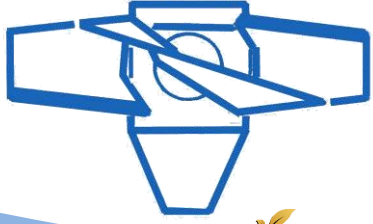


HYDRO FORUM



XIII Polska Konferencja Hydroenergetyczna
XIIIth Polish Hydropower Conference

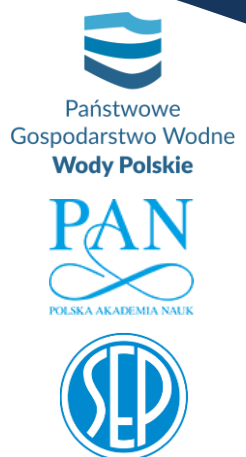
Hotel Scandic Wrocław
EW Malczyce
25-26.10.2023



STRESZCZENIA
wystąpień konferencyjnych
ABSTRACTS
of Conference Contributions



iha affiliate
member
International Hydropower Association



Wspólnie

dla zielonej energii
z wody



Myślimy o przyszłości. Chcemy zapewnić klientom dostęp do czystej energii

Jesteśmy jednym z liderów zielonej energetyki w Polsce. Dążymy do tego m.in. poprzez modernizację małych elektrowni wodnych na kaskadach rzek Słupii i Raduni. Dbamy o równowagę między zapewnieniem bezpieczeństwa energetycznego, a troską o nasze otoczenie. Hydroelektrownie stanowią nie tylko ważne ogniwo sektora OZE, ich okolice to też świetny kierunek wycieczek kajakowych.

Zrównoważony rozwój. Z szacunkiem dla środowiska.



Wspólnie dla
EKOLOGII



Energa

GRUPA **ORLEN**

*Dwunasta
Polska Konferencja Hydroenergetyczna*

Hotel Scandic Wroclaw, 25-26.10.2023
Elektrownia Wodna Malczyce, 27.10.2023

*The Twelfth
Polish Hydropower Conference*

Scandic Wroclaw Hotel, 25-26.10.2023
Malczyce Hydropower Plant, 27.10.2023



zorganizowana przez

Towarzystwo Elektrowni Wodnych

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

**Towarzystwo
Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych**

**Wydział Mechaniczno-Energetyczny
Politechniki Wrocławskiej**

pod patronatem

**Komitetu Problemów Energetyki
Polskiej Akademii Nauk**

PGW Wody Polskie

Stowarzyszenia Elektryków Polskich

**Stowarzyszenia
Inżynierów Wodnych i Melioracyjnych**

**KSIĄŻKA
STRESZCZEŃ**

organised by

Polish Hydropower Association

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

**Polish Association
for Small Hydropower Development**

**Faculty
of Mechanical and Power Engineering
of the Wrocław University
of Science and Technology**

under auspices of

**Committee
of Power Engineering Problems
of the Polish Academy of Sciences**

State Water Holding Polish Waters

Association of Polish Electrical Engineers

**Association of Water and Land Reclamation
Engineers and Technicians**

**BOOK
OF ABSTRACTS**



**Wydawnictwo
Instytutu Maszyn Przepływowych
Polskiej Akademii Nauk**

Gdańsk, październik 2023

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

Gdansk, October 2023

Pod redakcją / Edited by:

Janusz Steller Instytut Maszyn Przepływowych PAN
Towarzystwo Elektrowni Wodnych

Wydawnictwo Instytutu Maszyn Przepływowych
Polskiej Akademii Nauk
ul. Fiszera 14, 80-231 Gdańsk, Poland
tel. 58-52-25-141, fax: 58-341-61-44,
e-mail: redakcja@imp.gda.pl

ISBN 978-83-66928-13-8

Sugerowany sposób cytowania:

Polska Konferencja Hydroenergetyczna HYDROFORUM 2023.
Książka streszczeń, TEW / IMP PAN, Wrocław/Gdańsk, 2023

Suggested citation:

HYDROFORUM 2023 Polish Hydropower Conference
Book of Abstracts, TEW / IMP PAN, Wrocław/Gdańsk (Poland), 2023

© Copyright by Towarzystwo Elektrowni Wodnych, Wrocławek 2023,
Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk, Gdańsk 2023



Druk i oprawa:
Instytut Energetyki Oddział Gdańsk

adres korespondencyjny:
ul. Mikołaja Reja 27, 80-870 Gdańsk

Nakład: 130 egzemplarzy

Okładka przedstawia Stopień Wodny Malczyce na Odrze.
The cover page shows the Malczyce Water Barrage at the Oder River (Poland).



Komitet Problemów Energetyki
Polskiej Akademii Nauk

*Power Engineering Problems Committee
of the Polish Academy of Sciences*

ul. Rektorska 4, 00-614 Warszawa
<https://kprobleen.pan.pl/pl/>



Państwowe
Gospodarstwo Wodne
Wody Polskie

State Water Holding Polish Waters

ul. Żelazna 59a, 00-848 Warszawa
<https://www.wody.gov.pl/>



Stowarzyszenie
Elektryków Polskich

Association of Polish Electrical Engineers

ul. Świętokrzyska 14, 00-050 Warszawa
<https://sep.com.pl>



Stowarzyszenie
Inżynierów i Techników
Wodnych i Melioracyjnych

*Association of Water and Land Reclamation
Engineers and Technicians*

Skrytka pocztowa nr 15, 00-001 Warszawa 1
<https://sitwm.pl/>

Organizatorzy



Instytut Maszyn Przepływowych
im. Roberta Szewalskiego
Polskiej Akademii Nauk



Towarzystwo Rozwoju
Małych Elektrowni Wodnych



Wydział Mechaniczno-Energetyczny
Politechniki Wrocławskiej

Organisers

Polish Hydropower Association
ul. Piaskowa 18, 84-240 Reda,
www.tew.pl

*The Szewalski Institute of Fluid-Flow Machinery
of the Polish Academy of Sciences*
ul. Fiszera 14, 80-231 Gdańsk,
www.imp.gda.pl

*Polish Association
for Small Hydropower Development*
ul. Królowej Jadwigi 1, 86-300 Grudziądz,
www.trmew.pl

*Faculty of Mechanical and Power Engineering
of Wrocław University of Science and Technology*
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
<https://wme.pwr.edu.pl/>

Partnerzy



Narodowy Fundusz
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej



Energia Odnawialna S.A.

Partners

A project co-funded by the LIFE
financial instrument of the European Commission
LIFE17 ENV/ES/000252
and the National Fund for Environmental
Protection and Water Management
<https://www.lifenexus.eu/>

PGE Energia Odnawialna SA
ul. Ogrodowa 59a, 00-876 Warszawa, Poland,
<https://pgeeo.pl/>

Współpraca wydawnicza i medialna Publishing and Media Collaboration



ul. Skrajna 41a, 25-650 Kielce
www.energetykawodna.info
e-mail: redakcja@energetykawodna.info



zek-VERLAG
Mag. Roland Gruber e.U.
Brunnenstraße 1, A-5450 Werfen
www.zek.at, e-mail: mz@zek.at



Institute of Power Engineering, Gdansk Division
ul. Mikołaja Reja 27, 80-870 Gdańsk
<http://www.ien.gda.pl>,
e-mail: ien@ien.gda.pl



IMP PAN Publishers
ul. Fiszera 14, 80-231 Gdańsk,
<http://www.imp.gda.pl/wydawnictwa/>,
e-mail: jfrk@imp.gda.pl

Sponsorzy Premium



Premium Sponsors¹

Energa SA
al. Grunwaldzka 472, 80-309 Gdańsk
energa.pl

Hydro-Vacuum S.A.
ul. Droga Jeziorna 8, 86-303 Grudziądz
<http://www.hydro-vacuum.com.pl/>

T.I.S. Polska Sp. z o.o.
ul. Ożarowska 30D, Duchnice,
05-850 Ożarów Mazowiecki
www.tispolska.pl

Sponsorzy



Zespół Elektrowni Wodnych
Niedzica S.A.

Sponsors

Belse Sp.z o.o.
ul. Szyprów 17, 43-382 Bielsko-Biała
<https://www.belse.com.pl/>

Institute of Renewable Energy Sources
ul. Skrajna 41a, 25-650 Kielce,
<http://www.instytutoze.pl/pl/>

KSB Polska Sp. z o.o.
Bronisze, ul. Świerkowa 1D,
05-850 Ożarów Mazowiecki
<http://ksb.com>

PFTechnology Sp. z o.o.
ul. Kościuszki 96, 26-680 Wierzbica
<https://www.pftechnology.eu/pl/>

Niedzica Group of Hydropower Plants
ul. Widokowa 1, 34-441 Niedzica
<http://www.zzw-niedzica.com.pl/>

¹ The grey italics denote unofficial translations by the editor of this volume

Komitet Honorowy

Honorary Committee

Leszek Bajorek-Fijałkowski	Zespół Elektrowni Wodnych Niedzica S.A. Prezes Zarządu <i>Niedzica Group of Hydropower Plants, Chairman of the Board</i>
Sławomir Cieślik	Stowarzyszenie Elektryków Polskich, Prezes <i>Association of Polish Electrical Engineers, President</i> Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich, Profesor <i>J. & J. Śniadecki Bydgoszcz University of Technology, Professor</i>
Dariusz Karkos	Państwowe Gospodarstwo Wodne "Wody Polskie", Dyrektor Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej Wrocław <i>State Water Holding „Polish Waters”,</i> <i>Director of the Regional Water Management Authority Wrocław</i>
Michał Karlikowski	PGE EO SA, Prezes Zarządu / CEO, Chairman of the Board
Marcin Lackowski	Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Profesor i Dyrektor <i>Institute of Fluid Flow Machinery, Pol.Ac.Sci., Professor and Director,</i>
Janusz Lewandowski	Komitet Problemów Energetyki PAN, Przewodniczący <i>Power Engineering Problems Committee, Pol. Ac. Sci., President</i>
Wojciech Majewski	Instytut Budownictwa Wodnego PAN, Profesor em. <i>Institute of Hydro-Engineering of Polish Academy of Sciences</i> <i>Professor emeritus</i>
Ewa Malicka	Towarzystwo Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych, Prezeska Zarządu/ <i>Polish Association for Small Hydropower Development, President</i>
Janusz Plutecki	Politechnika Wroclawska, Profesor em. <i>Wrocław University of Science and Technology, Professor emeritus</i>
Bogdan Popa	Narodowy Uniwersytet Techniczny "Politechnika Bukaresztańska"; Wydział Energetyki; Katedra Hydrauliki, Maszyn Hydraulicznych i Inżynierii Środowiska, Profesor <i>National University of Science and Technology POLITEHNICA Bucharest</i> <i>Faculty of Energy Engineering, Department of Hydraulics,</i> <i>Hydraulic Machinery and Environmental Engineering, Professor</i> Rumuńskie Towarzystwo MEW, Prezes <i>Romanian Small Hydropower Association, President</i>
Semen I. Potashnik	Stowarzyszenie społeczne "Hydroenergetyka Ukrainy", Prezes <i>Public Union Association "Hydropower of Ukraine", President</i>
Piotr Szulc	Wydział Mechaniczno-Energetyczny Politechniki Wrocławskiej Profesor i Dziekan <i>Faculty of Mechanical and Power Engineering</i> <i>of Wrocław University of Science and Technology</i> <i>Professor and Dean</i>
Krzysztof Woś	Państwowe Gospodarstwo Wodne "Wody Polskie", Prezes <i>State Water Holding „Polish Waters”, President</i>

Komitet Naukowy

Scientific Committee

Michał Habel	Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy, Profesor, kierownik Katedry Rewitalizacji Dróg Wodnych <i>Casimir Magnus University in Bydgoszcz, Professor, Head of the Chair of Inland Waterways Revitalisation</i>
Waldemar Jedral	Politechnika Warszawska, Profesor em. <i>Warsaw University of Technology, Professor emeritus</i>
Maciej Kaniecki	TG DNALOP Sp. z O.O., Project Manager
Zbigniew Krzemianowski	Instytut Maszyn Przepływowych PAN, starszy specjalista <i>Institute of Fluid-Flow Machinery, Pol. Ac. Sci./ senior specialist</i>
Piotr Lampart	Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Profesor, Redaktor Naczelny Transactions of the IFFM <i>Institute of Fluid-Flow Machinery, Pol. Ac. Sci., Professor, Chief Editor of Transactions of the IFFM</i> członek Komitetu Problemów Energetyki PAN <i>Member of the Power Engineering Problems Committee, Pol.Ac.Sci.</i>
Wojciech Majewski	Instytut Budownictwa Wodnego PAN, Profesor em. <i>Institute of Hydro-Engineering of Polish Academy of Sciences Professor emeritus</i>
Janusz Plutecki	Politechniki Wrocławskiej, Profesor em. <i>Wrocław University of Science and Technology, Professor emeritus</i>
Bogdan Popa	Narodowy Uniwersytet Techniczny "Politechnika Bukaresztańska"; Wydział Energetyki; Katedra Hydrauliki, Maszyn Hydraulicznych i Inżynierii Środowiska, Profesor <i>National University of Science and Technology POLITEHNICA Bucharest Faculty of Energy Engineering, Department of Hydraulics, Hydraulic Machinery and Environmental Engineering, Professor</i>
Janusz Skrzypacz	Wydział Mechaniczno-Energetyczny Politechniki Wrocławskiej, Profesor <i>Faculty of Mechanical and Power Engineering of Wrocław University of Science and Technology, Professor</i>
Janusz Steller	Instytut Maszyn Przepływowych PAN, starszy specjalista <i>Institute of Fluid-Flow Machinery, Pol. Ac. Sci./ senior specialist</i> Towarzystwo Elektrowni Wodnych, Prezes Zarządu <i>Polish Hydropower Association, Chairman of the Board</i>
Grzegorz Żywica	Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Profesor i Z-ca Dyrektora ds. Naukowych <i>Institute of Fluid Flow Machinery, Pol.Ac.Sci., Professor and Deputy Director on Science</i>

Komitet Organizacyjny

Organising Committee

Janusz Steller	Instytut Maszyn Przepływowych PAN, starszy specjalista <i>Institute of Fluid-Flow Machinery, Pol. Ac. Sci./ senior specialist</i> Towarzystwo Elektrowni Wodnych, Prezes Zarządu <i>Polish Hydropower Association, Chairman of the Board</i> Przewodniczący Komitetu, <i>Chairman of the Committee</i>
Henryka Stachowicz	Towarzystwo Elektrowni Wodnych, Wiceprezes Zarządu, Dyrektor Biura TEW <i>Polish Hydropower Association,</i> <i>Deputy Chairman of the Board, Director of the TEW Office</i> Sekretarz Konferencji, <i>Conference Secretary</i>
Zbigniew Stachowicz	Instytut Energetyki Oddział Gdańsk <i>Institute of Power Engineering, Gdansk Branch</i> Towarzystwo Elektrowni Wodnych, <i>Polish Hydropower Association</i>
Marek Czornik	Państwowe Gospodarstwo Wodne "Wody Polskie", RZGW Wrocław, kierownik EW Malczyce <i>State Water Holding „Polish Waters”,</i> <i>Regional Water Management Authority Wrocław,</i> <i>Malczyce HPP Manager</i>
Stanisław Lewandowski	Towarzystwo Elektrowni Wodnych, Prezes Honorowy i Członek Zarządu <i>Polish Hydropower Association,</i> <i>Honorary President and Member of the Board</i> EasyServ Sp. z O.O. Sp. z o.o. spółka komandytowa <i>Komandytariusz / Limited Partner</i>
Michał Lis	Towarzystwo Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych <i>Polish Association for Hydropower Development</i> "Energetyka Wodna", Redaktor prowadzący / <i>Executive Editor</i>
Przemysław Szulc	Wydział Mechaniczno-Energetyczny Politechniki Wrocławskiej, Adiunkt <i>Faculty of Mechanical and Power Engineering</i> <i>of Wrocław University of Science and Technology, Fellow</i>
Krzysztof Wrzosek	Państwowe Gospodarstwo Wodne "Wody Polskie", ekspert w Wydziale Nadzoru nad Realizacją Inwestycji <i>State Water Holding „Polish Waters”</i> <i>expert in the Department of Investment Projects Supervision</i> Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej, adiunkt <i>Faculty of Building Services, Hydro and Environmental Engineering</i> <i>of the Warsaw University of Technology, Research Fellow</i>
Edward Ziąja	Instytut Automatyki Systemów Energetycznych <i>Institute of Power Systems Automation</i> Stowarzyszenie Elektryków Polskich, Sekcja Energetyki <i>Association of Polish Electrical Engineers, Power Engineering Section</i>

Spis treści

Przedmowa	1
Program konferencji	5
Streszczenia wystąpień konferencyjnych	
Sesja inauguracyjna	
0.1. J. Steller: <i>50 lat HYDROFORUM</i>	11
0.2. W. Jędrał: <i>Profesor Stanisław Jan Zwierzchowski –Zowski - prekursor konstrukcji nowoczesnych turbin wodnych</i>	19
Sesja I: Potencjał hydroenergetyczny i obiekty wielofunkcyjne	
1.1. B. Wszolek, B. Głuchowska: <i>Elektrownie wodne eksploatowane przez PGW Wody Polskie RZGW we Wrocławiu..</i>	21
1.2. G. Sikorski, M. Piekarski,, Ł. Pieron, K. Wrzosek: <i>Wielofunkcyjna infrastruktura na Odrzańskiej Drodze Wodnej</i>	23
1.3. S. Suk, I. Landau: <i>Projekt żeglugowy i infrastrukturalny połączenia Bałtyku z Morzem Czarnym. Przegląd i perspektywy (EN)</i>	29
1.4. M. Levitskyi, V. Kraynyk: <i>Odbudowa Kachowskiej EW na Dnieprze jako strategiczny krok ku bezpieczeństwu energetycznemu Ukrainy. Bieżące wyzwania i rozwiązania (EN)</i>	35
1.5. O.Obodovskyi, O. Pochayevets, O. Lukyanets, V. Grebin, M. Habel: <i>Ocena potencjału hydroenergetycznego rzek w obrębie terytorium Ukrainy</i>	39
Sesja II: Energetyka pompowo-szczytowa	
2.1. M. Kubecki: <i>Rozwój elektrowni szczytowo-pompowych, przegląd aktualnej sytuacji w Polsce i na świecie</i>	41
2.2. K. Krüger: <i>Energetyka pompowo-szczytowa jako filar transformacji energetycznej na poziomie międzynarodowym (EN)</i>	43
2.3. F. Popa, E.-I. Tica, B. Popa: <i>Energetyka pompowo-szczytowa w Rumunii jako szansa dla intensywnego rozwoju odnawialnych źródeł energii (EN)</i>	44
Sesja IV: Projekty badawczo-rozwojowe i promocyjno-edukacyjne	
4.1 J. Skrzypacz, A. Machalski, P. Szulc, D. Błoński, M. Nemś: <i>D- Hydroflex. Digital solutions for improving the sustainability, performance and FLEXibility potential of HYDROpower assets. Charakterystyka projektu.....</i>	47
4.2 G. Cavazzini, E. Vagnoni, D.Gezer, E. Pummer, E. Kasiulis, M. Čerpinska, B. Fischer-Aupperle E. Malicka, D.Ch. Finger, P. Rudolf, E. Doujak, S. Muntean: <i>Możliwości rozwojowe oferowane społeczności hydroenergetycznej przez działanie CA21104 "PEN@HYDROPOWER" w ramach programu COST (EN)</i>	49
4.3 M. Gruszczyński, T. Daszczyński: <i>Międzyuczelniany Obóz Studenckich Kół Naukowych DYCHÓW 2023</i>	52
Sesja V: MEW - technologia i uwarunkowania prawne	
5.1 M. Lis: <i>Na szlaku małej energetyki wodnej – podsumowanie wyjazdu studyjnego HYPOSO</i> ...	55
5.2 E. Malicka: <i>Sektor małej energetyki wodnej - zmiany legislacyjne</i>	58
5.3 A. Olszewski, K. Rafał, A. Góralczyk, P. Szulc: <i>Pływająca elektrownia wodna z turbina hydrokinetyczną – założenia, konstrukcja, perspektywy rozwoju</i>	60
5.4 T. Gajek, A. Jaworski: <i>Projektowanie optymalnego kształtu i konfiguracji turbiny hydrokinetycznej za pomocą obliczeń CFD</i>	63

Sesja VI: Odzysk energii hydraulicznej (sesja projektu Life NEXUS, część 1)

6.1 K. Oboza, W. Gładys: <i>Instalacja turbiny wodnej na 90 letniej zaporze wodnej w Wapienicy</i> ...	65
6.2 M. Piękoś: <i>Zastosowanie turbin wodnych w sieciach ciepłowniczych - mała elektrownia sieciowa MPEC Kraków</i>	71
6.3 P. Punys, A. Radzevičius, L. Jurevičius: <i>Integrowanie mikroturbin w systemy kanalizacyjne obszarów nizinnych (EN)</i>	73
6.4 J. Steller, Z. Krzemianowski, M. Hajdarowicz, A. Chlapek, A. Krawiec, M. Rafacz, G. Wygoda: <i>Odzysk energii traconej w komunalnych obiegach wodnych - doświadczenia ze studiów przedwstępnych</i>	75

Sesja VII: Odzysk energii hydraulicznej (sesja projektu Life NEXUS, część 2)

7.1 A. Krawiec: <i>Pompa jako źródło energii</i>	79
7.2 M. Janczak, W.Lorenz: <i>Miniturbiny THV – wybrane aspekty prac badawczych</i>	82
7.3 A. Chlapek: <i>Armatura grupy T.I.S. w zastosowaniach dla potrzeb energetyki wodnej i obiektów hydrotechnicznych</i>	86
7.4 A. Kamiński, M. Lewandowski, A. Adamkowski, W. Janicki, M. Kaniecki, S. Lewandowski: <i>Odzysk energii wodnej traconej w procesach technologicznych - problemy projektowania algorytmów sterowania</i>	91

Sesja VIII: Własności energetyczne i dynamiczne hydrozespołów

8.1 M. Kaniecki: <i>Współczesne trendy w modernizacji turbin wodnych, nakierowane na zwiększenie efektywności i elastyczności pracy elektrowni</i>	93
8.2 S. Muntean, I. D. Rus, A.I. Bosioc, I.A. Draghici: <i>Badania doświadczalne i numeryczne związane z modernizacją agregatów pomp zasobnikowych (EN)</i>	95
8.3 P. Ševčík: <i>Pomiary gwarancyjne optymalnie zaprojektowanej MEW (EN)</i>	98
8.4 G. Żywica: <i>Identyfikacja przyczyn podwyższonego poziomu drgań maszyn hydraulicznych - praktyczne przykłady</i>	99
8.5 J. Bieńkowski, P. Szulc, J. Rak: <i>Metody ograniczania zjawiska kawitacyjnych wirów sznurowych</i>	101

Sesja IX: Ochrona i regeneracja elementów hydrozespołów oraz urządzeń pomocniczych

9.1 J. Krasucki, Z. Buczko: <i>Technologia nCu ochrony urządzeń hydrotechnicznych przed zarastaniem biologicznym</i>	105
9.2 K. Górlicka, J. Przydatek: <i>Zastosowanie filtrów samoczyszczących w elektrowniach wodnych</i>	108
9.3 R. Masek: <i>Kompozyty polimerowe w naprawach, regeneracji i modernizacji elementów maszyn hydraulicznych oraz obiektów hydrotechnicznych</i>	110
9.4 J. Steller: <i>Równanie Rayleigha a efekty skalowe towarzyszące erozji kawitacyjnej w maszynach i urządzeniach hydraulicznych</i>	111
9.5 J. Steller, W. Safonow: <i>Kawitacyjna wytrzymałość zmęczeniowa tworzyw konstrukcyjnych i powłok ochronnych</i>	114

Załączniki

HYDROFORUM 2023. Lista uczestników	119
--	-----

Contents

Preface	3
Conference programme	8
Abstracts of Conference Contributions	
Opening Session	
0.1. J. Steller: <i>50 years of HYDROFORUM</i> (PL)	11
0.2. W. Jędrał: <i>Professor Stanisław Jan Zwierzchowski –Zowski - the forerunner of modern water turbine designs</i> (PL)	19
Session I: Hydropower potential and multipurpose projects	
1.1. B. Wszolek, B. Głuchowska: <i>Hydropower plants operated by the PGW Wody Polskie Regional Water Management Authority in Wroclaw.</i> (PL)....	21
1.2. G. Sikorski, M. Piekarski, Ł. Pieron, K. Wrzosek: <i>Multipurpose infrastructure at the Oder Navigation Waterway</i> (PL)	23
1.3. S. Suk, I. Landau: <i>Navigation and infrastructure project connecting the Baltic and Black Seas. Overview and perspectives</i>	29
1.4. M. Levitskyi, V. Kraynyk: <i>Reconstruction of the Kakhovka HPP on the Dnipro River as a strategic step towards energy security of Ukraine. Current challenges and solutions</i>	35
1.5. O.Obodovskyi, O. Pochayevets, O. Lukyanets, V. Grebin, M. Habel: <i>Assessment of hydropower potential of rivers within the territory of Ukraine</i> (PL)	39
Session II: Pumped-storage hydropower	
2.1. M. Kubecki: <i>Pumped storage development - a survey of current status in Poland and worldwide</i> (PL)	41
2.2. K. Krüger: <i>Pumped storage as a supporting pillar of the energy transition on an international level</i>	43
2.3. F. Popa, E.-I. Tica, B. Popa: <i>Pumped storage in Romania as solution for large development of variable renewable energy sources</i>	44
Session IV: Research & Development, promotional and educational projects	
4.1 J. Skrzypacz, A. Machalski, P. Szulc, D. Błoński, M. Nemš: <i>D- Hydroflex. Digital solutions for improving the sustainability, performance and FLEXibility potential of HYDROpower assets. Project characteristics</i> (PL).....	47
4.2 G. Cavazzini, E. Vagnoni, D.Gezer, E. Pummer, E. Kasiulis, M. Čerpinska, B. Fischer-Aupperle E. Malicka, D.Ch. Finger, P. Rudolf, E. Doujak, S. Muntean: <i>Opportunities offered by PEN@HYDROPOWER COST Action CA21104 for the development of the European hydropower community</i> (PL)	49
4.3 M. Gruszczyński, T. Daszczyński: <i>Intercollegiate Camp of Student Scientific Clubs "Dychów 2023"</i> (PL)	52
Session V: Small hydropower - technology and legislative constraints	
5.1 M. Lis: <i>On the small hydropower route - summarisation of the HYPOSO study tour</i> (PL) ...	55
5.2 E. Malicka: <i>Small hydropower sector - legislative changes</i> (PL)	58
5.3 A. Olszewski, K. Rafał, A. Góralczyk, P. Szulc: <i>A floating hydropower plant with a hydrokinetic turbine - assumptions, design, development prospects</i> (PL)	60
5.4 T. Gajek, A. Jaworski: <i>The CFD aided design of a hydrokinetic turbine optimum shape and configuration</i> (PL)	63

Session VI: Hydraulic energy recovery (Life NEXUS Project Session - Part 1)

6.1	K. Oboza, W. Gładys: <i>Hydraulic turbine installation at the 90 years old Wapienica water dam (PL)</i>	65
6.2	M. Piękoś: <i>Hydraulic turbines application in heating networks - a small network plant in the Cracow Municipal Heating Company (PL)</i>	71
6.3	P. Punys, A. Radzevičius, L. Jurevičius: <i>Integrating microturbines into sewage systems of lowland areas</i>	73
6.4	J. Steller, Z. Krzemianowski, M. Hajdarowicz, A. Chlapek, A. Krawiec, M. Rafacz, G. Wygoda: <i>Recovery of energy lost in water cycles - the expertise following from the prefeasibility studies (PL)</i>	75

Session VII: Hydraulic energy recovery (Life NEXUS Project Session - Part 2)

7.1	A. Krawiec: <i>Pump as an energy source (PL)</i>	79
7.2	M. Janczak, W.Lorenz: <i>THV mini-turbines - selected research aspects (PL)</i>	82
7.3	A. Chlapek: <i>T.I.S. Group hydraulic equipment and fittings as applied for the needs of hydropower and hydraulic civil engineering projects (PL)</i>	86
7.4	A. Kamiński, M. Lewandowski, A. Adamkowski, W. Janicki, M. Kaniecki, St. Lewandowski: <i>Recovery of hydraulic energy lost in technological processes - the problems of developing control algorithms (PL)</i>	91

Session VIII: Performance and dynamic properties of hydraulic units

8.1	M. Kaniecki: <i>Current trends in hydraulic turbine upgrades oriented on enhancing the hydropower plant effectiveness and flexibility (PL)</i>	93
8.2	S. Muntean, I. D. Rus, A.I. Bosioc, I.A. Draghici: <i>Experimental and numerical investigations for the rehabilitation of the storage pumping units</i>	95
8.3	P. Ševčík: <i>Guarantee measurement of optimally designed SHPP</i>	98
8.4	G. Żywica: <i>Identification of the reasons for hydraulic machinery enhanced vibration level - practical examples (PL)</i>	99
8.5	J. Bieńkowski, P. Szulc, J. Rak: <i>The methods to mitigate the cavitating vortex rope phenomenon (PL)</i>	101

Session IX: Protection and regeneration of hydraulic unit and auxiliary equipment components

9.1	J. Krasucki, Z. Buczek: <i>Protection of hydraulic civil engineering equipment against biological overgrowth by means of the nCu technology (PL)</i>	105
9.2	K. Górlicka, J. Przydatek: <i>Hydropower application of self-cleaning filters (PL)</i>	108
9.3	R. Masek: <i>Polymer composites in repairs, regeneration and rehabilitation of hydraulic machinery and civil engineering components (PL)</i>	110
9.4	J. Steller: <i>Rayleigh equation and cavitation erosion scaling effects in hydraulic machinery and equipment (PL)</i>	111
9.5	J. Steller, V. Safonov: <i>Cavitation fatigue strength of structural materials and protective coatings (PL)</i>	114

Appendices

HYDROFORUM 2023. List of delegates	119
------------------------------------	-------	-----



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 dilligence* 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, www.tew.pl

Przedmowa

Mija 50 lat od obrad konferencji naukowo-technicznej zapoczątkowującej cykl zebrań konferencyjnych znanych odąd pod nazwą HYDROFORUM. To długi okres czasu i nieczęsto spotykany jubileusz. Dzisiejsze konferencje przypominają swoim rozmiarem coraz bardziej te sprzed lat, chociaż ich zadania i formuła zostały dostosowane do nowych potrzeb już na początku ubiegłej dekady. Niestabilna, dynamicznie zmieniająca się polityka energetyczna Państwa w kontekście zmiennych uwarunkowań sprawia, że spotykamy się dorocznie i to właśnie te zagadnienia pochłaniają dużą część naszej uwagi. To od uwarunkowań prawno-ekonomicznych i polityki państwa zależy przecież w zasadniczy sposób funkcjonowanie i rozwój sektora. Z drugiej strony dokładamy wielu starań, by zachować dobry poziom segmentu naukowo-technicznego oraz tworzyć dobre warunki do wymiany doświadczeń między uczestnikami naszych zebrań, a zwłaszcza by ułatwiać kontakt między różnymi grupami zawodowymi działającymi na rzecz hydroenergetyki.

Dzisiaj podstawowym celem strategicznym energetyki jest jej transformacja. Potrzebę zdecydowanego przyspieszenia zmian zachodzących dotąd powoli od końca ubiegłego stulecia władze naszego kraju dostrzegły niedawno, dopiero w rezultacie wprowadzenia w życie pakietu uzgodnień znanych w Unii Europejskiej pod nazwą „Green Deal”. Stało się oczywiste, że niezbędne są do tego wielkoskalowe magazyny energetyczne i potrzeby tej nie zaspokoją technologie elektrochemiczne. W ciągu jednego roku lub mniej uświadomiono sobie potrzebę wznowienia rozwoju energetyki pompowo-szczytowej, o co środowisko hydroenergetyków zabiegało bezskutecznie od dziesiątków lat. Tematyka ta zajmie ważne miejsce w pierwszym dniu tegorocznych obrad.

Lokalizacja tegorocznej konferencji została wybrana ze względu na bliskość niedawno uruchomionej Elektrowni Wodnej Malczyce – celu naszego wyjazdu studyjnego. Z mocą osiągalną 7,5 MW jest to największa nowa elektrownia wodna uruchomiona w Polsce w ostatnich latach (!). Wizyta jest możliwa dzięki uprzejmości RZGW Wrocław, funkcjonującego w strukturach PGW Wody Polskie. Wody Polskie są naszym tegorocznym patronem, który jednak wspiera intensywnie nasze działania począwszy od konferencji w Gdańsku w roku 2021 - włączając się aktywnie w proces organizacji tegorocznego zebrań. Informacje na temat Stopnia Wodnego i Elektrowni Wodnej Malczyce, a także innych elektrowni eksploatowanych przez RZGW Wrocław zostaną przekazane podczas pierwszej sesji konferencyjnej – zaraz po sesji inauguracyjnej. Uczestnicy wyjazdu do EW Malczyce będą mieli też okazję odwiedzić były klasztor Lubiąż, największy obiekt architektoniczny tego rodzaju w naszym kraju.

Organizacja konferencji byłaby zdecydowanie trudniejsza, gdyby nie znakomita współpraca z naszym lokalnym współorganizatorem - Wydziałem Mechaniczno-Energetycznym Politechniki Wrocławskiej, a dokładnie z kolegami z Katedry Inżynierii Konwersji Energii. Współpraca z lokalnymi uczelniami lub placówkami naukowymi jest stałą praktyką organizatorów HYDROFORUM, którym zależy na ich zaangażowaniu ze względów merytorycznych. Z tego samego powodu cieszymy się, że już trzeci rok z rzędu patronem HYDROFORUM jest Stowarzyszenie Elektryków Polskich z jego Sekcją Energetyki, w spotkaniach której autor tego tekstu ma zaszczyt uczestniczyć. W tym roku naszym bezpośrednim partnerem jest Oddział Wrocławski SEP. Z uwagi na związki energetyki wodnej z gospodarką wodną po raz pierwszy swoim patronatem objęło naszą konferencję Stowarzyszenie Inżynierów Wodnych i Melioracyjnych. Powodem naszej dumy jest fakt, że do grona naszych patronów dołączył w tym roku także Komitet Problemów Energetyki PAN. Mamy nadzieję, że patronat ten uda się utrzymać i w następnych latach.

Wśród naszych tegorocznych partnerów i sponsorów znalazły się trzy spółki zaliczane do tzw. energetyki zawodowej (*Energa z Grupy Orlen, PGE EO SA, ZEW Niedzica SA*), trzech dostawców pomp i armatury hydraulicznej (*KSB AG, Hydrovacuum SA, TIS Polska Sp. z O.O.*) oraz dwóch dostawców technologii utrzymania maszyn i urządzeń stosowanych w hydroenergetyce (*Belse i PFTechnology Sp. z o.o.*). Udzielone nam wsparcie miało zasadnicze znaczenie dla utrzymania równowagi naszego budżetu.

Swój udział w HYDROFORUM 2023 zgłosiło ponad 110 uczestników, czym zbliżyliśmy się do poziomu sprzed dwóch lat, kiedy cieszyliśmy się dziesiątym zebraniem w naszej nowej, dorocznej formule Polskich Konferencji Hydroenergetycznych. W tym roku przewidujemy 35 wystąpień, w tym 2 wystąpienia okolicznościowe. Pierwsze poświęcone będzie historii wydarzeń HYDROFORUM w kontekście zmian zachodzących w naszym kraju, a zwłaszcza w energetyce wodnej. W porównaniu z poprzednimi przeglądami jubileuszowymi szczególną uwagę poświęca autor inicjatorowi całego cyklu konferencyjnego i zespołowi jego współpracowników z Zakładu Dynamiki Cieczy IMP PAN. Przypomina także niektórych uczestników naszych zebrań. W drugim wystąpieniu prof. Waldemar Jędral przypomni sylwetkę wybitnego, lecz zapomnianego dziś polskiego konstruktora turbin wodnych – prof. Stanisława Zwierzchowskiego, niegdyś kierownika Katedry Silników Wodnych i Pomp na Politechnice Warszawskiej.

Łącznie z sesją inauguracyjną przewidujemy dziesięć sesji konferencyjnych. W pierwszym dniu przewidujemy dwie sesje poświęcone energetyce pompowo-szczytowej, w tym Debatę HYDROFORUM, którą poprowadzi Prezes Honorowy TEW, Stanisław Lewandowski. W tym samym dniu uczestnicy usłyszą zagadnienia na styku energetyki i gospodarki wodnej, w tym również o planowanych inwestycjach w szlaki żeglugi śródlądowej.

W dniu drugim dwie sesje będą kontynuacją obrad ubiegłorocznego Sympozjum Projektu Life NEXUS, dotyczące odzysku energii hydraulicznej traconej w miejskich i przemysłowych obiegach wodnych. Istotne miejsce zajmą sesje dotyczące technologii małej energetyki wodnej oraz zagadnieniom eksploatacyjnym, w tym badaniom energetycznym i diagnostycznym maszyn hydraulicznych oraz technologiom ochrony i regeneracji wyposażania elektrowni wodnych.

Niniejszy zeszyt zawiera streszczenia wszystkich zgłoszonych wystąpień konferencyjnych. Podobnie, jak w latach ubiegłych przewidujemy publikację wybranych artykułów pokonferencyjnych w *Energetyce Wodnej*. W *Energetyce Wodnej* ukaże się także sprawozdanie z konferencji. Autorom wystąpień o charakterze naukowym zamierzamy zaproponować publikację pokonferencyjną w języku angielskim w numerze specjalnym *Transactions of the Institute of Fluid-Flow Machinery*. Za zgodą autorów, prezentacje konferencyjne zostaną udostępnione w formacie PDF wszystkim uczestnikom HYDROFORUM 2023 ze strony internetowej Towarzystwa Elektrowni. Informujemy, że ze strony <https://www.tew.pl/index.php/pl/biblioteka-tew/opracowania-publicacje>, są też dostępne materiały wszystkich dotychczasowych Polskich Konferencji Hydroenergetycznych, a także konferencji HYDROFORUM 2005. Z tej samej strony udostępniona zostanie wersja elektroniczna niniejszego dokumentu. Zachęcamy do korzystania z naszych zasobów.

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 PGW Wody Polskie, Wydziałowi Mechaniczno-Energetycznemu Politechniki Wrocławskiej oraz Instytutowi Energetyki Oddział Gdańsk, który wydrukował materiały konferencyjne. Serdecznie dziękujemy wszystkim naszym sponsorom i patronom medialnym, a także członkom Komitetu Honorowego i Naukowego, przewodniczącym sesji, autorom wystąpień, panelistom i wszystkim uczestnikom konferencji. Wasza obecność wynika z wagi, którą przywiązujecie do tematyki obrad. Dla Komitetu Organizacyjnego jest jednak ważnym potwierdzeniem sensowności podejmowanych starań i wysiłków. Pozwalam sobie złożyć życzenia udanej debaty oraz radości i satysfakcji z nawiązanych lub odnowionych kontaktów zawodowych i osobistych.

Dr hab. Janusz Steller

Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego
Polskich Konferencji Hydroenergetycznych

Gdańsk, październik 2023

Preface

It has been 50 years since the scientific and technical conference that initiated the series of conference meetings known as HYDROFORUM. This is a long period of time and a rare anniversary. Today's conferences are more and more similar in size to those of the past, although their tasks and formula were adapted to the new needs at the beginning of the last decade. The unstable, dynamically changing energy policy of the State in the context of changing conditions means that we meet annually and it is these issues that absorb a large part of our attention. After all, the functioning and development of the sector depends on the legal and economic conditions and the state policy. On the other hand, we make a lot of efforts to maintain a good level of the scientific and technical segment and to create good conditions for the exchange of experience between the participants of our meetings, and especially to facilitate contact between various professional groups working for the hydropower industry.

Today, the primary strategic goal of the energy sector is its transformation. The need for a decisive acceleration of the changes that have been taking place slowly since the end of the last century has been noticed by the authorities of our country only as a result of the implementation of a package of arrangements known in the European Union as the "Green Deal". It has become obvious that large-scale energy storage facilities are necessary for this and this need will not be met by electrochemical technologies. Within a year or less, the need to resume the development of pumped-storage power generation was realized - the goal which the hydropower community had been striving for unsuccessfully for decades. This topic will occupy an important place on the first day of this year's meeting

The location of this year's conference was chosen due to the proximity of the recently launched Malczyce Hydroelectric Power Plant – the purpose of our study trip. With an achievable capacity of 7.5 MW, it is the largest new hydroelectric power plant launched in Poland in recent years (!). The visit is possible thanks to the courtesy of RZGW Wrocław, operating within the structures of PGW Wody Polskie (*State Water Holding Polish Waters*). Polish Waters have taken over the patronage over our event this year. In fact they have been intensively supporting our activities ever since in 2021 - actively joining the process of organizing this year's meeting. The information on the Malczyce Barrage and Hydroelectric Power Plant, as well as other power plants operated by RZGW Wrocław will be provided during the first conference session – immediately after the conference opening. Participants of the trip to EW Malczyce will also have the opportunity to visit the former Lubiąż monastery, the largest architectural structure of its kind in our country.

The organization of the conference would have been much more difficult without the excellent cooperation with our local co-organizer - the Faculty of Mechanical and Power Engineering of the Wrocław University of Science and Technology, and more precisely with colleagues from the Department of Energy Conversion Engineering. Cooperation with local universities or research institutions is a regular practice of the organizers of HYDROFORUM, whose intention is to engage them for substantive reasons. For the same reason, we are glad that for the third year in a row the patron of HYDROFORUM is the Association of Polish Electrical Engineers (SEP) including its Energy Section, in whose meetings the author of this text has the honour to participate. This year, our direct partner is the Wrocław Branch of SEP. Due to the connections between hydropower and water management, for the first time our conference was held under the patronage of the Association of Water and Land Reclamation Engineers. The reason for our pride is the fact that this year the Committee on Energy Problems of the Polish Academy of Sciences has also joined the group of our patrons. We hope that this patronage will be maintained in the coming years.

This year's partners and sponsors include three companies belonging to the public power industry sector (*Energia, member of the Orlen Group; PGE EO ; ZEW Niedzica SA*), three suppliers of hydraulic pumps and fittings (*KSB AG; Hydrovacuum SA; TIS Polska Sp. z o.o.*) and two suppliers of maintenance technology for machinery and equipment used in hydropower (*Belse and PFTechnology Sp. z o.o.*). The support we have received has been essential for keeping our budget balanced.

More than 110 participants registered their participation in HYDROFORUM 2023, which brought us closer to the level from two years ago, when we enjoyed the tenth meeting in our new, annual formula of the Polish Hydropower Conferences. This year, we are planning 35 speeches, including 2 occasional ones. The first one will be devoted to the history of HYDROFORUM events in the context of changes taking place in our country, especially in hydropower. Compared to the previous jubilee reviews, the author devotes special attention to the initiator of the entire conference series and the team of his associates from the Department for Dynamics of Liquids in the Institute of Fluid-Flow Machinery of the Polish Academy of Sciences. The memories of some conference delegates are also recollected. In the second speech, Prof. Waldemar Jędral will recall the figure of Prof. Stanisław Zwierzchowski - an outstanding, but hardly remembered Polish water turbine designer – former head of the Chair of Water Engines and Pumps at the Warsaw University of Technology.

Including the conference opening, ten conference sessions are planned. On the first day, we plan to hold two sessions devoted to pumped-storage hydropower, including the HYDROFORUM Debate, which will be moderated by the Honorary President of TEW, Stanisław Lewandowski. On the same day, the participants will hear about topics at the interface of hydropower and water management engineering, including planned investments in inland navigation routes.

On the second day, two sessions will be a continuation of the last year's Life NEXUS Project Symposium on the recovery of hydraulic energy lost in urban and industrial water cycles. An important part of the conference programme will be sessions on small hydropower technologies and operational issues, including energy and diagnostic tests of hydraulic machines as well as technologies for the protection and regeneration of hydroelectric power plant equipment.

This volume contains summaries of all submitted conference contributions. As in previous years, we anticipate the publication of selected post-conference papers in *Energetyka Wodna* quarterly. A report from the conference will also be published in the same journal. We intend also to offer the authors of scientific presentations a post-conference publication in English in a special issue of *Transactions of the Institute of Fluid-Flow Machinery*. With the consent of the authors, the conference presentations will be made available in PDF format to all participants of HYDROFORUM 2023 from the website of the Power Plant Association. We would like to inform you about proceedings of all previous Polish Hydropower Conferences, as well as the HYDROFORUM 2005 conference that are available freely from the

<https://www.tew.pl/index.php/pl/biblioteka-tew/opracowania-publicacje>

website,. An electronic version of this document will be made available from the same website. We encourage you to use our resources.

Dr Janusz Steller

Chairman of the Polish Hydropower Conferences
Organising Committee

Gdansk, October 2023

PROGRAM KONFERENCJI**25 października 2023****9:00 Powitanie uczestników i otwarcie obrad****Sesja inauguracyjna**Sesję prowadzi: **Janusz Steller** (IMP PAN/TEW), Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego PKH HYDROFORUM**9:00 J. Steller** (IMP PAN/TEW): Powitanie uczestników w imieniu Komitetu Organizacyjnego**9:10 J. Steller** (IMP PAN/TEW): *50 lat HYDROFORUM***9:25 P. Szule** (WME PW_r): *Wydział Mechaniczno-Energetyczny Politechniki Wrocławskiej*
- prezentacja Wydziału i powitanie uczestników**9:35 W. Jędral** (PW): *Profesor Stanisław Jan Zwierzchowski –Zowski*
- *prekursor konstrukcji nowoczesnych turbin wodnych***9:50** Wystąpienia członków Komitetu Honorowego**M.Lackowski** (IMP PAN): Otwarcie konferencji**10:20 Przerwa kawowa****Sesja I: Potencjał hydroenergetyczny i obiekty wielofunkcyjne**Obrady prowadzi: **Prof. Michał Habel** (Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz)**10:50 B. Wszolek, B. Gluchowska** (RZGW Wrocław):
*Elektrownie wodne eksploatowane przez PGW Wody Polskie RZGW we Wrocławiu***11:10 K. Woś, G. Sikorski, M. Piekarski, Ł. Pieron, K. Wrzosek** (PGW Wody Polskie):
*Wielofunkcyjna infrastruktura na Odrzańskiej Drodze Wodnej***11:30 S. Suk, I. Landau (S.Symovyan, Ukrhydroprojekt):** *Projekt żeglugowy i infrastrukturalny połączenia Bałtyku z Morzem Czarnym. Przegląd i perspektywy* (EN)**11:50 M. Levitskiy, V. Kraynyk** (Ukrhydroprojekt): *Odbudowa Kachowskiej EW na Dnieprze jako strategiczny krok ku bezpieczeństwu energetycznemu Ukrainy. Bieżące wyzwania i rozwiązania* (EN)**12:10 O.Obodovskyi, O. Pochayevets, O. Lukyanets, V. Grebin** (UTS), **M. Habel** (UKW):
*Ocena potencjału hydroenergetycznego rzek w obrębie terytorium Ukrainy***12:30 Przerwa kawowa****Sesja II: Energetyka pompowo-szczytowa**Obrady prowadzi: **Janusz Łobacz** (EW Żarnowiec)**13:00 M. Kubecki** (IOZE/TRMEW): *Rozwój elektrowni szczytowo-pompowych, przegląd aktualnej sytuacji w Polsce i na świecie***13:20 K. Krüger** (Voith): *Energetyka pompowo-szczytowa jako filar transformacji energetycznej na poziomie międzynarodowym* (EN)**13:40 F. Popa** (U. Valahia), **E.-I. Tica, B. Popa** (Pol. Bukareszt.): *Energetyka pompowo-szczytowa w Rumunii jako szansa dla intensywnego rozwoju odnawialnych źródeł energii* (EN)**14:00 Przerwa obiadowa****Sesja III: Debata HYDROFORUM "Energetyka pompowo-szczytowa i jej dylematy"**Obrady prowadzi: **Stanisław Lewandowski** (EasyServ / TEW).**15:00 Otwarcie debaty** (S.Lewandowski)**17:00 Przerwa kawowa****Skróty**

AR	- Akademia Rumuńska o/Timisoara	TEW	- Towarzystwo Elektrowni Wodnych
IMP PAN	- Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk	TRMEW	- Towarzystwo Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych
IOT	- Instytut Optymalizacji Technologii, Warszawa	UKW	- Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
IOZE	- Instytut OZE, Kielce	UPT	- Uniwersytet „Politechnika Timisoara”
KIPT	- Charkowski Instytut Fizykotechniczny	UTS	- Uniwersytet Tarasa Szewczenki, Kijów
PGW WP	- Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie	UWW	- Uniwersytet Witolda Wielkiego, Kowno
PW	- Politechnika Warszawska	UPW	- Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
PW _r	- Politechnika Wrocławska	WIT	- Warszawski Instytut Technologiczny
RZGW	- Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej	WME	- Wydział Mechaniczno-Energetyczny

25 października 2023 (c.d.)

Sesja IV: Projekty badawczo-rozwojowe i promocyjno-edukacyjneObrady prowadzi: **Przemysław Szulc** (Wydział Mechaniczno-Energetyczny Politechniki Wrocławskiej)

- 17:30 **J. Skrzypacz**, A. Machalski, P. Szulc, D. Błoński, M. Nemš (WME PW):
D- Hydroflex. Digital solutions for improving the sustainability, performance and FLEXibility potential of HYDROpower assets. Charakterystyka projektu
- 17:50 G. Cavazzini, E. Vagnoni, D. Gezer, E. Pummer, E. Kasiulis, M. Čerpinska, B. Fischer-Aupperle, E. Malicka, D.Ch. Finger, P. Rudolf, E. Doujak, **S. Muntean** (Akademia Rumuńska O/Timisoara):
Możliwości rozwojowe oferowane społeczności hydroenergetycznej przez działanie CA21104 "PEN@HYDROPOWER" w ramach programu COST (EN)
- 18:10 **M. Gruszczyński** (UPW), T. Daszczyński (PW):
Międzuczelniany Obóz Studenckich Kół Naukowych DYCHÓW 2023

18:30 Zakończenie pierwszego dnia obrad**20:00 Kolacja konferencyjna (Hotel Scandic Wrocław)**

26 października 2023

8:30 Otwarcie obrad i informacje organizacyjne**Sesja V: MEW - technologia i uwarunkowania prawne**Obrady prowadzi: **Radosław Koropis** (TRMEW)

- 08:40 **M. Lis** (IOZE/Energetyka Wodna):
Na szlaku małej energetyki wodnej – podsumowanie wyjazdu studyjnego HYPOSO (online)
- 09:00 **E. Malicka** (TRMEW): *Sektor małej energetyki wodnej - zmiany legislacyjne*
- 09:20 **A. Olszewski**, K. Rafał (IOT), A. Góralczyk (IMP PAN), P. Szulc (WME PW): *Pływająca elektrownia wodna z turbiną hydrokinetyczną – założenia, konstrukcja, perspektywy rozwoju*
- 09:40 T. Gajek, A. Jaworski (**J. Krasucki**, CIM-mes Projekt Sp. z o.o): *Projektowanie optymalnego kształtu i konfiguracji turbiny hydrokinetycznej za pomocą obliczeń CFD*

10:00 Przerwa kawowa**Sesja VI: Odzysk energii hydraulicznej (sesja projektu Life NEXUS, część 1)**Obrady prowadzi: **prof. em. Janusz Plutecki** (Politechnika Wroclawska)

- 10:30 **K. Oboza**, W. Gładys (Aqua SA, Bielsko-Biała):
Instalacja turbiny wodnej na 90 letniej zaporze wodnej w Wapienicy
- 11:00 **M. Piękoś** (MPEC Kraków): *Zastosowanie turbin wodnych w sieciach ciepłowniczych - mała elektrownia sieciowa MPEC Kraków*
- 11:20 **P. Punys**, A. Radzevičius, L. Jurevičius (Uniwersytet Witolda Wielkiego, Kowno):
Integrowanie mikroturbin w systemy kanalizacyjne obszarów nizinnych (EN, online)
- 11:40 **J. Steller**, Z. Krzemianowski (IMP PAN), M. Hajdarowicz (Remak Energomontaż), A. Chlapek (T.I.S. Polska), A. Krawiec (KSB Polska), M. Rafacz (SEWIK Zakopane), G. Wygoda (MPGK Krosno): *Odzysk energii traconej w komunalnych obiegach wodnych - doświadczenia ze studiów przedwstępnych*

12:00 Przerwa kawowa

26 października 2023**Sesja VII: Odzysk energii hydraulicznej (sesja projektu Life NEXUS, część 2)**Obrady prowadzi: **Prof. em. Waldemar Jędral** (Politechnika Warszawska)

- 12:30 **A. Krawiec** (KSB Polska): *Pompa jako źródło energii*
- 12:50 **M. Janczak**, W. Lorenz (Hydrovacuum): *Miniturbiny THV – wybrane aspekty prac badawczych*
- 13:10 **A. Chlapek** (T.I.S. Polska): *Armatura grupy T.I.S. w zastosowaniach dla potrzeb energetyki wodnej i obiektów hydrotechnicznych*
- 13:30 **A. Kamiński** (PKN Orlen), **M. Lewandowski**, A. Adamkowski, W. Janicki (IMP PAN), **M. Kaniecki** (TEW/TG DNALOP), **S. Lewandowski** (TEW/EasyServ): *Odzysk energii wodnej traconej w procesach technologicznych - problemy projektowania algorytmów sterowania*

13:50 Przerwa obiadowa**Sesja VIII: Własności energetyczne i dynamiczne hydrozespołów**Obrady prowadzi: **Prof. Janusz Skrzypacz** (Politechnika Wroclawska)

- 15:00 **M. Kaniecki** (T-G DNALOP): *Współczesne trendy w modernizacji turbin wodnych, nakierowane na zwiększenie efektywności i elastyczności pracy elektrowni*
- 15:20 **S. Muntean** (AR), I. D. Rus, A.I. Bosioc (UPT), I.A. Draghici (AQUATIM S.A.): *Badania doświadczalne i numeryczne związane z modernizacją agregatów pomp zasobnikowych (EN)*
- 15:40 **P. Ševčík** (**L.Rinka**, OSC): *Pomiary gwarancyjne optymalnie zaprojektowanej MEW (EN)*
- 16:00 **G. Żywica** (IMP PAN): *Identyfikacja przyczyn podwyższonego poziomu drgań maszyn hydraulicznych - praktyczne przykłady*
- 16:20 **J. Bieńkowski**, P. Szulc, J. Rak (WME PWr): *Metody ograniczania zjawiska kawitacyjnych wirów sznurowych*

16:40 Przerwa kawowa**Sesja IX: Ochrona i regeneracja elementów hydrozespołów i urządzeń pomocniczych**Obrady prowadzi: **Prof. Grzegorz Żywica** (IMP PAN)

- 17:00 **J. Krasucki** (CIM-mes Projekt), Z. Buczko (Warszawski Instytut Technologiczny): *Technologia nCu ochrony urządzeń hydrotechnicznych przed zarastaniem biologicznym*
- 17:20 **K. Górlicka**, J. Przydatek (PFTechnology): *Zastosowanie filtrów samoczyszczących w elektrowniach wodnych*
- 17:40 **R. Masek** (Belse): *Kompozyty polimerowe w naprawach, regeneracji i modernizacji elementów maszyn hydraulicznych oraz obiektów hydrotechnicznych*
- 18:00 **J. Steller** (IMP PAN): *Równanie Rayleigha a efekty skalowe towarzyszące erozji kawitacyjnej w maszynach i urządzeniach hydraulicznych*
- 18:20 **J. Steller** (IMP PAN), W. Safonow (IMP PAN/KIPT): *Kawitacyjna wytrzymałość zmęczeniowa tworzyw konstrukcyjnych i powłok ochronnych*

18:45 Zamknięcie obrad konferencji**27 października 2023****8:30 Wyjazd do EW Malczyce****10:00 Wizyta w EW Malczyce / Klasztor Lubiąż****13:30 Obiad pożegnalny dla uczestników wizyty studyjnej (Karczma Cysterska w Lubiążu)****14:30 Wyjazd do Wrocławia****16:00 Przybliżony przyjazd do Hotelu Scandic lub Dworca Głównego we Wrocławiu**

CONFERENCE PROGRAMME**25. October, 2023****9:00 Welcome addresses and opening of the Conference****Opening Session**Session is chaired by: **Janusz Steller** (IMP PAN/TEW), Chairman of the Conference Organising Committee

- 9:00 J. Steller** (IMP PAN/TEW): Welcome address by the Conference Organising Committee
- 9:10 **J. Steller** (IMP PAN/TEW): *50 years of HYDROFORUM* (PL)
- 9:25 **P. Szulc** (WME PWr): Faculty of Mechanical and Power Engineering of Wrocław University of Science and Technology – Faculty presentation and welcome address
- 9:35 **W. Jędral** (PW): *Professor Stanisław Jan Zwierzchowski – Zowski - the forerunner of modern water turbine designs* (PL)
- 9:50 Welcome addresses by members of the Honorary Committee
M.Lackowski (IMP PAN): Opening of the Conference

10:20 Coffee break**Session I: Hydropower potential and multipurpose projects**Session is chaired by: **Prof. Michał Habel** (Casimir Magnus University, Bydgoszcz)

- 10:50 B. Wszolek, B. Gluchowska** (RZGW Wrocław): *Hydropower plants operated by the PGW Wody Polskie Regional Water Management Authority in Wrocław* (PL)
- 11:10 **K. Woś, G. Sikorski, M. Piekarski, Ł. Pieron, K. Wrzosek** (PGW Wody Polskie): *Multipurpose infrastructure at the Oder Navigation Waterway* (PL)
- 11:30 **S. Suk, I. Landau (S.Symovyan, Ukrhydroproject)**: *Navigation and infrastructure project connecting the Baltic and Black Seas. Overview and perspectives*
- 11:50 **M. Levitskyi, V. Kraynyk** (Ukrhydroprojekt): *Reconstruction of the Kakhovka HPP on the Dnipro River as a strategic step towards energy security of Ukraine. Current challenges and solutions*
- 12:10 **O.Obodovskyi, O. Pochayevets, O. Lukyanets, V. Grebin** (UTS), **M. Habel** (UKW): *Assessment of hydropower potential of rivers within the territory of Ukraine* (PL)

12:10 Coffee break**Session II: Pumped-storage hydropower**Session is chaired by **Janusz Łobacz** (EW Żarnowiec)

- 13:00 M. Kubecki** (IOZE/TRMEW): *Pumped storage development - a survey of current status in Poland and worldwide* (PL)
- 13:20 **K. Krüger** (Voith): *Pumped storage as a supporting pillar of the energy transition on an international level*
- 13:40 **F. Popa** (U. Valahia), **E.-I. Tica, B. Popa** (Politehnica Bucharest): *Pumped storage in Romania as solution for large development of variable renewable energy sources*

14:00 Lunch break**Session III: HYDROFORUM Debate "Pumped storage and its dilemmas"**Session is chaired by: **Stanisław Lewandowski** (EasyServ / TEW).

- 15:00 Opening of the session** (S.Lewandowski)

17:00 Coffee break**Abbreviations**

AR	- Romanian Academy Timisoara Branch	TEW	- Polish Hydropower Association
IMP PAN	- Institute of Fluid-Flow Machinery, Pol.Ac.Sci.	TRMEW	- Polish Association for Small Hydropower Development
IOT	- Institute of Technology Optimisation, Warsaw	UKW	- Casimir Magnus University, Bydgoszcz
IOZE	- Institute of Renewable Energy Sources, Kielce	UPT	- University „Politehnica Timisoara”
KIPT	- Kharkiv Institute of Physics and Technology	UTS	- Taras Shevchenko University, Kiev
PGW WP	- Water State Holding „Polish Waters”	UWW	- Vytautas Magnus University, Kaunas
PW	- Warsaw University of Technology	UPW	- Wrocław University of Natural Sciences
PWr	- Wrocław University of Science and Technology	WIT	- Warszawski Institute of Technology
RZGW	- Regional Water Management Authority	WME	- Faculty of Mechanical and Power Engineering

25. October 2023 (continued)**Session IV: R&D, promotional and educational projects**Session is chaired by: **Przemysław Szulc** (Wrocław University of Science and Technology, Faculty of Mechanical and Power Eng.)

- 17:30** **J. Skrzypacz**, A. Machalski, P. Szulc, D. Błoński, M. Nems (WME PWr):
Digital solutions for improving the sustainability, performance and FLEXibility potential of HYDROpower assets. Project characteristics (PL)
- 17:50 G. Cavazzini, E. Vagnoni, D. Gezer, E. Pummer, E. Kasiulis, M. Čerpinska, B. Fischer-Aupperle, E. Malicka, D.Ch. Finger, P. Rudolf, E. Doujak, **S. Muntean** (Akademia Rumuńska O/Timisoara):
Opportunities offered by PEN@HYDROPOWER COST Action CA21104 for the development of the European hydropower community (PL)
- 18:10 **M. Gruszczyński** (UPW), T. Daszczyński (PW):
Intercollegiate Camp of Student Scientific Clubs "Dychów 2023"

18:30 **Closing of the first day of Conference****20:00** **Conference Dinner (Grano Hotel, Gdańsk)****26. October 2023****8:30** **Opening of the debate and Organising Committee's communications****Session V: Small hydropower - technology and legislative constraints**Session is chaired by: **Radosław Koropis** (TRMEW)

- 08:40** **M. Lis** (Energetyka Wodna/ Institute of Renewable Energy Sources):
On the small hydropower route - summarisation of the HYPOSO study tour (PL, online)
- 09:00 **E. Malicka** (TRMEW): *Small hydropower sector - legislative changes (PL)*
- 09:20 **A. Olszewski**, K. Rafał (IOT), A. Góralczyk (IMP PAN), P. Szulc (WME PWr): *A floating hydro-power plant with a hydrokinetic turbine - assumptions, design, development prospects (PL)*
- 09:40 T. Gajek, A. Jaworski (**J. Krasucki**, CIM-mes Projekt Sp. z o.o.):
The CFD aided design of a hydrokinetic turbine optimum shape and configuration (PL)

10:00 **Coffee break****Session VI: Hydraulic energy recovery (Life NEXUS Project Session - Part 1)**Session is chaired by: **Prof. em. Janusz Plutecki** (Wrocław University of Science and Technology)

- 10:30 **K. Oboza**, W. Gładys (Aqua SA, Bielsko-Biała):
Hydraulic turbine installation at the 90 years old Wapienica water dam (PL)
- 11:00 **M. Piękoś** (MPEC Kraków): *Hydraulic turbines application in heating networks - a small network plant in the Cracow Municipal Heating Company (PL)*
- 11:20 **P. Punys**, A. Radzevičius, L. Jurevičius (Vytautas Magnus University, Kaunas):
Integrating microturbines into sewage systems of lowland areas (online)
- 11:40 **J. Steller**, Z. Krzemianowski (IMP PAN), M. Hajdarowicz (Remak Energomontaż), A. Chlapek (T.I.S. Polska), A. Krawiec (KSB Polska), M. Rafacz (SEWIK Zakopane), G. Wygoda (MPGK Krosno): *Recovery of energy lost in water cycles - the expertise following from the prefeasibility studies (PL)*

11:50 **Coffee break**

26. October 2023

Session VII: Hydraulic energy recovery (Life NEXUS Project Session - Part 2)Session is chaired by: **Prof. em. Waldemar Jędral** (Warsaw University of Technology)

- 12:30 **A. Krawiec** (KSB Polska): *Pump as an energy source* (PL)
- 12:50 **M. Janczak**, W.Lorenz (Hydrovacuum): *THV mini-turbines - selected research aspects* (PL)
- 13:10 **A. Chlapek** (T.I.S. Polska): *T.I.S. Group hydraulic equipment and fittings as applied for the needs of hydropower and hydraulic civil engineering projects* (PL)
- 13:30 **A. Kamiński** (PKN Orlen), **M. Lewandowski**, A. Adamkowski, W. Janicki (IMP PAN), **M. Kaniecki** (TEW/TG DNALOP), **S. Lewandowski** (TEW/EasyServ): *Recovery of hydraulic energy lost in technological processes - the problems of developing control algorithms* (PL)

13:50 Lunch break

Session VIII: Performance and dynamic properties of hydraulic unitsSession is chaired by: **Prof. Janusz Skrzypacz** (Wroclaw University of Science and Technology)

- 15:00 **M. Kaniecki** (T-G DNALOP): *Current trends in hydraulic turbine upgrades oriented on enhancing the hydropower plant effectiveness and flexibility* (PL)
- 15:20 **S. Muntean** (AR), I. D. Rus, A.I. Bosioc (UPT), I.A. Draghici (AQUATIM S.A.): *Experimental and numerical investigations for the rehabilitation of the storage pumping units*
- 15:40 **P. Ševčík** (**L.Rinka**, OSC): *Guarantee measurement of optimally designed SHPP*
- 16:00 **G. Żywica** (IMP PAN): *Identification of the reasons for hydraulic machinery enhanced vibration level - practical examples* (PL)
- 16:20 **J. Bieńkowski**, P. Szulc, J. Rak (WME PWŹ): *The methods to mitigate the cavitating vortex rope phenomenon* (PL)

16:30 Coffee break

Session IX: Protection and regeneration of hydraulic unit and auxiliary equipment componentsSession is chaired by: **Prof. Grzegorz Żywica** (Institute of Fluid-Flow Machinery, Pol.Ac.Sci.)

- 17:00 **J. Krasucki** (CIM-mes Projekt), **Z. Buczko** (Warsaw Institute of Technology): *Protection of hydraulic civil engineering equipment against biological overgrowth by means of the nCu technology* (PL)
- 17:20 **K. Górlicka**, J. Przydatek (PFTechnology): *Hydropower applications of self-cleaning filters* (PL)
- 17:40 **R. Masek** (Belse): *Polymer composites in repairs, regeneration and rehabilitation of hydraulic machinery and civil engineering components* (PL)
- 18:00 **J. Steller** (IMP PAN): *Rayleigh equation and cavitation erosion scaling effects in hydraulic machinery and equipment* (PL)
- 18:20 **J. Steller** (IMP PAN), V. Safonov (IMP PAN/KIPT): *Cavitation fatigue strength of structural materials and protective coatings* (PL)

18:15 Closing of the Conference

27. October 2023

8:30 Departure to Malczyce Hydropower Plant

10:00 Study visit to Malczyce Hydropower Plant / Lubiąż Monastery

13:30 Farewell dinner for the study visit participants (Cistersian Inn in Lubiąż)

14:30 Departure to Wrocław

16:00 Approximate arrival to Scandic Hotel or Wrocław Railway Station

Sesja inauguracyjna

Opening Session

- 0.1.** Janusz Steller:
50 lat HYDROFORUM
- 0.2.** Waldemar Jędrał:
Profesor Stanisław Jan Zwierzchowski –Zowski
- prekursor konstrukcji nowoczesnych turbin wodnych

Notatki

Notes

50 lat HYDROFORUM

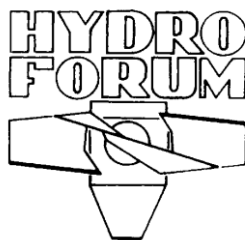
Janusz Steller

Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk, Gdańsk
Towarzystwo Elektryków Wodnych
e-mail: steller@imp.gda.pl

Spojrzenie w przeszłość

Z początkiem października tego roku minęło 50 lat od obrad konferencji naukowo-technicznej „Współczesne problemy badań i eksploatacji maszyn hydraulicznych”, otwierającej cykl konferencyjny znany odtąd pod nazwą HYDROFORUM. Był rok 1973. Trzy lata wcześniej zakończono budowę Stopnia Wodnego Włocławek. Pod koniec tego samego roku doszło do podpisania historycznego traktatu między Polską Rzeczpospolitą Ludową a Republiką Federalną Niemiec oraz do krwawego przełomu politycznego kończącego władzę Władysława Gomułki. W roku następnym oddano do eksploatacji ESP Żydowo, a Instytut Maszyn Przepływowych PAN – po 15 latach korzystania z gościnności Politechniki Gdańskiej – przeniósł się do nowej siedziby przy ul. Fiszera 14. To właśnie tutaj miały miejsce obrady HYDROFORUM’73. Konferencja została zorganizowana wspólnie przez IMP PAN oraz Zakłady Energetyczne Okręgu Północnego, z którymi Instytut utrzymywał ścisłe kontakty robocze od początku lat 60-tych.

Autor tego tekstu pamięta dobrze dyskusje na temat nazwy i logo HYDROFORUM, jakie były przenoszone do jego domu rodzinnego. Inspiracja dla ostatecznego wyboru nazwy przyszła z byłej Czechosłowacji, gdzie do dziś organizowane są konferencje HYDROTURBO, natomiast dolna część logo (rys. 1) jest dokładnym odwzorowaniem zarysu wirnika turbiny Kaplan, jaki zamieszczono na okładce wielojęzycznego leksykonu prof. A.T. Trokoleńskiego p.t. „Maszyny i urządzenia hydrauliczne” [1]. Prace przygotowawcze do HYDROFORUM’73 przebiegały w IMP PAN równoległe do prac związanych z wydaniem tego znakomitego dzieła.



Rys.1 Oryginalne logo konferencji HYDROFORUM

Konferencja HYDROFORUM’73 zgromadziła 110 uczestników reprezentujących 45 instytucji i przedsiębiorstw – w tej ostatniej liczbie 7 uczelni wyższych i 5 innych instytucji badawczych i badawczo-rozwojowych. Podczas 4 sesji wygłoszono 25 referatów i komunikatów. Prawie całą sesję I poświęcono zagadnieniom kawitacji i erozji kawitacyjnej, sesję II – zagadnieniom

eksploatacji i diagnostyki maszyn hydraulicznych ze szczególnym uwzględnieniem doświadczeń z dwuletniej eksploatacji ESP Żydowo, zaś sesje III i IV – tematyce związanej głównie z pompami wirowymi i sprzęgłami hydrokinetycznymi. Wszystkie te zagadnienia wchodziły wówczas w zakres prac badawczych prowadzonych w Zakładzie Dynamiki Cieczy IMP PAN. Obrady otworzył ówczesny dyrektor Instytutu, prof. Tadeusz Gerlach, zaś kolejnym sesjom przewodniczyli: prof. W. Krzyżanowski (Politechnika Gdańska), mgr inż. J. Ogonowski (ZE Okręgu Północnego), em. prof. A.T. Trokoleński (Politechnika Wrocławska), mgr inż. M. Hoffmann (Zjednoczenie Energetyki).

Wszyscy uczestnicy otrzymali drukowane teksty referatów, które później ukazały się w recenzowanym czasopiśmie *Prace Instytutu Maszyn Przepływowych* (obecnie *Transactions of the IFFM*). Tradycję tę udało się utrzymać w latach 80-tych. Później – do roku 2005 – teksty wystąpień ukazywały się w osobnych wydawnictwach konferencyjnych lub pokonferencyjnych [2÷8]. Od czasu wznowienia cyklu – najpierw pod nazwą konferencji RENEXPO Poland, potem Polskich Konferencji Hydroenergetycznych RENEXPO Poland, w końcu Polskich Konferencji Hydroenergetycznych HYDROFORUM – uczestnicy konferencji otrzymują wydane drukiem książki streszczeń, po czym autorzy wybranych referatów są zapraszani do złożenia swoich artykułów pokonferencyjnych w redakcji kwartalnika „Energetyka Wodna” lub w Redakcji Wydawnictw IMP PAN.

HYDROFORUM’73 okazało się wielkim sukcesem, a kolejne edycje pozwoliły utrzymać dobrą markę. Ponieważ audytorium nie mogło pomieścić wszystkich uczestników, zorganizowano transmisję telewizyjną do holu na zewnątrz. Telewizji przemysłowej używano również przy pokazach obłoku kawitacyjnego na niedawno uruchomionym stanowisku do badania odporności kawitacyjnej materiałów metodą wirującej tarczy. W tym czasie było to stanowisko wyjątkowo chętnie pokazywane gościom Instytutu.

Zakład Dynamiki Cieczy IMP PAN

Inicjatorem i *spiritus movens* pierwszych konferencji HYDROFORUM był prof. Kazimierz Steller, od roku 1972 kierownik Zakładu Dynamiki Cieczy [ZDC] w Instytucie Maszyn Przepływowych PAN. Prof. Kazimierz Steller był absolwentem Politechniki Gdańskiej, uczniem prof. Michała Broszki, a następnie asystentem w Katedrze Hydromechaniki i Budowy Turbin Wodnych Politechniki Gdańskiej, kierowanej od roku 1954 przez prof. Władysława Krzyżanowskiego. W roku

1964 ówczesny Wydział Budowy Maszyn Politechniki nadał mojemu ojcu stopień doktora nauk technicznych na podstawie rozprawy „Teoretyczne i eksperymentalne studia nad zasadami konstrukcji i warunkami pracy średniobieżnych, rewersyjnych maszyn wodnych”. Już od roku 1957 był zatrudniony w IMP PAN, do którego przeszedł w pełnym wymiarze w roku 1966. W roku 1972 uzyskał nominację na stanowisko docenta, a w roku 1987 - tytuł profesora nadzwyczajnego. Od roku 1965 kierował nieprzerwanie pracami Redakcji Wydawnictw IMP PAN.

Tematyce odwracalnych maszyn hydraulicznych pozostał wierny do końca, prowadząc liczne badania stanu dynamicznego hydrozespołów w EW Żydowo i Żarnowiec, nadzorując prace dotyczące diagnostyki kawitacyjnej i technologii napraw pokawitacyjnych, w końcu - angażując się w badania nad zastosowaniem pomp wirowych do pracy w ruchu turbinowym. Przez ostatnie 10 lat swojego życia był silnie zaangażowany w koordynację zadań realizowanych w ramach kierunku 6 Programu Rządowego PR-8 oraz kierunku 7 Centralnego Programu Badawczo-Rozwojowego CPBR 5.1. Jednocześnie pracował systematycznie nad kolejnymi rozdziałami monografii poświęconej kawitacji i erozji kawitacyjnej w maszynach i urządzeniach hydraulicznych. Wersje robocze niektórych rozdziałów ukazały się w formie Zeszytów Naukowych IMP PAN jeszcze w latach 1982-83. [9÷11]. Kontynuację prac utrudniało silne zaangażowanie w koordynację zadań związanych z realizacją licznych zadań w ramach obu ww. programów badawczo-rozwojowych. Ostatecznie przerwał ją ciężki zawał serca w marcu 1992 r. – krótko po powrocie z badań w ESP Żydowo. Dwa miesiące później ojciec mój odszedł na zawsze.

Spuścizna materialna po pracy prof. K.Stellera obejmuje między innymi 146 pozycji publikacyjnych, z czego 110 należy do kategorii oryginalnego piśmiennictwa naukowego. Spuściznę niematerialną nie sposób jest ocenić – pozostała ona w sercach i umysłach jego uczniów i współpracowników, w tym licznych dyplomantów i trzech doktorantów wypromowanych w latach osiemdziesiątych (dr inż. J.Kirejczyk, dr inż. A.Łojek, prof. A.Adamkowski).

Zakład Dynamiki Cieczy powstał w drugiej połowie lat 60-tych w wyniku restrukturyzacji byłego Zakładu Hydrodynamiki. Przez pierwsze lata kierował nim prof. Eustachy S. Burka, który w roku 1972 uzyskał stopień doktora habilitowanego. W tym czasie trzon kadrowy Zakładu stanowili nadal byli lub wciąż czynni pracownicy Katedry Hydromechaniki i Budowy Turbin Wodnych Politechniki Gdańskiej. Oprócz prof. E.S. Burki i mojego ojca – prof. Jan Brosch i prof. Stanisław Dąbrowski. Wychowankami Katedry była większość pozostałych pracowników Zakładu (w tym mgr inż., mgr inż. W.Kuciel, W.Orman, Z.Reymann, T.Wilski, później – dr inż. J.Kirejczyk, dr inż. A.Łojek, mgr inż. J.Świderski).

