

Návrh vyztužení kouřovodů

Tenkostěnné skořepiny jsou při nepříznivém způsobu zatěžování náchylné ke ztrátě stability, řešení tohoto problému pak často spočívá ve vhodném vyztužení. Předmětem tohoto článku je návrh vyztužení dvou kouřovodů v souladu s Eurokódý.

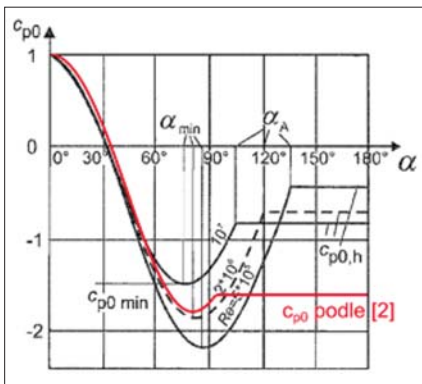
ÚVOD

Stabilita skořepin představuje komplikovaný problém. Následky ztráty stability mohou být katastrofální a současně je velmi obtížné spolehlivě predikovat velikost limitního zatížení, při kterém u reálné konstrukce dojde ke ztrátě stability. Problémy v modelování jsou způsobeny citlivostí řešení na různé nedokonalosti – geometrické, materiálové, uložení a zatížení. V případech již realizovaných konstrukcí lze docela dobře zohlednit geometrické nedokonalosti, avšak v případech návrhu nové konstrukce je možné tyto nedokonalosti jenom předpokládat.

U válcových skořepin jsou obzvláště nebezpečná zatížení tlakem v ose skořepiny a zatížení vnějším tlakem. Tyto případy je možné řešit analyticky, a to včetně některých druhů nedokonalostí. Zjednodušené metody pro hodnocení stability jsou založené právě na těchto jednoduchých případech s využitím velkých součinitelů bezpečnosti.

VÝPOČTOVÉ MODELY

Pro účely pevnostních analýz byly vytvořeny výpočtové modely kouřovodů v softwaru ANSYS MAPDL. Modely jsou tvořeny kombinací



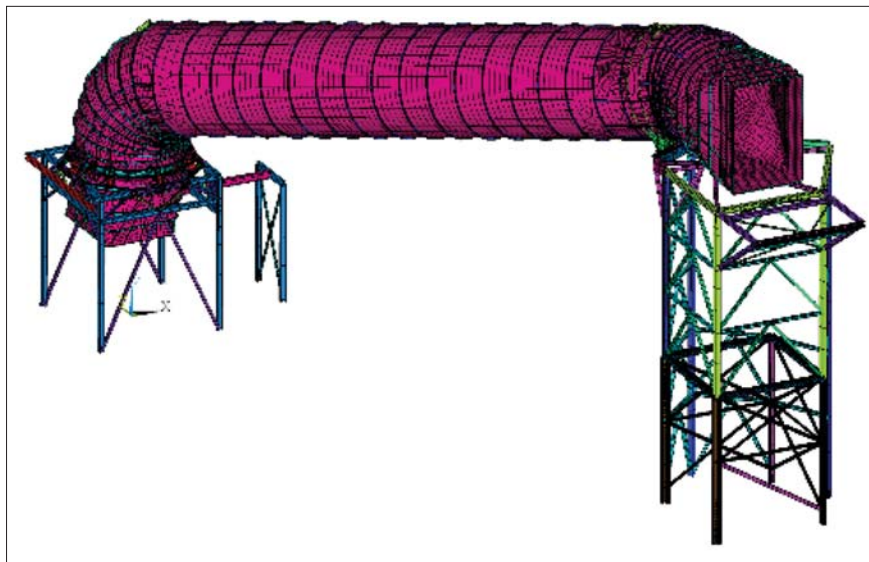
Obr. 3 – Průběh součinitele vnějšího tlaku po obvodu (zdroj: [1], [2])

skořepinových a prutových prvků. Modely byly určeny pro lineární elastické analýzy (LA) a analýzy lineárního boulení (LBA). Výpočtový model jednoho z kouřovodů je na obr. 1.

