

Fléry – posuzování nosné konstrukce a výměna kotevních lan

Fléry, zvané také polní hořáky, fakle nebo havarijní pochodně jsou součástí zejména petrochemických výrobních zařízení. Slouží v havarijních situacích, kdy je nutné neprodleně uvolnit plyny ve výrobní lince a zajistit jejich bezpečné zničení spaláním. Článek popisuje teoretickou přípravu rekonstrukcí kotvených flér a výměnu jejich kotevních lan. Zkušenosti z návrhu a úprav jsou prezentovány na třech rekonstrukcích, na kterých v posledních letech spolupracovala firma EXCON, a. s.

Fléry jsou na svém vrcholu opatřeny hořákem s trvalým plamenem, molekulovou uzávěrou a dalšími technologickými zařízeními. Jedná se o speciální konstrukce nejenom z hlediska technologického, ale také z pohledu návrhu nosné konstrukce nebo jejich úprav. Fléry jsou zpravidla štíhlé konstrukce kotvené lany o výškách 60 až 100 metrů. Od ostatních komínů nebo stožárů se odlišují zejména velkou hmotou ve vrcholu. Příklady a parametry několika konstrukcí jsou uvedeny v tabulce 1, fotografie na obr. 1 až 3.

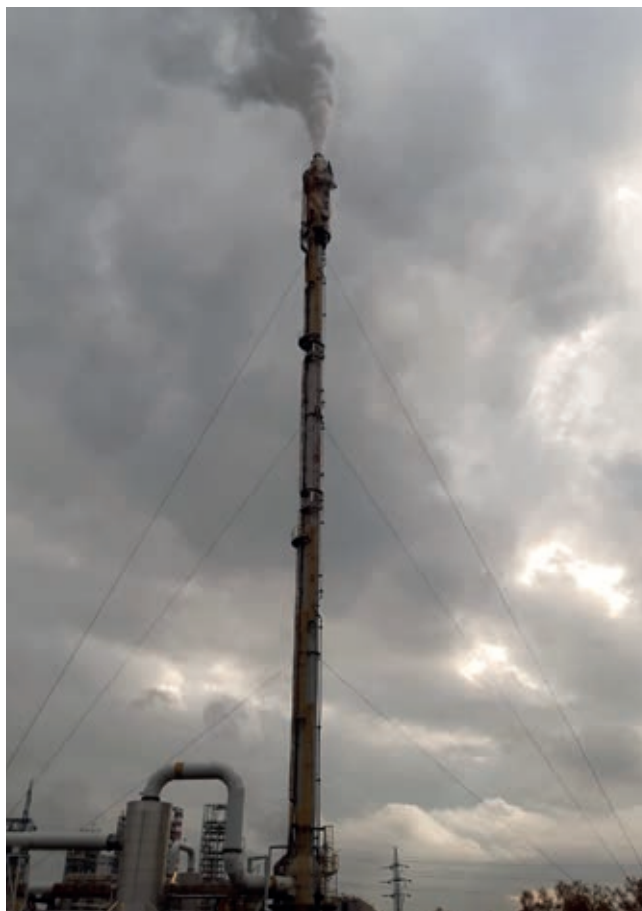
Další zvláštností je omezený přístup pro kontrolu a údržbu. Pohyb po konstrukci je z bezpečnostních důvodů umožněn pouze v době výluk (zarážek) celé výrobní linky.

REKONSTRUKCE

Na uvedených flérách byla plánována výměna technologických zařízení – hořáku a molekulového uzávěru. Došlo k navýšení hmotnosti a někde také návětrné plochy vrcholové části komínů.



