

Energetyka odnawialna na Islandii

Anna Ściążko

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw

Streszczenie: W artykule scharakteryzowano system energetyczny funkcjonujący na Islandii, w szczególności w aspekcie wykorzystania źródeł energii odnawialnej. Islandia to kraj, który posiada specyficzne uwarunkowania geologiczne i gospodarcze, pozwalające na szerokie wykorzystanie zielonej energii. Rozwiązania zastosowane na Islandii są nie tylko ekologiczne, lecz także korzystne ekonomicznie. W artykule przedstawiono ogólne wiadomości dotyczące rozwoju islandzkiego systemu energetycznego, ilości i typów zużywanych surowców energetycznych, a także profilu odbiorców energii elektrycznej. Dalsza część artykułu omawia najważniejsze informacje dotyczące geografii i budowy geologicznej wyspy. Dzięki występującym tam warunkom (położenie w „gorącym punkcie” na styku płyt tektonicznych Północnoamerykańskiej i Euroazjatyckiej), możliwe jest wykorzystanie energii geotermalnej oraz wodnej na szeroką skalę. W artykule opisano te dwie technologie – przedstawiono ich rozwój, istniejące elektrownie i moce. Omówiono istniejący system linii przesyłowych oraz problem, z jakim zmagają się Islandia – eliminację paliw kopalnych z transportu. Islandia prowadzi w tej dziedzinie wiele innowacyjnych projektów, sprawdzając możliwości wykorzystania w motoryzacji wodoru, biogazu oraz elektryczności. Tematem badań islandzkich instytucji naukowych jest program głębokich odwiertów geotermalnych IDDP. Porównano też sytuację energetyczną Polski i Islandii.

Słowa kluczowe: energia odnawialna, Islandia, energia geotermalna, energia wodna, sieć przesyłowa, projekt IDDP, samochody wodorowe

Podstawowe informacje

Islandia jest niewielkim państwem położonym niedaleko koła podbiegunowego w północnej części Oceanu Atlantyckiego. Budowa geologiczna wyspy sprawia, iż jest jednym z najciekawszych miejsc na świecie pod względem wytwarzania energii odnawialnej. Największy nacisk kładzie się tutaj na wykorzystywanie zielonej energii, jednak nie wszędzie jest to możliwe w jednakowym stopniu – Islandia posiada ogromny potencjał w tym zakresie, i co więcej, energia ta jest nie tylko łatwo dostępna, ale i tania.

Powierzchnia wyspy wynosi 103 000 km², jednak liczba mieszkańców jest niewielka – 320 000 osób (najmniejsze zagęszczenie ludności w Europie). Związane jest to m.in. z warunkami klimatycznymi panującymi wewnątrz kraju. W epoce lodowcowej prawie cała wyspa pokryta była lodem, dzisiaj tylko w 11 %. Na Islandii znajduje się największy lodowiec Europy – Vatnajökull, zajmujący powierzchnię 8 300 km².

Gospodarka Islandii opiera się głównie na rybołówstwie, turystyce oraz energochłonnym przemyśle, jak np. przetwarzanie aluminium. W XX w. nastąpił szybki rozwój kraju,

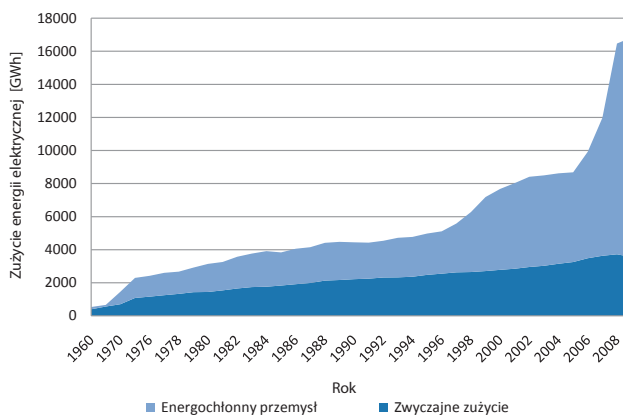


Rys. 1. Islandia (zdjęcie: NASA Visible Earth)

Fig. 1. Iceland (photo: NASA Visible Earth)

wcześniej jednego z najbiedniejszych w zachodniej Europie. Stało się to możliwe głównie dzięki powszechnemu wykorzystaniu energii odnawialnej oraz budowie nowych elektrowni geotermalnych oraz hydroelektrowni. Przemianę tę obrazuje zmiana zapotrzebowania na energię elektryczną generowanego przez różnego typu odbiorców końcowych (rys. 2). W latach 1960–2009 zapotrzebowanie to wzrosło z 536 GWh do prawie 17 000 GWh. Początkowo jedynie 26 % konsumowanej energii było pochłaniane przez energochłonny przemysł, w 2009 r. wykorzystywał już 79 % całkowitego zużycia. Do wysoko energochłonnego przemysłu zalicza się huty aluminium oraz stali, a także fabryki nawozów sztucznych.

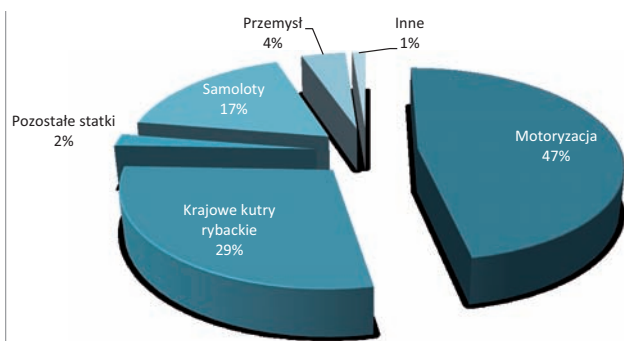
Na Islandii 100 % produkowanej energii elektrycznej oraz około 85 % wykorzystywanej energii pierwotnej pochodzi ze źródeł odnawialnych. Pozostałe 15 % pierwotnych nośników



Rys. 2. Zapotrzebowanie na energię elektryczną w latach 1960–2009

Fig. 2. Consumption of electricity 1960–2009

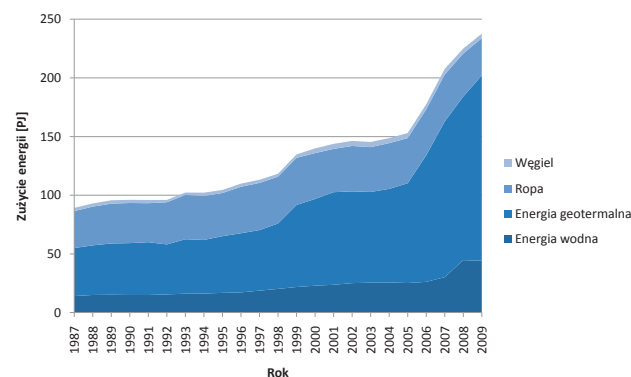
energii to paliwa kopalne, wykorzystywane głównie w transporcie oraz rybołówstwie (rys. 3).