Prace badawcze i badawczo-rozwojowe dotyczyły głównie projektowania i eksploatacji wirnikowych maszyn hydraulicznych (turbin wodnych, pomp wirowych

i sprzęgieł hydrokinetycznych), a także zjawisk zachodzących zarówno w tych maszynach, jak i w takich elementach instalacji hydraulicznych, jak rurociągi derywacyjne, kraty wlotowe, a czasami i zawory. Przedmiotem badań naukowych było przede wszystkim zjawisko kawitacji ze szczególnym uwzględnieniem erozji kawitacyjnej oraz zjawiska przejściowe w dużych maszynach hydraulicznych i rurociągach derywacyjnych. Z uwagi na ścisłą współpracę z energetyką wodną, szczególną uwagę poświęcano metodyce badań energetycznych i diagnostycznych (w tym kawitacyjnych) hydraulicznych maszyn wirnikowych, a także ocenie odporności kawitacyjnej materiałów konstrukcyjnych, rozwojowi technologii jej podwyższania oraz napraw pokawitacyjnych. Te ostatnie prace prowadzono w ścisłej współpracy z Katedrą Metaloznawstwa i Obróbki Ciepłej Politechniki Gdańskiej (dr inż. T.Krzysztofowicz).

Z energetyką wodną związane były prace zespołu prof. K.Stellera. Prace konstrukcyjne nad układami przepływowymi turbin wodnych zostały zintensyfikowane w latach osiemdziesiątych w związku z podjęciem wysiłków na rzecz budowy zaplecza przemysłowego dla MEW w ramach wspomnianych wcześniej programów PR-8 i CPBR 5.1. oraz pakietu projektów KBN pn. „Rozwój małej energetyki wodnej”. Wyniki tych prac podsumowano podczas HYDROFORUM'94 [6]



Rys.2 Prof. dr inż. Kazimierz Steller (1925-1992). Kierownik Zakładu Dynamiki Cieczy w latach 1972-92. Inicjator i Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego pierwszych konferencji HYDROFORUM

Z energetyką cieplną związana była działalność Pracowni Pomp i Sprzęgieł Hydrokinetycznych, kierowanej przez prof. Stanisława Dąbrowskiego. Pracownia współpracowała z różnymi wytwórcami sprzęgieł hydrokinetycznych – przede wszystkim z ZM Zamech Elbląg (później ABB Zamech, obecnie GE Energy). W latach 90-tych i później działalność Pracowni kontynuował mgr inż. Z.Stankiewicz.

Podstawą badań doświadczalnych były stanowiska laboratoryjne, wśród których wymienić należy przede wszystkim stanowisko uniwersalne do badań modelowych pomp i turbin wodnych, stanowisko do badań sprzęgieł hydrokinetycznych, stanowiska do badań odporności kawitacyjnej metodą wirującej tarczy i metodą

wibracyjną. Charakter prowizoryczny miały 3 tunele hydrodynamiczne, w tym wykorzystywane do dziś tunel do badań erozji kawitacyjnej. Oprócz tego powstawały stanowiska doraźne, wykorzystywane dla potrzeb konkretnych zadań badawczych w oparciu o dostępną infrastrukturę laboratoryjną.

Zakład Dynamiki Cieczy znikł ze schematu organizacyjnego IMP PAN w roku 1998 w wyniku kolejnej restrukturyzacji. Po śmierci prof. K.Stellera kierował nim przez 2 lata prof. E.S.Burka, a następnie autor tego tekstu. Dziś nieliczni, wciąż czynni zawodowo, pracownicy ZDC zatrudnieni są w trzech utworzonych później zakładach: w Zakładzie Hydroenergetyki i w Zakładzie Procesów Erozyjnych (Ośrodek Hydrodynamiki) oraz w Zakładzie Turbin (Ośrodek Energetyki Ciepłej).

Dekada niepokoju i nadziei

Rok 1980 przyniósł doniosłe wydarzenia, które 10 lat później miały doprowadzić do fundamentalnych zmian ustrojowych w Polsce i w innych krajach Europy Środkowej i Wschodniej, a następnie do pokojowych zmian geopolitycznych o zasięgu globalnym. Niestety nie obyło się bez późniejszych tragicznych wstrząsów, które dziś zaczęły wymykać się spod kontroli.

Dla energetyki krajowej, a zwłaszcza energetyki wodnej, lata osiemdziesiąte były okresem wyhamowywania rozpędzonej lokomotywy inwestycyjnej. Powodem był kryzys ekonomiczny pogłębiony jeszcze sankcjami nałożonymi na Polskę po wprowadzeniu stanu wojennego. Priorytetem inwestycyjnym pozostawała Elektrownia Jądrowa Żarnowiec. Kończono daleko zaawansowaną budowę EW Żarnowiec, która miała z nią współtworzyć ważny węzeł energetyczny na północy kraju. Kontynuowano także prace przy Zbiorniku Czorsztyńskim z EW Niedzica. Jeszcze w roku 1980 wstrzymano jednak budowę EW Młoty oraz przygotowania do budowy Kaskady Dolnej Wisły. Budowę EW Młoty wznawiano jeszcze kilkakrotnie, by jej ostatecznie zaniechać. Budowy kolejnego stopnia na Dolnej Wiśle w ogóle nie udało się uruchomić. Mimo to, do końca lat osiemdziesiątych kontynuowano prace studialne dotyczące rozwoju polskiej energetyki wodnej w ramach programów PR-8 i CPBR 5.1. Prowadziło je przede wszystkim Biuro Studiów i Projektów Energetycznych Energoprojekt Warszawa. Studia te przewidywały ostateczne zakończenie budowy Kaskady Dolnej Wisły do roku 2020. W tym czasie moc polskich elektrowni pompowoszczynowych miała wzrosnąć do blisko 6000 MW.

Obrady konferencji HYDROFORUM'80 [3] toczyły się w dniach 20-23 września 1980 r. ośrodku wypoczynkowym Porąbka-Kozubnik położonym w dolinie potoku Mała Puszcza, w bliskim sąsiedztwie uruchomionej rok wcześniej EW Porąbka-Żar, która stanowiła cel wizyty studyjnej. Ośrodek Porąbka-Kozubnik należał wówczas do Hutniczego Przedsiębiorstwa Remontowego. Dziś, po latach całkowitej dewastacji, wraca powoli do dawnego blasku.

Współorganizatorem HYDROFORUM'80 były Zakłady Energetyczne Okręgu Północnego i Południowego. W konferencji wzięło udział 135 osób reprezentujących 60 instytucji i przedsiębiorstw. Wśród nich -

szereg uczestników zagranicznych. W tym czasie Zakład Dynamiki Cieczy IMP PAN utrzymywał wciąż ożywione kontakty z zagranicznymi ośrodkami badawczymi – m.in. w Ołomuńcu i Ostrawie (dr inż. A.Koutny i prof. J.Noskiewič), a także w Budapeszcie (m.in. prof. G. Sebestyen, prof. A.Verba, inż. L.Kisbocskoi, inż. A.Szabo), w Timisoarze (m.in. prof. I.Anton, prof. O.Popa oraz dr inż. A.Kuzman) i w Lublanie (m.in. dr inż. A.Bizjak i dr inż. V.Kerčan). Uczestnikami konferencji bywali przedstawiciele ČKD Blansko (inż. Bednař i inż. Kanicky). Uczestniczyli w nich także mieszkający w Wielkiej Brytanii wybitni polscy specjaliści z zakresu kawitacji i erozji kawitacyjnej – dr inż. Andrzej Lichtarowicz (profesor Uniwersytetu Nottingham) i inż. Dawid Rachman (Uniwersytet Strathclyde w Glasgow). Pod koniec lat osiemdziesiątych stałymi uczestnikami stali się partnerzy Zakładu Dynamiki Cieczy z Instytutu Problemów Budowy Maszyn AN USRR w Charkowie (dr inż., dr inż. A.Bykow, W.Diedkow, J.Fiedułow).

Ważną częścią obrad prawie wszystkich konferencji HYDROFORUM były debaty poświęcone najbardziej „gorącym” tematom rozwoju polskiej energetyki wodnej, a w latach 80-tych – także wynikiom realizowanych w tym czasie programów badawczo-rozwojowych. W ramach HYDROFORUM'80 prowadzono debaty nt. elektrowni wodnych na Dolnej Wiśle oraz zadaniom przewidzianym do realizacji w ramach kierunku 6 programu PR-8. Doświadczeniom z pierwszego okresu eksploatacji EW Żarnowiec poświęcona była z kolei pierwsza debata podczas konferencji HYDROFORUM'85. Temat debaty drugiej stanowiło podsumowanie wyników prac w ramach programu PR-8 i zadania przewidziane w ramach programu CPBR 5.1 stanowiły. HYDROFORUM'85 obradowało w dniach 24-27 września 1985 r. w Cetniewie pod Władysławowem [4]. Współorganizatorem był Północny Okręg Energetyczny. Obrady otworzył prof. Jerzy Krzyżanowski, wieloletni dyrektor IMP PAN. Konferencja okazała się pod wieloma względami rekordowa. Brało w niej udział 158 uczestników z 56 instytucji, a program obejmował nie tylko wizytę w EW Żarnowiec i na placu budowy elektrowni jądrowej, ale także w laboratoriach Centrum Techniki Okrętowej, Instytutu Budownictwa Wodnego i Instytutu Maszyn Przepływowych PAN.

Realizacja programu CPBR 5.1 wymagała szczególnie dobrej koordynacji i wysiłku, gdyż wiele zadań nosiło charakter wdrożeniowy. Harmonogram prac uwzględniał jednak również wspomniane wcześniej prace studialne dotyczące rozwoju polskiej energetyki wodnej. Omawiano je m.in. podczas pierwszego z 4 sympozjów kończących prace w ramach kierunku 7 CPBR 5.1 [12÷15]. Sympozja odbywały się pod marką HYDROFORUM w audytorium IMP PAN we wrześniu i październiku 1990 r. i były powiązane z wizytami technicznymi na terenie obiektów pilotowych z zainstalowanymi maszynami i urządzeniami prototypowymi opracowanymi w ramach prac wdrożeniowych na terenie ZEW Koronowo, a także w elektrowniach prywatnych Piła Młyn i Święte. Na końcowym etapie prac uzyskano zgodę na przedłużenie realizacji części z nich do roku 1991. Ostateczne ich podsumowanie przeprowadzono

podczas Sympozjum '91 zorganizowanego w Gdyni Orłowie [5]. Sympozjum powiązane było z wizytą techniczną w EW Żarnowiec, gdzie przeprowadzono sesję poświęconą rozwijaniu w ramach CPBR 5.1 systemowi nadzoru diagnostycznego hydrozespołów odwracalnych. W drodze powrotnej uczestnicy mieli okazję odwiedzić ponownie teren budowy Elektrowni Jądrowej Żarnowiec – tym razem na krótko przed jej ostatecznym zamknięciem. Zakupiony reaktor pierwszego bloku jądrowego stał jeszcze długo na hali maszyn EW Żarnowiec zanim sprzedano go ostatecznie do Finlandii, gdzie prawdopodobnie pracuje do dzisiaj.

Cechą znaną prac badawczo-rozwojowych prowadzonych w latach osiemdziesiątych była silna obecność tematyki związanej z małą energetyką wodną. Walnie przyczynił się do tego mgr inż. Marian Hoffmann, wówczas główny specjalista ds. energetyki wodnej w Ministerstwie Energetyki i Energii Atomowej. M. Hoffmann miał zasadniczy wpływ na planowanie, a także rozliczanie tych prac realizowanych w ramach obu programów badawczo-rozwojowych, które były związane z energetyką wodną. Był on jednocześnie głównym autorem Uchwały Rady Ministrów nr 192 z 1981 roku [16]. Uchwała ta uchodzi za pierwszy krok władz PRL w kierunku odrodzenia niepublicznego segmentu małej energetyki wodnej. Pod koniec dekady stał się głównym inicjatorem powstania Towarzystwa Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych (TRMEW) i jego pierwszym prezesem. Co ciekawe, z okresu pracy w Ministerstwie wyniósł dużą nieufność do instytucji i firm państwowych. Być może odczuwał ją już zresztą wcześniej.

Część prac badawczo-rozwojowych związanych z małą energetyką wodną kontynuowano w latach 90-tych w ramach pakietu projektów Komitetu Badań Naukowych (KBN) pn. *Rozwój małej energetyki wodnej*. W tym samym czasie IMP PAN był współwykonawcą projektu dotyczącego odzysku energii hydraulicznej traconej w przemysłowych instalacjach technologicznych. Kierownikiem projektu był prof. Maciej Zarzycki (Politechnika Śląska), a prace skoncentrowały się ostatecznie na wykorzystaniu pomp do pracy w ruchu turbinowym. Podsumowanie obu projektów przyniosła konferencja HYDROFORUM '94 w Straszynie [6]. Z tej okazji uczestnicy mieli okazję zwiedzić Elektrownie Wodne Straszyn, Łapino i Bielkowo. Po historycznej EW Straszyn oprowadzał ich nestor polskiej energetyki wodnej, inż. Konrad Lewandowski.

Tematyka pompowa była obecna podczas obrad pierwszego cyklu HYDROFORUM do samego końca, chociaż stopniowo przejmowały ją konferencje branżowe, w tym doroczne spotkania użytkowników pomp organizowane przez prężne czasopismo „Pompy, pompownie” pod redakcją dra inż. Piotra Świtalskiego..

Towarzystwo Elektrowni Wodnych

Być może cykl HYDROFORUM zakończyłby się już w roku 1994, gdyby nie kontakt, jaki z autorem tego tekstu nawiązało Towarzystwo Elektrowni Wodnych oraz autentyczne zainteresowanie kolejnym zebraniem konferencyjnym ze strony środowiska hydroenergetyków. Towarzystwo rozpoczęło swoją działalność w roku

1991. W roku następnym Sąd Okręgowy w Toruniu dokonał jego rejestracji. Jak wspominają członkowie-założyciele, stowarzyszenie powstało z troski kierowniczej kadry inżynierskiej energetyki wodnej o dalsze losy sektora – wówczas rozproszonego pomiędzy liczne zakłady energetyczne, nie zawsze dobrze przygotowane do eksploatacji obiektów hydroenergetycznych, a w każdym razie – często nie ujmujące sektora energetyki wodnej w swoich priorytetach rozwojowych. Podjęte wówczas działania wsparły powstanie silnej spółki Elektrownie Szczytowo-Pompowe SA (dziś PGE Energia Odnawialna SA). Ostatecznie w skład majątku Spółki weszła elektrownia szczytowo pompowa Żarnowiec oraz Zespoły Elektrowni Wodnych Porąbka-Żar, Solina i Dychów. W ciągu następnych lat Towarzystwo Elektrowni Wodnych z różnym skutkiem i intensywnością działało na rzecz sektora hydroenergetyki uczestnicząc w konsultacjach licznych aktów prawnych, sporządzając ekspertyzy specjalistyczne, organizując wyjazdy studyjne, tematyczne spotkania seminaryjne i zebrania konferencyjne [17]. Z początkiem ubiegłej dekady TEW przejęło też rolę głównego organizatora Polskich Konferencji Hydroenergetycznych – od roku 2019 kontynuowanych pod nazwą PKH HYDROFORUM.

W dużej mierze za namową mgra inż. Stanisława Lewandowskiego, obecnie Prezesa Honorowego TEW, a na przełomie stuleci – Dyrektora ds. Eksploatacji (później Eksploatacji i Rozwoju) ESP SA – autor tego tekstu zdecydował się na organizację kolejnego HYDROFORUM. Poprzedziła je udana konferencja „Energetyka Wodna w Systemie Gospodarczym XXI wieku” zorganizowana przez TEW i Komitet Problemów Energetyki PAN w 1999 roku w Dychowie z udziałem przedstawicieli specjalistów i kadry kierowniczej energetyki wodnej oraz świata nauki.

Konferencję HYDROFORUM 2000 [7] zorganizowano w dniach 18-20 października 2000 r. w Osadzie Turystycznej Czorsztyn staraniem IMP PAN i TEW, a także spółki ESP SA, Zespołu Zbiorników Wodnych Czorsztyn – Niedzica – Sromowce Wyżne SA oraz Politechniki Lubelskiej. Jej lokalizacja związana była z niedawnym uruchomieniem Elektrowni Wodnej Niedzica. Konferencja zgromadziła stu kilkunastu uczestników i prowadzona była po raz pierwszy z wykorzystaniem tłumaczenia symultanicznego. Wygłoszono w sumie 55 referatów. Dzięki zaangażowaniu ESP SA i osobiście Prezesa S.Lewandowskiego udało się zapewnić obecność przedstawicieli kadry kierowniczej polskiej energetyki wodnej i KDM. Z tego samego powodu, ale także dobrej marki HYDROFORUM i kontaktów naukowych IMP PAN, w konferencji uczestniczyli też liczni przedstawiciele uczelni i instytucji badawczych. Z kolei w związku z prowadzoną modernizacją EW Żarnowiec oraz ZEW Solina-Myczkowce uczestnikami HYDROFORUM 2000 i 2005 byli przedstawiciele VA Tech Hydro (obecnie Andritz Hydro) oraz grupy kapitałowej Voith.

W inauguracji HYDROFORUM 2000 uczestniczył ówczesny dyrektor IMP PAN, prof. Jarosław Mikielewicz, oraz prezes ESP SA, Jan Tokarz. Nieobecny z powodu choroby Prezes Zespołu Zbiorników Wodnych, mgra inż. Władysław Krakowski, reprezentował

mgr inż. Jacek Krzyszkowski. Podczas debaty panelowej zrozumiała niepokój wzbudziła wypowiedź ówczesnej dyrektor Krajowej Dyspozycji Mocy, p. Stefani Kasperzyk, o malejącym znaczeniu szczytowych elektrowni wodnych w związku z przejmowaniem zadań regulacyjnych przez energetykę ciepłą oraz odbiorców przemysłowych. Opinia ta stała w sprzeczności z tendencjami obserwowanymi od lat w krajach silnie zaangażowanych w rozwój energetyki wiatrowej – zwłaszcza w obliczu coraz bardziej powszechnych wezwań do przyspieszenia transformacji energetycznej w Unii Europejskiej. Niestety, w Polsce przeważała opinia, że rozwój OZE odbywać się będzie poprzez spalanie biomasy, zwłaszcza wspólnie z paliwem konwencjonalnym. Opinia o braku potrzeby rozwoju energetyki pompowo-szczytowej dominowała przez długie lata w środowisku decydenckim, a także wśród wielu specjalistów elektroenergetyków. Tymczasem odwrót od technologii współspalania nastąpił jeszcze szybciej niż jej wdrażanie.

Konferencja HYDROFORUM 2005 [8] zorganizowana została przez IMP PAN i TEW na przepięknym Zamku Kliczkowskim, położonym w Borach Dolnośląskich. Organizatorem lokalnym była Politechnika Wrocławska (prof. Jan Malko, prof. Kazimierz Wójs, dr inż. A. Sitka). Lokalizacja podyktowana została modernizacją Elektrowni Wodnej Dychów, którą wyposażono w nowe hydrozespoły Voith Hydro. Wobec nieporozumień, do jakich doszło w międzyczasie na linii TEW / ESP SA, współorganizatorem konferencji stały się jednak Jeleniogórskie Elektrownie Wodne. Wizytę techniczną przez malownicze zapory EW Pilchowice I i EW Leśna poprowadził mgr inż. Ryszard Turek. Podobnie jak poprzednio, otworzył ją prof. Jarosław Mikielwicz. Debata panelową dotyczącą analizy SWOT hydroenergetyki poprowadził prof. Jan Malko.

Konferencję poprzedziło seminarium HYDROFORUM 2004, które odbyło się w IMP PAN w związku z wizytą delegacji Europejskiego Stowarzyszenia MEW (ESHA) z jej prezesem, prof. Bernhardem Pelikanem. W Seminarium udział wzięli przedstawiciele TRMEW, którzy wspólnie z ZEW Straszyn zorganizowali objazd po małych elektrowniach wodnych. W następstwie tej wizyty Instytut przystąpił do ESHA, a piszący te słowa zasiadał w szerokim zarządzie (*Governing Board*) tej organizacji do końca jej istnienia (2014 r.). Wcześniej IMP PAN przystąpił do Towarzystwa Elektrowni Wodnych w charakterze członka wspierającego udostępniając pomieszczenie przeznaczone na organizację Punktu Konsultacyjnego Energetyki Wodnej.

Konferencja na zamku w Kliczkowie zamknęła pierwszy cykl HYDROFORUM. Liczba uczestników była znacznie mniejsza niż w Czorsztynie, co wynikało nie tylko ze wspomnianych nieporozumień z ESP SA, ale przede wszystkim z późnego rozpoczęcia przygotowań wskutek kolizji wysiłku organizacyjnego z codziennymi obowiązkami zawodowymi autora tego tekstu. W wyniku wspomnianej kolizji głębokie zaangażowanie się w pracochłonną działalność organizacyjną zaczęło tracić uzasadnienie. Bez takiego zaangażowania konferencja o

ambicjach naukowo-technicznych nie mogła już konkurować z innymi zebraniem tego typu, organizowanymi coraz prężej w Europie. Mimo to organizatorzy odebrali bardzo pozytywne opinie i liczne zapytania o kolejne zebranie z tego cyklu.

Warto zauważyć, że podobny los spotkał i inne cenne inicjatywy w tym zakresie, a zwłaszcza organizowany przez Politechnikę Lubelską cykl konferencji „Energetyka wodna w systemie elektroenergetycznym” (lata 1986-2002) oraz spotkania „Okrągły stół hydroenergetyki Wisła-Wołga”.

W Unii Europejskiej

Wbrew nakreślonej wyżej pesymistycznej wizji z końca pierwszej dekady XXI wieku, życie podyktowało własny scenariusz. Niestabilna polityka Państwa wobec krajowej energetyki wodnej i wprowadzanie kolejnych, coraz bardziej niekorzystnych, regulacji wymagały i wymagają szybkiej reakcji, szerokich konsultacji, wymiany i ścierania się poglądów – zarówno w samym środowisku hydroenergetyków, jak i w kontaktach z czynnikami decyzyjnymi. Nie ulegało też wątpliwości, że nadal potrzebna jest krajowa platforma cyklicznej wymiany doświadczeń oraz informacji dotyczących technicznych aspektów funkcjonowania energetyki wodnej. W ograniczonej mierze funkcję tę mogły przejąć doraźnie organizowane przez oba towarzystwa spotkania, seminaria i konferencje tematyczne

Tymczasem, z wejściem Polski do Unii Europejskiej zarówno Towarzystwo Elektrowni Wodnych, jak i Instytut Maszyn Przepływowych PAN zaangażowały się w szereg projektów koordynowanych przez ESHA. Ich realizacja wymagała organizacji ogólnokrajowych, a nawet ogólnoeuropejskich seminariów i spotkań. Znakomitą okazją, by zainicjować cykl krajowych konferencji hydroenergetycznych okazały się zaplanowane na październik 2011 roku Warsztaty Walidacyjne Mapy Drogowej Rozwoju MEW, opracowywanej w ramach projektu SHP STREAMMAP [18]. Szczęśliwie się złożyło, że w tym samym czasie firma REECO – uznany już organizator targów i konferencji RENEXPO – poszukiwała partnera do zorganizowania w Warszawie konferencji hydroenergetycznej towarzyszącej pierwszym targom na terenie Polski. Biorąc pod uwagę względy logistyczne – w tym realną możliwość uczestnictwa przedstawicieli urzędów i instytucji centralnych – a także renomę konferencji RENEXPO, Towarzystwo Elektrowni Wodnych chętnie przystało na złożoną propozycję.

Sukces konferencji sprawił, że jej kolejne edycje stały się trwałym elementem wydarzenia RENEXPO Poland organizowanego dorocznie w Warszawskim Centrum Expo XXI [18÷25]. W inauguracji wielu z nich uczestniczył prof. Jarosław Mikielwicz. Od roku 2013 konferencje były już organizowane w powiązaniu ze Zgromadzeniem Krajowym TEW. W tym samym roku użyto też po raz pierwszy nazwy Polska Konferencja Hydroenergetyczna RENEXPO Poland [20]. Z uwagi na ciągłość cyklu numerację konferencji postanowiono jednak prowadzić od roku 2011.

Duże zainteresowanie PKH RENEXPO Poland sprawiło, że od roku 2016 zaczęto organizować je w formie dwudniowym z debatą panelową w dniu pierwszym oraz wystąpieniami o charakterze technicznym i naukowym w dniu następnym. W roku 2018 po raz ostatni użyto nazwy PKH RENEXPO Poland. Bezpośrednim powodem było zaprzestanie organizacji wydarzenia RENEXPO Poland przez grupę REECO, która później wycofała się również z organizacji targów w Salzburгу. Z uwagi na nieskuteczność usilnych starania o uczestnictwo przedstawicieli urzędów i instytucji centralnych uznano też, że nie ma już powodów, by organizować kolejne zebrania w Warszawie i należy powrócić do tradycji cyklu HYDROFORUM, w którym obrady zawsze wiązano z wizytą techniczną w obiekcie hydroenergetycznym – najlepiej nowym lub niedawno modernizowanym. W roku 2018 wybór padł na elektrownię pompowo-szczytową Porąbka-Żar, a konferencję postanowiono zorganizować w hotelu *Ibis Styles* w Bielsku Białej [26]. Niestety, nieoczekiwanie doszło do kolizji czasowej z Jubileuszem 50-lecia Zapory i Elektrowni Wodnej Solina, a także z I Kongresem Żeglugi Śródlądowej w Opolu. W rezultacie liczba uczestników konferencji spadła dwukrotnie w porównaniu z poprzednimi latami i wyniosła zaledwie 45 osób. W trakcie 5 sesji konferencyjnych wygłoszono 15 referatów i przeprowadzono debatę panelową na temat kosztów użytkowania obiektów hydrotechnicznych.

IX Polską Konferencję Hydroenergetyczną [27] zdecydowano się zorganizować w Polańczyku i powiązać ją z wizytą w EW Solina. Przy tej okazji powrócono do tradycyjnej nazwy i logo HYDROFORUM. Mimo kolizji terminowej z jubileuszową konferencją Rynek Energii Elektrycznej w Kazimierzu Dolnym nad Wisłą, HYDROFORUM 2019 okazało się dużym sukcesem. Wygłoszono 26 referatów. Wśród 90 uczestników znaleźli się przedstawiciele wszystkich największych korporacji energetycznych, dostawcy wyposażenia i usług, biur projektowych, uczelni i ośrodków badawczych oraz badawczo-rozwojowych. Źródłem satysfakcji był dla organizatorów udział przedstawicieli Ministerstwa Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej, ale także znaczący udział wystąpień o charakterze naukowym, co przez lata pozostawało przedmiotem nieustającej troski organizatorów.

Jubileuszową, X Polską Konferencję Hydroenergetyczną planowano przeprowadzić w roku 2020 w IMP PAN Gdańsk. Powodem odstąpienia od tego zamiaru była przede wszystkim pandemia COVID-19, ale także nadzwyczaj duże obciążenie autora projektami europejskimi i trudna sytuacja w ówczesnym Zakładzie Kawitacji IMP PAN. Jubileusz przeniesiono na rok 2021. Duże zainteresowanie konferencją sprawiło, że ostatecznie odbyła się ona w dniach 13-14 października 2021 r. w auli Politechniki Gdańskiej [28]. Miejsce podkreśliło jubileuszowy charakter wydarzenia. Wynikało to nie tylko z rangi uczelni i walorów historyczno-architektonicznych jej murów, ale także ze związków, jakie przez lata łączyły Politechnikę Gdańską z energetyką wodną. Jubileusz był dla autora dobrą okazją dla przypomnienia zebranym niektórych szczególnie zasłużo-

nych członków społeczności Politechniki – m.in. profesorów K.Pomianowskiego, A.Hoffmanna, W.Balcerskiego i M.Broszkę. Autor przypomniał także wieloletnią współpracę uczelni z IMP PAN oraz historię konferencji HYDROFORUM [29]

W inauguracji wzięli czynny udział przedstawiciele wszystkich współorganizatorów. Prezes TRMEW, kol. Ewa Malicka, i prorektor Politechniki Gdańskiej, prof. Dariusz Mikieliewicz, wystąpili z krótkimi adresami powitalnymi, zaś prof. Jan Kiciński, dyrektor IMP PAN oraz członek korespondent Polskiej Akademii Nauk, dokonał uroczystego otwarcia obrad. Patronat nad konferencją sprawowało Ministerstwo Aktywów Państwowych, Ministerstwo Infrastruktury oraz Stowarzyszenie Elektryków Polskich (SEP). Silnego wsparcia udzieliło konferencji Państwowe Gospodarstwo Wodne „Wody Polskie”, reprezentowane w m.in. przez dra Krzysztofa Wosia ówczesnego z-cę prezesa ds. ochrony przed powodzią i suszą oraz p. Annę Łukaszewską-Trzeciakovską, dyrektora RZGW Warszawa.

W konferencji udział wzięło ponad 130 osób – w tym przedstawiciele wszystkich największych korporacji energetycznych, dostawców wyposażenia i usług, biur projektowych, ośrodków badawczych oraz badawczo-rozwojowych. Wygłoszono 36 referatów i komunikatów konferencyjnych, przeprowadzono 2 dyskusje panelowe. Wśród 18 uczestników zagranicznych znalazł się m.in. prof. Jean-Jacques Fry, prezes Europejskiego Klubu Międzynarodowego Komitetu Wielkich Zapór (EuroCOLD) i zastępca koordynatora projektu *Hydropower Europe*. Swoje własne sesje miała norweska fundacja NORWEP (*Norwegian Energy Partners*), a także projekt Komisji Europejskiej HYPOSO (*Hydropower Solutions for developing and emerging countries*) promujący europejskie technologie MEW w krajach Afryki i Ameryki Łacińskiej. Silną reprezentację miała także grupa kapitałowa Voith z drem Klausem Krügerem na czele. Znaną kanadyjską firmę *Thordon Bearings Inc.* reprezentował już po raz drugi jej współwłaściciel Sandy Thomson i przedstawiciele związanej z nią spółki krajowej. Uczelnie wyższe reprezentowane były przede wszystkim przez Uniwersytet Witolda Wielkiego z Kowna z profesorami Petrasem Punysem i Algirdasem Radzevičiusem. W konferencji wzięł też udział prof. Bernhard Pelikan - tym razem z ramienia biura projektowego *Frosio Next*, partnera projektu HYPOSO.

Sesję inauguracyjną uświetnił wykład prezesa SEP, dra inż. Piotra Szymczaka, poświęcony dziełu wybitnego inżyniera polskiego pochodzenia – Michała Doliwo-Dobrowolskiego - który 130 lat temu dokonał pierwszego na świecie przesyłu prądu trójfazowego linią wysokiego napięcia (15 kV).

Ważnym elementem jubileuszu było wręczenie medali honorowych SEP niektórym zasłużonym członkom obu krajowych stowarzyszeń hydroenergetycznych, a także prof. Wojciechowi Majewskiemu, wybitnemu specjalście z zakresu gospodarki wodnej, gorącemu orędownikowi rozwoju energetyki wodnej w naszym kraju. Wręczenia medali dokonał osobiście prezes SEP, dr inż. Piotr Szymczak.

Bezpośrednio po zamknięciu obrad niewielka grupa osób wybrała się do laboratorium IMP PAN, by obejrzeć model ultraniskospadowej turbiny wodnej firmy TG DNALOP, zaś następnego dnia grupa około 30 uczestników konferencji wybrała się z wizytą studyjną do EW Żarnowiec.

Transformacja energetyczna - czasy zagrożeń, konfliktów i dylematów

Rok 2022 rozpoczął się dla Europy Wschodniej tragicznie. Nabrzmiewający od roku 2014 konflikt na wschodzie Ukrainy wybuchł inwazją sił zbrojnych Federacji Rosyjskiej w dniu 24 lutego. Ofiary trwających od tego czasu działań wojennych liczone są już w setkach tysięcy zabitych, wielokrotnie większej liczbie rannych, milionach uchodźców. Zniszczenia infrastruktury kraju są trudne do wyobrażenia i obejmują również Zaporę Kachowską – ostatni stopień piętrzący Kaskady Dniepru. Wobec zatrzymania dostaw surowców energetycznych ze Wschodu, Europa musi angażować się w rozwój energetyki opartej na źródłach odnawialnych już nie tylko ze względu na zmiany klimatyczne i ogólnoeuropejskie porozumienia znane pod nazwą „Green Deal”.

Tymczasem władze polskie najpóźniej w roku 2021 zaczęły zdawać sobie sprawę, że nieunikniona transformacja energetyczna wymagać będzie oparcia energetyki na źródłach niestabilnych, co nie będzie możliwe bez użycia wielkoskalowych magazynów energii oraz, że promowane dotąd magazyny elektrochemiczne są do tego celu niewystarczające. Za zamkniętymi drzwiami uznano konieczność powrotu na ścieżkę rozwoju energetyki pompowo-szczytowej, po czym poinformowano opinię publiczną o zmianie dotychczasowej strategii. Nie wydaje się, by liczne wypowiedzi publiczne przedstawicieli TEW miały wpływ na tę decyzję. Podjęto ją po 40 latach od czasu od wyhamowaniu cyklu inwestycyjnego z wszystkimi tego skutkami – łącznie, a może przede wszystkim, z utratą dużej części potencjału wysokokwalifikowanych kadr. Za to z nierealnie krótkimi terminami realizacji zadań inwestycyjnych.

Informacje o podejmowanych krokach docierały już do uczestników konferencji HYDROFORUM 2022, jaka obradowała w dniach 26-28 października w Warszawie. Wybór miejsca obrad podyktowany wysoce zaawansowanymi pracami modernizacyjnymi w EW Dębe. Zamierzaniem organizatorów było wykorzystanie rzadkiej okazji pokazania hydrozespołów „od środka” – w trakcie prowadzonych prac montażowych. Zamiar ten powiódł się nie do końca. Za to uczestnicy wizyty studyjnej mieli okazję wysłuchać interesującego wykładu na temat przesłanek, celów, a także wyboru wariantów prowadzenia prac modernizacyjnych.

Z uwagi na wskazane wcześniej uwarunkowania przygotowania do konferencji rozpoczęto z bardzo dużym opóźnieniem. Trzydziestą rocznicę rejestracji TEW świętowano skromnie lampką szampana na zakończenie Zgromadzenie Krajowe i odczytaniem wspomnienia mgra inż. Leona Bubawy z pierwszych lat działania Towarzystwa. Wspomnienie to pomieszczono w Księżce Streszczeń wydanej dopiero po konferencji [30]. W tej

sytuacji udział 80 osób należy udać za sukces. Konferencję połączono z Międzynarodowym Sympozjum Projektu Life NEXUS, zorientowanego na promocję odzysku energii hydraulicznej traconej miejskich sieciach wodociągowych i instalacja. Spośród 22 referatów i wykładów szkoleniowych wygłoszonych podczas HYDROFORUM 2021, aż 12 było związanych z projektem Life NEXUS. Warto zauważyć, że tej samej tematyki dotyczyć będą dwie sesje tegorocznej konferencji.

Osią tegorocznej Debaty HYDROFORUM będzie jednak sprawa wznowienia programu rozwoju energetyki pompowo-szczytowej. Pierwsze decyzje w tej sprawie ogłoszono w roku 2021. Pod koniec roku 2022 opublikowano raport Zespołu Ekspertskiego do spraw Budowy Elektrowni Szczytowo-Pompowych „Rola elektrowni szczytowo-pompowych w Krajowym Systemie Energetycznym: uwarunkowania i kierunki rozwoju”, w którym wskazano priorytetowe lokalizacje [31]. Realizowane są studia wykonalności i inne prace przygotowawcze. Ze zrozumiałych względów sprawa elektryzuje środowisko hydroenergetyków. Uruchomienie tego rodzaju inwestycji po kilkudziesięciu latach zastój budzi szereg pytań na temat wyboru kolejności realizacji inwestycji, sił i środków [32], w końcu docelowej architektury systemu regulacji sieci elektroenergetycznej zdominowanej przez źródła niestabilne, w tym źródła rozproszone. Czy oprócz wielkich elektrowni pompowych powinny pojawić się także mini-elektrownie służące bilansowaniu sieci zasilanej źródłami rozproszonymi na niewielkich obszarach? Na ile są one w stanie konkurować z dużymi magazynami elektrochemicznymi? W ostatnich miesiącach na stronach internetowych TEW ukazał się cykl felietonów Prezesa S.Lewandowskiego poruszający liczne kwestie związane z planowanymi inwestycjami w energetykę pompowo-szczytową [33]. Zakłada się, że zawarte w nich rozważania staną się kanwą dla tegorocznej Debaty. Jej uczestnikom trudno będzie chyba zapomnieć o niedawnych wyborach parlamentarnych, które wygrała opozycja z silną frakcją „zielonych”, programowo niechętnie, a często i wrogo nastawioną do energetyki wodnej i klasycznej gospodarki wodnej. Czy i jaki wpływ będzie to miało na losy inwestycji hydroenergetycznych w naszym kraju pozostaje na razie pytaniem bez odpowiedzi.

Przywołania

1. **Troskoleński A.T.:** *Maszyny i urządzenia hydrauliczne. Pojęcia podstawowe*, IMP PAN / PWN, Poznań, 1974, 538 s.
2. HYDROFORUM, Konferencja naukowo-techniczna n.t. „Współczesne problemy badań i eksploatacji maszyn hydraulicznych”, Gdańsk, 3-5 października 1973, Prace IMP, z.67-68, 1975, 350 s.
3. HYDROFORUM, Konferencja naukowo-techniczna n.t. „Problemy rozwoju hydraulicznych maszyn wirowych ze szczególnym uwzględnieniem potrzeb energetyki”, Porąbka-Kozubnik, 20-23 września 1980, Prace IMP, z.83-84, 1983, 268 s.
4. HYDROFORUM, Konferencja naukowo-techniczna n.t. „Zagadnienia hydraulicznych maszyn wirowych”, Władysławowo, 24-27 września 1985, Prace IMP, z.90-91, 198, 311 s.

5. HYDROFORUM, Sympozjum'91 „Problemy energetyki wodnej ze szczególnym uwzględnieniem maszyn wirnikowych”, Gdynia-Orłowo / ESP Żarnowiec, 21-22 listopada 1991; Wybór referatów, Wyd. IMP PAN, Gdańsk 1994, 237 s.
6. HYDROFORUM'94, „Maszyny wirnikowe i urządzenia hydrauliczne w energetyce wodnej”, Materiały konferencji naukowo-technicznej, Straszyn, 21-23 września 1994; Wyd. IMP PAN, Gdańsk 1994, 380 s.
ibid. Supplement, Wyd. IMP PAN, Gdańsk 1994, 88 s.
7. HYDROFORUM 2000, „Hydrauliczne maszyny wirnikowe w energetyce wodnej i innych działach gospodarki. Zagadnienia projektowania, diagnostyki i eksploatacji”, Czarsztyn, 18-20 października 2000; Materiały konferencyjne, Wydawnictwo IMP PAN, Gdańsk 2000, 649 s.
8. HYDROFORUM 2005, Międzynarodowa konferencja i warsztaty naukowo-techniczne „Hydrauliczne maszyny wirnikowe w energetyce wodnej i innych działach gospodarki. Zagadnienia techniczne na tle tendencji rozwojowych hydroenergetyki”, Kliczków, 7-9 grudnia 2005; Wybór referatów konferencyjnych, Wyd. IMP PAN, Gdańsk 2006, 459 s.
9. **Steller K., Krzysztofowicz T.:** *Metody testowania materiałów narażonych na działanie kawitacji*, Zesz. Nauk. IMP PAN nr 175/1107/83.
10. **Steller K.:** *O mechanizmie niszczenia materiałów podczas kawitacji*. Zesz. Nauk. IMP PAN nr 175/1107/83, 63 s.
11. **Steller K.:** *Erozja kawitacyjna w maszynach i urządzeniach przepływowych*. Zesz. Nauk. IMP PAN nr 177/1103/83, 64 s.
12. Sesja naukowo-techniczna CPBR 5.1. Kierunek 7. Seminarium n.t. „Założenia techniczno-ekonomiczne rozwoju energetyki wodnej w Polsce do 2020 roku”. Gdańsk, 14.09.1990; Dział Dokumentacji Technicznej IMP PAN, Gdańsk 1990, 55 s.
13. Sesja naukowo-techniczna CPBR 5.1. Kierunek 7. Sympozjum nt. „Mała energetyka wodna. Stan obecny i perspektywy rozwoju”. IMP PAN, Gdańsk, 28.09.1990, Dział Dokumentacji Technicznej IMP PAN, Gdańsk 1990, 178 s.
14. Sesja naukowo-techniczna CPBR 5.1.. Kierunek 7. Sympozjum nt. „Kawitacja w hydraulicznych maszynach energetycznych. Zapobieganie i usuwanie szkodliwych skutków kawitacji”. IMP PAN, Gdańsk, 12.10.1990, Dział Dokumentacji Technicznej IMP PAN, Gdańsk 1990, 74 s.
15. Sesja naukowo-techniczna CPBR 5.1. Kierunek 7. Sympozjum nt. „Elektrownie wodne średniej i dużej mocy. Zagadnienia eksploatacyjne”. IMP PAN, Gdańsk, 26.10.1990, Dział Dokumentacji Technicznej IMP PAN, Gdańsk 1990, 107 s.
16. Uchwała Rady Ministrów nr 192 z dnia 7 września 1981. Monitor Polski nr 24, 25 września 1981
17. **Trojanowska K.:** *XXV lat Towarzystwa Elektrowni Wodnych [w:] Siódma Polska Konferencja Hydroenergetyczna „Dziś i jutro energetyki wodnej w Polsce i w Europie”, Warszawskie Centrum EXPO XXI, 25-27 października 2017. Streszczenia wystąpień konferencyjnych*. Wyd. IMP PAN, Gdańsk 2017, s.9-23
18. **Steller J.:** *Realizacja projektu SHP STREAMMAP dobiegła końca*, Energetyka Wodna, 3/2012, s.28-33
19. **Steller J.:** *Konferencja hydroenergetyczna RENEXPO 2012 obradowała w Warszawie*, Energetyka Wodna, 4/2012, s.13
20. **Steller J., Felicjancik K.:** *Polska Konferencja Hydroenergetyczna RENEXPO Poland 2013*, Energetyka Wodna, 4/2013, s.6-7
21. **Steller J.:** *W przededniu XXIII Zgromadzenia Krajowego TEW - Polska Konferencja Hydroenergetyczna RENEXPO Poland 2014*, Energetyka Wodna, 4/2014, s.16-17
22. **Steller J.:** *Polskie Konferencje Hydroenergetyczne RENEXPO Poland przyjmują nową formułę organizacyjną*, Energetyka Wodna, 4/2015, s.5-6
23. **Steller J.:** *5 lat Polskich Konferencji Hydroenergetycznych - od HYDROFORUM do RENEXPO Poland*, Energetyka Wodna 3/2016, s.14-18
24. **Steller J.:** *VI Polska Konferencja Hydroenergetyczna RENEXPO Poland - obrady w dwudniowej odsłonie*. Energetyka Wodna 4/2016, s.24-25
25. **Steller J.:** *VII Polska Konferencja Hydroenergetyczna RENEXPO Poland* Energetyka Wodna 4/2017, s.22-25
26. **Steller J.,** *Polska Konferencja Hydroenergetyczna RENEXPO Poland w Beskidach*, Energetyka Wodna, 4/2018, s.20-22
27. **Steller J.:** *Polska Konferencja Hydroenergetyczna HYDROFORUM 2019 – Pod uznaną marką*. Energetyka Wodna 4/2019, s.18-21
28. **Steller J.:** *Jubileusz dziesięciolecia Polskich Konferencji Hydroenergetycznych*. Energetyka Wodna 4/2021, s.18-21
29. **Steller J.:** *Polskie Konferencje Hydroenergetyczne HYDROFORUM - spuścizna i teraźniejszość [w:] HYDROFORUM 2021. X Polska Konferencja Hydroenergetyczna. Streszczenia wystąpień konferencyjnych*, TEW / IMP PAN, Gdańsk, 2021, s.11-18
30. HYDROFORUM 2022. XI Polska Konferencja Hydroenergetyczna i Sympozjum Projektu Life NEXUS. Książka streszczeń, TEW / IMP PAN, Warszawa /Gdańsk, 2022, 102 s.
31. Zespół Ekspercki ds. Budowy Elektrowni Szczytowo-Pompowych: *Rola elektrowni szczytowo-pompowych w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym: uwarunkowania i kierunki rozwoju*, <https://www.gov.pl/attachment/5560c5ac-fdc9-46e0-bf06-eb0dabd113dd>
32. **Lewandowski M., Lewandowski S., Steller J., Trojanowska K.:** *Uwarunkowania, potrzeby i kierunki rozwoju elektrowni szczytowo-pompowych w Polsce*. Energetyka, lipiec 2023, s. 413-421
33. **Lewandowski S.:** *Się dzieje! Refleksje Honorowego Prezesa TEW... with a little help from my friends*. <https://www.tew.pl/index.php/pl/sie-dzieje>

Autor

Janusz Steller, dr hab., w roku 1977 ukończył studia na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Gdańskiego w specjalności fizyka teoretyczna. Od tego czasu pracownik Instytutu Maszyn Przepływowych PAN, który w roku 1984 nadał mu stopień doktora nauk technicznych. W roku 2019 Senat Politechniki Wrocławskiej nadał mu stopień doktora habilitowanego za prace nad oceną odporności kawitacyjnej materiałów konstrukcyjnych. Obecnie starszy specjalista w Ośrodku Energetyki Ciepłej IMP PAN. Prezes Zarządu Towarzystwa Elektrowni Wodnych (TEW). Zawodowo zajmuje się badaniem zjawiska kawitacji i erozji kawitacyjnej, a także zagadnieniami energetyki wodnej. W przeszłości również: obliczeniami projektowymi oraz metodyką badań energetycznych i diagnostycznych hydraulicznych maszyn wirnikowych.

Profesor Stanisław Jan Zwierzchowski -Zowski - prekursor konstrukcji nowoczesnych turbin wodnych

Waldemar Jędrał

Politechnika Warszawska, Warszawa

e-mail: waldemarjedral@outlook.com

Stanisław Jan Zwierzchowski urodził się w Śremie, gdzie ukończył gimnazjum. W latach 1900-1905 studiował na Politechnice w Berlinie, gdzie uzyskał dyplom inżyniera mechanika projektując turbinę Francisa jako pracę dyplomową. Wówczas w Polsce nie było przemysłu budowy turbin ani perspektywy jego powstania, toteż po krótkiej praktyce przemysłowej w fabryce H. Cegielskiego wyjechał do USA. Tam podjął pracę jako konstruktor w jednej z największych wytwórni turbin wodnych *Allis Chalmers*, najpierw w Milwaukee, a następnie w jej oddziale w Montrealu.

W 1907 r. Stanisław Zwierzchowski został powołany do pracy w University of Michigan w Ann Arbor, gdzie stał się organizatorem pierwszych w USA studiów z zakresu silników wodnych. Był kolejno wykładowcą, docentem, zaś w latach 1912-1922 profesorem. Jako pierwszy w Stanach Zjednoczonych został profesorem maszyn hydromechanicznych. Prowadził wykłady z zakresu teorii i konstrukcji turbin wodnych, sprzężarek oraz pomp tokowych i wirowych. Stał się wkrótce wybitnym autorytetem w dziedzinie turbin wodnych, a jego głęboka wiedza i zdolności dydaktyczne przyciągały nie tylko studentów, lecz także inżynierów z innych krajów. Nie rezygnował z działalności inżynierskiej; w krótkim czasie osiągnął wiele sukcesów w projektowaniu, był także wysoko opłacanym rzeczoznawcą i doradcą przodujących wytwórni turbin wodnych.

Główną dziedziną prac prof. S. Zwierzchowskiego był rozwój konstrukcji wirników turbin typu Francisa. Wynikiem badań wykonanych w latach 1909-1914 było zaprojektowanie i zbudowanie turbin Francisa z wirnikami o przepływie diagonalno-osiowym, o bardzo dużych wyróżnikach szybkobieżności i wysokich sprawnościach oraz mocach znacznie większych od dotychczas osiągniętych. Obalił w ten sposób powszechne przekonanie, że w konstrukcji turbin, zwłaszcza na niskie spadki, doszło się już do ostatecznych granic, co przyniosło mu rozgłos światowy. Zajmował się również turbinami Kaplana i Peltona.

W 1913 r. profesor przyjął obywatelstwo amerykańskie i przybrał skróconą pisownię nazwiska – ZOWSKI. Pod tym właśnie nazwiskiem ukazywały się i były cytowane w literaturze jego osiągnięcia konstrukcyjne i liczne publikacje oraz podręcznik akademicki *Water Turbines*.

Oprócz pracy naukowej prowadził Profesor ożywioną działalność społeczną w organizacjach polonijnych. Był współzałożycielem Instytutu Rzemieślniczego w Pensylwanii i głównym akcjonariuszem radykalnego *Kuryera Polskiego* w Milwaukee (1907-1920).

Na przełomie lat 1916/1917 wchodził w skład kierowanej przez płk. E.M. House'a, doradcę prezydenta T.W. Wilsona, Komisji Ankietowej, przygotowującej materiały na przyszłą konferencję pokojową. Po zakończeniu wojny towarzyszył prezydentowi Wilsonowi na Konferencji Pokojowej w Paryżu (1918), jako ekspert od spraw polskich, przy ustalaniu zachodnich granic Polski. Profesorem Uniwersytetu Stanowego w Ann Arbor pozostał do końca roku akademickiego 1921/22, choć już wcześniej przyjął propozycję objęcia profesury w Politechnice Warszawskiej.

W połowie 1922 r. prof. S. Zwierzchowski wraz z rodziną przyjechał do Warszawy, zachowując jednak obywatelstwo amerykańskie. Zamieszkał w wybudowanym przez siebie domu przy ul. Filtrowej 13. Mianowany profesorem zwyczajnym objął 1 października 1922 r. kierownictwo utworzonej dla niego Katedry Silników Wodnych i Pomp.



Rys.1. Prof. Stanisław Zwierzchowski już w Polsce

Początkowo, oprócz Profesora w Katedrze było dwóch asystentów. Dodatkowo, do prowadzenia prac naukowych i do opracowywania skryptów, Profesor zaangażował dwóch asystentów, których opłacał z własnych funduszy. Pracę naukową bardzo utrudniał brak laboratorium. Dopiero w latach 30-tych w suterenach Gmachu Mechaniki powstało, sumptem profesora, laboratorium wyposażone w urządzenia do badania turbin wodnych i pomp.

Badania naukowe prowadzone w Polsce dotyczyły najpierw turbin wodnych Kaplana a następnie turbin śmigłowych o samonastawialnych łopatkach wirnika, zarówno teoretyczne jak i doświadczalne na modelach. Podjął je w związku z czynionymi przygotowaniami do budowy takich turbin w Polsce dla elektrowni wodnych na wschodnich kresach Polski. W obszernym artykule Turbiny o nastawnych łopatkach wirnika (Przegląd Mechaniczny, 1937, tom 3, nr 11) opisał szczegółowo budowę takiej turbiny i zamieścił szereg jej charakterystyk. Prace przerwał wybuch II wojny światowej. Oprócz kilku publikacji w krajowej prasie technicznej wydał cztery skrypty akademickie z zakresu turbin wodnych i pomp.

Profesor Stanisław Zwierzchowski kierował swoją Katedrą aż do wybuchu wojny, prowadząc wykłady z pomp i turbin wodnych dla studentów III roku Wydziału Mechanicznego PW. W latach 1933-1935 był Dziekanem tego Wydziału. Od 1923 r. był członkiem Akademii Nauk Technicznych i od 1932 r. wchodził w skład jej zarządu. Od 1930 r. był członkiem Towarzystwa Naukowego Warszawskiego. Równocześnie utrzymywał żywe kontakty ze środowiskiem polonijnym, m.in. redagując w latach 1923-1928 Kurier Polski – najstarsze pismo polonijne w USA.

W dn. 9 września 1939 r., podczas kilkogodzinnego zawieszenia broni w czasie oblężenia Warszawy w celu ewakuacji obywateli i placówek zagranicznych, jako obywatel amerykański wyjechał wraz z rodziną do USA

Wybuch wojny i nadchodzące z Polski wiadomości były dla Profesora ogromnym wstrząsem, który niewątpliwie skrócił jego życie. Zmarł 11 stycznia 1940 roku w Charleston w stanie Południowa Karolina i tam też został pochowany.

Profesor Stanisław Zwierzchowski należał do grona tych profesorów którzy będąc wybitnymi specjalistami w swoich dziedzinach, obdarzeni silnymi osobowościami, wywierali duży wpływ na studentów oraz na krajowe i zagraniczne środowiska techniczne i przemysłowe. Osiągnięcia prof. Zwierzchowskiego, mające przełomowe znaczenie dla rozwoju niskospadowych turbin wodnych Francisa o wielkich mocach, doprowadziły do znacznego obniżenia kosztów wytwarzania energii elektrycznej i sprawiły, że nazwisko Profesora zyskało rozgłos w skali światowej. Jednym ze świadectw tego może być jego życiorys w dwóch językach oraz wizerunek na karcie tytułowej, zamieszczone w numerze 1/1964 czasopisma naukowego *La Houille Blanche* o zasięgu międzynarodowym

Autor

Waldemar Jędrał, ukończył Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej w roku 1965. Do roku 1971 pracował jako konstruktor w Warszawskiej Fabryce Pomp. W latach 1968-2014 zatrudniony w Instytucie Techniki Ciepłej na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej, kolejno jako st. asystent, adiunkt, docent, profesor nadzwyczajny i profesor zwyczajny. W 1977 r. Rada Wydziału MEiL przyznała mu stopień doktora, a w 1989 r. – doktora habilitowanego nauk technicznych. W 1998 r. otrzymał tytuł profesora nauk technicznych. W latach 2000-2011 kierownik Zakładu Pomp, Napędów i Siłowni na Wydz. MEiL. Zakres jego kompetencji, to projektowanie i eksploatacja pomp i instalacji pompowych oraz racjonalne użytkowanie energii.

turn idea / into solutions



- ✓ Doradca strategiczny
- ✓ Doradca techniczny
- ✓ Główny projektant
- ✓ Inspektor nadzoru
- ✓ Inwestor zastępczy

- ✓ Konceptje techniczne
- ✓ Studia wykonalności, PFU
- ✓ Due diligence
- ✓ Dokumentacje projektowe
- ✓ Pozwolenia, decyzje, uzgodnienia

Zapraszamy do kontaktu

Michał Kubecki

☎ 505 176 479

✉ michal.kubecki@ioze.pl

www.instytut.ioze.pl



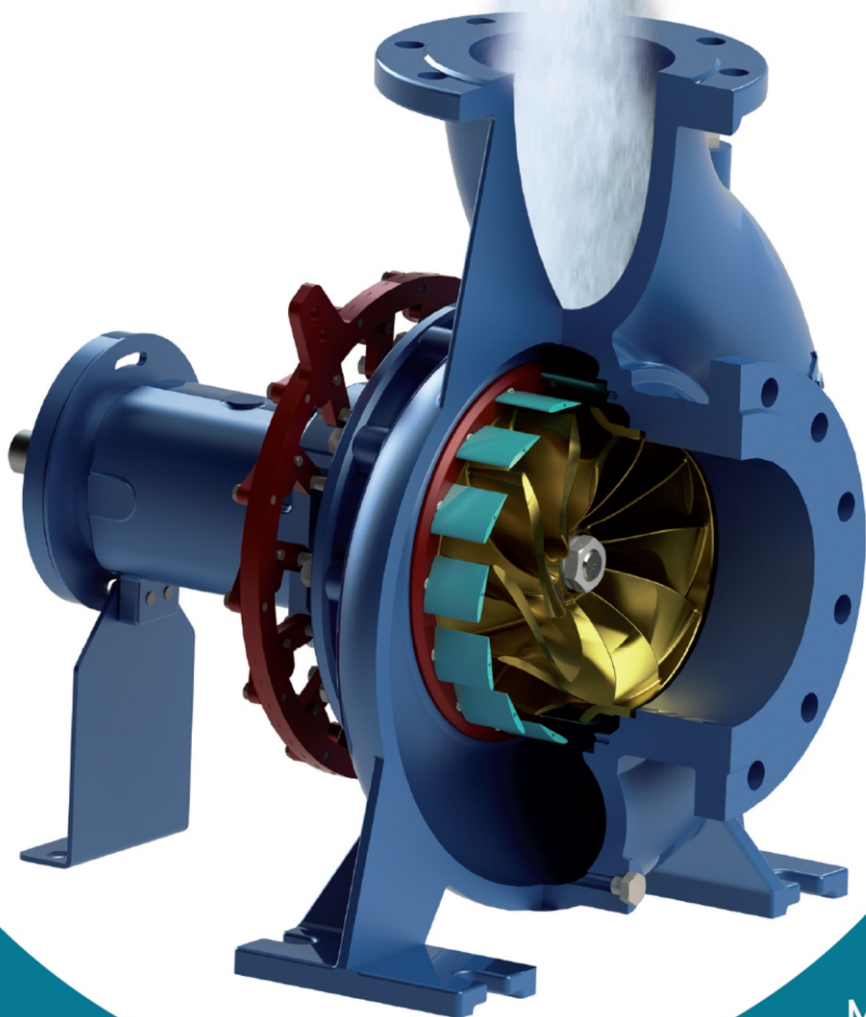
1862

HYDRO-VACUUM[®] S.A.

THV - miniturbiny do rekuperacji energii

Miniturbiny THV to hydrauliczne turbiny wodne zabudowane w seryjnie produkowanych kadłubach pomp, umożliwiające regulację parametrów sieci i rekuperację energii.

Przeznaczone są do odzysku energii i regulacji parametrów sieci ciepłowniczych, wodociągowych i układów technologicznych oraz odzysku energii z jałowych zrzutów cieczy, a także zagospodarowania małych cieków wodnych. Miniturbiny THV oferowane są w szerokiej gamie materiałów konstrukcyjnych i na instalacje o ciśnieniu do PN16, co umożliwia ich stosowanie również w układach przemysłowych i o wysokiej temperaturze czynnika roboczego.



Parametry

Spad: od 10 do 100 m

Przełyk: od 200 do 1000 m³/h

Moc: od 3 do 110 kW

Temperatura: do 140 °C

**CE****PRODUKT
POLSKI**www.hv.pl

Sesja I

Potencjał hydroenergetyczny i obiekty wielofunkcyjne

Session I

Hydropower potential and multipurpose projects

- 1.1. Bartosz Wszolek, Beata Głuchowska:
Elektrownie wodne eksploatowane przez PGW Wody Polskie RZGW we Wrocławiu
- 1.2. Krzysztof Woś, Grzegorz Sikorski, Marcin Piekarski, Łukasz Pieron, Krzysztof Wrzosek:
Wielofunkcyjna infrastruktura na Odrzańskiej Drodze Wodnej
- 1.3. Serhii Suk Suk, Iurii Landau:
Navigation and infrastructure project connecting the Baltic and Black Seas. Overview and perspectives
- 1.4. Maksym Levitskyi, Vadym Kraynyk:
Reconstruction of the Kakhovka HPP on the Dnipro River as a strategic step towards energy security of Ukraine. Current challenges and solutions
- 1.5. Oleksandr Obodovskyi, Olena Pochayevets, Olga Lukyanets, Vasyl Grebin, Michał Habel:
Ocena potencjału hydroenergetycznego rzek w obrębie terytorium Ukrainy

Notatki

Notes

Elektrownie wodne eksploatowane przez PGW Wody Polskie RZGW we Wrocławiu

Bartosz Wszolek

PGW Wody Polskie RZGW we Wrocławiu
e-mail: bartosz.wszolek@wody.gov.pl

Beata Gluchowska

PGW Wody Polskie RZGW we Wrocławiu
e-mail: beata.gluchowska@wody.gov.pl

Do podstawowych zadań Wód Polskich należy przede wszystkim utrzymanie i eksploatacja obiektów hydrotechnicznych, retencjonowanie wód, monitorowanie sytuacji hydrologicznej, ochrona przed powodzią i suszą czy współpraca z użytkownikami wód, m.in. w sprawach dotyczących żeglugi śródlądowej, przemysłu, turystyki i rekreacji. Istotną gałęzią działalności naszego Gospodarstwa jest także hydroenergetyka.



Rys.1 Lokalizacja elektrowni wodnych eksploatowanych przez RZGW Wrocław

Państwowe Gospodarstwo Wodne „Wody Polskie”, Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej we Wrocławiu eksploatuje 7 elektrowni wodnych stanowiących własność Skarbu Państwa. : zbiornikowych Miętków, Kozielno, Topola, Bukówka, Słup i Dobromierz oraz przepływową Malczyce.

Nazwa elektrowni	Rok rozpoczęcia produkcji	Moc [MW]	Średnioroczna produkcja [MWh]
TOPOLA	2002	1,56	5000
KOZIELNO	2003	1,90	6500
ŚLUP	2017	0,12	300
BUKÓWKA	2014	0,11	450
DOBROMIERZ	2021	0,04	100
MALCZYCE	2019	10,67	32000
MIĘTKÓW	2023	0,04	b.d.

Elektrownie zbiornikowe

1 EW Kozielno

Elektrownia wodna Kozielno zlokalizowana jest w przekroju zapory czołowej zbiornika Kozielno, piętrzącej wody rzeki Nysy Kłodzkiej w km 90+527, na terenie gminy Paczków w województwie opolskim oraz gminy Kamieniec Ząbkowicki w województwie dolnośląskim.

Obiekty zbiornika wodnego Kozielno:

- zapora czołowa,
- zapory i obwałowania boczne,
- budowle zrzutowe: jaz kłapowy, spusty denne,
- przepławka dla ryb,
- czasza i obrzeża zbiornika,
- zblokowana z budowlą zrzutową i elektrownia wodna,
- budowle towarzyszące i infrastruktura techniczna

Elektrownia wodna została zlokalizowana na lewym przyczółku budowli zrzutowej.

Zbiornik wodny Kozielno jest obecnie przedostatnim elementem kaskady rzeki Nysy Kłodzkiej. Powyżej, w km 77+194 znajduje się Zbiornik Otmuchów o NPP= 211,00 m n.p.m., poniżej w km 93+814 znajduje się Zbiornik Topola o NPP = 229,00 m n.p.m.

Hydrozespół elektrowni wyposażony jest w turbinę typu Kaplana z regulowanymi za pomocą siłowników hydraulicznych łopatom wirnika oraz łopatom aparatu kierowniczego.

Podstawowe parametry techniczne turbiny:

- typ Kaplan K32/4 - 3000
- producent Møller Undeås Turbin AS
- prędkość obrotowa znamion./rozbieg. 149 / 315 min⁻¹
- spad roboczy 6,5 m
- minimalny 2,8 m
- przepływ maks./min. 5,3/4,5 m³/s
- moc 1900 kW
- wał pionowy
- ilość łopat kierownicy 20

Łożysko prowadzące zabudowano w pokrywie turbiny, znajduje się w wannie olejowej, która jest chłodzona wodą pobieraną z komory wlotowej.



Rys.1 Elektrownia Kozielno.

2 EW Topola

Elektrownia wodna Topola zlokalizowana jest w przekroju zapory czołowej zbiornika Topola, piętrzącej wody rzeki Nysy Kłodzkiej w km 93+814, na terenie gminy Kamieniec Żąbkowicki, w województwie dolnośląskim.

Obiekty zbiornika wodnego Topola:

- zapora czołowa,
- zapory i obwałowania boczne,
- budowle zrzutowe: jaz kłapowy trzyprzęsłowy, spusty denne,
- przepławka dla ryb,
- przelew powierzchniowy,
- czasza i obrzeża zbiornika,
- zblokowana z budowlą zrzutową elektrownia wodna.

Elektrownia wodna została zlokalizowana na lewym przyczółku budowli zrzutowej.

Stopień wodny Topola jest obecnie ostatnim elementem kaskady rzeki Nysy Kłodzkiej. Powyżej, w km 90+527 znajduje się stopień wodny Kozielno o NPP = 222,50 m n.p.m., poniżej w km 106+500 planowane jest wybudowanie Zbiornika Kamieniec Żąbkowicki.

Elektrownia wyposażona jest w trzy turbozespoły monoblokowe zatapialne szwedzkiej firmy FLYGT :

- dwa turbozespoły, z których każdy składa się z turbiny typu EL7650R z automatyczną regulacją położenia łopatek wirnika i stałymi łopatkami kierownicy o średnicy wirnika $\phi = 1500$ mm. Turbina połączona jest poprzez przekładnię planetarną o przełożeniu 1:4,5 z generatorem asynchronicznym o mocy znamionowej pozornej 715 kVA.
- jeden hydrozespół, który składa się z turbiny typu EL7650 o stałym kącie łopatek wirnika i stałymi łopatkami kierownicy o średnicy wirnika $\phi = 1500$ mm. Turbina połączona jest poprzez przekładnię planetarną o przełożeniu 1:4,5 z generatorem asynchronicznym o mocy znamionowej pozornej 715 kVA.

Hydrozespoły wyposażone są w dwa rodzaje turbin, Hydrozespół 1 oraz 3 (turbina EL7650R) mają regulowane łopatki wirnika, Hydrozespół 2 (turbina EL7650) natomiast ma stały kąt pochylenia łopatek. Łopatki wirnika, piasta i pierścienie wykonane są z odpornego na kawitację brązu aluminiowego.

Podstawowe dane turbin:

- | | |
|---|-----------------------|
| • Średnica wirnika | 1500 mm |
| • Liczba łopatek wirnika | 4 |
| • Obroty znamionowe | 224 min ⁻¹ |
| • Kierunek obrotów | lewy |
| • Kąt pochylenia łopatek wirnika | 2° |
| • $\phi = 30^\circ, 27^\circ$ lub 14° | |
| • Kąt pochylenia łopatek kierownicy | 63° |
| • Moc maksymalna ($H_{net}=8,7$ m; $Q=7,65$ m ³ /s) | 514,2 kW |



Rys.2 Elektrownia Topola.

3 MEW Słup

Elektrownia wodna Słup stanowi element Zapory Zbiornika Słup, który zlokalizowany jest pomiędzy miejscowościami: Słup, Winnica, Bielowice, Jawor, Męcinka, na terenie gminy Męcinka w województwie dolnośląskim na rzece Nysa Szalona w km 8+200 od ujścia do rzeki Kaczawy. Zapora zamyka zlewnię o powierzchni 382,0 km².

Podstawowe obiekty tworzące zbiornik to:

- zapora czołowa,
- 3 spusty denne (3 x 2 m x 2,8 m)
- przelew powierzchniowy (światło 3 x 10,0 m z zamknięciami kłapowymi),
- czasza i obrzeża zbiornika,
- zblokowana z budowlą zrzutową elektrownia wodna.

Hydrozespół MEW Słup wyposażony jest w turbinę typu SEMI-KAPLAN 50Tr20 o średnicy wirnika $\phi=500$ mm. Turbina wyposażona jest w aparat kierowniczy o 8-u stałych łopatkach oraz wirnik z 4-ma łopatkami umożliwiającymi przestawienie ich kąta (tylko na postoju).



Rys.3 Hydrozespół w MEW Słup.

Podstawowe parametry turbiny:

- Średnica wirnika 500 mm
- Maksymalny przepływ 1,5 m³/s
- Nominalny spad netto 10,6 m
- Nominalny przepływ 1,4 m³/s
- Obroty nominalne 1014 obr/min

4 MEW Bukówka

Elektrownia wodna Bukówka zlokalizowana jest na prawym brzegu rzeki Bóbr w km 271+405, poniżej zapory czołowej zbiornika Bukówka piętrzącej wody rzeki w km 271+540, na terenie gminy Lubawka, powiat Kamienna Góra, woj. dolnośląskie.

W skład obiektów zbiornika wodnego Bukówka wchodzi:

- ziemna zapora czołowa,
- ziemna zapora boczna „Miszkowice”,
- upust denny,
- przelew powierzchniowy,
- elektrownia wodna.

Elektrownia wodna została zlokalizowana nad rzeką Bóbr około 135 m poniżej zbiornika wodnego Bukówka.

Zbiornik Bukówka jest obecnie pierwszym elementem kaskady rzeki Bóbr. Poniżej, w km 196+700 znajduje się zbiornik Pilchowice o NPP = 278,18 m n.p.m. (zima) oraz NPP = 272,40 m n.p.m. (lato). Elektrownia wyposażona jest w jeden hydrozespół z turbiną typu Banki-Michella SSH550/300. Hydrozespół umieszczony jest na konstrukcji stalowej w studni o średnicy 3,7m; dolna krawędź wirnika znajduje się około 0,3m nad poziomem dolnej wody i około 1m nad dnem studni / komory odpływowej.

Hydrozespół wyposażony jest w wirnik o przepływie poprzecznym konstrukcji bębnowej. Dwie tarcze boczne połączone są 32-ma łopatkami wykonanymi ze standardowej rury, ciętej wzdłuż tworzących. Wirnik jest wyposażony we wkładki usztywniające.

Podstawowe dane turbin:

- Oznaczenie SSH 550/300
- Średnica wirnika 550 mm
- Szerokość wirnika 300 mm
- Liczba łopatek wirnika 32
- Obroty znamionowe 319 min-1
- Moc na wale ($H_{net}=17m$; $Q=0,77$ m³/s) 96 kW
- Sprawność turbiny ~74%



Rys.4 Stożenie Wodny Bukówka.

3.5 MEW Dobromierz.

Elektrownia wodna Dobromierz zlokalizowana jest w wieży urządzeń upustowych zapory zbiornika wodnego Dobromierz, na odgałęzieniu od istniejącego rurociągu wody biologicznej. Jest ona zlokalizowana w km 58+200 rzeki Strzegomki, na terenie gminy Dobromierz, w województwie dolnośląskim.

Obiekty zbiornika wodnego Dobromierz to:

- zapora czołowa,
- czasza zbiornika,
- przelew powierzchniowy (czołowy) z bystrzem,
- upust denny z ujęciem wody oraz wieżą zamknięć.

Elektrownia wyposażona jest w jeden hydrozespół zainstalowany na konstrukcji wsporczej w wieży upustów.

Hydrozespół wyposażony jest w turbinę Peltona VP6 umieszczoną w korpusie stalowym z przyłączem DN500; korpus posiada zabudowane 3 dysze, którymi podaje wodę na łopatki turbiny. Całość posadowiona jest na dedykowanej konstrukcji wsporczej.

Podstawowe dane turbiny:

- spad min. netto 20,5 m
- przepływ nominalny 0,3 m³/s
- średnica wirnika 416 mm
- obroty nominalne 436 obr/min



Rys. 5 Hydrozespół w MEW Dobromierz.

6 MEW Mietków

Elektrownia wodna Mietków zlokalizowana jest w przekroju zapory czołowej ziemnej zbiornika Mietków, piętrzącej wody rzeki Bystrzycy w km 45+030, na terenie gminy Mietków, w województwie dolnośląskim.

Obiekty zbiornika wodnego Mietków:

- zapora ziemna,
- zapory boczne,
- dwuprzęsłowa klapowa budowla zrzutowa,
- 3 upusty denne,
- kanał odpływowy,
- czasza i obrzeża zbiornika,
- 4 przepompownie,
- elektrownia wodna.

Elektrownia wodna została zlokalizowana w bloku zrzutowym zapory zbiornika Mietków.

Elektrownia wyposażona jest w hydrozespół rurowy z turbiną typu Kaplana K473. Generator asynchroniczny jest zamontowany powyżej konstrukcji turbiny i napędzany jest za pomocą przekładni pasowej. Podstawowe parametry turbiny:

- średnica wirnika 473 mm
- prędkość obrotowa turbiny dla spadu nominalnego 715 obr/min
- prędkość rozbiegowa turbiny 1200 obr/min
- spad nominalny netto 10 m
- przełyk nominalny (dla spadu nominalnego) 0,9 m³/s
- moc max na wale turbiny 37kW
- sprawność max turbiny 89%



Rys.6 Hydrozespół w MEW Mietków

Elektrownia przyjazowa.

7 EW Malczyce

Elektrownia wodna usytuowana jest w osi piętrzenia stopnia (300+000 km rzeki Odry), pomiędzy filarem działowym jazu klapowego a głową górną śluzy żeglugaowej. Elektrownia wykorzystuje naturalne przepływy rzeki w granicach przełyku instalowanego od 30 do

240 m³/s. Elektrownia jest w pełni zautomatyzowana i bezobsługowa.

7.1. Dane techniczne

Moc zainstalowana – 10,7 MW

Ilość turbin – 3 szt.

Rodzaj turbin – Kaplan rurowy; średnica wirnika 3,4 m; typ Mavel

Spad znamionowy – 4,7 m

Przełyk maksymalny $Q_{inst} = 240 \text{ m}^3/\text{s}$ ($3 \times 80 \text{ m}^3/\text{s}$)

7.2. Koszt budowy – 260,0 mln zł

7.3. Produkcja roczna w latach 2012-2023

Nazwa elektrowni	Rok oddania do eksploatacji	Moc elektrowni Zainstalowana. [MW]	Roczna produkcja [MWh] 2021 rok (VI – XII)	Roczna produkcja [MWh], 2022 rok	Roczna produkcja [MWh] 2023 rok (I – IX)
Malczyce	VI 2021	10,7	14 800	35 100	33 100

7.4. Eksploatacja elektrowni

- Pozwolenie na Użytkowanie: 21.01.2021 r.
- Uzyskanie Koncesji: 28.05.2021 r.
- Pozwolenie wodnoprawne: 21.06.2021 r.
- Rozpoczęcie produkcji: 06.2021 r.

Normalne warunki eksploatacji występują gdy zwierciadło wody spiętrzony stopniem wodnym Malczyce nie przekracza normalnego poziomu piętrzenia NPP = 100,80 m n.p.m. Woda spiętrzona stopniem jest spracowywana przez turbiny elektrowni w zakresie przepływów: $25,0 \text{ m}^3/\text{s} \leq Q_{el} \leq 240,0 \text{ m}^3/\text{s}$, przy zaspokojeniu potrzeb żeglugi i poborów do celów biologicznych.

Historia budowy stopnia

W 1959 r. w 281,6 km Odry wybudowano stopień wodny Brzeg Dolny. Po 17 latach jego eksploatacji i postępującej erozji koryta Odry poniżej stopnia w 1974 r. podjęto decyzję o ustaleniu lokalizacji stopnia wodnego Malczyce. Według opracowanych wówczas Założeń Techniczno-Ekonomicznych miał to być stopień w wersji z kanałem lateralnym. W połowie lat 80 stworzono nową koncepcję stopnia w wersji rzecznej i na jej podstawie w 1987 r. ponownie opracowano Założenia Techniczno-Ekonomiczne. Nie zostały one jednak zaakceptowane i dwa lata później poprawiono je, dokonując zmian zakresu rzeczowego prac z uwagi na oszczędności. Mimo to inwestycja nie znalazła się w planie robót. Kolejna próba realizacji stopnia Malczyce rozpoczęła się w połowie lat 90. W 1994 roku opracowano kolejną wersję Koncepcji programowej i Założeń Techniczno-Ekonomicznych, które dostały akceptację. Wydana została decyzja o ustaleniu lokalizacji inwestycji. W 1997 r. powstał Projekt Budowlany stopnia wodnego Malczyce, W tym samym roku rozpoczęto realizację obiektów stopnia wodnego Malczyce. W latach 2004

i 2005 dokonano zmiany, korekty dotychczasowych rozwiązań projektowych w oparciu o nowe wielkości przepływów charakterystycznych, skorygowanych po wielkiej powodzi lipcowej w 1997 r. Przez kolejne dwadzieścia lat, w związku z problemami budżetowymi, budowa stopnia wodnego Malczyce posuwała się powoli. W 2014 zmieniono kształt przelewu stałego na łukowy. W 2009 zapadła decyzja środowiskowa dla przeplawki. W 2010 przyszła powódź i kolejne zmiany.

