

Szóste Międzynarodowe  
Targi Energii Odnawialnej i Efektywności Energetycznej

# RENEXPO Poland

Warszawskie Centrum EXPO XXI, 19-21/10/2016



*Polish Hydropower Conference*

## **Hydropower status and outlook in Poland and Europe**

EXPO XXI Center Warsaw, October 19/20<sup>th</sup>, 2016

### **ABSTRACTS of Conference Contributions**

*Polska Konferencja Hydroenergetyczna*

### **Dziś i jutro energetyki wodnej w Polsce i w Europie**

Warszawskie Centrum EXPO XXI,  
19/20 października 2016

**STRESZCZENIA  
wystąpień konferencyjnych**

*Towarzystwo Elektrowni Wodnych*



Innovation  
Norway

**Patroni honorowi**



MINISTERSTWO  
ŚRODOWISKA



**Honorary patronage**

Norwegian Embassy

**Partner strategiczny**



Energia Odnawialna S.A.

**Strategic partner**

**Sponsorzy**



**CTP**

CENTRUM TECHNOLOGII  
PROEKOLOGICZNYCH  
[www.ctp.wroclaw.pl](http://www.ctp.wroclaw.pl)

**Sponsors**

**Współpraca wydawnicza i patronat medialny**  
**Editorial collaboration and media patronage**



Na okładce: Elektrownia Wodna Tysso I w Tyssedal, Norwegia  
(fragment prezentacji „Hydropower in Norway” udostępnionej przez Ambasadę Królestwa Norwegii w Warszawie)

Szóste Międzynarodowe Targi  
Energii Odnawialnej i Efektywności Energetycznej

The Sixth International Fair  
for Renewable Energy and Energy Effectiveness

# RENEXPO Poland

Warszawskie Centrum EXPO XXI  
19-21 października 2015  
ul. Gen. I. Prądzyńskiego 12/14, Warszawa

Warsaw EXPO XXI Center  
October 19th-21st, 2015  
ul. Gen. I. Prądzyńskiego 12/14, Warsaw, Poland

*Szósta  
Polska Konferencja Hydroenergetyczna*

**Dziś i jutro energetyki wodnej  
w Polsce i w Europie**

zorganizowana wspólnie przez

**Towarzystwo Elektrowni Wodnych**

**Towarzystwo  
Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych**

**Instytut Maszyn Przepływowych  
im. Roberta Szewalskiego  
Polskiej Akademii Nauk**

**Dział Handlowy  
Ambasady Norweskiej w Warszawie**

**REECO Poland Sp. z O.O**

**STRESZCZENIA**  
wystąpień konferencyjnych

*The Sixth  
Polish Hydropower Conference*

**Hydropower status and outlook  
in Poland and Europe**

organised jointly by

**Polish Hydropower Association**

**Polish Association  
for Small Hydropower Development**

**Robert Szewalski  
Institute of Fluid-Flow Machinery  
of the Polish Academy of Sciences**

**Commercial Section  
of the Norwegian Embassy in Warsaw**

**REECO Poland Sp. z O.O**

**ABSTRACTS**  
of Conference Contributions



**Wydawnictwo  
Instytutu Maszyn Przepływowych  
Polskiej Akademii Nauk**

**Gdańsk, październik 2016**

**Publishing House  
of the Institute of Fluid-Flow Machinery  
of the Polish Academy of Sciences**

**Gdansk, October 2016**

Wydawnictwo Instytutu Maszyn Przepływowych  
Polskiej Akademii Nauk  
ul. Fiszera 14, 80-231 Gdańsk, Poland  
tel. 58-69-95-141, fax: 58-341-61-44,  
e-mail: redakcja@imp.gda.pl

© Copyright by    Towarzystwo Elektrowni Wodnych, Reda 2016,  
                          Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk

ISBN 978-83-88237-76-8

Druk i oprawa:  
Towarzystwo Elektrowni Wodnych  
adres korespondencyjny:  
ul. Piaskowa 18, 84-240 Reda,  
tel/fax +48 58 67 87 951  
e-mail: biuro@tew.pl

## Patronat honorowy

## Honorary patronage

- **Mariusz Gajda**  
Podsekretarz Stanu w Ministerstwie Środowiska  
*Undersecretary of State in the Polish Ministry of Environment*
- **Karsten Klepsvik**  
Ambasador Królestwa Norwegii w Polsce  
*Royal Norwegian Ambassador to Poland*

## Organizatorzy Konferencji

## Conference Organisers

- **Towarzystwo Elektrowni Wodnych (TEW),**  
*Polish Hydropower Association*  
adres korespondencyjny, *mail address*:  
ul. Piaskowa 18, 84-240 Reda, [www.tew.pl](http://www.tew.pl), [biuro@tew.pl](mailto:biuro@tew.pl)
- **Towarzystwo Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych (TRMEW)**  
*Polish Association for Small Hydropower Development*  
ul. Królowej Jadwigi 1, 86-300 Grudziądz, [www.trmew.pl](http://www.trmew.pl), [biuro@trmew.pl](mailto:biuro@trmew.pl)
- **Instytut Maszyn Przepływowych im. Roberta Szewalskiego PAN (IMP PAN)**  
*The Szewalski Institute of Fluid-Flow Machinery of the Polish Academy of Sciences*  
ul. Fiszer 14, 80-231 Gdańsk, [www.imp.gda.pl](http://www.imp.gda.pl),
- **Dział Handlowy Ambasady Królestwa Norwegii**  
*Commercial Section of the Royal Norwegian Embassy*  
WARTA TOWER, Chmielna 85/87, 00-805 Warszawa,  
[www.innovasjon norge.no](http://www.innovasjon norge.no), [www.amb-norwegia.pl](http://www.amb-norwegia.pl)
- **REECO Poland Sp. z O.O.**  
ul. Bartycka 22B/21A, 00-716 Warszawa  
[www.renexpo-warsaw.com](http://www.renexpo-warsaw.com)

## Współpraca wydawnicza i medialna

## Editorial and media Collaboration

- **„Energetyka Wodna”,**  
ul. Staszica 1/115, 25-008 Kielce  
[www.energetykawodna.info](http://www.energetykawodna.info), [redakcja@energetykawodna.info](mailto:redakcja@energetykawodna.info)
- **Wydawnictwo IMP PAN / IMP PAN Publishers**  
ul. Fiszer 14, 80-231 Gdańsk,  
<http://www.imp.gda.pl/wydawnictwa/>, [jfrk@imp.gda.pl](mailto:jfrk@imp.gda.pl)
- **"Czysta Energia", Abrys Sp. z O.O.**  
ul. Daleka 33, 60-124 Poznań  
[www.czystaenergia.pl](http://www.czystaenergia.pl), [www.abrys.pl](http://www.abrys.pl)

## Sponsorzy

- **Centrum Technologii Proekologicznych – Leon Wojciechowski**  
ul. Ziębicka 84, 50-507 Wrocław  
tel.: +48 71 341 85 12, [ctp@adres.pl](mailto:ctp@adres.pl)
- **TB Hydro**  
ul. Czernika 4, 60-194 Poznań  
tel.: +48 61 867 93 14, [office@tbhydro.com.pl](mailto:office@tbhydro.com.pl), [www.tbhydro.com.pl](http://www.tbhydro.com.pl)

## Komitet Honorowy

## Honorary Committee

|                         |                                                                                                                                                     |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Piotr Doerffer</b>   | Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Z-ca Dyrektora ds Naukowych<br><i>Institute of Fluid Flow Machinery, Pol.Ac.Sci., Deputy Director on Science</i> |
| <b>Mariusz Gajda</b>    | Ministerstwo Środowiska, Podsekretarz Stanu<br><i>Polish Ministry of Environment, Undersecretary of State</i>                                       |
| <b>Karsten Klepsvik</b> | Ambasador Królestwa Norwegii w Polsce<br><i>Royal Norwegian Ambassador to Poland</i>                                                                |
| <b>Andrzej Tersa</b>    | Towarzystwo Elektrowni Wodnych, Prezes Zarządu<br><i>Polish Hydropower Association, President</i>                                                   |

## Komitet Organizacyjny

## Organising Committee

|                              |                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Małgorzata Bartkowski</b> | REECO Poland Sp. z O.O., Prokurent, Project Manager                                                                                                                                |
| <b>Julitta Jagielska</b>     | Punkt Konsultacyjny Energetyki Wodnej TEW<br><i>TEW Hydropower Consulting Office</i>                                                                                               |
| <b>Michał Kubecki</b>        | TRMEW, Sekretarz Zarządu / <i>Secretary of the Board</i> ;<br>Instytut OZE Sp. z O.O., Dyrektor / <i>Director</i> ;<br>"Energetyka Wodna", redaktor naczelny / <i>Chief Editor</i> |
| <b>Stanisław Lewandowski</b> | TEW, Prezes Honorowy i Pełnomocnik Zarządu/<br><i>Honorary President and Board Proxy</i> ;<br>Hydroconsult, działalność własna/ <i>private activity</i>                            |
| <b>Ewa Malicka</b>           | TRMEW, Wiceprezes Zarządu / <i>Deputy President</i>                                                                                                                                |
| <b>B. Kuba Puchowski</b>     | TRMEW, Członek Zarządu/ <i>Member of the Board</i><br>Piła Młyn, działalność własna/ <i>private activity</i>                                                                       |
| <b>Henryka Stachowicz</b>    | TEW, Dyrektor Biura / <i>Executive Director</i>                                                                                                                                    |
| <b>Janusz Steller</b>        | Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk<br><i>Institute of Fluid Flow Machinery, Pol. Ac. Sci., Gdansk</i><br>TEW, Wiceprezes Zarządu / <i>Deputy President</i>                  |

## Komitet Naukowy

## Scientific Committee

|                                |                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Prof. Adam Adamkowski</b>   | Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk<br><i>Institute of Fluid Flow Machinery, Pol. Ac. Sci., Gdansk, Poland</i>                                                                                                                                                |
| <b>Prof. Wojciech Majewski</b> | Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Państwowy Instytut Badawczy<br>Komitet Gospodarki Wodnej PAN<br><i>Institute of Meteorology and Water Management, National Research Institute</i><br><i>Water Management Committee of the Polish Academy of Sciences</i> |
| <b>Prof. Bogdan Popa</b>       | Politechnika Bukaresztańska<br><i>University „Politehnica” of Bucharest</i>                                                                                                                                                                                         |
| <b>Prof. Petras Punys</b>      | Uniwersytet A.Stulginskisa, Kowno, Litwa,<br><i>A. Stulginskis University, Kaunas, Lithuania</i>                                                                                                                                                                    |



Warszawa, dnia 10/10 2016 r.

**MINISTERSTWO ŚRODOWISKA**  
**PODSEKRETARZ STANU**

*Mariusz Gajda*

*Szanowne Państwo,*

Pragnę serdecznie podziękować Towarzystwu Elektrowni Wodnych, Instytutowi Maszyn Przepływowych PAN, Towarzystwu Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych oraz wszystkim organizatorom za zaproszenie na VI konferencję Hydrotechniczną RENEXPO – Poland.

Przejęcie patronatu wspólnie z Jego Ekszelencją Panem Karstenem Klepsvikiem Ambasadorem Królestwa Norwegii w Polsce jest dla mnie zaszczytem. Spotkanie jest platformą wymiany poglądów i informacji o wyzwaniach jakie stoją przed polskim i europejskim sektorem energetyki wodnej w obliczu zmieniającego się otoczenia prawno – administracyjnego.

Ministerstwo Środowiska przykłada dużą wagę do wykorzystywania w energetyce odnawialnych źródeł energii, które przez ograniczenie emisji szkodliwych substancji, zwłaszcza gazów cieplarnianych przyczyniają się do zmniejszenia oddziaływań energetyki na środowisko naturalne i osiągnięcia nadrzędnego celu jakim jest zrównoważony rozwój społeczno-gospodarczy Polski.

Dzisiejsza Konferencja przypada w szczególnym okresie, kiedy trwają zaawansowane prace nad nową ustawą - Prawo Wodne, dokumentem o zasadniczym znaczeniu dla gospodarki wodnej w Polsce. Nowy system zarządzania gospodarką wodną, będzie określał fundamenty tego cennego zasobu zarówno dla obywateli jak i dla wykorzystujących go podmiotów do celów działalności gospodarczej.

Celem tej ustawy jest zmiana nieefektywnego systemu organizacyjnego przez wzmocnienie zlewniowego zarządzania gospodarką wodną. W świetle doświadczeń ostatnich lat funkcjonowania ustawy – Prawo wodne problemem tego sektora gospodarki cały czas pozostaje brak jasno sprecyzowanego systemu finansowania działań mających na celu utrzymywanie wód, poprawę stanu ich jakości oraz realizację inwestycji w gospodarce wodnej. Nowa ustawa – Prawo wodne stworzy ramy dla działalności hydroenergetyki w Polsce, przewiduje ukształtowanie rozwiązań prawnych, organizacyjnych, finansowych i technicznych w gospodarowaniu wodami, które zapewnią trwałe i zrównoważony społeczno-gospodarczy rozwój, z uwzględnieniem potrzeb gospodarczego wykorzystania wód.

Życząc owocnych obrad mam nadzieję, że i tym razem RENEXPO będzie okazją do wymiany jakże cennych informacji o doświadczeniach z dziedziny energetyki wodnej.

*Z poważaniem*  
*M. Gajda*



## Spis treści

|                                                                                                                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Przedmowa</b> .....                                                                                                                                                                                                        | 1  |
| <b>Program konferencji</b> .....                                                                                                                                                                                              | 5  |
| <b>Streszczenia wystąpień konferencyjnych</b>                                                                                                                                                                                 |    |
| <b>Sesja inauguracyjna</b>                                                                                                                                                                                                    |    |
| M.Lis: <i>Kwartalnik Energetyka Wodna w służbie polskiej branży hydroenergetycznej</i> .....                                                                                                                                  | 9  |
| <b>Sesja I: Energetyka wodna i jej miejsce<br/>w strategii gospodarczej oraz polityce środowiskowej Polski</b>                                                                                                                |    |
| 1.1. A.Tersa, S.Lewandowski: <i>Pozytywne i negatywne skutki dla energetyki wodnej<br/>znowelizowanej ustawy o odnawialnych źródłach energii</i> .....                                                                        | 11 |
| 1.3. E.Malicka: <i>Szanse i zagrożenia dla małych elektrowni wodnych<br/>wynikające ze zmian ustawy o OZE i Prawa wodnego</i> .....                                                                                           | 13 |
| <b>Sesja II: Debata panelowa "Jaka przyszłość dla energetyki wodnej?"</b>                                                                                                                                                     |    |
| 2.1. S.Lewandowski:<br><i>Integracja z systemem społecznym i gospodarczym kraju drogą rozwoju energetyki wodnej....</i>                                                                                                       | 15 |
| <b>Sesja III: Potencjał hydroenergetyczny, ochrona przeciwpowodziowa i oddziaływania środowiskowe</b>                                                                                                                         |    |
| 3.1. M.Fedorov, V.Elistratov, V.Maslikov, A.Čusov, A.Savvičev : <i>Ocena emisji gazów cieplarnianych<br/>ze zbiornika węzła hydroenergetycznego "Sajano-Szuszeńska Elektrownia Wodna" (EN)</i> .....                          | 17 |
| 3.2. M.Fedorov, V.Badenko, V.Maslikov, A.Čusov:<br><i>Technologie GIS w zastosowaniu do lokalizacji zapór podczas projektowania<br/>naturalno-technicznych systemów przeciwpowodziowych z elektrowniami wodnymi (EN)</i> .... | 19 |
| 3.3. B.Popa , F.Popa, A.Moclinea, E.Tica:<br><i>Ocena różnych rodzajów potencjału hydroenergetycznego Rumunii (EN).....</i>                                                                                                   | 21 |
| 3.4. L.Šilinis, P.Punys, E.Kasiulis: <i>Analiza częstotliwościowa krótkotrwałych wzrostów<br/>natężenia przepływu w rzece wskutek pracy dużej elektrowni wodnej (EN)</i> .....                                                | 25 |
| <b>Sesja IV: Projekty inwestycyjne w regionie - Kaskada Dolnej Wisły</b>                                                                                                                                                      |    |
| 4.1. W.Majewski: <i>Kompleksowe zagospodarowanie dolnej Wisły</i> .....                                                                                                                                                       | 27 |
| 4.2. J.Granatowicz, P.Śliwiński <i>Kaskada Dolnej Wisły - fanaberia, czy konieczność?</i> .....                                                                                                                               | 29 |
| <b>Sesja V: Dobre praktyki oraz doświadczenia<br/>z projektowania, budowy i eksploatacji elektrowni wodnych</b>                                                                                                               |    |
| 5.1. A.Adamkowski, M.Lewandowski, S.Lewandowski:<br><i>Wielokryterialna optymalizacja wytwarzania energii w wieloblokowych elektrowniach wodnych</i>                                                                          | 31 |
| 5.2. A.Henke, A.Adamkowski: <i>Wybrane kierunki modernizacji polskich małych elektrowni wodnych</i>                                                                                                                           | 33 |
| 5.3. M.Kaniecki, Z.Krzemianowski: <i>Od założeń projektowych do badań modelowych<br/>- kompleksowe podejście do projektowania szybkobieżnych turbin Francisca</i> .....                                                       | 36 |
| 5.4. M.Brycejn, J.Burzawa:<br><i>Urządzenia czyszczące kraty wlotu elektrowni wodnych, pompowni i ujęć wody</i> .....                                                                                                         | 39 |
| 5.5. Ł.Kalina : <i>Dobre praktyki w postępowaniach środowiskowych<br/>dla małych elektrowni wodnych - przykłady realizacji</i> .....                                                                                          | 43 |

## Sesja VI: Innowacje techniczne

- 6.1. S.Gawron, R.Rossa: *Przykładowe zastosowania generatorów PMSG lub nowych zespołów prądotwórczych z generatorami PMSG w małych elektrowniach wodnych* 45
- 6.2. E.Opsahl: *Turbinator® firmy CleanPower jako rozwiązanie dla przepływu ekologicznego (EN)* ..... 48
- 6.3. E. Kasiulis, L. Šilinis: *Morski falochron portowy jako odnawialne źródło energii (EN)* .... 49

## Sesja VII: Prace badawcze i badawczo-rozwojowe

- 7.1. S.V. Arciamčuk, G.I. Sidorenko: *Wpływ parametrów układu wylotowego pompowego hydrozespołu gruszkowego w układzie poziomym na jego charakterystyki energetyczne (EN)* ..... 51
- 7.2. T. Krátký, J. Šoukal, J. Kmec: *Wieloparametrowa optymalizacja kształtu pompy promieniowej ze względu na ruch pompowy i turbinowy (EN)* ..... 55
- 7.3. V.Safonov, A.Zykova, A.Krella, J.Steller, G.Gajowiec, M.Szkodo, H.Ghaemi: *Odporność kawitacyjna grubych powłok ochronnych CrC nanoszonych metodą niskociśnieniowego wyladowania łukowego (Arc-PVD) (EN)* ..... 56

## Załącznik

- Polska Konferencja Hydroenergetyczna RENEXPO Poland 2015 – relacja z obrad ..... 59

# Contents

|                                                                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Foreword</b> .....                                                                                                                                                                                     | 1  |
| <b>Conference programme</b> .....                                                                                                                                                                         | 5  |
| <b>Abstracts of Conference Contributions</b>                                                                                                                                                              |    |
| <b>Inauguration session</b>                                                                                                                                                                               |    |
| M.Lis : <i>Energetyka Wodna quarterly in service of the Polish hydropower sector</i> (PL) .....                                                                                                           | 9  |
| <b>Session I: Hydropower in economic strategy and environmental policy of Poland</b>                                                                                                                      |    |
| 1.1. A.Tersa, S.Lewandowski<br><i>Updated Polish RES Act - positive and negative effects for the Polish hydropower sector</i> (PL)                                                                        | 11 |
| 1.3. E.Malicka: <i>Opportunities and threats for Polish SHPs in view of changes in the Renewable Energy Act and the Water Law</i> (PL) .....                                                              | 13 |
| <b>Session II: Panel debate: „What future for hydropower ?”</b>                                                                                                                                           |    |
| 2.1. S.Lewandowski: <i>Integration with national social and economic system as the hydropower development route</i> (PL) .....                                                                            | 15 |
| <b>Session III: Hydropower potential, flood protection and environmental effects</b>                                                                                                                      |    |
| 3.1. M.Fedorov, V.Elistratov, V.Maslikov, A.Chusov, A.Savvichev: <i>Assessment of greenhouse gases emissions from the "Sayano-Shushenskaya Hydropower Plant Complex" reservoir</i> .....                  | 17 |
| 3.2. M.Fedorov, V.Badenko, V.Maslikov, A.Chusov:<br><i>GIS technologies for selecting location of dams during development of natural-technical flood control systems with hydropower facilities</i> ..... | 19 |
| 3.3. B.Popa, F.Popa, A.Moclinda , E.Tica:<br><i>Assessment of different types of hydropower potential in Romania</i> .....                                                                                | 21 |
| 3.4. L.Šilinis, P.Punys, E.Kasiulis:<br><i>Large hydropower plant hydropeaking phenomena frequency analysis</i> .....                                                                                     | 25 |
| <b>Session IV: Investment projects within the region - Lower Vistula Cascade</b>                                                                                                                          |    |
| 4.1. W.Majewski: <i>Complex development of the Lower Vistula</i> (PL) .....                                                                                                                               | 27 |
| 4.2. J.Granatowicz, P.Śliwiński: <i>Lower Vistula Cascade - a whim or a necessity?</i> (PL) .....                                                                                                         | 29 |
| <b>Session V: Good practices and experience on design, erection and operation of hydropower plants</b>                                                                                                    |    |
| 5.1. A.Adamkowski, M.Lewandowski, S.Lewandowski:<br><i>Multi-criterion optimisation of energy generation in multiblock hydropower plants</i> (PL) ...                                                     | 31 |
| 5.2. A.Henke, A.Adamkowski: <i>Selected directions in rehabilitation of Polish SHPs</i> (PL) .....                                                                                                        | 33 |
| 5.3. M.Kaniecki, Z.Krzemianowski: <i>From design assumptions to model tests - a complex approach to high speed Francis turbine design</i> (PL) .....                                                      | 36 |
| 5.4. M.Brysej, J.Burzawa:<br><i>Trash rack cleaners at inlets to hydropower plants, pumping stations and water intakes</i> .....                                                                          | 39 |
| 5.5. Ł.Kalina: <i>Good practices in environmental processing of small hydropower plants - successful project examples</i> (PL) .....                                                                      | 43 |

## **Session VI: Technical innovations**

|      |                                                                                                                                        |    |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.1. | S.Gawron, R.Rossa: <i>Exemplary applications of PMSG generators or new PMSG equipped gensets in small hydropower plants (PL)</i> ..... | 45 |
| 6.2. | E.Opsahl: <i>The CleanPower Turbinator® eco-flow solution</i> .....                                                                    | 48 |
| 6.3. | E. Kasiulis, L. Šilinis: <i>Seaport breakwater as a renewable energy power plant</i> .....                                             | 49 |

## **Session VII: Hydropower oriented research and R&D projects**

|      |                                                                                                                                                                            |    |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.4. | S.V.Artsiamchuk, G.I.Sidorenko : <i>Influence of the outlet system parameters of a horizontal bulb pump unit on its performance characteristics</i> .....                  | 51 |
| 7.5. | T. Krátký, J. Šoukal, J.Kmec: <i>Multiobjective shape optimization of radial pump with respect to both pump and turbine regimes</i> .....                                  | 55 |
| 7.6. | V.Safonov, A.Zykova, A.Krella, J.Steller, G.Gajowiec, M.Szkodo, H.Ghaemi: <i>Cavitation erosion resistance of thick CrC coating deposition by the Arc-PVD method</i> ..... | 56 |

## **Appendix**

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Polish Hydropower Conference RENEXPO Poland 2015 – a report from the debate (PL)..... | 61 |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|



rok założenia 1992

## **Naszą misją statutową są**

działania na rzecz dobrej kondycji  
i wszechstronnego rozwoju polskiej energetyki wodnej  
- przede wszystkim poprzez racjonalne wykorzystanie  
krajowego potencjału hydroenergetycznego.

## **Nasza oferta obejmuje:**

analizy, opracowania i ekspertyzy, w tym:

- okresowe raporty pracy elektrowni wodnych z oceną wykorzystania potencjału hydroenergetycznego stopni wodnych oraz sugestiami zmian i modernizacji,
- analizy ekonomiczne wytwarzania energii elektrycznej i magazynowania energii w zbiornikach wodnych,
- oprogramowanie do optymalizacji ruchu elektrowni wodnych,
- specjalistyczne oceny stanu technicznego obiektów i urządzeń elektrowni wodnych wraz z wyceną majątku produkcyjnego,
- dokumentacje przetargowe (SIWZ, projekty umów),
- *due diligence* lokalizacji i funkcjonujących obiektów energetyki wodnej,
- koncepcje programowo-przestrzenne i studia wykonalności projektów inwestycyjnych,
- operaty wodnoprawne i instrukcje gospodarowania wodą,
- wnioski o wydanie decyzji administracyjnych,

organizację konferencji, seminariów, szkoleń

działalność promocyjną i reklamową, w tym:

- wydawanie biuletynów i folderów,
- opracowywanie prezentacji i filmów promocyjnych

## **Kontakt i dalsze informacje:**

**Biuro Towarzystwa Elektrowni Wodnych**  
ul. Piaskowa 18, 84-240 Reda,  
tel.: 58 67 87 951  
[biuro@tew.pl](mailto:biuro@tew.pl), [www.tew.pl](http://www.tew.pl)



## Przedmowa

Organizatorzy Polskich Konferencji Hydroenergetycznych [PKH] mają powody do satysfakcji. Coroczne spotkania organizowane przy okazji Międzynarodowych Targów Energii Odnawialnej i Efektywności Energetycznej RENEXPO Poland cieszą się stałym zainteresowaniem z wyraźną tendencją wzrostową. Fakt ten dowodzi potrzeby regularnych debat na temat kondycji i perspektyw rozwojowych polskiej oraz europejskiej energetyki wodnej, a także wymiany informacji oraz opinii o aktualnych projektach inwestycyjnych i prowadzonych pracach badawczo-rozwojowych. Sukces dotychczasowych spotkań sprawił, że Towarzystwo Elektryczności Wodnych [TEW] zdecydowało się na zmiany w formule organizacyjnej. Przede wszystkim zdecydowano o utworzeniu komitetu organizacyjnego składającego się zarówno z członków stałych, powołanych przez Zarząd TEW, jak i członków tymczasowych, reprezentujących współorganizatorów konferencji i zapraszanych do udziału w pracach organizacyjnych przez Przewodniczącego Komitetu Organizacyjnego PKH RENEXPO Poland w związku z przygotowaniami do kolejnych edycji konferencji.

Spośród najważniejszych zmian w formule konferencji wymienić należy:

- a) wydłużenie czasu obrad do dwóch dni z zachowaniem podziału na sesje dotyczące nietechnicznych i technicznych uwarunkowań funkcjonowania energetyki wodnej;
- b) ostateczne umiędzynarodowienie konferencji poprzez intensywne działania informacyjne poza granicami naszego kraju oraz ponowne zapewnienie tłumaczenia symultanicznego ze środków funduszu *Innovation Norway*;
- c) wzmocnienie segmentu naukowego poprzez powołanie Komitetu Naukowego rekomendującego publikację artykułów opracowanych na podstawie wybranych wystąpień w czasopismach naukowych współpracujących z Komitetem Organizacyjnym.

W tym roku Konferencja ma po raz pierwszy swoich patronów honorowych. Patronat nad konferencją objęli: Podsekretarz Stanu w Ministerstwie Środowiska, p. **Mariusz Gajda**, oraz Ambasador Królestwa Norwegii w Polsce, p. **Karsten Klepsvik**.

Poczucie satysfakcji z powodu sukcesu konferencji i rozszerzenia jej formuły do regionalnego wydarzenia europejskiego mać świadomość, że przynajmniej część zainteresowania naszymi spotkaniami wynika z poczucia niepewności dotyczącej przyszłości energetyki wodnej w Polsce. Oto z jednej strony, w związku z zamiarami włączenia naszego kraju do europejskiej sieci śródlądowych szlaków wodnych, ożywa ponownie idea Kaskady Dolnej Wisły i zainteresowanie zagospodarowaniem innych rzek (np. Bugu). Z drugiej strony, odwrót Państwa od polityki wspierania OZE doprowadził już do dramatycznego spadku wartości świadectw pochodzenia, a w niektórych przypadkach - do ujemnego wyniku ekonomicznego dobrze dotąd prosperujących przedsiębiorstw energetycznych.

Zagadnieniom wpływu zmian w otoczeniu prawnym oraz polityki Państwa na kondycję polskiego sektora energetyki wodnej poświęcona zostanie debata panelowa w pierwszym dniu obrad. Podobnie, jak w latach ubiegłych, będziemy poszukiwać odpowiedzi na pytanie o właściwą drogę dla sektora. Liczymy, że obecność przedstawicieli innych krajów europejskich pozwoli na dokonanie porównań sytuacji energetyki wodnej w regionie i pomoże wyciągnąć cenne wnioski. Uczestnicy spoza naszego kraju podzielą się swoim doświadczeniem dotyczącym energetyki wodnej i gospodarki wodnej w sesji III w pierwszym dniu obrad.

W dniu drugim szczególne zainteresowanie wzbudzi zapewne sesja IV, poświęcona Kaskadzie Dolnej Wisły. Podczas sesji przedstawione zostaną m.in. wielostronne korzyści ekonomiczne wynikające z tej inwestycji. Kolejne sesje poświęcone zostaną wymianie doświadczeń dotyczących projektowania wyposażenia i optymalnego prowadzenia ruchu elektrowni wodnych, innowacjom technicznym oraz pracom badawczo-rozwojowym. Duży wkład w tę część konferencji wniosą uczestnicy spoza naszego kraju. W porównaniu z latami ubiegłymi zwraca uwagę wzrost liczby wystąpień o charakterze naukowym. Liczymy, że znajdzie to odzwierciedlenie w publikacjach we współpracujących z nami recenzowanych kwartalnikach naukowych *Acta Energetica* i *Transactions of the Institute of Fluid-Flow Machinery*. Oba czasopisma są partnerami Konferencji publikującymi artykuły naukowe w języku angielskim. Podobnie jak w ubiegłych latach, mamy zamiar doprowadzić także do publikacji przynajmniej części wystąpień konferencyjnych w kwartalniku *Energetyka Wodna*, który od samego początku pozostaje niezawodnym partnerem Polskich Konferencji Hydroenergetycznych. Jubileuszowi tego pierwszego w historii polskiej techniki czasopisma, całkowicie dedykowanemu energetyce wodnej poświęcone będzie wystąpienie redaktora prowadzącego, p. Michała Lisa, podczas sesji inauguracyjnej. Za zgodą autorów, przedstawione prezentacje zostaną udostępnione w formacie PDF wszystkim uczestnikom konferencji. Od wiosny 2017 roku będą one ogólnodostępne ze strony internetowej Towarzystwa Elektrowni Wodnych.

Niniejszy zeszyt zawiera streszczenia 20 spośród 22 zgłoszonych wystąpień konferencyjnych - w tym streszczenie wprowadzenia do dyskusji panelowej. Na końcu zeszytu umieściliśmy sprawozdanie z Polskiej Konferencji Hydroenergetycznej RENEXPO Poland 2015. Skrócona wersja tego sprawozdania ukazała się w grudniowym numerze ubiegłorocznej "Energetyki Wodnej".

Komitet Organizacyjny Konferencji wyraża serdeczne podziękowanie wszystkim osobom, firmom i instytucjom, które wsparły przygotowanie Konferencji swoim zaangażowaniem merytorycznym, organizacyjnym i finansowym. Szczególne podziękowania należą się partnerowi strategicznemu - spółce PGE EO SA – oraz sponsorom Konferencji – firmom TB Hydro i Centrum Technologii Proekologicznych Leon Wojciechowski.

W imieniu własnym pozwalam sobie podziękować wszystkim członkom Komitetu Organizacyjnego za Ich wkład pracy i zaangażowanie. Szczególnie podziękowania wyrażam Działowi Handlowemu Ambasady Norweskiej i osobiście p. dr Ewie Kwast. To dzięki Jej zaangażowaniu Konferencja mogła nabrać charakteru międzynarodowego. Serdeczne podziękowania składam autorom wystąpień konferencyjnych, członkom Panelu Dyskusyjnego oraz Komitetu Naukowego. Wszystkim Uczestnikom dziękuję za przybycie, zachęcam do ożywionej dyskusji oraz życzę satysfakcji z udziału w obradach.

**Dr Janusz Steller**

Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego  
Polskich Konferencji Hydroenergetycznych

Gdańsk, 18 października 2016

## Foreword

The organisers of the Polish Hydropower Conferences [PKH] have their reasons for satisfaction. The annual meetings accompanying the RENEXPO Poland International Fair for Renewable Energy and Energy Effectiveness enjoy continued interest with a visibly rising trend. This proves the true demand for debates on the condition and development prospects of the Polish and European hydropower sector as well as exchange of information and opinions on the current projects and research and development activities. In view of the success of meetings held so far, the Polish Hydropower Association [TEW] has taken decision on changes in the organising formula. First of all it has been decided to establish an organising committee consisting of both permanent members, nominated by the TEW Board, and temporary members, representing Conference co-organisers and invited by the Chairman of the PKH RENEXPO Poland Organising Committee to collaborate on preparing the consecutive Conference editions.

The main changes in the Conference formula include:

- a) elongation of the debate duration to two days while keeping the division between sessions dealing with non-technical and technical constraints for the sector;
- b) final internationalisation of the Conference by intense informative action outside Poland and providing simultaneous interpretation from the *Innovation Norway* financial means;
- c) strengthening of the scientific sector by establishing the Scientific Committee recommending publication of papers based on selected Conference contributions in scientific journals collaborating with the Organising Committee.

This year we are proud to announce for the first time the honorary patrons of our event. The patronage over the Conference has been taken by Mr **Mariusz Gajda**, Undersecretary of State in the Polish Ministry of Environment, and Mr **Karsten Klepshvik**, Royal Norwegian Ambassador to Poland.

The feeling of satisfaction due to the Conference success and extension of its formula to a regional European event is substantially disturbed by the consciousness that at least a part of the interest in our meetings is due to the feeling of uncertainty of the sector future in Poland. On the one hand, the plans to integrate our country with the European network of midland waterways has resulted in revival of the idea of Lower Vistula Cascade and renewed interest in infrastructural development of some other rivers (eg. Bug river). On the other hand the retreat of the Polish State from the policy of supporting the renewable energy sources (RES) has already led to a dramatic fall in the green certificate prices and negative economic results of some previously well prospering power industry companies.

The problems of effects exerted by the changes in the law environment and the State policy on condition of the Polish hydropower sector will be discussed during the Panel Debate planned for the first day of the Conference. Following the practice of previous years, we'll be seeking a response to the question of proper development road for the sector. It is expected that the presence of delegates coming from outside Poland will enable comparisons of hydropower condition within the region and drawing valuable conclusions. The delegates from outside our country will share their general experience on hydropower and water management problems during session III on the first day of the Conference.

