WYKORZYSTANIE GIS I DANYCH KLIMATYCZNYCH DO OBLICZEŃ POTENCJAŁU SOLARNEGO MOŻLIWEGO DO WYKORZYSTANIA W SYSTEMACH C.W.U. I C.O.

Autorzy: Łukasz Kolendo, Dorota Anna Krawczyk

("Rynek Energii" - październik 2016)

Słowa kluczowe: energia słoneczna, podgrzew c.w.u., ogrzewanie

Streszczenie. W ostatnich latach zaobserwować można znaczny wzrost popularności odnawialnych źródeł ciepła wykorzystywanych do zasilania systemów ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz rozwój technologii i wzrost efektywności stosowanych rozwiązań. W Polsce, mimo mniej korzystnych warunków klimatycznych, niż w południowej Europie, zauważalny jest rozwój instalacji pozyskujących energię słoneczną za pomocą kolektorów słonecznych, bądź ogniw fotowoltaicznych. W artykule zaprezentowano możliwości wykorzystania technik GIS (*Geographic Information System*) do szacowania potencjału solarnego na rozpatrywanym obszarze. Zaprezentowano przestrzenny rozkład rocznego całkowitego napromieniowania padającego na płaszczyznę horyzontalną w warunkach rzeczywistych oraz na płaszczyzny o nachyleniach 30°, 45°, 60° i 90° na obszarze Polski.

1. WPROWADZENIE

Niekonwencjonalne źródła ciepła, w tym kotły na biomasę, pompy ciepła, kolektory słoneczne i ogniwa fotowoltaiczne, znajdują w ostatnich latach coraz szersze zastosowanie w sektorze budownictwa. Systemy solarne w warunkach klimatycznych Europy południowej są wykorzystywane od wielu lat, jednak i w krajach o klimacie zbliżonym do polskiego zyskują coraz większą popularność.

Również w Polsce w ostatnich latach znacznie wzrosła popularność kolektorów słonecznych i ogniw PV, były one jednak głównie wykorzystywane do podgrzewu ciepłej wody użytkowej. Dobór urządzeń, szczególnie w domach jednorodzinnych, w wielu przypadkach odbywa się w oparciu o zalecenia producentów zależne od ilości mieszkańców. Warto jednak podkreślić, że w celu prawidłowego doboru urządzeń, opracowania optymalnego rozwiązania technologicznego, jak również oszacowania okresu zwrotu takiej inwestycji konieczna jest znajomość potencjału solarnego, dostępnego dla lokalizacji przeznaczonych pod instalację oraz dobowego, miesięcznego i rocznego profilu zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania, podgrzewu ciepłej wody użytkowej oraz celów technologicznych.

Na zmiany jakie zaszły w podejściu do możliwości wykorzystania nowoczesnych technologii słonecznych zwróciła uwagę D. Chwieduk [1]. Autorka dokonała rozległego przeglądu systemów solarnych kombi stosowanych w systemach ogrzewania i podgrzewu wody, kładąc

duży nacisk na sposoby magazynowania ciepła i różnych trybów pracy. Zwróciła także uwagę na korzyści wynikające z połączenia systemów słonecznych z innymi niekonwencjonalnymi źródłami np. pompami ciepła oraz czynniki wpływające na całkowitą efektywność systemu.

Warto nadmienić, iż ciekawym rozwiązaniem technicznym pozwalającym na maksymalizację uzysku energetycznego z planowanej instalacji solarnej jest zastosowanie konstrukcji pozwalających na śledzenie ruchu słońca. Urządzenia tego typu w dalszym ciągu są mniej popularne od tradycyjnych rozwiązań w tym zakresie ze względu na konieczność poniesienia wyższych nakładów inwestycyjnych, jak również potencjalnie wyższych wydatków związanych z późniejszym utrzymaniem i serwisem instalacji (serwis i naprawa elementów ruchomych systemu).

Celem niniejszej pracy jest wykorzystanie możliwości technologii GIS i danych klimatycznych do obliczeń potencjału solarnego Polski możliwego do wykorzystania w systemach c.w.u i c.o.

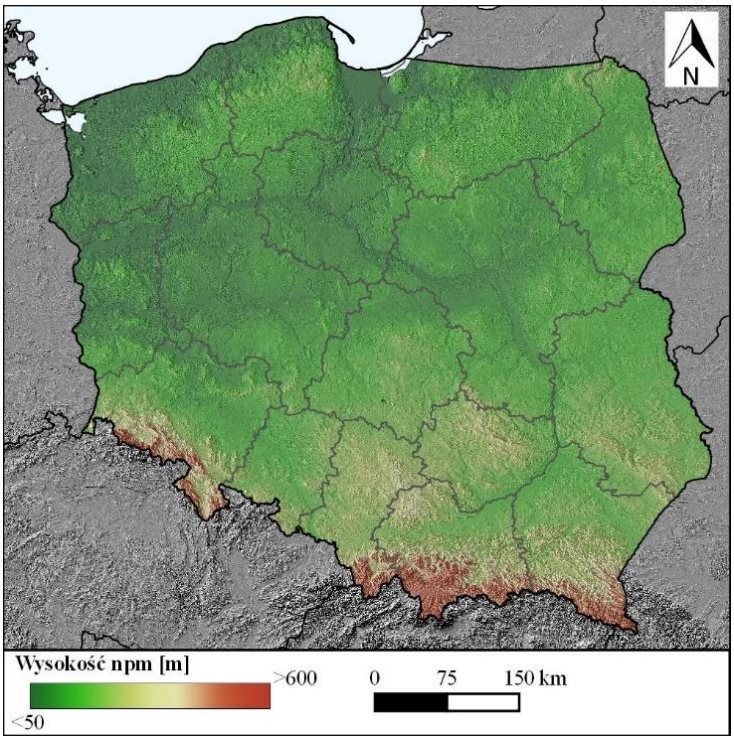
2. MATERIAŁY I METODY

Obliczenia potencjału solarnego dostępnego na terenie Polski dokonano z wykorzystaniem modelu *r.sun* [2-3] będącego integralną częścią wolnego oprogramowania GRASS GIS (ang. *Geographic Resources Analysis Support System*) [4].

