

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2012/32

ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	Z2-2267
Naslov projekta	Optimizacija hidravličnih karakteristik specifično hitre vertikalne cevne turbine
Vodja projekta	23083 Janez Gale
Tip projekta	Zg Podoktorski projekt za gospodarstvo
Obseg raziskovalnih ur	3400
Cenovni razred	B
Trajanje projekta	05.2009 - 04.2011
Nosilna raziskovalna organizacija	2836 LITOSTROJ POWER, družba za projektiranje, gradnjo elektrarn in izdelavo energetske ter industrijske opreme, d.o.o.
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.13 Procesno strojništvo 2.13.07 Vodna moč
Družbeno-ekonomski cilj	05. Energija

2. Raziskovalno področje po šifrantu FOS¹

Šifra	2.11
- Veda	2 Tehniške in tehnološke vede
- Področje	2.11 Druge tehniške in tehnološke vede

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

3. Povzetek projekta²

SLO

V podjetju Litostroj Power smo že od začetka 90. let razvijali napredno in okolju prijazno vertikalno aksialno cevno turbino, ki je v svetu poznana kot turbina tipa Saxo. Vertikalna cevna turbina je v osnovi kaplanova turbina brez spiralnega ohišja in z aksialnim tokom skozi vodilnik. Zaradi

napredne in kompaktne konstrukcije, poenostavljenih gradbenih del, robustnosti, ekološke sprejemljivosti in vsestranskosti pri uporabi, je ta vodna turbina postala zelo prepoznaven produkt, kar se odraža v preko 30 uspešno zagnanih agregatih predvsem na ameriškem in kanadskem trgu. Z leti se je pokazala potreba po razvoju nove turbine, ki je v izhodišču podobna prvotni turbini, vendar pa bi bila namenjena večjim pretokom in nekoliko nižjim padcem (tako imenovana specifično hitra turbina), zato smo v letu 2008 prijavi projekt Optimizacija hidravličnih karakteristik specifično hitre vertikalne cevne turbine v okviru katerega smo izpeljali vse potrebne razvojne aktivnosti.

Glavni cilj raziskovalnega projekta je bil razvoj nove specifično hitre vertikalne cevne turbine z visokim izkoristkom. Ta cilj je bil v celoti uspešno uresničen; uspešna realizacija projekta se kaže predvsem v novih naročilih turbin tipa Saxo. V fazi optimizacije in hidravličnega oblikovanja gonilnih lopat, so bile izvedene številne numerične analize toka v celotnem pretočnem traktu ter trdnostni preračuni ključnih komponent turbine. Na podlagi numeričnih izračunov, je bila izbrana optimalna hidravlična oblika pretočnega trakta in lopat gonilnika. Računska analiza hidravličnih karakteristik turbine je zajela celotni pretočni trakt turbine vključno s kolenom s krilci, predvodilnikom, vodilnikom, gonilnikom, sesalno cevjo in ustreznimi podaljški potrebnimi zaradi numerične stabilnosti robnih pogojev. Računski model je bil v prvem koraku verificiran z razpoložljivimi meritvami na turbinah podobne specifične vrtilne hitrosti v laboratoriju in na terenu. Verificiran računski model je bil nato uporabljen za razvoj nove specifično hitre vertikalne cevne turbine. Zmanjšanje teže in dimenzij stroja je bilo doseženo s kombinirano obravnavo in optimizacijo hidravličnih in trdnostnih parametrov elementov stroja. Poseben poudarek je bil namenjen vpeljavi smernic US-DoE (U.S. Department of Energy), s katerimi je turbina postala ribam bolj prijazna (Fish friendly turbine design – ribam, ki po naključju zaidejo v pretočni trakt in potujejo skozi turbino se je z vpeljanimi ukrepi bistveno zmanjšala poškodovanost in smrtnost).

Znanstveno raziskovalni rezultati projekta so bili predstavljeni na več konferencah; objavljena pa sta bila tudi dva izvirna znanstvena članka. Turbina je bila predstavljena tudi na domači konferenci Zveze Strojnih Inženirjev, kjer smo turbino predstavili ustrezni domači strokovni javnosti, saj novo razvito Saxo turbino vidimo kot idealno rešitev na več predvidenih lokacijah hidroelektrarn na srednjem delu reke Save.

