

Analýza praskání komory přehříváku kotle

Příspěvek je věnován konkrétnímu případu výskytu trhlin mezi můstkami nátrubků komory přehříváku, kdy docházelo k jejich postupnému růstu. Po několika letech provozu došlo k perforaci komory a k úniku pracovního média. Tento případ byl řešen pomocí numerických metod, kdy bylo využito jak CFD, tak i MKP.

1. Úvod

Údržba energetických zařízení představuje velmi časté opravy (výměny) nejvíce exponovaných nebo nevhodně konstrukčně řešených dílů zařízení. Nejčastěji probíhá údržba na potrubí a kolektorech, v ojedinělejších případech na membránových stěnách či jiných částech kotlů. Na obr. 1.1 je znázorněn případ výskytu trhlin na části energetického zařízení. Jedná se o výskyt perforace komory v oblasti můstků mezi nátrubky. Tento stan nenastal během krátké provozní doby, ale jednalo se o několikaletý proces šíření trhlin v důsledku provozních podmínek.

Výše zmíněný případ bude dále podrobněji popsán a uveden způsob jeho analýzy včetně získaných výsledků a návrhů nápravných opatření k jeho odstranění. Při analyzování konkrétního případu bylo vždy postupováno od základního způsobu řešení, až po detailnější. Výpočty byly prováděny pomocí numerických metod až po detailnější řešení dílčích oblastí, aby bylo možné nalézt nejpravděpodobnější příčinu vzniku těchto nežádoucích stavů.

2. Praskání komory přehříváku

Zmiňovaná komora se nacházela na druhém svazku přehříváku kotle. Ten byl o parním výkonu 120 t/h. Komora byla umístěna ve druhém tahu a to v oblasti obratu proudu spalin. Trubkový svazek přehříváku byl v přímém kontaktu s proudícími spalinami, což může být taktéž jednou z možných příčin výskytu a šíření trhlin. Toto však bude prověřeno a v prvé řadě budou podrobně rozebrány provozní podmínky, aby byla vyloučena možnost nevhodného způsobu provozu zařízení.

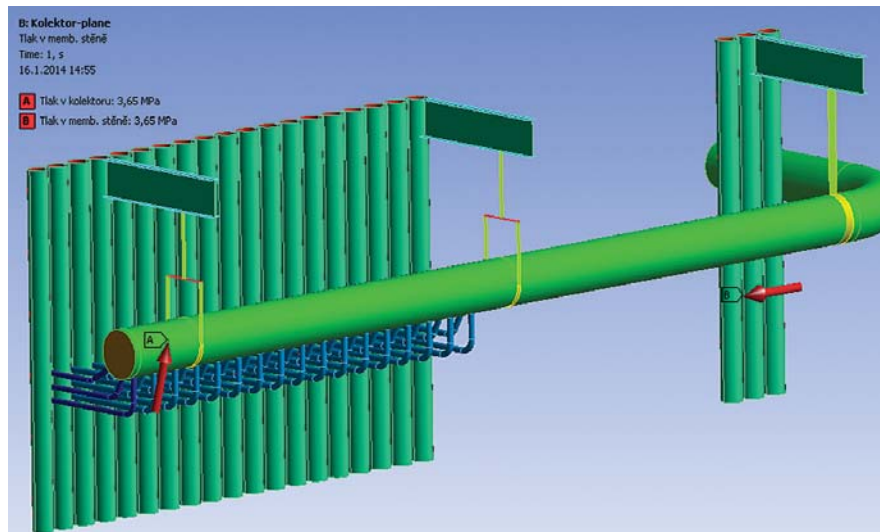
2.1. Konstrukční řešení kolektoru a provozní podmínky

Jedná se o konstrukční řešení kolektoru, který má převáděcí potrubí řešeno jako smyčku umístěnou na ocelové konstrukci kotle. Vzhledem k tomu, že jsou trubky svazku přivařeny k membráně kotle, bylo rozhodnuto o uvážení části membránové stěny, samotných vlásenek od membránové stěny po kolektor a dále sběrného kolektoru po nejbližší umístění pevné uchycení k ocelové konstrukci. Díky tomu byl vytvořen komplexní (globální) model, jehož cílem bude zjistit deformace jednotlivých komponent a stanovit tak vyvolanou napjatost. Vytvořený výpočtový model včetně použitých okrajových podmínek je možné vidět na obr. 2.1. Z tohoto modelu pak bude možné zjistit významné parametry (posuvy, natočení) pro detailnější analýzu na submodelu (vybraného úseku kolektoru).