W pracy wykorzystano tryb 2-gi modelu *r.sun* pozwalający na wyznaczenie dobowych sum natężenia promieniowania słonecznego (ang. *irradiation*) (Wh/m^2). W procesie modelowania potencjału solarnego w środowisku GIS konieczne było zapewnienie informacji o czynnikach determinujących czasowo-przestrzenny rozkład promieniowania słonecznego na terenie Polski.

Wśród nich kluczowym elementem było dostarczenie do modelu danych o wysokości bezwzględnej badanego terenu. W tym celu zastosowano cyfrowy model terenu SRTM (ang. *Shuttle Radar Topography Mission*) powstały w rezultacie misji wahadłowca *Endaevour* w lutym 2000 roku [5] (Rys. 1).

Dodatkowo, oprócz informacji wysokościowej, dokonano parametryzacji zjawiska zmętnienia atmosferycznego wyrażonego poprzez współczynnik zmętnienia Linke'iego (ang. *Linke Turbidity Factor*, LTF) [6]. W pracy, informacje związane ze zmętnieniem atmosferycznym, pozyskano za pośrednictwem serwisu SODA, który dostarcza między innymi danych o przestrzennej zmienności LTF dla obszaru całego globu w rozdzielczości 5' x 5' [7-8]. Na potrzeby analiz wyznaczone zostały rozkłady miesięczne współczynnika LTF z wykorzystaniem modułu interpolacji *v.surf.rst* programu GRASS GIS [9-10].



Rys. 1. Cyfrowy model terenu SRTM-3 badanego obszaru.
Opracowanie własne na podstawie danych z [5]

Zgromadzenie wyżej wskazanych zbiorów danych pozwoliło na wyznaczenie w początkowej fazie map miesięcznego napromieniowania całkowitego padającego na płaszczyznę horyzontalną badanego terenu w warunkach czystego nieba. Ze względu na rozległy obszar badań w obliczeniach sum miesięcznych wykorzystano definicję średniego dnia miesiąca zaproponowaną przez Klein'a [11].

Model *r.sun* umożliwia ponadto uwzględnienie roli parametru zachmurzenia w obliczeniach warunków solarnych. Odbywa się to za pośrednictwem tzw. parametru K_c (ang. *clear-sky index*), pozwalającego na skorygowanie potencjalnego rozkładu promieniowania słonecznego zbliżonego do tego, który panuje w warunkach rzeczywistych. W tym przypadku parametr K_c wyznaczono jako iloraz promieniowania słonecznego padającego na płaszczyznę horyzontalną w warunkach rzeczywistych (z uwzględnieniem zachmurzenia) do odpowiadających im wartościom promieniowania przy niebie bezchmurnym (wcześniej wyznaczonych z modelu *r.sun*). Informacje na temat rzeczywistego promieniowania słonecznego pozyskano z wykorzystaniem długookresowych danych klimatycznych do obliczeń energetycznych budynków [12]. Miesięczne rozkłady parametru K_c obliczono z wykorzystaniem metod interpolacji. Dysponując miesięcznymi mapami rozkładów napromieniowania potencjalnego oraz parametru K_c przystąpiono do wyznaczenia rzeczywistych warunków solarnych Polski (dotyczących płaszczyzny horyzontalnej), zgodnie ze wzorem [3]:

$$I_h = I_{hc} \cdot K_c \qquad (1)$$

gdzie:

I_h – promieniowanie słoneczne padające na płaszczyznę horyzontalną w warunkach rzeczywistych

I_{hc} – promieniowanie słoneczne przy niebie bezchmurnym (płaszczyzna horyzontalna)

Ponadto w pracy dokonano obliczeń warunków solarnych w odniesieniu do płaszczyzny o ekspozycji południowej oraz następujących wartościach kątowych nachylenia: α=30°,45°,60° i 90° według równania:

$$Ic_{s,\alpha}=I_h \cdot k_{s,\alpha} \qquad (2)$$

gdzie:

$Ic_{s,\alpha}$– promieniowanie słoneczne padające na płaszczyznę o ekspozycji południowej i kącie nachylenia α, gdzie α=30°,45°,60° lub 90°

$k_{s,\alpha}$– współczynnik reprezentujący relacje wartości promieniowania słonecznego padającego na płaszczyznę południową nachyloną do poziomu o kąt α do promieniowania słonecznego padającego na płaszczyznę horyzontalną.

