

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Ing. Miroslav Sedláček, CSc.

Inovační přístupy k využití velmi malých vodních zdrojů

Innovative Approaches to utilise a very Small Water Resources

Summary

The lecture provides an overview of possible approaches in utilising very small water resources. It builds on the concept of energy harvesting - utilisation of very low energy levels - on a reusable water sources. It pays special attention to microsourses as defined by the interval of couple hundred watts to two kilo watts. At the beginning it talks about starting assumptions for the utilisation of very small water sources and also points out specific use cases for bladeless turbines for utilisation the smallest possible water sources for the countryside development. Further the lecture provides a short general description of bladeless turbines and classifies them by the water height and water flow utilisation. This classification is combine with a description of relevant models including the visual documentation.

Next, the lecture shortly describes the history of the innovation of the bladeless turbines. It uses specific examples to showcase possible electrical outputs and return on investment scenarios. It further talks about extremely low water columns - below 1 meter, with the possibility us much bigger water flows, for instance hundreds of litres per second. It explains how is the bladeless turbine contributing to the green energy efforts and how they help to conserve the environment. The lecture ends with the conclusion that the turbine design is still in its infancy and that it is reasonable to expect improvements in the efficiency and thus higher return on investment will lead to broader adoption.

Souhrn

Přednáška sumarizuje inovační přístupy k využití velmi malých vodních zdrojů. Za základní východisko považuje *energy harvesting* (sběr, sklizeň velmi malé energie) na úseku obnovitelných zdrojů vody. Soustřeďuje se na mikrozdroje, jejichž potenciál chápe v rozsahu od několika stovek wattů do dvou kilowatt. Na úvod rozebírá východiska, ze kterých na využití velmi malých vodních zdrojů nahlíží a zároveň ukazuje na konkrétní možnosti odvalovacích bezlopatkových turbín při využívání nejmenších vodních potenciálů pro rozvoj území. Stručně odvalovací bezlopatkové turbíny popisuje a představuje jejich základní podobu. Následně tyto stroje rozděluje podle možností jejich využití z hlediska spádu a průtoku a toto dělení dokládá popisem jednotlivých typů i obrazovým doprovodem.

Dále se přednáška zabývá stručným popisem historie vzniku a inovačního vývoje odvalovacích strojů. Na konkrétních příkladech vypočítává jejich možné elektrické výkony a ukazuje na jejich ekonomickou efektivnost. Podrobněji se zabývá využitím velmi nízkých spádů do 1 metru, kde odvalovací bezlopatkové turbíny mohou využívat větší průtoky vody, například stovky litrů za sekundu. Vysvětluje, proč je možné tyto stroje považovat za příspěvek k ekologicky šetrnému využívání velmi malých vodních zdrojů pro výrobu energie. Dokládá, že především v rámci ostrovních provozů se v praxi ukázaly jako ekonomicky efektivní. Lze předpokládat, že mohou být dále zdokonalovány a jejich inovace povedou k širšímu praktickému využití.

Klíčová slova

Odvalovací tekutinový stroj, bezlopatková turbína, velmi malé vodní zdroje, hladinové spády do 1 m, konfuzor – stator turbíny, odvalovací rotor, inovace bezlopatkových turbín.

Key words

Rolling Fluid Machine, bladeless turbine, very small Sources of Water, Level heads up to 1 m, outlet nozzle – stator of turbine, rolling rotor, Innovation of bladeless turbines.

Obsah

1	Úvod	6
2	Východiska pro inovační přístupy k využití velmi malých vodních zdrojů	7
2.1	Mikrozdroje a odvalovací miniturbíny	9
3	Odvalovací tekutinový stroj a jeho fungování	11
3.1	Inovace odvalovacích miniturbín pro velmi nízké spády	13
4	Závěr	16
5	Literatura	17
6	Ing. Miroslav Sedláček, CSc.	18

1 Úvod

V posledních letech jsou na evropské i národní úrovni jasně stanoveny cíle v oblasti zvyšování podílu výroby energií z obnovitelných zdrojů. V této souvislosti se naskytá otázka, zda by se neměly stát předmětem našeho zájmu také velmi malé potenciální energie vody.

Při energetickém a ekologickém úhlu pohledu na vodní zdroje jsou v rozvinutých společnostech podmínky a souvislosti jejich využívání mnoho let přesně formulovány a zakotveny v právních normách. Existují jasně stanovená kritéria pro nakládání s vodami jak na národohospodářské úrovni, tak v konkrétních podmínkách určitého území. Naším cílem není jejich rozbor ani hodnocení. V rámci stanovených pravidel chceme pouze ukázat na možnost ekologicky čisté, technicky jednoduché a ekonomicky výhodné exploatace nejmenších vodních zdrojů, které nejsou k výrobě energie prozatím využívány ani dostatečně vyhodnoceny. Jejich potenciál si pro další zkoumání omezíme veličinou 2 kW, abychom jednoznačně stanovili prostor, ve kterém budeme naše analýzy uskutečňovat.

Tato stanovená hranice vyplývá především ze tří základních důvodů. První spočívá v tom, že jako technický nástroj pro využití uvedeného potenciálu budeme uplatňovat a hodnotit tzv. odvalovací tekutinový stroj [1]. Je to *bezlopatková miniturbína*, jejíž efektivní fungování se projevuje právě v souvislostech s mimořádně malými potenciálními energiemi, které dokáže s přijatelnou účinností transformovat na užitečný výkon. Další důvod vyplývá ze skutečnosti, že potenciální energie vody v řádech stovek wattů či několika málo kilowatt není prozatím z hlediska výroby energie a jejího užití podrobněji zhodnocena. Přitom se nemusí jednat pouze o přírodní podmínky, ale může také jít o určité průmyslové provozy a rekuperaci energie [2]. Třetí důvod vyplývá ze skutečnosti, že v poslední době zesiluje tendence k využívání velmi malých energií – *energy harvesting* [3]. Jedná se o přístupy, které jsou aktivně rozvíjeny řadou zahraničních univerzit [4]. A právě těmto velmi malým zdrojům vodní energie a možnostem jejich využívání cestou odvalovacích strojů, především v oblasti velmi nízkých spádů, se budeme v dalším textu věnovat.

Za velmi nízké spády označme pro potřeby našeho dalšího zkoumání takové, které nepřekračují výšku 1 m a vysvětleme ekonomické aspekty jejich využití. Přesněji, zaměříme se na technickou možnost a ekonomickou návratnost využívání marginálních spádů v intervalu 0,5 – 1,0 m, protože tyto se jeví jako energetický zdroj, který by mohl být v budoucnu v masovém měřítku efektivně využíván. Přírodních podmínek a také *průmyslových spádů* v uvedeném intervalu je na našem území, ale rovněž i jinde ve světě, velmi mnoho. Jejich průtoky se obvykle pohybují od několika desítek do několika stovek litrů vody za sekundu a přitom tyto potenciální energie nejsou k energetickým účelům téměř vůbec využívány.

