

Turbiny parowe małej mocy dla energetyki rozproszonej – stan techniki, krajowe doświadczenia i możliwości wykonawcze

Low power steam turbines for distributed generation – state of the technology, national experiences and manufacturing possibilities

WŁADYSŁAW KRYŁŁOWICZ, KIRIŁŁ KABAŁYK

DOI 10.36119/15.2020.4.2

W artykule opisano krajowe doświadczenia w dziedzinie projektowania i wykonawstwa turbin parowych małej mocy (do 400 kW) dla energetyki rozproszonej na tle turbin dostępnych na rynku. Omówiono własne konstrukcje, możliwości obliczeniowe i uwarunkowania technologiczne oraz przedstawiono estymacje kosztów wytwarzania takich maszyn.

Słowa kluczowe: generacja rozproszona, małe turbiny parowe, doświadczenia projektowe, ocena kosztów

In the current paper national experiences within the area of design and manufacturing of low power steam turbines (up to 400 kW) for distributed power generation are described, in relation to turbines available on the market. Our original constructions have been appropriately addressed, including computational possibilities and manufacturing conditions. We also demonstrate cost estimates for producing such machines.

Keywords: distributed power generation, small steam turbines, design experiences, cost estimation

Wstęp

Rozproszone wytwarzanie energii (generacja rozproszona, Distributed Power Generation) według jednej z najszerzej używanych definicji oznacza „źródła rozproszone to jednostki niepodległe centralnemu dysponowaniu mocą oraz niezależne od scentralizowanego planowania rozwoju systemu” (por. Sikorski i Ziaja [16]). Jednym z podstawowych kryteriów klasyfikacji generacji rozproszonej jest określenie granicznej mocy. Jest ona inaczej zdefiniowana w poszczególnych krajach. I tak w Wielkiej Brytanii jest to aż 100MW, w USA – 50 MW, a w Szwecji tylko 1,5 MW. Natomiast polskie prawo energetyczne wprowadza limit 5 MW jako moc nie podlegającą koncesji. Szereg autorów (m.in. Paska [14]) proponuje następujący podział instalacji generacji rozproszonej:

- Mikrogeneracja – do 5kW,
- Mała generacja – do 5MW,
- Średnia i duża – powyżej 5MW.

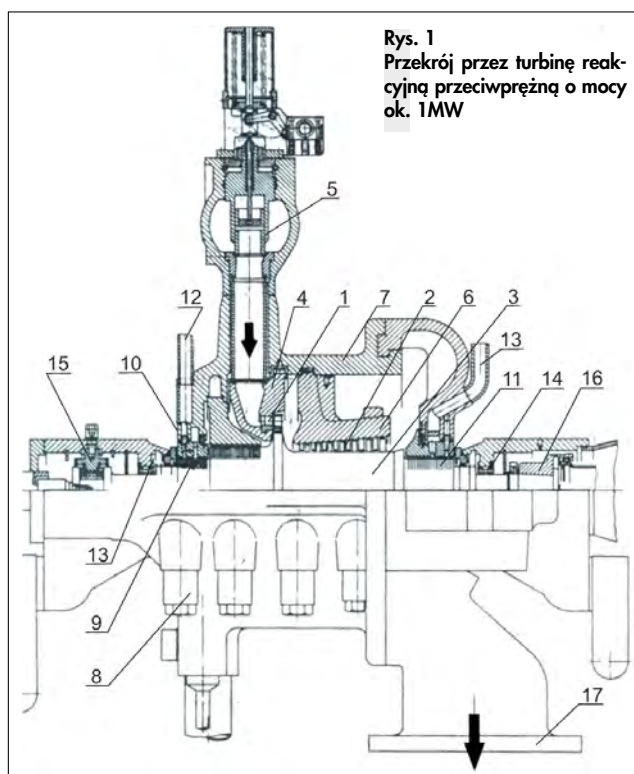
Należy podkreślić, że generacja rozproszona jest pojęciem szerszym niż odnawialne źródła energii (OZE), obejmuje bowiem:

- Źródła energii oparte o zasoby odnawialne (woda, wiatr, biomasa, biogaz i inne),
- Źródła oparte o paliwa kopalne (głównie gaz i olej opałowy),
- Hybrydowe źródła energii (np. energia geotermalna i gaz ziemny).

W ramach niniejszego artykułu poruszane będą zagadnienia techniki turbin parowych mieszczących się w granicach małej generacji, ale leżących w jej dolnym zakresie – do ok. 400 kW. Omówiono również dostępne handlowo konstrukcje turbin nadających się do zastosowań w instalacjach energetyki rozproszonej (do mocy 5MW).

