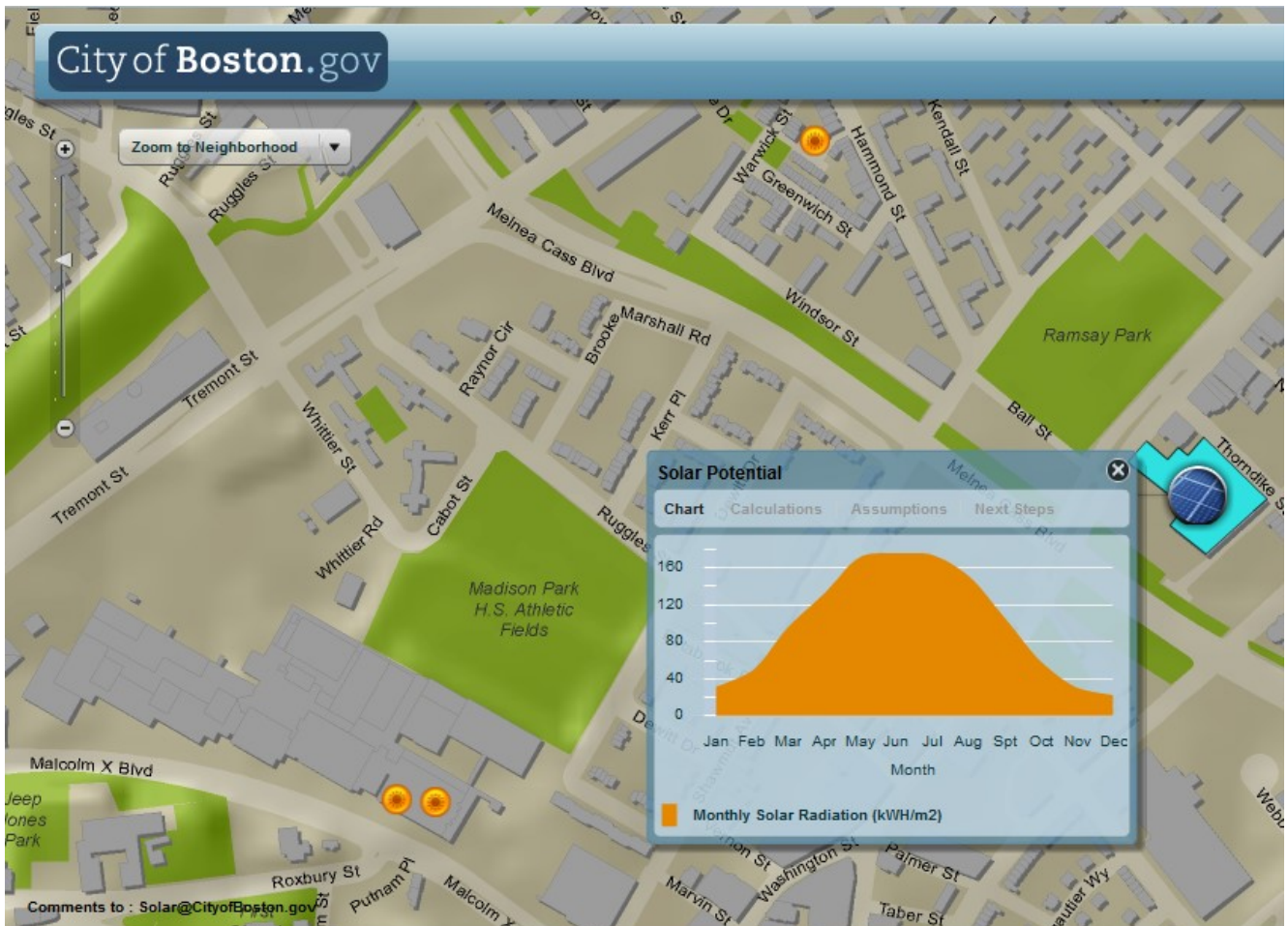


# Mapy potencjału solarnego – eko-moda czy energetyczna szansa?

Mieszkańcy miast stanowią niemal 80 proc. populacji europejskiej. Generują większość całkowitego zapotrzebowania na energię i wytwarzają przeważającą część wszystkich emisji CO<sub>2</sub>. W związku z tym coraz więcej uwagi poświęca się możliwościom wykorzystania energii odnawialnej. Tematyki tej dotyczy również wiele programów realizowanych przez Unię Europejską, których celem jest popularyzacja rozwiązań prowadzących do redukcji szkodliwych emisji. Z upływem czasu zwiększa się wiedza na temat odnawialnych źródeł energii oraz zainteresowanie możliwościami ich wykorzystania ze strony samorządów miejskich. Jednym z najważniejszych odnawialnych źródeł energii jest energia słoneczna, dlatego ważną rolę w rozwoju wykorzystania tych źródeł odgrywają mapy potencjału solarnego.

Wśród dostępnych rozwiązań wykorzystujących odnawialne źródła energii, systemy solarne instalowane w środowisku miejskim stanowią duży potencjał. Ogniwa fotowoltaiczne mogą być wykorzystywane do wytwarzania prądu, podgrzewania wody lub pośrednio także do chłodzenia pomieszczeń. Nie dziwi więc fakt, że wiele miast publikuje na swoich stronach mapy potencjału solarnego, na których każdy mieszkaniec może szacować, jakie będą spodziewane oszczędności z instalacji paneli słonecznych na dachu jego domu.



Rys. 1. Mapa potencjału solarnego dachów w mieście Boston. Wykres nasłonecznienia dotyczy budynku wskazanego na mapie.

Historia tworzenia map potencjału solarnego dachów obejmujących zasięgiem całe miasta jest krótka, ale bardzo interesująca. Pierwsza mapa została opracowana dla miasta Osnabrück w 2008 roku. W krótkim czasie służby geodezyjne wielu krajów rozpoczęły realizację kilku kolejnych projektów. Sprzyjała temu coraz większa dostępność numerycznych modeli pokrycia terenu o dużej dokładności. Mapy solarne zaczęto publikować na dedykowanych geoportalach miejskich. Stawały się one coraz bardziej popularne w krajach o różnych uwarunkowaniach klimatycznych (m.in. w Niemczech, USA, Kanadzie czy Austrii).

## Jak zmierzyć nasłonecznienie?

Jednym z głównych czynników, który wpływa na poziom nasłonecznienia jest ukształtowanie powierzchni Ziemi.

Wysokość, spadek, ekspozycja terenu oraz cienie rzucane przez różne obiekty terenowe mogą mieć decydujący wpływ na średnią moc promieniowania przypadającą na jednostkę powierzchni.