V následujících analýzách se na tyto marginální spády budeme soustředit nejen z hlediska teoretického zkoumání, ale budeme zároveň předkládat zkušenosti, které při jejich využívání již byly získány a doprovodíme je obrazovým materiálem. Na tomto místě proto uveďme, jaké jsou zdroje obrázků, které jsou v přednášce použity. Obr. č. 1 a 2 jsou ze zdroje [12], obrázek č. 14 je ze zdroje [14] a obrázky č. 3 – 13 a 15 a 16 jsou z archivu autora.

2 Východiska pro inovační přístupy k využití velmi malých vodních zdrojů

Inovační přístupy energetického využívání velmi malého vodního zdroje musí reflektovat všechny souvislosti, které proces inovací determinují. Na prvním místě se musí jednat o vyjádření pozitivní změny u nějakého výrobku nebo při zavádění vědeckého a technického pokroku do praxe. Ve výrobním procesu je důležité, aby inovace vedla k vyšší produktivitě práce nebo aby znamenala úspory přírodních zdrojů. V našem případě odvalovacího tekutinového stroje jde o zlepšování jeho užitných vlastností při využívání velmi malých vodních zdrojů, resp. mikrozdrojů s potenciálem do 2 kW.

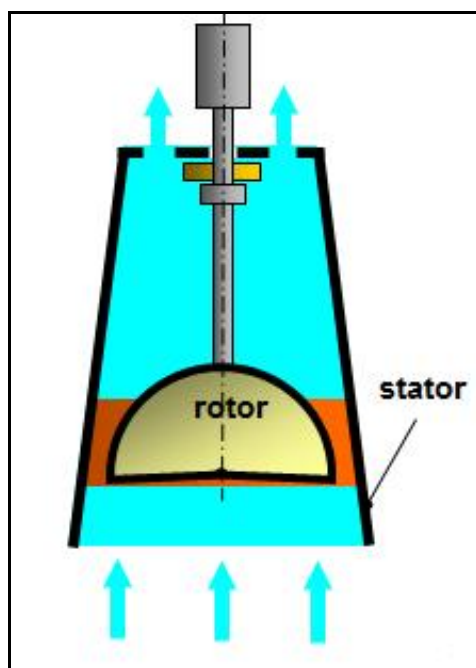
Na tomto místě zkusme stručně uvést, proč má smysl zabývat se takto malými potenciály. Jako hlavní důvod se jeví to, že ve svém součtu mohou představovat poměrně značný výkon. Krátký exkurs do historie: v roce 1930 vznikl v tehdejším Československu na popud Ministerstva veřejných prací seznam všech provozovaných vodních děl – mlýnů, hamrů, pil, ... , který sloužil pro výměru „daně z vodní síly“ [5]. Podle „Seznamu...“ bylo na území tehdejší Československé republiky 15 683 vodních děl (z toho 11 785 v Čechách a na Moravě). A ještě doplníme, že z tohoto celkového počtu mělo 1 982 výkon menší než 2 koňské síly (cca 1,47 kW). Zpět do současnosti: k 31. 7. 2014 registroval Energetický regulační úřad na území ČR 1 508 malých vodních elektráren, tj. pouze jedna osmina toho co v r. 1930 [6].

Na většině kontinentů objektivně existují území, která poskytují mnoho malých vodních zdrojů – mikrozdrojů, které by mohly být za účelem výroby energie efektivně exploatovány. Ale prozatím nejsou. V této souvislosti si můžeme položit otázku, zda jde o neměnnou situaci, zda tomu tak bude i v příštích letech. Neměli bychom se v konkrétnějším pohledu zamyslet nad intenzivnějším a zároveň vyváženým využíváním těchto mikrozdrojů z hlediska jejich ekologického rozvoje a mikroenergetické užitečnosti? Odpověď zní jednoznačně, ano, musíme se uvedenými otázkami vážně zabývat. Přitom je nezbytné, aby přístup k využívání velmi malých vodních zdrojů komplexně odrážel všechny legislativní souvislosti, a aby v praxi docházelo k jejich zhodnocování v ekologickém i ekonomickém smyslu.

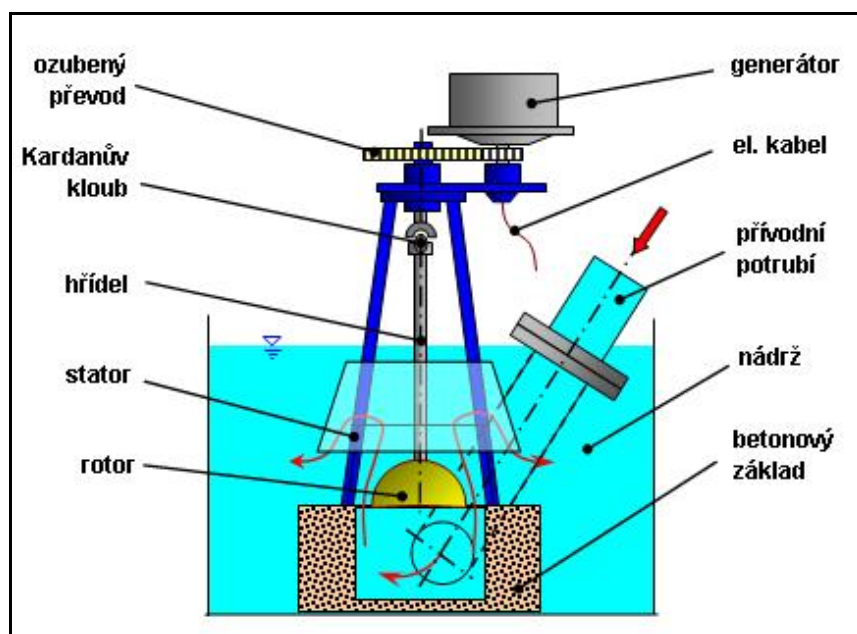
Otázka tedy zní: jaké konkrétní inovační souvislosti, které vyjadřují bezprostřední vztah mezi odvalovacími miniturbínami a malými vodními zdroji nás musí zajímat? Na prvním místě je to vztah mezi konkrétní konstrukcí odvalovací turbíny a potenciálem daného místa instalace. V dalším textu si ukážeme, že v průběhu uvádění odvalovacích strojů do praxe se vyprofilovaly v závislosti na uvedených souvislostech tři základní koncepce bezlopatkových odvalovacích turbín. První z nich je vhodná pro spády 2 – 15 metrů, druhá pro spády 1 – 2 metry a třetí pro spády do 1 metru.

Mezi další východiska, která je nezbytné na tomto místě zmínit, patří problematika diverzifikace zdrojů elektrické energie a masovější využívání ostrovních provozů. Je všeobecně známou skutečností, že ostrovní provozy nepodléhají vnějším vlivům, neboť využívají energii, která vznikla přímo v místě spotřeby. A v případě *blackoutu* by zůstaly fungovat a plnily by své původní funkce. V této souvislosti musíme zdůraznit, že smysluplný ostrovní režim je možné provozovat již při nepřetržitém elektrickém výkonu 100 W.