Session IV, as planned for the second day of the Conference and dealing with the Lower Vistula Casacade as the only topic, is expected to attract especially high interest of the audience. The session will present, among others, the multiple economic benefits expected from the project. The subsequent sessions will deal with exchange of experience on hydropower plant equipment design and optimum operation, technical innovations and research and development projects. A substantial input to this part of the Conference will be given by the delegates coming from outside our country. In comparison with the previous years, a substantial rise in the number of techno-scientific contributions is quite apparent. We expect this fact to be reflected by papers published by *Acta Energetica* and *Transactions of the Institute of Fluid-Flow Machinery* peer-viewed scientific quarterlies. Both journals are editorial partners of the Conference, publishing scientific articles in English. Following the practice of previous years we expect also at least part of the conference contributions to be published in the *Energetyka Wodna* quarterly – the first hydropower journal in the history of Polish power engineering and a proven partner of the Conference series. The 5<sup>th</sup> anniversary of the quarterly will be an opportunity for a Jubilee address to be delivered during the Opening Session by Mr Michał Lis, managing editor of the journal. With consent of the Authors the delivered presentations will be made available in PDF format for all the Conference participants. Since spring 2017 they will be freely accessible for everyone interested from the TEW website.

This booklet comprises the abstracts of 20 out of 22 other conference contributions – including an introduction to the panel discussion. In the final part a report of the Polish Hydropower Conference RENEXPO 2015 is presented. An abbreviated version of the report has been published in the last year December edition of "Energetyka Wodna".

The Conference Organising Committee expresses sincere thanks to all persons, companies, institutions and other organisations that have rendered their support to this conference with an expert, organising and financial effort. Special thanks are due to the strategic partner - *PGE EO SA* company – and Conference sponsor - the *TB Hydro* and *Centrum Technologii Proekologicznych Leon Wojciechowski* companies.

It is my personal pleasure to appreciate the effort and engagement of all the members of the Organising Committee. Especially high appreciation is expressed to the Commercial Section of the Norwegian Embassy and personally to Dr Ewa Kwast. It is mainly thanks to her personal engagement that our conference could adopt an international format. Most sincere thanks are expressed towards all authors of Conference contributions, members of the Discussion Panel and the Scientific Committee.

It is my especial pleasure to acknowledge high appearance of Conference Delegates at our event, to encourage them to lively discussion and to wish a profound satisfaction out of joining the debate.

***Dr Janusz Steller***

Chairman of the Polish Hydropower Conferences  
Organising Committee

Gdansk, October 18th, 2016

# PROGRAM KONFERENCJI

19 października 2016

## 9:30 Powitanie uczestników i otwarcie obrad

### Sesja inauguracyjna

Sesję prowadzi: **Janusz Steller**, Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego PKH RENEXPO Poland

9:45 M.Lis (Energetyka Wodna):  
**Kwartalnik „Energetyka Wodna” w służbie polskiej branży hydroenergetycznej**

### Sesja I: Energetyka wodna i jej miejsce w strategii gospodarczej oraz polityce środowiskowej Polski

Obrady prowadzi: **B. Kuba Puchowski**, Piła Młyn, członek Zarządu TRMEW

10:00 A.Tersa, S.Lewandowski (TEW): **Pozytywne i negatywne skutki dla energetyki wodnej znowelizowanej ustawy o odnawialnych źródłach energii**

10:20 M.Balcerowicz (Ministerstwo Środowiska):  
**Polska energetyka wodna z perspektywy resortu środowiska**

10:40 E.Malicka (TRMEW): **Szanse i zagrożenia dla małych elektrowni wodnych wynikające ze zmian ustawy o OZE i Prawa wodnego**

## 11:00 Otwarcie targów RENEXPO Poland 2016

### Sesja II: Debata panelowa "Jaka przyszłość dla energetyki wodnej?"

Obrady prowadzi: **Stanisław Lewandowski**, Hydroconsult, Prezes Honorowy i Pełnomocnik Zarządu TEW

12:00 S.Lewandowski (Hydroconsult/TEW):  
**Integracja z systemem społecznym i gospodarczym kraju drogą rozwoju energetyki wodnej**

## 13:30 Przerwa obiadowa

### Sesja III: Potencjał hydroenergetyczny, ochrona przeciwpowodziowa i oddziaływania środowiskowe

Obrady prowadzi: **Prof. Petras Punys**, Uniwersytet A.Stulginskisa w Kownie, Prezes Zarządu LTEW

14:30 M.Fedorov, V.Elistratov, V.Maslikov, A.Čusov (Politechnika Petersburska), A.Savvičev (Instytut Mikrobiologii im. Winogradskiego RAN, Moskwa):  
**Ocena emisji gazów cieplarnianych ze zbiornika węzła hydroenergetycznego "Sajano-Szuszeńska Elektrownia Wodna" (EN)**

14:50 M.Fedorov, V.Badenko, V.Maslikov, A.Čusov (Politechnika Petersburska):  
**Technologie GIS w zastosowaniu do lokalizacji zapór podczas projektowania naturalno-technicznych systemów przeciwpowodziowych z elektrowniami wodnymi (EN)**

15:10 B.Popa (Politechnika Bukaresztańska), F.Popa (ISPH Project Development, Bukareszt), A.Modinda (STEINBERG Consulting, Bukareszt), E.Tica (Politechnika Bukaresztańska):  
**Ocena różnych rodzajów potencjału hydroenergetycznego Rumunii (EN)**

15:30 L.Šilinis, P.Punys, E.Kasiulis (Uniwersytet A.Stulginskisa, Kowno):  
**Analiza częstotliwościowa krótkotrwałych wzrostów natężenia przepływu w rzece wskutek pracy dużej elektrowni wodnej (EN)**

## 16:00 Zakończenie pierwszego dnia obrad

## 19:00 Kolacja konferencyjna

### Skróty:

|         |                                                                |
|---------|----------------------------------------------------------------|
| IMGW    | - Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej PIB, Warszawa      |
| IMP PAN | - Instytut Maszyn Przepływowych im. R.Szewalskiego PAN, Gdańsk |
| LTEW    | - Litewskie Towarzystwo Energetyki Wodnej                      |
| NANU    | - Narodowa Akademia Nauk Ukrainy                               |
| PAN     | - Polska Akademia Nauk                                         |

**20 października 2016****Sesja IV: Projekty inwestycyjne w regionie - Kaskada Dolnej Wisły**Obrady prowadzi: **Prof. Wojciech Majewski**, IMGW PIB, Wiceprzewodniczący Komitetu Gospodarki Wodnej PAN

- 9:00 W.Majewski (IMGW PIB): **Kompleksowe zagospodarowanie dolnej Wisły**  
 9:20 J.Granatowicz, P.Śliwiński (ENERGA Invest): **Kaskada Dolnej Wisły - fanaberia, czy konieczność?**

10:30 **Przerwa kawowa****Sesja V: Dobre praktyki oraz doświadczenia z projektowania, budowy i eksploatacji elektrowni wodnych**Obrady prowadzi: **Tadeusz Sobolewski**, doradca techniczny ZEW Porąbka-Żar, członek Zarządu TEW.

- 11:00 A.Adamkowski, M.Lewandowski (IMP PAN), S.Lewandowski (Hydroconsult/TEW):  
**Wielokryterialna optymalizacja wytwarzania energii w wieloblokowych elektrowniach wodnych**  
 11:20 A.Henke, A.Adamkowski (IMP PAN):  
**Wybrane kierunki modernizacji polskich małych elektrowni wodnych**  
 11:40 M.Kaniecki (ZRE SA, Gdańsk), Z.Krzemianowski (IMP PAN):  
**Od założeń projektowych do badań modelowych - kompleksowe podejście do projektowania szybkobieżnych turbin Francisa**  
 12:00 J.Burzawa (P&S AS): **Urządzenia czyszczące kraty wlotu elektrowni wodnych, pompowni i ujęć wody**  
 12:20 Ł.Kalina (Instytut OZE, Kielce): **Dobre praktyki w postępowaniach środowiskowych dla małych elektrowni wodnych - przykłady realizacji**

12:40 **Przerwa obiadowa****Sesja VI: Innowacje techniczne**Obrady prowadzi: **Prof. Bogdan Popa**, Politechnika Bukaresztańska, Prezes Zarządu RTMEW

- 13:30 S.Gawron, R.Rossa (KOMEL, Katowice): **Przykładowe zastosowania generatorów PMSG lub nowych zespołów prądowców z generatorami PMSG w małych elektrowniach wodnych**  
 13:50 E.Opsahl (CleanPower AS, Kristiansand S, Norwegia):  
**Turbinator® firmy CleanPower jako rozwiązanie dla przepływu ekologicznego (EN)**  
 14:10 E. Kasiulis, L. Šilinis (Uniwersytet A.Stulginskisa, Kowno):  
**Morski falochron portowy jako odnawialne źródło energii (EN)**

14:30 **Przerwa kawowa****Sesja VII: Prace badawcze i badawczo-rozwojowe**Obrady prowadzi: **Prof. Adam Adamkowski**, kierownik Zakładu Hydroenergetyki IMP PAN

- 15:00 S.V. Arciamčuk (Białoruski Uniwersytet Państwowy, Mińsk), G.I. Sidorenko (Politechnika Petersburska):  
**Wpływ parametrów układu wylotowego pompowego hydrozespołu gruszkowego w układzie poziomym na jego charakterystyki energetyczne (EN)**  
 15:20 T. Krátký, J. Šoukal (Ośrodek Badań Hydraulicznych, Lutín, Republika Czeska),  
 J. Kmec (Uniwersytet Palackiego, Olomuniec): **Wieloparametrowa optymalizacja kształtu pompy promieniowej ze względu na ruch pompy i turbinowy (EN)**  
 15:40 V.Safonov, A.Zykova (Charkowski Instytut Fizyko-Techniczny NANU), A.Krella, J.Steller (IMP PAN),  
 G.Gajowiec, M.Szkodo, H.Ghaemi (Politechnika Gdańska): **Odporność kawitacyjna grubych powłok ochronnych CrC nanoszonych metodą niskociśnieniowego wyładowania łukowego (Arc-PVD)**

**16:00 Zamknięcie obrad****Skróty (c.d.):**

- PGE EO - PGE Energia Odnawialna SA  
 RAN - Rosyjska Akademia Nauk  
 RTMEW - Rumuńskie Towarzystwo Małej Energetyki Wodnej  
 TEW - Towarzystwo Elektrowni Wodnych  
 TRMEW - Towarzystwo Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych

# CONFERENCE PROGRAMME

October 19th, 2016

## 9:30 Welcome addresses and opening of the Conference

### Opening Session

Chairman:: **Janusz Steller**, Chairman of the Polish Hydropower Conferences Organising Committee

9:45 M.Lis (Energetyka Wodna):  
„Energetyka Wodna” quarterly in service of the Polish hydropower sector (PL)

### Session I: Hydropower in economic strategy and environmental policy of Poland

Session is chaired by: **B. Kuba Puchowski**, Piła Młyn, Member of the TRMEW Board

10:00 A.Tersa, S.Lewandowski (TEW):  
**Updated Polish RES Act - positive and negative effects for the Polish hydropower sector (PL)**

10:20 M.Balcerowicz (Polish Ministry of Environment):  
**Polish hydropower as seen from the perspective of the Ministry of Environment (PL)**

10:40 E.Malicka (TRMEW): **Opportunities and threats for Polish SHPs in view of changes in the Renewable Energy Act and the Water Law (PL)**

## 11:00 Opening of the RENEXPO Poland 2016 Fair

### Session II: Panel debate: „What future for hydropower ?”

The debate is chaired by: **Stanisław Lewandowski**, Hydroconsult, Honorary President and TEW Board Proxy

12:00 S.Lewandowski (Hydroconsult/TEW):  
**Integration with national social and economic system as the hydropower development route**

13:30 Lunch break

### Session III: Hydropower potential, flood protection and environmental effects

Chairman:: **Prof. Petras Punys**, A.Stulginskisa University, Kaunas, Lithuania, LHA Board President

14:30 M.Fedorov, V.Elistratov, V.Maslikov, A.Chusov (St.Petersburg Polytechnic University), A.Savvichev (Winogradsky Institute of Microbiology, RAS, Moscow ): **Assessment of greenhouse gases emissions from the "Sayano-Shushenskaya Hydropower Plant Complex" reservoir**

14:50 M.Fedorov, V.Badenko, V.Maslikov, A.Chusov (St.Petersburg Polytechnic University):  
**GIS technologies for selecting location of dams during development of natural-technical flood control systems with hydropower facilities**

15:10 B.Popa ("Politehnica" University of Bucharest), F.Popa (ISPH Project Development, Bucharest), A.Mocilinda (STEINBERG Consulting, Bucharest), E.Tica ("Politehnica" University of Bucharest):  
**Assessment of different types of hydropower potential in Romania**

15:30 L.Šilinis, P.Punys, E.Kasiulis (A.Stulginskis University, Kaunas, Lithuania):  
**Large hydropower plant hydropeaking phenomena frequency analysis**

16:00 Closing of the 1st day debate

19:00 Conference Dinner

### Abbreviations:

|         |                                                                                            |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| IMGW    | - Institute of Meteorology and Water Management (National Research Institute), Warsaw      |
| IMP PAN | - The Szwedzki Institute of Fluid-Flow Machinery of the Polish Academy of Sciences, Gdansk |
| ITE     | - Institute of Energy Technologies, Gdynia                                                 |
| LHA     | - Lithuanian Hydropower Association                                                        |
| PAN     | - Polish Academy of Sciences                                                               |

**October 20<sup>th</sup>, 2016****Session IV: Investment projects within the region - Lower Vistula Cascade**Chairman: **Prof. Wojciech Majewski**, IMGW PIB, Dep. President of the Pol.Ac.Sci. Committee for Water Management

- 9:00** W.Majewski (IMGW PIB): **Complex development of the Lower Vistula** (PL)
- 9:20** J.Granatowicz, P.Śliwiński (ENERGA Invest): **Lower Vistula Cascade - a whim or a necessity?** (PL)
- 10:30** **Coffee break**

**Session V: Good practices and experience in design, erection and operation of hydropower plants**Chairman: **Tadeusz Sobolewski**, Technical Adviser of Porąbka-Żar PGE EO Division, Member of the TEW Board

- 11:00** A.Adamkowski, M.Lewandowski (IMP PAN), S.Lewandowski (Hydroconsult/TEW): **Multi-criterion optimisation of energy generation in multiblock hydropower plants** (PL)
- 11:20** A.Henke, A.Adamkowski (IMP PAN): **Selected directions in rehabilitation of Polish SHPs** (PL)
- 11:40** M.Kaniecki (ZRE SA, Gdańsk), Z.Krzemianowski (IMP PAN): **From design assumptions to model tests - a complex approach to high speed Francis turbine design** (PL)
- 12:00** J.Burzawa (P&S AS): **Trash rack cleaners at inlets to hydropower plants, pumping stations and water intakes**
- 12:20** Ł.Kalina (Institute of Renewable Energy Sources, Kielce, Poland): **Good practices in environmental processing of small hydropower plants - successful project examples** (PL)
- 12:40** **Lunch break**

**Session VI: Technical innovations**Chairman: **Prof. Bogdan Popa**, "Politehnica" University of Bucharest, ROSHA Board President

- 13:30** S.Gawron, R.Rossa (KOMEL, Katowice): **Exemplary applications of PMSG generators or new PMSG equipped gensets in small hydropower plants** (PL)
- 13:50** E.Opsahl (CleanPower AS, Kristiansand S, Norway): **The CleanPower Turbinator® eco-flow solution**
- 14:10** E. Kasiulis, L. Šilinis (A. Stulginskis University, Kaunas): **Seaport breakwater as a renewable energy power plant**
- 13:30** **Coffee break**

**Session VII: Hydropower oriented research and R&D projects**Chairman: **Prof. Adam Adamkowski**, head of the IMP PAN Hydropower Department

- 15:00** S.V.Artsiamchuk (Belarusian State University, Minsk), G.I.Sidorenko (St. Petersburg Polytechnical University): **Influence of the outlet system parameters of a horizontal bulb pump unit on its performance characteristics**
- 15:20** T. Krátký, J. Šoukal (Hydraulics Research Centre Ltd, Lutín, Czech Republic), J. Kmec (Palacký University in Olomouc, Czech Republic): **Multiobjective shape optimization of radial pump with respect to both pump and turbine regimes**
- 15:40** V.Safonov, A.Zykova (NSC Kharkov Institute of Physics & Technology, Nat. Ac. Sci. of Ukraine), A.Krella, J.Steller (IMP PAN), G.Gajowiec, M.Szkodo, H.Ghaemi (Gdansk University of Technology): **Cavitation erosion resistance of thick CrC coating deposition by the Arc-PVD method** (PL)

**16:00 Conference closure****Abbreviations (continued):**

|        |                                                                 |
|--------|-----------------------------------------------------------------|
| PGE EO | - PGE Renewable Energy SA                                       |
| RAS    | - Russian Academy of Sciences                                   |
| ROSHA  | - Romanian Small Hydropower Association                         |
| TEW    | - Polish Hydropower Association                                 |
| TRMEW  | - Polish Association for Development of Small Hydropower Plants |

## **Sesja Inauguracyjna**

### **Opening Session**

Michał Lis:

***Kwartalnik „Energetyka Wodna”***

***w służbie polskiej branży hydroenergetycznej***

**Notatki**

**Notes**

# Kwartalnik Energetyka Wodna w służbie polskiej branży hydroenergetycznej

Michał Lis

Redakcja czasopisma Energetyka Wodna, Kielce  
e-mail: m.lis@energetykawodna.info

## Wstęp

Wraz z końcem bieżącego roku kwartalnik Energetyka Wodna będzie obchodził pięciolecie swojej obecności na polskim rynku wydawniczym. Jest to dobry czas na podsumowanie dotychczasowej działalności, przypomnienie najważniejszych chwil z życia redakcji oraz przedstawienie planów i pomysłów na przyszłość.

## Tradycje wydawnicze TRMEW

Towarzystwo Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych może poszczycić się blisko trzydziestoletnią tradycją wydawniczą. Przez szereg lat stowarzyszenie komunikowało się ze swoimi członkami i miłośnikami MEW za pośrednictwem wydawanego biuletynu. Z biegiem czasu rynek energii podlegał dynamicznym zmianom, wpływając tym samym na realia funkcjonowania branży MEW, jednakże cele wydawnictwa niezmiennie pozostawały te same – informowanie o aktualnych wydarzeniach branżowych, edukacja, promocja hydroenergetyki oraz integracja członków TRMEW.

## Powołanie Energetyki Wodnej

Pod koniec 2011 roku zapadła decyzja o zmianie formuły wydawniczej Biuletynu TRMEW i powołaniu do życia nowego czasopisma. Zmiana tytułu niosła za sobą większe modyfikacje. Główną z nich było rozszerzenie zakresu tematycznego, dzięki czemu kwartalnik wyszedł poza branżę MEW i granice Polski, uwzględniając tym samym tematykę dużej hydroenergetyki, gospodarki wodnej, nowych technologii oraz ochrony środowiska. Dzięki temu możliwe było podniesienie rangi wydawnictwa oraz zwiększenie docelowej grupy odbiorców. Zmiany objęły także kwestie techniczne m.in. wprowadzenie nowej szaty graficznej, rozbudowanie czasopisma o dodatkowe działy, druk na papierze o wysokiej jakości. Wymienione zmiany były następstwem coraz większego zapotrzebowania odbiorców na krajowe oraz międzynarodowe informacje z branży energetyki wodnej. Co więcej, na polskim rynku wydawniczym brakowało do tej pory czasopisma, które kompleksowo obejmowałoby tą tematykę.

W rezultacie w 2012 roku Energetyka Wodna została wpisana do rejestru czasopism, a premiera pierwszego wydania odbyła się podczas konferencji i targów Hidroenergia 2012 we Wrocławiu. W tym czasie nawiązano współpracę medialną z austriackim wydawnictwem ZEK, które specjalizuje się w tematyce hydroenergetyki i usług komunalnych. W tym roku rozpoczęto także współpracę z organizatorami Polskiej Konfe-

rencji Hydroenergetycznej, która jest kontynuowana do dzisiaj. Wśród znamienitego grona autorów tekstów publikowanych na łamach Energetyki Wodnej znajdują się specjaliści z branży, autorytety świata nauki oraz praktycy. Odbiorcami kwartalnika są m.in. właściciele małych elektrowni wodnych, potencjalni inwestorzy, decydenci, jednostki samorządowe, firmy, stowarzyszenia i organizacje branżowe oraz sympatycy hydroenergetyki. Mimo licznych zmian i stopniowego przeobrażania się magazynu po dziś dzień kontynuowane są fundamentalne założenia i cele przyświecające wydawcy Biuletynu TRMEW.

## Nurt zmian w Energetyce Wodnej

Rok 2013 upłynął pod hasłem optymalizacji wewnętrznych procedur wydawniczych i „technologii produkcji” czasopisma. W tym czasie redakcja zdobyła cenne doświadczenie, które pozwoliło skutecznie wydawać kolejne numery kwartalnika i regularnie rozwijać Energetykę Wodną na wielu płaszczyznach. W tym roku nawiązano współpracę medialną z ESHA – Europejskim Stowarzyszeniem Małej Energetyki Wodnej, Agencją Rynku Energii, wydawcą portalu CIRE oraz portalem internetowym ioze.pl.



Rys.1 Okładki najnowszych wydań Energetyki Wodnej

Kolejny rok przyniósł dużo zmian w wyglądzie czasopisma, m.in. dzięki odświeżonej szacie graficznej oraz wprowadzeniu nowej sekcji tematycznej „Ze świata”. Warto podkreślić rozpoczęcie współpracy z dwoma prestiżowymi czasopismami specjalistycznymi z branży hydroenergetycznej o zasięgu ogólnosiwiatowym: Water Power Magazine oraz Hydropower & Dams International Journal, dzięki którym redakcja posiada stały dostęp do aktualności ze świata. W odpowiedzi na potrzeby czytelników wprowadzono wersję elektroniczną Energetyki Wodnej.

W roku 2015 rozpoczęto dystrybucję kwartalnika przez firmy zewnętrzne, takie jak Kolporter i Garmond Press. W tym czasie zmieniono papier i sposób oprawy magazynu z szytej na klejoną. Wpływ na to miała kolejno

potrzeba podniesienia standardu prezentacji elementów graficznych, zdjęć oraz reklam, a także zwiększająca się objętość czasopisma. Położono również większy nacisk na współpracę z organizatorami wydarzeń branżowych, co zaowocowało zwiększeniem obecności Energetyki Wodnej podczas krajowych wydarzeń związanych z OZE, gospodarką wodną i tematami pokrewnymi. Tę zmianę czytelnicy mogli zauważyć również w powiększonym kalendarium, obejmującym okres pół roku naprzód, co dodatkowo ułatwia planowanie uczestnictwa w poszczególnych wydarzeniach. W zakresie tematyki położono większy nacisk na zagadnienia związane z gospodarką wodną. Wprowadzono również nowy logotyp TRMEW w ramach odświeżenia wizerunku towarzystwa.

W obecnym roku dokonano dalszych zmian w zakresie tematyki kwartalnika, którą rozszerzono o zagadnienia związane z żeglugą śródlądową i systemy odzysku energii. Wprowadzono też nową pozycję w dziale aktualności – „Wywiad numeru” oraz odświeżono spis treści. Działania są realizowane w ramach strategii nieustającego rozwoju czasopisma. W tym roku redakcja może się pochwalić nawiązaniem współpracy z portalem *wysokienapiecie.pl* oraz Europejską Federacją Energetyki Odnawialnej, która jest zaangażowana między innymi w rozwój branży MEW.

### Plany na przyszłość

W kolejnych latach redakcja planuje rozwój czasopisma na następujących płaszczyznach:

- uzyskanie statusu czasopisma naukowego,
- nawiązanie stałej współpracy z polskimi ośrodkami naukowymi,
- modernizacja strony internetowej,
- dalsze poszerzanie grupy odbiorców,
- dystrybucja czasopisma w wersji elektronicznej przez firmy zewnętrzne,
- zwiększenie udziału treści związanych z eksploatacją elektrowni wodnych,
- umiędzynarodowienie charakteru czasopisma,
- organizacja szkoleń i seminariów tematycznych.

### Autor

**Michał Lis**, mgr geografii, w roku 2010 ukończył Wydział Biologii i Nauk o Ziemi Uniwersytetu Jagiellońskiego. W roku 2014 uzyskał tytuł magistra GIS w Centrum Geoinformatyki Uniwersytetu Parisa Lodrona w Salzburgu oraz ukończył studia podyplomowe UNIGIS na wydziale Biologii i Nauk o Ziemi Uniwersytetu Jagiellońskiego. Od roku 2010 pracował w Instytucie OZE. Zakres jego kompetencji obejmował między innymi analizy potencjału OZE, opracowanie dokumentacji przygotowawczo-analitycznych inwestycji oraz prowadzenie portalu IOZE.pl. Od roku 2012 do chwili obecnej pełni funkcję redaktora prowadzącego czasopisma Energetyka Wodna.

## **Sesja I**

**Energetyka wodna i jej miejsce w strategii gospodarczej  
oraz polityce środowiskowej Polski**

## **Session I**

**Hydropower in economic strategy and environmental policy of Poland**

- 1.1. Andrzej Tersa, Stanisław Lewandowski

*Pozytywne i negatywne skutki dla energetyki wodnej  
znowelizowanej ustawy o odnawialnych źródłach energii*

- 1.3. Ewa Malicka:

*Szanse i zagrożenia dla małych elektrowni wodnych  
wynikające ze zmian ustawy o OZE i Prawa wodnego*

**Notatki**

**Notes**

## Pozytywne i negatywne skutki dla energetyki wodnej znowelizowanej ustawy o odnawialnych źródłach energii

**Andrzej Tersa**

Towarzystwo Elektrowni Wodnych

**Stanisław Lewandowski**

Towarzystwo Elektrowni Wodnych

L.S. HydroConsult  
ul. Glińskiego 13, 84-239 Bolszewo

Wejście w życie znowelizowanej ustawy o odnawialnych źródłach energii [ustawa o oze] nie miało żadnego wpływu na poprawę sytuacji energetyki wodnej w Polsce, o statusie której zdecydowały już wcześniej zapisy zawarte w pierwotnym tekście ustawy. Od wielu lat energetyka wodna nie cieszy się przychylnością władzy wykonawczej i ustawodawczej. Kolejne modyfikacje aktów prawnych uchwalanych przez Sejm oraz przepisów niższego rzędu wprowadzają dodatkowe utrudnienia idące w kierunku ograniczenia rozwoju energetyki wodnej poprzez nakładanie coraz większych obostrzeń formalno-prawnych oraz dodatkowych obciążeń fiskalnych i pozafiskalnych. Zwieńczeniem tych działań jest wyłączenie na mocy ustawy o oze elektrowni wodnych o mocy zainstalowanej wyższej od 5 MW z możliwości korzystania z mechanizmów wsparcia. Dla środowiska hydroenergetyków jest to wyraźny sygnał, że w Polsce energetyka wodna jest na indeksie i w praktyce jej dalszy rozwój został wykluczony. Przyznanie w znowelizowanej ustawie o oze możliwości udziału w systemie aukcyjnym elektrowniom wodnym o mocy zainstalowanej do 20 MW nie ma zasadniczego wpływu na sytuację energetyki wodnej, która po wycofaniu wsparcia musi zweryfikować plany inwestycyjne zwłaszcza w zakresie modernizacji eksploatowanych elektrowni. Towarzystwo Elektrowni Wodnych konsekwentnie postulowało wprowadzenie zmian w obowiązującym prawie, idących w kierunku wpływania na dynamikę rozwoju różnych technologii oze. Obecnie wsparcie kierowane jest do technologii modnych, choć o problematycznej efektywności. Technologie mające mniejszą nośność medialną są obecnie praktycznie pozbawione wsparcia. Podnoszone są argumenty o konieczności ponoszenia wyższych nakładów na rozwój energetyki wodnej, przy czym zapomina się o synergicznych efektach rozwoju tej technologii. Postulat wprowadzenia tzw. certyfikatów znaczących dla poszczególnych technologii oze niestety nie znalazł zrozumienia, aczkolwiek ostatnio w części ożył w postaci wprowadzenia obowiązku 0,5% udziału energii uzyskanej z biogazu w energii sprzedanej odbiorcom końcowym (Rozporządzenie Ministra Energii - projekt z dnia 8 lipca 2016 r. - w sprawie zmiany wielkości udziału ilościowego sumy energii elektrycznej wynikającej z umorzonych świadectw pochodzenia potwierdzających wytworzenie energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii).

Zgodnie z postulatami naszego stowarzyszenia ta zasada miała obowiązywać dla wszystkich technologii oze. Gdyby tak się stało, jest wysoce prawdopodobne, że uniknęlibyśmy sytuacji, jaka od dłuższego czasu istnieje na rynku zielonych certyfikatów. Mamy nadzieję, że również inne nasze postulaty znajdą zrozumienie wśród parlamentarzystów i decydentów. Dlatego chcemy o nich mówić przy każdej nadarzającej się okazji i przedstawiać argumenty, które być może kiedyś znajdą swoje odbicie w tworzonych aktach prawnych.

W referacie koncentrujemy naszą uwagę praktycznie na jednym segmencie energetyki wodnej, jakim jest segment elektrowni wodnych zbiornikowych, wskazując na fakt, że klasyfikacja tych elektrowni według parametru mocy zainstalowanej nie jest właściwa i wręcz dyskredytująca ten rodzaj elektrowni. Chcemy również zwrócić uwagę na to, że zbiorniki elektrowni wodnych poza pełnieniem roli zbiorników retencyjnych i przeciwpowodziowych mogą z powodzeniem świadczyć usługi magazynowania energii. Uważamy, że stymulowanie budowy elektrowni wodnych zbiornikowych powinno należeć do priorytetowych celów polityki gospodarczej naszego kraju, zwłaszcza jeśli zostanie uwzględniony efekt synergii w postaci – między innymi – regulacji stosunków wodnych na znacznych obszarach kraju. Byłyby to ewidentny przykład na zrównoważony rozwój energetyki, gospodarki wodnej i gospodarki w ogóle, wielokrotnie przywoływany jako podstawa dokumentów strategicznych.

## Autorzy

**Andrzej Tersa**, inżynier elektroenergetyk, obecnie emeryt, absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Gdańskiej, wieloletni były prezes zarządu spółki ENERGA Hydro, były członek zarządu spółki PGE Energia Odnawialna, były prezes Zarządu ENERGA SA, prezes Zarządu Towarzystwa Elektrowni Wodnych.

**Stanisław Lewandowski**, mgr inż., absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej. Pracuje w sektorze elektroenergetycznym od 1973 roku: kierownik w Elektrowni Turów, kierownik ruchu w Elektrowni Szczytowo-Pompowej Żarnowiec, zastępca dyrektora w Hydromex sp z o.o., dyrektor w ESP S.A. (obecnie PGE Energia Odnawialna), dyrektor w Elektrowni Górnej Odry sp. z o.o., dyrektor w ENERGA Zakład Elektrowni Wodnych Sp. z o.o.. Obecnie prowadzi własną firmę konsultingową LS HydroConsult, oferującą usługi dla szeroko rozumianego sektora energetyki wodnej. Od momentu powstania Towarzystwa Elektrowni Wodnych zaangażowany w działalność tego towarzystwa. W latach 1992 i 1996 pełnił funkcję wice Przewodniczącego, w latach 1996/99 i 2003/08 był Prezesem TEW. Aktualnie jest Pełnomocnikiem Zarządu. Jest autorem licznych publikacji dotyczących głównie sektora hydroenergetycznego.

## Szanse i zagrożenia dla małych elektrowni wodnych wynikające ze zmian ustawy o OZE i Prawa wodnego

Ewa Malicka

Towarzystwo Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych, Grudziądz  
e-mail: ewa.malicka@trmew.pl

### Wstęp

W opublikowanej 1 sierpnia 2016 r. przez Ministerstwo Rozwoju wstępnej wersji *Strategii na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju* (SOR) do projektów strategicznych przewidzianych do przygotowania i realizacji do roku 2020 zaliczono m.in. „zwiększenie wykorzystania potencjału hydroenergetycznego – wzrost produkcji energii elektrycznej wytwarzanej w elektrowniach wodnych (osiągnięcie wykorzystania technicznego potencjału hydroenergetycznego na poziomie średniej UE) poprzez rozwój zarówno małych instalacji, jak również dużych elektrowni wodnych”. W opinii Towarzystwa Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych (TRMEW) podstawowym warunkiem zrealizowania tego celu jest stabilne prawo regulujące kwestie energetyki wodnej. Tymczasem, jesteśmy świadkami nieustannych zmian przepisów odnoszących się zarówno do gospodarki wodnej (Prawo wodne, aktualizacja Planów Gospodarowania Wodami i rozporządzenia w sprawie warunków korzystania z wód), jak i dotyczących funkcjonowania odnawialnych źródeł energii (Ustawa o odnawialnych źródłach energii (OZE), Prawo energetyczne i wynikające z nich akty wykonawcze).

### Ustawa o OZE

Mimo niepewności wynikającej ze zmian prawa, branża MEW starała się potraktować nowelizację ustawy o OZE, dokonaną w pierwszej połowie 2016 roku, jako szansę na modyfikację tych przepisów, których brzmienie od dawna krytykowała (np. przepisy o karach za niewytworzenie energii, martwe przepisy o modernizacji, brak interwencji na rynku zielonych certyfikatów). TRMEW postulowało także wprowadzenie nowych mechanizmów opartych na sprawdzonych przykładach rozwiązań stosowanych w innych krajach (np. system taryf *feed-in* dla niewielkich instalacji, dopasowanie okresu wsparcia do cyklu życia instalacji, premiowanie modernizacji elektrowni wodnych służącej ochronie środowiska itp.). Niestety, w znowelizowanej ustawie nie wprowadzono postulowanych przez branżę MEW rozwiązań, które dawałyby szansę utrzymania istniejących i rozwoju nowych instalacji. Nie wprowadzono mechanizmów naprawczych na rynku świadectw pochodzenia, a nawet ograniczono te, które dopuszczała dotychczasowa wersja ustawy. W wyniku decyzji o obniżeniu w 2017 roku obowiązkowego udziału energii z umorzonych świadectw, cena zielonych certyfikatów spadła do poziomu, który nie pozwala na utrzymanie większości jednostek

wytwórczych MEW w średnim, ani tym bardziej długim horyzoncie czasowym. Brak ochrony zrealizowanych już inwestycji z pewnością przełoży się na wstrzymanie przez inwestorów decyzji o realizacji kolejnych przedsięwzięć.

