

# Informace o vývoji a provozu náporové turbíny

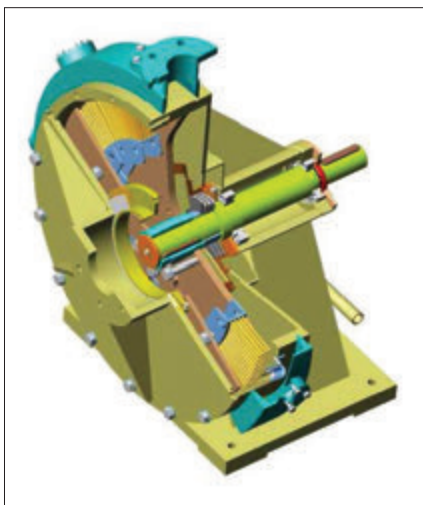
V přednášce se autor zabývá zcela novým principem přeměny kinetické energie páry na točivý moment turbíny. V přednášce je popis přeměny kinetické energie páry na obvodovou sílu, popis vyrobené technologie a provozní zkušenosti s touto technologií včetně vyhodnocení účinnosti a zhodnocení výhod nově postaveného zařízení při srovnání se stávajícím stavem techniky.

Firma GWRD s.r.o. vyvinula, vyrobila a uvedla do provozu několik náporových turbín z nichž poslední o výkonu 100 kW až 200 kW kontinuálně pracuje již přes 1,5 roku v podniku Dalkia Česká republika, divize Karviná. První typ turbíny pracuje s účinností 75 až 90 %. Sestava náporové turbíny je zřejmá z obr. č. 1.

po opuštění drátěného kartáče, nuceně pohybovala po Archimédově spirále do středu turbíny. Zde je pak vyváděna z kola turbíny ven. Tento systém výrazně zvyšuje účinnost turbínového kola.

Principem fungování náporové turbíny je to, že pára, která má kinetickou energii, vytváří ná-

porový tlak na drátěné prvky rotující turbíny. Podle toho, jaký je vstupní tlak před tryskou a výstupní tlak za tryskou (protitlak), turbína pracuje dvěma způsoby. Kritériem pro rozdělení na obě skupiny je poměr tlaku  $p_1$  před tryskou a  $p_2$  za tryskou. Jedná se o známý koeficient beta. Je-li tento poměr větší než beta kritické, pak výtoková



Obr. 1 – Sestava turbíny

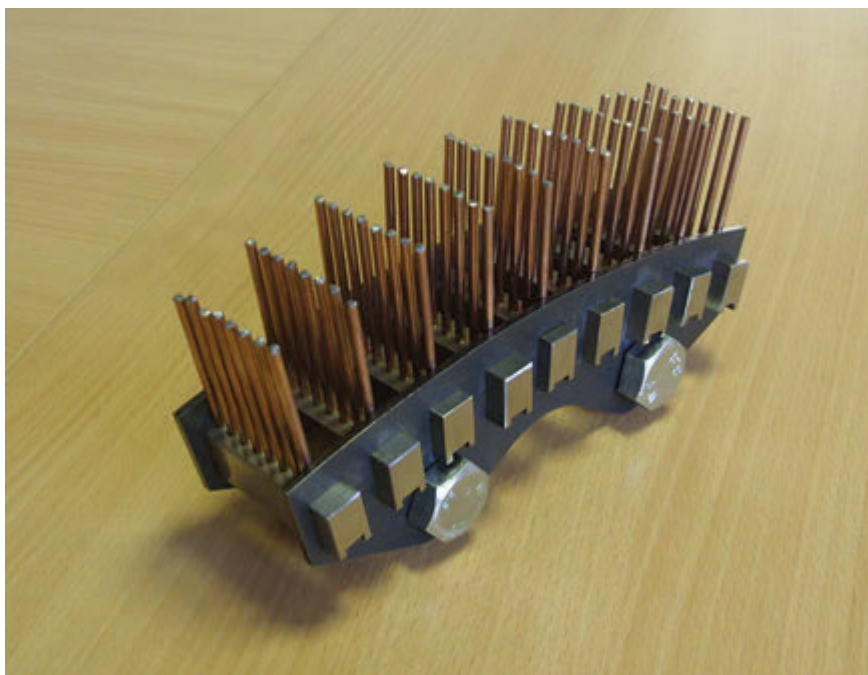
Na hřídeli, která je uložena ve valivých ložiscích a z jedné strany přímo spojená spojkou s generátorem, je uloženo turbínové těleso. Přímé spojení hřídele s generátorem bez převodového ústrojí zjednodušuje údržbu, provozní náklady a zjednodušuje výrobu turbogenerátoru. Náporová turbína vyžaduje pro dosažení vysoké účinnosti dosti velké obvodové rychlosti. Je dimenzována na 3 000 otáček za minutu. Obvodová rychlost turbínového kola je v ideálním případě rovná třetině rychlosti plynu vytékajícího z trysky a tomu odpovídá průměr tělesa turbíny. Hřídel turbogenerátoru je uložena ve valivých ložiscích.