Na základě praktických zkušeností a měření provedených společností Mechanika Králův Dvůr s.r.o. bylo prokázáno, že za 24 hodin může být ze stowattového výkonu naakumulované dostatečné množství elektřiny pro provoz jednoho malého objektu. Celková denní spotřeba elektřiny objektu vybaveného osvětlením, ledničkou, televizí, rozhlasovým přijímačem a dalšími spotřebiči byla v průměru stanovena na 1890 Wh včetně ztrát ve výši cca 10 % [7].



Obr. č. 1 Schéma uspořádání odvalovací miniturbíny s podepřeným rotorem



Obr. č. 2 Schéma praktické konstrukce turbíny (DVE 120) pro malou vodní elektrárnu

Obrázek číslo 1 a obrázek číslo 2 ukazují základní schéma odvalovacích tekutinových strojů – bezlopatkových miniturbín. Rotor těchto strojů je vždy umístěn na hřídeli s možností úhlového vychylování všemi směry a otáčení okolo svojí podélné osy. Stator je tvořen konfuzorem, který se zužuje ve směru proudění kapaliny.

2.1 Mikrozdroje a odvalovací miniturbíny

Zaměříme-li se nyní podrobněji na kategorii výkonů do 2 kW z hlediska konkrétních podmínek instalace, které jsou vhodné pro odvalovací tekutinové stroje, pak tohoto výkonu můžeme dosáhnout následující kombinací spádů a průtoků: 1) spád 2 – 15 m, průtok 5 – 15 l/s. Nebo 2) spád 1 – 2 m a průtok 20 – 100 l/s. Nebo 3) spád 0,5 – 1 m a průtok 50 – 200 l/s. Uvedené hodnoty vychází z praktických zkušeností, které byly získány při provozu různých typů odvalovacích miniturbín. V prvním případě to byl stroj se spodním přívodem vody (viz obr. č. 3), ve druhém případě se jednalo o barelovou verzi odvalovacího stroje (viz obr. č. 4) a na třetím místě šlo o dvouplášťový typ odvalovacího stroje pro velmi nízké spády do 1 m (viz obr. č. 5).

Podrobnější vysvětlení fungování odvalovacích strojů provedeme v následující kapitole. Nyní o nich hovoříme pouze z toho důvodu, že chceme přesněji formulovat souvislosti, které znamenají určité výhody při exploataci mikrozdrojů cestou bezlopatkových miniturbín. Tyto výhody jsou velmi úzce spojeny s každým jednotlivým typem stroje a mají svá specifika. Každá verze odvalovací miniturbíny je tedy vhodná pro určité parametry spádu a průtoků. Například stroj podle obrázku č. 3 není možné instalovat na spádu 0,5 m, i když princip jeho fungování je totožný s principem nízkospádového typu odvalovacího tekutinového stroje z obrázku č. 5. Přitom však platí, že každý z uvedených typů může být dále rozvíjen, jak je to například znázorněno na obrázku č. 6, kde byl odstraněn vnější plášť sestavy, zvětšen původní průměr vnitřního zásobníku tekutiny a rovnoměrnost přítoku vody byla zajištěna pomocí dvou přívodních potrubí.

Základní východisko pro popis a hodnocení odvalovacích turbín ve vztahu k mikrozdrojům vody musíme spatřovat v tom, že jsou konstrukčně velmi jednoduché a při jejich výrobě nejsou zapotřebí žádné speciální materiály ani výrobní postupy [8]. V praxi bylo vyzkoušeno, že některé součásti lze vyrábět z plastů vstřikovacím lisem nebo pomocí 3D tiskárny, což výrazně snižuje jejich cenu. Navíc, montáž jednotlivých částí odvalovacího stroje je možná pouze šroubovými spoji a pod úrovní hladiny se nenachází žádná mazací místa. Všechny tyto skutečnosti pozitivně ovlivňují výrobní náklady a snižují náročnost údržby, což se kladně odráží v ekonomickém hodnocení provozu. Rovněž je důležité, že instalace odvalovacích strojů nevyžaduje žádné speciální postupy a není komplikovaná. Porovnáme-li náklady na získání 1 kW výkonu u nově budované malé vodní elektrárny s konvenčními typy turbín, které se podle odborných odhadů pohybují v Evropě kolem 5 000 – 13 000 Euro [9, s. 202], zjistíme následující: cena kašnové miniturbíny s výkonem 0,25 kW je v současnosti (individuální zakázková výroba) v průměru 40 000 – 50 000 Kč bez DPH. To znamená, že výkon 1 kW pořídíme za cenu cca 160 – 200 tis. Kč. Náklady evropského průměru, tedy ceny (při kurzu 27 Kč / Euro) 135 000 Kč – 351 000 Kč jsou v zásadě srovnatelné s aktuálními cenami odvalovacích miniturbín. Kdybychom porovnali hmotnost turbíny na jeden kW výkonu (m/P), pak by nám například u DVE 120 (podle obr. č. 3) vyšlo, že na jeden kW výkonu jsou zapotřebí čtyři miniturbíny s generátorem 250W, přičemž každá váží bez generátoru 26 kg. Měrná hmotnost turbíny DVE 120 by tedy činila 104 kg na 1 kW. To je přibližně trojnásobek toho, jaká je měrná hmotnost současných vodních turbín. Do budoucna však můžeme předpokládat, že tato nevýhoda bezlopatkových turbín se bude s jejich dalšími inovacemi snižovat.

Jako významné se dále jeví i to, že malé elektrické výkony odvalovacích turbín mohou být integrovány do jednoho společného výkonu, protože mohou být instalovány na jednom vodním zdroji velmi blízko sebe. Sestava odvalvací turbíny s odpovídajícím malým generátorem pak tvoří jednu *buňku integrovaného systému*. Tento systém může být v praxi uplatněn i pro využití energie mořských nebo říčních proudů, kdy samostatné odvalovací jednotky – buňky jsou instalovány v horizontální poloze. Takové uspořádání může být výhodně uskutečněno například podle patentovaného řešení s názvem *Precesní kapalínová turbína* [10], kdy generátor elektrické

energie je instalován ve směru proudění před rotorem odvalovací miniturbíny. Viz obr. č. 7 a 8.



Obr. č. 3 Praktická instalace miniturbíny se spodním nátokem vody



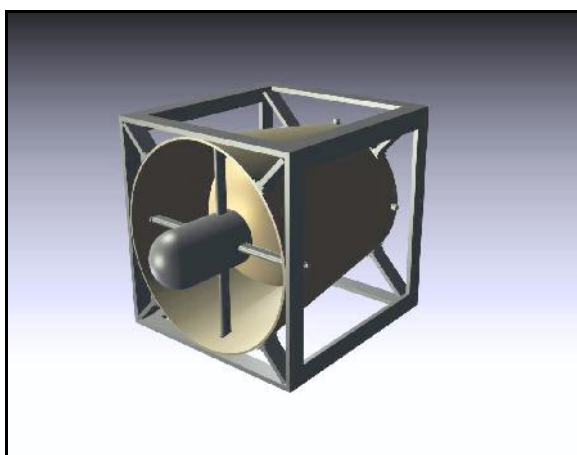
Obr. č. 4 Barelová verze miniturbíny s horním nátokem vody