Ostateczną decyzję o szybkim dokończeniu inwestycji i przekazaniu na jej realizację właściwych środków budżetowych podjęto w latach 2016 - 2017. Miało to związek z ratyfikowaniem przez Polskę w styczniu 2017 r. europejskiego porozumienia w sprawie głównych śródlądowych dróg wodnych o znaczeniu międzynarodowym (AGN). Podpisany przez Prezydenta RP dokument zobowiązał Polskę m.in. do doprowadzenia całej Odrzańskiej Drogi Wodnej do IV klasy żeglowności. Stan aktualny – realizacja inwestycji górne stanowisko stopnia.

Lokalizacja

Rzeczyca, województwo dolnośląskie

Stopień Wodny Malczyce zlokalizowano na prawym brzegu Odry w 300 km, naprzeciw wsi Rzeczyca, ok. 5 km powyżej miejscowości Malczyce.

Na wybór lokalizacji złożyły się dobre warunki geologiczno-inżynierskie, umożliwiające bezpieczne posadowienie budowli hydrotechnicznych. Istniejące zakole umożliwiło wykonanie stopnia poza korytem rzeki Odry, co uprościło budowę i zmniejszyło koszty robót budowlanych i pozwoliło uzyskać długi odcinek drogi wodnej – 17,5 km. W aktualnej lokalizacji budowa stopnia ma niewielki wpływ na środowisko naturalne. Słuszność wyboru lokalizacji potwierdza fakt odkopania starej drewnianej śluzy w obrębie budowy stopnia.

Elementy stopnia

Trzyprzęsłowy jaz klapowy o świetle 75 m; (3 x 25m) i parametrach: wysokość kłapy 4,30m. Spad jazu przy NPP wynosi: przy przepływie SQN - 5,90m, przy przepływie SSQ - 4,70m³/s, przy przepływie Q istn - 4,00 m³/s. Jaz stały 256 m, będący kaszycą ze ścianek stalowych, wzmocnionych ocepem żelbetowym.

Śluza jednokomorowa spełniająca parametry klasy Vb (o wymiarach 190 m długości i 12 m szerokości, 3,5 m głębokości na progu i 12 m wysokości ścian komory). Wysokość wrót dolnych wynosi 10,7 m, a górnych 5,8 m;. Wymiana wody następuje przez kanały obiegowe zamykane hydraulicznie.

Elektrownia wodna o parametrach

moc instalowana elektrowni 10 665 kW, moc osiągnięta elektrowni przy przepłyku 240 m³/s - 3x2524 = 7592 kW, zakładana produkcja w roku średnim ok. 50,00 GWh

Przeplawka dla ryb dwuśrodowiskowych oraz innych umożliwiających migrację fauny wodnej i wodno-łądowej.

Funkcje stopnia wodnego

- Poprawa warunków żeglugowych rzeki Odry na odcinku o długości 17.5 km, od stopnia Brzeg Dolny (km 281+473) do stopnia Malczyce (km 300+000) - poprzez zwiększenie głębokości tranzytowych oraz wydłużenie okresu żeglugowego na tym odcinku.
- Sterowanie przepływem wód rzeki Odry celem ochrony przed powodzią przyległych terenów.
- Przywrócenie poziomów wód gruntowych i zapobieganie dalszemu przesuszaniu gruntów na terenach położonych poniżej Brzegu Dolnego (ochrona przed suszą, retencja)
- Ochrona i nawadnianie lasów łąkowych położonych poniżej stopnia wodnego w Brzegu Dolnym,
- Powstrzymanie procesów erozyjnych w korycie rzeki Odry na odcinku poniżej stopnia wodnego Brzeg Dolny do Stopnia Wodnego Malczyce.
- Produkcja energii elektrycznej.

Stopień Wodny Malczyce” - Elektrownia Wodna



Rys. 7 EW Malczyce, stanowisko górne

Elektrownia wodna usytuowana jest w osi piętrzenia stopnia, pomiędzy filarem działowym jazu klapowego, a głową górną śluzy żeglugowej. Elektrownia wykorzystuje naturalne przepływy rzeki w granicach przełyku instalowanego od 30 do 240 m³/s. Przepływy większe będą przepuszczane przez jaz. Elektrownia może produkować średnio w roku ok. 50,00 GWh energii elektrycznej.

Podstawowe parametry elektrowni

- a) moc elektrowni przy docelowym spadzie brutto 4,0 m i przepłyku 240,0 m³/s:
 - instalowana: 10 665 kW (łącznie trzech generatorów)
 - osiągalna: 7 572 kW
 - dyspozycyjna 7 345 kW
- b) ilość turbozespołów: 3 szt. (rurowe turbozespoły Kaplana)
- c) przepłytek elektrowni: 3 x 80 = 240 m³/s
- d) spad elektrowni (brutto): 4,0 - 6,4 m.
- e) sprawność elektrowni: 84-89%

Podsumowanie

Powyższa działalność Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie wpisują się w politykę energetyczną państwa i zapewniają optymalne wykorzystanie posiadanego potencjału. Urządzenia wodne związane z ochroną wód oraz zapobieganiem powodzi i suszy jednocześnie pełnią dodatkowe funkcje, instalacji do wytwarzania energii z OZE w elektrowniach wodnych. Te działania na rzecz zrównoważonego rozwoju wpisują się w tzw. zielony ład, którego celem jest skierowanie krajów Unii Europejskiej na drogę transformacji ekologicznej.

Przywołania

1. **ENERGOPROJEKT – WARSZAWA SA.:** *Instrukcja Eksploatacji Elektrowni Wodnej Malczyce*, Warszawa wrzesień 2022 r.
2. **ENERGOPROJEKT – WARSZAWA SA.:** *Instrukcja Eksploatacji Elektrowni Wodnej Mietków*, Warszawa wrzesień 2022 r.
3. **ENERGOPROJEKT – WARSZAWA SA.:** *Instrukcja Eksploatacji Elektrowni Wodnej Dobromierz*, Warszawa wrzesień 2022 r.
4. **ENERGOPROJEKT – WARSZAWA SA.:** *Instrukcja Eksploatacji Elektrowni Wodnej Słup*, Warszawa wrzesień 2022 r.
5. **ENERGOPROJEKT – WARSZAWA SA.:** *Instrukcja Eksploatacji Elektrowni Wodnej Topola*, Warszawa wrzesień 2022 r.
6. **ENERGOPROJEKT – WARSZAWA SA.:** *Instrukcja Eksploatacji Elektrowni Wodnej Kozielno*, Warszawa wrzesień 2022 r.
7. **ENERGOPROJEKT – WARSZAWA SA.:** *Instrukcja Eksploatacji Elektrowni Wodnej Bukówka*, Warszawa wrzesień 2022 r.

Autorzy

Bartosz Wszolek, mgr. inż. ukończył Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji w zakresie inżynierii sanitarnej, wodnej i melioracyjnej na Uniwersytecie Przyrodniczym we Wrocławiu. Od 2006 r. związany z gospodarką wodną (Dolnośląskim Zarządzie Melioracji i Urządzeń Wodnych we Wrocławiu) gdzie w latach 2012 – 2017 uczestniczył w przedsięwzięciu Modernizacji Wrocławskiego Węzła Wodnego. Od 2018r. związany z PGW WP przy dokończeniu MWWW a następnie zarządzał Jednostką Realizującą Projekt Ochrony Przeciwpowodziowej Dorzecza Odry i Wisły. Od czerwca 2023r. powołany na stanowisko Zastępcy Dyrektora RZGW we Wrocławiu ds. Ochrony przed Powodzią i Suszą.

Dr inż. **Beata Gluchowska** – doktor nauk rolniczych w zakresie kształtowania i ochrony środowiska o specjalności gospodarka wodna dolin rzecznych. W pracy naukowej i zawodowej zajmuje się zagadnieniami zrównoważonego rozwoju na rzecz zasobów wodnych z dostosowaniem do prawa wodnego i obowiązujących w Polsce przepisów ochrony środowiska oraz wymagań Unii Europejskiej. Ukończyła Wydział Melioracji Wodnych oraz Międzywydziałowe Studium Pedagogiczne na Akademii Rolniczej we Wrocławiu, a także studia doktoranckie w dyscyplinie Kształtowanie środowiska na Wydziale Melioracji i Inżynierii Środowiska tej samej uczelni oraz studia podyplomowe – Systemy Informacji Geograficznej na Politechnice Wrocławskiej. Ma również międzynarodowy dyplom – *Trans-European Mobility Scheme for University Studies* w specjalizacji ekologia cieków, ochrona gleb i wód podziemnych, gospodarka opadami i ochrona cieków przed zanieczyszczeniem. Na swoim koncie ma liczne publikacje naukowe, dotyczące zagadnień gospodarki wodnej, modelowania procesów hydrogeologicznych czy ekologicznych aspektów budownictwa hydrotechnicznego. Bierze aktywny udział w projektach badawczych i konferencjach naukowych oraz organizacjach społecznych, jak na przykład Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Wodnych i Melioracyjnych. W 1997 roku podczas Powodzi Tysiąclecia pracowała w Centrum Dowodzenia Ochrony Wrocławskiego Węzła Wodnego przy akcji przeciwpowodziowej. Wieloletnia pracowniczka Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej we Wrocławiu, obecnie Kierownik Wydziału Energetyki. Wcześniej odpowiedzialna między innymi za budowę stopnia wodnego Malczyce oraz zarządzanie mieniem Skarbu Państwa w aspekcie prawa wodnego i Kierownik Wydziału Regionalnych Systemów Informacyjnych i Katastru Wodnego.

Wielofunkcyjna infrastruktura na Odrzańskiej Drodze Wodnej

Krzysztof Woś, Grzegorz Sikorski, Marcin Piekarski, Łukasz Pieron, Krzysztof Wrzosek

Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie, Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, Warszawa
e-mail: grzegorz.sikorski@wody.gov.pl; marcin.piekarski@wody.gov.pl; lukasz.pieron@wody.gov.pl,
krzysztof.wrzosek@wody.gov.pl

Gospodarowanie wodami i administrowanie drogami wodnymi w Polsce

Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie jest od 1 stycznia 2018 r. głównym podmiotem odpowiedzialnym za krajową gospodarkę wodną.

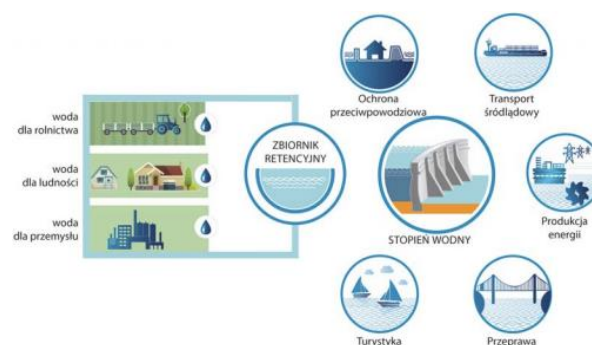
Misją przedsiębiorstwa jest ochrona mieszkańców Polski przed powodzią i suszą, zrównoważone gospodarowanie wodami dla ochrony naszych zasobów wodnych i zapewnienie dobrej jakości wody dla obecnych i przyszłych pokoleń. PGW Wody Polskie wykonuje prawa właścicielskie w stosunku do wód, które są własnością Skarbu Państwa, nalicza i pobiera opłaty za usługi wodne, wydaje decyzje administracyjne (zgody wodnoprawne), a także jest organem regulacyjnym w celu ochrony mieszkańców przed nieuzasadnionymi podwyżkami cen usług wodociągowo-kanalizacyjnych.

PGW Wody Polskie pełni również rolę administracji dróg wodnych w Polsce. Do zadań w tym zakresie należy przede wszystkim utrzymanie szlaków żeglownych w stanie zapewniającym bezpieczną żeglugę, a także ogłaszanie w formie komunikatów aktualnych warunków żeglugowych oraz terminów otwarcia i zamknięcia dróg wodnych.

Wielofunkcyjność infrastruktury dróg wodnych

Budowle hydrotechniczne spełniają wiele ważnych funkcji związanych z gospodarowaniem wodami i tak samo jest w przypadku infrastruktury zlokalizowanej na drogach wodnych. Każdy obiekt jest tworzony na skutek pojawiającego się zapotrzebowania społecznego, ekonomicznego, środowiskowego i innych. Od tych czynników zależą funkcje jakie będzie pełnił, co w konsekwencji przekłada się na późniejsze projektowanie i wykonanie zgodnie z określonym przeznaczeniem.

Zbiorniki retencyjne są jednym z podstawowych elementów gospodarki wodnej. Właściwie zarządzane są najskuteczniejszym elementem aktywnej ochrony przeciwpowodziowej i w znaczący sposób ograniczają falę powodziową, redukując w ten sposób ewentualne straty w mieszkalnictwie, infrastrukturze, przemyśle czy rolnictwie. Realizują one również inne cele związane ze zmniejszeniem niedoborów wody i przeciwdziałaniem skutkom suszy, zaopatrzeniem w wodę, hydroenergetyką czy rekreacją. W dobie szybko postępujących zmian klimatycznych i geopolitycznych ich rola wydaje się niezastąpiona w odpowiedzialnej i skoordynowanej gospodarce wodnej w Polsce. Warto również zaznaczyć, że odpowiednie zarządzanie poszczególnymi obiektami umożliwia niezakłóconą realizację wielu funkcji.



Rys. 1. Możliwe funkcje stopni wodnych

Jednocześnie realizacja zbiorników wodnych często wiąże się ze szczególną potrzebą zwiększonej retencji. Przeprowadzona analiza głębokości tranzytowych na poszczególnych fragmentach Odrzańskiej Drogi Wodnej wykazuje różnice w poziomie wody pomiędzy odcinkiem skanalizowanym, a swobodnie płynącym i granicznym. Pokazuje to korzyści związane z magazynowaniem wody i zarazem potrzeby realizacji kolejnych piętrzeń, które odgrywają zasadniczą rolę w poprawie warunków żeglugowych.

Zrealizowane inwestycje

Na przestrzeni ostatnich lat dzięki działalności PGW Wody Polskie prowadzonych jest wiele zadań inwestycyjnych na Odrzańskiej Drodze Wodnej, dzięki którym:

- zmodernizowano wszystkie śluzy na Kanale Gliwickim,
- przebudowano wiele śluz i jazów na Odrze skanalizowanej,
- dokończono budowę stopnia wodnego Malczyce,
- odbudowano zabudowę regulacyjną na Odrze swobodnie płynącej,
- modernizowane są poszczególne ostrogi na Odrze granicznej,
- podnoszone są mosty w: Krośnie Odrzańskim, Kostrzynie nad Odrą i Szczecinie.

Zrealizowane działania wpływają na poprawę warunków nawigacyjnych na Odrzańskiej Drodze Wodnej (z uwzględnieniem międzynarodowych zobowiązań Polski, wynikających z ratyfikacji porozumienia AGN) oraz powinny pozwolić na przywrócenie żeglugi długotrasowej i regularnych transportów ładunków na zaplecze portów morskich w Szczecinie i Świnoujściu.

Ponadto przyczyniają się do realizacji wielu innych, bardzo istotnych celów związanych z gospodarką wodną, w tym przede wszystkim ochrony przeciwpowodziowej (poprawa parametrów do pracy lodołamaczy w trakcie zimowej osłony przeciwpowodziowej), ale także m.in. zwiększenia poziomu retencji wody i przeciwdziałania suszy, hydroenergetyki czy turystyki i rekreacji.

Planowane inwestycje

W aktualnej perspektywie finansowej Unii Europejskiej zostaną zrealizowane na Odrzańskiej Drodze Wodnej inwestycje wskazane w „Krajowym Programie Żeglugowym do roku 2030”:

- modernizacja śluzy Opole,
- budowa jazu kłapowego na stopniu wodnym Ujście Nysy,
- modernizacja śluzy Ujście Nysy,
- dalsza modernizacja zabudowy regulacyjnej na Odrze granicznej,
- modernizacja Kanału Gliwickiego.

Ponadto w planach PGW Wody Polskie znajduje się budowa stopni wodnych na Odrze w Lubiążu i Ścinawie, gwarantujących stabilne głębokości tranzytowe na kolejnym odcinku szlaku żeglownego.

Łączny szacowany koszt wskazanych inwestycji wynosi około 4,9 mld zł, w tym 1,8 mln zł to zakładane nakłady finansowe na zadania określone we wskazanym dokumencie strategicznym i prawie 3,1 mln zł powinna wynieść wartość nowych stopni wodnych.

Należy zaznaczyć, że działania inwestycyjne prowadzone są z zachowaniem najwyższych standardów środowiskowych, społecznych i technicznych, a podczas przygotowania oceniane są również pod kątem opłacalności ekonomicznej. Jednocześnie zmienia się świadomość europejskich społeczeństw oraz podejście do ochrony środowiska. Obecnie kładzie się nacisk na zrównoważony rozwój. Planowane inwestycje podlegają ocenie oddziaływania na środowisko i konsultacjom społecznym. Wszystkie działania na rzekach będą wykonywane zgodnie z obowiązującym prawem, w tym prawem unijnym. Już przy opracowaniu programów dotyczących dróg wodnych korzysta się z doświadczeń innych krajów oraz z wiedzy eksperckiej.

Przywołania

1. **Ministerstwo Infrastruktury:** *Projekt Krajowego Programu Żeglugowego do roku 2030*, Warszawa, 2022
2. **Pieron Ł., Woś K., Wrzosek K.:** *Water Reservoirs in Plans to Improve Navigability of the Lower Section of the Vistula*, Water 2022, 14, 4042
3. **Rada Ministrów:** *Uchwała nr 79 Rady Ministrów z dnia 14 czerwca 2016 r. w sprawie przyjęcia "Założeń do planów rozwoju śródlądowych dróg wodnych w Polsce na lata 2016-2020 z perspektywą do roku 2030 (M. P. 2016 poz. 711)*, Warszawa, 2016
4. **Woś K., Radoń R., Tekielak T., Wrzosek K., Pieron Ł., Piórecki M.:** *Role of Multifunctional Water Reservoirs in the Upper Vistula Basin in Reducing Flood Risk*, Water 2022, 14: 4025

Autorzy

Lukasz Pieron, mgr inż., ukończył Wydział Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy w 2013 r. Od 2020 r. jest doktorantem na Uniwersytecie Śląskim w Katowicach w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych. W latach 2016-2020 pracował w Ministerstwie Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej. Natomiast od połowy 2020 r. jest zatrudniony na stanowisku Kierownika Wydziału Śródlądowych Dróg Wodnych w PGW Wody Polskie, gdzie odpowiada za kreowanie działań związanych ze szlakami żeglownymi w Polsce. Od 2022 r. pełni również funkcję Pełnomocnika Prezesa PGW Wody Polskie ds. żeglugi śródlądowej i turystyki wodnej.

Krzysztof Wrzosek, dr inż., ukończył Wydział Inżynierii Środowiska Politechnik Warszawskiej w 1994 r. Doktor nauk technicznych w dziedzinie Inżynierii Środowiska z 30-letnim doświadczeniem inżynierskim w projektowaniu, kontroli stanu technicznego i ocenie stanu bezpieczeństwa różnego typu budowli hydrotechnicznych. Od 1994 r. pracownik naukowo-dydaktyczny Politechniki Warszawskiej. Autor ponad 50 publikacji. Od 2018 r. jest zatrudniony jako Ekspert ds. projektów strategicznych w Departamencie Przygotowania i Realizacji Inwestycji PGW Wody Polskie. Jego głównym zadaniem jest rekomendowanie działań oraz wsparcie merytoryczne realizacji kluczowych inwestycji w zakresie gospodarki wodnej. Od 2021 roku pełni funkcję Wiceprzewodniczącego Polskiego Komitetu Wielkich Zapór (POLCOLD) oraz Prezesa Zarządu Głównego Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Wodnych i Melioracyjnych (SITWM),

Navigation and infrastructure project connecting the Baltic and Black Seas. Overview and perspectives

Serhii Suk

Chief Design Engineer

UKRHYDROPROJECT PRJSC

Nauky Avenue 9, Kharkiv, 61165, Ukraine

e-mail: marketing@uhp.kharkov.ua

Iurii Landau

Doctor of Technical Sciences, Chief Adviser

UKRHYDROPROJECT PRJSC

Nauky Avenue 9, Kharkiv, 61165, Ukraine

Background

The idea of building a navigation corridor between the Baltic and Black Seas was worked out by the Ministry of Transport of the Austrian Empire back in the late XIX century. In 1893, a unit of the Ministry started to study and elaborate on waterways projects, which had to be included in the unique European system. At the beginning of the XX century, there was a special congress in Wien devoted to the construction of waterways in Austria-Hungary. In particular, it provided the construction of a channel from the Vistula River to the Dniester River with a branching to Lviv and Brody in the system of transport channels of the kingdom, which should have been not only economic but strategic significance in the case of war against the Russian Empire. It provided the construction of 30 locks and 9 ports. However, at the time of Austria-Hungary governance, these projects had not been implemented because of World War First. They returned to this initiative in the post-war period. In its turn, the Ministry of Civil Works of Poland proposed three options for entrance to the Black Sea: through the Dnipro, Dniester and Danube Rivers. The third option was chosen as the prioritized – it was the shortest (1560 km) and affected the territory of only two states (Poland and Romania). The certain works started in 1939 with the support of creditors from London, Paris and Amsterdam.

Current state of the maritime and inland water transport field of Ukraine under martial law

The functioning of the transport sector of Ukraine was significantly negatively affected by the military aggression of the Russian Federation.

As of May 2022, the largest ports, which accounted for more than 85% of sea cargo turn over, remained under the control of Ukraine: Mykolaiv, Olviia, Odesa, Chornomorsky and Pivdenny. The specified seaports worked only for the maintenance of railway and road rolling stock.

Three small ports at the mouth of the Danube River – Izmail, Reni and Ust-Danube were fully operational and increased cargo handling. In peacetime, they accounted for slightly less than 5% of exports. Now they can carry the same volumes as in peacetime, but the potential in the Danube direction is great considering the situation with other ports.

In order to ensure stable foreign trade activity, the Ministry of Infrastructure of Ukraine focused attention on increasing the efficiency of the Danube Maritime Cluster. Ports located in the Danube region (Reni, Izmail, Ust-Danube) are working as usual, have increased the cargo base and the handling of ships at the berths. “Ukrainian Danube Shipping” PrJSC raised the involvement of its own fleet in export and import transportations on the Danube River.

At the same time, due to blocking a part of the Dnipro River in the Kherson and Zaporizhzhia regions by the occupation forces of the Russian Federation, transportation by the Dnipro River was stopped. As for 2022, the Kakhovka shipping lock (the lock equipment is damaged) was invaded, and in June 2023, it was made a terrorist act - undermining the Kakhovka hydro development. In this regard, the hydro development is not subject to refurbishment, the Kakhovka reservoir is emptied, and navigation in the lower part of the Dnipro River is impossible.

By the Order of the Ministry of Infrastructure of Ukraine dated April 28, 2022 No. 256 “On the Closure of Sea Ports” registered in the Ministry of Justice of Ukraine on April 29, 2022, under No. 470/37806 the sea ports of Berdiansk, Mariupol, Skadovsk and Kherson were closed from the day the order entered into force until restoration control over the specified sea ports. The International Maritime Organization (IMO) was informed about this in a corresponding note by the Ministry of Foreign Affairs, which in turn conveyed the specified information to the governmental and non-governmental organizations of the member countries.

The adoption of the specified measure was caused by the impossibility of servicing ships and passengers, carrying out cargo, transport and other related economic activities, ensuring the appropriate level of shipping safety, complying with the requirements of international treaties of Ukraine, the binding consent of which was granted by the Verkhovna Rada of Ukraine, and as well as ensuring the protection of the natural environment at a time when Russia continues to conduct active military operations in these regions, which poses a threat to human life and health.

These actions dealt a blow to the economy of Ukraine, since about 70% of export of Ukrainian manufacturers (approximately 47.0 billion USD) and a significant part

of import were carried out by sea. According to available estimates, Ukraine loses 170 million US dollars per day due to blocked ports, and the estimated direct damage caused from February 24, 2022, to the state-owned maritime and inland water transport infrastructure is about 622 million US dollars.

In 2021, the volume of cargo handling amounted to 153.3 million tons, transportation through the Dnipro River is 14.4 million tons. The volume of cargo flow, which was forecast for 2022, was expected at the level of 161.2 million tons, river transportation was to reach 15.8 million tons.

Regarding the state of implementation of program documents – the implementation of key program documents in the field of maritime and inland water transport (Maritime Doctrine and Strategy for the Development of Seaports of Ukraine) has actually been stopped, the tasks of the Action Plan for the implementation of the National Transport Strategy of Ukraine and the National Economic Strategy of Ukraine cannot be fulfilled.

Current state of navigation in the European region

In 1996 in Europe, the idea of construction of the waterway E40 came up, but the active negotiations had started only in 20 years. In 2015, the Maritime Institute in Gdansk published the final report on the feasibility study "Restoration of Inland Waterway E40 Dnipro - Vistula: from Strategy to Planning". It is a waterway, which was intended to be constructed for the transportation of cargo between the Baltic and Black Seas from Gdansk to Kherson. At that time, the Three Seas Initiative (3SI) politically inspired commercial platform was created. The Three Seas Initiative came from the common interest in the development of transport, energy and digital infrastructure on the EU axis from the north to the south and from the connections, which have to be reliable, stable and inclusive that will facilitate to strengthening of the EU cohesion and enriching the transatlantic connections in order to improve connection between the EU member-states located between the Baltic, Adriatic and Black Seas.

Plan for recovery and development of the industry in Ukraine

The armed aggression of the Russian Federation fundamentally changed the transport system of Ukraine. So, today, due to hostilities on the territory of our country and the imposed martial law, the airspace of Ukraine is closed to civil aviation flights. Also, the blockade of seaports on the southern coast of Ukraine actually began. Military ships of the aggressor country blocked navigation in the Black and Azov Seas for ships going to/from seaports of Ukraine.

Due to the blocking of seaports of Ukraine, shippers and carriers were forced to change the logistics of export transportation directing cargo to western border crossings. Transportation of goods during the war became a difficult task due to the low capacity of border crossings in the west of our country.

Therefore, the most important challenge at the moment is the creation of conditions for maintaining the transport infrastructure in proper functional condition in the territories controlled by Ukraine, maintaining and increasing capacity of border crossing points, reorientation of logistics transportation to fulfill the most important functions of the country.

Within the framework of the Project of the Recovery Plan of Ukraine, the main tasks of the National Council for the Recovery of Ukraine from the Consequences of the War are presented in the materials of the working group "Recovery and Development of Infrastructure". Thus, one of the main tasks for the field of sea and inland water transport is the development of passenger transportation by inland water transport, the development and modernization of inland water transport and its infrastructure, the expansion of the network of river ports and the improvement of the efficiency of the existing capacities in river ports, the creation of conditions for the attraction of private investments and stimulation of the development of inland water transport.

One of the key challenges in the field of sea and inland water transport is the elaboration of "Development Schemes of Sea and River Ports of Ukraine" taking into account urgent needs, prospective cargo flows and the development of the capacities of port operators, and the introduction of changes in legislation in order to implement infrastructure projects, restore destroyed infrastructure and development plans in sea and river ports of Ukraine.

The following are the main measures for the implementation of the specified tasks for the restoration and modernization of the infrastructure of inland water transport, as well as the expansion of the network of river ports (terminals) and the improvement of the efficiency of the use of available capacities in river ports (terminals):

- creation of an effective mechanism for attracting private investments in the financing of repair, modernization, reconstruction and construction of port infrastructure facilities and inland water transport facilities;
- improvement of the investment climate in the river ports (terminals) of Ukraine (simplification of the construction mechanism on the inland waterways related to a shipping category);
- construction of new terminals and storage places for import of critically important products for the defense and economy of Ukraine (petroleum products, mineral fertilizers);
- start of the Register of inland water transport infrastructure facilities;
- stimulation of private investors due to the construction of terminals for the reception of liquefied natural gas and other bases of fuel and lubricant materials etc.

Preconditions for improvement of commercial navigation conditions on the middle site of the Dniester River

In accordance with the Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine “On Approval of the List of Inland Sea Waters and Inland Waterways, Related to the Shipping Category” No. 136 dated February 9, 2022, and within the Law of Ukraine “On Inland Water Transport” the Dniester River site from village Deleva, Ivano-Frankivsk district, Ivano-Frankivsk region to city Khotyn, Dnistrovsk district, Chernivtsi region with a length of 215 km is recognized as a shipping site of inland water transport.

However, at this given river site the actual conditions do not promote active development on the Dniester River shipping, namely:

- the water depths along the fairway are mainly 1.5-2.0 m, and in some places it is less up to 0.5 m;
- no special areas for the passage of ships in opposite directions and for a turn of ships;
- no signs of navigation equipment;
- poorly developed infrastructure of inland water transport: the absence of river ports, terminals, restrictions of port and near-port infrastructure (railway approaches, highways, etc.) in sufficient amount;
- shipping is actually limited by the small flat-bottomed barges with tugs, technical watercrafts of private enterprises, motorboats and other small touristic ships (kayaks and catamarans etc.)

By UKRHYDROPROJECT PRJSC along with the partners, the opportunity for improvement of commercial shipping at the Dniester River middle site with a length of mainly 370 km is considered taking into account the existing conditions and the results of the preliminary reconnaissance survey. The specified site includes practically all shipping site of the inland waterway with a length of 215 km approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine from village Deleva, Ivano-Frankivsk district, Ivano-Frankivsk region to city Khotyn, Dnistrovsk district, Chernivtsi region and also a part of the Dniester reservoir (from the city Khotyn to the Dniester HPP site) with a length of 145 km and the site of designed hydro development with reservoir and HPP with a length of 10 km from village Deleva, Ivano-Frankivsk district, Ivano-Frankivsk region to village Horyhliady, Chortkiv district, Ternopil region.

For the optimization of commercial shipping at the specified area the minimal depth along the fairway (unchangeable in any season of the year) was provided by the construction of a cascade of thirteen hydro developments with a shipping lock in the composition of each hydro development. Based on the accepted calculated ships' dimensions (barges with a draft of 2.5 m) the minimal depth along the fairway on the perspective ship site will be 3.0 m. The construction of a low-pressure single-chamber lock in the creation of each hydro development will allow ships to move downstream and, accordingly, rise from the up the river.

The creation of a cascade of 13 hydro developments with HPP and reservoirs of complex use on the Dniester River will significantly improve conditions of commercial shipping, increase a possibility of transport and passenger transportation on the Dniester River, and contribute to the increase of tourist and recreational potential.

In the Ternopil, Ivano-Frankivsk and Chernivtsi regions of Ukraine, there is a significant number of agricultural holdings and separate agricultural companies, farms and private enterprises that are ready to sell their products not only within Ukraine, but also to export them abroad reducing their cost by improving the logistic component for account of transportation by inland water transport and departure to international ports.

With positive transportation logistics, there is a significant prospect of transportation and export of grain and oil crops, fruit crops (apples, pears, plums), honey and beekeeping products, forest and wood products, etc.

The end point of a transport corridor can also be the international Black Sea port of Constanta in Romania with a cargo turnover of more than 40 million tons or the seaport of Galats in Romania (where the crossing point on the border with Ukraine Galats – Reni operates), located on the left bank of the Danube River for 150 km from the Black Sea. Optimal route of the transport corridor may be clarified after taking into account all logistical components, dimensions and characteristics of ships, types of transport cargo, etc.

The project implementation of a shipping area of the inland waterway with a length of 370 km will create preconditions for improving the conditions of commercial shipping on the Dniester River, allow to participate in the restoration and development of transport infrastructure within the framework of the implementation of the Plan for recovery of Ukraine from the consequences of the war and also contribute to the development of small and medium-sized businesses in the region.

Figure 1 shows pictures of the low-pressure HPP Sohlstufe Lehen with a head of 6.6 m and an installed capacity of 13.7 MW built in 2013 on the Salzach River in Austria, which is a good example of hydro developments with HPP and reservoirs of complex use. The highlight of the plant and a certain business card of the city of Salzburg is the modern architectural design of the concrete structures of the hydro development specially developed for a harmonious combination with the architectural style of the city.

During the construction of the Sohlstufe Lehen hydro-power plant improvement of the surrounding area was carried out, and the creation of a landscape park on the left bank of the hydro development for the recreation of local residents. It includes green areas, ponds with waterfowl, children's playground with special slides for sledding in winter, pedestrian and bicycle paths, etc.

A special stream passes through the landscape park, which is a fish channel. At the same time, an additional step-type fish passage for other types of passing fish is provided near the hydro development itself. A plan view from a satellite image of the landscape park and the Sohlstufe Lehen HPP is shown in Figure 2.



Fig.1 The Sohlstufe Lehen HPP on the Salzach River in Austria. View from the downstream

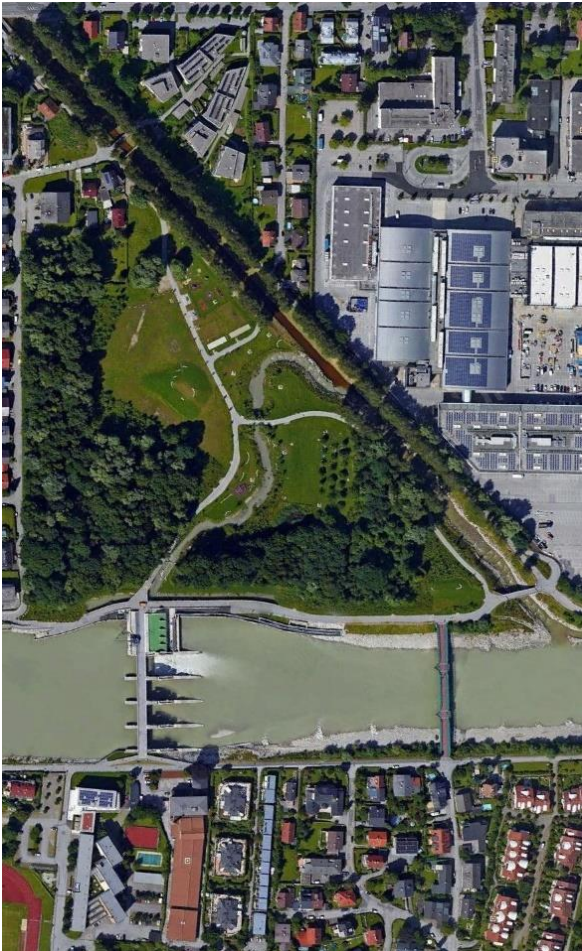


Fig. 2 – Landscape Park and the Sohlstufe Lehen HPP. Plan view from a satellite image

In the further design of hydro developments with HPP and reservoirs of complex use in the Dniester middle site, it is planned to develop a special architectural design of structures of hydro developments based on their organic combination with existing natural complexes.

Composition and main stages of the implementation of “Navigation and infrastructure project connecting the Baltic and Black Seas”

History shows that in the XX century, several attempts were made, and the corresponding projects concerning joining the Vistula, Dniester and Danube River basins were elaborated, which made it possible for the river fleet to function in the Baltic and Black Seas basins.

Considering the current state of the field of maritime and inland water transport in the condition of martial law and the potential attractiveness to obtain new trade routes and also a significant decrease in production costs with an opportunity to export own products into the European and global markets, now the given concept has reached actual importance.

In this section, it is presented the preliminary analysis of the development prospects of navigation in the region due to the implementation of a "Navigation and infrastructure project connecting the Baltic and Black Seas" with a total length about of 2130 km. This navigation waterway may be arranged by the Dniester, Vyshnya, Sian and Vistula Rivers. In order to construct it, it is necessary to perform a complex of specific works due to the sewage of the channel and the formation of a fairway; construction of the necessary hydro-technical sites and structures for the possibility of navigation of vessels including locks, ports and terminals; organization of the corresponding transport port and near-port infrastructure (railway approaches, highways, etc.); equipping a system of navigation equipment signs, etc.

It is considered appropriate to implement this Project in several main stages:

1. Arrangement of navigation area of the inland waterway on the Dniester River from village Horyhliady, Chortkiv district, Ternopil region to city of Novodnistrovsk, Dnistrovsk district, Chernivtsi region with a length about of 370 km (see previous section).

Figures 3-5 demonstrate examples of low-pressure shipping locks, which are operated on rivers and artificial channels of Europe.

2. Arrangement of navigation area of the inland waterway on the Dniester River from the city of Novodnistrovsk, Dnistrovsk district, Chernivtsi region to the river mouth (Dniester Liman) with a length about of 680 km with access to the Black Sea.

Implementation of this stage includes the following key measures:

A) Construction of shipping locks on the Dniester River in the sites of three existing hydro developments – the Dniester and Lower Dniester HPPs on the territory of Ukraine and also Dubossary HPP, located in Moldova.

B) Clearing of riverbed and dredging works on the area from the Lower Dniester HPP site (village Nahoriany, Mohyliv-Podilskyi district, Vinnytsia region) to the city Soroky, Moldova. The length of this area is about 100 km.

Downstream, from the city of Soroky to the town of Dubossary, Moldova and immediately below the Dubossary HPP site, the Dniester River is shipping and preliminarily does not require additional measures.



Fig. 3 Lock Hømen in the municipality of Heumen, Netherlands. It connects the Maac River with the Maas-Waal Canal. Photo from the plane



Fig. 4 Lock Empel in the province of North Brabant, in the south of Netherlands. View from the side of the lower gate

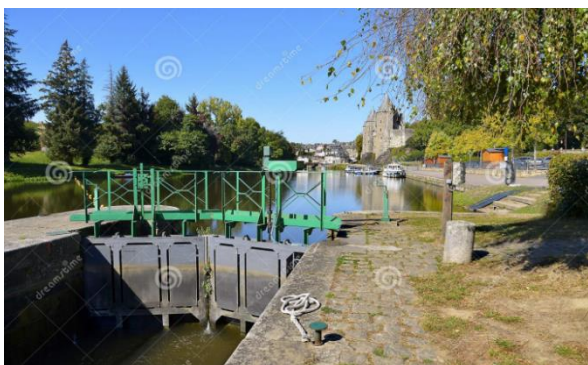


Fig. 5 Lock near Josselin Castle in the municipality of Josselin in France. View from the side of the lock chamber

3. Arrangement of navigation area of the inland waterway from village Horyhliady, Chortkiv district, Ternopil region on the Dniester River to the Vistula River mouth (Gdansk Bay) with a length about of 1080 km with access to the Baltic Sea.

Implementation of this stage includes the following key measures:

A) Clearing of riverbed and dredging works on the Dniester River area from village Horyhliady, Chortkiv district, Ternopil region to the site of Dolobivska dam, which is located in 3 km from town Rudky, Sambir district, Lviv region.

The length of this area of the middle Dniester, which flows from the northern west to the southern east in the range of marks from 262.0 m (in the site of Dolobivska dam) up to 186.0 m (in village Horyhliady), is about of

205 km. The corresponding measures are carried out on those areas which require it. The list of such areas and the composition of works is determined after a detailed survey.

B) Organization of navigation area from the site of Dolobivska dam, which is located 3 km from town Rudky, Sambir district, Lviv region to village Mykhailivka, Jaroslaw County, Subcarpathian voivodeship, Poland, near which the Vyshnya River falls into the Sian River.

The navigation area crosses the border of Ukraine with Poland and also the European watershed, which separates the river basins that fall into the northern (the Baltic and North) and the southern (the Mediterranean, Black and Azov) seas. The length of this area in the range of marks from 262.0 m (at the site of Dolobivska dam) up to 182.0 m (in village Mykhailivka) is about 80 km, including 15 km on the territory of Poland.

The navigation area is arranged by the performance of works for clearing the Vyshnya riverbed and, in addition to this, the dredging works in those areas, which require the specified measures. The creation of a navigation canal alongside the existing Vyshnya riverbed may be an alternative option. In order to implement this navigation way, obviously have to build transport structures for bypassing railways and highways and also a range of shipping locks for the provision of water depth, required for navigation. The amount of additional hydro-technical structures and the composition of specific works will be clarified after the performance of necessary surveys and a detailed study of their results.

C) Organization of navigation area on the San River in Poland with a length of about 140 km, including the clearing of the riverbed and the dredging works on the area, which requires such measures.

The total length of the San River is 444 km. In lower reaches before falling into the Vistula River in the area with a length of about 90 km, the Sian River is shipping. Thus, the specific measures are provided on insignificant area with a length of about 50 km.

D) Organization of navigation area on the Vistula River in Poland, with a length of about 650 km. The Vistula River's length is 1047 km. The Sian River falls into the Vistula River in its middle part, where from the mouth of the Przemsza River (940 km), the Vistula River is already shipping for vessels with a displacement of 200-500 tons during 200-250 days per year.

The Vistula River falls into the Gdansk Bay and opens a shipping way into the Baltic Sea. In its turn, the Vistula River is connected by the Dnipro-Bug Canal with the Dnipro River and the Bydgoszcz Canal with the Oder River, and also with Niman.

The project of construction of a navigation transport corridor between the Black and Baltic Seas with a total length of about 2130 km is quite an ambitious, topical and up-to-date project. Thus, in order to implement it, it is reasonable to join the common efforts of Ukraine and the EU countries, prioritize and build a joint action plan.

UKRHYDROPROJECT PRJSC along with the partners, performed the preliminary survey and assessment works due to the elaboration of “Navigation infrastructure project connecting the Baltic and Black Seas”. The

preliminary approvals from the local government bodies were obtained. The proposed scheme of a navigation transport corridor between the Baltic and Black Seas is presented in Figure 6.

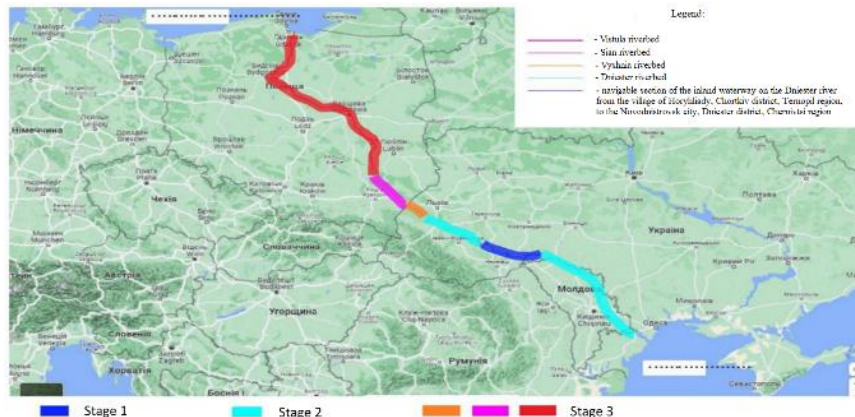


Fig. 6 Scheme of a navigation transport corridor between the Baltic and Black Seas

Conclusions

1. The project “Navigation and infrastructure project connecting the Baltic and Black Seas” with a total length of about 2130 km arranged by the Dniester, Vyshnia, Sian and Vistula Rivers, deserves attention. Its implementation is possible due to the joint coordinated efforts of Ukraine and the EU states, and it will allow in future to revive economic activity, obtain new favorable trade routes and after all provide navigation in Europe a "new breath".

2. The project implementation will provide the development of the following branches in regions:

- Infrastructure (roads, electrical grids);
- Energy (renewable sources – HPP, green energy);
- Tourism (recreation and rural green tourism);
- Economy (new favorable trade routes, fishery);
- Ecology (only due to the energy output on 13 priority hydro developments with HPP with a total capacity of 126 MW with annual output of about 800 million kWh instead of the output on coal TPP, the decrease of an annual burning of coal is about 320 thousand tons and about 650 thousand tons of CO₂ emissions and other polluted substances to the environment, except for today some regions of Ukraine have no own sources of electricity generation).

3. The existence in regions with their own energy sources in the form of hydro developments with HPPs with significant capacity and constant output of electricity provides an increase in energy security of these regions including an opportunity for the local energy supply of the consumers in emergency situations. HPPs also may provide additional services to energy system (frequent and emergency reserves) in the most difficult autumn and winter period. The project as a whole involves:

- efficient use of the available natural resources – energy, water, recreational;
- creation of a developed transport infrastructure;
- creation of new working places for the population in the periods of construction and operation;

- inflow of significant investments;
- significant increase in inflows of taxes into the local budgets of communities in the area of hydro developments;
- increase in profits of the population.

References

1. *Infrastructural project of social and economic development, increase of region's energy security and improvement of shipping conditions during the creation of hydro developments with reservoirs of complex use at the site of the Dniester River on the territories of Ternopil, Ivano-Frankivsk, Chernivtsi regions UKRHYDROPROJECT PRJSC, Kharkiv, 2023.*
2. **1610-1-T2: Preliminary elaboration on hydropower and water management use of the upper part of the Dniester River, UKRHYDROPROJECT PRJSC, Kharkiv, 2015.**
3. **Landau Iu., Sirenko L.: Hydropower and environment, Kyiv, 2004.**

Authors

Serhii Suk, Chief Design Engineer (CDI), graduated in 1999 as Hydraulic Engineer from the Rivne State Technical University, Ukraine and works at UKRHYDROPROJECT since 2005 where he participated in the design of many hydro power projects in Ukraine, Laos, Ethiopia, Moldova, and other countries. In 2011-2013 was CDI of the first stage of the construction of the Dniester PSP consisting of three hydro units with a capacity of 972 MW, now is CDI of the rebuilding of the Kakhovka hydro development after it was blown up by the occupation forces of the Russian Federation.

Iurii Landau, Doctor of Technical Sciences, member of the Academy of Construction, Chief Advisor, UKRHYDROPROJECT, PRJSC. Graduated in Hydro Engineering from the Institute of Water Industry Engineering, Kyiv, Ukraine in 1961. Managed design of large hydro power projects in Ukraine, Vietnam, Ethiopia, Laos, China, etc. He is the author of more than 100 patents for inventions in hydro power engineering, and more than 70 research publications, including two monographs on concrete dams, hydro power engineering, and environment and is a member of the ICOLD's Concrete Dams Committee.

Reconstruction of the Kakhovka HPP on the Dnipro River as a strategic step towards energy security of Ukraine. Current challenges and solutions

Maksym Levytskyi
Chief Design Engineer

UKRHYDROPROJECT PRJSC
Nauky Avenue, 9, Kharkiv, 61165, Ukraine
marketing@uhp.kharkov.ua

Vadym Kraynyk
Chairman of the Board

UKRHYDROPROJECT PRJSC
Nauky Avenue, 9, Kharkiv, 61165, Ukraine

Introduction

The Kakhovka HPP, which is the sixth, the lowest step of the Dnipro cascade of HPPs, was built from 1952 to 1955 and commissioned in 1959 with a total capacity of 312 MW.



Fig. 1 Kakhovka HPP before its destruction.
View from the downstream.

Due to the set of rehabilitations which started in the middle of the 90s of the past century and continued up to the beginning of 2022, the capacity of HPP was increased to 335 MW, and the operational reliability was raised as the HPP itself and the complex of structures of the Kakhovka hydro development.

It was planned the significant extension of production capacities of the Kakhovka HPP by the construction in composition of the structures of hydro development of the Kakhovka HPP-2 by the principle "one dam - two HPPs". The installed capacity of the Kakhovka HPP-2 was to be 250 MW. By the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine, the indicated project was included in the list of priority investment projects for the state for the period up to 2023.

Preconditions for the elaboration of the rebuilding project of Kakhovka hydro development

On February 24, 2022, on the first day of the full-scale Russian aggression against Ukraine, the Kakhovka HPP was occupied by the troops of the Russian Federation. After a year and a half on the night of June 06, 2023, the

military of the Russian Federation performed perhaps the largest terroristic act in the recent history of mankind – undermining the structures of the Kakhovka hydro development, which caused significant destructions.



Fig. 2 Destroyed powerhouse.

The following structures of the Kakhovka hydro development were destroyed and damaged:

- 16 left bank outlets of 28 outlets of the spillway dam were destroyed;
- the powerhouse was completely destroyed;
- a separated wall between the spillway dam and the powerhouse was destroyed;
- an earth dam between the powerhouse and a lock was destroyed;
- a shipping lock was partially destroyed;
- the Kakhovka reservoir is almost completely empty.



Fig. 3 View of the destroyed Kakhovka hydro development

Except for obvious social and humanitarian disaster downstream of the Dnipro River connected with a rapid increase

in water level, flooding of the significant territories including settlements, warehouses with fertilizers, the infrastructure of oil and gas complex, production capacities, cemeteries, impairment of drinking water quality on the non-flood areas the terrorist act on the Kakhovka reservoir caused other not for everyone obvious, at the first glance consequences. As a result of the emptying of the Kakhovka reservoir and accordingly the water level drop in it from 16.0 m to the natural, household level (about 0 m), and it became impossible to intake water for householding and drinking water supply of several towns located upstream of the Dnipro River, in the area of the Kakhovka reservoir the water intake structures of the Kakhovka, North-Crimea canals and the Dnipro-Kryvyi Rih canal cannot operate. There is no possibility to intake water for the demands of the Zaporizhzhia nuclear power plant and for many other industrial enterprises located on the banks of the Kakhovka reservoir.



Fig. 4 Kakhovka HPP. Flooding of the off-site territories as a result of destruction

Plans and measures due to the rebuilding of the structures of the Kakhovka hydro development

Realizing the need the rebuilding the hydro structures of the Kakhovka hydro development and filling of the Kakhovka reservoir for the provision of reliable operation of the Zaporizhzhia NPP water intake and other water intakes of utility and industrial water supply, the rebuilding of the Kakhovka HPP and taking other measures for the provision of stable operation of the energy system of Ukraine, the Cabinet of Ministers of Ukraine made a decision on the implementation of experimental project "Construction of the Kakhovka hydro development on the Dnipro River. Rebuilding after the destruction of the Kakhovka HPP and provision of sustainable operation of the Dnipro HPP in the rebuilding period." The general designer of the pilot project is UKRHYDROPROJECT PRJSC.

To ensure a comprehensive and systematic approach to the reconstruction of the Kakhovka hydro development, the works on "Development of recommendations on the feasibility of reconstruction of the Kakhovka hydro development and filling the Kakhovka reservoir to ensure reliable operation of water intakes for municipal and industrial purposes and restoration of the ecological status and bio-

diversity of the Lower Dnipro River" are underway. Leading specialized research institutes and organizations are involved in this work.

Taking into consideration the above-listed consequences of the destruction of head structures of the Kakhovka hydro development and their significant effect on the sustainable and safe operation of energy and industrial enterprises located upstream of the Dnipro River, first of all, the Zaporizhzhia NPP and Dnipro HPP, it is applied a complex approach during designing and rehabilitation of the structures of the hydro development with early implementation of measures directed to the refurbishment of the minimum required water level for stable operation of all water intakes in the area of the Kakhovka reservoir and restoration of design conditions of the Dnipro HPP operation.

In this regard, the implementation of the Project of the execution of the rebuilding of the Kakhovka hydro development structure complex is provided in three stages:

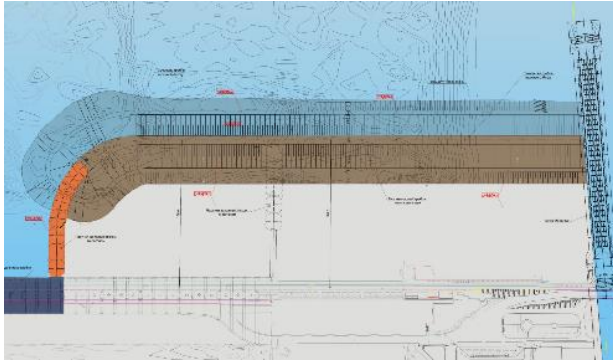
Stage 1 – at the first stage the execution of which has already started, it is performed the design of temporary dams from the side of upstream and downstream, the design of a temporary culvert canal for passage of construction and ecological consumptions of the Kakhovka hydro development.

Stage 2 - immediately after the de-occupation of these territories, as part of preparatory work, surveys of the structures and the waterway bed will commence promptly to update data, primarily to determine the parameters of the erosion funnel formed as a result of the flow passing through the hydro development site during its destruction. Additionally, the scope of necessary demolition and repair work on surviving structures will be defined. The data obtained will be used in the design process. Alongside the surveys, construction of temporary dams on the upstream and downstream sides of the reservoir will begin, which will allow both draining the reservoir and performing works in it, and gradually increasing the water level of the Kakhovka reservoir to the elevation of 12.7 m (mainly during the flood period, in spring and autumn, using the storage capacity of the Kremenchuk reservoir).

Simultaneously with it, under the protection of a temporary dam at the reservoir level with the mark of 12.7 m the operation of the water intake of the Zaporizhzhia NPP and other water intakes on the reservoir bank is provided. In doing so, the construction consumption passage of the Dnipro River and passage of the maximum flood consumptions of 1% of the probability will be carried out through the construction channel in the area of the earth dam at the initial stage, and after the water level increase – through 11 outlets of the spillway dam.

After the execution of works stipulated in the composition of the second stage, namely disassembly of the destroyed part of the spillway dam and construction of the separated walls between the spillway dam and the powerhouse, con-

necting of these walls with temporary dams, the dismantling of the temporary dams in the zone of the spillway dam is executed. It will enable to carry out the passage of flood with the probability of 0.1% of the Dnipro River discharges through all 28 outlets of the spillway dam with the temporary level of the Kakhovka reservoir at 12.7 m.



**Fig.5 Reconstruction of the Kakhovka HPP.
Temporary dam from the upstream side.**



**Fig.6 Reconstruction of the Kakhovka HPP.
Temporary dam from the downstream side.**

Stage 3 – the disassembly of structures of the destroyed powerhouse and the construction of a new powerhouse with the installation of all necessary equipment and with the increase in the installed capacity from 335 MW to 585 MW are carried out. In the composition of this stage, the construction of an earth dam between the powerhouse and a shipping lock and the lock restoration are carried out. At the end of these works the dismantling of temporary dams is performed. During this stage, the rise of the level of the Kakhovka reservoir to the designed mark of normal water level of 16.0 m and a phased commissioning of all units of the Kakhovka HPP are performed. The restoration of all culverts at the hydro development will enable the maximum flood to pass through at 0.01%.

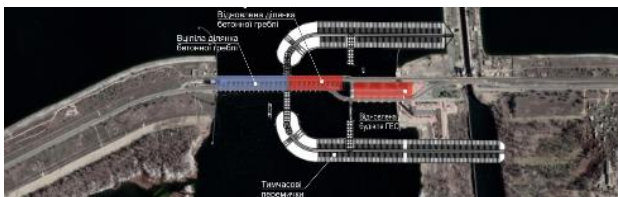


Fig. 7 Reconstruction of the Kakhovka HPP. Temporary dams and restoration of the hydro development facilities

Proceeding from the conditions of the optimistic scenario, considering the experience of construction of hydropower facilities in Ukraine, the rebuilding of the Kakhovka hydro development will last not less than eight years including:

- Stage 1. Preparation works – 2 years;
- Stage 2. Refurbishment of the spillway dam – 2 years;
- Stage 3. Construction of the HPP structures and earth dam between the powerhouse and a lock, refurbishment of adjoining the shipping lock – 4 years.

It should be noted that as part of the post-war reconstruction of Ukraine's infrastructure, including the Kakhovka hydro development, the government and relevant organizations are negotiating and have reached an agreement, including signing memoranda on the participation of foreign partners in this reconstruction. These include financial institutions, manufacturers and suppliers of power and other equipment, construction companies, etc.

Conclusions

The implementation of the rebuilding project of the Kakhovka hydro development on the Dnipro River after its destruction will enable to restoration of reliable operation of energy and industrial enterprises, primarily Zaporizhzhia NPP, water supply structures of the population and agricultural sector of the region; restoration of navigation in the Dnipro River downstream and not only restoration of the lost capacity of the Kakhovka HPP, but implementation of the measures due to an increase in the installed capacity of the HPP more than 75% up to 585 MW. It is an important step for the increase in energy security of the state and the provision of livelihood in the whole southern region of Ukraine.

References

1. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 18 July 2023 No. 730 On the Approval of the Procedure for Implementation of the Pilot Project "Construction of the Kakhovka hydro development on the Dnipro River. Rebuilding after the destruction of the Kakhovka HPP and provision of sustainable operation of the Dnipro HPP in the rebuilding period."
2. Construction of the Kakhovka hydro development on the Dnipro River. Preparatory works. Basic design, -UKRHYDROPROJECT PRJSC, Kharkiv, 2023.
3. In preparing the illustrative materials of the current state of the Kakhovka hydro development (after its destruction), open access materials were used from the Internet.

Authors

Maksym Levytskyi – Chief Design Engineer, UKRHYDROPROJECT, PRJSC. Graduated from the National University of Water Management and Natural Resources Use (Rivne, Ukraine) as Hydraulic Engineer in 2007. Works at UKRHYDROPROJECT since 2013 where he participated in the design of many hydro power projects in Ukraine, Poland, Vietnam, Kazakhstan, and other countries.

Vadym Krainyk - Chairman of the Board, UKRHYDROPROJECT, PRJSC. Graduated in Hydro Engineering from the National Ukrainian Academy of Water Economy in 1998. From 1998 to 2002 he worked at the Tashlyk PSP (Ukraine). Since 2002, he works at UKRHYDROPROJECT, where he participated in the design of many hydro power projects in Ukraine, Vietnam, Ethiopia, and other countries.

Ocena potencjału hydroenergetycznego rzek w obrębie terytorium Ukrainy

**Obodovskyi Oleksandr, Pochayevets Olena,
Lukyanets Olga, Grebin Vasyl**

Państwowy Uniwersytet im. Tarasa Szewczenki, Kijów
e-mail: obodovskyi58@gmail.com,
po4aevets@gmail.com, luko15_06@ukr.net, grebin1964@gmail.com

Habel Michał

Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz
e-mail: mihab@ukw.edu.pl

Uwagi ogólne

Niewątpliwą zaletą wykorzystania odnawialnych źródeł energii jest ich odnawialność, niska emisyjność gazów cieplarnianych i toksycznych substancji. Ocena i prognozowanie zmian potencjału hydroenergetycznego rzek jako zasobu naturalnego jest istotna ze względu na jego wykorzystanie w hydroenergetyce dla wzmocnienia niezależności energetycznej i bezpieczeństwa energetycznego. Podjęcie się oceny potencjału rzek Ukrainy ma obecnie szczególne znaczenie. Zauważalna jest potrzeba zabezpieczenia niezbędnych potrzeb energetycznych Ukrainy, zwłaszcza w warunkach prowadzenia działań militarnych i obronnych. Wzrasta potrzeba dywersyfikacji energetycznej Ukrainy, w tym również w oparciu o małą energetykę wodną.

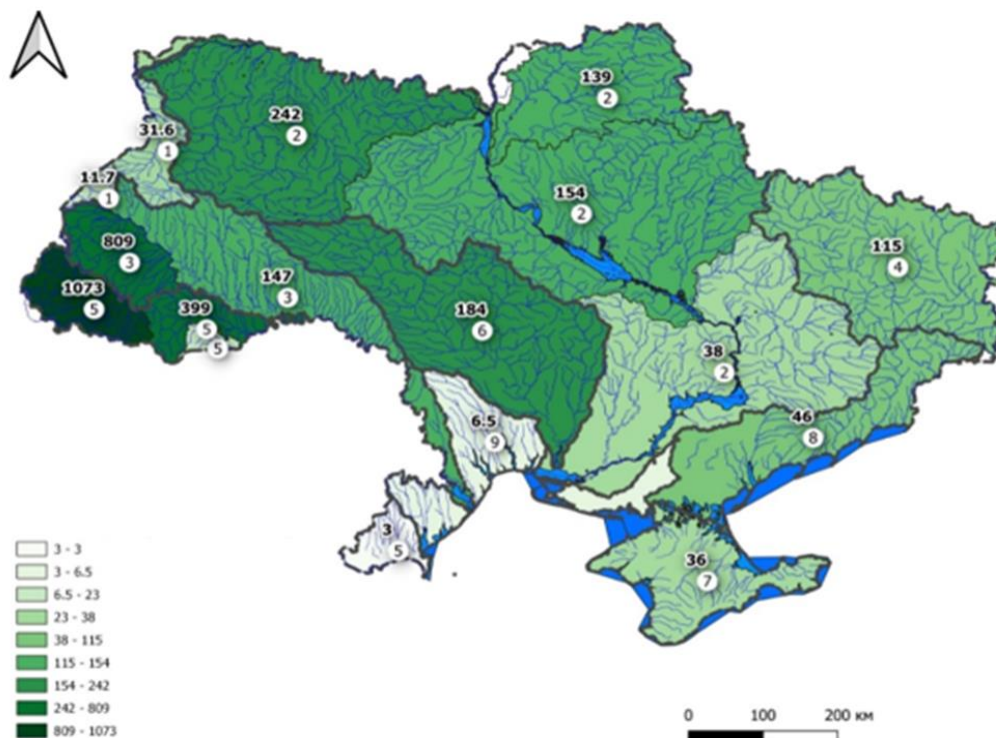
Zaproponowano w pracy podejście zlewniowe do użycia danych ilościowych o całkowitym potencjale hydroenergetycznym rzek Ukrainy. Przyjęto w analizie dane dla 1824 rzek za lata 1970-2020. Dla odcinków nizinnych wydzielono zlewnie cząstkowe o powierzchni większej niż 100 km², a kryterium granicznym były przepływy równe/wyższe od 0,3 m³/s. Rzeki górskie miały odpowiednie parametry graniczne – powierzchnię zlewni co najmniej 30 km², długość ponad 10 km i minimalne natężenie przepływu wody powyżej 0,1 m³/s. Zaproponowane wartości graniczne wykorzystano już we wcześniejszych opracowaniach autorów [1-4]. Takie podejście pozwoliło na wytypowanie 4630 jednorodnych odcinków rzek dla których wykonano obliczenia. Wykorzystanie technologii Geograficznych Systemów Informacyjnych do przestrzennych analiz danych hydrologicznych (przepływy średnie dobowe w profilach wodowskazowych) i topograficznych (numeryczny model wysokościowy terenu) pozwolił na obliczenie precyzyjne obliczenia.

Wyniki zaprezentowano w postaci map i tabel. Warto zauważyć, że najwyższy procent udział w potencjale hydroenergetycznym występuje w zlewniach górskich rzek, tj.: Cisy (31,0%), Prutu (11,5%) i prawobrzeżnych dorzecza Dniestru (23,4%). Najniższe odpowiednie wartości charakteryzują rzeki zlewni dolnego Dunaju (0,1%) i obszar dorzecza Morza Czarnego (0,2%). W przeliczeniu na jednostkę powierzchni wartość mak-

symalna wskaźnika GHP dla zlewni Cisy (rzeka górska) wynosi 83,8 kW/km². Minimalna wartość to 0,24 kW/km² dla obszaru dorzecza Morza Czarnego. Ustalono, że najbardziej zasobne w wody do produkcji energii elektrycznej są zlewnie Cisy, Prutu i Siretu (obszar dorzecza Dunaju) oraz prawy brzeg Dniestru (obszar dorzecza Dniestru). Z kolei najmniej zasobne są rzeki regionu Morza Czarnego, rzeki zlewni Dolnego Dunaju (region dorzecza Dunaju) i dopływy Dolnego Dniepru. Całkowity potencjał hydroenergetyczny rzek na terytorium Ukrainy bez kaskady Dniepru wynosi 3459,5 MW (3,46 GW). Sam potencjał rzeki Dniepr przed kaskadyzacją wynosił 1364,8 MW (1,37 GW). Można zatem przyjąć, że łącznie potencjał hydroenergetyczny rzek Ukrainy to 4824,3 MW (4,82 GW). Podobną wartość potencjału hydroenergetycznego rzek Ukrainy określono wcześniej za pomocą metod empirycznych [5]. Przyjęte w pracy podejście pozwala zatem na precyzyjną ocenę zasobów wodnych możliwych do hydroenergetycznego wykorzystania w obrębie określonego terytorium.

Literatura

1. **Obodovskyi O. G.:** *Методика встановлення гідроенергетичного потенціалу річок (на прикладі річок Українських Карпат)*, Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2016, 1 (64), 5-12
2. **Obodovskyi O.G., K. Yu. Danko, O. O. Pochayevets, V. V. Onyshchuk, S. I. Snizhko, O. I. Lukyanets:** *Methodic Aspects of Hydroecological Assessment of Hydropower Potential of the Plain Rivers' (by Example of Dnieper Right-Bank Rivers)*, Hydrobiological Journal, vol. 56, 2020 Issue 4. Pages 84-102. DOI: 10.1615/HydrobJ.v56.i4.70.
3. **Obodovskyi O.G., (red.):** *River Runoff in Ukraine Under Climate Change Conditions*, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2020
4. **Obodovskyi O.G., (red.):** *Hydropower Potential Assessment: mountain rivers of Ukrainian Carpathians*, LAP Lambert Academic Publishing, 2021
5. **Непорожний П. С. (red.)** *Гидроенергетика и комплексное использование водных ресурсов СССР*, Энергоиздат, 1982



Rys. 1. Przestrzenny udział potencjału hydroenergetycznego (MW) w dorzeczach i zlewniach rzek Ukrainy: 1 – Obszar dorzecza Wisły, 2 – Obszar dorzecza Dniepru, 3 - Obszar dorzecza Dniestru, 4 - Obszar dorzecza Donu, 5 - Obszar dorzecza Dunaju, 6 - Obszar dorzecza Bohu, 7 - Obszar dorzecza rzek Krymu, 8 - Obszar dorzecza rzek Morza Azowskiego, 9 - Obszar dorzecza rzek Morza Czarnego

Autorzy

Obodovskyi Oleksandr, profesor na Wydziale Geografii Państwowego uniwersytetu Tarasa Szewczenki w Kijowie oraz profesor Wydziału Nauk Geograficznych Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy. Zakres jego kompetencji obejmuje badania hydrologiczne rzek.

Pochayevets Olena – dr, kierownik działu działalności projektowej części badawczej Kijowskiego Narodowego Uniwersytetu im. Tarasa Szewczenki, zajmuje się zastosowaniem GIS w hydrologii rzek.

Lukyanets Olga – dr, profesor nadzwyczajny Katedry Hydrologii i Hydroekologii Kijowskiego Uniwersytetu Narodowego im. Tarasa Szewczenki, zajmuje się obliczeniami i prognozami hydrologicznymi..

Grebin Wasyl – doktor nauk ścisłych, profesor, kierownik katedry hydrologii i hydroekologii Kijowskiego Uniwersytetu Narodowego im. Tarasa Szewczenki, zajmuje się gospodarką dorzeczną systemów rzecznych.

Habel Michał, dr hab. ukończył studia geograficzne w Akademii Bydgoskiej im. Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy w roku 2005. Od tego czasu zatrudniony jest w Instytucie Geografii, obecnie na Wydziale Nauk Geograficznych. W roku 2012 IGiPZ Polskiej Akademii Nauk przyznał mu stopień doktora nauk o Ziemi, a w roku 2023 - stopień doktora habilitowanego. Obecnie kierownik Katedry Rewitalizacji Dróg Wodnych. Jest uznanym specjalistą w zakresie hydrologii wód powierzchniowych.

Sesja II

Energetyka pompowo-szczytowa

Session II

Pumped-storage hydropower

- 2.1. Michał Kubecki:
*Rozwój elektrowni szczytowo-pompowych,
przegląd aktualnej sytuacji w Polsce i na świecie*
- 2.2. Klaus Krüger:
*Pumped storage as a supporting pillar
of the energy transition on an international level*
- 2.3. Florica Popa, Eliza-Isabela Tica, Bogdan Popa:
*Pumped storage in Romania as solution
for large development of variable renewable energy sources*

Notatki

Notes

Rozwój elektrowni szczytowo-pompowych, przegląd aktualnej sytuacji w Polsce i na świecie

Michał Kubecki

Instytut OZE Sp. z o. o., Kielce

e-mail: michal.kubecki@ioze.pl

Zarządzanie krajowym systemem elektroenergetycznym staje się coraz trudniejsze. Jednocześnie zachodzących zmian tego sektora nie da się powstrzymać. Czy lekiem na bolączki nienadążającego za zmianami systemu jest zwiększenie elastyczności pracy sieci dzięki elektrowniom szczytowo-pompowym (ESP)? Wierzymy, że tak.

Trendy i zdarzenia

Tym co jeszcze mocniej skłania nie tylko polski sektor energetyczny, ale też globalnie – Europę, Amerykę czy Azję do działania w kierunku wytworzenia nowej mocy i zdolności akumulacji energii dzięki ESP są bieżące zdarzenia na rynku paliw kopalnych, ustalenia pakietów klimatycznych, porozumienia międzynarodowe, przeszkody techniczne stosowania nowych technologii magazynowania, a w sposób najbardziej uchwytyny – konkretne sytuacje związane z niedoborami lub nadmiarem mocy w systemie.

Od 2018 r. ilość uruchomień i czasu pracy obiektów ESP systematycznie rośnie, a między 2011 a 2021 r. czas pracy tych instalacji wzrósł o 45%¹. Jest to skorelowane z przyrostem mocy zainstalowanych w elektrowniach fotowoltaicznych i wiatrowych oraz postępującą destabilizacją pracy systemu elektroenergetycznego. O wadze posiadania do dyspozycji energii skumulowanej w magazynach, jakimi są elektrownie szczytowo-pompowe świadczy choćby sytuacja awaryjnego wyłączenia 10 bloków elektrycznych Elektrowni Bełchatów w maju 2021 r. Do blockoutu nie doszło w tym czasie w dużej mierze dzięki pracy krajowych ESP.

Na drugim biegunie mamy zdarzenia, które są dotkliwe w aspekcie finansowym, jak wystąpienie po raz pierwszy ujemnych cen energii na Towarowej Gieldzie Energii w czerwcu b.r., i ponownie w pierwszych dniach września. Wzrost udziału OZE w krajowym miksie energetycznym zmienia rynek handlu energią i nieuchronna jest potrzeba dostosowania się do tego faktu poprzez efektywne zarządzanie produkcją energii.

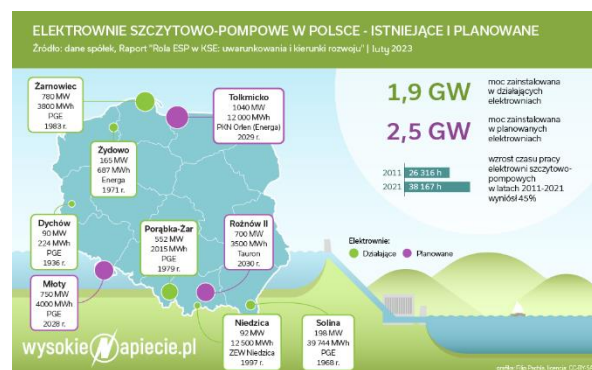
Specustawa

Dobrym sygnałem, zwiastującym rozwój inwestycji ESP jest ustawa z dnia 14 kwietnia 2023 r. o przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie elektrowni szczytowo-pompowych oraz inwestycji towarzyszących, która weszła w życie 30 czerwca². Jej zapisy kierowane są do podmiotów o istotnym znaczeniu dla gospodarki państwa (w tym spółek z udziałem Skarbu Państwa).

Ww. ustawą wprowadzono przepisy upraszczające ścieżkę administracyjną dla ESP dzięki nadaniu im statusu inwestycji celu publicznego. Symplifikowanie procedury nabywania praw do nieruchomości pod inwestycję, skrócenie terminów administracyjnych, ustalenia dotyczące umożliwienia wejścia na teren nieruchomości celem przeprowadzenia pomiarów, badań czy innych prac na potrzeby decyzji administracyjnych to rdzeń omawianego aktu prawnego.

Z przepisów ustawy będą mogli skorzystać inwestorzy kilku rozwijanych obecnie projektów elektrowni szczytowo-pompowych.

Krajowe inwestycje w ESP



Rys. 1 ESP w Polsce – istniejące i planowane (źródło: WysokieNapięcie.pl)

Rozwój ESP w naszym kraju to inwestycje wykorzystujące wstrzymane przed laty projekty jak Młoty, nowe koncepcje – Tolkmicko, Rozdów II, Jawor, jak i rozbudowa istniejących obiektów.

W ostatnim czasie grupa PGE bardzo prężnie działa w zakresie poprawy parametrów pracy i rozbudowy swoich ESP. W bieżącym roku rozpoczęto na zlecenie spółki analizę możliwości powiększenia górnego zbiornika Elektrowni Szczytowo-Pompowej Dychów. W 2022 r. opracowano studium wykonalności oraz PFU w zakresie budowy hybrydowego magazynu energii współpracującego z ESP Żarnowiec. Również w 2022 PGE zawarło kontrakt na modernizację części technologicznej elektrowni szczytowo-pompowej Porąbka-Żar³. W przypadku elektrowni Solina projektowane jest obecnie udrożnienie zbiornika wyrównania dobowego.

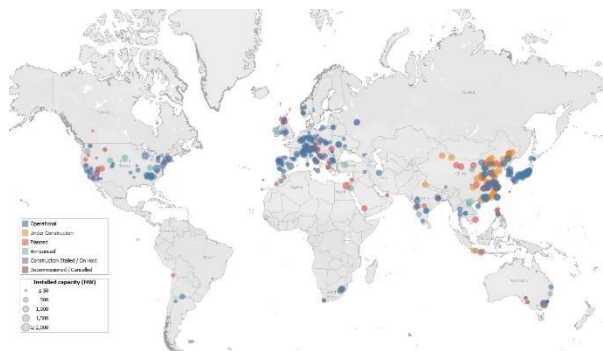
Najbardziej „medialnym” obecnie projektem jest budowa ESP Młoty. Na zlecenie inwestora – PGE – sporządzono Studium wykonalności inwestycji i wiele

wskazuje na to, że dojdzie ona do skutku. Drugim pomysłem na ESP rozpatrywanym przez spółkę energetyczną jest ESP Jawor nad Jeziorem Solińskim. Kolejnym projektem planowanym do realizacji jest nowa elektrownia szczytowo-pompowa w Rożnowie, na potrzeby której Tauron zlecił już wykonanie inwentaryzacji środowiskowej⁴. Ostateczna decyzja biznesowa uzależniona jest od uzyskanych wyników analiz środowiskowych oraz przygotowania montażu finansowego. W planach jest również ESP Tolkmicko na północy Polski, dla której przygotowywane jest studium wykonalności⁵.

Jako potencjalne lokalizacje pod ESP w rządowym opracowaniu pn. *Rola elektrowni szczytowo-pompowych w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym: uwarunkowania i kierunki rozwoju* wskazuje się, poza wyżej wymienionymi, również ESP Sobel/Sobol, ESP Niewiastka, ESP Pilchowice III, ESP Smolniki, ESP Włocławek, ESP Bełchatów i ESP Chojna¹.

Spodziewanym jest, iż do 2030 r. do istniejących sześciu obiektów ESP w naszym kraju dołączą nowe i w znacznym stopniu pozwolą zagospodarować nadwyżki produkcji energii z OZE i oddawać je do systemu gdy to potrzebne.

Rozwój ESP na świecie



Ryc. 2 Rozmieszczenie istniejących, budowanych i planowanych ESP na świecie (źródło: hydropower.org)

Zintensyfikowane działania ukierunkowane na rozwój ESP w Polsce stanowią odbicie silnego trendu w energetyce światowej związanego z budową tych najbardziej zaawansowanych technologicznie magazynów energii.

Wskazując przykłady ostatnio zrealizowanych projektów na rynku europejskim, warto wspomnieć o oddanej do użytku w lipcu 2020 r. Nant de Drance w Szwajcarii o mocy 900 MW, stanowiącej największy tego typu obiekt w Europie. W tym samym czasie w Portugalii uruchomiono duży projekt magazynowania energii wodnej, w skład którego wchodzi 3 elektrownie o łącznej mocy 1158 MW. Początkiem 2022 Chiny uruchomiły największą na świecie elektrownię szczytowo-pompową o mocy 3,6 GW w Fengning w prowincji Hebei. W trakcie budowy jest 16 kolejnych obiektów wspierających chiński system elektroenergetyczny, w planach kolejnych kilka.

Projekty ESP rozwijane są także w miejscach na świecie, które nie kojarzą się z bogatymi zasobami wodnymi. W Hattcie (ZEA) przeprowadzono już ponad 70 % prac związanych z realizacją ESP o mocy 250 MW⁷, w Australii rozpoczęto realizację projektu Oven Mountain o mocy 600 MW, który obecnie jest na etapie uzyskiwania zgód środowiskowych⁸.