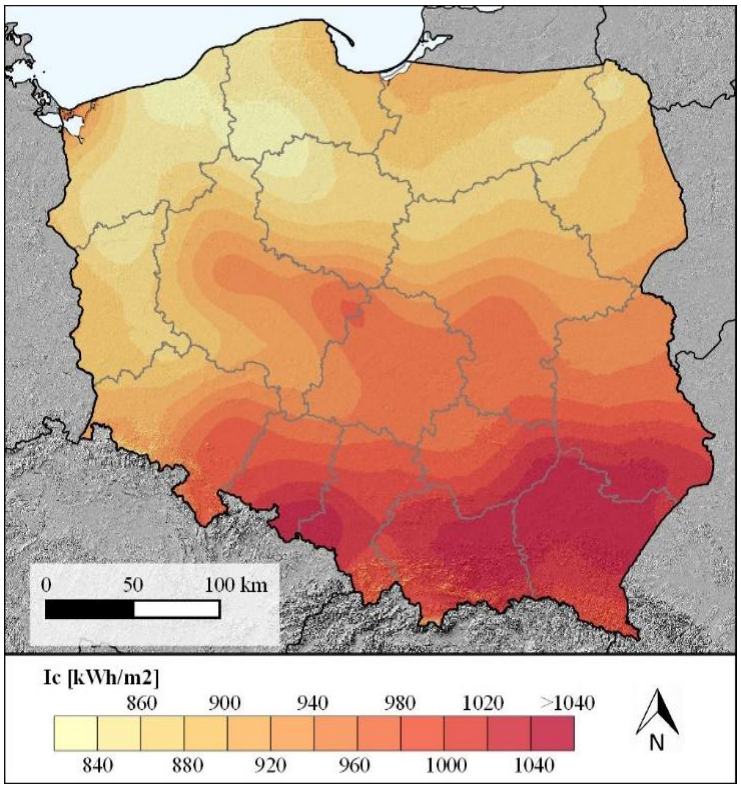
Miesięczne mapy parametru $k_{s,\alpha}$, wyznaczono z wykorzystaniem danych klimatycznych do obliczeń energetycznych budynków, w drodze interpolacji modułem *v.surf.rst*.

Co ważne obliczenia potencjału solarnego Polski prowadzono z uwzględnieniem efektu zacienienia powodowanego topografią terenu, co jest szczególnie zalecane w obszarach o urozmaiconej rzeźbie (obszary górskie).

3. POTENCJAŁ SOLARNY POLSKI

Na podstawie prowadzonych w pracy obliczeń można wskazać na znaczne zróżnicowanie czasowo-przestrzenne dostępności zasobów helioenergetycznych na terenie Polski.

W odniesieniu do promieniowania słonecznego padającego w ciągu roku na płaszczyznę horyzontalną widoczny jest charakterystyczny równoleżnikowy układ (rys. 2). Najkorzystniejsze uwarunkowania dla rozwoju energetyki solarnej występują w południowej części kraju, gdzie napromieniowanie całkowite sięga poziomu 1 050 kWh/m^2 rocznie. Nieco niższym potencjałem, na poziomie 950 kWh/m^2 rocznie, odznacza się centralna część badanego obszaru. Północna Polska wykazuje z kolei najsłabsze warunki solarne w porównaniu z resztą kraju. Na tym obszarze roczna suma gęstości promieniowania słonecznego nie przekracza wartości 900 kWh/m^2.



Rys. 2. Rozkład przestrzenny rocznego całkowitego napromieniowania padającego na płaszczyznę horyzontalną w warunkach rzeczywistych. Opracowanie własne z wykorzystaniem danych z [12]

Średnia wartość rocznej sumy gęstości promieniowania słonecznego na badanym terenie wynosi 935,24 kWh/m^2. Pozostałe statystyki dotyczące rocznej mapy napromieniowania całkowitego padającego na płaszczyznę horyzontalną zestawiono w tabeli 1.

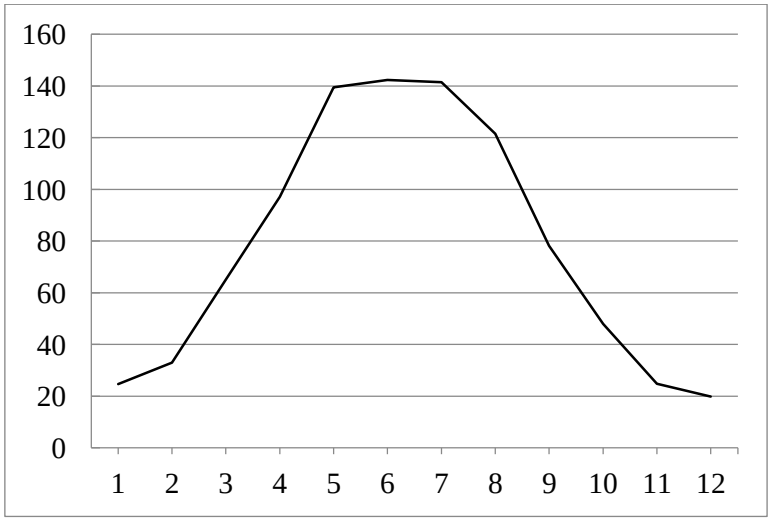
Oprócz zróżnicowania przestrzennego, dostępność czasowa zasobów helioenergetycznych ulega charakterystycznym wahaniom w ciągu roku (rys. 3). W cieplejszych miesiącach, w dużej mierze przypadających na okres poza sezonem grzewczym (kwiecień – wrzesień) średnie wartości miesięcznej gęstości energii promieniowania słonecznego wahają się od 78,13 kWh/m^2 we wrześniu do 142,31 kWh/m^2 w czerwcu.

Ten potencjał energetyczny może być głównie wykorzystywany do podgrzewu ciepłej wody użytkowej, basenów i wytwarzania ciepła do celów technologicznych. W przypadku instalacji służących ogrzewaniu obiektów ciepło pozyskiwane w tym czasie musiałoby być magazynowane i wykorzystywane w późniejszym okresie.

W chłodnej porze roku, kiedy występuje zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania pomieszczeń, wielkości te są znacznie niższe i nie przekraczają 70,00 kWh/m^2.