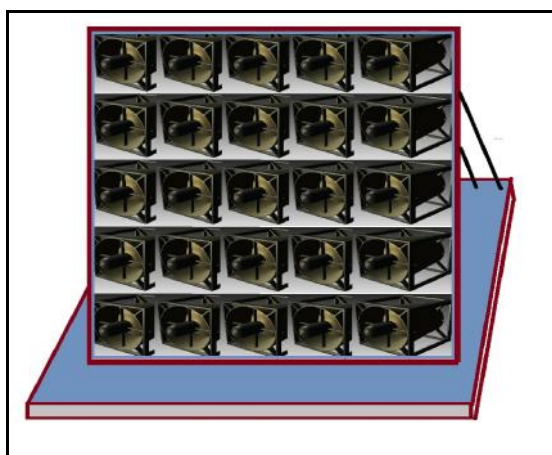
Obr. č. 5 Dvouplášťová verze kašnové miniturbíny pro spády do 1 m



Obr. č. 6 Kašnová miniturbína pro velmi nízké spády s dvěma přívodními potrubími



Obr. č. 7 Základní podoba precusní kapalinové turbíny s generátorem před rotorem



Obr. č. 8 Sestava integrovaného systému 25 precusních kapalinových turbín

3 Odvalovací tekutinový stroj a jeho fungování

Odvalovací tekutinový stroj představuje bezlopatkový fluidní stroj, který můžeme nazvat turbínou, resp. miniturbínou. Funguje velmi dobře jak s plyny, tak s kapalinami. Má velmi jednoduchou konstrukci – rotorem je těleso osově symetrického tvaru, které je umístěno na hřídeli s možností úhlového vychýlení všemi směry a současně s možností otáčení kolem svojí osy. Jedná se tedy o takový stroj, ve kterém se rotor pohybuje precesním způsobem. Odvaluje se po vnitřní stěně výtokového konfuzoru a zároveň se otáčí kolem své podélné osy, a proto byl nazván *odvalovací tekutinový stroj*. Poprvé byl zkonstruován již v roce 1993.

Vznikl jako výsledek pozorování přírodního úkazu, kdy se za určitých okolností začnou ve vodním víru plovoucí předměty odvalovat (koulet). Sami se můžeme přesvědčit, že například ve vodním víru, který vznikl v nějaké přirozeně vytvořené tůni, se plovoucí věci občas koulí podél její vnitřní stěny a proto se otáčí proti směru víru. Postupně se ukázalo, že proudění tekutin mezi povrchem rotujícího a současně precesně se pohybujícího rotoru odvalovacího stroje a vnitřním povrchem jeho výtokového konfuzoru je zcela nové a není v odborné literatuře popsáno a vysvětleno. Bylo nazváno *odvalovacím jevem*. Energie proudící tekutiny je prostřednictvím tohoto hydrodynamického *odvalovacího jevu* odevzdávána rotoru stroje a je možné odebírat ji dvojitým způsobem. Buď z otáčející se hřídele rotoru, nebo přímo z jeho oběhů. Hřídel je s rotorem spojena pevně a proto oběhy rotoru se projevují jako otáčení hřídele.

Neexistující teoretická interpretace fungování *odvalovacího jevu* a samotná novost principu znamenala zpočátku velkou překážku při uvádění odvalovací miniturbíny do praxe, protože nebylo možné snadno sestavit a optimalizovat určité konkrétní verze těchto bezlopatkových miniturbín. Patentová ochrana odvalovacích strojů se tedy po čase ukázala být velmi důležitá. Jestliže různé patentové instituce na celém světě, na prvním místě *Světový úřad duševního vlastnictví* (WIPO), ve svých rešerších potvrzovaly, že konkrétní podoba stroje nikde není známá a zároveň princip, na kterém stroj pracuje, se v databázích nikde neobjevuje, byl to dostatečný důkaz jeho novosti. Jako první byl získán český patent s názvem *Kulová vodní turbína* [11], který obsahoval definici podstaty odvalovacího stroje jako takového, kdy rotorem je pravidelná koule, která je roztáčena protékající kapalinou tím způsobem, že je odvalována po vnitřní stěně konfuzoru. Po tomto patentu pak následovala řada dalších domácích i zahraničních ochranných dokumentů, které představovaly různé aplikační podoby využití bezlopatkových miniturbín. Veškeré podrobnosti o konstrukci a využívání bezlopatkových miniturbín jsou uvedeny v monografii *Bezlopatková miniturbína - Cesta k energetickému využití nejmenších vodních zdrojů* [12].

Praktické uspořádání základních částí – rotoru a statoru (dýzy) – může mít podobu podepřeného nebo zavěšeného rotoru, přičemž využívání kroutícího momentu na hřídeli může být řešeno různými způsoby: například pomocí pevné hřídele s kardanovým kloubem nebo pomocí pružné hřídele apod. Využívání energie přímo z precesně obíhajícího rotoru je obvykle uskutečňováno pomocí klikového mechanismu.

Nejčastější praktické řešení odvalovací miniturbíny je založeno na koncepci tzv. podepřeného rotoru, který je pomocí přidržovacího zařízení umístěn ve vstupní části výtokového konfuzoru. Takové uspořádání má hlavní výhodu především v tom, že hřídel není obtékána pracovní kapalinou, čímž jsou minimalizovány ztráty, které vznikají v důsledku jejího precesního pohybu. Viz obrázek číslo 9.

Druhé a méně používané řešení spočívá v zavěšení rotoru pomocí tzv. závěsného zařízení, kdy voda vstupuje do výtokového konfuzoru a k odvalovacímu rotoru tak, že obtéká hřídel rotoru uvnitř určitého barelu – kotle, který tvoří zásobník tekutiny a zajišťuje potřebný

spád. Blíže viz obrázek číslo 10. Toto uspořádání odvalovacího stroje má určité výhody, které vyplývají z toho, že zavěšený rotor je při své činnosti, kdy se dotýká vnitřní stěny výtokového konfuzoru, vždy svojí rovinou největšího průměru nakloněn směrem do konfuzoru. Markantní je to v případech, kdy rotor má podobu polokoule, přičemž není podstatné, jde-li o polokouli plnou nebo otevřenou (dutou).