Powyższe, mocno syntetyczne wyliczenia przedsięwzięć świeżo oddanych do użytku i planowanych w najbliższych latach do realizacji to jedynie przyczynek do szerszej dyskusji na temat rozwoju ESP w naszym Kraju, Europie i na świecie.

Przywołania

1. Rola elektrowni szczytowo-pompowych w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym: uwarunkowania i kierunki rozwoju – Raport, Warszawa 2022, autorstwa Zespołu ekspertów ds. Budowy Elektrowni Szczytowo-Pompowych działającego przy Radzie Ministrów
2. Ustawa z dnia 14 kwietnia 2023 r. o przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie elektrowni szczytowo-pompowych oraz inwestycji towarzyszących (Dz.U. 2023 poz. 1113)
3. <https://www.wnp.pl/energetyka/legendarna-elektrownie-czeka-ogromny-remont-drugiej-takiej-nie-ma-w-polsce,605717.html>
4. <https://www.wnp.pl/energetyka/w-roznowie-moze-powstac-elektrownia-szczytowo-pompowa,716993.html>
5. <https://www.wnp.pl/energetyka/wchodzi-w-zycie-spe-custawa-pod-wielkie-inwestycje-energetyczne,726778.html>
6. <https://www.wnp.pl/energetyka/wchodzi-w-zycie-spe-custawa-pod-wielkie-inwestycje-energetyczne,726778.html>
7. <https://www.waterpowermagazine.com/news/newsdewas-pumped-storage-plant-in-hatta-reaches-74-completion-mark-11140145>
8. <https://www.ompshydro.com/project/>

Autor

Michał Kubecki, mgr inżynier, w roku 2007 ukończył studia na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn o specjalności Technologia Laserowa i Plazmowa. Następnie podjął naukę na Akademii Górniczo – Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie - Szkoła Ochrony i Inżynierii Środowiska im. Walerego Goetla, gdzie ukończył w 2008 roku studia podyplomowe na kierunku Odnawialne Zasoby i Źródła Energii. Od 2008 do 2018 roku sprawował funkcję Członka Zarządu w Towarzystwie Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych (TRMEW).

Jeden z najbardziej doświadczonych inżynierów w Polsce specjalizujących się w projektowaniu, budowie i eksploatacji elektrowni wodnych, właściciel kilku obiektów MEW.

W 2009 roku Prezes Zarządu w Instytut OZE Sp. z o.o. i firmie inżynierskiej i konsultingowej oferującej kompleksowe usługi w energetyce, przemyśle i gospodarce wodnej, w tym zarządzanie pełnym procesem przygotowawczym przedsięwzięcia. Od 2012 roku jest Redaktorem Naczelnym kwartalnika „Energetyka Wodna”.

Pumped storage as a supporting pillar of the energy transition on an international level

Klaus Krüger

Voith Hydro Holding GmbH & Co. KG
Alexanderstraße 11; 89522 Heidenheim, Germany
e-mail: klaus.krueger@voith.com

Pumped storage power plants (PSH) are so far the only long-term, technically proven and cost-effective form of storing energy on a large scale and making it available at short notice: The technology is extremely long-lasting with a lifespan of 80 to 100 years and more than 100,000 storage cycles (starts & stops). In addition, it is characterized by efficiencies between 78% and 82% (for modern projects) and very low energy storage costs in the GWh class. This is why the invention of pumped storage, which is over 100 years old, still dominates the electricity storage market today. The total installed capacity of pumped storage worldwide was around 161 GW at the end of 2020 - with a total storage capacity of 8.5 TWh. This presentation initially focuses on the challenges that arise with regard to the energy transition towards renewable energies (RE) and the current need for flexibility in the electricity market. Using concrete international examples of PSH projects, their possible contribution to the decarbonization of the electricity sector with high shares of renewable energy is illustrated.

Author

Klaus Krueger is Senior Expert for Plant Safety & Energy Storage Solutions at the Corporate Technology of Voith Hydro Holding in Heidenheim. He studied electrical engineering at the Technical University of Karlsruhe (Germany) and graduated 1987 with his Dr. degree (equivalent to PhD) in 1991. He gained his professional experience in several national and international thermal and hydro power plant projects and in different management positions. He is member of the Executive Board of the European Association for Storage of Energy since 2017 in Brussels.

Pumped storage in Romania as solution for large development of variable renewable energy sources

Florica Popa

University VALAHIA of Targoviste
13 Al. Sinaia, 130004 Targoviste, Dambovita, Romania
e-mail: icapopa10@gmail.com

Eliza-Isabela Tica, Bogdan Popa

National University of Science and Technology
POLITEHNICA Bucharest,
313 Spl. Independentei, sect. 6, RO-060042, Romania
e-mail: eliza.tica@upb.ro; bogdan.popa@upb.ro

Introduction

The paper presents the structure of installed capacity in the Romanian National Power Grid (NPG) and the present daily demand and generation in terms of power.

There are presented also the ambitious goals of the government related to large development of generation capacities from renewable energy sources (RES), especially wind and solar (PV). These RES, called variable RES (VRES), will dramatically change the structure of the installed capacities in the Romanian NPG, the way that the generation meet the demand and the structure and "size" of the system services.

Consequently, the need for developing capacities in pumped storage plants (PSPs) is proportional, as the only sustainable solution to mitigate the large penetration of VRES at the level of a NPG.

Present and development prognosis for the NPG

The total installed capacity in the Romanian NPG power plants is slightly bigger than 18 GW and is produced from hydropower, wind, hydrocarbons, coal, photovoltaic (PV), nuclear, biomass, biogas, waste, residual heat and geothermal [1]. The structure of energy generation capacities is presented in Fig. 1.

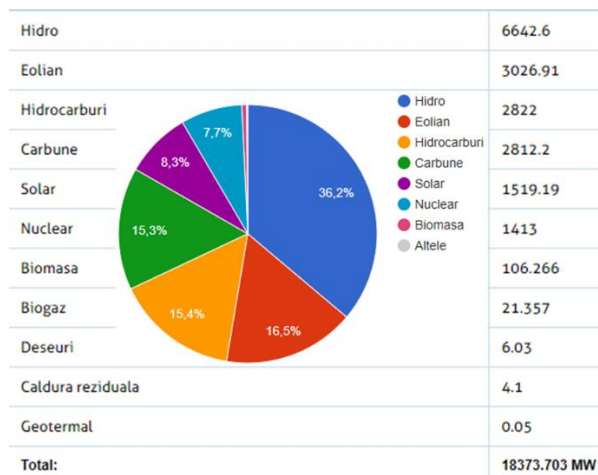
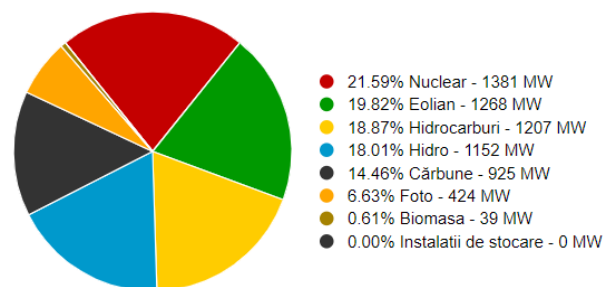


Fig.1 Installed capacities in Romania on October 8, 2023 (Hydropower, Wind, Hydrocarbons, Coal, PV, Nuclear, Biomass, Others) [1]

The instantaneous power demand is usually in range 5 to 7 GW, and an example on energy generation per technology is shown in Fig. 2 [2].



Total 6396 MW - Productia in 08-10-2023 ora 10:37:20

Fig.2 Energy generation per technology on October 8, 2023, 10:37 a.m. (Nuclear, Wind, Hydrocarbons, Hydropower, Coal, PV, Biomass, Storage installations) [2]

In March 2023, "Parliament and the Council informally agreed to raise the 2030 renewable energy sources target to 42.5% by 2030, with Member States striving to achieve 45%" (www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/70/renewable-energy).

The announced goal of the Ministry of Energy is: "We proposed 10 GW in wind and photovoltaic until 2030 because this is also a milestone in the PNRR and we are forced to conclude contracts for 1,500 MW this year. We have split the 10 GW scheme into two, 5 GW we want to make accelerated and the rest to follow the path of assessment on state aid schemes. We will go for 5 GW by 2025, of which 2 GW will be this year and 3 GW in 2025. This year there will be an auction for 2 GW and another in 2025 for 3 GW" (energynomics.ro).

Moreover, Hidroelectrica, the largest producer of electrical energy in Romania, with 6480.17 MW installed in 188 hydropower plants (HPPs) and pumping stations (PS) (of which 52 with $P_i \leq 4$ MW, 22 with $P_i = 4 \dots 10$ MW, 108 HPPs > 10 MW) plus a wind power plant of 108 MW, [3], declare: "A very important project that we have in mind at the moment is an investment of about 1,500 Megawatts in floating photovoltaic panels, which we want to realize together with the Emirati company Masdar..." (energynomics.ro).

With this large penetration of renewables, Romania will arrive to have around 14.5 GW installed capacities in

wind and PV, the so-called VRES, from around 28 GW, the total installed capacity in the NPG, in 2030. The reason to this estimate for the total installed capacity in the Romanian NPG is the announced intention to close coal power plants at the same time with ending energy facilities started long time ago.

With more than 50% of the installed capacity in VRES, Romania is obliged to develop PSPs as the only sustainable way to compensate the NPG. Moreover, the development of PSPs is in line with the announced goals related to energy security and the need to increase water storage capacity due to climate change.

Potential for developing PSPs in Romania

The approach used by the Institute for Hydropower Studies and Design (ISPH) and presented in [4] to identify potential sites for PSPs in Romania, is a multi-criteria analysis named the scoring method.

The sites identified as the most interesting for PSP development are spread evenly over the country territory: Târnița-Lăpușești, Ignis-Firiza, Rastolita, Dobrogea Podis, Dunare Banat, Izvorul Muntelui, Arges-Poiana Paltinului, Fig.3.

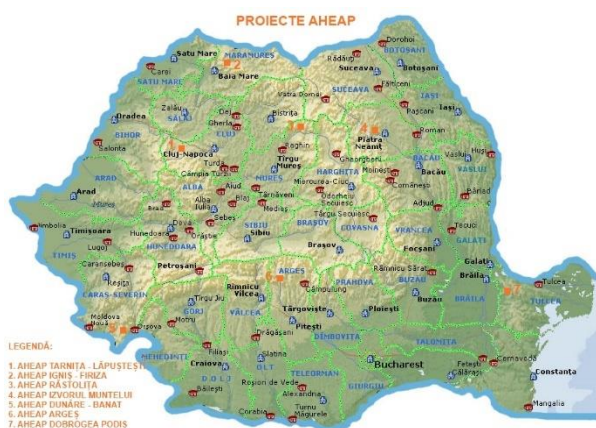


Fig.3 Most interesting sites for PSPs in Romania

All the sites already have the inferior reservoir and studies were done for 500 and 1000 MW envisaged installed capacities.

In terms of advantages and energy-economic issues the most interesting by far is Târnița-Lăpușești (T-L) PSP, a 1000 MW installed capacity project. This is the reason that for more than 50 years the idea of this project was conceived, and many feasibility studies were done. After 1990 and many years in the national energy strategy and announced attempts to start to realize T-L PSP, finally, in July 2023, Ministry of Energy relaunches the Târnița-Lăpușești PSP.

Other private companies have shown their interest to develop other of the sixth presented sites.

Conclusion

The results of the evaluations made some years ago to evaluate the potential sites for PSPs in Romania must be amended as the price of energy increased dramatically, many thermal units are no longer in operation and with

large penetration of RES, PSPs represents the only viable solution at the level of NPG or local grids to store energy and to provide ancillary services.

Even more is to be underlined the importance of increased water storage needed for a sustainable future.

References

1. **National Energy Regulatory Authority (ANRE) Website**, www.anre.ro, accessed on October 8, 2023
2. **TRANSELECTRICA Website**, www.transelectrica.ro, accessed on October 8, 2023
3. **HIDROELECTRICA Website**, www.hidroelectrica.ro, accessed on October 8, 2023
4. **Popa F., Alexescu C., Popa B.** *New Pumped Storage Plants as Renewable Energy Sources in Romania*. The Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty. ISSN (Online) 2286-2455, 2016
5. **Popa F., Popa B., Popescu C.** *Assessment of Pumped Storage Plants in Romania*. Energy Procedia, Volume: 112 (2017) 473 – 480

Authors

Florica Popa, DSc, graduated in 1990 in energy engineering from the University Politehnica of Bucharest, Romania and worked for National Agency for Land Improvements until May 1992 when joining Institute for Hydropower Studies and Design – ISPH for almost 30 years. Here, as Department Manager and Technical Manager she participated in the elaboration of studies regarding more than 100 hydropower developments, of which projects for Pumped Storage Plants. Since 2015, she joined University VALAHIA of Targoviste, Faculty of Electrical Engineering, Electronics, and Information Technology, now Associated Professor having lectures in Energy projects management, Energy and the environment, Assessment of the impact of energy projects on the environment, Strategies, policies and legislation in energy and environment.

Eliza-Isabela Tica, DSc, graduated in 2014 in energy engineering from the University Politehnica of Bucharest, Romania, where she had in 2019 the PhD. From 2020, is lecturer at the Faculty of Energy Engineering, National University of Science and Technology POLITEHNICA Bucharest, where she holds lectures in Applied Informatics, and applications in Fluid mechanics, Hydropower engineering and Energy and environment projects management.

Bogdan Popa, DSc, graduated in 1990 in energy engineering from the University Politehnica of Bucharest, Romania and worked for Aquaproiect until March 1993 when joining the same university as assistant professor. Now, a Professor at the Faculty of Energy Engineering, National University of Science and Technology POLITEHNICA Bucharest, where he holds lectures in Hydropower engineering, Integrated water resources management, and Small hydropower plants. President of ROSHA – Romanian Small Hydropower Association.

Sesja IV

Projekty badawczo-rozwojowe i promocyjno-edukacyjne

Session IV

Research & Development, promotional and educational projects

- 4.1** Janusz Skrzypacz, Artur Machalski, Przemysław Szulc,
Dominik Błoński, Magdalena Nemś:
*D- Hydroflex. Digital solutions for improving the sustainability,
performance and FLEXibility potential of HYDROpower assets.
Charakterystyka projektu*
- 4.2** Giovanna Cavazzini, Elena Vagnoni, Dogan Gezer, Elena Pummer,
Egidijus Kasiulis, Marina Čerpinska, Barbara Fischer-Aupperle,
Ewa Malicka, Davis Christian Finger, Pavel Rudolf,
Eduard Doujak, Sebastian Muntean:
*Opportunities offered by PEN@HYDROPOWER COST Action CA21104
for the development of the European hydropower community*
- 4.3** Maciej Gruszczyński, Tadeusz Daszczyński:
Międzyuczelniany Obóz Studenckich Kół Naukowych DYCHÓW 2023

Notatki

Notes

D- Hydroflex. Digital solutions for improving the sustainability performance and FLEXibility potential of HYDROpower assets. Charakterystyka projektu

Janusz Skrzypacz, Artur Machalski, Przemysław Szulc, Dominik Błoński, Magdalena Nems

Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny

e-mail: janusz.skrzypacz@pwr.edu.pl, artur.machalski@pwr.edu.pl, przemyslaw.szulc@pwr.edu.pl,
dominik.blonski@pwr.edu.pl, magdalena.nems@pwr.edu.pl

Wstęp

Energetyka wodna zajmuje ważne miejsce w polityce Unii Europejskiej, co przejawia się finansowaniem prac badawczych mających na celu podniesienie efektywności wykorzystania tego typu źródeł energii. Jednym z przykładów jest projekt o akronimie: D-HYDRO-FLEX i tytule: Digital solutions for improving the sustainability performance and FLEXibility potential of HYDROpower assets, realizowanego w ramach europejskiego programu Horizon Europe Framework (HORIZON).

Podstawowe informacje o projekcie

Projekt jest realizowany w temacie: HORIZON-CL5-2022-D3-03-08: Development of digital solutions for existing hydropower operation and maintenance. Okres realizacji projektu to 3 lata, data rozpoczęcia to 01-09-2023. W projekcie uczestniczy 17 partnerów z całej Europy, w tym uczelnie wyższe, instytucje badawcze, przedsiębiorstwa energetyczne oraz firmy prywatne – rys.1.



Rys.1 Loga partnerów projektu [materiały projektu]

Projekt D-HYDROFLEX przyczyni się do rozwoju rozwiązań cyfrowych oraz wspierze cyfryzację produkcji energii elektrycznej w kierunku bardziej wydajnych, zrównoważonych i konkurencyjnych elektrowni wodnych na nowoczesnych rynkach energii.

W tym celu zostaną opracowane zestawy narzędzi informatycznych do cyfrowej "modernizacji" istniejących elektrowni wodnych, poprzez rozwój technologii opartych na czujnikach, cyfrowych bliźniakach, algorytmach sztucznej inteligencji, modelowaniu hybrydyzacji, obliczeniach w chmurze i przetwarzaniu obrazów.

Nacisk kładziony jest na 3 obszary: (a) zoptymalizowane plany produkcji energii, (b) konserwację i remonty predykcyjne maszyn, połączone z monitorowaniem ich pracy w czasie rzeczywistym oraz (c) zwiększony udział w rynku energii, przy jednoczesnym zapewnieniu cyberbezpieczeństwa opracowanych narzędzi. Zaproponowane rozwiązania będą implementowane i testowane w 5 lokalizacjach, przedstawionych na rys. 2.



Rys.2 Lokalizacja elektrowni wodnych, biorących udział w projekcie [materiały projektu]

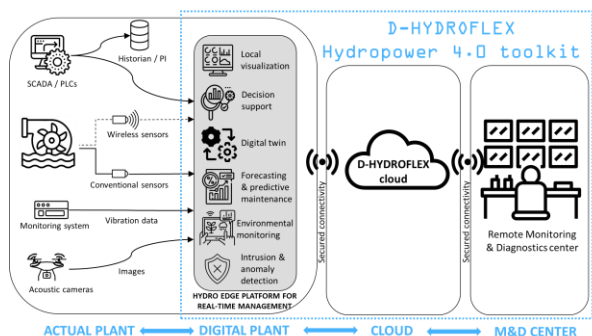
Demonstratory powstaną w czterech elektrowniach przepływowych:

- Wały Śląskie, Polska, wyposażona w 4 turbiny Kaplana o mocy 10 MW,
- Bratia, Rumunia, wyposażona w 2 turbiny Peltona o mocy 1,56 MW,
- Mauzac, Francja, wyposażona w 1 turbinę Kaplana i 5 turbin Francisa o mocy 13,2 MW,
- Salto de Touro, Hiszpania, wyposażona w dwie turbiny Kaplana o mocy 12 MW,

oraz w dwóch elektrowniach zbiornikowych:

- Kremasta, Grecja, wyposażona w 4 turbiny Francisca o mocy 437 MW,
- Ilarion, Grecja, wyposażona w 2 turbiny Francisca o mocy 153 MW.

Struktura planowanych do wykorzystania w projekcie narzędzi informatycznych, wraz ze strukturą ich powiązania została przedstawiona na rys. 3.



Rys. 3 Koncepcja struktura systemu opracowywanego w ramach D-HYDROFLEX [materiały projektu]

Koncepcja systemu bazuje na opracowaniu wirtualnego modelu elektrowni wodnej (*digital twin - DT*), który będzie zasilany danymi, pochodzącymi z: systemu SCADA, archiwów danych historycznych, odpowiedniej liczby nowoczesnych czujników, monitorujących niezbędne parametry pracy elektrowni wodnej, systemów monitorujących pracę maszyn (drżania, temperatura, itp.), danymi obrazowymi. Na podstawie danych, DT będzie mógł wspomagać podejmowanie decyzji odnośnie optymalnych parametrów pracy, danych środowiskowych, z wyprzedzeniem przewidywać optymalne nastawy elektrowni oraz remonty maszyn. Dane będą składowane w chmurze z pełnym zdalnym dostępem instytucji i osób upoważnionych.

Udział Polski

W projekcie D-Hydroflex bierze udział trzech partnerów z Polski: Tauron Ekoenergia spółka z o.o., Politechnika Wroclawska oraz przedsiębiorstwo Fasada. Obiektem, podlegającym rozważaniom, jest elektrownia Wały Śląskie, zlokalizowana w Brzegu Dolnym.



Rys.4 Elektrownia Wały Śląskie [materiały projektu]

Główne cele do zrealizowania w przedstawionej lokalizacji to:

- Opracowanie algorytmu wspierania podejmowania decyzji w zakresie eksploatacji maszyn i całej elektrowni.
- Opracowanie systemu pomiaru pracy turbiny w czasie rzeczywistym.
- Opracowanie systemu pomiaru sprawności turbiny w czasie rzeczywistym.
- Opracowanie algorytmu adaptacyjnego zmian nastaw turbiny w funkcji zmiennych parametrów hydrologicznych.

Podsumowanie

Przewiduje się, że prezentowany projekt wpłynie pozytywnie na zwiększenie efektywności rozpatrywanych elektrowni wodnych, a w przyszłości zastosowanie cyfrowego bliźniaka będzie standardem dostępnym również dla innych obiektów przepływowych jak i zbiornikowych.

Autorzy

Janusz Skrzypacz, dr hab. inż., w roku 1997 ukończył Wydział Mechaniczny Politechniki Wrocławskiej, a w roku 2002 uzyskał stopień doktora nauk technicznych. Od roku 2000 związany z Wydziałem Mechaniczno-Energetycznym Politechniki Wrocławskiej. Zainteresowania zawodowe obejmują hydrauliczne maszyny przepływowe i ich systemy, rurociągi oraz urządzenia ciśnieniowe.

Artur Machalski, dr inż., w roku 2022 uzyskał stopień doktora nauk technicznych. Zawodowo zajmuje się maszynami przepływowymi oraz układami hydraulicznymi.

Przemysław Szulc, dr inż., ukończył Wydział Mechaniczno-Energetyczny Politechniki Wrocławskiej. W roku 2014 uzyskał stopień doktora nauk technicznych. Zainteresowania zawodowe obejmują hydrauliczne maszyny przepływowe oraz ich systemy.

Dominik Błoński, dr inż., w roku 2022 uzyskał stopień doktora nauk technicznych. Zawodowo zajmuje się maszynami przepływowymi oraz układami hydraulicznymi.

Magdalena Nemś, dr hab. inż., ukończyła Wydział Mechaniczno-Energetyczny Politechniki Wrocławskiej. W roku 2015 uzyskała stopień doktora nauk technicznych. Zainteresowania zawodowe obejmują: energetykę odnawialną, systemy magazynowania energii.



Projekt finansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach programu HORIZON, Grant Agreement No. 101122357.

Opportunities offered by PEN@HYDROPOWER COST Action CA21104 for the development of the European hydropower community

Giovanna Cavazzini

Dep. of Industrial Engineering - University of Padova
Via Venezia 1, 35131, Padova, Italy
e-mail: giovanna.cavazzini@unipd.it;

Dogan Gezer

TUBITAK MRC Energy Technologies
ODTU Kampusu 06531Çankaya, Ankara, Turkey
e-mail: dogan.gezer@tubitak.gov.tr;

Egidijus Kasiulis

Vytautas Magnus University
K. Donelaičio str. 58, 44248, Kaunas, Lithuania
e-mail: egidijus.kasiulis@vdu.lt;

Barbara Fischer-Aupperle

Global Women's Network for the Energy Transition
GWNENET, Auhof Str. 12/2/4, 1130, Wien, Austria
e-mail: barbara.fischer-aupperle@globalwomennet.org;

Davis Christian Finger

Reykjavik University
Menntavegur 1, Nauthólsvík 101 Reykjavík, Iceland
e-mail: davidf@ru.is;

Eduard Doujak

TU Wien
Getreidemarkt 9/302, 1060, Vienna, Austria
e-mail: eduard.doujak@tuwien.ac.at;

Elena Vagnoni

École Polytechnique Fédérale de Lausanne
Avenue de Cour 33 bis, 1007, Lausanne, Switzerland
e-mail: elena.vagnoni@epfl.ch;

Elena Pummer

Norwegian University of Science and Technology
S. P. Andersens veg 5 7031 Trondheim, Norway
e-mail: elena.pummer@ntnu.no;

Marina Čerpinska

Faculty of Mechanical Engineering, Transport and Aeronautics
Kļipsalas iela 6B, LV-1048, Riga, Latvia
e-mail: marina.cerpinska@rtu.lv;

Ewa Malicka

Polish Association for Small Hydropower Development
TRMEW, ul. Królowej Jadwigi 1, 86-300 Grudziądz, Poland
e-mail: ewa.malicka@trmew.pl;

Pavel Rudolf

Brno University of Technology
Technická 2896/2, 61669 Brno, Czech Republic
e-mail: rudolf@fme.vutbr.cz;

Sebastian Muntean

Romanian Academy – Timisoara Branch
Bv. Mihai Viteazu 24, Timisoara, Romania
e-mail: sebastian.muntean@upt.ro;

The **Pan - European Network for Sustainable Hydropower (PEN@HYDROPOWER) CA21104** is a COST Action funded during 2022 – 2026 by the most experienced agency at European level in financing networking projects. PEN@Hydropower is an interdisciplinary network of researchers, engineers, scholars, and other stakeholders, such as representatives from industry, policy and civil society, to facilitate close collaboration among European research groups through projects supporting sustainable hydropower.

New requirements in terms of operation and maintenance of hydropower plants as well as co-generation of electricity with other renewable energy sources (RES) need substantial future research. Therefore, the main aim and objective of the PEN@HYDROPOWER is **to establish and implement an effective and collaborative network in the field of sustainable hydropower sector for reaching the goal of Clean Energy Transition (CET) till 2050.**

The research coordination objectives of the PEN@HYDROPOWER are following:

- Evaluation and highlighting of the **new role for hydropower (HP) and pumped hydro storage (PHS)** within power sector, considering the **flexibility and energy storage needs** of the future electricity systems;
- Establishment of a scientific framework for HP producers/investors **to improve the performance and competitiveness** of existing and new HP and PHS plants within the European electricity system, including technological innovations, environmental constraints and digitalization;
- Build a collaboration platform of scientists and stakeholders **to develop a holistic assessment and new approaches** to support sustainable development and adaptation of the EU hydropower potential, considering the resilient infrastructure needs, the environmental and societal conditions, and the climate change forecasts for the coming decades;

- Mapping the current EU legislative and market framework, the CET scenarios, and identification of policy gaps and barriers to achieving the optimum balance between hydropower production and the environmental impacts to evaluate and promote the **new role of hydropower** in the changing energy and market needs;
- Development of a holistic scientific strategy based on consideration of digitalization, climate change adaptation, a balance between production, industrial demands (WEF nexus), and environmental impacts of **increased flexibility**. Understanding of social acceptance, controversies, and policy improvement needs.

The capacity building objectives of the PEN@HYDROPOWER are following:

- Increasing the existing **technical network** by including additional disciplines, such as social, environmental and computer sciences through stakeholder outreach activities;
- Bringing **Early Career Investigators (ECI)** into leadership positions while aiming for gender balance via a mentoring program;
- Fostering career development of **ECIs** through joint PhD programs, knowledge transfer and Training Schools, with different disciplinary perspectives on **sustainable HP** and **cross-disciplinary collaboration**;
- Awareness creation for the importance of HP in the energy mix with focus on policymakers (in particular Europe) and industry via targeted dissemination activities.

In PEN@HYDROPOWER, the core of the COST Action activities is carried out at the Working Group (WG) level. WGs perform the tasks to fulfill the objectives of the network's project plan, as described in their Memorandum of Understanding [1]. As a result, five WGs operate within PEN@HYDROPOWER covering the following topics:

WG1: Hydropower Role in Flexible Energy Synergies focus mainly on the conditions for the use of hydropower within flexible systems. Attention will be paid to the assumptions and trends of electricity accumulation for various water sources and conditions, innovative systems and monitoring options.

WG2: Technological Evolution Through Innovation & Digitalisation pays attention to the technological evolution requirements for innovative solutions to tackle the foreseen ambitious scenarios. Additionally, digitalization aspects are considered. They will pave the way toward increasing hydropower competitiveness and enhancing grid flexibility, stability, safety, and resilience. Multidisciplinary approaches (mechanical and electrical engineering, ICT, environmental engineering, trading) will achieve these goals, combining massive sensor deployment, AI and big data processing, building forecast models, and digital twins.

WG3: Sustainable hydropower and its adaptation to climate change supports cross-disciplinary collaboration to facilitate sustainable development in the hydropower sector which considers economic-, environmental- and societal needs in a changing climate. To enhance the sustainability and resilience of hydropower systems, a holistic systems analysis approach is needed, requiring transdisciplinary collaboration that accounts for technical, environmental, and social challenges. Finally, climate change projections have to be incorporated into the analysis in order to mitigate potential impacts of climate change.

WG4: Clean Energy Transition and policy measures focuses on understanding and identification of major trends, restructuring the power sector in the following decades. Within the process, cross sector couplings is identified and novel hydropower role is evaluated. Evaluation is conducted based on EU frameworks and directives, CET and trends.

WG5: Holistic assessment and stakeholder interaction addresses an urgent need for holistic assessment of hydropower using much improved stakeholders interaction was identified. By holistic the Action means realizing of all aspects of hydropower, not only technical (e.g., lifetime extension) or environmental (e.g. biodiversity, local climate change), but also societal (reception by residents) and financial (e.g., return of investment and reasonable profitability). Policy suggestions based on PEN@Hydropower best practices and future scenarios as well as stakeholders outreach and engagement.

PEN@HYDROPOWER contributes to establishing a fruitful network based on joint activities and social interactions to promote stronger knowledge creation and sharing within the industry, end-users, and academic communities belonging to the European hydropower and broader energy sectors. In particular, to support the creation of new and novel ideas we enforce during the WG meetings, an inclusion and exchange among the PhD students of the participating research groups, so ideas can better be transferred. PEN@HYDROPOWER is an excellent framework for individuals at every stage of their career to discover exciting opportunities, meet new connections, and broaden personal research horizons.

PEN@HYDROPOWER organized the following type of actions covering the hot topics in the hydropower field:

- (i) **meetings, working group meetings, workshop and conferences**;
- (ii) **Short-Term Scientific Missions (STSM)** allow researchers involved in PEN@HYDROPOWER to visit an institution or laboratory in any country in the world. Their aim is to foster collaboration and share new techniques and research infrastructure that may not be available in a participant's home institution or laboratory. STSMs provide a good opportunity for both young and experienced researchers looking for

mentoring and lifelong learning. **Five STSM actions** took place throughout the 1st Grant Period (GP1);

- (iii) **Training Schools (TS)** offer intensive training on Sustainable Hydropower topic. These schools offer researchers from any career stage, lifelong learning opportunities. TSs program incorporates theoretical and practical knowledge in the field of hydropower. Several TSs are planned to be organized by PEN@HYDROPOWER within different European areas (Eastern, Western, Southern, Northern) during each grant period. The first training school (TS1) within PEN@HYDROPOWER was organized with 26 participants between May 9-12, 2023 in Timișoara, Romania. The next two training schools will be organized between May 7-10, 2024 in Thessaloniki, Greece and September 3-6, 2024 in Porto, Portugal;
- (iv) **Conference grants** are aimed by PEN@HYDROPOWER participants and in particular at young researchers from Inclusiveness Target Countries. They help individuals attend beneficial international conferences that are not organized by PEN@HYDROPOWER or other COST Actions;
- (v) **Communication and dissemination** are for sharing scientific results of vital importance in strengthening science and research. This actions to share results with researchers, policy makers, the private sector and civil society such as NGOs are especially targeted because of the value and impact that communication and dissemination activities can have on the community;

Today, the Management Committee (MC) of PEN@Hydropower includes representatives of 34 countries. The MC has the role of coordinating and supervising the implementation of the COST Action. More than 200 applicants from 38 countries around the world are involved in the activities carried out by the 5 WGs. We invite you and your colleagues to join the PEN@HYDROPOWER community to build the future of hydropower together.

References

1. Memorandum of Understanding for the implementation of the COST Action "Pan European Network for Sustainable Hydropower" (PEN@Hydropower) CA21104 2022.

Acknowledgements

This publication is based upon work from COST Action "Pan European Network for Sustainable Hydropower" (PEN@Hydropower) CA21104 supported by COST (European Cooperation in Science and Technology).

Authors

Giovanna Cavazzini, Professor at University of Padova, graduated in Mechanical Engineering from the University of Padova which awarded her a PhD degree in 2007.

Elena Vagnoni, is currently the head of the research projects group at EPFL Technology Platform for Hydraulic Machines and lecturer for the EPFL Mechanical Engineering Section. She graduated with honours in Mechanical Engineering from the Politecnico of Milan (Italy), and she obtained her Ph.D. in Mechanics at EPFL in 2018.

Dogan Gezer, PhD, graduated 2007 in electrical engineering in power systems and control specialization from Orta Dogu Teknik Universitesi, and which awarded him a PhD degree in mechanical engineering from TOBB ETU in 2018. He is a researcher at Turkish Scientific and Technological Research Council, Marmara Research Center (TUBITAK MRC) and is the head of research group which is mainly focused on hydropower refurbishment.

Elena Pummer, PhD, completed her Studies in Civil Engineering and Economics at the Technical University of Darmstadt, Germany in 2011 and received her a PhD degree in Hydraulic Engineering on the Hydrodynamics in Pumped Storage Plants from RWTH Aachen University, Germany. Since 2019 she works as Associate Professor in Hydraulic Engineering at NTNU in Trondheim, Norway.

Egidijus Kasiulis, PhD, graduated in 2015 in Environmental Engineering from Aleksandras Stulginskis University in Lithuania. WG4 leader of the PEN@HYDROPOWER. Main research interests – conventional and hydrokinetic (ocean waves, river flow) energy conversion and its environmental impact.

Marina Čerpinska, PhD, graduated in 2015 from Riga Technical university, which awarded her a PhD degree in Mechanical engineering field, machine dynamics subfield.

Barbara Fischer-Aupperle, graduated in 2004 from the St. Gallen University, Switzerland, as an Executive Master of Business Engineering and Change Management.

Ewa Malicka, MSc, graduated in 1997 from the Adam Mickiewicz University in Poznan, Poland. She is a President of the Polish Association for Small Hydropower Development (TRMEW), she also represents TRMEW on the international arena – formerly in the European Small Hydropower Association (ESHA) and subsequently in the European Renewable Energies Federation (EREF). She is also professionally active in a family company running SHP plants.

David Christian Finger, PhD, graduated in 2006 from ETH Zurich, which awarded his a PhD degree with the Otto Jaa Prize, Vice president of the IEES and Prof at Reykjavik University.

Pavel Rudolf, PhD, currently associate professor and head of V. Kaplan Department of Fluid Engineering at Brno University of Technology (BUT), graduated in mechanical engineering from BUT, and which awarded him a PhD degree in 2005.

Eduard Doujak, PhD, graduated in mechanical engineering from the TU Wien, and which awarded him a PhD degree in 2000. Since 1995 employed at the TU Wien in the field of hydraulic machines.

Sebastian Muntean, Senior Researcher at Romanian Academy – Timisoara Branch, Romania. He is graduated in mechanical engineering, hydraulic machinery specialization from the University Politehnica Timisoara in 1994, and which awarded him a PhD degree in mechanical engineering, hydraulic machinery specialization from the University Politehnica Timisoara in 2002. He is an employee of the Romanian Academy – Timișoara Branch since 1995.

Międzyuczelniany Obóz Studenckich Kół Naukowych DYCHÓW 2023

Maciej Gruszczyński

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław
e-mail: maciej.gruszczyński@upwr.edu.pl

Tadeusz Daszczyński

Politechnika Warszawska, Warszawa
e-mail: tadeusz.daszczynski@pw.edu.pl

Wstęp

W dn. 02-08.09.2023 r. odbyła się już druga edycja Międzyuczelnianego Obozu Studenckich Kół Naukowych DYCHÓW 2023. Projekt realizowany jest przez Studenckie Koła Naukowe (SKN) z Politechniki Warszawskiej (SKN IskIERka, SKN Inżynierii Wodnej i KN Energetyków) oraz Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu (SKN Hydrologów i Hydrotechników).

Z perspektywy historycznej woda jest jeżeli nie najstarszym, to na pewno jednym z najstarszych, niekwestionowanym a w powszechnej świadomości dalece niedocenianym, odnawialnym źródłem energii. W przypadku zastosowania właściwych rozwiązań technicznych stanowi ekologiczne i stabilne źródło energii równocześnie umożliwiając znaczącą redukcję emisji CO₂. Pomysł realizacji obozów naukowych dla studentów Politechniki Warszawskiej (PW) i Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu (UPWr) w elektrowni Dychów narodził się wiele lat temu, a po raz pierwszy udało się go zmaterializować w zeszłym roku w dn. 18-23.09.2022 r.

Wybór elektrowni wodnej Dychów jest podyktowany jej szczególną funkcją, jaką pełni w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym (KSE). W obszarze zachodnim KSE rolę elektrowni rozruchowej pełni właśnie EW Dychów [1].

Potrzeby energetyki i dydaktyki

Współczesny system edukacji staje przed wieloma nowymi zadaniami i wyzwaniem. Wiąże się one z przemianami społeczno-kulturowymi oraz rozwojem technologicznym i wynikającą stąd także potrzebą zmiany stylu kształcenia przyszłych absolwentów kierunków technicznych.

W ostatnich latach w literaturze przedmiotu podkreśla się znaczenie wiedzy dla budowania przewagi konkurencyjnej gospodarek. Zdolność generowania nowej wiedzy wymaga sprawnie funkcjonującego systemu innowacji (w tym tworzonych w SKN), łączącego dobrze funkcjonujący rząd z silnym systemem szkolnictwa wyższego i aktywnym sektorem biznesowym. Współpraca nauki i biznesu jest obecnie uważana za jedno z kluczowych narzędzi służących podnoszeniu innowacyjności i konkurencyjności gospodarek narodowych. Rozwój współpracy sektora nauki i biznesu wydaje się szczególnie istotny dla Polski, która wskaźnikami w zakresie innowacyjności gospodarki znacząco odbiega od większości gospodarek UE.

Wyzwaniem stojącym przed służbami eksploatacyjnymi elektrowni jest ciągła presja na minimalizację kosztów, co wiąże się m.in. z ograniczaniem obecności obsługi do minimum. To ograniczenie obecności na obiekcie wymaga dostarczenia informacji o stanie i podstawowych parametrach pracy elektrowni do obsługi obiektu. Dotyczy to głównie stanów awaryjnych skutkujących zatrzymaniem hydrozespołu lub innych wymagających interwencji. Dodatkowym problemem polskiej elektroenergetyki wytwórczej jest ponadto brak chętnych do pracy i zdobywania doświadczenia w obszarze wytwórczym.

Udział kół naukowych jest istotny, ponieważ wykraczają swoją działalnością poza program studiów i uzupełniają go. Efektem tego jest lepsze przygotowanie naukowe i praktyczne do wyzwań stawianych przez współczesny rynek pracy [2].

Przebieg obozu

W Obozie wzięło udział 19 uczestników (13 studentów i 6 opiekunów) z PW i 17 uczestników (15 studentów i 2 opiekunów) z UPWr. Pierwszy dzień przeznaczony był na szczegółowe zapoznanie się z obiektami EW Dychów, tj. początku Kanału Dychowskiego w Krzywańcu, samej EW Dychów oraz zbiornika dolnego z EW Raduszcze Stary (Rys. 1).



Rys. 1. Studenci podczas zwiedzania jazu w Krzywańcu

W poniedziałek rozpoczęto badania terenowe. Studenci z Wydziału Elektrycznego oraz Wydziału Mechanicznego, Energetyki i Lotnictwa PW zainstalowali i rozpoczęli testy zbudowanych wcześniej układów pomiarowych. Hydrotechnicy, reprezentujący PW i UPWr, z początku zapoznawali się i asystowali przy instalacji aparatury pomiarowej i realizacji badań, a po południu udali się w rejon kanału derywacyjnego, na odcinek poprowadzony w nasypie, na którym prowadzili rozpoznawanie procesów filtracji, związane z oddziaływaniem kanału na wody podziemne. Obserwacje objęły szczegółową inspekcję wizualną, pomiary piezometryczne w piezo-

metrach otwartych wchodzących w skład sieci monitoringu obiektów hydrotechnicznych elektrowni oraz rozpoznanie warunków hydrogeologicznych z wykorzystaniem tomografii elektrooporowej w powiązaniu z płytkimi otworami badawczymi wykonywanymi w celu identyfikacji i oceny stanu gruntów budujących nasyp i podłoże budowli. Kolejny dzień przeznaczony został na realizację badań hydrogeologicznych na skarpie odpowietrznej zapory czołowej EW Dychów oraz montaż i kalibrację układów pomiarowych przeznaczonych do prowadzenia diagnostyki stanu turbin. Do identyfikacji przecieków wody wybrano metodę teledetekcji bliskiego zasięgu, bazującą na zastosowaniu sensorów do pozyskiwania danych na odległość. Wykorzystano kamerę multispektralną, pozwalającą na ustalenie wartości wskaźników wegetacyjnych NDVI.

Środa przeznaczona została na przegląd małych elektrowni wodnych zlokalizowanych w pobliżu ZEW Dychów. Zwiedzanie rozpoczęło od EW Małomice (Rys. 2), następnie udaliśmy się do EW Żary I i II oraz EW Gorzupia I i II.



Rys. 2. Studenci podczas zwiedzania EW Małomice

Czwartek poświęcono na kontynuację badań i pomiarów realizowanych w budynku siłowni ESP Dychów oraz na budowach infrastruktury hydrotechnicznej i zbiorniku górny elektrowni.

W piątek, na zakończenie, odbyło się robocze spotkanie podsumowujące przebieg i wyniki Obozu Naukowego, w którym wzięli udział wszyscy uczestnicy, opiekunowie, Dyrekcja EW Dychów wraz z zaproszonymi gośćmi (Rys. 3).



Rys 3. Zdjęcie uczestników obozu po wystąpieniach

Zrealizowane badania i układy pomiarowe są początkiem prac badawczych nad wprowadzeniem innowacyjnych technologii i rozwiązań wielodyscyplinarnego mo-

onitorowania pracy turbin hydroenergetycznych jak i prowadzenia pomiarów hydrotechnicznych. Zastosowanie różnorodnych czujników i technik pomiarowych, takich jak zaawansowana technologia sensorowa, analiza drgań, termowizja, wykorzystanie kamery multispektralnej itp., pozwoli na kompleksową ocenę stanu generatorów jak i obiektów piętrzących w rejonie hali turbin, co stanowi wyzwanie i wykracza poza typowe praktyki stosowane obecnie w przemyśle.

Podziękowania

Międzyuczelniany Obóz Studenckich Kół Naukowych DYCHÓW 2023 nie odbyłby się bez życzliwości i współpracy PGE Energia Odnawialna S.A., a szczególnie Dyrekcji EW Dychów Panów Sławomira Szostaka i Jarosława Borodyńko. Na każdym etapie planowania i realizacji badań mogliśmy się bez problemów konsultować oraz uzyskać dostęp do samych urządzeń i budowli EW Dychów. Serdecznie dziękujemy także Panu Mariuszowi Dudziukowi, Dyrektorowi Biura Eksploatacji Elektrowni Wodnych Przepływowych oraz Pani Julii Trymucha, Kierownikowi Działu Zarządzania i Obsługi Eksploatacji w PGE Energia Odnawialna S.A.

W tym roku obóz otrzymał dofinansowanie w ramach realizowanego na Politechnice Warszawskiej programu „Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza”. Obóz znalazł się w gronie pomysłów wyróżnionych w konkursie na inicjatywy wspierające rozwój kół naukowych PW.

Przywołania

1. **I. Grządzielski, J. Borodyńko.:** *Elektrownia wodna Dychów jako źródło rozruchowe do od-budowy zdolności wytwórczych elektrowni ciepłych w zachodniej części krajowego systemu elektroenergetycznego*, Europejski Instytut Miedzi, Leonardo ENERGY, Nr ref EIM: EIM05160, 2016
2. **B. Boryczko, L. Kurcz:** *Studenckie koła naukowe jako element wspomagający proces nauczania na wyższej uczelni*, Edukacja Ustawiczna Dorosłych, 2014, 4(87), str. 101-108

Autorzy

Maciej Gruszczynski, dr inż., ukończył Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej w roku 2005 w specjalnościach geotechnika i hydrotechnika. W 1999 obronił rozprawę doktorską na Wydziale Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa i Automatyki Przemysłowej Politechniki Śląskiej. W latach 2006 – 2012 zajmował się eksploatacją obiektów unieszkodliwiania wydobywczych I klasy ważności. Obecnie adiunkt w Instytucie Inżynierii Środowiska na Wydziale Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

Tadeusz Daszczyński, dr inż., obronił swoją pracę doktorską na Wydziale Elektryczny Politechniki Warszawskiej w roku 2016. Od roku 2016 pracuje na stanowisku adiunkta w Zakładzie Aparatów Elektrycznych i Procesów Łączeniowych Instytutu Elektroenergetyki Politechniki Warszawskiej. Obecnie kierownik Laboratorium Aparatów Elektrycznych i Procesów Łączeniowych w Instytucie Elektroenergetyki PW. Zakres jego kompetencji obejmuje aparaty elektryczne i procesy łączeniowe, diagnostyka maszyn i urządzeń elektrycznych.



Filtry samoczyszczące i osadnikowe w instalacjach przemysłowych

Projektujemy i wykonujemy filtry do:

- Instalacji wody surowej
- Instalacji wody technologicznej
- Instalacji wody sieciowej
- Instalacji kondensatu
- Instalacji przeciwpożarowych
- Instalacji zasilających kotły
- Układów paliwowych kotła
- Układów zabezpieczenia pomp
- Instalacji wody smarnej pomp głównych



Skorzystaj z fachowego doradztwa w zakresie konfiguracji urządzeń i ich parametrów

Every
drop
counts

PFTechnology sp. z o.o.
Kościuszki 96, 26-680 Wierzbica k. Radomia
office@pfttechnology.eu / +48 48 618 20 71

www.pfttechnology.eu



Państwo wybierają. My dostarczamy.

Nasz szeroki program produkcji pomp i armatury umożliwia zaspokojenie najbardziej zindywidualizowanych potrzeb. Różne wersje materiałowe, rodzaje napędów i hydrauliki tworzą najbardziej uniwersalny program produkcji. Wieloletnie doświadczenie i wiedza naszych pracowników pomogą Państwu zrealizować daną inwestycję począwszy od projektu poprzez prace montażowe, a skończywszy na współpracy podczas późniejszej eksploatacji naszych urządzeń. Wypróbujcie nasze produkty, aby na własne oczy przekonać się o ich jakości i wszechstronności oraz odkryć dlaczego KSB powinno być dla Państwa numerem jeden na rynku.

Więcej informacji na: www.ksb.pl

Sesja V

MEW - technologia i uwarunkowania prawne

Session V

Small hydropower - technology and legislative constraints

- 5.1 Michał Lis:
*Na szlaku małej energetyki wodnej
– podsumowanie wyjazdu studyjnego HYPOSO*
- 5.2 Ewa Malicka:
Sektor małej energetyki wodnej - zmiany legislacyjne
- 5.3 Artur Olszewski, Krzysztof Rafał, Adam Góralczyk, Przemysław Szulc:
*Pływająca elektrownia wodna z turbiną hydrokinetyczną
– założenia, konstrukcja, perspektywy rozwoju*
- 5.4 Tomasz Gajek, Armen Jaworski:
*Projektowanie optymalnego kształtu i konfiguracji
turbiny hydrokinetycznej za pomocą obliczeń CFD*

Notatki

Notes

Na szlaku małej energetyki wodnej – podsumowanie wyjazdu studyjnego HYPOSO

Michał Lis

Redakcja czasopisma „Energetyka Wodna”, Kielce
e-mail: michal.lis@energetykawodna.info

Wstęp

Pomiędzy trzecim a trzynastym maja br. odbył się wyjazd studyjny HYPOSO, w którym wzięło udział 23 uczestników z Kamerunu, Ugandy, Boliwii, Ekwadoru i Kolumbii, bezpośrednio związanych z sektorem hydroenergetycznym. Wyjazd ten był punktem kulminacyjnym projektu HYPOSO, a jego celem była wymiana wiedzy i doświadczeń pomiędzy uczestnikami oraz nawiązanie współpracy z potencjalnymi partnerami biznesowymi z europejskiego sektora hydroenergetycznego. Trasa wiodła przez Bawarię, malownicze, alpejskie obszary Austrii i Włoch, rozległe niziny Nadrenii Północnej-Westfalii i Holandii, aż do Morza Północnego.

Przebieg wyjazdu studyjnego

Punktem startowym wyjazdu HYPOSO było Monachium. Ze względu na różne godziny przylotów, ten dzień został zarezerwowany na zgrupowanie uczestników. Wyjazd rozpoczął się od zwiedzania Starego Miasta z przewodnikiem, podczas którego uczestnicy mieli okazję poznać siebie nawzajem, jak i bogatą historię Bawarii.

Grupa rozpoczęła drugi dzień wyjazdu HYPOSO od zwiedzania transgranicznej elektrowni wodnej Jochenstein, o przykuwającej wzrok architekturze, mocy 132 MW i rocznej produkcji 850 GWh, obsługiwanej przez firmę Verbund AG. Jochenstein była pierwszą elektrownią zbudowaną w Austrii na Dunaju po drugiej wojnie światowej i największą elektrownią przepływową w Europie Środkowej. Uczestnicy wyjazdu HYPOSO odwiedzili również firmy Global Hydro Energy (fot. 1) i Voith Hydro, gdzie zapoznali się z najnowszymi rozwiązaniami.



Fot.1 Zakład produkcyjny Global Hydro

Trzeciego dnia trasa skierowała grupę do firmy Gugler Water Turbines, gdzie w siedzibie w Feldkirchen uczestnicy zapoznali się z ofertą turbin wodnych i możliwościami ich zastosowania. Uczestnicy odwiedzili również nowoczesne laboratorium Andritz Hydro w Linz, gdzie jednostki hydroenergetyczne są dokładnie testowane, aby zagwarantować najwyższą wydajność dla najbardziej wymagających klientów. Trzecim punktem na trasie była firma Braun Maschinenfabrik, prezentująca nam swoją bogatą ofertę najwyższej jakości osprzętu mechanicznego dla hydroenergetyki. Ostatnia wizyta tematyczna tego dnia odbyła się w małej elektrowni wodnej o mocy 905 kW, należącej do rodziny Braun. Została uruchomiona w 2019 roku i stanowi przykład nowoczesnego i zrównoważonego podejścia do projektowania w hydroenergetyce.

Uczestnicy wyjazdu HYPOSO spędzili cały czwarty dzień zwiedzając będącą w budowie elektrownię wodną Obervellach II o mocy instalowanej 37 MW i szacowanej rocznej produkcji energii elektrycznej 125 MW, która zastąpi istniejące obiekty w lokalizacjach Obervellach i Mallnitz (fot. 2). Budowa tego obiektu rozpoczęła się w 2020 roku, a uruchomienie nowo powstałej elektrowni planowane jest na marzec 2024 roku. W wyniku tej inwestycji planuje się zwiększenie produkcji o 30%, a energia produkowana w tej elektrowni będzie w pełni wykorzystywana przez Austriackie Koleje Federalne (ÖBB), które wykorzystują inną częstotliwość prądu przemiennego (16,7 Hz), niż ma to miejsce w zwykłej sieci elektroenergetycznej.



Fot. 2 Elektrownia wodna Obervellach II
– kawerna zbiornika retencyjnego

Piątego dnia grupa HYPOSO przeniosła się w pobliże Bolzano we Włoszech i miała przyjemność odwiedzić otwartą dla zwiedzających elektrownię wodną St. Anton, wyposażoną w hydrozespoły wyprodukowane przez firmę Troyer (fot. 3). Ta nowoczesna elektrownia wodna zastąpiła dotychczasową elektrownię, która została wyłączona z eksploatacji. Nowa koncepcja, obejmująca podziemną sztolnię pełniącą funkcję zbiornika retencyjnego o pojemności 90 000 m³, rozwiązała wcześniejsze problemy z tzw. zjawiskiem „hydropeaking” w rzece Talfer, powodującym zagrożenie dla ludzi i organizmów rzecznych.



Fot. 3 Elektrownia wodna St. Anton – podziemna hala maszyn

Szósty dzień przeznaczony był na zwiedzanie firmy Troyer, gdzie uczestnicy mogli bliżej przyjrzeć się całemu procesowi produkcji wysokiej jakości urządzeń. Uczestnicy mogli również dowiedzieć się o wyzwaniach związanych z pracą elektrowni wodnych na rzekach lodowcowych, niosących zwiększoną ilość materiału skalnego. Powoduje to bowiem szybką erozję wirników turbin, co wymaga stosowania specjalnych powłok ochronnych w celu zwiększenia ich trwałości. Ostatnim punktem tego dnia była wizyta w firmie Wild Metal (fot. 4). Wyprodukowane w firmie ujęcia wody charakteryzują się wieloma sprytnymi detalami, zapewniającymi wykorzystanie potencjału rzeki, co do ostatniej kropli wody



Fot. 4 Zakład produkcyjny firmy Wild Metal

Siódmego dnia wycieczki studyjnej HYPOSO trasa zaprowadziła grupę do firmy Tiroler Rohre, jednego z największych europejskich producentów rur z żeliwa sferoidalnego, które mają wiele możliwych obszarów zastosowań. Podczas tej wizyty uczestnicy mieli okazję poznać cały proces produkcji rur od surowca do wysokiej

jakości produktu końcowego, który może być eksploatowany nawet przez 100 lat. Kolejnymi punktami na trasie były elektrownie wodne Sellrain (12 MW) i Fotsch (2 MW), które są wyposażone w rurociągi derywacyjne produkcji Tiroler Rohre i wykorzystują potencjał hydroenergetyczny potoków Melach i Fotscherbach (fot. 5).



Fot. 5 MEW Sellrain – ujęcie wody

Ósmego dnia wyjazdu studyjnego zaplanowana była wizyta w pałacu Linderhof. Podczas niej uczestnicy wyjazdu studyjnego mieli niepowtarzalną okazję podziwiać wspaniały przykład neobarokowego stylu architektonicznego z końca XIX wieku. Po zwiedzaniu grupa udała się w długą trasę do Weißenburga do siedziby firmy Ossberger. Podczas prezentacji uczestnicy mogli zapoznać się z zakresem profilu produkcyjnego firmy oraz opatentowanymi turbinami Banki-Mitchella. Po wprowadzeniu teoretycznym uczestnicy zostali zaproszeni do fabryki, gdzie mogli zobaczyć poszczególne etapy produkcji turbin, w tym przygotowanie wstępnych komponentów, wyniki skomplikowanego procesu spawania i finalne produkty gotowe do wysyłki na cały świat.

Dziewiąty dzień HYPOSO Study Tour był głównie „dniem podróży” ze względu na fakt, że grupa musiała dotrzeć do Delft w Holandii, który był ostatnim punktem wycieczki. Zaplanowano jeszcze jedną ważną wizytę i zwiedzanie zapory Möhne, obsługiwanej przez przedsiębiorstwo publiczne Ruhrverband, której budowa doprowadziła do powstania jednego z największych zbiorników wodnych w ówczesnej Europie (fot. 6). Zwiedzanie zapory i spacer po centralnej części korony na sześć dni przed 80. rocznicą jej zbombardowania, sprzyjały refleksji i zadumie nad historią, teraźniejszością i przyszłością. Pierwotna elektrownia wodna została doszczętnie zniszczona w 1943 r., dlatego konieczne było zbudowanie nowej. Obecnie elektrownia wodna Möhne działa jako elektrownia szczytowa, dostosowując produkcję do bieżącego zapotrzebowania na energię w sieci elektrycznej.

Ostatni dzień wyjazdu studyjnego HYPOSO był w całości poświęcony udziałowi w wydarzeniu finałowym, zorganizowanym przez Mirosława Marencę i Ingo Balla w Instytucie Edukacji o Wodzie. Wczesny poranek był zarezerwowany na rozmowy B2B, spotkania matchmakingowe i mini wystawę, na której marka IOZE hydro i

firma Turbulent prezentowały swoje produkty. Publiczność została powitana przez Eddyego Moorsa, dyrektora IHE Delft. W kolejnej części konferencji uczestnicy zapoznali się z wynikami projektu HYPOSO i wzięli udział w dyskusji panelowej, podczas której eksperci przedstawili aktualną sytuację w sektorze hydroenergetycznym w krajach ich pochodzenia, zwracając uwagę na kwestie ograniczające rozwój tej branży.



Fot. 6 Pamiątkowe zdjęcie uczestników wyjazdu studyjnego HYPOSO przy zaporze Möhne

Podsumowanie

Podsumowując wyjazd studyjny, grupa odwiedziła osiem elektrowni wodnych, dziewięciu producentów wyposażenia hydroenergetycznego, dziesięć miast i pokonała około 2500 kilometrów. Organizatorzy uzyskali od uczestników pozytywne opinie na temat wyjazdu studyjnego, potwierdzające kompleksowe przygotowanie wycieczki. Głównym problemem organizacyjnym były trudne i długotrwałe procedury wizowe, utrudniające udział wielu interesariuszy w wyjeździe. Organizatorzy mają nadzieję, że uczestnicy wynieśli z wyjazdu studyjnego wiele inspiracji i nawiązali wartościowe relacje biznesowe, które pozwolą na rozwój nowych projektów hydroenergetycznych oraz zacieśnienie współpracy międzynarodowej.

Autor

Michał Lis, mgr geografii, mgr GIS, w roku 2010 ukończył studia magisterskie na Wydziale Biologii i Nauk o Ziemi Uniwersytetu Jagiellońskiego o specjalności geografia społeczno-ekonomiczna. 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”. Od 2017 roku do chwili obecnej sprawuje funkcję doradczą w Radzie Ekspertów Towarzystwa Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych (TRMEW), a od stycznia do maja 2023 roku obejmował stanowisko specjalisty ds. organizacji w TRMEW. Od 2022 należy również do grupy roboczej EREF SHP Chapter.

Sektor małej energetyki wodnej - zmiany legislacyjne

Ewa Malicka

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

Wstęp

W 2023 roku, w okresie przed wyborami parlamentarnymi uchwalono sporo aktów prawnych istotnych z punktu widzenia małej energetyki wodnej. Należy do nich przede wszystkim, bardzo długo przygotowywana, Ustawa z dnia 17 sierpnia 2023 r. o zmianie ustawy o odnawialnych źródłach energii (Dz.U. 2023 poz. 1762), czyli tzw. projekt UC 99, a także Ustawa z dnia 28 lipca 2023 r. o zmianie ustawy - Prawo energetyczne oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. 2023 poz. 1681), Ustawa z dnia 7 lipca 2023 r. o zmianie ustawy o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. 2023 poz. 1688) oraz Ustawa z dnia 13 lipca 2023 r. o rewitalizacji rzeki Odry (Dz. U. 2023 poz.1963). W niniejszym referacie przedstawione zostaną wybrane rozwiązania zawarte w ww. ustawach, mogące mieć wpływ na funkcjonowanie branży małej hydroenergetyki.

Nowelizacja ustawy o OZE

W nowelizacji ustawy o OZE najbardziej bezpośrednio związane z małą energetyką wodną są przepisy o możliwości korzystania z systemu gwarantowanych cen i premii (FIT/FIP) na określonych w ustawie warunkach przez zmodernizowane elektrownie wodne o mocy do 1 MW, a także przepisy wprowadzające możliwość korzystania ze wsparcia operacyjnego m.in. dla instalacji małych elektrowni wodnych (MEW), dla których upłynął podstawowy okres wsparcia. Jednak te przepisy zdaniem branży wymagają jeszcze pewnych poprawek, a ponadto będą mogły być stosowane dopiero po wydaniu pozytywnej decyzji Komisji Europejskiej. Szacuje się, że proceder ten potrwa przynajmniej kilka kolejnych miesięcy.

Rozwiązaniem, które może okazać się atrakcyjną opcją dla istniejących instalacji OZE, na które nie trzeba czekać, gdyż z większością przepisów omawianej ustawy weszło w życie w październiku br. jest tzw. *cable pooling*. Polega on na możliwości przyłączenia do sieci różnych technologii wytwórczych OZE w jednym miejscu przyłączenia, inaczej mówiąc jest to podzielenie przyznanych już w umowie dla jednej instalacji mocy wytwórczych pomiędzy dwie (lub więcej?) instalacji. W takim przypadku każdą z instalacji wyposaża się w układ pomiarowo-rozliczeniowy w sposób umożliwiający określenie ilości energii elektrycznej wytworzonej oraz wprowadzonej do sieci przez każdą z tych instalacji.

Kolejne zmiany w omawianej nowelizacji dotyczą koncepcji klastrów energii. Wprowadzone zostały preferencje w zakresie energii odnawialnej wytworzonej przez

członków klastra i wprowadzonej do sieci elektroenergetycznej, a następnie pobranej z tej sieci w celu jej zużycia przez strony porozumienia klastra energii dla danej godziny okresu rozliczeniowego. Takie dostarczenie energii zwolnione zostało z opłaty OZE, opłaty kogeneracyjnej, akcyzy oraz obowiązków związanych ze świadectwami pochodzenia i świadectwami efektywności energetycznej. Do nowości należy ponadto konieczność dokonania wpisu do nowego rejestru prowadzonego przez Urząd Regulacji Energetyki, obowiązek zawarcia umowy przez klastr ze spółką obrotu, obowiązek produkcji w ramach klastra przynajmniej 30 procent energii z OZE oraz pokrywanie przez klastr przynajmniej 40 procent rocznej konsumpcji energii odbiorców w klastrze. Wskazano również minimalną moc zainstalowaną źródeł w klastrze, a ponadto za obowiązkowe uznano posiadanie przez klastr magazynów energii. Wątpliwość budzi kwestia konieczności stosowania w klastrze przepisów Prawa zamówień publicznych przez jednostki samorządowe, będące obowiązkowymi członkami klastrów, co może znacznie utrudnić rozwój klastrów w nowej formule.

Nowelizacja Prawa Energetycznego

W znowelizowanym Prawie energetycznym do najważniejszych kwestii dla branży MEW należy nowa definicja i warunki prowadzenia działalności za pomocą linii bezpośredniej. Wytwórcy energii w OZE wielokrotnie postulowali wprowadzenie rozwiązań umożliwiających połączenie wytwórcy energii elektrycznej z odbiorcą z pominięciem infrastruktury sieciowej. Niestety, wprowadzone zasady nie do końca satysfakcjonują branżę OZE. W nowelizacji przewidziano dwa warianty działania linii bezpośredniej - wyspowy i sieciowy. Pierwszy z nich polega na tym, że linia bezpośrednia łączy wydzieloną jednostkę wytwórczą z wydzielonym odbiorcą, w celu bezpośredniego dostarczania energii elektrycznej do tego odbiorcy. Wydzielona jednostka wytwórcza to jednostka, z której cała wytworzona energia elektryczna jest objęta bezpośrednim dostarczaniem energii elektrycznej do wydzielonego odbiorcy. Wydzielony odbiorca natomiast oznacza odbiorcę, który nie jest przyłączony do sieci elektroenergetycznej lub jest do niej przyłączony w sposób uniemożliwiający wprowadzanie energii elektrycznej wytworzonej w wydzielonej jednostce wytwórczej do tej sieci, lub spełnia warunki, wymagania techniczne i obowiązki określone w ustawie – polegają one m.in. na uzyskaniu koncesji na obrót energią elektryczną.

Drugi z wariantów przewiduje połączenie jednostki wytwórczej z przedsiębiorstwem energetycznym innym niż wytwarzające energię elektryczną w tej jednostce, wykonującym działalność gospodarczą w zakresie obrotu energią elektryczną, w celu bezpośredniego dostarczenia energii elektrycznej do ich własnych obiektów, lub do odbiorców przyłączonych do sieci, urządzeń lub instalacji tych przedsiębiorstw.

Pobieranie energii elektrycznej za pomocą linii bezpośredniej nie ogranicza prawa odbiorcy do przyłączenia się do sieci elektroenergetycznej i pobierania energii elektrycznej z tej sieci na zasadach określonych w ustawie, o ile jego urządzenia lub instalacje uniemożliwiają wprowadzanie energii elektrycznej dostarczanej linią bezpośrednią do sieci dystrybucyjnej lub przesyłowej, do której odbiorca planuje się przyłączyć. Od ograniczenia prawa do wprowadzania energii elektrycznej do systemu przewidziano jednak wyjątek. Jest to możliwe, ale wyłącznie po stronie odbiorcy. Aby energia elektryczna dostarczana linią bezpośrednią mogła zostać wprowadzona do sieci elektroenergetycznej, odbiorca musi spełnić odpowiednie warunki polegające na przyłączeniu do sieci i wymagania techniczne wskazane we właściwych przepisach, a ponadto posiadać koncesję na obrót energią elektryczną. W wariantcie wyspowym nie ma natomiast możliwości wprowadzania energii elektrycznej do sieci przez jej wytwórcę.

Druga bardzo istotna zmiana w Prawie energetycznym, tym razem zdecydowanie negatywnie postrzegana przez całą branżę energetyki odnawialnej, dotyczy dodatkowego warunku, jaki wprowadzono jako element nowych umów przyłączeniowych. Otóż, nowo zawierane umowy o przyłączenie jednostek wytwórczej lub magazynów energii do sieci, oprócz dotychczas przewidzianych ustawowo postanowień, zawierać będą postanowienia uprawniające przedsiębiorstwa energetyczne wykonujące działalność w zakresie przesyłania lub dystrybucji energii elektrycznej do ograniczania gwarantowanej mocy przyłączeniowej lub wprowadzania ograniczeń operacyjnych, skutkujących brakiem gwarancji niezawodnych dostaw energii elektrycznej. Jeżeli umowa o przyłączenie zawiera takie właśnie postanowienie skutkujące brakiem gwarancji niezawodnych dostaw energii elektrycznej, to w przypadku wyłączenia takiej jednostki wytwórczej nie przysługuje jej rekompensata finansowa za to wyłączenie.

Nowelizacja ustawy o planowaniu

Nowości wprowadza również znowelizowana ustawa o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym. Do utrudnień w lokalizowaniu nowych instalacji OZE trzeba zaliczyć przepis, zgodnie z którym zmiana zagospodarowania terenu, dotycząca niezamontowanych na budynku instalacji odnawialnych źródeł energii lokalizowanych (a) na użytkach rolnych klasy I–III i gruntach leśnych, (b) na użytkach rolnych klasy IV, o mocy zainstalowanej elektrycznej większej niż 150 kW lub wykonywanych do prowadzenia działalności gospodarczej w zakresie wytwarzania energii elektrycznej oraz (c) na gruntach innych niż wskazane w lit. a i b, o mocy zainstalowanej elektrycznej większej niż 1000 kW - następować musi na podstawie planu miejscowego.

Z drugiej strony, wprowadzono pewne ułatwienia w zakresie przygotowywania takich planów w postaci trybu uproszczonego. Tryb taki dopuszcza się do sporządzania i uchwalania planu miejscowego albo jego zmiany m.in. jeżeli plan miejscowy albo jego zmiana dotyczy wyłącznie lokalizacji instalacji odnawialnych źródeł energii innych niż elektrownie wiatrowe. Ponadto, wprowadzono również pojęcie zintegrowanego planu inwestycyjnego, będącego szczególną formą planu miejscowego, który może zostać uchwalony przez radę gminy na wniosek inwestora. Zintegrowany plan inwestycyjny obejmuje obszar inwestycji głównej oraz inwestycji uzupełniającej, a wejście w życie zintegrowanego planu inwestycyjnego powoduje utratę mocy obowiązującej planów miejscowych lub ich części odnoszących się do terenu objętego tym zintegrowanym planem inwestycyjnym.

Ustawa o rewitalizacji rzeki Odry

Ostatnią ustawą, uchwaloną niedawno, która wydaje się mieć spore znaczenie dla branży MEW, jest ustawa o rewitalizacji rzeki Odry. Zawiera ona rozwiązania podzielone na trzy obszary. Pierwszym z nich są inwestycje z zakresu renaturyzacji (polegającej na budowie przepławek dla ryb), inwestycje zwiększające poziom wód na Odrze i jej dopływach (budowa i odbudowa jazów piętrzących wodę) i inwestycje z zakresu gospodarki wodno-ściekowej w dorzeczu Odry. Drugim obszarem oddziaływania ustawy są ułatwienia proceduralne dla zaplanowanych inwestycji, które pozwalają skrócić terminy administracyjne na uzyskanie m.in. pozwolenia na budowę, czy oddania tych inwestycji do użytku. Ustawa wprowadziła również nowe rozwiązania w obszarze kontrolno-sankcyjnym, obejmujące powołanie w ramach struktury PGW WP Inspekcji Wodnej, czyli umundurowanej służby posiadającej wiele uprawnień kontrolnych.

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, reprezentując TRMEW w Zarządzie Europejskiego Stowarzyszenia Małej Energetyki Wodnej (ESHA) oraz w Europejskiej Federacji Energetyki Odnawialnej (EREF). Od 2011 roku zasiada w Zarządzie TRMEW, od 2014 roku będąc jego wiceprezeską, a od 2017 roku - prezeską. W TRMEW zajmuje się przede wszystkim przygotowaniem opinii i komentarzy Stowarzyszenia do aktów prawnych oraz przedstawianiem stanowisk TRMEW w procesie konsultacyjnym.

Pływająca elektrownia wodna z turbiną hydrokinetyczną – założenia, konstrukcja, perspektywy rozwoju

Artur Olszewski, Krzysztof Rafał

Instytut Optymalizacji Technologii Sp. z o.o., Warszawa
e-mail: artur.olszewski.iot@gmail.com,
krzysztofrafal@gmail.com

Adam Góralczyk, Przemysław Szulc

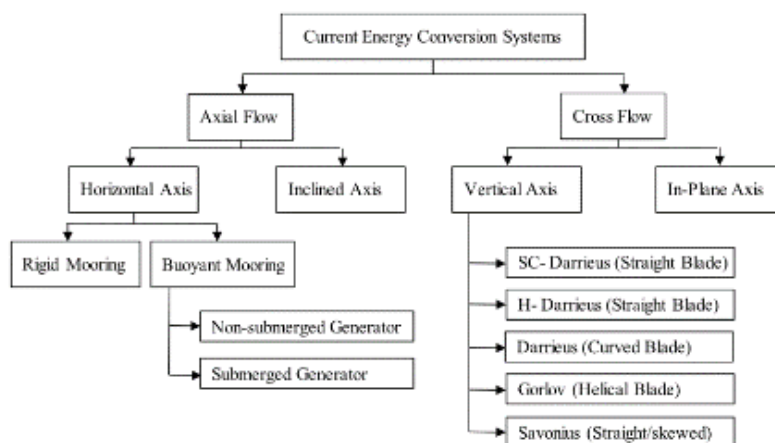
Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk
Politechnika Wroclawska, Wrocław
e-mail: agoralczyk@imp.gda.pl,
przemyslaw.szulc@pwr.edu.pl

Wstęp

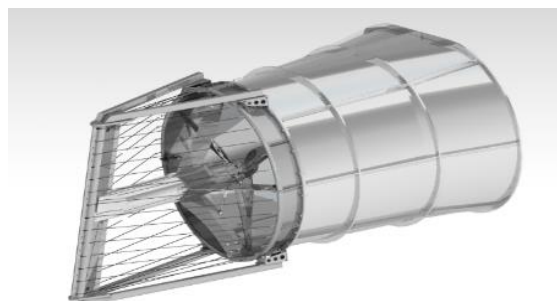
Turbiny hydrokinetyczne są silnikami wodnymi, które do produkcji energii elektrycznej lub mechanicznej wykorzystują energię kinetyczną przepływającej przez nie wody. Umieszcza się je w miejscach występowania silnych pływów i prądów morskich jak również w rzekach i sztucznych kanałach o szybkim nurcie. W przeciwieństwie do klasycznych turbin wodnych nie potrzebują zabudowy hydrotechnicznej spiętrzającej wodę w postaci stopni wodnych, co sprawia, że w minimalny sposób oddziałują na środowisko naturalne, a koszty inwe-

stycyjne są stosunkowo niewielkie. Zgodnie z powyższym wykorzystanie turbin hydrokinetycznych może być racjonalnym uzupełnieniem w stosunku do tych urządzeń, które do produkcji energii wykorzystują różnicę poziomów wody, idealnie wpasowując się w politykę energetyki rozproszonej i proekologiczną.

Turbiny hydrokinetyczne można podzielić ze względu na charakter przepływu zgodnie z rys.1. Maszyny, które cechują się największym współczynnikiem mocy (odzyskiem energii z płynącej wody) to jednostki z przepływem osiowym. Efekt ten można zwiększyć poprzez zastosowanie dyfuzora – rys. 2.



Rys. 1 Podział turbin hydrokinetycznych [Khan MJ, Iqbal MT, Quaicoe JE. A technology review and simulation-based performance analysis of river current turbine systems, 2006]



Rys. 2 Model CAD turbiny hydrokinetycznej

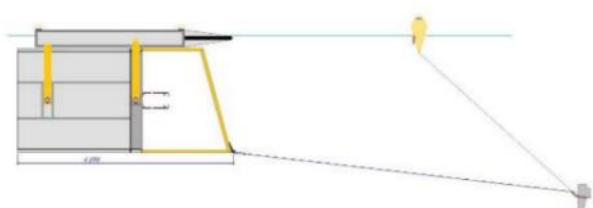
Zwiększenie mocy zainstalowanej takiej turbiny, przy stałej prędkości wody, związane jest z koniecznością powiększenia średnicy wirnika turbiny, która to wartość ograniczona jest głębokością rzeki. Stanowi to wadę, której nie posiadają turbiny o osi pionowej, wykorzystują napór płynącej wody do produkcji energii mechanicznej.

Kluczowymi zaletami środowiskowymi turbin hydrokinetycznych są:

- brak zapór, śluz, przepławek dla ryb,
- brak zakłóceń krajobrazu,
- brak zagrożenia dla ryb, ptaków, bobrów i innych mieszkańców rzek,
- brak zagrożenia dla jednostek pływających i amatorów sportów wodnych,
- brak pogorszenia ekologii rzeki i jakości wody,
- brak dziesięcioleci zakłóceń dla mieszkańców spowodowanych ogromnymi placami budowy,
- brak hałasu, kurzu i ruchu na placu budowy,
- brak drgań ze względu na niską prędkość obrotową.

Prototyp

Na podstawie studium literaturowego stwierdzono, że optymalną do zastosowania będzie turbina hydrokinetyczna o przepływie osiowym wyposażona w dyfuzor. Wykonano model testowy hydrozespołu i przeprowadzono badania w pełnym i częściowym zanurzeniu, z których została sporządzona krzywa sprawnościowa oraz krzywa mocy. Ponieważ docelowo hydrozespół ma pracować pod powierzchnią wody i być zakotwiony (rys. 3.) o dno prototyp został wyposażony w pływak (rys. 4).



Rys. 3 Sposób posadowienia hydrozespołu w miejscu pracy



Rys. 4 Prototypu hydrozespołu z pływakiem

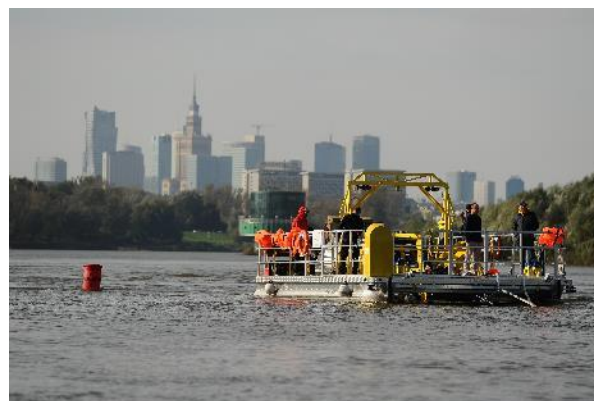
Wyniki badań terenowych

Badania modelowe turbiny zostały przeprowadzone w warunkach rzeczywistych na rzece Wiśle (rys. 5). Miejsce badań zostało dobrane na podstawie wykonanego wcześniej pomiaru nurtu rzeki. Osprzęt stanowiska terenowego umożliwił pomiar takich wielkości jak:

- prędkość strumienia wody
– realizowany przez młynki hydrometryczne,
- szybkość obrotową wirnika
– realizowany przez enkoder,
- moc generowaną przez hydrozespół
– realizowany przez rejestrację prądów i napięć.

