

PŘÍČINY PORUCH PARNÍCH TURBÍN

CAUSES OF STEAM TURBINE MALFUNCTION

Jan Fiedler

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav
Technická 2, 616 69 Brno, ČR
tel.: +420 541 142 574
e-mail:fiedler@fme.vutbr.cz

Abstrakt:

Příspěvek se zabývá nejčastějšími příčinami poruch parních turbín z pohledu soudního znalce. Pečlivá analýza poruch a havárií je důležitým faktorem zvyšování spolehlivosti provozu parních turbín a mají o ni zájem jak provozovatelé, tak zejména výrobci parních turbín. Autor analyzuje poruchy na skutečných případech, které řešil a hledá kořenové příčiny jejich vzniku. Současně rozebírá možnosti, jak eliminovat podobné havárie v budoucnosti. Závěrem uvádí několik vlastních obecných poznatků ze své praxe.

The paper deals with the most common causes of steam turbine malfunction from the point of view of a court expert. Careful analysis of failures and accidents is an important factor in increasing the reliability of steam turbine operation and is of interest to both operators and steam turbine manufacturers. The author analyses the malfunctions in the real cases he solved and looks for the root causes of their occurrence. At the same time, he discusses ways to eliminate similar accidents in the future. In conclusion, he presents some of his own general findings he collected during his practice as a court expert.

Úvod

Energetika je důležitý obor a neočekávané výpadky energetických centrál mohou mít negativní vliv ve všech ostatních sférách života člověka. Každá centrála je složitý technický systém vzájemně provázaných zařízení, kde špatné dimenzování nebo provozování jednoho článku soustavy může mít negativní vliv na celou energetickou centrálu. Proto je základním požadavkem kladeným na všechny komponenty energetických zařízení spolehlivost, bezpečnost a bezporuchový provoz [1].

Parní turbína je srdcem každého energetického provozu a jsou na ni v současnosti kladeny rozporuplné požadavky: vysoká účinnost, bezporuchový spolehlivý provoz při dlouhé životnosti a velké flexibilitě provozu. To vše při ekonomickém tlaku na cenu turbíny a její pravidelný servis. Je nutno si uvědomit, že rotační tepelný stroj má některá konstrukční specifika oproti běžnému strojírenskému výrobku:

- vysoké obvodové rychlosti a otáčky hmotných rotorových soustav
- malé radiální a axiální relativní vůle mezi rotorem a statorem
- vysoké teploty pracovního média a nutnost respektování tepelné roztažnosti dílů

Pokud nejsou výše uvedené zásady respektovány při návrhu konstrukce nebo při provozování turbíny, tak vždy dochází k nebezpečným stavům. Ne vždy vedou hned k havárii, často dojde pouze k nenávrhovému režimu bez poškození.

Vyšetřování havárií parních turbín je tedy většinou obtížné, protože málokdy je od začátku jednoznačná kořenová příčina. U tak složitého celku, jako je parní turbína s příslušenstvím může za provozu dojít k souběhu několika podlimitních stavů, při nichž není překročena žádná mezní veličina [1]. Přesto občas vznikne poškození nebo havárie celého turbosoustrojí.

Od roku 1980 sbíral autor příspěvku zkušenosti v konstrukci parních turbín v První brněnské strojírně Brno a od roku 1993 i jako učitel opět v oboru parní turbíny na VUT

v Brně. Dodnes vypracoval celkem 138 expertních technických zpráv o poškození parních turbín. Od roku 2002, kdy byl jmenován soudním znalcem pro obor „Energetika – parní turbíny“, provedl dosud celkem 50 znaleckých posudků. Poznatky v dalších kapitolách vycházejí z těchto celoživotních zkušeností [2].