Po provedení rozboru určitého období provozních podmínek kotle bylo zjištěno, že za nominální provozní podmínky kolektoru lze uvažovat



Obr. 1.1 – Příklad výskytu trhlin na komoře



Obr. 2.1 – Použitý globální model analyzované části kolektoru

tlak 3,65 MPa a teplotu 364,5 °C. V ojedinělých případech dojde ke krátkodobému nárůstu teploty o zhruba 10 °C, což není nikterak významné, neboť se pohybujeme v podcreepové oblasti. Pro nominální provozní podmínky budou provedeny numerické simulace a to na globálním skořepinovém modelu a následně na lokálním modelu (detailní 3D model s uvážením tloušťek stěn a svařových spojů).

2.2. Napěťová analýza kolektoru

Na základě zjištěných provozních parametrů

média a vnějších podmínek prostředí byla na globálním výpočtovém modelu provedena simulace zatížení. Jako deformační okrajové podmínky byly použity vazby závěsného uložení převáděcího potrubí, kdy na konci bylo toto potrubí vetknuto a v případě membránové stěny kotle byla zadána podmínka jejího posuvu ve svislém směru, který byl spočten pro danou pracovní teplotu. Získané rozložení napětí ve všech analyzovaných částech je možné vidět na obr. 2.2. Z obrázku je patrné, že nejvyšších hodnot je dosahováno v místech, kde byly jednotlivé části uchyceny pevně. Tyto oblasti

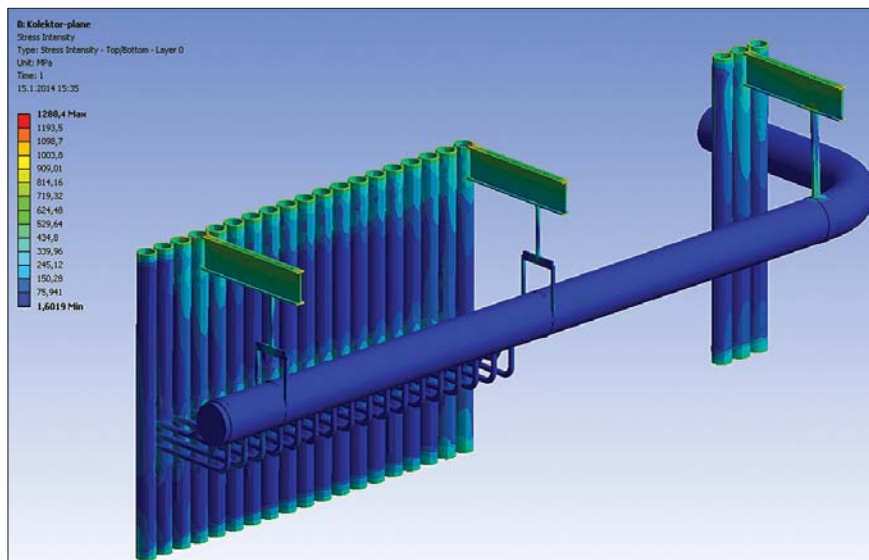
nejsou předmětem zájmu, ale důležité jsou nátrubky a můstky vyskytující se na kolektoru. Jak již bylo zmíněno dříve, výsledky získané analýzou okrajových podmínek na globálním modelu budou sloužit pro provedení detailní analýzy na lokálním detailním modelu.

Okrajové podmínky lokálního modelu byly plně převzaty z výše uvedené simulace. Důležitou změnou bylo zohlednění vnějších okrajových podmínek, které představují téměř konstantní teplotu. Po zadání těchto podmínek bylo získáno rozložení napětí, které je znázorněno na obr. 2.3. Je zde patrné, že nejvyšší napjatosti je dosahováno v místech navažení nátrubků na kolektor. Tato místa jsou velmi častými kritickými oblastmi. V tomto případě však tomu takto není a kritické jsou můstky mezi hrdly. V těchto místech se však nevyskytuje nikterak významná napjatost. I při prověření změny napětí při minimálních a maximálních provozních parametrech nebylo nic zásadního zjištěno.

Vzhledem k tomu, že byl globální model zhotoven s řadou detailů a při submodelingu bylo využito získaných okrajových podmínek z celkového modelu, není předpokládáno, že by chyba výsledků měla být výrazná. Ze získaných výsledků rozložení napětí vyplývá, že oblast, kde dochází k výskytu a růstu trhlin nevykazuje nikterak významné hodnoty napětí, které by vytvářelo příznivé podmínky pro šíření trhlin. Lze konstatovat, že samostatným působením provozních podmínek a jejich změnami není možné docílit iniciace a šíření trhlin. Příčinou je tedy zcela jiný faktor.