W trakcie badań krótkoterminowych została sporządzona krzywa sprawnościowa oraz krzywa mocy.

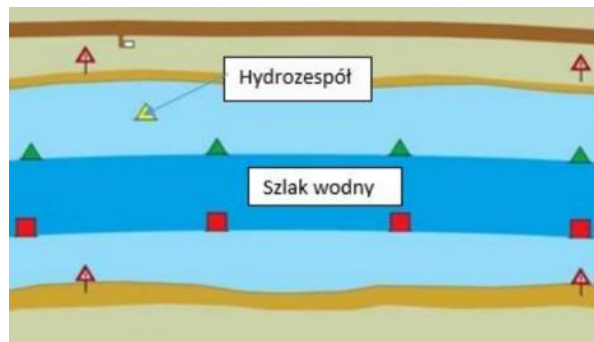
Badania długoterminowe polegały na pomiarze mocy przy niezmiennej prędkości napływu dla optymalnego wyróżnika szybkoobrotowości. Testy przeprowadzono w warunkach pełnego i częściowego zanurzenia.



Rys. 5 Badania terenowe na Wiśle

Dalsze perspektywy rozwoju

Planuje się w przyszłości stworzenie farmy hydrozespołów z turbinami hydrokinetycznymi pracującymi poza szlakiem żeglugi śródlądowej – rys. 6.



Rys. 6 Miejsce pracy turbiny poza szlakiem żeglugowym

W tym celu przeprowadzono badania hydrologiczne w kilku, potencjalnych do wykorzystania, miejscach na rzece Wiśle i wytypowano najkorzystniejsze energetycznie. Z dostępnych danych stanu wody przeprowadzono dokładniejszą analizę obejmującą kilka poprzednich lat.

W obrębie prac badawczych hydro-farmy planuje się także optymalizację ustawień hydrozespołów względem siebie w celu uzyskania jak największej produktywności energetycznej.

Zakłada się także przeprowadzenie optymalizacji konstrukcji dyfuzorów i zminimalizowanie materiałochłonności przy ich wytwarzaniu czyniąc potencjalną inwestycję bardziej opłacalną.

Uwagi końcowe

Prace zostały przeprowadzone w ramach projektu POIR.01.02.00-00-0268/17: „Wysoko efektywna turbino-prądnica pływającej elektrowni wodnej napędzana nurtem” współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój na lata 2014-2020.

Obecnie projekt jest kontynuowany ze środków Instytutu Optimalizacji Technologii Sp. z o.o..

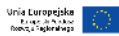
Autorzy

Artur Olszewski, mgr, absolwent Wydziału Prawa i Administracji Uniwersytetu Warszawskiego. W 1999 r. uzyskał tytuł magistra nauk prawnych. Propagator nowych technologii w s energetyce, w tym odnawialnej.

Krzysztof Rafał, dr inż., tytuł uzyskał w 2013 roku na Politechnice Warszawskiej w dziedzinie elektrotechnika. Wieloletni kierownik zespołów badawczych opracowujących rozwiązania w dziedzinie energetyki odnawialnej i magazynowania energii.

Adam Góralczyk, mgr, pracownik Instytutu Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku. Obszar zainteresowania zawodowego – energetyka wodna.

Przemysław Szulc, dr inż., adiunkt n-d na Wydziale Mechaniczno-Energetycznym Politechniki Wrocławskiej. Zainteresowania zawodowe obejmują hydrauliczne maszyny przepływowe oraz ich systemy.



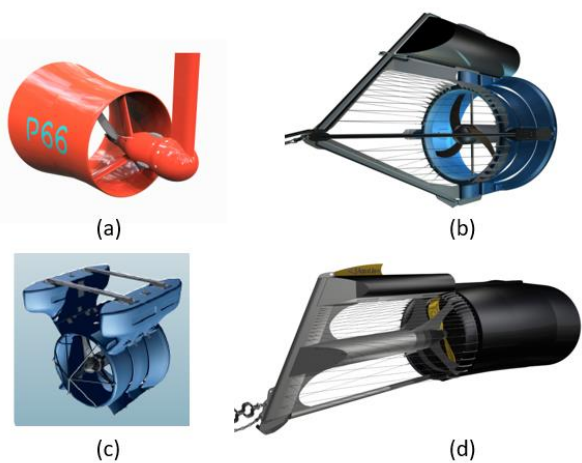
Projektowanie optymalnego kształtu i konfiguracji turbiny hydrokinetycznej za pomocą obliczeń CFD

Tomasz Gajek, Armen Jaworski

CIM-mes Projekt Sp. z o.o., Warszawa

e-mail: a.jaworski@cim-mes.com.pl, t.gajek@cim-mes.com.pl

Hydrokinetyczna turbina wodna pozwala na uzyskanie stabilnej energii odnawialnej z rzek lub prądów morskich bez konieczności budowania rozległej infrastruktury. Wydajność turbiny jest uzależniona od jej konstrukcji hydrodynamicznej. W celu zwiększenia generowanej mocy często stosuje się dyfuzor. Jego rolą jest zwiększenie wydajności turbiny. Badania wykazują, że odpowiednio zaprojektowany dyfuzor może zwiększyć moc uzyskiwaną z turbiny nawet o 45% [1, 2]. Dotyczy to dyfuzorów projektowanych do pracy dla określonych warunków przepływu turbiny [2]. Na rys. 1 pokazane są różne rozwiązania dyfuzorów, uwidaczniające szeroki zakres zmienności jego kształtu w zależności od mocy turbiny i prędkości przepływu. Większość rozwijanych modeli pływających elektrowni wodnych jest projektowana dla niskich prędkości przepływu, nieprzekraczających 3 m/s.



Rys. 1. Dostępne na rynku pływające elektrownie wodne.

A) – Guinard P66 (3,5 kW, 3 m/s) [3], b) – Smart Hydro (5 kW, 3 m/s) [4], c) – Green Tech Avenue (5 kW, 2,5 m/s) [5], d) – Aqualibre Strom-Boje (6,5 kW, 2 m/s) [6].

Dzięki dyfuzorowi możliwe jest odebranie energii ze znacznie większego obszaru nurtu niż sama powierzchnia wirnika. Dyfuzor oprócz wzrostu mocy otrzymywanej z turbiny, może umożliwić pracę turbiny dla natężeń przepływu niższych nawet o 27% [7]. W ramach projektu współfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju opracowano metodę mającą na celu uzyskanie optymalnego kształtu oraz konfiguracji dyfuzora i obudowy prądnicy z wykorzystaniem metod numerycznych dla zadanych warunków przepływu.

Metoda uzyskania optymalnego kształtu

Kluczowymi elementami, z punktu widzenia wydajności turbiny hydrokinetycznej są: kształt dyfuzora i obudowy prądnicy oraz ich wzajemne położenie. Analizy przeprowadzono z podziałem na poszczególne parametryzacje elementów geometrii dyfuzora i obudowy oraz ich wzajemnego położenia. Analiz dokonano z użyciem metod numerycznych mechaniki płynów (CFD – computational fluid dynamics).

W pierwszej kolejności dokonano przeglądu dostępnych na rynku rozwiązań pływających elektrowni wodnych. Na ich podstawie powstał pierwszy, nominalny model dyfuzora. Opracowano model obliczeniowy dyfuzora i prądnicy umożliwiający badanie wpływu różnych parametrów geometrycznych turbiny na uzyskiwaną moc. Przeanalizowano następujące parametry między innymi:

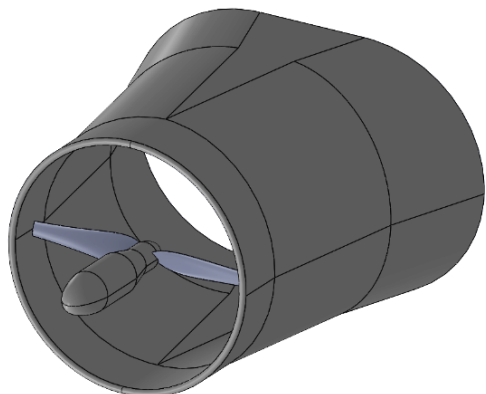
- Wypukłość, rozbieżność i długość dyfuzora
- Wielkość i położenie obudowy prądnicy względem dyfuzora
- Kształt konfuzora

Na podstawie wyników symulacji osiowosymetrycznych wskazano najlepszy kształt dyfuzora ze względu na uzyskiwaną moc, przy zachowaniu wysokiej sprawności w turbinie. W kolejnym etapie dokonano obliczeń na modelach 3D. Wykonano symulacje dla kilku wersji nieosiowosymetrycznego kształtu wylotu dyfuzora. Symulacje wykonane na modelach 3D pokazały spadek sprawności urządzenia względem rezultatów otrzymanych w symulacjach osiowosymetrycznych. W celu uwzględnienia ograniczeń produkcyjnych dyfuzor został zmniejszony oraz uproszczony zachowując zadowalającą moc otrzymywaną na wale prądnicy. Kolejnym etapem było zaprojektowanie wirnika do pracy w założonym kształcie dyfuzora oraz weryfikacja modeli łopat wirnika przy użyciu symulacji CFD.

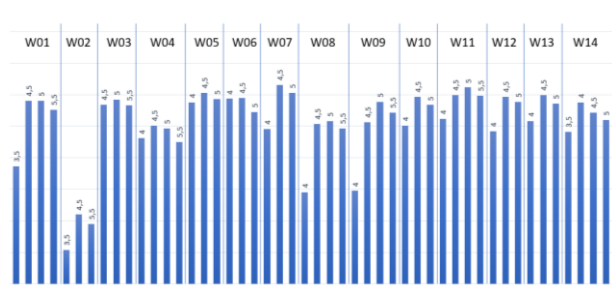
Optymalizacja pracy wirnika w zespole turbiny

Do zaprojektowania wirnika użyto rozkładów prędkości nurtu w przekroju jego położenia w dyfuzorze. Celem analiz było porównanie mocy otrzymywanych na wale turbiny dla różnych geometrii łopat. Wszystkie modele turbin do obliczeń CFD tworzono w oparciu o założone docelowe geometrie dyfuzora, piasty oraz liczbę łopat poszczególnych wirników. Przykładowy model geometryczny pokazany jest na rys. 2.

Przebadano czternaście kształtów wirników. Modele wirników projektowano dla nominalnej wartości TSR = 4,5. Dla każdego wirnika wykonano obliczenia dla nominalnej TSR oraz co najmniej dla dwóch dodatkowych wartości powyżej i poniżej tej wartości. Wyniki obliczeń w postaci mocy otrzymywanych dla poszczególnych konfiguracji turbin pokazane są na rys 2.



Rys. 2. Poglądowy model turbiny hydrokinetycznej: dyfuzor, piasta, dwie łopaty wirnika.

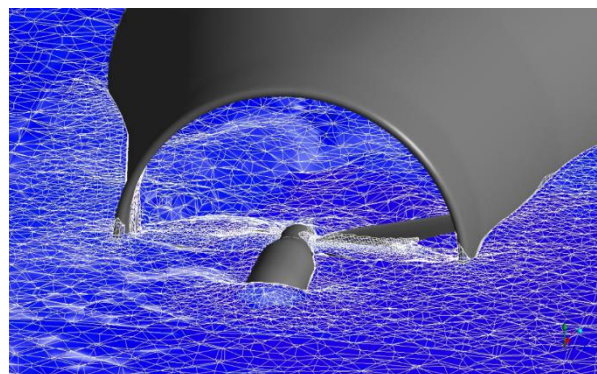


Rys. 3. Porównanie mocy turbiny uzyskane w wyniku obliczeń CFD dla poszczególnych wersji wirników.

Wirniki 7 i 9 to wirniki trójłopatowe, pozostałe wirniki to wirniki dwułopatowe.

Najwyższą moc dla nominalnej wartości współczynnika szybkobieżności (TSR = 4,5) otrzymano dla wirnika W07. Porównywalną wartość mocy powyżej otrzymano również dla wirników W05 i W11, przy czym dla wirnika W11 uzyskano ją dla wartości TSR wyższej od nominalnej (TSR = 5). Dla wirnika W05 uzyskano stabilniejszą wartość mocy dla wartości TSR powyżej i poniżej wartości nominalnej.

Dodatkowo przeprowadzona została analiza przepływowa turbiny w niepełnym zanurzeniu. Pozwoliło to na ustalenie, w jakim stopniu częściowe wynurzenie turbiny ponad powierzchnię swobodną nurtu wpływa na generowaną przez nią moc oraz jak duże wahania momentu obrotowego na wale występują w takich warunkach. Na podstawie obliczeń stwierdzono, że już nieznaczne wynurzenie może znacząco obniżać efektywność turbiny, ponieważ obniża to podciśnienie za turbiną. Jednocześnie przy niepełnym zanurzeniu istotnie rośnie amplituda wahań momentów na wale, co może negatywnie wpływać na elementy mechaniczne urządzenia.



Rys. 3. Powierzchnia swobodna wody, gdy turbina jest zanurzona w 50%.

Bibliografia

- [1] A. H. Elbatran, Aly & Yaakob, Omar & Ahmed, Yasser & B Abdullah, Firdaus. Augmented Diffuser for Horizontal Axis Marine Current Turbine. International Journal of Power Electronics and Drive Systems (2016).
- [2] Vaz, Jerson & Mesquita, Alexandre & Mesquita, Andre & Oliveira, Taygoara & Brasil Junior, Antonio. Powertrain assessment of wind and hydrokinetic turbines with diffusers. Energy Conversion and Management (2019).
- [3] <https://www.guinard-energies.bzh/en/our-products/p66-hydrokinetic-turbine-3-5-kw/>
- [4] <https://www.smart-hydro.de/renewable-energy-systems/hydrokinetic-turbines-river-canal/>
- [5] <http://greentechavenue.com/northern-development/micro-hydro-kinetic-turbines/>
- [6] <http://www.aqualibre.at/DE/hauptmenue/strom-boje-3/strom-boje-3.html>
- [7] Ke Song, Wen-Quan Wang, Yan Yan. Numerical and experimental analysis of a diffuser-augmented micro-hydro turbine. Ocean Engineering (2019).

Autorzy

Tomasz Gajek, mgr inż., ukończył Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej w roku 2016. Od 2017 roku zatrudniony w firmie CIM-mes Projekt, obecnie na stanowisku starszy specjalista ds. modelowania numerycznego. Zakres jego kompetencji obejmuje ciepło-przepływowe symulacje numeryczne oraz koordynację projektów.

Armen Jaworski, dr inż., ukończył Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej w roku 2006. W 2015 roku obronił pracę doktorską w tematyce automatycznych metod optymalizacji kształtu za pomocą CFD. Od 2015 roku jest Prezesem Zarządu CIM-mes Projekt. Spółka specjalizuje w analizach numerycznych MES i CFD oraz rozwijaniu własnych modeli numerycznych i narzędzi obliczeniowych dla zagadnień inżynierskich.

Badania zostały zrealizowane w ramach projektu pt. „Wysoko efektywna Turbino-Prądnica pływającej elektrowni wodnej napędzana nurtem” (nr umowy POIR.01.02.00-00-0268/17-00) w ramach Działania Sektorowe programy B+R „numer konkursu: 6/1.2/2017 PBSE 2 Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020 współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

Sesja VI

Odzysk energii hydraulicznej (sesja projektu Life NEXUS, część 1)

Session VI

Hydraulic energy recovery (Life NEXUS Project Session - Part 1)

- 6.1.** Kazimierz Oboza, Wojciech Gładys:
Instalacja turbiny wodnej na 90 letniej zaporze wodnej w Wapienicy
- 6.2.** Mariusz Piękoś:
*Zastosowanie turbin wodnych w sieciach ciepłowniczych
- mała elektrownia sieciowa MPEC Kraków*
- 6.3.** Petras Punys, Algirdas Radzevičius, Linas Jurevičius:
Integrating microturbines into sewage systems of lowland areas
- 6.4.** Janusz Steller, Zbigniew Krzemianowski, Mariusz Hajdarowicz,
Adam Chlapek, Arkadiusz Krawiec, Marcin Rafacz, Grzegorz Wygoda:
*Recovery of energy lost in water cycles
- the expertise following from the prefeasibility studies*

Notatki

Notes

Instalacja turbiny wodnej na 90 letniej zaporze wodnej w Wapienicy

Kazimierz Oboza

Emeryt (były dyrektor i prokurent w AQUA S.,A.)
e-mail: Kazimierz.oboza51@gmail.com

Wojciech Gładys

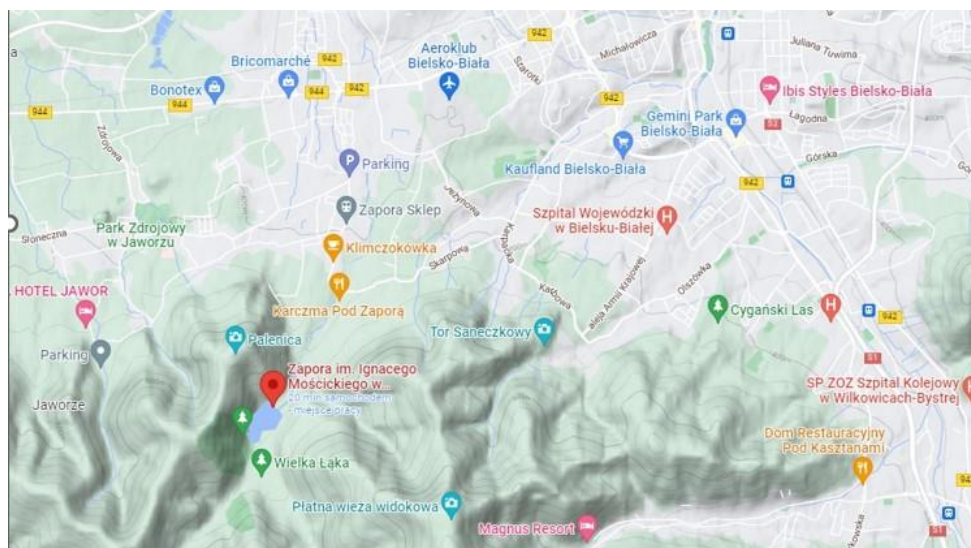
AQUA S.A. w Bielsku-Białej
e-mail: wojciech.gladys@aqua.com.pl

Charakterystyka kluczowych zdarzeń w okresie ostatnich 90 lat

29 sierpnia 2022r. upłynęło 90 lat od zbudowania muru betonowego zapory wodnej w Wapienicy. W ten sposób w Wapienicy stworzono warunki do utworzenia wodnego zbiornika retencyjnego na potoku Wapienickim. Jak się wkrótce okazało zakończenie budowy muru zapory wodnej przy pierwszych próbach napełnienia zbiornika wodnego ujawniło nedoróbki, które usuwano przez następny rok. Celem budowy zbiornika retencyjnego w Wapienicy było umożliwienie od roku 1932 wykorzystania silnie zmiennych zasobów wodnych pot. Wapienica na potrzeby zaopatrzenia w wodę wodociągu komunalnego w Bielsku i Wapienicy. W następnych latach obszar zasilania w wodę powiększono o kolejne miejscowości oraz rozbudowywano stację uzdatniania wody w Wapienicy. Wyczerpująca informacja o historii budowy i modernizacji zapory wodnej jest dostępna w publikacji z roku 2020, pt. *Budowa i modernizacja zapory wodnej w dolinie Wapienicy* [1].

Zapora i zbiornik wodny w Wapienicy zlokalizowane są w Beskidzie Śląskim, w przewężeniu doliny potoku Wapienickiego pomiędzy stokiem Szyndzielni na wschodzie, a stokiem Palenicy na zachodzie i spiętrza wody górskich potoków tworząc sztuczny zbiornik retencyjny (jezioro). Zbiornik zasilany jest przez potoki Wapienica

i Barbara łączące się przy południowym brzegu zbiornika zaporowego na wysokości ok. 480 m n.p.m. Obszar zlewni Zapory wynosi 11,1 km². Na zlewnię potoku Barbara przypada 6,27 km², a na potoku Wapienickiego 4,68 km². Czasza zbiornika wodnego w Wapienicy w chwili jego pierwszego uruchomienia pozwalała na retencjonowanie do 0,92 hm³ wody. Po 12 latach w listopadzie 1944 roku możliwości retencjonowania wody w zbiorniku zostały zwiększone do poz. V = 1,055 hm³ w wyniku podniesienia górnej krawędzi przelewu o 1 metr w stosunku do poziomu pierwotnie zaprojektowanego. Dopuszczono wtedy max poziom piętrzenia (Max. PP) na rzędnej 478,19 m n.p.m. (w stosunku do mareografu w Trieście). Przy tej rzędnej piętrzenia występującej w warunkach powodziowych ilość wody zgromadzonej w zbiorniku retencyjnym w Wapienicy wzrasta V_{max} do 1,140 hm³. Zarząd nad zaporą z dniem 1 lipca 1991r. przejęło Przedsiębiorstwo Komunalne „AQUA” S.A. W Bielsku-Białej będące podmiotem prawa handlowego powstałe z inicjatywy gminy Bielsko-Biała – głównego akcjonariusza. W wyniku intensywnych działań podjętych od II połowy 1991r. przez AQUA S.A. właściciela zapory wodnej i zbiornika w Wapienicy udało się dopiero po 70 latach na początku XXI wieku wykonać zaporę przeciwrumoszową na potoku Barbara oraz konieczne prace remontowe i modernizacyjne zapory wodnej oraz stacji uzdatniania wody (SUV) w Wapienicy.



Rys. 1. Położenie zapory wodnej w Wapienicy

Podstawowe informacje o zaporze w Wapienicy

Projekt oraz budowę Zapory wodnej wykonała firma Dyckerhoff & Widmann o/Katowice pod kierownictwem profesora Politechniki Lwowskiej, dr. inż. Jana

Łopuszańskiego. Budowę ukończono w 1932 r. i przystąpiono do napełniania zbiornika. Jednak dopiero w dniu 21 października 1933 roku uroczystie otwarto Zaporę dla publiczności w obecności Prezydenta Rzeczypospolitej profesora Ignacego Mościckiego. Zapora

(przegroda betonowa) wykonana jest w postaci betonowego muru prostego typu ciężkiego o długości 252 metrów i zapory ziemnej z jądrem betonowym o długości ok. 60 m. Długość całkowita budowli w koronie wynosi 312 m. Zapora wznosi się ponad 24 m nad dnem doliny, zaś jej wysokość całkowita to 29,6 m. Korona znajduje się na wysokości 478,60 m n.p.m. Jej korpus składa się z 17 betonowych bloków oddzielonych od siebie fugami dylatacyjnymi, w tym: w centralnej części zapory 2 (sekcja przelewowa); w prawobrzeżnej części 9; a w lewobrzeżnej 6. Ponadto w części prawobrzeżnej mur betonowy zapory przechodzi w zapórę ziemną z jądrem betonowym. Zapora liczy ok. 20 m grubości u podstawy i ok. 3 m w koronie, a całkowita kubatura konstrukcji betonowej wynosi około 70 000 m³. W murze zapory nad blokami przelewowymi znajduje się 6 otworów przelewowych o szerokości 5,3 m każdy, z koroną przelewu na rzędnej 476,6 m n.p.m. Nadmiar wody spada poprzez koronę przelewową do niecki wypadowej, z której odprowadzany jest do potoku Wapienickiego. U podstawy zapory wodnej po obu stronach sekcji przelewowej wykonane są dwa rurowe upusty denne o średnicy DN 750 mm posiadające od strony odwodnej awaryjne zamknięcia szandorowe oraz przed wylotem zamknięcia regulacyjne zasuwami klinowymi. Pobór wody ze zbiornika następuje w pięciu miejscach. Cztery ujęcia wykonane są z rur stalowych o średnicy 300 mm, umocowanych pionowo przy ścianie Zapory. Wloty do rur ujmujących wodę wykonane są w postaci koszy, a znajdują się poniżej korony przelewu, na wysokości: 9,6 m – 2 szt., oraz 13,6 m – kolejne 2 szt. Dla utrzymania wysokiej jakości wody ujmowanej na zaporze w praktyce nie korzysta się z piątego ujęcia dennego. Ostatni raz było ono wykorzystywane w latach 1991-1992 przy niemal całkowicie opróżnionej zaporze wodnej w czasie renowacji i uszczelniania strony odwodnej zapory. U podstawy muru zapory rury ujmujące wodę przechodzą przez korpus budowli, sztolnią lewą i prawą na zewnątrz muru zapory wodnej, a następnie łączą się w jeden rurociąg żeliwny o średnicy 500 mm, doprowadzający wodę grawitacyjnie do pobliskiej stacji filtrów pośpiesznych. Stacja filtrów pośpiesznych była wykonana w postaci filtra pośpiesznego – otwartego żwirowo-piaskowego z drenażem ceramicznym grzybkowym. Po raz pierwszy została uruchomiona w roku 1929. Powiększono ją w latach 1947 – 1948, a następnie w połowie lat 60-tych XX wieku. W późniejszym czasie, w latach 2001-2002 SUW był poddany modernizacji ze środków „AQUA” S.A. i pomocowych PHARE (Unia Europejska) oraz Narodowego Funduszu Gospodarki Wodnej i Ochrony Środowiska. W trakcie tej modernizacji wymieniono technologię filtrów na filtry pośpieszne z nowoczesnym przestrzennym drenażem Triton oraz złożem dwuwarstwowym kwarcowo-antracytowym. Zmieniono też system dezynfekcji z chloru gazowego na podchloryn sodu wytwarzany w procesie elektrolizy soli kuchennej. Była to rewolucja technologiczna pozwalająca na uzdatnienie wody w stopniu wymaganym przez dyrektywę UE 98/83, zapewniając bezpieczeństwo zdrowotne wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Nieco później bo w roku 2005 AQUA S.A. w Bielsku-Białej ze środków własnych sfinansowała poprawę technologii uzdatniania

wody w Wapienicy, w wyniku wprowadzenia przed filtracją wody procesu symultanicznej koagulacji powierzchniowej z zastosowaniem koagulantu PAX.



Fot.1. Widok zapory wodnej i zbiornika retencyjnego w Wapienicy. Mat. arch. AQUA S.A

Zasilanie elektryczne zapory wodnej i stacji uzdatniania wody w Wapienicy

Eksplatacja zapory wodnej i stacji uzdatniania wody (SUW) w Wapienicy wymaga aby zainstalowane urządzenia elektroenergetyczne, oświetleniowe, grzewcze oraz monitoringowe, kontrolne i sterownicze były zasilane energią elektryczną w sposób stały oraz niezawodny. Od samego początku zasilanie elektryczne oparte było o napowietrzną linię elektroenergetyczną z sieci miejskiej Bielska. Napowietrzna linia elektryczna została jednak uszkodzona w lutym 1945r. przez desant radziecki w trakcie walk o Bielsko i Białą. Brak zasilania elektrycznego w tamtym okresie umożliwiał ograniczoną eksploatację ujęć wody w Wapienicy i jej grawitacyjną dostawę do Bielska bez uzdatniania. Linia elektryczna została naprawiona pod koniec jesieni 1945r. i od tamtego czasu była wielokrotnie modernizowana i rozbudowywana. Po tym czasie przerwy w dostawie energii elektrycznej związane były jedynie z awariami w sieci dostawcy oraz klęskami żywiołowymi (powodzie, zimowe oblodzenia i wiatrołomy na terenach leśnych). Miały one krótki czasokres i po naprawie uszkodzeń zasilanie każdorazowo przywracano. Dla zminimalizowania niekorzystnych następstw tych wyłączeń w latach siedemdziesiątych XX w. z inicjatywy dyr. technicznego MPWiK w Bielsku-Białej inż. St. Wojciechowskiego na stacji uzdatniania wody w Wapienicy zbudowano pierwszy awaryjny ręcznie sterowany agregat prądowórczy typu WOLA napędzany silnikiem spalinowym o mocy znamionowej 44 kVA, pozwalający w okresie wyłączenia zasilania zewnętrznego na dalszy ruch podstawowych urządzeń i oświetlenie awaryjne obiektów. Pod koniec XX w. w trakcie modernizacji SUW w Wapienicy agregat ten zastąpiono większą jednostką o mocy 80 kVA. Obecnie podstawowe zasilanie zapory i stacji uzdatniania wody w Wapienicy stanowi stacja transformatorowa TAURON zasilana z linii napowietrznej 15 kV. Potrzeby energetyczne stacji wynoszą około 90 kW. W roku 2019 poprawiono również rezerwowe zasilanie energetyczne po zainstalowaniu nowoczesnej jednostki GI 143S o mocy ciągłej 101,4 kW (126,8 kVA). Agregat prądowórczy napędzany jest silnikiem wysokoprężnym firmy IVECO FPT o mocy 121 kW. Agregat włącza się do pracy automatycznie (układ SZR) po sygnale o zaniku napięcia na zasilaniu z sieci elektrycznej TAURON.

Począwszy od końca lat 90-tych XX w. po chwilę obecną wielokrotnie rozważano dalszą poprawę niezawodności poprzez wykonanie wsparcia zasilania elektrycznego miejscowych urządzeń elektrycznych po zabudowie turbiny lub turbin wodnych. Od 2019 r.

„AQUA” S.A. podejmowała starania o pomoc przy projektowaniu zabudowy turbin w Wapienicy aplikując o wsparcie w ramach projektu Life NEXUS.

No	Site name, type and device	Address (City, province/region/village)	Coordinates (WGS84), longitude and latitude		Mean available flow Q, m ³ /s	Gross head, H, m	Approximate power capacity P, kW P=7.5QH	Short description of the site type. Any opportunities for installing turbine generator	Comments	Completed by or contact for additional info (name/ e-mail/phone)
			Site location for installing hydro turbine generator	Source (catchment/reservoir), if relevant						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1a	Right tunnel at Wapienica Dam/ "Wiełka Łąka" storage reservoir	AQUA S.A. ul. Tartaczna 172 Bielsko-Biała https://www.google.pl/maps/@49.7713924,18.9678167,673m/data=!3m1!1e3?hl=pl	49.772997, 18.971607	49.771389, 18.970000	0.100	18	13.5	The pond is used exclusively as a reservoir of the drinking water treatment plant. Without any flood protection function. Water level in the reservoir depends on the rainfall and water demand. Depending on these two variables the daily water consumption is between 23 000 m ³ /day and 5000 m ³ /day - with 1000 m ³ /day under extreme weather conditions. Two DN 300 pipelines deliver water to the water treatment plant using tunnels inside the dam. It is possible to install a hydraulic unit at each of the pipelines.	Confidential data. No consent for publication!	Kazimierz Oboza kazimierz.oboza@aqua.com.pl mobile: +48 600 200 812 Leszek Szpila leszek.szpila@aqua.com.pl mobile: +48 600 200 839
1b	Left tunnel at Wapienica Dam/ "Wiełka Łąka" storage reservoir	AQUA S.A. ul. Tartaczna 172 Bielsko-Biała https://www.google.pl/maps/@49.7713924,18.9678167,673m/data=!3m1!1e3?hl=pl	49.773270, 18.971090	49.771389, 18.970000	0.078	18	10.5	The pond is used as a reservoir of the drinking water treatment plant. Water level in the reservoir depends on the rainfall and water demand. Two DN 300 pipelines deliver water to the water treatment plant using tunnels inside the dam. It is possible to install a hydraulic unit at each of the pipelines.	Confidential data. No consent for publication!	Kazimierz Oboza kazimierz.oboza@aqua.com.pl mobile: +48 600 200 812 Leszek Szpila leszek.szpila@aqua.com.pl mobile: +48 600 200 839
1	Wapienica Dam/ "Wiełka Łąka" storage reservoir	AQUA S.A. ul. Tartaczna 172 43-382 Bielsko-Biała https://www.google.pl/maps/@49.7713924,18.9678167,673m/data=!3m1!1e3?hl=pl	49.773270, 18.971090	49.771389, 18.970000	0.255	17		The pond is used as a reservoir of the drinking water treatment plant. Water level in the reservoir depends on the rainfall and water demand. Two DN 300 pipelines deliver water to the water treatment plant using tunnels inside the dam. It is possible to install a hydraulic unit at each of the pipelines.	Discharge data according to the valid water legal consent (Decision 4780/OŚ/2010 as issued on 12.11.2010 by the Silesian Voivodship Marshal). Head estimation based on the dam cross-sectional view as shown in the "History of Wapienica Dam" by Kazimierz Oboza.	Kazimierz Oboza kazimierz.oboza@aqua.com.pl mobile: +48 600 200 812 Leszek Szpila leszek.szpila@aqua.com.pl mobile: +48 600 200 839

Rys 3. Informacje nt. wnioskowanego wsparcia zabudowy turbin wodnych w Wapienicy w ramach Life NEXUS

Ewolucja poglądów na zabudowę turbiny na zaporze wodnej w Wapienicy

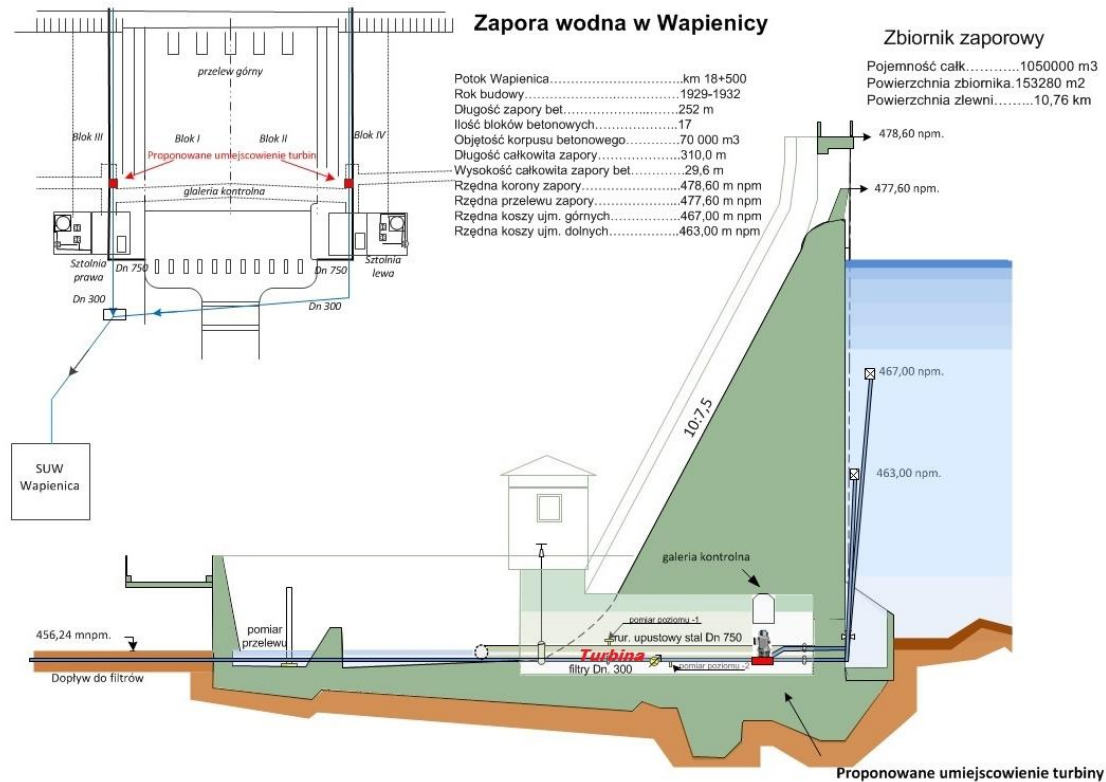
W chwili projektowania i budowy zapory wodnej w Wapienicy nie przewidywano potrzeby zabudowy turbiny wodnej. Takie podejście projektantów i inwestora wynikało z faktu stosunkowo niskich oraz skrajnie zmiennych przepływów uzależnionych od sytuacji pogodowej oraz priorytetu wodociągowego przeznaczenia zbiornika. Po latach wielokrotnie analizowano celowość zabudowy turbin wodnych na zaporze wodnej w Wapienicy. Analizy ekonomiczne prowadzono w okresie PRL-u. w warunkach centralnie zarządzanej gospodarki socjalistycznej. Nie dawały one podstaw do zwrotu nakładów na taką inwestycję (inf. ustna SP mgr inż. Anny Wierzbickiej-Gryzelko). Ponownie tematykę zabudowy turbiny wodnej na zaporze w Wapienicy podjął konsultant AQUA firma WS ATKINS w 2000r. (Audyt energetyczny: Zadanie 2/1.pt. „Przedwstępna koncepcja hydroelektrowni na zaporze w Wapienicy – alternatywne źródło energii”). Wtedy zaproponował on zabudowę akcyjnej turbiny przepływowej z szerokim strumieniem wody typu Banki-Michella zlokalizowanej na rurociągu DN 500 w hali stacji uzdatniania wody na wypływie na filtry pośpieszne. Ostatecznie również to zamierzenie nie zostało zrealizowane z przyczyn najpierw ekonomicznych (planowany okres zwrotu nakładów przekraczał 10 lat), a wkrótce również w wyniku wdrożonych dodatkowych procesów technologicznych (modernizacja technologii uzdatniania wody na filtrach pośpiesznych polegająca na wprowadzeniu koagulacji symultanicznej). Wiosną roku 2015 wróciliśmy w AQUA do tematu wykonaniu zabudowy turbiny wodnej na ujęciach wody w Wapienicy. Zgodnie z sugestią WS ATKINS.a z roku 2000 rozpatrywaliśmy możliwość zabu-

dowy turbiny typu Banki Michella na wylocie wodociągu dopływowego na filtry pośpieszne otwarte. Po konsultacjach z prof. dr inż. Apolinarym Kowalem zdecydowaliśmy się wtedy na najtańszy, a przy tym w miarę efektywny wariant uzdatniania wody na filtrach poszerzony o koagulację powierzchniową symultaniczną prowadzoną w warunkach podwyższonej mętności wody. W roku 2015 rozważając ponownie wykonanie zabudowy turbiny wodnej zlecieliśmy do firmy DEMPOL badanie wpływu zabudowy turbiny na możliwość uzdatniania wody poprzez koagulację powierzchniową symultaniczną. Ustalono, że nie da się prowadzić efektywnej koagulacji symultanicznej po zabudowie turbiny wodnej bezpośrednio na wylocie na filtry. Również analiza ekonomiczna nie pozwalała wtedy optymistycznie patrzeć na zwrot nakładów inwestycyjnych. Przy szacowanych orientacyjnie kosztach zabudowy turbiny na kwotę ponad 500 000 zł (sama turbina 150 tys. zł) okres zwrotu nakładów nie będzie krótszy niż 10 lat, a wymagał będzie dużych przeróbek rurociągów doprowadzających wodę na filtry. Zwyciężyły racje ekonomiczne i procesowe – od realizacji pomysłu zabudowy turbiny na filtrach ostatecznie odstąpiliśmy.

W I kwartale 2019 r. Prezes Zarządu AQUA S.A. dr Krzysztof Michalski nakazał wyznaczyć miejsca zabudowy turbozespołów prądotwórczych zasilanych energią strumienia wody na zaporze w Wapienicy. Dyrektor utrzymania ruchu AQUA S.A. Kazimierz Oboza podjął tę inicjatywę i przystąpił do działania. W dniu 19 kwietnia 2019 r. nawiązano kontakt z polskim koordynatorem programu budowy małych elektrowni wodnych Life NEXUS dr Januszem Stellerem z Instytutu Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku. Ostatecznie w dniu 8 maju br. dostajemy wiadomość, że nasze proponowane

zabudowy turbin na zaporze w Wapienicy zostały wpisane do europejskiego programu Life NEXUS w zał. "List of potential sites for installing turbine generators into existing water and waste water infrastructure". Do wniosku o wsparcie z programu Life NEXUS moc wyliczamy w oparciu o ustalony przez koordynatora programu wzór uproszczony. Kalkulację mocy średniej dokonaliśmy z uproszczonego wzoru $P = 7,5 \times Q \times H$ (kW), gdzie Q – przepływ w m^3/s a H wysokość spadu w metrach.

Korzystając z tego wzoru otrzymujemy w przypadku zabudowy turbiny w sztolni prawej moc średnią: $P_p = 13,5$ kW, gdzie przepływ wynosi $Q = 0,1 m^3/s$ zaś spadek $H = 18 m$; natomiast w przypadku sztolni lewej $P_l = 10,5$ kW dla $Q = 0,078 m^3/s$ i $H = 18 m$. Łącznie po zabudowie turbin na zaporze w Wapienicy otrzymamy moc $P_\Sigma = 24$ kW.



Rys. 4. Przekrój przez zaporę z miejscem zabudowy turbiny wodnej

Z powyższego wynika że w skali roku przyjmując pracę turbozespołów w okresie 5000 godzin możemy uzyskać ok. 120 000 kWh energii. Wartość ta jest nieco większa niż ustalił WS Atkins, ponieważ zakładamy zabudowę turbin w sztolniach zapory, a tym samym mniejsze straty na dopływie. Rozważaliśmy już wtedy tylko zabudowę turbin wodnych na rurociągach DN 300 w sztolniach zapory.

Rozpoczęliśmy poszukiwania dobrego rozwiązania. W celu przyspieszenia ewentualnych prac inwestycyjnych nad zabudową turbiny AQUA jeszcze w lipcu 2019 r. wykonuje dla potrzeb dalszego projektowania zabudowy odwzorowania wymiarów prawej sztolni zapory w Wapienicy w której najprawdopodobniej umieścimy jedną z turbin. Pod koniec września 2019 r. zwymiarowano sztolnię w programie AUTO-CAD i o uzupełniono rysunki w dziale geodezyjnym o rzędne wysokości sztolni oraz urządzeń. Wkrótce podobne prace wykonano dla lewej sztolni zapory wodnej. Materiał został wykorzystany przy dalszych obliczeniach i pracach projektowych zabudowy turbiny. Oryginalne wersje cyfrowe w programie AUTO-CAD są dostępne wyłącznie dla użytkowników tego oprogramowania w AQUA. Po

wykonaniu prac pomiarowych w sztolniach podejmujemy próby wsparcia naszych działań przez firmy profesjonalne działające na Polskim rynku. Dokonaliśmy analizy wielkości produkcji wody w stacji uzdatniania w Wapienicy (takie dane mierzymy on-line) od 2015 r do września 2019 roku – wartości niemal tożsame z wartością wody ujmowanej i transportowanej na filtry, nie uwzględniając jedynie straty wody zużytej bezwrotnie, na płukanie filtrów – były następujące: 2015 r - 13 569 m³; 2016 r - 18 397 m³; 2017 r - 18 729 m³; 2018 r - 12 190 m³; 2019 r (do września) - 15 013 m³. Skrajne średnie wartości przepływów z ostatnich lat wynoszą od 0,122 m³/s do 0,162 m³/s, a więc są nieco mniejsze od przyjmowanych wcześniej, np. w roku 2000 do obliczeń doboru turbin. Ten wynik ma ścisły związek ze spadającym zapotrzebowaniem na wodę w sieci wodociągowej będący efektem postępującego uszczelnienia sieci wodociągowej i redukcji strat wody. Po wykonaniu w roku 2020 studium wykonalności i analizie możliwych dostępnych rozwiązań technicznych ostatecznie w roku 2021 przystąpiono do zabudowy pierwszej turbiny wodnej lokalizowanej na wodociągu DN 300 w lewej sztolni zapory wodnej, którą uruchomiono

w roku 2022 po testach i próbach technicznych. Zdecydowano się na zakup i zabudowę hydrozespołu typu Kaplan wg autorskiego rozwiązania Małych Elektrowni Wodnych s.c. J.M.P. Kujawscy z Kościerzyny. Ostatecznie po uruchomieniu turbinę włączono do sieci elektrycznej na warunkach ustalonych z TAURONem.

Zabudowa hydrozespołu MEW Kościerzyna w Wapienicy

W lewej sztolni zapory wykonano w 2021r. na wodociągu DN 300 podejście dla zabudowy turbiny. Umieszczono w nim hydrozespół na napięcie 3 x 400 V typu TKR6 – 150 (nr fabr. 0059) wykonany przez Małe Elektrownie Wodne s.c. z Kościerzyny o instalowanej mocy 9,9 kW i 3000 obr/min.

Dodatkowo zabudowano niezbędną armaturę oraz aparaturę kontrolno-pomiarową systemu monitoringu zdarzeń oraz sterowania hydrozespołem, w szczególności:

- Wymieniono rurociąg DN 300 ze stali czarnej na rurociąg ze stali kwasoodpornej doprowadzający wodę surową ujmowaną w zbiorniku retencyjnym w Wapienicy na filtry pospieszne w SUW;
- Zabudowano 2 przepustnice DN 300 z napędem Auma (jedna przepustnica przed turbiną, druga na bypassie);
- Zabudowano również zasuwę DN 300 bez napędu za turbiną w celu umożliwienia wyłączenia odcinka rurociągu z eksploatacji na czas naprawy lub wymiany turbiny. Takie rozwiązanie umożliwia pobór wody na filtry poprzez bypass;
- Na rurociągu DN 300 zamontowano manometry oraz tensometryczne przetworniki ciśnienia;
- Zabudowano układ smarowania turbiny: zbiornik z olejem biodegradowalnym, filtr oleju, pompa, układ pomiarowy ciśnienia oleju, sprężarka powietrza;
- W systemie zasilania oraz sterowania pracą turbiny wykonano zabezpieczenie w postaci UPSu (podczas braku zasilania z sieci elektrycznej UPS zapewnia zasilanie dla napędów przepustnic przed turbiną oraz na bypassie). Po uruchomieniu turbiny wodnej umieszczonej na wodociągu DN 300 w sztolni lewej zapory oraz pierwszych doświadczeniach w celu poprawy jej efektywności zaszła potrzeba wykonania na drugim wodociągu ujmującym wodę z zapory, w sztolni prawej dodatkowo armatury regulacyjnej w postaci przepustnicy regulacyjnej z napędem Auma umieszczonej na rurociągu DN 300. Zabudowa przepustnicy na drugim rurociągu okazała się koniecznością dla dławienia swobodnego przepływu wody w tym rurociągu i umożliwienia wydajnej pracy turbiny wodnej. Wcześniej woda dopływająca na filtry z prawej sztolni zmniejszała (blokowała) przepływ wody rurociągiem w sztolni lewej, gdzie zabudowano turbinę silnie redukującą ciśnienie i przepływ wody. Po modyfikacjach oraz wykonanych próbach eksploatacyjnych zasilania wodą SUW ustalono, że istniejąca przepustnica regulacyjna na rurociągu DN 500 w budynku SUW przed filtrami podczas pracy turbiny musi być otwarta na 100%. Przed zabudową turbiny

wodnej wyłącznie ta przepustnica służyła do regulowania napływu wody na filtry w dostosowaniu do bieżących potrzeb. Przewidywana zabudowa drugiej turbiny wodnej w sztolni prawej zapory umożliwi pełne wykorzystanie potencjału energetycznego zapory wodnej w Wapienicy oraz ułatwi docelowo eksploatację obu hydrozespołów prądotwórczych.



Fot.2. Widok turbiny TKR6 – 150



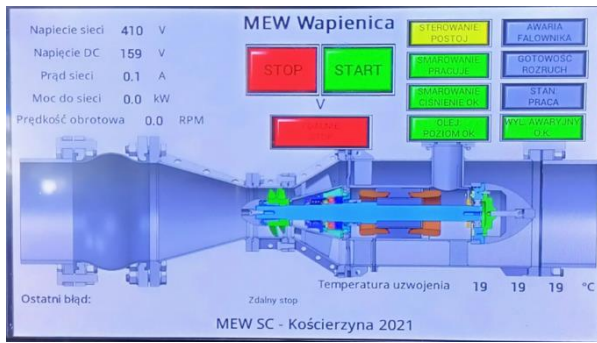
Fot. 3. Sposób zabudowy hydrozespołu w Wapienicy



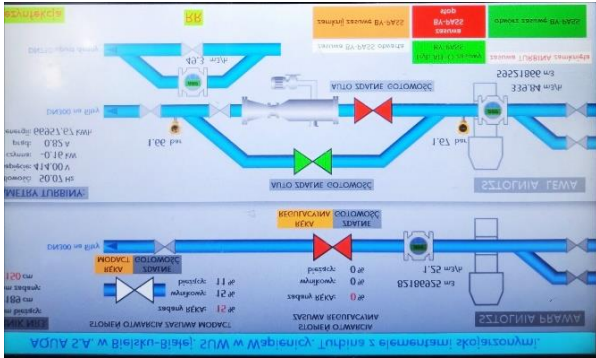
Fot. 4.. Przepustnica regulacyjna w sztolni prawej na rurociągu DN 300

Dla potrzeb eksploatacyjnych w Dyspozytorni zlokalizowanej w budynku Stacji Uzdatniania Wody w Wapienicy wykonano system kontrolno-pomiarowy i sterowania pracą turbiny wodnej.

Zabudowano w szczególności na szafie sterowniczej dwa panele synoptyczne. Pierwszy panel umożliwia sterowanie pracą turbiny oraz podgląd parametrów pracy turbiny. Drugi panel zapewnia kontrolę stanów oraz sterowanie przepustnicami regulacyjnymi (DN 500 przed filtrami oraz DN 300 w sztolni prawej na rurociągu wody surowej).

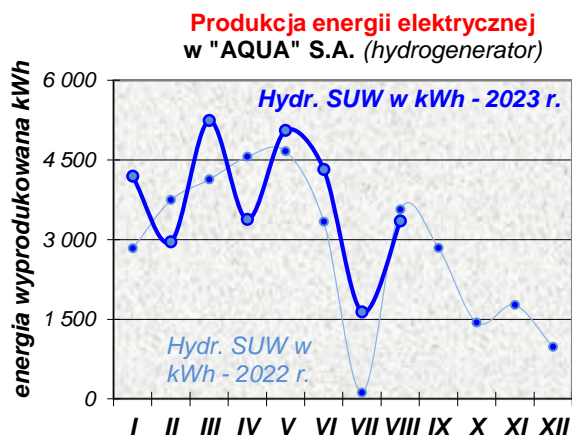


Fot.5.. Obraz synoptyczny widoczny na panelu sterowania turbiną wodną



Fot. 6.. Panel sterowanie przepustnicami regulacyjnymi

Hydrozespół generuje maksymalnie 9,8 kW przy przepływie 475 m³/h, minimalnie 1,5 kW dla przepływu 410 m³/h. Przy przepływie poniżej tej wartości turbina zostaje wyłączona, a woda na stację filtrów dopływa rurociągiem ze sztolni prawej. Takie sytuacje mają miejsce głównie w porze nocnej, gdy suma odpływów wody uzdatnionej ze stacji (zapotrzebowanie sieci wodociągowej Bielska-Białej) spada poniżej 400 m³/h oraz w okresach suszy, gdy produkcja wody z SUW Wapienica zostaje ograniczona do poziomu poniżej 9 600 m³/h.



Rys 5. Wykres miesięcznej produkcji energii na turbinie TKR6 – 150 w latach 2022 – 2023

Podczas prac remontowych turbiny woda na stację doprowadzana jest dwoma rurociągami (w sztolni lewej płynie poprzez bypass, w sztolni prawej przepustnica regulacyjna pozostaje otwarta) Rolę regulacyjną przejmuje przepustnica przed filtrami DN 500. Dzięki algorytmowi obie przepustnice mogą regulować dopływ wody surowej na stację filtrów w trybie automatycznym

(w zależności od ustawionego przez pracownika poziomu wody w zbiorniku wody czystej pod filtrami) oraz w trybie ręcznym (poprzez zadanie procentowej wartości otwarcia przepustnic).

Średnia roczna produkcja energii z hydrozespołu MEW Kościerzyna dla 2 letniego okresu wynosi 35 000 kWh. Taka produkcja wynikała między innymi z problemów związanych z uszczelnieniem mechanicznym turbiny (dłuższe postoje remontowe) oraz okresami suszy, gdy zbyt mała suma dopływów do zbiornika wymusiła ograniczenia produkcji z SUW Wapienica poniżej 9 600 m³/h.

Efekty wdrożonego rozwiązania

W skali roku turbozespół może pracować nawet w okresie ok. 6 500 godzin osiągając sprawność na poziomie 0,736 (sprawność turbiny 0,8 i generatora 0,92). Średnio można wtedy uzyskać ok. 47 800 kWh energii z jednego zabudowanego urządzenia. Nasz hydrozespół z uwagi na prototypowy charakter i problemy eksploatacyjne w początkowym okresie użytkowania w ostatnich 2 latach pracował od 4 700 do 4 800 godzin dając średnio 35 000 kWh. Przyjmując cenę za 1 kWh na poziomie 0,65 zł (zielona energia) pod warunkiem zużycia jej na potrzeby własne - roczna wartość produkcji energii elektrycznej wynosi ok 22,7 tys. zł. Koszt zabudowy i uruchomienia jednej turbiny na wodociągu DN 300 mm wyniósł ok. 0,2 mln zł, w tym samej turbiny ok. 120 tys. zł). Zwrot nakładów powinien nastąpić po okresie ok. 9 lat lub szybciej po wyeliminowaniu dotychczasowych problemów eksploatacyjnych oraz związanego z tym wydłużenia czasokresu pracy turbiny. Drugim efektem - znacznie ważniejszym - jest poprawa niezawodności zasilania elektrycznego zapory i SUW poprzez wykonanie trzeciego źródła zasilania.

Przywołania

1. **Oboza K.** *Budowa i modernizacja zapory wodnej w dolinie Wapienicy*. Redakcja naukowa: A. Jaguś, K. Grübel. ATH w Bielsku-Białej 2020. ISBN 978-83-66249-51-6

Autorzy

Oboza Kazimierz, mgr inż., ukończył w roku 1974, Wydział Geologiczno-Poszukiwawczy na AGH w Krakowie i w 1979 r. studia podyplomowe na Wydziale Nauk o Ziemi Uniwersytetu Warszawskiego. Do roku 1981 pracował kolejno w Kombinacie Geologicznym POŁUDNIE w Katowicach, następnie Wydziale Gospodarki Terenowej i Ochrony Środowiska Urzędu Wojewódzkiego w Bielsku-Białej, oraz w Wojewódzkim Przedsiębiorstwie Wiertniczo-Geologicznym w Tychach. W latach 1981-2020 był zatrudniony w bielskich przedsiębiorstwach wodociągowo-kanalizacyjnych, od roku 1991 w AQUA S.A. w Bielsku-Białej. Obecnie emeryt. Zakres jego kompetencji obejmował najpierw kierowanie pracami geologiczno-inżynierskimi i hydrogeologicznymi, potem w sektorze wod.-kan, zajmował się utrzymaniem ruchu zakładu wod.-kan.

Wojciech Gładys, mgr inż., ukończył w roku 2007, Wydział Wiertnictwa Nafty i Gazu na AGH w Krakowie, kierunek Górniczo i Geologia - Specjalizacja Eksploatacja złóż surowców płynnych. Po studiach przez rok pracował w Wielkiej Brytanii, a następnie od 2008 r. w spółce Aqua S.A. Obecnie na stanowisku starszy mistrz do spraw produkcji wody. Zakres jego kompetencji obejmuje technologię uzdatniania i poboru wody.

Zastosowanie turbin wodnych w sieciach ciepłowniczych - mała elektrownia sieciowa MPEC Kraków

Mariusz Piękoś

Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej S.A. w Krakowie

e-mail: mariusz.piekos@mpec.krakow.pl

Staramy się odzyskać energię z wiatru, wody, słońca i przetworzyć ją na energię elektryczną lub ciepłą potrzebną w każdym naszym domu. Prace nad odzyskaniem energii tym trwają od wielu lat i prowadzone są przez firmy i ośrodki naukowe na całym świecie. Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej w Krakowie współuczestniczy w tym procesie prowadząc prace nad zastosowaniem nowego sposobu regulacji sieci ciepłowniczej opatentowanego w 2012 roku (nr patentu 223602) jako „Systemem Dystrybucji Cieczy lub Gazu”.

Tradycyjny zawór regulacyjny zmienia parametry ciśnieniowe przepływającej wody w zależności od parametrów jakie zostały mu zadane w sterowniku. Zawór realizuje swoje funkcje i działa poprawnie, ale energia przepływającej wody zostaje wydlawiana a tym samym zmarnowana.

W przypadku przepływu wody z wyjścia elektrociepłowni o natężeniu 10 000 m³/h i spadzie (spadek ciśnienia wody na turbinie) 100 m s.w. surowa moc mechaniczna wynosi 2,7 MW. Przy obecnych kosztach energii elektrycznej odzyskanie choćby części tej energii jest bardzo korzystne.

W MPEC Kraków od 12 lat zbieramy doświadczenia realizując instalacje oparte na Turbinowych Regulatorach Ciśnienia (TRC), wykorzystujących wspomnianą wcześniej opatentowaną metodę, działających w oparciu o turbiny wodne zamieniające na łopatkach wirnika energię mechaniczną wody w ruch obrotowy wału. Stąd już prosta droga do wytworzenia energii elektrycznej w generatorze. Odzyskana na skutek spadku ciśnienia energia mechaniczna, zamieniana jest w turbinie na energię elektryczną, którą można zasilić pompy obiegowe w wymiennikowni lub energie, która może być odprowadzona do sieci energetycznej. Możliwym jest zastosowanie turbiny w miejsce zaworu pogodowego, co pozwoli zastąpić zawory redukcyjne ciśnienia jednym urządzeniem. Prace nad urządzeniem są już tak zaawansowane, że możliwym jest zastosowanie prototypu do regulacji natężenia przepływu czynnika grzewczego.

Pomysł na zbudowanie dużego obiektu odzysku energii mechanicznej powstał kilka lat temu. Po wybudowaniu obiektów pilotażowych na ul. Chałupnika 45 i os. Strusia 10 mających zainstalowane generatory kilku kilowatowe i przetestowaniu ich pracy podjęto decyzje o budowie małej elektrowni sieciowej o mocy 40 kW w oparciu o TRC na magistralnej sieci ciepłowniczej DN 500. Instalacja badawcza małej elektrowni wodnej wykorzystującej TRC została zlokalizowana w na os. Kombatantów

18 z budynkiem budynku po starej nieczynnej przepompowni sieciowej, która po modernizacji sieci ciepłowniczej została zlikwidowana kilkanaście lat temu. Obecnie zainstalowany jest tam układ automatycznego podparcia powrotu, ponieważ sieć ciepłownicza zasila budynki mieszkalne położone na wzniesieniu terenu i z obawy przed zbyt niskim ciśnieniem „na powrocie” zamontowano wspomniany powyżej układ regulacji.

Przez obiekt Kombatantów 18 przechodzi sieć ciepłownicza DN 500 (Rys 1) i zainstalowane jest tam podparcie powrotu zaworem regulacyjnym.



Rys.1 Osiedle Kombatantów w Krakowie



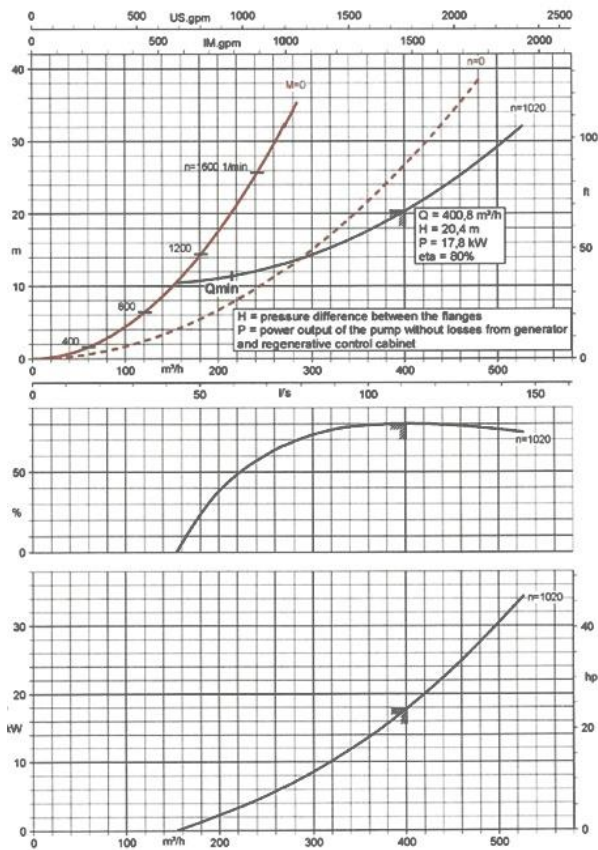
Rys.2 Hydrozespoły PAT w obiekcie Kombatantów 18

Obiekt Kombatantów 18 jest zasilany przez magistralę Wschód w celu spełnienia warunków hydraulicznych na tym odgałęzieniu zamontowane są podparcia hydrauliczne wymuszone one zostały ukształtowaniem terenu.

Ponieważ przepływ przez układ sieciowy na przestrzeni roku bardzo się waha od 250 T/h do 850 T/h zastosowano układ z dwoma turbinami o przepływie 200 T/h i

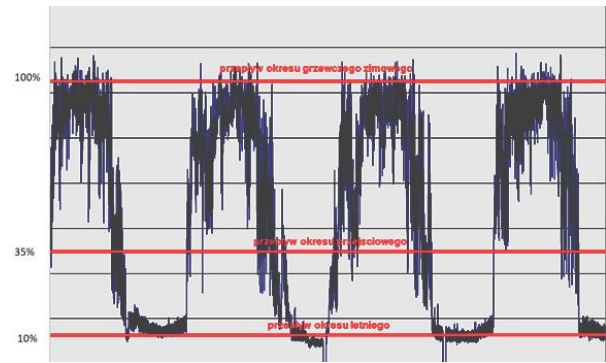
400 T/h. Jeżeli nastąpi konieczność przepływu większego niż 600 T/h zastosowano dodatkowe obejście układu.

Wykonana przez producenta analiza charakterystyki pracy urządzeń wskazuje, że sprawność urządzenia powyżej 50 % uzyskujemy już przy przepływie 55% przepływu nominalnego, sprawność ta stopniowo rośnie do wielkości 80 % i utrzymuje się do wielkości 115% przepływu nominalnego. Współpraca dwóch turbin sterowana będzie sterownikiem swobodnie programowalnym, algorytm będzie sterował płynną regulacją wytwarzanej energii elektrycznej w całym zakresie przepływów. Poniżej przedstawiono charakterystykę turbiny o przepływie nominalnym 400 m³/h spadku 20,4 m i sprawności 80 %.



Rys.3 Charakterystyka zbiorcza pompy w ruchu turbinowym (PAT)

Regulacja ilościowo jakościowa źródła ciepła i sieci ciepłowniczej charakteryzuje się zmiennością przepływu dla sezonu zimowego przejściowego i letniego. Sieci ciepłownicze zaprojektowane są dla wielkości maksymalnego przepływu, który zmienia się wraz warunkami pogodowymi. Można to najlepiej zaobserwować w okresie przejściowym jesienią i wiosną. Pogoda wówczas wykazuje dużą dynamikę zmian co skutkuje zmiennością przepływu sieci magistralnej. Na poniższym rysunku przedstawiono uporządkowany wykres przepływu w okresie 4 lat.



Rys.4 Natężenie przepływu przez obiekt Kombatanów 18 w ciągu 4 lat

Przewidywana produkcja energii elektrycznej kWh Kombatanów 18



Rys.5 Przewidywana produkcja energii elektrycznej w okresie zimowym

Autor

Mariusz Piękoś, mgr inż., ukończył Wydział Mechaniczny Politechniki Krakowskiej w roku 1987. Od 1989 roku zatrudniony w Miejskim Przedsiębiorstwie Energetyki Ciepłej w Krakowie, najpierw w Dziale Analiz Technicznych a od roku 2019 roku - w Biurze Projektów Badawczo Rozwojowych MPEC Kraków. Obecnie pracuje w Dziale Innowacji zajmując się wdrożeniem turbin wodnych do pracy w sieci ciepłowniczej

Integrating microturbines into sewage systems of lowland areas

Petras Punys

Vytautas Magnus University,
Department of Water Engineering,
Universiteto str.10, LT-53361, Akademija
Kaunas distr., Lithuania,
e-mail: petras.punys@vdu.lt

Algirdas Radzevičius

Vytautas Magnus University,
Department of Water Engineering,
Universiteto str.10,53361,Akademija
Kaunas distr., Lithuania.
e-mail: algirdas.radzevicius@vdu.lt

Introduction

The untapped potential of small, mini, and micro hydropower (MHP) systems in municipal sewage systems, including wastewater treatment plants (WWTP), has largely remained unexplored. This unconventional hydropower source (or so-called in-conduit hydro) is receiving more attention from regulators and hydro engineers in several countries [1-5]. However, no such hydro plants are operating in Lithuania and other Baltic States. This „sleeping” hydropower potential has seen no exploitation due to a number of technical and non-technical issues in low-lying countries. A significant cause of not harnessing this potential in this region is relatively low power capacities due to flat topography resulting in low or moderate drop in elevation. It's expected that the ongoing LIFE Nexus project activities [6] will significantly improve the database of the potential sites and provide valuable information for water utilities and potential investors.

Materials and Methodology

The study area was municipal sewage systems, including wastewater treatment plants (WWTP) with a free gravitational flow operating in Alytus town (A), Kaunas (K) and Vilnius (V) cities in Lithuania (Table 1). The sewage systems consisting of the collection network upstream of WWTP (U/S) and downstream of WWTP (D/S) were considered.

Table 1. Potential sites for installing hydropower turbines in urban sewage systems of Kaunas (K), Vilnius (V) and Alytus (A) municipalities.

#	Name	Location ¹	Head (m)	Flow (m ³ /s)	Outlet
1.	K1	U/S	35.0	0.3	Main
2.	K2	U/S	27.4	0.18	Main
3.	K3	D/S	4.0	1.2	River
4.	V1	D/S	2	1.5	Conduit
5.	V2	D/S	2.9	1.5	River
6.	A1	D/S	15.0	0.11	Conduit
7.	A2	D/S	10	0.11	River

¹ Site location relative to WWTP (upstream—U/S or downstream—D/S).

Some general insights are given into assessing hydropower potential in sewer systems [7]. In order to develop

a site pre-feasibility study, RETScreen Expert software (only hydropower module) was used [8]. Some definitions given in this application are not compatible with urban water networks (e.g., run-of-river). But they do not affect the calculations at all. Moreover, the inscription of the turbine type (e. g. Kaplan) changes nothing. The values of PaT (pump as turbines – a low-cost generator) or whatever turbine efficiencies can be entered manually. The realistic cost of the turbine (Euro/kW) and other elements for developing a proposed site (e. g., transmission line, substation, etc.) can also be presented. Beforehand, necessary initial data was collected from water utilities and *in situ*. This included measurements of wastewater flow fluctuations at the outlets of WWTPs and key structures of the collection network (upstream of the WWTP) to reveal the pattern of sewage flow. A tailwater effect or reduction of the working head at the sites of treated wastewater outlets (receiving water body – river) was also considered.

Results

For each site, the following items are presented:

- Water resources.
- Energy model.
- GHG emission reduction.
- Cost analysis and economic viability of the investment.
- The economic viability of the investment and risk analysis.
- Preliminary layouts, civil engineering.

Key findings for each site were extracted from the RETScreen Expert application (Table 2). Graphs, tables, and basic information for potential investors and decision-makers support them.

Table 2. Key findings. Micro hydropower plant at the outlet of Kaunas WWTP (K3)

Design flow	Gross head m	Power capacity kW	Electricity MWh	Revenue k€	Initial costs k€	Simple payback yr	GHG red. tCO ₂	Pre-tax IRR %
1.0	4	28	185	18.5	76.3	5.5	50	19.5

Some preliminary layouts are provided to get a general insight into the conception (Fig. 1).

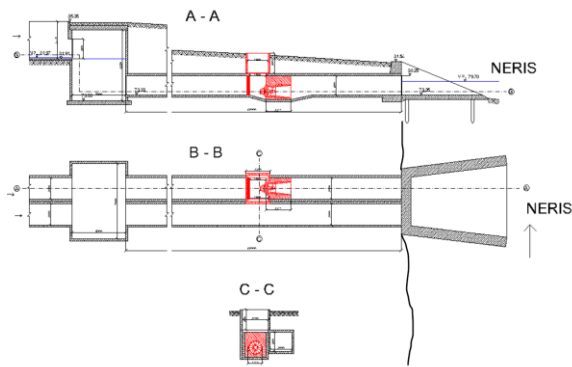


Fig.1. Preliminary layout of installing a submersible, modular turbine into an underground concrete chamber. Vilnius WWTP (V2). Receiving water body – the Neris River

Concluding remarks

RETSscreen application, a conventional hydropower project tool (only a module), requires a great deal of engineering preparation before it can be used to assess hydropower projects in water distribution systems. It can be easily adapted to complete feasibility studies and preliminary design of in-conduit hydro schemes.

Sewage water quality poses significant challenges for the operation of power generators, especially for radial or mixed-flow types of machines (e.g. PaT). It is evident that turbines should be designed explicitly for raw wastewater and operate without clogging or fouling caused by material in the fluid under any operating conditions within the range of service specified. This harsh environment can be considered when installing turbines in such locations. For hydropower systems using untreated wastewater, a trash rack chamber must be installed at the inlets of the penstock. It's a significant restriction for the scheme since the operation costs are likely high.

At the outlets of WWTPs, depending on the layout of the scheme, a conventional hydro turbine or PaT can be set up. In a sewage collection network (upstream WWTP) with existing inspection chambers on the mains, a more convenient way is to set up a PaT. The so-called bypass configuration is a classical layout for installing a turbine in a sewage pipeline system.

The potential residing in sewer systems of lowland areas in terms of power capacity resulting from mostly low-head sites cannot be compared to that of elevated topography.

References

1. **Bousquet C., Samora I., Manso P., Rossi L., Heller P., Schleiss A.J.** *Assessment of hydropower potential in wastewater systems and application to Switzerland*. Renewable energy 2017, 113, 64-73, DOI 10.1016/j.renene.2017.05.062.
2. **Power C., Coughlan P., McNabola A.** *Microhydropower Energy Recovery at Wastewater-Treatment Plants: Turbine Selection and Optimization*. Journal of energy engineering 2017, 143, 4016036, DOI 10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.0000383.
3. **California Energy Commission.** California's In-Conduit Hydropower Implementation Guidebook. A Compendium of Resources, Best Practices, and Tools. Final project report. Stantec Consulting Services Inc. 2020.
4. **López Fernández R., Serna González V. I., Bujedo L.A., Samaniego J., Mirete M., Steller J. et al.** *LIFE NEXUS: First European inventory of micro-hydroenergy recovery potential in the water industry. The 11th Polish hydropower conference*. HYDROFORUM, Abstracts of conf. contributions. Warszawa, 26-28.10.2022. pp. 35-39.
5. **Steller J., Krzemianowski Z., Hajdarowicz M.** *Recovery of energy dissipated in the municipal and industrial water cycles – selected technological aspects*. Abstracts of conf. contributions. Warszawa, 26-28.10.2022, pp.43-52
6. **LIFE NEXUS Project.** Available online: <https://www.lifenexus.eu/en/home/>
7. **Punys P., Jurevičius L.** *Assessment of Hydropower Potential in Wastewater Systems and Application in a Lowland Country, Lithuania*. Energies. 2022; 15(14):5173. <https://doi.org/10.3390/en15145173>
8. **RETSscreen.** Available online: <https://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465>

Authors

Petras Punys, PhD in Hydraulic Engineering. Since 2002, he is a Full Professor at the Department of Water Engineering of Vytautas Magnus University. He has written many papers on hydrology, hydropower, river basin management, and textbooks or chapters of books. Since 1993 he has been the chairman of the Lithuanian Hydropower Association. Participated in a number of EU and locally funded projects on small hydropower, water management issues.

Algirdas Radzevičius, PhD in Hydraulic Engineering, actually Professor at the Department of Water Engineering of Vytautas Magnus University. Since 2012 he has been the Director of Hydraulic Engineering Institute at Vytautas Magnus University. The main research area – alternative energy, wastewater treatment technologies, physical modelling of hydraulic processes. Led two EU and twelve national research projects, published more than 40 articles, 2 manuals, 9 course books.

Odzysk energii traconej w komunalnych obiegach wodnych - doświadczenia ze studiów przedwstępnych

Janusz Steller, Zbigniew Krzemianowski

Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk
e-mail: steller@imp.gda.pl, krzemian@imp.gda.pl

Adam Chlapek

T.I.S. Polska Sp. z o.o., Duchnice, Ożarów Mazowiecki
e-mail: a.chlapek@tispolska.pl

Marcin Rafacz

SEWiK
Tatrzańska Komunalna Grupa Kapitałowa Sp. z o.o.
Zakopane, e-mail: marcin.rafacz@sewik.com.pl

Mariusz Hajdarowicz

Remak Energomontaż, Gdańsk
e-mail: hajdarowicz.m@gmail.com

Arkadiusz Krawiec

KSB Polska Sp. z o.o., Bronisze, Ożarów Mazowiecki
e-mail: arkadiusz.krawiec@ksb.pl

Grzegorz Wygoda

Miejskie Przedsiębiorstwo Gospodarki Komunalnej
Krosno – Krośniński Holding Komunalny Sp. z o.o.
e-mail: grzegorz.wygoda@khk.krosno.pl

Potencjał i jego uwarunkowania

Powszechny dostęp do wody i energii to dwa z kluczowych celów zrównoważonego rozwoju (*Sustainable Development Goals, SDG*) zdefiniowanych przed laty przez Organizację Narodów Zjednoczonych. Cele te powiązane są ścisłym związkiem przyczynowo-skutkowym, określanym w literaturze anglojęzycznej mianem „nexus wodno-energetyczny”. Wyrazem tego związku jest m.in. znaczący udział sektora wodno-kanalizacyjnego w konsumpcji energii elektrycznej. W naszym kraju udział ten zbliżony jest do 2 %. W wielu krajach rozwiniętych sam sektor oczyszczania ścieków pochłania jednak 3 do 5 % konsumpcji energii elektrycznej [1]. Tymczasem woda jest dobrem nieodzownym do życia, a wobec obserwowanych zmian klimatycznych - coraz trudniej dostępnym. Jej magazynowanie, oraz zachowywanie jej wysokiej jakości w warunkach postępującego zużycia, wymaga rosnących nakładów inwestycyjnych i eksploatacyjnych.

Redukcji tych kosztów można dokonać m.in. poprzez odzysk energii odpadowej. W przypadku infrastruktury wodociągowej chodzi tu głównie o energię rozpraszaną w węzłach redukcji ciśnienia przy ujęciach wody, a także na wlotach do stacji uzdatniania wody, zbiorników wodnych oraz sieci dystrybucyjnej. W oczyszczalniach ścieków głównym źródłem energii odpadowej jest często biometan pozyskiwany z fermentacji osadów. W przypadku większych instalacji znaczący potencjał reprezentuje także energia hydrauliczna związana ze zrzutami ścieków oczyszczonych. Wyzyskanie energii rozpraszanej w takich miejscach uchodzi z reguły za przedsięwzięcie pożądane i opłacalne z uwagi na możliwość uniknięcia kosztownych inwestycji infrastrukturalnych, dużą przewidywalność parametrów ruchowych oraz brak niepożądanych oddziaływań środowiskowych.

Z uwagi na moc surową ograniczoną często do kilkudziesięciu, a nawet kilkunastu kilowatów, rezygnuje się często z użycia klasycznych turbin wodnych na rzecz rozwiązań specjalnych i uproszczonych, w tym pomp w ruchu turbinowym (PAT). Zastosowanie rozwiązań

uproszczonych przy jednoczesnym zachowaniu dotychczasowych parametrów ruchu węzła redukcji ciśnienia stawia szczególne wymagania wobec układu regulacji całej instalacji. Wyzwaniem jest zawsze krytyczny charakter instalacji wodno-kanalizacyjnych. Celem zachowania jej wysokiej niezawodności i regulacyjności hydrozespoły rekuperacyjne instaluje się z reguły na rurociągach obejściowych zaworów redukcyjnych lub tylko na jednym z równoległych kanałów zrzutowych. W przypadku węzłów redukcyjnych w sieciach wodociągowych szczególną uwagę zwraca się na przeciwdziałanie zjawisku uderzenia hydraulicznego, do którego doprowadzić może m.in. zrzut obciążenia hydrozespołu z wirową maszyną hydrauliczną, której rozbieg prowadzi do znaczącego spadku natężenia przepływu.