Główne cechy konstrukcyjne turbin parowych małej mocy

Na rysunku 1 przedstawiono przekrój podłużny turbiny przeciwnieprężnej o mocy ok. 1 MW. Jest to turbina typu reakcyjnego ($n=50\text{Hz}$), o konstrukcji typowej dla maszyn tej wielkości.



Rys. 1
Przekrój przez turbinę reakcyjną przeciwnieprężną o mocy ok. 1MW

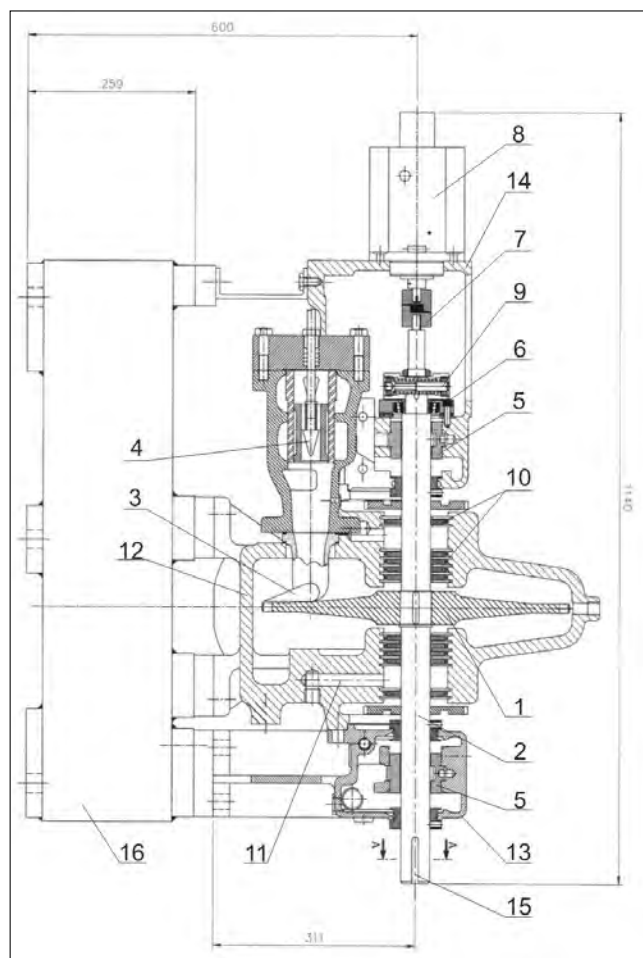
Układ łopatkowy turbiny składa się ze stopnia regulacyjnego (akcyjnego) 1 oraz z grupy siedmiu stopni reakcyjnych 2. Para dostarczana jest poprzez trzy zawory 5 do trzech segmentów dyszowych 4. Łopatki koła stopnia akcyjnego są wyposażone w bandaż, a łopatki reakcyjne są wolnostojące. Łopatki kierownicze stopni reakcyjnych zostały umieszczone w korpusie wewnętrznym 6. Para wypływa z turbiny króćcem 17. Zarówno korpus zewnętrzny 7 jak i korpus wewnętrzny 6 mają podział poziomy. Korpus 7 jest skręcany śrubami dwustronnymi 8. Wirnik 3 jest typu bębnowego. Wirnik posadowiony jest w łożyskach ślizgowych: w promieniowym 14 i w kombinowanym (osiowo-promieniowym) 15. Moment obrotowy jest przekazywany do generatora poprzez sprzęgło zębate 16.

Część przednia wirnika, wyposażona w uszczelnienie labiryntowe 9, pełni rolę tłoka odcijającego. Zewnętrzne uszczelnienia parowe 10 i 11 są również typu labiryntowego. Para z przecieków jest odsysana rurociągami 12 i 13.

Natomiast na rysunku 2 zamieszczono przekrój podłużny jednostopniowej turbiny typu akcyjnego o mocy ok 70-90 kW z kondensacją atmosferyczną (możliwe jest również osiągnięcie niewielkiej próżni).

Koło wirnikowe 1 (o małej reakcyjności) osadzone jest na wale 2 o stałej średnicy. Para doprowadzana jest na części obwodu za pomocą segmentu dyszowego 3. Zawór 4 pełni rolę zaworu odcinającego oraz równocześnie regulacyjnego (regulacja dławieniowa).