Tabela 1. Statystyki rocznego napromieniowania całkowitego

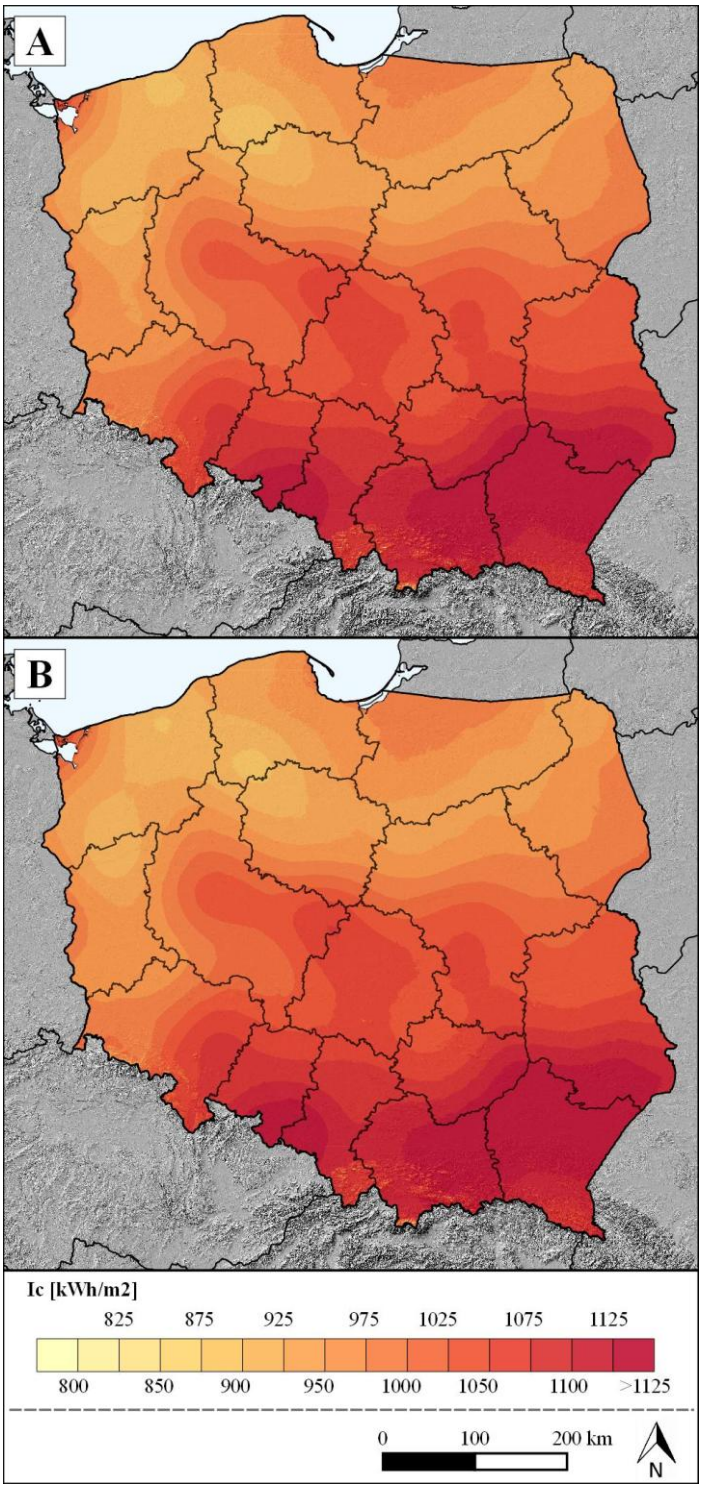
Statystyka	**wartość**
wartość minimalna, kWh/m^2	297,93
wartość maksymalna, kWh/m^2	1 067,34
rozstęp, kWh/m^2	769,41
średnia arytmetyczna, kWh/m^2	935,24
odchylenie standardowe, kWh/m^2	63,54
wariancja, kWh/m^2	4 037,72
współczynnik zmienności, %	6,79
suma, TWh	291,41
kwartyl pierwszy, kWh/m^2	880,36
mediana, kWh/m^2	926,07
kwartyl trzeci, kWh/m^2	981,42
kwartyl rzędu, 0,9 kWh/m^2	1 031,81