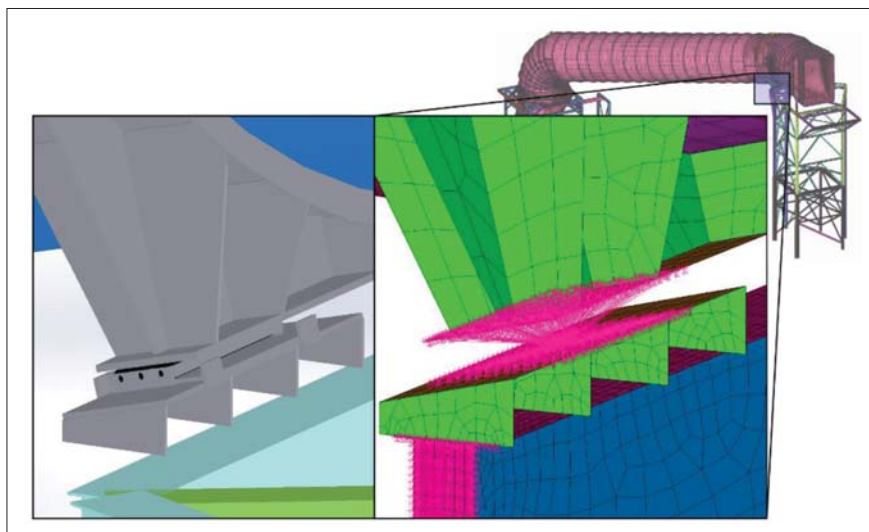
Uložení kouřovodů

Oba kouřovody jsou uloženy na dvou prutových konstrukcích tak, aby byly umožněny teplotní dilatace. Na jednom konci je kouřovod uložen pomocí prstencové podpěry s 8 patkami, které se mohou volně posouvat v radiálním směru vzhledem k prutové konstrukci. Na druhém konci je potrubí uloženo pomocí sedlové podpěry, která se může volně pohybovat ve směru osy potrubí.

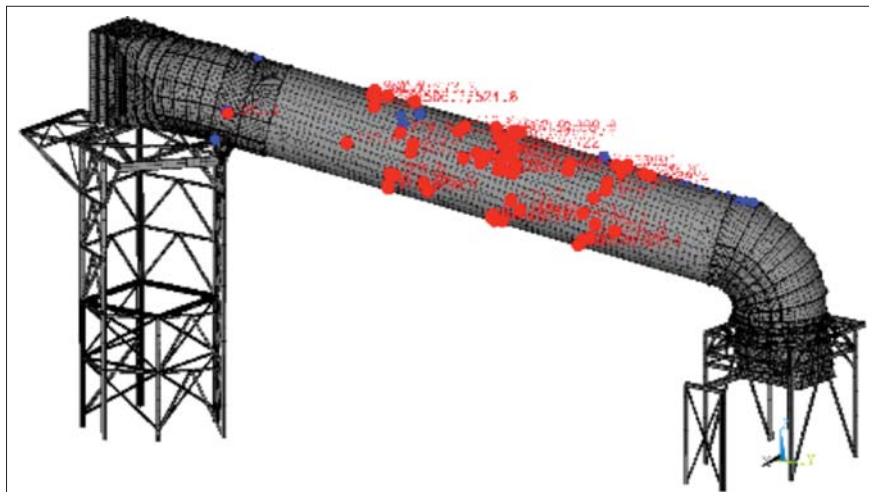
Posuvné vazby lze snadno modelovat pomocí nelineárních kontaktů, to však nebylo možné, protože bylo třeba provádět analýzy



Obr. 1 – Výpočtový model kouřovodu s výsledným vyztužením



Obr. 2 – Lineární vazba posuvného uložení sedla



Obr. 4 – Výsledky hodnocení vyztužení v softwaru ANSYS MAPDL (nevyztužená střední část)

LBA, které vyžadují lineární model. Tento problém byl nakonec vyřešen pomocí silově distribuovaných vazeb. Tyto vazby jsou ve výpočtovém modelu reprezentovány lineárními rovnicemi, výsledkem je tedy výpočtově nenáročný model. Rovnice spojují stupně volnosti jednotlivých uzlů, skupiny uzlů na kontaktních plochách v každé vazbě byly propojeny prostřednictvím jednoho uzlu – skupina uzlů na jedné ploše měla s tímto uzlem spojeny všechny stupně volnosti, druhá skupina pak jenom vybrané stupně volnosti.

Na obr. 2 je detail modelu vazby posuvného uložení sedla; vlevo je objemový model v softwaru Solidworks, vpravo pak výpočtový model v softwaru ANSYS MAPDL.