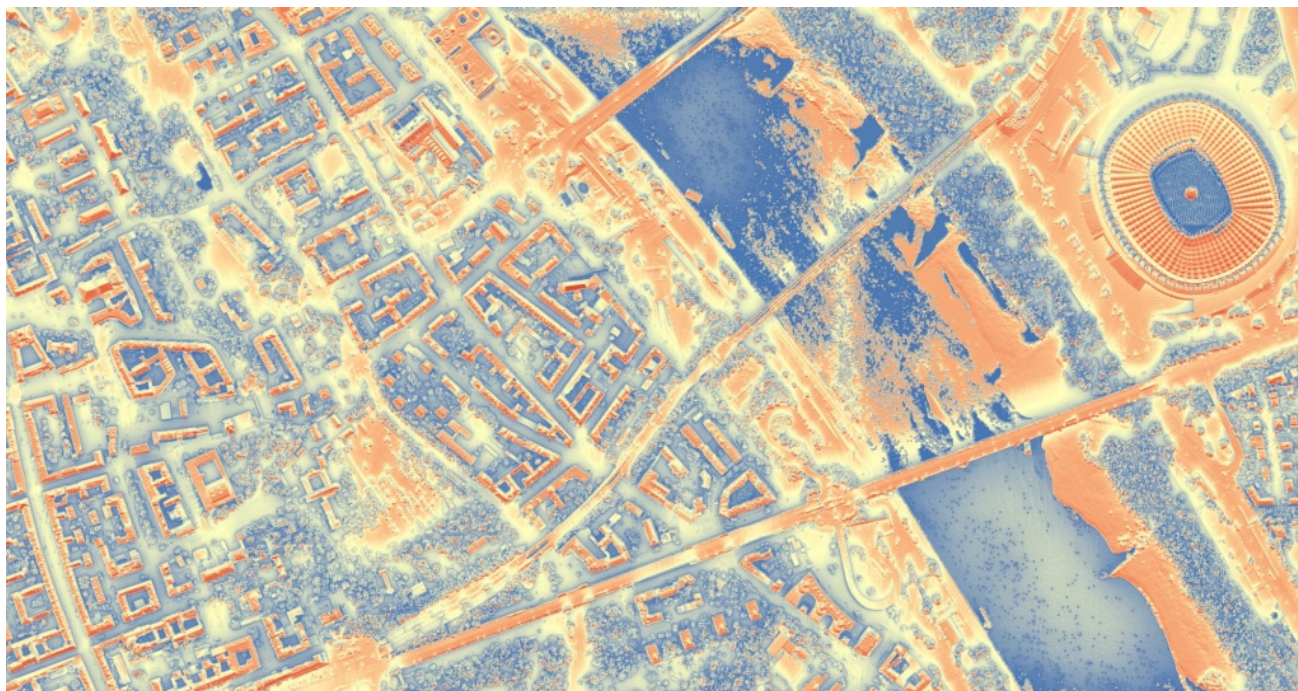
Promieniowanie słoneczne dociera bezpośrednio do powierzchni Ziemi, albo, napotykając różne przeszkody atmosferyczne i terenowe, zostaje przez nie odbite lub rozproszone. Całkowite promieniowanie słoneczne docierające do powierzchni Ziemi to suma tych trzech składników. Może być ono mierzone za pomocą meteorologicznych stacji naziemnych, satelitów meteorologicznych lub szacowane z wykorzystaniem modeli matematycznych. W literaturze wymienia się kilka modeli. Jednym z najbardziej znanych jest Solar Radiation firmy Esri, który jest dostępny w rozszerzeniu [ArcGIS](#) Spatial Analyst. Narzędzie to pozwala uwzględnić wysokość, spadek i ekspozycję terenu, cienie rzucane przez obiekty terenowe oraz dzienną i sezonową zmianę kąta padania promieni słonecznych i szerokość geograficzną analizowanego obszaru.

## **Co charakteryzuje dobrą mapę solarną?**

To, jak użyteczna będzie mapa, zależy od założeń technicznych przyjętych podczas przygotowywania analizy potencjału solarnego dachów. Jedną z ważniejszych kwestii jest aktualność i dokładność danych wejściowych. Szczególnie istotna jest rozdzielczość zestawu danych rastrowych, który zostanie wykorzystany w analizach. Dobrze jeśli możliwe jest pozyskanie danych o bardzo dużej dokładności sytuacyjnej oraz wysokościowej. Zestaw danych rastrowych może zostać utworzony na podstawie punktowych danych wektorowych. Jedną z najbardziej precyzyjnych i najnowocześniejszych technik pomiaru terenu i obiektów terenowych jest lotniczy skanowanie laserowe (LiDAR). Charakteryzuje się on wysoką dokładnością (0,15-0,25 m) i dużą niezależnością od warunków atmosferycznych. Warto wspomnieć, że w ramach projektu Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami (ISOK) do Państwowego Zasobu Geodezyjnego i



Kartograficznego przyjęto dane w formacie LAS dla wielu miast w Polsce. Są nimi pliki zawierające chmurę punktów pochodzącą z lotniczego skaningu laserowego. Jest to historyczna szansa dla wielu jednostek samorządu terytorialnego, które na podstawie tych danych mogą wykonywać wiele ciekawych analiz przestrzennych i wzbogacić swoje zasoby przestrzenne o użyteczne informacje.



