokými nároky na únosnost.

Pro zpracování průkazné dokumentace ocelových konstrukcí lze doporučit soubor Eurokódů. Pro zatížení je určen Eurokód 1 – Zatížení konstrukcí, pro provádění kontrolního výpočtu je doporučeno použití Eurokódu 3 – Navrhování ocelových konstrukcí.

Pravidla pro posuzování ocelových konstrukcí se liší od pravidel pro výpočty tlakových nádob, nádrží, potrubí apod. Zatímco potrubí a komponenty jsou nejčastěji posuzovány dle dovolených namáhání pro jednotlivé mezní stavy, ocelové konstrukce jsou zpravidla navrhovány dle mezních stavů. Pro splnění požadavků na spolehlivost konstrukce z hlediska mezních stavů je nejčastěji voleno ověřování metodou dílčích součinitelů.

Mezní stavy se musí vztahovat k návrhovým situacím, které jsou odlišné od rozdělení na NPP, APP, HP a ZP. S ohledem na okolnosti, se rozlišují následující návrhové situace:

- trvalé návrhové situace – za podmínek běžného působení;
- dočasné návrhové situace – za dočasných podmínek působení, např. montáž, opravy;
- mimořádné návrhové situace – za výjimečných podmínek, např. požár, výbuch, náraz nebo následky omezených poruch;
- seismické návrhové situace.

Mezní stavy ocelových konstrukcí jsou stavy, po jejichž překročení již konstrukce nesplňuje návrhové podmínky spolehlivosti. Rozlišují se tyto mezní stavy:

- mezní stavy únosnosti,
- mezní stavy použitelnosti.

Mezní stavy únosnosti jsou ty mezní stavy, které se vztahují ke zřícení nebo jiným způsobům porušení konstrukce, jež může ohrozit bezpečný provoz. Stavy předcházející zřícení konstrukce, které se pro zjednodušení uvažují namísto vlastního zřícení, se rovněž pokládají za mezní stavy únosnosti. Mezní stavy únosnosti, kterým je třeba věnovat pozornost, jsou:

- ztráta rovnováhy konstrukce nebo některé její části, uvažované jako tuhé těleso;
- vnitřní porucha konstrukce, nadměrné deformace popř. ztráta tvarové stability konstrukce nebo některé její části, včetně podpor a základů;
- porucha vyvolaná únavou nebo jinými časově závislými účinky.

Mezní stavy použitelnosti odpovídají stavům, po jejichž překročení již nejsou splněny předepsané podmínky použitelnosti. Patří k nim zejména:

- přetvoření popř. průhyby, které ovlivňují vzhled nebo účelné užívání konstrukce (včetně špatné funkce strojů a ostatní technologie nebo obsluhy);
- kmitání, která obtěžují osoby, poškozuje budovy nebo jejich technologické vybavení nebo omezuje jejich funkčnost;

- poškození, která mohou nepříznivě ovlivnit vzhled, trvanlivost nebo provozuschopnost konstrukce.

Průkazná dokumentace ocelových konstrukcí se musí vyjádřit ke všem mezním stavům.

8.3. Armatury

Většina armatur implementovaných na JE byla dodávána podle OTT-87 [29]. Pro dodávku většiny armatur všeobecně platilo a nadále platí, že pokud jsou armatury vyrobeny a odzkoušeny podle OTT-87, jsou považovány za staticky a seismicky odolné. Podmínkou ovšem je, že jsou splněny ostatní související podmínky OTT-87 (např. svislé podepření pohonu, je-li vodorovně vyložen apod.).

Dokument OTT-87 popisuje postup statických a seismických výpočtů nebo experimentů, které jsou dokladem statické a seismické odolnosti. OTT-87 také uvádí maximální přípustné zatížení hrdel armatur pro jednotlivé provozní stavy (NPP, NPP+PZ, NPP+MVZ a HP). V dokumentu jsou také uvedeny časové průběhy přechodových provozních projektových stavů, kterým má dodávaná armatura vyhovět. Nevýhodou OTT-87 ale je, že uvádí přehled přechodových provozních stavů a jejich počty opakování pouze pro bloky typu VVER-1000MW, nikoliv pro VVER440MW. Pro použití na blocích typu VVER-440MW je třeba tyto přechodové stavy upravit, uvést do Návrhové specifikace a nechat schválit objednavatelem, jak to bylo provedeno pro JE Mochovce [29], nebo počítat armatury na vyšší provozní parametry odpovídající VVER-1000MW.