Rozdělení poruch podle příčiny – odpovědnost nese výrobce:

Výrobce parní turbíny bývá pravidelně renomovaná strojírenská společnost s dlouholetou tradicí a zkušenostmi. Je hrdá na svoji minulost a konstrukční škola každé firmy je na první pohled patrná. Osvědčené konstrukční uzly parních turbín jsou dlouhodobě odzkoušené stovkami instalací a dlouholetým provozem. Vlastní projektant odpovídá za „turbínový ostrov“ se všemi návaznostmi. Uvádění do provozu u zákazníka probíhá pod dohledem interních expertů s mnohaletými zkušenostmi. Výše uvedené skutečnosti jsou i jedním z důvodů, proč se v turbinářském světě těžko prosazují nové firmy bez historie.

Havárie, za které nesl jednoznačně vinu výrobce, se vyskytovaly velmi zřídka a byly ve firmě podrobovány detailnímu rozboru s jasným poučením do budoucna. Ovšem v 21. století i renomované společnosti procházejí ekonomickými transformacemi s personálními dopady. Pokud je narušena kontinuita přenášení firemních zkušeností, potenciálně vznikají zejména tyto okruhy možných poruch a havárií zaviněné jednoznačně výrobcem - dodavatelem:

- Chyby celkové koncepce (projekt, bilanční výpočet, návaznosti)
- Nevhodnou konstrukcí částí (lopatky, ucpávky, uložení skříně)
- Nevhodným výběrem komponent (armatury, ložiska, motory)
- Chybami při výrobě a montáži (obrábění, vůle, ustavení stroje)
- Materiálovými vadami (licí blány, kvalita materiálu, dodavatelé)
- Uvádění do provozu i po GO (zkoušky, vady ustavení a připojení)

Rozdělení poruch podle příčiny – odpovědnost nese provozovatel:

Provozovatel podle zkušeností autora [2] odpovídá za cca 70% všech poruch a havárií parních turbín v elektrárnách a teplárnách. Není to tím, že by byl na technicky horší úrovni, než výrobce turbíny, ale u provozovatele je turbína desítky let a tak se provozní problémy na jedné turbíně sčítají po celou dobu životnosti.

Životnost parní turbíny se počítá v desítkách let (obvykle 40 roků), ale vypracovával jsem posudek na parní turbínu konstrukce PBS, která byla vyrobena v roce 1953 a stále je v provozu. Kromě toho se v posledním desetiletí výrazně změnila i podmínky provozování starších turbín v souvislosti s přednostním nasazováním obnovitelných zdrojů energie (OZE) a neodpovídají původnímu určení konkrétních turbín v elektrizační soustavě ani historickým zadávacím parametrům.

Nejčastější příčiny poruch turbín, za které má odpovědnost provozovatel jsou:

- Překročení doby životnosti, zanedbání údržby (únava materiálu, lomy) – Obr. 1
- Nečistoty v páře (zasolení a cizí předměty) – Obr. 2
- Nekvalitní olej + nečistoty
- Atypickým provozem turbínového zařízení:
 - Pochybení obsluhy (vzdělání, provozní předpisy)
 - Požadavky na regulaci soustavy s ohledem na OZE
 - Najíždění, odstavení, dlouhý chod naprázdno
 - Kolísání parametrů ucpávkové páry x zahlcení - odvodnění
 - Přestřik a zpětné proudění páry z NTO, nefunkční klapky

Vybraná typická příčina havárií parních turbín:

Jednou z nejčastějších příčin poškození nebo i havárie parní turbíny je kovový dotyk mezi točícím se rotorem a statorem [2]. Takový druh poruchy může způsobit jak výrobce, tak i provozovatel z mnoha různých příčin. Průběh poškození může být od lehkého „rubbingu“ až po fatální havárii s totálním poškozením obou částí. I zde platí, že existují méně a více odolné konstrukce různých uzlů.