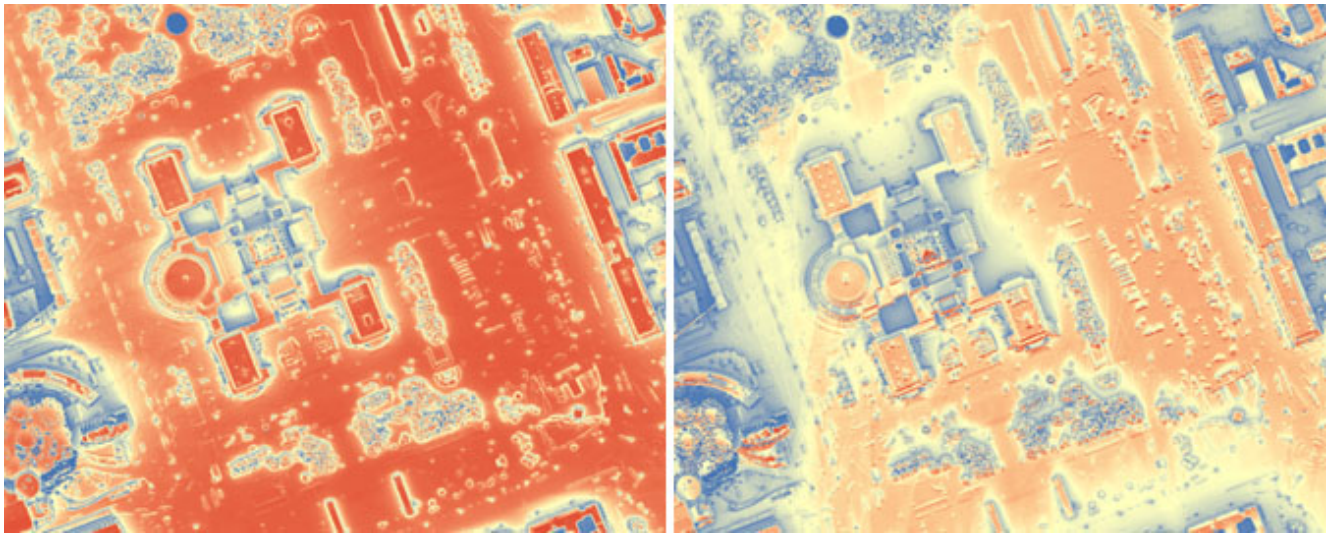
Rys. 2. Nasłonecznienie centralnego obszaru Warszawy w styczniu (wizualizacja w aplikacji ArcMap).

Drugą ważną kwestią podczas opracowywania założeń technicznych mapy potencjału solarne jest uwzględnienie danych meteorologicznych dotyczących negatywnych warunków pogodowych (zachmurzenia, mgły, itp.) . Aby średnie pomierzone nasłonecznienie analizowanego obszaru było zgodne ze średnim wynikiem uzyskiwanym podczas analiz, dokonuje się tzw. kalibracji modelu, która pozwala uwzględnić lokalne warunki atmosferyczne. W tym celu można wykorzystać wykaz obejmujący typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski, który dostępny jest na stronach Ministerstwa Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej. Dane te zostały przygotowane dla potrzeb obliczeń

energetycznych w budownictwie, ale można je stosować także w innych celach. Opierają się one na wieloletnich pomiarach dokonanych w 61 stacjach meteorologicznych Polski. Kalibracja narzędzia jest kluczowym procesem w przygotowaniu analizy, wiąże się z odpowiednim doбором parametrów modelu i wymaga posiadania odpowiedniej wiedzy.