Rys. 3. Wykorzystanie ropy w 2009 r.

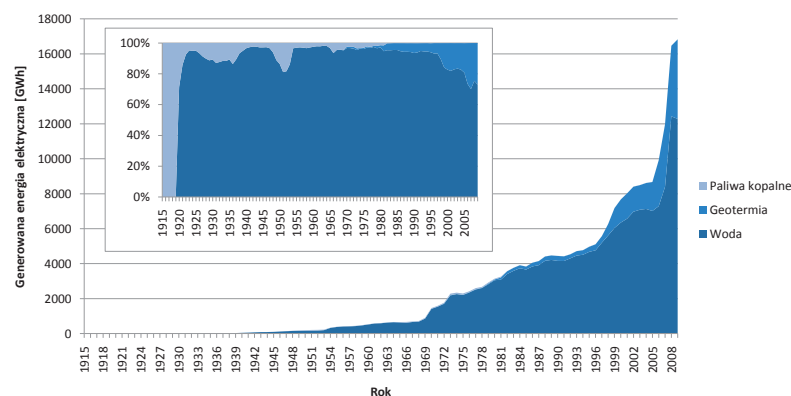
Fig. 3. Oil use in 2009

Ciekawe są wyniki zmian zużycia różnego typu form energii pierwotnej na Islandii (rys. 4) oraz zmiany w profilu produkowanej energii elektrycznej (rys. 5). W ostatnich 20 latach zużycie węgla oraz ropy pozostało na stałym poziomie (mimo pewnych wahań). Zmienił się jednak procentowy udział surowców w ogólnym profilu energetycznym. W 1987 r. paliwa kopalne stanowiły 38 % ogólnego zużycia, obecnie stanowią one jedynie 15%. Nastąpił duży wzrost energii pozyskiwanej z geotermii oraz energii wodnej. W przypadku energii wodnej szczególnie dobrze widoczny jest wzrost w 2007 r. po oddaniu do użytku elektrowni Kárahnjúkar. Wyraźnie



Rys. 4. Zużycie energii wg nośników w latach 1987–2009

Fig. 4. Energy consumption by source 1987–2009



Rys. 5. Profil generowanej energii elektrycznej w latach 1915–2009

Fig. 5. Annual generation of energy 1915–2009

widać, że największa ilość energii jest wytwarzana ze źródeł geotermalnych – ponad 66 % ogólnego profilu.

Należy zauważyć, że mimo dominacji energetyki geotermalnej w całkowitym zużyciu energii, energia wodna jest głównie wykorzystywana do produkcji energii elektrycznej.

Na początku XX w. wytwarzanie prądu elektrycznego na Islandii było całkowicie oparte na paliwach kopalnych (40 kWh w 1915 r.). Dopiero w 1912 r., kiedy powstała pierwsza większa elektrownia wodna, można zaobserwować zmianę proporcji – praktycznie od razu zaczęła ona pokrywać prawie 90 % produkcji elektryczności. Pierwsza elektrownia geotermalna została oddana do użytku w 1969 r. Można zauważyć, że paliwa kopalne pełnią już coraz bardziej marginalną rolę (ich największe zużycie datuje się na lata 70. XX w.). Obecnie 73 % energii elektrycznej na Islandii jest produkowane w wyniku wykorzystania energii wody. Wyraźnie widoczny jest zaznaczony skok energii wodnej w 2007 r. (z 8 TWh do 12 TWh).

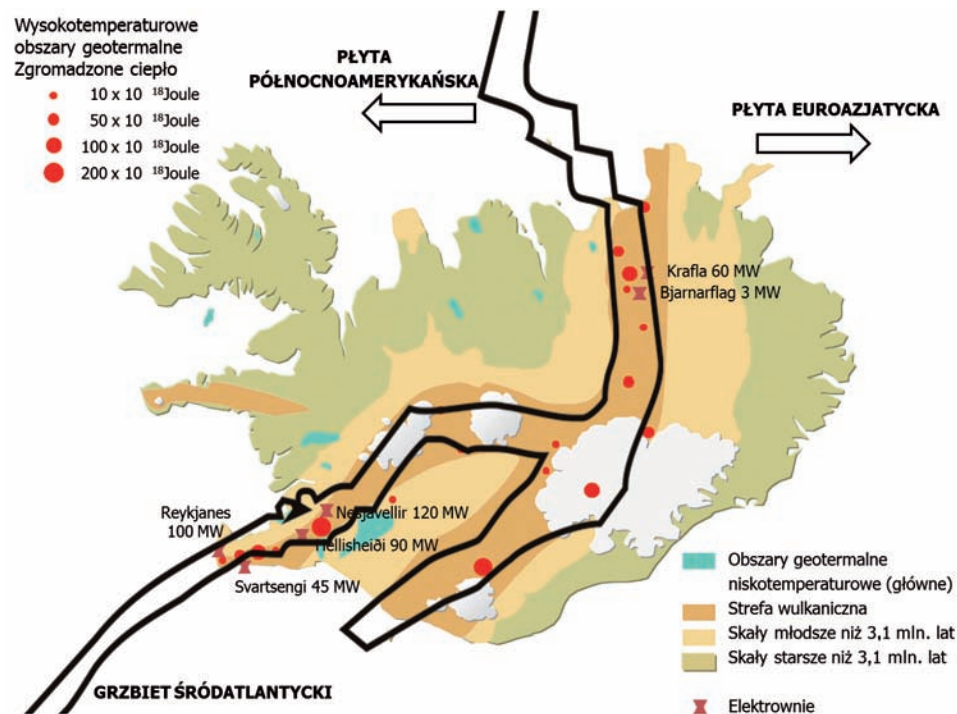
Geologia wyspy

Islandia jest jednym z najmłodszych państw świata pod względem wieku geologicznego – jest zbudowana z trzeciorzędowych i czwartorzędowych skał wulkanicznych. Jej unikalne umiejscowienie wpływa na aktywność geotermalną. Kraj ten leży na Grzbiecie Śródatlantyckim, na styku Płyty Północnoamerykańskiej i Płyty Euroazjatyckiej. Grzbiet Śródatlantycki pojawia się nad powierzchnią morza jedynie w kilku punktach – największym z nich jest Islandia. W wyniku dryfu kontynentalnego, jak ustalono na podstawie badań geologicznych, Islandia jest co roku rozciągana o ok. 2 cm. Na wyspie można znaleźć ślady ruchu kontynentów dobrze widoczne w postaci szczelin i pęknięć – granica styku płyt tektonicznych biegnie przez 350 km. Najbardziej znanym miejscem tego typu jest Þingvellir – miejsce spotkań dawnego parlamentu Islandii Althingu. Ruch kontynentów sprawił, że można obserwować tam długi na 5,5 km rów tektoniczny (dolinę ryftową), której wysokość w ostatnich 9 tys. lat zmniejszyła się o 60–90 m. Największa ze szczelin obserwowana w dolinie to słynny, głęboki wąwóz Almannagjá (o długości 6 km i głębokości 80 m).