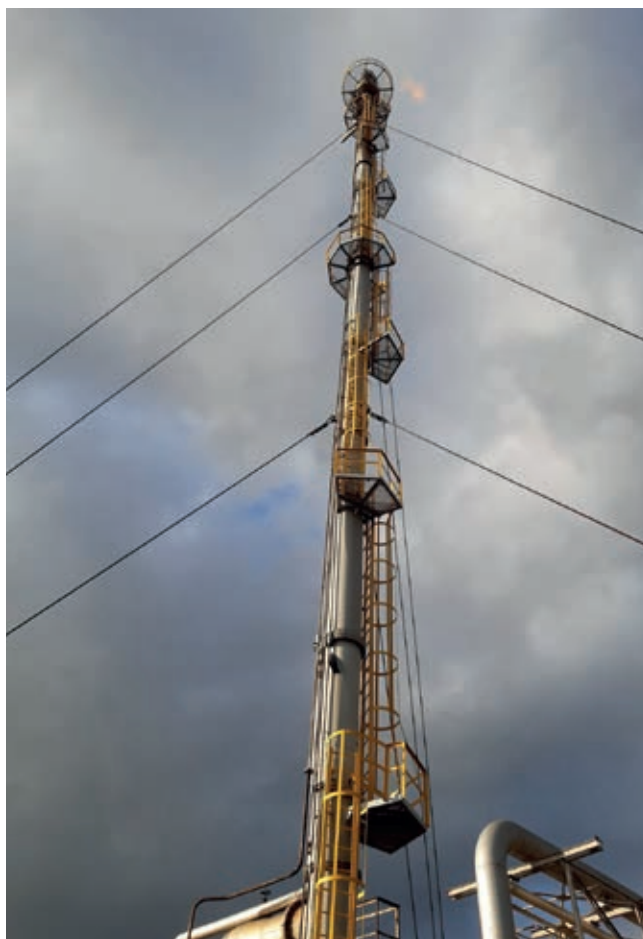
Obr. 1 – Fléra Synthos Kralupy (70 metrů)



Obr. 2 – Fléra Unipetrol RPA – PCH1 (90 metrů)

Tabulka 1 – Příklady konstrukcí flér

Fléra	Výška [m]	Průměr dířku [mm]	Počet kotevních úrovní	Průměry kotevních lan [mm]	Celková hmotnost vrcholového dílu (nad horní kotevní úrovní) [t]
Syntos Kralupy	70	530	2	34 (horní), 24 (dolní)	8,1
Unipetrol RPA, Litvínov – PCH1	90	1 600	3	38 (horní), 28 (střední, dolní)	19,7
Unipetrol RPA, Litvínov – 6430	60	720	3	32 (horní), 30 (střední, dolní)	4,8



Obr. 3 – Fléra Unipetrol RPA – 6430 (60 metrů)

Zesilování nosných konstrukcí se navrhuje podle aktuálně platných norem, což dále zvyšuje požadavky na celkovou únosnost a spolehlivost rekonstruovaných flérů.

Naším úkolem bylo posoudit konstrukce pro nová zařízení a navrhnout jejich úpravy, pokud nevyhoví. Nevyhovující konstrukce se podařilo zesílit vhodným návrhem nových kotevních lan bez nutnosti zasahovat do vlastních dřívků komínů, vyjma některých jejich detailů. Kotevní lana jsou prvky s nižší životností v porovnání s dřívkem komínu. Jejich výměnou se zároveň prodlužuje předpokládaná doba života konstrukce.

ŽIVOTNOST KOTEVNÍCH LAN

Životnost kotevních lan stožárů a komínů se většinou udává dobou 30 let. Závisí však na míře jejich únavového namáhání a na jejich korozním poškození. Lana flérů mohou být vystavena vysokým stupňům korozní agresivity. Omezení přístupu na konstrukci navíc znamená prodloužení doby, ve které mohou být vady protikorozní ochrany zjištěny a opraveny. Příklad korozního poškození lana je na obr. 4.