Na levé straně této hřídele na obr. č. 1 je suvně uloženo těleso turbíny, které je tvořeno dvěma disky – viz obr. č. 2, mezi něž jsou vloženy „kartáče“ – viz obr. č. 3, které obsahují náporové prvky. Náporové prvky mohou být nejrůznějšího tvaru, ale z důvodu jednoduchosti výroby je používán kruhový průřez těchto prvků, čili dráty.

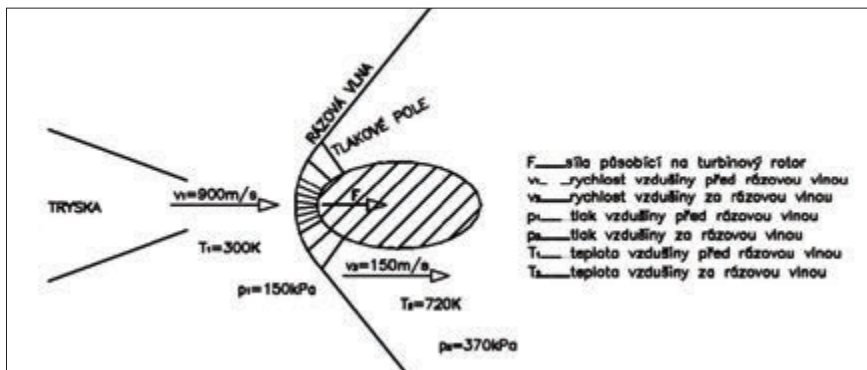
Turbína funguje tak, že tlaková pára je dodávána z přívodního potrubí na obvod turbíny. Na obvodu turbíny je navařeno potrubí, které je modře vybarveno (obr. č. 1). Z tohoto prostoru je pak pára přes trysku tečně foukána na náporové prvky. Tlaková energie páry před tryskou se změní v kinetickou energii za tryskou. Pára pak při kontaktu s jednotlivými prvky drátěného kartáče předává svou hybnost. Konstrukce turbíny je provedena tak, aby se pára,