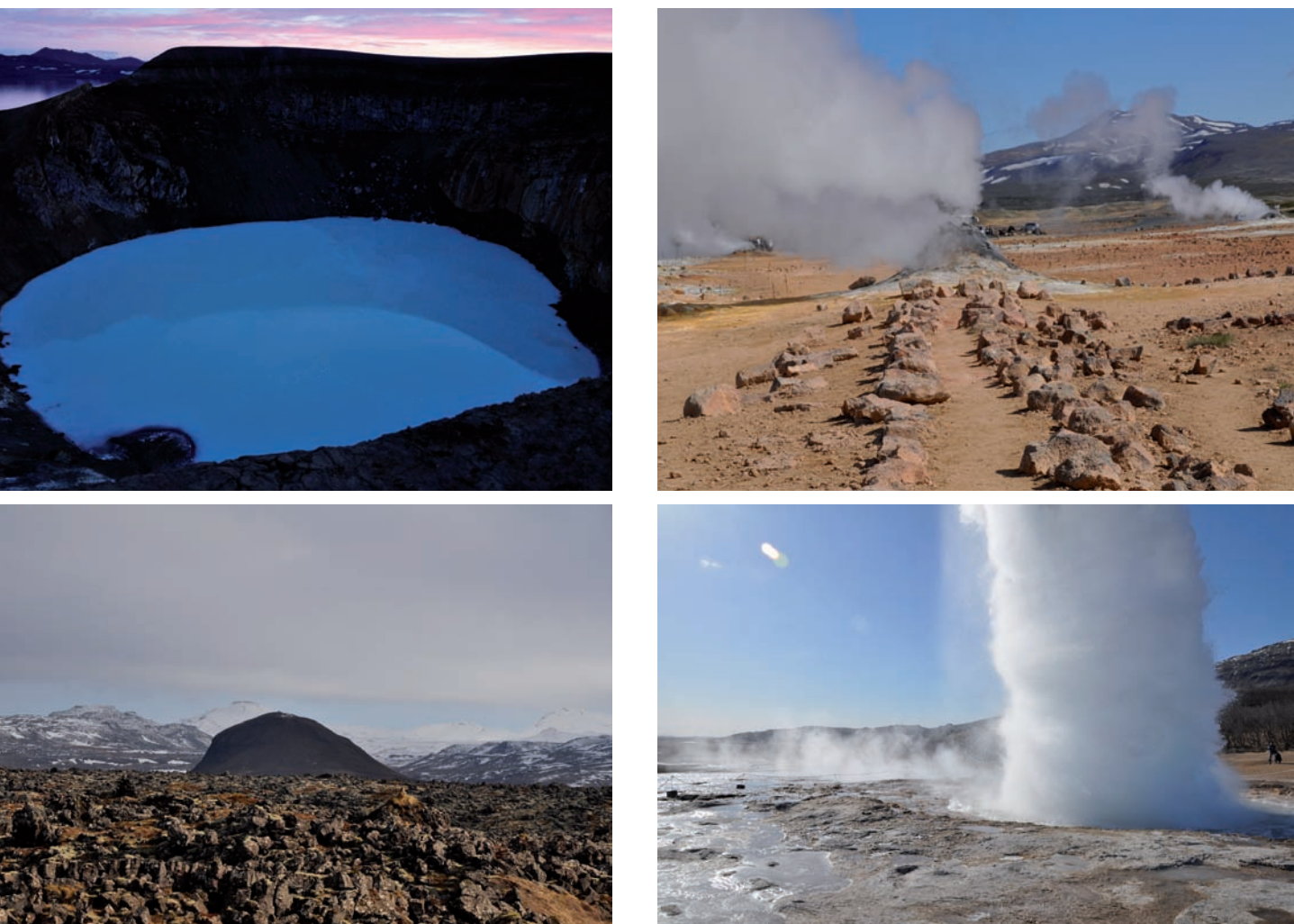
Islandia leży w tzw. „gorącym punkcie”, w górnym płaszczu Ziemi, strefy o wyższej niż przeciętna temperaturze. Efektem jest przetapianie wyższych warstw płaszcza, tworzenie ognisk magmy oraz powstawanie wulkanów.

Na wyspie można znaleźć wiele przejawów aktywności geotermalnej, występuje tam ponad 200 wulkanów oraz około 600 gorących źródeł. Ciekawostką jest to, że pierwszy opisany na świecie gejzer (Stóri-Geysir w Haukadalur) znajduje się właśnie na Islandii (stąd nazwa „gejzer”). Dziś Stóri-Geysir jest niemal nieaktywny, jednak znajdujący się obok niego gejzer Strokkur wybucha regularnie co 10 minut na wysokość 25 m.

Zjawiska geotermalne biorą swój początek w rozpadzie pierwiastków radioaktywnych we wnętrzu Ziemi. Ciepło emitowane w tym



Rys. 6. Budowa geologiczna Islandii (źródło: Orkustofnun 2005)
Fig. 6. Geology of Iceland (source: Orkustofnun 2005)



Rys. 7. Aktywność geotermalna Islandii (wulkany, pola siarkowe, pola lawy, gejzery)
Fig. 7. Geothermal activity in Iceland (vulcanos, sulfur fields, lava fields, geysers)

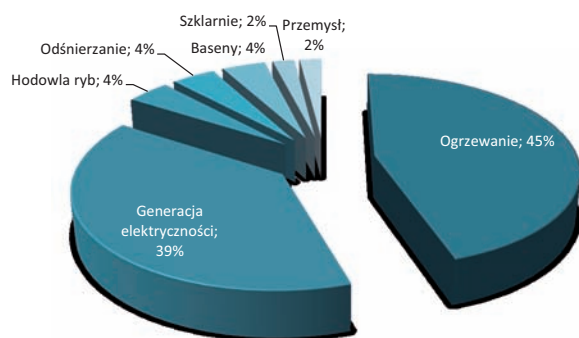
procesie jest transportowane (przewodzenie i konwekcja) na powierzchnię. Wyróżnia się dwa typy pokładów geotermalnych, które determinuje ciśnienie i temperatura, w których woda występuje w postaci ciekłej lub w postaci pary.