Kolejnym istotnym zagadnieniem jest to, czy podczas wykonywania analiz nasłonecznienia uwzględnione zostały wszystkie obiekty, które zatrzymują lub odbijają promienie słoneczne. Oprócz rzeźby terenu należy wziąć pod uwagę lokalizację obiektów budowlanych, drzew, tablic reklamowych itp. Ważne jest również to, czy w analizie zostało uwzględnione rzeczywiste nachylenie dachu. W wielu opracowaniach stosuje się uproszczenie, że wszystkie dachy są płaskie, czyli mają poziome nachylenie połaci.. Ma to oczywisty wpływ na wynik analizy.

W następnej kolejności warto zadać pytania, co zrobimy z wynikami analizy i jakie przydatne informacje chcemy zawrzeć w treści mapy? Dobrze by było, jeśli odbiorca mapy mógłby, wskazując budynek, uzyskać wiele użytecznych informacji m.in. jakie są właściwości dachu i jego powierzchnia użytkowa, jaka będzie najlepsza orientacja i nachylenie montowanych kolektorów, jaką moc instalacji będzie można uzyskać, jakie środki finansowe trzeba będzie zainwestować i po jakim czasie nastąpi zwrot inwestycji, jakiej oszczędności energii i zmniejszenia emisji CO<sub>2</sub> można się spodziewać. Aby uzyskać odpowiedź na większość z tych pytań, należy wykonać dodatkowe analizy i przeliczenia. Potencjał dachu wskazanego budynku może zostać oszacowany w odniesieniu do produkcji energii elektrycznej (ogniwa fotowoltaiczne) lub możliwości ogrzewania wody (termiczne kolektory słoneczne). Wiedza o potencjale słonecznym dachów umożliwia ocenę wydajności energetycznej miast oraz ekonomicznych i środowiskowych skutków wykorzystania przez nie energii słonecznej.



Rys. 3. Nasłonecznienie otoczenia Pałacu Kultury i Nauki w Warszawie w lipcu (po lewej stronie) i w styczniu (po prawej stronie) – wizualizacja w aplikacji ArcMap.

Jeśli mapa zostanie udostępniona w Internecie, warto zadać sobie pytanie, co charakteryzuje dobry serwis internetowy z mapą potencjału solarnego? Po pierwsze, strona powinna być przyjazna i czytelna dla odbiorcy i łatwo dostępna. Tylko wtedy można spodziewać się, że cel mapy zostanie zrealizowany. Po drugie, mapa powinna być powiązana z lokalnymi uwarunkowaniami prawnymi np. z dokumentami planistycznymi. Panele słoneczne muszą wpisać się bowiem w istniejącą koncepcję urbanistyczną. Na stronie powinna pojawić się też informacja o procesie instalacji kolektorów słonecznych i wskazówki dotyczące ewentualnego dofinansowania inwestycji ze strony miasta.