Při znalosti přesného umístění armatury do provozního systému s přesně specifikovanými provozními průběhy (např. dÚP 407), lze za pomocí Návrhové specifikace a následného schválení použít tyto provozní průběhy.

Seismická odolnost armatur se potvrzuje výpočtem nebo experimentálně. Seismický výpočet nebo protokol o provedené zkoušce je doklad o seismické odolnosti armatury. Protokol nebo výpočet může být vyhotoven pro typové armatury.

Funkční způsobilost armatur (např. na prostředí nebo při seismické události) se obvykle potvrzuje experimentálně. Lze však s pomocí projektanta definovat kritéria funkčnosti armatury při seismické události a tyto kritéria ověřit patřičnými výpočty. Tento postup většinou přichází v úvahu při velkých tunových hmotnostech armatur nebo při dodávce jednoho kusu armatury.

U armatur, které nejsou dodávány podle OTT-87 musí být provedena průkazná dokumentace podle zařazení armatury do BT a podle seismické kvalifikace. Výrobce musí dodat maximální přípustné zatížení hrdel armatury, které musí být kontrolováno při výpočtu potrubního systému, kde je armatura implementována. Pokud výrobce přípustná zatížení nezná, stanoví se síly a momenty výpočtem z přípustných limit napětí pro membránová (síly) a membránová + ohybová (momenty) napětí. Přípustná zatížení hrdel se musí stanovit pro NPP, APP, HP a ZP.

Obvykle jsou na seismicky odolných potrubních systémech používány armatury připojené svarem. Ve zvláštních případech je ale nutné použít šroubový spoj i u seismicky odolných potrubních systémů – výměnná síta před komponentou, klapky apod. V tom případě je třeba v průkazné dokumentaci definovat utahovací momenty a dokladovat těsnost spoje při seismické události.

Dodává-li výrobce armatury i protikusy přírub, zajišťuje průkaz těsnosti výrobce armatury. Pokud ale protipříruby k armatuře navrhuje projektant, zajišťuje se průkaz těsnosti zvláštní zprávou nebo kapitolou v rámci výpočtu potrubního systému.

8.4. Potrubní systémy

Potrubní systémy jsou nejčastěji se vyskytujícím se zařízením na JE. Z dosavadní praxe plyne, že nejčastěji k poškození nedochází u samotného potrubí, ale u jejich uložení. Uložení potrubních systémů jsou speciální potrubní komponenty, které zprostředkují interakci mezi potrubím a stavbou nebo podpěrnou konstrukcí. Jedná se hlavně o pružinové závěsy, třmeny, táhla, kluzné podpory, podpory s vedením, pevné podpory apod. Poškození závěsů je velmi nežádoucí, neboť poškození jednoho závěsu vede k přetížení těch sousedních. V případě vysokého provozního zatížení těchto závěsů může dojít k lavinovitému poškozování závěsů, které může skončit až ztrátou integrity potrubního systému.

Nejčastěji je na českých jaderných elektrárnách evidováno poškození pružinových závěsů. Toto poškození je v drtivé většině spojeno s provozními vibracemi, které se ve fázi zpracování průkazné dokumentace většinou neposuzují, neboť není známo buzení systému za provozu. Z tohoto důvodu doporučujeme se tomuto jevu při posuzování uložení potrubních systému v průkazné dokumentaci věnovat. Je doporučeno limitovat provozní vibrace úrovní rychlostí, která se během provozu dá lehce pochůzkovým měřidlem změřit. Zároveň je třeba doporučit po implementaci nových systémů nebo po jejich rekonstrukci provádění provozních měření vibrací při všech provozních stavech, aby se negativní provozní vibrace vyloučily nebo aby se navrhly nápravná opatření k jejich odstranění nebo potlačení jejich účinků.

K poškození a ke ztrátě integrity také dochází u potrubí malého průměru, nejčastěji u impulsního potrubí. I toto poškození je většinou způsobeno provozními vibracemi. Impulsní potrubí je napojeno na potrubí většího průměru, které budí impulsní potrubí. Je-li v blízkosti napojení umístěna oddělovací hmotnější armatura, dochází často k porušení v oblasti svarového napojení impulsního potrubí na hlavní potrubí. Těmto místům je třeba také věnovat pozornost při hodnocení potrubí.