Obr. č. 9 Komerční mniturbína s podepřeným rotorem pro spády do 15 m a průtoky do 15 l/s

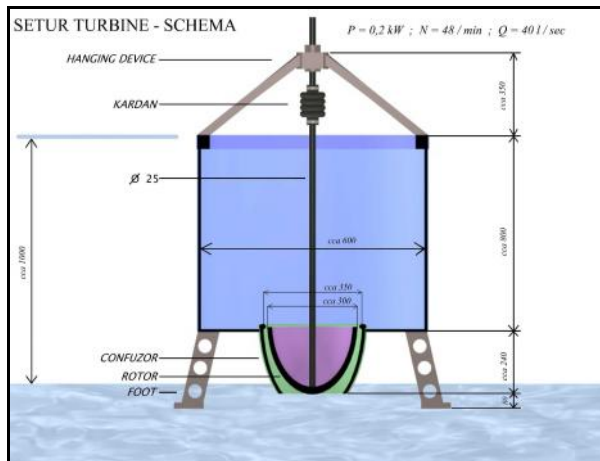


Obr. č. 10 Příklad zavěšeného rotoru u kotlové (barelové) verze turbíny

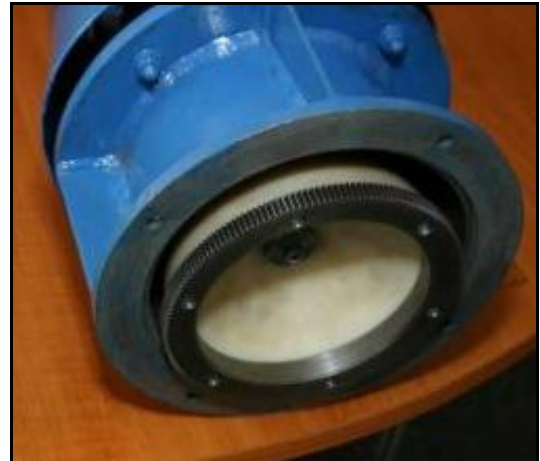
Každý jednotlivý oběh rotoru po vnitřní stěně konfuzoru znamená pootočení rotoru a hřídele o určitý malý úhel – několik stupňů. Čím je mezera mezi rotorem a konfuzorem menší, tím větší počet oběhů je potřebný na jedno otočení hřídele okolo její podélné osy. Platí tedy, že za jinak neměnných podmínek vykazuje hřídel turbíny rozdílné otáčky pouze v závislosti na výškovém uložení rotoru v konfuzoru.

Původní prototypové koncepce odvalovacích turbín používaly rotor zavěšený ve vstupní části konfuzoru. Průtok vody se obvykle pohyboval v desítkách litrů za sekundu. Axiální síla působící na rotor směrem do konfuzoru, vyvolaná výškou použitého spádu, byla zadržována v různých typech závěsných zařízení a kloubů, které umožňovaly jak otáčení hřídele a rotoru v jejich podélném směru, tak i odvalování rotoru uvnitř konfuzoru. Nejznámější podobou těchto typů byly tzv. kotlové (barelové) turbíny, které většinou pracovaly s průtoky 15 – 50 l/s na spádech od jednoho do dvou metrů. Schématický příklad provedení popsaného typu odvalovacího tekutinového stroje je na obrázku číslo 11 ($H = 1 \text{ m}$, $Q = 40 \text{ l/s}$, $P_{\text{mech}} = 0,2 \text{ kW}$).

Požadavky praxe, aby odvalovací tekutinové stroje mohly být využívány také s minimálními průtoky a na spádech nad 2 metry, vedly k jejich výrazné inovaci. Základem konstrukčních změn, ale i filozofie zaměření odvalovacích turbín, se staly mikroprůtoky v intervalu 5 – 15 litrů vody za sekundu na spádech 2 – 15 metrů. Koncepce stroje vycházela z původního patentovaného řešení, avšak zaměřila se na optimalizaci odvalovacích rotorů s průměrem od 120 do 180 mm a zamezení prokluzování rotoru uvnitř konfuzoru instalací hydraulických kanálů, resp. ozubení na rotoru i statoru. Na obrázku č. 12 je příklad kovového ozubení na rotoru 120 mm. Vývoj a následné dlouhodobé testy těchto typů prokázaly, že spotřebitelsky užitečný výkon lze získávat pomocí odvalovacích turbín již z mimořádně malých průtoků, například okolo 6 – 7 litrů vody za sekundu na spádu 4 – 5 metrů.



Obr. č. 11 Schéma barelové miniturbíny



Obr. č. 12 Kovové ozubení na rotoru

Kromě popsaných energetických aplikací lze odvalovací stroje využít i jako motor pro pohon různých nářadí, kde se může výhodně projevit precese hřídele a tím precese nástroje, který je na ní instalován. Rovněž mohou být úspěšně uplatněny v oblasti irigací, čistících procesů, aeraci v biologických procesech čištění odpadních vod a podobně [13]. Rozměry těchto strojů mohou být velmi malé, průměr rotoru může být například jen několik centimetrů a v určitých případech dokonce jen několik milimetrů.

Mechanická účinnost odvalovacích turbín byla stanovena měřením na cca 35 – 55 %. Praktickými pokusy bylo potvrzeno, že efektivní fungování těchto vodních motorů závisí v první řadě na tvaru rotoru a výtokové dýzy (statoru), na koncepci uložení rotoru, na kvalitě jeho povrchu, na absolutní velikosti mezery mezi rotorem a státorem v kombinaci se spádem a mnoha dalších souvislostech. Lze předpokládat, že v budoucnu provedené výzkumy a optimalizace budou znamenat zvýšení účinnosti strojů a tím jejich širší praktické využití.

3.1 Inovace odvalovacích miniturbín pro velmi nízké spády

Abychom přesněji vyjádřili genezi a vývoj těchto miniturbín, pohlédneme alespoň ve stručnosti na konkrétní podoby jednotlivých typů odvalovacích strojů pro velmi nízké spády, tak, jak se postupně objevovaly v praxi.

V souladu s předchozím se zaměříme na využívání marginálních spádů v intervalu 0,5 – 0,9 m, protože tyto se jeví jako zdroj, který by mohl být v budoucnu v masovém měřítku efektivně využíván. Přírodních podmínek a také *průmyslových spádů* v uvedeném intervalu je na našem území, ale rovněž i jinde ve světě, velmi mnoho. Jejich průtoky se obvykle pohybují od několika desítek do několika stovek litrů vody za sekundu a přitom tyto potenciální energie nejsou k energetickým účelům téměř vůbec využívány.

Za hlavní důvod tohoto stavu můžeme považovat skutečnost, že prozatím chybí odpovídající technické zařízení. Praktické zkušenosti z poslední doby však ukazují, že odvalovací turbíny by mohly tuto situaci pozitivně ovlivnit, protože jsou při uvedených parametrech technicky poměrně snadno aplikovatelné a zároveň ekonomicky efektivní.

Podle CZ patentu číslo 302361 s názvem *Precesní kapalinová turbína* bylo zkonstruováno zařízení – odvalovací turbína, která může uvedené minimální spády úspěšně využívat. Mechanický výkon je odebírán z obíhání rotoru *unašečem* (pomocí klikového mechanismu). Využívají se tedy precesní oběhy rotoru uvnitř statoru, ne jeho otáčky. (Podrobnější informace o podobě klikového mechanismu jsou obsaženy ve výše uvedeném patentu). Ve statoru turbíny je rotor instalován bez jakéhokoli ozubení, protože otáčení rotoru není odebíráním výkonu nijak ovlivněno. Rotor je brzděn při svém precesním oběhu, tedy při tom, jak se odvaluje (koulí) a jeho povrch nemusí být opatřen žádnými prvky proti prokluzování. Voda je velmi často přiváděna do meziprostoru mezi pláštěm turbíny a pomocnou kašnou a spád je tedy definován výškou hladiny v kašně, resp. jejím horním okrajem a spodní hladinou, ve které je sestava umístěna. Blíže viz obrázek číslo 5, kde je konkrétní výška spádu 0,6 m.