Wirnik łożyskowany jest w dwu łożyskach promieniowych – ślizgowych 5, smarowanych olejem pod ciśnieniem z pompy olejowej 8. Natomiast siła osiowa jest przenoszona przez jednostronne łożysko kulkowe skośne 6, co jest możliwe dzięki bardzo



Rys. 2
Przekrój jednostopniowej turbiny akcyjnej o mocy rzędu 70-90 kW.

małej reakcyjności. Na końcu wału umieszczono sprzęgło 7 łączące wirnik z pompą olejową 8. Obok zabudowany jest wytrysk sprężynowo-bezwładnościowy 9. Na drugim końcu wału wyfrezowano rowek 15 pod wpust do sprzęgła generatora.

Uszczelnienia parowe wykonano w postaci zespołu pierścieni węglowych 10. Para odprowadzana jest z uszczelnień kanałami 11.

Korpus turbiny 12 jest odlewem żeliwnym o podziale poziomym. Oba koźły łożyskowe są oddzielnymi odlewami żeliwnymi (jest to tylko podział technologiczny). Cała turbina należy do maszyn typu „kompakt” – jej wszystkie elementy zabudowano na sztywnej wspólnej podstawie 15 służącej jako zbiornik oleju do smarowania. W związku z tym agregat turbiny nie wymaga osobnego fundamentowania.

Obie te turbiny zostały wyprodukowane przez firmy posiadające długoletnie doświadczenia w budowie maszyn wirujących. Obie reprezentują też klasyczny typ konstrukcyjny. Są to na pewno maszyny pewne ruchowo, ale ich koszt nabycia jest z punktu widzenia małego (bądź średniego) biznesu bardzo wysoki.

Własne doświadczenia konstrukcyjne w budowie turbin małej mocy

W ostatnich latach w IMP PŁ zostały zaprojektowane i wykonane trzy turbiny małej mocy, które mogą pracować w instalacjach energetyki rozproszonej. Największa z nich jest turbina akcyjna typu przeciwpężnego i została opisana w pracy [13]. Otrzymała ona symbol roboczy „165” i tak też będzie dalej nazywana. Nominalne parametry pracy turbiny zostały określone przez wymagania instalacji i zostały ustalone następująco:

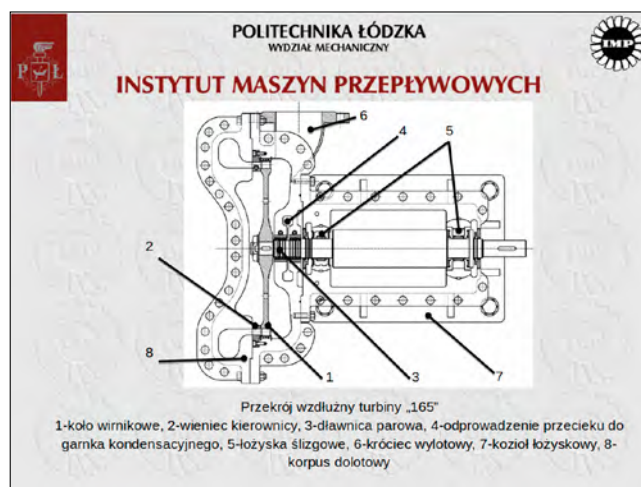
- Ciśnienie i temperatura pary świeżej: 0,58 MPa, 553 K (280°C),
- Strumień masy pary: 2kg/s,
- Przeciwcisnienie: 0,35MPa.

Stosunkowo niewysoki izentropowy spadek entalpii ($\Delta h_s = 119,7$ kJ/kg) umożliwił przyjęcie korzystnego rozwiązania konstrukcyjnego w postaci pojedynczego stopnia akcyjnego. Po przeprowadzeniu wstępnych obliczeń przyjęto następujące założenia konstrukcyjno – obliczeniowe:

- Prędkość obrotowa $n = 1200$ obr/min (50 Hz),
- Udział dynamiczny wirnika $\Theta_w = 0,1$,
- Kąt wypływu pary z kierownicy $\alpha_1 = 14^\circ$,
- Zasilanie na całym obwodzie (pełen łuk zasilania).

Na rysunku 3 przedstawiono przekrój podłużny tej turbiny.