Obecně lze potvrdit, že děj „zadírání“ je nevratný a třecí teplo vznikající v místě dotyku roztahuje obě části za rotace proti sobě do stále se zmenšující mezery – následky se v čase pouze zhoršují. Pro zmírnění následků bývá preventivně konstrukčně jedna z částí upravena tak, aby její rychlé a úplné zničení nepoškodilo protikus. Prevence tohoto typu poškození je známa, přesto k popsáním haváriím dochází, protože dotyk mezi rotorem a statorem za provozu bývá až sekundárním jevem nějaké primární (kořenové) příčiny. Dotyk za provozu včetně najíždění a odstavování turbíny nastává z více funkčně zcela odlišných důvodů:

- A. Postupné vymezení vůlí a nedovolené posuvy obvykle znamenají nejprve zvýšené vibrace rotoru a následně dotyk různé intenzity. Důvodem mohou být nejčastěji:
 - Nevhodné ustavení TG na základu
 - Tepelné dilatace částí turbíny (nebezpečný je chod naprázdno) – Obr. 3
 - Tepelné dilatace potrubí – nedovolené síly a momenty od zavěšení
 - Přestřík vody do skříně nebo ucpávek
 - Špatná funkce odvodnění nebo zpětné klapky
- B. Pokud dojde k defektu přímo na rotorové soustavě (lopatka, spojka, ložisko, lom rotoru), je zvýšení vibrací s dotykem okamžité. Následky mohou být od přechodného zvýšení vibrací (než se vyláme celá řada krátkých oběžných lopatek) bez přerušení provozu, až po vážnou havárii s následnou interakcí se zbytky ulomených hmotných lopatek a se sekundárním poškozením ložisek a satorových částí skříně.

Závěr

V příspěvku byly shrnuty obvyklé příčiny havárií parních turbín podle zkušeností soudního znalce z praxe. Jednalo se o turbíny provozované v České republice, na Slovensku, v Polsku, Maďarsku, Švédsku a zemích bývalého Sovětského svazu. Byly zde vytipovány potenciálně nebezpečné konstrukční uzly a zejména činnosti související s návrhem a provozem turbín. U většiny havárií byla původcem souhra několika nepříznivých faktorů.

Zkušenosti lze shrnout do několika obecných pravidel, která mohou sloužit jak výrobcům parních turbín, tak zejména provozovatelům:

- Konstrukce kvalitní parní turbíny vychází z osvědčených funkčních celků, novinky jsou vytvářeny postupným vývojem. Projektové řešení parní turbíny musí respektovat návaznosti na další zařízení ve složitém celku strojovery a celé energocentrály
- Při konstrukci nezapomenout na lidský faktor = odolnost turbínového zařízení proti chybám člověka
- Konstrukce turbíny je výrazně ovlivněna kromě fyziky a mechaniky i cenou. Proto pozor na zdánlivě laciná řešení a unáhlené neověřené unifikační kroky
- Dbát na odborné vzdělání obsluhujícího personálu a zejména porozumění fyzikální podstatě dějů, které se odehrávají za všech provozních stavů uvnitř turbíny
- Dodržovat provozní předpisy výrobce a nedovolit neodbornou manipulaci se zařízením, kdy obsluha nezná všechny souvislosti. Jinými slovy: to co si může

dovolit zkušební technik výrobce při uvádění turbíny do provozu, to nesmí neproškolený personál nikdy zkoušet

- Velmi zjednodušeně, ale bohužel pravdivě k minulosti: ještě před dvaceti roky byly turbíny servisovány v podstatně kratších intervalech GO navíc zkušenými vlastními zaměstnanci provozovatele. Odborná úroveň externího servisu (mimo nabídky servisu přímo od výrobce) může být v současnosti nejistá
- Pro energetické provozy dnes v celé EU vzhledem k dotační politice bohužel platí: maximalizovat podporovanou výrobu elektrické energie a nabízet systémové služby. Otázkou je, zda jsou pro takový typ provozu připraveny starší parní turbíny? Nevzniká tak potenciální riziko jejich poruch? Jak se tento způsob provozu projeví na životnosti?

Literatura:

- [1] Bradáč, A. a kol.: *Soudní inženýrství*, CERM Brno 1999, ISBN 80-7204-133-9
- [2] Fiedler, J.: *Znalecké posudky 2002 až 2017 dle č.j. M-1436/2002 pro základní obor: ENERGETIKA, odvětví tepelné turbíny*



Obr. 1: Překročení doby životnosti



Obr. 2: Zasolení lopatek



Obr. 3: Důsledek ventilace VT lopatkování při chodu naprázdno