Únavu kotevních lan způsobuje proměnné zatížení větrem a kmitání, které je větrem buzeno. Významné rozkmitání napětí v lanech s velkým počtem cyklů vznikají při kmitání konstrukce způsobeném turbulentní složkou větru. Kromě náhlých změn zatížení větrem je současně buzeno rezonanční kmitání ve více rezonančních tvarech. Další kmitání může být vyvoláno jevy aerodynamické nestability dřívku komína, tj. například odtrháváním vírů. V případě flérů je dřívek nepravidelně osazen řadou potrubí různých průměrů, což náchylnost k tomuto kmitání zmenšuje.

K rozvoji únavy kotevních lan přispívá dále kmitání samotných lan. Nejčastěji je vyvolané odtrháváním vírů na lanu, gallopingem nebo kmitáním dřívku, které předává energii kmitajícímu lanu s blízkou rezonanční frekvencí. Riziko vzniku kmitání lan je hodnoceno



Obr. 4 – Koroze kotevního lana

na základě zkušeností z chování podobných konstrukcí. Mění se s délkou lan, velikostí jejich počátečních napětí a závisí rovněž na podmínkách v dané lokalitě (způsobu proudění vzduchu, tvorbě námrazy a podobně).

Lana flérů jsou poměrně krátká, do 100 metrů. Kmity jsou na takto dlouhých lanech pozorovány pouze zřídka. Lana flérů se proto běžně neosazují tlumiči kmitání, tak jako kotevní lana vysokých telekomunikačních stožárů. O nutnosti tlumení lan však může být rozhodnuto dodatečně, ukáže-li se jako nezbytné. Není-li na flérech kmitání lan nebo dřívku v průběhu provozu pozorováno, bývá koroze hlavním faktorem pro rozhodnutí o výměně kotevních lan.

STATICKÁ A DYNAMICKÁ ANALÝZA

Velikost hmoty soustředěné ve vrcholu zvyšuje dynamickou odezvu konstrukce. Průběh setrvačných sil při pohybu konstrukce je zároveň významně odlišný od průběhu zatížení větrem po výšce konstrukce. Pro analýzu flérů se proto nepoužívají ekvivalentní statické metody založené na zvětšení zatížení větrem či statické odezvy dynamickým součinitelem.

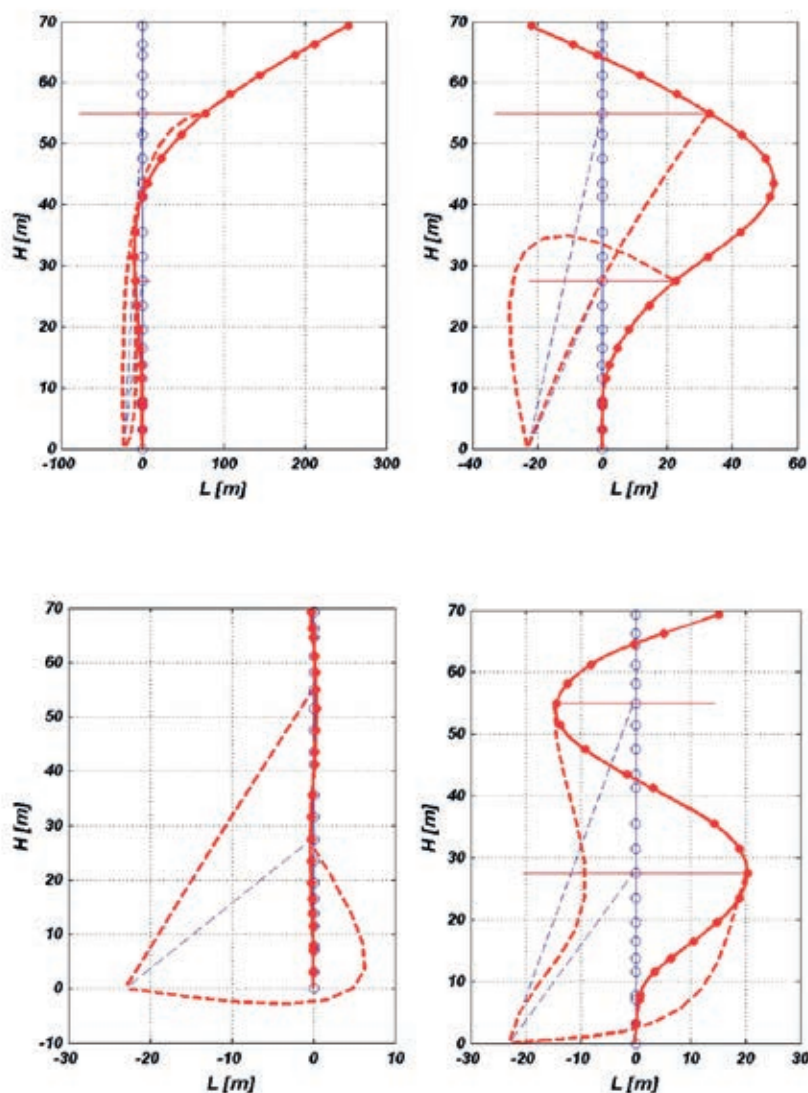
Fléry jsme analyzovali kombinací staticky nelineárního a plně dynamického výpočtu. Odezva na střední zatížení větrem byla řešena nelineárním statickým výpočtem. Základní část flukuační složky odezvy, která představuje relativně pomalé pohyby konstrukce, je řešena nelineárním statickým výpočtem metodou nahradních zatížení. Pro nelineární statické výpočty kotvených stožárů a komínů používá společnost EXCON speciální software STOZAR, jehož autorem je projektant Vladimír Janata.