ANG

Litostroj Power d.o.o. was from the beginning of the 90th years conducting development of advanced and environmentally friendly vertical tubular axial turbine in worldwide known as the Saxo turbine. Vertical tubular turbine is basically a Kaplan turbine without spiral casing and with axial flow through the guide vanes. Due to the advanced and compact design, simplified construction work, robustness, environmental acceptability and versatility in use, this water turbine has become a highly recognizable product, which is reflected in over 30 successfully commissioned Litostroj Power units mainly in the U.S. and Canadian market. Over the years it has become necessary to develop a new turbine, which is similar to the original turbines, but with higher flow rates and slightly lower net heads (the so-called fast specific speed turbine), so in 2008 we applied for a project Optimization of hydraulic characteristics for fast specific speed vertical tubular turbine within which we carried out the necessary development activities.

The main objective of the research project was to develop a new fast specific speed vertical tubular turbine with high efficiency. This objective was successfully achieved in full; successful realization of the project is reflected in new orders of the Saxo turbine by several customers. During the design and optimization phase of the runner blades we have been performed many numerical analyses in the whole water passage, and strength calculations of the key components of the turbine. Based on hydraulic design and its validation with numerical calculations on optimal hydraulic water flow passage and the runner blades have been selected. Computational analysis of the characteristics of hydraulic turbines covered the entire water passage flow of the turbine including the elbow with deflector vanes, stay vanes, guide vanes, runner, draft tube and appropriate extensions necessary for the stability of numerical boundary conditions. The numerical model was verified with the available measurements in turbines of similar specific speed in the laboratory and at the prototype. Verified computational model was then used for development of the new fast specific speed vertical tubular turbine. Reduction of the weight and dimensions of the machine was achieved with combined treatment and optimization of hydraulic and structural parameters of the machine elements. Particular emphasis was placed on the introduction of U.S. Department of Energy guidelines to the turbine to become more fish friendly unit.

Scientific research project results were presented at several conferences, and two original scientific articles have been published. The turbine has been presented also at national conference of the Association of Mechanical Engineers, where we present the turbine to the

domestic professionals, because the newly developed Saxo turbine is viewed as an ideal solution to the multiple locations predicted for HPP construction in the middle Sava River.

4. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu³

Glavni raziskovalna hipoteza projekta je bila razvoj nove specifično hitre vertikalne cevne turbine z visokim izkoristkom, nizkimi proizvodnimi stroški, nizkimi vgradnimi stroški, nizkimi v vzdrževalnimi stroški, okoljsko sprejemljivostjo in zanesljivim obratovanjem. Uspešnost raziskovalnega projekta se v prvi vrsti kaže v novih naročilih turbin tipa Saxo, saj je podjetje Litostroj Power d.o.o. po nekajletnem premoru ponovno podpisalo pogodbe za 2 agregata hidroelektrarne Santa Rita, 2 agregata elektrarne Upper White River in 2 agregata hidroelektrarne Lower White River. Pomemben znanstveno raziskovalni dosežek pa je objava 2 izvirnih znanstvenih člankov v zelo uglednih revijah.

Že med samim izvajanjem projekta smo ugotavljali, da je bilo planirano uresničevanje in časovna razporeditev (diagram poteka) izvajanja raziskovalnega projekta s ključnimi mejniki izredno realistično zastavljeno. Pri izvajanju projekta nismo odstopali od naslednjega planiranega poteka:

1) Planirani datum začetka projekta: 01.04.2009 (dejansko je bil začetek 1 mesec kasneje)

2) Planirani datumi posameznih mejnikov:

- Mejniki 1: 30.06.2009
 - Zgodovinski oris razvoja vertikalne cevne turbine
 - Statistična primerjava vertikalnih cevni turbin s cevni in kaplanovimi turbinami
- Mejniki 2: 30.09.2009
 - Analiza izvedenih meritev v aksialnih strojih
 - Izbira stroja za validacijo
- Mejniki 3: 31.12.2009
 - Izdelava računskega modela
 - Validacija računskega modela z meritvami na hidravlično podobnih turbinah srednje specifične vrtilne hitrosti v laboratoriju in na terenu
- Mejniki 4: 30.09.2010
 - Postavitev dimenzij nove specifično hitre vertikalne cevne turbine
 - Analiza toka v elementih nove turbine s pomočjo metode končnih volumnov
 - Validacija rezultatov izračuna dobljenih z enostavnimi statističnimi metodami
- Mejniki 5: 30.11.2010
 - Trdnostna analiza kritičnih elementov turbine
 - Analiza vpliva prehodnih pojavov na elemente turbine in sistema
- Mejniki 6: 31.03.2011
 - Izdelava zaključnega poročila