Při provedení CFD analýzy směřování proudů médií z trubek svazku v kolektoru bylo zjištěno, že nedochází k zásadním rozdílům v rychlostech v jednotlivých oblastech kolektoru. To tedy znamená, že se neliší ani součinitel přestupu tepla, které jsou důležité pro vznik rozdílných teplotních gradientů po tloušťce stěny a pak vyvolané napjatosti. Tato varianta byla zcela zavržena a nebyla podrobena dalším analýzám.

Poslední možností, která byla prověřována, byla hypotéza růstu únavových trhlin v důsledku proudění spalin (dynamický způsob zatížení). Vzhledem k tomu, že uchycení trubkového svazku po jeho délce bylo s určitou vůlí, lze předpokládat, že dochází k vibracím trubek, které jsou přenášeny



Obr. 2.2 – Rozložení napětí na globálním výpočtovém modelu [MPa]

přes membránovou stěnu (jako kloub) do místa nátrubků a způsobují na můstcích kolektoru iniciaci a růst trhlin. Na obr. 2.4 jsou znázorněny vektory rychlosti obtékající trubky svazku. Za trubkami v prvních řadách jsou viditelně patrné výskyt vírů, které způsobují vibrace trubek. Dalším postupem proudy spalin dochází k eliminaci vzniku vírů.

2.3. Zhodnocení výsledků a návrh způsobu řešení

Z provedených napěťových analýz pro normální způsob provozu vyplývá, že zvýšené hodnoty napětí se vyskytují ve zcela odlišných oblastech, než kde dochází k poškození kolektoru. Naopak oblast, ve které dochází k růstu trhlin, vykazuje nízké hodnoty napětí, které nevytváří příznivé podmínky pro šíření únavových trhlin. Nedochází také k výrazným změnám provozních podmínek, takže růst trhlin v důsledku provozních podmínek byl vyloučen.

Další možnou příčinou mohou být rychlé změny gradientu teplot v důsledku chaotického proudění média v kolektoru a následném rozdílném součiniteli přestupu tepla. Tato úvaha nebyla prostřednictvím provedené CFD simulace taktéž potvrzena. Poslední možností byl stanoven případ, kdy k porušování můstků dochází v důsledku vibrací trubkového

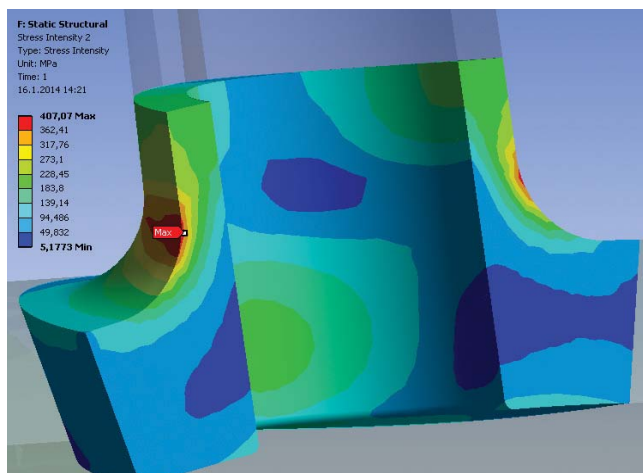
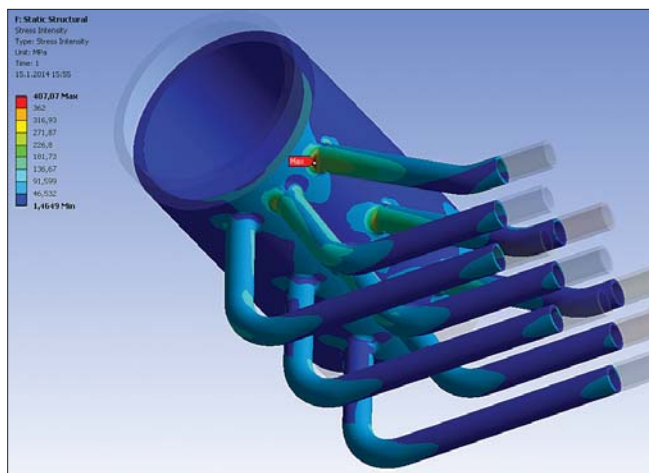
svazku. Vibrace jsou přenášeny přes membránovou stěnu do míst nátrubků a pravděpodobně způsobují poškození vysokocyklovou únavou. Ověření této teorie bude ještě předmětem dalších prací.