Nowelizacja wprowadza instrumenty, które potencjalnie mogłyby stanowić koło ratunkowe dla istniejących MEW. Należą do nich aukcje interwencyjne, które może zarządzić Minister Energii kierując się m.in. potrzebą „zapewnienia zrównoważonego gospodarowania zasobami wodnymi”. Wprowadzenie aukcji interwencyjnej dla MEW umożliwiłoby wydobycie części wytwórców z wygaszanego systemu zielonych certyfikatów, a ponadto mogłoby stanowić zachętę do realizacji nowych inwestycji w obszarze małej hydroenergetyki poprzez demonstrację działania systemu aukcyjnego i jego stabilności. Niestety ich ogłoszenie dla MEW nie jest pewne. Należy również zwrócić uwagę na fakt, że dla małego wytwórcy udział w aukcji wiązać się będzie z ryzykiem, wynikającym z potencjalnych kar za niewytworzenie energii w ilości zawartej w ofercie aukcyjnej. Kary te nie podlegają ograniczeniu nawet w przypadkach, gdy brak wytworzenia energii wynika z okoliczności niezawinionych przez wytwórcę i od niego niezależnych. Ryzyko dotkliwych kar stanowi również czynnik ograniczający dla wytwórców energii w nowych instalacjach MEW, którzy mogliby przystąpić do systemu aukcyjnego w ramach koszyka dla instalacji o stopniu wykorzystania mocy zainstalowanej większym niż 3504 MWh/MW/rok. W tym przypadku prawodawca uwzględnił możliwość odstąpienia w niektórych sytuacjach od kary, jednak sama sankcja za nieuzyskanie zadeklarowanego stopnia mocy zainstalowanej pozostała niezwykle ostra – zwrot całej otrzymanej pomocy publicznej.

Kolejną barierą rozwoju MEW wynikającą z nowelizacji ustawy jest odstąpienie od zabezpieczenia obowiązkowej puli energii w aukcjach dla instalacji o mocy do 1 MW. Przydział wolumenu energii dla tych instalacji pozostaje tym samym w rękach Ministra Energii i nie ma żadnej gwarancji, że wolumen będzie na tyle duży, że pozwoli uniknąć ostrej rywalizacji cenowej w ramach koszyków dla najmniejszych przedsiębiorców. Przy tej okazji warto zaznaczyć, że brak pewności, że w kolejnych latach zapewniony zostanie odpowiedni wolumen energii w aukcjach, w których będą mogły brać udział projekty MEW (tj. dla instalacji, w których emisja CO<sub>2</sub> jest nie większa niż 100 kg/MWh, o stopniu wykorzystania mocy zainstalowanej elektrycznej większym niż 3504 MWh/MW/rok) jest poważną ba-

rierą dla inwestorów. Proces uzyskiwania pozwoleń na realizację inwestycji jest długotrwały i kosztowny, tymczasem może się okazać, że po jego zakończeniu decyzja o przeprowadzeniu odpowiedniej aukcji nie zapadnie.

Branża MEW od dawna domaga się stworzenia wytwórców energii w małych, rozproszonych źródłach warunków do sprzedaży energii elektrycznej bezpośrednio do lokalnych odbiorców końcowych. Sprzedaż energii przez wytwórców w małych OZE na skalę lokalną (np. w obrębie gminy) powinna odbywać się w taki sposób, by fakt zużycia energii wyprodukowanej lokalnie miał odzwierciedlenie w wysokości opłat dystrybucyjnych dla odbiorcy tej energii oraz, tym samym, odpowiednio wyższych przychodów dla wytwórcy. Upowszechnienie sprzedaży energii z małych źródeł w skali lokalnej mogłoby stanowić docelowe rozwiązanie dla wielu MEW zarówno w sytuacji zakończenia okresu wsparcia, jak i w czasie trwania tego okresu, przy utrzymującej się tendencji spadkowej cen zielonych certyfikatów. Nowelizacja, wprowadzając pojęcia klastrów i spółdzielni energetycznych, wydaje się mieć na uwadze ten postulat, jednak określone w ustawie zasady funkcjonowania tych podmiotów są tak ogólnikowe, że upowszechnienie instytucji spółdzielni energetycznej i klastra jest w oparciu o te zapisy niemożliwe. Doprecyzowania wymaga w szczególności obszar współpracy i zasad rozliczeń wytwórców i odbiorców energii będących członkami klastrów / spółdzielni z operatorami sieci.

### Projekt ustawy Prawo wodne

W nowym Prawie wodnym przewidziano opłatę za pobór wód do celów elektrowni wodnych. Branża małych elektrowni wodnych (MEW) zajmuje zdecydowanie negatywne stanowisko w stosunku do decyzji o wprowadzeniu tej opłaty, ze względu na katastrofalną sytuację finansową, w jakiej znajdują się obecnie właściciele MEW. Każde dodatkowe obciążenie pogłębia trudności z utrzymaniem rentowności i może powodować konieczność podjęcia decyzji o likwidacji elektrowni.

Choć wprowadzenie opłat za wodę dla energetyki jest poważną i najszerzej dyskutowaną kwestią, jaka pojawia się w planowanej ustawie, nie jest to jedyna istotna zmiana, jaka będzie wpływać na funkcjonowanie sektora elektrowni wodnych. W projekcie przewidziano nowe regulacje w zakresie udostępniania inwestorom państwowych obiektów piętrzących wodę. Będzie się to odbywać w drodze przetargów, przy czym wprowadzono od tej zasady pewne wyjątki, umożliwiając oddawanie obiektów w użytkowanie również w drodze bezprzetargowej m.in. w przypadku, gdy udostępnienie następuje na rzecz podmiotu władającego istniejącą infrastrukturą lub w związku z wykonaniem lub eksploatacją urządzenia wodnego, na które wydano pozwolenie wodnoprawne. Zapisy te stanowią częściowe wypełnienie postulatów wnoszonych od dawna przez branżę MEW, jednak ze względu na swój dość ogólny charakter nie sposób rozstrzygnąć czy spełnią oczekiwania inwestorów i pozwolą w większym stopniu za-

gospodarować potencjał hydroenergetyczny ponad 8 tysięcy niewykorzystanych stopni wodnych.

W myśl zapisów projektu ustawy, Wody Polskie, jako państwowe osoby prawne są finansowane z budżetu państwa, a jednocześnie wykonują działalność gospodarczą. Branża hydroenergetyczna wyraża zaniepokojenie możliwością nadużywania przez Wody Polskie pozycji dominującej ze względu na liczne przywileje, przewidziane dla tych podmiotów, które nie będą przysługiwać innym użytkownikom wód, prowadzącym działalność gospodarczą, w takim samym jak Wody Polskie zakresie (np. w zakresie wytwarzania energii).

W nowym projekcie Prawa wodnego niepokojące jest również zawężenie składu zespołów opiniodawczo-doradczych działających w regionach wodnych do przedstawicieli administracji państwowej i samorządu terytorialnego. W opinii TRMEW, prawo wyrażania opinii i dzielenia się wiedzą ekspercką powinny mieć tak jak dotychczas organizacje społeczne i gospodarcze związane z gospodarką wodną oraz zakłady korzystające z wód.

### Podsumowanie

Planowany w SOR rozwój MEW będzie możliwy pod warunkiem ustabilizowania warunków prawnych i finansowych ich funkcjonowania. Wymaga to podjęcia pilnych działań, które zdążą zapobiec degradacji ponad 700 istniejących MEW, a także złagodzenia, uszczegółowienia i poprawienia części zapisów obu omawianych ustaw oraz wprowadzania w sposób bardzo przemyślany wynikających z nich rozporządzeń wykonawczych.

### Autorka

**Ewa Malicka**, mgr, w roku 1997 ukończyła studia z zakresu zarządzania i marketingu na Wydziale Prawa i Administracji Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, a w roku 2003 z zakresu filozofii na Wydziale Nauk Społecznych tej samej uczelni. Pracuje w rodzinnej firmie zajmującej się eksploatacją małych elektrowni wodnych. W 2009 roku rozpoczęła współpracę z Towarzystwem Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych w zakresie spraw międzynarodowych i od tego czasu reprezentuje TRMEW w Zarządzie Europejskiego Stowarzyszenia Małej Energetyki Wodnej (ESHA). Od 2011 roku pełni funkcję Członkini Zarządu TRMEW, a od 2014 Wiceprezeski Zarządu. W TRMEW zajmuje się przygotowywaniem opinii i komentarzy stowarzyszenia do aktów prawnych oraz przedstawianiem stanowisk TRMEW w procesie konsultacyjnym.

## **Sesja II**

Debata panelowa "Jaka przyszłość dla energetyki wodnej?"

## **Session II**

Panel debate „What future for hydropower ?”

2.1. Stanisław Lewandowski

*Integracja z systemem społecznym i gospodarczym kraju  
drogą rozwoju energetyki wodnej*

**Notatki**

**Notes**

# Integracja z systemem społecznym i gospodarczym kraju drogą rozwoju energetyki wodnej

**Stanisław Lewandowski**

Towarzystwo Elektrowni Wodnych  
L.S. HydroConsult  
ul. Alojzego Glińskiego 13, 84-239 Bolszew

Próby zintegrowania hydroenergetyki z władzami samorządowymi, organizacjami pozarządowymi i ludnością lokalną, a także z instytucjami i organizacjami reprezentującymi takie gałęzie gospodarki, jak gospodarka paliwowo energetyczna czy gospodarka wodna, oraz z przedstawicielstwami władz państwowych odpowiedzialnymi za ochronę środowiska czy strategię zrównoważonego rozwoju, były podejmowane od początku działalności naszego stowarzyszenia, które powstało w 1991 r. Podejmowanie współpracy przez wszystkich zainteresowanych celem zwiększenia efektywności działań wskutek ich integracji było naturalne. W zamierzeniach inicjatorów podejmowanych prób była organizacja wspólnych przedsięwzięć, których urzeczywistnienie pozwalałoby wykorzystywać efekty synergii przez współuczestników tych przedsięwzięć, a także rozszerzyć pozytywne oddziaływanie na podmioty niebiorące bezpośrednio udziału w ich realizacji.

Nie znajdujemy argumentów wskazujących niecelowość współpracy z jakimkolwiek podmiotem, którego byt jest uzależniony lub tylko związany z wodą, środowiskiem naturalnym i kulturowym, transportem czy wykorzystaniem energii. Bliska współpraca ułatwia nie tylko realizację celów, ale poprzez wieloaspektowe spojrzenie i wymianę informacji o skutkach przedsięwzięcia pozwala na minimalizację niekorzystnych efektów ubocznych, pozwalając na podjęcie zawczasu działań zabezpieczających lub eliminujących zagrożenia. Partnerskie stosunki działają też na korzyść akceptacji pomiędzy współdziałającymi stronami i pozwalają budować wzajemny szacunek i pozytywny wizerunek.

Celem integracji jest wykorzystanie – w miarę możliwości pełne – pozytywnych efektów z korzyścią dla wielu stron i przyśpieszenie eliminacji efektów negatywnych z możliwie jak najmniejszą szkodą dla hydroenergetyki, jej postrzegania przez społeczeństwo, w tym przede wszystkim przez społeczności lokalne.

Po wprowadzonych w ostatnim czasie zmianach w wielu aktach prawnych, których zapisy mają znaczący wpływ na rozwój hydroenergetyki w Polsce, stowarzyszenie nasze uznało, że jedną z najważniejszych dróg prowadzących do rozwoju hydroenergetyki jest zacieśnienie współpracy z władzami samorządowymi i społecznościami lokalnymi, z szeroko rozumianą gospodarką wodną oraz instytucjami i organizacjami działającymi w obszarze ochrony środowiska naturalnego, z instytucjami, organizacjami i przedsiębior-

stwami działającymi w obszarze gospodarki paliwowo – energetycznej, zwłaszcza z uwzględnieniem energetyki ciepłej i operatorów systemów energetycznych. Celowo nie wspominamy o segmencie oze, gdyż współdziałanie z tym segmentem jest czymś naturalnym.

Co, jako hydroenergetyka, chcielibyśmy uzyskać w wyniku zacieśnienia tej integracji i co – naszym zdaniem – mogą uzyskać Ci wszyscy, z którymi chcemy się integrować i czy to, co chcemy uzyskać, jest możliwe do uzyskania – to pytania, na które chcemy poszukać odpowiedzi podczas debaty. Po 25 latach zabiegania – z większym i mniejszym zaangażowaniem – o integrację hydroenergetyki z różnymi organizacjami i instytucjami na szczeblu państwowym i samorządowym, zdajemy sobie sprawę, że może to być, i z pewnością w niektórych przypadkach będzie, długotrwały proces. Musimy jednak spróbować ustalić obszary integracji, wyspecyfikować korzyści dla wszystkich stron i zagrożenia, jakie mogą w związku z tym wystąpić, wreszcie wypracować wspólne realne plany, których realizacja będzie leżała w zasięgu naszych możliwości

## Autor

**Stanisław Lewandowski**, mgr inż., absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej. Pracuje w sektorze elektroenergetycznym od 1973 roku: kierownik w Elektrowni Turów, kierownik ruchu w Elektrowni Szczycowo-Pompowej Żarnowiec, zastępca dyrektora w Hydromex sp. z o.o., dyrektor w ESP S.A. (obecnie PGE Energia Odnawialna S.A.), dyrektor w Elektrowni Górnej Odry sp. z o.o., dyrektor w ENERGA Zakład Elektrowni Wodnych Sp. z o.o.. Obecnie prowadzi własną firmę konsultingową LS HydroConsult, oferującą usługi dla szeroko rozumianego sektora energetyki wodnej. Od momentu powstania Towarzystwa Elektrowni Wodnych zaangażowany w jego działalność (członek założyciel). W latach 1992 i 1996 pełnił funkcję Wiceprezesa, w latach 1996/99 i 2003/08 był Prezesem TEW. Aktualnie jest Honorowym Prezesem TEW i Pełnomocnikiem Zarządu. Jest autorem licznych publikacji dotyczących głównie sektora hydroenergetycznego.



## **Sesja III**

**Potencjał hydroenergetyczny, ochrona przeciwpowodziowa  
i oddziaływania środowiskowe**

### **Session III**

**Hydropower potential, flood protection and environmental effects**

- 3.1. Mikhail Fedorov, Viktor Elistratov, Vladimir Maslikov,  
Alexander Chusov, Alexander Savvichev :  
*Assessment of greenhouse gases emissions from  
the "Sayano-Shushenskaya Hydropower Plant Complex" reservoir*
- 3.2. Mikhail Fedorov, Viktor Elistratov, Vladimir Maslikov,  
Alexander Chusov, Alexander Savvichev  
*GIS technologies for selecting location of dams during development  
of natural-technical flood control systems with hydropower facilities*
- 3.3. Bogdan Popa, Fiorica Popa, Andra Moclinda, Eliza Tica:  
*Assessment of different types of hydropower potential in Romania*
- 3.4. Linas Šilinis, Petras Punys, Egidijus Kasiulis:  
*Large hydropower plant hydropeaking phenomena frequency analysis*

**Notatki**

**Notes**

## Estimation of greenhouse gas emissions from the reservoirs of the hydropower complex "Sayano-Shushenskaya HPP"

**Mikhail Fedorov, Viktor Elistratov,  
Vladimir Maslikov, Alexander Chusov**

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University,  
195251, Polytekhnicheskaya st. 29, St. Petersburg, Russia  
e-mail: m.fedorov@spbstu.ru

**Alexander Savvichev**

Winogradsky Institute of Microbiology, RAS  
117312, 60-Letiya Oktyabrya Prospect, 7-2, Moscow,  
Russia  
e-mail: savvichev@mail.ru

### Introduction

Numerous researches, carried out in different regions of the world, confirmed emission of greenhouse gases (GHG) from the surface of reservoirs, the composition and intensity of which may differ significantly. Greenhouse gas emissions depend on the size and shape of reservoirs, their trophic status, climatic conditions and other factors. [1]. There are significant differences in the measurements of the specific and total greenhouse gas emissions from reservoirs due to use of various uncoordinated techniques. This makes it difficult to compare the estimates of greenhouse gas emissions and the possibility of their use for practical purposes. International Hydropower Association (IHA) developed "GHG Measurement Guidelines for Freshwater Reservoirs" [2], which was recommended to use for similar studies on reservoirs in the various countries.

### The goals and targets of the research

The reservoirs of the hydropower-complex "Sayano-Shushenskaya HPP" have been selected as pilot objects for the study of GHG emissions. The complex consists of Sayano-Shushenskaya HPP with capacity of 6400 MW and its counter-regulatory Malinskaya HPP with capacity of 321 MW. The reservoirs are alpha and beta-oligotrophic.

The following methods were chosen and justified on the basis of recommendations of the IHA to estimate GHG emissions: the thin boundary layer (TBL) method to calculate the diffusion fluxes from the reservoir surface; the floating chambers method for determining the total diffusion and bubble flows from the reservoir surface; the balance method for calculating emissions due to degassing of the water at it passes through the turbines and spillways of the dams. These methods are approved, take into account the possibilities of the equipment for experimental studies and the characteristics of the studied reservoirs. The thin boundary layer method and the floating chambers method are complementary. The error in determination of the GHG flow by the floating chambers method is  $\pm 5-10\%$ , respectively, the error in the calculation of GHG by TBL method  $\pm 30\%$ , which is acceptable in the practice of measurements of greenhouse gas emissions.

### The results of the measurement of greenhouse gas emissions

The experimental studies were carried out in summer 2014 in the waters of the upper and lower pools of Sayano-Shushenskaya HPP and Mainskaya HPP. Samples of water were taken in the representative points of the reservoirs in the surface layer (depth 0.5 m) and from various depths to determine the concentration of dissolved methane and carbon dioxide (fig. 1).



**Fig. 1. The sampling sites in the upper pool of Sayano-Shushenskaya HPP**

More than 20 water samples were collected. At those points where the surface water samples were collected, the measurements of diffusion and bubble flows from the water surface by the floating chambers method were also made. [3].

Based on experimental results were evaluated the average value of the diffusion and the bubble methane flows -  $1.23 \text{ mg/m}^2$  per day, and the diffusion flow of carbon dioxide -  $1666 \text{ mg/m}^2$  per day.

Methane emissions from the surface of the reservoir are relatively small, due to the oligotrophic status of the dam site.

The calculation of  $\text{CH}_4$  and  $\text{CO}_2$  emissions due to degassing the water at it passes through the turbines of

Sayano-Shushenskaya HPP was made for water flow from 1000 to 4000 m<sup>3</sup>/s on the basis of the measured values of the concentrations of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> in the upper pool of Sayano-Shushenskaya HPP near the bottom intake. For example, when the turbine flow 1000 m<sup>3</sup>/s the methane emissions is 43 kg/day, respectively, the carbon dioxide emissions - 250 t/day.

### Summary and Conclusions

1. The research program of greenhouse gases emissions from the reservoirs of Sayano-Shushenskaya HPP and Mainskaya HPP of JSC "RusHydro" in accordance with "GHG Measurement Guidelines for Freshwater Reservoirs" was developed. The use of specific methods of the experimental studies was substantiated, they were adapted to the conditions of the studied objects, the methods for the calculation of diffusion fluxes of methane and carbon dioxide from the surface of water reservoirs, as well as the emissions of these gases at passing water through hydroelectric turbines were developed.
2. The field studies to measure the content of methane and carbon dioxide in water at different depths and in the air on the line "water-air" in the representative points on the sites of the studied reservoirs were made, which allowed to determine the flow of methane and carbon dioxide from the reservoirs surface. Concomitant measurements of water temperature, air and the wind velocity were made in the process of the all measurements. The analysis of the results showed that methane emissions on average much lower than from the most HPP reservoirs in Canada. The average value of the carbon dioxide stream was close to the values of carbon dioxide emissions from the HPP reservoirs of similar age in Canada. The comparison of specific greenhouse gas emissions from the reservoirs surface of Sayano-Shushenskaya HPP and Mainskaya HPP with the emissions from the surface of the natural lakes of the same trophic status showed that they have similar values.

### References

1. **Elistratov V.V., Maslikov V.I., Sidorenko G.I., Molodtsov D.V.:** *Greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs: analysis of research experience and organization of research in Russia*, International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology, 2014, No. 151(11), 146–159.
2. **UNESCO/IHA Greenhouse Gas Measurement Guidelines for Freshwater Reservoirs.** UNESCO/IHA GHG Research Project, 2010. Available at: <http://www.hydropower.org/iha/development/ghg/guidelines.html> (accessed Sep.23, 2016).
3. **Fedorov M.P., Elistratov V.V., Maslikov V.I. et al.:** *Reservoir greenhouse gas emissions at Russian HPP*, Power Technology and Engineering, 2015, Vol. 49, No. 1, 33-39.

### Authors

**Mikhail Fedorov**, DSc, Professor, President of the Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

**Vladimir Maslikov**, DSc, Professor at the Department of Civil Engineering and Applied Ecology at the Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

**Alexander Chusov**, PhD, Head of the Department of Civil Engineering and Applied Ecology at the Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

# GIS technologies for selecting location of dams during development of natural-technical flood control systems with hydropower facilities

**Mikhail Fedorov, Vladimir Badenko, Vladimir Maslikov, Alexander Chusov**

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University  
Russia, 195251, St. Petersburg, Politekhnikeskaya, 29

e-mail: m.fedorov@spbstu.ru, vbadenko@gmail.com, vmaslikov@list.ru, chusov17@mail.ru

## Summary

Natural-technical systems with hydropower facilities are analyzed to solve the problem of reducing the flood control volume for hydropower station. Discussed are the methods of reducing the risk of flooding the river basin by flood control volume by means of a distributed system of waterworks. A geo-information method as used to justify the selection of parameters of such waterworks, primarily cross-sections that minimize impact on the environment (ecological factor), is presented. The results of testing are shown at an example of the Seledmgha river (Amur region, Russia).

## Introduction

Flooding events affect all coastal territories, including natural-technical systems with hydropower facilities, and each year they cause considerable damage. High flood risk results in excluding many floodplains in the downstream zone of hydropower station from sustainable development. Flood risk is defined as a product of probability of event and its effect, measured in terms of damage. Therefore, development of new approaches to flood risks management of natural-technical systems with hydropower facilities is required. In the European Union Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks has changed the strategy from Flood Protection to Flood Risk Management [1]. In many publications appropriate flood-protection measures are analyzed [2, 3]. Detention reservoirs/basins may be considered flood protection measures for flood diversion with dams, which do not need any operation management and could regulate water level automatically [4]. Such types of structural measures for mitigation of flash floods are analyzed in this paper.

In the present study, the regulation of river flow by the system of Self-Regulated Flood Dams (SRFD) is analyzed as a measure for mitigation of flash floods. These dams are distributed in the river network and can store additional water volume caused by floods in temporary detention reservoirs/basins created by the SRFD system. The selection of the best sites for the SRFD in a specific branch of the river network of the river basin is a multicriteria task with economical, ecological,

social and technological criteria on the top of the criteria hierarchical structure [5].

## Methodology

The development of methods for analysis, how the site selection of SRFD meets the environmental criterion is the main objective of this paper. Modelling in the GIS environment of hydrological processes in a river basin, based on the basin-landscape approach to selection of modelling objects [6], is the methodological basis of the research.

Because ecological criterion is in the focus of the research, the following tasks are analyzed in this paper: selection of appropriate SRFD parameters in specific location for SRFD; calculation of flooding duration for each ecosystem/landscape for the particular SRFD parameters during flash floods.

Based on the comparison of flooding duration for each ecosystem/landscape at the fixed site of the SRFDs with different height and outlet system size at different points on the river, the best SRFD parameters for specific site can be performed.

For modeling in GIS environment, raster model is used for each studied basin. The basic raster layers of the GIS database are landscapes (land use types) and the Digital Elevation Model (DEM).

The method scheme is based on the experience in development of the method for estimation of gross hydropower potential in Russia [7]. For selected schemes of flood management on a watershed, algorithms were developed and mathematical models of operational mode of controlling the SRFDs at local inflows were implemented in the software, allowing variation of discharge structure parameters in order to determine the regulated flow at the tailrace, watermarks at the headrace, water volume accumulation and flood control discharge, areas and duration of land flooding [3].

One of the main problems is creation of a virtual river network, adequate for DEM applications. The usage of synthetic rivers is an appropriate solution. In this study synthetic rivers are mathematical models of river flow networks, calculated from the DEM using a set of algorithms. The ArcHydro Toolset for ArcGIS Desktop was used and extended for the needs of this study.

Comparison of synthetic rivers and rivers obtained from digital maps showed that the estuary sites match well in contradiction to the river springs. This is due to the fact, that finding the spring of a real river always needs a complex study. At the same time the spring location of a synthetic river (as well as synthetic rivers network density) depends on a set of conditions in the algorithm [7].

### Final remarks

At the present time, methodologies for the river network modelling with the use of GIS are fairly well developed. Satellite images of river basin at the SRFD locations are usually used for determining the flood hazard area corresponding to water plane of flood passing with different probability, designed with use of digital elevation model in GIS environment. Some scenarios for branches were developed for the river Selezdza – Nora basin. The vector and raster layers in GIS database have been created to simulate the hydrological processes in the basin territory. The results of calculations performed by means of computer software coded using the Python language were obtained in the form of graphs and thematic GIS maps.

Using GIS-technologies the flooding areas were defined depending on the flood water level of different probability. Detention reservoirs are structural measures for protection against the flash flood events. As a measure for mitigation of flash floods, the authors have analysed regulation of river flow by a system of detention reservoirs for flood diversion with dams located in the Russian Far East, which do not need any operational management. A method for analysis, how the dam site selection meets the environmental criterion has been developed. This method has been used to justify selection of a self-regulated flood dam parameters, primarily the height of a dam and its location on a water course, providing minimization of the environmental impact is secured.

Raster GIS database layer was combined with the landscape layer and critical time points to fit ecological criterion. This allowed a comparison of one site for SRFD with others and chooses the best locations that has a minimal impact on the environment. If ecological management concerning risk-based flood management define as a system approach that assesses and compares the structural and non-structural measures to pursue the best ameliorating effects, than the method proposed can solve some sustainable urban development problem in flood-prone areas taking into account environmental impact [8]. The method proposed adapts the principles supporting structural measures as protection of coastal urban area by making room for water and save natural landscapes.

### Acknowledgment

This work is supported by the Russian Science Foundation under grant № 16-17-00050

### References

1. **Butler C., Pidgeon N.:** *From 'flood defence' to 'flood risk management': Exploring governance, responsibility, and blame*, Environment and Planning C: Government and Policy, 2011, vol. 29, pp. 533-547
2. **Fedorov M.P., Bogolyubov A.G., Maslikov V.I.:** *Environmental safety of power plants using renewable sources of energy*, Hydrotechnical Construction, 1995, vol. 29, pp. 353-357
3. **Fedorov M., Badenko V., Maslikov V., Chusov A.:** *Distributed System of Dams for Flood Protection of Urban Land to Ensure Sustainable Development*, 2016, MATEC Web of Conferences, v 73, 01002
4. **Nijssen D., Schumann A., Pahlow M., Klein B.:** *Planning of technical flood retention measures in large river basins under consideration of imprecise probabilities of multivariate hydrological loads*, Natural Hazards and Earth System Science, 2009, vol. 9, pp. 1349-1363
5. **Arefiev N., Terleev V., Badenko V.:** *GIS-based fuzzy method for urban planning*, Procedia Engineering, 2015, vol. 117, pp. 39-44
6. **Arefiev N.V., Badenko V.L., Osipov G.K.:** *Basin-landscape approach to the organization of environmental monitoring of hydropower complexes on the basis of geographical information technologies*, Power Technology and Engineering, 1998, vol. 32, pp. 660-663
7. **Arefiev N., Nikonova O., Badenko N., Ivanov T., Oleshko V.:** *Development of automated approaches for hydropower potential estimations and prospective hydropower plants siting*, "Environment. Technology. Resources" Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference, 2015, pp. 41-50
8. **Leandro J., Schumann A., Pfister A.:** *A step towards considering the spatial heterogeneity of urban key features in urban hydrology flood modelling*, Journal of Hydrology, 2016, vol. 535, pp. 356-365

### Authors

**Mikhail Fedorov**, DSc, Professor, President of the Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

**Vladimir Badenko**, DSc, Professor of Geoinformatics, Department of Water Resources Management and Hydraulic Construction in the Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

**Vladimir Maslikov**, DSc, Professor of the Department of Civil Engineering and Applied Ecology in the Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

**Alexander Chusov**, PhD, Head of the Department of Civil Engineering and Applied Ecology in the Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

# Assessment of different types of hydropower potential in Romania

**Bogdan Popa**

University Politehnica of Bucharest  
313 Spl. Independentei, 060042, sect. 6, Bucharest  
e-mail: bogdan.popa@upb.ro

**Andra Moclinda**

STEINBERG Consulting  
41 Nicolae Caramfil, 014142, sect. 1, Bucharest  
e-mail: andra.moclinda@steinberg.ro

**Florica Popa**

ISPH Project Development  
293 Calea Vitan, 031295, sect. 3, Bucharest  
e-mail: ica@mail.isph.ro

**Eliza Tica**

University Politehnica of Bucharest  
313 Spl. Independentei, 060042, sect. 6, Bucharest  
e-mail: eliza.tica@upb.ro

## Introduction

The authors present the approaches for evaluation of different types of hydropower potential in Romania.

Starting for the first evaluation of linear theoretical, technical and economical potential done in the 20's with insignificant developed potential, completely different assumptions regarding economical issues than today and no references regarding ecological potential, the authors perform a documented review of potential assessments at different moments.

## Hydropower potential in Romania

The hydropower potential is the energy equivalent to a certain volume of water. The *linear theoretical hydropower potential* (or the *gross theoretical*) is the annual average amount of energy available in a river. In terms of efficiency this means 100%. The portion of this resource that can be captured and transformed into electricity at a certain stage of development for the technology is named the *technically feasible hydropower potential*. From this form of potential, only a portion can be exploitable when other constraints must be taken into account: economic, environmental and regulatory. This can be named the *practically feasible hydropower potential*, [1].

From this, a portion has been *already developed*, is the actual electricity generation from hydropower and the other portion is the *remaining potential*, [2].

The first serious evaluation of the linear theoretical hydropower potential in Romania has been done under the coordination of Professor Dorin Pavel, father of hydropower in Romania, at the beginning of the 20th century. The methodology and the results were published in 1929 [3], followed by an extensive handbook containing hydropower developments with type and characteristics for all significant river sections, [4]. The results for the linear theoretical hydropower potential were: 6052 MW, in terms of power and 71200 GWh/year, in terms of energy. From this one, at that time, Professor Pavel considered that only half represent the technically feasible hydropower potential:

around 36100 GWh/year can be technically converted into electricity.

After half century, in the 80s, the Institute for Hydropower Studies and Design (ISPH) reevaluated the two forms of hydropower potential, [5]. The theoretical was evaluated at 7950 MW and 69642 GWh/year and the technical one at 34505 GWh/year. It can be easily seen that the differences are not significant in terms of energy but in terms of installed capacity. These results regarding theoretical and technical hydropower potential are presented in table 1.

**Table 1.**  
Evaluations for theoretical and technical hydro-potential

| Evaluation  | Linear theoretical in power [MW] | Linear theoretical in energy [GWh/year] | Technically feasible [GWh/year] |
|-------------|----------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|
| Dorin Pavel | 6052                             | 71200                                   | 36100                           |
| ISPH        | 7950                             | 69642                                   | 34505                           |

For the other forms of hydropower potential as results from different constraints many aspects must be taken into account. In 1990, at the end of the communist era in Romania, it was realized a passage from a centralized economy to capitalist one based on private investment. This was reflected in dramatic changes from the economical point of view.

Ten years later, with the adoption and transposition into national legislation of European directives regarding the protection of the environment, some areas were designated as protected areas with no possible development for hydropower facilities.

Starting with 2008 it was established a framework for encouraging production of electricity from RES, so in small hydropower plants (SHPPs) too. Romania has adopted the EC proposed definition for SHPPs, it means hydropower plants (HPPs) with the installed capacity at most equal to 10 MW. The effect of a generous schemes based on mandatory quotas combined with green certificates (GCs) was immediate, it means

a huge development for wind and photovoltaic power plants and a constant development for SHPPs.

When correcting the support scheme with a lower number of GCs, it was too late. At this moment it is extremely difficult to sell GCs on market and many investors are no longer able to respect the cash flow established with the banks who credit them for building the plants.

It is almost impossible to evaluate today the *practically feasible hydropower potential*, taking into account economical, ecological or regulatory aspects, so it is impossible to evaluate the *remaining potential* which is

the most interesting information for private investors. If we take into account the fact that banks don't give loans for SHPPs due to the instability of the legal framework, one can see that it is a very difficult task to respond to this question.

The only figures that can be taken into account are those related to the potential already developed, it means the installed capacity in HPPs and SHPPs and the annual average electricity production from hydropower. In Fig. 1 are represented for the period 2007 - 2013 the figures at the end of the year for the installed capacity and electricity production from hydropower.

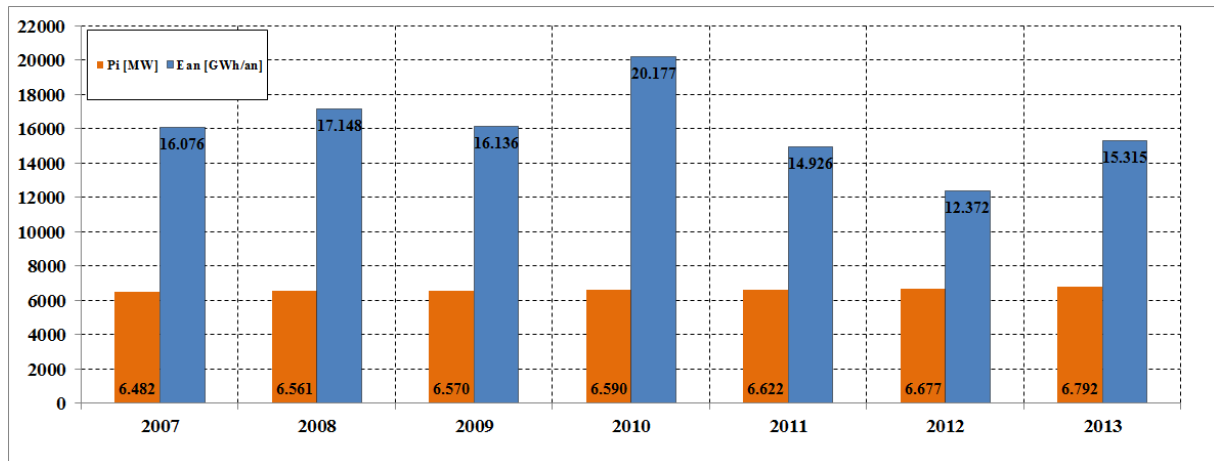


Fig.1 Installed capacity, in [MW], and annual electricity production, in [GWh], from hydropower in Romania.

## Conclusion

The general conclusion is that it is compulsory to reevaluate the theoretical potential by using actual data, techniques and software and technical potential taking into account huge advancements and innovations regarding the use of water energy.

Then, from the inventoried river sectors the technically feasible potential should be evaluated by considering new possibilities for building and equipping hydropower developments, as: VLH turbines, kinetic turbines.

From this value we subtract the already developed potential. It remains a "number" of river sectors from which we remove the ones from protected areas.

At this moment, for the remaining sites one can be apply an economical model developed in some possible hypothesis. The sites which pass are the ones interesting to be developed and constitutes the remaining potential.

This huge work must be done under the coordination of "Apele Romane" National Administration which has in administration all the water bodies in Romania. The next step is the concession of these river sectors with already proposed development schemes to private investors. They can change the proposed schemes only if they demonstrate that other schemes are more suitable from economical, environmental and even social point of view.

## Acknowledgements

Parts of the work for this study have been financed from contract 33/10.08.2016 concluded between IN-HGA and ROSHA.