3) Planiran datum zaključka projekta: 31.03.2011

Najprej smo raziskali in pripravili kratek oris razvoja vertikalne cevne turbine v podjetju Litostroj Power. Analizirala se je geometrijska oblika vseh dotlej izvedenih vertikalnih cevni turbin. Posamezni elementi turbine so bili primerjani s statistično obdelanimi elementi cevni (konični vodilnik) in kaplanovih (gonilnik, sesalna cev) turbin. Sistematizirane in analizirane so bile razpoložljive meritve v obravnavanih turbinah ter definirani parametri, ki so se uporabili pri razvoju nove specifično hitre Saxo turbine. Rezultat uvodne analize je bil izbor osnovnih dimenzij stroja. Jedro raziskovalnega projekta je predstavljala hidravlična optimizacija, ki je bila podprta z računsko analizo toka v vseh elementih pretočnega trakta vertikalne cevne turbine (koleno s krilci (deflektorji) in gredjo, predvodilnik in konični vodilnik, gonilnik in sesalna cev). Pri računskih tokovnih analizah turbine so bile uporabljene Navier-Stokesove enačbe v treh dimenzijah, ki natančno popišejo energijske razmere ob steni in v jedru kapljevine. Uporabljen je bil viskozni model, ki bazira na numerični rešitvi povprečene Navier-Stokesove enačbe v vseh treh prostorskih dimenzijah. Numerična metoda v tridimenzionalnem prostoru je metoda končnih volumnov. Metoda zahteva izdelavo kompleksnega modela z zahtevno numerično mrežo, samo reševanje pa zahteva zmogljiv računalnik oziroma računalniško gručo (cluster).

Računski model je bil v prvi fazi verificiran z razpoložljivimi meritvami na turbinah srednje specifične vrtilne hitrosti v laboratoriju in na terenu. Verificiran model je bil nato uporabljen za razvoj nove specifično hitre vertikalne cevne turbine. Cilj teoretično-eksperimentalne analize je bil potrditev izbranih optimalnih izmer turbine z dokazovanjem maksimalnega izkoristka stroja. Izluščili smo vpliv ključnih hidravličnih parametrov, ki prispevajo k povečanju izkoristka pretvorbe razpoložljive energije vode v mehansko energijo na gredi stroja. Izdelana je bila analiza interakcije med elementi turbine.

Eden izmed ciljev teoretičnih raziskav v okviru projekta je bil tudi postavitve meje uporabnosti enostavnih statističnih metod v primerjavi z metodo končnih volumnov. V tej analizi smo ugotovili relativno veliko zanesljivost rezultatov pridobljenih z metodo končnih volumnov, še posebno v primerjavi z enostavnimi statističnimi metodami, vendar je natančnost še vedno preveč nezanesljiva za podajanje garancij o obratovanju in izkoristku stroja kupcu. V ta namen bo vsaj še nekaj časa potrebno izvajati meritve na modelnih testih. To je pomemben podatek za hidravličnega oblikovalca stroja v podjetju, ki uporablja preprostejše metode. Na podlagi te analize so bili v podjetju Litostroj Power utemeljeni in vpeljeni v redno delo postopki in navodila za delo za izdelavo ustrezne numerične analize toka v fazi projektiranja stroja v podjetju.