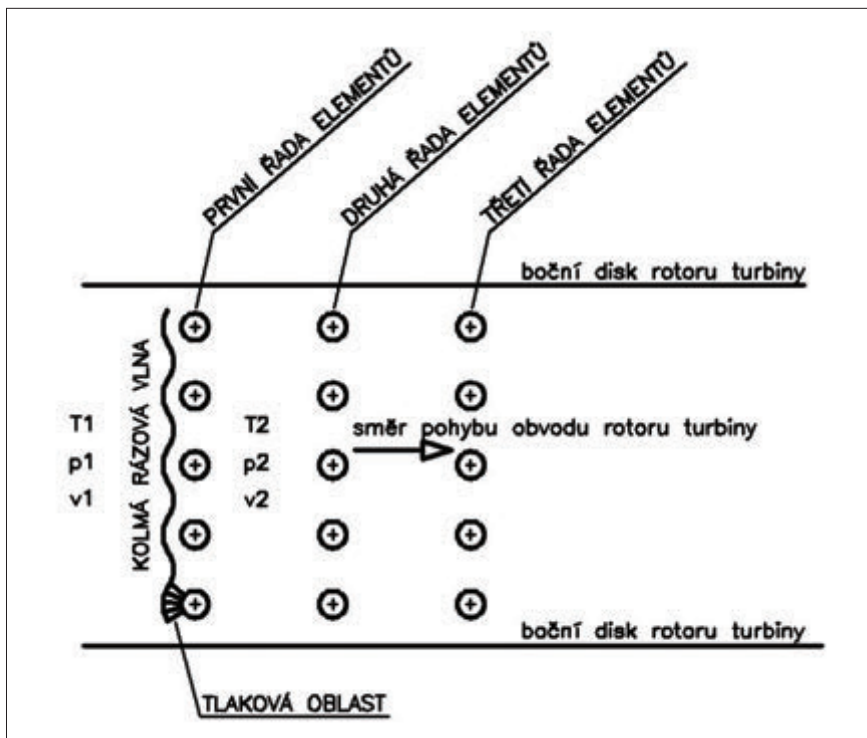
Obr. 2 – Těleso turbíny



Obr. 3 – Kartáče s náporovými prvky



Obr. 4 – Tvar rázové vlny působící na drát



Obr. 5 – Je-li drátů více v jedné řadě, má kolmá rázová vlna například tento tvar

rychlost z trysky je většinou menší než 300 m/sec., např. 230 m/sec. a turbína pracuje jako turbína náporová.

Nezvyklou zajímavostí je skutečnost, že když turbína pracuje v oblasti podkritické, čili s nízkými výtakovými rychlostmi z trysek, blíží se její provoz izotermickému cyklu. Např. turbína v Dalkia Česká republika, divize Karviná má vstupní parametry tlaku 0,95 MPa abs., teplotu 240°C, protitlak na výstupu z turbíny je 0,65 MPa abs. a teplota 235°C. Přitom výkon zařízení na svorkách dosahuje 95 kW při spotřebě páry 7 t/hod. Entalpie páry před vstupem do trysky a za výstupem trysky se mění při těchto parametrech vstupní a výstupní páry jen velmi nepatrně.

Je-li poměr  $p_1/p_2$  menší než beta kritické, je výtaková rychlost většinou vyšší než 330 m/sec., jedná se o proudění nadzvukové. Pak turbína funguje tak (obr. č. 4), že médium proudící z trysky vysokou rychlostí narazí na náporový prvek, vytvoří před ním rázovou vlnu a tato rázová vlna svými silovými, tlakovými a teplotními účinky provádí pohon kola turbíny. Rázová vlna způsobuje

i odpaření kapiček, které přes ni procházejí, a z tohoto důvodu nedochází k poškození náporových prvků kavitací. Funkce přeměny kinetické energie na sílu působící na náporové prvky je zřejmá z obr. č. 4 a obr. č. 5.

Princip přeměny kinetické energie proudící vzdušiny na náporový tlak nebo rázovou vlnu a následně pak na obvodovou sílu je zřejmý z obr. č. 4 a 5. Zde popíši jen převod kinetické energie vzdušiny na pohybovou energii turbíny pro přeměnu kinetické energie rázem. Tvar rázové vlny, která se vytvoří na drátech segmentu z obr. č. 3 je zřejmý z obr. č. 4 a 5.

Z trysky na obvodu turbíny proudí pára např. rychlostí 900 m/s. Tato pára dopadá na obvodové dráty turbíny a vytváří 4 mm před těmito dráty kolmou rázovou vlnu – viz obr. č. 5. Podle známých diagramů, vzorců nebo tabulek platí, že pára proudící rychlostí např. 900 m/s vytvoří rázovou vlnu, za kterou je rychlost proudění páry např. 150 m/s, tlak před rázovou vlnou je např. 1,5 bar, tlak za rázovou vlnou (v prostoru mezi rázovou vlnou a drátěnými prvky) je např. 3,7 bar

a tímto tlakem na drátěné prvky se vytváří síla, kterou je turbína poháněna. Dochází dále ke zvýšení teploty za rázovou vlnou, což způsobuje odpaření kapiček páry, pokud se jedná o páru mokrou. Dochází také k mimořádně velkému a účinnému využití kinetické energie. Je-li před rázovou vlnou rychlost páry vytékající z trysky 900 m/sec., pak 1 kg proudící hmoty má kinetickou energii 405 000 J/kg a za rázovou vlnou je rychlost 150 m/s a tudíž kinetická energie páry je 11 000 J/kg. Z rozdílu kinetických energií

před rázovou vlnou a za rázovou vlnou vyplývá, že na turbíně je možno využít kinetickou energii 405 000 – 11 000 = 394 000 J/kg. A teoretická účinnost přeměny kinetické energie je 97%.