Rezonanční část odezvy je řešena spektrální analýzou. Zohledňují se účinky všech důležitých tvarů kmitání a náhodnost zatížení větrem v čase i po výšce konstrukce. Spektrální analýza je řešena vlastními výpočetními procedurami (autor Jiří Lahodný, EXCON) v softwaru Matlab. Vlastní tvary a frekvence kmitání (příklad viz obr. 5) jsou vypočteny v softwaru GMAST (autor Stanislav Hračov, Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, v.v.i.). Příklady výsledků výpočtu základní a rezonanční části odezvy jsou graficky znázorněny na obr. 6 a 7.

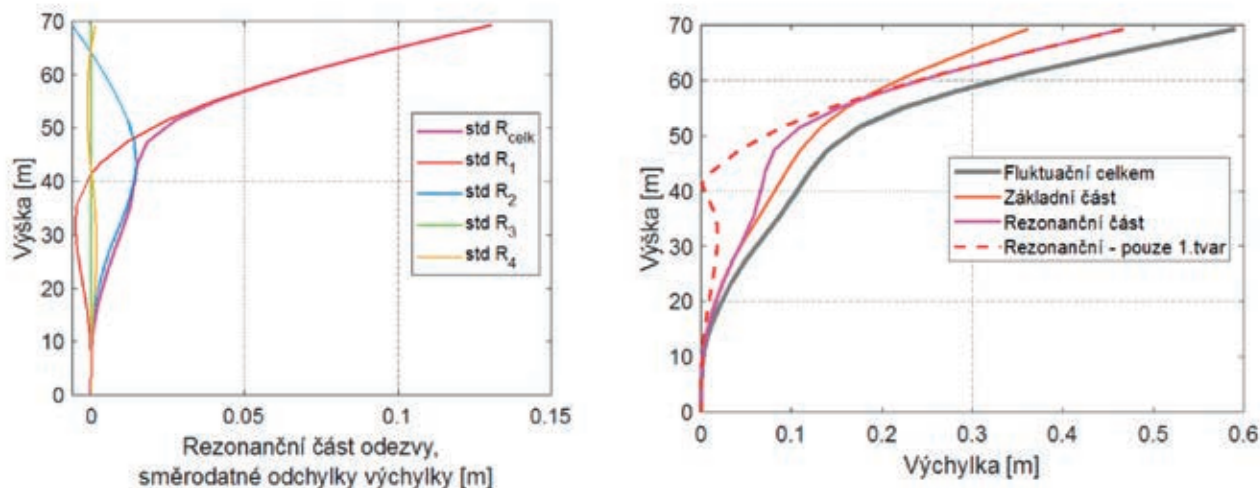
Speciální software umožňuje provedení náročných výpočtů v relativně krátkém čase. Díky nim lze hledat vhodná řešení a optimalizovat návrh zesílení konstrukce, dimenzí a typů lan, jejich předpětí apod. Použitím přesnějších metod je zároveň dosaženo ekonomicky úspornějších návrhů.