Unia Europejska od dłuższego czasu wspiera różne projekty ukierunkowane na rozpoznanie tzw. potencjału hydroenergetycznego „ukrytego” w istniejących instalacjach hydraulicznych, a także rozwój technologii specjalnie dostosowanych do jego wyzyskania. Na tego rodzaju cele zorientowany jest projekt Life NEXUS, realizowany od końca roku 2018 przez konsorcjum międzynarodowe, w skład którego wchodzi 3 podmioty z Hiszpanii i po jednej instytucji naukowej z Polski i Litwy. Jednym z kluczowych zadań realizowanych w ramach projektu jest opracowanie studiów przedwstępnych instalacji rekuperacyjnych wykorzystujących nadwyżki energii hydraulicznej w komunalnych obiegach wodnych. Podsumowanie niektórych praktycznych spostrzeżeń i wniosków, jakie pojawiły się przy tej okazji jest przedmiotem tego wystąpienia.

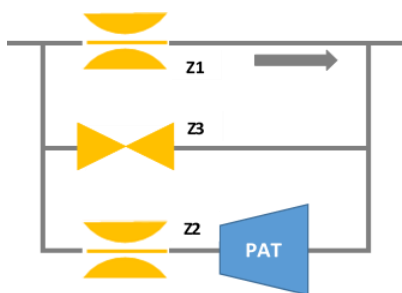
Dobór hydrozespołu

Jak wspomniano, hydrozespoły stosowane w układach wykorzystujących odpadową energię hydrauliczną można zaliczyć do trzech kategorii. Hydrozespoły klasyczne stosowane są zazwyczaj przy mocach instalowanych powyżej 100 kW. Ich oczywistą zaletą jest możliwość pracy z dobrą sprawnością w stosunkowo szerokim zakresie parametrów ruchowych. Moce maksymalne elektrowni rekuperacyjnych mogą sięgać nawet 30 MW [2]. Tak duże moce występują jednak tylko w

przypadku systemów wodnokanalizacyjnych wielkich miast położonych na terenie wysokogórkim.

Podobnie, jak w przypadku klasycznej energetyki wodnej, najbardziej uniwersalne okazują się hydrozespoły wyposażone w turbiny Francisa. Na terenach górskich i podgórkich dość często stosuje się turbiny akcyjne (Peltona, turgo lub Banki-Michella) – głównie na wlocie do stacji uzdatniania wody, zbiorników wyrównawczych lub sieci dystrybucyjnej. Niekiedy turbiny akcyjne spotyka się i na zrzutach oczyszczonej wody odpadowej do rzek płynących w dolinach górskich. Zazwyczaj spady dostępne na zrzutach są jednak niewielkie i dlatego rekomenduje się tu często turbiny typu Kaplan lub semi-Kaplan w różnych konfiguracjach.

Hydrozespoły uproszczone to bardzo często pompy w ruchu turbinowym (PAT), a zwłaszcza pompy odśrodkowe. Ich zaletą jest znacznie korzystniejsza cena i dostępność niż ma to miejsce w przypadku hydrozespołów klasycznych o podobnych parametrach znamionowych. Wadą jest niższa sprawność, ograniczony dostęp do charakterystyk ruchowych oraz ograniczona regulacyjność. W przypadku PAT opartych o pompy odśrodkowe, pracujących w zmiennych warunkach eksploatacyjnych jedynym rozwiązaniem, pozostaje zwykle regulacja dławieniowo-upustowa, której typowy schemat pokazano na rys.1. Jeśli za stan wyjściowy uznać pracę przy całkowicie zamkniętym zaworze dławieniowo-upustowym Z1 i całkowicie otwartym zaworze dławieniowym Z2, to zwiększenie przepływu przez węzeł można uzyskać otwierając zawór Z1, a jego zmniejszenie przynajmniej częściowo otwierając zawór Z2. Oczywiście ruch z otwartym zaworem Z2, a zatem i praca hydrozespołem są możliwe tylko w zakresie dostępnego spadku i wymaganego przepływu wynikających z charakterystyki ruchowej maszyny hydraulicznej. Pokazany na rys.1 zawór upustowy Z3 nie jest używany podczas normalnej pracy układu.



Rys.1 Schemat instalacji odzysku energii hydraulicznej z regulacją dławieniowo-upustową (nie pokazano zaworów odcinających instalację oraz cały węzeł)

Z opisaną wyżej regulacją związane są oczywiście znaczące straty energetyczne. Mimo zastosowania PAT o wysokiej sprawności, z analizy pracy układu odzysku energii dla komory K20 Miejskiego Przedsiębiorstwa Gospodarki Komunalnej w Krośnie wynika średnioroczna sprawność przetwarzania energii surowej na energię elektryczną na poziomie 43 %. W przypadku komory zasuw przed zbiornikiem Murowaniec (SEWiK Zakopane), sprawność ta spada do około 40 %.

Mimo ww. niedoskonałości, zastosowanie PAT w układach odzysku energii hydraulicznej i niektórych mikro-

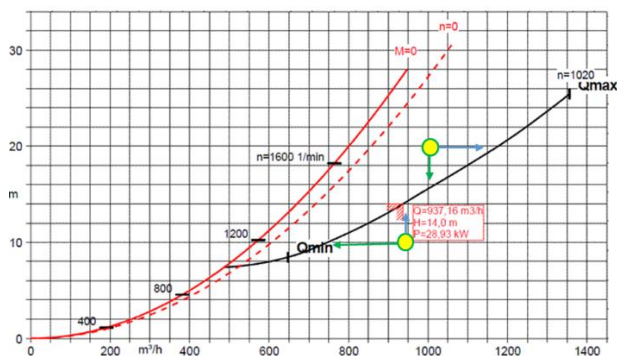
elektrowniach wodnych uważa się często za przedsięwzięcia uzasadnione technicznie i ekonomicznie. Celem upowszechnienia tej technologii od lat 70-tych prowadzone są prace badawcze i badawczo-rozwojowe nad związkami między charakterystykami energetycznymi pomp w ruchu pompowym i turbinowym oraz konstrukcją wirników turbinowych przeznaczonych do współpracy z elementami stałymi pomp. Liderem wśród dostawców PAT stała się firma KSB AG, której ośrodek badawczo-rozwojowy przeprowadził w tym celu systematyczne badania kilku typoszeregów produkowanych pomp [3]. Uzyskane charakterystyki PAT, opartych o typoszeregi Etanorm i Omega, wskazują na sprawności układające się w dość szerokiej części zakresu pracy (np. $Q > 0,65 Q_{max}$) na poziomie zbliżonym do 80 %. Badania pomp z wirnikami przeznaczonymi do pracy turbinowej prowadzi obecnie m.in. firma Hydro-Vacuum SA z Grudziądza.

Hydrozespoły dedykowane to przede wszystkim urządzenia *in-conduit*, instalowane bezpośrednio w rurociągu – takie, jak hydrozespoły gruszkowe wyposażone w generatory z magnesami stałymi lub hydrozespoły z turbinami sferycznymi (typu Gorlowa). W hydrozespołach tych zapewnia się często możliwość regulacji obrotów utrzymując łopatki w położeniu stałym. Rozwiązania takie stosuje się w przypadku niewielkich mocy i spadów oraz ograniczonej przestrzeni na instalacje hydrozespołów innego typu. Do hydrozespołów specjalnych należy zaliczyć także zespoły prądotwórcze wyposażone w turbiny hydrokinetyczne, a zwłaszcza turbiny o przepływie poprzecznym. Ich zastosowanie może być niekiedy zasadne na zrzutach wody z oczyszczalni bez możliwości budowy odpowiedniego piętrzenia. Oczywiście, uzyskiwana moc użyteczna jest ograniczona warunkami instalacyjnymi i współczynnikiem wykorzystania energii przepływu.

Układ nadzoru i sterowania – stany ustalone

Dla analizy techniczno-ekonomicznej zasadności planowanej inwestycji (przedwstępne studium wykonalności) kluczowe znaczenie ma prognoza produkcji energii elektrycznej. Zwykle wymaga się, by po oddaniu do eksploatacji układu odzysku energii w węzle redukcji ciśnienia można było zachować dotychczasowe parametry ruchu. Dlatego prognozę produkcji energii opiera się zazwyczaj na wynikach rejestracji natężenia przepływu oraz ciśnień na wlocie i wylocie z węzła przed instalacją zespołu rekuperacyjnego, chociaż w przypadku, gdy węzeł nie zasila bezpośrednio sieci dystrybucyjnej możliwa jest optymalizacja pozwalająca na wydłużenie czasu pracy hydrozespołu kosztem pracy zaworu Z1.

Sposób wyznaczenia punktu pracy PAT na podstawie wartości wynikających bezpośrednio z warunków pracy węzła redukcji ciśnienia ilustruje rys.2. Praca hydrozespołu jest możliwa, gdy wartości dostępnego spadku i natężenia przepływu przekraczają jednocześnie wynikające z rys.2 wartości graniczne. W przypadku, gdy punkt pracy węzła położony jest powyżej charakterystyki $H = H(Q)$, zakłada się dławienie zaworem Z2. W przypadku, gdy położony jest niżej – nadmiarowy przepływ jest upuszczany zaworem Z1.



Rys.2 Wyznaczanie punktów pracy PAT Omega 300-300A na charakterystyce H-Q (zielone strzałki) na podstawie założonych warunków pracy węzła redukcji ciśnienia (komora zasuw zbiornika Murowaniec). Charakterystyka PAT wg oferty firmy KSB AG

Układ przetwarzania hydraulicznej energii odpadowej stanowi integralną część węzła redukcji ciśnienia lub instalacji zrzutowej. Z ich poziomu powinien być też sterowany systemem SCADA. Ww. zasada integralności układu hydraulicznego nie oznacza rezygnacji z autonomicznych funkcji poszczególnych organów regulacyjnych. Typowym parametrem zadawanym w przypadku węzła redukcji ciśnienia jest ciśnienie na wylocie, zaś w przypadku instalacji zrzutowej – ciśnienie lub poziom wody na wlocie instalacji.

Dla realizacji opisanego wcześniej scenariusza regulacji węzła redukcji ciśnienia w ruchu ustalonym kluczowe znaczenie ma oczywiście zawór Z2, który powinien być przystosowany do pracy w szerokim zakresie przepływów z niskimi oporami hydraulicznymi przy pełnym otwarciu. Ostatniego warunku nie spełniają zawory żaluzjowe, natomiast klasyczne zawory tłokowe charakteryzują się często ceną wyższą niż cena hydrozespołu. Dobrym rozwiązaniem bywa zawór motylowy pod warunkiem, że wcześniejsza analiza wykluczy zagrożenie kawitacyjne, które może doprowadzić do szeregu niepożądanych skutków. W przypadku, gdy zagrożenie takie jest nieuchronne, zawór motylowy można zastąpić zaworem membranowym [4] z oprzyrządowaniem elektronicznym i hydraulicznym utrzymującym stałe ciśnienie w wybranym punkcie za zaworem. Domyślnie jest to wlot do maszyny rekuperacyjnej lub miejskiej sieci wodociągowej bezpośrednio za zaworem, ale w przypadku komory zasuw przed zbiornikiem Murowaniec zaproponowano sterowanie w bezpośredniej zależności od różnicy między mierzoną a zadawaną wartością ciśnienia na wlocie do zbiornika, znajdującego się za planowanym miejscem instalacji maszyny typu PAT.

Uniknięcie przypadkowego otwierania zaworu Z1 podczas pracy hydrozespołu powinno zapewnić przesunięcie pasm regulacyjnych zaworów Z1 i Z2. Dzięki temu zawór Z1 pozostaje zamknięty dopóki dopóki ciśnienie na wylocie z instalacji (wlocie do sieci wodociągowej lub do zbiorników) nie spadnie poniżej dolnej granicy jego pasma regulacji. Np. w przypadku komory K20 MPKG Krosno zawór Z1 zapewnia ciśnienie 380 do 400 kPa na wlocie sieci wodociągowej miasta Krosna. Otóż proponuje się, by podczas pracy hydrozespołu zawór Z2 pozostawał na tyle otwarty, by zapewnić ciśnienie w pa-

śmie 400 do 420 kPa. Jeśli ciśnienie spadnie jednak poniżej 380 kPa, zawór Z1 zacznie się otwierać, tak by przywrócić ciśnienie w zakresie 380÷400 kPa. Zawór Z2 będzie w tym czasie pozostawać maksymalnie otwarty (poza pasmem regulacji). Przyczyną spadku ciśnienia na wlocie do sieci miejskiej może być wzrost poboru wody. Może nią być jednak gwałtowny spadek natężenia przepływu przez hydrozespół wskutek zrzutu obciążenia.

Układ nadzoru i sterowania – zrzut obciążenia

Przebieg charakterystyk przepływowych sprawia, że zrzut obciążenia hydrozespołu wyposażonego w pompę odśrodkową lub helikoidalną w ruchu turbinowym związany jest z gwałtownym zmniejszeniem natężenia przepływu przez PAT. Grozi to wprost uderzeniem hydraulicznym w rurociągu doprowadzającym wodę do instalacji. Jedną z najprostszych i najczęściej stosowanych metod zapobiegania zjawisku polega na zastosowaniu zaworów upustowych (zawór Z3 na rys.1). Z uwagi na konstrukcję i zasadę działania funkcje tę spełniają dobrze zawory membranowe.

W przypadku komory K20 MPKG Krosno rozważa się jednak rezygnację z zaworu Z3 i powierzenie jego funkcji zaworowi Z1. Jest to możliwe dlatego, że zawór Z1 w komorze K20 jest zaworem membranowym i po odpowiednim przebrojeniu, jego czas reakcji okaże się wystarczająco krótki, by zapobiec uderzeniu hydraulicznemu, które w przypadku tej instalacji i tak charakteryzowałoby się niską amplitudą. Zrezygnować z zaworu Z3 nie można w przypadku komory zasuw zbiornika Murowaniec w Zakopanem. W charakterze zaworu Z1 planuje się użycie tutaj dotąd eksploatowanego zaworu żaluzjowego o bardzo długim czasie przestawiania. Poza tym zagrożenie uderzeniem hydraulicznym jest tu wyższe z powodu dużych prędkości przepływu.

Magazyny wody i energii

Magazyn energii może mieć istotne znaczenie dla operatora infrastruktury wodnokanalizacyjnej zmierzającego do optymalizacji gospodarki energetycznej poprzez ograniczenie lub całkowite wykluczenie poboru energii z sieci zewnętrznej. Taki właśnie cel założyli sobie projektanci pilotowego układu odzysku energii hydraulicznej przy stacji uzdatniania wody w miejscowości Porma w Hiszpanii [5].

Jednak, instalacja elektrochemicznego magazynu energii może okazać się zasadna również z innych względów. Nawet niezbyt wielki magazyn jest w stanie zabezpieczyć przed zrzutem obciążenia w warunkach zaniku napięcia w sieci elektroenergetycznej, a następnie zapewnić autonomiczną pracę urządzeń w warunkach przedłużającej się awarii sieciowej. Jest to cecha o bezspornym znaczeniu w przypadku tzw. infrastruktury krytycznej. Rozwiązanie takie było rozważane podczas prac studialnych nad obu wymienionymi tu instalacjami.

Funkcję magazynów energii mogą pełnić też zbiorniki wyrównawcze, na wlocie których znajduje się komora redukcji ciśnienia wraz z instalacją rekuperacyjną. Podczas prac studialnych nad instalacją przy zbiorniku Murowaniec zaproponowano utworzenie niezbyt grubej

„warstwy energetycznej” bezpośrednio pod docelowym poziomem piętrzenia. Po uzyskaniu poziomu piętrzenia powyżej dolnej granicy warstwy (z dokładnością do histerezy) przewiduje się zaniechanie pracy zaworem Z1. Oczekuje się, że taki sposób pracy przyczyni się do wzrostu średniorocznej sprawności energetycznej instalacji rekuperacyjnej.

Podziękowania

Niniejszy tekst powstał w wyniku realizacji projektu Life NEXUS finansowanego ze środków programu Komisji Europejskiej *LIFE Environment and Resource Efficiency* (LIFE17 ENV/ES/000252) oraz Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Przywołania

1. **Steller J., Hajdarowicz A., Krzemianowski Z.:** *Odzysk energii traconej w komunalnych i przemysłowych obiegach wodnych - wybrane aspekty technologiczne*, HYDROFORUM 2022. Książka streszczeń, TEW / IMP PAN, Warszawa/Gdańsk, 2022, s.43-52
2. **Villagómez A.:** *Know-how for Small Power Hydro (SPH) development. Public sector company experience. EPMAPS case*. HYPOSO Workshop on Small Hydro-power Framework Conditions in Ecuador, Quito, 26 July 2022
3. *Turn the Tide on Energy Needs*. 0291.022-EN/2 / 07.12 / KSB Aktiengesellschaft 2012, ulotka informacyjna
4. Materiały informacyjne firmy *T.i.S. Nuoval*, <https://www.latis-service.com/en/products/nuoval-line/acv-automatic-control-valve-diaphragm>
5. **Samaniego J., Bujedo L.A., López Fernández R.M., Serna González V.I., Mirete M., Page J.:** *Energy recovery in a DWTP using an innovative micro-hydro-power system based on the integration of a Pump as Turbine and an energy storage*. HYDROFORUM 2022. Książka streszczeń, TEW / IMP PAN, Warszawa/Gdańsk, 2022, s.55-58

Autorzy

Janusz Steller, dr hab., w roku 1977 ukończył studia na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Gdańskiego w specjalności fizyka teoretyczna. Od tego czasu pracownik Instytutu Maszyn Przepływowych PAN, który w roku 1984 nadał mu stopień doktora nauk technicznych. W roku 2019 Senat Politechniki Wrocławskiej nadał mu stopień doktora habilitowanego. Obecnie starszy specjalista w Ośrodku Energetyki Ciepłej IMP PAN. Prezes Zarządu Towarzystwa Elektrowni Wodnych (TEW). Zawodowo zajmuje się badaniem zjawiska kawitacji i erozji kawitacyjnej, a także zagadnieniami energetyki wodnej. W przeszłości również: obliczeniami projektowymi oraz metodyką badań energetycznych i diagnostycznych hydraulicznych maszyn wirnikowych.

Zbigniew Krzemianowski, dr inż., ukończył Wydział Mechaniczny Politechniki Gdańskiej w roku 1998. W roku 2003 uzyskał stopień doktora nauk technicznych na Politechnice Gdańskiej. Od tego czasu zatrudniony jest w Instytucie Maszyn Przepływowych PAN – od drugiej połowy 2022 roku w Ośrodku Energetyki Ciepłej. Zawodowo zajmuje się trójwymiarową analizą przepływu cieczy (CFD), projektowaniem turbin wodnych, badaniami maszyn hydraulicznych w warunkach laboratoryjnych i eksploatacyjnych, a także numerycznym modelowaniem zjawiska kawitacji.

Mariusz Hajdarowicz, mgr inż. ukończył Wydział Oceanotechniki i Okrętownictwa Politechniki Gdańskiej w roku 1996. Pracę zawodową rozpoczął w roku 1996 w Zakładach Remontowych Energetyki Gdańsk Sp. z o.o. W latach 1999-2002 pracował w firmie *Gajek Engineering* Sp. z o.o. Następnie od roku 2002 pracował w firmie ZRE Gdańsk Sp. z o.o.. W roku 2006 został kierownikiem utworzonego Działu Rozwoju firmy ZRE Gdańsk, który to dział tworzył i rozwijał w kolejnych latach. Odpowiadał m.in. za kontakty i współpracę ZGE Gdańsk ze światem nauki. Zawodowo zajmuje się szeroko pojętą energetyką wodną, doбором turbin wodnych i obliczeniami ich parametrów. Od roku 2021 w firmie *Remak Energomontaż*. W latach 2022-2023 zatrudniony jako starszy specjalista w IMP PAN w związku z realizacją projektu Life NEXUS.

Adam Chlapek, tech. dypl., w latach 1992-1996 studiował na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej, specjalność Systemy Ochrony Atmosfery (bez formalnego ukończenia). W latach 1996 – 2001 prowadził własną firmę, jednocześnie w latach 1998 – 2005 związany był z firmą Kucza Sp.J., wyłącznym dystrybutorem w Polsce reduktorów ciśnienia prod. Małgorani (Włochy), w której kierował sprzedażą hurtową oraz serwisem tych urządzeń. W latach 2005 – 2012 zajmował się doradztwem technicznym w firmach dystrybucyjnych Tadmar S.A. oraz Rurex Sp. z o.o. W 2012 r. został zatrudniony w T.I.S. Polska na stanowisku Product Managera, a w 2018 r. objął stanowisko Dyrektora Technicznego firmy, w której odpowiada za dobór rozwiązań technicznych na potrzeby ofertowania oraz dostaw związanych z kluczowymi projektami

Arkadiusz Krawiec, mgr inż. ukończył Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach w roku 1999. Pracę zawodową rozpoczął w tym samym roku w firmie KSB Pompy i Armatura Sp. z o.o. i kontynuuje ją do chwili obecnej. Podczas wielu lat pracy w tej firmie brał udział w realizacji wielu ciekawych projektów, zdobywając jednocześnie cenne doświadczenie związane z techniką pompową. Jako pasjonata ekologii zawsze interesowały go rozwiązania pro-ekologiczne, które firma KSB miała i ma swojej ofercie. W szczególności dotyczy to wykorzystania pomp do produkcji energii elektrycznej (PAT), czy biogazownie.

Marcin Rafacz, absolwent Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, gdzie uzyskał tytuł magistra inżyniera w dziedzinie automatyki i robotyki w 2002 roku. Jego kariera w branży wodociągowej rozpoczęła się w 2003 roku, w firmie SEWIK Zakopane, gdzie na początku pełnił funkcję Kierownika Działu Rozwoju a następnie Kierownika Działu Technicznego i Inwestycji. Jego praca obejmuje m.in. koordynację projektów inwestycyjnych w szczególności projektów automatyzacji procesów uzdatniania wody, monitorowania sieci wodociągowej i kanalizacyjnej oraz projektów informatycznych. Ponadto prowadzi własną działalność gospodarczą, realizując kompleksowe projekty od koncepcji i programów funkcjonalnych, aż po gotowe systemy monitoringu i automatyki dla branży wodociągowej. Angażuje się także w prace rozwojowo-badawcze oraz komercjalizację innowacyjnych projektów z branży energetycznej

Grzegorz Wygoda, mgr inż., ukończył Wydział Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej w 1996 roku, specjalność „Zaopatrzenie w wodę, unieszkodliwianie ścieków i odpadów”. Od 1997 roku pracuje w Wodociągach Krośnieńskich. Obecnie kieruje Zakładem Uzdatniania Wody w Sienawie usytuowanym przy zaporze wodnej „Besko” na rzece Wisłok. Zawodowo oprócz tematów związanych z uzdatnianiem wody, zajmuje się również procesami inwestycyjnymi przy budowie rurociągów, pompowni, stacji redukcyjnych.

Sesja VII

Odzysk energii hydraulicznej (sesja projektu Life NEXUS, część 2)

Session VII

Hydraulic energy recovery (Life NEXUS Project Session - Part 2)

- 7.1. Arkadiusz Krawiec:
*Pompa jako źródło energii*¹
- 7.2. Marcin Janczak, Witold Lorenz:
*Miniturbiny THV – wybrane aspekty prac badawczych*¹
- 7.3. Adam Chlapek:
*Armatura grupy T.I.S. w zastosowaniach dla potrzeb energetyki wodnej i obiektów hydrotechnicznych*¹
- 7.4. Arkadiusz Kamiński, Mariusz Lewandowski, Adam Adamkowski, Waldemar Janicki, Maciej Kaniecki, Stanisław Lewandowski:
Odzysk energii wodnej traconej w procesach technologicznych - problemy projektowania algorytmów sterowania

¹ Wystąpienie zawiera treści o charakterze komercyjnym

Notatki

Notes

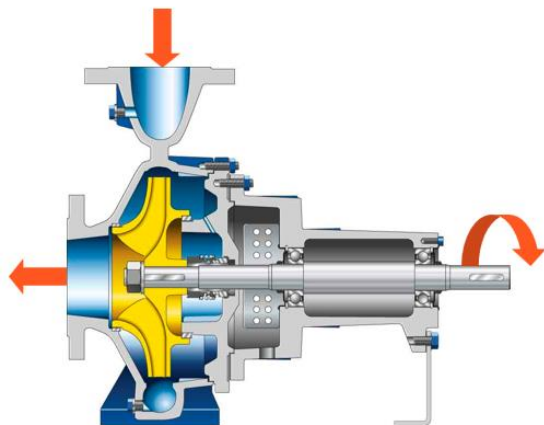
Pompa jako źródło energii

Arkadiusz Krawiec

KSB Polska Sp. z o.o., Bronisze
e-mail: arkadiusz.krawiec@ksb.pl

Wstęp

Firma KSB już od 45 lat zajmuje się tematyką dotyczącą pomp pracujących jako turbiny. Aspekty środowiskowo - klimatyczne, a także niestabilna sytuacja geopolityczna mająca bezpośredni wpływ na bardzo duże wahania cen energii pozyskiwanej z konwencjonalnych źródeł sprawiają, że występuje zwiększony popyt na alternatywne i odnawialne źródła energii we wszystkich segmentach rynku. Zakłada się, że tylko w samych Niemczech istnieją potencjalne możliwości w zakresie wykorzystania pomp jako turbin (PAT) rzędu około 100 – 250 MW zainstalowanej mocy elektrycznej. Większość tego potencjału tracona jest obecnie na przykład w systemach transportu wody lub instalacjach przemysłowych na armaturze dławiącej, chociaż jego wykorzystanie za pomocą PAT jest bardzo proste pod względem technicznym i niezwykle ekonomiczne. Przez zmianę kierunku przepływu wody przez pompę zmienia się kierunek wirowania wirnika i powstaje z niej turbina (rys.1). Jest to prosty i niedrogi sposób na produkcję lub odzysk energii.



Rys.1 Praca turbinowa pompy (PAT)

Zastosowania

Pompy pracujące jako turbiny (PAT) są przydatne wszędzie tam, gdzie występują różnice ciśnienia (np. wysokość spadku cieczy) i przepływ. Dzięki naszym pompom, generowanie i odzyskiwanie energii jest łatwe i bardzo tanie. W rezultacie, pompy jako turbiny mogą być wykorzystywane wszędzie tam, gdzie wysokie koszty inwestycji sprawiają, że generowanie energii przy użyciu konwencjonalnej turbiny jest nieopłacalne.

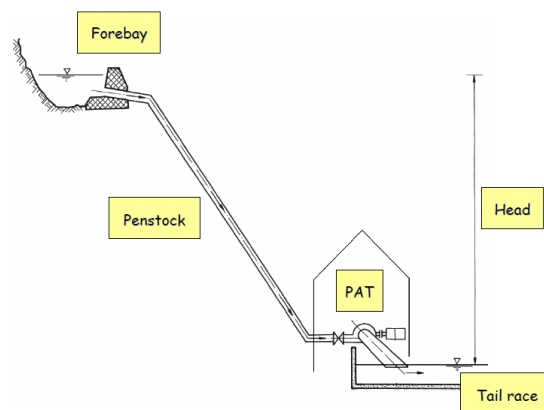
Dzięki szerokiej gamie pomp dostępnych w programie produkcji KSB, systemy PAT można zastosować w bardzo wielu aplikacjach.

- Zakłady przemysłowe (w których wykorzystywane są urządzenia dławiące praktycznie każdego typu)
- Systemy transportu wody (odpływ ze zbiorników wodnych)
- Małe systemy hydroenergetyczne
- Zapory rzeczne
- Procesy chemiczne i petrochemiczne (np. systemy oczyszczania gazu)
- Spusty denne zbiorników retencyjnych
- Systemy dostarczające olej
- Odwrócona osmoza

Uzyskana energia może zostać oddana do publicznej sieci elektrycznej (praca sieciowa) i/lub dostarczona odbiorcom wewnętrznym (praca wyspowa). Możliwe jest także bezpośrednie sprzężenie pompy jako turbiny z urządzeniem napędowym w celu zmniejszenia obciążenia napędu bądź całkowitego zastąpienia go.

Planowanie

Przed przystąpieniem do montażu systemu PAT, należy przeprowadzić analizę pod kątem czasowego rozkładu przepływu i wysokości spadku cieczy. Mając te dane można zaprojektować najefektywniejszy i najbardziej ekonomiczny pod względem wielkości system PAT.



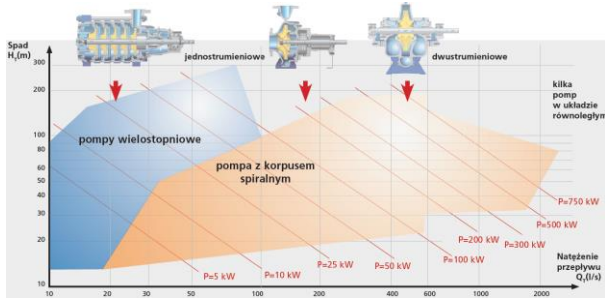
Rys.2 Przykładowy schemat instalacji PAT

Podczas planowania systemu PAT należy postępować według następujących zasad:

- Wspólnie z doradcą reprezentującym KSB przygotować rozplanowanie systemu PAT
- Omówić koncepcję instalacji (systemy elektryczne/elektroniczne i mechaniczne)
- Określić elektroniczną i mechaniczną integrację PaT z otoczeniem

Produkty

Firma KSB posiada bardzo szerokie portfolio produkowanych pomp. Niemniej jednak do pracy w trybie turbinowym zdecydowaliśmy się wybrać tylko te, które naszym zdaniem najlepiej sprawdzą się w tych warunkach. Wybór typoszeregów podyktowany był również chęcią zapewnienia odzysku energii w instalacjach o różnych parametrach hydraulicznych i warunkach zabudowy. Pompy z typoszeregów Multitec, Etanorm, Omega pojedynczo umożliwiają uzyskanie energii od 0,5 kW do 750 kW. Zakres obsługiwanych przez nie parametrów hydraulicznych przedstawia nomogram na rysunku nr 3.



Rys.3 Parametry hydrauliczne PAT KSB

Bezpieczeństwo

Należy dbać, by system PAT zawsze znajdował się w bezpiecznym zakresie pracy. Aby mieć taką pewność, że tak jest, wybrany typ pompy musi wytrzymać podwyższony poziom obciążenia, a wszystkie obracające się części muszą być wykonane w wersji niezależnej od kierunku wirowania.

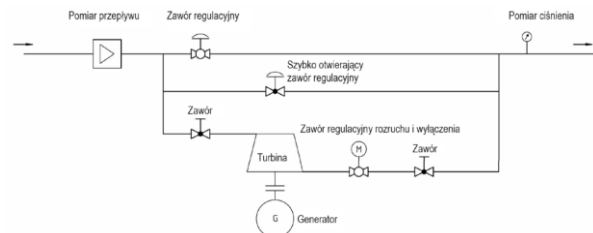
W przypadku awaryjnego zrzutu obciążenia (np. awaria sieci elektrycznej w pracy sieciowej), "turbina" przyspieszy do prędkości rozbiegowej. Dlatego ważne jest, aby odpowiednio zabezpieczyć system przed nadmierną prędkością np. poprzez hamulec bezpieczeństwa.

Innym groźnym zjawiskiem, który może wystąpić w tego typu instalacjach jest uderzenie hydrauliczne. Może ono powstać w skutek nagłego zamknięcia zaworu lub wzrostu prędkości obrotowej turbiny. Projektując taką instalację należy wykonać stosowane obliczenia i przewidzieć odpowiednie elementy na instalacji, które wyeliminują to zjawisko.

Regulacja systemu PAT

Istnieją 3 sposoby regulacji systemów z turbiną pompową, które umożliwiają najbardziej efektywne wykorzystanie zmieniających się parametrów hydraulicznych układu. Przed wyborem odpowiedniego sposobu należy jednak ustalić, czy system PAT będzie podpięty do zewnętrznej sieci energetycznej, czy też będzie produkował energię na własne potrzeby (praca wyspowa). W przypadku tego pierwszego sposobu, generowana moc jest przekazywana do zewnętrznej sieci elektrycznej i częściowo zużywana na własne potrzeby. W pracy wyspowej prąd wygenerowany musi być w całości zużyty przez podłączone do tej sieci urządzenia bądź zmagazynowany.

Najprostszym i najtańszym sposobem regulacji systemu z turbiną pompową jest jej układ dławieniowo-upustowy. W tym wypadku system musi być zaprojektowany tylko dla jednego konkretnego natężenia przepływu oraz jednej wysokości spad. W razie zmiany tych parametrów musi być możliwość ich zmiany poprzez zastosowanie armatury dławiącej i/lub obejść by-pass. To oczywiście oznacza, że część potencjału energetycznego zostanie utracona. Z drugiej jednak strony, takie systemy są nieskomplikowane technicznie, łatwe w kontrolowaniu i przede wszystkim, bardzo tanie. Stała prędkość obrotowa jest utrzymywana poprzez istniejącą sieć elektroenergetyczną. Rysunek 4 przedstawia schemat hydrauliczny takiego systemu.



Rys.4 Schemat hydrauliczny PAT

Innym sposobem regulacji systemów PAT jest wykorzystanie elementów umożliwiających zmianę prędkości obrotowej turbiny i dopasowanie jej charakterystyki do zmieniających się warunków hydraulicznych. W tym przypadku eliminowane są straty powodowane dławieniem układu. Zmianę prędkości obrotowej turbiny można uzyskać między innymi za pomocą przetwornicy częstotliwości. W połączeniu ze standardowymi silnikami trójfazowymi stanowi opłacalne rozwiązanie umożliwiające zwiększenie elastyczności systemu. Należy jednak pamiętać, że przetwornice częstotliwości nie mogą być stosowane do zasilania sieci w pracy wyspowej. Innym sposobem zmiany prędkości obrotowej turbiny może być przekładnia z możliwością regulacji przełożenia. W tym przypadku należałoby jednak sprawdzić efektywność systemu ze względu na gorsze sprawności tego typu urządzeń.

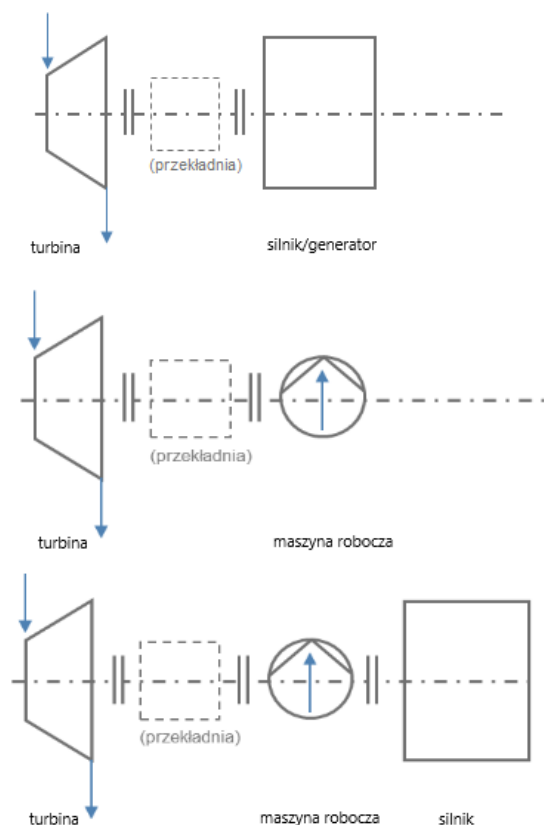
Dużą elastyczność systemu można osiągnąć stosując układ równoległy kilku turbin pompowych. Ten sposób regulacji jest szczególnie zalecany przy dużych wahańach przepływu. Przykład tego typu system przedstawia rysunek nr 5.



Rys.4 Turbiny pompowe w układzie równoległym

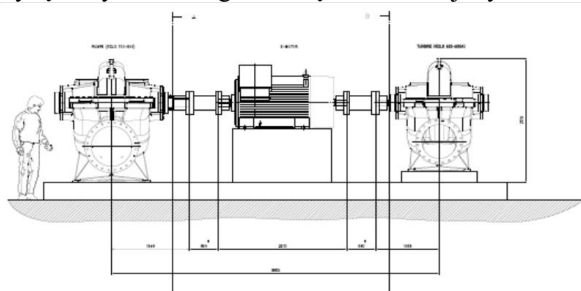
Warianty montażu

Turbina pompowa może być połączona z generatorem/silnikiem bądź innymi elementami napędowymi w różny sposób. Warianty montażu pokazuje rysunek nr 5.

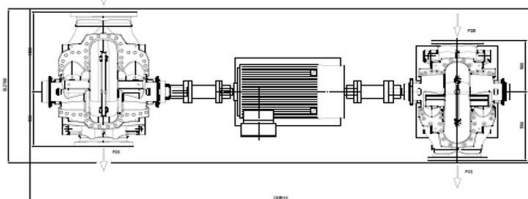


Rys.5 Warianty montażu

Turbina pompowa nie musi być połączona z silnikiem/generatorem za pomocą sprzęgła. Można też zastosować napęd poprzez przekładnię ze stałym bądź zmiennym przełożeniem. Turbina ta może być też wykorzystywana do bezpośredniego napędu jakiejś innej maszyny np. innej pompy. Bardzo ciekawym rozwiązaniem jest również zastosowanie turbiny pompowej do wspomaganie pracy silnika napędzającego inną maszynę. Przykład takiego rozwiązania ilustruje rysunek 6.



Maszyna robocza + silnik + turbina



Rys.5 Turbina pompowa wspomagająca pracę agregatu pompowego

Podsumowanie

Wykorzystanie pomp jako turbin jest opłacalne ze względu na szybki zwrot nakładów inwestycyjnych. Pompy KSB oferowane jako turbiny są seryjnymi produktami, których cena i dostępność są znacznie korzystniejsze niż tradycyjne turbiny. Zdecydowanie krótszy czas dostawy pomp sprawia, że inwestycja może być zrealizowana w krótszym czasie, a relatywnie wysoka sprawność tych maszyn zapewni efektywne pozyskanie energii.

Ważnym aspektem są również niższe koszty konserwacji i utrzymania, gdyż serwisowanie pomp jest znacznie tańsze niż tradycyjnych turbin. Pompa pracująca jako turbina nie jest obecnie powszechnym rozwiązaniem, ale zalety tego typu systemów powinny sprawić, że w przyszłości turbiny pompowe będziemy spotykać coraz częściej.

Przywołania

1. Materiały szkoleniowe i promocyjne firmy KSB AG

Autorzy

Arkadiusz Krawiec, mgr inż. ukończył Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach w roku 1999. Pracę zawodową rozpoczął w tym samym roku w firmie KSB Pompy i Armatura Sp. z o.o. i kontynuuje ją do chwili obecnej. Podczas wielu lat pracy w tej firmie brał udział w realizacji wielu ciekawych projektów, zdobywając jednocześnie cenne doświadczenie związane z techniką pompową. Jako pasjonata ekologii zawsze interesowały go rozwiązania pro-ekologiczne, które firma KSB miała i ma swojej ofercie. W szczególności dotyczy to wykorzystania pomp do produkcji energii elektrycznej (PAT), czy biogazownie.

Miniturbiny THV – wybrane aspekty prac badawczych

Marcin Janczak, Witold Lorenz

R&D Department Hydro-Vacuum, Grudziądz
e-mail: m.janczak@hv.pl, w.lorenz@hv.pl

Geneza projektu

Prezentowane wyniki badań stanowią część prac realizowanych w Hydro-Vacuum S.A. w ramach projektu pt. „Prace badawcze nad opracowaniem zintegrowanej innowacyjnej konstrukcji miniturbin i pomp normowych”. Projekt współfinansowany jest z Funduszy Europejskich w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój - konkurs: Szybka Ścieżka. Celem projektu jest opracowanie i wdrożenie do produkcji zintegrowanego typoszeregu innowacyjnych pomp i miniturbin bazujących na wspólnych - produkowanych seryjnie podzespołach. Ma to zapewnić dużą dostępność miniturbin i ich relatywnie niską cenę, w porównaniu do projektowanych i produkowanych indywidualnie turbin. Realizacja projektu obejmuje opracowanie nowego, wysokosprawnego typoszeregu 12 pomp oraz miniturbin ze specjalnie opracowanymi wirnikami typu Francisa wraz z kierownicami o następujących parametrach w pracy turbinowej: przepływ Q wynoszący od 100 do 1000 m³/h (0,0278 – 0,278 m³/s) oraz spad H od 10 do 60 m.

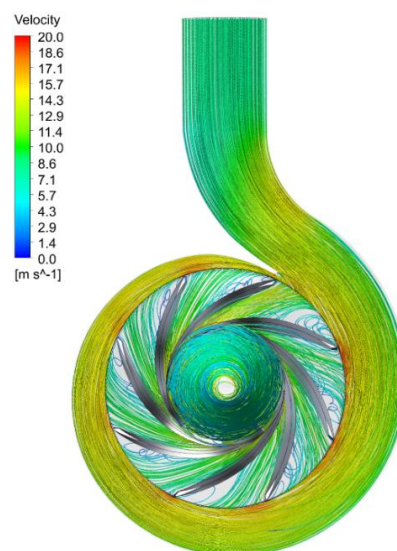
Maszyny do odzysku energii dla układów o relatywnie niskim przepływie

W ostatnim czasie odnotowuje się coraz większe zainteresowanie wykorzystaniem pomp do pracy w ruchu turbinowym. Jest to dobrym rozwiązaniem w układach, dla których nie opłaca się projektować dedykowanych turbin wodnych lub ze względu na parametry pracy takie jak temperatura czy skład chemiczny byłoby to bardzo trudne. Pewnym problemem w ich zastosowaniu są niedoskonałe modele matematyczne, służące do obliczenia rzeczywistych parametrów pracy w tym sprawności i w większości brak szeroko dostępnych rzeczywistych charakterystyk energetycznych pracy pomp w ruchu turbinowym. Istnieje co najmniej kilka algorytmów wyznaczania parametrów pracy pomp w ruchu turbinowym. Dają one rozbieżne rezultaty, a na podstawie badań autorów dość mocno nie sprawdzają się w szczególności dla pomp o małych gabarytach z wąskimi kanałami przepływowymi wirników. W związku z powyższym w 2021 r. w Hydro-Vacuum S.A. w Grudziądzu rozpoczęto prace nad budową typoszeregu miniturbin o przepływie od 100 do 1000 m³/h, do których produkcji wykorzystane są elementy konstrukcyjne nowoprojektowanych pomp, wymiarowo zgodnych z normą PN-EN 733 (średnice króćców przyłączeniowych: DN125, DN150 i DN200). Podstawowym założeniem projektu jest wy-

korzystanie seryjnie produkowanych korpusów oraz napędów pomp i zabudowa w nich specjalnie zaprojektowanych układów przepływowych turbin. Takie podejście ma zapewnić relatywnie niski koszt wytworzenia maszyny. Zaprojektowanie i przebadanie na stanowisku doświadczalnym rodziny 12 miniturbin ma umożliwić łatwy i szybki dobór rozwiązania konstrukcyjnego do danych parametrów pracy oraz gwarantuje wysoką pewność uzyskania wymaganej sprawności.

Przeprowadzone prace badawcze

Projekt miniturbin realizowany jest wspólnie z Katedrą Inżynierii Konwersji Energii, Wydziału Mechaniczno-Energetycznego, Politechniki Wrocławskiej. Głównym problemem badawczym projektu jest adaptacja istniejących algorytmów projektowania klasycznych turbin wodnych do maszyn o relatywnie małych rozmiarach i niskich przepływach. Próby projektowania miniturbin z wykorzystaniem klasycznych algorytmów zakończyły się uzyskaniem bardzo niskich sprawności, co spowodowało konieczność określenia nowych wytycznych projektowych. W tym celu zbudowano sparametryzowany model układu przepływowego miniturbin i poddano go wielowariantowej optymalizacji z wykorzystaniem najnowszych metod obliczeniowych numerycznej mechaniki płynów (CFD).



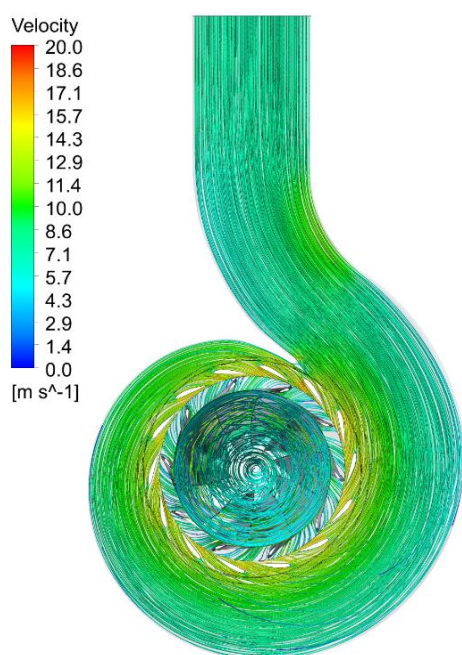
Rys. 1. Trajektorie cząstek cieczy z prędkościami przepływu miniturbin THV

Model numeryczny miniturbin zbudowany był z trzech brył; spirala, wirnik, rura ssąca. Obliczenia realizowano za pomocą komercyjnego kodu obliczeniowego Ansys CFD Ultimate. Model dyskretny bazował na elementach czworo i pięciościennych. Symulacje realizowano w stanie ustalonym przepływu, wykorzystując RANS (równania Naviera-Stokesa w uśrednieniu Reynoldsa).

Analizy prowadzono dla dwóch konstrukcji miniturbin bazujących na korpusach seryjnie produkowanych pomp oraz na wynikach pracy pomp w ruchu turbinowym.

Miniturbiny THV tworzone są poprzez wymianę w pompie wirnika z pompowego na turbinowy. Celem analiz było opracowanie kształtu kanałów przepływowych wirnika umożliwiających jego pracę z wyższą sprawnością niż pompa w ruchu turbinowym. Podczas analiz szukano w szczególności miejsc lokalnej dyssypacji energii i zmieniano kształt kanałów wirnika, tak aby je maksymalnie ograniczyć. Przykład trajektorii cząstek cieczy miniturbin THV.150-400 ($Q=550 \text{ m}^3/\text{h}$, $n=1020 \text{ 1/min}$) w rzucie przednim przedstawiono na rys. 1.

Miniturbiny THVf tworzone są poprzez zabudowę w korpusie pompy całego układu przepływowego turbiny zbliżonego kształtem do klasycznych układów turbin Francis. W celu zabudowy regulowalnej kierownicy łopatkowej, korpusy pomp na etapie projektu zostały odpowiednio zmodyfikowane, poprzez dodanie miejsca mocowania kierownicy bez nadmiernego osłabiania wytrzymałości mechanicznej korpusu. Analizy numeryczne prowadzone były w kierunku wyznaczenia parametrów geometrycznych umożliwiających uzyskanie maksymalnej sprawności w szerokim zakresie regulacji parametrów przepływu miniturbin. Przykład analizowanych trajektorii cząstek cieczy w miniturbinie THVf.150-250 ($Q=500 \text{ m}^3/\text{h}$, $n=1520 \text{ 1/min}$) w rzucie przednim, przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Trajektorie cząstek cieczy z prędkościami przepływu miniturbin THVf

W celu wyznaczenia rzeczywistych parametrów pracy miniturbin i pomp w ruchu turbinowym na Stacji Prób w Hydro-Vacuum S.A. w Grudziądzu, zbudowano stanowisko badawcze, umożliwiające badanie miniturbin do mocy 120 kW i przełyku do 1000 m^3/h . Na tej podstawie dla wszystkich opracowanych miniturbin wyznaczono rzeczywiste charakterystyki przepływu, które będą zamieszczone do samodzielnego doboru w ogólnodostępnej bazie danych (PDP) znajdującej się na stronie: www.pdp.hv.pl.

Rodzaje konstrukcji miniturbin THV i zalecane zastosowania

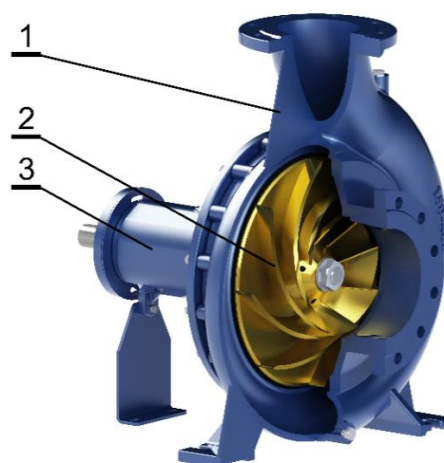
W ramach przeprowadzonych prac badawczych opracowano trzy rozwiązania konstrukcyjne miniturbin:

THV - miniturbina bez łopatkowej kierownicy wlotowej ze specjalnie ukształtowanym wirnikiem wielołopatowym,

THVf – miniturbina z kierownicą wlotową o regulowanym z zewnątrz kącie ustawienia łopatek i wirnikiem o konstrukcji wzorowanej na turbinie wodnej typu Francis,

THVfc - miniturbina z kierownicą wlotową o stałym kącie ustawienia łopatek i wirnikiem o konstrukcji wzorowanej na turbinie wodnej typu Francis.

Miniturbiny THV (rys. 3) różnią się od pomp w ruchu turbinowym rodzajem zastosowanych wirników (2). Modyfikacje dotyczą liczby i kształtu łopatek oraz przekroju merydionalnego, którego zmiana ma ułatwić napływ cieczy ze spirali do kanału międzyłopatkowego oraz zwiększyć stopień redukcji prędkości cieczy opuszczającej wirnik. Konstrukcja THV ze względu na niski stopień złożoności zalecana jest do stosowania w układach o wysokiej temperaturze czynnika (do 140°C), jego dużej agresywności chemicznej i właściwościach abrazyjnych.

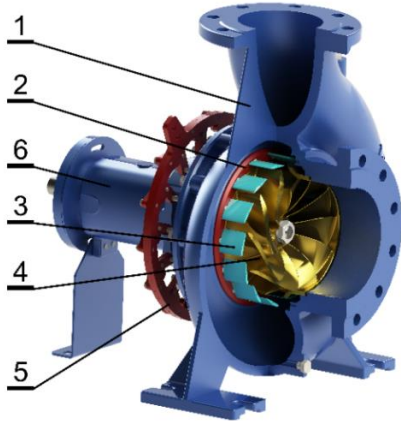


Rys. 3. Miniturbina THV

(1 – korpus pompy wg PN-EN 733, 2 – wirnik miniturbin, 3 – standardowy układ łożyskowy)

Miniturbiny THVf (rys. 4) zaprojektowano z myślą o układach, w których wymagana jest regulacja przepływu w szerokim zakresie. W kadłubie pompy (1) zabudowano pierścienie boczne kierownicy (2), w których osadzono łopatki wlotowe (3) kierujące cieczą do wirnika (4). Zmiana kąta ustawienia łopatek moż-

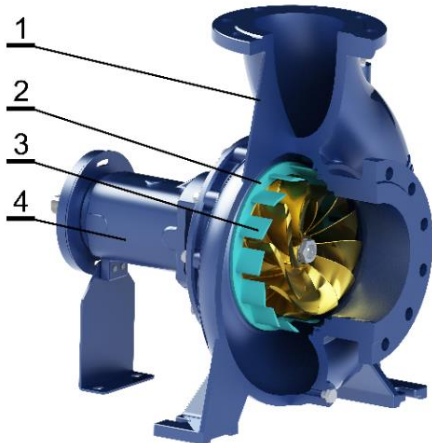
liwa jest z zewnątrz maszyny poprzez aparat kierownicy (5). Należy zaznaczyć, że mimo zbliżonej konstrukcji do klasycznych turbin Francisca układ ten ze względu na małe gabaryty, nie umożliwia całkowitego zamknięcia dopływu cieczy do wirnika poprzez zmianę nastaw kierownicy. Miniturbiny tego typu zalecane są dla układów wody zimnej (do 60°C).



Rys. 4. Miniturbina THVf

(1 – korpus pompy wg PN-EN 733, 2 – pierścień boczny kierownicy, 3 – łopatki kierownicy, 4 – wirnik typu Francisca, 5 – aparat kierowniczy, 6 – standardowy układ łożyskowy)

Miniturbiny THVfc (rys. 5) to powielanie układu przepływowego z miniturbin THVf z tą różnicą, że kierownica (2) wykonana jest jako monolit o zadanym kącie ustawienia łopatek bez możliwości ich płynnej regulacji. Ta konstrukcja podobnie jak w przypadku THV ze względu na niski stopień złożoności zalecana jest do pracy w układach o wysokiej temperaturze czynnika (do 140°C) i jego dużej agresywności chemicznej.



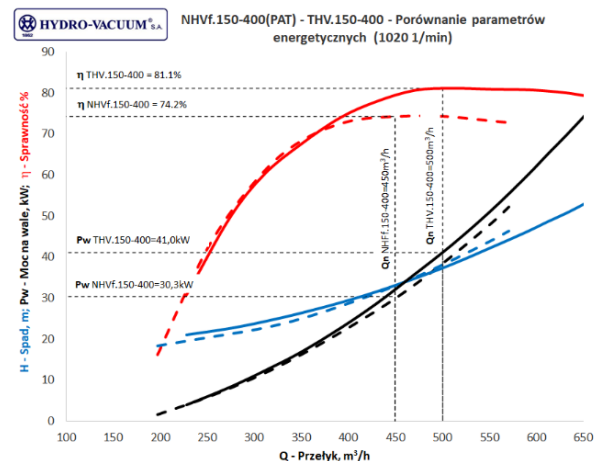
Rys. 5. Miniturbina THVfc

(1 – korpus pompy wg PN-EN 733, 2 – kierownica, 3 – wirnik typu Francisca, 4 – standardowy układ łożyskowy)

Odporność chemiczna i abrazyjna powyższych konstrukcji zależy od materiałów użytych do budowy elementów maszyn. Korpusy i wirniki wykonywane są w technologii odlewniczej, z tego względu podstawowymi materiałami na korpusy są: żeliwo szare, żeliwo sferoidalne, staliwo węglowe i kwasoodporne. Wirniki do THV wykonywane są z: żeliwa szarego, staliwa węglowego, staliwa kwasoodpornego i brązu, natomiast wirniki THVf i THVfc wykonywane są z brązu.

Parametry energetyczne i zakres regulacji

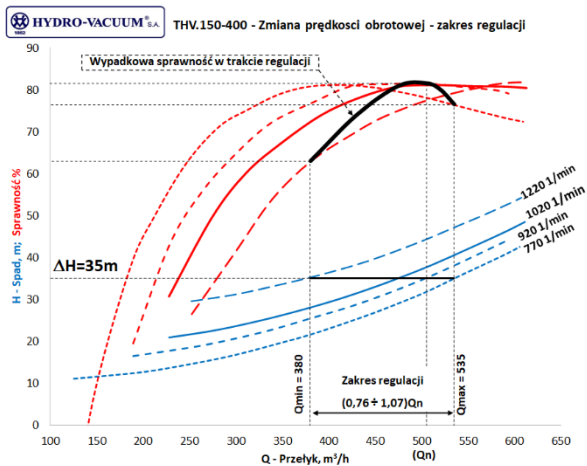
Na skutek zastosowania specjalnej konstrukcji układu przepływowego, opracowane miniturbiny charakteryzują się wysoką sprawnością energetyczną o wartościach nominalnych od 80 do 84%. W przykładzie pokazanym na rys. 6 umieszczono charakterystyki energetyczne pompy NHVf.150-400 (linie przerywane) w ruchu turbinowym (PAT), oraz zbudowanej na jej bazie miniturbiny THV.150-400 (linie ciągłe). Poprzez zastosowanie nowego rozwiązania konstrukcyjnego wirnika wielołopatowego uzyskano znaczny (ponad 6%) wzrost sprawności miniturbiny w odniesieniu do pompy (PAT). Wzrósł również optymalny przełyk maszyny, co umożliwia zastosowanie miniturbiny na wyższe parametry przy zachowaniu wysokiej sprawności niż dla PAT, przy tym samym koszcie produkcji. Kształt charakterystyk sprawności $\eta(Q)$, spadku $H(Q)$ i mocy $P_w(Q)$ obu maszyn jest mocno zbliżony. Dla $H(Q)$ obserwuje się korzystne spłaszczenie charakterystyki, co rozszerza zakres regulacji poprzez zmianę prędkości obrotowej w trakcie pracy na stały spadek.



Rys. 6. Porównanie parametrów energetycznych (miniturbiny THV.150-400 (linie ciągłe) i pompy NHVf.150-400 w ruchu turbinowym (linie przerywane) dla $n=1020$ 1/min)

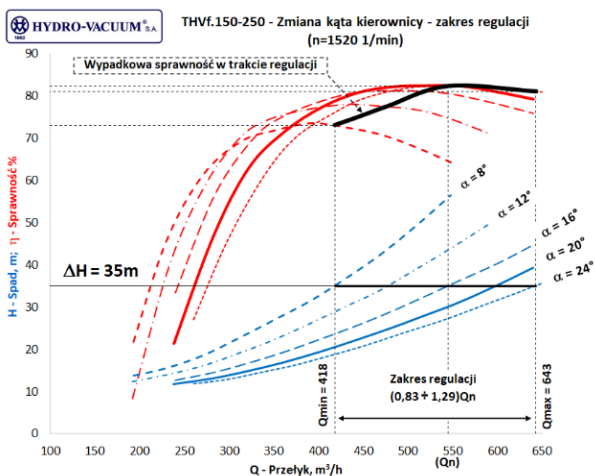
Miniturbiny THV i THVfc zaprojektowano z myślą o pracy na stałe parametry. Zakres regulacji można rozszerzyć wyposażając układ w przekształtnik częstotliwości umożliwiający pracę ze zmienną prędkością obrotową.

W przykładzie pokazanym na rys. 7, zilustrowano pracę miniturbiny THV.150-400 w układzie, w którym wymagane jest dławienie o wartości 35m. Poprzez zmianę prędkości obrotowej od 770 do 1220 1/min uzyskano zakres pracy od 380 do 535 m³/h, co odpowiada wartości 31% nominalnego przełyku (Q_n) miniturbiny. Sprawność w tym zakresie zaczyna się od 63% dla najmniejszego przepływu, poprzez 81,1% dla parametrów nominalnych i 76,5% dla maksymalnego przepływu. Graficzny rozkład wypadkowej sprawności w trakcie regulacji prędkości obrotowej zilustrowano czarną krzywą na rys. 7. Odnotowuje się dość niekorzystne zjawisko obniżenia sprawności dla przepływu odbiegającego od nominalnego.



Rys. 7 Porównanie parametrów energetycznych (miniturbin THV.150-400 w trakcie regulacji prędkości obrotowej podczas pracy na stały spad)

Zastosowanie w turbinach THVf możliwości płynnej zmiany kąta ustawienia łopat umożliwia osiągnięcie znacznie szerszego zakresu regulowanej pracy niż w THV i THVfc (rys. 8). Dla analogicznego przypadku jak powyżej dobrano miniturbinę THVf.150-250 o mniejszym gabarycie niż THV.150-400, ale pracującą z wyższą nominalną prędkością obrotową ($n=1520$ 1/min). Dla spadu 35 m, zakres regulacji wynosi od 418 do 643 m^3/h , co odpowiada wartości 46% Q_n . Dodatkowo uzyskiwane są znacznie wyższe sprawności zaczynające się od 73% dla najmniejszego przepływu, poprzez 82,3% dla parametrów nominalnych i 81% dla przepływu maksymalnego. Stromość wypadkowej charakterystyki sprawności zilustrowanej czarną linią na rys. 8 jest znacznie mniejsza niż dla THV.150-400, co w połączeniu z szerszym zakresem regulacji daje możliwość większej produkcji energii.



Rys. 8 Porównanie parametrów energetycznych (miniturbin THVf.150-250 w trakcie regulacji kąta ustawienia łopat ($n = 1520$ 1/min) podczas pracy na stały spad)

Podsumowanie

Miniturbiny budowane z wykorzystaniem elementów seryjnie produkowanych pomp stanowią dobrą alternatywę kosztową w porównaniu do indywidualnie projektowanych i wytwarzanych turbin wodnych. Mogą one być wykorzystywane do odzysku energii traconej w układach pompowych oraz zagospodarowania cieków wodnych o niskim potencjale. Zastosowanie specjalnie opracowanych układów turbinowych zapewnia wysoką sprawność produkcji energii oraz umożliwia pracę w szerokim zakresie przepływu. Dostępność maszyn w szerokiej gamie materiałów i na wysokie temperatury czynnika umożliwia ich stosowanie również w układach technologicznych instalacji przemysłowych.

Przywołania

1. **Hydro-Vacuum S.A.:** Sprawozdanie merytoryczne z realizacji wykonanego etapu: Etap nr 2 (PR) - Opracowanie, wykonanie i badania niekomercyjnych proto-typów miniturbin i pomp zgodnych z PN-EN 733 oraz PN-EN ISO 2858 o wielkości 150-200_150-250_200-260_200-315, Grudziądz 2022.
2. **Janczak M., Lorenz W.:** Miniturbiny THV do odzysku energii w układach pompowych i regulacji parametrów sieci, Energetyka Wodna, 3/2023, No.47.
3. **Lorenz W., Janczak M.:** Analiza pracy pompy normowej w ruchu pompowym (PaP) i turbinowym (PaT), Pompy Pompownie, 1/2023, No.834, pp.72-79.
4. **Szulc P., Skrzypacz J., Machalski A., Moloshnyi O., Błoński D., Chernopbrova A., Osmelak W.:** Opracowanie projektów miniturbin typu Francisca wraz z kierownicami do zabudowy w kadłubach pomp zgodnych z normą PN-EN 733 oraz PN-EN ISO 2858 wraz z uzupełnieniami, o wielkościach króćców tłocznych oraz średnicach wirników: 200-315 i 150-250, Politechnika Wroclawska. Raport serii SPRAWOZDANIE Nr SPR 46/2021.

Autorzy

Marcin Janczak, dr inż., Absolwent Politechniki Wrocławskiej, Wydziału Mechaniczno-Energetycznego, Specjalizacja Hydrauliczne Maszyny Przepływowe. Obecnie Dyrektor Działu Badawczo-Rozwojowego Hydro-Vacuum S.A., współautor rozwiązań technicznych wdrażanych w fabryce pomp i systemów pompowych, twórca i współtwórca opatentowanych wynalazków z dziedziny techniki pompowej.

Witold Lorenz, dr inż., Absolwent Politechniki Wrocławskiej, Wydziału Mechaniczno-Energetycznego, Specjalizacja Hydrauliczne Maszyny Przepływowe. Obecnie Główny Specjalista ds. Obliczeń Numerycznych Hydro-Vacuum S.A. Autor i współautor opatentowanych wynalazków z dziedziny pomp, kilkudziesięciu branżowych publikacji naukowych i opracowań dla przemysłu. Kilkukrotnie nagradzany za wyniki prac badawczo-rozwojowych: na uczelni, na obecnym stanowisku i międzynarodowych konferencjach naukowo-technicznych z dziedziny pomp i obliczeń numerycznych CFD (Computational Fluid Dynamics).

Armatura Grupy T.I.S. w zastosowaniach dla potrzeb energetyki wodnej, w tym odzysku energii w sieciach wodociągowych

Adam Chlapek

T.I.S. Polska, Ożarów Mazowiecki

e-mail: a.chlapek@tispolska.pl

T.I.S. Polska: profil działalności

T.I.S. Polska Sp. z o.o. to firma działająca w Polsce od 2004 roku, jako jeden z podmiotów Grupy T.I.S. Spółką wiodącą Grupy jest założona w 1984 r. firma T.I.S. Service S.p.A. z siedzibą w Bolgare k. Bergamo (Włochy), stanowiąca zarazem jej główne centrum logistyczne, nadto w skład Grupy wchodzi jednostki produkcyjne: T.I.S. Nuoval w Castelnuovo k. Trydentu (Włochy) oraz T.I.S. Turkey w Eskişehir (Turcja). W początkowym okresie działalności T.I.S. Polska jej siedziba zlokalizowana została w północno – zachodniej części Warszawy, by po krótkim czasie zająć własną nowo powstałą budynek w Duchnicach k. Ożarowa Mazowieckiego, w pobliżu autostrady A2. Głównym obszarem działalności T.I.S. Polska jest obsługa handlowa i logistyczna rynku polskiego oraz krajów Europy środkowej i wschodniej.

Oferta firmy obejmuje szeroki asortyment armatury, zarówno ogólnego stosowania, jak i wyspecjalizowanej, a w szczególności:

- przepustnice podwójnie mimośrodowe (DN≤3000);
- przepustnice centryczne (DN≤1600);
- zawory zwrotne (DN≤2000);
- automatyczne zawory regulacyjne (DN≤1000);
- zawory iglicowe (DN≤1800);
- zasuwki miękko uszczelnione (DN≤1200);
- zasuwki pierścieniowe (DN≤1600);
- zasuwki nożowe (DN≤2000);

jak również:

- zawory powietrzne;
- filtry;
- kompensatory (łączniki amortyzacyjne);
- wstawki montażowe i inne elementy złączne;
- pletwowe czujniki nadmiernej prędkości przepływu;
- zasilacze hydrauliczne.

Oferta produktowa T.I.S. Polska ukierunkowana jest przede wszystkim na sektory: wodociągów, energetyki ciepłej i wodnej, obiektów hydrotechnicznych, gospodarki ściekowej, melioracji, instalacji przemysłowych. Szeroka gama oferowanych produktów oraz znaczny zakres dostępnych średnic powodują, że T.I.S. Polska

zalicza się do grona znaczących dostawców dla wyżej wymienionych obszarów rynku.

T.I.S. Polska w sektorze energetyki wodnej oraz obiektów hydrotechnicznych

Pierwsze lata istnienia T.I.S. Polska wiązały się ze wzmocnieniem pozycji produktów Grupy T.I.S., dostarczanych do Polski od 1996 roku (przede wszystkim na potrzeby sektora wodociągów i energetyki ciepłej) oraz przejęciem obsługi rynku Europy środkowej i wschodniej od spółki macierzystej T.I.S. Service.

W 2012 roku nastąpiły gruntowne zmiany: organizacyjne – przeniesienie do nowej, docelowej siedziby oraz personalne – powołanie nowego zarządu oraz uzupełnienie kadry specjalistów technicznych. Od tego roku poza wymiernym rozszerzeniem dostaw dla energetyki ciepłej, firma zainicjowała obecność w segmencie energetyki wodnej oraz obiektów hydrotechnicznych na powierzonym terytorium.

W okresie od 2012 roku po dzień dzisiejszy, w samym tylko segmencie energetyki wodnej oraz obiektów hydrotechnicznych, lista zrealizowanych dostaw obejmuje m.in.:

- Budowa małej elektrowni wodnej w ZUW „Raba” (2013): zawór iglicowy DN900;
- EW Szklarska Poręba I (2014): przepustnica (zawór motylowy) DN500 (2 szt.), zawór iglicowy DN400 (2 szt.);
- Zbiornik przeciwpowodziowy Racibórz Dolny (2015-2020): zasuwki nożowe DN1400 (11 szt.), zasuwki nożowe DN800 (2 szt.), inna armatura;
- Budowa małej elektrowni wodnej w ZPW „Pomorzany” (2019): przepustnica DN500, przepustnica DN600, zawór iglicowy DN600, zawór upustowy DN200, inna armatura;
- Remont hydrozespołów 1 i 2 EW Niedzica (2020): zawory iglicowe DN200 (3 szt.);
- Modernizacja EW Glava Zete (2020): przepustnice DN2200 (2 szt.), zawory iglicowe DN300 (2 szt.), inna armatura;
- Modernizacja śluz „Nowa Wieś” i „Sławięcice” na Kanale Gliwickim (2021): dostawa m.in. przepustnice DN1000 (2 szt.), zawory iglicowe DN1000 (2 szt.), inna armatura.

Oferta T.I.S. Polska dla energetyki wodnej

Spośród wymienionych wyżej produktów Grupy T.I.S., znajdujących zastosowanie w energetyce wodnej, najważniejszą pozycję w realizowanych dostawach zajmują **przepustnice podwójnie mimośrodowe** (ang. *double eccentric butterfly valves*), w polskojęzycznej nomenklaturze przyjętej w energetyce wodnej zwane zaworami motylowymi, instalowane jako główne zamknięcie u wlotu na spiralę turbiny, jak również w innych zastosowaniach (np. jako zamknięcia remontowe). Zależnie od pełnionej funkcji, przepustnicę wyposaża się w napęd hydrauliczny wraz z przeciwwagą (ciężarem opadającym), bądź przekładnię współpracującą z napędem elektrycznym lub ręcznym. W przypadkach, gdy zamawiana przepustnica ma być wykonana w wersji stalowej spawanej, na życzenie zamawiającego może zostać wykonana jako armatura zintegrowana ze wstawką montażową (fot.1).

Drugim szczególnie ważnym rodzajem armatury znajdującej zastosowanie w energetyce wodnej są **zawory iglicowe** (ang. *needle valves, plunger valves*), które dzięki swojej konstrukcji umożliwiającej bezpieczną pracę nawet przy dużych różnicach ciśnień są stosowane głównie jako zawory sterujące przepływem poprzez by-pass upustowy na wypadek konieczności zamknięcia dopływu do turbiny, a także na upustach dennych i wody biologicznej, jak również na by-passach napełniania rurociągów i wyrównywania ciśnień.



Fot.1 Przepustnice DN2200 PN6 w wersji zintegrowanej ze wstawkami montażowymi, wyposażone w napędy hydrauliczne (etap przed montażem przeciwwag).
Obok zawory iglicowe DN300 PN10 (etap przed montażem napędów) [1]

Oprócz wyżej przedstawionych dwóch rodzajów zaworów, w projektach energetyki wodnej w oczywisty sposób znajduje zastosowanie wiele innych rodzajów armatury, które Grupa T.I.S. również posiada w swojej ofercie.

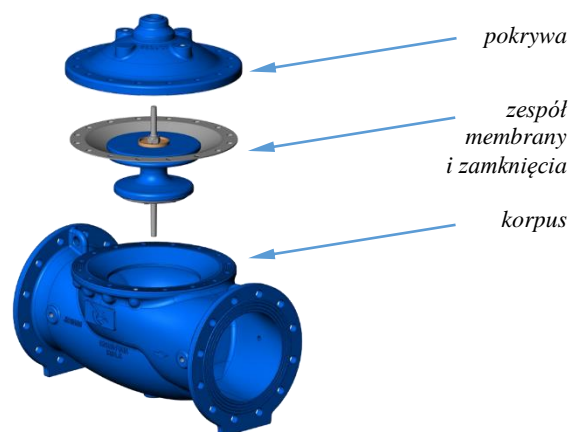
W ostatnim czasie wraz ze wzrostem zainteresowania odzyskiem energii rozpraszanej w różnych miejscach infrastruktury wodociągowej, pojawiają się coraz liczniejsze projekty i realizacje, mające na celu pozyskanie energii elektrycznej pochodzącej z takiego właśnie odzysku. Kolejną pozycją z asortymentu produktowego Grupy T.I.S. są automatyczne zawory regulacyjne

(ang. *automatic control valves*), przede wszystkim konstrukcji membranowej, w niektórych przypadkach również tłokowej.

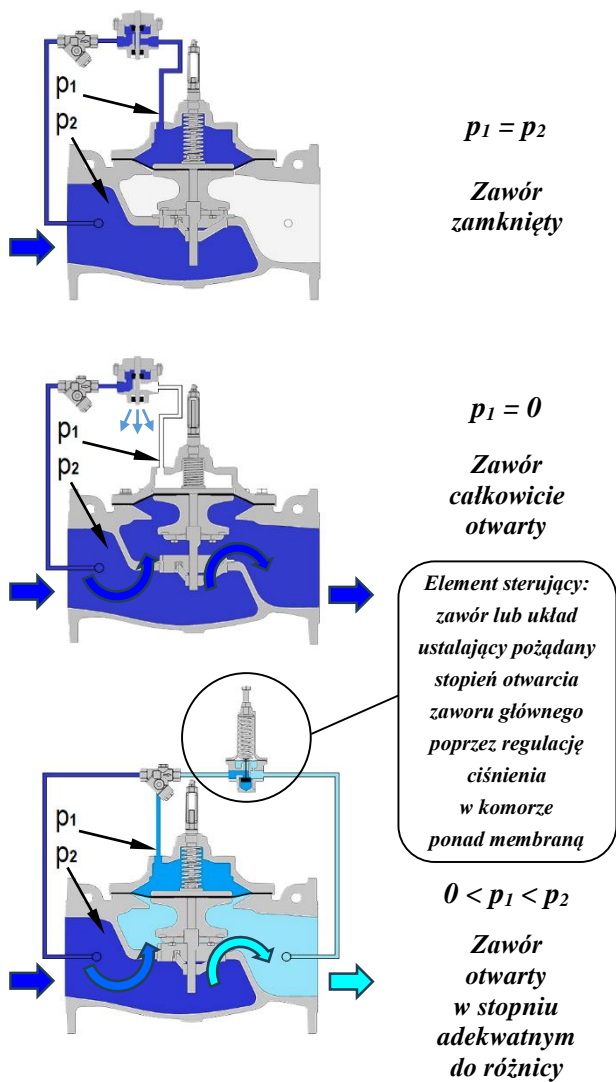
Automatyczne zawory membranowe: zasada działania, rodzaje sterowania, spełniane funkcje

Początki szerszego stosowania automatycznych zaworów regulacyjnych na sieciach wodociągowych w Polsce nastąpiły stosunkowo późno, bo dopiero w latach 90-tych, ze względu na brak krajowej produkcji tego typu armatury regulacyjnej dedykowanej dla sieci wodociągowych. Tym samym z najczęstszym problemem, tj. koniecznością redukcji ciśnień radzono sobie poprzez dławienie różnymi dostępnymi rodzajami armatury oraz za pomocą reduktorów bezpośredniego działania (sprężynowych), na wzór rozwiązań stosowanych w instalacjach przemysłowych. Zmiany ustrojowe w kraju przyczyniły się do otwarcia zupełnie nowych możliwości, m.in. dostępu do rozwiązań i urządzeń od dawna stosowanych w krajach rozwiniętych. Automatyczne zawory regulacyjne zaczęły być szeroko stosowane na sieciach wodociągowych, nie tylko ze względu na zalety związane ściśle z jakością regulacji, ale również możliwość zintegrowania w takim zaworze kilku funkcji, co świadomie i umiejętnie wykorzystane może przyczynić się do znacznej redukcji kosztów (jak oszczędność na dodatkowej armaturze, siłownikach, mniejsze komory itd.).

Zasada działania automatycznego zaworu membranowego jest stosunkowo prosta. Pozycja ruchomego elementu zamykającego (czyli funkcjonalnego odpowiednika grzyba w klasycznym zaworze grzybkowym), zintegrowanego wraz z membraną w jeden ściśle połączony zespół, zależna jest od aktualnie panującej różnicy pomiędzy ciśnieniem w komorze ponad membraną, a ciśnieniem wewnątrz korpusu zaworu pod membraną. W przypadku, gdy ciśnienia te są równe, zawór zamyka się całkowicie (lub pozostaje zamknięty), co wynika z różnicy pomiędzy powierzchnią, na którą oddziałuje ciśnienie działające od góry (ponad membraną), a powierzchnią, na którą oddziałuje ciśnienie od dołu (pod membraną, w obrębie gniazda zaworu). Zasadnicze komponenty zaworu przedstawia rys.1, natomiast zasadę działania ilustruje rys.2.