### Konstrukce turbíny

Na obr. č. 3 je vidět jeden ze segmentů, ve kterých jsou umístěny náporové prvky. Tyto segmenty jsou umístěny do oběžného kola, což je zřejmé z obr. č. 2. Toto konstrukční řešení je složeno z velmi jednoduchých prvků, je velmi levné a umožňuje využít pro výrobu turbín válcované nebo drátěné prvky různých profilů, které jsou velmi levné a nepotřebují drahé a složité opracování. Přitom účinnost tohoto systému je stejná jako systému vytvořeného z lopatkových mříží s precizním opracováním. Ze systému, který je použit a z obr. č. 5 vyplývá, že přeměna kinetické energie se realizuje výhradně na řadě náporových prvků, na kterou energie dopadá. Druhá řada, která je za první ve směru proudění vzdušiny, se na přeměně kinetické energie v sílu již podílí minimálně. Tato skutečnost ve svém důsledku způsobuje, že k podstatné přeměně kinetické energie v sílu dochází na velmi malém úseku obvodu, a proto jsou rozměry turbíny malé a turbína může dosahovat velkých výkonů.

Z dalších studií vyplývá celá řada nových námětů pro konstrukční řešení turbíny. Jedno z nich je, že jednotlivé prvky turbíny by bylo možno dělat z uhlíkových vláken. To by umožnilo využít turbínu pro provoz ve vysokých teplotách, např. pro spalovací turbíny. Na obr. č. 6 je turbogenerátor o projektovaném výkonu 110 kW. Tento výkon je zajišťován při tlaku vstupní páry 9,5 bar abs., protitlak 7 bar abs., teplota vstupní páry 240°C, teplota výstupní páry 235°C. Hltnost turbíny se pohybuje od 0 do 12 tun páry za hodinu (0 až 3,3 kg/s). Turbína, při výtakové rychlosti z trysek nižší, než je Machovo číslo, pracuje jako izotermická, trysky v turbíně nemají Lavalovou část, protože výtaková rychlost je podkritická a působí ve své podstatě jako škrťací elementy. Proto teplota před i za turbínou je skoro stejná jako při procesu škrcení. Při hmotovém průtoku 7 t/h, je dosahovaný výkon 96 kWe, účinnost zařízení 85 %. Průměr kola turbíny je 900 mm.

Na obr. č. 7 je menší turbína o výkonu 30 kW, pracuje s neustále se měnícím vstupním tlakem např. 3 až 10 bar a mění se teplotou od 140°C do 350°C a s protitlakem 1 až 2 bar. Tlak a teplota se velmi rychle mění, protože turbína pracuje s odpadní párou vzniklou při chlazení





Obr. 6 – Turbogenerátor o projektovaném výkonu 110 kW



Obr. 7 – Turbína o výkonu 30 kW

kontilití. Výtoková rychlost páry z trysky je nadkritická a tato turbína pracuje jako turbína rázová adiabatická.

#### Provozní zkušenosti z více jak 5letého provozu těchto systémů

Na obr. č. 6 je vidět stroj z Dalkia Česká republika, divize Karviná, který byl postaven na nominální výkon 100 kWe. Při zadávacích podmínkách tohoto stroje byl zadán vstupní tlak admisní páry do stroje 13 bar abs. a protitlak 6 bar abs. Průtok páry strojem při uvedených parametrech měl dosahovat 12 t/h. Proto jsme navrhli pro tento průtok na obvodu stroje umístit 12 trysek. Všechny parametry, na které byl stroj postaven, vyplynuly z pesimistických názorů okolí, že turbína bude mít nízkou účinnost, která byla odborníky odhadována do 40 %. Protože turbína při provozu vykazovala výrazně vyšší účinnosti, než bylo plánováno, nebyli jsme schopni se zadanými parametry vstupní páry splnit požadovaný výkon, neboť turbína svým výkonem výrazně převyšovala limitující výkon generátoru.