## **Projekt pilotażowy – mapa potencjału solarnego**

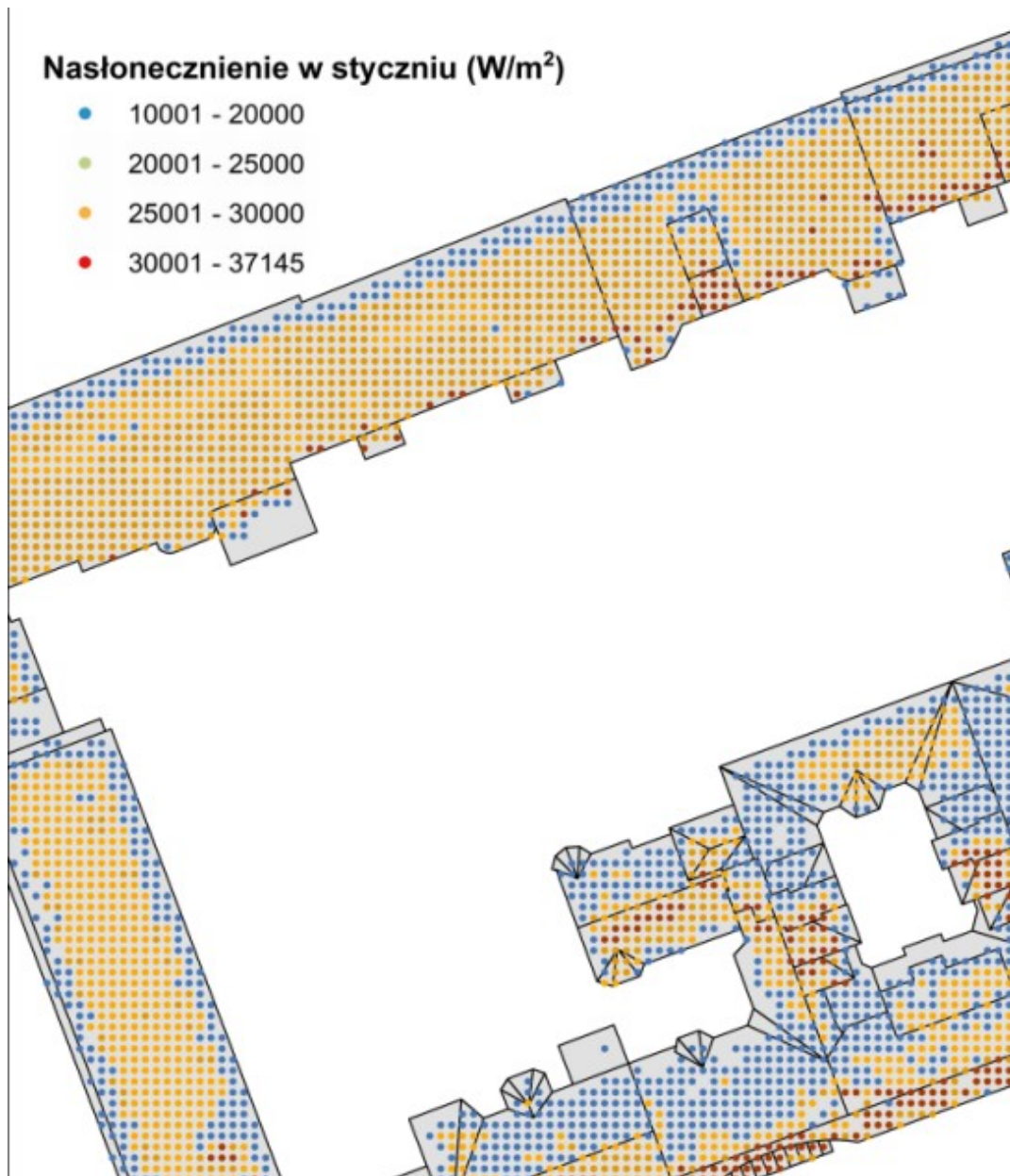
W celu wypracowania metodyki tworzenia map potencjału solarnego przeprowadzony został projekt pilotażowy „Mapa potencjału solarnego Warszawy”. Analiza została wykonana dla obszaru w centralnej części Warszawy, obejmującego powierzchnię 40 km<sup>2</sup>. Jako dane źródłowe wykorzystano numeryczne dane wysokościowe pozyskane z zasobów Centralnego Ośrodka

Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Warszawie. Są to pliki binarne zawierające chmurę punktów pochodzącą z lotniczego skaningu laserowego. Średnia gęstość punktów wynosi 12 pkt/m<sup>2</sup>.