Dalším důvodem ztráty integrity impulsních potrubí je fretting. Opět je tento jev spojen s provozními vibracemi. V důsledku otěru impulsního potrubí o uložení, nejčastěji třmen, dojde k zeslabení tloušťky natolik, až dojde ke ztrátě integrity.

Z uvedených zkušeností vyplývá význam hodnocení možných provozních vibrací a nutnost je v průkazné dokumentaci hodnotit a předepisovat pro provoz jejich limity.

8.5. Kotvení do stavby

Správné kotvení aparátů a potrubí do stavby je důležitým faktorem jeho bezpečnosti, a to zejména při kombinacích vlivu vlastní tíhy kotveného aparátu s dynamickými účinky rázů v zařízení, s provozními vibracemi a při mimořádných účincích, především pak seismických. Kotvení do stavby se nachází na hranici mezi technologickou a stavební dodávkou a proto této problematice musí být věnována zvýšená pozornost. Pro hodnocení kotvení jsou možné dvě výchozí situace:

a) kotevní šrouby, které jsou součástí dodávky technologického zařízení a instalují se do předem připravených otvorů. Otvory jsou na stavbě připraveny;

b) kotevní prvky, nejčastěji předem zabetonované desky, pasy či průchodky s kotevními pruty v betonu, jež jsou součástí stavební dodávky a slouží k přivaření nebo přišroubování zařízení.

Obecně platí, že posouzení kotevních šroubů provádí organizace, která provádí zálivku připravených otvorů (případ a) nebo dodavatel stavby (případ b).

Výpočet kotvení technologického zařízení do stavby je obvyklý pevnostní výpočet a v technologické části jej musí provést zhotovitel technologického zařízení. Výpočet se skládá ze čtyř částí:

1) určení výpočtového namáhání kotevních prvků pro daná zatížení a účinky
2) určení únosnosti kotevních prvků
3) porovnání vypočteného namáhání kotevních prvků s únosností
4) stanovení požadavku na montáž

Kotevním prvkem v technologické části výpočtu kotvení zařízení do stavby rozumíme obvykle kotevní šroub nebo svar, připevňující zařízení k zabudovaným deskám, pasům nebo ocelovým konstrukcím. Kotevní prvky jsou obvykle namáhány na tah (vytržení) nebo na smyk. Při výpočtu se předpokládá pružné chování materiálů.

8.6. Skutečné provozní zatížení

Ve výpočtech pro průkaznou dokumentaci se obvykle pracuje s projektovými provozními parametry a s počtem opakování provozních stavů bloku, který předpokládá projekt. Ve skutečném provozu se ovšem mohou vyskytovat i jiná provozní zatížení, než jaká byla uvažována v projektu. Ty jsou detekovány provozním měřením, které je na blocích instalováno.

Je-li průkazná dokumentace zpracovávána (revidována) během provozu zařízení a jsou-li známé výsledky provozních měření, měly by se vždy projektové předpoklady porovnat s provozním měřením. V případě významných odchylek od projektových parametrů musí průkazná dokumentace zahrnout i analýzu časových průběhů skutečných provozních zatížení a jejich počtu opakování.

9. Revize průkazné dokumentace

Průkazná dokumentace pevnosti, životnosti a seismické odolnosti, včetně vstupních údajů, musí být po dobu životnosti vybraného zařízení dostupná u zpracovatele výpočtu a zároveň archivována u provozovatele JE. Průkazná dokumentace musí být prováděna a předkládána jako úplná. V případě provádění revizí musí zpracovatel dokumentace postupovat podle schváleného postupu pro řízenou dokumentaci dle ČSN EN ISO:9001. Předchozí verze na elektrárně musí být zneplatněna. Průkazná dokumentace je předávána v písemné i elektronické formě podle požadavku objednavatele.

Je doporučeno v případě revizí průkazné dokumentace opět předávat revidovanou zprávu jako úplnou. Posílání jednotlivých revidovaných listů na elektrárny se žádostí o výměnu

se nedoporučuje, neboť vzhledem k pracovnímu vytížení toto není mnohdy možné, zapomene se to provést a pak průkazná dokumentace není aktuální.

Zároveň je doporučeno udržování seznamu aktuální průkazné dokumentace, včetně předchozích revizí. Bude tak zajištěna přehlednost historie změn na VZ.