ZÁTĚŽNÉ STAVY

Celkem bylo použito šest kombinací zatížení:

- zatížení podtlakem a ekvivalentním tlakem od větru
- zatížení sněhem
- zatížení seismicitou
- zatížení vnitřním tlakem
- simulace zvedání
- zatížení podtlakem a reálným tlakem od větru

Zatížení větrem

Předpokládalo se, že nejnebezpečnější bude poslední zátěžný stav, který zohledňuje zatížení podtlakem a zejména také zatížení dynamickým tlakem od větru. Maximální dynamický tlak od větru byl určen podle [1], průběh dynamického tlaku v závislosti na obvodové souřadnici byl zadán vztahem z [2]. Výsledný charakter průběhu tlaku je patrný z červené křivky na obr. 3.

Automatizace přepočtu zátěžných stavů

Protože bylo třeba vyzkoušet více variant vyztužení, bylo zadávání okrajových podmínek a zatížení s následným přepočtem a uložení výsledků zautomatizováno pomocí makra v jazyce APDL (ANSYS Parametric Design Language). Tento přístup vyžadoval časovou investici, avšak vedl k výraznému zefektivnění testování nových variant vyztužení.

HODNOCENÍ VYZTUŽENÍ

Kouřovody byly navrhovány v souladu s Eurokódy. Eurokód 3 [3] umožňuje tři přístupy při hodnocení stability. Účinnost vyztužení byla hodnocena podle postupu v kapitole 8.6 (Návrh pomocí numerických analýz s využitím MNA a LBA).

Použitá metoda vyžaduje určení referenční plastické únosnosti r_{Rpl} na základě nelineární analýzy s elastoplastickým materiálem. Tuto únosnost lze podle [3] alternativně určit z výsledků lineární analýzy (LA) aplikací Ilyushinova kritéria plasticity (konzervativně lze použít i von Misesovo kritérium). Alternativní způsob je výpočtově mnohem méně náročný, ale vede ke konzervativnějším výsledkům.

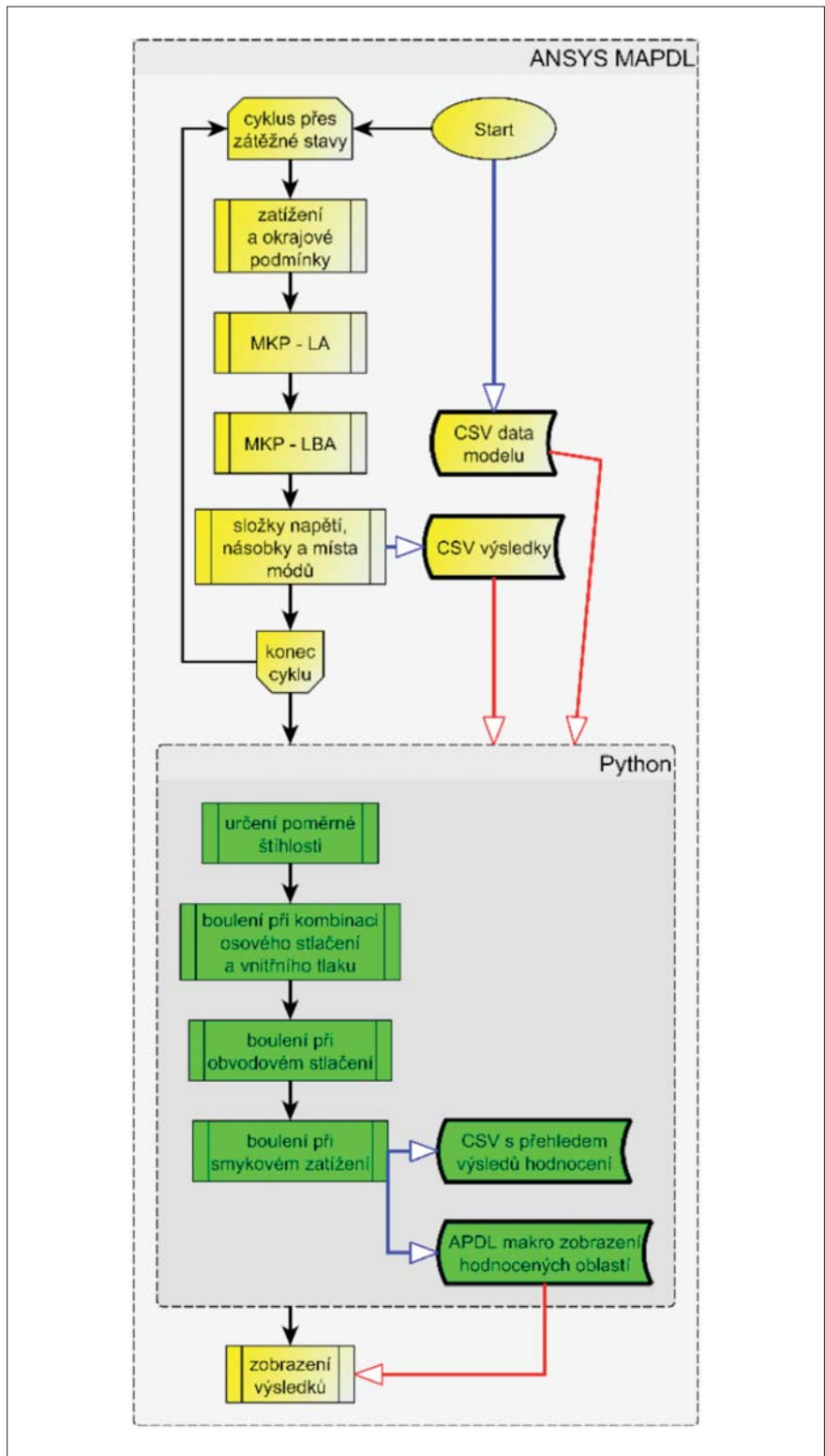
LBA umožňuje určit nejpravděpodobnější počáteční tvary ztráty stability a s tím spojené