Średni strumień geotermalny (około 65 mW/m^2) daje średni gradient termalny 25 K/km . Problemem są jednak techniki pozyskiwania tej energii na szerszą skalę. Na Islandii gradient termalny w wielu miejscach jest wyższy od przeciętnej i dochodzi do 300 K/km , co umożliwia praktyczne wykorzystywanie energii geotermalnej.

Rys. 6 przedstawia budowę geologiczną Islandii wraz z położeniem głównych nisko- i wysokotemperaturowych złóż geotermalnych. Mapa pokazuje ponadto przebieg Grzbietu Śródatlantyckiego oraz stref wulkanicznych na Islandii.

Energia geotermalna

Islandczycy są pionierami w wykorzystaniu energii geotermalnej, zieloną energię stosują również do ogrzewania domów (wody geotermalne ogrzewają na Islandii ponad 90% budynków), topienia śniegu, zasilania basenów ciepłą wodą i szklarni geotermalnych, pieczenia chleba w specjalnie przygotowanych otworach, oraz uprawiania warzyw na „ciepłej ziemi” (rys. 8).



Rys. 8. Wykorzystanie energii geotermalnej na Islandii (2009 r.)

Fig. 8. Geothermal energy use in Iceland (2009)

Islandczycy od wieków wykorzystywali ciepłe źródła do kąpieli oraz prania odzieży. Praktyczne zastosowania (ogrzewanie domów) rozpoczęły się dopiero w 1907 r., a pierwsze rurociągi z ciepłą wodą w Reykjavíku zbudowano w 1930 r. Woda taka jest wykorzystywana nie tylko do ogrzewania budynków, użytkuje się ją jako gorącą wodę w kranach (islandzka zimna woda kranowa jest krystalicznie czysta i można ją spożywać bezpośrednio, jednak ciepła ma bardzo mocny zapach siarki).

Najstarsza islandzka elektrownia geotermalna została otwarta w 1969 roku w Bjarnarflag. Do najważniejszych elektrowni zaliczamy: Nesjavellir (elektrociepłownia, 120 MW), Reykjanes (100 MW), Hellisheiði (90 MW) i Krafla (60 MW).

Energia wodna

Warunki Islandii czynią ją doskonałym miejscem do wykorzystania energii wody. Wysoki poziom opadów oraz wystę-



Rys. 9. Elektrownie geotermalne Krafla i Hellisheiði

Fig. 9. Geothermal power plants Krafla and Hellisheiði

powanie lodowców sprawia, że kraj ten posiada duże zasoby hydrologiczne. Rzeki Islandii biorą początek z lodowców, choć część wypływa z jezior lub źródeł gruntowych. Pomimo że są krótkie, tworzą gęstą sieć hydrologiczną. Na wyspie można znaleźć około 250 dużych rzek. Ich przepływ zależy od pory roku, temperatury dobowej i stanu pogody, które wpływają na topnienie lodowców oraz zwiększone opady. Charakterystyczną cechą Islandii jest występowanie bardzo dużej liczby wodospadów – największych jest około 50. Tworzą je rzeki płynące przez okolice o dużej różnicy poziomów i urwiska. Do najsłynniejszych wodospadów należą Dettifoss (największe natężenie przepływu w Europie), Glymur (najwyższy wodospad Islandii – 190 m) czy Gullfoss (nazywany Złotym Wodospadem; pomimo planów zbudowania przy nim elektrowni wodnej, wodospad udało się ocalić). Na Islandii występuje wiele jezior (płytke jeziora polodowcowe, głębsze jeziora wypełniające kraterzy wulkanów oraz szczeliny tektoniczne). We wschodniej części wyspy można ponadto znaleźć ogromny zbiornik Halslón (57 km^2) utworzony na potrzeby hydroelektrowni Kárahnjúkar.

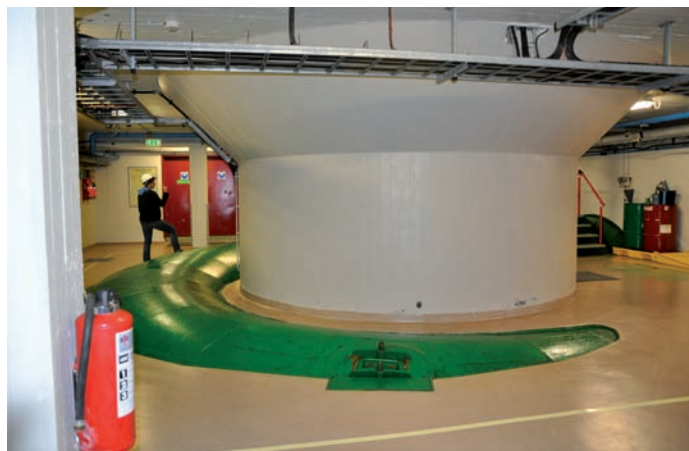
Idea wykorzystania energii wodnej Islandii narodziła się już 10 lat po otwarciu pierwszej na świecie hydroelektrowni. W 1904 r. uruchomiono pierwszą, niewielką (wytwarzającą

jedynie 9 kW mocy) elektrownię wodną w Hafnarfjörður. Kilkanaście lat później, w 1921 r., otwarto większą hydroelektrownię (1 MW), która znacznie powiększyła ilość energii elektrycznej wytwarzanej na Islandii. Kolejnym ważnym etapem rozwoju energetyki wodnej na Islandii było otwarcie dwóch elektrowni na rzece Sog (1953 r. i 1959 r.) o łącznej mocy 57 MW. Wraz z rozwojem energetyki stworzono publiczne przedsiębiorstwo energetyczne Landsvirkjun, zarządzające hydroelektrowniami. Na wykresie (rys. 5) widoczne są momenty powstania dużych obiektów – duży wzrost w roku 1969 związany z budową elektrowni na rzece Þjórsá (210 MW), dostarczającej energię elektryczną dla południowej części wyspy oraz zasilającej hutę aluminium. W kolejnych latach realizowano inne projekty tego typu – największe hydroelektrownie Búrfellsstöð (270 MW), Hrauneyjafosstöð (210 MW), Sigöldustöð (150 MW) oraz Blöndustöð (150 MW).

Jednym z najciekawszych projektów dotyczących elektrowni wodnych jest 690 MW hydroelektrownia Kárahnjúkar. Jej budowa rozpoczęła się w 2003 r., by pod koniec 2007 r. uruchomić sześć turbin. Głównym odbiorcą pro-



Rys.10. Olbrzymi potencjał energii wodnej Islandii
Fig. 10. Hydropower potential in Iceland



Rys. 11. Hydroelektrownia Kárahnjúkar i hydroelektrownia na rzece Sog

Fig. 11. Hydropower Station Kárahnjúkar and on the Sog river

dukowanej energii (4,6 TWh rocznie) jest huta aluminium Alcoa nad fiordem Reyðarfjörður. Właścicielem największej hydroelektrowni Islandii jest Landsvirkjun, a koszty jej budowy wynosiły około 1,3 mld EUR. Koszty te zostały pokryte w ramach międzynarodowych kontraktów wynegocjowanych na podstawie długoterminowej umowy z hutą Alcoa. Projekt Kárahnjúkar można podzielić na trzy główne elementy: budowę tamy, przygotowanie tunelu łączącego tamę i elektrownie oraz budowę podziemnej elektrowni.