10. Nezávislá kontrola průkazné dokumentace

Obecně by měl být oponentní posudek zpracován pro průkaznou dokumentaci VZ zařazených do BT1 a BT2. Posudek by měl být zpracován na základě předaných podkladů. Odtud plyne požadavek na srozumitelnost, přehlednost, úplnost, jednoznačnost průkazné dokumentace. Oponentní posudek nemusí být zpracován, pokud se po metodické stránce jedná o opakovanou analýzu stejného VZ již jednou oponovanou – např. výpočet se po metodické stránce opakuje, liší se pouze mírně odlišnými vstupními daty. Pokud je použita nová nebo inovovaná metodika výpočtu, nebo nový postup hodnocení, je doporučeno provedení oponentního posudku.

Pro VZ zařazené do BT3 není nutné vypracovávat oponentní posudek, pokud to nebudou vyžadovat jiné okolnosti. Oponentní posudek lze požadovat, pokud je VZ zařazeno v BT3, ale je v kategorii seismické odolnosti 1a.

Organizace nebo osoba oponenta musí být dohodnuta a schválena objednavatelem průkazné dokumentace (ČEZ, a.s.).

Oponentní posudek by měl být zaměřen na metodické postupy výpočtu a správnou aplikaci limit a kritérií použitého standardu. Posudek by neměl sklouzávat do připomínkování bezvýznamných maličkostí.

V případě důležitosti VZ a závažnosti provedené analýzy se doporučuje provedení úplného verifikačního výpočtu k ověření výsledků nezávislou organizací. Verifikační analýza by měla být provedena na základě informací, které jsou uvedeny v průkazné dokumentaci. Z tohoto důvodu je nutné uvádět úplné informace podle výše popsaného rozsahu.

11. Závěr

Předložená zpráva navazuje na předchozí vypracované metodiky. Zpráva si nedala za cíl popisovat jak provádět analýzu napětí a jak provádět hodnocení mezních stavů nebo degradačních mechanismů. Zpráva se zaměřila na formu a obsah průkazné dokumentace, aby hlavně bylo možné se lehce orientovat v předložených výsledcích. Ve zprávě jsou uvedeny nejčastější nedostatky, které se během zpracovávání průkazných dokumentací v posledních letech vyskytovaly.

S přehledností dokumentace se ulehčí provádění nezávislé oponentury třetí stranou nebo výpočtovou verifikací předložených výsledků. Z tohoto důvodu je kladen důraz na přehlednost výsledků a úplnost vstupních údajů.