## References

1. **Office of Energy Efficiency & Renewable Energy:** <http://energy.gov/eere/water/hydropower-resource-assessment-and-characterization>, accession September 2016
2. **Punys P.:** *Presentation for SHP STREAMMAP project*, Brussels, 2008
3. **D. Pavel.** Available hydraulic forces in Romania (in original: Forțele hidraulice disponibile ale României), IRE Publishing House, Bucharest, 1929
4. **D. Pavel.** Plan général d'aménagements hydro-énergétiques, IRE Publishing House, Bucharest, 1933
5. **ISPH and ISPH Project Development** documentations

## Authors

**Bogdan Popa**, PhD, graduated in 1990 in hydropower engineering from the University Politehnica of Bucharest and worked for two and a half years as project designer in an Institute, AQUAPROIECT, before joining the same university as assistant professor, which awarded him a PhD degree in power engineering in 2008. He is now an associate professor at the Faculty of Power Engineering teaching lectures in Hydropower engineering, Water resources management, Small hydropower plants.

**Florica Popa**, PhD from 2014, graduated in 1990 in hydropower engineering from the University Politehnica of Bucharest. Her present position is Technical manager at ISPH Project Development the company who designed all large hydropower plants in Romania and most of the small hydropower plants.

**Andra Moclinda**, Technical coordinator at Steinberg Consulting SRL, company specialized in business and management consulting mainly acting in the field of electric energy projects.

**Eliza Tica**, PhD Student and assistant professor from 2014 at University Politehnica of Bucharest, Faculty of Power Engineering, graduated as MSc same year in hydropower engineering from the same university.



# Large hydropower plant hydropeaking phenomena frequency analysis

Linās Šilinis, Petras Punys, Egidijus Kasiulis

Institute of Water Resources Engineering, Aleksandras Stulginskis University  
Universiteto str., 10, Water & Land Management Faculty, ASU, Kaunas-Akademija, LT-53361 Lithuania  
e-mail: linas.silinis@stud.asu.lt, petras.punys@asu.lt, egidijus.kasiulis@asu.lt

## Introduction

Hydropower is a very important renewable energy resource in the developed world countries. The large hydro power plant (HPP) operating modes can have effect on the riverine ecosystem and biota. The biggest impact is caused by the sudden hydroelectric turbine regime change, when turbines are turn on or off, what causes water level and flow fluctuations. This water level and flow fluctuations phenomenon are called hydropeaking [1], [2].

Due to these unnatural flow fluctuations usually reduces biomass of fishes and its variety, small invertebrates replaces large vertebrates [3].

Halleraker et al. [4] carried out the research on juvenile trout and revealed a relationship between the coast and fish habitat quality, fish size, season and ramping rates. When ramping intensity is slower than 10 cm/h, stranding of juvenile fish decreases dramatically. Naturally observed ramping rates in mountain rivers is less than 5 cm/h.

Hydropower plant operation modes is causing the rapid increases and decreases of the discharge as well as the rapid fluctuations of the water level. Due unnaturally rapid and significant flow fluctuations, river hydrology changes what results in changes of the river hydraulic parameters such as water level, flow velocity and the bed shear stress [5].

Hydropeaking effects all the rivers where hydro power plants are operating on the peak mode. This is also the case for the largest Lithuanian hydropower plant - Kaunas HPP.

The main objective of this work is to identify the hydropeaking phenomenon in Nemunas river downstream Kaunas HPP using measured hydrological parameters and using statistical methods.

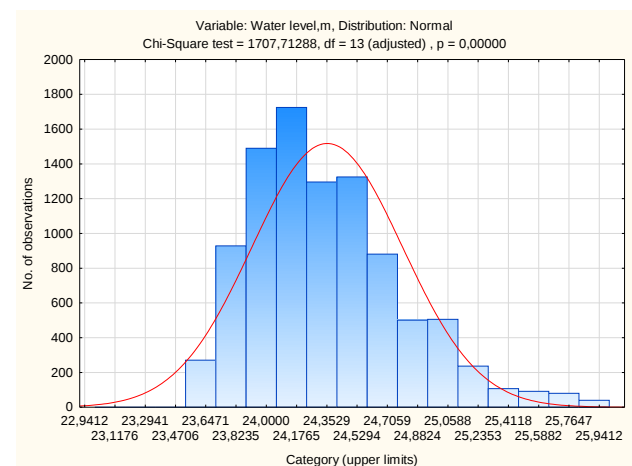
## Methodology

The study object is the hydropeaking in the Nemunas river, the largest river in Lithuania flowing through Kaunas city, flowing into the Baltic Sea. Its catchment area is ~100,000 km<sup>2</sup> with the mean flow of 630 m<sup>3</sup>/s. Kaunas HPP (H=20m, P=110 MW), the only HPP on Nemunas river in Lithuania has been operating since 1959. Average slope of the river in the country's area is 0.19 cm/km.

For the hydropeaking assessment water levels and discharge measurements (2009-09 – 2010-09) from Kaunas HPP are used. Additionally the measurements of the Nemunas River water levels during the dry period was carried out using 9 data loggers in 2015 11-24-29.

## Results and discussion

The histogram of the hourly water level distribution in 2009-2010 downstream the Kaunas HPP is presented in the Fig.1. The statistical analysis and distribution tests were performed for the water level distribution. Water level distribution downstream the Kaunas HPP complies with a normal distribution.

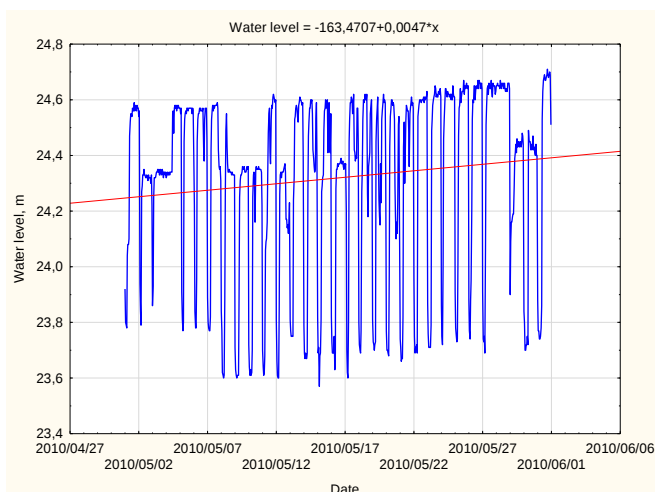


**Fig.1 Hourly water level distribution in 2009-2010 at the Kaunas HPP.**

**Red curve indicates the theoretical distribution function**

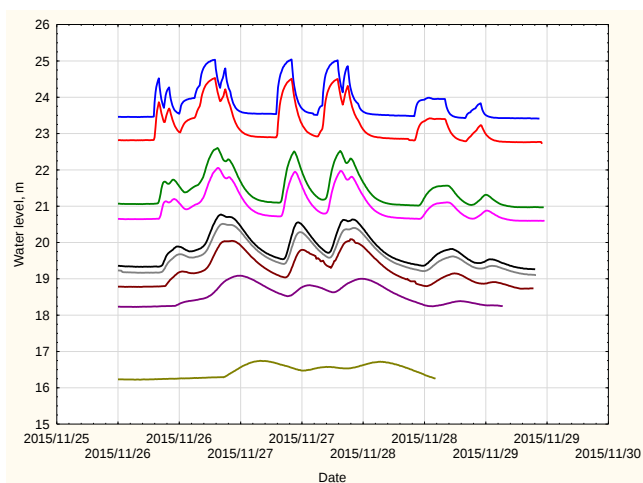
Water level fluctuation graph (Fig.2) shows how water level increased and decreased every hour in May 2010.

This graph shows that on May 2010 water level rapidly increased and decreased 30 times. The duration of each spike is approximately one day. The interval between spikes (i.e. interval when turbines is operating with constant discharge) is approximately 10 hours. Average hydropeaking rate is from 19 cm/h to 25 cm/h. The measurements was carried out in 45 km downstream the Kaunas HPP



**Fig.2 Water level fluctuation on downstream the Kaunas HPP in May 2010**

The water level measurements presented in the Fig.3 were carried out along the river Nemunas 45 km stretch downstream Kaunas HPP. First seven data loggers that were located in the river stretch 19 km downstream Kaunas HPP, revealed that average hydropеaking rate in this river stretch is 22.5-76 cm/h. Hydropower plant causes a 1.8 m wave which after 45 km lowers to 0.7 m. Data from eight and ninth data loggers revealed that average ramping rate in the river stretch 19-45 km downstream Kaunas HPP is lower than 10 cm/h.



**Fig.3 Measured water level during dry period, along Nemunas river, using 9 water level data loggers.**

Summarizing statistical data results and previously cited scientific studies we can make conclusion that Kaunas HPP while working in a peak mode possibly has negative effect for all living organisms in a river ecosystem, fish populations, benthic macroinvertebrates, and aquatic macrophytes and riverbank vegetation. Due to rapid increase and decrease of the water level in the Nemunas river there are risks of stranding of the juvenile fish or flushing them to the downstream. Either way, further studies on the hydropеaking on the river Nemunas and its impact on river ecosystem is needed.

## References

1. **Ribi J-M, Boillat J-L, Peter A, Schleiss AJ.** *Attractiveness of a lateral shelter in a channel as a refuge for juvenile brown trout during hydropеaking.* Aquatic Sciences 2014, No 76, pp. 527–541.
2. **Scruton DA, Pennell C, Ollerhead LMN, Alfredsen K, Stickler M, Harby A, Robertson M., Clarke KD, LeDrew LJ.** *A synopsis of “hydropеaking” studies on the response of juvenile Atlantic salmon to experimental flow alteration.* Hydrobiologia, 2008, No 609, pp. 263–275.
3. **Pellaud M,** *Ecological response of a multi-purpose river development project using macro-invertebrates richness and fish habitat value.* 2007 The`se No 3807 de l'Ecole polytechnique fe`de`rale de Lausanne, Laboratoire des Systeme`s Ecologiques, Lausanne, Switzerland.
4. **Halleraker JH, Saltveit SJ, Harby A, Arnekleiv JV, Fjeldstad HP, Kohler B,** *Factors influencing stranding of wild juvenile brown trout (salmo trutta) during rapid and frequent flow decreases in an artificial stream.* River Research Applications (2003) No 19, pp 589–603.
5. **Gore JA,** *The restoration of rivers and streams: theories and experience.* 1985 Butterworth/Ann Arbor, Michigan

## Authors

**Linias Šilinis, MSc,** graduated in 2015 in hydraulic engineering from Aleksandras Stulginskis University in Lithuania. Since 2015 he is PhD student at the Institute of Water Resources Engineering. Main research interests – river hydrokinetic energy resources, hydropеaking and its environmental impact.

**Petras Punys, PhD,** graduated in 1974 in Hydraulic engineering from the Lithuanian University of Agriculture. Since 2002, he is a full professor at Aleksandras Stulginskis University. He has written a large number of papers on hydrology, hydropower as well as text and guide books on hydrometry, engineering hydrology and hydropower, river basin management. Since 1993, he has been the Chairman of the Lithuanian Hydropower Association.

**Egidijus Kasiulis, PhD,** graduated in 2015 in environmental engineering from Aleksandras Stulginskis University in Lithuania. Since 2016 he is junior research fellow at the Institute of Water Resources Engineering. Main research interests – conventional and hydrokinetic (ocean waves, river flow) energy and its environmental impact.

## **Sesja IV**

**Projekty inwestycyjne w regionie - Kaskada Dolnej Wisły**

## **Session IV**

**Investment projects within the region - Lower Vistula Cascade**

**4.1. Wojciech Majewski:**

***Kompleksowe zagospodarowanie dolnej Wisły***

**4.2. Janusz Granatowicz, Piotr Śliwiński:**

***Kaskada Dolnej Wisły - fanaberia, czy konieczność?***

**Notatki**

**Notes**

# Kompleksowe zagospodarowanie dolnej Wisły

Wojciech Majewski

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, PIB, Warszawa  
[wmaj@ibwpan.gda.pl](mailto:wmaj@ibwpan.gda.pl)

## Wprowadzenie

Wisła jest największą rzeką Polski a drugą po Newie, pod względem przepływu przy ujściu, rzeką zlewiska Morza Bałtyckiego. Długość Wisły wynosi 1047 km. Cały bieg Wisły znajduje się na terenie Polski jak również 87% jej dorzecza. W XVI i początkach XVII wieku Wisła była najbardziej użegłownioną rzeką Europy. Rocznie przepływało nią, mimo bardzo prymitywnych środków transportowych, ponad ćwierć miliona ton surowców i gotowych towarów między Polską a portem Gdańskim, który stanowił nasze okno na świat. W momencie zaistnienia w XVIII wieku rozbiórów Polski, Wisła straciła swoje dotychczasowe znaczenie i coraz bardziej podupadała. Po odzyskaniu przez Polskę niepodległości, w okresie międzywojennym, powstały pierwsze plany zagospodarowania Wisły i wykorzystania jej do celów gospodarczych, energetycznych jak również rekreacyjnych. Niestety ten 20-letni okres był zbyt krótki dla wdrożenia ambitnych planów przez zniszczony zaborami i wojną kraj. Po Drugiej Wojnie Światowej, w nowym układzie geograficznym kraju, centralne położenie Wisły stanowiło bardzo istotną możliwość gospodarczego wykorzystania rzeki. Powstało wiele planów budowy nowych obiektów hydrotechnicznych i hydroenergetycznych. Już w pierwszym planie gospodarki wodnej opracowanym w latach 60. przez Komitet Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk, podkreślono bardzo duże znaczenie dolnej Wisły dla celów żeglugowych i energetycznych. Ponadto wzdłuż całej Wisły występują poważne zagrożenia powodziowe, które na odcinku dolnej Wisły wywołane są głównie zatorami lodowymi.

Opracowany pod koniec lat 70. *Kompleksowy Program zagospodarowania i wykorzystania Wisły oraz zasobów wodnych kraju* zwany w skrócie *Programem Wisła* o silnych akcentach propagandowych nawiązywał do planowanego wszechstronnego rozwoju gospodarczego kraju. Rozwój gospodarczy Polski potrzebował przede wszystkim energii elektrycznej oraz wody. Nie został on jednak zrealizowany ze względu na brak merytorycznego uzasadnienia wielu inwestycji, brak pokrycia finansowego oraz brak możliwości wykonawczych polskich przedsiębiorstw. W ciągu wielu minionych lat istniało bardzo duże zainteresowanie gospodarczym wykorzystaniem Wisły, jak również ochroną powodziową terenów przyległych do rzeki.

Pod względem hydrograficznym Wisłę i jej dorzecze dzieli się na trzy odrębne części: Wisłę górną, Wisłę środkową i Wisłę dolną. Wszystkie te części mają odrębny charakter i różnią się wartością przepływu. Niekiedy Wisłę poczynając od ujścia Przemszy do ujścia do Zatoki Gdańskiej traktuje się jako Wisłę żeglowną o łącznej długości 941 km.

## Dolna Wisła

We wszystkich planach zagospodarowania i wykorzystania Wisły od najdawniejszych czasów, szczególne znaczenie miała zawsze dolna Wisła. Obejmuje ona odcinek liczący 391 km od ujścia Narwi (km 550) do ujścia Wisły do morza (km 941). Cały obszar dorzecza dolnej Wisły znajduje się na terenie Polski. Do dolnej Wisły można również zaliczyć aglomerację warszawską ze zbiornikiem Żegrzyńskim i Kanałem Żerańskim. Powierzchnia dorzecza dolnej Wisły wynosi 34,3 tys. km<sup>2</sup>. Narew łącznie z dopływem Bugu i Wkry jest największym dopływem Wisły zmieniającym w sposób zasadniczy natężenie przepływu w głównym korycie rzeki. Przekrój wodowskazowy Tczew, wprawdzie oddalony od ujścia do morza o prawie 30 km jest przekrojem zamykającym dorzecze Wisły, bowiem poniżej niego nie ma żadnych dopływów. W przekroju Tczew średni wieloletni przepływ wynosi 1 055 m<sup>3</sup>/s, maksymalny zarejestrowany przepływ w okresie powojennym wyniósł 6 490 m<sup>3</sup>/s a minimalny 264 m<sup>3</sup>/s. Przepływ o prawdopodobieństwie przewyższenia 1% wynosi 8 990 m<sup>3</sup>/s a przepływ najdłużej trwający 614 m<sup>3</sup>/s. Średni roczny odpływ Wisły do Bałtyku wynosi 34,0 km<sup>3</sup>, odpływ maksymalny to 50,8 km<sup>3</sup> (rok mokry 1975 r.), natomiast odpływ minimalny (rok suchy 1952) wynosi 20,5 km<sup>3</sup>. Należy koniecznie zwrócić uwagę na zachodzące zmiany klimatyczne, które prowadzą do dużych nieregularności przepływów rzek. Widoczne jest zmniejszanie się przepływów w ujściowych odcinkach rzek.

Morze Bałtyckie jest morzem bezpływowym, jednak występują u jego wybrzeży znaczne wahania poziomu wody wywołane spiętrzeniami wiatrowymi. Spiętrzenia te dochodzą do około 1,50 m powyżej stanu średniego, co wywołuje podpiętrzenie na Wiśle sięgające aż do przekroju Tczew. Większość powodzi na odcinku dolnej Wisły wywołana była zatorami lodowymi i śryżowymi. Spektakularnym przykładem była powódź w górnej części Zbiornika Włocławek w 1982 r. Wzdłuż dolnej Wisły znajduje się szereg ważnych ośrodków miejskich i przemysłowych. Dolna Wisła posiada potencjalnie bardzo duże znaczenie dla żeglugi śródlądowej.

wej. Tędy przebiegają dwie projektowane międzynarodowe drogi wodne E40 i E70. Bardzo istotnym aspektem jest zaopatrzenie w wodę regionu oraz ochrona przeciwpowodziowa. Pod koniec XIX wieku wykonano Przekop Wisły, który spowodował likwidację powodzi zatorowych na obszarze Żuław Wiślanych. Wykonano również regulację dolnej Wisły aż do miejscowości Silno, co miało przede wszystkim znaczenie żeglugowe. Wykonano modernizację Bydgoskiego węzła Wodnego, co rozwinęło żeglugę śródlądową do Niemiec. Były to jednak jedynie działania sektorowe mające na celu ochronę przeciwpowodziową i rozwój żeglugi śródlądowej. Brak było kompleksowego podejścia do zagospodarowania dolnej Wisły.

### Kaskada Dolnej Wisły

Już w okresie międzywojennym zwrócono uwagę na możliwości energetycznego wykorzystania dolnej Wisły. Po drugiej wojnie powróciła idea energetycznego i żeglugowego wykorzystania dolnej Wisły w postaci kaskady stopni piętrzących. Wstępne szacunki wykazały, że na dolnej Wiśle znajduje się około 1/2 technicznego potencjału hydroenergetycznego Polski. Pierwsza koncepcja Kaskady Dolnej Wisły (KDW) powstała już w 1957 r. jako opracowanie Polskiej Akademii Nauk i Hydroprojektu podsumowujące wieloletnie prace badawcze i projektowe polskich naukowców i hydrotechników. Ta koncepcja zakładała duże moce instalowane na poszczególnych stopniach i całkowitą produkcję energii elektrycznej w średnim roku hydrologicznym w wysokości około 4 200 GWh

KDW miała być zwartym systemem 8 stopni wodnych niskiego spadku ze zbiornikami przepływowymi usytuowanymi w taki sposób, aby piętrzenie na stopniu niższym sięgało do stanowiska dolnego stopnia wyższego. Ze względu na ograniczenie powierzchni terenów zalewowych przyjęto, że odległości między stopniami będą w granicach od 30 do 50 km a zalewy będą mieścić się w zasięgu istniejących wałów przeciwpowodziowych. Obszar, na który oddziałuje KDW zamieszkuje około 14% ludności Polski. Znajdują się tu dwie duże aglomeracje gdańska i bydgosko-toruńska. Ponadto w regionie tym leży szereg ważnych miast takich jak Tczew, Malbork, Kwidzyn, Grudziądz, Świecie, Chełmno, Ciechocinek, Nieszawa, Włocławek, Płock i Wyszogród. Aktywność gospodarcza tego regionu związana jest z dużymi zakładami przemysłu chemicznego, celulozowo-papierniczego i petrochemicznego. W rejonie tym występuje duże bezrobocie. KDW była bardzo złożonym przedsięwzięciem inwestycyjnym wiążącym ważne aspekty gospodarcze, społeczne i przyrodnicze na obszarze obecnych 3 województw to jest Mazowieckiego, Kujawsko-Pomorskiego i Pomorskiego. W ramach tego projektu oddano w 1970 r. do eksploatacji pierwszy stopień Włocławek. Zawansowane były plany budowy następnego stopnia Ciechocinek poniżej Włocławka i Wyszogród powyżej. Rozpoczęto nawet przygotowanie placu budowy stopnia Ciechocinek.

### Kompleksowe wykorzystanie dolnej Wisły

KDW była początkowo projektowana jako projekt głównie energetyczno-żeglugowy. Dziś należy spojrzeć na to przedsięwzięcie w sposób kompleksowy, obejmujący wszelkie aspekty gospodarki wodnej. A więc zarówno energetykę wodną i żeglugę, jak również zaopatrzenie w wodę, ochronę przeciwpowodziową i rekreację wodną z uwzględnieniem aspektów ekologicznych. Przy takim ujęciu koszty całego przedsięwzięcia będą rozkładać się na wiele sektorów gospodarczych a ponadto będą spełniać w szerszy sposób wiele aspektów społecznych i środowiskowych. Rozpatrując problem zagospodarowania dolnej Wisły trzeba koniecznie brać pod uwagę potencjalne zmiany klimatyczne.

### Przywołania

1. **Majewski W.**, *Monografia Dolnej Wisły*, IMGW PIB Warszawa, 2016
2. **Majewski W.**, *Kompleksowe zagospodarowanie dolnej Wisły szansą dla regionu i Polski*, Gospodarka Wodna 2/2015,

### Autor

**Wojciech Majewski**, prof. dr hab. inż., absolwent Politechniki Gdańskiej, Wydział Budownictwa Wodnego, Studia podyplomowe Uniwersytet w Glasgow, tytuł profesora 1990. Specjalność inżynieria i gospodarka wodna. Zatrudniony obecnie w IMGW PIB Warszawa. Wiceprzewodniczący Komitetu Gospodarki Wodnej PAN. Kierował szeregiem projektów inżynierii i gospodarki wodnej w kraju i za granicą. Autor wielu książek, monografii i publikacji w języku polskim i angielskim.

## Kaskada Dolnej Wisły - fanaberia czy konieczność?

**Janusz Granatowicz**

Dyrektor Biura ds. Elektrowni Wodnych  
Energa Invest S.A.  
e-mail: janusz.granatowicz@energa.pl

**Piotr Śliwiński**

Energa Invest S.A.  
e-mail: piotr.sliwinski@energa.pl

Tocząca się w Polsce od lat dyskusja wokół gospodarczego wykorzystania Wisły, a zwłaszcza dolnej Wisły skłania do postawienia pytania: dlaczego systematycznie odrzucamy dobro jakim jest Wisła? Odpowiedź na tak postawione pytanie nie jest łatwa. Argumenty przemawiające za wykorzystaniem potencjału dolnej Wisły są poważne, wiele środowisk jest za, a jednak sprawa nie może ruszyć z miejsca. Nie można się poddawać i raz jeszcze przedstawić argumenty na rzecz kompleksowego zagospodarowania dolnej Wisły mając nadzieję, że przyczyni się to podjęcia konkretnych działań.

### Potencjał dolnej Wisły

Kompleksowe zagospodarowanie dolnej Wisły oznacza budowę Kaskady Dolnej Wisły (KDW), a ta inwestycja:

- zlikwiduje zagrożenie powodzią,
- zwiększy retencję spływu powierzchniowego i umożliwi nawadnianie terenów o największym niedoborze wody w okresie wegetacyjnym, czyli na Mazowszu, Kujawach i Wielkopolsce,
- umożliwi połączenie portu w Gdańsku z centrum kraju,
- umożliwi wykorzystanie potencjału hydroenergetycznego – 50% zasobów krajowych [1],
- złagodzi problemy transportowe miast,
- przyczyni się do rozwoju gospodarczego terenów nadwiślańskich.

### Bezpieczeństwo powodziowe

Wbrew wielu opiniom wypowiedzianym na różnych konferencjach uważam, że KDW zapewni pełne bezpieczeństwo powodziowe w dolinie dolnej Wisły. Zwiększenie głębokości umożliwi swobodną pracę lodołamaczy i bezpieczny spływ pokruszonego lodu, a więc zlikwiduje przyczynę powodzi zatorowych (zimowych). Groźbę powodzi wezbraniowych (letnich) wyeliminuje przepustowość kaskady. Stopnie i zbiorniki KDW umożliwią bezpieczny przepływ o natężeniu ponad 10 000 m<sup>3</sup>/s. Warto w tym miejscu przypomnieć, że maksymalny przepływ przez stopień Włocławek wystąpił w 1979 roku i wynosił 6 100 m<sup>3</sup>/s.

### Uzęglownienie

KDW w wymiarze żegludowym oznacza drogę wodną klasy międzynarodowej – Va, a to zdecydowanie wzmocni pozycję portów morskich Gdańsk i Gdyni. Planowany do roku 2030 3-krotny wzrost przeładunków w Gdańsku – do 100 mln t oraz 2-krotny wzrost w Gdyni – do 37 mln ton oznacza duże inwestycje w infrastrukturę portową. Tak znaczny przyrost przeładunków nie będzie możliwy bez uzęglownienia Wisły i budowy portów rzecznych tworzących bufor logistyczny dla portów morskich. Z badań prowadzonych na Uniwersytecie Gdańskim w Katedrze Polityki Transportowej [2] wynika, że po wybudowaniu KDW na drodze wodnej pojawi się strumień towarów w ilości co najmniej 12 mln ton/rok co zapewni roczne dochody państwa w wysokości ok. 12 mld zł.

### Korzyści energetyczne

Na dolnej Wiśle skupia się ok. 50 % potencjału hydroenergetycznego polskich rzek. Z obliczeń wykonanych w Katedrze Hydrotechniki Politechniki Gdańskiej [3] wynika, że przy stopniach KDW można zainstalować elektrownie wodne o łącznej mocy 850 MW co w średnim roku hydrologicznym umożliwia produkcję ok. 4 200 GWh energii elektrycznej. Powstaje w momencie pytanie: Czy 850 MW to w polskim systemie energetycznym jest wielkością znaczącą? Odpowiedź musi być poprzedzona podaniem kilku liczb:

- moc zainstalowana w polskim systemie energetycznym to ok. 40 000 MW,
- przeciętny popyt to ok. 22 000 MW,
- największy popyt, jaki wystąpił 27 000 MW,
- popyt powyżej 24 000 MW zdarza się przez mniej niż 100 godzin rocznie.

Własności elektrowni wodnych pozwalają na wprowadzenie do systemu pełnej mocy w ciągu 2 – 3 minut. Zatem 850 MW odniesione do 3 000 MW oznacza możliwość pokrycia chwilowego zwiększenia zapotrzebowania w ok. 28%, co jest wielkością istotną.

### Oplacalność KDW

W 2016 profesorowie K. Wojewódzka-Król i R. Rolbiecki wykonali badania społeczno-ekonomicznych skutków zagospodarowania Dolnej Wisły [2]. Metodologię badań efektywności ekonomicznej inwestycji oparto na:

- **Analizie ekonomicznej projektu** - analiza opłacalności projektu z punktu widzenia gospodarki i społeczeństwa;
- **Zasadzie przyrostowości** - porównanie stanu nie-realizowania inwestycji i stanu osiągniętego w wyniku realizacji przedsięwzięcia;
- **Okresie odniesienia** – 30 lat;
- **Współczynnikiem dyskontowym** – sprowadzenie wartości przepływów z poszczególnych okresów do wartości bieżącej (na rok rozpoczęcia inwestycji);
- **Spółecznej stopie dyskontowej** – 5% - zalecana w okresie 2014–2020 przez Komisję Europejską w przypadku dużych projektów w państwach członkowskich objętych polityką spójności;
- **Wartości rezydualnej.**

Do oceny wyników przyjęto dwa wskaźniki:

- **ENPV** (*Economic Net Present Value* - ekonomiczna wartość bieżąca projektu) służy do decyzji o przyjęciu bądź odrzuceniu projektu:
  - **ENPV > 0** projekt korzystny z punktu widzenia ekonomiczno-społecznego,
  - **ENPV < 0** projekt niekorzystny,
  - **ENPV = 0** projekt nie przynosi ani korzyści ani strat.
- **B/C** (*Benefits Costs Ratio*) - wskaźnik mający służyć efektywnej ewaluacji projektów inwestycyjnych:
  - **B/C > 1** projekt generuje więcej korzyści niż kosztów,
  - **B/C < 1** projekt generuje więcej kosztów niż korzyści,
  - **B/C = 1** korzyści są równe kosztom.

Do obliczeń przyjęto następujące założenia:

- KDW tworzy 10 stopni Włocławek + 9;
- koszt budowy 9 stopni 31,5 mld zł;
- czas budowy 30 lat;
- czas budowy 1 stopnia 5 lat;
- jednocześnie można budować max. 2 stopnie.

Wartość bieżąca głównych korzyści wymiernych w ciągu 30 lat wyniesie 100,0 mld zł:

- dochody budżetu wynikające ze wzrostu obrotów portów morskich 40,7 mld zł;
- zmniejszenie strat wynikających z ograniczenia ryzyka powodzi 21,8 mld zł;
- wzrost dochodów z turystyki 17,0 mld zł;
- wzrost dochodów z tytułu produkcji energii elektrycznej 9,7 mld zł;
- zmniejszenie strat związanych z suszą w rolnictwie 7,3 mld zł;
- z tytułu obniżenia kosztów transportu 2,2 mld zł;
- z tytułu zmniejszenia kosztów wypadków 0,8 mld zł;

- z tytułu obniżenia strat pożarowych w lasach 0,6 mld zł;
- z tytułu obniżenia kosztów emisji zanieczyszczeń powietrza 32,9 mln zł.

Analiza wskaźnikowa opłacalności zagospodarowania dolnej Wisły przedstawia się następująco:

- Suma zdyskontowanych korzyści przyrostowych 100,2 mld zł;
- Suma zdyskontowanych kosztów netto projektu 16,4 mld zł;
- Ekonomiczna wartość bieżąca netto – ENPV 83,8 mld zł;
- Ekonomiczny wskaźnik korzyści/koszty – B/C 6,11

## Wnioski

Kaskada Dolnej Wisły jest jedynym rozwiązaniem technicznym, które z jednej strony umożliwia kompleksowe wykorzystanie potencjału tego odcinka rzeki, zaś z drugiej ogranicza generowane na nim zagrożenia.

Kaskada wyeliminuje przyczynę ewentualnych powodzi, za którą uważa się zatory lodowe. Właściwe przygotowanie czasz zbiorników zwiększy przepustowość koryta w stopniu zapewniającym bezpieczne przejście największych fal wezbraniowych.

Analiza ekonomiczna wykazała, że KDW jest przedsięwzięciem o bardzo wysokiej opłacalności.

## Przywołania

1. **Jędrzej Kosiński, Wacław Zdulski:** Potencjał hydroenergetyczny Wisły Acta Energetica 2013
2. **Krystyna Wojewódzka-Król, Ryszard Rolbecki:** Badania społeczno-ekonomicznych skutków zagospodarowania Dolnej Wisły
3. **Szydłowski M., Szymkiewicz R., Zima P., Gąsiorowski D., Hakiel J.:** Hydrodynamiczny model dolnej Wisły z uwzględnieniem koncepcji kaskady stopni piętrzących, Gdańsk, kwiecień 2014.

## Autorzy

**Janusz Granatowicz**, dr inż., inżynier budownictwa wodnego - Instytut Hydrotechniki Politechniki Gdańskiej 1972. Praca doktorska „Hydrodynamiczne i energetyczne aspekty eksploatacji kaskady stopni wodnych”, Biegły Wojewody Pomorskiego w zakresie ocen oddziaływania na środowisko, Dyrektor Biura ds. Elektrowni Wodnych w Energa Invest SA

**Piotr Śliwiński**, mgr inż., inżynier budownictwa wodnego. Absolwent Politechniki Gdańskiej wydziału hydrotechniki. Początkowo w Katedrze Budownictwa Wodnego, następnie w firmach wykonawczych działających w branży budownictwa hydrotechnicznego, aktualnie pracownik Ośrodka Technicznej Kontroli Zapór – IMGW. Od kilku lat współpracujący z Energa SA przy projekcie Wisła oraz modernizacji elektrowni wodnych.