Tama Kárahnjúkastífla składa się z 5 niezależnych tam, mierzących wspólnie 730 m. Najwyższa z nich ma 200 m wysokości, jest zbudowana z betonowej powłoki wypełnionej kamieniami i jest najwyższą tego typu zaporą w Europie oraz jedną z najpotężniejszych na świecie. Jej konstrukcja przetrwa ewentualne trzęsienie ziemi. Ze względów bezpieczeństwa w skalnym podłożu wykonano 120-metrowe odwierty, w które wstrzyknięto cement, zapobiegając ewentualnym przeciekom. Efektem budowy tamy jest zbiornik Halslón.

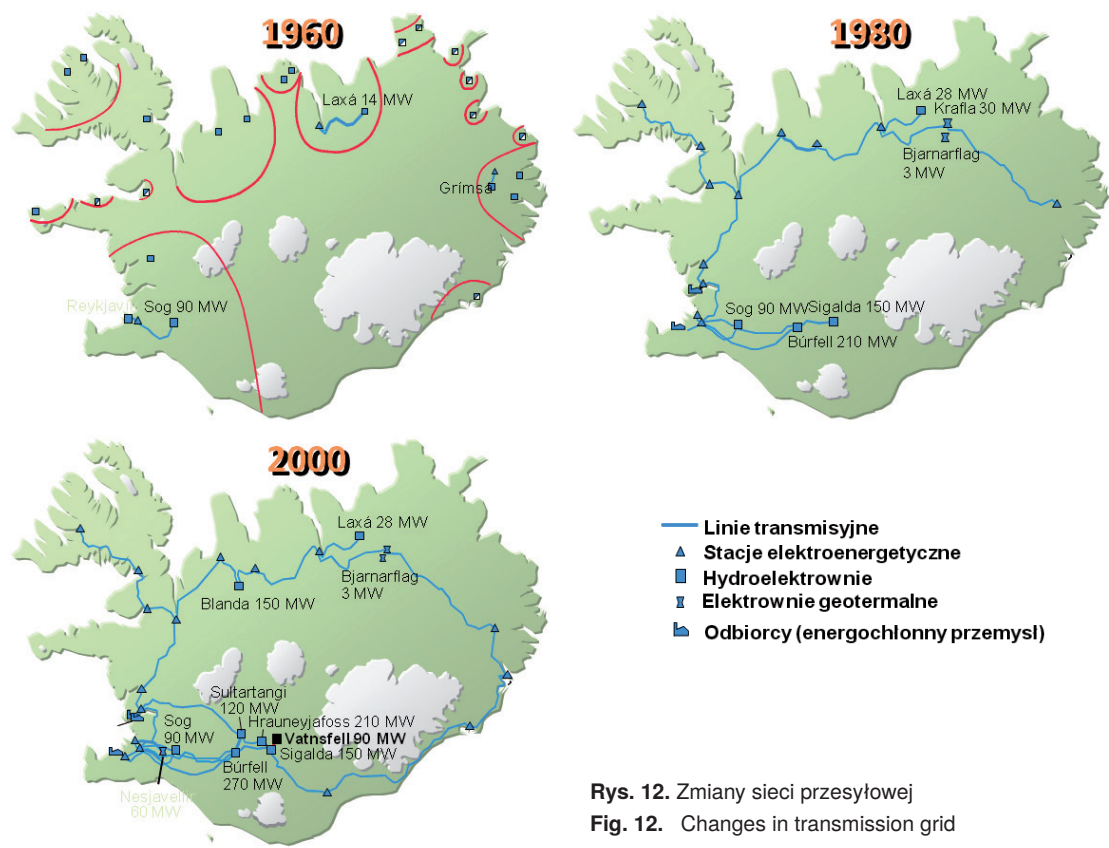
Odległość między zbiornikiem wodnym Halslón a elektrownią Kárahnjúkar wynosi 40 km. Są one połączone podziemnymi tunelami, zbudowanymi przez trzy maszyny drążące. Główny tunel ma średnicę 7,5 m, a łączna długość podziemnej sieci wynosi 70 km. Sama elektrownia jest umiejscowiona 1 km w głąb góry, składa się z 6 turbin i generatorów, każdy o mocy 115 MW.

System elektroenergetyczny Islandii

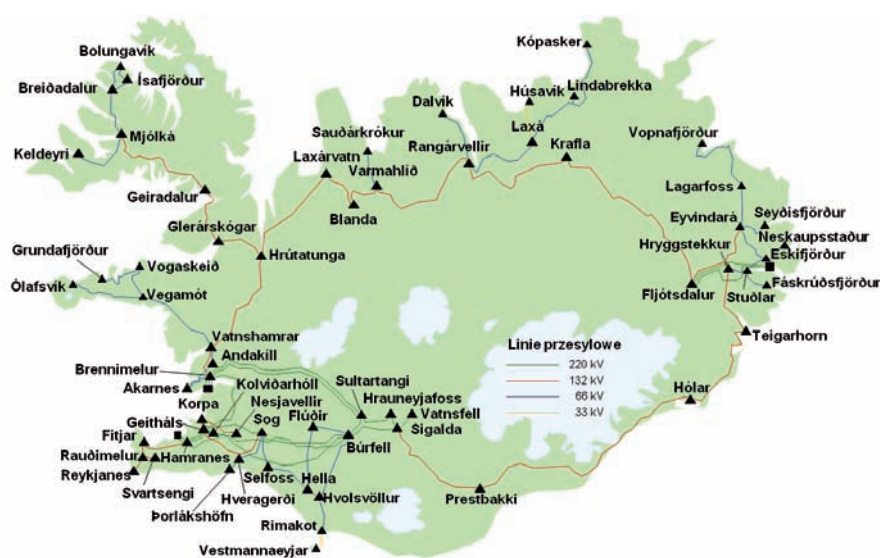
System elektroenergetyczny Islandii ma wiele specyficznych cech niespotykanych powszechnie w innych państwach Europy. Jest izolowany – nie ma w nim bezpośredniego importu bądź eksportu. Z drugiej strony Islandia posiada potencjał energetyki wodnej i geotermalnej – są to źródła odnawialne i co więcej, łatwiejsze do przewidzenia (w przeciwieństwie do energii słońca czy wiatru słabiej zależą od chwilowych warunków pogodowych). Istniejący system energetyczny wy-

korzystuje właśnie te źródła. Po stronie odbiorców energii elektrycznej 78 % jest pochłaniane przez wysokoenergochłonny przemysł. Niestety, tak skonstruowany system wiąże się z wysokimi kosztami przesyłu, ze względu na duże rozproszenie elementów.