Koło wirnikowe 1 zostało wykonane ze stali 2H13 w technologii „błisk” (bladed disc) - łopatki zostały wyfrezowane bezpośrednio z materiału tarczy. Wierzchołki łopatek połączono kła-



Rys. 3
Przekrój podłużny turbiny „165”

sycznymi bandażami (w pakietach po osiem), a w drugim egzemplarzu zastosowano łopatki wolnostojące. Łopatki kierownicy wykonano również drogą frezowania (cztery segmenty przykręcane bezpośrednio do korpusu). Korpus części przepływowej jest czteroczęściowym odlewem z żeliwa szarego w gatunku ZL 350.

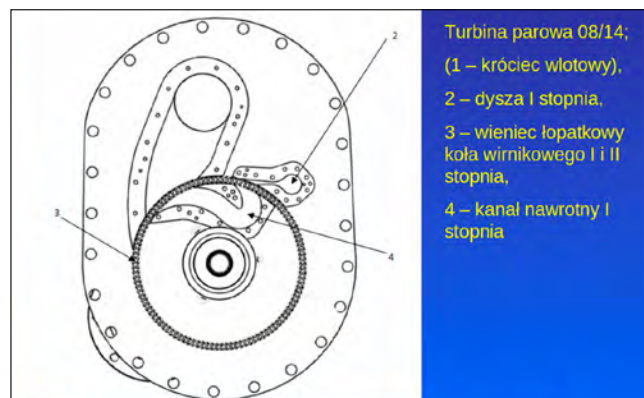
Kocioł żyzkowy 7 jest również odlewem, przy czym w tym przypadku adaptowano seryjny kocioł żyzkowy pompy promieniowej. Klasyczne żyzyska ślizgowe 5 (promieniowe i kombinowane) zakupiono od renomowanego wytwórcy – są to żyzyska katalogowe. Ich koszt nabycia nie był wysoki.

Ze względu na dość znaczne zanieczyszczenie pary zastosowano klasyczne uszczelnienie labiryntowe 3 z odprowadzeniem 4 mieszaniny parowo-powietrznej do pomocniczego zbiornika kondensatu, pełniącego również rolę odgazowywacza.

Przekładnia redukcyjna o przełożeniu cztery również jest przekładnią katalogową, co znacznie obniża koszty. To samo dotyczy również generatora.

Druga z turbin, o nominalnej mocy 50 kW, została zaprojektowana i zbudowana w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka (POIG 01.03.01. - 26-02-021/12) patrz [10]. Turbina jest zasilana z wytwornicy pary wykorzystującej ciepło odpadowe z silnika spalającego biogaz.

Ze względu na bardzo mały strumień masy (0,075kg/s) i wysoki izentropowy spadek entalpii (wymagano aż 732 kJ/kg) oraz narzucenie prędkości obrotowej $n = 6276$ obr/min, zdecydowano się na nietypową konstrukcję w postaci zdwojonego tzw. „stopnia typu Elektra”. Na rysunku 4 przedstawiono przekrój poprzeczny turbiny z planem ułopatkowania typu Elektra.



Rys. 4
Przekrój poprzeczny turbiny parowej systemu Elektra

Cały agregat turbiny zamieszczono na rysunku 5. Przekładnia redukcyjna ma przełożenie $i = 6266/1500$ z uwagi na zastosowany generator (firma Linz Austria).

Trzecia z turbin stanowiła część instalacji mikrośilowni hybrydowej i współpracowała z hermetyczną turbiną ORC na czynnik HFE 7100 [6]. Parametry nominalne turbiny były następujące:

- Ciśnienie i temperatura na ssaniu: 0,93 MPA, 451 K (177,85°C),
- Strumień masy 0,045kg/s,
- Ciśnienie na wylocie 0,3 MPA.