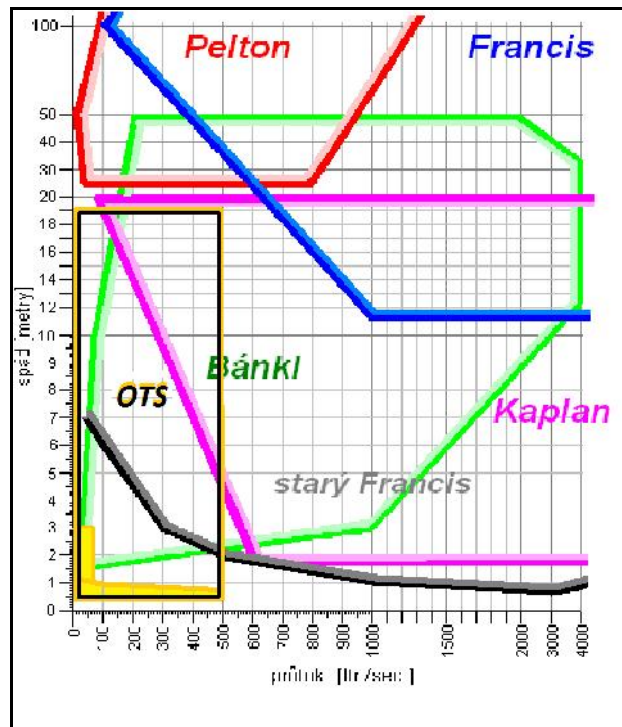
Praktické zkoušky potvrdily, že na spádu například 0,75 m může turbínou s průměrem rotoru 0,34 m protékat (při jejím maximálním zatížení) cca 60 litrů vody za sekundu. Blíže viz obrázek číslo 6. To představuje potenciální energii 0,44 kW. Při konkrétní účinnosti takové miniturbíny *jen* 50 % a při účinnosti použitého generátoru *jen* 80 %, je elektrický výkon sestavy cca 170 wattů. To znamená, že za 24 hodin mohou být vyrobeny (naakumulovány) 4 kWh elektřiny.

Budeme-li dále uvažovat o spotřebitelské ceně elektřiny v místě instalace turbíny 5 Kč za jednu kWh, pak při ceně sestavy 45 tis. Kč bude její *prostá návratnost* přibližně 7 a půl roku, jestliže bude turbína ročně v provozu alespoň po dobu 10 měsíců.

Na obrázku číslo 13 je turbína s rotorem o průměru 0,25 m, která je instalovaná na výtoku z čistírny odpadních vod. Do budoucna se počítá s instalací odvalovací turbíny s okamžitým elektrickým výkonem 0,4 – 0,6 kW, která by měla pracovat s průtokem cca 200 litrů vody za sekundu na spádu 0,6 – 0,7 m.



Obr. č. 13 Miniturbína instalovaná na výtoku z čistírny odpadních vod

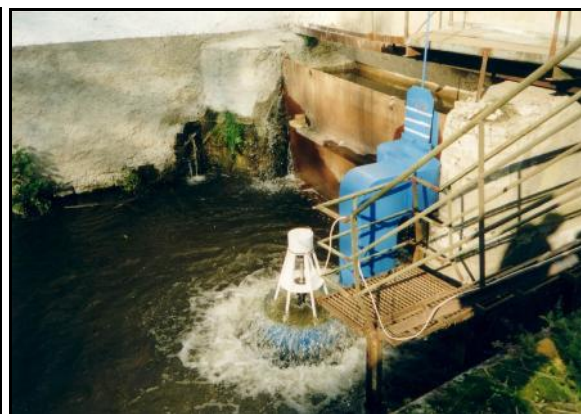


Obr. č. 14 Rozsah použití základních druhů turbín. Původní grafické znázornění [14] doplněné o rozsah využitelnosti odvalovacích tekutinových strojů - OTS (úprava autor ve spolupráci s prof. Ing. Pavlem Šafaříkem, CSc., Fakulta strojní ČVUT v Praze).

Na obrázku č. 14 je graf, který schematicky znázorňuje oblast použití odvalovacích tekutinových strojů (OTS) – bezlopatkových miniturbín. Vychází z prakticky naměřených hodnot, kdy průtoky se pohybovaly v intervalu od 5 l/s do 500 l/s a spády od 0,4 m do 20 m. Například na zkušebně ČKD Blansko Engineering byly testovány turbíny s průtokem do 60 l/s na spádech 1,8 m – 3,8 m. Společnost Mechanika Králův Dvůr, s.r.o., která se na vývoji různých typů odvalovacích turbín dlouhodobě podílela, instalovala na řece Berounce v obci Karlštejn odvalovací turbínu s průtokem do 500 l/s na spádech 0,9 – 1,3 m. Konkrétní uspořádání této turbíny spočívalo v tom, že hřídel rotoru byla ve svojí střední části umístěna v kloubu, aby mohla vykonávat precesní pohyb. Vizualizace tohoto uspořádání stroje ve verzi s plovoucím rotorem je na obrázku číslo 15 a fotografie z reálného provozu v obci Karlštejn je na obrázku číslo 16.



Obr. č. 15 Vizualizace plovoucího rotoru



Obr. č. 16 Miniturbína na řece Berounce

Praktické testy v obci Karlštejn prokázaly, že velmi nízké spády mohou být pomocí odvalovacích turbín úspěšně využívány a pro každé instalační místo je možné zvolit určitou konkrétní verzi stroje. Především *plovoucí rotory* se ukazují jako výhodné řešení pro ultra nízké spády, protože při odvalování rotoru v konfuzoru nedochází ke ztrátám v důsledku *precesující* hřídele, ukotvení rotoru může být dostatečně vysoko nad hladinou vody apod.

Inovace založená na odebírání odvalů, tedy oběhů rotoru, jak jsme ji popsali výše, je velmi důležitá právě pro spády do jednoho metru, protože zde se počítá s větším průtokem, třeba i několik stovek litrů vody za sekundu. Přitom platí, že spády do jednoho metru jsou na naší zemi velmi časté [15] a mohly by být v budoucnu pomocí odvalovacích turbín efektivně využívány.

4 Závěr

Závěrem můžeme konstatovat, že odvalovací bezlopatkové miniturbíny představují příspěvek k ekologicky šetrnému využívání velmi malých vodních zdrojů pro výrobu energie. Především v rámci ostrovních provozů se v praxi ukázaly ekonomicky efektivní. Jsou mimořádně jednoduché a výrobně nenáročné. Zároveň platí, že s nástupem nízkenergetických spotřebičů, kdy především na úseku osvětlovací a komunikační techniky došlo během několika posledních let k výrazným změnám, můžeme očekávat intenzivnější využívání velmi malých zdrojů vody pro výrobu energie.