W ciągu ostatnich 50 lat w sieci przesyłowej Islandii nastąpiły olbrzymie zmiany (rys. 12). Początkowo sieć ta składała się z kilku oddzielnych, niewielkich systemów, dzisiaj jest to w pełni rozbudowany, połączony system. Obecnie energia elektryczna jest dostarczana do sieci z hydroelektrow-



Rys. 12. Zmiany sieci przesyłowej
Fig. 12. Changes in transmission grid



Rys. 13. Sieć przesyłowa na Islandii (źródło: Landsnets, 2010)
Fig. 13. Icelandic transmission grid (source: Landsnets, 2010)

ni (1840 MW) oraz z elektrowni geotermalnych (565 MW). Całkowite zapotrzebowanie na energię elektryczną wynosi 17,1 TWh/rok. Odbiorcy energii są rozproszeni na dużym terenie, co wymaga zapewnienia stabilnej i efektywnej sieci przesyłowej.

Dzisiejsza sieć przesyłowa Islandii (rys. 13) jest coraz lepiej dopasowana do specyficznych warunków kraju. Można w niej wyróżnić kilka obszarów. Południowy zachód wyspy jest połączony za pomocą sieci 220 kV. Jest to związane z występowaniem w tej części kraju największych odbiorców energii (energochłonny przemysł) oraz z umiejscowieniem dużych elektrowni. Główny „pierścień” sieci oplatający całą wyspę (analogiczny

do głównej krajowej drogi 1) tworzą linie o niższym napięciu – 132 kV. Istnieją też lokalne obszary, które są zbudowane z linii o wyższym napięciu – 220 kV. Taką sieć można znaleźć we wschodniej części wyspy, moc ta jest dostarczana dla energochłonnego przemysłu (huta aluminium). Dokładniejsze dane dotyczące sieci elektroenergetycznej zostały przedstawione w tab. 1.



Rys. 14. Sieci przesyłowe Islandii
Fig. 14. Icelandic transmission grid

Tab. 1. Sieci elektroenergetyczne na Islandii
Tab. 1. Icelandic transmission grid

Liczba stacji elektroenergetycznych	72
Długość linii przesyłowych 220 kV	851 km
Długość linii/kabli przesyłowych 132 kV	1265 km
Długość linii/kabli przesyłowych 33 kV i 66 kV	1052 km
Całkowita długość sieci przesyłowej średnich, wysokich i najwyższych napięć	3168 km

Przewiduje się, że w przyszłości liczba dużych odbiorców energii oraz udział elektrowni geotermalnych w generacji elektryczności będą rosły. Będzie to wymagało wprowadzenia zmian i unowocześnień do istniejącej sieci. Zwiększający się przesył w sieci może spowodować pojawienie się zakłóceń. Istnieje kilka rozwiązań tego typu problemu, jak wzmocnienie sieci przesyłowej wokół Islandii (obecnie 132 kV), wykorzystanie układów statycznych kompensatorów mocy biernej SVC (*Static Var Compensator*) wraz z detekcją drgań POD (*Power Oscillation Detection*) bądź wykorzystanie rozproszonej generacji energii (która nie będzie wymagała przesyłania na duże odległości). Wzrost mocy wytwarzanej przez elektrownie geotermalne może spowodować niedostateczną kontrolę napięcia i częstotliwości oraz przerwy w dostarczaniu energii związane z koniecznymi naprawami i utrzymaniem infrastruktury. Sposobem na wyeliminowanie tych niedogodności może być wyegzekwowanie odpowiednich wymagań na dostawców mocy.

Kolejne wyzwania stoją przed siecią w północno-zachodniej Islandii, która jest połączona z głównym systemem przez długie (120 km) połączenie promieniowe. Skutkiem tego jest stosunkowo wysoka zawodność sieci, związana m.in. z trudnymi warunkami pogodowymi panującymi w tej części kraju przez większą część roku. Dlatego na tym obszarze wymagana jest obecność wielu generatorów spalinowych zapewniających produkcję energii w sytuacjach awaryjnych. Wprowadzenie rozproszonej generacji mogłoby znaczenie poprawić sytuację przez poprawę jakości energii elektrycznej oraz zmniejszenie liczby instalowanych kondensatorów do kompensacji mocy biernej. Rozproszona generacja sprawiłaby, że nie byłoby potrzebne kosztowe wzmocnienie sieci przesyłowej oraz pomogłoby zwiększyć niezawodność dostaw energii, co zmniejszyłoby zapotrzebowanie na awaryjne generatory. Takie rozwiązanie, połączone z odpowiednio zaprojektowanym systemem gromadzenia energii, pozwoliłoby na wyeliminowanie krótkotrwałych przerw w dostawie, które wywołują największe socjalne i ekonomiczne straty.

Samochód przyszłości:
wodór, biogaz czy elektryczność?

Największe zapotrzebowanie Islandii na paliwa kopalne generuje transport. Już od dłuższego czasu rząd oraz instytucje naukowe próbują znaleźć alternatywę dla ropy. Obecnie wiele rozwiązań jest w fazie testów, a Islandia ma potencjał, by zostać liderem w ich wprowadzaniu. Jest ona niewielkim



Rys. 15. Stacja wodorowa w Reykjavíku

Fig. 15. Hydrogen fuel station in Reykjavik

państwem, mającym jedynie 320 tys. obywateli, z których większość zamieszkuje okolice Reykjavíku. Koszt wprowadzenia do powszechnego użytku nowej technologii w takich warunkach oraz czas potrzebny na budowę odpowiedniej infrastruktury są niewielkie w porównaniu do większych krajów. Kolejną zaletą Islandii jest duża łatwość przygotowania odpowiednich substytutów ropy, ze względu na powszechnie dostępną „zieloną” energię elektryczną. Istnieją trzy główne grupy rozważanych rozwiązań: pojazdy napędzane wodorem, biogazem oraz samochody elektryczne.

Jako pierwszy potrzebę uniezależnienia się Islandii od importowanych paliw kopalnych zauważył dr Bragi Árnason w latach 70. XX w. Pod koniec lat 90. Islandczycy uwierzyli w możliwość wprowadzenia „ekonomii wodorowej”. Według

najśmielszych planów kraj miałby uniezależnić się od paliw kopalnych w ciągu 30–50 lat i stać się „Kuwejtem Północy”, eksportującym wysokoenergetyczne paliwo wodorowe. Zakładano, że pierwszym krokiem będzie wprowadzenie wodorowego taboru autobusowego w stolicy, a następnie 180 000 samochodów z ogniwami paliwowymi. Kolejnym etapem miały być zmiana napędów islandzkich statków oraz eksport wodoru do kontynentalnej Europy.