násobky nominálního zatížení – kritické poměry odolnosti vůči ztrátě stability r_{Rcr} .

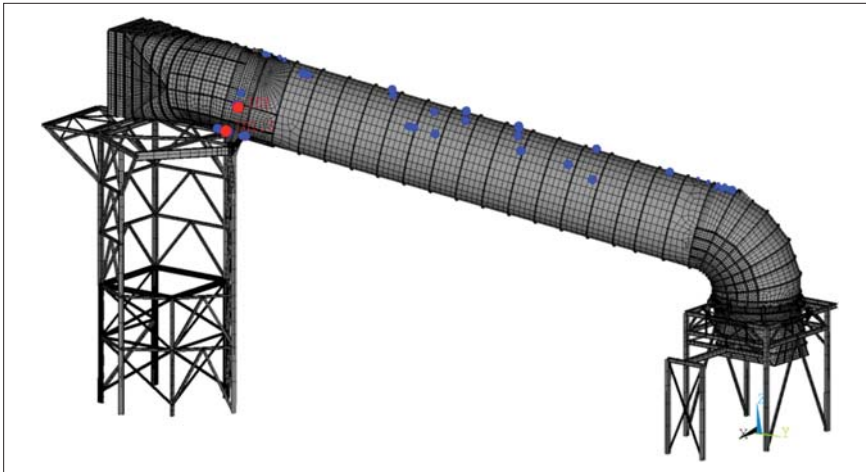
Automatizace hodnocení stability

Pro každý z 6 zátěžných stavů bylo pomocí LBA určeno prvních 25 tvarů, celkem tedy bylo hodnoceno 150 kombinací výsledků analýz LA a LBA. Vzhledem k takovému množství se vyplatilo automatizovat hodnocení pomocí skriptu v jazyce Python.

Algoritmus celého procesu je znázorněn formou vývojového diagramu na obr. 4. Na počátku jsou exportovány pozice skořepinových prvků hodnocených válcových skořepin a prutových prvků výtuh. Tyto informace později poslouží k automatické analýze podélných roztupů výtuh v hodnocených místech. Následně proběhne cyklus přes všechny zátěžné stavy a pro každý stav je provedena nejprve analýza LA a potom analýzy LBA s předpětím



Obr. 5 – Algoritmus přepočtu MKP analýz a hodnocení stability



Obr. 6 – Výsledky hodnocení vyztužení v softwaru ANSYS MAPDL

z LA. Výsledkové soubory z obou analýz jsou uloženy pro případnou pozdější práci s výsledky. V dalším kroku dojde k exportu kritických uzlů a násobků zatížení z výsledků LBA a příslušných složek napětí v těchto uzlech z výsledků LA. Po skončení cyklu se spustí skript v Pythonu a dojde k posouzení všech kritických uzlů. Jedním z výstupů tohoto skriptu je také soubor s makrem v APDL, které umožňuje zobrazení symbolů na místech hodnocených uzlů, a přehledně tak ukáže slabé a silné stránky dané varianty vyztužení. Celý proces lze spustit přímo z grafického uživatelského rozhraní softwaru ANSYS MAPDL.