3. Závěr

Cílem tohoto příspěvku bylo nastínění možných příčin poškození kolektoru, kdy postupně byly možné příčiny eliminovány a byla určena ta nejpravděpodobnější z nich. U výskytu a růstu trhlin v oblasti můstků kolektoru byla stanovena jako příčina vysokocyklová úrava v důsledku vzniku vibrací při obtékání trubkových svazků v důsledku vyvození vírů za trubkami. Tento předpokládaný způsob poškození bude ověřen při provedení materiálových a fraktografických analýzách vzorků, které by mělo být možné provést při další odstavce zařízení a odebrání vzorku z vyměněného kusu kolektoru. Taktéž je předpokládána instalace měřicího zařízení na vyměněný kolektor pro zjištění skutečného průběhu zrychlení v konkrétních oblastech a potvrzení tak této hypotézy.

Poděkování

„Výsledky tohoto projektu NETME CENTRE PLUS (LO1202) byly získány za finančního přispění



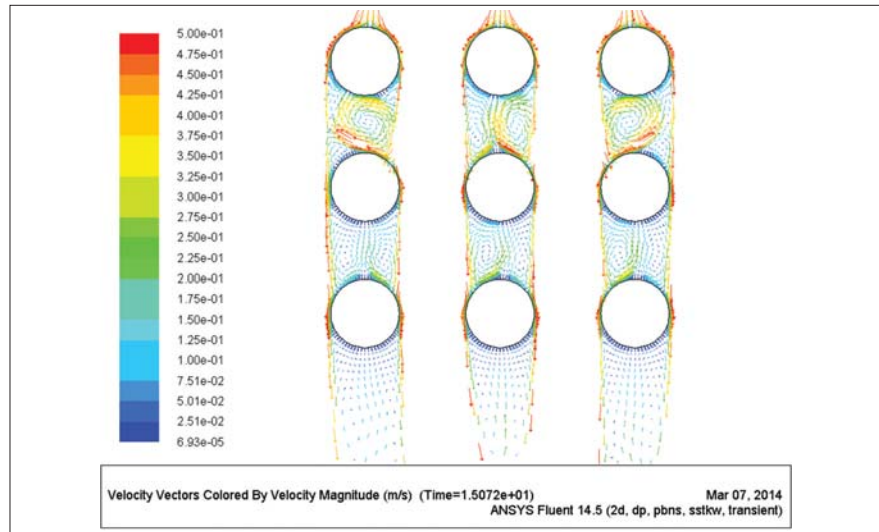
Obr. 2.3 – Rozložení napětí na detailním výpočtovém modelu [MPa]

Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy v rámci účelové podpory programu "Národní program udržitelnosti I".

Literatura

- [1] Normativně technická dokumentace A.S.I. Charakteristiky materiálů pro zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER. Sekce II, Praha a Brno 2001.
- [2] ČSN EN 12 952 Vodotrubné kotle a předávná zařízení, CEN, Praha 2012.
- [3] ČSN 07 0414 Kotle parní a horkovodní, ČNI, Praha 1989.

**Ing. Richard Nekvasil, Ph.D.,
doc. Ing. Zdeněk Jegla, Ph.D.,
Ústav procesního a ekologického inženýrství,
Fakulta strojního inženýrství,
Vysoké učení technické v Brně**



Obr. 2.4 – Vektory rychlosti při obtékání trubek svazku přehříváku

Boiler reheater chamber cracking analysis

The article deals with a specific case of cracks appearing between bridges of the reheater chamber pipe fittings when they gradually began to increase. Several years of operation resulted in perforation of the chamber and a leak of the process medium. This case involved solutions with the aid of numerical methods using CFD and MKP.

Анализ трещин камеры перегрева котла

Статья посвящена конкретному случаю возникновения трещин между мостками и насадками камеры перегрева, где происходило постепенное увеличение этих трещин. После нескольких лет эксплуатации произошла перфорация камеры и утечка рабочей среды. Эти проблемы были устранены при помощи численных методов, когда были использованы CFD и МКП.



**FLASH STEEL
POWER**



TECHNOLOGICKÉ CELKY - HUTNÍ MATERIÁL PRO ENERGETIKU STROJNÍ POLOTOVARY A DÍLY - MATERIÁLOVÉ INŽENÝRSTVÍ

Technologické celky pro energetický a chemický průmysl

Parovody, tlakové nádoby,
výměníky, plynová potrubí,
spalinovody

Hutní materiál pro energetický a chemický průmysl

Ocelové trubky, rovné trasy,
ohyby, armatury, redukce,
T-kusy, příruby, plechy, výpalky,
ploché a kruhové tyče



Flash Steel Power, a.s., Martinovská 3168/48, 723 00 Ostrava, tel.: +420 596 958 542, info@flashsteel.cz, www.flashsteel.cz