VÝMĚNA KOTEVNÍCH LAN

Příprava prací na flérech je ztížena omezeným přístupem na konstrukci. Existující dokumentace zpravidla neobsahuje všechny informace potřebné pro detailní návrh úprav konstrukce. V případě, že je možné plánovat rekonstrukci s dostatečným předstihem, lze potřebné detaily s výhodou zaměřit během předchozí zarážky. V opačném případě předchází pracím prohlídka konstrukce, která se



Obr. 5 – První čtyři vlastní tvary kmitání (software GMAST), fléra Kralupy (70 metrů)



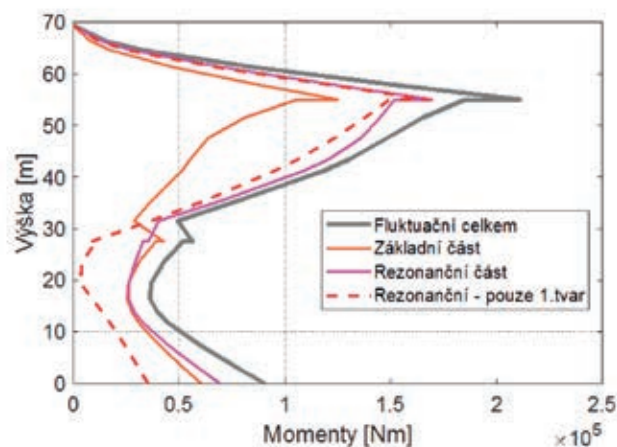
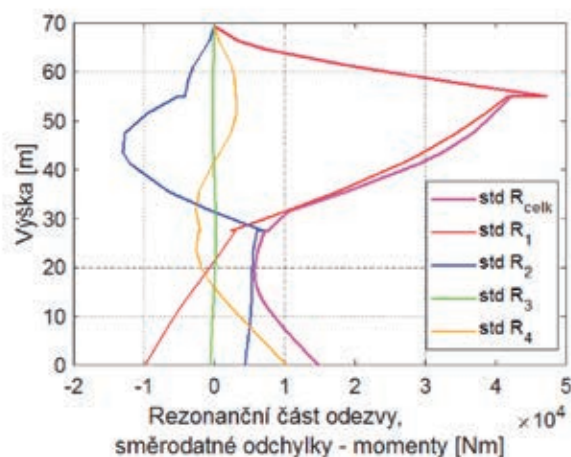
Obr. 6 – Vliv jednotlivých tvarů kmitání na celkovou rezonanční složku odezvy (vlevo), vliv základní a rezonanční části na celkovou flukтуаční složku odezvy – výchylky (vpravo), fléra Kralupy (70 metrů)

provádí na začátku zarážky a při které se doměří a „doposoudí“ detaily, které nebyly před zarážkou přesně známy. Prohlídka je zaměřena také na míru korozního poškození. Zjištěné odchylky od předpokládaného stavu jsou okamžitě řešeny tak, aby práce byly co nejméně zdrženy. Některé komponenty jsou případně předem připraveny v různých rozměrech.