Rys.1 Zasadnicze elementy automatycznego zaworu membranowego



Rys.2 Zasada działania automatycznego zaworu membranowego

Jak pokazuje powyższa ilustracja, ciśnienie w przestrzeni nad membraną (czyli w tzw. komorze sterującej zaworu), od którego zależy stopień otwarcia zaworu głównego, może być sterowane zarówno pojedynczym zaworem pilotowym, czyli odpowiedniej konstrukcji niewielkim zaworem bezpośredniego działania, jak również bardziej złożonym układem np. 2 różnego rodzaju zaworów pilotowych, aż po rozbudowany układ sterujący, wzbogaconym o komponenty automatyki, jak elektrozawory, czy siłowniki. Wprowadzenie elementów automatyki pozwala na ustalenie i utrzymanie pożądanej pozycji otwarcia w określonych sytuacjach w sposób wymuszony z systemu nadrzędnego. Tym samym w zależności od potrzeb występujących w danej instalacji, możliwe jest dostosowanie rodzaju sterowania zaworem głównym w sposób:

- całkowicie samoczynny;
- całkowicie zależny od systemu nadrzędnego;
- stanowiący skojarzenie działania samoczynnego oraz zależnego od systemu nadrzędnego.

Niezależnie od powyższych trybów sterowania, możliwe jest wysyłanie sygnału o stopniu otwarcia zaworu głównego, zarówno w sposób uproszczony, poprzez uzbrojenie w wyłączniki krańcowe (mechaniczne lub indukcyjne), jak również pełne odwzorowanie położenia sygnałem analogowym 4-20 mA, poprzez zainstalowanie odpowiedniego przetwornika położenia.

Opisane wyżej dostępne rodzaje sterowania zaworem membranowym umożliwiają spełnianie przez zawór bardzo wielu funkcji, w szczególności takich, jak:

- redukcja ciśnienia – utrzymywanie ciśnienia wylotowego według zadanej wartości, niezależnie od natężenia przepływu;
- podtrzymanie ciśnienia po stronie dopływu – zmniejszanie stopnia otwarcia zaworu na wypadek spadku ciśnienia po stronie wlotowej poniżej zadanej wartości; przemykanie trwa do momentu wzrostu ciśnienia po stronie wlotu do zadanej wartości;
- upust ciśnienia – otwieranie zaworu na wypadek wzrostu ciśnienia po stronie dopływu powyżej zadanej wartości; zawór pozostaje otwarty do momentu, kiedy nastąpi spadek poniżej zadanej wartości ciśnienia;
- funkcja otwórz / zamknij – pełne otwarcie lub pełne zamknięcie; w obu przypadkach działanie wymuszone przez system nadrzędny;
- funkcja otwierania „step-by-step” (krok po kroku) – otwieranie / zamykanie podzielone na etapy; o utrzymaniu bądź zmianie stopnia otwarcia decyduje system nadrzędny

oraz kombinacje powyższych.

Wartą zauważenia zaletą rozwiązań regulacyjnych opartych na automatycznych zaworach membranowych jest również możliwość modyfikacji sterowania na zaworach już zainstalowanych i pracujących na rurociągach, bez konieczności ich demontażu z sieci.

Powyżej wymienione funkcje oczywiście nie wyczerpują wszystkich możliwych zastosowań automatycznych zaworów membranowych (jest ich o wiele więcej); te właśnie zostały wybrane ze względu na ich przydatność w instalacjach odzysku energii w sieciach wodociągowych.

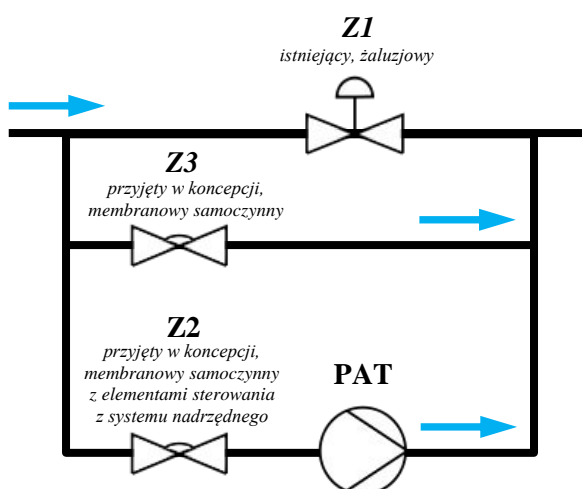
Możliwości zastosowań automatycznych zaworów regulacyjnych w instalacjach odzysku energii na sieciach wodociągowych

Pierwsze w Polsce zastosowanie automatycznego zaworu membranowego T.I.S. w wykorzystującej sieć wodociagową instalacji wytwarzania energii elektrycznej miało związek z projektem budowy małej elektrowni wodnej w obiekcie infrastruktury ZPW „Pomorzany” w Szczecinie (oddanie do użytku w 2019 r.). W celu szybkiego rozładowania ewentualnych nagłych wzrostów ciśnienia (uderzeń hydraulicznych) zaprojektowano by-pass bezpieczeństwa z zaworem upustowym serii M3200 DN200 PN10, w pełni samoczynnym, wyposażonym w wyłącznik krańcowy sygnalizacji

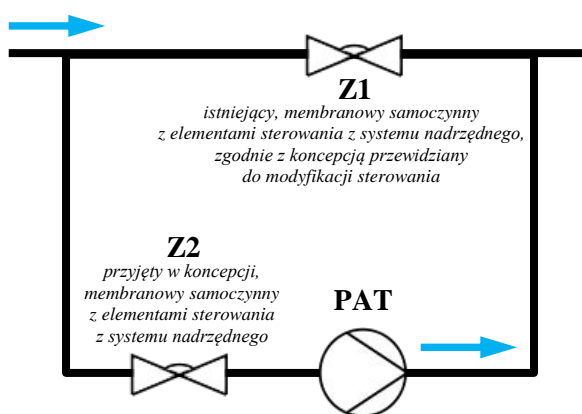
pozycji całkowitego zamknięcia. By-pass bezpieczeństwa z zainstalowanym zaworem upustowym stanowi dodatkowy, lecz bardzo istotny element wielostopniowego zabezpieczenia układu.

W bieżącym roku autor niniejszego opracowania przyjął zaproszenie do współpracy z kierowanym przez dr hab. Janusza Stellera zespołem zajmującym się pracami studialnymi nad możliwością odzysku energii traconej w sieciach wodociągowych, poprzez wytwarzanie energii elektrycznej m.in. za pomocą pomp pracujących w ruchu turbinowym (PAT).

W dwóch rozważanych przypadkach obiektów: komory na wlocie zbiornika Murowaniec (SEWiK Zakopane) oraz komory K20 w Iskrzyni (MPGK Krosno) schematy ideowe przedstawione są odpowiednio na rys.3 i 4.



Rys.3 Schemat instalacji odzysku energii z regulacją dławieniowo - upustową: Murowaniec (bez uwzględnienia armatury odcinającej)



Rys.4 Schemat instalacji odzysku energii z regulacją dławieniowo - upustową: Iskrzynia (bez uwzględnienia armatury odcinającej)

Schematy przedstawione na rys. 3 i 4, zgodne ze schematem ideowym i jego objaśnieniem w opracowaniu [2], dodatkowo precyzują rodzaj armatury przyjętej w koncepcji, realizującej funkcje dławienia bądź upustu, co jest istotne z punktu widzenia niniejszego opracowania.

W toku prac nad wyborem sposobu regulacji dławieniowo – upustowej, dla obydwu przypadków zdecydowano się przyjąć do tej roli odpowiednio zwymiarowane automatyczne zawory membranowe o działaniu samoczynnym z elementami sterowania z systemu nadrzędnego. W obu rozpatrywanych przypadkach zawory **Z2** miałyby spełniać funkcje:

- umożliwiać powolne zwiększanie przepływu przez turbinę metodą „krok po kroku”;
- utrzymywać zadane ciśnienie na wlocie hydrozespołu – wartość ciśnienia zadawana z systemu nadrzędnego;
- zapewniać możliwość pracy hydrozespołu przy różnicy ciśnień na zaworze niższej, niż konieczna do jego poprawnego samoczynnego działania, poprzez wymuszone z systemu nadrzędnego upuszczenie ciśnienia z komory nad membraną;
- zapewnić możliwość zamknięcia wymuszonego z systemu nadrzędnego w dowolnym momencie;
- całkowicie samoczynne zamknięcie, tj. odcięcie dopływu do hydrozespołu na wypadek awarii (brak napięcia zasilania elektrozaworów, awaria ogólna zasilania na obiekcie itd.).

Ponadto, jeżeli takie rozwiązanie okaże się wskazane, można zapewnić pełne odwzorowanie stopnia otwarcia sygnałem analogowym 4-20mA.

Główną przyczyną wyboru automatycznych zaworów membranowych do spełnienia funkcji zaworu **Z2**, (tj. regulacyjno – odcinającej przed wlotem do PAT) była możliwość regulacji w każdych potencjalnie możliwych w danym układzie warunkach hydraulicznych, bez ryzyka pracy w warunkach kawitacji, co jak wykazała analiza przeprowadzona przez autora, nie byłoby wykonalne w przypadku zastosowania przepustnic. Jednak nie sposób nie zauważyć dodatkowych znacznych korzyści wynikających z wyboru zaworów membranowych w roli zaworu **Z2**, w szczególności takiej, jak zapewnienie możliwości szybkiego zamknięciem dopływu do hydrozespołu w sytuacji awaryjnej. W przypadku użycia armatury napędzanej siłownikiem elektrycznym zapewnienie takiego zamknięcia wiązałoby się ze sporą komplikacją układu (jak np. zapewnienie awaryjnego zasilania w stałej gotowości) i rzecz jasna, związanymi z tym dodatkowymi kosztami.

W przypadku obiektu Murowaniec, zawór **Z3** miałyby zapewnić samoczynnie działającą funkcję upustową ma by-passie dodatkowego zabezpieczenia. Zalecane byłoby wyposażyć go w sygnalizację otwarcia (wyłącznik krańcowy). Nie wykluczone, że w toku dyskusji prac projektowych pojawi się uzasadniona potrzeba wyposażenia tego zaworu w dodatkowe możliwości współpracy z systemem nadrzędnym obiektu.

Obydwa opisane wyżej przypadki stanowią dobry przykład ilustrujący możliwości wykorzystania opisanych wcześniej zalet automatycznych zaworów membranowych w instalacjach zamiany energii rozpraszanej w sieciach wodociągowych na energię elektryczną wytwarzaną poprzez pompy pracujące w ruchu turbinowym.

Podziękowania

Niniejszy tekst powstał w wyniku współpracy przy opracowaniu koncepcji rekuperacji energii w przywołanych obiektach w Zakopanem oraz Iskrzyni, przygotowywanej w ramach projektu Life Nexus. Autor wyraża podziękowanie dr hab. Januszowi Stellerowi, dr inż. Zbigniewowi Krzemianowskiemu oraz mgr inż. Mariuszowi Hajdarowiczowi za możliwość dołączenia do tych prac i wniesienia pewnego wkładu.

Przywołania

1. Materiały własne autora
2. **Steller J., Krzemianowski Z., Hajdarowicz A., Chlapek A., Krawiec A., Wygoda G., Rafacz M.:** *Odzysk energii traconej w komunalnych obiegach wodnych – doświadczenia z prac studialnych.* HYDROFORUM 2023. Książka streszczeń, TEW / IMP PAN, Warszawa/Gdańsk, 2023

Autor

Adam Chlapek, tech. dypl., w latach 1992-1996 studiował na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej, specjalność Systemy Ochrony Atmosfery (bez formalnego ukończenia). W latach 1996 – 2001 prowadził własną firmę, jednocześnie w latach 1998 – 2005 związany był z firmą Kucza Sp.J., wyłącznym dystrybutorem w Polsce reduktorów ciśnienia prod. Malgorani (Włochy), w której kierował sprzedażą hurtową oraz serwisem tych urządzeń. W latach 2005 – 2012 zajmował się doradztwem technicznym w firmach dystrybucyjnych Tadmar S.A. oraz Rurex Sp. z o.o. W 2012 r. został zatrudniony w T.I.S. Polska na stanowisku Product Managera, a w 2018 r. objął stanowisko Dyrektora Technicznego firmy, w której odpowiada za dobór rozwiązań technicznych na potrzeby ofertowania oraz dostaw związanych z kluczowymi projektami. Niemal cały okres aktywności zawodowej związany z zagadnieniami regulacji w sieciach wodociągowych, ze szczególnym naciskiem na znajomość problematyki od strony praktycznej. W ciągu wielu lat zdobywania doświadczeń osiągnął poziom wysokiej specjalizacji z zakresu doboru i optymalizacji rozwiązań dotyczących regulacji w sieciach wodociągowych, napełniania zbiorników, zabezpieczeń przed uderzeniami hydraulicznymi oraz regulacji przepływów powietrza na potrzeby technologii oczyszczalnia ścieków. Często dzieli się swoimi doświadczeniami podczas konferencji branżowych oraz sesji szkoleniowych organizowanych przez PZITS.

Odzysk energii wodnej traconej w procesach technologicznych - problemy projektowania algorytmów sterowania

Arkadiusz Kamiński

Polski Koncern Naftowy Orlen, Płock
e-mail: Arkadiusz.Kaminski@orlen.pl

Maciej Kaniecki

Towarzystwo Elektrowni Wodnych
T-G DNALOP Sp. z o.o., Redzikowo
e-mail: maciejk@thordonbearings.com

**Mariusz Lewandowski, Adam Adamkowski,
Waldemar Janicki**

Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk
mlew@imp.gda.pl; aadam@imp.gda.pl,
wjanicki@imp.gda.pl

Stanisław Lewandowski

Towarzystwo Elektrowni Wodnych
Easy Serv Sp. z o.o. Sp. k.
e-mail: easyserv.spk@gmail.com

Odzysk energii bezpowrotnie traconej w procesach technologicznych stanowi zawsze cenną inicjatywę gospodarczą. Najczęściej u podstaw podejmowania decyzji o realizacji takiej inwestycji znajdują się przesłanki ekonomiczne, jednak zawsze w tle pojawiają się argumenty przemawiające na rzecz ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju poprzez zmniejszenie energochłonności istniejących instalacji. Fakt, że energia uzyskana w wyniku rekuperacji została uznana w Unii Europejskiej [UE] za energię zieloną, stanowi o wadze jaką przywiązuje się do tego typu przedsięwzięć. Władze UE chcą skierować uwagę inwestorów na to zagadnienie poprzez między innymi podniesienie rentowności inwestycji wprowadzając mechanizmy wsparcia tego typu przedsięwzięć. W większości przypadków moc surowa możliwa do uzyskania z rekuperacji nie jest duża. Możliwość instalacji źródła wytwarzania o mocy większej od kilkuset kilowatów występuje stosunkowo rzadko, najczęściej są to obiekty o mocach jednostkowych, rzadziej natomiast o mocach przekraczających kilkadziesiąt kilowatów. Obiekty te jednak charakteryzują się wysokim wskaźnikiem wykorzystania mocy zainstalowanej wynoszącym często powyżej 90% z uwagi na to, że w procesach technologicznych w takich miejscach jak węzły redukcyjne w instalacjach wody pitnej, zrzuty oczyszczonych ścieków do odbiorników, czy też zasilanie wodą biologiczną cieków poniżej zapór wodnych, energia tracona jest bez przerwy przez cały rok. Stąd ilość energii produkowanej w elektrowniach rekuperacyjnych o stosunkowo małej mocy zainstalowanej jest jednak znacząco wyższa od obiektów o porównywalnej mocy zainstalowanych w elektrowniach wodnych (wskaźnik wykorzystania 50-60%), wiatrowych (wskaźnik wykorzystania 20-30%) czy fotowoltaicznych (wskaźnik wykorzystania 10-15%). Z drugiej zaś strony przy projektowaniu, budowie i eksploatacji obiektów o tak niskich mocach przeważa się dużo mniejszą uwagę do zagadnień związanych z ich wpływem na bezpieczną pracę powiązanej z nimi instalacji technologicznej niż przy projektowaniu obiektów o wysokich parametrach energetycznych. Należy jednak wziąć pod uwagę to, że budowa elektrowni rekuperacyjnych zawsze ingeruje w istniejącą instalację technologiczną i w związku z tym może i z reguły ma wpływ na

charakter eksploatacji, bezpieczeństwo jej pracy oraz ciągłość procesu produkcyjnego całego zakładu.

W referacie zwrócono uwagę na problemy związane z projektowaniem układów sterowania i algorytmów ich działania szczególnie w sekwencjach awaryjnych zdarzeń, pod kątem zagwarantowania bezpiecznej pracy elektrowni rekuperacyjnej oraz instalacji technologicznych obiektów, na którym tę elektrownię zainstalowano. Rozważono możliwości wystąpienia hipotetycznych zagrożeń, które mogą zaistnieć przy niewłaściwie zaprojektowanym systemie sterowania i zabezpieczeń.

Autorzy

Arkadiusz Kamiński, dr hab. inż., absolwent Politechniki Warszawskiej. W latach 2000-2014 wykładowca na tej uczelni, habilitacja na Akademii Górniczo-Hutniczej. Obecnie ekspert w PKN ORLEN w obszarze operacyjnym, w zakresie ochrony środowiska i zasobów naturalnych oraz gospodarki wodnościekowej i energetyki.

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.

Adam Adamkowski, prof. dr hab. inż., kier. Zakładu Hydroenergetyki w Instytucie Maszyn Przepływowych PAN. Jest autorem ponad 120 publikacji. Kierował ponad 190 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.

Waldemar Janicki, dr inż., ukończył Wydział Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej w roku 1998. Po ukończeniu studiów podjął pracę w Instytucie Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, w obecnym Zakładzie Hydroenergetyki. W 2013 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych. Główny zakres działalności zawodowej związany jest z badaniami maszyn hydraulicznych.

Maciej Kaniecki, dr inż., ukończył Wydział Budowy Maszyn Politechniki Gdańskiej w roku 1998. W roku 2005 obronił pracę doktorską z zakresu modelowania przepływów. W latach 1998-2013 zatrudniony w IMP PAN. W latach 2013-2020 zatrudniony w ZRE Gdańsk S.A.. Obecnie pracownik T-G DNALOP. Zakres jego kompetencji obejmuje projektowanie oraz badania turbin wodnych i pomp.

Stanisław Lewandowski, mgr inż., absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej. Pracuje w sektorze elektroenergetycznym od 1973 roku. Obecnie główny komandytariusz firmy Easy Serv sp. z o.o. sp. k. o profilu konsultingowym w obszarze energetyki wodnej. Prezes honorowy i członek Zarządu Towarzystwa Elektrowni Wodnych

Sesja VIII

Własności energetyczne i dynamiczne hydrozespołów

Session VIII

Performance and dynamic properties of hydraulic units

- 8.1 Maciej Kaniecki:
Współczesne trendy w modernizacji turbin wodnych, nakierowane na zwiększenie efektywności i elastyczności pracy elektrowni
- 8.2 Sebastian Muntean, I. Ionut Daniel Rus,
Alin Ilie Bosioc, Ionel Aurel Draghici:
Experimental and numerical investigations for the rehabilitation of the storage pumping units
- 8.3 Petr Ševčík:
Guarantee measurement of optimally designed SHPP
- 8.4 Grzegorz Żywica:
Identyfikacja przyczyn podwyższonego poziomu drgań maszyn hydraulicznych - praktyczne przykłady
- 8.5 Jacek Bienkowski, Przemysław Szulc, Józef Rak:
Metody ograniczania zjawiska kawitacyjnych wirów sznurowych

Notatki

Notes

Współczesne trendy w modernizacji turbin wodnych, nakierowane na zwiększenie efektywności i elastyczności pracy elektrowni

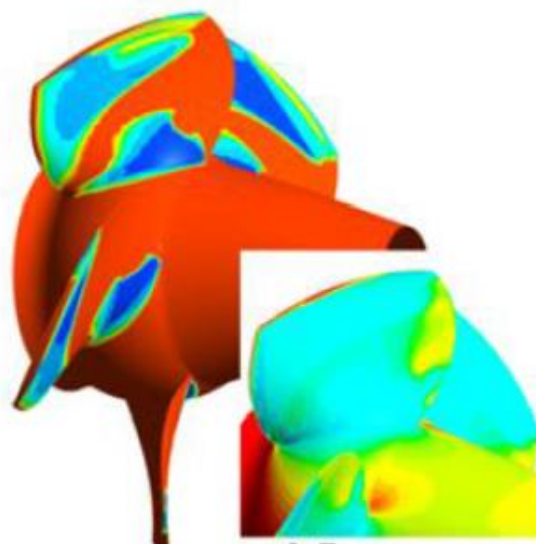
Maciej Kaniecki

T-G DNALOP, Redzikowo k. Słupska
e-mail: maciej@thordonbearings.com

W obecnym czasie rozwój hydroenergetyki w Europie i w krajach Ameryki Północnej nakierowany jest głównie na modernizację istniejących obiektów pod kątem zwiększenia ich efektywności i elastyczności pracy. Działania modernizacyjne skupiają się więc zarówno na poprawie własności energetycznych jak i eksploatacyjnych maszyn, w tym przede wszystkim poszerzenia obszaru regulacji mocy czynnej hydrozespołów. Jednym z najistotniejszych elementów tego procesu jest głęboka modyfikacja układów przepływowych turbin wodnych lub też całkowita wymiana maszyn na nowe jednostki.

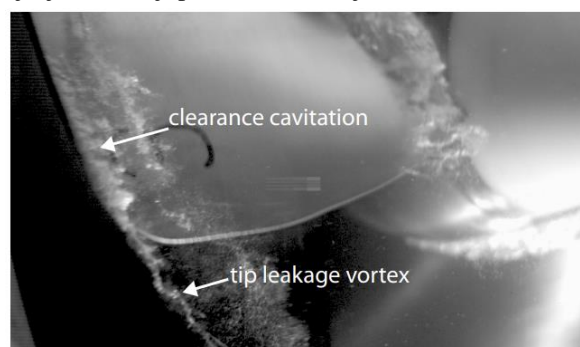
Niniejsza prezentacja zawiera szereg konkretnych wskaźników dla inwestorów, na jakie elementy nowoprojektowanych układów przepływowych maszyn należy zwrócić uwagę, przy podejmowaniu decyzji o rozpoczęciu procesu modernizacji elektrowni. Opisane zostaną zjawiska, które w sposób niekorzystny oddziałują na poziom osiągniętej sprawności maszyny, jak również na jej własności eksploatacyjne. Autor, na podstawie zgromadzonej wiedzy literaturowej oraz własnych doświadczeń, przedstawi współczesne trendy projektowe układów łopatkowych turbin wodnych, które to w sposób znaczący ograniczają niekorzystne oddziaływanie tych zjawisk w maszynę.

W przeciągu ostatnich 20-30 lat rozwoju konstrukcji maszyn hydraulicznych nastąpił znaczący postęp w projektowaniu układów przepływowych różnych typów turbin wodnych [1]. Czołowi producenci deklarują możliwość osiągnięcia sprawności maksymalnej swoich maszyn na poziomie 95% - 96% (wielkogabarytowe turbiny - średnica wirnika ~ 3 m - pracujące przy relatywnie wysokich spadach). Nie to jest jednak najważniejsze, na przestrzeni ostatnich lat nowoczesne metody projektowania rozwijały się na tyle intensywnie, że obecne konstrukcje charakteryzują się niespotykaną do tej pory elastycznością pracy. W przypadku turbin Kaplana znacząco poszerzono zakres pracy z relatywnie wysoką sprawnością, przekraczającą 90%, szczególnie dla obszarów wysokich przepływów [2],[3]. W wydatnym stopniu ograniczono występowanie różnych form kawitacji na łopatach wirników, zarówno turbin Kaplana, jak i Francisza. Nowoczesne techniki pomiarowe oraz rozwinięte narzędzia projektowania pozwoliły na dokładną analizę powstających zagrożeń kawitacyjnych oraz ich ograniczenie lub eliminację już na etapie projektowania.



Rys.1 Obliczenia numeryczne obszarów kawitacji powierzchniowej na wirniku turbiny Kaplana dla liczby kawitacyjnej Thoma $\sigma=0.7$ [2].

Odpowiednie projektowanie profili łopatkowych [4], modyfikacje krawędzi natarcia i spływu wpłynęły na ograniczenie występowania obszarów obciążenia, gdzie ciśnienia spada do ciśnienia parowania. Wprowadzane na szeroką skalę techniki obliczeń numerycznych CFD oraz komputerowe metody projektowania przyczyniły się do znaczącej redukcji obszarów, gdzie występuje inicjacja kawitacji powierzchniowej.



Rys.2 Kawitacja szczelinowa w połączeniu z wirami wierzchołkowymi na płacie łopaty wirnika Kaplana [5]

Problemy z kawitacją szczelinową w turbinach Kaplana zostały poprzez odpowiednie kształtowanie profili łopatkowych częściowo ograniczone, a co za tym idzie obniżono bardzo niekorzystne skutki jej oddziaływania na komorę turbiny (zmniejszono erozję kawitacyjną materiału komory i łopat wirnika) [5]. Dużym wysiłkiem projektowo-badawczym było również dokładne poznanie mechanizmów generacji tzw. wirów sznurowych powstających w stanach częściowych obciążeń turbin Francisca [6],[7].



Rys.3 Wir sznurowy w obszarze niedociążenia turbiny Francisca – projekt FLINDT [7]

Liczne prace o charakterze naukowo-badawczym w tym zakresie przyczyniły się do bardzo dokładnego prognozowania zjawiska generacji wirów sznurowych w maszynach hydraulicznych (przede wszystkim w turbinach typu Francisca) oraz do znaczącego odgraniczenia negatywnych skutków jego oddziaływania na turbinę. Wysiłki projektantów w tym obszarze skupiły się na modyfikacjach kształtu łopat wirnikowych, odpowiednim projektowaniu geometrii rury ssącej, ale także na wprowadzeniu różnego typu systemów doprowadzania powietrza i rozbijania skoncentrowanych struktur wirowych.

Przytoczone powyżej zagadnienia mają bardzo istotne znaczenie dla inwestora i powinny rzutować na decyzje o przyjętym kierunku modernizacji. Jak bardzo szeroki wariant modernizacji wybrać? Jakie kryteria, oprócz ceny, powinny być brane pod uwagę przy podejmowaniu decyzji o modernizacji? Czy konieczna jest wymiana całych hydrozespołów i jakich efektów można się spodziewać podejmując decyzję o tzw. głębokiej modernizacji? Autor w swej prezentacji postara się odpowiedzieć na tak postawione pytania, przedstawiając współczesne osiągnięcia projektowo-badawcze z zakresu konstrukcji turbin wodnych oraz ich wpływ na poprawę własności energetycznych i eksploatacyjnych hydrozespołów.

Przywołania

1. **Necker J., Aschenbrenner T.:** *“Model test and CFD calculation of a cavitating bulb turbine”*, 25th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, 2010.
2. **Ko P., Kurosawa S.:** *“Numerical simulation of turbulence flow in a Kaplan turbine. Evaluation on turbine performance prediction accuracy”*, 27th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems IAHR 2014.
3. **Brekke H.:** *“Design, Performance and Maintenance of Francis Turbines”* Global Journal of Researches in Engineering Mechanical and Mechanics Engineering Volume 13 Issue 5 Version 1.0 Year 2013.
4. **Dreyer M., Decaix J., Munch-Allign C., Farhat M.:** *Mind the gap - tip leakage vortex in axial turbines*, 27th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems IAHR 2014.
5. **Avellan, F.:** *“Flow Investigation in a Francis Draft Tube: The FLINDT Project”*, 20th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, Paper DES-11, 2000.
6. **Foroutan H.:** *“Simulation, Analysis, and Mitigation of Vortex Rope Formation in the Draft Tube of Hydraulic Turbines”* Dissertation of Mechanical Engineering, Pennsylvania State University, 2014.
7. **Drtna P., Sallaberger M.:** *„Hydraulic turbines—basic principles and state-of-the art computational fluid dynamics applications”*, Journal of Mechanical Engineering Science Vol 213 Part C , 1999.

Autor

Maciej Kaniecki, dr inż., ukończył Wydział Budowy Maszyn w roku 1998. W roku 2005 obronił pracę doktorską z zakresu modelowania przepływów w maszynach hydraulicznych. W latach 1998-2013 zatrudniony w IMP PAN. W latach 2013-2020 zatrudniony w ZRE Gdańsk. Obecnie pracownik T-G DNALOP. Zakres jego kompetencji obejmuje projektowanie i badanie turbin wodnych i pomp.

Experimental and numerical investigations for the rehabilitation of the storage pumping units

Sebastian Muntean

Romanian Academy – Timisoara Branch
Mihai Viteazu Bv. No. 24, Timisoara, Romania
e-mail: sebastian.muntean@upt.ro;

Ionut Daniel Rus, Alin Ilie Bosioc

University Politehnica Timisoara
Piata Victoriei No. 2A, Timisoara, Romania
e-mail: ionut.rus@student.upt.ro, alin.bosioc@upt.ro;

Ionel Aurel Draghici

AQUATIM S.A.
Gheorghe Lazăr street No. 11/A, Timisoara, Romania
e-mail: ionel.draghici@aquatim.ro;

Introduction

In the 1980s, five 10.5 MW single stage double-flux storage pumping units were installed in two pumping stations of the most complex hydropower system in Romania. One single stage double-flux storage pumping unit includes synchronous electrical motor (EM), elastic coupling with carrier bolts (EC) and double-flux pumped storage (PS) as in Fig. 1.



Fig.1 One single stage double-flux storage pumping unit

In situ measurements were performed to evaluate the unit performances [1]. A reason for the in situ investigations was to assess the efficiency after 30 years of operation and to look for solutions for the rehabilitation of the pumping units due to cavitation erosion damage to the impellers, Fig. 2.



Fig.2 Double flux impeller and damages on it.

The reconstructed 3D geometry of the suction elbow from the single stage double-flux storage pumping unit is shown in Fig. 3. Usually, the three-dimensional (3D)

geometry of the section elbow generates circumferential component in velocity distribution at the impeller inlet due to the flow around the shaft.

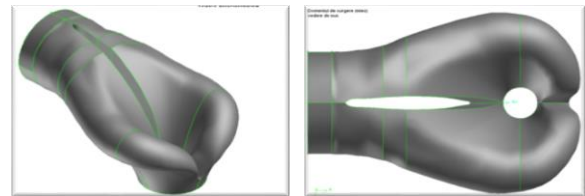


Fig.3 3D geometry of the suction elbow

As a result, the flow with pre-rotation is generated over roughly one half of the impeller inlet section and counter-rotation in the second half. The uneven velocity distribution at the impeller inlet leads to the following: (i) loss in efficiency; (ii) noise and vibrations are excited; (iii) radial forces are generated; (iv) fatigue of the mechanical components.

Experimental and numerical flow investigations

Ginga et al [2, 3] have showed that this type of suction elbow generates unsteady flows at the impeller inlet. Two cavitating vortices are visualized behind the shaft/sleeve when the static pressure is dropped down on the test rig, Fig. 4. These vortices generate unsteady phenomena at the pump inlet. These unsteady effects at the pump inlet were quantified by Draghici et al. [4].

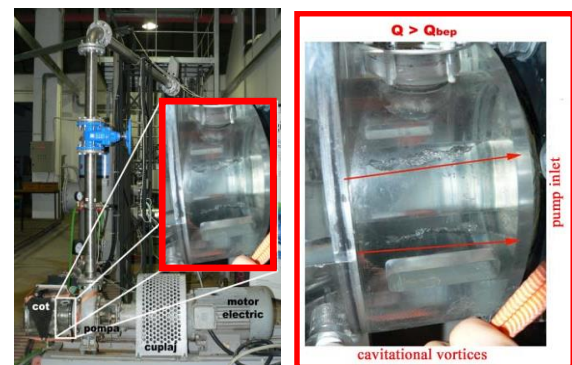


Fig.4 Vortices induced by the suction elbow and ingested by the pump impeller.

The experimental investigations were performed with a LDV system able to simultaneously measure two velocity components (axial and tangential components) on the test rig, Fig. 5. LDV system measures the velocity of the seeds (silver coated particles with 10 μm diameter) inserted in the water. The measurements were performed with minimum 1 kHz sampling frequency [5].

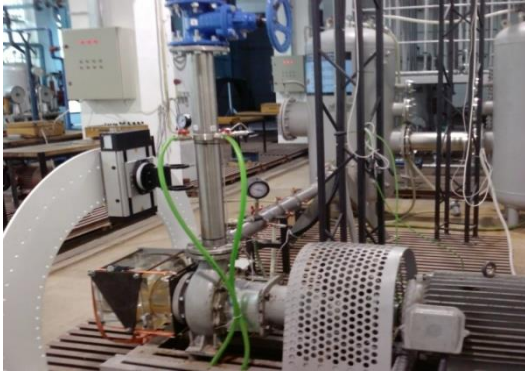


Fig.5 LDV setup installed on the test rig.

Both maps of the dimensionless velocity components (axial and circumferential) measured on half of the annular surface are plotted in Fig. 6.

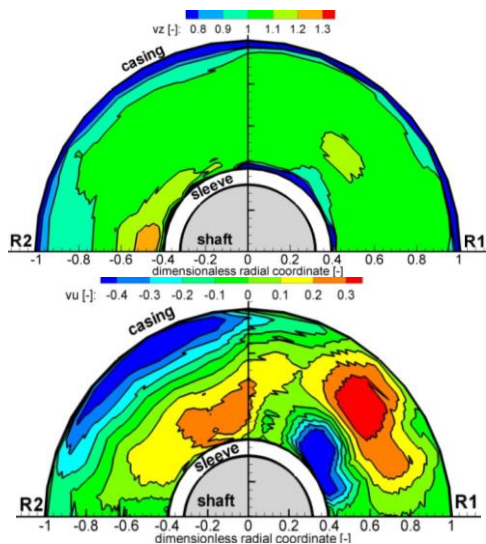


Fig.6 Velocity maps measured over one half of the annular section located at the pump eye: axial (up) and circumferential (down) components.

One can observe a quasi-uniform distribution of the axial velocity component. However, two jets with larger dimensionless axial velocity than unit are identified while the smallest values of this component can be observed near to the walls. Contrary, the distribution of the circumferential velocity component is strongly non-uniform over one half of the annular section.

A flow structure with four vortices is revealed on the annular cross section using numerical analysis in good agreement with LDV measurements. Two vortices are located in the upper side (V1 and V2) with respect to plane R1-R2 and other two vortices in the lower side, respectively. Both V1 and V2m are right-hand vortices while other two (V2 and V1m) are left-hand vortices, respectively. These vortices start on the suction elbow wall being ingested by the pump impeller [6].

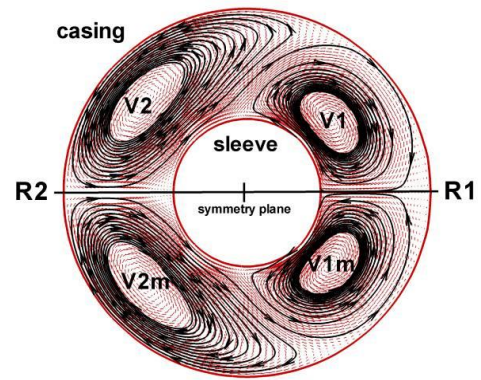


Fig.7 Flow field structure with four large vortices is identified at the pump eye.

Solutions for the rehabilitation of pump storage units

The flow non-uniformity generated by the suction elbow is ingested by the impeller affecting the overall behavior of the pump. Different solutions are developed and examined to reduce the maintenance cost and to extend the lifetime of mechanical parts. The suction elbow geometry is redesigned to diminish the flow non-uniformity. The inner geometry of the suction elbow is reshaped to preserve the existing part providing a feasible solution for the rehabilitation process [7]. Alternatively, an inducer is installed upstream to the impeller [8]. In this case, the flow non-uniformity is mixed by the inducer while the static pressure is increased at the impeller inlet improving the cavitation behavior [9].

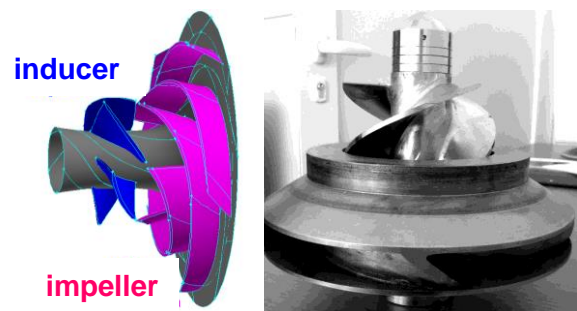


Fig.8 Inducer installed upstream to the pump impeller.

A new concept with a variable speed inducer is examined to improve the cavitation behavior on a wide range operation of the pump [10]. This concept proposes variable speed for the inducer, while the speed of the pump impeller remains constant.

References

1. **Anton A.**: *In situ performance curves measurements of large pumps*, A paper delivered to the 25th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, Timisoara, Romania, 20-24 September 2010, pp. 1-6.
2. **Gînga G., Stuparu A., Bosioc A., Anton L.E., Muntean S.**: *3D Numerical Simulation of the Flow into the Suction Elbow and Impeller of a Storage Pump*, A paper delivered to the 4th IAHR Int. Meeting of the Workgroup on Cavitation and Dynamic Problems in Hydraulic Machinery and Systems (IAHRWG2011), Belgrade, Serbia, 26-28 October 2011, pp. 151 – 160.
3. **Gînga G., Stanciu I.R., Muntean S., Baya A., Anton L.E.**: *3D Numerical Flow Analysis and Experimental Validation into a Model Impeller of a Storage Pump*, A paper delivered to the Conference Modelling Fluid Flow (CMFF'12), Budapest, Hungary, 4-7 September 2012, pp. 804 – 811.
4. **Drăghici I.A., Muntean S., Bosioc A.I., Gînga G., Anton, L.E.**: *Unsteady Pressure Field Analysis at Pump Inlet Equipped with a Symmetrical Suction Elbow*, Proc. of the Romanian Academy, Series A, 17(3), 2016, pp. 237-244.
5. **Muntean S., Bosioc A.I., Draghici I.A., Anton L.E.**: *Investigation and Analysis of the Flow Field Induced by a Symmetrical Suction Elbow at the Pump Inlet*, A paper delivered to the ASME - JSME - KSME 2019 8th Joint Fluids Engineering Conference, San Francisco, California, USA, 28 July – 1 August 2019. Paper No. AJKFluids2019-5066.
6. **Mos D.C., Muntean S., Anton L.E.**: *3D numerical flow analysis of the non-uniformity induced by a reshaped geometry of the symmetrical suction elbow*, Wasser-Wirtschaft, 2019, 109(1), pp. 77 – 82.
7. **Drăghici I., Muntean S., Bosioc A.I., Anton L.E.**: *LDV measurements of the velocity field on the inlet section of a pumped storage equipped with a symmetrical suction elbow for variable discharge values*, A paper delivered to the 27th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems, Montreal, Canada, 22-26 September 2014, pp. 1-10.
8. **Moisă I.G., Susan-Resiga R., Muntean S.**: *Pump inducer optimization based on cavitation criterion*, Proc. of the Romanian Academy, Series A, 14(4), 2013, pp. 317 – 325.
9. **Muntean S., Drăghici I., Gînga G., Anton L.E., Baya A.**: *Hydrodynamic design of a storage pump impeller using inverse method and experimental investigation of the global performances*, WasserWirtschaft Extra, 2015, 1, pp. 28 – 32.
10. **Muntean S., Susan-Resiga R.F., Bosioc A.I., Constantin S., Maxim D., Tanasa C., Vekas L., Borbath I., Anton L.E.**: *Equipment to reduce the cavitation effects and flow non-uniformity at turbo pumps inlet*, Patent application RO131578-B1, 2019.

Acknowledgements

Authors are gratefully for the support by the project no. support by the project no. PN-III-P2-2.1-PED-2021-1479 contract no. 723PED2022 funded by the Ministry of Research, Innovation and Digitalization, Romanian National Authority for Scientific Research and Innovation, CNCS – UEFISCDI.

Authors

Sebastian Muntean, senior researcher at Romanian Academy – Timisoara Branch, Romania. He is graduated in mechanical engineering, hydraulic machinery specialization from the University Politehnica Timisoara in 1994, and which awarded him a PhD degree in mechanical engineering, hydraulic machinery specialization from the University Politehnica Timisoara in 2002. He is an employee of the Romanian Academy – Timisoara Branch since 1995.

Ionel Daniel Rus, PhD student in Doctoral School of University Politehnica Timisoara. He is graduated in hydraulic machinery from the University Politehnica Timisoara.

Alin Ilie Bosioc, PhD, is lecturer at University Politehnica Timisoara. He obtained his PhD in 2011 at University Politehnica Timisoara.

Ionel Aurel Drăghici, PhD, is an employee of AQUATIM S.A. Timisoara regional water company where he is responsible for operating the pumps fleet. He obtained his PhD in mechanical engineering, hydraulic machinery specialization at University Politehnica Timisoara in 2015.

Guarantee measurement of optimally designed SHPP

Petr Ševčík

OSC, a.s.

Staňkova 557/18a, Brno, Czech Republic

e-mail: petr.sevcik@osc.cz

Annotation

The contribution describes a well-designed new small HPP equipped with a combination of two Francis and one Pelton turbine. This design allows to optimally use the available hydrological potential of a mountain creek with varying flow rate. The designed parameters were confirmed by an acceptance test performed by the author.

Power plant description

SHPP Gulling is a new power plant built by company Wien Energie GmbH on the creek of the same name near the village Eigen in Ennstal, Austria. It is run-of-river power plant equipped with a combination of two Francis and one Pelton for optimal use of the available flow rate.

The power plant operates with the head approx. 100 m and there is a distance of more than 3 km between the weir and power house. Therefore, a significant portion of the total flow in the river has to remain in the riverbed. The remaining flow to the power plant is managed to maximize power generation – see Fig.1.

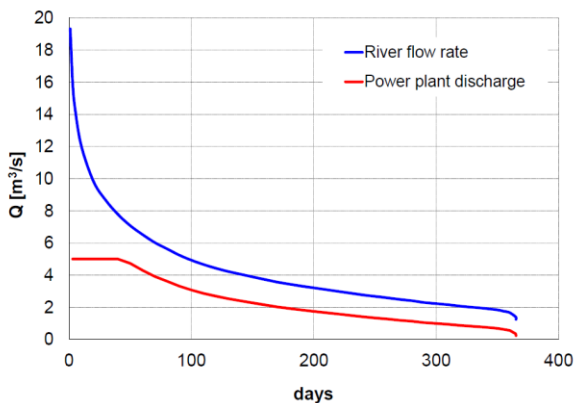


Fig.1 River discharge curve and flow rate available for the power plant

Guaranteed values

The set of guaranteed values is therefore designed not only for specific units, but for the entire plant with a defined combination of units. The investor prepared an annual production spreadsheet with total of 42 work points spread across the entire discharge curve. The maximum total output of SHPP is 4.1 MW and the guaranteed annual production was almost 17 500 MWh.

Measurement results

During May 2019, OSC's Hydro Power Group conducted an acceptance test using the indirect method according to IEC EN 60041 and IEC EN 62 006. A combination of the Gibson method and the built-in ultrasonic flowmeter was used for the acceptance tests. Power plant was tested in all guaranteed unit combinations and the theoretical annual production was evaluated. Site tests was demanding on installed equipment because all three units had to be equipped with temporary instrumentation at the same time.

Not only output and units/plant efficiency was tested. Also head loss in the intake and penstock was evaluated. The real losses of the fiberglass penstock represents only 72% of designed value. Through a combination of meeting the guaranteed turbine parameters and lower losses in the penstock, annual production for a standard average water year increased by 2% compared to the guaranteed value.

Conclusion

The whole Gulling project can be assessed as very successful. It is designed with regard to the minimum negative impact on nature and at the same time optimizes utilization of the flow rate available for electricity production.

The guarantee measurement confirmed that all the required parameters have been met or exceeded.

An example of a somewhat unusual set of guaranteed values aimed at maximizing the utilization of hydropower potential can be a useful guide for investors of similar power plants.

Author

Mr. Petr Ševčík, graduated at Brno University of Technology in 1980, then worked as a member of Water Power Department, site tests group in ORGREZ (part of ČEZ) and TS HYDRO companies. Since 2003 Hydro Power Group Leading Engineer, OSC a. s, Staňkova 18a, CZ 612 00 Brno. Member of the Czech national committee IEC, TC 4 – Water Turbines and International Group for Hydro Efficiency Measurement. He is involved in pressure-time method since 1990.

Identyfikacja przyczyn podwyższonego poziomu drgań maszyn hydraulicznych - praktyczne przykłady

Grzegorz Żywica

Instytut Maszyn Przepływowych im. R. Szewalskiego PAN w Gdańsku

e-mail: gzywica@imp.gda.pl

Wprowadzenie

Eksploatacji maszyn i urządzeń technicznych towarzyszą drgania charakterystyczne dla ich konstrukcji oraz sposobu pracy i realizowanych procesów. W praktyce zdarzają się przypadki, gdy drgania maszyny są tak duże, że zakłócają one realizację podstawowego procesu produkcyjnego, prowadzą do przyspieszonego zużycia lub zagrażają bezpieczeństwu obsługi. Aby uniknąć takich sytuacji opracowane zostały normy, które ułatwiają określenie dopuszczalnego poziomu drgań różnego typu maszyn, z uwzględnieniem takich cech charakterystycznych jak moc czy nominalna prędkość obrotowa [1,2]. Podstawowym zadaniem diagnosty jest więc sprawdzenie, czy stan dynamiczny maszyny pozwala na jej dalszą eksploatację. W przypadku wykrycia podwyższonego poziomu drgań konieczna jest identyfikacja przyczyn nadmiernych wibracji i podjęcie odpowiednich działań zaradczych. Często zdarza się, że wykrycie przyczyn przekroczenia dopuszczalnego poziomu drgań jest bardzo trudne, co zmusza obsługę maszyny do wprowadzenia ograniczeń eksploatacyjnych, a w ostateczności nawet jej odstawienia. Trafne wskazanie źródła podwyższonego poziomu drgań maszyny jest więc kluczowe dla jej dalszej eksploatacji. Właściwa diagnoza umożliwia zachowanie ciągłości procesów produkcyjnych oraz ogranicza negatywne skutki ekonomiczne remontów i przestojów.

W niniejszym referacie omówione zostały zagadnienia związane z wykrywaniem nadmiernego poziomu drgań części stacjonarnych maszyn hydraulicznych. W przeciwieństwie do powszechnie znanych symptomów defektów występujących w układzie wirującym (takich jak niewyważenie, wygięcie wału lub rozosiowanie), identyfikacja przyczyn nadmiernych drgań elementów nieobrotowych może sprawiać diagnostom znacznie więcej problemów. Metody stosowane przy wykrywaniu podwyższonych drgań części stacjonarnych zostały omówione na przykładzie trzech maszyn hydraulicznych: dwóch hydrozespołów o osi poziomej i pionowej oraz pompy wirowej dużej mocy. Pomimo że maszyny te różniły się między sobą mocą oraz zastosowanymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi, to podczas badań diagnostycznych wykazywały one pewne cechy wspólne. Pozwoliło to na zaproponowanie uniwersalnego podejścia, które może sprawdzić się podczas wykrywania przyczyn podwyższonego poziomu drgań innych maszyn hydraulicznych.

Badania hydrozespołu o osi poziomej

Badania diagnostyczne dotyczyły hydrozespołu z turbiną typu Francis, a ich celem było wykrycie przyczyn złego stanu dynamicznego tej maszyny. Wał turbiny wodnej był połączony z wałem generatora (na którym znajdowało się również koło zamachowe) za pomocą sprzęgła podatnego (rys. 1). Moc nominalna generatora wynosiła 315 kW przy ok. 1000 obr/min [3].



Rys. 1. Hydrozespoł z turbiną Francis o osi poziomej

Ocena stanu dynamicznego wykazała przekroczenie dopuszczalnego poziomu drgań we wszystkich punktach pomiarowych oraz konieczność odstawienia maszyny. Najwyższy poziom drgań zarejestrowano na generatorze. Pomiarzy fazy drgań wałów po dwóch stronach sprzęgła wykazały również, że w układzie wirującym występowało rozosiowanie, które było źródłem drgań o częstotliwości równej 50,5 Hz (częstotliwość trzy razy wyższa od częstotliwości obrotowej – tzw. 3X). Badania modalne dowiodły natomiast, że przy tej samej częstotliwości 50,5 Hz występowały drgania własne generatora w kierunku poprzecznym. Przyczyną podwyższonego poziomu drgań hydrozespołu było więc nałożenie się na siebie dwóch zjawisk dynamicznych tj. drgań o częstotliwości 3X wywołanych rozosiowaniem oraz drgań rezonansowych generatora. Zgodność częstotliwości powodowała, że niewielkie rozosiowanie wzbudzało drgania własne generatora. Jako środki zaradcze zastosowano w tym przypadku precyzyjne osiowanie wałów metodą laserową (uwzględniając rozszerzalność termiczną) oraz zwiększenie sztywności podparcia generatora, co zmieniło częstotliwość drgań własnych. W ten sposób uzyskano zmniejszenie poziomu drgań maszyny poniżej zalecanych wartości normowych.

Badania hydrozespołu o osi pionowej

Drugi przykład nadmiernych drgań części stacjonarnych dotyczył hydrozespołu z turbiną Kaplana, w którym generator był zamontowany na kolanie rury doprowadzającej wodę do turbiny (rys. 2). Nominalna prędkość obrotowa wirnika turbiny wynosiła ok. 350 obr/min, a generator o mocy 500 kW był napędzany przez multiplikator zwiększający obroty do ok. 1006 obr/min [4].



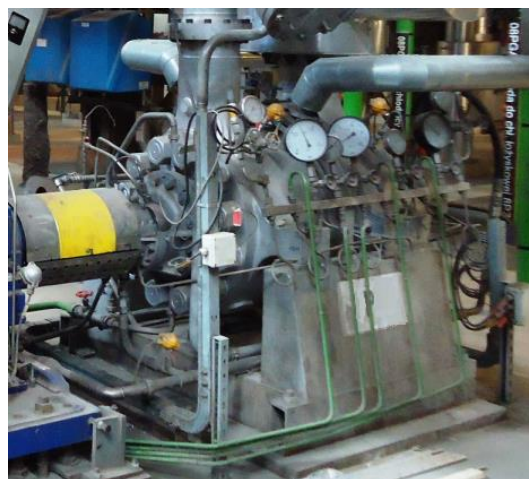
Rys. 2. Generator hydrozespołu o osi pionowej

W tym przypadku drgania hydrozespołu były tak intensywne, że przenosiły się na cały budynek elektrowni, co nie pozwalało na normalną eksploatację tej maszyny. Pomiary drgań w różnych miejscach wykazały, że najwyższy ich poziom występował w górnej części generatora przy częstotliwości 17,75 Hz (w kierunku poprzecznym). Ponieważ nominalna częstotliwość obrotowa wirnika generatora (16,77 Hz) była zbliżona do częstotliwości rezonansowej (17,75 Hz), jego drgania synchroniczne wynikające z niewyważenia resztkowego wzbudzały drgania własne całej konstrukcji. Aby uniknąć tego niekorzystnego zjawiska wprowadzone zostały dodatkowe usztywnienia w miejscu podparcia generatora, co pozwoliło na zwiększenie częstotliwości drgań własnych generatora do 18,5 Hz. Pomiary drgań hydrozespołu po wprowadzonej modyfikacji wykazały, że są one na tyle niskie, że maszyna ta jest zdalna do pracy bez żadnych ograniczeń eksploatacyjnych.

Badania pompy wirowej

Celem badań diagnostycznych wielostopniowej pompy wirowej o mocy 3,3 MW (rys. 3) była identyfikacja przyczyn podwyższonego poziomu drgań, który zaobserwowano w trakcie jej eksploatacji. Nominalna prędkość obrotowa wirnika pompy wynosiła 4570 obr/min, a maksymalne ciśnienie robocze wynosiło 240 bar [5].

Ocena stanu dynamicznego pompy wykazała, że wartość skuteczna prędkości drgań jednej z podpór łożyskowych dochodziła do 10 mm/s, a drgania w pozostałych punktach pomiarowych były na akceptowalnym poziomie. Aby zidentyfikować przyczynę zbyt wysokich drgań, wykonane zostały badania modalne, które umożliwiły wyznaczenie częstotliwości drgań własnych wspomnianej podpory łożyskowej.



Rys. 3. Wielostopniowa pompa wirowa

Stwierdzono, że częstotliwości drgań własnych podpory łożyskowej są zgodne z częstotliwościami drgań wzbudzonymi w układzie przepływowym pompy. Problem ten został rozwiązany poprzez zmianę charakterystyki modalnej podpory łożyskowej, tak aby wymuszenia hydrauliczne nie wzbudzały drgań rezonansowych.

Podsumowanie

W referacie zaprezentowano skuteczne metody wykrywania przyczyn nadmiernych drgań części stacjonarnych różnych maszyn hydraulicznych. Trafna identyfikacja przyczyn problemów dynamicznych pozwoliła na ich skuteczne wyeliminowanie i dalszą eksploatację.

Przywołania

1. **ISO 20816-1: 2016** Mechanical vibration – Measurement and evaluation of machine vibration – Part 1: General guidelines.
2. **ISO 20816-5: 2018** Mechanical vibration – Measurement and evaluation of machine vibration – Part 5: Machine sets in hydraulic power generating and pump-storage plants.
3. **Żywica G., Kaniecki M.**: *Technical diagnostics of hydropower turbine using modern measurement techniques*, Diagnostyka, 2016, Vol. 17, No. 1, pp. 87–94
4. **Adamkowski A., Żywica G., Janicki W., Lewandowski M.**: *Propagation of structural vibrations and pressure waves in the hydropower turbines*. ICTD 2016: Advances in Technical Diagnostics, Vol 10, pp. 29–46
5. **Żywica G., Flaszynski P., Kaczmarczyk T.Z., Kopeć H.**: *Identification of the causes of increased vibrations in the high-power multi-stage rotodynamic pump*, Diagnostyka, 2018, Vol. 19, No. 3, pp. 81–88

Autor

Grzegorz Żywica, dr hab. inż., prof. IMP PAN, absolwent Wydziału Nauk Technicznych UWM w Olsztynie i Wydziału Zarządzania i Ekonomii Politechniki Gdańskiej. Od 2005 r. jest pracownikiem naukowym Instytutu Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku, gdzie w 2011 r. uzyskał stopień doktora, a w 2019 r. doktora habilitowanego nauk technicznych. Jest zatrudniony na stanowisku profesora instytutu oraz pełni funkcję zastępcy dyrektora ds. naukowych i kierownika Zakładu Dynamiki i Diagnostyki Turbin. Jego zainteresowania zawodowe obejmują diagnostykę techniczną i modelowanie maszyn wirnikowych oraz rozwój systemów łożyskowania maszyn wysokoobrotowych, w tym mikroturbin.

Metody ograniczania zjawiska kawitacyjnych wirów sznurowych

Jacek Bieńkowski, Przemysław Szulc

Politechnika Wrocławska, Wrocław
e-mail: jacek.bienkowski@pwr.edu.pl,
przemyslaw.szulc@pwr.edu.pl

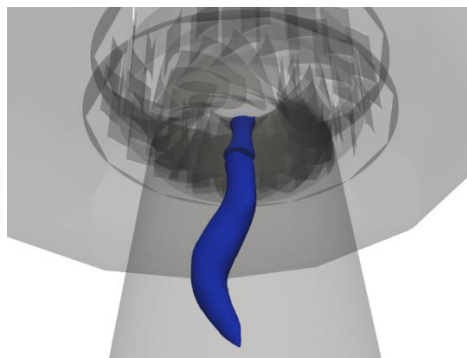
Józef Rak

Politechnika Wrocławska, Wrocław
jozef.rak@pwr.edu.pl

Wprowadzenie

Powstawanie kawitacyjnych wirów sznurowych w układach przepływowych maszyn hydraulicznych, w tym w turbinach wodnych Francisa, jest zjawiskiem często występującym podczas ich eksploatacji. Pomimo ciągle prowadzonych badań w tej dziedzinie, zjawisko to stanowi wciąż aktualny i daleki od rozwiązania problem poznawczy, czego powodem jest przede wszystkim wielkoskalowy charakter zjawiska.

Kawitacyjne wiry sznurowe – rys.1 – powstające podczas pracy w warunkach pozaoptimalnych turbin wodnych Francisa są zjawiskiem łączącym aspekt przepływów turbulentnych cieczy, wypływu wody z krętem w rurze ssącej i powstawania kawitacji (przepływ dwufazowy). Strata spadku w rurze ssącej, a zatem i redukcja sprawności turbiny, uwarunkowana jest dwiema przyczynami: międzycząsteczkowym tarcieniem wody i tarcieniem cieczy o elementy przepływowe, jednak nie powodują one aż tak znaczących strat jak przepływ wody z krętem opuszczającej wirnik. Dla turbin o nieruchomych łopatkach wirnika, jaką jest turbina Francisa, pracujących w punkcie sprawności maksymalnej zjawisko krętu nie występuje, natomiast wszystkim stanom pozaoptimalnym towarzyszy wypływ z krętem, dodatnim bądź ujemnym.



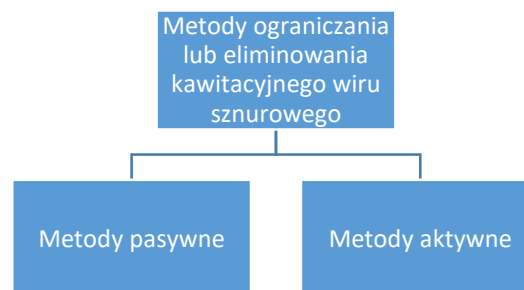
Rys.1 Kawitacyjny wir sznurowy z piastą wirnika

W turbinach z brakiem regulacji kąta położenia łopatek wirnika nie ma możliwości konstrukcyjnej wyeliminowania tego zwirowania w samym wirniku. Można jedynie wpływać na jego intensywność w bardzo wąskim zakresie, zatem eliminacja zjawiska u źródła jest niewykonalna. Występowanie zjawiska przepływu z zawirowaniem w rurze ssącej podlega zasadzie stałego krętu. Prowadzi do tego, że prędkości obwodowe wirowania, w każdym punkcie przekroju prostopadłego do jej osi, są odwrotnie proporcjonalne do promienia, zatem rów-

nież i ciśnienia będąc od niego zależne. Jeżeli na określonej wartości promienia ciśnienie absolutne będzie równe ciśnieniu nasycenia w danej temperaturze cieczy wytworzony zostanie pierścień wodny graniczny, zwany również jądrem kawitacji lub sznurowym wirum kawitacyjnym, który zmniejsza przekrój czynny rury ssącej i prowadzi do zwiększenia prędkości osiowej oraz wzrostu strat. Poza wspomnianymi problemami energetycznymi, implozja takiego zawirowania prowadzi do silnych drgań hydrozespołu o niskiej częstotliwości występowania, co w długim okresie eksploatacji może prowadzić do uszkodzenia części wirujących maszyny. Powoduje to, że zakres pracy maszyny musi zostać znacznie ograniczony, gdyż wir sznurowy może ujawnić się już poniżej 70% otwarcia kierownicy.

Metody ograniczania lub eliminacji wirów kawitacyjnych w rurze ssącej

Metody ograniczania lub eliminowania zjawiska kawitacyjnego wiru sznurowego dzieli się na pasywne i aktywne – rys.2.



Rys.2 Metody ograniczania lub eliminowania kawitacyjnego wiru sznurowego

Metody pasywne polegają na wstawianiu dodatkowych elementów konstrukcyjnych, najczęściej w rurę ssącą, które nie wymagają dodatkowego zasilania energią. Wadami tych metod są dodatkowe straty hydrauliczne.

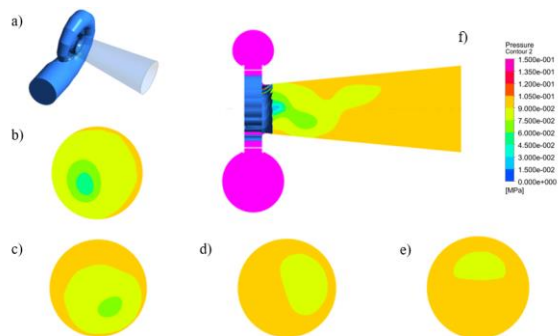
Metody aktywne polegają głównie na aktywnym wtrysku powietrza lub wody za pomocą dodatkowych pomp i wtryskiwaczy. Wtrysk odbywa się w wirniku lub rurze ssącej. Wadą tych metod są dodatkowe straty hydrauliczne i zwiększone zużycie energii. Badania nad ww. zjawiskiem prowadzone przez ośrodki naukowe potwierdziły skuteczność metod ograniczania wirów sznurowych lub ich eliminacji, jednak turbiny wodne różnych typów, w tym turbiny Francisa są maszynami jednostkowymi, projektowanymi i wykonywanymi do określonych warunków pracy w danej lokalizacji, tak więc można powiedzieć, że są unikalne. W związku

z tym nie ma też jednej, uniwersalnej metody redukcji lub ograniczenia powstających kawitacyjnych wirów sznurowych w turbinach Francisca. Pojawia się więc pytanie czym kierować się dobierając stosowaną metodę, tak aby była ona skuteczna, przy akceptowalnych nakładach finansowych na jej instalację. Czy większe efekty może dać połączenie kilku metod, czy też sumaryczne oddziaływanie nie będzie miało znaczenia na osiągnięte korzyści? Jaki efekt może przynieść połączenie metod pasywnych i aktywnych? Czy zastosowanie połączenia dwóch lub więcej metod może całkowicie zredukować powstające wiry, czy też jedynie ograniczyć zasięg ich występowania?

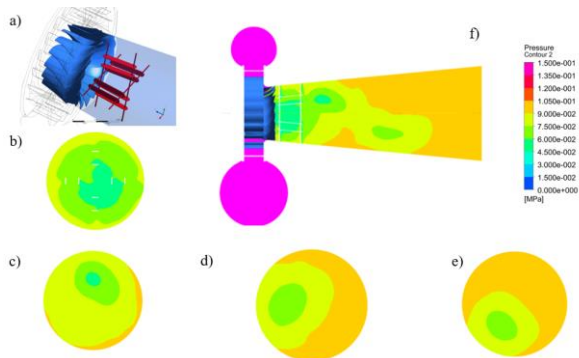
Wady i zalety wybranych metod ograniczania lub eliminowania zjawiska kawitacyjnego wiru sznurowego przedstawiono w tab.1.

Symulacje numeryczne

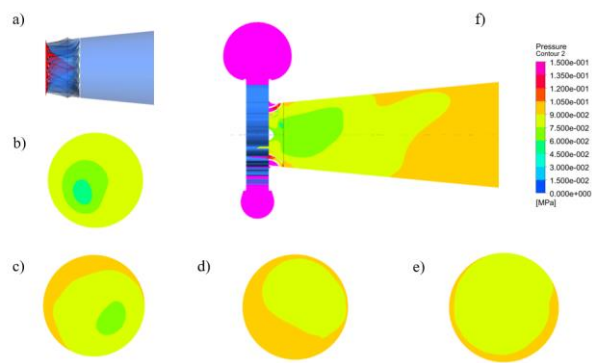
Celem identyfikacji struktury przepływu oraz możliwości redukcji lub eliminacji sznurowego wiru kawitacyjnego przeprowadzono symulacje numeryczne wybranych metod zaprezentowanych w tabeli powyżej. Wyniki w formie jakościowej zaprezentowano na rysunkach poniżej – rys.4 – rys.6. Rys.3 obrazuje rezultaty obliczeń numerycznych bez uwzględnienia metod redukcji/ograniczenia wiru sznurowego.



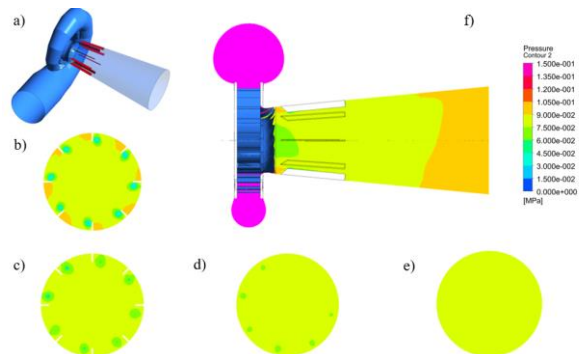
Rys.3 Wyniki symulacji numerycznych dla modelu bazowego: stan pierwotny



Rys.4 Wyniki symulacji numerycznych dla modelu 1: zastosowanie deflektora przepływów zgodnego z Feng J., Investigation on pressure fluctuation in a Francis turbine with improvement measures, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 22 (2014)



Rys.5 Wyniki symulacji numerycznych dla modelu 2: modyfikacja piasty wirnika



Rys.6 Wyniki symulacji numerycznych dla modelu 3: zastosowanie żeber w rurze ssącej

Uwagi końcowe

Występowanie zjawiska przepływu z zawirowaniem w rurze ssącej może prowadzić do wystąpienia wirów kawitacyjnych, negatywnie wpływających na zakres regulacji turbiny. Aplikacja określonej metody redukcji lub ograniczenia tego zjawiska, powinna zostać poprzedzona badaniami modelowymi ze względu na jednostkowy charakter konstrukcji turbin wodnych. Wybór metody podyktowany być musi względami technicznymi, eksploatacyjnymi oraz ekonomicznymi.

Autorzy

Jacek Bieńkowski, mgr inż., ukończył Wydział Elektryczny Politechniki Wrocławskiej w roku 1991. Jest pracownikiem TAURON Ekoenergia sp. z o.o., obecnie doktorant szkoły Doktorskiej Politechniki Wrocławskiej w dyscyplinie naukowej Inżynieria środowiska, górnictwo, energetyka w ramach Programu "Doktorat wdrożeniowy".

Przemysław Szulc, dr inż., pracownik Wydziału Mechaniczno-Energetycznego Politechniki Wrocławskiej. Zainteresowania zawodowe obejmują hydrauliczne maszyny przepływowe oraz ich systemy.

Józef Rak, dr inż., pracownik Wydziału Mechaniczno-Energetycznego Politechniki Wrocławskiej. Zainteresowania zawodowe obejmują zagadnienia termodynamiki i wymiany ciepła oraz modelowania numerycznego przepływów.

Tab.1 Metody ograniczania lub eliminowania kawitacyjnego wiru sznurowego

Metody pasywne	Zalety	Wady
Płetwy/żebra stabilizujące	zmniejszenie wahań ciśnienia w rurze ssącej	lokalne straty hydrauliczne, skuteczne w ograniczonych zakresach
J-grooves rowki	zmniejszenie wahań ciśnienia w rurze ssącej	lokalne straty hydrauliczne, skuteczne w ograniczonych zakresach
Rozszerzenie stożka wirnika ze swobodnym obrotem (FRUCE)	zmniejszenie wahań ciśnienia w rurze ssącej	siły boczne, zmniejszenie odzysku energii kinetycznej w obrębie stożka, skuteczne w ograniczonych zakresach
Deflektor przepływu	zmniejszenie wahań ciśnienia w rurze ssącej	lokalne straty hydrauliczne, skuteczne w ograniczonych zakresach
Regulowana membrana	zmniejszenie wahań ciśnienia w rurze ssącej w szerokim zakresie zastosowania	dodatkowe straty hydrauliczne
Metody aktywne	Zalety	Wady
Wtrysk powietrza/dotrysk	zmniejszenie wahań ciśnienia w rurze ssącej w szerokim zakresie zastosowania	dodatkowe straty, wzmocnienie samowzbudzenia w kilku punktach pracy, zwiększone zużycie energii
Styczne wtryskiwanie wody na ścianę stożka	zmniejszenie wahań ciśnienia w rurze ssącej	dodatkowe straty hydrauliczne, zwiększone zużycie energii
Osiowy wtrysk wody z dużą/niską prędkością	zmniejszenie wahań ciśnienia w rurze ssącej	dodatkowe straty hydrauliczne, zwiększone zużycie energii
Wtrysk wody z przepływowym sprzężeniem zwrotnym i dodatkową energią (FFM+)	zmniejszenie wahań ciśnienia w rurze ssącej	dotychczas niezidentyfikowane
Strumień wody z elementem stycznym	zmniejszenie wahań ciśnienia w rurze ssącej	dodatkowe straty hydrauliczne, zwiększone zużycie energii
Dwufazowy wtrysk powietrze-woda	zmniejszenie wahań ciśnienia w rurze ssącej w szerokim zakresie zastosowania	dodatkowe straty hydrauliczne, zwiększone zużycie energii
Wtrysk wody na krawędzi splotu łopatek kierownicy	zmniejszenie efektu RSI (interakcja stojan-wirnik)	dodatkowe straty hydrauliczne, zwiększone zużycie energii

Sesja IX

**Ochrona i regeneracja elementów hydrozespołów
oraz urządzeń pomocniczych**

Session IX

**Protection and regeneration
of hydraulic unit and auxiliary equipment components**

- 9.1** Janusz Krasucki, Zofia Buczko:
*Technologia nCu ochrony urządzeń hydrotechnicznych
przed zarastaniem biologicznym¹*
- 9.2** Karolina Górlicka, Jerzy Przydatek:
Zastosowanie filtrów samoczyszczących w elektrowniach wodnych¹
- 9.3** Roman Masek:
*Kompozyty polimerowe w naprawach, regeneracji i modernizacji
elementów maszyn hydraulicznych oraz obiektów hydrotechnicznych¹*
- 9.4** Janusz Steller:
*Równanie Rayleigha a efekty skalowe towarzyszące erozji kawitacyjnej
w maszynach i urządzeniach hydraulicznych*
- 9.5** Janusz Steller, Władimir Safonow:
*Kawitacyjna wytrzymałość zmęczeniowa
tworzyw konstrukcyjnych i powłok ochronnych*

¹ Wystąpienie zawiera treści o charakterze komercyjnym

Notatki

Notes

Technologia nCu ochrony urządzeń hydrotechnicznych przed zarastaniem biologicznym

Janusz Krasucki

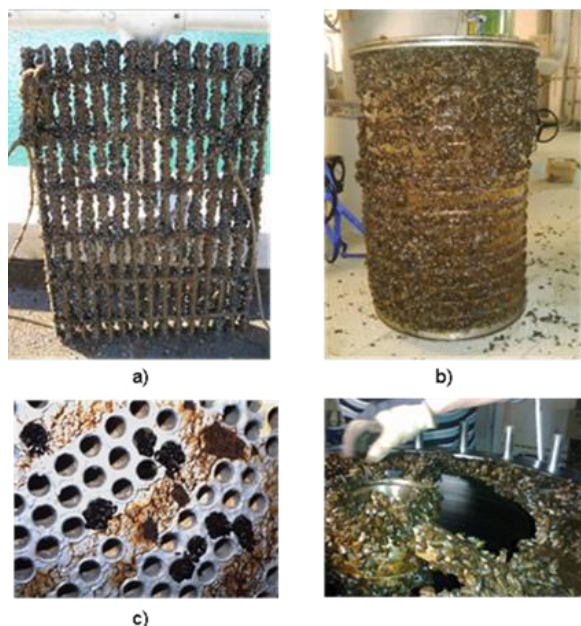
CIM-mes Projekt Sp.z o.o., Warszawa
e-mail: j.krasucki@cim-mes.com.pl

Zofia Buczko

Sieć Badawcza Łukasiewicz –
Warszawski Instytut Technologiczny, Warszawa
e-mail: zofia.buczko@wit.lukasiewicz.gov.pl

Wstęp

Urządzenia hydrotechniczne elektrowniach wodnych, a także systemy chłodzenia w środowisku wody surowej w elektrowniach konwencjonalnych, są narażone na osadzanie i rozwój na powierzchniach stalowych różnego rodzaju organizmów biologicznych (ang. *biofouling*) [1]. Organizmy te są charakterystyczne dla biologicznie zanieczyszczonych wód słodkich rzek i zbiorników śródlądowych, gdzie panują doskonałe warunki siedliskowe. Zanieczyszczenia biologiczne są trudne do monitorowania, wpływają na zmianę parametrów eksploatacyjnych urządzeń, a ich usuwanie jest kosztowne. Wymagają zwiększonej częstotliwości przeglądów i zwiększonych kosztów konserwacji. Dlatego też środki kontrolne przyjęte w celu utrzymania czystości wody chłodzącej odbijają się na pośrednich dochodach branży. Szacuje się, że koszty usuwania efektów makrofoulingu z urządzeń filtrujących wodę wynoszą 25–30 000 USD w okresie 2 lat (dwie europejskie elektrownie) [2]. Koszty jednego dnia nieplanowanego przestoju elektrowni o mocy 235 MW(e) mogą wynieść nawet 0,3% przychodu. Szczególnie uciążliwe są kolonie małży (Rys.1) które mogą spowodować nawet awarię urządzenia poprzez zablokowanie przepływu.



Rys.1 Przykłady zarastania biologicznego; a)- krata wlotowa na ujęciu wody, b)- filtr wody wlotowej w elektrowni wodnej, c)- wkład rurowy wymiennika ciepła w układzie chłodzenia

Jednym z najbardziej kłopotliwych dla gospodarki makroorganizmów stał się niewielki małż słodkowodny *Racicznica zmienna - Dreissena Polymorpha* (ang. *Zebra Mussel*). *D.Polymorpha* występuje prawie wszędzie w Polsce, ale jej rozmieszczenie jest nierównomierne. W północnej Polsce występuje w lagunach, dolnych odciwkach i ujściach Wisły i Odry, w większości jezior z głównych obszarów pojezierza (Pojezierze Pomorskie - 95%, Pojezierze Mazurskie - 78%, Kraina Jezior Leśnych – 25%), a szczególnie w dużych, głębokich jeziorach [3]. W centralnej Polsce *D. Polymorpha* występuje obficie w zbiornikach w dużych zapadniętych rzekach nizinnych, w ujściach tych rzek do zbiorników oraz w starorzeczach. Decyzją Parlamentu Europejskiego z kwietnia 2014 r. *Dreissena. Polymorpha* znalazła się na tzw. "czarnej liście" 50 najbardziej inwazyjnych gatunków w Europie [4].

Większość badań dotyczących zapobieganiu biofoulingowi a w szczególności rozwojowi powłok antyporostowych koncentrowało się do tej pory głównie w obszarze urządzeń eksploatowanych w środowisku wody morskiej takich jak: statki żeglowne, systemy rurociągów wody morskiej i rury wymienników ciepła w zakładach odsalania, systemy akwakultury, konstrukcje przybrzeżne itp.[5]. Jednakże w przypadku urządzeń eksploatowanych w środowisku słodkowodnym, gdzie ekologiczność powłok antyporostowych jest kwestią kluczową, wymagane są inne technologie [6],[7].

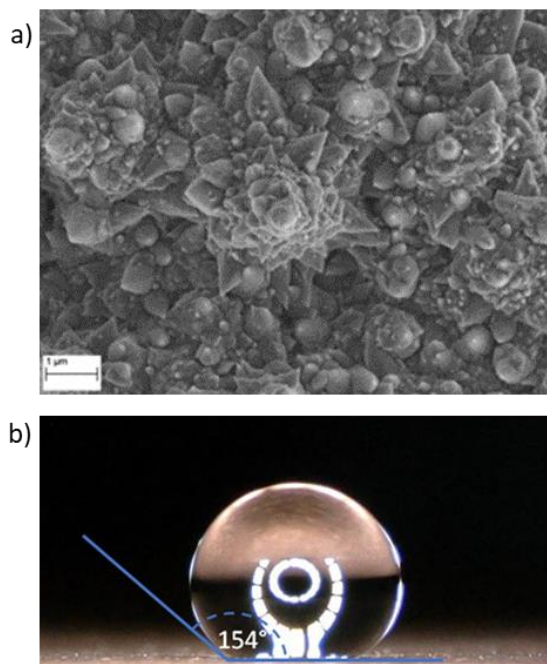
Fizykochemiczne uzdatnianie wody i stosowanie biocydów jest tanią i bardzo skuteczną metodą zwalczania osadów biologicznych, ale ze względu na ich wpływ na środowisko można je stosować wyłącznie w systemach wody obiegowej. Stosowanie farb i powłok zawierających związek biobójczy tributyllocynę (TBT) i trifenylocynę (TPT) zostało w dużym stopniu ograniczone ze względu na dyrektywę 76/769/WE, z wyjątkiem miedzi gdyż zgodnie z Decyzją Komisji Europejskiej nr 2014/395/UE dopuszczone są do obrotu produkty biobójcze zawierające miedź. Alternatywą jest stosowanie nowej generacji nietoksycznych farb i powłok, które tworzą powłoki utrudniające przyczepność mikroorganizmów do podłoża dzięki własnościom hydrofobowym (ang. *foul release coatings*). Dostępne w handlu tego typu powłoki zawierają najczęściej silikony lub fluoropolimery o niskiej energii powierzchniowej, jak np. Intersleek® 900, BIOCLEAN. Wadą tej metody jest niska odporność warstwy wierzchniej na uszkodzenia mechaniczne i mała odporność na ścieranie [8]. To eliminują ją z zastosowań w przypadku, gdy woda użytkowa jest

zanieczyszczona nieorganicznymi cząstkami, takimi jak piasek lub żwir.