## **Sesja V**

**Dobre praktyki oraz doświadczenia  
z projektowania, budowy i eksploatacji elektrowni wodnych**

### **Session V**

**Good practices and experience in design, erection and operation  
of hydropower plants**

- 5.1. Adam Adamkowski, Mariusz Lewandowski, Stanisław Lewandowski:  
*Wielokryterialna optymalizacja wytwarzania energii  
w wieloblokowych elektrowniach wodnych*
- 5.2. Adam Henke, Adam Adamkowski:  
*Wybrane kierunki modernizacji polskich małych elektrowni wodnych*
- 5.3. Maciej Kaniecki, Zbigniew Krzemianowski:  
*Od założeń projektowych do badań modelowych - kompleksowe podejście  
do projektowania szybkobieżnych turbin Francisza*
- 5.4. Milan Bryscejn, Jerzy Burzawa:  
*Urządzenia czyszczące kraty  
wlotu elektrowni wodnych, pompowni i ujęć wody*
- 5.5. Łukasz Kalina:  
*Dobre praktyki w postępowaniach środowiskowych  
dla małych elektrowni wodnych - przykłady realizacji*

**Notatki**

**Notes**

# Wielokryterialna optymalizacja wytwarzania energii w wieloblokowych elektrowniach wodnych

**Adam Adamkowski, Mariusz Lewandowski**

Instytut Maszyn Przepływowych im. R. Szewalskiego  
Polska Akademia Nauk  
ul. Fiszer 14, 80-231 Gdańsk

**Stanisław Lewandowski**

Towarzystwo Elektrowni Wodnych  
L.S. HydroConsult  
ul. Glińskiego 13, 84-239 Bolszewo

Obowiązki nakładane na właścicieli elektrowni wodnych w aktach prawnych, decyzjach administracyjnych, postanowieniach i instrukcjach postępowania eksploatacji w różnych sytuacjach, jakie mogą wystąpić podczas ruchu elektrowni, bardzo często są związane z ograniczeniami wykorzystania możliwości produkcyjnych. Sytuacja hydrologiczna i meteorologiczna, uwarunkowania przyrodnicze i społeczne a także nieoczekiwane zdarzenia, jakie występują w systemie elektro-energetycznym, wymuszają odpowiednie dostosowanie parametrów technicznych hydrozespołów elektrowni do zmieniających się - niejednokrotnie bardzo często - wymagań. Dotyczy to przede wszystkim utrzymywania określonego poziomu wody na górnym i dolnym stanowisku elektrowni oraz utrzymywania określonych wielkości przepływu wody przez elektrownię z zachowaniem dopuszczalnych szybkości zmian tych wielkości. Należy przy tym dodać, że niwelacyjna różnica poziomów wody na górnym i dolnym stanowisku elektrowni oraz przepływ wody przez turbiny elektrowni decydują o wielkości generowanej mocy i w efekcie o wielkości produkowanej energii elektrycznej, co przekłada się na przychody i w końcowym efekcie decyduje o rentowności elektrowni. Ustalone w formalnych dokumentach parametry hydrologiczne, jakie eksploatacja elektrowni zobowiązana jest utrzymywać na stopniu wodnym w większości przypadków nie są stałe i mogą się zmieniać w zależności od zmieniających się pór roku, a także od aktualnej i przewidywanej w bliskim horyzoncie czasowym sytuacji hydrologicznej i meteorologicznej. Wymagane terminy sezonowych zmian są z reguły ściśle określone w decyzjach wodnoprawnych i Instrukcjach Gospodarowania Wodą na Stopniu Wodnym, często jednak zmiany wprowadzane są w trybie administracyjnym zależnie od przypadających w danym roku terminów określonych sezonowych prac polowych (np. sianokosy, żniwa) czy też prac na stawach hodowlanych (prace konserwacyjne), a także w związku z koniecznością zachowania walorów środowiskowych ośrodków turystyki i rekreacji, czy też parametrów umożliwiających uprawianie sportów wodnych. Dotrzymanie zmiennych warunków użytkowania stopnia wodnego wymaga odpowiedniego dostosowania przełyku elektrowni, co realizowane jest zmianą otwarcia elementów regulacyjnych turbin. Każda taka operacja skutkuje zmianą generowanej mocy i co najważniejsze zmianą punktu pracy hydrozespołów przekładającą się z reguły na pogorszenie sprawności wytwarzania energii. W elek-

troniach wieloblokowych zwłaszcza w tych, w których zainstalowane są hydrozespoły o różnych parametrach technicznych a także różnych charakterystykach sprawnościowych, można odpowiednio tak dobrać konfigurację pracujących hydrozespołów i każdy z nich obciążyć taką mocą czynną, aby uzyskać najwyższą możliwą sprawność wytwarzania energii elektrycznej przez elektrownię

W referacie opisano sposób optymalizacji przykładowej wirtualnej elektrowni wodnej wieloblokowej. Funkcją celu w prezentowanym przykładzie optymalizacji jest maksymalizacja sprawności wytwarzania, jednak właściciel elektrowni może wskazać inne wielkości, które w wyniku optymalizacji mają osiągać maksymalne wartości, możliwe do uzyskania w aktualnych uwarunkowaniach technicznych i hydrologicznych. Do nich może należeć np. maksymalizacja produkcji w określonych przedziałach czasowych, czy też maksymalizacja przychodów w wyniku odpowiedniego programowania pracy elektrowni w celu złożenia oferty na Towarowej Giełdzie Energii. W każdym przypadku optymalizacja jest realizowana tak, aby wymagania postawione przez właściciela elektrowni wypełniać z zachowaniem maksymalnej - możliwej do uzyskania przy postawionych warunkach - sprawności wytwarzania.

## Autorzy

**Adam Adamkowski**, prof. dr hab. inż., absolwent Politechniki Gdańskiej. Obecnie kierownik Zakładu Hydroenergetyki w Instytucie Maszyn Przepływowych PAN. Główne zainteresowania zawodowe to m.in., analizy i badania zjawisk niestacjonarnych w układach przepływowych pomp wirowych i turbin wodnych, zagadnień projektowania i eksploatacji wirowych maszyn wodnych, badań energetycznych i diagnostycznych tych maszyn w warunkach eksploatacyjnych.

**Mariusz Lewandowski**, dr inż., absolwent Politechniki Gdańskiej. Obecnie adiunkt w Zakładzie Hydroenergetyki w Instytucie Maszyn Przepływowych PAN. Główne zainteresowania zawodowe to m.in.: przepływy niestacjonarne w przewodach zamkniętych, badania maszyn przepływowych.

**Stanisław Lewandowski**, mgr inż., absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej. Pracuje w sektorze elektroenergetycznym od 1973 roku: kierownik w Elektrowni Turów, kierownik ruchu w Elektrowni Szczytowo-Pompowej Żarnowiec, zastępca dyrektora w Hydromex sp. z o.o., dyrektor w ESP S.A. (obecnie PGE Energia Odnawialna), dyrektor w Elektrowni Górnej Odry sp. z o.o., dyrektor w ENERGA Zakład Elektrowni Wodnych Sp. z o.o.. Obecnie prowadzi własną firmę konsultingową LS HydroConsult, oferującą usługi dla szeroko rozumianego sektora energetyki wodnej. Od momentu powstania Towarzystwa Elektrowni Wodnych zaangażowany w działalność tego Towarzystwa. W latach 1992 i 1996 pełnił funkcję wice Przewodniczącego, w latach 1996/99 i 2003/08 był Prezesem TEW. Aktualnie jest Pełnomocnikiem Zarządu. Jest autorem licznych publikacji dotyczących głównie sektora hydrenergetycznego.

## Wybrane kierunki modernizacji polskich małych elektrowni wodnych

**Adam Henke**

IMP PAN, Gdańsk  
e-mail: hadam@imp.gda.pl

**Adam Adamkowski**

IMP PAN, Gdańsk  
e-mail: aadam@imp.gda.pl

### Uwagi ogólne

Spośród krajowych elektrowni wodnych, znacząca liczba obiektów charakteryzuje się kilkudziesięcioletnią historią działalności, a są wśród nich takie obiekty jak EW Struga i EW Kamienna; które rozpoczęły swoją działalność pod koniec XIX wieku (1989 rok). Stan techniczny eksploatowanych przez dziesięciolecia turbin, a także regulatorów i generatorów oraz urządzeń pomocniczych nie pozwalał na dalszą ich efektywną i bezpieczną eksploatację przy pełnym wykorzystaniu potencjału energetycznego stopni wodnych.

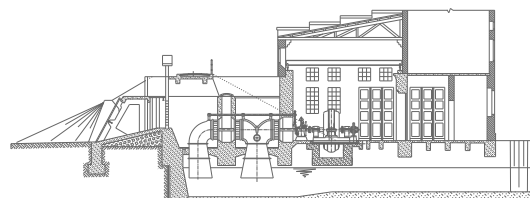
Rozwój współczesnej techniki turbinowej sprawił, że modernizacje wielu elektrowni wodnych, poza dostosowania ich do współczesnych standardów technicznych przyniosły korzyści ekonomiczne, wynikające ze zwiększenia produkcji energii elektrycznej, przy zmniejszonych kosztach eksploatacji. Rozwój ten wiąże się, między innymi, z zastosowaniem na obiektach niskospadowych (wyposażonych oryginalnie w turbiny Francisa) szybkobieżnych turbin Kaplan w zabudowie rurowej, charakteryzujących się wysoką sprawnością energetyczną w szerokim zakresie ich pracy, zaś, na obiektach średnispadowych – z wymianą układów łopatkowych istniejących turbin Francisa na nowe układy wysokosprawne, przy zachowaniu typu turbiny. W tych działaniach wykorzystuje się współczesne, zaawansowane metody projektowe i technologiczne.

W referacie, na podstawie kilku wybranych przykładów, przedstawiono zaobserwowane i przeanalizowane główne kierunki dotyczące nowoczesnego wyposażenia turbinowego w krajowych elektrowniach średnio- i niskospadowych.

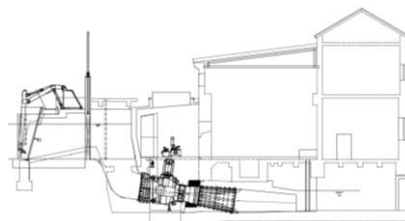
### Zastąpienie starych turbin wolnobieżnych typu Francisa szybkobieżnymi turbinami w zabudowie rurowej

W czasie budowy elektrowni przed 1925 rokiem, ze względu na fakt, że nie były znane turbiny Kaplana, na obiektach niskospadowych stosowano wolnobieżne turbiny Francisa. Charakteryzowały się one niską sprawnością oraz małym zakresem regulacji obciążenia

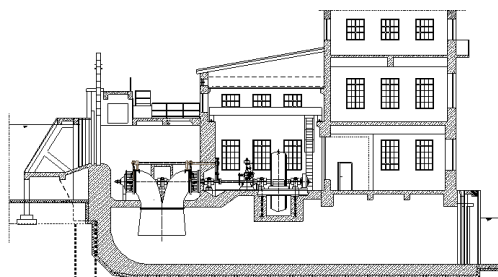
Przykładem takiej modernizacji są elektrownie EW Likowo (rys. 1,2) i EW Rejowice (rys.2,3), gdzie hydrozespoły z turbinami Francisa zastąpiono nowoczesnymi turbinami rurowymi Kaplana typu RTK o wysokim wyróżniku szybkobieżności i szerokim zakresie pracy z wysoką sprawnością przy zmianach natężenia przepływu i obciążenia.



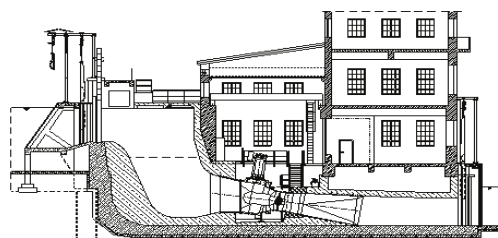
Rys.1 EW Likowo przed modernizacją



Rys.2 EW Likowo po modernizacji  
(materiał firmy GEG)



Rys.3 EW Rejowice przed modernizacją



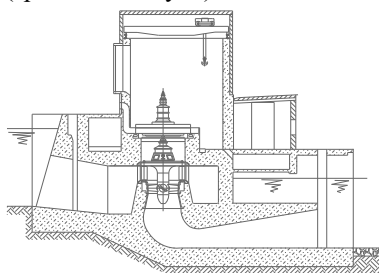
Rys.4 EW Rejowice po modernizacji  
(materiał firmy GEG)

Przeprowadzone po modernizacji elektrowni badania gwarancyjne, polegające głównie na wyznaczeniu charakterystyk energetycznych przy optymalnych nastawach otwarć łopatek kierownicy i wirnika potwierdziły dużą zgodność osiąganych parametrów eksploatacyjnych zmodernizowanych hydrozespołów z parametrami gwarantowanymi przez Dostawcę.

## Wymiana układów łopatkowych w klasycznych turbinach Kaplana

Współcześnie zaprojektowane i wykonane klasyczne turbiny Kaplana cechują się bardzo wysoką sprawnością, sięgającą około 90%, a sprawność dużych jednostek dochodzi nawet do 93-94%. Ze względu na podwójną regulację (zmieniane położenie kątowe łopat wirnika i kierownicy) turbiny te pracują z wysoką sprawnością w szerokim zakresie zmian przepływu wody. Oczywistym jest fakt, że największy wpływ na poziom sprawności energetycznej turbin ma układ łopatkowy ich wirników i kierownic. Z tego względu oraz w celu obniżenia kosztów modernizacji turbin często ogranicza się jej zakres do wymiany wirników i kierownic, przy zachowaniu układów dolotowych i rur ssących modernizowanych turbin. Dostępność w ostatnich latach zaawansowanych, rozwiniętych metod projektowych układów przepływowych turbin hydraulicznych umożliwia uzyskiwanie wysokich wartości ich sprawności energetycznej i korzystnych przebiegów charakterystyk sprawnościowych, w warunkach wykorzystania istniejących komór spiralnych i rur ssących.

Przykładem takiej modernizacji jest EW Tryszczyn (rys.5), gdzie przed podjęciem decyzji o modernizacji obiektu przeprowadzono badania energetyczne jednego z turbozespołów w celu wyznaczenia jego charakterystyk eksploatacyjnych, w tym charakterystyk energetycznych (sprawnościowych).



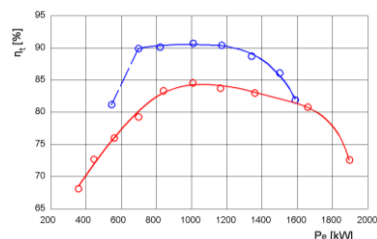
Rys.5 EW Tryszczyn-przekrój podłużny elektrowni

Wyniki tych badań wykazały niski poziom sprawności energetycznej turbozespołu i na tej Właściciel elektrowni podjął decyzję o przeprowadzeniu modernizacji dwóch podobnych maszyn elektrowni. Zakres modernizacji turbin ograniczono do wymiany kierownic łopatkowych i wirników (rys. 6)..



Rys.6 EW Tryszczyn-montaż nowego wirnika (materiał ZRE Gdańsk)

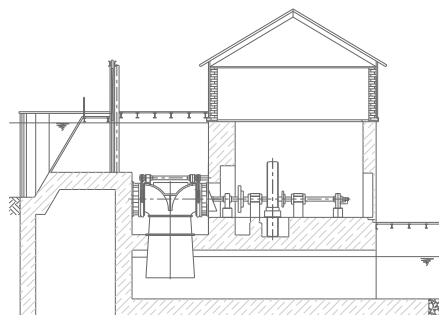
Przeprowadzone badania energetyczne wykazały, że uzyskano bardzo korzystny efekt modernizacji – maksymalna sprawność energetyczna turbin i turbozespołów wzrosła maksymalnie o około 7% (rys. 7), przy jednoczesnym przesunięciu punktu maksymalnej sprawności w kierunku mniejszych przepływów..



Rys. 7. EW Tryszczyn – porównanie charakterystyk sprawnościowych turbiny przed modernizacją (kolor czerwony) i po modernizacji (kolor niebieski) – badanie IMP PAN

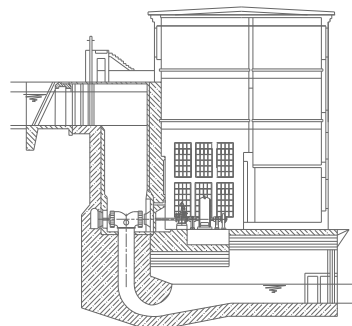
## Wymiana wirników turbin Francisa

Turbiny typu Francisa były na terenie Polski najpowszechniej stosowane w starych elektrowniach wodnych, zarówno na obiektach nisko- jak i średnispadowych. W dużych jednostkach poziom maksymalnej sprawności energetycznej turbin Francisa dochodzi nawet do 93-94%, natomiast w wielu przypadkach małych elektrowni wodnych w Polsce dokładny poziom tej sprawności tych maszyn nie jest znany. Przykładem modernizacji polegającej na wymianie wirników turbin typu Francisa są elektrownie EW Kamienna (rys.8) i EW Gródek (rys.9).



Rys.8 EW Kamienna-przekrój podłużny elektrowni

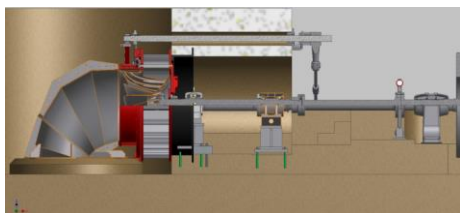
W EW Kamienna, ze względu na małą moc (02 x 0,48 MW) i zabytkowy charakter obiektu, Właściciel podjął decyzję o pozostawieniu turbin Francisa, ograniczając zakres modernizacji do wymiany wirników turbin.



Rys.9 EW Gródek--przekrój podłużny elektrowni

W EW Gródek, nie wskazane było zastosowanie turbin Kaplana ze względu na zbyt wysoki spad ( $H = 18,0\text{m}$ ) przy względnie małym natężeniu przepływu. Z uwagi na obniżenie kosztów modernizacji zdecydowano się zachować główny układ przepływowy elektrowni z

otwartą komorą wlotową, z zainstalowanymi układami łopatkowymi turbin Francisa. Zakres prac modernizacyjnych obejmował: w hydrozespołach nr 1 i 2 – wymianę wirników bliźniaczych i kierownic turbin, zaś w hydrozespołe nr 3 jednowirnikową turbiną Francisa z wylotem kolanowym (rys. 10).



**Rys.10 EW Gródek – turbina nr 3 po modernizacji  
(materiał ZRE Gdańsk)**

Nowe układy przepływowe turbin zostały zaprojektowane przy użyciu nowoczesnej techniki projektowania, w oparciu o metody numerycznej mechaniki płynów CFD. Badania gwarancyjne w obu elektrowniach potwierdziły dużą zgodność osiąganych parametrów eksploatacyjnych zmodernizowanych hydrozespołów z parametrami gwarantowanymi przez Dostawcę.

### **Wnioski**

W wyniku przeprowadzonych modernizacji uzyskuje się wymierne korzyści, objawiające się przede wszystkim wzrostem produkcji energii elektrycznej. Wzrost ten wynika z zastosowania hydrozespołów o znacznie wyższej sprawności oraz optymalizacji pracy hydrozespołów i kaskad elektrowni. Dodatkowe korzyści to zdecydowana poprawa stanu dynamicznego turbin wpływająca pozytywnie na trwałość i bezawaryjność urządzeń oraz zmniejszenie kosztów obsługi.

### **Autorzy**

**Adam Henke**, mgr inż., ukończył Wydział Budowy Maszyn Politechniki Gdańskiej w roku 1977. Od roku 1977 pracuje na różnych stanowiskach w Instytucie Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku. Zajmuje się projektowaniem turbin wodnych, stanowisk badawczych, wykonuje projekty koncepcyjne MEW. Bierze udział w pomiarach energetycznych hydrozespołów w elektrowniach. Prowadzi wykłady na studiach podyplomowych i szkoleniach związanych z energetyką wodną

**Adam Adamkowski**, prof. dr hab. inż., kier. Zakładu Hydroenergetyki w IMP PAN. Jest autorem ponad 120 publikacji. Kierował ponad 180 pracami badawczymi, w zdecydowanej większości na rzecz energetyki wodnej. Główne zainteresowania zawodowe to m.in., badania teoretyczne i doświadczalne zjawisk niestacjonarnych w układach przepływowych pomp wirowych i turbin wodnych, zagadnienia projektowania i eksploatacji wirowych maszyn wodnych, badania energetyczne i diagnostyczne tych maszyn w warunkach eksploatacyjnych, pomiary natężenia przepływu w wielkogabarytowych obiektach hydroenergetycznych.

# Od założeń projektowych do badań modelowych – kompleksowe podejście do projektowania szybkobieżnych turbin Francisa

**Maciej Kaniecki**

ZRE Gdańsk S.A.  
e-mail: maciej.kaniecki@zregdansk.pl

**Zbigniew Krzemianowski**

Instytut Maszyn Przepływowych PAN  
e-mail: zbigniew.krzemianowski@imp.gda.pl

## Wprowadzenie

Nowoczesne hydrozespoły wodne z turbinami Francisa, szczególnie w realizacjach dla zawodowej energetyki wodnej, cechują się bardzo wysokimi poziomem sprawności (92÷95%) i co niezwykle ważne pozwalają na ciągłą pracę w relatywnie szerokim zakresie obciążeń. Powyższe wymagania wymuszają kompleksowe podejście do procesu projektowania tych maszyn. Najistotniejszym elementem każdej turbiny wodnej jest jej układ przepływowy, a w szczególności wirnik turbiny. Stąd też dzisiejszy sposób projektowania wysokosprawnych układów przepływowych maszyn wymaga wykorzystania wysoce wyspecjalizowanych narzędzi projektowych i pomiarowych w połączeniu z dużym doświadczeniem i wiedzą inżynierską w tej dziedzinie.

Jednym z wyzwań dla specjalistów z dziedziny maszyn wodnych jest ciągle udoskonalanie konstrukcji układów przepływowych turbin Francisa, maszyn których początki zastosowań sięgają wieku XIX. Zarówno najwięksi światowi producenci turbin wodnych, tj.: Voith, Andritz, GE czy Hitachi [1][2], jak również niezależne ośrodki uniwersyteckie i badawcze znacząco ulepszają projekty układów przepływowych turbin Francisa. O znaczącym postępie w tej dziedzinie świadczą liczne doniesienia konferencyjne z ostatnich lat, w których to opisywane są konstrukcje wysokosprawnych turbin typu Francisa. Szczególnie trudne w realizacji projektowej są turbiny Francisa, cechujące się wysokim wyróżnikiem szybkobieżności ( $n_{sq} = 90\div 110$ ), przeznaczone do pracy przy relatywnie niskich spadach (25÷40 m). Maszyny tego typu charakteryzują się wysoką wrażliwością układu przepływowego na stany obciążeń częściowych, tj. obszary pracy poniżej punktu optymalnego. Dodatkowo ze względu na wysoki wyróżnik szybkobieżności uzyskanie sprawności hydraulicznej na wysokim poziomie, sięgającym 93% (dla turbin  $\sim 1$  m średnicy wirnika) jest niezwykle trudne [3].

W Polsce jest wiele elektrowni wodnych pracujących w zakresie spadów 25÷40 m, wyposażonych w przestarzałe pojedyncze lub bliźniacze turbiny Francisa, które w niedługim czasie będą wymagały wymiany. Dobrą alternatywą jest zastosowanie w tych przypadkach szybkobieżnych turbin Francisa, cechujących się wysoką sprawnością. ZRE Gdańsk, mając duże doświadczenie w projektowaniu tego typu maszyn, realizuje obecnie projekt pt. „Opracowanie konstrukcji nowoczesnego hydrozespołu z turbiną typu Francisa przy wykorzystaniu współczesnych, zaawansowanych na-

zędzi obliczeniowych, badawczych i technologicznych” w ramach programu GEKON (nr projektu 04/214228/2015), nakierowany na obliczenia i badania układów przepływowych szybkobieżnych turbin Francisa.

## Rys historyczny

Rozpatrując proces projektowania turbin Francisa w ujęciu historycznym, należy zaznaczyć, że przez długi okres czasu (do lat 80-tych XX wieku) realizacja takiego projektu była jedno- lub dwuetapowa. W pierwszym etapie, po przyjęciu założeń projektowych, wyznaczano metodami jednowymiarowymi zarówno kształt wirnika turbiny jak i pozostałych elementów układu przepływowego. Łopatką wirnika była kształtowana w oparciu o tzw. trójkąty prędkości na krawędziach natarcia i spływu oraz narzuconą funkcję zmiany krętu wzdłuż długości profili łopatkowych. W kolejnym etapie następował weryfikacja projektu poprzez wykonanie badań turbin modelowych. Po zakończeniu badań projektant turbiny otrzymywał pełną informację o parametrach turbiny w szerokim zakresie pracy. W przypadku projektów dla małej energetyki projekty turbin Francisa bardzo często nie były weryfikowane eksperymentalnie, gdyż ze względu na czasochłonność i konieczność poniesienia dużych nakładów finansowych nie decydowano się na przeprowadzanie badań modelowych.

Pierwsze zmiany w podejściu do projektowania pojawiły się na przełomie lat 70 i 80-tych XX wieku [2]. Wtedy to zaczęto wykorzystywać narzędzia komputerowe do projektowania i obliczeń układów przepływowych. Narzędzia projektowe rozwijały się dwukierunkowo, jedne realizowały tzw. zadania odwrotne, czyli służyły do wyznaczania kształtu wirnika w ujęciu jedno-, dwu- lub ostatnio trójwymiarowym, drugie natomiast, wykorzystując algorytmy optymalizacyjne, poszukiwały najlepszego rozwiązania modyfikując pierwotny kształt łopatki. Wraz z rozwojem metod projektowych duży postęp nastąpił również w dziedzinie analiz numerycznych układów przepływowych. Dzięki zastosowaniu coraz lepszych programów komputerowych możliwe stało się przeanalizowanie pracy całego układu przepływowego w tzw. wirtualnej rzeczywistości przed rozpoczęciem badań modelowych rzeczywistego obiektu. Równolegle z postępowaniem w dziedzinie projektowania i analiz udoskonalane były metody pomiarowe na stanowiskach badawczych, poprzez stosowanie różnego typu elektronicznych urządzeń do pomiaru podstawowych parametrów ener-

getycznych, jak również wysoce wyspecjalizowanych narzędzi do diagnostyki kawitacyjnej, czy pomiaru pól prędkości (sondy kulowe lub PIV - z ang. *Particle Image Velocimetry*).

### Stan obecny

Do projektowania układów przepływowych maszyn wodnych, w tym szybkoobrotowych turbin typu Francis, wykorzystuje się obecnie wysoce wyspecjalizowane programy, które dla zadanych dwu- lub trójwymiarowych pól parametrów wejściowych wyznaczają kształty łopatek i kierownicy. W publikacjach zagranicznych można znaleźć informacje dotyczące wykorzystania programów projektowych realizujących tzw. zadanie odwrotne w ujęciu dwu- [4] lub trójwymiarowym [5]. Metody projektowania 1D są coraz rzadziej wykorzystywane w projektowaniu wirników Francis. W wielu przypadkach stanowią jedynie punkt startowy dla procesu projektowania opartego na algorytmach optymalizacyjnych.

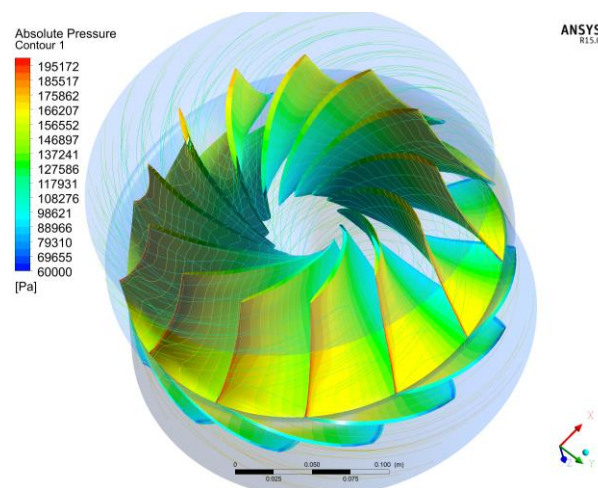
Alternatywą lub często uzupełnieniem programów projektujących układy łopatkowe turbin wodnych jest coraz częściej stosowane oprogramowanie, pozwalające optymalizować kształt łopatek turbin wodnych przy wykorzystaniu tzw. algorytmów genetycznych, metod gradientowych, sieci neuronowych i innych. W tym przypadku dla zadania funkcji celu – np. najwyższej sprawności – program modyfikuje kształt łopatki poszukując maksimum. Cały proces optymalizacji sprzężony jest z programem do numerycznej analizy przepływu [1].

W drugim etapie realizacji procesu projektowania analizuje się pełny, trójwymiarowy układ nowozaprojektowanej turbiny przy użyciu wyspecjalizowanych programów przeznaczonych do numerycznej analizy przepływu (*CFD - Computational Fluid Dynamics*) [6]. Obecnie większość firm i ośrodków akademickich posługuje się komercyjnymi kodami obliczeniowymi przeznaczonymi do tego typu zastosowań. Do najpopularniejszych programów należą: *CFX*, *Fluent*, *Numeca* oraz *Star-CD*. W wyniku przeprowadzonych analiz otrzymuje się informacje na temat globalnych i lokalnych parametrów pracy maszyny. Współczesne kody obliczeniowe *CFD* dają na tyle wiarygodne wyniki, że na ich podstawie, można ocenić zarówno wstępne charakterystyki energetyczne, jak i własności kawitacyjne turbiny.

Ostatnim etapem procesu projektowania jest weryfikacja eksperymentalna, a więc przeprowadzenie badań modelowych zaprojektowanej nowej turbiny. Obecnie, badania modelowe prowadzi się z wykorzystaniem nowoczesnych urządzeń pomiarowych, co pozwala na uzyskanie dokładności na poziomie  $\pm 0.5\%$ . Pełne badania modelowe obejmują badania energetyczne, badania kawitacyjne oraz badania w rozbiegu maszyny.

Obecnie firma *ZRE Gdańsk S.A.* we współpracy z Instytutem Maszyn Przepływowych *PAN* w Gdańsku realizują projekt szybkoobrotowej turbiny Francis (nr projektu 04/214228/27/2015) w ramach programu *GEKON*. Zadaniem grantu jest kompleksowa realizacja projektu tego typu maszyn. Projekt rozpoczął się w

styczniu 2015 i potrwa do grudnia 2016. We wstępnym etapie zostały zaprojektowane dwa wirniki (o średnicy charakterystycznej 250 mm) turbiny modelowej: 13- i 11-łopatkowy oraz pozostałe elementy układu przepływowego. Wirniki wykonano przy wykorzystaniu oprogramowania 2D i 3D, opartych na metodach funkcji prądowych i powierzchniowych rozkładów obciążeń łopatki. Następnie przeprowadzono kompleksową analizę numeryczną całego układu przepływowego z obu wirnikami, wykorzystując w tym celu oprogramowanie firmy *ANSYS*.



Rys. 1 Obliczenia numeryczne turbiny modelowej z wirnikiem 13-łopatkowym.

Wykonano również optymalizację kształtu łopatek wirnikowych dzięki wykorzystaniu oprogramowania opartego na algorytmach genetycznych (*MOGA – Multi Objective Genetic Method*).



Rys. 2 13-łopatkowy wirnik turbiny modelowej.

Po wykonaniu projektu układu przepływowego, powstał projekt mechaniczny i przystąpiono do wykonywania modelu turbiny z pierwszym, 13-łopatkowym wirnikiem.

W maju 2016 turbina modelowa wraz z oprzyrządowaniem i generatorem została zainstalowana na stanowisku badawczym *IMP PAN*. Obecnie zakończono badania modelowe turbiny z pierwszym wirnikiem i rozpoczęto wykonywanie kolejnego 11-łopatkowego wirnika. Wyniki badań modelowych potwierdziły, uzyskane w trakcie analiz numerycznych, wysokie parametry

energetyczne turbiny (wysoka sprawność turbiny modelowej przekraczająca 90% w połączeniu z wysokim wyróżnikiem szybkobieżności  $n_{sq} \approx 90$ ). W trakcie realizacji badań rejestrowane były zarówno parametry energetyczne turbiny, jak również prowadzono analizę struktur wirowych za wirnikiem turbiny z wykorzystaniem narzędzi PIV. Szeroki zakres przeprowadzonych prac pozwolił w sposób kompleksowy zaprojektować i przebadać konstrukcję szybkobieżnej turbiny Francis. Kolejne działania w ramach opisanego projektu pozwoliły na przebadanie wirnika 11-łopatkowego o jeszcze wyższym wyróżniku szybkobieżności. W opinii autorów tak złożone podejście do projektowania pozwala dogłębnie ocenić i przewidzieć parametry szybkobieżnej turbiny typu Francis, a jednocześnie sprostać wymaganiom klientów w dziedzinie produkcji i modernizacji tego typu maszyn przez wyspecjalizowane firmy z branży energetycznej.

### Przywołania

1. **Wu J., Shimmei K., Tani K., Niikura K.:** *CFD-Based Design Optimization for Hydro Turbines*, Journal of Fluid Engineering, 02.2007, Vol. 129.
2. **Stick M., Keck H.:** *Thirty years of numerical flow simulation in hydraulic turbomachines*, Acta Mechanica, s. 211÷229, Springer Verlag 2008.
3. **Obrovsky J., Zouhar J.:** *Experiences with the hydraulic design of the high specific speed Francis turbine*. 27<sup>th</sup> IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems 2014 – *materiały konferencyjne*.
4. **Puzyrewski R., Krzemianowski Z.:** *2D Model of Guide Vane for Low Head Hydraulic Turbine: Analytical and Numerical Solution of Inverse Problem*. Journal of Mechanics Engineering and Automation, David Publishing, Vol. 4, No. 3 (2014), pp. 195-202, ISSN 2159-5275 (Print), ISSN 2159-5283 (Online).
5. **Tiow W., Zengeneh M.:** *A novel 3D inverse method for the design of the turbomachinery blades in rotational viscous flow: theory and applications* TASK Quarterly 6 No. 1, 2012, 63-67.
6. **Dragica J., Lipej A.:** *Numerical prediction of non-cavitating vortex rope in a Francis turbine draft tube*. Strojniski vestnik, Journal of Mechanical Engineering 57, s. 445-456, 2011.

### Autorzy

**Maciej Kaniecki**, dr inż., ukończył w roku 1998 Wydział Mechaniczny Politechniki Gdańskiej. W roku 2008 obronił pracę doktorską pod kierunkiem prof. Tadeusza Koronowicz. Do roku 2012 był zatrudniony w Instytucie Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, gdzie zajmował się projektowaniem oraz obliczeniami numerycznymi przepływów przez turbiny wodne i pompy. Obecnie zatrudniony jest w ZRE Gdańsk S.A. na stanowisku specjalisty ds. turbin.

**Zbigniew Krzemianowski**, dr inż., ukończył studia magisterskie w roku 1998 na Wydziale Mechanicznym Politechniki Gdańskiej. W tym samym roku rozpoczął studia doktorskie na Politechnice Gdańskiej. Pracę doktorską obronił w 2003 roku pod kierunkiem prof. Romualda Puzyrewskiego. Od 2003 jest zatrudniony w Instytucie Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, gdzie zajmuje się projektowaniem oraz analizą numeryczną przepływów przez turbiny wodne.

## Urządzenia czyszczące kraty wlotu elektrowni wodnych<sup>1</sup>

**Milan Bryscejn, Jan Burzawa**

P&S a.s. Na Pankráci 53 140 00 Praha 4, Republika Czeska

tel.: +420 241 410 302 fax: +420 241 409 467 przedstaw. handl. PL: +48 604 544 505

e-mail: [p-s@volny.cz](mailto:p-s@volny.cz), [j.burzawa@o2.pl](mailto:j.burzawa@o2.pl), [www.p-s.cz](http://www.p-s.cz)

Celem referatu jest przedstawienie charakterystyki funkcjonalno-użytkowej ochrony wlotu elektrowni wodnych oraz rozwiązań techniczno-konstrukcyjnych urządzeń czyszczących kraty (z wyposażeniem pomocniczym) stosowanych na obiektach EW u naszych południowych sąsiadów.

Jakie zanieczyszczenia pojawiają się na wlotach do obiektów elektrowni wodnych (EW) które ograniczają przepływ przez kraty do wlotu turbozespołów oraz stwarzają realne zagrożenia dla samych urządzeń technologii EW. Występuje w nich: roślinność (liście, trawy, wodorosty), materiał drzewny (gałęzie, konary, pnie a nawet całe drzewa), śmieci i przedmioty z tworzyw niedegradowalnych oraz inne pływające przeszkody (beczki, opony, sprzęty gospodarskie itp.). Do zanieczyszczeń naturalnych stwarzających poważne zagrożenie dla sprawności technicznej turbozespołów EW, należą również osady denne- muliste i piasek, które nawarstwiają się na przedpolu przed samą kratą wlotu (a nie wszystkie typy czyszczarek mogą na bieżąco je zbierać i usuwać).

Brak skutecznej ochrony przed zanieczyszczeniami powoduje wymierne straty w produkcji energii

### **Przeznaczenie i funkcje użytkowe urządzeń czyszczących**

Do podstawowych urządzeń technologicznych, zabezpieczających eksploatacyjne czyszczenie krat z zanieczyszczeń (skratek) oraz naturalnych osadów, a jednocześnie podnoszących techniczną sprawność i ekonomiczną efektywność elektrowni wodnych, urządzeń pompowni i ujęć wody należą czyszczarki montowane bezpośrednio przed kratami wlotu. W warunkach wodnych, szczególnie zagrożonych występowaniem zanieczyszczeń na ujęciu wody, przed wlotem mogą być dodatkowo instalowane kraty wstępne, progi przeciwrumowiskowe zatrzymujące większe i cięższe przedmioty.