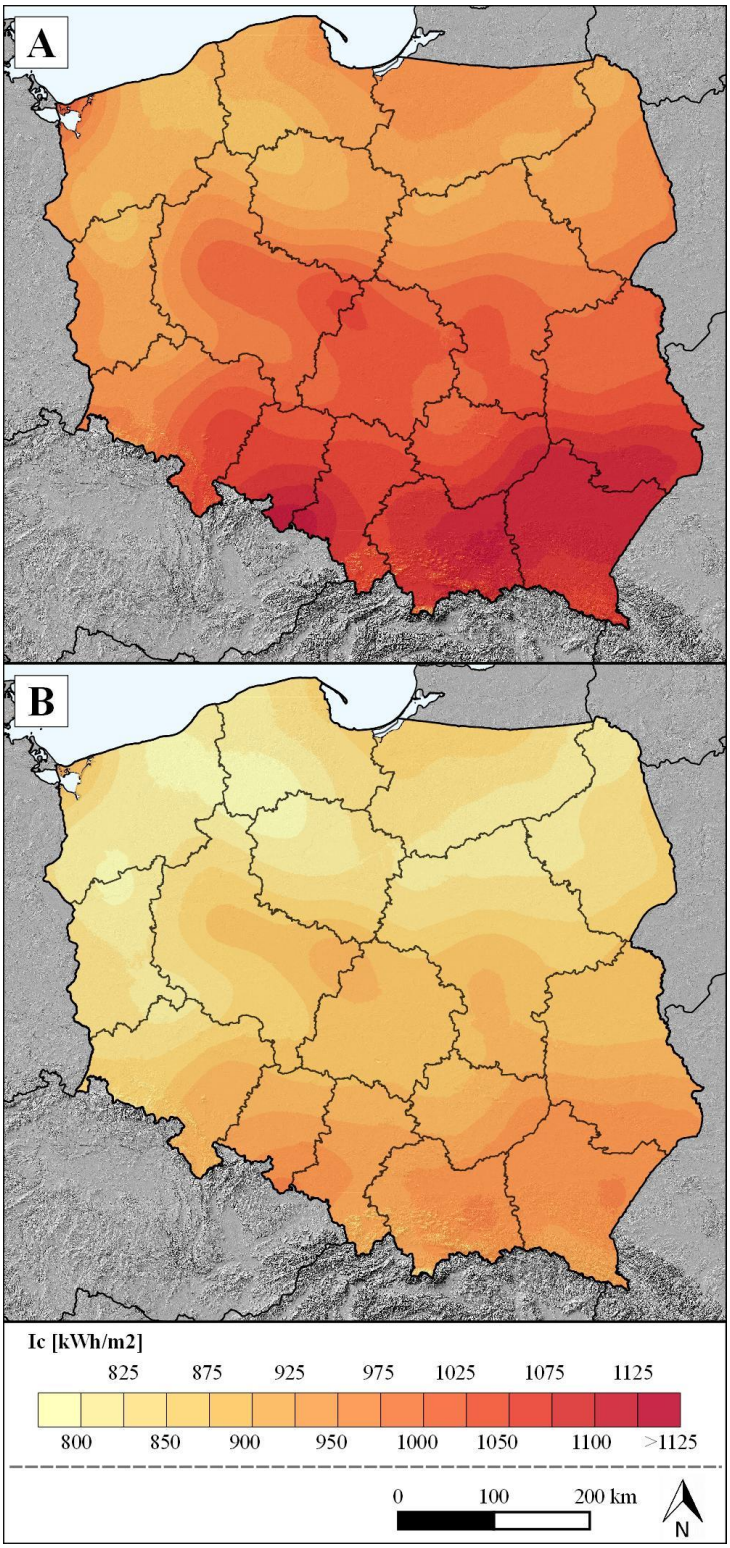
Rys. 3. Średnie miesięczne wartości napromieniowania całkowitego [kWh/m^2] w poszczególnych miesiącach

Powyższe relacje znajdują odzwierciedlenie w ilości całkowitej energii promieniowania słonecznego, jaka w ciągu roku dociera do horyzontalnej płaszczyzny badanego terenu. Całkowite roczne zasoby helioenergetyczne wynoszą w tym przypadku 291 408,99 TWh, z czego blisko 77% przypada na ciepłą porę roku.

Prezentowane dotychczas uwarunkowania związane z dostępnością zasobów helioenergetycznych Polski stanowią potencjalne źródło informacji w zakresie inwestycji w energetykę solarną. W rzeczywistości powierzchnie absorbujące promieniowanie słoneczne bardzo rzadko montowane są w układzie horyzontalnym, a inwestorzy poszukują takiego ustawienia absorbera instalacji solarnej, który zapewni maksymalizację uzysku energetycznego w ciągu roku (przy założeniu stałego nachylenia absorbera). Stąd w dalszej części pracy zaprezentowano uwarunkowania solarne Polski w odniesieniu do płaszczyzny nachylonej pod zadanym kątem α i ekspozycji południowej.



Rys. 4. Roczne rozkłady napromieniowania całkowitego padającego na płaszczyznę o ekspozycji południowej i nachyleniu: A-30°, B-45°. Opracowanie własne na podstawie danych z [12]



Rys. 5. Roczne rozkłady napromieniowania całkowitego padającego na płaszczyznę o ekspozycji południowej i nachyleniu: A-60°, B-90°. Opracowanie własne na podstawie danych z [12]

Na rysunkach 4-5 zaprezentowano roczne rozkłady sumy gęstości energii promieniowania słonecznego na terenie Polski w odniesieniu do płaszczyzny eksponowanej na południe i nachyleniu kolejno: α=30˚, 45˚, 60˚ i 90˚. Na podstawie wizualnej interpretacji map prezentowanych na rysunkach 4-5 można stwierdzić, iż wartości napromieniowania całkowitego pada-

jącego na płaszczyzny nachylone do poziomu są większe niż w przypadku płaszczyzny horyzontalnej, prezentowanej w poprzedniej części pracy. Niższy potencjał odnotowano jedynie w przypadku promieniowania padającego na powierzchnię wertykalną – α=90°.

W tabeli 2 zamieszczono wartości poszczególnych statystyk dla rozkładów rocznego napromieniowania padającego na płaszczyzny nachylone i zestawiono je z analogicznymi informacjami odnoszącymi się do płaszczyzny horyzontalnej.

W przypadku płaszczyzn o nachyleniu 30, 45 i 60˚, średnie wartości rocznej sumy gęstości energii promieniowania słonecznego są o ponad 60 kWh/m^2 większe, aniżeli w przypadku wartości odnoszących się do płaszczyzny horyzontalnej. Odmienna sytuacja ma miejsce w stosunku do płaszczyzny o kątowym nachyleniu równym α=90°, gdzie średnia roczna wartość badanej zmiennej znajduje się na poziomie niższym o około 65 kWh/m^2.

Na podstawie powyższego zestawienia można wnioskować, że w ciągu całego roku największe ilości promieniowania słonecznego są absorbowane przez płaszczyznę o nachyleniu 45° do poziomu, natomiast 30° nachylenie powierzchni absorbera, przekłada się na zmniejszenie wartości badanej zmiennej jedynie o średnio 3,33 kWh/m^2 rocznie.