Výzkum, vývoj a inovace odvalovacích miniturbín během posledních patnácti let ukázaly, že jejich výstupy lze v praxi očekávat jak na úseku nejmenších výkonů, řádově desetiwattových, tak i výkonů na úrovni několika kilowatt. Praktickými pokusy bylo prokázáno, že odvalovací miniturbíny s průměrem rotoru pouze 35 mm fungují při *sběru energií (energy harvesting)* s průtokem 0,1 l/s na spádu 20 metrů v zásadě stejně efektivně, jako odvalovací stroje s průměrem rotoru 0,6 metru a průtokem 300 l/s na spádu 1 m.

Souhrnně vyjádřeno, využívání odvalovacích turbín můžeme v budoucnu očekávat jak na úseku nejmenších energií, tak při exploataci mnohakilowattových potenciálů. Půjde pouze o to, k jakému konkrétnímu využití bude bezlopatkový stroj zacílen. Lze tedy očekávat, že další zdokonalování bezlopatkových turbín může mít širokou vazbu na praxi, kde na jednom pólu můžeme vidět oblast *energy harvesting* a na druhém malou vodní elektrárnu. Samozřejmě, proces masovějšího a zároveň technicky efektivnějšího uplatňování bezlopatkových turbín bude vyžadovat hlubší teoretické zpracování odvalovacího principu a na základě jeho výsledků korekci stanovovaných cílů.

Současné poznatky o podstatě fungování a projevech odvalovacího principu jsou sice poměrně bohaté a doložené mnoha měřeními renomovaných institucí, jak je uvedeno mimo jiné v práci *Bezlopatková miniturbína: cesta k energetickému využití nejmenších vodních zdrojů* [12]. Avšak další vědecké rozpracování by mohlo podrobněji definovat teoretická východiska jeho fungování a tím zároveň přesněji ukázat na možnosti efektivnějšího využívání bezlopatkových turbín v praxi.

5 Literatura

- [1] SEDLÁČEK MIROSLAV, PRAHA a HOSTIN STANISLAV, BRATISLAVA. *Rolling fluid machine*. Inventor: Miroslav Sedláček, Stanislav Hostin. PCT Filed: 8. 10. 1997. Int.Cl.: F03B 3/12. Patent No. 1 015 760 B1. 19. 3. 2003. European Patent Office, MUNICH, DE.
- [2] CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE. *Fluid turbine*. Inventor: Miroslav Sedláček, Václav Beran, Jiří Novák. PCT Filed: April 10, 2008. Current U.S. Class: 290/52; 290/43; 290/54. Patent No. 8,541,900. September 24, 2013. UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE, USA.
- [3] ELECTRONIC PRODUCTS. *Power management*. [online]. *Forecast for energy harvesting and storage predicts which applications will win*. [vid. 4. listopadu 2015]. Dostupné na: http://www.electronicproducts.com/Analog_Mixed_Signal_ICs/Power_Management/Fo-recast_for_energy_harvesting_and_storage_predicts_which_applications_will_win.aspx
- [4] UNI FREIBURG. *Welcome to the Research Training Group "Micro Energy Harvesting"*. [online]. Micro Energy Harvesting. [vid. 4. listopadu 2015]. Dostupné na: <http://www.meh.uni-freiburg.de/>.
- [5] JIRÁK, Emanuel, ed. *Seznam a mapa vodních děl republiky Československé: stav koncem roku 1930*. V Praze: Ministerstvo veřejných prací, 1932-1934. 26 sv.
- [6] BUFKA, Aleš a ROSECKÝ, Daniel. *Obnovitelné zdroje energie v roce 2013 – 3. část* [online]. TZB-info, 2014. [vid. 4. listopadu 2015] Dostupné na: <http://oze.tzb-info.cz/12127-obnovitelne-zdroje-energie-v-roce-2013-3-cast>.
- [7] MECHANIKA Králův Dvůr. *Turbína SETUR a její použití v praxi. Domácí vodní elektrárna DVE 120. Postačí elektrický výkon 100 W dodávaný turbínou SETUR DVE 120 pro provoz této chaty? Zásady pro montáž, obsluhu a údržbu DVE*. [online]. MECHANIKA Králův Dvůr s.r.o. [vid. 4. listopadu 2015]. Dostupné na: <http://www.mechanikakd.cz/>; <http://www.mechanikakd.cz/index.html>.
- [8] SEDLÁČEK MIROSLAV, PRAHA a HOSTIN STANISLAV, BRATISLAVA a KALINA FRANTIŠEK, BEROUN a SPOUSTA JIŘÍ, BROUMY. *Odvalovací kapalinová turbína*. Vynálezce: Miroslav Sedláček, Stanislav Hostin, František Kalina a Jiří Spousta. Přihl.: 2001-3306. MPT: F 03 B 5/00, F 03 B 11/00. Číslo patentu 294708. 30.12.2004. Úřad průmyslového vlastnictví, PRAHA.
- [9] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010. 296 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- [10] VALTA MILAN, VELKÉ POPOVICE. *Přesní kapalinová turbína*. Vynálezce: Miroslav Sedláček, Stanislav Hostin a Igor Janík. Přihl. 2013-681. Číslo patentu: 305056. MPT: H 02 K 7/18, F 03 B 5/00, F 03 B 11/00. Čís. patentu: 305056. 04.03.2015. Úřad průmyslového vlastnictví, PRAHA.
- [11] SEDLÁČEK MIROSLAV, PRAHA. *Kulová vodní turbína*. Vynálezce: Miroslav Sedláček. Přihl.: 1994-2808. MPT: F 03 B 5/00, F 03 B 13/24. Číslo patentu 283553. 13.05.1998. Úřad průmyslového vlastnictví, PRAHA.
- [12] POLÁK, Martin. *Bezlopatková miniturbína: cesta k energetickému využití nejmenších vodních zdrojů*. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. 166 s. ISBN 978-80-01-05233-4.
- [13] SEDLÁČEK MIROSLAV PRAHA a HOSTIN STANISLAV BRATISLAVA. *Hydraulic motor*. Inventor: Miroslav Sedláček, Stanislav Hostin. PCT Filed: 19. 5. 1999. Int.Cl.: F03B 3/12,

B23Q 5/06, B25F 5/00 , Patent No. EP 1 082 538 B1. 05. 06. 2002. European Patent Office, MUNICH, DE.