Mając na uwadze opracowanie taniej, bezpiecznej ekologicznie i skutecznej technologii antyporostowej, CIM-mes Projekt wspólnie z Instytutem Mechaniki Precyzyjnej opracował rozwiązanie hybrydowe integrujące dwie funkcjonalności materiałowe: biobójcze właściwości miedzi oraz hydrofobowość powierzchni. Opracowana technologia nCu wykorzystuje znaną i niskokosztową technologię galwanotechnicznego pokrywania miedzią podłoża stalowego.

Charakterystyka opracowanej technologii

Liczne badania wskazują że superhydrofobowa powierzchnia może wykazywać również właściwości antyporostowe [6],[7]. Właściwości superhydrofobowe można uzyskać metodami inżynierii powierzchni poprzez kształtowanie struktury powierzchniowej pod kątem uzyskania tzw. dwuskalowej chropowatości w skali mikro i nano [9],[10]. Celem przeprowadzonych badań było uzyskanie mikro/nanostrukturalnej warstwy powierzchniowej o właściwościach hydrofobowych w procesie galwanicznego pokrywania stali nierdzewnej warstwą miedzi [11],[12]. Budowanie pożądanej struktury hierarchicznej w galwanicznym procesie nakładania warstwy miedzi prowadzone jest dwuetapowo- najpierw w kąpeli siarczanowej i finalnie w kąpeli cyjankowej. Wstępne przygotowanie powierzchni podłoża, skład kąpeli oraz parametry procesu, zostały dobrane i optymalizowane pod kątem uzyskania odpowiedniej mikro/nano struktury powierzchniowej i pożądanych własności hydrofobowych. Uzyskana morfologia powierzchni ma strukturę dwuskalową - „choinkową” (Rys.2a) i charakteryzuje się bardzo niską zwilżalnością. Kąt zwilżania wody z naniesioną powłoką Cu może wynosić nawet powyżej 150° , co oznacza superhydrofobowe właściwości tej powłoki - rys.2b.



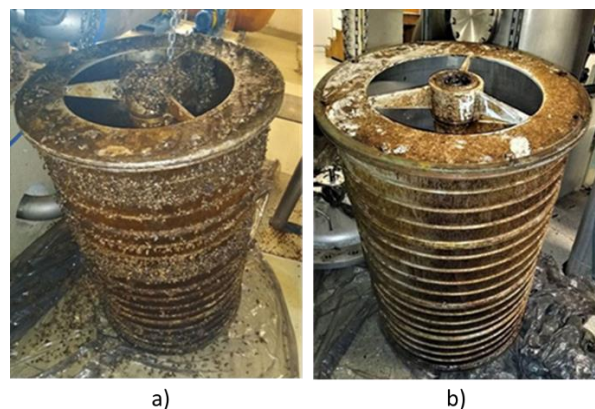
Rys.2 Mikro/nano struktura i zwilżalność powierzchni pokrycia nCu, a) – obraz SEM morfologii powierzchni, b) – obraz kropli wody na powierzchni z pokryciem nCu.

Odporność na ścieralność warstwy nCu została zbadana na specjalnym stanowisku badawczym, symulującym warunki zbliżone do naturalnych, gdy płynąca woda jest zanieczyszczona piaskiem. Zawiesina stosowana do testów na ścieranie była 10% roztworem cząstek ściernych w wodzie, w postaci mieszaniny piasku (wielkość ziarna $<50 \mu\text{m}$) i elektrokorundu (wielkość ziarna $<100 \mu\text{m}$). Wyniki badań potwierdziły dobrą odporność na ścieranie i trwałość właściwości powłoki nCu..

Badania właściwości antyporostowych

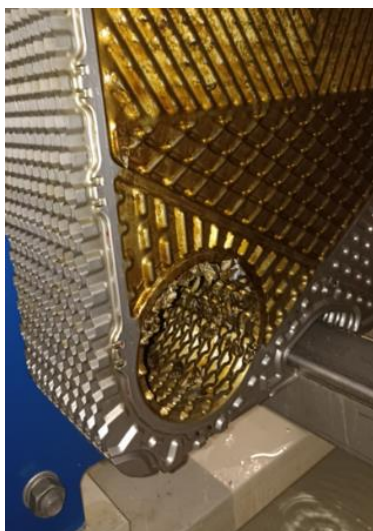
W celu sprawdzenia właściwości antyporostowych powłok nCu, przeprowadzono porównawczą serię badań laboratoryjnych, badań terenowych w Zbiorniku Włocławskim oraz pełnoskalowych badań eksploatacyjnych na stacji filtrów Elektrowni Wodnej w Żarnowcu. Badaniom eksploatacyjnym poddano filtry szczelinowe do wody w układzie chłodzenia oleju łożysk turbogeneratorów oraz elektrolitu. Wkłady filtrujące tych filtrów zostały pokryte warstwą nCu i poddane normalnej eksploatacji. Badaniom w różnych okresach poddano trzy prototypy filtra z powłoką nCu – w okresie 10 miesięcy oraz dwukrotnie w okresie 24 miesięcy – odpowiednio do okresów przeglądów serwisowych instalacji. Dla celów referencyjnych monitorowano też pracę filtrów w standardowym wykonaniu.

Po założonym okresie badań, dokonano demontażu filtra referencyjnego bez pokrycia oraz filtra z pokryciem nCu. Na wkładach filtrujących w wykonaniu standardowym widoczne były duże kolonie małży, natomiast wkłady z pokryciem antyporostowym nie wykazały ich obecności a powierzchnia sita filtrującego była pokryta jedynie warstwą szlamu – rys.3.



Rys.3 Wkład filtrujący filtra do wody po 24 miesiącach eksploatacji w Elektrowni Żarnowiec; a) – wkład standardowy bez pokrycia, b) -wkład wykonany w technologii nCu

W ramach przeglądu serwisowego, dodatkowo sprawdzono również stan instalacji wodnej znajdującej się za filtrem z pokryciem nCu, a w szczególności stan płytowych wymienników ciepła w układzie chłodzenia elektrolitu i oleju łożyska nośnego turbiny. Nie stwierdzono tam kolonii małży a jedynie pojedyncze, nie związane z podłożem puste skorupy – Rys.4. Można więc postawić tezę, że zabezpieczenie antyporostowe filtrów z pokryciem nCu utrudnia również migrację larw małży do instalacji za filtrem i stwarza tam niesprzyjające warunki do ich osiedlenia dzięki przechodzeniu jonów Cu^{2+} do wody i tworzeniu akwakompleksów miedzi.



Rys.4 Wylot wody z wymiennika płytowego w układzie chłodzenia elektrolitu

Uwagi końcowe

Opracowana technologia nCu wykorzystuje powszechnie znany i stosowany proces galwanizacji miedzią, umożliwiając uzyskanie superhydrofobowej morfologii powierzchni. Superhydrofobowość powierzchni w połączeniu z naturalnymi właściwościami biobójczymi miedzi pozwoliła uzyskać skuteczne właściwości przeciwporostowe dla środowiska słodkowodnego.

Długotrwałe badania w warunkach eksploatacyjnych nowej technologii antyporostowej w Elektrowni wodnej w Tarnowcu, potwierdziły że może to być skuteczna i tania metoda zabezpieczania stalowych instalacji hydrotechnicznych przed zarastaniem biologicznym w środowisku słodkowodnym, w szczególności jako ochrona przed kolonizacją przez małża *Dreissena Polymorpha*.

Technologia nCu może być szczególnie przydatna i zalecana do ochrony przeciwporostowej urządzeń w elektrowniach wodnych, a także w elektrowniach konwencjonalnych z układami chłodzenia wodą z obiegiem otwartym, gdy ze względu na wymagania ochrony środowiska nie można zastosować konwencjonalnych biocydów przeciwporostowych.

Prace badawczo-rozwojowe wykonywane były w ramach projektu POIR.01.01.01-00-1043/15-00 - "Opracowanie innowacyjnej technologii wytwarzania nanostrukturalnej warstwy powierzchniowej o właściwościach superhydrofobowych w celu zastosowania w przemysłowych filtrach do wody odpornych na zarastanie biologiczne" współfinansowanego z Funduszy Europejskich przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Przywołania

1. **Terlizzi, A., Faimali, M.:** *Fouling on artificial substrata*. In Biofouling. Eds.: Simone D., Thomason J.C. Wiley-Blackwell 2010
2. **Kovalak, W. P., Longton, G. D., Smithee, R. D.:** *Infestation of power plant water systems by the zebra mussel (*Dreissena polymorpha Pallas*)*. In: Nalepa TF, Schloesser DW (eds) Zebra mussels: biology, impacts and control. (1993) Lewis, Boca Raton, pp. 359 – 380.

3. **der Velde, G., Rajagopal, S., bij de Vaate, A. (Eds.):** *The zebra mussel in Europe*. Margraf 2010.
4. <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+REPORT+A7-2014-0088+0+DOC+XML+V0//EN>.
5. **Banerjee, I., Pangule, R. C., Kane, R. S.:** *Antifouling coatings: recent developments in the design of surfaces that prevent fouling by proteins, bacteria, and marine organisms*. *Advanced materials* 23, 6, 2011, 690-718.
6. **Yeber, D. M., Kiil, S., Dam-Johansen, K.:** *Antifouling technology—past, present and future steps towards efficient and environmentally friendly antifouling coatings*. *Progress in organic coatings* 50, 2, 2004, 75-104
7. **Wells, S., Sytsma, M.:** *A review of the use of coatings to mitigate biofouling in freshwater*. Portland State University, Portland, OR, 2009. Accessed Feb, 22, 2018.
8. **Milionis, A., Loth, E., Bayer, I. S.:** *Recent advances in the mechanical durability of superhydrophobic materials*. *Advances in colloid and interface science* 229, 2016, 57-79.
9. **Shirtcliffe, N. J., McHale, G., Newton, M. I., Chabrol, G., Perry, C. C.:** *Dual-scale roughness produces unusually water-repellent surfaces*. *Advanced Materials* 16, 21, 2004, 1929-1932.
10. **Scardino, A. J., Zhang, H., Cookson, D. J., Lamb, R. N., Nys, R. D.:** *The role of nano-roughness in antifouling*. *Biofouling* 25, 8, 2009, 757-767.
11. **Haghdoust, A., Pitchumani, R.:** *Fabricating superhydrophobic surfaces via a two-step electrodeposition technique*. *Langmuir* 30, 14, 2014, 4183-4191.
12. **Darmanin, T., de Givenchy, E. T., Amigoni, S., Guittard, F.:** *Superhydrophobic surfaces by electrochemical processes*. *Advanced materials* 25, 10, 2013, 1378-1394.
13. **Grabowiecki K., Krasucki J., Buczek Z., Osuchowska E.:** *Development of nanostructured copper-based anti-fouling coatings on stainless steel for freshwater applications*. HYDRO 2018. International Conference and Exhibition, Gdańsk, 15-17.10.2018
14. **Grabowiecki K., Krasucki J., Buczek Z., Osuchowska E., Olkiewicz K.:** *Development of nanostructured anti-fouling coatings for hydro plant facilities*. *Journal of Power Technologies* 101 (3) (2021) 226 – 236.

Autorzy

Janusz Krasucki, dr inż., ukończył studia na Politechnice Warszawskiej i uzyskał stopień doktora nauk technicznych. Pracuje jako CTO w CIM-mes Projekt Sp. z o.o. Zajmuje się analizą inżynierską i zastosowaniami nowych technologii z wykorzystaniem nanomateriałów oraz nowych materiałów funkcjonalnych.

Zofia Buczek, dr., ukończyła studia na wydziale fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Stopień doktora nauk technicznych uzyskała w Instytucie Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie. Obecnie pracuje w Sieć Badawcza Łukasiewicz – Warszawski Instytut Technologiczny na stanowisku naukowym. Specjalizuje się w elektroosadzaniu powłok metalicznych, kompozytowych i tlenkowych na podłożach metalowych tworząc powierzchnie funkcjonalne.

Zastosowanie filtrów samoczyszczących w elektrowniach wodnych

Karolina Górlicka, Jerzy Przydatek

PFTechnology sp. z o.o., Wierzbica k. Radomia
e-mail: j.przydatek@pfttechnology.eu, k.gorlicka@pfttechnology.eu

PFTechnology jest polskim producentem maszyn i urządzeń obejmujących w swym zakresie procesy filtracji, separacji, flotacji, odwadniania i magazynowania.

Producent prowadził w ostatnich latach projekty nad wykorzystaniem filtrów samoczyszczących w celu ochrony instalacji przemysłowych przed biofoulingiem, czyli nadmiernym osadzaniem się organizmów roślinnych, zwierzęcych oraz glonów na powierzchniach mających bezpośredni kontakt z wodą.

Na przestrzeni lat z problemem radzono sobie różnymi metodami, ale nadal nie przynosiły one w pełni zadowalającego efektu. Obecnie można wyróżnić dwie główne metody eliminowania biofoulingu, które są stosowane w przemyśle – chemiczne oraz niechemiczne. W przypadku metod niechemicznych można wyróżnić takie działania jak np. coating, czyli pokrywanie zagrożonych osadzeniem elementów specjalnie przygotowanymi powłokami, które posiadają właściwości antybiofoulingowe oraz nisko adhezyjne, a także metodę zastosowania bariery mechanicznej.

Firma PFTechnology w jednej z polskich elektrowni wodnych – zdj. 1 prowadziła długotrwałe testy takiej powłoki antyporostowej do ochrony wkładów filtracyjnych i wewnętrznych powierzchni filtrów, zamontowanych w instalacjach ujęć wody powierzchniowej dla przemysłowych układów wody chłodzącej. Na poniższych zdjęciach – zdj. 2 i 3 przedstawione zostały wkłady filtrujące po badaniach eksploatacyjnych. Można zauważyć wyraźną różnicę w zanieczyszczeniu filtrów. Powłoka antyporostowa przyniosła oczekiwany efekt.



Zdj. 1 Filtry samoczyszczące DN300 wody chłodzącej wyprodukowane przez PFTechnology



Zdj. 2 Wkład filtracyjny z powłoką antyporostową po badaniach eksploatacyjnych



Zdj. 3 Wkład filtracyjny bez powłoki po badaniach eksploatacyjnych

Polski producent prowadził równolegle na innym hydrozespole testy nad zabezpieczeniem instalacji przed biofoulingiem, poprzez zastosowanie filtracji mechanicznej realizowanej na sicie szczelinowym o odpowiednio drobnej szczelinie. Metoda ta zapewnia bardzo wysoki procent pozbycia się niepożądanych organizmów z układu. Firma PFTechnology zastosowała przegrodę filtracyjną do eliminacji biologicznych zanieczyszczeń już na etapie rozwoju embrionalnego małej racicznicy zmiennej (*Dreissena polymorpha*) o wielkości poniżej 40 μm . Jednocześnie zastosowanie mechanicznego „odcięcia” na szczelinie sita o selektywności poniżej 90 μm nie pozwala na przedostanie się większych organizmów do zabezpieczanego układu. Odpowiednio zabudowany na instalacji filtr chroni ją skutecznie przed negatywnymi skutkami biofoulingu.

Filtr samoczyszczący jest całkowicie bezobsługowy, dzięki czemu instalacja, na której pracuje może działać bez przerw na czyszczenie, a w konsekwencji pozwala na zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych. Prace badawcze dotyczyły także odpowiedniego wymiarowania powierzchni filtracyjnej do nominalnego przepływu w taki sposób, aby zapewnić odpowiednie warunki hydrodynamiczne w szczelinie filtracyjnej, które unieszkodliwiając mikroorganizmy pomagają ograniczyć niekorzystne zjawiska ich rozwoju we wnętrzu urządzeń przemysłowych. Optymalizacja tych warunków obejmuje odpowiednią konstrukcję szczeliny i prędkości filtracji (strumienia na jednostkę powierzchni filtra), aby wytworzyć dostatecznie wysokie wartości naprężeń ścinających, powodujących uszkodzenie komórek mikroorganizmów. Wspomaga to wymiarowanie urządzeń, przynosząc realne korzyści odbiorcom urządzeń w postaci eliminacji problemów operacyjnych związanych z szybkim blokowaniem w wyniku biofoulingu oraz redukcji wymiarów aparatów filtracyjnych (kompaktowa budowa, konkurencyjna cena).

Firma PFTechnology zakończyła projekt badawczy, którego celem była między innymi ocena pracy filtra samoczyszczącego z wkładem z sita szczelinowego o selektywności poniżej 90 μm . Próby dowiodły skuteczności samoczyszczania się filtra również przy niskich ciśnieniach roboczych. Zastosowanie inteligentnego algorytmu sterowania w badanej jednostce, którego zasadniczą cechą jest auto-adaptacyjny sposób doboru parametrów czyszczenia, pozwoliło na ograniczenie ilości traconego filtratu w czasie płukania. To rozwiązanie konstrukcyjne wariantowo zostało przetestowane w polskiej hydroelektrowni z pozytywnym efektem. Warto nadmienić, iż auto-adaptacyjny system sterowania pracą filtra samoczyszczącego, opracowany w czasie prowadzonych badań, może również zostać zastosowany w zainstalowanych już i pracujących filtrach samoczyszczących, co dodatkowo zwiększy ich efektywność działania, zmniejszając ilość traconego czynnika w czasie cyklu automatycznego czyszczenia.

PFTechnology sp. z o.o. wyróżnia prawdziwa innowacyjność działania. Pierwszorzędnie wykwalifikowana kadra inżynierska wychodzi naprzeciw najbardziej wy-

magającym projektom. Oprócz samej produkcji urządzeń producent zajmuje się pozyskiwaniem wiedzy dotyczącej produktów, procesów, analizie teoretycznej oraz praktycznej na podstawie studiów przypadków. Więcej informacji na temat działalności firmy znajdziecie Państwo na stronie internetowej www.pftechnology.eu.



Zdj. 3 Filtr samoczyszczący DN65 o poziomie filtracji 25 μm

Autorzy

Jerzy Przydatek, mgr inż., ukończył Politechnikę Świętokrzyską w roku 1986. Do roku 1999 pracował jako konstruktor armatury przemysłowej w OBRA-P Kielce. Obecnie Dyrektor Techniczny, Członek Zarządu w firmie PFTechnology. Zakres obowiązków związany opracowaniem dokumentacji konstrukcyjnej filtrów przemysłowych i ich wdrożeniem.

Karolina Górlicka, mgr inż., ukończyła Wydział Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej w roku 2010. Od roku 2012 pracuje w firmie PFTechnology w dziale sprzedaży.



Kompozyty polimerowe w naprawach, regeneracji i modernizacji elementów maszyn hydraulicznych oraz obiektów hydrotechnicznych

Roman Masek

BELSE Sp. z o.o.

e-mail: rmasek@belse.com.pl

Referat zawiera podstawowe informacje o właściwościach fizyko-chemicznych oraz wytrzymałościowych wzmacnianych dyspersyjnie kompozytów z osnową polimerową. Przedstawia autor podstawowe obszary zastosowania kompozytów w naprawach i regeneracji maszyn i urządzeń w tym energetycznych maszyn przepływowych oraz obiektów hydrotechnicznych. Wskazuje się w referacie na podstawowe różnice pomiędzy klasycznymi technikami regeneracji a technikami kompozytowymi wskazując na to, że techniki kompozytowe pozwalają na znaczne obniżenie kosztów energii potrzebnej do przeprowadzenia naprawy. W metodzie kompozytowej można więc ponosząc niższe nakłady na energię, przywrócić parametry nominalne regenerowanej części a co ciekawe i co potwierdzają liczne testy, można zwiększyć trwałość naprawianego elementu nawet ponad trwałość elementu nowego. Przedstawiono kompozyt Belzona®1111 stosowany do regeneracji uszkodzonego wirnika pompy, wału w miejscu łożyskowania oraz naprawy pęknięć. Omówiono także metody napraw: „na zimno” uszkodzeń zbiorników, rurociągów, korekcji błędów płaskości (kształtu), napraw elementów turbin wodnych, pomp wirowych i wielu innych. Referat zawiera także bardzo ciekawe przykłady zastosowania kompozytu polimerowego do spajania metali zastępując tradycyjne spawanie. Ogólnie koncepcja referatu opiera się na ochronie powierzchni materiałów inżynierskich (stale, tworzywa i inne materiały), przed niszczącym działaniem procesów korozyjnych, kawitacji, wycierania, agresji chemicznej itp. Ochronę zapewniają kompozyty naprawcze oraz powłoki kompozytowe na osnowie polimerowej, które także przedstawiono w kilku przykładach zastosowań do wzmocnienia, naprawy i ochrony betonu.

Autor

Roman Masek, mgr inż., ukończył Wydział Mechaniczno-Energetyczny Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Pracę dyplomową pt. „ Propagacja pęknięć w kadłubach turbin parowych” obronił w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych tej samej uczelni w roku 1991. Autor wielu publikacji w dziedzinie zastosowania kompozytów polimerowych w przemyśle.

Równanie Rayleigha a efekty skalowe towarzyszące erozji kawitacyjnej w maszynach i urządzeniach hydraulicznych

Janusz Steller

Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk

e-mail: steller@imp.gda.pl

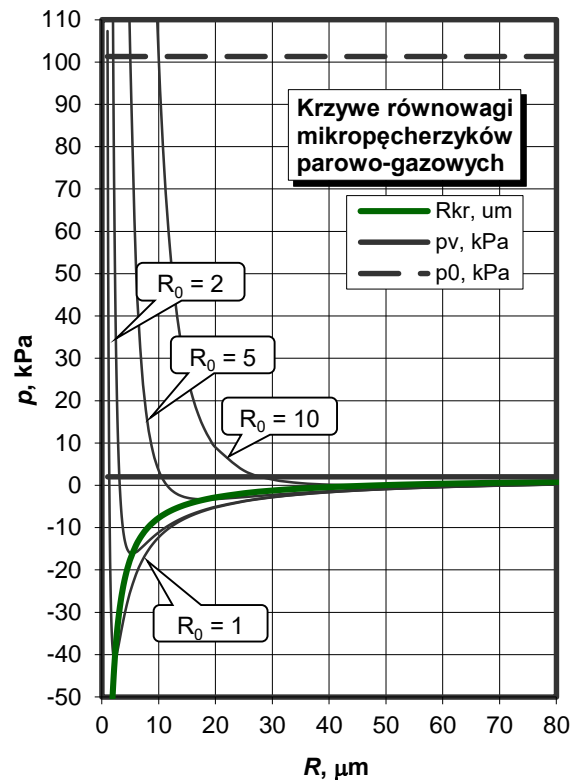
Przez efekty skalowe towarzyszące erozji kawitacyjnej rozumie się zwykle zależności natężenia erozji od prędkości przepływu cieczy i rozmiaru charakterystycznego układu przepływowego występujące mimo zachowania podobieństwa geometrycznego i kinematycznego oraz stałej liczby kawitacji. Efekty te są znane od dawna i były intensywnie badane od połowy ubiegłego stulecia, lecz badacze rzadko zwracają uwagę na to, w jak istotnej mierze wynikają one z fundamentów teorii kawitacji.

Kawitacja

Zapoczątkowanie kawitacji związane jest z utratą stabilności oraz nierównowagowym (eksplozywnym) rozrostem znajdujących się w cieczy lub do niej wprowadzanych mikropęcherzyków parowo-gazowych. Zanim do tego dojdzie, ciśnienie zawartego w nich gazu p_g i pary nasyconej p_v pozostaje w stanie równowagi z ciśnieniem otaczającej cieczy p oraz ciśnieniem wynikającym z sił napięcia powierzchniowego $2S/R$, gdzie S oznacza współczynnik napięcia powierzchniowego, zaś R – promień pęcherzyka. W warunkach zmiennego ciśnienia zewnętrzne stan ten opisują przedstawione na rys. 1 krzywe przemiany izobarycznej

$$p_g R^3 = (p - p_v + 2S/R) R^3 = const. \quad (1)$$

Lewa gałąź każdej krzywej odpowiada równowadze trwałej, prawa – nietrwałej. Rozdzielające je minimum krzywej to punkt krytyczny odpowiadający równowadze neutralnej. Dopóki mikropęcherzyk przemieszcza się wzdłuż omywanej powierzchni w kierunku ciśnienia malejącego, lecz wyższego od wartości krytycznej, jego rozmiar zmienia się zgodnie z prawem przemiany izobarycznej. Jeśli jednak ciśnienie zewnętrzne spadnie poniżej wartości krytycznej, rozpoczyna się faza eksplozywnego rozrostu. Rozrastające się gwałtownie pęcherzyki wędrują dalej wzdłuż linii prądu lub łączą się w różne - zwykle niestabilne - struktury wielkoskalowe, takie jak obłoki kawitacyjne, jądra wirów kawitacyjnych, kawerny przyłączone. Zakończenie procesu rozrostu związane jest z napotkaniem ograniczenia w postaci podwyższonego ciśnienia lub dotarciem do powierzchni swobodnej. Jeśli pęcherzyk dostanie się w obszar podwyższonego ciśnienia – powyżej gałęzi równowagi nietrwałej – dochodzi do procesu implozji, która przy stałym ciśnieniu zewnętrznym kończy się tłumionymi oscylacjami wokół gałęzi równowagi trwałej i ewentualnym rozpuszczeniem, a w przypadku zakłócenia symetrii pola ciśnienia – deformacją, rozpadem i unicestwieniem pęcherzyka. Warto zauważyć, że opisany mechanizm umożliwia eksplozję i implozję pęcherzyków przy tym samym ciśnieniu zewnętrznym.



Rys.1 Krzywe równowagi pęcherzyków parowo-gazowych. R_0 oznacza wyrażony w μm promień mikropęcherzyka przy ciśnieniu $p_0 = 100,13 \text{ kPa}$ i temperaturze $17,5^\circ\text{C}$.

Prawa podobieństwa

W cieczy niepoddanej wcześniejszemu odgazowaniu ciśnienie krytyczne największych mikropęcherzyków przyjmuje wartość dodatnią. Dlatego jako warunek zapoczątkowania kawitacji przyjmuje się często po prostu spadek ciśnienia lokalnego poniżej wartości ciśnienia pary nasyconej. Tymczasem z równania Bernoulliego wiadomo, że zachowanie podobieństwa kinematycznego pół prędkości pozwala zapisać rozkład ciśnień na omywanej powierzchni bezwymiarowo za pomocą współczynnika ciśnienia lokalnego

$$C_p = (p - p_\infty)/0,5\rho v_\infty^2, \quad (2)$$

gdzie p_∞ i v_∞ oznaczają odpowiednio ciśnienie i prędkość cieczy w przepływie niezakłóconym, zaś ρ jest jej gęstością. Zapoczątkowania kawitacji oczekuje się, gdy minimalne ciśnienie na omywanej powierzchni spadnie do wartości p_v , co oznacza, że współczynnik ciśnienia lokalnego osiąga w tym miejscu wartość

$$C_{pmin} = -\sigma = -(p_\infty - p_v)/0,5\rho v_\infty^2. \quad (3)$$

Parametr σ zdefiniowany wzorem (3) określa się mianem liczby kawitacji. Spadek liczby kawitacji poniżej wartości odpowiadającej jej zapoczątkowaniu powoduje pojawienie się różnych niepożądanych zjawisk towarzyszących jej rozwojowi – od efektów wibroakustycznych i erozyjnych aż do pogorszenia ważnych parametrów funkcjonalnych maszyny lub urządzenia.

W liczniku wyrażenia (3) znajduje się nadwyżka ciśnienia w przepływie niezakłóconym nad ciśnieniem pary nasyconej. Gdyby ciśnienie było mierzone na innym poziomie niż omywana powierzchnia, konieczne byłoby uwzględnienie ciśnienia odpowiedniego słupa cieczy. Taka właśnie sytuacja występuje w przypadku maszyn hydraulicznych, a zwłaszcza turbin wodnych i maszyn odwracalnych w elektrowniach wodnych. W tym ostatnim przypadku wymienioną wcześniej nadwyżkę ciśnienia zapisuje się zwykle w jednostkach wysokości słupa cieczy

$$NPSH = (p_a - p_v) / \rho g - H_s \pm \Delta H, \quad (4)$$

gdzie p_a oznacza ciśnienie atmosferyczne na poziomie dolnej wody lub ciśnienie w innym przekroju odniesienia od strony ssania, g jest przyspieszeniem grawitacyjnym, H_s - geometryczną wysokością ssania, a ΔH - wysokością strat hydraulicznych ze znakiem zależnym od kierunku przepływu cieczy. Ponieważ energia kinetyczna cieczy w rurze ssącej wirowej maszyny hydraulicznej jest proporcjonalna do spadku lub wysokości podnoszenia H , odpowiednik liczby kawitacji σ można w tym przypadku zapisać w postaci liczby Thomy

$$Th = NPSH/H. \quad (5)$$

Liczby kawitacyjne zapisane w postaci (3) lub (5) oraz ich modyfikacje są podstawą wszystkich badań modelowych własności kawitacyjnych maszyn i urządzeń hydraulicznych. Zachowanie stałej liczby kawitacji nie wystarcza jednak, by na podstawie takich badań można było w prosty sposób określić intensywność oddziaływań dynamicznych kawitacji na omywane ścianki, a zwłaszcza intensywność erozji. Stan taki wynika z podstaw fizycznych zjawiska.

Równanie Rayleigha

Za prekursora badań dynamiki pęcherzyków kawitacyjnych uchodzi W.H. Besant, który w swoim traktacie z 1859 r. umieścił rozwiązanie zadania dotyczącego wypełnienia cieczą nagle powstałej w niej sferycznej pustki [1]. Rozwiązanie to wymagało oczywiście sformułowania równania dynamiki cieczy obejmującego ruch powierzchni implodującego pęcherza. Blisko 60 lat później Lord Rayleigh dokonał nieco prostszym sposobem podobnej analizy w odniesieniu do pęcherzyka wypełnionego gazem, co pozwoliło mu wykluczyć nieskończoną prędkość cieczy pod koniec implozji [2]. Autor przeprowadził również szczegółową analizę rozkładu ciśnień w cieczy w zależności od stadium implozji stwierdzając, że przed jej zakończeniem ciśnienia te osiągną „bardzo duże” wartości. W swoich rozważaniach powołał się na prace innego badacza (S. Cook), który zamiast gazu umieścił wewnątrz pęcherzyka wirtualną sztywną kulę. Wynikające stąd ciśnienia implozji okazały się być zbliżone do 1 GPa – jakże blisko dzisiejszych danych doświadczalnych!

Artykuł Lorda Rayleigha z 1917 r. stał się fundamentem dla analitycznego i numerycznego modelowania zjawiska kawitacji. Zawarte w nim równanie dynamiki pęcherzyka kawitacyjnego zapisuje się dziś w formie

$$\rho \left(R\ddot{R} + \frac{3}{2}\dot{R}^2 \right) = p_v - p_\infty. \quad (6)$$

gdzie ρ oznacza gęstość cieczy. Jak niedawno pokazano [3], równanie to łatwo wyprowadzić sposobem znacznie prostszym niż to opisano w [1] i [2] oraz licznych późniejszych monografiach – wystarczy do tego wykorzystać znaną z mechaniki teoretycznej zasadę najmniejszego działania i formalizm Lagrange’a [4].

Do połowy lat 60-tych równanie (6) było przedmiotem licznych uzupełnień i modyfikacji, np. [5]. Wersja uwzględniająca obecność gazu wewnątrz pęcherzyka, człon z napięciem powierzchniowym, lepkość cieczy, a także zmienne ciśnienie zewnętrzne znana jest pod nazwą równania Rayleigha-Plesseta. Wersje kolejne uwzględniają m.in. ściśliwość cieczy, a także efekty termodynamiczne.

Dziś dynamikę pojedynczego pęcherzyka w nieruchomej cieczy modeluje się przy użyciu zaawansowanych numerycznych schematów obliczeniowych, zwykle z uwzględnieniem oddziaływania z powierzchnią stałą. Z drugiej strony warto zauważyć, że zlinearyzowane równanie Rayleigha – bez członu z drugą pochodną – stanowi zasadniczy element licznych współczesnych algorytmów CFD modelujących przepływy z kawitacją w maszynach hydraulicznych.

Dla dalszych rozważań istotne jest półanalityczne rozwiązanie równania Rayleigha wzdłuż linii prądu zaproponowane pod koniec lat 50-tych przez F.F. Bołotina, a następnie opisane w monografii A.D. Pernika [5] oraz rozwinięte przez J.A. Griwnina i S.P. Zubriłowa [6]. Rozwiązanie polega na podziale ewolucji pęcherzyka na trzy etapy: rozrostu nierównowagowego w obszarze $p < p_v$, rozrostu inercyjnego w obszarze $p > p_v$ oraz implozji. Równanie Rayleigha rozwiązuje się analitycznie osobno dla każdego z tych etapów zastępując fizyczny rozkład ciśnienia jego wartością średnią. Algorytm był swego czasu z powodzeniem stosowany przez autora tego tekstu do prognozowania zasięgu stref kawitacyjnych na powierzchni płatów pojedynczych, a także profili łopat turbin Kaplana i kierownicy maszyny odwracalnej w ruchu pompowym [7]. Przeprowadzone obliczenia analityczne potwierdziły, że w warunkach podobieństwa kinematycznego przepływu i braku wzajemnego oddziaływania między pęcherzykami odniesione do wymiaru charakterystycznego położenie kolejnych stref, a także maksymalny rozmiar pęcherzyka, zależą tylko i wyłącznie od liczby kawitacji. W przypadku pojedynczego profilu ostatni wniosek można zapisać prostym wzorem

$$R = \mathcal{R}(\sigma) L, \quad (7)$$

gdzie $\mathcal{R} = \mathcal{R}(\sigma)$ jest pewną funkcją uwikłaną liczby kawitacji σ , a L jest długością profilu.

Efekty skalowe

Z najprostszego modelu pojedynczego pęcherzyka kawitacyjnego wynika, że wywołane jego implozją obciążenie kawitacyjne stałej powierzchni powinno zależeć przede wszystkim od jego energii potencjalnej bezpośrednio przed implozją

$$\varepsilon = 4\pi(p - p_v)R_{maz}^3/3 \quad (8)$$

oraz od odległości od obciążonej powierzchni. Zakładając, że rozpatrywane przez nas zjawiska wykazują podobieństwo kinematyczne, można skupić się na zależnościach (7) i (8).

Wynika z nich przede wszystkim, że obciążenie kawitacyjne, a w pierwszym przybliżeniu i natężenie erozji, powinno być proporcjonalne do trzeciej potęgi charakterystycznego rozmiaru liniowego (np. długości profilu L lub średnicy wirnika maszyny D). W rzeczywistości wartości tego wykładnika w przypadku maszyn hydraulicznych mieszczą się często w granicach 2 do 3 [8, 9], co należy wiązać głównie z wzajemnym oddziaływaniem pęcherzyków ograniczającym ich rozmiar i intensywność fali ciśnienia generowanej podczas implozji.

Z równań (2) i (3) wynika, że lokalna antykawitacyjna nadwyżka ciśnienia $\Delta p_v = p - p_v$ powinna wynosić

$$\Delta p_v = 0,5 (C_p + \sigma)\rho v_\infty^2, \quad (9)$$

skąd wynika proporcjonalność obciążenia kawitacyjnego do drugiej potęgi prędkości kawitującej cieczy. Wykładnik potęgi trzeba jednak podnieść do 3, gdyż proporcjonalnie do prędkości przepływu rośnie liczba pęcherzyków docierających w jednostce czasu do obszaru obciążonego. W rzeczywistości wzrost ten jest znacznie szybszy, gdyż rośnie nie tylko ciśnienie w obszarze implozji, ale też opada ciśnienie w obszarze zapoczątkowania kawitacji, w którym wyrażenie $C_p + \sigma$ przyjmuje cały czas wartość ujemną. W związku z tym stan nadkrytyczny przyjmują mikropęcherzyki o coraz mniejszym promieniu R_0 (rys.1), co skutkuje rosnącą liczbą pęcherzyków implodujących w obszarze $\Delta p_v > 0$ i rosnącą średnią szybkością wnikania erozji $MDPR = \Delta h/\Delta t$, gdzie Δh oznacza średnią głębokość uszkodzeń erozyjnych po czasie Δt . Ostateczna wartość wykładników m i n w zależności

$$MDPR \propto v_\infty^m L^n \quad \text{lub} \quad MDPR \propto H^m D^n$$

zależy od koncentracji i rozkładu średnic mikropęcherzyków. Z uwagi na wzajemne oddziaływania pęcherzyków efekty skalowe są zwykle silniejsze przy mniejszych koncentracjach i mniejszym nasileniu kawitacji. Dane literaturowe wskazują, że wartości wykładnika przy prędkości v_∞ mieszczą w zakresie od 3 do 11 (13), przy czym najczęściej $m = 4 \div 6$ [10]. Wykładnik przy spadzie lub wysokości podnoszenia H mieści się zwykle w zakresie od 2 do 3,5.

Wnioski

1. Prognozowanie intensywności oddziaływań dynamicznych kawitacji na opływane powierzchnie na podstawie badań modelowych wymaga uwzględnienia efektów skalowych związanych z prędkością i charakterystycznym rozmiarem liniowym. Dotyczy to zwłaszcza oddziaływań erozyjnych.

2. Mimo, że przebieg zjawiska kawitacji i erozji kawitacyjnej w maszynach i urządzeniach hydraulicznych ma charakter złożony, to podstawowe zależności rządzące ww. efektami skalowymi wynikają z elementarnych równań teorii kawitacji. Dodatkowym czynnikiem wzrostu intensywności erozji z prędkością cieczy są siły ścinające, wyrzucające wcześniej już rozluźnione fragmenty warstwy wierzchniej lub powłoki ochronnej.
3. O nasileniu efektów skalowych związanych z obciążeniem kawitacyjnym decyduje rozkład mikropęcherzyków gazu nierozpuszczonego w cieczy. Dotyczy to w szczególności wpływu prędkości przepływu na obciążenie mierzone strumieniem energii dostarczanej do omywanej powierzchni przez implodujące pęcherzyki.

Przywołania

1. **Besant W.H.:** *A Treatise on Hydrostatics and Hydrodynamics*, Cambridge: Deighton, Bell and Co., 1859; §158, pp.170-171
2. **Rayleigh, Lord:** *On the pressure developed in a liquid during the collapse of a spherical cavity*. Philosophical Magazine and Journal of Science. Series 6, Vol. 34, 1917, Issue 200, pp. 94-98
3. **Steller J.:** *Koncepcja oceny odporności kawitacyjnej materiałów metodą frakcyjną*. Zesz. Nauk. IMP PAN 561/1520/2015, 328 s.
4. **Landau L., Lifszic E.:** *Mechanika*, PWN, Warszawa 1965, 222 s
5. **Перник А.Д.:** *Проблемы кавитации*. Изд. «Судостроение», Ленинград, 1966, 440 с
6. **Гривнин Ю.А., Зубрилов С.П.:** *Кавитация на поверхности твердых тел*. Изд. «Судостроение», Ленинград, 1985, 124 с
7. **Steller J.:** *Przewidywanie stref kawitacyjnych na profilach łopatkowych wirów maszyn hydraulicznych*. Prace IMP, z.89, 1989, s.49-65
8. **Пылаев Н.И., Эдель Ю.У.:** *Кавитация в гидротурбинах*. "Машиностроение", Ленинград 1974
9. **Лашков А.С.** *Метод прогнозирования кавитационного износа гидротурбин*. Энергомашиностроение, 1974, no. 1
10. **Franc J.P., Avellan F. et al:** *La Cavitation. Mécanismes physiques et aspects industriels*. Presses Universitaires de Grenoble, Grenoble 1995, 581 p.

Autor

Janusz Steller, dr hab., w roku 1977 ukończył studia na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Gdańskiego w specjalności fizyka teoretyczna. Od tego czasu pracownik Instytutu Maszyn Przepływowych PAN, który w roku 1984 nadał mu stopień doktora nauk technicznych. W roku 2019 Senat Politechniki Wrocławskiej nadał mu stopień doktora habilitowanego za prace nad oceną odporności kawitacyjnej materiałów konstrukcyjnych. Obecnie starszy specjalista w Ośrodku Energetyki Ciepłej IMP PAN. Prezes Zarządu Towarzystwa Elektrowni Wodnych (TEW). Zawodowo zajmuje się badaniem zjawiska kawitacji i erozji kawitacyjnej, a także zagadnieniami energetyki wodnej. W przeszłości również: obliczeniami projektowymi oraz metodyką badań energetycznych i diagnostycznych hydraulicznych maszyn wirnikowych.

Kawitacyjna wytrzymałość zmęczeniowa tworzyw konstrukcyjnych i powłok ochronnych

Janusz Steller

Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk
e-mail: steller@imp.gda.pl

Władimir Safonow

Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk
Charkowski Instytut Fizyko-Techniczny
Charków, Ukraina
e-mail: safonov600@gmail.com

Wytrzymałość zmęczeniowa a odporność kawitacyjna

Zmęczenie materiału jest jedną z najczęstszych przyczyn awarii i zużycia elementów maszyn i urządzeń. Dlatego oceny trwałości tych elementów w warunkach eksploatacyjnych wykonuje się często korzystając z wyników badań wytrzymałości zmęczeniowej materiału konstrukcyjnego polegających na cyklicznym, jedno- lub dwustronnym, obciążaniu i odciążaniu znormalizowanej próbki. Kryterium osiągnięcia granicy wytrzymałościowej jest przełom próbki, do którego dochodzi po przekroczeniu pewnej liczby cykli. Badania przeprowadzone przy różnych amplitudach obciążenia pozwalają na wykreślenie charakterystyki zmęczeniowej materiału w postaci krzywej Wöhlera, opisującej zależność między amplitudą a krytyczną liczbą cykli, niezbędną do uzyskania przełomu. Klasyczny cykl obciążenia to rozciąganie lub rozciąganie/ściskanie próbki (p. ISO 1099, 12106, 12108), jednak celem lepszego zamodelowania warunków eksploatacyjnych stosuje się również próby z obciążeniem zginającym, skręcającym i złożonym [1]. Współczesne stanowiska laboratoryjne pozwalają też nierzadko uzyskiwać różny przebieg cyklu obciążenia.

W warunkach eksploatacyjnych należy liczyć się z obciążeniami o zmiennej amplitudzie. W takich przypadkach krytyczną liczbę cykli określa się często korzystając z hipotezy Palmgren-Minera. Inną możliwością otwierają badania laboratoryjne prowadzone pod obciążeniem o zmiennej (np. losowo) amplitudzie cyklu. Planowanie i obróbka wyników takich badań jest przedmiotem normy ISO 12110 [2].

Zjawiska zmęczeniowe uważa się też za główny mechanizm procesów erozyjnych, w tym procesów erozji kawitacyjnej. Wyrazem tego stanu rzeczy jest klasyczny przebieg krzywej erozyjnej obejmujący okres inkubacji, podczas którego dochodzi do odkształceń powierzchni, mikropęknięć oraz licznych deformacji strukturalnych - a nawet przemian fazowych - pod warstwą wierzchnią bez zauważalnego ubytku masy. Do mechanizmu zmęczenia niskocyklowego odwołuje się zaproponowany pod koniec lat 80-tych model A.Karimiego [3], który znalazł szczególnie duże uznanie we Francji [4]. Z kolei związku między wytrzymałością zmęczeniową wyznaczoną na podstawie badań laboratoryjnych z losową amplitudą cyklu obciążeń a wynikami badań materiałów w komorze Lichtarowicza analizowane były w latach 90-tych przez zespół z Politechniki Opolskiej [5].

W roku 2021 jeden z autorów tego tekstu zaproponował wyznaczanie wytrzymałości zmęczeniowej materiałów na obciążenie kawitacyjne na podstawie krzywych erozyjnych wykreślonych dla poszczególnych frakcji amplitudowych tego obciążenia przy użyciu pewnej analitycznej funkcji modelowej. Klasyczne kryterium zniszczenia próbki zastąpiono umownym kryterium zakończenia okresu inkubacji. W rezultacie udało się wykreślić charakterystyki zmęczeniowe dla 7 materiałów [6].

W przypadku próbek pokrytych powłokami ochronnymi bardziej odpowiednim kryterium zniszczenia próbki jest usunięcie powłoki z określonym prawdopodobieństwem (np. 95 %). Krzywa prawdopodobieństwa usunięcia powłoki jest wówczas odpowiednikiem krzywej erozyjnej.

Frakcyjna odporność kawitacyjna a kawitacyjna wytrzymałość zmęczeniowa. Część I: tworzywa konstrukcyjne

Zasadnicza trudność, na jaką napotykają od dawna wszelkie próby prognozowania erozji kawitacyjnej na podstawie badań doświadczalnych polega na umiejętnym określeniu wskaźnika natężenia kawitacji, a dokładniej - wskaźnika charakteryzującego jej oddziaływanie erozyjne (agresywność). W latach 70-tych ubiegłego stulecia sprawy te były przedmiotem intensywnych prac prowadzonych m.in. w byłym Zakładzie Dynamiki Cieczy IMP PAN, np. [7÷9]. Prace te doprowadziły ostatecznie do wniosku, że z uwagi na impulsowy charakter obciążenia, a także sposób jego generacji, wskaźnikiem energii dostarczonej do powierzchni obciążonego materiału może być wyrażenie

$$ME = \sum_{i=1}^N ME_i = \frac{\tau}{2\rho c} \sum_{i=1}^N n_i p_i^2, \quad (1)$$

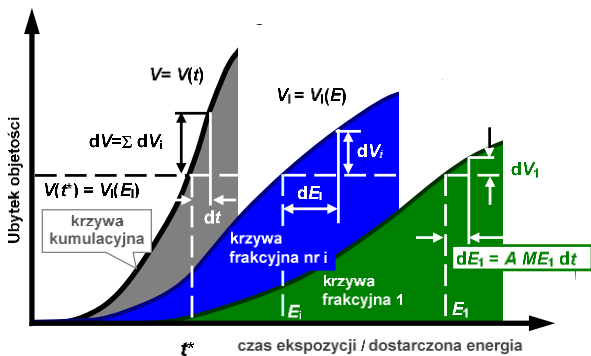
w którym n_j oznacza liczbę impulsów o średniej amplitudzie p_j z frakcji amplitudowej i , dostarczanych w jednostce czasu do układu akwizycji danych przez czujnik ciśnienia określonego typu, ρ i c oznaczają gęstość cieczy i szybkość dźwięku, $\tau = 10^{-5}$ s – stałą czasową, często interpretowaną jako średni czas trwania impulsu. Podobne propozycje zostały wysunięte również przez inne ośrodki. Wyrażenie (1) oraz jego odpowiedniki pozostają wciąż często stosowaną miarą obciążenia kawitacyjnego podczas badań laboratoryjnych.

Wadą wskaźnika ME , jako miary obciążenia kawitacyjnego pozostaje nieuwzględnienie cech jakościowych tego obciążenia. Dlatego już w roku 1999 pierwszy z au-

torów tego tekstu zaproponował zastąpienie sumy skalarnej (1) wektorem ME składającym się z elementów ME_i pochodzących od poszczególnych frakcji [10]. Jednocześnie postanowiono ograniczyć maksymalną liczbę frakcji do 6 z dolną granicą rosnącą w postępie geometrycznym z ilorazem 2. Ponadto przyjęto, że krzywą średniej głębokości wnikania erozji MDE wywołanej obciążeniem pojedynczą frakcją można opisać za pomocą funkcji analitycznej $U = U(\mathbf{R}, Y)$, gdzie \mathbf{R} jest wektorem parametrów wynikających z własności materiału, zaś Y jest mierzoną wskaźnikiem ME_i gęstością powierzchniową dostarczonej energii. Celem sumowania wkładów pochodzących od poszczególnych frakcji zaproponowano za [11] zasadę superpozycji różniczkowej, którą wyjaśnia rys.1 oraz ogólne równanie wielofrakcyjnego procesu erozyjnego

$$\frac{dMDE}{dt} = \sum_{i=1}^N ME_i \left. \frac{\partial U}{\partial Y_i} (\mathbf{R}_i, Y_i) \right|_{Y_i = \Theta(\mathbf{R}_i, MDE)} \quad (2)$$

W równaniu tym Θ oznacza funkcję odwrotną do U względem zmiennej Y .



Rys.1 Przebieg superpozycji różniczkowej krzywych monofrakcyjnych. A - pole powierzchni erodowanej

Autorzy tej pracy posługują się funkcją analityczną

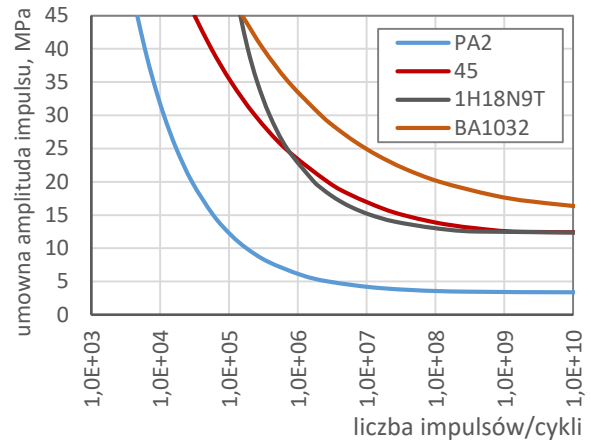
$$U = MDE_0 [\ln(Y/Y_0 + 1)]^\beta, \quad (3)$$

gdzie MDE_0 , Y_0 i β są kolejnymi składowymi wektora \mathbf{R} . Funkcja ta oparta jest na propozycji L. Sitnika [12] z roku 1985. Podstawienie wyrażenia (3) do równania (2) pozwala na zapisanie równania wielofrakcyjnego procesu erozyjnego w postaci szczególnej (4):

$$\frac{d(MDE)}{dt} = \sum_{i=1}^N ME_i \frac{\beta_i MDE_{0i}}{Y_{0i}} \left(\frac{MDE}{MDE_{0i}} \right)^{1-1/\beta_i} \exp \left[- \left(\frac{MDE}{MDE_{0i}} \right)^{1/\beta_i} \right]$$

Celem analizy frakcyjnej jest wyznaczenie macierzy odporności kawitacyjnej $\mathbf{R} = [\mathbf{R}_1, \mathbf{R}_2, \dots, \mathbf{R}_N]^T$. Podstawą analizy są badania erozyjne przeprowadzone przy kilku różnych obciążeniach opisanych wektorami ME . Elementy macierzy \mathbf{R} wyznacza się dopasowując krzywe erozyjne wynikające z równań (2) lub (4) do zestawu punktów doświadczalnych. Szczegóły procedury omówiono m.in. w rozprawie [13].

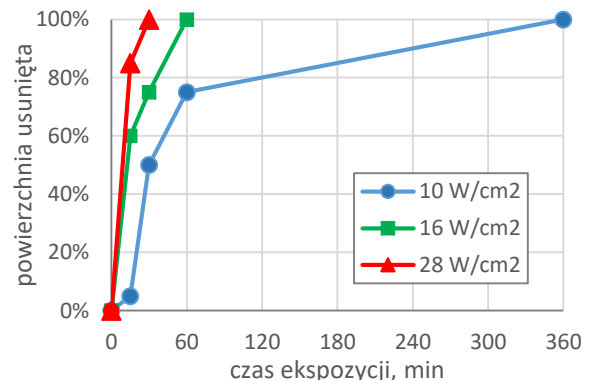
Znajomość macierzy \mathbf{R} , a zatem i monofrakcyjnych krzywych erozyjnych, pozwala nie tylko na prognozowanie przebiegu krzywej erozyjnej przy obciążeniu zadanym dowolnym wektorem ME , ale również na wyznaczenie charakterystyk zmęzeniowych materiałów w oparciu o kryterium inkubacyjne związane z osiągniętą średnią głębokością erozji, np. $MDE = 10 \mu\text{m}$ (rys.2).



Rys.2 Kawitacyjne charakterystyki zmęczeniowe uzyskane z badań w tunelu kawitacyjnym IMP PAN (kryterium zmęczeniowe $MDE = 10 \mu\text{m}$)

Frakcyjna odporność kawitacyjna a kawitacyjna wytrzymałość zmęczeniowa.. Część II: powłoki ochronne

W przypadku badań powłok ochronnych głównym przedmiotem zainteresowania jest prawdopodobieństwo całkowitego ich usunięcia po określonym czasie. Typowy przebieg procesu usuwania powłoki pod obciążeniem kawitacyjnym na stanowisku z wirującą tarczą przedstawiono na rys.3.



Rys.3 Udział części usuniętej w całkowitej powierzchni powłoki ochronnej TiN podczas badań przy różnych obciążeniach miejscowych na stanowisku kawitacyjnym z wirującą tarczą (IMP PAN)

Jeśli symbolem $A(t)$ oznaczyć powierzchnię materiału wciąż pokrytą powłoką ochronną po czasie t , a przez A_0 – powierzchnię początkową, to - z uwagi na stochastyczny charakter procesu - wyrażenie $F(t) = 1 - A(t)/A_0$ jest prawdopodobieństwem usunięcia tej powłoki po czasie t , a wyrażenie $G(t) = A(t)/A_0$ – prawdopodobieństwem jej utrzymania się. Prawdopodobieństwo utrzymania się powłoki w chwili $t + dt$, pod warunkiem, że utrzymywała się ona w chwili t można zapisać ilorazem $G(t + dt)/G(t)$. Podobnie będzie, jeśli na powierzchnię oddziaływać będzie tylko jedna frakcja obciążenia. Prawdopodobieństwo utrzymania się powłoki po dostarczeniu energii jednofrakcyjnej o gęstości $Y + dY$ pod warunkiem, że po dostarczeniu energii Y powłoka wciąż się utrzymywała wyniesie $\Gamma(\mathbf{R}, Y + dY)/\Gamma(\mathbf{R}, Y)$. Jeżeli Y jest gęstością energii z frakcji i , jaką należy dostarczyć, by

powłoka się utrzymała z prawdopodobieństwem G , to przy zwykłych założeniach modelu frakcyjnego [13] prawdopodobieństwo warunkowe $G(t + dt)/G(t)$ można zapisać wzorem

$$\frac{G(t+dt)}{G(t)} = \prod_i \frac{\Gamma(\mathbf{R}_i, Y+dY)}{\Gamma(\mathbf{R}_i, Y)} \Big|_{Y=\theta(\mathbf{R}_i, G)}, \quad (5)$$

gdzie symbolem θ zapisano funkcję odwrotną do funkcji $\Gamma(\mathbf{R}, Y)$ względem argumentu Y .

Po zlogarytmowaniu obu stron, równanie (5) można zapisać w postaci

$$\begin{aligned} \ln G(t + dt) - \ln G(t) &= \\ &= \sum_i [\ln \Gamma(\mathbf{R}_i, Y + dY) - \ln \Gamma(\mathbf{R}_i, Y)] \Big|_{Y=\theta(\mathbf{R}_i, G)} \end{aligned} \quad (6a)$$

lub

$$dH = \sum_i dU(\mathbf{R}_i, Y) \Big|_{Y=\theta(\mathbf{R}_i, H)}, \quad (6b)$$

gdzie $H = \ln G$ i $U = \ln \Gamma$, zaś θ jest funkcją odwrotną do $U(\mathbf{R}, Y)$ względem argumentu Y . Uwzględniając, że dla każdej frakcji i obowiązuje związek $Y_i = ME_i t$, równanie (6b) można zapisać w postaci ogólnego równania wielofrakcyjnego procesu erozyjnego powłok

$$\frac{dH}{dt} = \sum_i ME_i \frac{\partial U(\mathbf{R}_i, Y)}{\partial Y} \Big|_{Y=\theta(\mathbf{R}_i, H)}. \quad (7)$$

Równanie to jest identyczne z równaniem (2) za wyjątkiem sposobu definiowania funkcji H i U . Przewiduje się też podobny przebieg jego rozwiązywania. Prawdopodobieństwo usunięcia powłoki po dostarczeniu energii obciążenia erozyjnego o wskaźniku gęstości Y proponuje się modelować dystrybuantą rozkładu Weibulla

$$F_i = 1 - \exp[-(Y/Y_{0i})^{\alpha_i}],$$

gdzie α_i oraz Y_{0i} są składowymi wektora odporności kavitacyjnej \mathbf{R}_i powłoki. Równanie (7) zapisuje się wówczas w postaci szczególnego równania procesu erozyjnego powłok

$$\frac{dH}{dt} = \sum_i \frac{\alpha_i}{Y_{0i}} ME_i H^{1-1/\alpha_i}, \quad (8)$$

które można rozwiązać przyjmując warunki początkowe $H(0) = 0$ i $H'(0) = 0$. W przypadku zastosowania metody Runge-Kutty z krokiem Δt , zaleca się zastąpienie wartości $H'(0) = 0$ wyrażeniem

$$\frac{2}{\Delta t} \sum_i \left(\frac{ME_i \Delta t}{2Y_{0i}} \right)^{\alpha_i}.$$

Macierz odporności kavitacyjnej $\mathbf{R} = [\mathbf{R}_1, \mathbf{R}_2, \dots, \mathbf{R}_N]^T$ przewiduje się wyznaczać poprzez równoczesne dopasowywanie krzywych modelowych $H = H(\mathbf{R}, t)$ do punktów doświadczalnych $(t_{jk}, \ln(A_0/A_{jk}))$, gdzie j jest wskaźnikiem identyfikującym punkt doświadczalny z badań wykonywanych w serii nr k z obciążeniem ME_k .

Zakładamy, że podobnie, jak w przypadku materiałów konstrukcyjnych, znajomość macierzy odporności kavitacyjnej umożliwi nie tylko prognozowanie przebiegu niszczenia powłoki pod zadaniem obciążeniem kavitacyjnym, ale także wykreślenie charakterystyk zmęzeniowych. Jako kryterium pełnego zniszczenia powłoki proponujemy przyjąć usunięcie 95 % jej powierzchni.

Perspektywy:

zmęczeniowa wytrzymałość kavitacyjna w pracach badawczo-rozwojowych

Zasadniczym powodem podjęcia prac nad metodyką oceny odporności kavitacyjnej i wyznaczania własności zmęczeniowych był zamiar dostarczenia narzędzi badawczych niezbędnych do optymalizacji doboru i projektowania nowych materiałów konstrukcyjnych oraz powłok ochronnych w sposób zależny od przewidywanego obciążenia erozyjnego. Zakłada się, że metodyka ta będzie przedmiotem planowanego projektu badawczo-rozwojowego.

Punktem wyjścia metodyki będzie określenie obciążenia erozyjnego badanych próbek. Metody bezpośrednie polegają na wyznaczeniu wektora obciążenia na podstawie rozkładu amplitudowego impulsów kavitacyjnych przy użyciu piezoelektrycznych czujników ciśnienia lub na podstawie rozkładu wżerów w miękkim materiale (np. czystej miedzi) w początkowym okresie ekspozycji. Ta ostatnia technika wydaje się mieć szereg zasadniczych zalet. Poza zaletami wymienionymi w [13] dostęp do współczesnego oprzyrządowania (np. mikroskopu konfokalnego) umożliwi szczegółowe określenie rozkładu obciążeń na eksponowanej powierzchni, a także szczegółowe śledzenie procesu erozji w zależności od obciążenia przy wykorzystaniu pojedynczej próbki. Zastosowanie opisanej wcześniej metodyki frakcyjnej do określania krzywych erozyjnych oraz zmęczeniowych charakterystyk kavitacyjnych powłok ochronnych nie wydaje się w ogóle możliwe bez wykorzystania techniki mikroskopowej do analizy erodowanej powierzchni.

Krzywe zmęczeniowe pozwalają na szybką ocenę porównawczą różnych materiałów i powłok ochronnych. Umiejętność określania krzywych frakcyjnych będzie natomiast ważnym krokiem na drodze do prognozowania ich zachowania się w warunkach eksploatacyjnych.

Podziękowania

Prace dotyczące metodyki oceny odporności frakcyjnej oraz wytrzymałości zmęczeniowej materiałów konstrukcyjnych były realizowane w ramach badań statutowych IMP PAN oraz projektów badawczych KBN (umowa PB 1224/T07/2000/18) i MNiSzW (umowa PB 3434/B/T02/2009/36). Wyniki dotyczące powłok ochronnych autorzy uzyskali w ramach kolejnych projektów objętych porozumieniem o współpracy między Polską Akademią Nauk a Narodową Akademią Nauk Ukrainy. Od początku roku 2023 prace te są finansowane częściowo z Europejskiego Funduszu dla Naukowców na Uchodźstwie (EFDS) utworzonego przez Europejską Federację Akademii Nauk i Sztuk (AL-LEA).

Przywołania

1. **Macek W., Zawiślak S., Deptuła A., Ulewicz R.:** *Fatigue testing machines and apparatus*. Quality Production Improvement, 2019, No 1(10) pp. 80-108
2. **ISO 12110-1:** 2013, *Metallic materials - Fatigue testing - Variable amplitude fatigue testing - Part 1: General principles, test method and reporting requirements*
3. **Karimi A., Leo W.R.:** *Phenomenological model for cavitation rate computation*, Materials Science and Engineering, 1987, Vol. 95, pp. 1-14
4. **Franc J.P., Avellan F., et al:** *La Cavitation. Mécanismes physiques et aspects industriels*. Presses Universitaires de Grenoble, Grenoble 1995, 581 p.
5. **Bedkowski W., Gasiak G., Lachowicz C., Lichtarowicz A., Łagoda T., Mach E.:** *Relations between cavitation erosion resistance of materials and their fatigue strength under random loading*. Wear, 230 (1999), pp. 201–209
6. **Steller J.:** *Erosive wear modelling by means of the fractional approach*. Wear 484–485 (2021), 15 p.
7. **Kirejczyk J.:** *Próba oceny natężenia kawitacji*. [w:] II Seminarium Naukowe pt. „Diagnostyka i zwalczanie kawitacji”, Zesz. Nauk. IMP PAN nr 59/973/79, s.14-25
8. **Partyka E.:** *Wskaźniki natężenia kawitacji*. [w:] III Seminarium Naukowe pt. „Diagnostyka i zwalczanie kawitacji”, Zesz. Nauk. IMP PAN nr 91/991/80, s.33-48
9. **Steller K.:** *O natężeniu kawitacji i przewidywaniu erozji kawitacyjnej*. *ibid.*, s.49-74
10. **Steller J.:** *International Cavitation Erosion Test and quantitative assessment of material resistance to cavitation*, Wear 233-235, 1999, pp. 51-64
11. **Weigle B., Szprengiel Z.:** *An attempt to assess the erosion damage due to the impact of polyfractional rain of droplets*. Prace IMP, 1985, z.88, s. 45-70
12. **Sitnik L.:** *Mathematical description of the cavitation erosion process and its utilization for increasing the materials resistance to cavitation*. [in:] Cavitation in Hydraulic Structures and Turbomachinery. The Joint ASCE/ASME Mechanics Conf., Albuquerque, New Mexico, 1985, pp.21-30.
13. **Steller J.:** *Koncepcja oceny odporności kawitacyjnej materiałów metodą frakcyjną*. Zesz. Nauk. IMP PAN 561/1520/2015, 328 s.

Autorzy

Janusz Steller, dr hab., w roku 1977 ukończył studia na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Gdańskiego w specjalności fizyka teoretyczna. Od tego czasu pracownik Instytutu Maszyn Przepływowych PAN, który w roku 1984 nadał mu stopień doktora nauk technicznych. W roku 2019 Senat Politechniki Wrocławskiej nadał mu stopień doktora habilitowanego za prace nad oceną odporności kawitacyjnej materiałów konstrukcyjnych. Obecnie starszy specjalista w Ośrodku Energetyki Ciepłej IMP PAN. Prezes Zarządu Towarzystwa Elektrowni Wodnych (TEW). Zawodowo zajmuje się badaniem zjawiska kawitacji i erozji kawitacyjnej, a także zagadnieniami energetyki wodnej. W przeszłości również: obliczeniami projektowymi oraz metodyką badań energetycznych i diagnostycznych hydraulicznych maszyn wirnikowych

Władimir Safonow uzyskał dyplom kandydata nauk technicznych (dr inż.) w dyscyplinie fizyka ciała stałego w roku 1989 w Charkowskim Instytucie Fizyko-Technicznym AN USRR. Obecnie jest starszym pracownikiem naukowym Narodowego Centrum Nauki “Charkowski Instytut Fizyko-Techniczny” – wiodącej placówki Narodowej Akademii Nauk Ukrainy. Jednocześnie jest zatrudniony na stanowisku starszego specjalisty w Ośrodku Energetyki Ciepłej IMP PAN. Zakres działalności naukowej obejmuje jonowe technologie plazmowe, technologie *Arc-PVD*, *EB-PVD*, natryskiwanie plazmowego, napyłania magnetronowego, metody nakładania powłok powierzchniowych IBAD, powłoki funkcjonalne i ich zastosowania.

Lista uczestników HYDROFORUM 2023¹**List of HYDROFORUM 2023 delegates**

1	Bajorek	Leszek	Zespół Elektrowni Wodnych Niedzica S.A
2	Barcz	Piotr	FUGOR sp. z o.o.; Krotoszyn
3	Bieńkowski	Jacek	TAURON Ekoenergia sp. z o.o.
4	Bondarenko	Yuriy	STC ENPASELECTRO Ltd; Kijów
5	Bożentowicz	Mirosława	Stowarzyszenie Elektryków Polskich
6	Chernobrova	Anna	Politechnika Wroclawska
7	Chlapek	Adam	T.I.S. Polska Sp. z o.o.; Duchnice
8	Czarnecki	Arkadiusz	Zespół Elektrowni Wodnych Niedzica S.A
9	Czornik	Marek	PGW Wody Polskie; RZGW Wrocław
10	Domżański	Maciej	ENEA Nowa Energia Sp. z o.o.
11	Downar	Dariusz	Instytut Energetyki o. Gdańsk
12	Dudkiewicz	Tomasz	Voith Turbo Sp. z o.o.; Majków Duży
13	Dziubiński	Krzysztof	PHU Viking; Wiskitki
14	Gładys	Wojciech	AQUA S.A.; Bielsko Biała
14	Erke	Dieter	Andritz Hydro GmbH
15	Głuchowska	Beata	PGW Wody Polskie; RZGW Wrocław
16	Górlicka	Karolina	PFTechnology sp. z o.o.; Wierzbica k. Radomia
17	Gronek	Dariusz	Hydroinvest Sp. z o.o.; Warszawa
18	Grzesiak	Wiesław	TBHydro Sp. z o.o.; Poznań
19	Habel	Michał	Uniwersytet Kazimierza Wielkiego; Bydgoszcz
20	Hajdarowicz	Mariusz	Remak-Energomontaż S.A., Gdańsk
21	Hensler	Marek	ENEA Nowa Energia Sp. z o.o.
22	Herder	Janusz	ENEA Nowa Energia; emeryt
23	Jabłoński	Kamil	ENERGOPROJEKT-WARSZAWA SA
24	Janczak	Marcin	Hydro-Vacuum S.A.; Grudziądz
25	Jędrał	Waldemar Andrzej	Politechnika Warszawska; emeryt
26	Kaczmarek	Grzegorz	PGW Wody Polskie; Warszawa
27	Kafka	Marek	Remak-Energomontaż S.A.; Gdańsk
28	Kalina	Łukasz	Instytut OZE sp. z o. o.; Kielce
29	Kamonciak	Andrzej	ENERGA Wytwarzanie S.A.; Pruszcz Gdański
30	Kaniecki	Maciej	T-G DNALOP Sp. z o.o.; Redzikowo
31	Karkos	Dariusz	PGW Wody Polskie, RZGW Wrocław
32	Karlikowski	Marcin	PGE EO SA; Warszawa
33	Kiklajsz	Żaneta	PGW Wody Polskie; Warszawa
34	Kołat	Piotr	TBHydro Sp. z o.o.; Poznań
35	Komendziński	Krzysztof	Scada International sp. z o.o.; Wrocław
36	Koropis	Radosław	RENPRO sp. z o.o.; Wrocław
37	Krasucki	Janusz	CIM-mes Projekt Sp.z o.o.; Warszawa
38	Krawiec	Arkadiusz	KSB Polska Sp. z o.o.; Bronisze
40	Krüger	Klaus	Voith Hydro Holding GmbH & Co. KG

¹ Stan na dzień 18 października 2023

41	Krzemianowski	Zbigniew	Instytut Maszyn Przepływowych PAN; Gdańsk
42	Krzyszowski	Michał	Zespół Elektrowni Wodnych Niedzica S.A
43	Kubecki	Michał	Instytut OZE sp. z o. o.; Kielce
44	Lackowski	Marcin	Instytut Maszyn Przepływowych PAN; Gdańsk
45	Levytskyi	Maksym	Ukrhydroproject; Charków
46	Lewandowski	Stanisław	Towarzystwo Elektrowni Wodnych EasyServ Sp. z o.o. Sp. Komandytowa
47	Lewandowski	Mariusz	Instytut Maszyn Przepływowych PAN; Gdańsk
48	Lis	Michał	IOZE / Energetyka Wodna; Kielce
49	Lorenz	Witold	Hydro-Vacuum S.A.; Grudziądz
50	Łabuń	Mariusz	Tauron Ekoenergia sp. z o.o.
51	Łatecki	Piotr	ENERGOPROJEKT-WARSZAWA SA
52	Łobacz	Janusz	PGE EO o. EW Żarnowiec
53	Machalski	Artur	Politechnika Wrocławska, Wydział Mech.-Energetyczny
54	Malicka	Ewa	Towarzystwo Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych
55	Mandelt	Przemysław	Tauron Ekoenergia sp. z o.o.; Jelenia Góra
56	Masek	Roman	Belse Sp. z o.o.; Bielsko-Biała
57	Mierzejewski	Grzegorz	ENEA Nowa Energia Sp. z o.o.
58	Misiewicz	Mariusz	Energopomiar-Elektryka sp. z o.o., Gliwice
59	Mokwa	Adam	T-G DNALOP Sp. z o.o.; Redzikowo
60	Muntean	Sebastian	Akademia Rumuńska o. Timisoara
61	Nathio	Krzysztof	Tauron-Ekoserwis
62	Natkaniec	Piotr	MPEC S.A. Kraków
63	Nawałka	Artur	Belse Sp. z O.O.; Bielsko-Biała
64	Nawodziński	Grzegorz	ENEA Nowa Energia Sp. z o.o.
65	Niski	Zygmunt	TAURON Polska Energia S. A
66	Nochovkin	Yuriy	Ukrhydroproject Europe s.r.o.
67	Nycz	Aneta	Politechnika Wrocławska, Wydział Mech.-Energetyczny
68	Obodovskiy	Oleksandr	Uniwersytet Kazimierza Wielkiego Bydgoszcz
69	Oboza	Kazimierz	AQUA S.A.; Bielsko-Biała; emeryt
70	Olejarczyk	Marcin	ENEA Nowa Energia Sp. z o.o.
71	Olszewski	Artur	Instytut Optymalizacji Technologii sp. z o.o; Warszawa
72	Ośmiałowski	Bartłomiej	T-G DNALOP Sp. z o.o.; Redzikowo
73	Paruch	Zygmunt	Tauron-Ekoserwis; EW Rożnów
74	Piekarski	Marcin	Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie
75	Piękoś	Mariusz	Miejskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej S.A.
76	Plutecki	Janusz	Politechnika Wrocławska; emeryt
77	Popa	Bogdan	Politechnika Bukaresztańska
78	Popa	Florica	Uniwersytet Wołoski w Târgoviște
79	Przydatek	Jerzy	PFTechnology sp. z o.o; Wierzbica k. Radomia
80	Punys	Petras	Uniwersytet Witolda Wielkiego, Kowno
81	Rinka	Lukáš	OSC, a.s.; Brno
82	Różycki	Seweryn	T.I.S. Polska Sp. z o.o.; Duchnice
83	Safonow	Władimir	Instytut Maszyn Przepływowych PAN; Gdańsk Charkowski Instytut Fizykotechniczny; Charków

84	Serdeczna	Katarzyna	ENERGA Wytwarzanie S.A.; Pruszcz Gdański
85	Siewior	Przemysław	FUGOR sp. z o.o.; Krotoszyn
86	Sikorski	Grzegorz	PGW Wody Polskie; Warszawa
87	Skrzypacz	Janusz	Politechnika Wrocławska, Wydział Mech.-Energetyczny
88	Smołka	Marcin	TAURON Polska Energia S.A.
89	Sobocki	Marek	PGW Wody Polskie
90	Stachowicz	Henryka	Towarzystwo Elektrowni Wodnych
91	Stachowicz	Zbigniew	Instytut Energetyki o/Gdańsk
92	Stashkevych	Mykola	Ukrhydroproject; Charków
93	Steller	Janusz	TEW / Instytut Maszyn Przepływowych PAN; Gdańsk
94	Steller	Irena	wolontariusz
95	Symovyan	Sarkis	Ukrhydroprojekt; Charków
96	Szczaluba	Karolina	PGW Wody Polskie
97	Szulc	Przemysław	Politechnika Wrocławska, Wydział Mech.-Energetyczny
98	Szulc	Piotr	Politechnika Wrocławska, Wydział Mech.-Energetyczny
99	Ścigała	Elwira	Tauron Ekoenergia sp. z o.o.
100	Terkiewicz	Sławomir	PGE Energia Odnawialna S.A.; Warszawa
101	Tor	Filip	Voith Turbo Sp. z o.o.; Majków
102	Traczyk	Stefan	ENEA Nowa Energia Sp. z o.o.
103	Trojanowska	Katarzyna	Towarzystwo Elektrowni Wodnych
104	Trofymenko	Andrii	“STC ENPASELECTRO” Ltd
105	Wojciechowski	Marek	T.I.S. Polska Sp. z o.o. ; Ożarów Mazowiecki
106	Wojciechowski	Leon	Centrum Technologii Proekologicznych Sp. o.o. Sp. K.
107	Woś	Krzysztof	PGW Wody Polskie / Politechnika Warszawska
108	Wójcik	Józef	Zespół Elektrowni Wodnych Niedzica S.A
109	Wrzosek	Krzysztof	PGW Wody Polskie / Politechnika Warszawska
110	Wszolek	Bartosz	PGW RZGW we Wrocławiu
111	Wygoda	Grzegorz	MPGK Krosno
112	Ziaja	Edward	Stowarzyszenie Elektryków Polskich/IASE/TEW
113	Żebrowski	Tomasz	Remak-Energomontaż S.A., Gdańsk
114	Żywica	Grzegorz	Instytut Maszyn Przepływowych PAN; Gdańsk



Ti.S POLSKA

Dostawca rozwiązań dla:

sieci wodociągowych

obiektów hydrotechnicznych

energetyki wodnej

energetyki cieplnej

gospodarki ściekowej

instalacji przemysłowych

Produkty Grupy T.I.S.

obecne w Polsce od 1996 roku

Ti.S
SERVICE

Ti.S
POLSKA

Ti.S
NUOVA

Ti.S.
ENGINEERING

Ti.S
TURKEY

T.I.S. POLSKA Sp. z o.o.

Duchnice, ul. Ożarowska 30 d

05-850 Ożarów Mazowiecki (PL)

tel. +48 22 483 56 00, +48 22 483 56 00 mail: info@tispolska.pl

beyond the paper

Nasza oferta

organizujemy:

- wyjazdy studyjne
- konferencje
- warsztaty

i inne:

- zarządzanie LinkedIn
- projekty graficzne
- projektowanie i zarządzanie stronami internetowymi

ENERGETYKA WODNA

Skontaktuj się z nami:

tel.: +48 518 304 194

e-mail: biuro@energetyka-wodna.pl

www.energetykawodna.info

ISBN 978-83-66928-13-8