W związku z tym, nachylenie powierzchni pochłaniającej promieniowanie słoneczne w zakresie 30-45° jest przedziałem najbardziej efektywnym w ciągu całego roku. Zakres ten odpowiada również wynikom prezentowanym w pracy [13], gdzie wskazano, że optymalna roczna wartość stałego nachylenia powierzchni absorbującej dla szerokości geograficznej od 45º do 55º w której znajduje się Polska, zawiera się w przedziale 33-36˚. Na podobne zależności wskazano w pracy poświęconej wyznaczeniu optymalnego kąta nachylenia kolektorów słonecznych na terenie Polski [14].

Tabela 2. Wartości wybranych statystyk dla rocznych rozkładów napromieniowania padającego na płaszczyzny nachylone oraz horyzontalną

	min	**max**	**mean**	**sum**
pł. hor.	297,93	1067,34	935,24	291,41
s_30	326,63	1173,33	1014,15	315,90
s_45	329,78	1175,08	1017,48	316,94
s_60	325,11	1142,82	996,18	310,30
s_90	283,01	980,64	870,86	271,89

min → wartość minimalna [kWh/m^2], *max* → wartość maksymalna [kWh/m^2], *mean* → wartość średnia [kWh/m^2], *Sum* → potencjał energetyczny [tys. TWh]

W tabelach 3 i 4 zestawiono wyniki różnicy pomiędzy średnimi wartościami napromieniowania słonecznego padającego na powierzchnie nachylone i odpowiadającym im wartościom zmiennej średniego napromieniowania dla płaszczyzny horyzontalnej. Analizując te zestawienia można wnioskować, iż wielkości promieniowania słonecznego padającego na płaszczyznę o 30° nachyleniu są w każdym z miesięcy wyższe w porównaniu z wynikami dla

płaszczyzny horyzontalnej. Zbliżona sytuacja ma miejsce w odniesieniu do płaszczyzny nachylonej o kąt 45°, przy czym w czerwcu i lipcu odnotowano niewielkie spadki średniego napromieniowania całkowitego w porównaniu z opracowaniem bazowym (średnie napromieniowanie dla płaszczyzny horyzontalnej). Ponadto stwierdzono, że w miesiącach reprezentujących chłodną porę roku (X-III) najlepsze rezultaty konwersji promieniowania słonecznego uzyskuje się w instalacjach montowanych pod kątem 60° względem poziomu.

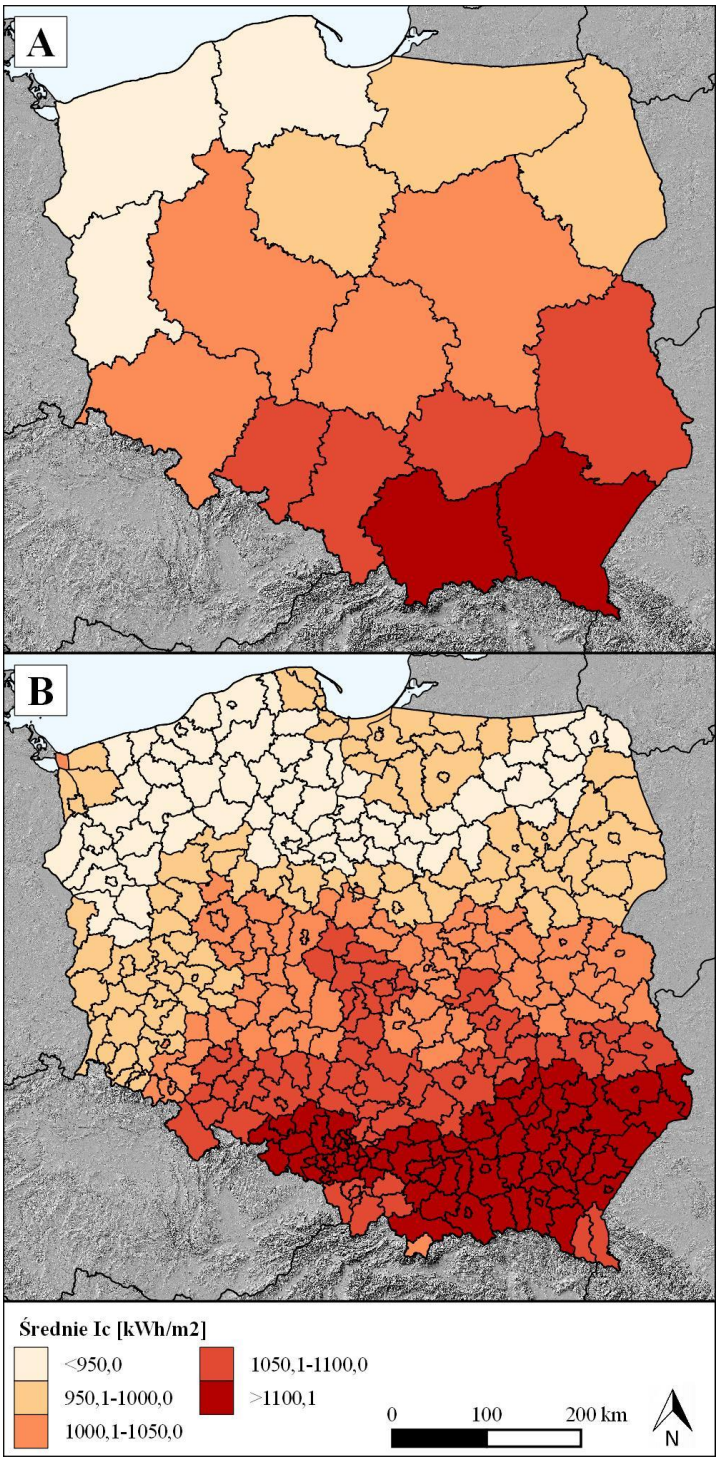
Tabela 3. Różnice średniego napromieniowania całkowitego pomiędzy płaszczyzną horyzontalną i nachylonymi do poziomu w miesiącach styczeń-czerwiec ($\Delta Ic_{śr}=Ic_{śr\ s,\ \alpha} - Ic_{śr\ hor}$)

	sty	**lut**	**mar**	**kwi**	**maj**	**cze**
s_30	7,66	9,09	10,38	8,26	4,82	1,02
s_45	10,28	11,85	12,76	8,57	1,48	-3,20
s_60	11,87	13,20	13,01	6,19	-5,37	-10,15
s_90	1,50	5,44	11,61	-13,89	-29,95	-27,64