Analiza nasłonecznienia została wykonana dla wszystkich zidentyfikowanych dachów budynków w dwóch wybranych miesiącach: styczniu i lipcu. Następnie na podstawie przyjętych kryteriów (maksymalny spadek dachu, przeszkody na dachach, minimalna powierzchnia ciągła instalacji kolektorów, minimalne nasłonecznienie w zimie) zidentyfikowano powierzchnię użytkową dachów.

Kolejnym etapem było przypisanie do każdego obiektu reprezentującego obrys dachu atrybutu opisującego potencjalną powierzchnię zainstalowanych kolektorów słonecznych, sumę ich nasłonecznienia oraz potencjalną moc uzyskiwaną przez ogniwa. Następnie wyliczona została potencjalna produkcja energii elektrycznej oraz możliwa do osiągnięcia redukcja emisji CO<sub>2</sub>.





Rys. 4. Nasłonecznienie w styczniu każdego metra kwadratowego dachów wybranych obiektów w Warszawie (wizualizacja w aplikacji ArcMap).

Myśląc o kolektorach słonecznych, nie zawsze należy kierować się zasadą: im większa powierzchnia instalacji, tym lepiej. Optymalne rozwiązanie polega na oszacowaniu zapotrzebowania na energię zimą i zainstalowaniu takiej powierzchni ogni, jaka spełnia nasze oczekiwania w okresie niedoboru słońca. Zainstalowanie większej powierzchni kolektorów może okazać się nieopłacalną inwestycją z uwagi na wysoki koszt ogni fotowoltaicznych. W związku z powyższym, w celu oszacowania realnej przydatności dachów budynków do instalacji kolektorów,



należałoby wprowadzić informację o zapotrzebowaniu energetycznym każdego budynku. Informację taką każdy mieszkaniec mógłby wprowadzić w formie parametru w serwisie mapowym. W rezultacie możliwe byłoby oszacowanie realnego zapotrzebowania na moc instalacji i porównanie tej wartości z obliczoną potencjalną mocą uzyskiwaną przez ogniwa.

## **Wnioski i wskazówki techniczne**

W wyniku analizy obliczono potencjał solarny dachów budynków, który został przyporządkowany do jednej z czterech klas: wysoki potencjał, średni potencjał, niski potencjał, brak potencjału. Wynikowa warstwa została również zwizualizowana w aplikacji ArcScene.

Jak należało się spodziewać, wizualizacja danych na numerycznym modelu pokrycia terenu pozwala zaobserwować, że dachy zacienione charakteryzują się niższym potencjałem solarnym od obiektów, do których docierają promienie słoneczne. To samo dotyczy dachów o ekspozycji północnej, które wyróżniały się niższym potencjałem od tych, które skierowane były w stronę południową. Wyniki uzyskane w analizie zostały wyliczone na podstawie arbitralnie przyjętych kryteriów. W wielu miejscach istnieje możliwość poprawy wyników poprzez np. ustawienie kolektorów słonecznych pod optymalnym kątem. W analizie nie została uwzględniona możliwość instalacji kolektorów na elewacjach budynków. Choć w okresie letnim taka konfiguracja systemów solarnych przynosi gorsze rezultaty, to w okresie zimowym w wielu miejscach takie ustawienie może przynieść korzystny efekt.



Rys. 5. Potencjał solarny dachów wybranych obiektów Warszawy (wizualizacja w aplikacji ArcScene).

W analizie wykorzystany został zestaw danych rastrowych o rozdzielczości 1 m<sup>2</sup> podzielony na arkusze. Arkusze zostały tak przygotowane, że część ich powierzchni pokrywa się wzajemnie. Przeprowadzone testy wykazały, że zastosowanie rastra o większej rozdzielczości nie prowadzi do uzyskania bardziej precyzyjnych wyników, a czas potrzebny na wykonanie analizy znacznie się wydłuża.