Z těchto důvodů jsme museli zaslepit čtyři trysky. Dále došlo k tomu, že vstupní tlak před tryskou není 13 bar abs., ale jen 9,5 bar abs. a výstupní tlak se rovněž zvýšil na průměrných 6,5 bar abs. Průtok páry turbínou se pohybuje mezi 6,8 až 7,2 t/h. Přitom nezřídka se stávalo, že protitlak dosahoval až 8 bar abs. Turbína dále pracuje s mimořádně rychlými změnami parametrů vstupního a výstupního tlaku a průtočného množství páry. Změny jsou třeba i 20 krát za hodinu. Turbína slouží místo hlavního škrticího ventilu pro dodávku



**JSP Měření a regulace**



**Komplexní dodávky SKŘ „na klíč“  
a úplný sortiment instrumentace**

**Měření teploty v průmyslových  
podmínkách**

**Moderní systémy analýzy  
vody a páry**



Teplota



Tlak



Kalibrace



Analýza



Hladina



Průtok



Armatury



Převodníky



Přístroje

**www.jsp.cz**



## Speciální technologie

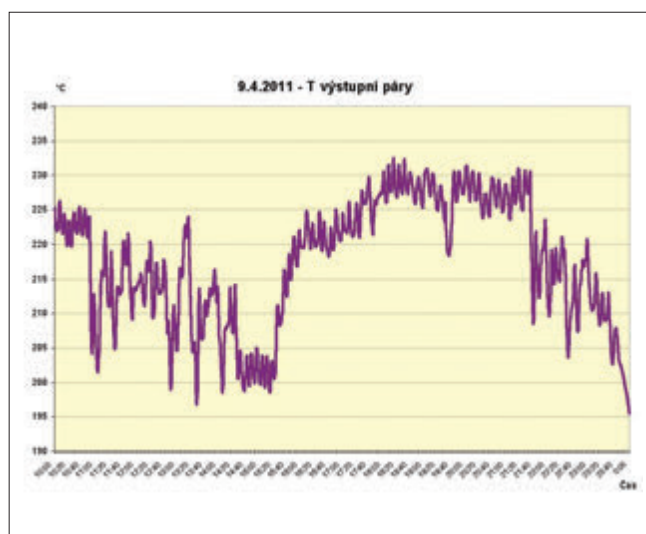
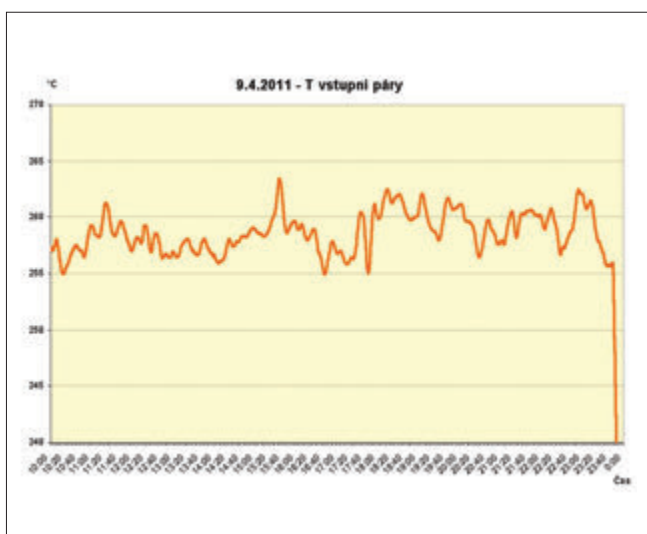
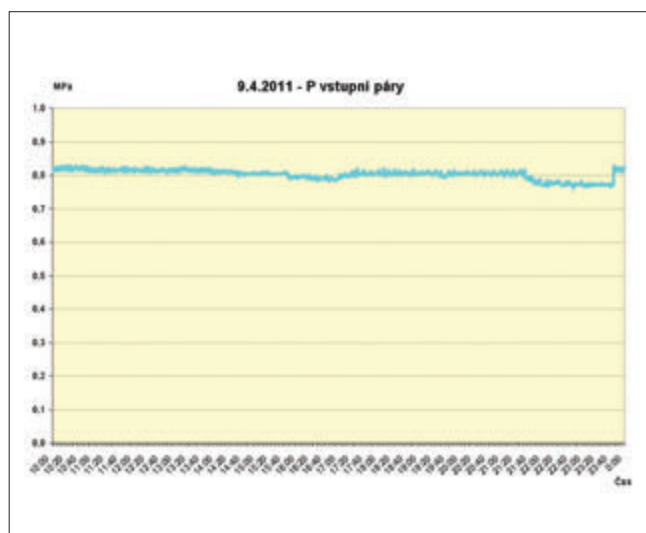
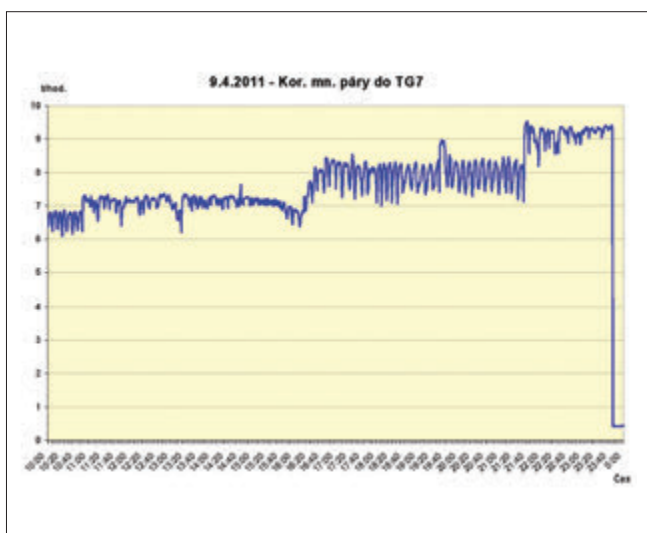
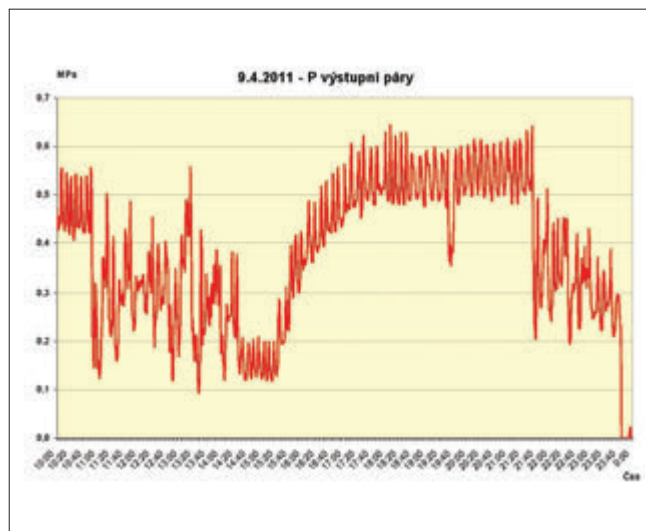
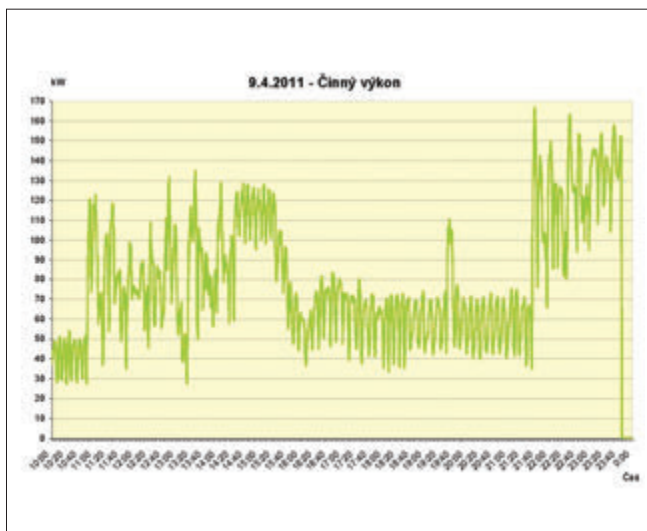


### Zaměření firmy:

- Realizace technologických celků
- Realizace TZB – klimatizace a chlazení
- Servisní činnost v oblasti průmyslových čerpadel a míchadel
- Prodej průmyslových čerpadel a míchadel – zastoupení Scampump, Scaba