Niestety, mimo obiecujących początków, przed Islandią ciągle daleka droga do urzeczywistnienia takich planów (spowolnienie rozwoju jest związane m.in. z kryzysem gospodarczym). Przeprowadzono jednak wiele eksperymentów, które przyniosły wymierne rezultaty. W kwietniu 2003 r. otwarto w Reykjavíku pierwszą na świecie komercyjną stację paliw dla samochodów napędzanych wodorem. Stacja Grjótháls powstała w ramach projektu badawczego ECTOS (*Ecological City Transport System*) prowadzonego przez Icelandic New Energy w latach 2001–2005. W ramach tej inicjatywy w stolicy Islandii jeździły trzy autobusy DaimlerChrysler FC. Projekt był wspierany przez wiele zagranicznych firm (koncern DaimlerChrysler, w którym zaprojektowano autobusy napędzane wodorowymi ogniwami paliwowymi oraz Shell, który przygotował infrastrukturę stacji paliwowej), a także Komisję Europejską.

Stacja paliw, oprócz urządzeń do tankowania pojazdów, zawiera urządzenia produkujące wodór w trakcie elektrolizy wody (dostarczanej z miejskiej sieci wodociągów) oraz zbiorniki magazynujące. Jest to związane z kosztem i trudnościami w transporcie tego paliwa. Warto zaznaczyć, że energia potrzebna do elektrolizy pochodzi z sieci energetycznej (ze źródeł odnawialnych). Stacja nie generuje żadnych widzialnych emisji – produktami elektrolizy są jedynie wodór i tlen.

Pomimo zakończenia pilotażowego projektu, stacja ciągle działa, zapewniając paliwo m.in. samochodom Toyota Prius. W 2006 r. istniejąca infrastruktura została wykorzystana do kolejnego projektu, HyFLEET:CUTE, który był prowadzony też w innych miastach. Badano napędzane wodorem autobusy i porównywano je z pojazdami napędzanymi standardowymi silnikami. Paliwo wodorowe produkowane na stacji jest ciągle bardzo drogie, jednak aby umożliwić kierowcom



Rys. 16. Wysypisko w Reykjavíku – produkcja biogazu

Fig. 16. Landfill in Reykjavik – biogas production

korzystanie z niego, wprowadzono dotacje. Realizowane projekty spotkały się z pozytywnym odzewem. W ich trakcie zbadano wydajność, koszty, warunki oraz możliwości wprowadzenia komunikacji wodorowej. Przetestowano też nowoczesny sprzęt i procedury bezpieczeństwa.

W 2008 r. oddano w Reykjavíku kolejną wodorową stację paliw Ægisgarður, której głównym celem było zapewnienie paliwa dla statku Elding, służącego do obserwacji wielorybów. Wodór jest wykorzystywany do napędzania pokładowego systemu elektronicznego, co stanowi alternatywę dla tradycyjnie wykorzystywanego w takich sytuacjach pomocniczego silnika diesla. Stacja paliw znajduje się w porcie w stolicy, a wodór jest do niej dostarczany w butlach z gazem ze stacji Grjótháls za pomocą odpowiedniego samochodu transportowego. Wodór jest dostarczany do statku za pomocą systemu rur oraz dysz zapewniających maksymalne ciśnienie 180 bar. Projekt (zarówno budowa stacji, jak i montaż urządzeń na pokładzie statku) został zrealizowany przez firmę Icelandic Hydrogen.

Kolejny projekt realizowany w Reykjavíku dotyczy wykorzystania biogazu produkowanego na lokalnym wysypisku śmieci Álfarnes jako paliwa do samochodów. Program jest prowadzony przez specjalnie powołaną spółkę Metan Ltd., która została założona w 1999 r. przez firmę SORPA, zajmującą się wywozem nieczystości na terenie stolicy. Jednym z wymagań stawianym takim obiektom jest gromadzenie gazu wysypiskowego i wykorzystywanie go w ramach możliwości (jeśli nie jest to możliwe, gaz jest spalany). Nowe islandzkie zarządzenia prawne umożliwiają produkcję i sprzedaż biometanu. Metan Ltd. zajmuje się produkcją i dystrybucją biometanu gromadząc wiedzę na temat możliwości wykorzystania biogazu.

Istnieją dwa sposoby wykorzystania gazu wysypiskowego: do wytwarzania prądu elektrycznego bądź jako paliwo sa-

Tab. 2. Porównanie różnych typów odwiertów geotermalnych (założenie jednakowego strumienia objętości)

Tab. 2. Comparison of different types of geothermal wells (equal volume flow)

	Odwiert tradycyjny (para przegrzana)	Odwiert IDDP
Temperatura	235 °C	430–550 °C
Ciśnienie	30 bar	230–260 bar
Objętościowe natężenie przepływu	0,67 m³/s	0,67 m³/s
Produkowana moc elektryczna	~ 5 MW	~ 50 MW

mochodowe. W 2006 r. około 50 samochodów w Reykjavíku wykorzystywało do napędu metan. Wprowadzono też autobusy oraz śmieciarki napędzane biopaliwem. Projekt realizowany w Reykjavíku jest unikalny w skali Europy, jako jeden z pierwszych zakładał wykorzystanie gazu wysypiskowego jako paliwa motoryzacyjnego.

Trzeci ze sposobów eliminowania paliw kopalnych z transportu polega na wprowadzeniu do powszechnego użytku samochodów elektrycznych. Ten pomysł zyskuje coraz większe poparcie, wypierając w pewnym stopniu ideę pojazdów napędzanych wodorem. Niewątpliwą zaletą takiego rozwiązania jest niska cena energii elektrycznej oraz większa dostępność rozwiązań technologicznych. Zapewnienie infrastruktury do obsługi samochodów elektrycznych także jest realne: 75 % ludności Islandii mieszka w odległości do 60 km od Reykjavíku, a pozostałe wiejskie obszary (położone wzdłuż 1400 km drogi 1) według szacunków wymagałyby jedynie 15 stacji szybkiego ładowania. Niestety, mimo istniejących projektów mających na celu upowszechnienie tego typu pojazdów, w powszechnym użyciu na Islandii jest tylko 11 samochodów elektrycznych. Ministerstwo Przemysłu zapewnia, że to zadanie stanie się priorytetem do końca roku.

Projekt IDDP

Jedną z najciekawszych islandzkich inicjatyw dotyczących rozwoju energetyki jest realizowany od 2000 r. pilotażowy program głębokich odwiertów geotermalnych Iceland Deep Drilling Project (IDDP), prowadzony przez konsorcjum „Deep Vision”, w skład którego wchodzi Krajowy Urząd do Spraw Energii oraz czołowe islandzkie firmy energetyczne.