Paralelno tokovnim analizam, smo izvajali trdnostne analize ključnih elementov turbine s pomočjo metode končnih elementov. Zmanjšanje oziroma optimizacija teže in dimenzij stroja je bilo doseženo s kombinirano obravnavo hidravličnih in trdnostnih parametrov elementov stroja. Sprememba debeline lopatice in oblike spoja med čepom oziroma med lopatico ter pestom in vencem zaradi trdnostnih zahtev lahko v večji ali manjši meri spremeni tokovne razmere v medlopatičnem prostoru. Rezultati so pokazali, da je trdnostna analiza lopatic še posebno pomembna pri aksialni turbini z majhnim številom gonilnih lopatic in velikim premerom gonilnika. V tej fazi analize je bil analiziran tudi vpliv prehodnih pojavov na elemente turbine. Razbremenitev, obremenitev ali pobeg turbine vzbudijo oscilacije tlaka in pretoka v pretočnem sistemu hidroelektrarne z nevarnostjo prekinitve vodnega stebra (kavitacija) in povečanjem obremenitev na elemente turbinskega sistema. Na podlagi te analize so bile določene ključne obremenitve in obremenitveni primeri, na podlagi katerih se je izvajala optimizacija dimenzij. Poseben poudarek je bil dan čim bolj točni določitvi aksialnih hidravličnih sil, ki so najpogostejši vzrok za mehanske okvare v aksialnih strojih. Aksialna hidravlična sila izhaja iz razlik tlakov pred in za turbino.

Poseben poudarek je bil namenjen vpeljavi smernic UD-DoE, s katerimi je turbina postala ribam bolj prijazna. Ukrepi, ki so bili izvedeni z namenom povečanja sprejemljivosti turbine s stališča vodnega živilja so naslednji:

- Vse površine so bile oblikovane hidravlično gladko, brez ostrih robov, spoji površin so posebej obdelani in zglajeni
- Špranje med gonilno lopato in glavo gonilnika, ter med gonilno lopato in turbinskim obročem so bile zmanjšane na manj kot 2 mm.
- Tesnila na lopaticah gonilnika so dvojna z namenom preprečiti puščanje olja v rečni tok
- Obratovanje in manevriranje z agregati bo kontrolirano in ustrezno upočasnjeno – brez nekontroliranih tlačnih (vodnih) udarov
- Prirastek (spremembe) tlaka med prehodnimi pojavi v pretočnem traktu bodo manjši od 125% običajnega statičnega tlaka.
- Turbina je projektirana za obratovanje brez prisotnosti kavitacije
- V primerjavi s Kaplan turbino je v Saxo turbini manj naglih sprememb toka (aksialna turbina)
- V sesalni cevi ni stebrov
- Povečana je bila razdalja med predvodilnikom in vodilnikom ter med vodilnikom in gonilnikom.
- Vodilni ležaj turbine je vodno mazan.

Rezultati raziskovalnega projekta so bili predstavljeni na treh konferencah, dve predstavitvi pa sta še predvideni v letu 2012. Pri izbiri konferenc smo se odločili za strokovne evropske konference iz področja vodnih turbin, saj ugotavljamo, da so Saxo turbine postale popularne predvsem na Severno Ameriških trgih; to pa presenetljivo ne drži za evropski trg. Izgleda, kot da evropski investitorji bolj zaupajo turbinam, ki so tradicionalno prisotne na tem trgu (to so horizontalne cevne in Kaplan turbine), kot pa turbini Saxo, ki bi jih lahko nadomestila. Saxo turbina je bila predstavljena tudi na domači konferenci Zveze Strojnih Inženirjev, saj smo želeli predstaviti vertikalno cevno turbino ustrezni domači strokovni javnosti, saj Saxo turbino vidimo kot idealno rešitev na več predvidenih lokacijah hidroelektrarn na srednjem delu reke Save.

Najpomembnejši znanstveno raziskovalni rezultati projekta pa so bili predstavljeni v dveh izvirnih znanstvenih člankih.

5. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem in zastavljenih raziskovalnih ciljev⁴

Glavni raziskovalna hipoteza projekta je razvoj nove specifično hitre vertikalne cevne turbine z visokim izkoristkom, nizkimi proizvodnimi stroški, nizkimi vgradnimi stroški, nizkimi vzdrževalnimi stroški, okoljsko sprejemljivostjo in zanesljivim obratovanjem. Največja potrditev uspešnosti izvajanja in realizacije raziskovalne hipoteze v industriji predstavlja kupec, ki je zadovoljen s produktom. Teh v tem trenutku še ni, saj bo potrebno še nekaj let, da bodo novo razvite specifično hitre Saxo turbine zgrajene in bodo na razpolago rezultati nekaj let trajajočega uspešnega obratovanja. Zagotovo pa se v tem trenutku uspešnost raziskovalnega projekta kaže v novih naročilih turbin tipa Saxo, saj je podjetje Litostroj Power d.o.o. po

nekajletnem premoru ponovno podpisalo pogodbe za 6 novih Saxo turbin. Pomemben pokazatelj realizacije raziskovalne hipoteze sta tudi dva objavljena izvirna znanstvena članka v zelo uglednih revijah. Potrebno je namreč poudariti, da znanstvene objave člankov iz področja vodnih turbin spadajo med inženirske znanosti, ki redko najdejo mesto v teoretičnih revijah, zato objava dveh izvirnih znanstvenih člankov kaže na izredno uspešnost in kvaliteto raziskovalno razvojnega dela na raziskovalnem projektu. Ocenjujemo, da je bila raziskovalna hipoteza v celoti realizirana.

6. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine⁵

Ni bilo sprememb programa raziskovalnega projekta.

7. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁶

Znanstveni dosežek			
1.	COBISS ID	11820315	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Hidravlično oblikovanje in analiza vertikalne aksialne turbine tipa Saxo
		ANG	Hydraulic design and analysis of the Saxo-type vertical axial turbine
	Opis	SLO	V članku je predstavljen postopek za hidravlično oblikovanje in analizo geometrije lopate gonilnika specifično hitre vertikalne aksialne turbine z dvojno regulacijo. Meridianska ravnina toka pri prehodu iz konusnega vodilnega aparata preko gonilnika do sesalne cevi je zasnovana po metodi ukrivljenih tokovnic (SCM). Za potrditev metode hidravličnega oblikovanja in napovedi optimalne točke turbine je bila izdelana obsežna numerična simulacija znotraj pretočnega trakta celotne turbine. Posebna pozornost je bila namenjena porazdelitvi vrtilne količine vzdolž turbine in njenemu vplivu na pretok okrog lopatic gonilnika. Postopek optimizacije, ki je zasnovan na osnovi metode SCM se je izkazal za robustno in natančno orodje za oblikovanje lopat gonilnika.
		ANG	The paper presents a procedure for hydraulic design and analysis of the blade geometry of a high specific speed runner of the Saxo-type double-regulated vertical axial turbine. The meridional through-flow in the passage from the conical guide vane apparatus to the draft-tube elbow is designed by a streamline curvature method (SCM). To validate the design method and predictions and to investigate the design duty point and a number of off-design operating regimes, an extensive CFD simulation inside the entire turbine water-passage is performed. The flow patterns downstream the guide vane apparatus and the runner exit flow are analyzed. The focus of the analysis is on distribution of the angular momentum alongside the turbine, as well as on its impact on the flow around the runner blades. The SCM design procedure presented in the paper proves to be a robust and accurate tool for the runner blade row design.
	Objavljeno v	Canadian Soc. for Mechanical Engineering.; Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering; 2011; Vol. 35, iss. 1; str. 119-143; Impact Factor: 0.281; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 0.909; WoS: IU; Avtorji / Authors: Höfler Edvard, Gale Janez, Bergant Anton	
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek	
2.	COBISS ID	1024062812	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Dvojno regulirana vertikalna aksialna vodna turbina
		ANG	Double-regulated vertical axial water turbine
	Opis	SLO	Glavni namen članka je osvetlitev najpomembnejših korakov hidravličnega oblikovanja, ter poudariti ekonomske prednosti Saxo turbine. Na evropskem tržišču taka turbina ni prisotna zato je potrebno sprožiti strokovno razpravo zainteresirane strokovne javnosti da se pojasni vzroki. Posebna pozornost je namenjena opisu Saxo turbine in opisu

		glavnih razlik in prednosti cevne turbine v primerjavi s Kaplan turbinami. Poleg tega so opisane bistvene teoretične in numerične raziskave tokovnega in tlačnega polja v celotnem pretočnem traktu turbine.
	ANG	The main goal of the paper is to enlighten some of the most important design, hydraulic and economic advantages of the Saxo-type turbines and consequently to initiate professional discussion which may point out drawbacks of these turbines as seen by European market. Special attention is drawn on description of the Saxo turbine and its main differences comparing to tubular and Kaplan type turbines. In addition are described some main issues of theoretical and numerical investigations of the flow field in the intake elbow, distributor, runner regions and draft tube.
Objavljeno v	Fakulteta za energetiko; Journal of energy technology; 2011; Vol. 4, iss. 3; str. 23-32; Avtorji / Authors: Gale Janez, Höfler Edvard, Bergant Anton, Cizelj Sandi	
Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	