Tabela 4. Różnice średniego napromieniowania całkowitego pomiędzy płaszczyzną horyzontalną i nachylonymi do poziomu w miesiącach lipiec-grudzień ($\Delta Ic_{śr}=Ic_{śr\ s,\ \alpha} - Ic_{śr\ hor}$)

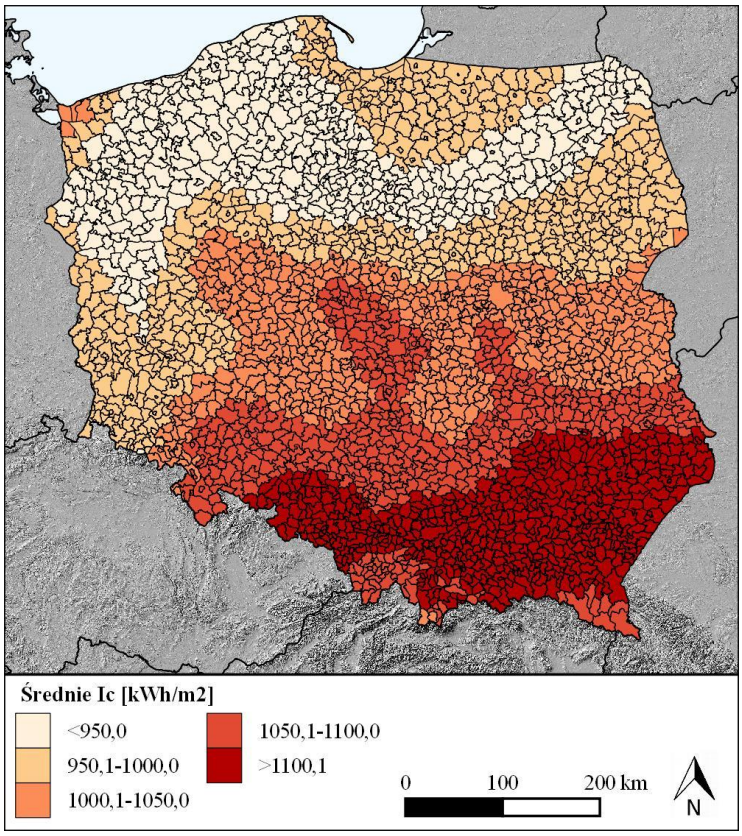
	lip	**sie**	**wrz**	**paź**	**lis**	**gru**
s_30	1,89	6,80	8,44	9,92	6,74	4,13
s_45	-1,78	5,54	9,77	12,72	8,95	5,56
s_60	-8,13	1,20	8,83	13,82	10,22	6,48
s_90	-20,68	-8,12	2,68	6,12	5,73	5,07

W analizie przestrzennej zasobów solarnych możliwych do wykorzystania w instalacjach c.w.u i c.o. na terenie Polski uwzględniono również jednostki podziału administracyjnego kraju. Na kolejnych mapach (rys. 6-7) zaprezentowano średnie roczne wartości całkowitego napromieniowania słonecznego padającego na płaszczyznę nachyloną pod kątem α=30° względem poziomu w poszczególnych województwach, powiatach i gminach. W tym przypadku nachylenie α=30°, najbardziej koresponduje z zakresami kątowymi podawanymi przez autorów [13-14] jako najbardziej optymalne dla obszaru całej Polski. Tego typu kalkulacje mogą zostać bezpośrednio wykorzystane w procesie planowania inwestycji solarnych. Stanowić mogą one źródło informacji w zakresie średnich wartości rocznego napromieniowania całkowitego padającego na płaszczyznę o nachyleniu zbliżonym do optymalnego w danej jednostce, przy założeniu stałego montażu powierzchni absorbującej promieniowanie słoneczne. Przyjmując natomiast montaż urządzeń wyposażonych w konstrukcje umożliwiające stałe śledzenie ruchu słońca (tzw. trackery), można przyjąć, że uzyski energetyczne z tego typu instalacji będą odpowiednio wyższe, aniżeli wynika to z wartości prezentowanych na rysunkach 6-7.



Rys. 6. Średnie wartości rocznego napromieniowania padającego na płaszczyznę nachyloną o kąt α=30º w poszczególnych województwach (A) i powiatach (B). Opracowanie własne na podstawie danych z [12, 15]

Odnosząc się natomiast do relacji całkowitej ilości energii promieniowania słonecznego dostępnej na terenie Polski, najkorzystniejsze wyniki uzyskano w przypadku nachyleń 30 i 45º – kolejno 315,90 i 316,94 tys. TWh. Wartości te dają blisko 8% przyrost całkowitej ilości energii promieniowania słonecznego w porównaniu z wynikami uzyskanymi dla płaszczyzny horyzontalnej.