Sídlo společnosti: Speciální technologie, s.r.o., U Staré elektrárny 1881/4, 710 00 Ostrava - Slezská Ostrava, telefon: +420 595 536 300, fax: +420 595 536 311  
Výroba: Speciální technologie, s.r.o., Průmyslová 1415/5, 735 35 Horní Suchá

**www.spectech.cz**

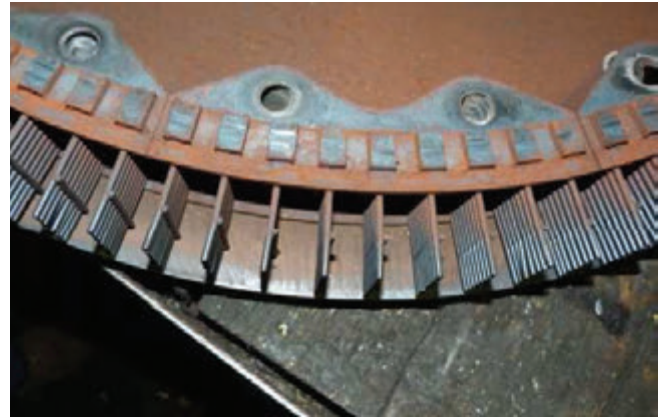
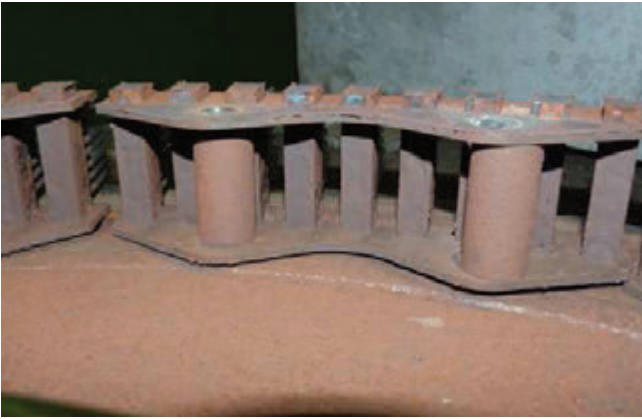


páry pro ohřev teplé vody pro města Karvinou, Havířov a Orlovou. Přestože turbína byla zkonstruována na maximální výkon 100 kW, nebudu komentovat jak, ale jen sdělím, že za určitých situací pracovala dlouhodobě s výkonem 140 kW a špičkově poté dosáhla 160 kW, což je zřejmé ze záznamu počítace (Honeywell), viz následující grafy.

Na grafech je znázorněn záznam výkonu turbíny, průtoku páry, tlaku a protitlaku. Provoz turbíny si obsluha velmi oblíbila, neboť turbína nevyžaduje žádnou údržbu a ani žádný dozor. Dále uvádím, že tato turbína byla

zařazena v rámci podniku Dalkia Česká republika do celostátní soutěže, ve které vyhrála 1. místo. Čtenáře by mohla zajímat životnost jednotlivých prvků turbíny, nechali jsme turbínové kolo po 1,5 roce provozu demontovat, viz obr. č. 8 a obr. č. 9. Musíme konstatovat, že turbína byla uvnitř silně zanesená hematitem, který se vylučoval zřejmě z přívodního potrubí páry k turbíně. Tato skutečnost nemá vliv na provoz a účinnost turbíny. Na fotografiích jsou rovněž vidět konce jednotlivých náporových prvků, které jsou kovově čisté, ale nejsou vůbec opotřebované.