Warto zauważyć, że wyniki analizy uzyskane na krańcach każdego arkusza są zwykle zawyżone. Nieuwzględniony jest m.in. cień rzucony przez obiekty topograficzne znajdujące się na arkuszach sąsiednich. Analiza powinna więc zostać przeprowadzona jedynie dla centralnej części każdego arkusza. Należy wziąć również pod uwagę, że w naszej szerokości geograficznej południowy „margines” powinien być szerszy od północnego. Procedurę powyższą można wykonać dzięki wzajemnemu pokrywaniu się powierzchni arkuszy.

Bardzo istotne dla wyników analizy jest odpowiednie ustawienie parametrów modelu. Należy dokonać kalibracji narzędzia tak,

aby pomiar był zgodny ze średnimi wartościami uzyskiwanymi przez stacje meteorologiczne w różnych miesiącach. Warto zwrócić uwagę, że wykaz obejmujący typowe lata meteorologiczne dotyczy płaskich, niezacienionych obszarów. Im więcej danych pochodzących ze stacji pomiarowych, tym precyzyjniej można skalibrować narzędzie. Należy również zauważyć, że zainstalowane kolektory słoneczne często zawierają systemy pomiaru promieniowania słonecznego. Może to pomóc w „dostrajaniu” narzędzia.

Obliczona wartość nasłonecznienia została wykorzystana w dalszych analizach. Potencjalna produkcja energii elektrycznej została wyliczona na podstawie wartości otrzymanych dzięki opublikowanym testom ogniw fotowoltaicznych. Potencjalna roczna oszczędność uzyskana dzięki kolektorom słonecznym wymagała przyjęcia określonej wartości cen energii z konwencjonalnych źródeł. W celu uzyskania bardziej wiarygodnych wyników należałoby oszacować trend wzrostu cen tradycyjnej energii dla badanego obszaru w kolejnych latach.. Na podstawie narzędzi opracowanych przez National Renewable Energy laboratory (NREL) można oszacować redukcję dwutlenku węgla, dwutlenku siarki oraz tlenu azotu dla każdej MWh energii wytworzonej za pomocą systemów solarnych.

## **Mapa potencjału – potencjał mapy**

Mapy potencjału solarnego mogą pełnić istotną rolę w udostępnianiu wiedzy na temat kolektorów słonecznych i możliwości ich instalacji. Zanim przystąpimy do ich opracowania, należy dobrze zastanowić się nad kryteriami przyjętymi podczas wykonywania analizy. Różnica w przyjętej metodyce może mieć znaczny wpływ na jakość otrzymanego produktu.

Należy zwrócić uwagę, że zapotrzebowanie na mapy solarne może się zwiększyć z uwagi na uruchomiony program dofinansowań do kolektorów słonecznych. Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej zaczął przyznawać dotacje na częściowe

spłaty kredytów bankowych przeznaczonych na zakup i montaż kolektorów słonecznych dla osób fizycznych i wspólnot mieszkaniowych. Wydatkowanie środków kończy się 31 grudnia 2015 roku jednak bardzo prawdopodobne jest, że wkrótce pojawią się nowe programy.

Choć dotacje mogą okazać się przydatne, niewykluczone, że systemy solarne same obronią się na rynku. Być może stanie się tak, jeśli inwestorzy otrzymają dobre mapy potencjału solarne, dzięki którym będą mogli oszacować opłacalność instalacji kolektorów.

## **Analizy miejskie – oferta Esri Polska**

Na stronie Esri Polska ([www.esri.pl](http://www.esri.pl)) w zakładce Usługi -> Analizy można zapoznać się z aktualną ofertą Esri Polska dotyczącą wykonywania analiz nasłonecznienia i zacielenia. Aktualnie wśród oferowanych usług można wyróżnić:

- tworzenie mapy potencjału solarne dachów budynków,
- analizę wpływu realizacji nowej inwestycji na zacielenie obiektów sąsiednich,
- tworzenie „mapy cieni” terenów sąsiadujących z obiektami wysokiej zabudowy.