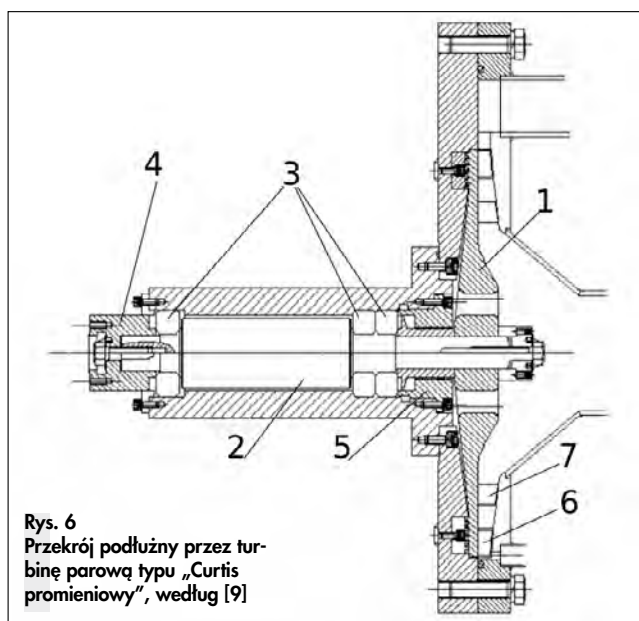
I w tym przypadku przyjęto niekonwencjonalny układ konstrukcyjny w postaci dwuwieżowego promieniowego stopnia Curtisa (patrz rys. 3.4 i 3.5). Turbina zbudowana została w układzie przewieszonym – koło wirnikowe 1 jest umieszczone na wale 2 żyzyskowanym w zespole żyzysk tocznych 3. Koło wirnikowe wykonano również poprzez frezowanie ze stopu aluminium typu Fortal. Nietypowe sprzęgło 4 jest dostosowane do końcówki kardana hamulca wiropędowego firmy Schenck. Zastosowano uszczelnienia labiryntowe 5 z odprowadzaniem pary na zewnątrz. Udziały dynamiczne wirnika były w obu wień-



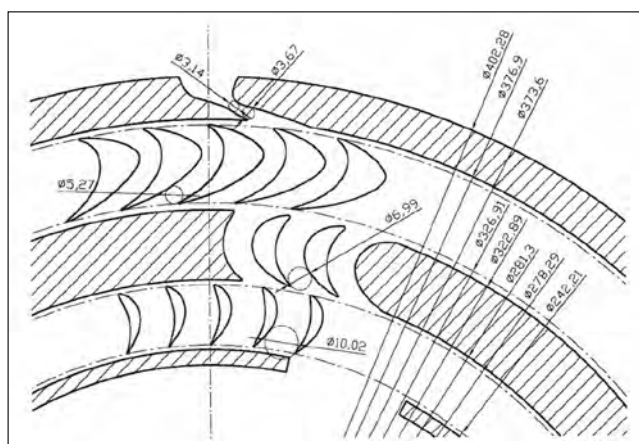
Rys. 5
Widok całego agregatu turbiny systemu Elektra

cach równe zero (stopnie czysto akcyjne). Natomiast łuk zasilania wynosił jedynie 1/60 (pojedyncza dysza de Laval), dzięki czemu uzyskano stosunkowo wysokie łopatki wirnika 6 i 7 (odpowiednio 10,8 i 16,5 mm). Łuzy nadłopatkowe wynosiły ok. 0,5 mm i były uwarunkowane problemami dylatacji cieplnej.

Prędkość obrotowa turbiny wynosiła $n = 7500$ obr/min i była ograniczona możliwościami hamulca. Zastosowanie hamulca zamiast generatora pozwoliło na dokładną weryfikację osiągniętych mocy. Bez kłopotów uzyskano zakładaną moc obwodową 5,5 kW, przy sprawności napędu równej $\eta_0 = 0,597$. Jednak sprawność wewnętrzna wynosi jedynie $\eta_i = 0,403$, co oznacza moc wewnętrzną $P_i = 3,72$ kW. Ta relatywnie niska sprawność jest spowodowana zarówno wysokimi liczbami Macha, jak też



Rys. 6
Przekrój podłużny przez turbinę parową typu „Curtis promieniowy”, według [9]



Rys. 7
Schemat ułopatkowania turbiny typu „Curtis promieniowy”

i dużymi stratami przecieków, brodenia i strat wentylacji niezasilanych części wieńców.

Stan krajowych możliwości projektowych i wykonawczych

Małymi turbinami parowymi zajmują się obecnie w Polsce dwa ośrodki: Instytut Maszyn Przepływowych PAN w Gdańsku oraz macierzysta jednostka autorów. W Gdańsku prowadzono prace studyjne i projektowe dotyczące turbin parowych małej mocy, ale dotyczyły one zakresu mocy powyżej 2,5 MW (patrz Klonowicz i inni [7]). IMP PAN posiada również odpowiednie możliwości obliczeniowe, zarówno w zakresie układów przepływowych jak i dynamiki turbin (por. Rusanow [15]).