- [14] ABECEDA MALÝCH VODNÍCH POHONŮ. *Rozsah použití základních druhů turbín*. [online]. MVE Energetika, 2015 [vid. 4. listopadu 2015]. Dostupné na: <http://mve.energetika.cz/vodnimotory/turbiny-obecne.htm>.
- [15] BESELIN, H. *Lichtblick angesichts globaler Klimaveränderung*. In: *Transferbrief* 1998/3. [online]. Dortmund: PINA Patent- und Innovations-Agentur NRW GmbH, DE, 1998. [vid. 4. listopadu 2015]. Dostupné na: <http://www.redaktion.net/transferbrief/>

6 Ing. Miroslav Sedláček, CSc.

Datum a místo narození: 17. 7. 1950, Vyškov na Moravě

Zaměstnavatel: ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Pracovní zařazení: zaměstnanec Katedry ekonomiky a řízení ve stavebnictví

Vzdělání:

1965 – 1966 Zemědělské odborné učiliště Slavkov u Brna, zaměření na mechanizaci zemědělství
1966 – 1970 Střední zemědělská technická škola Bučovice, zaměření na ekonomiku zemědělství
1971– 1976 VŠE Praha, inženýrské studium, Fakulta národohospodářská obor politická ekonomie
1986 – ukončil vědeckou aspiranturu v oboru úsekové a průřezové ekonomiky

Odborná a pedagogická praxe:

1994 – současnost ČVUT v Praze, Fakulta stavební.
1994 – 2006 Katedra společenských věd – přednášky a cvičení z předmětů: Základy ekonomické teorie, Makroekonomie, Mikroekonomie, Dějiny ekonomických teorií.
2011 – pravidelné přednášky v rámci Celoživotního vzdělávání „Možnosti využití malých vodních zdrojů v podmínkách ČR“, garant ČVUT a MZe ČR.
2005 – 2007 pravidelné přednášky z předmětu Úvod do ekonomické teorie na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze.
2002 – ocenění nejlepší učitel Katedry společenských věd.
1976 – 1978 VŠE Praha, Fakulta národohospodářská, asistent na Katedře dějin ekonomických teorií.
Působení na Slovensku:
1978 – 1990 VŠ ZNB Bratislava, výuka ekonomické teorie a úsekových ekonomik. 1984 – 1988 vedení seminářů z ekonomické teorie na VŠE Bratislava a VŠZ Nitra.
1990 – 1991 Vedoucí Katedry společenských věd na Institutu federálního ministerstva vnitra pro výchovu a vzdělávání v Bratislavě.
1991 – 1992 Tajemník Ekonomického ústavu Slovenské akademie věd v Bratislavě.
1992 – 1994 Soukromý podnikatel v oblasti ekonomického poradenství a obchodní činnosti.

Výzkumná činnost a seznam nejdůležitějších národních a zahraničních patentů:

2006 – současnost: Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví, výzkumný pracovník.

2006 – 2011 spoluřešitel Výzkumného záměru *Management udržitelného rozvoje životního cyklu staveb, stavebních podniků a území*, MSM 6840770006. Dále autor návrhů aplikačních vynálezů z oblasti zdokonalení odvalovacích tekutinových strojů, na které byly pro ČVUT uděleny 2 domácí a jeden Evropský a jeden americký patent (majitelem těchto dokumentů je Fakulta stavební).

1. 1994 – původce odvalovacího principu, na který byl vydán patent CZ č. 283553 s názvem *Kulová vodní turbína*.
2. 1997 – vedoucí autorského kolektivu patentu CZ č. 284483 s názvem *Odvalovací tekutinový stroj*.
3. 1998 – původce patentu CZ č. 286542 s názvem *Zařízení pro změnu otáček*.
4. 1999 – původce zveřejněného patentového řešení č. 1999-4624 s názvem *Multiplikátor otáček*.
5. 2000 – vedoucí autorského kolektivu patentu CZ č. 292122 s názvem *Tekutinový stroj*.
6. 2001 – vedoucí autorského kolektivu patentu CZ č. 294708 s názvem *Odvalovací kapalinová turbína*.
7. 2002 – vedoucí autorského kolektivu Europatentu ROLLING FLUID MACHINE, EP 1 015 760 B1
8. 2003 – vedoucí autorského kolektivu Europatentu HYDRAULIC MOTOR, EP 1 082 538 B1
9. 2007 – vedoucí autorského kolektivu patentu CZ č. 302396 s názvem *Tekutinová turbína*.
10. 2008 – původce patentu CZ č. 302309 s názvem *Odvalovací tekutinová turbína*.
11. 2009 – vedoucí autorského kolektivu patentu CZ č. 302361 s názvem *Precesní kapalinová turbína*
12. 2010 – vedoucí autorského kolektivu Europatentu FLUID TURBINE, EP 2171260 B1
13. 2013 – vedoucí autorského kolektivu United States Patent FLUID TURBINE, No. 8,541,900
14. 2014 – člen autorského kolektivu patentu CZ č. 304399 s názvem *Precesní kapalinová turbína s generátorem*
15. 2015 – vedoucí autorského kolektivu patentu CZ č. 305056 s názvem *Precesní kapalinová turbína* a Mezinárodní patentové přihlášky *Precession fluid turbine* PCT/CZ 2014/000093

Externí aktivity a nejvýznamnější prezentace a soutěže:

2005 – 2007 člen Oborové komise G5 Fondu rozvoje vysokých škol.

Od 2006 – člen Českého svazu vynálezců a zlepšovatelů.

Od 2007 – člen Asociace rozvoje invencí a duševního vlastnictví

2010 – Stříbrná Felberova medaile *Za významné zásluhy o rozvoj Českého vysokého učení technického v Praze*

2014 – Zlatá medaile z mezinárodní výstavy vynálezů IWIS 2014, Varšava 14. – 16. 10. 2014, Polsko

2014 – První místo v soutěži E.ON Energy Globe Award 2014. Projekt využití miniturbíny zvítězil v kategorii *nové technologie a inovace "Nápad"* (soutěžilo 78 projektů). Udělování cen *EKOLOGICKÝ OSKAR*, Praha, 18. 10. 2014

2013 – Zlatá medaile Světové organizace duševního vlastnictví (WIPO) se sídlem v Ženevě za patenty *Fluid Turbine*

2013 – Zlatá medaile INVENTO Prague 2013 AWARD za Rolling Fluid Machine – Bladeless Turbine

2007 – 2012 každoroční účast na odborném veletrhu Hannover Messe v Německu.

2011 – stříbrná medaile za *Využití bezlopatkové turbíny pro výrobu elektřiny z velmi malých potenciálních energií vody* Mezinárodní výstava inovací ARCA, Zagreb, Chorvatsko

2010 – zlatá medaile za aplikační využití bezlopatkové turbíny, *Odborný mezinárodní veletrh IENA*, Norimberk, Německo.

2009 – představení odvalovacího tekutinového stroje na Mezinárodní konferenci *Sustainable Development* v Bruselu. Miniturbína byla jediným exponátem, který živě reprezentoval ve stánku ČR *inovační procesy pro udržitelný rozvoj* v rámci českého předsednictví EU2009.CZ.

2009 – Mezinárodní soutěž vynálezů *Genius Europe*, zlatá medaile, Budapešť, Maďarsko.

2008 – třetí místo v soutěži vynálezů na 6. Mezinárodním festivalu vynálezců, Suzhou, Čína.
08/2003 až 12/2004 prezentace miniturbíny Setur a možností jejího využití v rámci sítě IRC na stránkách CORDIS (Community Research Development Information Service, © European Communities).

2004 – Česká hlava – nominace mezi nejlepší projekty v kategorii *Za objev či mimořádný počín v oblasti základního nebo aplikovaného výzkumu či technologických inovací.*

2003 – ocenění *Zlatý výrobek* v oboru energetika, *Veletrh Elektrotechnika 2003 Ostrava.*

2002 – zlatá medaile v soutěži o nejúspěšnější technologii na Mezinárodní konferenci spojené s výstavou Energy Efficiency Business Week, Praha.