Biorąc pod uwagę aktualne tendencje modernizacyjne i standardy eksploatacyjne, czyszczarki z wyposażeniem powinny wykonywać maksymalny zakres czynności użytkowych, które dają się pogrupować w następujące funkcje eksploatacyjne:

- zgarnianie z czołowej strony konstrukcji krat zanieczyszczeń gromadzących się przed kratami na całej szerokości wlotu i głębokości kanału (do płyty dennej), ich zbieranie na zgarniacz,
- czyszczenie z osadów i drobnych szczątków z prześwitów (między płaskownikami) konstrukcji krat,
- usuwanie sprzed krat wlotu ponadgabarytowych i ciężkich przedmiotów (konarów, kłód i całych drzew i sztucznych przeszkód) żurawikiem z chwytakiem z powierzchni i dna kanału wlotu, nakładanie ich do kontenera lub odstawianie na plac,
- przenoszenie skratek zgarniaczem (o odpowiednim udźwigu) oraz chwytakiem polipowym żurawika do kontenera, na taśmę przenośnika lub do koryta, przesuwanie zawartości do kontenera (do wywozu) lub na plac odkładczy poza rejon kraty wlotu,;
- ładowanie kontenerów urządzeniami dźwigowymi czyszczarki lub wciąganie na podstawiony środek transportu do wywozu na skład odpadów,
- obsługa dźwigowa konstrukcji zamknięć (zastawek, zasuw) remontowych wlotu elektrowni i pompowni oraz ewent. innego wyposażenia (występująca w rozbudowanych konstrukcyjnie wersjach czyszczarek linowych),
- przesuwanie się czyszczarki z platformą jezdnią, wyposażoną w napęd elektryczny po szynowym podtorzu wraz z kontenerem, korytem oraz żurawikiem z chwytakiem,
- sterowanie pracą czyszczarki lokalnie w trybie ręcznym (serwisowym), pół- i automatycznym (z platformy jezdnej/ stacjonarnej czyszczarki) lub zdalnie (ze stanowiska sterowania elektrownią wewnątrz obiektu lub poza nim) z możliwością monitorowania bieżącej pracy czyszczarki na komputerze/urządzeniach mobilnych, w zależności od warunków atmosferycznych, stanu zagrożenia wlotu zanieczyszczeniami oraz zachowania bezpieczeństwa przebiegu czyszczenia.

<sup>1</sup> Wystąpienie zawiera treści o charakterze komercyjnym {przypis Komitetu Organizacyjnego}

## Rozwiązania techniczne – zespoły konstrukcyjno-funkcjonalne urządzeń czyszczących

Przed zaproponowaniem i doбором właściwego urządzenia czyszczącego kraty wlotu dla określonego obiektu należy uwzględnić następujące czynniki i uwarunkowania lokalne:

- różnorodność warunków techniczno-konstrukcyjnych oraz eksploatacyjnych obiektu i ujęcia wody;
- warunki środowiskowe bliskiego otoczenia obiektu i ujęcia wody (rodzaj i rozmiar/ciężar skratek);
- typ dodatkowo zastosowanych zabezpieczeń ograniczających napływ zanieczyszczeń (kraty wstępne, progi przeciwrumowiskowe, bariery),
- zakładany przez użytkownika zakres funkcji użytkowych czyszczarki i urządzeń wyposażenia.

Pozwala to na projektowe określenie funkcji i parametrów użytkowych czyszczarki z wyposażeniem oraz przygotowanie indywidualnych rozwiązań konstrukcyjno-użytkowych systemu czyszczącego do obsługi danego obiektu wodnego. Stanowi to podstawę do oceny technologiczno-użytkowej skuteczności działania wybranej wersji czyszczarki z wyposażeniem w modernizowanym obiekcie.

Znormalizowane urządzenia czyszczące kraty wlotu w pełnej wersji wyposażeniowej wytwarzanej przez czeskiego dostawcę, wypracowane w niemal 20-letniej praktyce, obejmują kombinacje następujących zespołów konstrukcyjno-funkcjonalnych i wyposażenia pomocniczego, z którego niektóre stanowią samodzielne urządzenia:

- konstrukcji nośnej wieżowego portalu (z platformą sterowniczą), wyposażonej w układ jezdnny z napędem elektrycznym (z przekładniami) oraz ekran ślizgowy ze stali nierdzewnej, standardowego kontenera/koryta na zanieczyszczenia, żurawika z wysięgnikiem hydraulicznym chwytakowym, urządzenia dźwigowego hakowego z trawersą, kabiny operatorskiej do sterowania)

lub

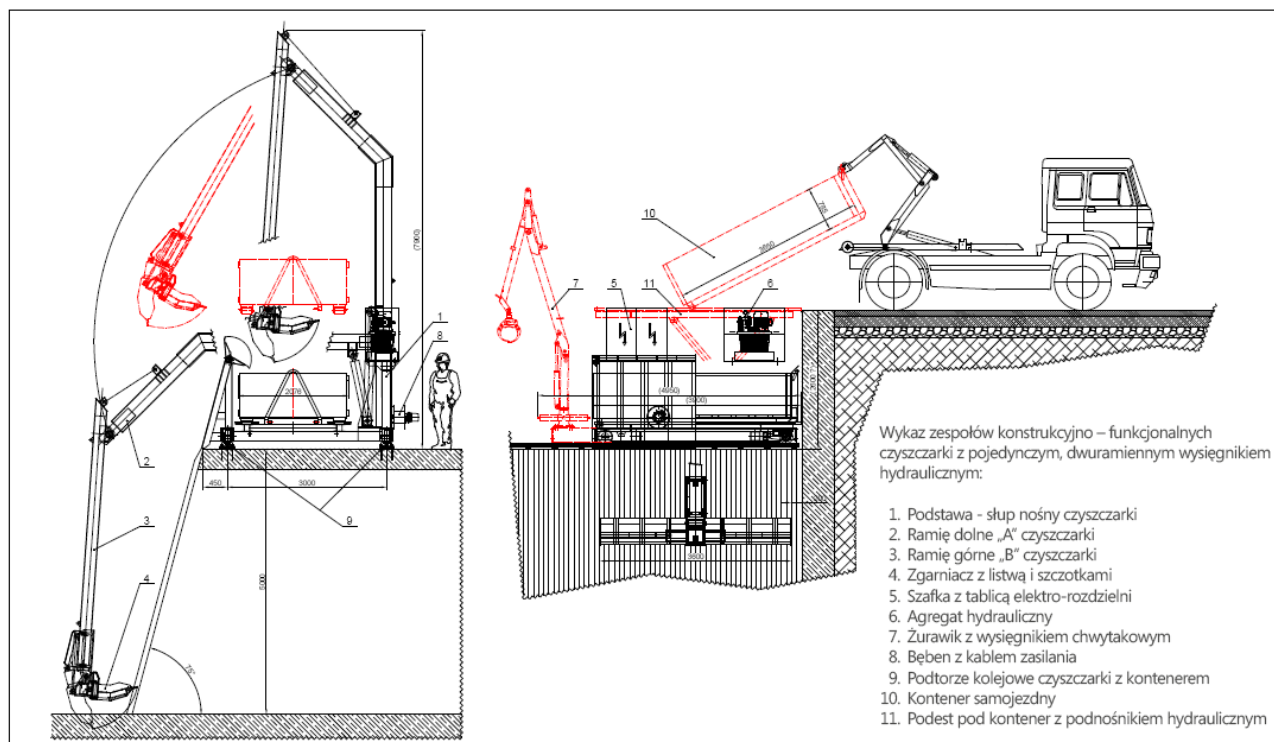
- konstrukcji słupa nośnego w wersji stacjonarnej, umocowanej do żelbetowego fundamentu płyty nad wlotem bądź w wersji jezdnej – osadzonej na ruchomej platformie (wózku jezdny) poruszającej się po szynowym podtorzu;
- mechanizmu opuszczania/podnoszenia pracującego wychylnie w cyklu dół/góra wzdłuż kraty wysięgnika (pojedynczego/ podwójnego, dwuramiennego lub teleskopowego) o napędzie hydraulicznym z przegubowo umocowanym na nim zgarniaczem (również w wersji linowej),

lub

- mechanizmu opuszczania/podnoszenia, złożonego z trójlinowej wciągarki z zawieszonym na nim odpowiednio ciężkim zgarniaczem. Wciągarka pod-

wieszona jest do belki chwytakowej jezdnej portalu;

- zgarniacza podwieszonego linowo do elektrycznej wciągarki lub umocowanego przegubowo na pojedynczym lub podwójnym, dwuramiennym wysięgniku o napędzie hydraulicznym. Krawędź korpusu zgarniacza wyposażona jest w utwardzoną listwę zgarniającą, zbierającą zanieczyszczenia z czołowej strony kraty oraz dodatkowo w szczotki do czyszczenia z osadów wewnętrznej strony konstrukcji kraty;
- kabiny operatorskiej z pulpitem do ręcznej i półautomatycznej obsługi czyszczarki;
- układu hydraulicznego napędu do różnych wersji wysięgników (złożonego z agregatu, siłowników oraz wysokociśnieniowych przewodów rozprzodających – elastycznych i stałych) do obsługi posuwu dół/góra oraz docisku do kraty ramion wysięgnika ze zgarniaczem;
- żurawika z hydraulicznym wysięgnikiem typu HIAB z polipowym chwytakiem (konstrukcyjnie umocowanym na platformie jezdnej portalu). Służy on do wydobywania z wody oraz dna kanału/zbiornika większych i cięższych, pływających bądź zatopionych przedmiotów, które mogą blokować, a nawet czasowo uniemożliwiać ciągłą pracę zgarniacza na kracie;
- kontenera na skratki z własnym układem jezdny o napędzie elektrycznym, z otwieraną tylną ścianką, drenażowym dnem i uchwytami na planke do wciągania na ramę samochodu ciężarowego. Napędzony kontener dojeżdża do miejsca dalszego załadunku;
- koryta umieszczonego za kratą – wzdłuż jej szerokości – do układania skratek, ich mechanicznego/ręcznego przesuwania do kontenera. Tę funkcję odkładu może spełniać systematycznie czyszczone betonowe podłoże za kratą;
- szynowego podtorza ze zderzakami i hakiem do unieruchamiania czyszczarki w okresie remontów, silnych wiatrów (przekraczających  $V = 20 \text{ m/s}$ ). Szynowe torowisko posiada trwałe oznakowanie stref pracy, co wykorzystywane jest w trybie pół- i automatycznego sterowania pracą czyszczarki;
- przenośnika taśmowego lub układu transportu skratek złożonego z przenośników o samonośnej konstrukcji, bębna napędowego i bocznych osłon;
- wyposażenia elektrosterującego, składającego się z głównej rozdzielni, kabiny operatorskiej z pulpitem oraz komputera z oprogramowaniem sterującym na stanowisku wewnątrz obiektu do sterowania pracą czyszczarki – lokalnie z kabiny operatorskiej na platformie lub zdalnie z centralnego stanowiska w obiekcie albo poza nim, w następujących trybach (reżimach):



Rys. 1 Schemat znormalizowanej czyszczarki z napędem hydraulicznym

- ręcznym (serwisowym) – używanym wyłącznie do ustawienia wysięgnika ze zgarniaczem w pozycji wyjściowej do pracy (po awaryjnym zatrzymaniu), podczas napraw, regulacji i prób. Wykonywany jest bez zabezpieczenia ze strony czujników blokujących pracę czyszczarki w przypadkach niewłaściwej pozycji urządzenia, przeciążenia (wzrostu ciśnienia) i innych stanów awaryjnych;
- półautomatycznym – używanym do obsługi pojedynczego cyklu czyszczenia krat z pozycji awaryjnie zatrzymanej lub wyjściowej (nad kratą). Czujniki blokujące zabezpieczają pracę czyszczarki w przypadku awarii;
- automatycznym – używanym do obsługi pracy czyszczarki w pełnych cyklach wg nastawionych parametrów kontrolnych (np. różnicy poziomu wody przed i za kratą, ustawienia czasowego, temperatury otoczenia). Czujniki blokujące działanie czyszczarki w przypadkach awaryjnych są włączone.

Zasady działania znormalizowanej czyszczarki krat w wersji z napędem hydraulicznym obrazuje rys.1.

### Typy i wersje użytkowe znormalizowanych czyszczarek

Uwzględniając różnorodność warunków techniczno-eksploatacyjnych obiektów hydrotechnicznych, w praktyce eksploatacyjnej występują zazwyczaj cztery typy i wersje konstrukcyjne urządzeń czyszczących kraty wlotu:

- a) czyszczarki linowe, szynowe z ruchomym portalem o napędzie elektrycznym;

- b) czyszczarki z podwójnym, dwuramiennym wysięgnikiem o napędzie hydraulicznym, stacjonarne;
- c) czyszczarki z pojedynczym, dwuramiennym wysięgnikiem o napędzie hydraulicznym, jezdne lub stacjonarne;
- d) czyszczarki z teleskopowym wysięgnikiem hydraulicznym, stacjonarne.

**Czyszczarka linowa, szynowa, z ruchomym, wieżowym portalem o napędzie elektrycznym z kontenerem, rozbudowana o dwa urządzenia dźwigowe składa się z:**

- zgarniacza z masywnym korpusem o udźwigu przeciętnie 700-2000 kG, zawieszonego na 3 linach wciągarki zamocowanej na górnym nośniku portalu, czyszczącego na głębokość  $H = 19$  m;
- portalu wieżowego z układem jezdny, ekranem ślizgowym, kontenerem oraz kabiną operatorską;
- żurawika – hydraulicznego wysięgnika typu HIAB z chwytakiem polipowym

i dźwigu hakowego (do obsługi zamknięć wlotu i kontenera).

Ten wielkogabarytowy i wieloczynnościowy typ czyszczarki o masie całkowitej rzędu 30 ton wykonuje maksymalny zakres funkcji użytkowych na nowo budowanych oraz całkowicie modernizowanych elektrowniach. Charakteryzuje się maksymalnymi parametrami eksploatacyjnymi dotyczącymi głębokości czyszczenia, udźwigu zgarniacza, udźwigu żurawika ( $Q = 5$  T) i dźwigu hakowego ( $Q = 15$  T). Czyszczarka jest sterowana lokalnie lub zdalnie we wszystkich trybach (ręcznym, pół- i automatycznym) z kabiny na portalu lub bezprzewodowo z centralnego stanowiska sterowania obiektem.

**Czyszcarka z podwójnym, dwuramiennym wysięgnikiem o napędzie hydraulicznym, stacjonarna składa się z:**

- podwójnego, dwuramiennego wysięgnika o napędzie hydraulicznym, pracującego wychylnie w cyklu dół/góra, ze słupem nośnym na konstrukcji nośnej platformy, ze zgarniaczem z utwardzoną listwą zgarniającą oraz szczotkami ścierającymi;
- platformy z przenośnikiem taśmowym, wyposażonej w ekran ślizgowy, kontener, stanowisko do lokalnego sterowania z rozdzielnią oraz agregatu hydraulicznego;
- żurawika – wysięgnika hydraulicznego typu HIAB z chwytakiem polipowym.

Ten typ czyszcarki może występować przy obiektach modernizowanych o ograniczonych warunkach przestrzenno-konstrukcyjnych w rejonie wlotu. Wykonuje on, podobnie jak czyszcarka linowa, maksymalny zakres funkcji użytkowych, ale charakteryzuje się parametrami użytkowymi spełniającymi niższe wymagania, np. udźwig zgarniacza  $Q=500-1200$  kg, głębokość czyszczenia  $H=8,5$  m, szerokość zgarniacza  $B=11,3$  m (lub mniejsza  $B=6,2$  m), długość przenośnika wg potrzeby np.  $L=45$  m. Czyszcarka jest sterowana lokalnie lub zdalnie we wszystkich trybach (ręcznym, pół- i automatycznym) z kabiny na portalu lub bezprzewodowo z centralnego stanowiska sterowania obiektem.

**Czyszcarka z pojedynczym, dwuramiennym wysięgnikiem o napędzie hydraulicznym, jezdna lub stacjonarna składa się z:**

- pojedynczego, dwuramiennego wysięgnika z napędem hydraulicznym, pracującego wychylnie w cyklu dół/góra, ze słupem nośnym na konstrukcji platformy jezdnej (lub przytwierdzonego na stałe do podłoża płyty nad wlotem), ze zgarniaczem z utwardzoną listwą zgarniającą oraz szczotkami ścierającymi;
- platformy z układem jezdny, wyposażonej w ekran ślizgowy, kontener lub przenośnik taśmowy/koryto (zamiennie), stanowiska do lokalnego sterowania (z rozdzielnią) oraz agregatu hydraulicznego;
- żurawika słupowego z obrotowym wysięgnikiem do obsługi kontenera lub żurawika z hydraulicznym wysięgnikiem typu HIAB z polipowym chwytakiem i tawersą, służącego do wydobywania ciężkich przedmiotów i kontenera.

Ten typ czyszcarki jest najpowszechniejszym rozwiązaniem technologicznym czyszczenia krat i obsługi zanieczyszczeń, stosowanym w małych elektrowniach wodnych i pompowniach, pomimo występujących ograniczeń przestrzenno-konstrukcyjnych. Wykonuje on zawężony zakres funkcji użytkowych (bez czynności żurawika z polipowym wysięgnikiem) oraz charakteryzuje się uboższymi parametrami, np. udźwig zgarniacza  $Q = 250-1000$  kG, głębokość czyszczenia  $H =$  do  $8,6$  m, szerokość zgarniacza  $B =$  do  $6,2$  m. Czyszcarka jest sterowana lokalnie lub zdalnie we wszystkich trybach (ręcznym, pół- i automatycznym) z

cabiny/ stanowiska na portalu lub bezprzewodowo z centralnego stanowiska sterowania obiektem.

**Czyszcarka z teleskopowym wysięgnikiem hydraulicznym, stacjonarna (z boczną konstrukcją wsporczą) składa się z:**

- teleskopowego wysięgnika z napędem hydraulicznym, pracującego w cyklu dół/góra, złożonego z ramienia osłonowego z prowadnicami oraz wysuwanego ze zgarniaczem z utwardzoną listwą zgarniającą i szczotkami ścierającymi;
- portalu złożonego z belki poziomej zespolonej z osłonowym (niewysuwającym) ramieniem wysięgnika, umocowanej na bocznych podporach, posadowionych na ściankach żelbetowych nabrzeży kanałowego wlotu oraz elektrycznej rozdzielni z pulpitem i agregatem hydraulicznym
- ekranu ślizgowego (jako przedłużenia kraty wlotu) i koryta na skratki, umocowanych do konstrukcji nośnej posadowionej na żelbetowym podłożu płyty nad wlotem.

Ten typ czyszcarki (obsługiwanej hydraulicznie) jest technologicznie najprostszym urządzeniem czyszczącym o wysokiej skuteczności eksploatacyjnej. Przeznaczony jest dla mniejszych elektrowni, w których nie jest możliwe wykorzystanie płyty nad kanałowym wlotem do montażu konstrukcji nośnej platformy innych typów czyszczarek z wysięgnikami hydraulicznymi. Czyszcarka jest sterowana lokalnie lub zdalnie we wszystkich trybach (ręcznym, pół- i automatycznym) z kabiny/stanowiska na portalu lub bezprzewodowo z centralnego stanowiska sterowania obiektem.

**Podsumowanie**

Powszechność, z jaką nasi południowi sąsiedzi – zwłaszcza właściciele prywatnych elektrowni wodnych przejętych lub zakupionych od zarządów zlewni dużych czeskich rzek – podchodzą do problemu efektywnej modernizacji ochrony wlotu hydroelektrowni oraz wykorzystania głównie czyszczarek z wysięgnikiem hydraulicznym jest najlepszym dowodem potwierdzającym opłacalność ekonomiczną tych modernizacji. Nie chodzi przecież o nie do końca uzasadnione względami eksploatacyjnymi podnoszenie standardu technicznego elektrowni w dużych spółkach czy też mniejszych MEW, które czasem mogą być przeprowadzone w oderwaniu od realiów eksploatacyjnych oraz ekonomicznej opłacalności.

# Dobre praktyki w postępowaniach środowiskowych dla małych elektrowni wodnych - przykłady realizacji

Łukasz Kalina

Instytut OZE Sp. z o. o., Kielce  
e-mail: lukasz.kalina@ioze.pl

## Wstęp

Szereg doświadczeń zgromadzonych na przestrzeni lat w zakresie prowadzenia postępowań środowiskowych dla małych elektrowni wodnych pozwolił Instytutowi OZE wypracować skuteczny schemat pracy w ramach tego typu projektów. Skuteczność w omawianym przypadku oznacza uzyskanie korzystnej decyzji środowiskowej, czyli takiej, która swoimi zapisami, oprócz ochrony poszczególnych komponentów środowiska przyrodniczego, gwarantuje również opłacalność ekonomiczną planowanego przedsięwzięcia.

## Idea procedury ooś

Podstawą działań, jakie w ramach oceny oddziaływania na środowisko są podejmowane, jest potrzeba osiągnięcia konsensusu pomiędzy tym, co właściwe ze środowiskowego punktu widzenia, a tym co jest akceptowalne przez inwestora z uwagi na komercyjny charakter przedsięwzięcia. Praktyka pokazuje, że forma, w jakiej prowadzone jest postępowanie środowiskowe (ze względu na stopień swojego skomplikowania) tworzy sprzyjający grunt dla negocjowania z organem prowadzącym i organami opiniującymi rodzaju i zakresu działań zapobiegawczych i minimalizujących, jakie powinny zostać w ramach inwestycji podjęte. Warto tę opcję podczas postępowania środowiskowego wykorzystywać.

## Minimalizacja oddziaływania MEW

W przypadku małych elektrowni wodnych, bazujących na wykorzystaniu potencjału energetycznego źródła odnawialnego, wydatnym atutem jest prośrodowiskowy charakter inwestycji, zwłaszcza biorąc pod uwagę zobowiązania Polski wynikające z podpisanego Pakietu Klimatyczno – Energetycznego czy uwarunkowania krajowego prawodawstwa w tym zakresie. Na czynnik ten warto zwrócić uwagę w przygotowywanej dokumentacji środowiskowej. W ocenie organów takich jak Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska jest to okoliczność istotnie podnosząca zasadność realizacji inwestycji związanej z ingerencją w stabilność ekosystemu rzeczno. Lokalizacja obiektów MEW na ciekach lub przy zbiornikach wodnych wiąże się w związku z tą ingerencją z potrzebą zaproponowania na etapie środowiskowym inwestycji, a później realizacji, odpowiednich skutecznych działań minimalizujących oddziaływanie inwestycji. Elementem przedsięwzięcia hydrotechnicznego generującym największe koszty, a jednocześnie zapewniającym jego zgodność z zapisami Ramowej Dyrektywy Wodnej oraz dokumentów takich

jak rozporządzenia w sprawie warunków korzystania z wód poszczególnych regionów wodnych jest zapewnienie drożności obiektu piętrzącego dla migracji fauny wodnej. W praktyce sprowadza się to do potrzeby wykonania przepławki o odpowiednio dobranych parametrach i wysokiej sprawności.

## Podstawa dokumentacji środowiskowej

Bardzo wiele zyskuje inwestor przywiązując odpowiednią wagę do wykonania odpowiednio szczegółowej i przemyślanej koncepcji technicznej przedsięwzięcia (rys. 1), na założeniach której dokumentacja środowiskowa bazuje i pozwala stworzyć docelowe ramy realizacji przedsięwzięcia. Parametry graniczne podane w decyzji środowiskowej silnie predestynują ostateczny kształt inwestycji. Niestety dość często popełnianym w branży błędem jest staranie się o decyzję środowiskową dla inwestycji o kształcie niedoprecyzowanym, w lokalizacji, dla której nie wykluczono w ocenie wstępnej ryzyk środowiskowych - a więc podejmowanie działań nieukierunkowanych, przypadkowych, często efektywnych – kończących się wydaniem decyzji, ale w żadnym stopniu nie gwarantujących powodzenia inwestycji.



Rys.1 Schemat postępowania w ramach przygotowania inwestycji do procedury środowiskowej

## Zwiększanie szans powodzenia inwestycji

Wśród cech lokalizacji, które istotnie zwiększają prawdopodobieństwo powodzenia etapu środowiskowego inwestycji, a które obligatoryjnie powinny zostać wzięte pod uwagę we wstępnej ocenie lokalizacji pod inwestycję, wskazać należy: stan techniczny istniejącego piętrzenia, w tym jego drożność i potrzebę lub brak potrzeby jego podwyższania, charakter terenu, w jakim piętrzenie jest zlokalizowane (tereny otwarte/zurbanizowane), dotychczasowy sposób użytkowania piętrzenia, prawidłowy zasięg oddziaływania inwestycji i położenie terenu inwestycyjnego względem obszarowych form ochrony przyrody.

## Praktyczne uwagi

Bazując na doświadczeniach przy prowadzeniu postępowań środowiskowych dla inwestycji zlokalizowanych zarówno na największych rzekach w Polsce (Odra, Wisła), jak i ciekach drugo- czy trzeciorzędowych można sformułować wiele praktycznych wskazówek. Pierwsza z nich dotyczy utrzymywania ciągłego kontaktu z organem prowadzącym postępowanie środowiskowe oraz organami opiniującymi w sprawie. Takie podejście umożliwia często przyspieszenie przebiegu sprawy, ale też pozwala odpowiednio zareagować na mogące wyniknąć z analizy przedstawionej dokumentacji kwestie sporne. Nieprzeceniona jest wartość prawidłowo wykonanej inwentaryzacji przyrodniczej, w przygotowywaniu której udział powinni brać doświadczeni przyrodnicy. Wielu inwestorów podchodzi lekceważąco do tego elementu dokumentacji środowiskowej, z doświadczeń zaś Instytutu OZE wynika, iż jest to bardzo duża wartość dla RDOŚ, zdecydowanie ułatwiająca dokonanie oceny wpływu przedsięwzięcia na biotyczne elementy środowiska przyrodniczego.

Postępowanie środowiskowe wiąże się nie tylko z oceną wpływu inwestycji na środowisko, ale także z określeniem przedsięwzięcia w kształcie gwarantującym poszanowanie praw właścicieli nieruchomości graniczących z terenem inwestycyjnym. W powiązaniu z aspektem społecznym warto podkreślić wagę prawidłowego określenia zasięgu oddziaływania przedsięwzięcia, na podstawie którego urzędnik prowadzący postępowanie określa strony postępowania w procedurze środowiskowej. Jest to o tyle istotne, że nie włączenie do postępowania którejś ze stron może implikować potrzebą jego powtórzenia.

Podczas wykonywania analiz oddziaływania planowanej inwestycji na otoczenie należy opierać się na precyzyjnych informacjach i nowoczesnych technologiach. Nieodłącznym narzędziem wspomagającym projektowanie jest oprogramowanie GIS, które wykorzystując chmurę punktów pochodzącą z lotniczego skaningu laserowego (LIDAR) daje nieograniczone możliwości w modelowaniu przestrzennym.

## Podsumowanie

Najbardziej oczywistym wnioskiem płynącym z różnorodnych doświadczeń w zakresie postępowań środowiskowych jest ten, aby doceniać wagę omawianego etapu przygotowywania inwestycji do realizacji. Parametry określone w decyzji środowiskowej tworzą ramy przedsięwzięcia, a niepowodzenie w uzyskiwaniu decyzji środowiskowej całkowicie blokuje dalsze kroki na drodze do realizacji inwestycji. Stąd etap ten wymaga dokładnego przygotowania, weryfikacji wielu czynników ryzyka inwestycyjnego, a przede wszystkim zaangażowania do jego prowadzenia osób, które swoją wiedzą i doświadczeniem zapewnią wykonanie dokumentacji odpowiedniej jakości i dzięki temu zminimalizują ryzyko nieuzyskania pożądanej decyzji administracyjnej.

## Autor

**Lukasz Kalina**, mgr inż. w specjalności "przetwarzanie i użytkowanie energii elektrycznej oraz elektrotechnika i energetyka odnawialna", ukończył Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Świętokrzyskiej w roku 2011. Od roku 2011 r. zatrudniony na różnych stanowiskach w Instytucie Odnawialnych Źródeł Energii. Obecnie kierownik Działu Rozwoju w tymże biurze projektowym. Zakres jego kompetencji obejmuje głównie rozwijanie nowych projektów w obszarze odnawialnych źródeł energii, głównie inwestycji małej energetyki wodnej.

## **Sesja VI**

Innowacje techniczne

## **Session VI**

Technical innovations

6.1. Stanisław Gawron, Robert Rossa:

*Przykładowe zastosowania generatorów PMSG lub nowych zespołów prądotwórczych z generatorami PMSG w małych elektrowniach wodnych*

6.2. Egil Opsahl :

*The CleanPower Turbinator® eco-flow solution*

6.3. Egidijus Kasiulis, Linas Šilinis:

*Seaport breakwater as a renewable energy power plant*

**Notatki**

**Notes**

## Przykładowe zastosowania generatorów PMSG lub nowych zespołów prądowórczych z generatorami PMSG w małych elektrowniach wodnych

**Stanisław Gawron**

Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL,  
Katowice

e-mail: s.gawron@komel.katowice.pl

**Robert Rossa**

Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL,  
Katowice

e-mail: r.rossa@komel.katowice.pl

### Wstęp

Generatory synchroniczne z magnesami trwałymi są zazwyczaj prostej budowy. Najczęściej spotykane są takie konstrukcje, w których część zewnętrzna, zwana potocznie stojanem, jest nieruchoma, natomiast część wewnętrzna, zwana wirnikiem obraca się. Generatory te nie mają uzwojenia wzbudzenia w wirniku, a strumień wzbudzenia maszyny jest wytwarzany przez wysokoenergetyczne magnesy trwałe z domieszkami pierwiastków ziem rzadkich, zwykle są to magnesy odmiany NdFeB. Dzięki wzbudzeniu od magnesów trwałych i wyeliminowaniu uzwojenia wzbudzenia, straty cieplne w wirnikach maszyn z magnesami trwałymi są praktycznie pomijalne, co skutkuje wysoką sprawnością generatorów, najwyższą wśród dostępnych obecnie maszyn elektrycznych wirujących. Inną istotną zaletą tego typu maszyn jest możliwość generowania energii elektrycznej w całym zakresie prędkości obrotowej [3, 7]. Ze względu na swoje zalety, generatory z magnesami trwałymi znalazły szerokie zastosowanie, głównie w elektrowniach wiatrowych i wodnych [2]. W niniejszej publikacji zaprezentowano innowacyjne zespoły do elektrowni wodnych wykorzystujące generatory synchroniczne z magnesami trwałymi, wraz z przykładowymi aplikacjami w kraju.

### Zastosowanie prądnicy z magnesami w małej elektrowni wodnej zbudowanej systemem gospodarczym

Na rysunku 1 przedstawiono jeden z pierwszych w kraju przykładów małej, przydomowej elektrowni wodnej, zbudowanej systemem gospodarczym z wykorzystaniem generatora PMSG [2]. Elektrownia zbudowana jest na niewielkim cieku wodnym znajdującym się w Miliku koło Muszyny i eksploatowana jest na potrzeby własne. Na początku 2004 roku w elektrowni zainstalowano prądnicę synchroniczną z magnesami trwałymi produkcji KOMEL o mocy 1,5 kW, która bezawaryjnie pracuje do dnia dzisiejszego.

Wyprodukowana energia elektryczna, o zmiennych parametrach, uzależnionych od natężenia przepływu wody, jest bezpośrednio zużywana na potrzeby gospodarcze: do ogrzewania ciepłej wody użytkowej oraz do dogrzewania domu. Elektrownia z rysunku 1 nie oddaje energii do sieci energetycznej, jednak nic nie stoi na przeszkodzie, by do zacisków prądnicy dołączyć odpowiedni przekształtnik energoelektroniczny, tak aby

uzyskać energię o parametrach sieci energetycznej, np. 3x400 V, 50 Hz. Ze względu na niewielką moc uzyskiwaną z koła wodnego (ok. 1,5 kW), taka modernizacja wydaje się być jednak nieopłacalna.



**Rys. 1.** Mała przydomowa elektrownia wodna w wykonaniu amatorskim o mocy 1,5 kW, strzałką pokazano miejsce zainstalowania prądnicy (źródło: własne autorów).

### Modernizacja elektrowni wodnej o mocy 75kW

Na rysunku 2a przedstawiono fotografię zespołu urządzeń do produkcji energii elektrycznej, składającego się z pasowej przekładni mechanicznej oraz 3-fazowej prądnicy indukcyjnej.

Elektrownia w 2011 roku przeszła modernizację. W miejsce starego, awaryjnego zespołu zamontowano nowoczesny generator synchroniczny z magnesami trwałymi PMSG, wraz z przełącznikiem częstotliwości. Moc znamionowa generatora to 75 kW. Na rysunku 2b przedstawiono fotografię pokazującą bezprzekładniową prądnicę z magnesami trwałymi wraz przełącznikiem częstotliwości (szafa po lewej stronie fotografii 2a). Dzięki bezprzekładniowemu zamontowaniu generatora bezpośrednio nad turbiną, na wspólnym wale, nowy układ zespołu prądowórczego wymaga mniejszej powierzchni w budynku elektrowni, niż układ sprzed modernizacji, natomiast nowy zespół prądowórczy jest wyższy.

W celu minimalizacji kosztów inwestycyjnych, w zastosowanej prądnicy PMSG wykorzystano szereg podzespołów z silników elektrycznych ogólnego zastosowania. Chłodzenie prądnicy odbywa się poprzez użebrowany kadłub zewnętrzny, który jest chłodzony z wentylatora własnego umieszczonego na wale prądnicy.



a)



b)

Rys. 2. Elektrownia wodna o mocy 75kW z: a) prądnicą z silnika indukcyjnego z przekładnią pasową; b) bezprzekładniową prądnicą z magnesami trwałymi (źródło: KOMEL).

### Nowy zespół prądotwórczy o mocy 160 kW w małej elektrowni wodnej

Kolejnym ciekawym przykładem jest modernizacja małej elektrowni wodnej zlokalizowanej na Brdzie w Bydgoszczy, na Wyspie Młyńskiej. Na rysunku 3a zaprezentowano jeden z dotychczasowych zespołów prądotwórczych, składający się z przekładni pasowej oraz silnika indukcyjnego pracującego jako prądnica. Właśnie ten układ poddano modernizacji i w jego miejsce zastosowano, podobnie jak we wcześniejszym przypadku, układ bezprzekładniowy składający się z prądnicy z magnesami trwałymi PMSG oraz przekształtnika energoelektronicznego. Na zdjęciach pokazanych na rysunku 3 można zauważyć, że dzięki wyeliminowaniu przekładni pasowych, nowe rozwiązanie

zespołu prądotwórczego pozwoliło wygospodarować bardzo dużo miejsca w budynku elektrowni.

Chłodzenie generatora odbywa się poprzez odpowiednio zaprojektowany i wykonany płaszcz wodny, a realizowane jest ono w obiegu zamkniętym. Wymiennik ciepła zamontowano w wodzie, pod posadzką budynku elektrowni.



a)



b)

Rys. 3. Elektrownia wodna o mocy 160 kW z: a) prądnicą z silnika indukcyjnego z przekładnią pasową; b) bezprzekładniową prądnicą z magnesami trwałymi (źródło: KOMEL).