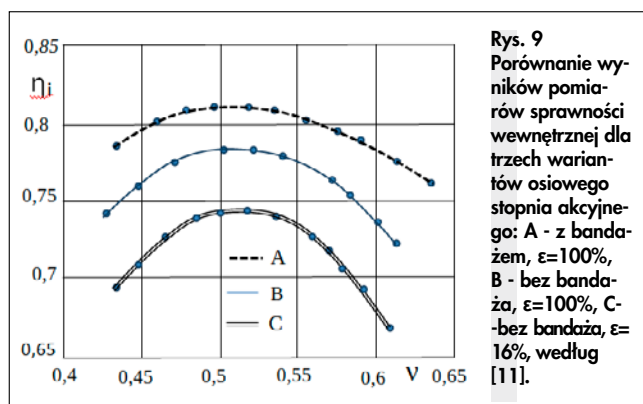
W Politechnice Łódzkiej prowadzone były badania stopni małych turbin parowych z wykorzystaniem jedynej w Polsce dwuwałowej turbiny (m.in. Hanausek [4]). Na rysunku 8 przedstawiono badany stopień turbiny akcyjnej w dwu wariantach: „A” - klasycznej budowy z bandażami nadłopatkowymi oraz „B” z kołem wirnikowym typu „blisk” bez bandażu.

Wybrane wyniki badań zobrazowano na rysunku 9 w postaci zależności sprawności wewnętrznej w funkcji obwodowego wskaźnika prędkości. Oba warianty stopnia mają pełen tłuź zasilania $\varepsilon=100\%$, na rysunku naniesiono dodatkowo przebieg sprawności stopnia w wariantcie bez bandażu, ale z małym tłuźem zasilania $\varepsilon=16\%$.

Analizując wyniki tych badań można stwierdzić, że uproszczenie konstrukcji powoduje oczywiście pewien spadek sprawności, ale w odniesieniu do małych mocy rzędu 200kW nie jest to aż tak istotne.



Rys. 8
Część przepływowa stoiska turbiny modelowej ze stopniem osiowym akcyjnym w dwu wariantach; „A” - klasycznym oraz „B” - bez bandażu z szczelnią nadłopatkową.



Rys. 9
Porównanie wyników pomiarów sprawności wewnętrznej dla trzech wariantów osiowego stopnia akcyjnego: A - z bandażem, $\varepsilon=100\%$, B - bez bandażu, $\varepsilon=100\%$, C - bez bandażu, $\varepsilon=16\%$, według [11].



Rys. 10
Widok kół wirnikowych turbiny systemu Elektra (łopatki frezowane z materiału tarczy), według [10].

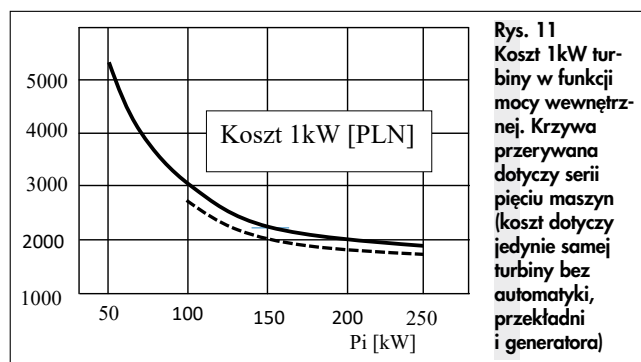
Na podstawie wyników przedstawionych powyżej badań opracowano w IMP prosty algorytm 1D obliczeń stopnia akcyjnych (patrz [12]), który z powodzeniem został wykorzystany przy projektowaniu udanej turbiny „165”. Algorytm ten opiera się o metodykę przedstawioną w pracach Dejca [2] oraz Chodkiewicza [1]. Oczywiście optymalizacja stopnia wymaga oprócz metod 1D wykorzystania współczesnych metod CFD.

Jeżeli chodzi o możliwości wykonawcze, to w kraju bez problemu można wykonać najbardziej skomplikowane elementy turbiny, jakimi są koła wirnikowe. Na rysunku 10 przedstawiono przykładowe koła wirnikowe turbiny Elektra, wykonane w technologii blisk ze stali 34 HNM. Oczywiście koła takie muszą przejść test nadobrotów (ang. overspeed test). Jednak w tym zakresie istnieją już w Polsce wyspecjalizowane stanowiska (m.in. w firmie Neotec Plock).

Agregat turbiny parowej obejmuje nie tylko układ przepływowy. Konieczne są inne podzespoły i instalacje: łożyska (oraz opanowanie problemów dynamicznych, por. [8]), układ smarowania, układ AKP oraz układ regulacji. Ale w przypadku turbin małej mocy, pracujących przy stosunkowo niewysokich temperaturach można użyć adaptowanych instalacji pochodzących z innych branż. Pewnym problemem staje się armatura, a zwłaszcza zawory szybkozamykające, które trzeba zakupić u renomowanych producentów.