Energia geotermalna jest uzyskiwana z podziemnych zasobów wodnych ogrzewających się w wyniku przebywania w niewielkiej odległości od roztopionych skał pod powierzchnią ziemi. IDDP jest programem badawczym sprawdzającym możliwości oraz ekonomiczność wytwarzania energii oraz uzyskania pierwiastków chemicznych z systemów geotermalnych w stanie nadkrytycznym. Stan nadkrytyczny to warunki, w których temperatura i ciśnienie przekraczają wartość temperatury i ciśnienia krytycznego dla danej substancji. Tego typu systemy teoretycznie są w stanie wytwarzać do 10 razy więcej energii elektrycznej niż typowe odwierty (rys. 17). Jednak uzyskanie warunków nadkrytycznych wymaga dużo głębszych wierceń niż powszechnie stosowane obecnie. Dziś większość odwiertów geotermalnych ma głębokość około 2 km i produkuje parę o temperaturze 300 °C. Odwierty dla



Rys.17. Próbnny odwiert w okolicach elektrowni Krafla zrealizowany w ramach projektu IDDP
Fig. 17. IDDP project

warunków nadkrytycznych wymagają 4–5 km wierceń, jednak możliwe do uzyskania temperatury wynoszą 400–600 °C (jest to temperatura dostarczanej na powierzchnię pary przegrzanej). Szacuje się, że ilość energii elektrycznej możliwa do uzyskania ze złoża o temperaturze 450 °C wynosi 40–50 MW (dzisiejsze odwierty dają około 5 MW).

Podsumowanie

Energia odnawialna dopiero wprowadzana w wielu krajach, dla Islandczyków stała się już codziennością. Ważną rolę odegrały same firmy energetyczne i elektrownie. Większość z nich jest otwarta dla odwiedzających – mają specjalnie przygotowane centra turystyczne, specjalne wystawy i bogate materiały informacyjne. Z drugiej strony typowe zabudowania energetyczne często niszczą krajobraz – Islandczycy starają się tak budować infrastrukturę, by jak najmniej ingerować wizualnie w środowisko naturalne (rozmieszczenie, materiały i kolory poszczególnych elementów). Takie podejście jest szczególnie cenne przy pięknych, naturalnych krajobrazach Islandii oraz rosnącej liczbie odwiedzających kraj zagranicznych turystów.

Tab. 3. Porównanie kluczowych parametrów energetyki polskiej i islandzkiej
Tab. 3. Key parameters of energy systems in Poland and Iceland

	Islandia	Polska
Zużycie energii na osobę [GJ/rok]	490	100
Ilość wytworzonej energii elektrycznej [TWh]	17	154
Roczne emisje CO ₂ [tys. ton]	2230	316066
Roczne emisje CO ₂ na osobę [ton CO ₂ / osobę]	7,1	8,3
Intensywność energetyczna [TJ/mln \$]	16,79	8,9
Udział energii odnawialnej w produkcji elektryczności [%]	100	3,48
Udział energii odnawialnej w ogólnym zużyciu surowców energetycznych [%]	85	7,2

W tab. 3 zostały przedstawione kluczowe parametry charakteryzujące systemy energetyczne w Polsce i na Islandii. Dobrze uwidaczniają one różnice – na jednego Islandczyka przypada o wiele większe zużycie energii niż w przypadku Polski. Jest to spowodowane obecnością energochłonnego przemysłu i niewielką liczbą ludności (jeśli porównamy nominalną ilość wytwarzanej energii elektrycznej, to w Polsce jest ona o wiele większa). Wielkość emisji CO₂ na osobę jest podobna w obydwu krajach, jednak gdy spojrzymy na wartości nominalne, to polskie emisje są o kilka rzędów większe – nie jest to nawet usprawiedliwione większą ilością energii konsumowanej przez Polskę. Najistotniejsze różnice możemy zaobserwować dla procentowych udziałów energii odnawialnej o ogólnej konsumpcji, które w Polsce wynoszą zaledwie po kilka procent. Prawdopodobnie w najbliższych latach ilość zielonej energii w Polsce będzie rosła, ale osiągnięcie wyników podobnych do islandzkich raczej nigdy nie będzie

możliwe ze względu na odmienne warunki geograficzne i geologiczne.

Źródła bibliograficzne

[www.landsnet.is] – Islandzkie sieci przesyłowe (Landsnet)
[geothermal.is] – Iceland GeoSurvey (ÍSOR)
[www.nea.is] – Krajowy Urząd do Spraw Energii (Orkustofnun)
[iddp.is] – Iceland Deep Drilling Project (IDDP)
[www.newenergy.is] – Wodór na Islandii
[www.iceh2.com] – Iceland Hydrogen
[www.statice.is] – Islandzki Urząd Statystyczny
[www.metan.is] – Biogaz
Firmy energetyczne:
[www.or.is] – Orkuveita Reykjavíkur
[www.hsveitur.is] – HS Veitur
[www.landsvirkjun.com] – Landsvirkjun ■

Renewable Energy in Iceland

Abstract: Article presents renewable energy in Iceland. There is unique geological and economic situation in the country, which is very good place to use green energy. Solutions used in Iceland are not only ecological but also economical.

Article shows general information about development of energy system in Iceland, amount and type of energy sources and types of energy users. The next part describes the most important facts about island's geography and geology. Its conditions (Iceland is located above the hot-spot on the Mid-Atlantic Ridge between the Eurasian plate and the American plate) allows to use geothermal and hydro energy. Article describes those two technologies. Next chapters presents transmission lines in Iceland and problem of elimination the fossil fuels from transport. Iceland leads many project in that field (hydrogen cars, biogas and electric cars). Another investigated problem is the Deep Drilling Project IDDP. The last chapter shows differences between energy systems in the Poland and in the Iceland.

Keywords: renewable energy, Iceland, geothermal power, hydro-power, transmission grid, hydrogen cars, IDDP project

mgr inż. Anna Ściążko

Ukończyła w roku 2011 studia magisterskie w dziedzinie energetyki odnawialnej w RES (The School for Renewable Energy Science, Islandia). Pracę magisterską dotyczącą Modelowania Zastępczego Złożonych Systemów Elektroenergetycznych przygotowała w EPFL (Politechnika w Lozannie, Szwajcaria). W tym samym roku obroniła także pracę inżynierską na AGH (Wydział Energetyki). Praca inżynierska została przygotowana pod opieką dr. inż. Leszka Kurcza. Autorka obecnie kończy studia magisterskie w dziedzinie Energetyki (AGH) oraz Informatyki (UJ).

e-mail: anna.sciazko@gmail.com