Výměna lan probíhá postupně po kotevních úrovních. V blízkosti kotevní úrovně jsou instalována provizorní kotevní lana, která jsou předepnuta na požadované předpětí. Následně je sníženo předpětí lan dané kotevní úrovně (viz obr. 8). Při jednotlivých krocích je kontrolována a upravována svislost dráky spolu s kontrolou sil ve všech kotevních lanech. Následuje demontáž starého kotevního lana a případně úprava kotevního detailu, pokud jsou styčnickové plechy pro připojení lana zasaženy korozí nebo pokud je nutné je zesílit či upravit pro koncovky nového lana.

Poté je vyzdvíženo nové kotevní lano, připojeno k dráku komína, dotaženo a zakotveno přes napínací zařízení do kotevního bloku. Síly potřebné pro dotažení dolní koncovky lana k napínacímu zařízení jsou předem teoreticky určeny. Je zvolena vhodná délka napínacích zařízení a potřebné montážní pomůcky. Po připojení lana na napínací zařízení lze lana napínat pomocí hydraulických válců. Následuje vnesení sil požadovaných pro příslušný montážní krok. Postup je opakován pro zbývající lana kotevní úrovně. Po úpravě svislosti a sil v lanech jsou odpojena provizorní lana a přesunuta na další, zpravidla nižší, kotevní úroveň. Montážní práce jsou prováděny pomocí vrátku a kladek. Někdy je využito jeřábu, pokud je současně používán pro demontáž a montáž technologických zařízení. Na závěr je provedena rektifikace komína, tj. dopnutí a doladění sil v kotevních lanech současně s vyrovnáním svislosti a přímosti dráky.

Montážní týmy byly tvořeny pracovníky firmy EXCON, a. s., a Allmont Steel s. r. o.



Obr. 7 – Vliv jednotlivých tvarů kmitání na celkovou rezonanční složku odezvy (vlevo), vliv základní a rezonanční části na celkovou fluktuaci složku odezvy – momenty (vpravo), flétra Kralupy (70 metrů)

MĚŘENÍ SIL V LANECH

Síly v lanech měříme pomocí tenzometrů. Tenzometry v sestavě plného můstku jsou přilepeny na tyče napínacích zařízení (viz obr. 9). Zapojení tenzometrů do jedné ústředny umožňuje kontrolovat síly všech lan v jednom okamžiku, což usnadňuje a zrychluje řízení napínání lan. Svislost a přímost dráku je kontrolována teodolity ze dvou vzájemně kolmých směrů. Po dokončení závěrečné rektifikace je provedeno také měření rezonančních frekvencí lan. Je zaznamenáno spektrum měřených frekvencí, které slouží pro kontroly sil při budoucích pravidelných prohlídkách bez nutnosti použití hydrauliky.



Obr. 8 – Povolená lana horní kotevní úrovně, provizorní kotvy



Obr. 9 – Napínací zařízení, tenzometry s kabely na dolních tyčích zařízení

ZÁVĚR A PODĚKOVÁNÍ

Výměna kotevních lan je náročnou montážní operací. Podle statistik organizace IASS je pravděpodobnost havárie při výstavbě a rekonstrukcích kotvených stožárů a komínů řádově vyšší, než při standardních montážích. K jejímu provedení je nutný tým zkušených montérů a důkladná teoretická příprava.

Vývoj softwaru GMAST a metodiky výpočtu byl podpořen Ministerstvem průmyslu a obchodu ČR v rámci programového projektu FR-TI3/654 „Pokročilé metody v navrhování, monitorování a posuzování štíhlých dynamicky namáhaných konstrukcí“, na kterém společnost EXCON, a.s. spolupracovala s Ústavem teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, v.v.i.

Ing. Jiří Lahodný, Ph.D.

lahodny@excon.cz

Ing. Jindřich Syrovátka

Ing. Vladimír Janata, CSc.

Ing. Petra Srbová

EXCON, a.s.

Ing. Stanislav Hračov, Ph.D.

Ústav teoretické a aplikované
mechaniky AV ČR, v.v.i.