Podsumowanie

Zapewne nie unikniemy dalszego rozwoju energetyki rozproszonej, zmuszą nas do tego zarówno uwarunkowania UE jak też i ogólnoswiatowe trendy, por. [5]. Jeżeli chcemy wykorzystać energię odpadową (waste energy) lub dostępne lokalne zasoby biomasy lub nawet gazu ziemnego, to musimy dysponować odpowiednimi turbinami. Wyroby firm zagranicznych, w tym nawet naszych południowych sąsiadów, są oczywiście wysokiej jakości, ale za tym idzie i bardzo wysoka cena. Jeżeli przyjmiemy kryterium mocy jako wyróżnik konstrukcji, to na pewno powyżej mocy ok. 0,8-1MW jesteśmy skazani na maszyny, takie jak ta z rys. 1. Ale w granicach do 400 kW (max) możemy zastosować konstrukcje uproszczone, jak na przykład turbina „165”.



Rys. 11
Koszt 1kW turbiny w funkcji mocy wewnętrznej. Krzywa przerywana dotyczy serii pięciu maszyn (koszt dotyczy jedynie samej turbiny bez automatyki, przekładni i generatora)

Okazuje się, że wykonanie takiej turbiny parowej w Polsce jest o wiele tańsze. Trzeba jednak zauważyć, że koszt wykonania takiej maszyny jest ściśle powiązany z przyjętymi rozwiązaniami technologicznymi. Na rysunku 11 zamieszczono estymację kosztów 1kW małej turbiny parowej. Estymacji dokonano przy następujących założeniach:

- Jednostopniowa turbina akcyjna, wysokoobrotowa, układ przewieszony,
- Koła wirnikowe typu blisk, łopatki wolnostojące,
- Produkcja jednostkowa, kadłuby odlwane,
- Umiarkowane temperatury pary świeżej – do ok. 573 K (300°C).

Koszty pokazane na rys. 11 wydają się niewielkie, ale nie obejmują one pozostałych elementów agregatu: sprzęgieł, przekładni, układu smarowania, generatora, AKP i układu regulacji. Analizując rysunek 11 można stwierdzić, że kupno małej turbiny parowej jest opłacalne od mocy wynoszącej ok. 100kW. Ale jeśli turbina ma być dobudowana do istniejącej już instalacji kotłowej, to granica ta przesunie się w stronę mniejszych mocy.

Objaśnienia

v – obwodowy wskaźnik prędkości

$v = u / 2\Delta h_s$, gdzie Δh_s to izentropowy spadek entalpii w stopniu,

- η_i – sprawność wewnętrzna, sprawność obejmująca wszystkie straty, przepływowe oraz uboczne: przecieków, brodzenia, ale bez strat mechanicznych,
- η_u – sprawność przekazania energii w stopniu, ujemne tylko straty przepływowe w wieńcach łopatkowych.