8. Najpomembnejši družbeno-ekonomsko relevantni rezultati projektne skupine⁷

	Družbenoekonomsko relevantni dosežki		
1.	COBISS ID	11748635	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Kompaktna vertikalna aksialna turbina "Saxo"
		ANG	Compact vertical axial turbine "Saxo"
	Opis	SLO	V članku smo posebno pozornost namenili splošnemu opisu Saxo turbine in njenih glavnih razlik v primerjavi s cevnimi in Kaplan turbinami. Opisane so ključne prednosti teoretičnih in numeričnih raziskav na področju pretočnega trakta turbine od vtočnega kolena do sesalne cevi. Glavni cilj predlaganega prispevka je opozoriti na nekatere ključne prednosti in hidravlične značilnosti turbine Saxo in zbuditi zanimanje za to zanimivo zasnovo turbin.
		ANG	The paper draws special attention on description of the Saxo turbine and its main differences comparing to tubular and Kaplan type turbines. In addition some main issues of theoretical and numerical investigations of the flow field in the intake elbow, distributor, runner regions and draft tube are described. The main goal of the proposed paper is to point out some key advantages of the design and hydrodynamic characteristics of a Saxo turbine to corresponding professional community and to awaken interest on this interesting turbine design.
	Šifra	F.17 Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Objavljeno v	Institute for Energy Systems and Thermodynamics; Reliable hydropower for a safe and sustainable power production; 2010; Str. [1-10]; Avtorji / Authors: Gale Janez, Höfler Edvard, Bergant Anton	
	Tipologija	1.09 Objavljeni strokovni prispevek na konferenci	

9. Drugi pomembni rezultati projektne skupine⁸

Nova naročila turbin tipa Saxo po nekajletnem premoru (podpis pogodbe):

- 2 agregata hidroelektrarne Santa Rita (Gvatemala),
- 2 agregata elektrarne Upper White River (Ontario, Kanada) in
- 2 agregata hidroelektrarne Lower White River (Ontario, Kanada).

10. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁹

10.1.Pomen za razvoj znanosti¹⁰

SLO

- Poglobitev razumevanja fizike toka v pretočnem traktu vertikalne cevne turbine s posebnim poudarkom na interakciji med posameznimi elementi turbine.
- Kombinirana uporaba hidravličnih in trdnostnih parametrov elementov stroja za določitev optimalnih izmer elementov turbine.
- Razvoj, avtomatizacija in uporaba validiranega numeričnega modela za raziskave in razvoj podobnih aksialnih vodnih turbin.
- Izdelava internih industrijskih smernic za hidravlično oblikovanje ostrih kolen v cevni sistemih.
- Optimalno dimenzioniranje turbinskega vodno mazanega vodilnega ležaja in turbinskega nosilnega ležaja.

ANG

- Better understanding of the fluid flow physics in the vertical tubular turbine flow passage system with particular emphasis on interactions between the flow and turbine components.
- A novel approach combining computational fluid dynamics and stress analysis in order to obtain minimized weight and dimensions of the turbine components with maximized output power.
- Development, automatization and application of validated numerical model for research and development of similar axial water turbines.
- Definition of internal design instructions of development of sharp elbows in pipeline systems.
- Optimal design of turbine water lubricate guide bearing and thrust bearing

10.2.Pomen za razvoj Slovenije¹¹

SLO

- Poglobljeno znanje fizike toka v elementih vertikalne turbine omogoča optimalno oblikovanje stroja z visokim izkoristkom. Tovrstno znanje predstavlja tehnološko prednost pred tujo konkurenco.
- Zmanjšanje teže in dimenzij stroja pomeni manjšo porabo materialov, energije za obdelavo ter transportnih stroškov in s tem manjše stroške hkrati z večjo proizvodnjo električne energije.
- Zapolnitev tržne niše predvsem na področju malih in srednje velikih vodnih turbin.

ANG

- Better understanding of flow physics in the vertical tubular turbine components enables optimal design of the turbine with high efficiency. This knowledge represents technological advantage.
- Lower weight and smaller dimensions of the turbine yield lower material costs, lower energy consumption for manufacturing and lower transportation costs and at the same time larger electricity production.
- Presence in small- and medium-sized turbines market.

11.Samo za aplikativne projekte!

Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri aplikativnem projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni

Cilj		
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	

	Uporaba rezultatov	
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	

	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE

	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	☐ DA ☐ NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	

Komentar

--

12.Samo za aplikativne projekte!

Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visoko-šolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	☐	☐	☐	☐	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	☐	☐	☐	☐	
G.01.03.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	☐	☐	☐	☐	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	☐	☐	☐	☐	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	☐	☐	☐	☐	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	☐	☐	☐	☐	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	☐	☐	☐	☐	
G.02.07.	Večji delež izvoza	☐	☐	☐	☐	

G.02.08.	Povečanje dobička	☐	☐	☐	☐	
G.02.09.	Nova delovna mesta	☐	☐	☐	☐	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	☐	☐	☐	☐	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	☐	☐	☐	☐	
G.02.12.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	☐	☐	☐	☐	
G.03.04.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	☐	☐	☐	☐	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	☐	☐	☐	☐	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	☐	☐	☐	☐	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	☐	☐	☐	☐	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	☐	☐	☐	☐	
G.04.06.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete	☐	☐	☐	☐	
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj	☐	☐	☐	☐	
G.07	Razvoj družbene infrastrukture					
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura	☐	☐	☐	☐	
G.07.02.	Prometna infrastruktura	☐	☐	☐	☐	
G.07.03.	Energetska infrastruktura	☐	☐	☐	☐	
G.07.04.	Drugo:	☐	☐	☐	☐	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva	☐	☐	☐	☐	
G.09.	Drugo: 	☐	☐	☐	☐	

Komentar

13. Pomen raziskovanja za sofinancerje¹²

	Sofinancer		
1.	Naziv		
	Naslov		
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:		EUR

Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:		%
Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja		Šifra
	1.	
	2.	
	3.	
	4.	
	5.	
Komentar		
Ocena		

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

LITOSTROJ POWER, družba za
projektiranje, gradnjo elektrarn in
izdelavo energetske ter industrijske
opreme, d.o.o.

Janez Gale

ŽIG

Kraj in datum: Ljubljana 14.3.2012

Oznaka prijave: ARRS-RPROJ-ZP-2012/32

¹ Zaradi spremembe klasifikacije je potrebno v poročilu opredeliti raziskovalno področje po novi klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science). Prevalna tabela med raziskovalnimi področji po klasifikaciji ARRS ter po klasifikaciji FOS 2007 (Fields of Science) s kategorijami WOS (Web of Science) kot podpodročji je dostopna na spletni strani agencije (<http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/sifranti/preslik-vpp-fos-wos.asp>). [Nazaj](#)

² Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)

³ Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁴ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11) [Nazaj](#)

⁵ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta (obrazložitev). V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁶ Znanstveni in družbeno-ekonomski dosežki v programu in projektu so lahko enaki, saj se projektna vsebina praviloma nanaša na širšo problematiko raziskovalnega programa, zato pričakujemo, da bo večina izjemnih dosežkov

Zaključno poročilo o rezultatih raziskovalnega projekta - 2012

raziskovalnih programov dokumentirana tudi med izjemnimi dosežki različnih raziskovalnih projektov.

Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'. [Nazaj](#)

⁷ Znanstveni in družbeno-ekonomski dosežki v programu in projektu so lahko enaki, saj se projektna vsebina praviloma nanaša na širšo problematiko raziskovalnega programa, zato pričakujemo, da bo večina izjemnih dosežkov raziskovalnih programov dokumentirana tudi med izjemnimi dosežki različnih raziskovalnih projektov.

Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'.

Družbenoekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen, kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.

Povzetek družbeno ekonomsko relevantnega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. v preteklem letu vodja meni, da je izjemen dosežek to, da sta se dva mlajša sodelavca zaposlila v gospodarstvu na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovila svoje podjetje, ki je rezultat prejšnjega dela ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

⁸ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 7 in 8 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov vključno s presledki. [Nazaj](#)

⁹ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja [Nazaj](#)

¹⁰ Največ 4.000 znakov vključno s presledki [Nazaj](#)

¹¹ Največ 4.000 znakov vključno s presledki [Nazaj](#)

¹² Rubrike izpolnite / prepisite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2012 v1.00

C6-29-9E-82-11-9F-4A-1C-45-A4-F2-5C-E5-76-FE-56-6B-AD-95-5B