### Podsumowanie i wnioski końcowe

Polska jest jednym z niewielu krajów Europy, w których duża część dostępnego potencjału energetycznego, drzemącego w małych rzekach i strumieniach wodnych, na których można instalować małe hydroelektrownie wodne, wciąż pozostaje niewykorzystana. W latach 50 ubiegłego wieku w Polsce funkcjonowało około 6,5 tys. siłowni wodnych. Dziś jest ich zaledwie 750 i ponad 81 proc. potencjału technicznego na terenie naszego kraju jest niewykorzystane [8]. Są więc w

Polsce ogromne możliwości do rozbudowy sieci małych elektrowni wodnych.

Celem głównym publikacji było pokazanie, że w małych elektrowniach wodnych stosowane są już generatory z magnesami trwałymi PMSG lub stosuje się już całe bezprzekładniowe zespoły prądowórcze składających się z generatora PMSG i falownika. Tam, gdzie budowane są nowe elektrownie wodne, nie jest już uzasadnione technicznie stosowanie przekładni mechanicznych i mniej sprawnych prądnic indukcyjnych. Również w przypadku modernizacji pracujących już siłowni wodnych celem jest, z uwagi na znaczne podniesienie sprawności, stosowanie nowych zespołów prądowórczych z generatorami synchronicznymi z magnesami trwałymi.

Celem dodatkowym, ale istotnie ważnym artykułu, było zaprezentowanie możliwości technicznych drzemających w polskim przemyśle w zakresie opracowywania, wykonywania i instalacji zaawansowanych technicznie, wysokosprawnych zespołów prądowórczych. Zaprezentowane bezprzekładniowe zespoły prądowórcze o mocy 75 kW oraz o mocy 160 kW pracują bezawaryjnie, produkując przy tych samych warunkach wodnych zdecydowanie więcej energii, niż układy składające się z przekładni pasowej oraz generatora indukcyjnego.

## Literatura

- [1] **Raport Komisji Europejskiej z roku 2000** „Status report on variable speed operation in small hydropower”.
- [2] **Gawron S.:** „Wybrane, innowacyjne projekty maszyn elektrycznych z magnesami trwałymi i ich praktyczne zastosowania”, *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, nr 1/2016 (109), str. 1-10.
- [3] **Glinka T.:** „*Maszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi*”, wyd. Pol. Śląskiej, Gliwice 2002 r.
- [4] **Pistelok P., Rossa R.:** „Generatory synchroniczne z magnesami trwałymi dedykowane dla małych elektrowni wodnych”, *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe*, nr 2/2015 (106).
- [5] **Pistelok P.:** „Jednostka prądowórcza z generatorem z magnesami trwałymi – wyniki badań”, *Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe* nr 1/2014 (101), str. 193-198.
- [6] **Rossa R., Pistelok P.:** „Małe elektrownie wodne jako źródło energii odnawialnej”, *Rynek Energii*, nr 2 (111)/2014, str. 75.
- [7] [www.komel.katowice.pl](http://www.komel.katowice.pl).
- [8] <http://trmew.pl/index.php?id=91>

## Autorzy

**Stanisław Gawron**, dr inż., ukończył Wydział Elektryczny Politechniki Śląskiej w roku 2002. Od tego czasu zatrudniony jest w Instytucie Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL. W roku 2013 został przyznany mu stopień doktora nauk technicznych. Obecnie kierownik Pracowni Maszyn Prądu Przemiennej, specjalista badawczo-techniczny oraz członek Rady Naukowej. Jego zainteresowania zawodowe obejmują maszyny elektryczne wirujące, szczególnie z magnesami trwałymi.

**Robert Rossa**, dr inż., ukończył Wydział Elektryczny Politechniki Śląskiej w roku 2000. Od tego czasu zatrudniony jest w Instytucie Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL. W roku 2006 został przyznany mu stopień doktora nauk technicznych. Obecnie specjalista badawczo-techniczny oraz członek Rady Naukowej. Jego zainteresowania zawodowe obejmują maszyny elektryczne wirujące, szczególnie z magnesami trwałymi.

*Praca finansowana ze środków publicznych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, w ramach projektu nr PBS1/B4/4/2012 pt. „Wysokosprawne zespoły prądowórcze dla małych hydroelektrowni”.*



## The CleanPower Turbinator® eco-flow solution

**Egil Opsahl**

CleanPower AS

Setesdalsveien 110, 4617 Kristiansand S, Norway

e-mail: egil.opsahl@cleanpower.no

Norwegian hydropower producer Agder Energi Vannkraft AS (AEV) inaugurated its new Iveland II hydropower plant mid-2016. Linked to this development was an obligation to install a new eco-flow from the Gåseflå dam, situated 40 km north of Kristiansand in Southern Norway. In order to fulfil the requirements, various civil works, piping and technical equipment for release and flow measurement would have had to be installed.

The head is only 14 meters, and the release has seasonal variations, so a conventional turbine solution was deemed unsuitable. AEV concluded to start an R&D project to develop a solution for the eco flow that is compact and cost efficient, and exploits well the available energy. The solution can be of interest for other power producers in Norway and Europe, through the ongoing implementation of the EU Water Framework Directive, which will have significant impact on the European hydropower sector. The solution can also be used for existing eco-flow releases, independent of the EU directive.

Through the R&D project, CleanPower AS has installed their newly developed solution that will produce power from, while controlling and measuring the delivered eco-flow. The installation is expected to produce around 1,6 GWh per year, and continuously control the eco-flow release.

The CleanPower solution is based on the Turbinator®, their axial flow turbine with integrated generator, combined with installations that control and measure the flow release. A continuously adjusted bypass valve secures correct flow release under varying reservoir water levels. The adaptation has minimal impact of the nature and environment.

### Author

**Egil Opsahl**, MSc, graduated in 1988 in electrical engineering from the Norwegian University of Science and Technology in Trondheim, Norway.

His work has included development of electronic components and system for both oil exploration and for space satellites and launchers, in Norway and France. As CEO of CleanPower AS since 2010, in charge of the development and commercialization of the Turbinator, a small hydro turbine with integrated PM generator.



**Fig. 1: Gåseflå eco-flow hydropower plant**



**Fig. 2: The Turbinator**

# Seaport breakwater as a renewable energy power plant

Egidijus Kasiulis, Linas Šilinis

Institute of Water Resources Engineering, Aleksandras Stulginskis University  
10 Universiteto str., LT-53361, Akademija, Kaunas distr., Lithuania  
e-mail: egidijus.kasiulis@asu.lt, linas.silinis@stud.asu.lt

## Introduction

Ocean and sea waves concentrate in themselves the power of the sun. They are originated by consequence of wind blowing over the water surface. Thus, the stronger is wind, for longer duration it is blowing and the longer is the fetch, the higher waves can be generated. And the higher is the wave, the more power it is carrying. Although, oceans and seas are very hazardous environments, they also are untapped renewable resources of energy.

It is estimated that the global theoretical wave energy resources are 1-10 TW [1]. Whereas in Europe they are estimated to represent 16 % of the global total [2]. There are still many wave energy converters (WECs) prototypes in the world, nevertheless only one technology so far proved its technological readiness. This technology is called oscillating water column (OWC) and one of the advantages of it is the possibility to build WECs in the existing seaports structures – breakwaters [3].

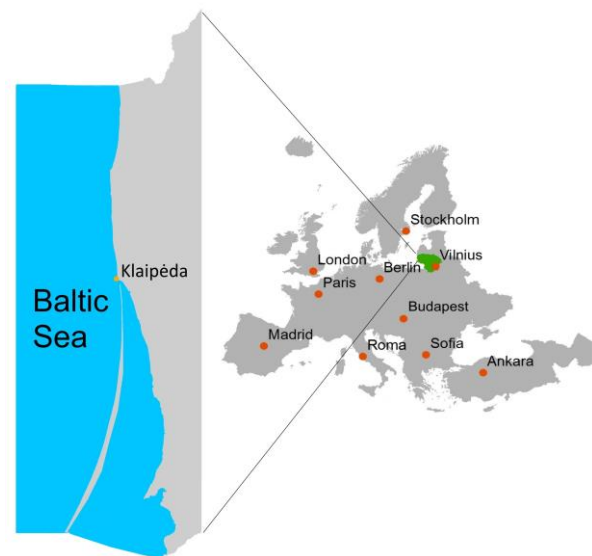
Installing WEC using existing seaport structures has several advantages. Firstly, it is the merit of using seaport infrastructure during the construction phase. Secondly, seaport means that electricity consumer for the future plant is in the short distance. Here it is also worth to mention easier nature of construction of OWC plant with lesser amount of work under water comparing with other WECs, especially deep water ones.

The main purpose of breakwaters is to dissipate the energy of the waves. Building an OWC power plant means that breakwater can become a multipurpose structure generating electricity. In Lithuania, the Klaipėda Seaport breakwaters (Fig.1) can draw attention in the future as a suitable site for an installation of a WEC. Furthermore, the ongoing discussion concerning the reconstruction of Klaipėda Seaport breakwaters could lead to a consideration of construction of OWC type wave energy converter. Therefore, the assessment of the distribution of the theoretical wave power potential alongside both of the Klaipėda Seaport breakwaters (northern and southern) is needed.

## Methodology

Available multi-year (1970-2010) visual wave height observations at Klaipėda coastal hydrometeorological station were used as an initial data which allowed determining multi-year monthly average wave heights

and average seasonal wave heights of the design years. Into the examined range of wave heights fall 69.9 % of the average monthly wave heights from the period of 1970-2010, hence this study reflects the situation during majority of the year alongside the Klaipėda Seaport breakwaters.



**Fig.1 The geographical position of the Klaipėda Seaport**

The analysed wave heights were used as offshore conditions in the numerical wind-wave model MIKE 21 NSW. This model was selected because it takes into account effects of the refraction and energy dissipation due to the bottom friction. Since, the coastal bathymetry of the studied site is quite regular and has negligible diffraction effects, this allows to avoid more sophisticated near-shore wave propagation models.

To assess the distribution of the theoretical wave power potential alongside the Klaipėda Seaport breakwaters, taking into consideration different wave propagation directions, wave power fluxes in the deep water (20 m depth) and alongside the Klaipėda Seaport breakwaters (around 8.5 m depth) were calculated using the parameterized JONSWAP wave spectrum modified for the Baltic Sea:

$$S(f) = K_m \frac{H_s^2 T_p}{(T_p f)^5} \exp \left[ -\frac{5}{4} \left( \frac{f_p}{f} \right)^4 \right] \gamma^\beta; \quad (1)$$

where  $K_m$  is an empirically determined constant (0,1786),  $H_s$  is the significant wave height,  $T_p$  is the

peak period,  $f_p$  is the peak period,  $f$  is the wave frequency and  $\gamma$  is the peak enhancement factor.

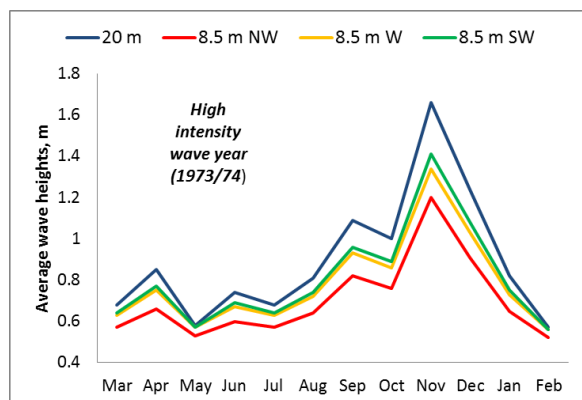
$$\beta = \exp\left(-\frac{(f - f_p)^2}{2\sigma^2 f_p^2}\right); \quad (2)$$

$$\sigma = 0.07 \text{ for } f \leq f_p, \sigma = 0.09 \text{ for } f > f_p,$$

where  $\sigma$  is the shape parameter.

## Results

The examination of the results of the numerical modelling of the wave propagation to the Klaipėda Seaport breakwaters revealed that the loss of the wave heights for each wave propagation direction alongside northern and southern breakwaters of the Klaipėda Seaport is different. Therefore here the results are presented where these losses are the lowest: alongside northern breakwater, when waves are propagating from the northwest (NW) and west (W); and southern breakwater, when they are propagating from the southwest (SW). The results for the wave heights loss during the high intensity wave year are presented in the Fig.2.



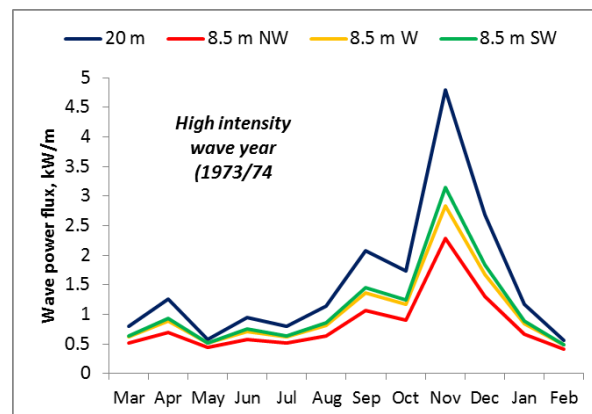
**Fig. 2 Variation of high intensity wave year's monthly average wave heights offshore and alongside the Klaipėda Seaport breakwaters**

From Fig. 2 it becomes clear that the rate of wave heights loss depends from the wave propagation direction. While the loss when waves are propagating from the SW and W are quite similar, the corresponding loss when waves are propagating from the NW can be up to two times higher. For example, propagating higher waves (1.24 m) reach breakwaters losing 0.16 m when propagating from SW, 0.21 m from W and 0.33 m from NW. Lower waves (0.68 m) lose 0.04 m, 0.05 m and 0.11 m, respectively.

The effect of the loss of the wave heights of the waves, propagating from offshore to the Klaipėda Seaport breakwaters, on the wave power flux in the high intensity wave year is shown in Fig.3.

Higher waves (1.24 m), when they reach breakwaters, lose 31 % of their wave power flux when they are propagating from the SW, 37 % when they are propagating from the W and even 51 % when they are propagating from the NW. Lower waves (0.68 m) lose 20 %, 23 % and 36 %, respectively. Hence, at first sight insignificant reduction of the wave height is causing

substantial loss of the wave power flux alongside breakwaters.



**Fig. 3 Variation of high intensity wave year's wave power flux offshore and alongside the Klaipėda Seaport breakwaters**

The Baltic Sea does not have high potential of the wave power, thus these losses are quite substantial. On the other hand, every consideration of building a wave energy converter not in the offshore areas will inevitably encounter the loss of the wave power flux.

## Conclusions

The breakwaters of the Klaipėda Seaport are designed to protect the port. They are facing powerful western directions waves and consequently could be used to generate electricity from them.

This study revealed that most frequent lower waves in best case scenario are losing only approximately 20 % of their power. The change in wave direction and intensification of the waves can considerably alter the wave power flux loss.

## References

1. Thorpe T.W.: 2010 *Survey of Energy Resources*, World Energy Council, London, 2011
2. Mendes R.P.G., Calado M.R.A., Mariano S.J.P.S.: *Wave energy potential in Portugal – assessment based on probabilistic description of ocean waves parameters*, Renewable Energy, 2012, No.47, pp.1-8
3. Torre-Enciso Y., Ortubia I., Lopez de Aquileta L.I., Marques J.: *Mutriku wave power plant: from the thinking out to the reality*. A paper delivered to the EWTEC 2009 Conference, Uppsala, 7-10 September 2009.

## Authors

**Egidijus Kasiulis**, PhD, graduated in 2015 in environmental engineering from Aleksandras Stulginskis University in Lithuania. Since 2016 he is junior research fellow at the Institute of Water Resources Engineering. Main research interests – conventional and hydrokinetic (ocean waves, river flow) energy conversion and its environmental impact.

**Linas Šilinis**, MSc, graduated in 2015 in hydraulic engineering from Aleksandras Stulginskis University in Lithuania. Since 2015 he is PhD student at the Institute of Water Resources Engineering. Main research interests – river hydrokinetic energy resources, hydropeaking and its environmental impact.

## **Sesja VII**

**Prace badawcze i badawczo-rozwojowe**

### **Session VII**

**Hydropower oriented research and R&D Project**

- 7.1. Siarhei V.Artsiamchuk, Gennadii I.Sidorenko:  
***Influence of the outlet system parameters  
of a horizontal bulb pump unit on its performance characteristics***
- 7.2. Tomáš Krátký, Jiří Šoukal, Jakub Kmec:  
***Multiobjective shape optimization of radial pump  
with respect to both pump and turbine regimes***
- 7.3. Vladimir Safonov, Anna Zykova, Alicja Krella, Janusz Steller,  
Grzegorz Gajowiec, Marek Szkodo, Hossein Ghaemi:  
***Cavitation erosion resistance of thick CrC coating deposition  
by the Arc-PVD method***

**Notatki**

**Notes**

## Influence of the outlet system parameters of a horizontal bulb pump unit on its performance characteristics

**Siarhei V. Artsiamchuk**

International Sakharov Environmental Institute  
of Belarusian State University, Minsk, Belarus

E-mail: [artemchuk56@mail.ru](mailto:artemchuk56@mail.ru)

**Gennadii I. Sidorenko**

St. Petersburg State Polytechnical University,  
St. Petersburg, Russia

E-mail: [sidorenko@cef.spbstu.ru](mailto:sidorenko@cef.spbstu.ru)

### Introduction

In connection with increased capacity of hydropower plants, increased requirements on the effectiveness of individual elements of the flow pathway and in particular, on the outlet (draft) tubes of power plants with horizontal bulb units, are ever more common. For low-pressure hydropower installations with horizontal units the cost of the outlet tube construction is up to 30 % of the whole construction works cost (Clifford 1981, Kline & Abbott & Fox 1959).

Outlet tube, being one of the main elements of the feeder tract, largely determines the technical and economic parameters of a pumping stations as well (Artsiamchuk, Sidorenko 2015).

It is designed for the following technological functions:

1. Conversion of kinetic flow energy into the pressure energy with minimum hydraulic losses in the outlet tube.
2. Formation of the flow pattern at the exit of a pump impeller.
3. Overflow and lock-up device of a pumping station.

To perform these functions the most effective elements of the outlet system are determined: adjustable guide vanes, the outlet stay vanes, discharge diffuser and the transition channel between the diffuser and the outlet channel. On the basis of analysis of the energy loss distribution in the flow path of hydraulic machines it is known that great power losses occur in the outlet tubes (Zubarev 1977, Gubin 1970, Varlamov 1976).

On the other hand, the level of hydraulic losses in the elements of the feeder tract largely determines the energy performance of low-pressure a pumping station with horizontal bulb unit.

Analysis of the ways to improve axial flow pumps shows that the possibility of increasing efficiency by improving the system impeller blades and that of the straightening guide vanes is a challenging task (Zubarev 1977, Varlamov & Yablonskii 1977).

At the same time outlet tubes, in which intense flow separation and irreversible losses of energy occur, show considerable potential for increasing the efficiency of horizontal capsular (bulb) units (Zubarev 1977).

The relatively large velocity head of the impeller axial pump and expansion of the flow in the outlet (discharge) tube causes the largest hydraulic energy loss. The influence of outflow device on the maximum efficiency point at the axial pump discharge characteristics has been also established (Bogdanovskii 1958).

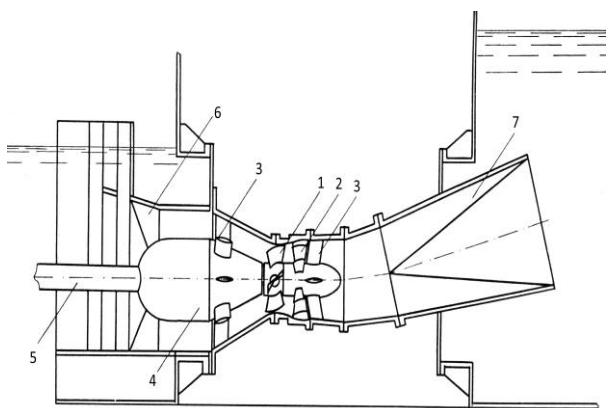
The size and shape of the outlet tube show a significant influence on the performance characteristics of a pump unit. In some cases, the increase in the overall size of the outlet tube is accompanied by an increase in capital investments for construction and assembly work on the pump power plant building with a horizontal capsule unit. Hence there exists an optimum variant of the outlet tube, in which the estimated expenditure of the pumping station will be minimal.

Investigations by Pravdivets 1972, Slisskiy 1970 show that the form of the downstream apron and its slope angle affect substantially velocity distribution in the exit section of the draft tube, which results in the change of efficiency and capacity of the turbine. The influence of conjunction slope behind the draft tube on the turbine efficiency was investigated. The conjunction slope varied from  $m=1:5$  to  $m=1:2$ . The estimation of energy efficiency has shown that with conjunction slope higher than  $m=1:2$ , the efficiency tends to decrease.

The investigations of a hydraulic unit model of Cherepovetskaya hydropower plant [Kompleksnye..., 1966] have shown that the reverse conjunction slope of less than  $m=1:4$  does not influence the flow pattern in the afterbay.

Layout solutions with rectilinear configuration of the feeder tract have found the widest application in the tidal power plants (TPP) and hydro power plants (HPP) with bulb units, as such a configuration reduces flow resistance in the hydraulic generating set flow path. Reduction of hydraulic losses can be also achieved by providing optimum flow conditions at the inlet of the diffuser (Gubin 1970, Purdy 1979, Neve & Wirasinghe 1978, Klein 1981, McDonald & Fox 1966, Zuykov 2010, Kharkov 2010). In some cases, outlet tubes with small uplift deflection of the diffuser can be used; this reduces the amount of excavation and concrete work on the underground part of the plant building (Rebernik 1974). In this connection two types of outlet tubes have

been investigated – a straight and a bent one. Figure 1 shows a pumping station block model with a horizontal bulb unit.

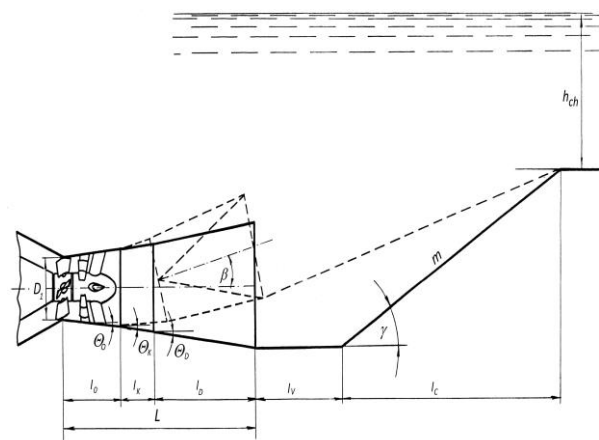


**Fig.1 A pumping station model with a horizontal bulb unit (1- impeller, 2- straightening guide vanes, 3- stay vanes, 4- streamlined capsule, 5- shaft housing, 6- closed water-supply chamber, 7- outlet tube diffuser)**

### Statement of the problem

#### Optimization task

The study was conducted in order to develop a computer model to optimize parameters of the outlet tubes of large pumping stations with horizontal capsular units. This model is a part of the general method of optimizing the parameters of pumping stations of water supply systems.



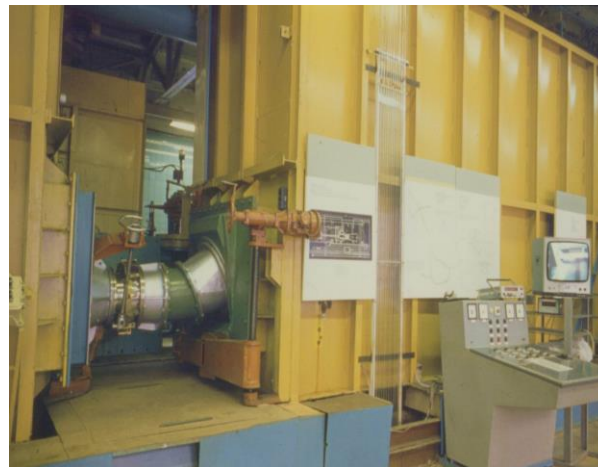
**Fig. 2. Geometric parameters of the outlet system**

To construct a model for optimizing the shape of the outlet tube the main parameters were identified. Their optimization should be carried out in conjunction (Clifford 1981). These are geometrical parameters and the type of the outlet tube. Geometrical parameters include the length of the outlet tube elements ( $l_o$ ,  $l_k$ ,  $l_D$ ,  $l_v$ ) and the opening angle of the outlet tube elements ( $\theta_o$ ,  $\theta_k$ ,  $\theta_D$ ). Geometrical parameters are shown in Figure 2. The parameters of the outlet channel conjunction include  $l_v$ ,  $l_c$ ,  $\gamma$  or  $l_v$  and  $m$  for straight outlet systems. The alternative conjunction with the outlet channel is shown by a dashed line and is determined by the diffuser rise angle  $\beta$ .

With selected geometrical parameters and the type of the outlet tube the cross-sectional area variation along the length  $F(l)$  is uniquely determined. These parameters enable complete mathematical description of the outlet tube.

#### Experimental setup and models of outlet tubes

Studies of the performance and hydraulic characteristics of the pump station block model with an impeller diameter  $D_1 = 0.35$  m were performed at a special stand in the laboratory of the Department of Water Power Utilisation of the Leningrad Polytechnical Institute (Vissarionov & Belyaev & Elistratov 1984) (Figure 3).



**Fig.3. Photo of the experimental stand**

Simulation was carried out in compliance with the conditions  $Fr = \text{idem}$  in the area of self-similarity at numbers  $Re > 5 \cdot 10^5$ . Energy and hydraulic studies of the outlet tube of a pump station block with a capsule unit were conducted in accordance with international guidelines for model tests (International Code 193). The performance characteristics of pump unit were developed for fixed setting of impeller blades and the straightening guide vane apparatus.

While studying the influence of conjunction parameters on performance characteristics of a pump unit two outlet systems were investigated: straight one with various conjunction slope and a bent one with various angle of diffuser axis slope. Figure 4 shows the geometrical parameters of outlet systems with circular/square transition of the diffuser cross section. The transition from round to square section is made on  $2.5 D_1$ . The length of outlet device is equal to  $4.5 D_1$ .

Two types of outlet tubes investigated - straight and bent one - are shown in Figure 4.

The following models of outlet tubes were studied: straight divergent cone of circular section with transition to a square section and with transition to a rectangular section. We have also investigated the models of outlet systems with diffuser axis slope angle  $\beta = 0^\circ, 7^\circ, 15^\circ, 25^\circ$ . Experimental studies were conducted at the constant shape and size of the remaining flow part.

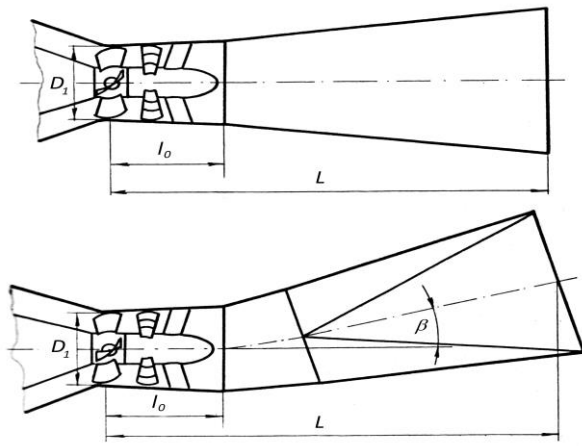


Figure 4. Investigated types of outlet tubes: straight and bent one

### Results of performance tests

As a result of experimental studies the dependences of the forms (1) и (2) have been established:

$$\eta = f_{\eta}(T, \bar{l}, \beta, \theta, m, K_Q), \quad (1)$$

$$K_H = f_H(T, \bar{l}, \beta, \theta, m, K_Q), \quad (2)$$

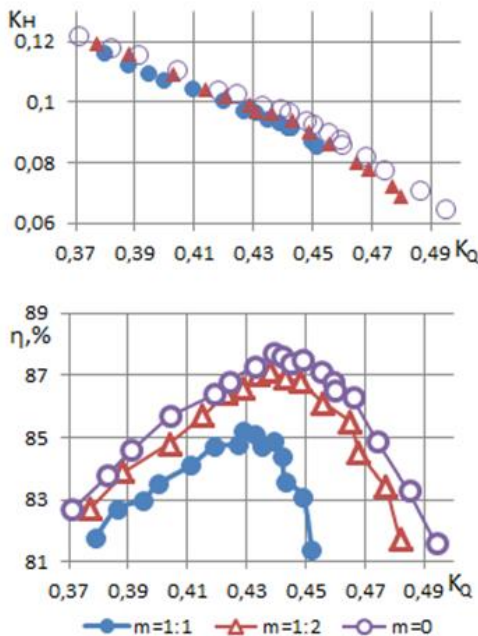


Fig. 5. Influence of conjunction slope  $m$  on performance characteristics of a pumping station with a bulb unit

Models (1) and (2) are based on the optimization of the outlet tubes of pumping stations with horizontal capsular unit. Some simplified dependences (1) and (2) are shown in Figure 5. These are the results of experimental studies of the outlet tubes of straight and crank types which have been plotted using dimensionless coordinates of pressure and discharge factors,  $K_H$  and  $K_Q$  respectively:

$$K_H = \frac{H}{n^2 \cdot D_1^2}, \quad (3)$$

$$K_Q = \frac{Q}{n \cdot D_1^3}. \quad (4)$$

### Conclusions

1. It is an established fact that the size and shape of the flow part of the outlet tube in the feeding tract of a low-pressure pump have a profound influence on the performance characteristics of the pumping station. Therefore, the effectiveness of the pumping station with the bulb units is intimately associated with determination of the optimum shape and dimensions of the outlet tube.
2. It has been established experimentally that for the outlet tubes of straight type with diffuser of circular section maxima of efficiency occur when the length of the outlet tube is equal  $5D_1$  and the ratio  $F_{outlet}/F_{inlet}$  equals 4. The outlet tubes with diffuser transitions to square and rectangular cross-section on the  $2.5D_1$  length of the tube of the total length  $L = 4.5D_1$ , reduce the maxima of the efficiency of the pump unit, respectively to 0.7 and 0.9% in comparison with the diffusers of circular section. The use of the outlet tube of a cranked type with an angle of ascent of the diffuser axis of  $15^\circ$ , starting at the distance  $2D_1$  of the impeller axis of the pump reduces the value of efficiency by 0.5% in the zone of the optimum characteristics in comparison with the outlet tube of straight type (for  $L = 4.5D_1$ ,  $F_{outlet}/F_{inlet} = 4$ ).
3. The experimental performance characteristics of the pump power plant block model have been determined for various conjunction slopes downstream the diffuser outlet section. A decrease in the maximum efficiency values occurs at the conjunction channel slope  $m=1:2$ . No influence on the power efficiency was observed for conjunction channel slopes  $m=1:5$  and  $m=1:4$ . The increase of the slope from  $m=0$  to  $m=1:2$  results in a decrease of efficiency by 0.6% and the displacement of the efficiency characteristics optimum zone to the left. At the conjunction slope  $m=1:1$  the decrease of power efficiency by 2.5% takes place.
4. Practically equal decrease of efficiency by 0.5% and 0.6%, respectively, has been established in the zone of maximum values of the bent type outlet system with  $\beta=15^\circ$  and the straight type outlet system with conjunction channel slope  $m=1:2$ , beginning right behind the discharge tube outlet section.

## References

- Clifford, A.** 1981. *Intakes and Outlets for Low-Head Hydropower*, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol.107, No. HY9, Sept., pp.1029-1045.
- Kline, S.J., Abbott, D.E., Fox, R.W.** 1959. *Optimum Design of Straight-Walled Diffusers*. – Journal of Basic Engineering ASME 81, Sept., pp.321-331.
- S.V.Artsiamchuk, G.I.Sidorenko**, *Experimental studies of the outlet tube of a pump power plant model with a horizontal capsular unit*. In book: *Advances in Civil Engineering and Building Materials IV*. Chang et.al (eds), (Shuenn-Yin Chang, Suad Khalid Al Bahar, Adel Abdul Majeed M.Husain, Jingying Zhao), May 6, 2015, CRC Press Taylor&Francis Group, London, ISBN 9781138000889-CAT#K21489, pp. 471-474.
- Zubarev, N.I.**, 1977. *O gidravlicheskikh poteryakh v razlichnykh komponovkakh bloka krupnogo osovogo nasosa*. M. *Energomashinostroenie*, №. 5, s.17-19. (rus).
- Gubin, M. F.**, 1970. *Otsasyvayushchie truby gidroelektrostantsii*. M.: Energiya, 270 s. (rus).
- Varlamov, A.A.**, 1976. *Vybor optimal'nykh razmerov diffuzornykh kanalov gidromashin*. M. *Energomashinostroenie*, № 5, s.11-13. (rus).
- Varlamov, A.A., Yablonskii, G.A.**, 1977. *O razrabotke nasosov vysokoi proizvoditel'nosti dlya trass perebrozki stoka severnykh rek v yuzhnye raiony strany*. M. *Energomashinostroenie*, №. 2, p.3-6. (rus).
- Bogdanovskii, V.I.**, 1958, *Issledovanie form podvodov i otvodov osevykh nasosov*. Trudy VNIIGidromash, Vypusk 22, s.92-113. (rus).
- Purdy, C.C.** 1979, *Energy losses at draft tube exits and in penstocks*, Water Power and Dam Construction. October.
- Neve, R.S. and Wirasinghe, N.E.A.** 1978. *Changes in conical diffusers performance by swirl addition*, The Aeronautical Quarterly, August, pp.131-143.
- Klein, A.** 1981. *Review: Effects of Inlet Conditions on conical diffuser performance*, ASME, Journal of Fluids Engineering, Vol. 103, June, pp.250-257.
- McDonald, A.T., and Fox, R.W.** 1966. *An experimental investigation of incompressible flow in conical diffusers*, International Journal of Mechanical Sciences, Vol.8, №2, pp. 125-139.
- Zuykov, A.V.** 2010. *Dinamika vyzazhnykh tsirkulyatsionnykh techenii v trubakh i poverkhnostnykh voronkakh*. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni doktora tekhnicheskikh nauk, M (rus).
- Kharkov, N. S.** 2010. *Poteri napora po dline v vintovom tsirkulyatsionnom potoke (oblast' nizkikh zakrutok)*. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk, SPb, SPU. (rus).
- Rebernik, B.** 1974. *Hydraulic Investigation on Water Intakes for Pump Storage Plants*, International Association for Hydraulic Research. 7th. Symp., Vienna, Trans. Part 1, s.1., s.a. 14/1-14/12.
- Vissarionov, V.I., Belyaev S.G., Elistratov V.V.**, 1984. *Laboratornye ustanovki dlya kompleksnykh issledovaniy nasosnykh stantsii, prednaznachennykh dlya raboty v rezhime gidroakkumulirovaniya*, Trudy Leningradskogo Politehnicheskogo instituta, №. 401, s.60-65. (rus).
- IEC 193:** 1999, *Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines Model acceptance tests*
- Pravdivets Yu.P.**, *Konfiguratsiya otvodyashchego rusla i ee vliyaniye na rabotu turbinnogo bloka Trudy koordinatsionnogo soveshchaniya po gidrotekhnike*, 1972, vyp.76, s.48-52.
- Slisskii S.M., Pravdivets Yu. P.** *Optimal'nyi uklon otkosa, sopryagayushchego otsasyvayushchuyu trubu zdaniya gidroelektrostantsii i otvodyashchee ruslo*. Energeticheskoe stroitel'stvo, 1970, №2, s. 70-74.
- Kompleksnye laboratornye issledovaniya gidravliki gidroagregatnogo bloka Cherepovetskoi gidroelektrostantsii / Astapicheva T.N., Vasiliev Yu.S., Gadin A.V., Samorukov I.S., Moshkov L.V., Pekul K.S.* Trudy koordinatsionnogo soveshchaniya po gidrotekhnike, 1966, vyp.22, s.58-68.