LITERATURA

- [1] Chodkiewicz R.: Ćwiczenia projektowe z turbin cieplnych, WNT, Warszawa 2008.
- [2] Dejcz M.E., Trojanowski B.M.: *Untersuchungen und Berechnung Axialer Turbinenstufen*, VEB Verlag, Berlin 1973.
- [3] Gundlach W.R.: *Turbiny parowe przełomu wieków*, praca IMP PŁ, Łódź 2003
- [4] Hanausek P.: *Badanie stopnia turbinowego w warunkach nierównomiernego napływu wywołanego stopniem poprzedzającym*, praca doktorska, Politechnika Łódzka, Łódź 1996.
- [5] Komor P., Molnar T.: *Background Paper on Distributed Renewable Energy Generation and Integration*, Univ. Of Colorado, Boulder USA, 2015 (dla: United Nations Technology Executive Committee [TEC], UNFCCC, Bonn).
- [6] Klonowicz P., Borsukiewicz-Gozdur A., Hanausek P., Kryłowicz W., Brueggeman D.: *Design and Performance Measurement of an organic vapour turbine*, Appl. Therm. Eng. 63, str. 297-303, 2014.
- [7] Klonowicz P., Jędrzejowski Ł., Witanowski Ł., Suchocki T., Lampart P.: *Turbiny parowe i ORC dla kogeneracji rozproszonej-przykłady projektowe i konstrukcyjne*, (monografia), Wydawnictwo IMP PAN, Gdańsk 2015.
- [8] Kozanecki Z.: *Systemy wirujące maszyn przepływowych małej i średniej mocy*, Biblioteka Problemów Eksploatacji (monografia), Łódź- Radom 2008.
- [9] Kryłowicz W., Magiera R., Klonowicz P.: *Projekt techniczny agregatu turbiny parowej dla mikroświatłowni hybrydowej*, Praca IMP PŁ nr.1729, Łódź 2012.
- [10] Kryłowicz W., Szwaja S.: *Konstrukcja małej turbiny parowej typu Electra dla energetyki rozproszonej*, materiały 12 konferencji PBEC, Warszawa 2015.
- [11] Kryłowicz W., Górecki G.: *Trudny wybór. Turbina parowa czy turbina na czynnik niskowrzący* Turbiny Ciepłe. Teoria, Konstrukcja i Eksploatacja (monografia), Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2016.
- [12] Kryłowicz W., Kantyka K.: *Algorytm obliczeń stopnia akcyjnego turbiny parowej*, ZN PŁ, seria Turbomachiny nr.149, s.37-48, Łódź 2016.
- [13] Kryłowicz W., Kantyka K.: *Małe turbiny parowe dla energetyki rozproszonej- uwarunkowania techniczno-ekonomiczne*, materiały 13 konferencji PBEC, Warszawa 2017.
- [14] Paska J.: *Technologie generacji rozproszonej*, Elektroenergetyka tom4, str7-17, 2002.
- [15] Rusanow R.: *Międzyrzeszcia i projektowanie prototypów cząsteczek i radialno-osiowych turbin s uczelniami realnych swajstwach*, dysertacja doktorska, Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk 2019.
- [16] Sikorski T., Ziąba E.: *Generacja rozproszona na tle obecnej struktury energetycznej*, Energetyka, grudzień 2008, str. 811-817.
- [17] Stodola A.: *Die Dampfturbinen*, Springer-Verlag, Berlin und Heidelberg ,1905 (oraz późniejsze edycje).

Racjonalizacja zużycia energii w budownictwie mieszkaniowym

Autorzy: Tomasz Cholewa, Alicja Siuta-Olcha
Warszawa 2016

Wydawca: Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”



Ocena efektywności energetycznej oraz kosztów z tytułu ogrzewania i przygotowania c.w.u. w systemach grzewczych stosowanych w budynkach wielorodzinnych to tytuł rozdziału w książce dr inż. Tomasza Cholewy i dr inż. Alicji Siuta – Olcha pt. „Racjonalizacja zużycia energii w budownictwie mieszkaniowym”. Rozdział ten zawiera też przykład analizy techniczno – ekonomicznej trzech rodzajów systemów ogrzewania i przygotowania ciepłej wody, które obecnie najczęściej występują w budynkach wielorodzinnych. **Przedstawiony materiał jest pomocny do określenia efektywności energetycznej budynku.**

Cała książka ukazuje praktyczne możliwości zmniejszania zużycia energii w budynkach mieszkalnych poprzez modernizację systemów ogrzewania i przygotowania ciepłej wody oraz poprzez edukację mieszkańców w tym zakresie. W pracy przedstawiono szereg wyników długoterminowych badań eksploatacyjnych, umożliwiających określenie i sprawdzenie wpływu różnych przedsięwzięć modernizacyjnych na zużycie energii, szczególnie w istniejących budynkach wielorodzinnych.

Do każdego rozpatrywanego przypadku starano się wybrać reprezentatywną grupę budynków, aby zakres przeprowadzonych prac modernizacyjnych pozwolił, w możliwie jednoznaczny sposób, pokazać wpływ danego działania modernizacyjnego na zużycie ciepła w danej grupie budynków, a nie był tylko przypadkowym wynikiem otrzymanym dla pojedynczego obiektu. Każdy przykład poprzedzony jest krótkim wstępem teoretycznym, który w przystępny sposób wprowadza Czytelnika w zakres tematyczny danego zagadnienia, jak również przedstawia wyniki badań oraz osiągnięcia innych Autorów, odnoszące się do racjonalizacji zużycia energii w sektorze mieszkaniowym.

Z tego też względu publikacja przydatna może być projektantom i wykonawcom systemów grzewczych oraz administratorom budynków.

Książka została wydana w twardej oprawie w formacie B5, objętość 214 stron. Cena 1 egz. 64 zł + 5% VAT.

Zamówienia przyjmuje: Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”

02-674 Warszawa, ul. Marynarska 14; tel./fax (22) 843 77 71

e-mail: wydawnictwo@informacjainstal.com.pl, redakcja@informacjainstal.com.pl