12. LITERATURA

[1]	Požadavky na výpočty pevnosti, životnosti a seismické odolnosti, zpráva ÚAM Brno, 06/94, revize 1 (ETE 3510-1-0295-59)
[2]	Masopust R.: Požadavky na seismické výpočty a hodnocení seismické odolnosti stavebních konstrukcí a technologického zařízení JE Temelín a zásady jejich provedení, zpráva S&A, archivní číslo rep01-92.ete, revize 4, listopad 1996
[3]	Masopust R.: Návod pro hodnocení seismické odolnosti potrubí malého průměru vč. impulsního potrubí v ETE, arch. číslo rep33-96.ete, revize 0, listopad 1996
[4]	Masopust R.: Požadavky na hodnocení odolnosti (únosnosti) kotvení technologických zařízení ETE do stavby, zpráva S&A, archivní číslo rep04-95.ete, revize 3, listopad 1996
[5]	Masopust R.: Návod pro hodnocení seismické odolnosti potrubí malého průměru pro JE Temelín, zpráva S&A, archivní číslo rep12-93.ete, revize 1, listopad 1993
[6]	Junek L.: Aktualizované požadavky na zpracování výpočtové dokumentace pevnosti a životnosti zařízení jaderných elektráren ČEZ, zpráva ÚAM Brno, archivní číslo 3672/04, revize 2, Brno, červenec 2005
[7]	Zákon č. 263/2016 Sb. Atomový zákon
[8]	Vyhláška SÚJB č. 358/2016 Sb. o požadavcích na zajišťování kvality a technické bezpečnosti a posouzení a prověřování shody vybraných zařízení
[9]	Vyhláška č. 408/2016 Sb. o požadavcích na systém řízení
[10]	Vyhláška SÚJB č. 329/2017 Sb. o požadavcích na projekt jaderného zařízení
[11]	Hodnocení pevnosti zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER, NTD A.S.I., Sekce III, v aktuální edici
[12]	Stanovisko SÚJB k použitelnosti NTD A.S.I., ISBN 80-7073-098-6, Praha 2005
[13]	Svařování zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER, NTD A.S.I., Sekce I, v aktuální edici
[14]	Charakteristiky materiálu pro zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER, NTD A.S.I., Sekce II, v aktuální edici
[15]	Výpočet zbytkové životnosti zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER, NTD A.S.I., Sekce IV, v aktuální edici
[16]	Zkoušky materiálů NTD A.S.I., Sekce V, v aktuální edici
[17]	Vzduchotechnické systémy jaderných elektráren typu VVER NTD A.S.I., Sekce VI, v aktuální edici
[18]	Zvláštní případy (CASE), NTD A.S.I., ev.č. 1, označení NTD_ASI_Zvláštní_případy
[19]	Stanovisko SÚJB k NTD A.S.I., Sekce I až VI a Zvláštní případy“, č.j. SÚJB/OPJZ/27534/2013
[20]	Tengler M., Remišovský M.: Požadovaná spektra odezvy pro seizmickou kvalifikaci nově dodávaných a inovovaných zařízení, zpráva Stevenson and Associates, archivní číslo, rep078-04.ete revize 1, Plzeň, listopad 2004
[21]	Žákovec P.: Seizmické zadání pro nově dodávané a inovované zařízení JE Dukovany, zpráva SEDYC, archivní číslo R080-2005-12.edu, prosinec 2005
[22]	Masopust R.: Seizmické zadání pro nově dodávané a inovované zařízení JE Dukovany. Zpráva č. rep73-00.inv, revize 1, Stevenson and Associates, Plzeň, 2002.
[23]	Tengler M.: Požadavky na seizmické výpočty a hodnocení seizmické odolnosti stavebních konstrukcí a technologického zařízení JE Temelín, JE Dukovany a zásady jejich provedení, zpráva Stevenson and Associates, archivní číslo rep88-04.ete, revize květen 2005
[24]	Svoboda J., Štaffa V. : Metodika nevýpočtového hodnocení potrubí malého průměru v ETE, zpráva KP SAG, arch. číslo 3566, revize 1, duben 2001

[25]	Čechura M.: Metodika nevýpočtového hodnocení pevnosti a seismické odolnosti potrubí malého průměru v ETE, rep107-03.ete, revize 0, prosinec 2003
[26]	Masopust R.: Hodnocení seizmické odolnosti potrubí malého průměru vč. impulsního potrubí a studeného potrubí velkého průměru v EDU. Zpráva č. rep37-96.edu, revize 0, Stevenson & Associates, 1996
[27]	Pustai M., Svoboda J., Junek L.: Metodika na vypracovanie a aktualizáciu preukaznej dokumentácie technologického zariadenia pre MO34, Číslo dokumentu PNM34080180, leden 2009
[28]	PNAE G-7-002-86. Normy rasčota na pročnosť oborudovanija i truboprovodov atomnych energetičeskich ustanovok. Energoatomizdat, Moskva, 1989.
[29]	OTT-87, Armatury pro zařízení a potrubí jaderných elektráren. Všeobecné technické požadavky se změnami z 9.11.1991
[30]	Junek L.: Jaderná elektrárna Mochovce dostavba 3. a 4. bloku, Návrhová specifikace pro zpětné ventily, zpráva ÚAM Brno 4685/10, červenec 2010
[31]	NP-068-05 (НП-068-05), Valves for nuclear power plants. General technical requirements, (Трубопроводная арматура для атомных станций. Общие технические требования)
[32]	Vyhláška SÚJB č. 21/2017 Sb. o zajišťování jaderné bezpečnosti jaderného zařízení
[33]	SEDYC, s.r.o., Rozšířená a vyhlazená spektra odezvy HVB 1. – 4. bloku JE Dukovany. Zpráva č. R076-2005-12.edu, revize 0, Sedyc, Plzeň, prosinec 2005
[34]	Metodologie pro hodnocení seizmické odolnosti EDU - blok č. 1-4, Aplikace metod SMA A GIP vč. určení referenčního zemětřesení, rep05-95.edu rev5, Stevenson&Associates, 2001