## Authors

**Siarhei V. Artsiamchuk**, CSc, graduated in 1978 from the Tashkent Polytechnical Institute (TashPI), Chair of Hydropower Installations and Hydraulic Machinery. In 1985 he defended his Candidate of Sciences (PhD) thesis on hydropower plants and installations at the Leningrad Polytechnical Institute, Chair of Water Power Utilisation. Afterwards Associate Professor at the TashPI Chair of Hydropower Installations and Hydraulic Machinery (1985-92) and the Belorussian State University of Agriculture, Chair of Hydraulics and Hydraulic Machinery (since 1993). Since 2009 Associate Professor at the A.D.Sakharov International University of Ecology, Chair of Energy Efficient Technologies. Specialist in establishing techno-economic foundations for hydropower installation parameters and regimes. Author (co-author) of over 60 scientific papers.

**Gennadii I. Sidorenko**, Prof., DSc., graduated in 1979 from the Leningrad Polytechnical Institute (LPI), Chair of Water Power Utilisation. Afterwards junior research co-worker at the Karelia Division of the USSR Academy of Sciences. Since 1981 the graduate student at the LPI (Chair of Water Power Utilisation) which awarded him a Candidate of Sciences (PhD) degree in 1984. Since then with Karelia Division of the USSR Ac. Sci. and with Karelia Scientific Centre of the Russian Ac. Sci.. In 2006 he defended his DSc dissertation on renewable energy sources. Since then a scientific co-worker of the St. Petersburg State Polytechnical University, Chair of Renewable Energy Sources and Hydropower. Basic directions of scientific research include: computerised models of regional power industry development based on renewable energy sources utilisation; specialised databases, methodologies, algorithms and codes for computation of renewable energy resources; theory of establishing parameters and computerised design methods of renewable energy plants; modelling of processes in RES installations. Author (co-author) of over 170 scientific papers, including 2 inventions, 4 monographs and 2 textbooks on renewable energy sources.

# Multiobjective shape optimization of radial pump with respect to both pump and turbine regimes

T. Krátký, J. Šoukal

Hydraulics Research Centre, Ltd  
Lutín, Czech Republic  
e-mail: t.kratky@sigma.cz

J. Kmec

Palacký University in Olomouc, Faculty of Science  
Olomouc, Czech Republic

## Introduction

As the computational power becomes more and more available, the computer-aided design plays increasingly important role in hydraulic development of pumps. Not only can be CFD simulations used for evaluating the performance characteristics. When performed in an automated way and coupled with a suitable optimization method, it can become a very powerful tool. In this paper, a combination of altering already existing design through mesh deformation and a modern global optimization method is used for tuning the pump to meet a different set of requirements. This approach is shown and discussed on a ANSYS CFX model of a radial pump, working in both pump and turbine regime.

## The optimization

The original CFD model is used as the starting point. Then, based on geometric parameters, the meridional and blade shapes are altered. The resulting design is by evaluated by CFD simulation(s), and the resulting cost functional assembled from multiple criteria. Namely hydraulic efficiency and transport head in multiple flow rates.

The optimization method used for minimizing the cost functional is name **Stochastic Radial Basis Function method** and is described in [1]. The scheme is as follows:

- (1) Generate the initial Design-of-Experiment (DOE) and compute the designs.
- (2) Approximate the minimized function shape by response surface, using Radial Basis Function.
- (3) Based on the response surface shape, select new design(s) for evaluation. These new points are selected as a compromise between searching near already found minima and probing for new ones.
- (4) Compute the design(s) and repeat (2) if necessary.

This method is very efficient in improving the design in relatively few iterations, especially in case where the CFD solver behaves as a “black-box” and derivatives of the cost functional with respect to the geometric parameters can only be obtained by numerical differentiation. Which is true for any commercial CFD code. It also allows for easy parallelization [2].

## The test case – radial pump

The radial pump with specific speed  $n_s = 158$  was selected as the initial target. For some specific application, this pump was used in both pump and turbine regimes. Thus, the optimization was performed with respect to multiple flow rates in both regimes.

Only impeller was modified, the other parts were fixed. There were five geometric parameters – hub and shroud deformation, and blade shape modification defined on three streamlines. For geometry creation, CFD computation and results evaluation, custom Python scripts and CFX command-line capabilities were used. For the objective function, the scalarization approach was used.

The details and the results will be discussed in the presentation.

## References

- [1] **Regis, R. G., Shoemaker, C. A.**, *A Stochastic Radial Basis Function Method for the Global Optimization of Expensive Functions*. INFORMS Journal on Computing, 19(4), pp. 497-509, 2007.
- [2] **Regis, R. G., Shoemaker, C. A.**, *Parallel Stochastic Global Optimization Using Radial Basis Functions*. INFORMS Journal on Computing, 21(3), pp. 411-426, 2009.
- [3] **Tabatabaei, M., Hakanen, J., Hartikainen, M., Miettinen, K., Sindhya, K.**, *A survey on handling computationally expensive multiobjective optimization problems using surrogates: non-nature inspired methods*. Structural and Multidisciplinary Optimization, 52(1), pp. 1-25, 2015.

## Authors

**Tomáš Krátký**, Mgr., graduated in 2008 in applied math from the Palacký University in Olomouc. Specializes to shape optimization and numerical method, in 2015 spent three months at University of Jyväskylä, as part of the PhD studies.

**Jiří Šoukal**, Ing. CSc., graduated in 1974 in hydraulics from the Brno University of Technology. Director of SIGMA Research & Development Institute since 1997, Founded Hydraulics Research Centre, Ltd in 2012. Extensive experiences in Small Water Plants design and applications.

**Jakub Kmec**, Mgr., PhD student at the Palacký University in Olomouc. Specializes to numerical methods.

## Cavitation erosion resistance of thick CrC coating deposition by the Arc-PVD method

**Vladimir Safonov, Anna Zykova**

NSC Kharkov Institute of Physics & Technology  
of the National Academy of Sciences of Ukraine  
1, Akademicheskaya St., Kharkov, 61-108, Ukraine

e-mail: [safonov600@gmail.com](mailto:safonov600@gmail.com), [zykova.anya@gmail.com](mailto:zykova.anya@gmail.com)

**Alicja Krella, Janusz Steller**

The Szwedzki Institute of Fluid-Flow Machinery  
Polish Academy of Sciences,  
ul. J. Fiszer, 14, 80-231 Gdansk, Poland

e-mail: [akr@imp.gda.pl](mailto:akr@imp.gda.pl), [steller@imp.gda.pl](mailto:steller@imp.gda.pl)

**Grzegorz Gajowiec, Marek Szkodo, Hossein Ghaemi**

Gdansk University of Technology,  
ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdansk, Poland

e-mail: [mszkodo@pg.gda.pl](mailto:mszkodo@pg.gda.pl), e-mail: [ghaemi@pg.gda.pl](mailto:ghaemi@pg.gda.pl)

### Introduction: cavitation and droplet erosion

Cavitation and hydroabrasive wear may contribute significantly to hydraulic machinery residual lifetime decrease or at least to degradation of streamlined surfaces and deterioration of machinery performance characteristics. Counter-measures include regular inspections and overhauls as well as spreading carbide and nitride protective coatings. Specialised deposition techniques, such as High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) thermal spray systems are applied for this purpose. Similar problems arise also due to droplet erosion in the last stages of steam turbines at thermal power stations (TPS) and nuclear power plants (NPS). The mechanism of erosive wear of steam turbine rotor blades is associated mainly with the blade material fatigue failure due to high mechanical stresses arising in the process of droplet impact on the blade surface. These problems are faced also in case of pumps and ship propellers, mainly in case of partial immersing. Both cavitation and droplet erosion problems are encountered in some impulse hydraulic turbines.

Despite some differences in the erosion mechanisms there prevails a general opinion of close correlation between cavitation and droplet erosion resistance of structural materials. Also similar protective coatings may be used for two applications even if there exist some differences in optimum deposition techniques. Furthermore, cavitation resistance test techniques are often used to assess relative material resistance to droplet impingement. The present contribution reports on such a research scheme recently undertaken by a Polish-Ukrainian research team. By using a cavitation resistance test device, some conclusions concerning the relationship between the protective coating structure and the erosion resistance are of significance for hydraulic machinery applications.

### Fundamental considerations

The main issue, which requires a study in order to design effective anti-erosion protective coatings, is the question of the magnitude and sign of structural macro stresses arising in the protective coating at the "substrate-coating" interface. The results of numerical investigations of stresses in the Rayleigh wave which propagates in the coating in the process of a droplet impact on the surface of the blade, allow to make some preliminary estimation of the effectiveness of anti-erosion protective coating. The thickness of the chromium anti-erosion coatings spread in vacuum surroundings and proposed for the erosion protection of the rotor blades should provide minimization of tensile stresses in the Rayleigh wave and internal stresses at the coating-substrate interface. For vacuum chromium coating, which has the best protective properties, the estimated coating thickness was about  $15 \div 20$  micrometers.

In view of the above, it is of interest to produce and compare the protective efficacy of different coatings with thickness up to  $20 \mu\text{m}$  deposited by ion-plasma methods.

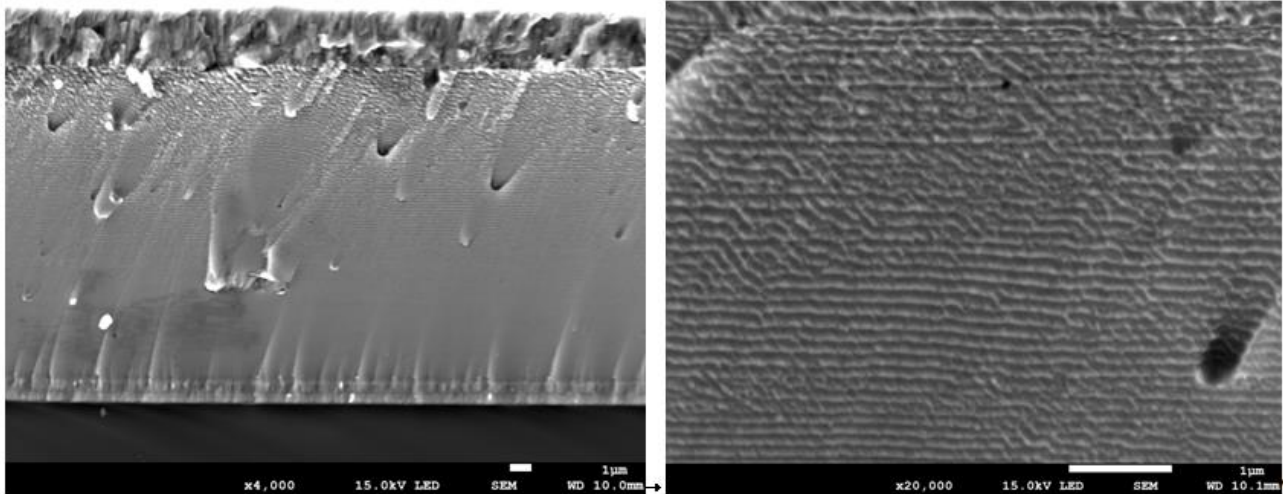
### Methodology and results

The study presents results of the research on the effect of protective ion-plasma CrC coatings on the mechanical properties and erosion wear of stainless steel 18Cr10NiTi. Formation of ion-plasma CrC coating was carried out in Kharkov Institute of Physics and Technology, using a modernized Arc-PVD apparatus, with the reaction gas inlet (toluene vapor  $\text{C}_7\text{H}_8$ ).

Characteristics of the deposited coatings were studied using various techniques. The thickness of CrC coatings was measured by a *Calotest* device. The adhesion properties, hardness and elastic modulus, were measured by standard methods with the use of the *Revetest* scratch tester (*CSM Instruments*) and the *Rockwell* test-

er with a diamond type C Rockwell indenter. To determine the micro hardness the *Fischerscope*® HM2000 tester was applied. The surface roughness parameters were measured by the *Hommel Werke* T8000 surface roughness and topography measurement system. The structure and surface morphology before

testing and after 30 minutes of cavitation exposure were observed by a scanning electron microscope JSM 5500 LV. The composition of the coatings was analyzed by energy dispersive X-ray (EDX) spectroscopy method.



**Fig.1 SEM cross section of the 20 µm CrC coating.**  
Magnification: left - ×4,000; right - formation of the nanolayer structure, ×20,000

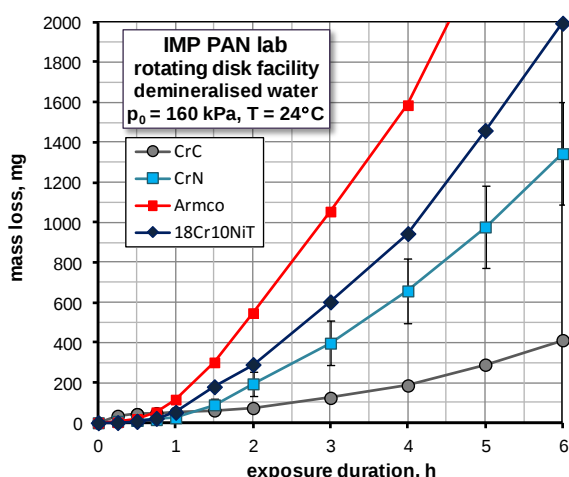
CrC coatings with thickness of 15–17 µm demonstrated a fine multilayer structure with ac. 100 nm. thickness of each layer (Fig. 1a,b.). As it is shown in Fig. 1a, the coating contains three main layers: firstly, in order to ensure good adhesion on the substrate, a layer of chromium is deposited, then the main CrC multilayer coating is observed and finally on the top an approximately 3 µm thick columnar layer is visible. The main element of the coating was chromium carbide. The microhardness of the coatings was about 2329 HV. Adhesion of coatings was about 60 N. Taking into account low hardness and large plasticity of the substrate, adhesion of the coating was very high.

ity. After 6 hours of test in demineralised water, mass losses of CrC coated 18Cr10NiT samples appeared 5 times smaller than those of the substrate material (used as a reference), and decisively smaller than those of the CrN coated samples (Fig.2). Furthermore, negligible scatter in CrC coating test results could be noticed.

Microscopic observations of the CrC coating conducted after 30 minutes of cavitation test show that the coating degrades in few stages. In the zone of high cavitation load the outer columnar layer was initially removed and then high-velocity pulses caused deep cavitation tunnels due to shearing (Fig. 3a). Moreover, multiple impacts of cavitation pulses caused brittle fracture of the coating. In the zone of lower cavitation load only degradation of upper layer was observed (Fig. 3b).

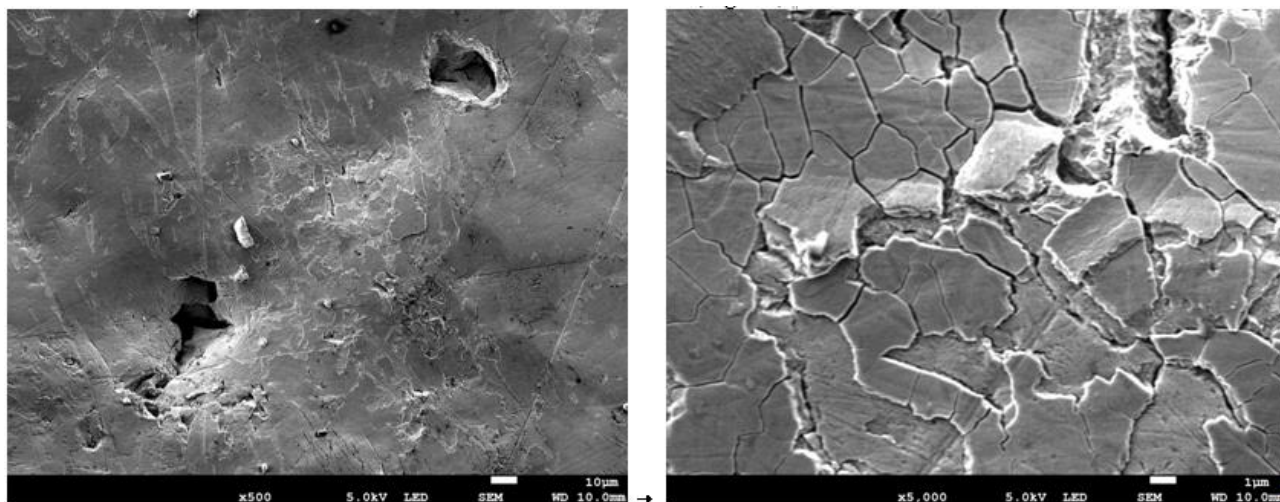
## Conclusion

It is possible to decrease the cavitation and droplet erosion rate by using a properly structured multilayer CrC coating. Further efforts aimed at development and optimisation of protective coating technologies are highly desirable in view of their applications for streamlined surface protection in hydraulic machinery, steam turbines and ship propellers.



**Fig.2 Erosion curves of 18Cr10NiT samples covered with 3 coatings spread by means of the Arc-PVD technology. Armco iron and 18Cr10NiT curves are shown for reference purposes**

Cavitation erosion tests were conducted at the Szewalski Institute of Fluid-Flow Machinery, Polish Academy of Sciences (IMP PAN), using a rotating disk test facil-



**Fig.3 Cavitation degradation of a 20 µm thick CrC coating.**  
**a) cavitation tunnels, b) brittle fracture of the outer layer of the coating**

## Authors

**Vladimir Safonov**, PhD, was granted his scientific degree in solid state physics in 1989. Senior Researcher at the National Science Centre of Kharkov Institute of Physics & Technology of the National Academy of Sciences of Ukraine. Areas of activities include ion plasma technologies as well as Arc-PVD, EB-PVD, plasma spray, magnetron sputtering and IBAD surface coating deposition methods, functional coatings and applications.

**Anna Zykova**, PhD, was granted her scientific degree in solid state physics in 1991. Senior Researcher at the National Science Centre of Kharkov Institute of Physics & Technology of the National Academy of Sciences of Ukraine. Areas of activities include material research science and technologies, ceramics, ceramic coatings deposition, structure and surface materials properties, mechanical and tribological tests, functional materials and applications.

**Alicja Krella**, DSc, was granted her PhD degree in construction and operation of machinery in 2003. In 2013 she was granted a DSc degree in Material Science. Areas of activities include: cavitation erosion, slurry erosion, PVD coatings and mechanisms of degradation caused by multiple high-velocity load.

**Janusz Steller**, PhD, graduated in 1977 from the Faculty of Mathematics, Physics and Chemistry of Gdansk University. Since then a co-worker of the Institute of Fluid-Flow Machinery, Polish Academy of Sciences (IMP PAN) which granted him a PhD degree in 1984. Currently, chief specialist and head of Cavitation Department in the IMP PAN Centre for Hydrodynamics. Deputy President of the Polish Hydropower Association (TEW). Main professional interests include cavitation and cavitation erosion, operation and design problems of hydraulic machinery, field and laboratory test techniques in the areas as above, general problems of hydropower development.

**Grzegorz Gajowiec**, PhD, received his scientific degree in materials engineering in 2012 from Gdansk University of Technology. His areas of activities include scanning electron microscopy, materials degradation.

**Marek Szkodo**, DSc Eng, graduated from Gdansk University of Technology (GUT), Faculty of Mechanical Engineering. He was granted a DSc degree in Materials Science in 2005 from Czestochowa University of Technology. Currently, head of Materials Science and Welding Department in the Mechanical Engineering Faculty, GUT. Chairman of the Polish Association for Materials, Pomeranian Branch. Main professional interests include laser surface treatment, surface engineering, mechanical and tribological tests and materials degradation.

**Hossein Ghaemi**, PhD Eng, graduated from Gdansk University of Technology, Faculty of Ocean Engineering and Ship Technology. He received his MSc degree from the same faculty in the field of Marine Engineering in 1993. He holds also a BSc degree in the field of Solid Mechanics from the University of Tehran, Faculty of Engineering (1991). In 2004 he received his PhD. Presently he is an Assistant Professor at Gdansk University of Technology. His main research interests include modeling of dynamic and control systems in the fields of marine technology and biotechnology.

Centrum Technologii Proekologicznych – Leon Wojciechowski powstało we wrześniu 2000 r.

Od początku swojego istnienia ściśle współpracuje i reprezentuje na polskim rynku firmę Andritz Hydro GmbH.

Nasze pierwsze wspólne działania miały miejsce przy realizacji kontraktów modernizacyjnych w elektrowniach Żarnowiec i Solina.

Korzystając z zasobów archiwalnych Andritz Hydro realizujemy szereg kontraktów rehabilitujących turbiny wodne. Najstarsze turbiny wodne produkcji Escher-Wyss, poprzednika Andritz Hydro, zainstalowane i ciągle pracujące w Polsce pochodzą z końca XIX wieku. Ostatni nasz projekt został zrealizowany w elektrowni Gubin. Turbina pochodziła z 1928 roku.

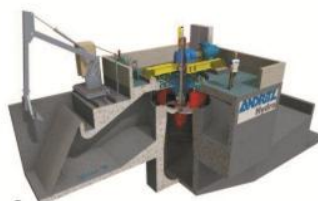
Wspólnie z firmą Andritz Hydro modernizujemy istniejące turbogeneratory.

Realizowane modernizacje układów mechanicznych turbin z przekładnią kątową zapewniają wieloletnią niezawodną ich pracę.

W ostatnich latach przeprowadziliśmy remonty turbin zatapialnych dla których wyprodukowaliśmy podstawowe elementy układu przepływowego.

Projektujemy i wykonujemy instalacje wody chłodzącej dla elektrowni wodnych.

### Mini Compact Hydro



**Standardized range of  
electromechanical systems**

**„from Water to Wire“**

**for small hydro power plants**

**up to 5000 kW**



**ANDRITZ  
Hydro**



w trosce o lepsze jutro  
już dziś dostarczamy  
czystą energię



Energia Odnawialna S.A.

Jesteśmy częścią PGE Polska Grupa Energetyczna S.A. - największej grupy energetycznej działającej na polskim rynku i jednego z największych podmiotów tego typu w Europie Środkowej i Wschodniej.

Zarządzamy 33 elektrowniami wodnymi, 14 farmami wiatrowymi i jedną elektrownią fotowoltaiczną.  
Nasze projekty rozwojowe koncentrują się na produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych.

[www.pggeo.pl](http://www.pggeo.pl)

ISBN 978-83-88237-76-8

## **Załącznik**

**Polska Konferencja Hydroenergetyczna  
RENEXPO Poland 2015, Warszawa, 22 września 2015**

## **Appendix**

**Polish Hydropower Conference  
RENEXPO Poland 2015, Warsaw, September 22nd, 2015**



W dniu 22 września br. w Centrum EXPO XXI w Warszawie obradowała już po raz piąty Polska Konferencja Hydroenergetyczna [PKH] RENEXPO Poland. Wzorem lat ubiegłych, konferencja zorganizowana została przez Towarzystwo Elektrowni Wodnych [TEW], Towarzystwo Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych [TRMEW], Instytut Maszyn Przepływowych PAN [IMP PAN] oraz firmę REECO Poland Sp. z O.O. Wsparcia finansowego udzieliły spółki ENERGA SA, PGE Energia Odnawialna SA, PROCOM System SA oraz Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL. Obrady toczyły się w języku polskim i angielskim. Tłumaczenie symultaniczne zapewnił Dział Handlowy Ambasady Królestwa Norwegii korzystając ze środków funduszu *Innovation Norway*.



**Sala obrad podczas otwarcia konferencji**

Konferencję otworzył prezes Zarządu TRMEW, p. Robert Szlęzak, w obecności project managera targów RENEXPO Poland, p. Małgorzaty Bartkowskiej. Towarzystwo Elektrowni Wodnych i IMP PAN reprezentował w części inauguracyjnej przewodniczący Komitetu Organizacyjnego PKH, dr Janusz Steller, zaś ze strony Ambasady Królestwa Norwegii uczestników powitał jej radca handlowy, p. Arne Kjell Nielsen. Wygłoszono 21 referatów konferencyjnych oraz 2 referaty wprowadzające do dyskusji panelowej. Tekst wystąpienia jubileuszowego oraz streszczenia pozostałych referatów opublikowano w książce streszczeń. Podsumowanie debaty panelowej ukaże się niebawem na stronach internetowych TEW. Na stronach tych udostępniono też uczestnikom konferencji prezentacje towarzyszące wygłoszonym referatom. Od maja 2016 roku prezentacje te będą ogólnodostępne. Podobnie, jak w latach ubiegłych, artykuły opracowane na podstawie wybranych referatów zostały zarekomendowane do druku – głównie, choć nie tylko, na łamach "Energetyki Wodnej".

Konferencja zgromadziła blisko 90 uczestników powiązanych w różny sposób z sektorem energetyki wodnej. 17 uczestników pochodziło z zagranicy - z Norwegii, Litwy, Niemiec i Francji. Rosnące zainteresowanie cyklem konferencyjnym sprawiło, że organizatorzy podjęli ostatecznie decyzję o rozszerzeniu jego formuły organizacyjnej. Od roku 2016 będą to dwudniowe wydarzenia międzynarodowe. W zamyśle organizatorów ich obszar oddziaływania powinien objąć kraje ościennie Polski, Skandynawię, Austrię i Węgry. Przyciągnięciu większej liczby uczestników z krajów

wych ośrodków naukowych służyć ma współpraca z czasopiśmem o dobrej pozycji na liście czasopiśm punktowanych MNiSzW. Obecność przedstawicieli ośrodków naukowych ma być jednak tylko wartością dodaną i nie powinna zmienić kluczowej roli partnerstwa z „Energetyką Wodną”. Podsumowanie dotychczasowego dorobku, a także szczegóły nowej formuły konferencji przedstawił autor tego tekstu w swoim wystąpieniu jubileuszowym „5 lat Polskich Konferencji Hydroenergetycznych - od HYDROFORUM do RENEXPO Poland”.

Centralnym punktem obrad była dyskusja panelowa "Energetyka wodna w poszukiwaniu swoich szans", którą poprowadził Stanisław Lewandowski, prezes honorowy i pełnomocnik Zarządu TEW. Uczestnikami dyskusji byli prominentni specjaliści: pp. Jacek Cieślak (Departament Eksploatacji PGE EO), Andrzej Grześ (obecnie: TRMEW Obrót), Tomasz Podgajniak (obecnie: spółka ENERCO oraz PIGEO), prof. Jan Popczyk (Politechnika Śląska) i Stanisław Poręba (obecnie: Ernst&Young Business Advisory). Uczestnicy dyskusji wyrazili zaniepokojenie stanem polskiej elektroenergetyki, przejawiającym się m.in. koniecznością ograniczeń zasilania w warunkach tegorocznej suszy. Jednocześnie wskazali na często niedoceniane możliwości magazynowania energii w zbiornikach polskich elektrowni wodnych. Właśnie w powrocie do korzystania z potencjału regulacyjnego elektrowni zbiornikowych wielu polskich hydroenergetyków upatruje szansę dla swojego sektora, a także dla rozwoju niestabilnych odnawialnych źródeł energii elektrycznej. Dziś na przeszkodzie wykorzystaniu tych możliwości stoją m.in. ograniczenia środowiskowe zapisane w pozwoleniach wodnoprawnych.

Debata odbywała się w kontekście wcześniejszych wypowiedzi na temat stanu polskiej gospodarki wodnej. Próbę diagnozy przedstawili w swoich porannych wystąpieniach prof. Wojciech Majewski (IMGW) oraz przedstawiciele TEW (Katarzyna Trojanowska i Stanisław Lewandowski). Dostrzegając znaczenie starań o dobrą jakość wód, mówcy zwrócili uwagę, że działaniom w tym kierunku nie powinno towarzyszyć zaniedbywanie ważnych celów gospodarczych i społecznych, a także innych celów środowiskowych, których realizacja jest podstawowym zadaniem gospodarki wodnej. Do tej tematyki nawiązywała również wypowiedź wiceprezes TRMEW, p. Ewy Malickiej, która podsumowując prace związane z inwentaryzacją stopni piętrzących w ramach projektu RESTOR, wskazała na istotne przeszkody formalno-prawne i ekonomiczne towarzyszące próbom ich wykorzystania dla potrzeb małej energetyki wodnej, w tym: wadliwe kryteria konkursów na udostępnienie stopni dla potrzeb MEW, konieczność wcześniejszego ujęcia inwestycji w *master-planach* oraz w miejscowych planach zagospodarowania, brak pewności wysokości wsparcia uzyskiwanego w systemie aukcyjnym oraz brak możliwości łączenia różnych form wsparcia dla inwestorów.



### Debata panelowa "Energetyka wodna w poszukiwaniu swoich szans"

Duża część wystąpień popołudniowych dotyczyła barier ochronnych na ujęciach wody oraz urządzeń zapewniających ciągłość hydrologiczną i biologiczną cieków wodnych na stopniach piętrzących. Na uwagę zasługują prezentacje pływających barier dla zanieczyszczeń (Dorota Niesyty, Bogusław K. Puchowski), elektronicznych barier odstraszających dla ryb typu EBOR (D.Niesyty) i NEPTUN (Piotr Augustyn), a także dwukierunkowej przepławki śrubowej typu *Hydroconnect* (Maciej Drzewiecki). Z uwagi na rosnące zainteresowanie elektrowniami zbiornikowymi szczególne znaczenie miała prezentacja DB Sediments GmbH dotycząca systemu ciągłego transportu napływających osadów z części wlotowej zbiornika na dolną wodę (Dietrich Bartelt, Michael Detering). Z silnie obecną tematyką ochrony środowiska związane były wystąpienia dotyczące łóżysk smarowanych wodą (Bogusław K.Puchowski, Jarosław Wysocki), numerycznego modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń (Kamil Drejer) oraz minimalizacji oddziaływania elektrowni na krajobraz (M.Drzewiecki). Do projektantów elektrowni i urządzeń piętrzących adresowane były także wystąpienia przedstawicieli Instytutu KOMEL (Paweł Pistelok, Stanisław Gawron) oraz AQUA-Tech (Andrzej Polniak).

Rekonstrukcjom i modernizacjom obiektów historycznych poświęcone były wystąpienia przedstawicieli ENERGA Invest (Piotr Śliwiński i Janusz Granatowicz) oraz Hydroergii (J.Tomalik). W pierwszym przypadku chodziło o budowę nowej elektrowni przy istniejącym stopniu piętrzącym EW Rościno, kryjącym niegdyś pierwsze na świecie hydrozespoły rurowe. W przypadku drugim chodziło o modernizację układu przepływowego turbin EW Szklarska Poręba II z zachowaniem wyglądu zewnętrznego wyposażenia elektrowni stanowiącej jednocześnie najważniejszy element Muzeum Energetyki Wodnej.

Na cenny, ale wciąż niezbyt częsty kierunek inwestowania, wskazał dr J.Tomalik w swoim wystąpieniu dotyczącym zastosowania hydrozespołu z turbiną Francisza do odzysku energii hydraulicznej w oczyszczalni ścieków w Toruniu. Restrykcyjnym przepisom implementującym Ramową Dyrektywę Wodną przypisać można natomiast zainteresowanie wyzyskaniem energii kinetycznej rzek. Innowacyjny projekt hydrozespołu z turbiną hydrokinetyczną o przepływie po-

przecznym przedstawiła firma Deep River (Reidar Vestby). Zastosowanie metody elementów brzegowych do numerycznego wyznaczania charakterystyk ruchomych turbin hydrokinetycznych z wirnikiem śmigłowym w dyszy było z kolei przedmiotem wystąpienia p. Adama Góralczyka (IMP PAN). Jak wykazuje analiza przeprowadzona przez prof. Petrasa Punysa i dra Egidijusa Kasiulisa (Uniwersytet A.Stulginskisa w Kownie), instalacja hydrokinetycznych zespołów prądotwórczych w rzekach nizinnych umożliwia jednak wykorzystanie niewielkiej części ich potencjału hydroenergetycznego. Potencjał techniczny związany z energią kinetyczną rzek Litwy wynosi zaledwie 3 do 5 % teoretycznego potencjału hydroenergetycznego kraju. Jego praktyczne wykorzystanie jest możliwe tylko w niewielkiej mierze.



### Po kolacji konferencyjnej: pożegnanie z przyjaciółmi z Litwy

Obrady zakończyły się krótko przed godziną 19:00. W jubileuszowej kolacji konferencyjnej udział wzięli delegaci XXIV Zgromadzenia Krajowego TEW, a także przedstawiciele REECO GmbH i REECO Poland Sp. z O.O. - p. Johann-Georg Röhm, p. Małgorzata Bartkowska i p. Justyna Sułkowska. Była to znakomita okazja, by potwierdzić wolę dalszej współpracy. Kolejna edycja PKH RENEXPO Poland - już w nowej formule - będzie miała miejsce w dniach 19 i 20 października 2016 roku.

Janusz Steller, październik 2015

Centrum Technologii Proekologicznych – Leon Wojciechowski powstało we wrześniu 2000 r.

Od początku swojego istnienia ściśle współpracuje i reprezentuje na polskim rynku firmę Andritz Hydro GmbH.

Nasze pierwsze wspólne działania miały miejsce przy realizacji kontraktów modernizacyjnych w elektrowniach Żarnowiec i Solina.

Korzystając z zasobów archiwalnych Andritz Hydro realizujemy szereg kontraktów rehabilitujących turbiny wodne. Najstarsze turbiny wodne produkcji Escher-Wyss, poprzednika Andritz Hydro, zainstalowane i ciągle pracujące w Polsce pochodzą z końca XIX wieku. Ostatni nasz projekt został zrealizowany w elektrowni Gubin. Turbina pochodziła z 1928 roku.

Wspólnie z firmą Andritz Hydro modernizujemy istniejące turbogeneratory.

Realizowane modernizacje układów mechanicznych turbin z przekładnią kątową zapewniają wieloletnią niezawodną ich pracę.

W ostatnich latach przeprowadziliśmy remonty turbin zatapialnych dla których wyprodukowaliśmy podstawowe elementy układu przepływowego.

Projektujemy i wykonujemy instalacje wody chłodzącej dla elektrowni wodnych.

### Mini Compact Hydro



**Standardized range of  
electromechanical systems  
„from Water to Wire“  
for small hydro power plants  
up to 5000 kW**



**ANDRITZ  
Hydro**



w trosce o lepsze jutro  
już dziś dostarczamy  
czystą energię



Energia Odnawialna S.A.

Jesteśmy częścią PGE Polska Grupa Energetyczna S.A. - największej grupy energetycznej działającej na polskim rynku i jednego z największych podmiotów tego typu w Europie Środkowej i Wschodniej.

Zarządzamy 33 elektrowniami wodnymi, 14 farmami wiatrowymi i jedną elektrownią fotowoltaiczną.  
Nasze projekty rozwojowe koncentrują się na produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych.

[www.pggeo.pl](http://www.pggeo.pl)

ISBN 978-83-88237-76-8