Rys. 7. Średnie wartości rocznego napromieniowania padającego na płaszczyznę nachyloną o kąt α=30º w poszczególnych gminach. Opracowanie własne na podstawie danych z [12, 15]

4. PODSUMOWANIE

Na podstawie prezentowanych w pracy treści można dowieść znacznej polaryzacji czasowo-przestrzennej w zakresie dostępności zasobów helioenergetycznych. Mając na uwadze obecne trendy wykorzystania dostępnego na terenie Polski potencjału solarnego można stwierdzić, iż największym nośnikiem informacji dla potencjalnego inwestora jest opracowanie odnoszące się do płaszczyzny nachylonej pod kątem 30º, co jest wartością najbardziej zbliżoną do optymalnej w ciągu całego roku.

Warto w tym miejscu zaznaczyć, iż ze względu na rozległy obszar badań nie było możliwe uwzględnienie szeregu istotnych parametrów determinujących czasowo-przestrzenną zmienność uwarunkowań solarnych w Polsce. Wśród nich warto wymienić lokalny efekt zacienienia wywoływany obecnością obiektów pochodzenia antropogenicznego (elementy konstrukcji dachu, naziemna infrastruktura techniczna) i roślinności. Występowanie tych elementów może powodować znaczące dysproporcje w dostępności energii promieniowania słonecznego, stąd konieczne jest prowadzenie ciągłych badań umożliwiających uwzględnienie tego typu parametrów.

W tym zakresie znaczący potencjał informacyjny posiadają dane gromadzone z wykorzystaniem aktywnych technik teledetekcyjnych, między innymi lotniczego skaningu laserowego ALS (ang. *Airborne Laser Scanning*). Wykorzystanie danych ALS pozwala na precyzyjne odwzorowanie ukształtowania terenu i obiektów na nim występujących (budynki, roślinność). Warto dodać, iż dla blisko 92% kraju dostępne są dane ALS gromadzone podczas realizacji projektu ISOK (Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami) [16].

Podsumowując technologia GIS i modele promieniowania słonecznego zaimplementowane w tym środowisku stanowią korzystne narzędzie umożliwiające poznanie rozmieszczenia zasobów helioenergetycznych. Co ważne analizy związane z szacowaniem potencjału solarnego mogą być prowadzone w różnej skali przestrzennej. Począwszy od terytorium całego państwa, gdzie możliwa jest wstępna delimitacja obszarów odznaczających się najkorzystniejszymi uwarunkowaniami solarnymi, a skończywszy na małoobszarowych analizach odnoszących się np. do wybranego fragmentu zabudowy jednorodzinnej prowadzących do opracowania tzw. katastru solarnego.

LITERATURA

[1] Chwieduk D.: Active solar space heating [w:] *Advances in Solar Heating and Cooling* Wang R., Ge T. (red.). Elsevier 2016, s. 151-202.

[2] Hofierka J.: *Direct solar radiation modelling within an open GIS environment*. Proceedings of the Joint European GIS Conference, 1997, s. 575-584.

[3] Hofierka J., Šúri M.: *The solar radiation model for open source GIS: implementation and applications*. Proceedings of the Open Source GIS – GRASS Users Conference, 2002.

[4] Neteler M., Mitasova H.: *GRASS as open source free software GIS: accomplishments and perspective*. Transactions in GIS 8 (2), 2002, s. 145-154.

[5] http://srtm.csi.cgiar.org/

[6] Kasten F.: *The Linke turbidity factor based on improved values of the integral Rayleigh optical thickness*. Solar Energy 3,1996, s. 239-244.

[7] http://www.soda-is.com/

[8] Remund J., Wald L., Lefevre M., Ranchin T.: *Page. Worldwide Linke turbidity information*. ISES Solar World Congress, Szwecja 2003.

[9] Mitasova H., Mitas L.: *Interpolation by Regularized Spline with Tension: I. Theory and Implementation*. Mathematical Geology 25, 1993, s. 641-655.

[10] Mitasova H., Hofierka J.: *Interpolation by Regularized Spline with Tension: II. Application to Terrain Modeling and Surface Geometry Analysis*. Mathematical Geology 25, 1993, s. 657-667.

[11] Chwieduk D.: *Energetyka solarna budynku*. Wydawnictwo „Arkady", Warszawa 2011.

[12] http://mib.gov.pl/2-Wskazniki_emisji_wartosci_opalowe_paliwa.htm

[13] Šúri M., Huld T.A., Dunlop D.E., Ossenbrink H.A.: *Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries*. Solar Energy 81, 2007, s. 1295-1305.

[14] Żukowski M., Radzajewska P.: *Optymalny kąt nachylenia kolektorów słonecznych na terenie Polski*. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja 4, 2015, s. 138-142.

[15] http://www.codgik.gov.pl/index.php/darmowe-dane/prg.html

[16] http://www.isok.gov.pl/pl/

USING GIS AND CLIMATIC DATA FOR CALCULATIONS OF SOLAR RESOURCES POSSIBLE TO IMPLEMENT IN HEATING OF DOMESTIC HOT WATER AND HEATING SYSTEMS

Key words: solar energy, heating of domestic hot water, heating

Summary. Recently it is possible to observe a significant increase in the popularity of the renewable heat sources used to supply heating and domestic hot water production as well as notice development of technology and an increase in the efficiency of available solutions. In Poland, despite the less favorable climatic conditions, in comparison to the south European countries, noticeable increase in a number of new solar installation using solar collectors or photovoltaic cells was observed. The paper presents the possibilities of using techniques of GIS (Geographic Resources Analysis Support System) to estimate the solar potential in the relevant areas. We presented the spatial distribution of the annual total radiation incident on a horizontal plane in the real conditions and for a slope of 30°, 45°, 60° and 90 ° for the Polish territory.