Obr. 8 a 9 – Snímky turbíny po roce a půl provozu

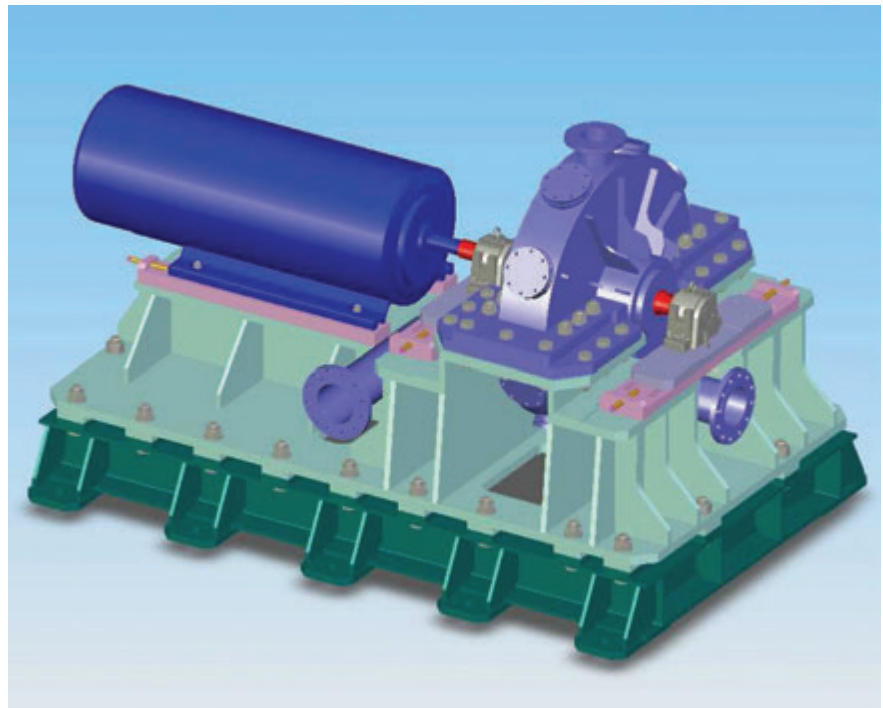
#### Výhody zařízení:

- vysoká účinnost
- možnost práce v mokré páře,
- regulace výkonu od maxima až do 0 při stejné účinnosti,
- rychlý náběh zařízení, řádově v minutách,
- výrobní jednoduchost a s tím spojená nízká cena zařízení. Přeměna kinetické energie vstupující vzdušiny na obvodovou sílu na délce 5 cm obvodu turbíny a z toho vyplývající výrazné zmenšení rozměru a objemu turbíny oproti klasickým lopatkovým turbínám,
- možnost práce s vysokými teplotami i přes 1 300 °C, tedy možnost vyvinout spalovací turbínu,
- možnost stavby velkých jednotek i stovek megawattů na tomto principu,
- parametry tlaku a teploty je možno velmi rychle měnit

#### Možnosti použití a vývoje této technologie

Princip turbíny neomezuje stavbu turbín co do velikosti. Na tomto principu je možno postavit stroje o výkonu 1 000 MW a více. Firma zajišťuje celý vývoj z vlastních peněz, a protože do vývoje můžeme dát jen peníze, které zajišťujeme z jiných činností, je vývoj relativně pomalý. Přesto bych alespoň ukázal návrh stroje o výkonu až 3 MW, viz obr. č. 10.

Jednoduchost technologie a její nízká cena umožňují s výhodou využití naší turbíny i pro technologii pro uskladnění tepelné energie a její zpětné využití pro výrobu elektrické energie ve špičkách.



Obr. 10 – Návrh stroje o výkonu až 3 MW

Dále je možno pomoci této technologie využít nízkopotenciální teplo nebo teplo ze spalin o teplotě pod 200 °C k výrobě elektrické energie.

Poznámka redakce: Vzhledem k zajímavosti tématu uveřejníme tento článek i na [www.allforpower.cz](http://www.allforpower.cz)

a vytvoříme prostor pro veřejnou diskusi. Budeme rádi za názory k tématu, kterému se hodláme dále věnovat.

**Ing. Ferdinand Madry, CSc.,**  
**GWRD s.r.o.,**  
**info@madry.cz**

#### Information regarding development and operation of the ram-air turbine

In the lecture, the author deals with an absolutely new principle of conversion kinetic energy of steam to the turbine torque moment. In the lecture there is a description of the conversion kinetic energy to the peripheral steam power, description of manufactured technology and operational experience with this technology, including efficiency evaluation and advantage evaluation of newly constructed machine in comparison to current technology condition.

#### Информация о разработке и эксплуатации напорной турбины (Ram Air турбины)

В статье автор рассказывает о совершенно новом принципе преобразования кинетической энергии пара для вращения турбины. В статье есть описание кинетических преобразований энергии в периферическую мощность пара, описание технологии промышленного и оперативного опыта работы с этой технологией, в том числе оценка эффективности и оценка преимуществ вновь созданного оборудования по сравнению с существующим.