VÝSLEDKY

Střední část kouřovodu bylo třeba vyztužit obvodovými výtuhami a oblasti segmentových kolen a přechodů na koncích byly vyztuženy kombinací podélných a obvodových výtuh. Konečná forma vyztužení je patrná z obr. 5 a 6.

ZÁVĚR

Článek se zabýval problematikou návrhu vyztužení kouřovodu v souladu s Eurokódem. K hodnocení náchylnosti ke ztrátě stability byla využita metoda návrhu pomocí numerických

analýz s využitím MNA a LBA [3]. Hledání vhodné varianty vyztužení bylo významně urychleno díky automatizaci procesu hodnocení stability v souladu s [3].

Poděkování

Tento článek vznikl v rámci projektu LO1202 za finanční podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy v rámci Národního programu udržitelnosti I.

Literatura

- [1] Eurocode 1 - Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions. Brussels, Belgium: Comité Européen de Normalisation (CEN), 2010.
- [2] LUIS A. GODOY a GENOCK PORTELA. A Review of Wind-Tunnel Results of Pressures on Tank Models [online]. nedatováno. Dostupné z: <http://www.efn.unc.edu.ar/investigacion/e-learning/tanques/documentos/pub/oureachreviewwind.pdf>
- [3] Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-6: Strength and Stability of Shell Structures. Brussels, Belgium: Comité Européen de Normalisation (CEN), 2006.

**Ing. Tomáš Létal, Ph.D.,
doc. Ing. Zdeněk Jegla, Ph.D.,
Ústav procesního inženýrství,
Fakulta strojínského inženýrství,
Vysoké učení technické v Brně**

Flue gas pipe reinforcement design

In case of unfavorable conditions, thin shells are susceptible to loss of stability. This can be avoided using suitable reinforcement. Subject of presented paper is reinforcement design of two flue gas pipes according to Eurocode.

Конструкция арматуры газоотводящих труб

При неблагоприятных условиях тонкие оболочки подвержены потере стабильности. Этого можно избежать, используя подходящую арматуру. Темой данной статьи является конструкция арматуры двух газоотводящих труб в соответствии с Eurocode.



BAZILSTUDIO

Naše grafické studio Vám nabízí tyto služby:

- Grafický návrh a výroba tiskovin na klíč
- Sazba knih, časopisu a katalogů ■ Návrh a tvorba log
- Návrh a výroba Design manuálů
- Grafický design ■ Tisk ■ Produkce ■ Foto na zakázku dle požadavků klienta

Kontakt:
www.bazil.cz
email: bazil@bazil.cz
tel.: 00420 603168640



2. místo v kategorii výroční zpráva
Nadace VIZE 97
za rok 2013
(neziskový sektor)

Vaše flexibilita s 10.000 armaturami ve více jak 100.000 variantách!

Váš partner pro páru

... pro uzavření, pojištění, regulaci a odvádění!



NOVÉ
u ARI



FABA®
High End
vlnocový ventil

NOVÉ
u ARI



STOBU®
Ucpávkový ventil
do PN 160

NOVÉ
u ARI



SAFE-FN ANSI
podle API 526
do ANSI 2500

NOVÉ
u ARI



STEVI®472
Regulační ventily
do PN 160



PREDU®
Regulátor tlaku
bez pomocné energie



CONA®
Odvaděče kondenzátu
do PN 630

NOVÉ
u ARI



CHECKO-D
Mezipřírubové
zpětné ventily

Mějte od ARI k použití přes 10.000 armatur ve více jak 100.000 variantách. Klapky, ruční uzavírací ventily, pojistné ventily, regulační ventily, odvaděče kondenzátu, ventily pro redukci tlaku, pohony, měřicí technologie... ARI Vám nabízí systém individuálního, vzájemně přesně sladěného produktového řešení na míru - a samozřejmě nejnovější technologické know-how.

Například CONA®-control, patentově chráněný systém funkční kontroly. Během pouhých tří sekund vyzkoušíte funkci tisíců odvaděčů.

Jistě, spolehlivě, nepřetržitě.

Vaše výhody prostřednictvím výkonného partnera.



ARI-Armaturen GmbH & Co. KG, Saturnova 1202/11, 102 00 Praha 10,
tel.: 272 700 802, fax. 272 700 888
martin.rott@cz.ari-armaturen.com, www.ari-armaturen.com

Technika s budoucností.
KVALITNÍ NĚMECKÉ ARMATURY